

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Московский технический университет связи и информатики” (МТУСИ)

ХII Международная отраслевая
научно-техническая конференция
"ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО
ОБЩЕСТВА"

СБОРНИК ТРУДОВ

14-15 марта 2018 г.

Том 1



СБОРНИК ТРУДОВ

**XII Международная научно-техническая конференция
«Технологии информационного общества»**

14-15 марта 2018 г.

ТОМ 1

Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Технологии информационного общества». Москва, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), 14-15 марта 2018 г. В 2-х томах. Том 1. М.: «ИД Медиа Паблицер», 2018. 400 с.

Конференция направлена на объединение усилий научных организаций, ВУЗов, предприятий и операторов связи по развитию перспективных технологий связи и совершенствованию инфокоммуникационной инфраструктуры регионов России и стран СНГ. В ходе конференции обсуждаются проблемы развития науки и приоритетные направления научных исследований отрасли.

СБОРНИК ТРУДОВ СОДЕРЖИТ СТАТЬИ, В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ, ПО МАТЕРИАЛАМ ДОКЛАДОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА КОНФЕРЕНЦИИ «ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА» ПО СЛЕДУЮЩИМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

I. СЕТИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

(Сетевые технологии электросвязи следующего поколения, метрология и сертификация в инфокоммуникациях, технологии и компоненты оптических транспортных сетей и сетей доступа, направляющие среды и системы связи, проектирование и техническая эксплуатация современных цифровых транспортных систем).

Секция 1. Сети и системы связи.

Секция 2. Теория телетрафика и ее приложения.

II. РАДИО, ТЕЛЕВИДЕНИЕ И СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ

(Цифровое телерадиовещание и аудиовидеоинформатика, системы мобильной связи и радиодоступа, сети системы радиосвязи и телерадиовещания, обеспечение ЭМС, электродинамика полей и излучателей в системах связи и вещания, антенно-фидерные устройства, распространение радиоволн, устройства передачи, приема и обработки радиосигналов, системы спутниковой связи и вещания).

Секция 3. Цифровое телерадиовещание и аудиовидеоинформатика.

Секция 4. Системы мобильной связи и радиодоступа, спутниковой связи и вещания.

Секция 5. Устройства передачи, приема и обработки радиосигналов. Электронные компоненты, СВЧ-устройства и АФУ.

III. ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСЛУГИ

(Информационно-телекоммуникационные технологии и услуги информационного общества, качество инфокоммуникационных услуг, расчет и оптимизация систем связи, защита информации и защищенные системы связи, математическое моделирование систем и средств связи, информационные технологии на транспорте).

Секция 6. Инфокоммуникационные технологии и услуги информационного общества и защита информации.

Секция 7. Математическое моделирование систем и средств связи.

Секция 8. Функционирование инфокоммуникационных сетей и информационных систем.

IV. ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

(Экономика и менеджмент в телекоммуникации, политическая экономика и политология, информационные технологии в экономике и управлении).

Секция 9. Экономика и менеджмент инфокоммуникаций. Политическая экономия и политология.

СОДЕРЖАНИЕ

Брыксенков А.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА (РОССИЯ – ЕВРОПЕЙСКИЕ СТРАНЫ) ПО МАТЕРИАЛАМ ПРОЕКТА «BUSINESS INDEX NORTH»	20
Самойлов А.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИЯ РАДИОКАНАЛОВ	23
Андреев В.В. ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (LI- FI СВЯЗЬ): СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ	26
Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Шварц М.Л. ОЦЕНКА ЗАДЕРЖЕК ПАКЕТОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ	28
Бурдин В.А., Нижгородов А.О. ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВЕСНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И СИБИРИ	31
Великовский Ю.Р., Данилов А.Н., Матвеев В.А. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ НАСТРОЙКИ ОДНОЧАСТОТНОЙ ЗОНЫ SFN ЦИФРОВОЙ СЕТИ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ DVB-T2	33
Винтенкова Ю.С., Козлов С.В., Спирина Е.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА МАРШРУТОВ МЕТОДА СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА	36
Воробейчиков Л.А., Сосновиков Г.К. О НЕКОТОРЫХ СРЕДСТВАХ АВТОМАТИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ И СИСТЕМ СВЯЗИ В СРЕДЕ GPSS WORLD	39
Данилов А.Н., Максимов С.П., Эрдниев Н.И. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ММО В СЕТЯХ LTE ADVANCED	41

Деарт В.Ю., Фатхулин Т.Д. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ СУПЕРКАНАЛА С НЕОБХОДИМОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ В СЕТИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ (T-SDN)	43
Зайцев В.С. ХАРАКТЕРИСТИКИ СУММАРНОГО ПОТОКА IP-ПАКЕТОВ НА ВХОДЕ УЗЛА КОММУТАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ	45
Зубилевич А.Л., Сиднев С.А., Царенко В.А. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЯХ	48
Зубилевич А.Л., Колесников В.А., Сиднев С.А. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МИКРОТРЕЩИН И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН	50
Соколов С.А., Зубилевич А.Л., Морозов Б.Н. ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ	52
Ибрагимов Б.Г., Керимов В.Р. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ НА БАЗЕ ЕДИНОГО ИНФОКОММУНИКАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА	56
Ибрагимов Б.Г., Гумбатов Р.Т., Ибрагимов Р.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ NGN/IMS СЕТЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ	58
Ибрагимов Б.Г., Исаев Я.С. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ NGN/IMS ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ СЕССИИ	60
Калашников Е.А., Кондыбаева А.Б., Оситис А.П. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ СЕТЕВОГО ТРАФИКА СЕТЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	61
Коршунов В.Н., Шаврин С.С., Шишова Н.А. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ	63

Мазуренко Д.К. РАЗРАБОТКА ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ	64
Макарова Н.Е., Швырёва М.А. АНАЛИЗ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА	66
Манонина И.В., Шестаков В.В. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	68
Мионов О.Ю. УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ ПОТОКОВ ДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ЗАЩИЩЕННЫХ КОРПОРАТИВНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ	70
Абдулвасеа М.О.А. СТАНДАРТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ЦИФРОВОГО СТАНДАРТА TETRA ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ-112	74
Портнов Э.Л., Иванов С.И., Колесников В.А., Семенов А.Б. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И ЗАПОЛЯРЬЯ	78
Рыжков А.В., Насонов А.Ю. ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ	81
Сперанский В.С., Абрамов С.В., Клинцов О.И. СОЧЕТАНИЕ КОДОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ АБОНЕНТОВ И OFDM ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО ВОЛОКНУ	84
Строганова Е.П., Грычкин С.Е. ИСПЫТАНИЯ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ АППАРАТУРЫ СВЯЗИ, УСТАНОВЛИВАЕМОЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОНАХ И НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ	86
Строганова Е.П., Грычкин С.Е., Кочемасов Д.В. ФАЗОВЫЕ ШУМЫ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ	88

Tsogbadrakh A. QOS SUPPORT IN VOIP NETWORK OF MONGOLIA	91
Утепбергенов И.Т., Кусамбаева Н.Ш. УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ АПОДИЗИРОВАННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК ИЗМЕНЕНИЕМ ГРУППОВОЙ ЗАДЕРЖКИ	95
Хромой Б.П. ИСТОРИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДУЛЯЦИИ	98
Хромой Б.П. СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В РОССИИ	100
Барботько И.В. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ЗАПРОСОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	102
Варнавский В.С. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЗЛА SDN С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБРАБОТКИ TCP/UDP ТРАФИКА	104
Горбунов А.О. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕСЫЛКЕ ЭЛАСТИЧНОГО ТРАФИКА ДАННЫХ И НАЛИЧИИ ПОРОГОВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ	106
Дачев Н.Й. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ТРЕБУЕМОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗВЕНЬЕВ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА	108
Крохин Е.А. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛИ СОВМЕСТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ЭЛАСТИЧНОГО ТРАФИКА ДАННЫХ В СОТЕ СЕТИ СТАНДАРТА LTE	110

Кудашов А.В. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУФЕРА ПРИ СОВМЕСТНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ТРАФИКА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ТРАФИКА ДАННЫХ С ГРУППОВЫМ ПОСТУПЛЕНИЕМ ФАЙЛОВ	112
Куприянов Д.О. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ БАЛАНСИРОВКИ ТРАФИКА В СИСТЕМАХ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКИ НА СЕРВЕРА КЛАСТЕРА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ	114
Лонгинов И.А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ЛИНИЙ ДОСТУПА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НЕОДНОРОДНОГО ТРАФИКА	116
Орехов Е.А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА С ПОТОКАМИ ЗАЯВОК ОТ КОНЕЧНЫХ ГРУПП ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ	118
Степанов М.С., Степанов С.Н., Журко А.М. МОДЕЛЬ КОНТАКТ-ЦЕНТРА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ САМООБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ И РАЗДЕЛЕНИЕМ ОПЕРАТОРОВ ПО КОМПЕТЕНЦИЯМ	120
Степанов С.Н., Васильев А.П. ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ С ДИНАМИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА В СЕТЯХ IMS/LTE	122
Тучин А.Е. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО УЗЛА ДОСТУПА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ТРАФИКА ПАКЕТА УСЛУГ TRIPLE PLAY	124
Абрамов В.А., Попов О.Б., Терехов А.Н., Люкина Е.В. КОНТРОЛЬ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕНОРМИРОВАННЫХ МОДУЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ШУМА	126

Балобанов А.В., Балобанов В.Г. УСТРАНЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ИЗ ЦИФРОВОГО ВИДЕОСИГНАЛА В ПРИКЛАДНОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БПЛА	128
Балобанов А.В., Кладкова А.Е. МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПРИКЛАДНОМ И ВЕЩАТЕЛЬНОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ	130
Белянский В.Б., Сперанский В.С., Пронина Е.Д. СВЕРХМИНИАТЮРНЫЕ ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ АНТЕННЫ ТРЕТЬЕГО ТИПА	133
Быков В.В. СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ МЕДИАДАННЫХ	135
Варламов О.В., Варламов В.О. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ СТАНДАРТА DRM С УЧЕТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ РАДИОШУМОВ	136
Егоров Д.А., Федоров В.Д. МЕТОДИКА И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВИДЕОКОДЕКОВ	138
Коринский А.М. ВОСПРИЯТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ ЗРЕНИЯ	141
Литвин С.А., Попов О.Б., Абрамов В.А., Борисов А.А. МЕТОДЫ КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ, ОЦЕНКИ И ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ИХ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ	144
Орлов В.Г. МЕХАНИЗМЫ СЕТЕВОГО ДОСТУПА И ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В LTE	146
Поташников А.М., Власюк И.В. МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ МАССИВОВ СВЕТОФИЛЬТРОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СВЕТ-СИГНАЛ	149

Рихтер С.Г. ВОПРОСЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ	151
Санников В.Г. ВЫДЕЛЕНИЕ РЕЧЕВЫХ ОБРАЗОВ ИЗ ЗАШУМЛЕННОЙ РЕЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СЛУХОВОЙ ТОМОГРАФИИ	153
Терехов А.Н., Абрамов В.А., Попов О.Б., Потапова Е.А. АЛГОРИТМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ НАЛИЧИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЯМ РЕЧИ В СЕТЯХ СВЯЗИ	156
Уткина В.И., Чернышёва Т.В. АКУСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ СПОРТИВНЫХ АРЕН В КОНЦЕРТНЫЕ ЗАЛЫ	158
Якоб М.И., Демчук Ю.И., Авраам И.А. ВЫБОР РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-R ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗОН ПОКРЫТИЯ СИГНАЛОМ DVB-T2	160
Аджемов С.С., Доможакова В.В., Трунов С.В. ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ	163
Аджемов С.С., Кучумов А.А., Либеровский Н.Ю., Припутин В.С. МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ И МЕТОД АНАЛИЗА НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ В ЗАДАЧЕ СЛЕПОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ СИГНАЛОВ	165
Голубев Е.А., Лобова Е.О., Магсумов В.Р., Припутин В.С. ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФИЛЬТРОВ АНАЛИЗА И ФИЛЬТРОВ СИНТЕЗА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ	168
Жиличкин А.Г., Курахтенков Л.В., Кучумов А.А., Либеровский Н.Ю. О ВЛИЯНИИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ФУНКЦИЮ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ	172
Воронцов Ю.А., Козинец А.В., Груничев Ю.А. СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ПОИСКА АБОНЕНТОВ ДЛЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ	175

Гришин Д.В., Курахтенков Л.В., Сподобаев А.М. СРЕДСТВА СВЯЗИ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	179
Гришин Д.В., Курахтенков Л.В., Кучумов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕННЫХ МЕТОК БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КА НА ОРБИТАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПО СИГНАЛАМ ГЛОНАСС/GPS	183
Жаднов В.В., Королев П.С., Серебрякова Ю.О. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ С УЧЕТОМ УТОЧНЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ	185
Королев П.С., Седов К.Д., Соснин А.И. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ	187
Михайлов В.Ю., Мазепа Р.Б. ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ПОЛЯХ ГАЛУА ДЛЯ БЫСТРОГО ПОИСКА ПО ЗАДЕРЖКЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГОЛДА	189
Панкратов Д.Ю., Степанова А.Г. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ММО ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ	191
Рыбаков А.И. ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИОКАНАЛА (С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТЕОРНОЙ СВЯЗИ)	195
Самойлов А.Г., Самойлов С.А., Куракова Т.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОКАНАЛОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН	198
Тихомиров А.В., Омелянчук Е.В., Семенова А.Ю. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДИАПАЗОНОВ ЧАСТОТ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СИСТЕМ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ	202
Тихонов В.Ю., Шинаков Ю.С. СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ УЗКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ ИНЕРЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ	206

Аджемов А.С., Кудряшова А.Ю. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВАХ	211
Аристархов Г.М., Аринин О.В., Кириллов И.Н. КОМПАКТНЫЕ ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ ВСТРЕЧНО-ГРЕБЕНЧАТЫХ СТРУКТУР	214
Бирюкова О.В., Корецкая И.В. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	217
Болотов А.О. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА МОДУЛЯЦИОННОГО ТРАКТА УМРС ПРИ МАЛЫХ УРОВНЯХ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА	219
Бычков М.С. РАСШИРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА МШУ И СМЕСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЯЧЕЙКИ ДЖИЛЬБЕРТА	221
Воронков А.А. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С РАЗДЕЛЬНЫМ УСИЛЕНИЕМ НА УЗКОПОЛОСНУЮ АНТЕННУ	223
Гайнутдинов Т.А., Богданов И.Н., Стрельцова В.А. ПРИЕМНАЯ ТВ КОРОТКАЯ ДВУХЗЕРКАЛЬНАЯ АНТЕННА С ПЛОСКИМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ	226
Горгадзе С.Ф. ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЧ-УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ	229
Громорушкин В.Н. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ТРАНЗИСТОРНЫХ КВ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ	231
Иванюшкин Р.Ю., Козырев В.Б., Нестеров А.А., Разин К.О. РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ПО СХЕМЕ У. ДОГЕРТИ ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ	234

Котов Д.В., Иванюшкин Р.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ X-ПАРАМЕТРОВ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ В РЕЖИМЕ БОЛЬШОГО СИГНАЛА	238
Кочержевский В.Г., Гаранкина Н.И. УЛУЧШЕНИЕ ДИАПАЗОННЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ МАЛЫХ АНТЕНН ЗА СЧЕТ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ	241
Зуев М.Ю., Логинов С.С. ГЕНЕРАТОРЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА, РЕАЛИЗОВАННОЙ НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ ГАЛУА	244
Логинов С.С., Афанасьев В.В. ПОЛИГАУССОВО И КВАЗИДЕТЕРМИНИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ СИГНАЛОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА	247
Мастяев М.А., Должик Д.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RFID ДЛЯ УЧЁТА ГРУЗОВ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ	251
Рябов И.В., Толмачев С.В., Стрельников И.В. ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ СИНТЕЗАТОР ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С ПРОГРАММНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ	253
Седов В.М., Корнюхин В.И. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА ИМПЕДАНСНОЙ АНТЕННЫ	258
Смирнов Е.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ПРИЕМНЫХ АНТЕНН	261
Толмачев С.В., Рябов И.В., Стрельников И.В. ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ СИНТЕЗАТОР ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ	263
Холюков Р.Г. ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ШИМ СИГНАЛА С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДЕЛЬТА-СИГМА МОДУЛЯЦИЕЙ	266

Чебышев В.В., Ястребцова О.И. РАСЧЕТ ПЛАНАРНОЙ ЩЕЛЕВОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ	270
Чиков В.А., Петров А.С., Прилуцкий А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КОСМИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ РАДИОЛИНИИ СВЯЗИ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ	272
Шмаков Н.Д., Иванюшкин Р.Ю. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО УСИЛЕНИЯ В ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ И СВЕРХШИРОКОДИАПАЗОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ НА СОВРЕМЕННЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ	275
Ястребцова О.И. ЯВЛЕНИЕ «ОСЛЕПЛЕНИЯ» В МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ С ОДНОСЛОЙНОЙ ПОДЛОЖКОЙ	280
Агафонов П.А. ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ	282
Айрапетов Д.П. ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОМАСШТАБНОГО АЛГОРИТМА SLAM ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА	284
Исаков Т.Г., Андреев В.В. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЗЛОВРЕДНОЙ АКТИВНОСТИ В DNS-ТРАФИКЕ	287
Барсук И.В. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ СБОРА ТОВАРОВ СО СТЕЛЛАЖЕЙ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ И/ИЛИ ВМЕСТИМОСТЬ ТАРЫ	289
Безруков И.М., Дуплищева Я.В., Барсуков Д.А. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ВИРТУАЛЬНЫХ ЧАСТНЫХ СЕТЯХ. СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ IPSEC И TLS	291
Безумнов Д.Н., Воронова Л.И. О РАЗВИТИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ	293

Володин В.Е., Шевелёв С.В. АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПО ВИРТУАЛИЗАЦИИ ДОМАШНЕЙ СЕТИ НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ NFV	295
Волошина Т.С. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ КЛИЕНТОВ БАНКОВ	297
Гадасин В.А., Гадасин Д.В. АКСИОМАТИКА НЕЧЕТКОСТИ–ЧЕТКОСТИ В ИЕРАРХИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ)	299
Гадасин Д.В., Кривов Д.А., Золотухин П.А. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАННЫХ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПЕРЕЗАГРУЗКЕ ОБЛАКА	302
Руднев А.Н., Ганиев Т.Р. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ НСД ПРИ РАБОТЕ С ИС	304
Руднев А.Н., Ганиев Т.Р. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	306
Руднев А.Н., Ганиев Т.Р. ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТУПА К ДАННЫМ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	308
Руднев А.Н., Ганиев Т.Р. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	310
Гордеев Д.С., Шевелёв С.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	312
Городничев М.Г., Полянцева К.А. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОПАСНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ С МОТИВИРОВАННЫМ ПОВЕДЕНИЕМ	314

Городничев М.Г., Кочупалов А.Е., Писчиков Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕАЛИЗАЦИЙ REST API НА БАЗЕ ПРОТОКОЛОВ HTTP И WEBSOCKET ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ IOS	317
Городничев М.Г., Зыков А.С. ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ	322
Городничев М.Г., Махров С.С., Денисова Е.Н., Булдин И.Д. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ	324
Горячев Д.В., Воронов В.И. БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ	327
Денисов В.Ю., Синева И.С. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ ПРИ ПОМОЩИ ОТКРЫТЫХ БИБЛИОТЕК	329
Долгова Н.Д., Максименко В.Н. АНАЛИЗ КОНТЕНТА УЧАСТНИКА СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОВЕРЕННОГО СУБЪЕКТА	331
Должик Д.С. ОБЗОР И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА PORT-KNOCKING ДЛЯ СКРЫТИЯ СЕРВИСОВ ОТ ВНЕШНИХ УГРОЗ	334
Зенкин Е.И. АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА	336
Калашников Е.А., Кондыбаева А.Б., Оситис А.П. ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ И АНАЛИЗ СЕТЕВЫХ АТАК ПУТЕМ ВЫЯВЛЕНИЯ КЛАССОВ БЕЗОПАСНОСТИ СОГЛАСНО МЕТОДАМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПАКЕТАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	338

Козлов С.В., Кубанков А.Н. О НАПРАВЛЕНИЯХ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ, УПРАВЛЯЮЩИХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО И БОРТОВОГО БАЗИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕССНОЙ ОСНОВЕ	340
Комолов А.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОБРАБОТКИ «БОЛЬШИХ ДАННЫХ»	344
Коршунов А.И., Ивашкин Ю.А. ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОАГЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ	346
Кретов М.И. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ В КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ	349
Куропов А.В., Руднев А.Н. АНАЛИЗ МОДЕЛИ ДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	353
Максименко В.Н. МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ УСЛУГ СИСТЕМЫ «ЭРА-ГЛОНАСС»	355
Максимчук Д.Н., Григораш К.В. ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИКОЙ РАДИОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	357
Митрофанов Е.М. ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПОДВОДНОМ РАСПРЕДЕЛЕННОМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОМ СРЕДСТВЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАВУЧИХ ОБЪЕКТОВ	359
Новосельцев Е.О., Шевелёв С.В. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ ПУТЁМ АНАЛИЗА ТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	363
Панков К.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СКВОЗНЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА	365

Ухин Д.А. СИСТЕМА "ЭРА-ГЛОНАСС" КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ УСЛУГ ЗАЩИТЫ ОТ НСД	367
Большаков А.С. ЗАЩИТА ЗНАКОВ ПОЧТОВОГО ОТПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТОВСТАВКИ АЛГОРИТМА СИММЕТРИЧНОГО КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	369
Ванюшина А.В. ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ IP-ТРАФИКА МЕТОДАМИ МАШИНОГО ОБУЧЕНИЯ	371
Звежинский С.С., Кокурин Л.А. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ	373
Звежинский С.С., Духан Е.И., Ковба М.В. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИГНАЛООБРАЗОВАНИЯ В ПАССИВНОМ ИНФРАКРАСНОМ СРЕДСТВЕ ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЕЙ	376
Симонян А.Г., Нечаев И.А. СРЕДСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ МЕЖСЕТЕВЫХ ЭКРАНОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ РАБОТЫ	379
Симонян А.Г., Новоженин Л.В. ПРИМЕНЕНИЕ ЖУРНАЛОВ СОБЫТИЙ АНТИВИРУСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	381
Симонян А.Г., Русских Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МЕЖСЕТЕВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ЭКРАНИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА НА ИХ ОСНОВЕ МЕЖСЕТЕВОГО ЭКРАНА	383
Симонян А.Г., Чехов А.С. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	385
Ерохин С.Д., Тужилина К.А. ОБНАРУЖЕНИЕ СЕТЕВЫХ АНОМАЛИЙ В ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ	387

Рябинин В.С., Фармаковский М.А. ОБНАРУЖЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА АНОМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМНЫХ ЖУРНАЛОВ	389
Шелухин О.И., Авакян С.Т. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ГИБРИДИЗАЦИИ	391
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	393

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА (РОССИЯ – ЕВРОПЕЙСКИЕ СТРАНЫ) ПО МАТЕРИАЛАМ ПРОЕКТА «BUSINESS INDEX NORTH»

Брыксенков Андрей Александрович,

Зам.директора представительства в Москве, РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия,
ets-spb@mail.ru

Из СМИ: «Ввод нового многоэтажного жилья привел к тому, что выезд из многих поселений Всеволожского района в сторону Санкт-Петербурга, сопряжен с нервотрепкой, связанной с многочасовыми пробками. Учитывая темпы роста жилищного строительства в скором времени, если не решить проблему сегодня, на многих направлениях ведущих в город и из города неизбежен транспортный коллапс. В настоящее время областным Правительством ещё только начата работа по привлечению денежных средств из федерального бюджета на реализацию проекта строительства дорог...» Схожая ситуация в подмосковных Королёве, Балашихе...

Данная цитата из новостной строки, при всей абсурдности сравнения, имеет непосредственное отношение к самому принципу построения телекоммуникационной инфраструктуры Арктического региона в РФ, в отличие от Арктических регионов Западных стран.

Если посмотреть на карту покрытия телекоммуникационным полем Арктического региона (отмеченного зелёным цветом), то увидим, что страны Западной Европы густо залиты зелёной краской, а до России долетели только отдельные брызги. Эти точки в РФ совпадают с местами, где живут люди.

На Арктических территориях Западных стран сначала строятся дороги, появляется связь, потом уже (на готовое) приходит бизнес, развивается туризм, селятся люди.

Как пример – территориальное покрытие сигналом 4G составляет порядка 91%.

В Арктической зоне Российской Федерации (далее – АЗРФ), на пустынных территориях сначала должно появиться население, а уже потом образуются «телекоммуникационные брызги», появится логистическая инфраструктура. Территориальное покрытие сигналом 4G (Архангельская, Мурманская области) на сегодня составляет порядка 2%.

Кто же добровольно захочет ехать в «белое безмолвие», зачем туда идти бизнесу? Поэтому в России, в отличие от Западных стран, Министерство обороны является драйвером развития и освоения Арктики (местами – ресурсодобывающие компании).

Сравним стоимость телекоммуникационных услуг.

Стоимость подключения к услугам сети Интернет (кабель) в России (СЗФО) – обычно бесплатная т.е. – 0 евро (рублей). В Швеции, Финляндии, Норвегии – 564, 1750, 1771 евро соответственно.

Стоимость трафика на скорости 100Мб/сек ежемесячно в России (СЗФО) – 7,9 евро(в рублях). В Швеции, Финляндии, Норвегии – 36,4, 35,1, 68,1 евро соответственно.

Процент от дохода домохозяйства, идущий на оплату услуг сети Интернет (кабель) в России (СЗФО) – 1,7%. В Швеции, Финляндии, Норвегии – 1,92, 1,97, 2,2% соответственно.

Операторы кабельных сетей Западных стран могут позволить с прибылью развивать инфраструктуру сетей даже в условиях Севера, исходя из стоимости услуг, что нельзя сказать об отечественных операторах.



Данная экономическая политика является основой стратегии развития Минкомсвязи в АЗРФ, и вытекает из общего курса освоения Российской Арктики. (Минэкономразвитие, (министерство, которому была поручена разработка проекта программы в развитие Постановления Правительства РФ от 21 апреля 2014 г. N 366), видит только восемь опорных зон развития, а не всю Российскую Арктику, – по одной зоне на каждый субъект Российской Федерации).

I. В России.

В настоящее время условия развития информационно-телекоммуникационной инфраструктуры в Российской Федерации характеризуются высоким уровнем развития сетей связи в крупных населенных пунктах и низким уровнем проникновения услуг связи в малых и удаленных населенных пунктах, в том числе расположенных на территории АЗРФ.

1. Обеспечение универсальными услугами связи

В рамках исполнения поручения Президента Российской Федерации от 15.11.2013 № Пр-2454 Федеральным законом от 03.02.2014 № 9-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О связи» расширен перечень универсальных услуг связи, в частности с использованием точек доступа к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть Интернет), и снижен порог критерия для установки пункта коллективного доступа к сети Интернет с 500 до 250 жителей, что позволит обеспечить современными услугами связи малые и удаленные населенные пункты, в том числе, расположенные на территории АЗРФ. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 26.03.2014 № 437-р (далее – распоряжение № 437-р) обязанность по оказанию универсальных услуг связи на всей территории Российской Федерации возложена на ПАО «Ростелеком».

При этом в целях исполнения распоряжения № 437-р между Федеральным агентством связи (далее – Россвязь) и ПАО «Ростелеком» заключен договор об условиях оказания универсальных услуг связи от 13.05.2014 № УУС-01/2014 (далее – договор). Реализация мероприятий, предусмотренных договором, позволит обеспечить доступом к сети Интернет около 14 тыс. населенных пунктов Российской Федерации с населением свыше 5 млн. человек, в том числе расположенных на территории АЗРФ, на скорости не менее 10 Мбит/с.

В соответствии с договором, в населенных пунктах АЗРФ в период с 2015 по 2018 гг. планируется обеспечить начало оказания универсальных услуг связи с использованием точек доступа в 86 населенных пунктах, с 01.07.2014 универсальные услуги связи оказываются посредством 848 таксофонов.

2. Обеспечения подвижной радиотелефонной (мобильной) связью автомобильных дорог федерального значения.

На всем протяжении участков автодорог, пролегающих на территории АЗРФ (М-8 и М-18), в соответствии с данными Роскомнадзора обеспечено устойчивое функционирование подвижной радиотелефонной связи. (М-54, М-56).

3. Обеспечения современными услугами связи населенных пунктов численностью от 500 человек

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации от 21.11.2013 № Пр-2678 задача по обеспечению доступности современных услуг связи на территориях населенных пунктов Российской Федерации численностью от 500 человек должна решаться силами ведущих операторов связи в рамках собственных инвестиционных программ

без привлечения дополнительного бюджетного финансирования. При этом обеспечение доступности современных услуг связи на территории населенных пунктов численностью 500-10000 осуществляется силами ПАО «Ростелеком» и населенных пунктов численностью 10000-50000 – силами ведущих операторов подвижной радиотелефонной связи.

Согласно показателю к концу 2017 году в населенных пунктах численностью от 10 000 человек должна быть установлена 100-процентная доступность услуг мобильного широкополосного доступа. По данным публичного реестра инфраструктуры и услуг связи Роскомнадзора по результатам 2016 года все населенные пункты этой категории обеспечены доступностью таких услуг с опережением графика.

4. По вопросу обеспечения спутниковой связью АЗРФ.

Спутники связи позволяют качественно, быстро и эффективно организовывать телевизионное и звуковое вещание, связь и передачу данных, доступ к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет». Особенно эффективны спутниковые решения для организации связи в малонаселенных и труднодоступных районах, а также местах со сложным рельефом местности и тяжелыми климатическими условиями.

Государством осуществляется стратегическое управление и контроль развития орбитальной группировки космических аппаратов связи и вещания гражданского назначения, эксплуатирующей организацией которой является ФГУП «Космическая связь».

В связи с пространственным расположением АЗРФ отсутствует возможность полностью обеспечить эти территории спутниковой связью через космические аппараты действующей группировки геостационарных спутников связи и вещания. Арктическая территория России распространяется до 82°с.ш., в то время как устойчивая работа с геостационарными спутниками возможна до 76°с.ш. для антенн спутниковой связи наземного базирования (угол места 5°). Этот фактор обуславливает необходимость создания группировки космических аппаратов связи и вещания на высокоэллиптических орбитах.

Полученные маркетинговые и финансовые оценки показывают **недостаточную инвестиционную привлекательность** проекта аппаратов высокоэллиптических орбитах «Экспресс-РВ» и необходимость в связи с этим поиска путей привлечения бюджетного финансирования для проведения работ по созданию системы в интересах решения государственных задач.

Общий объем финансирования программы по созданию «Экспресс-РВ» носит прогнозный характер и составляет порядка 90 млрд. рублей, из них из средств федерального бюджета планируется привлечь порядка 60 млрд. рублей, выделение которых пока не согласовано.

В настоящее время ФГУП «Космическая связь» продолжает работу над созданием телекоммуникационной инфраструктуры связи для различных объектов в АЗРФ. Для этого предприятие развивает два типа связи с применением космических аппаратов на геостационарной орбите:

Фиксированная связь:

– магистральные спутниковые каналы для предоставления комплексных услуг связи (доступ в сеть «Интернет», передача данных, сотовая связь, телевидение, радио и пр.);

– спутниковых каналов связи и предоставление телекоммуникационных сервисов для труднодоступных станций (далее – ТДС) Росгидромета, Национального парка «Русская Арктика», «Российского Центра освоения Арктики», экологических организаций и др.

Подвижная связь:

– широкополосные услуги связи для морских судов, работающих в акватории северных морей России и на маршрутах Северного морского пути.

II. В зарубежных странах.

Для Западных стран Арктического региона анахронизмом звучит понятие «аналоговое вещание», «аналоговая связь» и тем более «таксофон».

В связи с фактически 100% покрытием сигналом 4G территории страны, вопрос о создании спутниковой группировки на ВЭО так же не стоит.

За основу построения сетей взято развитие широкополосного доступа.

1. Широкополосный доступ.

На примере Норвегии можно отметить, что мобильные операторы инвестируют средства в сети и другую инфраструктуру на коммерческой основе. Это относится как к выбору технических решений, так и к географическому размещению базовых станций, а также к зоне покрытия. Эти инвестиции включают модернизацию существующих базовых станций, строительство новых базовых станций и расширение пропускной способности сетей.

Отчет об электронных коммуникациях за 2015 год показывает, что в 2015 году мобильные операторы вложили в мобильные сети 2,43 млрд норвежских крон (примерно 17,7 млрд руб.). Соответствующие показатели за 2013 и 2014 годы составили 2,64 и 2,55 млрд норвежских крон (19,2 и 18,6 млрд руб.) соответственно. Сюда относятся инвестиции в основные материальные средства.

Дополнительно были сделаны инвестиции в частотный ресурс. Они составили порядка 2,8 млрд норвежских крон (20,4 млрд руб.).

Кроме того, мобильные операторы должны платить ежегодные сборы и сборы за частотные лицензии.

В целом, по итогам первого полугодия 2016 года сети 4G охватили 99,7% населения. На ту же дату в 2014 и 2015 годах охват населения составлял 83,3 и 95,2% соответственно.

На конец первого полугодия 2016 года сети 4G покрывали 91,2% территории Норвегии. На ту же дату в 2014 и 2015 годах зона охвата составлял соответственно 24,2 и 49,1%.

Оценки зоны покрытия основаны на значении силы сигнала -114 дБ. Если уровень сигнала ниже, считается, что покрытия нет.

Между технологиями различных операторов и мобильными сетями существует значительное дублирование. Однако в некоторых местах могут быть доступны только одна или две мобильные сети.

Около 91,7% населения охвачено тремя мобильными сетями, тогда как 1,7% населения охвачено лишь одной мобильной сетью.

2. Широкополосный доступ через кабельные линии связи.

Количество пользователей на основе ВОЛС в Норвегии ежегодно увеличивается. На конец первого полугодия 2016 года на рынке жилой недвижимости насчитывалось почти 691 тыс. таких пользователей. Это увеличение более чем на 104 тыс. пользователей по сравнению с концом первой половины 2015 года и самый большой когда-либо наблюдавшийся ежегодный рост.

По состоянию на конец первого полугодия 2016 года 82% пользователей на основе ВОЛС имели выходную скорость загрузки 30 Мбит/с и более. Для сравнения, на конец 2014 года соответствующая доля составляла 67%. 14 процентов абонентов широкополосного доступа имеют скорость ниже 100 Мбит/с или более (в конце первой половины 2017 года). Для сравнения, на конец 2014 года, соответствующая доля составила 5%.

Выводы.

Ввиду высокоширотных факторов и низкой плотности населения создание в АЗРФ телекоммуникационных систем в большинстве случаев является планомерно – убыточным и, несмотря на эти факторы, коммерчески обоснованным в странах Западной Европы (при сходных демографических и географических данных).

Одна из причин – стоимость трафика. При годовой стоимости пакета услуг в России – 100-150 евро, в странах Западной Европы она составляет 600-700 евро плюс высокая стоимость подключения для пользователей.

В 2015-2016 гг. в Западных Арктических странах наблюдался резкий скачок развития телекоммуникационных сетей, и на сегодня сети фактически построены. В России такового не предвидится. Сказывается отсутствие политической воли, средств, как у населения, так и у государства.

В настоящее время развитие систем связи (без учета интересов силовых ведомств) в АЗРФ идет фактически без привлечения бюджетных средств. Благодаря отчислениям всех операторов связи (1,2% от выручки – порядка 8,5 млрд руб. в год), полученной от оказываемых услуг связи и обязательствам операторов мобильных сетей по созданию сетей мобильной связи, создаются локальные телекоммуникационные сети в основном только в местах компактного проживания населения. Напомним, что Норвегия, несопоставимая по площади с Россией, тратила на аналогичные цели (в эквиваленте НОК) порядка 20 млрд руб в год.

Локальные сети создают и ресурсодобывающие компании, но при этом большая часть территории АЗРФ вообще остаётся без телекоммуникационного поля.

Поэтому, о каком-либо системном, инновационном, промышленном и социальном развитии Российской Арктики всерьез говорить сложно. Каждому, кто приезжает в Заполярье, бросаются в глаза прежде всего нарастающая разруха и обезлюживание территорий.

Наверное, можно было пойти другим путём. Активное развитие отдельных отраслей экономики и промышленности в АЗРФ в целом, а не отдельных «опорных зон» (помимо добычи полезных ископаемых) может оказать мультипликативный эффект на экономическую активность в целом, что может стать базисной методологической позицией. К таким отраслям предлагаем отнести в первую очередь транспорт и транспортные телекоммуникационные сети.

На примере зарубежных стран, входящих в Арктический совет, таких как Финляндия, Швеция, Норвегия, можно проследить, как развитие именно указанных отраслей и технологий, а не активность Министерств обороны привело, в том числе, и к росту индустрии туризма, которая стала, в свою очередь, драйвером, точкой роста для экономики северных регионов этих стран.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИЯ РАДИОКАНАЛОВ

Самойлов Александр Георгиевич,

д.т.н., профессор Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
г. Владимир, Россия, ags@vlsu.ru

Рассмотрены вопросы математического моделирования и имитации на этой основе многолучевых радиоканалов передачи информации. Разработаны структурные схемы имитаторов многолучевых радиоканалов и рекомендации по их построению.

Ключевые слова: имитатор радиоканала, замирания сигналов, распространение радиоволн, ослабление сигнала, многолучевость, математическая модель.

Повышение эффективности проектирования и производства технических систем одна из важных задач на пути прогресса. Среди множества возможных решений этой задачи особую роль играет широкое применение модельных экспериментов, значительно сокращающих сроки выполнения проектных работ и работ по техническому контролю и верификации промышленной продукции. Для развития телекоммуникаций наибольший интерес представляет моделирование радиоканалов передачи информации и их имитация, поскольку именно радиоканалы решающим образом влияют на качество и достоверность передачи информации.

Моделирование – это создание и изучение моделей реально существующих объектов и процессов для их объяснения и возможности предсказания каких-либо явлений. А имитация в технических науках – это воспроизведение с возможной точностью процессов и явлений для проведения исследовательских, опытно-конструкторских и производственных работ по настройке и верификации изделий. И если моделью радиоканала может быть его математическое описание, то имитатор радиоканала это устройство к которому подключаются передающее и приемное устройства, воспроизводя таким образом действующую систему передачи информации.

Имитатор создается на основании модели радиоканала, поэтому первой задачей при построении имитатора является анализ свойств радиоканала и создание на этой основе его модели. Известны имитаторы, построенные на базе физических моделей радиоканалов. Например, имитатор, разработанный в США, со средой распространения в воде [1], в которой возбуждаются ультразвуковые волны. Исследуемые системы передачи информации подключались через передающий и приемный ультразвуковые преобразователи, живые рыбы создавали интерференцию волн, а пузырьки воздуха моделировали замирания. Однако физические модели не нашли практического применения из-за невозможности воспроизведения реальной статистики искажений и замираний сигналов и сложностей сопряжения с ними систем связи.

Наиболее широкое применение нашли имитаторы, построенные путем моделирования на ЭВМ управляющих сигналов, на основе предварительно разработанной математической модели радиоканала, с последующим управлением этими сигналами исполнительными устройствами, изменяющими амплитуду, фазу, частоту и время прохождения сигналами радиоканала, максимально адекватно статистике, наблюдаемой в имитируемом радиоканале.

По регламенту Международного союза электросвязи радиоволны разделены на 12 диапазонов, показанных в таблице 1, от $0.3 \cdot 10^N$ Гц до $3 \cdot 10^N$ Гц, где N – номер диапазона. Российский стандарт близок к регламенту, но в отече-

ственной литературе часто встречаются другие названия диапазонов – короткие волны, УКВ, ВЧ, СВЧ, или метровые, дециметровые, сантиметровые, миллиметровые, субмиллиметровые волны.

Таблица 1

Используемые диапазоны частот

ELF	SLF	ULF	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF	THF
Крайне низкие (КНЧ)	Сверхнизкие (СНЧ)	Инфранизкие (ИНЧ)	Очень низкие (ОНЧ)	Низкие (НЧ)	Средние (СЧ)	Высокие (ВЧ)	Очень высокие (ОВЧ)	Ультравысокие (УВЧ)	Сверхвысокие (СВЧ)	Крайне высокие (КВЧ)	Гипервысокие
100000 км-100 км			100 км-1 км		1000 м-1 м		100 см-1 см		10-0,1 мм		
3-30	30-300	300-3000	3-30	30-300	300-3000	3-30	30-300	300-3000	3-30	30-300	300-3000
Гц			кГц		МГц		ГГц				

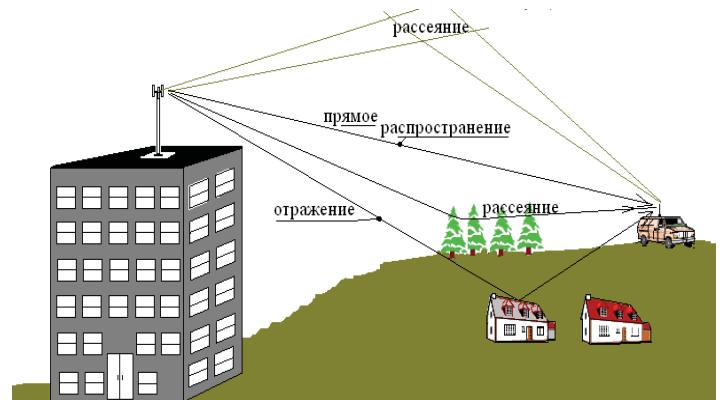


Рис. 1. Многолучевость в каналах радиосвязи

Из 12 диапазонов радиоволн к настоящему времени 10 теоретически и экспериментально исследованы достаточно подробно и математические модели их известны [2]. Наиболее интенсивно сейчас используются частоты ВЧ и СВЧ диапазонов и активно осваивается диапазон миллиметровых волн КВЧ. Такие радиоканалы можно представить в виде линейного четырехполюсника с переменными случайными параметрами и построение их математических моделей сводится к разработке математического описания пространственно-временной передаточной функции радиоканала. Задача усложняется тем, что широко используемые радиоканалы являются многолучевыми, как показано на рис. 1, что вместе с изменением свойств канала во времени приводит к появлению флуктуаций передаточной функции и возникновению замираний.

Проблема описания радиоканалов заключается в нестационарности и неэргодичности их передаточных функций.

Нестационарность приводит к изменению свойств канала во времени, а неэргодичность к отсутствию взаимосвязи между плотностью распределения вероятностей передаточной функции и временем пребывания случайной функции в определенном интервале значений, то есть с длительностью замираний сигнала.

Решение проблемы было найдено за счет экспериментального выявления интервалов локальной стационарности передаточной функции, что упростило задачу построения математических моделей радиоканалов. Экспериментально были определены два интервала локальной стационарности T_1 и T_2 и процессы изменения сигналов в них стали называть быстрыми и медленными замираниями. При этом построение математической модели радиоканала свелось к определению плотности вероятностей и корреляционных функций замираний, стационарных на интервалах локальной стационарности и описанию суточного и сезонного хода первых оценок процесса огибающей сигнала в радиоканале. Следует отметить, что длительность интервалов локальной стационарности зависит от используемого частотного диапазона. Так для тропосферной связи дециметрового диапазона принят интервал быстрых замираний $T_1=5$ мин и медленных замираний $T_2=3$ ч., а для сантиметрового диапазона эти значения снизились до $T_1=2$ мин, $T_2=2$ ч.

Было разработано много моделей многолучевого распространения сигналов [3-7], но в большинстве из них математические модели сводились к релейскому описанию быстрых замираний, что существенно упрощало выполнение анализа при создании новых систем. Но еще в работах [8, 9] на основании многочисленных экспериментов, проведенных в коротковолновом и дециметровом диапазонах волн, было доказано, что релейское распределение замираний наблюдается не более чем в 70% времени сеансов связи, а в остальное время могут наблюдаться более глубокие замирания сигналов.



Рис. 2. Радиостанция Р-420 на позиции

Разработчики радиоаппаратуры часто идут самым простым путем, описывая замирания в многолучевых радиоканалах релейским распределением, так как с ним легко оперировать. Но вот реальный пример. Разработал МНИРТИ радиостанцию дальней тропосферной связи Р-420, показанную на рис. 2, и заложили по расчетам 450 км дальности связи. Но испытания показали, что только на 400 км станция работает с заданной достоверностью не хуже, чем 10^{-5} . Тогда

мы провели такую работу, огибающую сигнала разделили на участки по 5 минут, построили гистограммы, определили случайные процессы и выяснили, что с учетом усеченно-нормального закона, который имел место в 12% времени от месячного сеанса связи при испытаниях, быстрые замирания могут быть до 10 Дб глубже, чем при релейском распределении. Стало понятно, почему провалилась станция на испытаниях и поэтому на вооружение она была принята с дальностью интервала до 400 км.

Анализ показывает, что передаточные функции каналов с рассеянием и с множественными отражениями практически совпадают [10], поэтому при имитации радиоканалов вероятностную составляющую модуля передаточной функции канала можно описать [8] четырехпараметрическим законом распределения вероятностей (1), частными случаями которого являются распределение Релея, Райса, усечено - нормальное распределение вероятностей и другие. Фаза принимаемого сигнала ММВ также флуктуирует по четырехпараметрическому закону, зависящему от параметров закона.

Такая модель соответствует теории рассеяния радиоволн на точечных неоднородностях и универсальна, так как при различных значениях параметров приводит [7] к различным законам распределения замираний, встречающихся на линиях связи. И меняя параметры четырехпараметрического закона распределения вероятностей не сложно прийти к тем законам распределения вероятностей флуктуаций амплитуды и фазы, которые наблюдаются у сигналов, прошедших через реальный моделируемый радиоканал многолучевой радиосвязи.

Медленные замирания сигналов в каналах связи возникают из-за изменения характеристик и свойств канала во времени. Большинство исследователей рекомендуют описывать такие замирания логарифмически-нормальным случайным процессом, что многократно подтверждалось на практике



Рис. 3. Имитатор радиоканала с селективно-частотными замираниями

Для доказательства правомерности и состоятельности такой модели многолучевого радиоканала нами была проведена серия экспериментальных исследований радиоканалов [8], проводившиеся в различных климатических и географических условиях на трассах связи Уральск – Актюбинск, Владимир – Орел, Норильск – Игарка, Дзержинск – Муром и

др. Результаты экспериментальных исследований подтвердили правомочность четырехпараметрической модели для быстрых замираний в многолучевых радиоканалах и показали, что не более чем в 70% времени сеансов связи эта модель упрощается и сводится к описанию передаточной функции многолучевого радиоканала распределением Релея.

За годы исследований во Владимирском государственном университете имени А.Г. и Н.Г. Столетовых сложилась научная школа по направлению моделирования и имитации радиоканалов связи и нами разработаны и переданы в промышленность уже три типа имитаторов радиоканалов и началась разработка имитатора миллиметрового диапазона частот.

Отличия разработанных нами имитаторов друг от друга обусловлены спецификой радиоканалов разных частотных диапазонов, желанием вводить внешние помеховые воздействия на сигналы, непрерывным совершенствованием элементной базы. Например, имитатор радиоканала, построенный нами по заказу Китайской Народной Республики, фото которого приведено на рис. 3, был реализован с многоотводной широкополосной линией задержки, отводы которой имитировали различные лучи прохождения сигнала от передатчика к приемнику.

Появившиеся в последние годы при развитии технологии МЭМС управляемые широкополосные линии задержки позволяют нам упростить схему имитатора и еще больше приблизить его свойства к параметрам реальных радиоканалов передачи информации.

Каждый канал имеет свои особенности, что требует создания новых математических моделей и совершенствования структуры имитатора радиоканала. Например, в миллиметровом диапазоне частот подстилающая поверхность становится источником множества отраженных сигналов, так как даже нормы на дорожные покрытия допускают глубину неровностей до одного сантиметра. Также придется учитывать и доплеровские сдвиги частоты, поскольку при несущих частотах в десятки или сотни гигагерц сдвиги частоты для высокоскоростных абонентов будут превышать допустимое отклонение стабильности частоты передатчика.

Важный вопрос подтверждения адекватности имитаторов реальным радиоканалам решается путем сопоставления по критериям согласия статистики искажений и замираний сигналов на реальных трассах связи и статистик, воспроизводимых имитатором. Оценка распределений проводится по критериям согласия Пирсона, Колмогорова, χ^2 , Крамера – Мизеса – Смирнова и др.

В заключении необходимо сказать, что имитаторы радиоканалов являются инструментарием, позволяющим разработчикам совершенствовать новые системы и устройства в лабораторных условиях моделируя различные характеристики радиоканалов (трассы через растительность, смог, с гидрометеорами, разными скоростями движения абонента и т.д.) и сезонные условия с возможностью многократных повторов статистики замираний и помеховых воздействий на исследуемые системы. Производители радиосистем передачи информации в свою очередь могут с помощью имитаторов радиоканалов оценивать качество изготовленных систем и выполнять верификацию их параметров не тратя время и средства на проведение дорогостоящих испытаний с организацией опытных трасс радиосвязи.

Литература

1. Manders A.M. A multipath simulator for use in evaluation of space raft landing and communication systems. Presented at Third Space Congress, Cocoa Beard. Fla, March, 1966, p. 117-121.
2. Самойлов А.Г., Самойлов С.А., Альшрайдах А.М., Жоау А.М. Имитация многолучевых каналов передачи информации // Проектирование и технология электронных средств. 2014, №2. С.12-18.
3. Самойлов А.Г. Имитаторы многолучевых радиоканалов // Проектирование и технология электронных средств. 2003, №4. С.32-36.
4. Герасимов А.Б., Кренев А.Н., Соловьев Д.М. Цифровой имитатор радиоканала с селективно-частотными замираниями // Вестник Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова. 2014, №1. С.54-58.
5. Z. Pi and F. Khan. 'An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems // IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 6, pp. 101-107, Jun. 2011.
6. Самойлов А.Г., Жоау А.М. Оценка замираний сигнала на линиях спутниковой связи // Проектирование и технология электронных средств. 2014, №2. С.19-25.
7. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн // М.: ЛЕНАНД, 2009. 496 с.
8. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Связь, 1969. 376 с.
9. Галкин А.П., Лапин А.Н., Самойлов А.Г. Моделирование каналов систем связи. М.: Связь, 1979. 96 с.
10. Альшрайдах А.М., Самойлов А.Г. Верификация устройств помехоустойчивого кодирования // Проектирование и технология электронных средств. 2013, №1. С.48-51.

ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (Li-Fi СВЯЗЬ): СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Андреев Всеволод Владимирович,

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары, Россия, andreev_vsevolod@mail.ru

Исследование, разработка и внедрение Li-Fi связи перспективна с точки зрения развития современных цифровых технологий, включая «умный» дом и город (поселение). Одним из эффективных приложений может стать развитие технологии «умного» освещения, предоставляющего с помощью частного или общественного освещения, включая уличные фонари, доступ к инфокоммуникационным сетям. Лампы освещения в простейшем случае могут выполнять роль точек однонаправленного доступа к инфокоммуникационной сети. При этом в пакетах, загружаемых в приёмные устройства (смартфоны, планшеты, ноутбуки и другие мобильные устройства), могут содержаться координаты местности, карта местности и другая важная информация. При установке совместно с системой освещения светочувствительных приёмников будет обеспечена двухсторонняя связь.

Li-Fi связь в зоне видимости применяемого светового излучения способен обеспечивать большую пропускную способность (диапазон частот видимого излучения от $3,84 \cdot 10^{14}$ Гц до $7,89 \cdot 10^{14}$ Гц) и, вследствие использования коротких импульсов (например, скорость переключения светодиода составляет менее 1 мкс), очень высокую скорость передачи данных между смартфонами, планшетами, ноутбуками и другими мобильными устройствами. Другой важный момент состоит в очень высокой степени безопасности по отношению к попыткам несанкционированного прослушивания канала связи. Это результат того, что Li-Fi связь функционирует только в зоне видимости между излучателем и приёмником.

Другим аргументом в пользу исследования, разработки и внедрения технологии Li-Fi связи является отсутствие электромагнитных излучений радиодиапазона. Такой вид связи может применяться там, где присутствие подобного излучения нежелательно (шахты, нефтехимические заводы, больницы и здравоохранение, авиация). Кроме того, встречаются люди, сверхчувствительные к радиочастотам. Развитие сети Li-Fi связи освободило бы радиочастотный спектр, а также разгрузило бы сотовые сети, позволив обойтись меньшим количеством сотовых станций.

Технология Li-Fi связи в системе ««умный» город (населённый пункт) – «умное» освещение» великолепно подходит в качестве основы для развития чрезвычайно точных информационных и развлекательных служб, основанных на определении текущего местоположения мобильного устройства пользователя (LBS). К таким услугам относятся, в частности, реклама и навигация, позволяющие получателю своевременно получать соответствующую информацию.

В последние годы активно используются смартфоны, планшеты, ноутбуки и другие мобильные устройства в учебном процессе [1, 2]. В связи с этим Li-Fi – это перспективная технология, улучшающая скорость доступа в Интернет с высокой пропускной способностью. Она полезна и эффективна для проведения видеоконференций, быстрой загрузки цифровых учебников и онлайн-обучения.

В зонах стихийных бедствий (землетрясения, циклоны, цунами, ураганы и другие) могут быть быстро установлены

лампочки Li-Fi связи. Хорошие перспективы применения технологии Li-Fi для обеспечения устойчивой ближней подводной связи, так как сигналы радиочастотного спектра сильно поглощаются в воде, а акустические волны имеют низкую пропускную способность и могут оказать вредное воздействие на флору и фауну моря.

Следует назвать и другие аргументы в пользу исследования, разработки и внедрения технологии Li-Fi [3]. Так, интенсивный обмен потоками данных, часто имеющий место на современном производстве, вынуждает разрабатывать каналы связи, нечувствительные (или слабо чувствительные) к помехам различной природы и происхождения. В качестве примера можно привести объекты электроэнергетики, функционирующие в условиях значительного числа источников электромагнитных помех естественного и искусственного происхождения. Следовательно, чрезвычайно важна разработка новых систем обмена данными, эффективно работающих в той или иной окружающей электромагнитной обстановке. Кроме того, использование технологии Li-Fi снизит вес оборудования и повысит гибкость его размещения вследствие отказа от кабелей.

В работе [4] отмечено, что в связи с быстрым ростом числа пользователей гаджетов, а также активной разработкой и внедрением разнообразных приложений многие исследователи стали изучать возможность использования видимого света для связи на коротких расстояниях. Если источником видимого света является светодиодная лампа, то её включение соответствует двоичной «1», а его выключение – двоичному «0». Так как скорость переключения такой лампы менее 1 мкс, то человеческий глаз не замечает её мерцание. В результате в Li-Fi технологии передача информации осуществляется с помощью двоичных кодов. Для приёма импульсов света и восстановления исходных данных может применяться фотодетектор. Была достигнута скорость передачи данных 10 кбит / с на расстоянии более 40 см.

В статье [5] указано, что соединение Li-Fi ограничено областью светодиодных ламп, и в результате этого внешний доступ к сети невозможен. Высокая безопасность Li-Fi технологии является причиной широкой её востребованности. Например, системы промышленной автоматизации, безопасное и высокоскоростное подключение к Интернету которых крайне важно для производственного процесса, могут стать областью обширного применения Li-Fi технологии. Кроме того, Li-Fi может использоваться в военных сетевых системах. Финансовые отделы компаний или банков могут использовать Li-Fi связь для создания более безопасных сетей.

В ближайшем будущем Li-Fi технология позволит устройствам, содержащим светодиоды, например, огни автомобилей, уличное освещение, экраны и бытовая техника, создавать свои собственные сети для высокоскоростной и безопасной связи [7]. В статье [6] показано, что частота ошибок в битах (BER) при применении кодированной модуляции Адамара (HCM) для связи с помощью видимого света ниже по сравнению с мультиплексированием с ортогональным

частотным разделением каналов (OFDM) для всех уровней мощности. Причиной является то, что в случае использования кодированной модуляции Адамара отношение пиковой мощности сигнала к его средней мощности (PAPR) существенно ниже. Для средней оптической мощности 10 дБ достигнутая частота ошибок в битах составляет около $8 \cdot 10^{-2}$ для OFDM и $2 \cdot 10^{-2}$ для HCM. Сделан вывод, что HCM лучше подходит для связи с помощью видимого света.

В работе [7] выделены основные проблемы развития технологии Li-Fi:

- 1) необходимость прямой видимости для связи;
- 2) помехи от внешних источников света, например, таких как солнце;
- 3) возможность перехвата сигналов на открытом воздухе;
- 4) трудности, вызванные многократным отражением, которые могут вызывать межсимвольные помехи.

В работе [8] исследована возможность интеграции Li-Fi с солнечной панелью. Система состоит из светодиодной лампы, солнечной панели и солнечного концентратора. Все данные, подлежащие передаче, поступают в драйвер лампы, а затем – в светодиодную лампу, которая в виде закодированного излучения видимого диапазона отправляет данные на солнечные панели. В последних осуществляется декодирование данных, передаваемых излучением светодиодной лампы. Солнечный концентратор фокусирует на элементах солнечной панели поступающее солнечное излучение. В системе Li-Fi связь солнечная панель выступает в качестве широкополосного приемника.

В статье [9] выполнен обзор методов модуляции в технологии Li-Fi, в которой могут быть реализованы методы прямой модуляции интенсивности света. Использовать методы модуляции в случае одной несущей достаточно легко, однако в частотно-избирательных каналах Li-Fi требуются сложные вычислительные процессы обработки. С другой стороны, методы модуляции несколькими несущими (MCM) предоставляют хорошее решение для Li-Fi с точки зрения мощности, а также спектральной и вычислительной эффективности. В частности, основанные на OFDM методы модуляции предлагают практическое решение для Li-Fi, особенно когда постоянные токи изменяются и адаптивные способы формирования бит и мощности применяются. Время, частота, пространство, цвет и их комбинации могут использоваться для модуляции в Li-Fi технологии. В то же время,

методы модуляции в Li-Fi связи должны обеспечивать высокоскоростную связь и быть пригодными для большинства режимов освещения. Детально принципы светодиодной Li-Fi связи рассмотрены в работе [10].

Таким образом, реализация Li-Fi технологии способна быть весьма перспективной, а её применения – очень разнообразными.

Литература

1. Wu Y.T. Research trends in technological pedagogical content knowledge (TPACK) research: A review of empirical studies published in selected journals from 2002 to 2011 // *British Journal of Educational Technology*. 2013. V. 44, №3. P. E73-E76.
2. Kontkanen S., Dillon P., Valtonen T., Eronen L., Koskela H., Väisänen P. Students' experiences of learning with iPads in upper secondary school – a base for proto-TPACK // *Education and Information Technologies*. 2016.
3. Андреев В.В. Исследование технологии беспроводной передачи информации с помощью модулированного оптического излучения (Li-Fi связь) // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2017. Т. 8. №2. С. 113-114.
4. Shamsudheen P., Sureshkumar E., Job Ch. Performance Analysis of Visible Light Communication System for Free Space Optical Communication Link // *Procedia Technology*. 2016. V.24. P. 827-833.
5. Isik M.F., Yartasi B., Haboglu M.R. Applicability of Li-Fi Technology for Industrial Automation Systems // *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*. 2017. V. 5, №1. P. 21-25.
6. Shrestha S. Hadamard Coded Modulation for Visible Light Communication // *Journal of Nepal Physical Society*. 2017. V. 4, №1. P. 93-96.
7. Perwej Y. The Next Generation of Wireless Communication Using Li-Fi (Light Fidelity) Technology // *Journal of Computer Networks*. 2017. V. 4. №1. P. 20-29.
8. Agarwal S., Omer Y., Patil T.B., Sawant S.C. Solar Panel Cells as Power Source and Li-Fi Data Nodes Integrated with Solar Concentrator // *International Journal of Engineering and Applied Computer Science*. 2017. V. 2, №5. P. 172-175.
9. Islim M.S., Haas H. Modulation Techniques for Li-Fi // *ZTE Communications*. 2016. V.14, №2. P. 29-40.
10. Dimitrov S., Haas H. Principles of LED Light Communications: Towards Networked Li-Fi. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2015. 224 p.

ОЦЕНКА ЗАДЕРЖЕК ПАКЕТОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Бирюков Николай Леонидович,

к.т.н., с.н.с., Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина, nlbir2@ukr.net

Триска Наталья Романовна,

к.т.н., с.н.с., Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина, ntriska@ukr.net

Шварц Михаил Львович,

к.т.н., МТУСИ, Москва, Россия, mschwartz@srd-mtuci.ru

Проведена оценка задержек пакетов RTP с учетом особенностей передачи трафика в современных пакетных сетях. Было исследовано возникновение коллизий между пакетами RTP и пакетами трафика общего вида и их влияние на качество передачи сигналов точной частоты и времени для различных вариантов загрузки сети. Намечены направления дальнейшего развития предложенной модели.

1. Введение

Современные телекоммуникационные стандарты (в частности, перспективная концепция развития телекоммуникаций 5-го поколения – 5G) предъявляют высокие требования к техническим характеристикам и инфраструктуре сети. При этом одним из критических условий реализации концепции 5G остается минимизация дисперсии задержки пакетов до величин менее 1 мкс вплоть до десятков нс [1]. Величина задержки, как и другие показатели качества работы телекоммуникационной сети, непосредственно связана с параметрами синхронизации по тактовой частоте и времени. Поэтому особую актуальность приобретают задачи повышения точности частоты и времени, причем традиционные методы и модели необходимо адаптировать к особенностям работы сетей нового поколения [2-5]. В данной статье исследуется модель цифровой передачи в сети с учетом особенностей пакетного трафика.

2. Постановка задачи и исследуемая модель

Современные транспортные сети используют асинхронные пакетные технологии передачи и коммутации (Ethernet-TP, IP/MPLS-TP), ориентированные на работу в плезихронном режиме (когда генераторное оборудование элементов сети работает независимо друг от друга, без жесткой системы тактовой сетевой синхронизации – ТСС). Однако опыт построения и эксплуатации сетей с частично или полностью пакетной инфраструктурой показал, что при отсутствии четких требований к качеству синхронизации сетей с асинхронным способом передачи обеспечить необходимое качество обслуживания очень сложно [1, 5]. Поэтому практический интерес представляет количественная оценка качества передачи пакетов (в частности, величины задержки) при различных условиях работы сети в контексте выбора оптимальных условий передачи сигналов точной частоты и/или времени и, в частности, анализ вариантов загрузки, предложенных в гипотетических моделях Рекомендаций ITU-T [6, 7] и приложений к ним.

В [8] была разработана и проанализирована модель базового элемента цифрового тракта плезихронной сети при синхронном способе передачи (ССП), включая логическую схему работы буферной памяти (ЕМ – Elastic Memory). Однако при асинхронном способе передачи (АСП), используемом в большинстве перспективных телекоммуникационных технологий, режим работы буферной памяти отличается от процесса при СПП в реальном масштабе времени, рассмотренного в [8]. Цифровой поток предварительно нарезается на фрагменты разной длины (пакеты), и передача пакетов

проводится в относительном масштабе времени, что допустимо для передачи данных, не критичных к задержкам и/или дисперсии времени. При этом длительность сеанса непрерывной передачи оказывается меньше периода рассогласования. Однако разброс времени отправки и приема пакетов, а также возможное возникновение очередей при записи и считывании из памяти приводит к соответствующему разбросу задержек, требования к которым для ряда услуг на 2 порядка величин жестче самой величины задержки. Модель буферной памяти для пакетной передачи (АСП) представлена на рис. 1. Источники пакетов различных типов (представленных далее в табл. 1 и на рис. 2), на рис. 1 показаны в виде генераторов тактовых частот записи ($Wr1...3$) и считывания (Rd), с возможными задержками – очередь (Waiting Line).

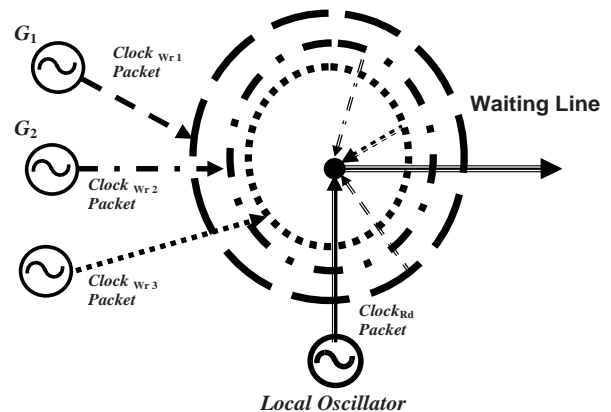


Рис. 1. Модель буферной памяти при пакетной передаче (АСП)

Влияние загрузки тракта с пакетным способом передачи на качество синхронизации по фазе при использовании протокола передачи сигналов точного времени RTP исследовалось в [3,4]. В частности, экспериментальным путем было установлено, что с ростом загрузки тракта начальная задержка возрастает пропорционально загрузке в последовательности 180, 270, 410, 650 мкс при загрузке 20, 40, 60 и 80%, соответственно. При этом средняя задержка на коммутатор изменяется от 18 до 65 мкс, а при возрастании загрузки распределение задержек может изменяться достаточно произвольно [8].

В среднем, если нагрузка в тракте больше 1/3 пропускной способности, то показатели передачи и подстройки частоты и шкал времени плохо контролируются. С другой стороны, наблюдение за реальным трафиком показывает не-

удовлетворительное качество синхронизации при малых уровнях загрузки, а порой нечувствительность к всплескам трафика.

Влияние эрланговской нагрузки тракта на неопределенность при двухстороннем обмене метками точного времени между ведущим и ведомым генераторами показывает существенное отличие от идеальной модели обмена RTP [9]. На следующем этапе необходимо исследовать возникновение коллизий, то есть такие сценарии, когда момент считывания пакета RTP наступает во время еще незавершенного считывания пакета трафика общего вида. Другими словами, пакет RTP, который должен следовать строго через заданный интервал времени, совпадает во времени с другим пакетом или “наступает на хвост” предшествующего пакета и вынужден ожидать в течение случайного интервала времени, пропорционального времени считывания этого “хвоста”. Ниже кратко представлены результаты проведенного моделирования.

3. Результаты моделирования

При моделировании рассматривалась передача пакетов на интервале времени длительностью 1 с со скоростями 10 Мбит/с, 100 Мбит/с, 1 Гбит/с и 10 Гбит/с. Соответственно, за 1 секунду пропускается $nbil = 10^7$; $nbil = 10^8$; $nbil = 10^9$; $nbil = 10^{10}$ бит. Были использованы варианты загрузки, рекомендованные МСЭ-Т (G.8261/Y.1361 [6], Appendix VI) в виде моделей 1 и 2, которые представлены на рис. 2. На рисунке 3 показана модель 1 секунды из 16 равномерно расположенных пакетов RTP (формат 64 байта) и 16 интервалов пакетов общей загрузки (формат согласно табл. 1).

Распределение видов нагрузки при 100% заполнении бит на интервале 1 секунда показано в табл. 1 (столбцы 6 и 9). Число пакетов с округлением в меньшую сторону приведено в столбцах 7 и 10. На интервале 1 секунда равномерно следовало от 16 до 128 пакетов RTP. Например, при скорости следования 16 пакетов в секунду период следования составлял $T = 62,5$ мс.

PS – Packet Size

Исследование совпадений можно представить следующим образом. На равномерно составленной сетке пакетов RTP 16×512 бит ($8192 = 2^{13}$) на 1 интервал между пакетами приходится примерно 625 тысяч бит, которые могут быть заполнены пакетами длиной ~ 2000 бит (5%) и $\sim 12\,000$ бит (15%) в модели 1. Вероятность попадания бита трафика в площадь пакета RTP составляет величину порядка $\sim 5 \cdot 10^{-4}$. Если пакет RTP попадает на “хвосты” пакетов трафика, то это приводит к задержке пакета RTP на случайное число бит, которое можно выразить в единичных интервалах (ЕИ) времени. Случайные изменения ± 1 ЕИ, в зависимости от частоты этих событий, представляют джиттер или вандер пакетов.

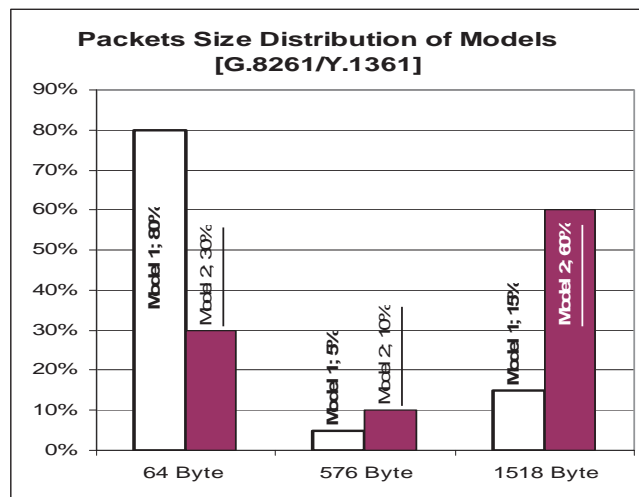


Рис. 2. Модели загрузки в соответствии с G.8261/Y.1361, Appendix VI

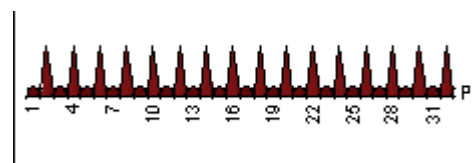


Рис. 3. Формат моделирования 1 секунды нагрузки

Основные результаты и направления дальнейших исследований

Результаты статистического моделирования показали, что число совпадений пакетов RTP с пакетами трафика соответствует биномиальному распределению (1 момент), а распределение интервалов между совпадениями близко к экспоненциальному распределению. Представленная модель требует дальнейшего изучения и развития. В частности, требуется уточнение вида распределения между коллизиями, вида распределения задержек при нагрузке разного вида. На практике важно знать количественные оценки частоты событий, размер смещения и зависимость этих величин от интенсивности нагрузки (трафика). Необходимо провести сравнение полученных результатов с известными результатами других подобных исследований, а также натурного моделирования. С точки зрения эксплуатации сетей синхронизации нового поколения (работающих на базе протокола RTP), также актуальны вопросы выбора оптимальных метрик и обработки методик измерений параметров синхронизации по тактовой частоте, фазе и времени.

Таблица 1

PS, Byte	Model 1	Model 2	PS, bit	Number bit for PS Class			Number bit for PS Class		
				Models 1 for 10^7 bit			Model 2 for 10^7 bit		
				Part of Class	Bit	Packets	Part of Class	Bit	Packets
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
64	80%	30%	512	0,8	8000000	15625	0,3	3000000	5859
576	5%	10%	4608	0,05	500000	109	0,1	1000000	1953
1518	15%	60%	12144	0,15	1500000	124	0,6	6000000	11718
					10^7	15858		10^7	

Литература

1. *S. Ruffini et al.* A novel SDN-based architecture to provide synchronization as a service in 5G scenarios. *IEEE Communications Magazine*, March 2017, pp. 210-215.
2. *Бирюков Н.Л., Триска Н.Р.* Анализ точности передачи сигналов времени и частоты в телекоммуникационных сетях // *Наукові записки УНДІЗ*. 2010. № 2 (14). С. 39-45.
3. www.symmetricom.com/products/ieee-1588-ptp-solutions.
4. *Бирюков Н.Л., Макурин Н.А., Триска Н.Р.* Анализ использования двухстороннего протокола для подстройки сигналов тактовой синхронизации по сигналам времени // *Наукові записки УНДІЗ*”, № 4 (16), 2010. С. 39-44.
5. *Бирюков Н.Л., Триска Н.Р.* Синхронный Ethernet как основа частотно-временного обеспечения современных и будущих сетей связи // *Электросвязь*, 2013, № 2. С. 8-12.
6. ITU-T Recommendation G.8261 (08/13) Timing and synchronization aspects in Packet Networks.
7. ITU-T Recommendation G.8261.1 (02/12) Packet delay variation network limits applicable to packet-based methods (Frequency synchronization)
8. *Бирюков Н.Л., Триска Н.Р.* Анализ проскальзывания в плезиохронной сети // *Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2016. Том 10. №2. С. 19-24.
9. *N. Biriukov, N.Triska, M. Khudyntsev.* Evaluation of the two-way time stamps exchange in packet network / 2017 4th International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T-2017), October 10-13, 2017 Kharkiv, Ukraine (IEEE Conference Record № 42018). Conference Proceedings. Kharkiv, 2017, pp. 342-345.

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВЕСНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И СИБИРИ

Бурдин Владимир Александрович,

ПГУТИ, г. Самара, Россия

burdin@psati.ru

Нижгородов Антон Олегович,

ПГУТИ, г. Самара, Россия

Утвержденная правительством РФ Стратегия социально-экономического развития Сибири до 2020 года предусматривает расширение пропускной способности магистральных, зонавых и местных транспортных сетей связи за счет строительства новых волоконно-оптических линий связи и внедрения современных технологий на существующих линиях связи [1]. Из 200 тыс. км волоконно-оптических линий связи, строительство которых предусмотрено программой устранения цифрового неравенства, более 50 тыс. км будет реализовано в этих регионах [2, 3]. Данные проекты реализуются в суровых климатических условиях, с которыми раньше не приходилось сталкиваться. Это высокие перепады температур, сильнейшие ветра, тундра, болота, вечная мерзлота. Труднодоступность площадок строительства, заболоченность местности, предельно низкие температуры наложили специфические требования к методам строительства.

Так в Красноярском крае и Иркутской области среднемесячная температура самого холодного месяца, января изменяется соответственно от $-19,5^{\circ}\text{C}$ до $-29,8^{\circ}\text{C}$, самого теплого, июля от $18,3^{\circ}\text{C}$ до $17,2^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум температуры воздуха достигает плюс 36°C , абсолютный минимум – минус 61°C . Основная часть территории районов водонасыщена. Основной сток воды (60% годового объема) приходится на весеннее половодье, которое начинается в первой половине мая и длится около двух месяцев. Почвенный покров весьма разнообразен и насыщен мерзлотно-торфяными болотами, скальными и карстовыми породами [4, 5]. В Заполярье на территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов Тюменской области, на севере Красноярского края абсолютный перепад температур составляет от -56 зимой до $+34$ градусов летом. Сильные ветры со скоростью свыше 40 м/с, тундра с карликовой растительностью, болота, значительные территории с вечной мерзлотой. Трассы проходят в условиях сильно обводненной, болотистой местности и линзовой вечной мерзлоты. Помимо арктического климата район характеризуется уникальными геологическими и гидрологическими условиями. Более 180 водных преград (рек, проток, стариц, озер, ручьев) [4, 5].

Все это потребовало совершенствования технологий строительства оптических кабельных линий. Применение новых технических решений во многом обусловлено также необходимостью сохранения экологии. Природа тундры очень уязвима и требует особенно внимательного отношения к себе. Поэтому, чтобы не потревожить местную биосферу, почти все работы ведутся зимой. В другое время года запрещен даже проезд, чтобы не повредить мох ягель. Эти особенности сыграли существенную роль в предпочтении технологии строительства – подвеске оптического кабеля на опорах линий электропередачи.

Природа регионов, выбор технологии прокладки оптического кабеля определили специфику условий эксплуатации волоконно-оптических линий в данных регионах. Это, в первую очередь, значительные суточные и сезонные колебания температуры. Суточные колебания достигают 20°C . Сезонные колебания температуры - от минус 60°C зимой до плюс 50°C летом. При этом имеют место грозовые, ветровые и сейсмические воздействия. Также, имеет место электроэрозия оболочек световодов вблизи

высоковольтных проводов, дефектообразование в местах соединений волокон под действием вечной мерзлоты. Нельзя не отметить и значительную протяженность незаселенных территорий. Указанная выше специфика и определяет основные проблемы технической эксплуатации подвесных волоконно-оптических кабелей в районах Крайнего севера и Сибири.

К одной из основных проблем следует отнести эффект «выдавливания» оптических волокон из кабеля в муфты. Можно предположить, что к основным факторам, приводящим к данному эффекту, относятся значительные колебания температуры окружающей среды, существенная разница между температурными коэффициентами линейного расширения материала модульных трубок и оптических волокон и избыточная длина оптических волокон в кабеле. Как отмечалось выше, суточные колебания температуры достигают 20°C . Для оптического кабеля в грозотросе размах суточных колебаний может достигать 40°C [6]. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) кварцевого стекла около $5,5 \cdot 10^{-7}$ $1/^{\circ}\text{K}$. Для материалов модульных трубок ТКЛР лежит в пределах от $6,5 \cdot 10^{-5}$ $1/^{\circ}\text{K}$ до $1,5 \cdot 10^{-4}$ $1/^{\circ}\text{K}$ [7]. Соответственно, при понижении температуры до минус 60°C избыточная длина оптического волокна в модуле на $4,0$ км строительной длины кабеля увеличивается более чем на 150 мм. В процессе эксплуатации при колебаниях низкой температуры через 1-2 месяца происходит значительное выдвигание волокон из модульной трубки. Согласно [6], за этот период в муфту из кабеля выходит до 50 мм волокна. Процесс «выдавливания» волокна из кабеля носит необратимый характер. При этом, следует учитывать вытекание из кабеля в муфты гидрофобного заполнения в летний период при положительной температуре и его загустение при низкой температуре. Впервые с данным явлением столкнулись на Сибирском участке линии Москва – Хабаровск [8, 9]. Однако, подобные проблемы имели место и на европейской территории России с низкой отрицательной температурой в зимний период. Особенно в случае кабеля одномодульной конструкции. В настоящее время это явление имеет место и на вновь построенных кабельных линиях Крайнего севера и Сибири. Примеры муфт с дефектами, обусловленными «выдавливанием» волокна, представлены на рис. 1.

К сожалению, кардинально данная проблема на сегодняшний день не решена. Дефекты устраняют за счет повторного монтажа муфт, что требует постоянного проведения значительного объема ремонтно-восстановительных работ.

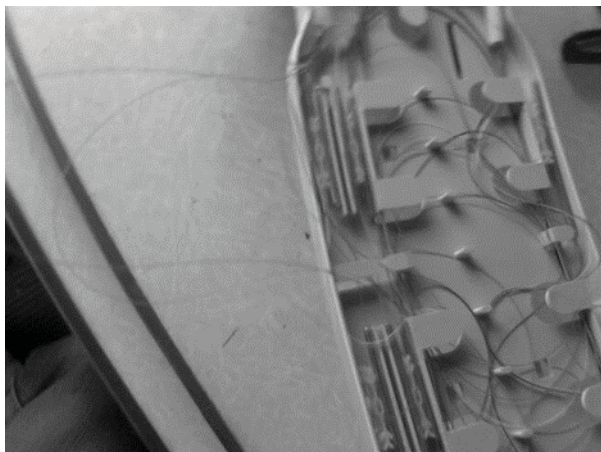


Рис. 1. Дефекты в муфтах, обусловленные «выдавливанием» оптических волокон из кабеля

Природные условия районов Крайнего севера и Сибири делают наиболее удобным для строительства зимний сезон, когда многочисленные болота и водоемы схвачены толстым слоем льда. Соответственно работы по прокладке и монтажу оптического кабеля проводятся при экстремально низких отрицательных температурах. Необходимость выполнения работ в экстремальных условиях (низкая отрицательная температура, высокая скорость ветра и при этом работы на высоте на опорах) приводит к ужесточению требований ко всем составляющим технологического процесса:

- специфические требования предъявляются к технике и оборудованию;
- повышаются требования к кабельной продукции и кабельной арматуре, которые должны не только эксплуатироваться, но и допускать монтаж при низких температурах;
- ужесточаются допуски на выполнение технологических операций, особенно по прокладке и монтажу кабеля.
- существенно возрастает роль человеческого фактора, значительно увеличивается цена ошибки.

Все это определяет особая роль контроля качества выполнения работ. К сожалению, приходится констатировать, что предусмотренные регламентом измерения не позволяют оценивать состояние оптического кабеля, а лишь определяют соответствие отдельных параметров оптических волокон кабеля принятым нормам [10-12].

Как следствие, в первые годы после сдачи объектов в эксплуатацию имеет место большой объем ремонтно-восстановительных работ.

Экстремальные условия эксплуатации оптического кабеля, сезонные ограничения возможностей проведения ремонтно-восстановительных работ делают необходимою внедрение прогнозирующих стратегий технической эксплуатации волоконно-оптических кабельных линий [11, 12]. А это, наряду со сбором статистики повреждений и мониторингом параметров кабельной линии требует возможности контроля состояния оптических волокон и нагрузок на волокна в кабеле. На сегодняшний день подобных средств измерений с приемлемым для оснащения ими служб эксплуатации соотношением цена/качество нет, что является серьезной проблемой для обеспечения надежной работы волоконно-оптических кабельных линий Крайнего севера и Сибири.

Литература

1. Стратегия социально -экономического развития Сибири до 2020 года, Российская газета, 19 ноября 2010 г.
2. Универсальные услуги связи и проект устранения цифрового неравенства, <https://www.rostelecom.ru/projects/uus> (д.о. 22.02.2018)
3. Программа по устранению цифрового неравенства в России//«Эксперт Сибирь» №45-46 (465), <http://expert.ru/siberia/2015/46/ustranyaya-neravenstvo> (д.о. 22.02.2018)
4. Лисин Ю.В. и др. Создание и реализация инновационных технологий строительства в проектах развития нефтепроводной структуры Западной Сибири (проекты «Пурпе – Самолтор», «Заполярье –Пурпе») // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. №4 (12), 2013. С.6-11.
5. Бурдин В.А., Нижгородов А.О. Особенности технологии строительства и эксплуатации волоконно-оптических кабельных линий для нефтепроводной структуры Западной Сибири // Инфокоммуникационные технологии. Т. 15 (3), 2017. С. 233-241.
6. Аграфонов Ю.В. и др. Проблемы эксплуатации волоконно-оптических систем связи // Компьютерная оптика, вып. 19, 1999. С. 159-164.
7. Воронцов А.С. и др. Оптические кабели связи российского производства. Справочник // Эко-Трендз, М., 2003. 284 с.
8. Малов А.Н. и др. Временная эволюция свойств оптоволоконных линий передачи информации под действием циклических механо-термических нагрузок. // В кн.: Взаимодействие излучения и полей с веществом. БШФФ-99. Иркутск ИГУ, 2000. С. 301-305.
9. Адамович В.В. и др. Монтаж муфт оптического кабеля: технологии и инструкции // Фотон-Экспресс, 2005, № 2 (42). С. 42-44.
10. Ситнов Н.Ю., Горлов Н.И. Анализ современного состояния техники ранней диагностики ВОЛП // Инфосфера, №46, 2010. С.5-12.
11. Бурдин В.А., Воронков А.А., Шафигуллин Л.Н. Эффективность применения прогнозирующих стратегий технического обслуживания ОК// Вестник связи, № 7, 2012. С.5-8.
12. Koga H., Kuwabara T., Mitsunaga Y. Future maintenance systems for optical fiber cables // ICC-91 Proceedings, 1991. pp. 0323-0329.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ НАСТРОЙКИ ОДНОЧАСТОТНОЙ ЗОНЫ SFN ЦИФРОВОЙ СЕТИ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ DVB-T2

Великовский Юрий Романович,

*ведущий специалист, генеральная дирекция ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть»,
rtpc030@mail.ru*

Данилов Алексей Николаевич,

*к.т.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики,
alexnicdanilov@yandex.ru*

Матвеев Владимир Алексеевич,

*старший преподаватель, Институт повышения квалификации Московского технического университета
связи и информатики,
mva@mtuci2.ru*

Для корректной работы передатчиков в SFN-зоне необходимо выполнение трех условий [1, 2]:

- транслируемая передатчиками информация должна быть полностью идентична;
- отклонение центральной частоты возбуждителей не более $\pm 0,5$ Гц;
- эта информация должна быть передана примерно в один момент времени так, чтобы значимые сигналы передатчиков в зоне перекрытия, попадали в защитный интервал (это ~ 225 мкс).

Наряду с выполнением приведенных выше условий необходимо определить Maximum Network Delay – максимальную общую сетевую задержку сигнала, передаваемую в T2MI – потоке.

Для корректной настройки одночастотной зоны SFN цифровой сети телерадиовещания DVB-T2 необходимо выполнить следующее:

1. Определить параметры транспортного потока до входа в формирователь. Каждый мощный передатчик должен иметь резервирование по входу (T2MI-поток).

Для этого необходимо:

- Убедиться в полной идентичности основного и резервного потоков.
- Определить точное время прохождения основного и резервного сигналов.
- Учитывать задержку сигнала на спутниковом приёмнике и разницу времени обработки на разных типах приёмников (разница обычно не более 30 мс).

Это время называется **Distribution Time** - время доставки транспортного потока до передатчика для основного и резервного потоков в регионе [3,4].

2. Определить общее время задержки на всех передатчиках, вещающих в SFN режиме. Для каждого SFN-передатчика сети это значение должно быть определено, учитывая специфику вычисления аппаратной задержки для каждого типа возбуждителя.

3. Определить зоны перекрытий SFN и статические задержки для каждого передатчика для разрешённых (номинальных) мощностей передатчиков. 4. Осуществить контроль правильности параметров всех передатчиков одной зоны.

Один из передатчиков зоны нужно выбрать в качестве эталона. С него и начинаются все измерения. Необходимо

снять все показания не только на основном входном потоке (T2MI), но и на резервном, а также для каждого возбуждителя, где это целесообразно [5].

Приведем параметры, которые необходимо измерить и записать по передатчику и объекту:

- Проверить наличие и работоспособность САМ-модулей в спутниковых приёмниках.
- Проверить версии программного обеспечения (ПО) возбуждителей (они должны быть совместимы между собой).
- Измерить номинальную мощность и мощность, реально передаваемую на антенну.
- Проверить правильность установки центральной частоты всех передатчиков зоны.
- Проверить идентичность выбора типа источника синхронизации: GPS или ГЛОНАСС.
- Измерить отклонение центральной частоты при норме для SFN $\pm 0,5$ Гц, заранее синхронизировав прибор по 10 МГц от внешнего источника (ни в коем случае от того же возбуждителя).
- На номинальной мощности передатчика измерить MER RMS, MER L1, MER(f) в полосе и сделать снимки созвездий сигналов.
- Сделать снимки всех параметров L1.
- Ввести ненулевые значения статической задержки для каждого возбуждителя там, где это необходимо.
- Проконтролировать значение CELL ID на каждом возбуждителя (в одной зоне они одинаковы).
- Записать параметры задержек для каждого возбуждителя и основного, и резервного потоков.

5. Устранить при необходимости основные проблемы в зоне перекрытия SFN.

1. Устранение проблем с параметрами L1:

– Проверяем реальное отклонение центральной частоты каждого возбуждителя. ETL (или ETC) должны быть синхронизированы от источника опорной частоты 10 МГц от GPS/ГЛОНАСС.

2. Отображаем на приборе созвездие L1-pre-signaling. Оно должно выглядеть примерно так, как на рис. 1, 2.

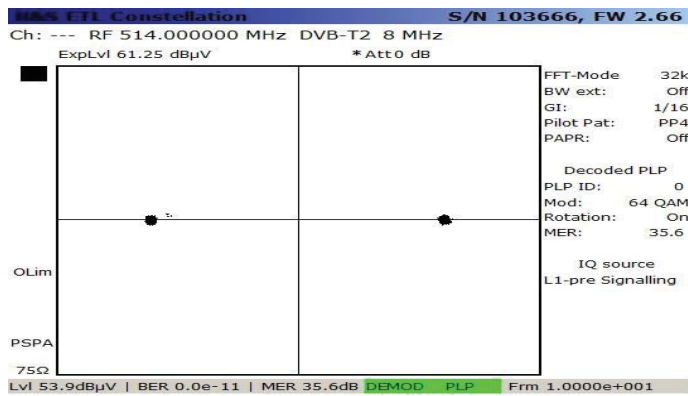


Рис. 1. Нормальное отображение созвездия L1-pre-signaling

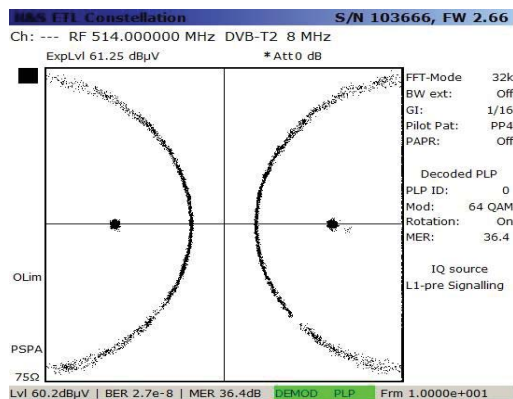
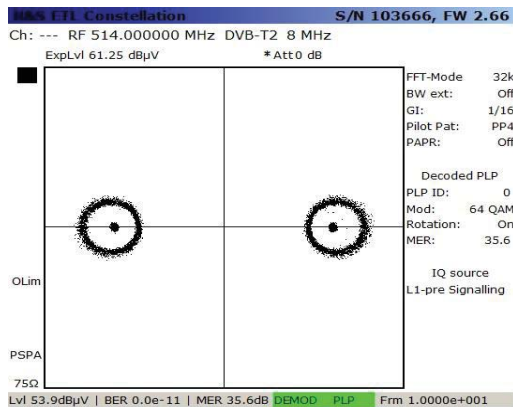


Рис. 2. Созвездие L1-pre-signaling (BPSK) при разных CELL ID

Если не удалось увидеть созвездия L1 даже в искажённом виде, то это означает одну из двух проблем:

- Детектирование P1 по каким-то причинам - невозможно.
- Декодирование L1-pre-signaling невозможно.

Включите каждый возбуждатель отдельно и сделайте снимки экранов ETL с L1 параметрами, примерно так, как показано на рис. 3, 4.

Необходимо сравнить все параметры L1-pre и L1-post, и добиться их полной идентичности. Если хотя бы одно значение не совпадёт, то при одинаковом уровне сигналов Вы гарантированно будете иметь проблемы с декодированием SFN.

Проблема со всеми PLP. Скорей всего, по крайней мере, один передатчик выдаёт сигнал в другом pps. Проверьте задержку Storage Time на передатчиках ячейки SFN и если они изменились, то это означает, что проблема не на Вашей стороне, а на стороне спутникового ресивера. Проблема с одним из PLP.

Очень вероятен отказ (или отсутствие) САМ-модуля. Проблема не во всей зоне SFN, а в её ограниченной области.

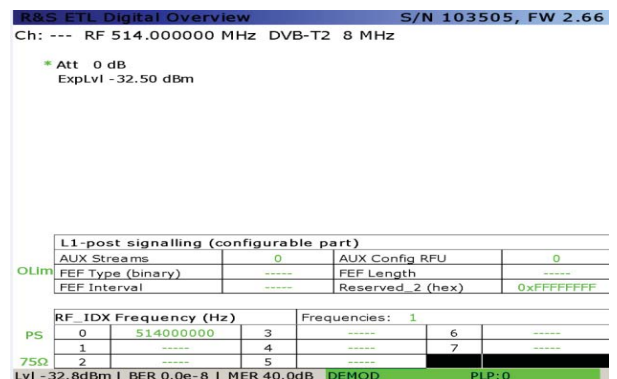
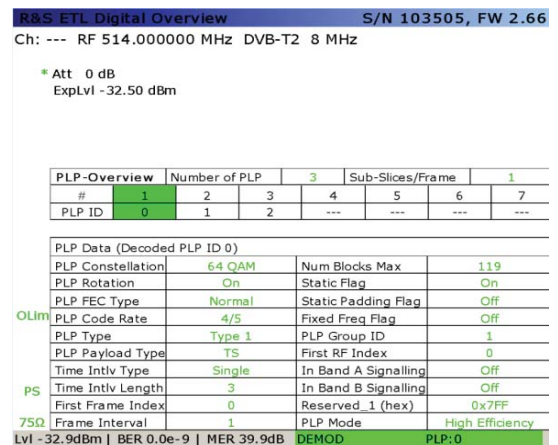
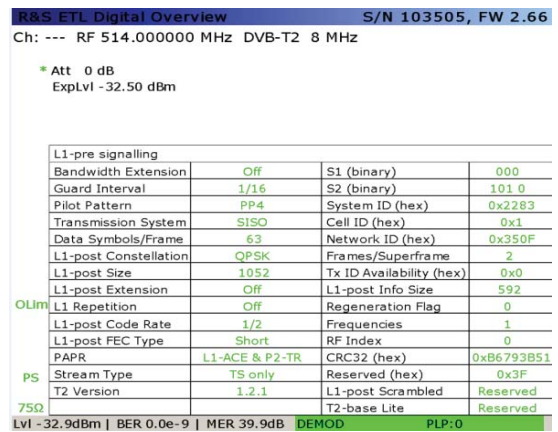


Рис. 3. Три экрана параметров L1

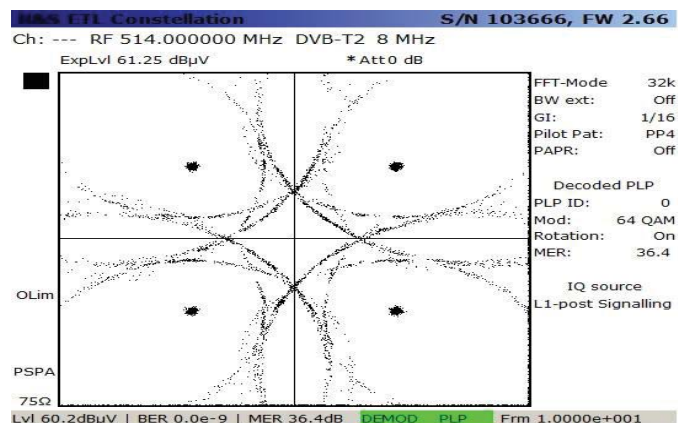


Рис. 4. L1 post-signaling (созвездие QPSK) при различном значении поля частоты в L1-post

Необходимо выехать в проблемную зону и проверить эхо-сигналы. Если один из передатчиков "вывалился" из защитного интервала, то выясняете причину и устраняете её.

В крайнем случае – введите скорректированную задержку на “виноватый” передатчик. А если пики эхо-сигналов от, хотя бы, двух передатчиков находятся друг от друга “ближе” 15мкс – попробуйте развести их статическими задержками на передатчиках.

При равенстве уровней сигналов двух и более передатчиков в точке измерения (S/N отличается менее чем на 3dB), используя направленную антенну, добейтесь максимальной разницы по приёму. Если это невозможно сделать – можно изменить мощности передатчиков (только в крайнем случае). В случае нормального уровня сигнала, но очень маленького значения MER можно поднять MER передатчика (если это поможет). Придётся настраиваться на тот передатчик (с помощью направленной антенны), который заработает в этой точке.

Литература

1. ГОСТ Р 55696-2013. Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2. Технические требования. Основные параметры. Методы измерений. М., 2013. 156 с.
2. ГОСТ Р 55947-2014. Телевидение вещательное цифровое. Приемники для эфирного цифрового телевизионного вещания DVB-T2. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний. М., 2014. 137 с.
3. *Карякин В.Л., Карякин Д.В., Морозова Л.А.* Метод обеспечения синхронной работы передатчиков в SFN сетях цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2. Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2014. 352 с.
4. *Тюхтин М.Ф.* Системы Интернет-телевидения. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. 320 с.
5. http://www.studio-videoton.ru/Theory/HDTV/HDTV_ukovodstvo.html.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА МАРШРУТОВ МЕТОДА СОВМЕСТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА

Винтенкова Юлия Сергеевна,

аспирант кафедры Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия
vintenkova.yulia@gmail.com

Козлов Сергей Владимирович,

профессор кафедры Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия
ks16v@yandex.ru

Спирина Е.А.,

доцент кафедры Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия
selenaa_kazan@mail.ru

1. Введение

Для повышения пропускной способности сетей широкополосного радиодоступа за счет снижения потока внутри-системных помех в работах [1-2] был предложен метод совместной динамической маршрутизации и показана его эффективность. Метод совместной динамической маршрутизации включает этапы анализа и маршрутизации.

В данной работе рассматривается этап маршрутизации, заключающийся в определении оптимального набора маршрутов согласно выражению:

$$\begin{cases} \vec{N}_{opt} = \arg \min_{\vec{N}} \left(\sum_{b=1}^B N^b \right) \\ \sum_{b=1}^B N^b \cdot \tilde{I}_l^b \geq I_l, \quad l = \overline{1, L}, \\ N^b \geq 0, \quad b = \overline{1, B} \\ N^b \in Z, \end{cases} \quad (1)$$

где \tilde{I}_l^b – объем информации, передаваемый через приёмный узел l за длительность фрейма T^F по маршруту b , определяемый на этапе анализа [1], I_l – объем информации, который необходимо доставить до l -го приёмного узла.

Решение системы (1) относится к задачам целочисленного линейного программирования (ЦЛП). Оптимальное решение задачи ЦЛП осуществляется с помощью точных методов, например, метод ветвей и границ, алгоритм Гомори и др, которые при большой размерности входных данных обладают высокой вычислительной сложностью [3].

С целью снижения вычислительной сложности определения оптимального набора маршрутов метода совместной динамической маршрутизации был разработан рекуррентный алгоритм, основанный на правиле выбора маршрута алгоритма оптимизации муравьиной колонии (Ant Recurrent Optimization – ARO) [4]:

$$b^* = \arg \max_{b=1, B} \sum_{l=1}^L (\tilde{I}_l^b)^\alpha \cdot (I_l)^\beta \quad (2)$$

В качестве критерия качества определения оптимального набора маршрутов \vec{N}_{opt} в [4] рассматривалось суммарное количество используемых для доставки информации маршрутов N_{opt} , входящих в него, которое прямо пропорционально времени доставки информации.

В работе [4] показано, что применение ARO позволило снизить вычислительную сложность этапа маршрутизации метода совместной динамической маршрутизации от 80 до 5000 в зависимости от варианта сети, при увеличении суммарного количества используемых для доставки информации маршрутов в среднем на 11%. При этом эффективность алгоритма ARO зависит от количества допустимых маршрутов B и длительности фрейма T^F . При малом значении $B=132$ алгоритм ARO эффективен при $T^F > 166$ мкс, а с ростом количества допустимых маршрутов эффективность алгоритма ARO смещается в область больших значений T^F . Это связано с тем, что объем данных \tilde{I}_l^b , передаваемый за длительность фрейма T^F прямо пропорционален ему, а, следовательно, суммарное количество используемых для доставки информации маршрутов N_{opt} обратно пропорционально T^F .

Так как при выполнении алгоритма величина I_l постоянно уменьшается, возникает ситуация, когда величина \tilde{I}_l^b становится больше текущей величины I_l . В этом случае алгоритм ARO формирует оптимальный набор маршрутов, при котором передается больше информации, чем это необходимо, что приводит к увеличению суммарного количества маршрутов N_{opt} , а, следовательно, увеличению времени доставки информации.

Задачей этой работы является поиск рекуррентного алгоритма, позволяющего снизить количество дополнительно передаваемой информации и, тем самым, уменьшить N_{opt} .

2. Решение задачи

В статье [4] показано, что наилучшими значениями настроечных параметров ARO являются: $\alpha=1$, $\beta=1$. В этом случае правило выбора маршрута имеет вид:

$$b^* = \arg \max_{b=1, B} \sum_{l=1}^L \tilde{I}_l^b \cdot I_l \quad (3)$$

Согласно правилу (3) предпочтение при выборе маршрута будет всегда отдаваться маршруту, обеспечивающему передачу большего объема информации \tilde{I}_l^b . В этом случае при $I_l < \tilde{I}_l^b$ будет передаваться больше информации, чем необходимо, что приводит к увеличению суммарного коли-

чества маршрутов N_{opt} . Для исключения приведённой ситуации введём в рекуррентный алгоритм ограничение на величину \tilde{I}_l^b , равное значению I_l . Правило выбора маршрута рекуррентного алгоритма с ограничением (Bounded Recurrent Algorithm – BRA) будет иметь вид:

$$b^* = \arg \max_{b=1, \tilde{B}} \sum_{l=1}^L I_l \cdot \begin{cases} \tilde{I}_l^b, & I_l > \tilde{I}_l^b \\ I_l, & I_l \leq \tilde{I}_l^b \end{cases} \quad (4)$$

Рассмотрим влияние ограничения (4) на качество получаемых решений.

3. Анализ эффективности

Проведем анализ эффективности алгоритмов ARO и BRA на этапе маршрутизации метода совместной динамической маршрутизации для трех вариантов сетей широкополосного радиодоступа с различным количеством передающих и приемных узлов, этап анализа для которых проведен с помощью программы OFDM Analyzer [5] (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры анализируемых вариантов сетей

Параметр	Вариант сети		
	1	2	3
Количество передающих узлов M	2	3	6
Количество приемных узлов L	11	10	15
Количество возможных маршрутов B	132	1020	13344

На этапе анализа для рассмотренных вариантов сетей с помощью программы OFDM Analyzer были определены возможные маршруты доставки и информационные скорости передачи данных до каждого приемного узла по каждому из маршрутов, а также вычислены объёмы информации, которые необходимо доставить до каждого приёмного узла.

Для нахождения оптимального набора маршрутов с помощью алгоритмов ARO и BRA, согласно системе (1), на этапе маршрутизации метода совместной динамической маршрутизации была использована программная среда MATLAB. Моделирование было проведено для трех вариантов сетей широкополосного радиодоступа, представленных в таблице 1. В качестве оценки эффективности алгоритмов ARO и BRA рассмотрим превышение суммарного количества маршрутов N_{opt} , полученных с их помощью по сравнению с методом ветвей и границ.

Метод ветвей и границ был реализован с помощью стандартных средств MATLAB.

Зависимость превышения суммарного количества маршрутов для алгоритмов ARO и BRA от T^F для всех рассматриваемых вариантов сети приведена на рис. 1.

Среднее процессорное время выполнения точного алгоритма, алгоритма ARO и алгоритма BRA представлено в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение вычислительной сложности

	Вариант сети		
	1	2	3
Среднее процессорное время выполнения точного алгоритма, с	7,956	35,734	502,877
Среднее процессорное время выполнения ARO, с	0,111	0,133	0,152
Среднее процессорное время выполнения BRA, с	0,025	0,09	0,137

При малом количестве допустимых маршрутов вычислительная сложность алгоритма BRA гораздо ниже вычислительной сложности ARO. С увеличением количества возможных маршрутов выигрыш алгоритма BRA по вычислительной сложности снижается.

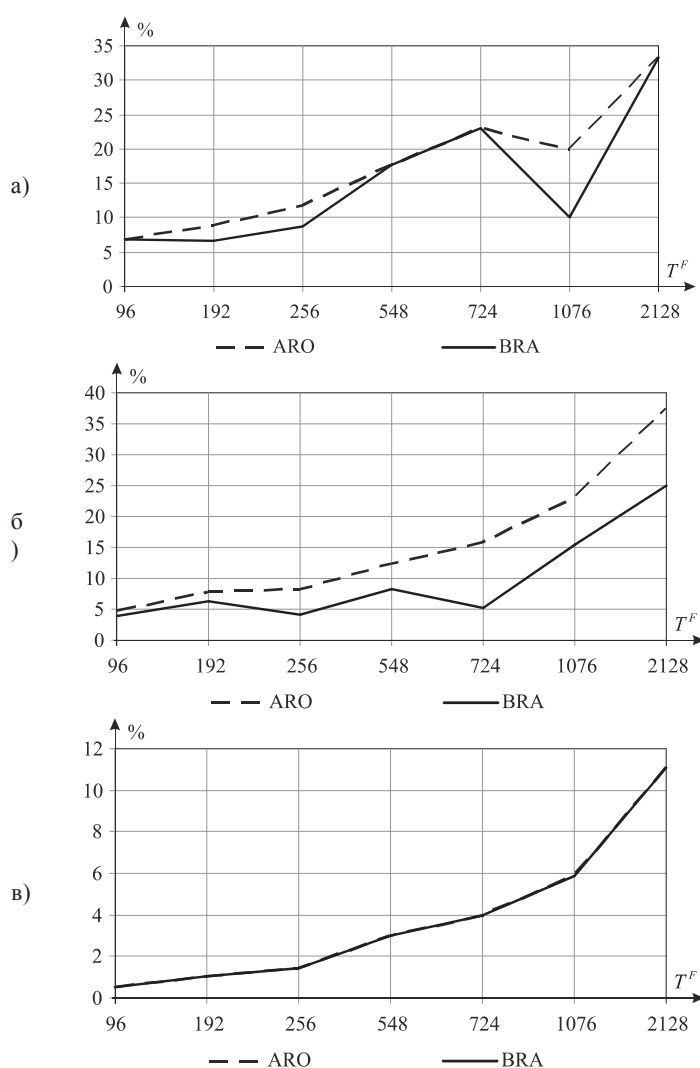


Рис. 1. Зависимости превышения суммарного количества маршрутов для алгоритмов ARO и BRA: а) при $B=132$; б) при $B=1020$; в) при $B=13344$

Из приведённых на рис. 1 зависимостей следует, что применение алгоритма BRA позволяет снизить превышение суммарного количества маршрутов по сравнению с алгоритмом ARO, однако, при большом количестве допустимых маршрутов алгоритмы BRA и ARO показывают одинаковое превышение.

Заключение

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что при малых объёмах информации, которую необходимо доставить до приёмных узлов, и малом суммарном количестве используемых маршрутов введённое в алгоритм ARO ограничение позволяет снизить суммарное количество маршрутов и тем самым сократить время доставки информации, а также уменьшить вычислительную сложность этапа маршрутизации метода совместной динамической маршрутизации.

Литература

1. *Спирина Е.А.* Оптимизация распределения информации в фиксированных сетях широкополосного радиодоступа с учетом внутрисистемных помех // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. No 9. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep15/5/text.pdf>. (Дата обращения: 01.02.2018)

2. *Винтенкова Ю.С., Козлов С.В., Спирина Е.А.* Анализ эффективности метода совместной динамической маршрутизации в сетях широкополосного радиодоступа с трафиком протоколов TCP, HTTP, FTP // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал].

2016. No 1. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jan16/5/text.pdf>. (Дата обращения: 01.02.2018)

3. *Шевченко В.Н., Золотых Н.Ю.* Линейное и целочисленное линейное программирование. Нижний Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета им.Н.И.Лобачевского, 2004. 154 с.

4. *Винтенкова Ю.С.* Анализ эффективности методов определения оптимального набора маршрутов для сетей широкополосного радиодоступа // Нелинейный мир. 2017. No 6.

5. *Козлов С.В., Спирина Е.А., Винтенкова Ю.С.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016663493. Программа OFDM Analyzer. Заявка №2016661064; Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 8.12.2016.

О НЕКОТОРЫХ СРЕДСТВАХ АВТОМАТИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ И СИСТЕМ СВЯЗИ В СРЕДЕ GPSS WORLD

Воробейчиков Леонид Александрович,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия, voroleonid@yandex.ru

Сосновиков Георгий Константинович,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия, s_georgy@mail.ru

Имитационное моделирование (ИМ) как метод исследования сложных систем, в том числе сетей и систем связи, давно и прочно занимает свое место наряду с аналитическими методами и инструментами исследования [1]. Одним из основных специализированных языков моделирования, оставивших наиболее значимый след в истории ИМ, является язык GPSS [2]. Системы моделирования, базирующиеся на языке GPSS, прошли огромный путь от первых версий для ЭВМ фирмы IBM (в СССР – ЕС ЭВМ) до современной версии – GPSS World [3].

Возможности конструирования GPSS-моделей и проведения экспериментов с ними неизмеримо выросли с появлением среды моделирования GPSS STUDIO [4], разработанной российской компанией «Элина-Компьютер». Среда GPSS STUDIO обеспечивает автоматизацию всех этапов моделирования: от конструирования модели до планирования и обработки результатов имитационных экспериментов.

На этапе конструирования модели GPSS STUDIO предоставляет разработчику простой и понятный конструктор, включающий графический редактор структурных схем GPSS-модели и использующий библиотеку типовых элементарных блоков (ТЭБ). Помимо этого конструктор располагает инструментальными средствами разработки форм ввода исходных данных и вывода результатов моделирования, а также форм планирования серии экспериментов с моделью и анимационных форм отображения процесса и результатов моделирования.

На основе построенной модели и разработанных форм создается независимое от среды GPSS STUDIO приложение (исполняемый файл), позволяющее рядовому пользователю из данной предметной области самостоятельно проводить исследования без участия разработчика модели. При использовании независимого приложения пользователь-исследователь взаимодействует с разработанной моделью через стандартное окно приложения, на вкладках которого производятся: ввод исходных данных, являющихся факторами проводимых экспериментов; построение плана серии экспериментов; настройка продолжительности прогона модели и ее мониторинга в процессе моделирования; запуск модели для проведения эксперимента или серии экспериментов в соответствии с построенным планом; просмотр результатов моделирования в форме стандартного отчета, графиков динамики исследуемых показателей модели, а также ролика динамики этих показателей во времени.

Однако при всех несомненных достоинствах среды GPSS STUDIO ей присущи некоторые ограничения. Они проявляются при моделировании сетевых объектов с переменным числом узлов, изменяющимся в ходе экспериментов с моделью.

Рассмотрим возникающие здесь проблемы на примере моделирования замкнутой сети массового обслуживания с неограниченным ожиданием в узлах – одноканальных и многоканальных системах массового обслуживания. На рисунке 1 приведена GPSS-модель такой сети с тремя узлами [5].

Процесс функционирования всех узлов сети, независимо от их количества, моделируется одним общим сегментом модели (правая колонка на рис. 1) с использованием так называемой косвенной адресации [2, 5]. Достоинством косвенной адресации является то, что при изменении количества узлов и других параметров модели этот сегмент не требует внесения изменений.

Вся настройка модели на конкретные исходные данные перед очередным ее прогоном выполняется сегментом в левой колонке рис. 1. Этот сегмент составляют операторы, устанавливающие нумерацию узлов сети, операторы определения емкостей устройств в узлах, операторы, задающие вероятности переходов заявок и средние значения времени обслуживания в узлах. При изменении количества узлов сети необходимо изменять количество этих операторов, а при изменении емкостей устройств и вероятностей переходов – операнды этих операторов.

```
STOR1 EQU 1
STOR2 EQU 2
STOR3 EQU 3 *
NODE1 EQU 1 * Продолжение текста модели
NODE2 EQU 2 *
NODE3 EQU 3 GENERATE ,,,10
STOR1 STORAGE 1 ASSIGN NODE,1
STOR2 STORAGE 2 ENT1 QUEUE P$NODE
STOR3 STORAGE 2 ENTER P$NODE
NODE1 FUNCTION RN1,D2 DEPART P$NODE
0.4,2/1,3 ADVANCE (Exponential(1,0, FN$TSERV))
NODE2 FUNCTION RN1,D1 LEAVE P$NODE
1,1 ASSIGN NODE, FN*$NODE
NODE3 FUNCTION RN1,D1 TRANSFER ,ENT1
1,1 GENERATE 1000000
TSERV FUNCTION P$NODE,L3 TERMINATE 1
1,500/2,1000/3,1500 START 1
```

Рис. 1. GPSS-модель замкнутой сети массового обслуживания

К сожалению, в настоящее время среда GPSS STUDIO не поддерживает GPSS-модели с косвенной адресацией. Требуется создание другой программной надстройки, генерирующей текст GPSS-модели в соответствии с заданными исходными данными и передающей сгенерированную модель среде GPSS для выполнения прогона.

Такой инструмент – препроцессор – был в свое время разработан с участием авторов для использовавшейся в те годы системы моделирования GPSS/PC [6, 7] и был применен при разработке ряда имитационных моделей, в том числе комплекса моделей локальных вычислительных сетей [8].

Функционал программы-препроцессора выходит далеко за рамки традиционных препроцессоров, входящих в состав различных систем программирования. По сути дела программа является транслятором интерпретирующего типа, преобразующим модель на входном языке препроцессора в GPSS-модель, настроенную на введенные в ходе препроцессорной обработки исходные данные. Затем файл с GPSS-моделью передается в среду GPSS для выполнения прогона. Результаты прогона (исследуемые характеристики модели) сохраняются в соответствующем файле средствами языка и среды GPSS и затем считываются препроцессором из файла

и визуализируются. Возможна статистическая обработка файла с результатами средствами среды GPSS.

Входной язык препроцессора представляет собой совокупность операторов препроцессора и операторов языка GPSS. Операторы GPSS непосредственно транслируются в выходной файл с текстом GPSS-модели с возможностью подстановки препроцессорных данных. Операторы препроцессора реализуют обычные для процедурных языков программирования функции объявления и инициализации данных и управления их обработкой. Кроме того, имеются операторы запуска среды GPSS с передачей в нее текста сгенерированной GPSS-модели и операторы чтения файла с результатами моделирования и их визуализации.

В настоящее время близка к завершению работа по реконструированию препроцессора в среде Visual C++ для работы со средой моделирования GPSS World с учетом новых ее возможностей и отличий от GPSS/PC. Препроцессор будет реализован в виде независимого приложения (исполняемого файла), которое может вызываться из любой программной среды. В частности, для конкретной модели или набора моделей могут быть разработаны соответствующие формы ввода исходных данных и вывода результатов моделирования, взаимодействующие с моделью на уровне препроцессорных данных.

Разумеется, предлагаемый инструмент решения проблемы конструирования и проведения экспериментов с сетевыми GPSS-моделями не может конкурировать с мощной средой GPSS STUDIO. Наиболее перспективным способом использования препроцессора является, конечно, его интегрирование в среду GPSS STUDIO. По мнению авторов это еще

более расширило бы круг потенциальных пользователей среды и сферу ее применения.

Литература

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. 418 с.
2. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
3. Кокс С. Руководство пользователя по GPSS World / Пер. с англ. К.В.Кудашова, В.В. Девяткова; под общ. ред. В.В. Девяткова. Казань: Мастер Лайн, 2002. 384 с.
4. Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие; под общ. ред. В.В. Девяткова. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. 283 с.
5. Сосновиков Г.К., Воробейчиков Л.А. Компьютерное моделирование. Практикум по работе в среде GPSS World. М.: Форум, 2015. 108 с.
6. Воробейчиков Л.А., Ливищ В.М., Шакин В.Н. Препроцессор для системы моделирования GPSS/PC. В кн.: Шестнадцатая Всесоюзная школа-семинар по вычислительным сетям. Тезисы докладов. Часть III. Москва-Винница, 1991.
7. Воробейчиков Л.А., Ливищ В.М., Эйдельман В.Л. Интегрированная система моделирования на базе GPSS/PC. В кн.: Тезисы докладов XVII Международной школы-семинара по вычислительным сетям, Москва – Алма-Ата, 1992, ч. 2.
8. Воробейчиков Л.А., Красновид Н.И., Сосновиков Г.К. Комплекс имитационных моделей ЛВС с различными методами доступа к среде передачи. В кн.: Тезисы докладов XVII Международной школы-семинара по вычислительным сетям, Москва – Алма-Ата, 1992, ч. 2.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МИМО В СЕТЯХ LTE ADVANCED

Данилов Алексей Николаевич,

к.т.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики, alexnicdanilov@yandex.ru

Максимов Сергей Петрович,

старший преподаватель, Московский технический университет связи и информатики,

maksimovsp@rambler.ru,

Эрдниева Наран Игоревич,

магистрант группы М61602, erdnaran@mail.ru

Наиболее важной проблемой в современной высокоскоростной системе передачи данных является повышение качества обслуживания пользователя при увеличении скорости передачи информации, за счет уменьшения вероятности ошибки передачи данных. Классические пути решения данной задачи связаны с расширением полосы частот и с увеличением излучаемой мощности. Однако на сегодня они почти не доступны из-за дороговизны частотных диапазонов и требований биологической защиты.

Существенно снизить ошибки при передаче данных позволяет разнесенный прием, а также это становится возможным за счет передачи несколькими антеннами, при этом расстояние между ними подбирается такое, чтобы наблюдалась слабая корреляция замираний сигналов в этих антеннах.

Однако, в современных высокоскоростных системах передачи данных значительно улучшить емкость сети, спектральную эффективность и скорость передачи информации можно при использовании технологии с многоканальным входом и многоканальным выходом (Multiple Input Multiple Output, MIMO), то есть использовать антенные решетки на обоих концах линии связи. При этом, каждой паре, передающей и приемной антенн, соотнесен отдельный канал передачи информации.

Можно утверждать, что канальная скорость передачи данных повышается пропорционально числу используемых антенн. Чаще всего имеется равное число антенн на передающей и приемной стороне, что позволяет достигнуть высокой скорости передачи данных.

Существует несколько базовых конфигураций систем беспроводной связи: Single Input Single Output – SISO (один вход, один выход), Single Input Multiple Output – SIMO (один вход, несколько выходов), Multiple Input Single Output – MISO (несколько входов, один выход) и MIMO (несколько входов, несколько выходов). Они изображены на рис. 1, где между двумя антеннами стрелками показаны различные пути распространения многолучевого сигнала. Также возможен вариант линии прямой видимости LOS (Line of Sight). При этом в эти пути включены и трассы многолучевых сигналов, возникающих в результате отражения, рассеяния и дифракции на окружающих объектах. Если рассматривать систему с MIMO – конфигурацией, то каждая передающая антенна имеет два выделенных канала передачи, а каждая приемная антенна – два объединенных канала приема. В настоящее время разрабатываются системы с конфигурацией 2x2, 64x64. Также применяются варианты с неравным количеством приемных и передающих антенн.

Применение системы MIMO позволяет бороться либо с эффектом замираний сигнала, либо повышать пропускную способность сети. Как было показано в [4, 5, 6], существуют следующие методы построения многоантенных систем:

1. Пространственное разнесение.

2. Пространственное мультиплексирование.
3. Формирование диаграммы направленности.

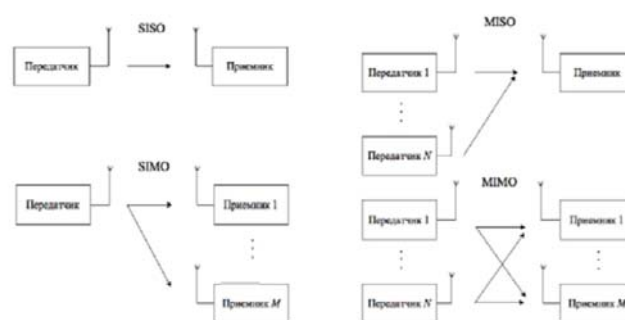


Рис. 1. Конфигурации беспроводной системы связи

Рассмотрим эти методы более подробно.

Первый метод – это пространственное разнесение, при котором можно повысить эффективность по мощности при помощи минимизации повторной передачи данных. Это осуществляется за счет применения пространственно-временного блочного кодирования (Space-Time Block Codes, STBC), разнесения задержки и пространственно-временного решетчатого кодирования (Space-Time Trellis Codes, STTC).

В зависимости от длины пути распространения и времени мощность сигнала в радиоканале изменяется очень быстро в среде со свойствами многолучевости. На приемной стороне возникает многолучевое замирание, то есть мощность сигнала сильно ослабевает. Разнесенный прием может решить данную проблему, поскольку копии одного и того же сигнала проходят по различным каналам, где замирания неидентичные, а затем складываются.

На сегодняшний день пространственно-временное кодирование (Space Time Coding, STC) получило широкое распространение среди технологий, используемых в многоантенной передаче. В данном случае вероятность «правильного» восстановления переданного сигнала возрастает, так как одни и те же данные при передаче одновременно отправляются всеми антеннами с временным сдвигом, при этом используется как временное, так и пространственное кодирование.

Второй метод – это пространственное мультиплексирование. В данном случае через различные антенны передаются различные данные, что увеличивает скорость передачи информации. Следует отметить, что данная технология обеспечивает повышение скорости, используя при этом ту же полосу частот и мощность, что и привычная система с одной антенной на передаче и приеме SISO. Теоретически, пропускная способность линейно зависит от числа используемых приемных и передающих антенных пар.

В случаях, когда число приемных и передающих антенн не равно, пропускная способность определяется меньшим из этих двух чисел. Пространственное мультиплексирование используется в технологии множественного доступа с пространственным разделением каналов SDMA (Space Division Multiple Access).

Третий метод – это формирование диаграммы направленности. В данном случае на передающей стороне используется предварительно заданная информация о канале связи. В каждый тракт каждой антенной передаются одинаковые символы вместе с комплексным коэффициентом по амплитуде и/или по фазе. При этом антенная решетка подстраивается под определенное отношение сигнал/шум канала. Если формирование диаграммы направленности оптимизировано для пространственного разнесения или пространственного мультиплексирования, каждый антенный элемент одновременно передает взвешенную комбинацию двух символов данных. В приемнике и передатчике находятся фильтры предварительной и последующей коррекции, которые нужны для формирования матрицы предискажений. Построение такой матрицы диаграммы направленности возможно, если на передающей стороне есть информация о свойствах канала радиосвязи. На приемной стороне могут быть получены данные о канале, а затем отправлены передатчику для дальнейшей коррекции его работы.

Технология MIMO в системе сотовой связи стала использоваться, начиная с третьего поколения. Например, в стандарте UMTS, в Rel. 6 она используется совместно с технологией HSPA (технология беспроводной широкополосной радиосвязи, использующая пакетную передачу данных и являющаяся надстройкой к мобильным сетям WCDMA/UMTS) с поддержкой скоростей до 20 Мбит/с, а в Rel. 7 – с HSPA+, где скорости передачи данных достигают 40 Мбит/с [1, 3].

В стандарте беспроводной высокоскоростной передачи данных четвертого поколения 4G LTE Advanced предусмотрено использование систем MIMO в конфигурации до 8x8, что теоретически позволяет передать информацию от базовой станции к абоненту со скоростью свыше 300 Мбит/с [1, 2].

Стоит отметить, что при этом устойчивость соединения повышается в независимости от положения абонента внутри соты. Уменьшение скорости передачи информации возможно лишь при экстремальных условиях, например, при значительном удалении от базовой станции абонента, или при нахождении в глухом экранируемом помещении.

Выводы: Видно, что технология MIMO находит широкое практическое применение почти во всех системах беспроводной передачи данных и прежде всего в сетях LTE Advanced. Однако возможности ее использования не до конца изучены. На сегодняшний день идут разработки новых конфигураций системы, вплоть до MIMO 64x64. Все это приведет к повышению скорости передачи информации, емкости сети и спектральной эффективности.

Литература

1. *Тухвинский В.О., Терентьев С.В., Высочин В.П.* Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технология 4G, приложения и архитектура. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2014. 384 с.
2. *Тухвинский В.О., Коваль В.А., Бочечка Г.С., Бабин А.И.* Сети IoT/M2M: технологии, архитектура и приложения. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2017. 320 с.
3. *Moray Rumney.* 3GPP LTE: Introducing Single-Carrier FDMA. Agilent Measurement Journal, 2008, № 4, pp. 18-27.
4. <http://kubaninternet.ru/tehnologija-mimo.html>.
5. <http://shopcarry.ru/top/editorial/suty-tehnologii-i-antenni>.
6. *Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б.* Технология MIMO: принципы и алгоритмы. Москва, 2014.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ СУПЕРКАНАЛА С НЕОБХОДИМОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ В СЕТИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ (T-SDN)

Деарт Владимир Юрьевич,

Московский технический университет связи и информатики, кафедра сетей связи и систем коммутации,
доцент, доцент, к.т.н., Москва, Россия, ydeart@mail.ru

Фатхулин Тимур Джалилевиц,

Московский технический университет связи и информатики, кафедра сетей связи и систем коммутации,
ассистент, аспирант, Москва, Россия, timurfatkhulin@yandex.ru

Предметом исследования является технология транспортных программно-конфигурируемых сетей (Transport Software-Defined Networks – T-SDN) [3, 4]. Цель статьи – на основе анализа процесса создания суперканала в сети, построенной по технологии транспортных программно-конфигурируемых сетей (Transport Software-Defined Networks – T-SDN), разработать алгоритм формирования суперканала с гарантированной полосой пропускания для пользователя. Проводится верификация разработанного программного обеспечения и сравнение результатов с рекомендацией МСЭ-Т. Методологическую основу статьи составляют методы теоретического анализа, описательный метод, метод обобщения, а также метод синтеза. В статье рассмотрены предпосылки для внедрения технологии T-SDN, предоставляющей сервис Bandwidth on Demand, такие как необходимость обеспечения гарантированной полосы пропускания между ЦОД (центрами обработки данных) на время решения общих задач для реализации облачных сервисов, организации маршрута в режиме реального времени, а также изменения параметров оптического уровня. Разработанный алгоритм позволит оценить возможность создания суперканала и определить его основные параметры применительно к любой топологии существующей или проектируемой сети. Решаемая задача сводится к поиску пути на оптическом уровне (DWDM/OTN) и не учитывает перемаршрутизацию на уровне IP/MPLS.

В общем случае на сети используются сетевые элементы (СЭ) с транспондерами, поддерживающими функции, описанные в работах [1, 2, 5 и 7]. Таким образом, при описании процесса создания суперканала с необходимой пропускной способностью следует рассматривать следующие скорости передачи: 10, 40, 100 и 200 Гбит/с [6]. При создании суперканала необходимо учитывать, передается только трафик STM-64 (9,96 Гбит/с) или может передаваться Ethernet трафик со скоростью 10GE (9,96 Гбит/с при использовании GFP-T/F, 11,049 Гбит/с (EFEC) или 11,096 Гбит/с (EFEC2) при использовании CBR10G), что влияет на выбор транспондера и блоков данных (ODU2 или ODU2e), в которых передается трафик.

В общем случае соединительные участки между СЭ обозначим через $L_{m,n}$, где m и n – индексы для обозначения номеров исходного и конечного СЭ соответственно. В качестве входных данных будем использовать:

- 1) оптическую сеть, заданную матрицей узлов сетевых элементов с соответствующими связями (топология сети);
- 2) описание сетевых интерфейсов (тип транспондера и число используемых длин волн в рабочих диапазонах λ_k , и поддерживаемые уровни мультиплексирования ODU (OTN));
- 3) требуемую скорость передачи, для предоставления которой создается Super Channel;

- 4) тип трафика и используемые транспондеры.

Используемые на участке $L_{m,n}$ длины волн в рабочих диапазонах зададим одномерной матрицей вида:

$$L_{m,n} = (\lambda_1, \dots, \lambda_{k_{\max}}),$$

где λ_k – определяет, используется k -ая длина волны другими пользователями или нет (1 – используется, 0 – не используется). Для рабочих диапазонов S и L при использовании сетки частот 50 ГГц $k_{\max} = 192$ [5]. При использовании других спектральных диапазонов значение k_{\max} будет отличаться. Максимальное количество участков между сетевыми элементами обозначим как L_{\max} . Значения k_{\max} и L_{\max} вычисляются программой, реализующей алгоритм предоставления гарантированной полосы пропускания. Сведения о связях сетевых элементов различными участками $L_{m,n}$ будут содержаться в двумерной матрице путей $R(i, j)$, где количеству строк будет соответствовать количество участков ($i = 1, \dots, L_{\max}$) которые могут быть использованы, а количество столбцов будет равно k_{\max} ($j = 1, \dots, k_{\max}$). Матрица может изменять свою размерность в зависимости от топологии сети и используемых диапазонов. Вводятся матрицы для запоминания текущих состояний: $UL(i)$ – матрица подходящих путей $L_{m,n}(j)$, $FWL(i)$ – матрица, определяющая первую длину волны для создания суперканала на пути $L_{m,n}(j)$, $L200(i, j)$, $L100(i, j)$, $L40(i, j)$ и $L10(i, j)$ – матрицы, определяющие каждую оптическую несущую со скоростями передачи 200, 100, 40 и 10 Гбит/с и соответственно используемые длины волн.

Разработанная программа предоставления маршрута с гарантированной полосой пропускания для пользователя отличается высокой гибкостью и универсальностью. Изначально пользователь запрашивает необходимую скорость передачи и определяет способы размещения Ethernet трафика – GFP-T/F или CBR10G. Программа вычисляет необходимое количество оптических несущих, скорость каждой оптической несущей, а также количество блоков данных (ODU) и транспортных блоков (OTU), в которых размещается пользовательский трафик. Важно отметить, что алгоритм осуществляет оптимизацию при размещении. Количество блоков данных и транспортных блоков рассчитывается таким образом, что число оптических несущих минимизируется. Далее загружается текстовый файл «input.txt», вычисляются значения i и j , определяется размерность матрицы $R(i, j)$. Программа анализирует возможность создания суперканала на всех участках между СЭ и при возможности предоставления запрашиваемой скорости указывает это, записав «1» в матрице $UL(i)$ на месте подходящего пути. Аналогично в матрице $FWL(i)$ для этого участка указывается значение первой длины волны для создания суперканала. Сведения о состоянии матриц выводятся на экран, а также записываются в текстовые файлы «UL.txt» и «FWL.txt» соответственно. Затем по итогам анализа топологии и записям матриц $UL(i)$ и $FWL(i)$ производится размещение исполь-

зюемых оптических несущих в суперканале (сначала 200 Гбит/с, затем 100 Гбит/с, 40 Гбит/с и 10 Гбит/с) и запись «1» в матрицы L200(i, j), L100(i, j), L40(i, j) и L10(i, j) для выбранного пути. Запись осуществляется только в матрицы используемых оптических несущих. В файлы «L200.txt», «L100.txt», «L40.txt» и «L10.txt» производится запись значений соответствующих матриц. Стоит отметить, что при перезапуске программы матрицы UL(i), FWL(i), L200(i, j), L100(i, j), L40(i, j) и L10(i, j) перезаписываются заново, что значительно упрощает использование программы. Гибкость программы заключается также в том, что задав только матрицу R(i, j) через входной файл, размерность этой, а также других матриц определяется автоматически, т.е. программа становится полностью универсальной для любой топологии. В результате работы программы контроллер T-SDN получает набор файлов, обработав которые при помощи различных сетевых приложений, он автоматически способен построить маршрут и на основе матриц L200(i, j), L100(i, j), L40(i, j) и L10(i, j) выделить на каждом участке, используя матрицу UL(i), определенной оптической несущей необходимую длину волны на основании информации из матрицы FWL(i).

Рассмотрен пример создания суперканала с необходимой пропускной способностью в сети, построенной по технологии T-SDN для заданной топологии сети домена, которая позволяет учитывать возможность перестроения маршрута. На сети используются однородные СЭ с одинаковыми транспондерами, поддерживающими скорости передачи: 10, 40, 100 и 200 Гбит/с. При создании суперканала учитывается, передается только трафик STM-64 или может передаваться Ethernet трафик со скоростью 10GE.

Исследование проводится для трех вариантов загрузки сети: низкая, средняя и высокая загрузка. Также для исследования рассматриваются такие запрашиваемые скорости, которые позволяют использовать 1, 2, 3, 4 и 5 оптических длин волн, например, 10 Гбит/с – 1 длина волны, 100 Гбит/с – 1 длина волны, 400 Гбит/с – 2 длины волн,

500 Гбит/с – 3 длины волны, 800 Гбит/с – 4 длины волны и 1000 Гбит/с – 5 длин волн.

При всех исследуемых вариантах загрузки сети программа показала высокое быстродействие – время на обработку входных данных и формирования выходных данных составило менее 1 с.

В заключении сделаны выводы о том, что разработанный алгоритм в полной мере позволяет реализовать создание суперканала с гарантированной полосой пропускания для пользователя.

Литература

1. *Деарт В.Ю.* Мультисервисные сети связи. Транспортные сети и сети доступа. М.: Брис-М, 2014. 189 с.
2. *Деарт В.Ю.* Мультисервисные сети связи. Протоколы и системы управления сеансами (Softswitch/IMS). М.: Брис-М, 2011. 198 с.
3. *Деарт В.Ю., Фатхулин Т.Д.* Анализ современного состояния транспортных сетей с целью внедрения технологии программно-конфигурируемых сетей (SDN) // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том II. №6. С. 4-9.
4. *Деарт В.Ю., Фатхулин Т.Д.* Анализ технических характеристик транспондеров, используемых в транспортных программно-конфигурируемых сетях (T-SDN) / Труды международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы -2017». М.: Горячая линия – Телеком, 2017. С. 46-47.
5. *Коган С.* Перспективные транспортные METRO-решения для облачной сетевой инфраструктуры // Первая Миля. 2016. №8. С. 38-49.
6. *Трещиков В.Н., Гуркин Н.В., Новиков А.Г., Наний О.Е.* Российское DWDM-оборудование с канальной скоростью 100 Гбит/с // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2012, №4. С. 65-67.
7. *Deart V., Fatkhulin T.* Analysis of the Functioning of a Multi-Domain Transport Software-Defined Network with Controlled Optical Layer / Proceeding of the 21-st Conference of FRUCT Association, Finland, 6-10 November 2017, pp. 79-87.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУММАРНОГО ПОТОКА IP-ПАКЕТОВ НА ВХОДЕ УЗЛА КОММУТАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ

Зайцев Виталий Сергеевич,

СПбГУТ, аспирант, Санкт-Петербург, Россия, zvs_chel@mail.ru

Введение

В данной работе рассматривается модель узла коммутации мультисервисной сети как система массового обслуживания (СМО). Заявками для СМО служат IP-пакеты, поступающие из нескольких трактов, которые включены в узел коммутации. Таким образом, на входе исследуемой СМО происходит сложение потоков заявок с различными видами распределения длительности интервалов между моментами поступления заявок $A(t)$. В результате формируется результирующий входящий поток заявок с параметрами, которые необходимо определить. Эти параметры не всегда могут быть рассчитаны аналитически, в связи с чем для получения исковых оценок используются методы имитационного моделирования.

В процессе подготовки настоящей статьи для проведения имитационного моделирования использовалось программное обеспечение AnyLogic [1]. В качестве базовых использовались входящие потоки с бета-распределением (на основе документа 3GPP TR 37.868). Кроме того, рассмотрены потоки с параболическим распределением (как частный случай бета-распределения), потоки с равномерным распределением, распределением Вейбулла, гиперэкспоненциальным распределением 2-ого порядка и Эрланга 2-ого порядка.

Математические соотношения позволяют выразить параметры каждого из видов распределений через интенсивность заявок и коэффициент вариации длительности интервалов между моментами поступления заявок. Эти параметры используются в качестве исходных для процедуры моделирования в AnyLogic.

1. Бета-распределение

На основе выражений для интенсивности λ и коэффициента вариации K_v [2] необходимо выразить параметры формы ν и v . Значения данных параметров используются для последующей генерации потока заявок с определенными характеристиками в AnyLogic.

В процессе моделирования использовался входящий поток со следующими параметрами: $K_v=5$; $\lambda=1000$. Было проведено суммирование входящих потоков (количество входящих потоков – N), в результате чего выяснилось, что значение коэффициента вариации K_v результирующего потока монотонно снижается на всем интервале положительной оси вплоть до значения $K_v=1$, но при очень больших значениях N (рис. 1).

Используя критерий Колмогорова-Смирнова [3], можно сделать вывод, что суммирование нескольких потоков с бета-распределением в итоге дает результирующий поток, имеющий также бета-распределение. Оценка точности характеристик СМО, основанных на принятии данной гипотезы, является предметом отдельного исследования.

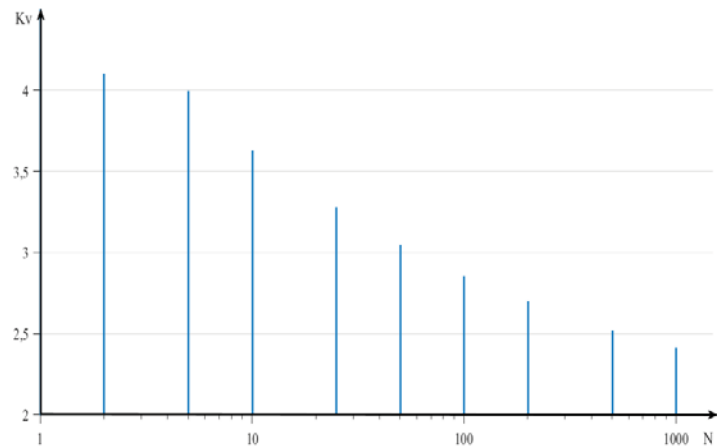


Рис. 1. Зависимость K_v результирующего потока от количества входящих потоков N

2. Параболическое распределение

На основании [2], определяются параметры формы α и β для параболического распределения, используя выражения для интенсивности заявок λ и коэффициента вариации K_v .

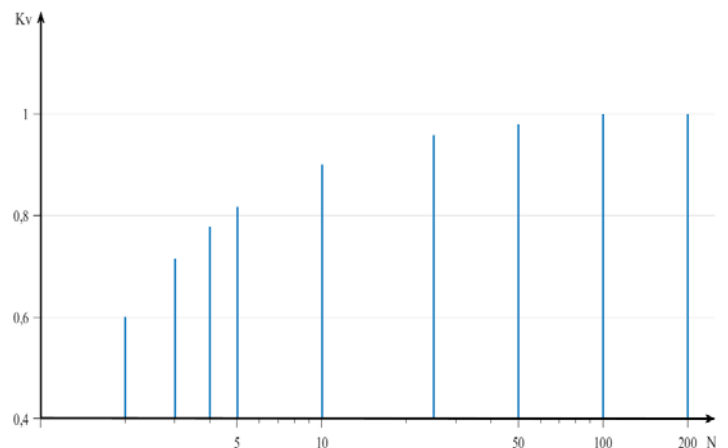


Рис. 2. Зависимость K_v результирующего потока от количества входящих потоков N

В ходе моделирования установлено, что результатом суммирования одинаковых потоков с параболическим распределением будет поток, приближающийся к пуассоновскому. Изложенный вывод обоснован результатами оценок по критерию Колмогорова-Смирнова, и, в данном случае, суммарный поток очень близок к пуассоновскому для достаточно большого числа входящих потоков (в частности, при $N>100$).

3. Равномерное распределение

Параметры формы α и β для равномерного распределения определяются из выражений интенсивности заявок λ и коэффициента вариации K_v , приведенных, например, в [2].

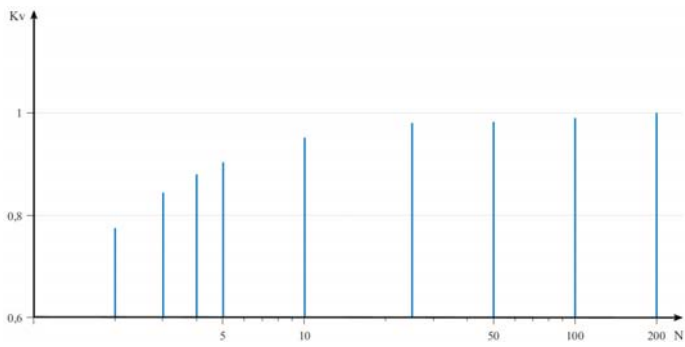


Рис. 3. Зависимость K_v результирующего потока от количества входящих потоков N

В данном случае можно сделать выводы, в целом аналогичные сформулированным для раздела 2: при сложении большого числа одинаковых потоков с равномерным распределением коэффициент вариации результирующего потока принимает значение, приближающееся к единице. На основании критерия Колмогорова-Смирнова допустимо предположение, что результирующий поток является пуассоновским.

Вышеприведенные виды распределений относятся к распределениям с возможными значениями на ограниченном интервале положительной полуоси. Далее рассмотрим распределения с возможными значениями на всей положительной полуоси.

4. Распределение Вейбулла

Следует сделать оговорку, что в случае с распределением Вейбулла затруднительно аналитически выразить параметры формы и масштаба. Значения параметров для имитационного моделирования потоков с данным видом распределения были выбраны численно. Кроме того, существенным является то, что для распределения Вейбулла коэффициент вариации K_v входящих потоков может принимать значения как меньше 1, так и больше 1. В первом случае график зависимости отражает монотонный рост K_v результирующего потока, во втором же случае наблюдается монотонное снижение значения K_v (рис.4). При этом и в первом, и во втором случаях с ростом количества входящих потоков N видно приближение итогового значения K_v к 1. Результаты моделирования подтвердили ранее уже сделанные выводы: сложение большого числа потоков с распределением Вейбулла в конечном итоге дает результирующий поток, близкий к пуассоновскому.

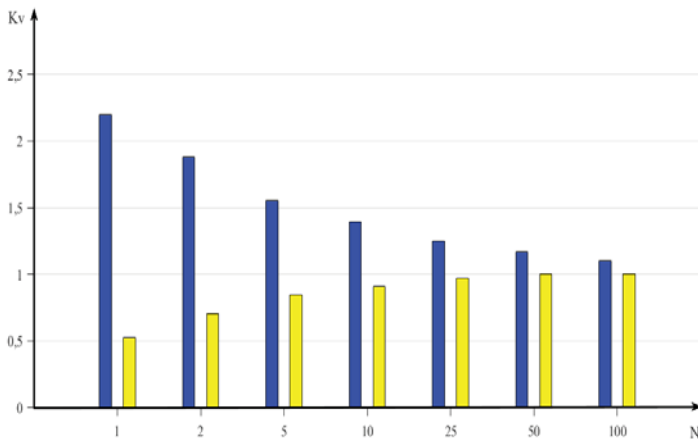


Рис. 4. Зависимость K_v результирующего потока от количества входящих потоков N

5. Гиперэкспоненциальное распределение 2-ого порядка

Проведенные эксперименты со сложением потоков с гиперэкспоненциальным распределением 2-ого порядка показали, что результатом суммирования является также поток, близкий к пуассоновскому. Таким образом, с ростом числа входящих потоков наблюдается монотонное снижение значения коэффициента вариации результирующего потока (рис. 5).

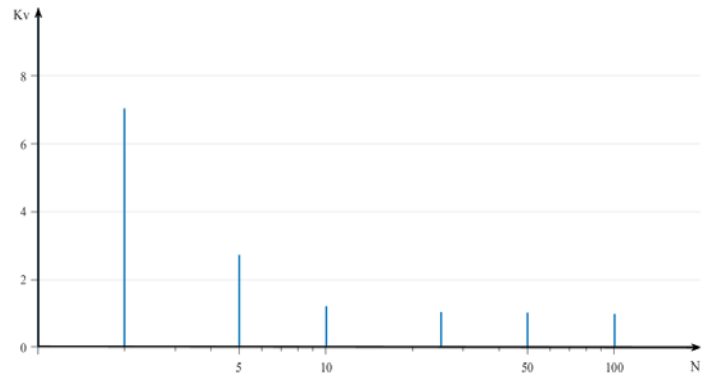


Рис. 5. Зависимость K_v результирующего потока от количества входящих потоков N

6. Распределение Эрланга 2-ого порядка

Проведенное моделирование дало следующие результаты (рис. 6): величина коэффициента вариации результирующего потока стремится к значению, равному единице, при увеличении числа входящих потоков. Это дает основание предположить об экспоненциальном характере распределения результирующего потока, что подтверждается результатами оценки по критерию Колмогорова-Смирнова.

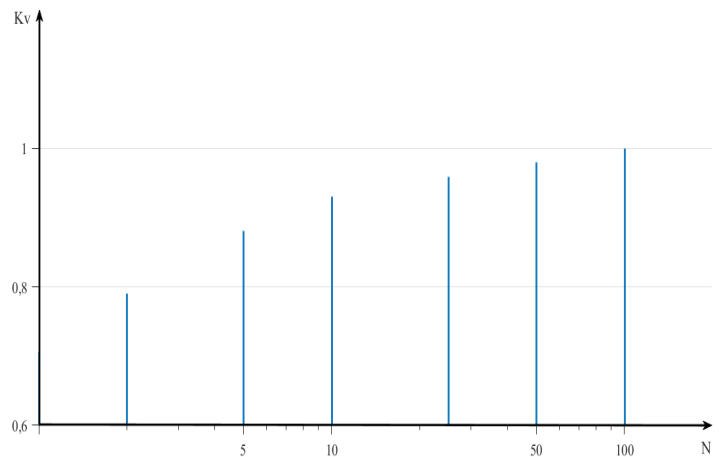


Рис. 6. Зависимость K_v результирующего потока от количества входящих потоков N

Заключение

По результатам моделирования сложения потоков можно сделать следующий вывод: характеристики результирующего потока IP-пакетов на входе узла коммутации мультисервисной сети при суммировании потоков с одинаковыми параметрами и одним и тем же видом распределения (бета, параболическое, равномерное, Вейбула, гиперэкспоненциальное 2-ого порядка и Эрланга 2-ого порядка) близки к характеристикам пуассоновского потока. Данный вывод корректен только при больших значениях количества суммируемых потоков. При этом скорость приближения к пуассоновскому потоку для разных распределений не идентична.

В ряде практически важных случаев количество суммируемых потоков (трактов, включенных в один узел коммутации) таково, что гипотезу о возможности использования модели в виде СМО с пуассоновским входящим потоком использовать нельзя.

С целью выбора закона адекватного распределения $A(t)$ для суммарного потока заявок следует проанализировать ошибки, которые обусловлены принятой гипотезой. Эти ошибки важны для оценок ряда характеристик СМО, среди которых следует выделить математическое ожидание времени задержки заявок и коэффициент вариации этой же случайной величины [4, 5].

Только в том случае, когда величины ошибок будут приемлемы для решения поставленных задач, выбранный закон распределения $A(t)$ для суммарного потока заявок можно считать приемлемым. Эта задача рассматривается как одно из направлений дальнейших исследований по объединению

потоков заявок в СМО, которая служит моделью узла коммутации IP-пакетов мультисервисной сети.

Литература

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем: введение в моделирование с помощью AnyLogic 5. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
2. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. Санкт-Петербург: Наука, 2001. 295 с.
3. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2012. 813 с.
4. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. 600 с.
5. Соколов А.Н., Соколов Н.А. Однолинейные системы массового обслуживания. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Теледом, 2010. 112 с.

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЯХ

Зубилевич Александр Львович,

профессор кафедры ИТС МТУСИ, к.т.н., zal51@rambler.ru

Сиднев Сергей Анатольевич,

доцент кафедры менеджмента МТУСИ, к.т.н., sidnev100@yandex.ru

Царенко Владимир Анатольевич,

аспирант кафедры менеджмента МТУСИ, vtsarenko@mail.ru

В настоящее время подводные оптические кабели имеют протяженность более 300 000 км и обеспечивают связь между десятками стран и континентов, разделенных морями и океанами [5]. Их надежная работа, т.е. способность выполнять заданные функции в течение длительного времени, является главной задачей при проектировании, строительстве и эксплуатации линий связи [2-4, 12].

Трудно, а порой невозможно ремонтировать оптические кабели (ОК), проложенные по дну рек, морей и океанов. Основные факторы, воздействующие на подводные оптические кабели, приводящие к их повреждениям – это растягивающие и раздавливающие нагрузки, прямое длительное воздействие воды, циклическая смена температур и т.д. [5, 6, 9, 10].

Чтобы подводный кабель прослужил необходимое количество лет с минимальными затратами на ремонтные работы, полностью выполняя свои функции, вероятность случайного отказа должна быть максимально снижена [11]. Для достижения требуемой надежности используются избыточные конфигурации. Например, чтобы гарантировать работу кабеля в течение заданного промежутка времени, используются дополнительные оптические волокна (ОВ) или избыточная производительность систем передачи (СП).

Рассматриваются вопросы резервирования в подводных оптических кабелях. Подводные линии связи разделены на короткие, где не требуются дополнительные усилители, и длинные, включающие промежуточные усилительные пункты.

Составлен размеченный граф состояний системы (рисунок 1), имеющей n оптических волокон, из которых m – резервные. Каждое состояние характеризуется своей вероятностью $P_i(t)$, где t – время. Считается, что неблагоприятный случай (система не может выполнять свои функции в полном объеме) наступает, когда отказывает одно из активных оптических волокон (ОВ) и в подсистеме резерва исчерпаны все ОВ и/или запас по производительности систем передачи.

Задача ставится следующим образом: сколько нужно резервных ОВ, чтобы гарантировать с большой вероятностью работу кабеля в течение заданного времени.

В настоящее время отсутствуют четкие рекомендации по выбору количества резервных ОВ. Для оценки показателя надежности в докладе применяется теорема Колмогорова. Оценка проводится как для коротких подводных ОК, где не требуются дополнительные усилители, так и для протяженного подводных ОК, где требуются промежуточные усилительные пункты. Во втором случае половина ОВ работает на прием, а другая на передачу¹. При выходе из строя активно-

го ОВ, с установленным на нем промежуточным усилением, его следует заменить на волокно, работающее в том же направлении. Следовательно эффект от резервирования в этом случае будет ниже, поскольку не каждое резервное ОВ способно заменить вышедшее из строя.

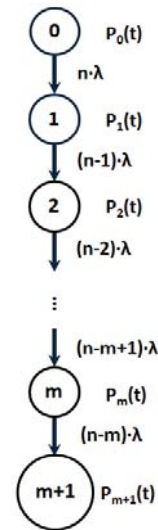


Рис. 1. Размеченный граф состояний

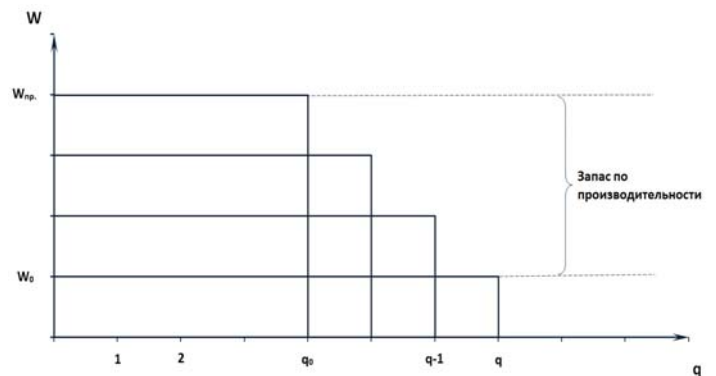


Рис. 2. Изменение производительности систем передачи при выходе из строя оптических волокон:
 q – кол-во систем передачи; W – производительность систем передачи; W_{np} – предельная производительность систем передачи; q_0 – минимальное количество систем передачи, при которых ВОЛП полностью выполняет свои функции

Рассматривается возможность резервирования за счет скоростей действующих систем передачи. Применение более скоростных систем передачи позволяет не только уменьшить количество ОВ в оптическом кабеле, но и использовать избыточную производительность системы как резерв (рис. 2). При выходе из строя одного из активных волокон (при отсутствии резервных ОВ) передаваемый трафик по этому каналу возможно перенаправить на другие

¹ В принципе обмен информации может производиться по одному ОВ в двух направлениях в случае применения направленного оптического ответвления. Однако, такое решение не находит применение на практике из-за существенных потерь энергии в таких элементах и связанного с этим значительного сокращения дальности связи.

системы. Неблагоприятный случай наступает, когда выходит из строя активное волокно, а в подсистеме резерва СП отсутствует запас по производительности. Но стоит помнить, что в большинстве случаев системы передачи работают по двум ОВ (на прием и на передачу). При выходе из строя одного из активных ОВ в рассматриваемой системе передачи, второе неповрежденное волокно можно считать резервным. Таким образом, запас по производительности для одной системы передачи эквивалентен двум резервным оптическим волокнам. Оценка показателей надежности проводится для коротких подводных ОК, где не требуются дополнительные усилители, и для протяженного подводных ОК, где требуются промежуточные усилительные пункты, так же как и в случае резервных ОВ.

Возможно также использовать комбинированный способ резервирования за счет избытка ОВ и запаса по производительности СП.

Приводятся результаты расчетов показателей надежности подводных ОК, представлены выводы и рекомендации.

Таким образом, при выборе системы резервирования подводных ОК можно ориентироваться как на резервные ОВ, так и на избыточную производительность систем передачи. Резервирование за счет ОВ позволяет увеличить надежность подводных линий связи, но увеличение волокон в ОК повышает его стоимость. При резервировании за счет СП необходимость в резервных волокнах отпадает, что уменьшает стоимость ОК. Однако, при изменении скорости передачи системы может изменяться длина регенерационного участка. Выбор конкретного случая резервирования подводных ОК стоит проводить по экономическим показателям, которые позволят находить оптимальный вариант с точки зрения капитальных затрат и дальнейших эксплуатационных расходов [3, 7, 8].

Работа выполнена на кафедрах "Менеджмента" и "Направляющих телекоммуникационных сред" [1] МТУСИ

Литература

1. *Зубилевич А.Л.* Здесь готовят связистов-линейщиков // *Кабель-news*. 2013. №3. С.48-50
2. *Зубилевич А.Л., Колесников О.В., Сиднев С.А., Царенко В.А.* Выбор способа прокладки оптического кабеля с учетом грозоповреждаемости // *Кабели и провода*. 2015. № 6 (355). С. 14-15
3. *Зубилевич А.Л., Сиднев С.А., Царенко В.А.* К вопросу о выборе способа прокладки подземного оптического кабеля // *Кабели и провода*. 2016. № 6 (361). С. 19-22.
4. *Мамлин С.А., Портнов Э.Л.* Расчет надежности подводной волоконно-оптической линии связи вдоль побережья Краснодарского края от порта «Кавказ» до села Веселое / *Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики*. 2015. № 1. С. 184-187.
5. *Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н.* Направляющие системы электросвязи. Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 - Теория передачи и влияния / Под редакцией Андреева В.А. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 424 с.
6. Руководящие указания по проектированию подводных волоконно-оптических кабельных систем. Рекомендации МСЭ-Т серии G – Добавление 41 (05/2005)
7. *Сиднев С.А., Зубилевич А.Л.* Обобщенный параметр NPV – критерий выбора типа волокон для оптических кабелей // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2012. Т. 6. № 8. С. 59-61.
8. *Сиднев С.А., Зубилевич А.Л.* Экономический показатель – основа выбора типа волокон для ВОЛС // *Кабель-news*. 2012. №2. С.46-48.
9. *Сиднев С.А., Зубилевич А.Л., Колесников О.В., Царенко В.А.* Влияние основных факторов неопределенности и их учет при выборе грозостойкого кабеля // *Век качества*. 2014. № 4. С. 76-79.
10. *Сиднев С.А., Зубилевич А.Л., Царенко В.А.* Выбор грозостойкого кабеля по экономическим критериям в условиях неопределенности // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2014. Т. 8. № 9. С. 77-79.
11. *Сиднев С.А., Зубилевич А.Л., Царенко В.А.* Выбор типа оптического кабеля и технологии его прокладки как способ повышения качества связи / В сборнике: *Безопасность и качество в сфере информационно-коммуникационных технологий (ИКТ)* Сборник материалов ХХІХ Конгресса «Безопасность и качество в сфере ИКТ». 2016. С. 105-111
12. *Сиднев С.А., Царенко В.А.* Транспортные ВОЛС: выбор типа оптического волокна в условиях неопределенности // *Первая миля*. 2015. № 5 (50). С. 32-35.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МИКРОТРЕЩИН И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Зубилевич Александр Львович,

к.т.н., профессор, МТУСИ, Москва, Россия, zal51@rambler.ru

Колесников Вячеслав Александрович,

к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия

Сиднев Сергей Анатольевич,

к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия

Нерегулярности структуры оптического волокна (ОВ), возникающие в процессе его вытяжки и покрытия полимерным защитным слоем, приводят к возникновению и развитию поверхностных микротрещин. Процесс изготовления оптического кабеля (ОК) связи, прокладка и монтаж оптической линии связи также являются причиной возникновения и развития поверхностных микротрещин, которые в свою очередь, ведут к снижению механической прочности оптического кабеля связи.

Анализ возникновения и развития микротрещин в оптических волокнах позволит в дальнейшем определить причины приводящие к появлению в ОВ дефектов, снижающих механическую прочность оптического волокна, оценить их влияние на передаточные параметры оптического кабеля связи. Такой анализ возможен на основе исследования технологического цикла изготовления оптического волокна, исследования развития микротрещин при различных механических нагрузках.

С целью определения механической прочности оптического кабеля связи используется статистический подход к процессу хрупкого разрушения оптического волокна, так как микроструктура реальных оптических волокон неоднородна, а начало разрушения – явление локализованное.

Технологический процесс производства оптического кабеля связи возможно условно разбить на следующие этапы: изготовление штабиков (заготовок для вытяжки оптического волокна), вытяжка волокна, покрытие волокна полимерной защитной оболочкой, каблирование волокна.

Для анализа причин возникновения микротрещин рассмотрим наиболее перспективный способ изготовления оптического волокна с малыми потерями – метод осаждения из газовой фазы. Данный метод основывается на окислении галогенидов (например, SiCl_4 , GeCl_4) в паровой фазе с осаждением окислов в виде тонкого слоя на кварцевой опорной трубке, помещенной в горячей зоне перемещающегося нагревателя [1].

В процессе изготовления штабиков высокие температуры, необходимые для процесса схлопывания, а также и для осаждения приводят к тому, что металлические частицы (железо, хром, платина, цирконий) выбрасываются из сопла горелки и осаждаются на горячей поверхности штабика, а после процесса вытяжки появляются на поверхности волокна и становятся центрами возникновения микротрещин. Например, обломанная поверхность кварцевого дефектного волокна, вытянутого через печь, может иметь на поверхности частицы ZrO_2 сплавившиеся с поверхностью волокна. Диаметр частиц окисла циркония может составлять около 10 мкм.

Кроме этого, наличие частиц пыли в воздухе (GaCO_3 , MgCO_3 и др.) приводят к их вплавлению на поверхности

штабика во время процессов схлопывания и охлаждения, которые длятся в течение нескольких часов. Это приводит к изменению в химической структуре волокна и является причиной кристаллизации на поверхности оптического волокна, которая приводит к возникновению микротрещин [1].

Повреждение стеклянной поверхности оптического волокна при его прохождении через покрывающее полимером устройство также приводит к появлению микротрещин. Возможность такого повреждения находится в прямой зависимости от диаметра сопла покрывающего устройства, от толщины и вязкости материала покрытия. Так при покрытии оптического волокна тонкой первичной полимерной оболочкой порядка 5 мкм при наличии частиц пыли на голой поверхности волокна могут возникать разрывы защитной оболочки даже при малых растягивающих нагрузках. Кроме того, шероховатость поверхности или крупные частицы пыли на приемном барабане могут повредить покрытие и даже вызвать микротрещины на стеклянной поверхности оптического волокна. Несоответствие текучести материала покрытия и скорости протяжки оптического волокна через экструзионное устройство также может приводить к нарушению однородности и даже к прерыванию покрытия.

Наличие эксцентриситета при покрытии волокон защитным слоем также может влиять на возникновение микротрещин. В случае относительно тонких покрытий 3-5 мкм, эксцентриситет порядка 2 мкм при определенных условиях может привести к нарушению поверхности защитного слоя из-за шероховатости шейки приемного барабана или перемоточного устройства. К аналогичному результату может привести нерегулярность диаметра непокрытого оптического волокна.

Снижение механической прочности также может происходить из-за острых местных изменений молевой фракции наполнителя в оптическом волокне. Исследование большого числа поломанных оптических волокон при помощи сканирующего электронного микроскопа показало, что причины облома в некоторых случаях явно находятся в стеклянной оболочке волокна.

Частицы пыли могут электростатическим путем притягиваться к первоначально чистой поверхности оптического волокна в процессе его вытяжки, а определенные условия (относительная влажность окружающей волокно среды) могут вызвать химические реакции между частицами пыли (например CaCO_3) и поверхностью оптического волокна, что приводит к ослаблению структуры кварца.

Большое влияние на прочность оказывает размер микротрещин в реальных нерегулярных оптических волокнах. Микротрещины служат источниками разрушения

при напряжениях гораздо ниже теоретических. Однако, существуют определенные состояния, когда микротрещины прекращают свой рост не доходя до критического значения. А когда происходит катастрофический рост микротрещины, то такое состояние непременно приводит к обрыву волокна. Основным выражением, которым пользуются в настоящее время для определения критического напряжения и критического размера микротрещины, является уравнение Гриффитса [1].

Важность этого соотношения состоит в том, что возникает возможность проанализировать механическую прочность оптического волокна в зависимости от размера находящейся в нем микротрещины.

Специфика производства, прокладки и эксплуатации оптических кабелей связи состоит в том, что нагрузка прикладывается к оптическому волокну не только на растяжение, а, в основном, на изгибе. В результате этого обрыв волокна наступает внутри оптического модуля, т.е. оптического волокна, покрытого полимерной оболочкой. Разрушение полимерной оболочки, как правило, не возникает, ломается только световедущая жила. В связи с этим становится необходимым учитывать влияние полимерной оболочки на снижение роста микротрещин.

Как показывает практика, первичное покрытие значительно увеличивает прочность оптического волокна, хотя модуль упругости полимерного покрытия на несколько порядков ниже, чем у материала кварцевого волокна. Первичное полимерное покрытие оказывает значительное влияние на микротрещины малых величин, так как их длина соизмерима с размерами краевых зон (зона вблизи конца трещины), где нагрузка достигает наибольших значений. В этом случае полимерное покрытие за счет химических связей с поверхностью кварцевого волокна и за счет сил трения берет на себя часть нагрузки. Когда размер микротрещин таков, что он превышает размер краевых зон, первичное покрытие не оказывает значительного защитного воздействия. Поэтому при прикладывании нагрузок микротрещины большой величины развиваются в обрыв при однородном развитии фронта трещины, а микротрещины малой величины (порядка 0,1 мкм) развиваются в обрыв без однородного фронта трещины.

Для снижения возможности повреждения целостности ОВ особое внимание следует уделять выбору типа волокна для кабелей, прокладываемых, особенно, на междугородних линиях связи [2], учитывая не только передаточные параметры оптического волокна, но и экономическую целесообразность их применения [3, 4]. При этом также важное значение имеет правильное определение оптимальной марки применяемого оптического кабеля [5, 6] и грамотный выбор соответствующей технологии его прокладки ОК [7,8].

Работа выполнена на кафедрах Менеджмента и Направляющих телекоммуникационных сред [9] МТУСИ.

Литература

1. Ксенофонов С.Н. Оценка надежности волоконно-оптических линий связи. М.: 1993. 48 с.
2. Зубилевич А.Л., Колесников В.А. К вопросу о выборе оптических волокон // Т-Comm-Телекоммуникации и транспорт, 2010. Т.4. №8. С.7-9.
3. Сиднев С.А., Зубилевич А.Л. Экономический показатель – основа выбора типа волокон для ВОЛС // Кабель-news. 2012. №2. С. 46-48.
4. Сиднев С.А., Зубилевич А.Л. Обобщенный параметр NPV-критерий выбора типа волокон для оптических кабелей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2012. Т.6. №8. С. 59-61.
5. Сиднев С.А., Зубилевич А.Л., Колесников О.В., Царенко В.А. Влияние основных факторов неопределенности и их учет при выборе грозостойкого кабеля // Век качества. 2014. №4. С. 76-79.
6. Сиднев С.А., Зубилевич А.Л., Царенко В.А. Выбор грозостойкого кабеля по экономическим критериям в условиях неопределенности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2014. Т.8. №9. С. 77-79.
7. Зубилевич А.Л., Колесников В.А. Прокладка оптических кабелей с применением защитных пластмассовых труб // Т-Comm-Телекоммуникации и транспорт. 2009. № S1. С. 150-152.
8. Сиднев С.А., Зубилевич А.Л., Колесников О.В., Царенко В.А. Выбор способа прокладки оптического кабеля с учетом грозоповреждаемости // Кабели и провода. 2015. №6. С. 14-15.
9. Зубилевич А.Л. Здесь готовят связистов-линейщиков // Кабель-news. 2013. №3. С. 48-50.

ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ

Соколов С.А.,

*Московский технический университет связи, кафедра «Направляющие телекоммуникационные среды»,
stanislav.a.sokolov@gmail.com*

Зубилевич А.Л.,

*Московский технический университет связи, кафедра «Направляющие телекоммуникационные среды»,
zal51@rambler.ru*

Морозов Б.Н.,

*Московский технический университет связи, кафедра «Направляющие телекоммуникационные среды»,
morozov.boris.n@gmail.com*

Воздействие внешних электромагнитных полей на оптические кабели, проложенные в земле или установленные в движущихся транспортных средствах, зависит от расстояния между кабелем и источником поля, удельного сопротивления грунта (если кабель проложен в земле), наличия или отсутствия металла в конструкции кабеля, применяемой системы уплотнения (мультиплексирования), материала оболочки и внешних покрытий. Рассматриваются некоторые факторы влияния, условия поворота плоскости поляризации передаваемых волн в чисто диэлектрическом кабеле под действием электромагнитного поля, воздействие гамма-излучения молнии, особенности влияния при наличии в конструкции кабеля металлических элементов (проводящих жил, стальной брони и т.п.).

Ключевые слова: молния, оптическое волокно, плоскость поляризации, волновое мультиплексирование, гамма-излучение.

Введение

В настоящее время оптические кабели являются главным средством передачи информации как на большое расстояние, так и для связи внутри, например движущихся объектов, таких как автомобили, поезда, спутники, самолёты. В последнем случае материалом конструкции может быть не кварц, а, например, полимер. И в других случаях оптические кабели могут иметь разные конструкции, выполненными полностью диэлектрическими, быть покрытыми стальной бронёй, иметь медные жилы и т.д. При наличии металла в конструкции возможно при влиянии внешних электромагнитных полей наведение или проникновение посторонних токов в кабель, что может привести к пробоям изоляции, расплавлению металлических элементов и повреждению рядов находящихся оптических волокон. В случае чисто диэлектрических кабелей под действием сильного электромагнитного поля, например, молнии, возможен поворот плоскости поляризации передаваемых по волокну световых волн. Если при этом применяется волновое или поляризационное уплотнение, то возможны сбои в передаче информации, так как поворот плоскости поляризации зависит от длины волны. Вследствие этого при наличии эллиптичности волокна составляющие по главным осям не соответствуют друг другу, и кроме дополнительной ПМД (поляризационно-модовой дисперсии) искажается сам сигнал. Количество влияющих источников, как стационарных, так и движущихся, непрерывно возрастает. Особенно сильное влияние оказывают гроззовые разряды и высотные ядерные взрывы. Кроме того, проведённые в последние годы исследования показали, что при ударах молнии возникает гамма-излучение, которое может быть опасным для оптических кабелей особенно на высоте порядка 2000-2500 м над уровнем моря, что особенно опасно для кабелей, проложенных в горах или в летательных аппаратах. Использование волнового и поляризационного уплотнения, а также пакетной коммутации, когда части одного и того же сообщения могут передаваться по различным линиям, усложняет грозозащиту оптических кабелей.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЛНИИ НА ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ С МЕТАЛЛОМ В КОНСТРУКЦИИ

При ударе молнии в землю поблизости от проложенного в земле кабеля с металлическими элементами в конструкции часть тока проникает в кабель и распространяется по его элементам (броне, металлической оболочке, медным жилам). В то же самое время возможно возникновение электрической дуги к кабелю от точки удара молнии и внезапное испарение воды в объёме дуги. Давление паров воды может достигать сотен атмосфер и привести к повреждению кабеля ещё до завершения процесса распространения тока по кабелю. Это так называемый электрогидравлический эффект [1]. Если кабель не проложен в земле, а входит в состав движущегося объекта, то под действием сильного внешнего электромагнитного поля возможны наведение ЭДС и тока в металлической линии, а также возникновение разницы потенциалов между отдельными элементами линий и пробой изоляции.

В.А Раков и др. (Университет Флориды) исследовали механизм компактных внутриоблачных разрядов, которые ответственны за излучения в спектре до 30 МГц [2]. Эти разряды происходят в гроззовом облаке на большой высоте (10-15 км), где амплитуда поля недостаточна для пробоя к земле. Нижняя часть облака обычно заряжена отрицательно. Когда напряжённость электрического поля достигает критической величины, начинается разряд с нижней части облака к положительно заряженной верхней части. Разряд движется со скоростью около 200 м/мкс, и за доли микросекунды он достигает вершины облака. Здесь пришедший разряд частично поглощается и частично отражается в обратную сторону. Это так называемая «прыгающая» волна. Коэффициент отражения находится в пределах от 0 до -0,5. Далее волна движется к нижней части облака, где происходит новое отражение. Основная волна имеет длительность порядка нескольких десятков микросекунд, и эта длительность много больше, чем время отражённых волн, следующих вверх и вниз. Волна приобретает форму импульса с многочислен-

ными наложенными скачками отражённых волн. Расстояние между скачками соответствует времени движения туда и обратно и имеет величину порядка доли микросекунды. Электрическое поле внутриоблачных разрядов имеет индуктивную, статическую и радиационную составляющие. Индуктивная составляющая превалирует на поперечном расстоянии порядка 2 км, и форма поля подобна форме тока. На расстоянии 200 км электрическое поле представляет собой радиационную компоненту, и измеренная величина поля имела амплитуду 1.5 В/м при токе 50 кА, а спектр излучения составлял 30 МГц. На металлических элементах оптического кабеля возможны наводки.

ВЛИЯНИЕ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ БЛИЗКИХ УДАРОВ МОЛНИИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ БЕЗ МЕТАЛЛА В КОНСТРУКЦИИ

При прохождении света по волокну под воздействием внешнего электромагнитного поля происходит поворот плоскости колебаний (изменение поляризации) световой волны (эффекты Керра и Фарадея) [3]. Различным образом поляризованные волны света при падении на плоскую поверхность имеют разные величины Френелевских коэффициентов отражения и преломления. Изменение плоскости поляризации света в оптическом волокне может также привести к так называемому двойному лучепреломлению и возникновению двух ортогональных составляющих волны, между которыми распределится первоначальная энергия сигнала. Каждая из составляющих будет распространяться независимо друг от друга. Так как параметры волокна вдоль различных плоскостей, проходящих через ось, могут несколько отличаться, следствием может явиться увеличение дисперсии и затухания сигнала, аналогичные поляризационной модовой дисперсии при геометрических неоднородностях волокна.

Эффект Керра пропорционален квадрату напряжённости поперечного внешнего поля и уменьшается с увеличением температуры [4]. Плоскость поляризации поворачивается на угол

$$\varphi = 2\pi \cdot K \cdot E^2 \cdot l \quad (1)$$

где K – постоянная Керра; E – величина поперечного внешнего поля; l – длина пути, проходимого светом под воздействием поля.

Величина K может быть получена при рассмотрении процессов поляризации в веществе. Эта постоянная зависит от длины волны света и температуры а также от технологии изготовления. Для верхнего значения K при $\lambda = 1.55$ мкм, $n = 1,5$ и $T = 293^\circ$ имеем $K = F(T) / \lambda = 0.402 \cdot 10^{-13}$ м/В².

Как видно, K имеет малую величину, и для возникновения заметного эффекта Керра электрическое поле должно быть достаточно велико. Большие величины поля возможны вблизи точки удара молнии. При ударе молнии на расстоянии «а» от кабеля, проложенного на глубине h , угол поворота плоскости поляризации света равен [5].

Для возникновения заметного эффекта Керра электрическое поле должно быть достаточно велико. Большие величины поля возможны вблизи точки удара молнии. Были проведены расчёты поворота плоскости поляризации (ППП) при следующих условиях: $a = 2, 3, 5$ и 10 м; $\rho = 100, 200, 500, 1000$ и 2000 Ом; $I = 30, 50$ и 100 кА; $h = 1$ м.

Расчёты показали, что если удар молнии с амплитудой до 100 кА происходит на расстоянии от 5 до 10 м от кабеля, то происходящий при этом поворот плоскости поляризации не превышает 10° . Если удар молнии происходит на расстоянии менее 5 м от кабеля, амплитуда тока молнии несколько десятков кА и удельное сопротивление земли свыше 500 Ом,

то ППП может иметь несколько десятков градусов. Удар молнии в землю на расстоянии свыше 10 м от чисто диэлектрического оптического кабеля на передачу сигналов практически не влияет. Однако влияние на кабели в летающих аппаратах может проявляться и на значительном расстоянии от грозового разряда, так как величины поля в воздухе при грозовом разряде велики, см табл. 1.

Таблица 1

Электромагнитное поле молнии на различном расстоянии от точки удара

Расстояние от точки удара, км	Вертикальная составляющая E В/м	Горизонтальная составляющая E В/м	H_ϕ А/м	H_r А/м
10	100	50	0,20	0,16
50	12	12	0,035	0,033
100	6	6	0,016	0,016

Под воздействием продольного магнитного поля молнии, то есть в случае, когда свет распространяется вдоль силовых линий магнитного поля, происходит также поворот плоскости поляризации на угол (эффект Фарадея). Для длины волны $\lambda = 1.55$ мкм

$$\psi = 1.66 \cdot 10^{-5} \cdot L \cdot H \quad \text{град.} \quad (2)$$

Магнитное поле вблизи кабеля на глубине h при ударе молнии равно

$$H_x = \frac{Ia}{2\pi(a^2 + x^2)} e^{-56 \cdot ah} \quad (3)$$

где H – напряжённость магнитного поля в А/м, L – в метрах.

Где «а» расстояние между кабелем и точкой удара, а x – расстояние вдоль кабеля. Очень большую величину вблизи поверхности земли и в земле электрическое и магнитное поля могут иметь при воздействии высотного ядерного взрыва.

В современных оптических линиях связи широко применяется волновое уплотнение WDM (Wave Dimension Multiplexing), когда по одному и тому же волокну в одном окне прозрачности передаётся сразу большой пакет волн (до нескольких десятков), длины волн которых сдвинуты относительно друг друга на несколько нанометров. Так как поворот плоскости поляризации зависит от длины волны, при близком ударе молнии все волны повернутся на разные углы, и при разложении волн на ортогональные составляющие компоненты по осям будут складываться с различными коэффициентами, зависящими от угла поворота волн.

При наличии поляризационно-модовой дисперсии суммарный сигнал на конце линии при воздействии молнии может быть существенно искажен. Ещё большие искажения следует ожидать при применении поляризационного уплотнения, когда по волокну одновременно передаются два набора волн с разной (вертикальной и горизонтальной) поляризацией. После воздействия поля близкого удара молнии на конце линии суммы по осям будут содержать компоненты волн, первоначально имевших разную поляризацию. Сигнал в момент воздействия поля может быть полностью испорчен. Нарушения произойдут во всех передаваемых каналах одновременно. Если учесть, что одновременно на каждой волне применяется ещё и временное уплотнение, то общее число нарушаемых каналов может быть очень велико (десятки тысяч). Длительность протекания компонент тока молнии обычно не превышает нескольких секунд, и в эти моменты возможно нарушение передачи. Отрицательные последствия зависят от того, насколько существенно важен

для передачи контента перерыв работы кабеля длительно-стью несколько секунд. Если по каналу передаётся речь, то нарушение в течение нескольких секунд не вызовут больших осложнений. Если же идёт передача данных или сигналы включения-выключения, то последствия могут быть более серьёзными.

4. ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛНИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ

Исследования Моора, Двайера и др.[6, 7] показали, что молния генерирует рентгеновское и гамма-излучение во время лидерной стадии разряда. Энергия квантов излучения на поверхности земли может достигать нескольких мегаэлектронвольт. Интересно, что наибольшие вспышки излучения случаются, когда лидер направлен от земли к облаку. Этот феномен более свойственен горам или разрядам от башен, высоких сооружений или триггерным молниям. Затухание излучения в атмосфере очень велико, и хотя первоначальная интенсивность излучения большая, число фотонов излучения, достигающих поверхности земли мало. Воздействие гамма-излучения на оптическое волокно вызывает процессы смещения атомов, дефекты решётки и образование так называемых центров окраски, что ведёт к дополнительному затуханию и другим неприятностям. Низкое содержание гидроксильных групп (кабели без водяного пика) снижает сопротивляемость волокна радиации. Особенно чувствительны к радиации полимерные волокна вследствие разрушения полимерных цепочек. Когда оптические кабели проложены в горах или в летающих аппаратах, это необходимо принимать во внимание.

Гамма-излучение возникает во время лидерной стадии молнии. Лидерный процесс может быть как нисходящим (отрицательным) и восходящим (положительным) снизу вверх, который начинается с земли. Восходящий лидер появляется при уменьшенном расстоянии между облаком и землёй, например, в горах или вблизи высоких структур (небоскрёбов, башен). Всплеск гамма-излучения в этом случае происходит, когда восходящий стреловидный положительный лидер достигает облака, находящегося в нескольких километрах над поверхностью земли. Интересные результаты получены во время исследования триггерных молний. На поверхности земли наблюдалась сильная радиация квантов с энергией более 10 МэВ. Поскольку поглощение квантов в атмосфере очень велико, рождённый на высоте 6-8 километров поток квантов имеет гораздо большую энергию и плотность. Плотность квантов у поверхности земли равна нескольким единицам на квадратный гамма-излучения с энергией 1-10 МэВ для воздуха равна 150 метрам. Это есть толщина слоя, проходя через который плотность квантов уменьшается вдвое. Она зависит от энергии фотонов, плотности поглощающего материала и его атомного веса. В пределах до высоты 4-5 км плотность воздуха можно считать постоянной и, следовательно, толщина слоя половинного поглощения не изменяется, хотя давление несколько падает. Удар молнии обычно разветвлённый и состоит из нескольких последовательных разрядов (многократный), и разряды достигают земли в нескольких точках (в среднем в 3), которые удалены друг от друга на несколько сот метров и даже на километры. я не изменяется в пределах 3-4 км высоты над уровнем моря и равна 150 метров. Число гамма-квантов на высоте H после удара молнии и вспышки излучения равно

$$N_{whs} = N_{w0s} \cdot 2^{H/150} \quad (5)$$

где N_{whs} – число квантов с энергией w, которые проходят через сечение S на высоте H;

N_{w0s} – число квантов с энергией w, которые проходят через сечение S на уровне моря.

Число квантов с высокой энергией, которые пролетают через сечение $S = 1 \text{ мм}^2$ на высоте H может достигать сотен тысяч. Если волоконный кабель проложен в горах или в летающих аппаратах, это необходимо принимать во внимание. В таблице 2 приводится информация об энергии облучения, которую одномодовое волокно с диаметром сердцевины 10 микрометров может получить на различной высоте над уровнем моря

Таблица 2

Энергия и мощность облучения, которые одномодовое волокно с диаметром сердцевины 10 мкм может получить на различной высоте над уровнем моря

H, метры	Общая энергия гамма-квантов, МеВ	Доза облучения, радиан	Мощность облучения, радиан/секунд
1050	12	10-2	65.5
1500	143	0,136	780
2100	2703	2,230	14900 $1,5 \cdot 10^4$
2550	18428	15	10^5
3000	292570	238	$1,6 \cdot 10^6$
3600	2307700	$1890 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^7$

Как видно из таблицы, доза и мощность радиации начинают резко возрастать после высоты 2000 м. Доза радиации имеет величину порядка десятков радиан для одномодового волокна на высоте 2500 м и сотни радиан на высоте 3000 м. Кванты с энергией свыше 5 МэВ несут большую часть энергии к волокну. Вклад квантов с энергией 1-2 МэВ невелик. Мощность облучения возрастает особенно остро и может достигать 10^4 радиан/с на высоте 2000 м и 10^7 радиан/с на высоте 3000-3500 м. Облучение с мощностью 10^7 радиан/с очень опасно для оптического волокна. Так что оптические кабели, которые имеются в летательных аппаратах на этой высоте или находятся на поверхности земли или подвешены на опорах оказываются в трудном положении при воздействии гамма-излучения молнии.

Если кабель проложен в земле на глубине 30 см, радиация понижается примерно в 10 раз, а на глубине в 60 см радиация почти в 100 раз меньше, чем на поверхности. Роль стальной брони и полиэтиленовых покрытий в поглощении излучений очень мала. Поэтому оптические кабели в горах должны быть проложены на некоторой глубине под землёй. В горах на высоте свыше 2000 м затухание сигнала в оптическом кабеле может возрасти во время грозы до десятков дБ/км с продолжительным и непредсказуемым временем релаксации.

Чувствительность и время релаксации тесно связаны со структурой, наличием примесей, микротрещин и деформаций, содержанием ионов ОН и хлора, с техникой изготовления и отклонением от геометрических размеров. Время разрушения центров поглощения может колебаться от нескольких секунд до нескольких лет и зависит от температуры, и мощности передачи. При температуре -55°C время жизни центров поглощения составляет всего несколько минут. Примесь бора сокращает время релаксации. Чистое кварцевое многомодовое волокно более устойчиво к радиации. Полимерное волокно имеет наибольшую чувствительность к радиации гамма-излучения.

Эта серьёзная проблема нуждается в комплексном изучении и экспериментальной проверке.

Литература

1. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Защита сооружений связи от опасных и мешающих влияний. М.: Связь, 1978. 288 с.
2. A. Nag, V.A.Rakov, D.Tsalikis. New experimental data on lightning events producing intense VHF radiation bursts. EOS trans. AGU vol.89. № 53.
3. Соколов С.А. Эффекты Керра и Фарадея в оптическом кабеле // Электросвязь. №4.1996.
4. Соколов С.А. Возникновение поляризационной модовой дисперсии под действием грозových разрядов // Электросвязь. №11. 2004.
5. Sokolov S.A. Particularities of Polarization-Mode Dispersion in optical fiber with Wavelength Division Electromagnetic Compatibility” Proceeding. 23-25 October, 2007 Qingdao, China, IEEE Press. P.448-450.
6. Dwyer J.R. et al. “A ground level gamma-ray burst observed with rocket-triggered lightning”. Geophysical Research Letters, vol.31, L05119, 2004.
7. Dwyer J.R. et al. “X-ray bursts associated with leader steps in cloud-to-ground lightning”. Geophysical Research Letters, vol.32, L01803, 2005.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ НА БАЗЕ ЕДИНОГО ИНФОКОММУНИКАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Ибрагимов Байрам Ганимат оглы,

*д.т.н., профессор, Азербайджанский Технический Университет, г. Баку, Азербайджан,
i.bayram@mail.ru*

Керимов Вусал Реван оглы,

Институт Систем Управления НАН Азербайджана

В настоящее время развитие мультисервисных сетей связи (МСС) на базе архитектурной концепции NGN с использованием конвергенции телекоммуникационных технологий требует создания единого инфокоммуникационного пространства, обеспечивающего наращивание глобальной информационной инфраструктуры для оказания инфокоммуникационных услуг и услуг доставки информации.

На основе исследований установлено [1-3], что МСС представляет собой сложную распределенную систему, управление информационными и сетевыми ресурсами которой требует решения целого спектра разнообразных задач FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security). Эти задачи в рекомендациях ITU-T разделены на пять функциональных направлений [1]: управление конфигурацией, неисправностями, расчетами за услуги связи, производительностью и безопасностью.

Из перечисленных выше функциональных задач видно, что особое место занимает управление информационными и сетевыми ресурсами в МСС с использованием современных телекоммуникационных технологий. Совместное использование современных ИКТ операторами связи ресурсов в МСС на базе NGN позволяет организовать единое инфокоммуникационное пространство и оптимизировать затраты на их создание.

Известно [1-4], что создание единой многооператорской инфраструктуры и создание единого инфокоммуникационного пространства в МСС с использованием современных ИКТ безусловно важно для решения многих функциональных задач FCAPS современной телекоммуникации и информатики.

В рамках доклада рассматривается решение задачи – исследование и анализ эффективности управления ресурсами в мультисервисных сетях связи с использованием современных ИКТ для создания единого инфокоммуникационного пространства.

Перспективной телекоммуникационной технологией для создания единого инфокоммуникационного пространства предлагается использовать современные ИКТ, такие как IMS (IP multimedia subsystem), SDN (Software Defined Network), так и NFV (Network Functions Virtualization), которые являются основой современных ИКТ для создания единой многооператорской инфраструктуры.

В мультисервисных сетях связи IMS-архитектура с использованием сервера домашних абонентов HSS (Home Subscriber Server) представляет собой набор функций, соединенных стандартными интерфейсами, и обеспечивает унифицированный доступ к приложениям независимо от технологии сети доступа (Wi-Fi, xDSL, PON, GPRS, WiMAX), решает вопросы безопасности доступа со стороны терминальных устройств (авторизация, управление сессиями), эффективно управляет профилями абонентов [5, 6].

В концепции IMS определяются не узлы сети, а функции, которые могут быть реализованы на нескольких аппаратных платформах. Это означает, что IMS-архитектура, как и архитектура Softswitch, также представляет собой набор функций, соединенных стандартными интерфейсами. Архитектура МСС на базе подсистемы передачи мультимедийных сообщений IMS содержит следующие уровни [5, 7]:

- уровень доступа и транспорта;
- уровень управления сессиями;
- уровень услуг и приложений.

Уровень управления сессиями включает ядро сети IMS, сервер пользовательских данных HSS и сигнальные шлюзы, которые являются базой пользовательских данных и обеспечивают доступ к индивидуальным данным пользователя, связанным с услугами. В архитектуре IMS используется основной протокол сигнализации SIP, однако предусмотрена поддержка протоколов для взаимодействия как с сетями NGN, так и с сетями TDM. В частности, при наличии надежной транспортной сети достаточно одного логического ядра IMS на всю сеть связи.

Функциональные компоненты IMS могут быть территориально-распределенными в зависимости от точек концентрации пользовательского трафика и вычислительных ресурсов ЦОДов. Такая возможность обеспечивает гибкий подход к созданию /модернизации инфраструктуры мультисервисных сетей связи [3, 4].

Второй важной технологией является программно-определяемая сеть SDN [4], которая обеспечивает администрирование МСС, позволяющее управлять услугами сети, когда функционал управления (Control Plane) отделен (абстрагирован) от нижележащего уровня пересылки пакетов (Data Plane). Планирование сети и управление служебным и полезным трафиком происходит программным путем. Для приложений верхнего уровня предоставляются интерфейсы прикладного программирования API. Именно последние отвечают за возможность взаимодействия программных и аппаратных средства разных поставщиков.

Появление программно-конфигурируемых сетей способствует изменению положения вещей. Главным отличием таких сетей является удаление управляющей логики из маршрутизаторов и Softswitch, появление логически централизованного управления сетью, а также возможность программирования сети. Таким образом, ввод новых услуг в сети ускоряется и облегчается.

С целью создания единого инфокоммуникационного пространства в МСС целесообразно использовать третью важную технологию NFV – виртуализацию функции сети, представляющую собой фундаментальный сдвиг в сетевой модели [6]. Эта технология предполагает реализацию функций управления сетями и предоставления услуг в

виде программ, а не специализированного оборудования.

Следовательно, как SDN, так и NFV используют облачные и интернет-технологии. Здесь SDN позволяет конфигурировать плоскость передачи данных программным способом, а NFV, также программным образом, позволяет задавать роли виртуальных сетевых устройств.

Таким образом, использование вышеуказанных решений, как IMS и SDN, так и NFV в качестве инфраструктуры МСС позволяет решить одну из важных телекоммуникационных задач FCAPS – создание единого инфокоммуникационного пространства, обеспечивающего эффективность использования доступных сетевых и информационных ресурсов.

Литература

1. *Логинов С.С.* Об уровнях управления в программно конфигурируемой сети (SDN) // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №3. - с. 50-55.
2. *Чукарин А.В.* Об одной задаче управления сетевыми и информационными ресурсами в сетях NGN // Т-Comm, №7. 2010. С. 123-125.
3. *Волкова С.В.* Использование современных ИКТ для создания единого инфокоммуникационного пространства // Электро-связь, №12. 2017. С. 98-99.
4. *Stallings W.* Software-defined networks and OpenFlow. The Internet Protocol Journal, vol. 16, No. 1. 2013.
5. *Ibrahimov B.G., Ismaylova S.R.* The Effectiveness NGN/IMS Networks in the Establishment of a Multimedia Session // American Journal of Networks and Communications. Vol. 7, No. 1. 2018, pp.1-5.
6. *Chowdhury N.M.K. and Boutaba R.* A Survey of Network Virtualization. Computer Networks, vol. 54, no. 5, 2010. pp. 862-876.
7. *Деарт В.Ю.* Мультисервисные сети связи. Протоколы и системы управления сеансами. М.: Брис-М, 2014. 189 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ NGN/IMS СЕТЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Ибрагимов Байрам Ганимат оглы

д.т.н., профессор, Азербайджанский Технический Университет, г. Баку, Азербайджан
i.bayram@mail.ru

Гумбатов Рамиз Топуш оглы

д.т.н., профессор, Институт систем управления НАНА, Азербайджан

Ибрагимов Руфат Фикрет оглы,

диссертант, Институт систем управления НАНА, Азербайджан

Для оказания пользователям широкого спектра основных, дополнительных и интеллектуальных услуг развитие инфраструктуры оператора связи и мультисервисных сетей телекоммуникаций на базе архитектурной концепции NGN требует создания обеспечивающего эффективное использование сетевых ресурсов единого инфокоммуникационного пространства, которое базируется на современных информационных и компьютерных технологиях. Современные технологии ИКТ предоставляют возможность внедрения широкого спектра информационных и телекоммуникационных услуг, функциональные наборы которых ограничиваются лишь потребностями пользователей.

В настоящее время количество услуг, предоставляемых операторами связи, исчисляется сотнями, включая как простейшие услуги по установлению местного телефонного соединения, так и функциональные возможности «Triple Play Services».

На основе проведенного анализа установлено [1-3], что в мультисервисных NGN/IMS сетях связи реализуется множество информационных и телекоммуникационных услуг; в зависимости от требований абонентов, операторы связи могут предоставлять комплексные услуги, построенные на базе множества более простых услуг.

С целью оказания комплексных услуг в мультисервисных NGN/IMS сетях связи необходимо эффективное использование перспективных телекоммуникационных технологий для создания единого инфокоммуникационного пространства, способного удовлетворить потребности общих и частных пользователей услуг связи, благодаря использованию терминальных, сетевых и канальных ресурсов сети связи общего пользования.

Выявлено [1, 3, 4-6], что интенсивное развитие мультисервисных сетей телекоммуникаций связано с внедрением и предоставлением мультимедийных услуг за счет эффективного управления информационными ресурсами мультисервисных сетей NGN/IMS, что, безусловно, важно для расширения и улучшения возможностей, повышения качества и эффективности эксплуатации существующих информационных, частотных и энергетических ресурсов операторов связи.

Учитывая вышеизложенные предположения, в данной работе рассматривается решение задачи исследования и управления сетевыми и информационными ресурсами мультисервисных NGN/IMS сетей с целью создания единого инфокоммуникационного пространства, использующего перспективные информационные, компьютерные и сетевые технологии. Для решения поставленной задачи рассматривается управление информационными и сетевыми ресурсами в мультисервисных NGN/IMS сетях телекоммуникации при оказании комплексных услуг множеству пользователей, что необходимо и важно для создания единой многооператор-

ской инфраструктуры.

Исследования и управление информационными и сетевыми ресурсами показали [1-4], что анализируемые единые многооператорские инфраструктуры способны удовлетворить потребности сети связи общего пользования, корпоративных, учрежденческих и частных абонентов услуг связи в мультисервисных NGN/IMS сетях телекоммуникаций. Поскольку единые многооператорские инфраструктуры мультисервисных сетей NGN/IMS телекоммуникаций, работающие в самых различных кластерах системы ИКТ, решают в основном одинаковые телекоммуникационные задачи.

Определено в [3, 4], что использование возможностей современных ИКТ, то сегодня в мире накоплено достаточно инструментов для организации транспортной, вычислительной и телекоммуникационной инфраструктуры, позволяющих эффективно решать новые прикладные задачи и эффективно использовать сетевых ресурсов на отдельном узле сети, так и для оценки использования сетевых ресурсов звена мультисервисные сети.

Совместное использование операторами связи ресурсов NGN/IMS сетей телекоммуникаций позволит не только организовать единое инфокоммуникационное пространство, обеспеченное вычислительными ресурсами ЦОД и концепцией обмена информацией, представленной в трех видах – речь, данные и видео, но и сможет оптимизировать затраты на его создание и эксплуатацию.

На основе системно-технического анализа работ [3-5, 7] определено, что с целью создания единой многооператорской инфраструктуры в мультисервисных NGN/IMS сетях телекоммуникаций необходимо использовать современные технологии, такие как программно-определяемые сети SDN (SDN-Software Defined Network) и виртуализация сетевых функций NFV (NFV-Network Functions Virtualization). Последнее эффективно способствует созданию единого инфокоммуникационного пространства.

Предложенные современные технология SDN и NFV являются базовыми технологиями [2-4] для создания единого инфокоммуникационного пространства, способствующими эффективному управлению информационными и сетевыми ресурсами при оказании мультимедийных услуг и создающие универсальную многооператорскую инфраструктуру, которая позволяет переносить любые виды информации и предоставлять пользователям любые услуги, независимо от времени и место расположения.

Однако основной проблемой развития SDN&NFV и внедрения этих технологий в сети операторов связи и сервис-провайдеров является большой объем инвестиций в телекоммуникационные инфраструктуры и дата-центры.

Таким образом, проведенные исследования и анализ показали, что внедрение и эффективное использование современных SDN&NFV технологий в мультисервисных

NGN/IMS сетях телекоммуникаций позволяет решить одну из главных поставленных задач многооператорской инфраструктуры (на сетях оператора связи и сервис-провайдеров), что способствует созданию единого инфокоммуникационного пространства для решения задачи оптимального управления информационными и сетевыми ресурсами.

Литература

1. Волкова С.В. Использование современных ИКТ для создания единого инфокоммуникационного пространства // Электросвязь, №12. Москва. 2017. С. 98-99.
2. Логинов С.С. Об уровнях управления в программно конфигурируемой сети (SDN) // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №3. С. 50-55.

3. Чукарин А.В. Об одной задаче управления сетевыми и информационными ресурсами в сетях NGN // Т-Comm, №7. 2010. С. 123-125.
4. Ibrahimov B.G., Ismaylova S.R. The Effectiveness NGN/IMS Networks in the Establishment of a Multimedia Session // American Journal of Networks and Communications. Vol. 7, No. 1. 2018. pp.1-5.
5. Самуйлов К.Е. и др. Современные концепции управления инфокоммуникациями. М.: РУДН, 2013. - 234 с.
6. Chowdhury N. M. K. and Boutaba R. A Survey of Network Virtualization. Computer Networks, vol. 54, no. 5, 2010. - pp.862-876.
7. Захаров А.А., Попов Е.Ф., Фучко М.М. Аспекты информационной безопасности архитектуры SDN // Вестник СибГУТИ. № 1. 2016. С. 83-92.

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ NGN/IMS ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ СЕССИИ

Ибрагимов Байрам Ганимат оглы,

д.т.н., профессор, Азербайджанский Технический Университет, г. Баку, Азербайджан
i.bayram@mail.ru

Исаев Яльчын Сабир оглы,

адъюнкт Военной Академии Республики Азербайджан, г. Баку, Азербайджан

Интенсивное развитие мультисервисных сетей связи с коммутацией пакетов, использующих архитектурную концепцию NGN, требует улучшения вероятностно-временных характеристик подсистемы мультимедийной связи IMS при установлении соединений и при оказании мультимедийных услуг, обеспечивающих качество обслуживания QoS пакетов трафика систем и протоколов сигнализации [1].

Системно-технический анализ показал [1-3], что множество операторов связи, предоставляющих мультимедийные услуги, используют такие системы управления передачей служебного трафика, реализующие услуги Triple play, как голосовые услуги с возможностью активации мультимедийных приложений, видеотелефония, IPTV, голосовой и высокоскоростной доступ к сети Интернет.

Для предоставления операторами телекоммуникационных компаний вышеперечисленных услуг, в мультисервисных сетях связи необходимо учитывать качество обслуживания QoS служебного и полезного трафиков и восприятия (Quality of Experience, QoE), которое оценивается по нескольким критериям эффективности [4].

Поддержка качества обслуживания QoS&QoE является ключевым требованием к подсистеме IMS и важным показателем эффективности сетей NGN/IMS при установлении мультимедийной сессии. Однако данный вопрос изучен недостаточно хорошо и остается малоисследованным.

Рассматриваемая работа посвящена решению задачи создания адекватных математических моделей оценки качества мультимедийных услуг с использованием системы массового обслуживания общего типа $GI/G/1/N_{\text{об}}$, которая основана на теории диффузионной аппроксимации. С учетом характера сетевого трафика систем и протоколов сигнализации NGN/IMS предложена математическая модель (ММ) мультимедийной услуги, учитывающая совместное обслуживание служебных и полезных трафиков при оказании мультимедийных услуг.

На основе предложенной модели проанализированы технические возможности подсистемы передачи мультимедийных сообщений IMS и перспективные решения функционирования эффективности сетей NGN/IMS при оказании мультимедийных услуг.

На основе системно-технического анализа математической модели получены аналитические выражения, которые позволяют оценить показатели эффективности сетей NGN/IMS при представлении услуг Triple Play. Последнее является одним из важных требований к подсистеме IMS для поддержки качества обслуживания – QoS (Quality of Service) служебного и полезного трафиков.

Известно [1-3], что время установления соединения является важнейшим QoS показателем сетей NGN/IMS и определяется с момента, когда терминал вызываемого абонента передал всё сообщение, необходимое для установления соединения, до момента, когда это терминаль-

ное оборудование получило сигнал о состоянии терминала вызываемого абонента.

На основе исследований определено [2, 5, 6], что рассматриваемая сеть NGN/IMS при обслуживании потоков пакетов трафика систем и протоколов сигнализации представляет собой одноканальную систему массового обслуживания (СМО) типа $GI/G/1/N_{\text{об}}$ с ограниченной очередью (по обозначению Кендалла-Башарина GI- произвольное распределение с независимыми интервалами между поступлениями заявок).

В результате исследования модели одноканальной системы массового обслуживания получены важные аналитические выражения, определяющие показатели эффективности сетей NGN/IMS при установлении мультимедийной сессии [7].

На основе результатов численного анализа представлена зависимость пропускной способности сети NGN/IMS от коэффициента загрузки системы и скорости передачи мультимедийного трафика.

Анализ семейства графической зависимости $C_{\text{max}}(\lambda) = W(\rho, \lambda_{\text{ex}}, V_{\text{ck}})$ показывает, что с увеличением коэффициента загрузки СМО возрастает пропускная способность NGN/IMS с использованием серверов домашних абонентов HSS, тем самым уменьшается среднее время установления мультимедийной сессии при заданной $V_{\text{ck}} \geq 155$ Мбит/с.

Литература

1. Ибрагимов Б.Г., Гасанов А.Г. Исследование и оценка эффективности мультисервисных сетей NGN/IMS при передаче мультимедийных трафиков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №2. С. 15-18.
2. Маликова Е.Е., Михайлова Ц.Ц., Пиеничников А.П. Расчёт объёма оборудования мультисервисных сетей связи. М.: Горячая линия – Телеком. 2017. 90 с.
3. Van Bosse J.G., Devetak F.U. Signaling in Telecommunications Networks. NY: John Wiley, 2007. 810 p.
4. Волкова С.В. Использование современных ИКТ для создания единого инфокоммуникационного пространства // Электросвязь, №12. 2017. С. 98-99.
5. Ibrahimov B.G., Ismaylova S.R. Research and analysis performance indicators multiservice signal networks NGN/IMS // International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. Vol.6., Issue 12. 2017, pp. 295-300.
6. Зарипова Э.Р. Методы анализа показателей эффективности телекоммуникационной сети серверов протокола установления сессии // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. РУДН. Москва. 2014. 18 с.
7. Соколов А.Н., Соколов Н.А. Однолинейные системы массового обслуживания. СПб.: Изд-во «Теледом», СПбГУТ, 2010. 112 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ СЕТЕВОГО ТРАФИКА СЕТЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Калашников Евгений Александрович,

к.т.н., доцент, профессор, кафедра автоматизированных систем управления Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия, ek.misis@gmail.com

Кондыбаева Алмагуль Бауржановна,

магистр, кафедра автоматизированных систем управления Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия, almakonde18@gmail.com

Оситис Анастасия Петровна,

Профессор, «Заслуженный работник связи РФ», «Почетный радист», «Мастер связи», президент Международной общественной академии связи, Международная академия связи (МАС), Москва, Россия, info@ita.org.ru

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, классификация, стационарного, сигнала, кластеризация трафика, анализ трафика, рекомендации новых услуг рынке телекоммуникаций, детектирование террористов, GSM, IP, NGN.

Введение

Современный рынок связи находится на таком этапе, когда операторы имеют благоприятную возможность обойти все трудности конвергенции, присущие сетям прошлых лет, и перейти напрямую к сетям следующего поколения на базе технологии, которая получила рабочее название NGN – «New Generation Network». Для того чтобы совершить этот прорыв и присоединиться к числу высокотехнологичных операторов, необходимы новые решения в области создания и предоставления высокопроизводительных услуг. NGN – технология построения сети – предназначена для предоставления услуг передачи данных и голосовых сервисов. Она снимает целый ряд ограничений и барьеров, существующих сейчас, и в этом заключается ее экономическая продуктивность [1-4].

В процессе выбора оптимальной модели для решение задачи классификации учитывается большое количество параметров влияющие на реализацию поставленной задачи. Но так же у всех этих принципов есть общая база построения [5].

Математическая постановка задачи

Обозначим множество признаков следующим образом:

$$F = \{f_i\}, i = 1 \dots n; \quad (0.1)$$

Для каждого признака можно выделить множество его значений, основываясь либо на обучающем множестве, либо используя другую априорную информацию о задаче, обозначим следующим образом конечное множество значений признака:

$$\forall f_i \in F \exists d_{f_i} \subset R; \quad (0.2)$$

Так же необходимо ввести так называемую меру неоднородности множества относительно его меток.

$$\forall A \subseteq T : 0 \leq \hat{p}_k(A) \leq 1; \quad (0.3)$$

Таким образом мы задали эмпирическое дискретное вероятностное распределение меток в подмножестве наблюдений. Мерой неоднородности этого подмножества будем называть функцию следующего вида, где $K(A)$ — общее количество меток подмножества A :

$$\phi : [0, 1]^{K(A)} \rightarrow \mathbb{R}; \quad (0.4)$$

Мера неоднородности задается таким образом, что бы значение функции по возможности возрастало при увеличении разношерстности набора, достигая своего максимума тогда, когда набор состоит из одинакового количества всевозможных меток, и минимума в случае если набор состоит только из меток одного класса.

$$\phi(\bar{p}) = \sum_{i=1}^m p_i (1 - p_i) \quad (0.5)$$

Алгоритм построения бинарного дерева решений Random Forest работает по схеме жадного алгоритма: на каждой итерации для входного подмножества обучающего множества строится такое разбиение пространства гиперплоскостью (ортогональной одной из осей координат), которое минимизировало бы среднюю меру неоднородности двух полученных подмножеств. Данная процедура выполняется рекурсивно для каждого полученного подмножества до тех пор, пока не будут достигнуты критерии остановки [2-6].

Результаты эксперимента

Экспериментальным путем был сформирован перечень статистических характеристик сеансов, которые можно рассматривать как независимые и, при этом, успешно применять для классификации трафика

- число внешних портов;
- число внутренних портов;
- доля исходящего трафика;
- средний размер пакета.

Были сформулированы 32 статистические характеристики потока данных, отталкиваясь от вышеуказанных значений [5, 6].

В качестве параметров алгоритма Random Forest после нескольких экспериментов были выбраны следующие значения:

- Число деревьев: 27.
- Критерий: энтропия.
- Максимальная глубина дерева: 9.

Таблица 1

Результаты эксперимента по подбору оптимальных параметров для классификации трафика сети

Протокол	Записи в обучающей выборке	Записи в тестовой выборке
Skype	34	340
SSL	78	780
HTTP	769	7690
DNS	465	4650
BitTorrent	6	60
	1352	13520

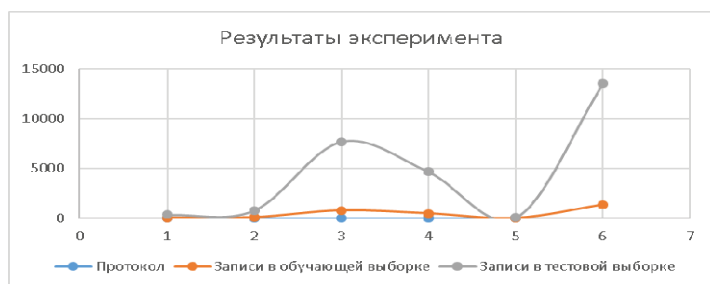


Рис. 1. Результаты эксперимента по подбору оптимальных параметров для классификации трафика сети

Таблица 2

Результаты эксперимента по подбору оптимальных параметров для классификации трафика сети

Признак	Важность
Число пакетов	0,1
Средний размер данных клиента	0,1
Размер первого пакета данных	0,08
Количество переданных байт	0,07
Стандартное отклонение размера пакета	0,6
Размер второго пакета со стороны сервера	0,59



Рис. 2. Результаты эксперимента по подбору оптимальных параметров для классификации трафика сети

Таблица 3

Результаты эксперимента по подбору оптимальных параметров для классификации трафика сети

Протокол	Точность	Полнота	Количество
Skype	0,94	0,99	319
SSL	1	0,99	780
HTTP	0,99	1	7613
DNS	1	1	4650
BitTorrent	0,98	0,89	58

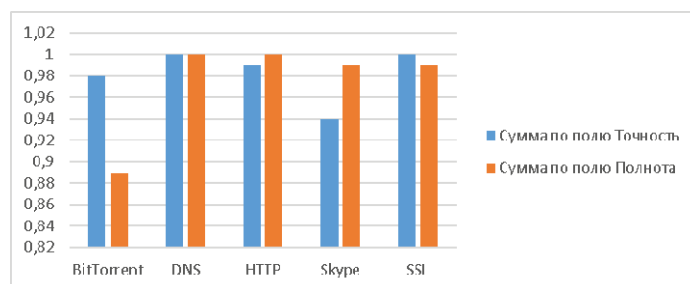


Рис. 3. Результаты эксперимента по подбору оптимальных параметров для классификации трафика сети

Выводы

Достоинствами алгоритма являются:

- высокая скорость обучения
- неитеративное обучение – алгоритм завершается за фиксированное число операций
- масштабируемость (способность обрабатывать большие объемы данных)
- высокое качество получаемых моделей (сравнимое с нейронными сетями и ансамблями нейронных сетей[3]).
- малое количество настраиваемых параметров
- внутренняя оценка способности модели к обобщению.

Литература

1. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / под. ред. Ю. Чернышова. М.: Эко-Трендз, 2008. 400 с.
2. Битнер В.И., Михайлова Ц.Ц. Сети нового поколения – NGN. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 226 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2002. 672 с.
4. Семенов Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения. СПб.: Наука и Техника, 2005. 240 с.
5. Дорогов А.Ю. Структурные и топологические инварианты быстрых перестраиваемых преобразований / VIII Всероссийская научно-техническая конференция "Нейроин форматика-2006". Научная сессия МИФИ-2006. В 3-х частях. Ч.1. М.: МИФИ, 2006. С. 39-50.
6. Kohonen T. The "Neural" Phonetic Typewriter // IEEE Computer, March 1988, pp. 11-22.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Коршунов Владимир Николаевич,

д.т.н., профессор кафедры «Многоканальные телекоммуникационные системы» МТУСИ, Москва, Россия, mes@mtuci.ru

Шаврин Сергей Сергеевич,

д.т.н., профессор кафедры МТС МТУСИ, Москва, Россия, sss@mtuci.ru

Шишова Надежда Альвиновна,

к.т.н., доцент, зав. кафедрой МТС МТУСИ, Москва, Россия, nadevda@yandex.ru

К доминантным параметрам оптических телекоммуникационных систем [1] вида волоконно-оптических систем передачи со спектральным разделением (ВОСП-СП) относится спектральная эффективность, характеризующая степень использования спектрального ресурса инфокоммуникационной линии при передаче информации. Общеупотребительным показателем спектральной эффективности является отношение битовой скорости передачи информации к ширине частотного диапазона, выделенного для передачи сигналов [2].

Расширенная концепция определения спектральной эффективности строится на применении ансамбля модификаций скорости передачи информации и ширины спектрального диапазона: битовой и бодовой (символьной) скорости, частотного и волнового спектра. Парные комбинации соответствующих значений скорости и спектра образуют счетное множество модификаций спектральной эффективности [3], содержащее четыре элемента:

- спектральная эффективность SE, отношение битовой скорости к ширине диапазона частот;
- бодовая эффективность BE, отношение бодовой скорости к ширине частотного диапазона;
- спектрально-волновая эффективность SWE, отношение битовой скорости к ширине диапазона длин волн;
- бодово-волновая эффективность BWE, отношение бодовой скорости к ширине волнового диапазона.

Параметр SE широко применяется и не нуждается в комментариях; параметр BE [4] полезен в расчетах скорости ВОСП-СП; параметр SWE [5] дает возможность непосредственной оценки пропускной способности среды распространения оптических сигналов по заданной ширине полосы

длин волн. Параметр BWE здесь приведен для полноты набора комбинаций разновидностей скорости и спектра.

Примеры значений показателя BE: 1 Бод/Гц (ВОСП-СП с реализацией предела Найквиста); 1,12 Бод/Гц (передача «быстрой Найквиста»); 1,2 Бод/Гц (сигнал «супер-Найквист»). Примеры SWE: 0,175 Тбит/с/нм для оптического диапазона O; 0,625 Тбит/с/нм для диапазона C; 1,2 Тбит/с/нм для диапазона C+L.

Развитие понятия спектральная эффективность и применение вышеприведенных показателей позволяет пополнить инструментарий оценки и расчета скоростных параметров оптических телекоммуникационных систем.

Литературы

1. *Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В., Моченов А.Д., Шарафутдинов Р.М.* Оптические телекоммуникационные системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2011. 368 с.
2. *Гордиенко В.Н., Коршунов В.Н.* Спектральная эффективность волоконно-оптической системы передачи // *Электросвязь*. 2012. №1. С. 53-56.
3. *Korshunov V.N., Shavrin S.S., Shishova N.A.* Spectral efficiency of fiber-optic data transfer systems: four modifications / «2018 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications», IEEE Conference #43917, 14-15 March 2018, Moscow, Russia.
4. *Коршунов В.Н., Шаврин С.С., Шишова Н.А.* Скорость волоконно-оптической системы передачи при комплексном мультиплексировании // *Вестник связи*, 2017, №10. С. 22-24.
5. *Гордиенко В.Н., Коршунов В.Н., Шишова Н.А.* Повышение скорости волоконно-оптических систем передачи // *Электросвязь*, 2016, №5. С. 27-33.

РАЗРАБОТКА ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Мазуренко Дмитрий Константинович,

к.т.н., начальник отдела, ФГУП ЦНИИС, Москва, Россия, dm.ma2010@yandex.ru

Введение

Программа «Моделирование Telecomt» [5], построенная на основе технологии объектно-ориентированного многоуровневого программирования, предназначена для анализа и оптимизации процессов передачи и приема сигналов с учетом методов кодирования, сред передачи и возможных помех.

С помощью численного математического моделирования процессов, в частотной или временной области, рассчитываются: среднеквадратические значения помех, шум, вероятность ошибки, раскрыв глаз-диаграммы на входе решающего устройства, параметры оптимального приемного фильтра (корректирующего усилителя).

Данная программа также позволяет рассчитывать распределение плотности вероятности помех, корреляционные функции и энергетические спектры, используемых кодов.

Область применения: для научных исследований при разработке аппаратуры средств связи, а также анализа и оптимизации электромагнитного влияния и зон покрытия сотовых сетей операторов связи, участков регенерации сетей операторов проводной связи.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC.

Язык программирования: C++ для Window (Borland C++Builder 6.0). Вид и версия операционной системы: Windows XP/ 7. Объем программы для ЭВМ: 6 Мбайт.

1. Структура программы и ее основные элементы

Многоуровневое программирование в программе «Моделирование Telecomt» определяется наличием формирующих и вычислительных программ. Каждая формирующая программа взаимодействует со своей библиотекой через соответствующие файлы ввода информации. В этих файлах записаны формализованные блоки входных данных, описывающие свойства моделей объектов. Массивы выходных данных, представленные в виде матриц соответствующих размеров, используются далее вычислительными программами в качестве входных данных и в процессе их взаимодействия между собой. Вычислительные программы имеют два типа данных собственные и полученные от формирующих программ или других вычислительных программ.

Размеры матриц для поля данных, полученных от формирующих программ или других вычислительных программ, стандартизированы по размеру. Однако этот размер, при необходимости, может быть изменен пользователем. Размеры матриц определены в поле собственных входных данных вычислительных программ, причем и в этом случае не имеется ограничений на размеры собственного поля данных. Входные данные собственного поля данных для каждой вычислительной программы записаны в файлах, имеющих соответствующие типовые имена. Каждой программе присвоен соответствующий ранг.

Взаимодействие программ в процессе работы осуществляется с учетом их ранжирования. Меню поля панели задач представлено в виде икон и кнопок. С помощью иконы «Конфигурация» осуществляется выбор соответствующих

формирующих программ. С помощью иконы «Программа» осуществляется выбор соответствующих вычислительных программ. В меню поля панели задач имеются также кнопки, которые обеспечивают вычисление необходимых дополнительных данных, используемых в дальнейшем вычислительными программами.

Вывод результатов расчета и графиков как формирующих, так и вычислительных программ осуществляется на экран, который с этой целью разделен на два поля. Данные, в одно из полей экрана, выводятся в виде массива сформированных данных, полученных из файла численных данных, сформированных программой. Вывод графиков на экран осуществляется из соответствующего файла графических данных, где этот график был записан программой в виде символического массива данных. Для масштабированного вывода графиков во входных данных формирующих и вычислительных программ предусмотрено соответствующее поле данных.

Кроме вывода результатов расчета формирующих и вычислительных программ на экран, более подробные данные результатов выводятся в соответствующий файл. В этом файле отражены входные данные, использованные программой при расчетах, графики результатов расчета, данные результатов расчета в виде матричных массивов и отдельных данных. Таким образом, осуществляется формирование экспресс отчета по результатам моделирования отдельных задач.

В программе «Моделирование Telecomt» предусмотрен также вывод графиков, используя возможности, которые предоставляет C++Builder программисту для работы с графикой. Вывод графика на поверхности графических форм программы «Моделирование Telecomt», сформированного из графических примитивов, осуществляется на экран с помощью иконы «Графика». Иконы «Данные» используются для редактирования входных данных файлов формирующих и вычислительных программ, а также для присвоения типовых названий этим файлам.

2. Расчет энергетического спектра сигнала

Процесс кодирования сигнала может быть представлен в виде вероятностного автомата (ВА) с N – начальными состояниями Q_i , который задается с помощью матриц входных $-B_{ij}$ и выходных $-A_{ij}$ символов ВА, а также матрицей условных вероятностей перехода P_{ij} . ВА может быть определен следующим выражением [3]: $A = \{ [B_{ij}], [A_{ij}], [P_{ij}], Q_i \}$

Следует отметить, что ВА, описывающий процесс кодирования можно представить в виде соответствующего графа, описывающего процесс с мощью матриц входных и выходных символов алфавита, матрицей условных вероятностей перехода, а также вектором начальных состояний. Представление процесса кодирования с помощью соответствующего графа возможно как для блочных методов кодирования, так и для парциальных методов кодирования.

Также, следует отметить, что для парциальных методов кодирования, например, кода AMI (Alternative Mark Inversion) или кода MDBH (modified duobinary signal) суще-

ствуют аналитические выражения для расчета энергетического спектра выходного сигнала. Сравнение результатов расчета для парциальных методов кодирования, в частности для кода MDBH, полученные как с помощью программы «Моделирование Telecomm», так и с помощью аналитического выражения показали их идентичность.

3. Расчет вероятности ошибки при приеме сигнала в присутствии помех

Будем считать, что закон плотности вероятности (ПВ) импульсной помехи, являющийся воздействием случайного процесса ξ_i , от i -влияющих систем передачи неизвестен. Однако известно, что он является усеченным на конечном интервале. Тогда в соответствии с центральной предельной теоремой одномерная ПВ переходной помехи, полученная в результате ее суммирования от i -влияющих систем передачи, аппроксимируется усеченным нормальным законом распределения [2, 4].

Необходимо отметить, что расчеты вероятности ошибки приема сигнала в присутствии импульсных помех, проведенные с помощью программы «Моделирование Telecomm», как с учетом закона распределения импульсной помехи, так и по максимальному значению помехи показали их различие на два порядка от 10^{-10} до 10^{-12} . Таким образом, учет закона распределения ПВ импульсной помехи, позволяет более точно провести расчет ее влияния.

4. Расчет оптимального приемного фильтра

Задачу синтеза оптимального приемного фильтра можно сформулировать следующим образом: найти передаточную функцию приемного фильтра, для которой критерий качества (целевая функция) – Φ достигает своего максимального (минимального) значения.

При этом, в качестве целевой функции при оптимизации приемного фильтра можно воспользоваться функционалом – Φ , определяющим соотношение сигнал/шум.

По своему физическому смыслу определение максимального значения функционала – Φ соответствует поиску максимального значения соотношения сигнал/шум с учетом ухудшающего влияния, обусловленного воздействием импульсных и межсимвольных помех.

С вычислительной точки зрения эта задача эквивалентна поиску экстремума функции многих переменных.

Тогда, предположим, что функционал – Φ в общем случае невыпуклый и на его поверхности имеются овраги.

Следует отметить, что в этом случае сложность задачи поиска экстремума заключается в том, что целевая функция многоэкстремальна.

Поэтому для сделанного допущения сходимость решения к глобальному экстремуму существенно зависит от правильно выбранного начального приближения полюсов и нулей, аппроксимирующей приемный фильтр функции.

Необходимо отметить, что при расчетах с помощью программы «Моделирование Telecomm» в качестве начального приближения при монотонной аппроксимации сквозной амплитудно-частотной характеристики идеального канала Найквиста, характеризующегося отсутствием межсимвольных помех, использовались характеристики фильтров Баттерворта – 2, 3 и 4 порядка.

Заключение

Применение при разработке программы «Моделирование Telecomm», технологии объектно-ориентированного многоуровневого программирования позволяет в дальнейшем обеспечивать наращивание как библиотек моделей объектов формирующих программ, так и дополнительных вычислительных программ

Используемая технология объектно-ориентированного программирования допускает также применение моделей объектов, полученных с помощью прикладных программ «MATLAB» и «MathCAD»

Математический аппарат для реализации численного математического моделирования процессов, в частотной или временной области, использованный при разработке программы «Моделирование Telecomm», основан на ряде работ по данному направлению, в том числе [2-4].

Литература

1. *Страуструп Б.* Язык программирования Си ++. М.: Радио и связь, 1991. 348 с.
2. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1977. 830 с.
3. *Мазуренко Д.К.* Методы кодирования линейного сигнала во взаимовлияющих однокабельных цифровых системах передачи // Электросвязь. 1992. № 7. С. 24-26.
4. *Мазуренко Д.К.* Разработка методов повышения помехоустойчивости и оптимизация однокабельных цифровых систем передачи. Дис. . канд. техн. наук. М., 1988. 235 с.
5. *Мазуренко Д.К.* Программа для ЭВМ «Моделирование Telecomm», Заявка о государственной регистрации в Федеральную службу по интеллектуальной собственности № 2017661165, от 31.10.2017.

АНАЛИЗ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

Макарова Наталья Евгеньевна,

магистрант кафедры ИТС МТУСИ, Москва, Россия, natalie-roach@yandex.ru

Швырёва Марина Александровна,

студентка МГТУ им. Баумана, Москва, Россия

Доступ абонента к сетевым услугам – это одна из самых важных проблем телекоммуникационных сетей. Развитие сети Интернет определяет необходимость в резком увеличении пропускной способности существующих сетей абонентского доступа. Медные абонентские кабели уже не являются основным средством сетей доступа, их заменяют сети широкополосного доступа (ШПД) с применением оптоволоконных решений, отличительными особенностями которых являются:

- лёгкость оптоволоконных кабелей – волоконно-оптические кабели (ВОК) имеют меньшую массу по сравнению с электрическими [1];

- отсутствие электромагнитного излучения;

- низкие потери оптического сигнала в волокне – в настоящее время серийное оптическое волокно (ОВ) имеет затухание 0,18-0,2 дБ/км [2];

- гальваническая развязка элементов кабельной сети – волоконно-оптические решения обеспечивают исключение электрических «земельных» петель, возникающих в том случае, если два связанных электрическим кабелем связи электронных устройства неизолированной локальной сети имеют подключения к различным заземлителям. В такой ситуации возможно возникновение большой разницы потенциалов, которая способна нанести вред сетевому оборудованию, однако подобной проблемы для оптического волокна просто не существует;

- высокая степень защищенности от несанкционированного извне доступа – так как применяемые в настоящее время ВОК почти не излучают в широком диапазоне радиочастот, то транслируемую по ним информацию достаточно трудно снять, не нарушая целостности линии связи;

- малый уровень собственных шумов в волоконно-оптической направляющей среде передачи – обеспечивает расширение полосы пропускаемых частот путем снижения избыточности кодирования;

- высокая помехозащищенность – поскольку оптическое волокно изготовлено из диэлектрика, оно невосприимчиво к любым внешним электромагнитным полям со стороны окружающих его различных источников помех и электронного оборудования;

- пожаробезопасность – поскольку по ОВ передается информация световыми импульсами, исключаящими искрообразование, оптическое волокно существенно повышает безопасность функционирования сети при обеспечении работы сложного оборудования повышенной степени риска;

- экономичность – поскольку ОВ изготовлено из природного кварца, находящегося в речном песке, а, следовательно, недорогого сырья, в отличие от цветного металла меди;

- широкая полоса пропускания – определяется высокой частотой применяемой несущей 10^{14} Гц, что обеспечивает транслирование по одному ОВ потока различной информации со скоростью в несколько терабит в секунду.

Абонент не сможет получить полный пакет качественных и разнообразных современных услуг связи, если будет использовать устаревшие технологии доступа. В связи с

этой задачей дальнейшее существование сетей доступа как изолированных структур стало более невозможным.

Принимая во внимание экономическую целесообразность применения возможных технологий, оператор выбирает стратегию развития сетей доступа. Для абонента и оператора большое значение, помимо финансовых затрат, имеют также и другие свойства сетей доступа, такие как скорость передачи данных, качество и надежность предоставляемых услуг, их мультисервисность. Данные факторы – ключевые при разработке сетей абонентского доступа.

Широкополосный волоконно-оптический доступ может быть реализован различными схемными решениями. Выбор возможной применяемой архитектуры определяется множеством условий, и в первую очередь плотностью и степенью равномерности распределения абонентов.

При использовании архитектуры *FTTN* (англ. *Fiber to the Node*) оптоволоконно подводят к сетевому узлу. Оптическое волокно оканчивается в уличном распределительном шкафу, не более 1,5 км от потребителя. Количество обслуживаемых абонентов может составлять всего несколько сотен. К абонентам в этом случае подключение услуг осуществляется, как правило, витой парой. Такой вид реализации дешевле, но в будущем он будет проигрывать варианту с более близким доведением оптического волокна к конечному потребителю из-за своей пропускной способности.

Под вариантом архитектуры *FTTC* (англ. *Fiber to the Curb*) подразумевается подведение волокна к группе домов, кварталу или микрорайону. *FTTC* похож на *FTTN*, но в случае использования технологии *FTTC* уличный распределительный шкаф будет расположен в пределах 300 метров, то есть ближе к помещениям клиента. В этом варианте от окончания оптоволоконной линии до абонента так же, как и в *FTTN*, используют коаксиальный кабель или витую пару [3].

При реализации архитектуры *FTTB* (англ. *Fiber To The Building*) оптическое волокно прокладывают до здания. ОВ доводят до коммутационного оборудования оператора, которое размещают на границе территории домов или частного бизнеса. С оборудованием устанавливают единый терминал, от которого до квартиры клиента проводится медный кабель, либо используется беспроводной доступ. Архитектура *FTTB* – это наиболее распространенная технология семейства *FTTx*, так как ее пропускная способность выше, а эксплуатационные расходы сети ниже, чем, например, у варианта *FTTC*. Схема *FTTB* наиболее оптимальна для районов с большой численностью многоквартирных домов.

Архитектура *FTTH* (англ. *Fiber To The Home*) подразумевает прокладку оптического волокна до квартиры. В жилище клиента устанавливают терминал, от которого кабель идет до компьютера. Далее оператор предоставляет абоненту свои услуги, используя технологию *PON*. Из всех представленных вариантов технологий семейства *FTTx* у архитектуры *FTTH* наибольшая полоса пропускания. Расходы на эксплуатацию при использовании архитектуры *FTTH* могут быть значительно снижены при сокращении площадей кабинетов, используемых для установки технического оборудования.

В наше время возможно реализовать немало способов подключения многоэтажных домов к сети *FTTx*. Большинство из них основаны на установке в здании оптического сетевого терминала (*ONT*), от которого прокладываются электрические кабели к квартирам абонентов. При этом по мере падения оптовых цен на *ОВ*, нечувствительных к изгибу, все более удобным решением становится прокладка волокна непосредственно до квартиры [4].

Самой перспективной технологией оптических пассивных сетей является технология *PON*, в которой были достигнуты скорости передачи 2,5 Гбит/с для нисходящего и 1,25 Гбит/с для восходящих потоков. Длины используемых волн распределены следующим образом: 1490 нм рекомендуется для передачи нисходящего потока, 1310 нм для восходящего, 1550 нм применяется для трансляции видео.

Основа функционирования сети *PON* заключается в том, что все абоненты сети подключены к сетевому оборудованию по одному волокну. Прием и передача информации осуществляются на разных длинах волн.

При использовании технологий высокоскоростной пассивной оптической сети (*GPON*) оптическое волокно соединяет большое количество многоквартирных домов с одним активным линейным оптическим терминалом (*OLT*), находящемся в главном узле. *ОВ* первичной сети подведено близко к группе подсоединяемых строений и для разделения сигналов используется пассивный оптический элемент - сплиттер.

Преимущества использования технологии *PON* заключается в проектировании абонентского доступа с высокой пропускной способностью и минимизацией затрат.

Реализация технологии *PON* на сетях абонентского доступа обеспечивает достаточно много весомых преимуществ при монтаже и эксплуатации перед другими технологиями:

- низкие затраты на обслуживание;
- экономия *ОВ* и оптических излучателей;
- простота подключения абонентов;
- экономия электроэнергии на питании сетевого оборудования;
- последующее повышение скорости транслирования трафика (до 10 Гбит/с) без замены пассивного оборудования сети;
- обеспечение расширения полосы передаваемых частот за счет отсутствующих в сети в данный момент времени абонентов.

На сегодняшний день наиболее современной и развивающейся семимильными шагами является, естественно, сетевая технология *PON*. Исходя из всех преимуществ и, главным образом, из того, что в технологии.

PON отсутствуют активные сетевые устройства, требующие электропитания (за исключением оконечных), то для построения широкополосной сети доступа в наши дни выбирается именно технология создания пассивных оптических сетей *PON*.

В наши дни существуют также сети на основе широкополосного беспроводного доступа (*ШБД*). Основным преимуществом сетей *ШБД* является использование радиодоступа. В таких сетях уже не требуется прокладки кабельных линий на участке «точка доступа-абонент».

Достаточно широко применяются системы беспроводного

абонентского доступа *WiMAX* (англ. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) и более распространенная *Wi-Fi* (англ. *Wireless Fidelity*). С помощью беспроводных сетей могут обслуживаться места, исключая возможность проложить кабель (например, несущие историческую ценность здания). Еще одним достоинством технологий *Wi-Fi* является поддержка роуминга, следовательно, возможно перемещение клиентской станции в пространстве. К недостаткам технологий *Wi-Fi* относится небольшой радиус действия. Технология *WiMAX*, в отличие от *Wi-Fi*, работает на относительно больших расстояниях и обеспечивает высокоскоростной доступ в Интернет.

Для обеспечения радиосвязи в свободном пространстве могут быть использованы частоты, свободные для коммерческого применения. Наиболее продвинутые технологии позволяют связать абонентов, находящихся вне зоны прямой видимости, а некоторые позволяют обеспечить связью движущегося абонента. Сетевые решения на основе *ШБД* строятся значительно быстрее и гораздо дешевле в эксплуатации по сравнению с кабельными сетями. При этом системы *ШБД* могут предложить абонентам значительно более низкие скорости передачи данных в сравнении с проводными сетями *ШПД*.

В настоящее время создание сетей широкополосного доступа является одной из самых важных задач при организации абонентского доступа. Рост объема информации и скоростей передачи, потребность абонентов в новых и более сложных видах интерактивных услуг обуславливает необходимость в применении и совершенствовании сетей широкополосного доступа.

Применение решений на основе *FTTx* позволяет предоставлять большое число новых услуг, что обусловлено широкой полосой пропускания данных систем. Наиболее сбалансированным решением является доведение оптоволокну до жилища абонента на основе технологии *PON*.

Проведен анализ современных технологий доведения до абонента мультисервисных телекоммуникационных услуг и на его основе предложена к реализации наиболее оптимальная и перспективная среди известных технологий широкополосного доступа.

Работа выполнена на кафедре Направляющих телекоммуникационных сред [5] МТУСИ.

Литература

1. Боев М.А., Ламм З.М. Современные конструкции внутри-объектовых оптических кабелей для широкополосного доступа // Кабели и провода, 2016. №5. С. 31-36.
2. Зубилевич А.Л., Колесников В.А. К вопросу о выборе оптических волокон // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2010. Т.4. №8. С. 7-9.
3. Портнов Э.Л., Зубилевич А.Л. Электрические кабели связи и их монтаж: Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 264 с.
4. Зубилевич А.Л., Колесников В.А. Прокладка оптических кабелей с применением защитных пластмассовых труб // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2009. № S1. С. 150-152.
5. Зубилевич А.Л. Здесь готовят связистов-линейщиков // Кабель-news, 2013. №3. С. 48-50.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Манонина Ирина Владимировна,

к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия, ivm@mtuci.ru

Шестаков Владимир Владимирович,

к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия, shvvov@mtuci.ru

При выполнении различных исследований (радиолокационные исследования объектов, спутниковые радионавигационные исследования, медицинская диагностика), а также при проведении научно-технических экспериментов наиболее существенная информация о полученном сигнале (результат исследования) содержится в форме сигнала, его амплитудных, временных или частотных параметрах. Для регистрации и наблюдения формы сигнала используются аналоговые осциллографы, как наиболее универсальные измерительные приборы.

Обобщенная структурная схема и принцип работы традиционного аналогового осциллографа показан на рис. 1. Для аналогового осциллографа можно выделить четыре основных блока: система (канал) вертикального отклонения, система (канал) горизонтального отклонения, система синхронизации и электронно-лучевая трубка.

ское отклонение луча. На пластины горизонтального отклонения (X) от генератора подается напряжение развёртки, изменяющееся по пилообразному закону. По мере нарастания пилообразного сигнала луч на экране перемещается слева направо, прочерчивая горизонтальную ось – ось времени. На пластины вертикального отклонения (Y) подается исследуемый сигнал, при этом траектория луча в точности соответствует этому сигналу [1].

Цифровой осциллограф предназначен для исследования электрических сигналов путём их преобразования в цифровую форму с последующим визуальным наблюдением на жидкокристаллическом дисплее, что позволяет не только наблюдать форму сигнала, но и производить измерения амплитудных и временных параметров, а также с помощью математической обработки сигнала (применяется быстрое преобразование Фурье) возможно, производить измерения частотных компонент, выявление редких особенностей сигнала с использованием наложения масок или метода послесвечения.

Для аналогового осциллографа преимуществами являются: знакомый интерфейс; обновление экрана в реальном времени, при отображении быстро изменяющихся сигналов во времени; простые, понятные средства управления для наиболее часто используемых настроек (коэффициент развёртки, коэффициент чувствительности, смещение сигнала, уровень запуска и т.д.). К недостаткам следует отнести: невысокая точность в зависимости от частоты сигнала и коэффициента развёртки мерцание и/или тусклость экрана; ограниченная полоса пропускания; ограниченные средства измерения параметров сигналов.

Преимущества цифровых осциллографов: возможность «замораживания» изображения на произвольное время; высокая точность измерений; широкая полоса пропускания; яркий, хорошо сфокусированный экран на любой скорости развёртки; возможность отображения сигнала до запускающего момента (в «отрицательном» времени); возможность обнаружения импульсных помех; автоматические средства измерения параметров сигналов; возможности математической и статистической обработки сигнала; средства самодиагностики. При этом цифровые осциллографы имеют следующие недостатки: в связи с принципом работы (выборка данных с определенной частотой дискретизации) некоторые особенности сигнала могут быть усреднены или пропущены; ограниченность детектирования слабых высокочастотных сигналов, наложенных на сигналы более низкой частоты и значительно большей амплитуды при квантовании сигнала, в связи с ограниченным шагом квантования по амплитуде [2].

Выделяют следующие осциллографы: цифровые запоминающие осциллографы (*DSO – Digital Sampling Oscilloscope*), осциллографы с цифровым люминофором (*DPO – Digital Phosphor Oscilloscope*), стробоскопические осциллографы, осциллографы смешанных сигналов, виртуальные осциллографы [3].

Как и для аналогового осциллографа, в цифровом осциллографе выделяют четыре базовых функциональных блока: систему вертикального отклонения, систему горизонтально-

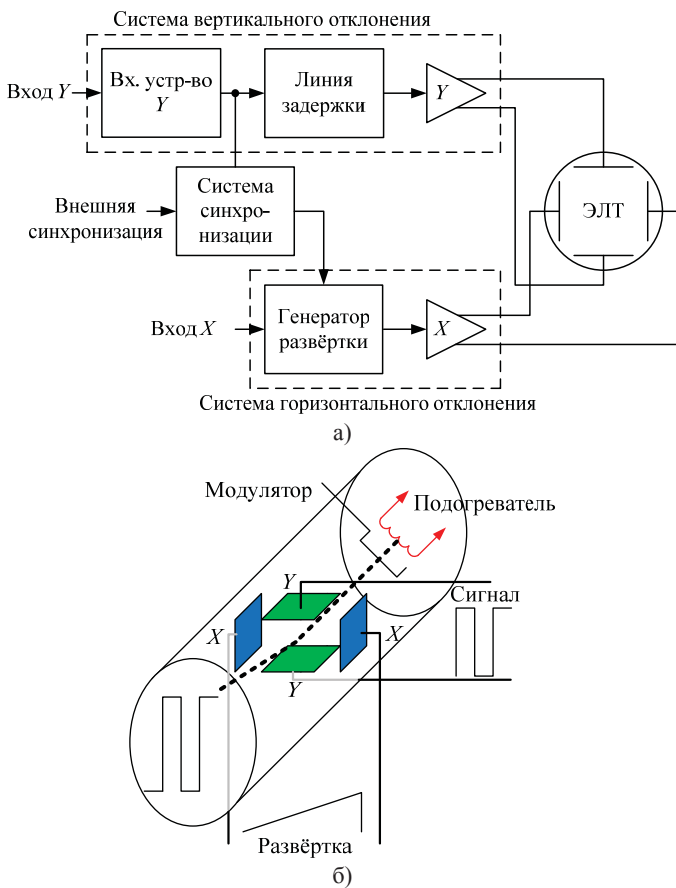


Рис. 1. Структурная схема (а) и принцип работы (б) аналогового осциллографа

В основу работы положен принцип свечения люминофора под действием электронного пучка. Внутри трубки помещены элементы электронной оптики, которые генерируют свободные электроны и формируют из них тонкий электронный луч. Модулятор яркости ускоряет или замедляет электронный луч. Разогнанный луч попадает в поле двух пар пластин, которые позволяют осуществлять электростатиче-

го отклонения, систему запуска (синхронизации) и систему отображения. Структурная схема цифрового запоминающего осциллографа представлена на рис. 2. В цифровых моделях имеются дополнительные подсистемы обработки данных, необходимые для сбора и отображения на экране всех параметров, присущих тому или иному сигналу. В запоминающих цифровых осциллографах используется архитектура последовательной обработки информации для захвата и вывода на экран исследуемых сигналов.

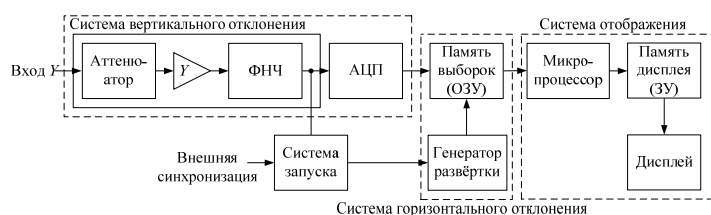


Рис. 2. Структурная схема цифрового запоминающего осциллографа

Принцип работы такого цифрового осциллографа следующий. Первыми (входными) функциональными узлами являются – управляемый аттенюатор, управляемый усилитель вертикального отклонения и фильтр нижних частот, которые под управлением микропроцессора обеспечивают необходимые коэффициенты ослабления и усиления. Данные органы управления вертикальным отклонением позволяют регулировать амплитуду и положение развертки сигнала. Фильтр нижних частот включается при выборе режима ограничения полосы пропускания. АЦП предназначен для преобразования аналогового сигнала, поступающего с фильтра в дискретную последовательность кодовых (цифровых) символов. Процесс преобразования представляет собой дискретизацию сигнала по времени с одновременным квантованием по уровню. Выборки, полученные от АЦП, сохраняются в оперативном запоминающем устройстве. Система горизонтального отклонения формирует выборку, определяющую масштаб по времени, с помощью генератора развертки (ГР) (генератора тактовых импульсов), который также задает частоту выборок АЦП. ГР является составной частью микропроцессора. Система запуска осциллографа определяет момент пуска и останова процесса записи. Микропроцессор обрабатывает сигнал, управляет выводом данных на дисплей, управляет ГР, узлами системы вертикального и горизонтального отклонения, а также решает другие задачи. От микропроцессора сигнал поступает в память дисплея, а из неё – выводится на экран.

К основным типам измерений (в автоматическом режиме), производимых цифровыми осциллографами относятся: измерения напряжений, фазового сдвига, частоты, ширины и времени нарастания/спада импульса, джиттер и др. Кроме того могут рассчитывать среднее и среднеквадратическое значения, коэффициенты заполнения, а также выполнять ряд математических операций – сложение, вычитание, умножение, деление, инверсия, выполнять функцию быстрого преобразования Фурье.

Более эффективно использовать математическую обработку данных с помощью вейвлет-анализа. Такая обработка позволяет увеличить точность при анализе локальных особенностей сигнала (повысить точность локализации особых точек сигнала, таких как выбросы, резкие скачки уровня и т.д.) [4, 5].

Удаление шума при помощи вейвлет-преобразования выполняется по следующим этапам: разложение сигнала по базису вейвлетов, выбор порогового значения шума для каждого уровня разложения, пороговая фильтрация коэффици-

ентов детализации и реконструкция сигнала. Идея пороговой обработки вейвлет-коэффициентов заключается в удалении достаточно маленьких коэффициентов, которые считаются шумом. Информация о незашумленном сигнале содержится только в небольшом количестве «больших» по величине вейвлет-коэффициентов. Остальные коэффициенты незначительно отличаются от нуля и их можно назвать незначимыми.

Существуют жёсткая и мягкая пороговая обработка. Функция жёсткой пороговой обработки имеет разрыв, что может привести к появлению нежелательных последствий в обрабатываемом сигнале, особенно, если её функция достаточно гладкая. Функция мягкой пороговой обработки имеет непрерывную пороговую функцию.

При жёсткой пороговой обработке вейвлет-коэффициенты, меньшие порогового значения, обнуляются. Остальные коэффициенты остаются равны своему значению и используются при обратном вейвлет-преобразовании для восстановления сигнала. При мягкой пороговой обработке вейвлет-коэффициенты, которые по модулю меньше порога, обнуляются, а абсолютные величины остальных коэффициентов уменьшаются на величину порога [6].

Для повышения точности измерений также можно использовать метод, основанный на математической обработке сигнала с определением по вейвлет-коэффициентам точек разрыва или изменения регулярности сигнала – нахождения точной локализации нерегулярностей (фронты и срезы импульсных сигналов). При этом во всех случаях необходимо осуществить выбор оптимальных вейвлетов для повышения точности измерений [7].

Так как измерения сигнала, а также математическую обработку данных в цифровых осциллографах осуществляет микропроцессор, то внедрение вейвлет-обработки возможно произвести именно в данный блок.

Литература

1. Хромой Б.П. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах. (Т.2). М.: ИРИАС, 2008. 60 с.
2. Осциллограф: аналоговый или цифровой? [Электронный ресурс]: статья // ТД «Автоматика»: [Сайт]. Режим доступа: <http://www.td-avtomatika.ru/library/article/208342>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Тюрин В.А. Цифровой запоминающий осциллограф. Устройство и принцип действия: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский федеральный университет, 2016. 101 с.
4. Mallat S. A wavelet tour of signal processing, Second Edition. Academic Press, 1999.
5. Boggess A., Narkowich F. A First Course in Wavelets with Fourier Analysis. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.
6. Шестаков О.В. Вероятностно-статистические методы анализа и обработки сигналов на основе вейвлет-алгоритмов. М.: Аргамак-медиа, 2016. 200 с.
7. Манонина И.В., Шестаков В.В. Improving the accuracy of determining the singularity by the detail wavelet-coefficients of the reflectogram decomposition // Т-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. 2018. №. 1. Т. 12. С. 53-58.

УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ ПОТОКОВ ДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ЗАЩИЩЕННЫХ КОРПОРАТИВНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Миронов Олег Юрьевич,

ФГКБОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», г. Орел, Россия,
MIRONNN101992@mail.ru

Рассматривается подход к решению задачи допуска нового потока данных реального времени в транспортную сеть с коммутацией пакетов защищенных корпоративных мультисервисных сетей связи в условиях шифрования данных. Описана система управления допуском потоков данных в транспортную сеть с коммутацией пакетов и алгоритм управления доступом этих потоков, обеспечивающий гарантированный уровень качества приоритетного обслуживания потоков при эффективном использовании канальных ресурсов сети передачи.

Ключевые слова: защищенная корпоративная мультисервисная сеть связи, потоки данных реального времени, доступ потоков данных, транспортная сеть с коммутацией пакетов.

Введение

Современные защищенные корпоративные мультисервисные сети связи (ЗКМСС) предназначены для объединения территориально распределенных филиалов (офисов) в единую инфокоммуникационную систему. Конфиденциальность передаваемой информации в таких системах обеспечивается за счет применения средств шифрования данных (СШД), как правило, функционирующих в туннельном режиме [1]. Применение СШД в данном режиме ограничивает возможность использования некоторых механизмов качества обслуживания (КО), например, архитектуры интегрированных услуг, т.к. служебная информация об устанавливаемых сеансах связи зашифровывается. В результате администраторы ЗКМСС вынуждены использовать модель гарантированных услуг (GS), которая предполагает гарантированное обеспечение заданного КО для информационных сервисов реального времени посредством резервирования необходимых сетевых ресурсов, но при этом влечет за собой неэффективное использование имеющейся пропускной способности [2].

Потребность в снижении экономических затрат на аренду ресурсов при организации ЗКМСС с одной стороны, и несовершенство механизмов эффективного использования канального ресурса с другой приводит к объективной необходимости решения задачи повышения степени использования арендуемой пропускной способности сети.

Для обеспечения гарантированного уровня КО потоков данных, передаваемых "из конца в конец", необходима реализация взаимодействия архитектур интегрированных (сеть доступа) и дифференцированных услуг (транспортная сеть) [3]. Вариант структуры ЗКМСС представлен на рис. 1, где на уровне доступа осуществляется подключение абонентских средств, шифрование трафика и взаимодействие с узлами транспортной сети.

Вариант сегмента сети доступа ЗКМСС организации представлен на рис. 2.

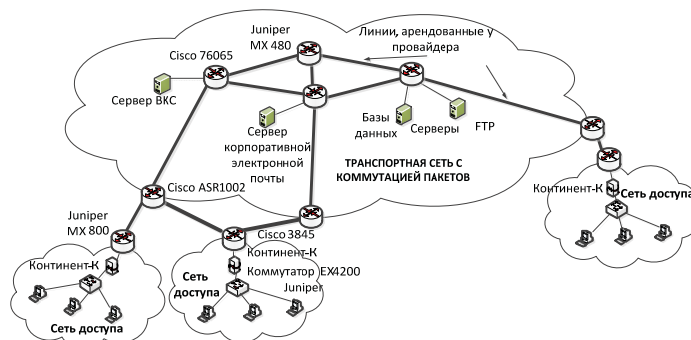


Рис. 1. Структурная схема ЗКМСС

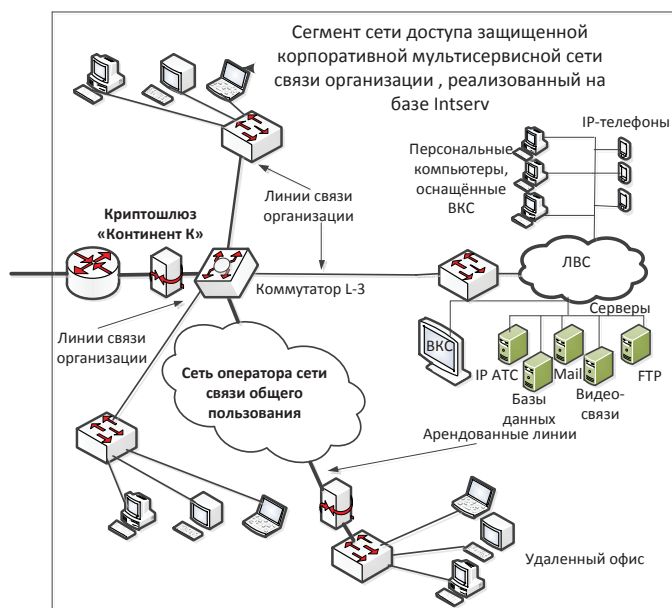


Рис.2. Вариант структурной схемы сегмента сети доступа ЗКМСС организации

Исходя из анализа способов управления доступом высокая степень использования ресурсов сети с обеспечением КО характерна для управления доступом на основе расчета эффективной полосы пропускания.

Процедуры шифрования и сокрытия внутренней структуры сети доступа в СШД не позволяют идентифицировать отдельные потоки данных и обслуживать их согласно принятым в сети правилам обеспечения качества обслуживания с

учетом требований к уровню обслуживания [4]. Следовательно, СШД выступают в роли объекта группирования потоков. Зашифрованные потоки за счет группирования запрашивают меньшую ширину полосы пропускания каналов, чем при их изолированном обслуживании, поэтому для эффективного использования ресурсов транспортной сети целесообразно учитывать эффект от группирования потоков при обслуживании в СШД.

Для повышения степени использования пропускной способности каналов ЗКМСС необходимо разработать систему и алгоритм управления доступом приоритетных потоков данных, позволяющие обеспечить гарантированный уровень КО потоков данных при эффективном использовании сетевых ресурсов.

Оценивание пропускной способности при обслуживании потоков данных с требуемым КО в ЗКМСС

В качестве источников нагрузки для разрабатываемой системы управления доступом рассматривается кривая поступления с формирователями трафика "ведро жетонов". Дисциплина обслуживания ограничивается кривой обслуживания, зависящей от применяемых способов управления передачей пакетов. Верхняя граница суммарной задержки пакета в системе "из конца в конец" представлена выражением 1 [2].

$$t_{\max} = \begin{cases} \frac{(b_i - L_i) * (p_i - R_i)}{R_i * (p_i - r_i)} + \frac{L_i + \Delta C_{\Sigma}}{R_i} + \Delta D_{\Sigma}, & p_i \geq R_i \geq r_i, p_i \geq r_i, \\ \frac{L_i + \Delta C_{\Sigma}}{R_i} + \Delta D_{\Sigma}, & R_i \geq p_i \geq r_i, p_i \geq r_i \end{cases} \quad (1)$$

Требуемая пропускная способность для обслуживания изолированного потока – выражение 2.

$$R_i = \begin{cases} p_i * \frac{(b_i - L_i)}{(p_i - r_i)} + L_i + \Delta C_{\Sigma}, & \text{при } p_i \geq R_i \geq r_i, p_i \geq r_i \\ t_{\max} + \frac{(b_i - L_i)}{(p_i - r_i)} - \Delta D_{\Sigma} \\ \frac{L_i + \Delta C_{\Sigma}}{t_{\max} - \Delta D_{\Sigma}}, & \text{при } R_i \geq p_i \geq r_i, p_i \geq r_i \end{cases} \quad (2)$$

Выявленной особенностью изолированного обслуживания потоков данных является переоценка требуемых ресурсов ("заброс трафика") [5].

При групповом обслуживании потоков кривая поступления $A_{СКП}$ определяется выражением 3, а требуемые ресурсы сети для суммарной кривой поступления (СКП) $R^{СКП}$ выражением 4.

$$A_{СКП}(t) = \begin{cases} \max(L_i) + \sum_{i=1}^n p_i * t & t < \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \max(L_i)}{\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n r_i} \\ \sum_{i=1}^n b_i + \sum_{i=1}^n r_i * t & t \geq \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \max(L_i)}{\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n r_i} \end{cases} \quad (3)$$

$$R^{СКП}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i * \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \max(L_i)}{\sum_{i=1}^n (p_i - r_i)} + \max(L_i) + \Delta C_{\Sigma}}{\min(t_{\max i}) + \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \max(L_i)}{\sum_{i=1}^n (p_i - r_i)} - \Delta D_{\Sigma}} \quad (4)$$

где $\max(L_i) = \max(L_1, \dots, L_n)$ для n потоков.

Однако СКП в отношении неоднородных с точки зрения параметров трафика потоков дает завышенную оценку ресурсопотребления. Для устранения этого групповой поток представляется в виде каскадной кривой поступления (ККП) $A_{ККП}$ (выражения 5-8).

$$A_{ККП}(t) = \begin{cases} L_{\max} + \sum_{j=1}^n p_j * t & t \leq x_1 \\ b_1 - L_1 + L_{\max} + \sum_{j=2}^n p_j * t + r_1 * t & x_1 \leq t \leq x_2 \\ \dots \\ \sum_{l=1}^{m-1} (b_l - L_l) + L_{\max} + \sum_{j=m}^n p_j * t + \sum_{l=1}^{m-1} r_j * t & x_{m-1} < t \leq x_m \\ \dots \\ \sum_{l=1}^n (b_l - L_l) + L_{\max} + \sum_{l=1}^n r_l * t & t > x_n \end{cases} \quad (5)$$

Для вычисления верхней границы суммарной задержки блока данных для ККП необходимо найти точку перелома $m \in \{1, \dots, n\}$, при изменении значения которой, начиная с минимального и до максимального n , выполнялось бы выражение:

$$\sum_{j=m}^n p_j + \sum_{l=1}^{m-1} r_l > R^{ККП} > \sum_{j=m+1}^n p_j + \sum_{l=1}^m r_l, \quad m \in \{1, \dots, n\} \quad (6)$$

ККП, представленная с использованием операции конкатенации упорядоченных по параметрам формирователей трафика, описана выражением 7.

$$A_{ККП}(t) = tb(L_{\max}, \sum_{i=1}^n p_i) \otimes tb(b_1 - L_{\max i} + L_{\max}, \sum_{i=2}^n p_i + r_1) \otimes \dots \otimes tb(\sum_{i=1}^{m-1} (b_i - L_{\max i}) + L_{\max}, \sum_{i=m}^n p_j + \sum_{i=1}^{m-1} r_l) \otimes \dots \otimes tb(\sum_{i=1}^n (b_i - L_{\max i}) + L_{\max}, \sum_{i=1}^n r_i) \quad (7)$$

Требуемая пропускная способность для группового обслуживания вычисляется по выражению 8.

$$R^{ККП} = \frac{\sum_{l=1}^{m-1} (b_l - L_l) + L_{\max} + (\sum_{j=m}^n p_j + \sum_{l=1}^{m-1} r_l) * \frac{b_m - L_m + \Delta C_{\Sigma}}{p_m - r_m} + \Delta C_{\Sigma}}{t_{\max} + \frac{b_m - L_m - \Delta D_{\Sigma}}{p_m - r_m}} \quad (8)$$

При этом ошибки планирования для группового потока учитываются единожды в отличие от их изолированного обслуживания (выражение 9).

$$R^{И3}(n) = \sum_{i=1}^n \frac{p_i * \frac{b_i - L_i}{p_i - r_i} + L_i + \Delta C_{\Sigma}}{t_{\max} + \frac{b_i - L_i - \Delta D_{\Sigma}}{p_i - r_i}}, \quad p_i > r_i \quad (9)$$

$R^{И3}(n)$ – пропускная способность, выделяемая при изолированном обслуживании n потоков блоков данных.

Разница между изолированной и групповой системами в отношении пропускной способности есть "эффективность группирования" (выражение 10).

$$GE(n) = R^{И3}(n) - R^{ККП}(n) \quad (10)$$

Для оценки качества предложенной системы исследовались три услуги – видеосвязь кодек H263, H264, видеонаблюдение H264.

Характер полученных зависимостей (рис. 3-5) показывает значительный эффект в ресурсопотреблении при групповом обслуживании потоков данных, который имеет более выраженный характер для предлагаемой ККП.

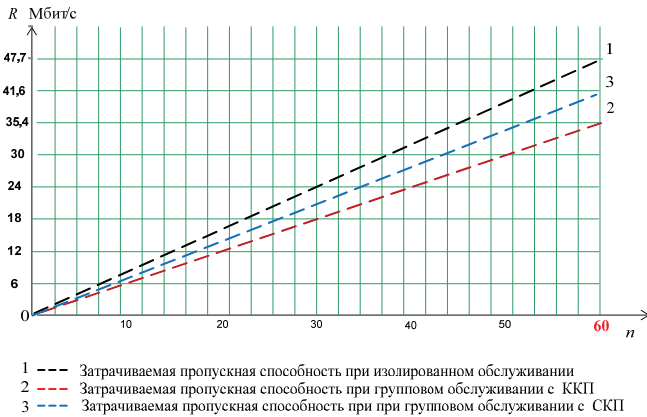


Рис. 3. Зависимость выделяемой пропускной способности от количества потоков для услуги видеосвязь H263, H264, видеонаблюдение H264

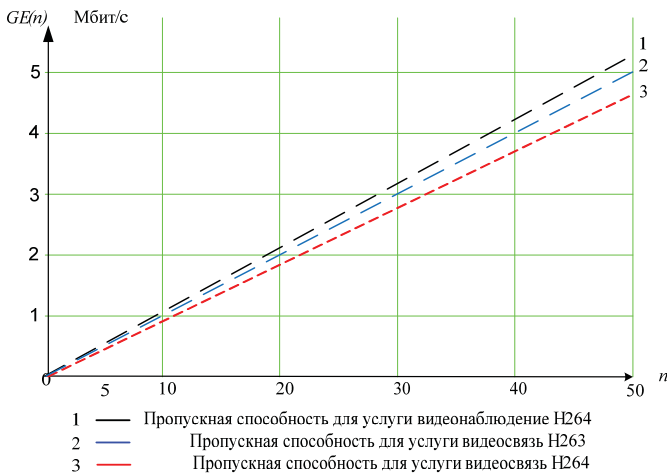


Рис. 4. Зависимость высвобождаемой пропускной способности для СКП потоков данных при групповом обслуживании потоков данных

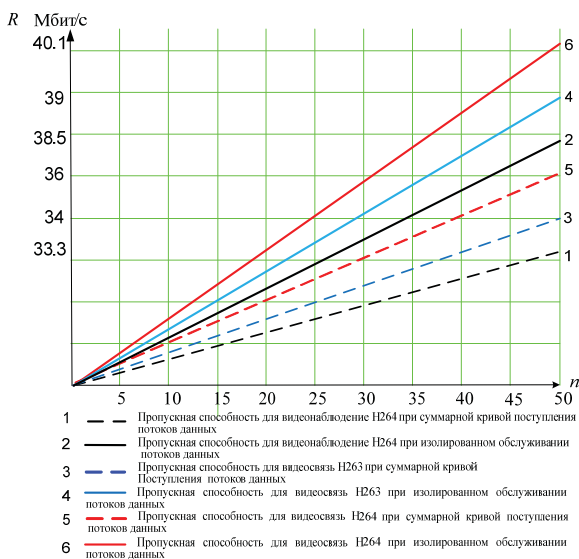


Рис. 5. Зависимость выделяемой пропускной способности для СКП потоков данных от количества группируемых потоков

Алгоритм управления доступом приоритетных потоков данных

На основе проведенного оценивания ресурсопотребления при обслуживании потоков данных предлагается алгоритм управления доступом приоритетных потоков данных с учетом эффекта группирования трафика. Задача алгоритма: при заданном количестве обслуживаемых потоков блоков данных с наблюдаемыми параметрами их трафика, известными требованиями к уровню КО требуется определить достаточность ресурсов сети для доступа вновь поступающей заявки на соединение с учетом эффекта группирования и оптимального плана перераспределения ресурсов. Сформированы следующие критерии перераспределения ресурсов:

1. Изъятие ресурсов у тех из обслуживаемых потоков, сумма значений приоритетов которых минимальна и менее вновь поступающего потока данных:

$$\min \sum_{i=1}^n pr_i * d_i, \quad (11)$$

$d_i=1$, если соединение можно отменить, 0 – иначе

2. Прекращение обслуживания наименьшего количества потоков, которые находятся в стадии исполнения. $\bar{Y} = (y_1, \dots, y_n)$ – вектор обслуживаемых в данный момент потоков:

$$\min \sum_{i=1}^n d_i * y_i \quad (12)$$

3. Удаление наиболее ресурсоемких задач с наименьшей важностью:

$$w_i = R_i / pr_i, \quad (13)$$

Критерий доступа потоков данных для обслуживания в ЗКМСС:

$$R_{n+1} \leq R_i^{docm} \quad (14)$$

где: R_{n+1} – требуемая пропускная способность для нового потока; $R^{KKП}(n+1)$ – пропускная способность для группированного обслуживания потоков с учетом новой заявки; R_i^{docm} – доступная пропускная способность в магистральном LSP- канале l , c – пропускная способность арендуемого канала связи.

$$R_{n+1} = R^{KKП}(n+1) - R^{KKП}(n) \quad (15)$$

$$R_i^{docm} = c - R^{KKП}(n+1) \quad (16)$$

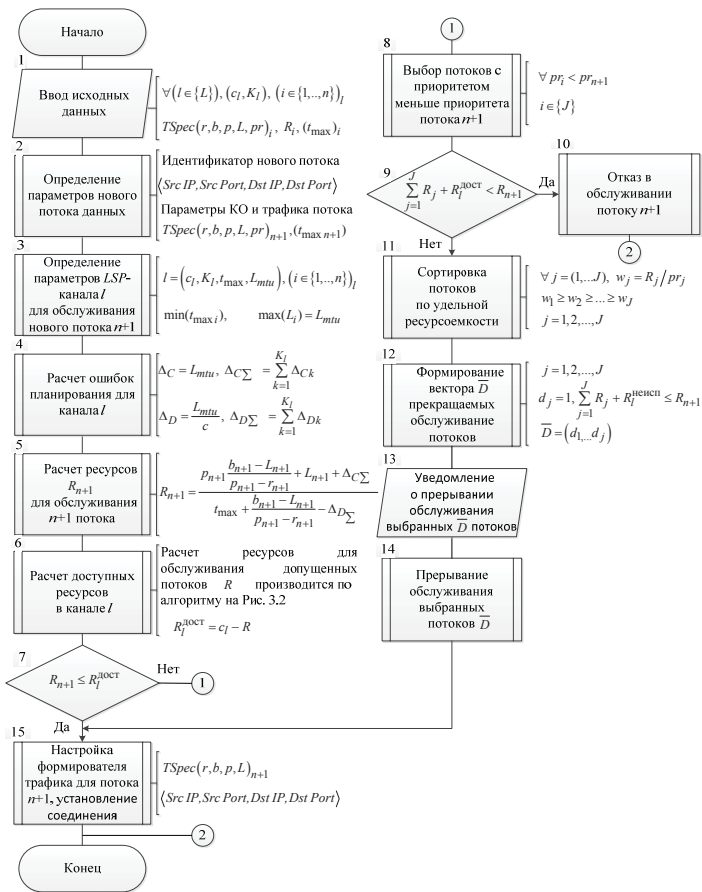
Представлен подход к назначению приоритетов услуг в ЗКМСС [6]:

$$pr_i = (K^{kat} - kat_A) * Serv + cs_i, \quad (17)$$

где K^{kat} – количество категорий пользователей в ЗКМСС; kat_A – категория пользователя A (0, 1, 2); $Serv$ – количество услуг (сервисов); pr_i – приоритет i -й услуги; cs_i – индекс "стоимости" i -й услуги для пользователя A (диапазон – (1, ..., $Serv$), где 1 – минимальный приоритет для пользователя).

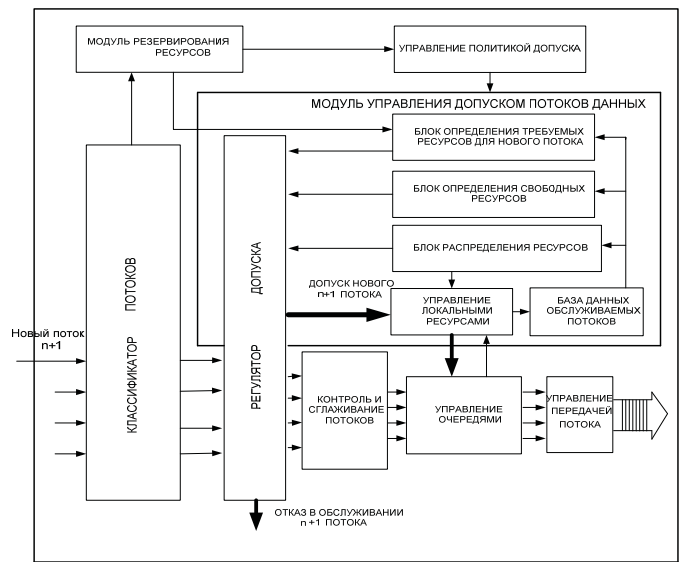
Блок-схема данного алгоритма представлена на рис. 6.

Расчет доступной пропускной способности осуществляется с помощью вспомогательного алгоритма для группового обслуживания потоков данных с учетом предлагаемой ККП, а также СКП в случае однородности группируемых потоков данных.



Система управления доступом

Узел доступа с реализацией системы управления доступом потоков данных представлен на рисунке 7. Модернизируемые функциональные блоки выполняют задачи обнаружения заявки на установление соединения, определения требуемых ресурсов для нового потока, определения свободных ресурсов, перераспределения ресурсов при обслуживании приоритетных соединений в условиях перегрузки.



Заключение

Выполненные исследования позволяют сделать следующий вывод: использование системы управления доступом в узле доступа ЗКМСС позволит эффективно использовать ресурсы ТСКП, гарантировать КО потоков данных и уменьшить стоимость аренды первичных линий связи за счет увеличения степени использования пропускной способности и их уплотнения мультипротокольным трафиком.

Литература

1. Росляков А.В. Виртуальные частные сети. Основы построения и применения. М.: Эко-Трэндз, 2006, 304 с. <http://cs-companion.ru/stati/veb-tekhnologii/2628-protokoly-dlya-organizatsii-vpn-ipsec.html>.
2. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. СПб.: Наука и техника, 2004. 336 с.
3. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С.Н. Степанов. М.: Эко-Трэндз, 2010. 392 с.
4. Cruz R.L., M.c. Chuah. Consequences of rate control in exhaustive service polling systems / Conf. Inform. Sci., Syst., Johns Hopkins University, Baltimore, MD, Mar. 1993, pp. 119-125.
5. Кутненко В.В. Разработка и анализ распределенных систем интерактивной мультимедиа и графики в глобальных сетях: дис. канд. техн. наук: 05.13.13. М., 2004. 186 с.
6. Бушуев С.Н., Осадчий А.С., Фролов В.М. Теоретические основы создания информационно-технических систем. СПб.: ВАС, 1998. 404 с.

СТАНДАРТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ЦИФРОВОГО СТАНДАРТА TETRA ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ-112

Мохаммед Омар Ахмед Абдулвасае,

аспирант 1-ого курса МТУСИ, Республика Йемен, omaralmu2012@mail.ru

Предметом этого исследования является анализ характеристик стандарта транкинговых систем профессиональной радиотелефонной связи цифрового стандарта TETRA и возможности его использования для реализации системы 112. Перечислим возможности использования профессиональной радиосвязи стандарта TETRA в Единой Дежурной Службе (ЕДСС): инженерные объекты Система мониторинга; передача оперативной информации; ведомственная дежурная служба; передача оперативной информации; управление службами. Существует возможность использования профессиональной радиосвязи стандарта TETRA как единой сети в системе государственного и муниципального управления, а именно в таких службах как спасатели, пожарная служба, скорая помощь, милиция, транспорт, службы безопасности, службы инженерных сетей.

Стандарт TETRA – является открытым стандартом цифровой транкинговой радиосвязи, который разработан европейским институтом телекоммуникационных стандартов и должен справляться с перегрузками трафика и растущим спросом на услуги передачи речи и данных.

Системы TETRA специально разработаны для использования в аварийных, пожарных, спасательных и охранных службах, коммерческих предприятиях, транспортных компаниях. Ресурсы сети TETRA объединяются с ресурсами разных сетей связи, системами в единое инфокоммуникационное пространство, на базе которого создаются комплексной системы безопасности, системы управления экстренными службами, системы безопасности объектов здравоохранения, культуры, образования, крупных промышленных предприятий, мониторинговых центров муниципальных образований, ситуационного центра.

Типичные сетевые продукты инфраструктуры TETRA состоят из цифровых мобильных станций и базовых станций. Некоторые производители могут также использовать отдельные контроллеры базовых станций.

Диспетчерские станции – одна из важных групп продуктов инфраструктуры TETRA. Особенно для пользователей экстренных служб требуются сложные диспетчерские решения, также интегрированные с административными системами управления. Рабочие станции управления сетью облегчают управление большими сетями. Биллинговые системы разработаны для коммерческих сетей TETRA.

Система радиосвязи TETRA удовлетворяет ключевым требованиям:

1. Инфраструктура является устойчивой и доступной;
2. Связь надежная и безопасная;
4. Поддерживается связь «точка-многоточка».

Общий режим работы – это режим группового вызова, когда пользователь, нажавший кнопку разговора, слышен всеми другими пользователями в той же группе вызовов. С другой стороны, частный вызов позволяет пользователям разговаривать в режиме «один-к-одному» в виде рации. В качестве более продвинутого варианта также возможно, что устройства действуют как мобильные телефоны, где два пользователя могут разговаривать в полнодуплексном, прямом соединении, например, в GSM.

Чтобы обеспечить открытый рынок видов взаимодействия, TETRA определяет следующие основные интерфейсы.

1. AirInterface обеспечивает совместимость терминального оборудования от разных производителей.
2. Интерфейс терминального оборудования (TEI) облегчает независимую разработку мобильных приложений данных.
3. Межсистемный интерфейс (ISI) позволяет подключать сети TETRA от разных производителей.
4. Работа с прямым режимом (DM0) гарантирует связь между терминалами и за пределами покрытия сети.

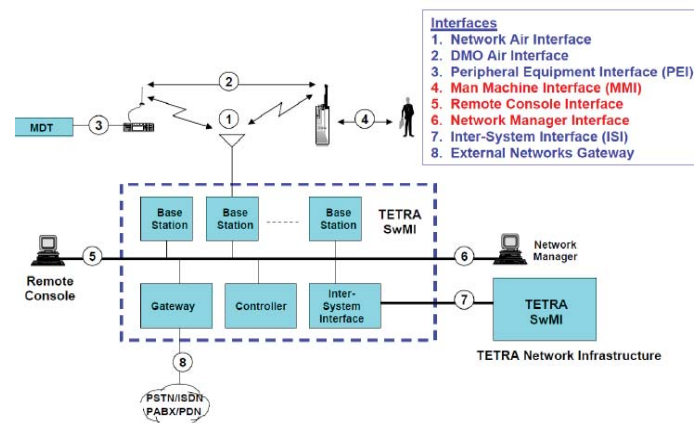


Рис. 1. Типичная сеть TETRA

Сети TETRA используют технологию и топологию, подобную сотовой сети, в которой передача отдельного радиотерминала подхватывается местной расширенной базовой приемопередающей станцией EBTS или тактическим приемным оборудованием TRE. Затем сайты EBTS/TRE подключаются к центральному мобильному коммутационному офису MSO. От MSO радиовывоз может быть подключен к удаленным диспетчерским сайтам, непосредственно к другим радиотерминалам в сети или подключен снаружи к другим сетям тфоп или интернет.

Транзитные сети TETRA имеют основные характеристики передачи и транспорта:

- Трафик пакетизируется.
- Очень чувствительная к задержке – сквозная задержка не может превышать 10 миллисекунд (мс);
- Звездная или кольцевая топология
- Низкое использование полосы пропускания – обычно от 128 до 256 кбит/с на EBTS;
- Требуется надежная конструкция сети с надежным резервным копированием для отказоустойчивой связи;
- Возможность резервного копирования по внешним сетям.

Трафик TETRA между MSO и диспетчерской транспортируется по традиционным сетевым линиям. Модульные интегрированные мультиплексоры доступа и Блоки доступа FCD обеспечивают выигрышную комбинацию из нескольких интерфейсов, эффективное использование полосы пропускания, надежность и удобное дистанционное управление из центра.

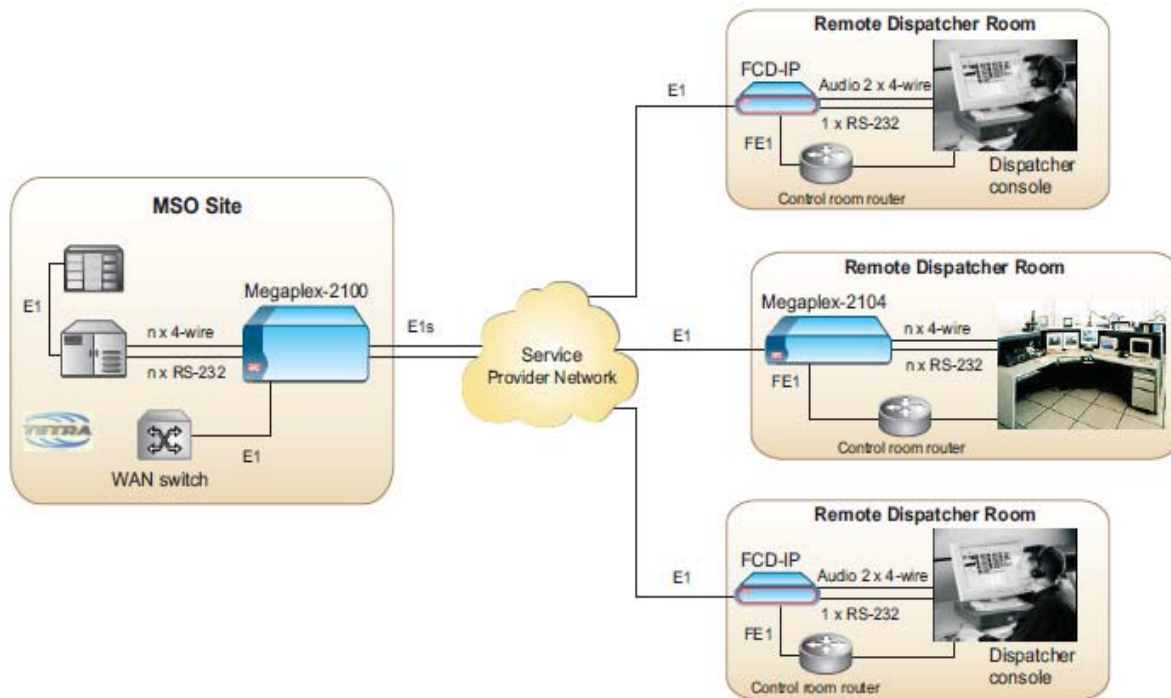


Рис. 2. Транспортировка с сайта MSO до удаленных диспетчерских

Рассматривается возможность использования TETRA на недорогие радиосети на базе Ethernet вместо традиционных радиосетей на базе PDH. Несмотря на потенциальную экономию и преимущества использования PSN, эти сети обычно не имеют высокого уровня избыточности и надежности.

TETRA поддерживает голосовые, коммутируемые и пакетные услуги передачи данных с широким выбором скорости передачи данных и уровня защиты от ошибок. TETRA использует технологию TDMA с четырьмя пользовательскими каналами, чередующимися в одну несущую с интервалом между несущими 25 кГц. Это означает превосходную эффективность частотного спектра. Экономия затрат также достигается на базовых станциях, для каждого из четырех пользовательских каналов требуется только один блок радиосвязи. Более высокие скорости передачи данных до 28,8 бит/с реализуются путем резервирования до четырех каналов для одного и того же пользовательского соединения - пропускная способность распределяется по требованию.

TETRA обеспечивает очень быстрое время установления соединения (300 мс), что имеет решающее значение для служб общественной безопасности и экстренной помощи. Связь между сетями различного типа становится все более важной. Это было учтено при разработке технологии TETRA. Сети TETRA облегчают диапазон приливов к внешним сетям. Сеть TETRA может быть подключена, например, к общественным и частным телефонным сетям, различным типам сетей передачи данных, а также к крупным системам управления и контроля.

Базовые услуги для передачи речи и данных стандарта TETRA можно разделить на две категории – услуги связи и услуги носителя. Услуги связи обеспечивают возможность связи между пользователями, включая все функции терминалов (табл. 1). Услуги носителя устанавливаются в TETRA для передачи данных и обеспечивают возможность связи между терминальными сетевыми интерфейсами, исключая функции терминалов

Таблица 1

Перечень базовых услуг для передачи речи и данных

Услуги связи TETRA	Услуги носителя TETRA
Индивидуальный вызов	Передача данных в канальном режиме: 7,2/14,4/21,6/28,8 кбит/с
Групповой вызов	Передача данных в канальном режиме, защищенная: 4,8/9,6/14,4/19,2 кбит/с
Подтвержденный групповой вызов	Передача данных в канальном режиме, с дополнительной защитой: 2,4/4,8/7,2/9,6 кбит/с
Циркулярный вызов	Передача данных по коммутируемым каналам

Радиоинтерфейс стандарта TETRA предусматривает работу в сетке частот с интервалом в 25 кГц. Для систем стандарта TETRA могут выделяться специальные диапазоны частот. Так, в странах Европы закреплены диапазоны частот 380-385/390-395 МГц, а для организаций коммерческого характера предусмотрены диапазоны 410-430/450-470 МГц. В Азии для систем TETRA используется диапазон 806-870 МГц. Диапазон рабочих частот системы TETRA в Российской Федерации: 410-430/450-470 МГц.

Преимущества построения системы управления на базе профессиональной радиосвязи стандарта TETRA заключаются в следующем:

Широкий функционал – решение всего спектра задач оперативного управления за счет широких функциональных возможностей цифрового стандарта TETRA.

Снижение затрат – за счет использования единого ресурса сети оперативной радиосвязи.

Скорость развертывания – то есть быстрота организации систем связи и требуемых схем связи за счет использования ресурса единой «гибконастраиваемой» сети подвижной радиосвязи.

Межведомственное взаимодействие, а именно обеспечение технологической основы межведомственного взаимодействия за счет единой телекоммуникационной инфраструктуры.

также сопряжение с системами управления, связи и мониторинга экстренных служб.

Реализация комплексной программы обеспечения безопасности и жизнедеятельности обеспечивает рост оперативности совместных действий экстренных оперативных служб и снижение времени реагирования с 1 часа до минут, оптимизацию расхода бюджетных средств на создание и эксплуатацию автоматизированных систем в целях обеспечения безопасности и жизнедеятельности за счет использования единого ресурса (КАСУ ОБЖ) и унификации устанавливаемых решений для органов исполнительной государственной власти, ведомств и экстренных служб, рост инвестиционной привлекательности региона вследствие общего повышения безопасности жизнедеятельности.

Выводы

1. Стандарт TETRA является идеальным стандартом для создания системы 112, где требуется обеспечить связь с высокой надежностью, защищенностью и большой пропускной способностью.
2. Использование IP-технологий в системы стандарта TETRA создает возможность развертывания сложных сетей структур, но эти сети обычно не имеют высокого уровня избыточности и надежности.

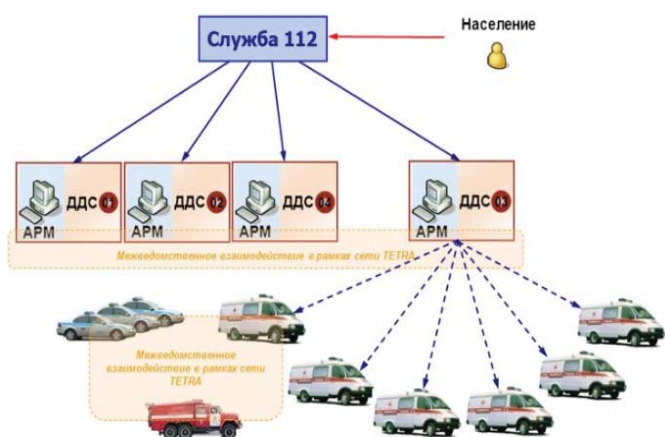


Рис. 3. стандарт TETRA в службе 112

Система комплексной безопасности на базе сети TETRA предусматривает информационные ресурсы системы 112 при ее построении, где осуществляется автоматизированный прием тревожных сообщений от систем охранной, пожарной и тревожной сигнализации и телеметрических датчиков, а

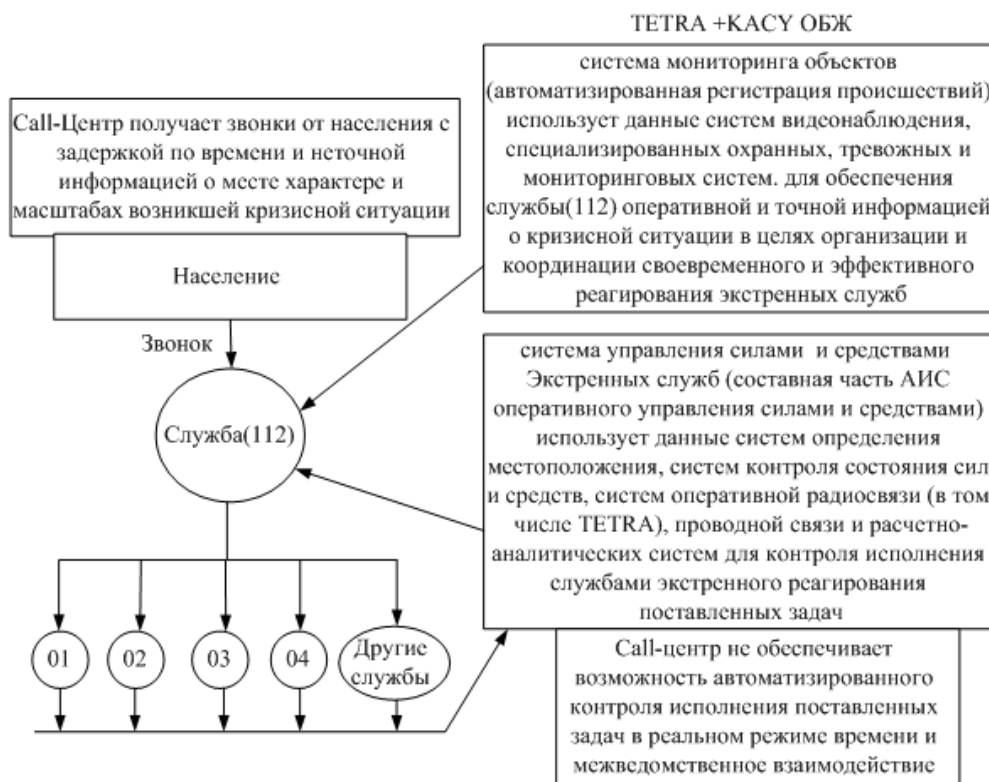


Рис. 4. Ресурсы сети TETRA и KASU для системы 112

Литература

1. Степанова И.В. Проектирование систем радиотелефонной связи стандарта TETRA.
2. Профессиональная радиосвязь стандарта TETRA как основа оперативного управления. Нижний Новгород: Группа компаний «ТЕТРАСВЯЗЬ», 2009.
3. TETRA networks Reliable and scalable.pdf. С. 14.
4. TETRA Evolution.pdf. С. 11.

5. Tetra introduction technology.pdf. С. 18.
6. Стандарт TETRA – основные характеристики систем, <http://www.radioscanner.ru/info/article124>.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И ЗАПОЛЯРЬЯ

Портнов Эдуард Львович,

Московский технический университет связи и информатики, зав. кафедрой НТС, д.т.н., профессор, Москва, Россия

Иванов Сергей Иванович,

Московский технический университет связи и информатики, кандидат технических наук, доцент, Москва, Россия

Колесников Вячеслав Александрович,

Московский технический университет связи и информатики, кандидат технических наук, доцент, Москва, Россия

Семенов Андрей Борисович,

Московский государственный университет гражданского строительства (МГСУ)

Национальный исследовательский университет, профессор, Москва, Россия

Основные принципы создания сетей электросвязи в третьем тысячелетии является создание единой сети, основой которой являются волоконно-оптические линии связи. В настоящее время сеть электросвязи базируется на симметричных, коаксиальных и волоконно-оптических линиях связи. Несмотря на то, что на магистральной и внутризоновой первичной сети всех министерств и ведомств основное место занимали симметричные и коаксиальные кабели связи, все новое строительство в ведущих министерствах и ведомствах в настоящее время выполняется на оптическом кабеле связи.

Учитывая рост потребностей в телекоммуникационных и мультисервисных услугах, спрос на оптическое волокно (и, следовательно, на оптический кабель) не уменьшается и составляет 70 млн. км. при ежегодном приросте в 15%. 70 млн. км оптического волокна распределяется для кабелей дальней наземной и подводной связи, кабелей сети доступа, кабелей внутризоновой и городской, сельской сети, кабелей локальных сетей и структурированных кабельных систем. Прирост потребностей на данные кабели возрастает [1].

Несомненно, приоритетным направлением является направление широкого развития волоконно-оптических кабелей всех уровней первичной сети: транспортного и доступа, дальнейшее развитие медных кабелей на сети общего пользования, на сети доступа, кабелей структурированных кабельных систем, радиочастотных коаксиальных кабелей для сети кабельного телевидения. Суровый климат России, демографическая и экономическая неоднородность усугубляют российские трудности в развитии связи в целом. Транспортные решения при освоении северных территорий, несомненно, должны рассматривать как кабельные технологии, радиорелейные решения и спутниковую связь [2].

Перспективное развитие северных территорий требует внедрения в телекоммуникационную инфраструктуру оптических кабельных технологий с перспективой на многие годы. Средняя плотность населения в России 9 чел/км², тогда как средняя плотность населения в Северных районах составляет 3,9 чел/км² (Карелия – 4,5 чел/км², Коми – 2,8 чел/км², Архангельская область – 2,5 чел/км², Ненецкий АО – 0,3 чел/км², Вологодская область – 9,2 чел/км², Мурманская область – 7,0 чел/км², Ямало-Ненецкий АО – 0,7 чел/км²...). Поэтому требуется индивидуальный подход для каждого района с учетом создания единой телекоммуникационной оптической сети.

В России имеется около 2700 городов (до уровня райцентров включительно) и 140 тысяч населенных пунктов, в которых имеется местная сеть, что потребует также ее замены

на оптическую кабельную сеть. Существует также огромное количество деревень и поселков, в которых либо проложены медные кабели, либо их вообще нет. С экономической точки зрения прокладывать оптические кабели в село или в поселок невыгодно. Более целесообразно обеспечить сельскую инфраструктуру малокабельной радиорелейной связью, а оптические кабельные линии использовать для соединения базовых станций. При 100% замене линий связи с медными жилами на оптические кабельные линии потребуются также десятки лет до 2069 г. Срок службы многих типов электрических и оптических кабелей истечет за этот период и их необходимо будет менять как на сети доступа, так и на транспортном участке сети. Поэтому оптимистический прогноз может измениться в сторону увеличения еще на десятки лет [3].

С начала 90-х годов прошлого века на магистральной и внутризоновой сетях общего пользования прекратилось строительство новых линий связи на кабелях с медными жилами, однако, огромная сеть, создаваемая десятилетиями на кабелях с медными жилами в 3-5 раз превышает современную сеть на оптических кабелях связи. Транспортная сеть на медном кабеле не может конкурировать с оптической транспортной сетью ни по пропускной способности, ни по качеству цифрового сигнала, ни по протяженности и по ряду других характеристик.

К 2030 году может быть решена транспортная инфраструктура оптических кабельных линий, которая по протяженности к этому времени будет составлять 636 тыс. км.

Из шести транспортных маршрутов (автомобильные дороги, железные дороги, магистральные ВВЛ, магистральные нефтепроводы, магистральные газопроводы, судоходные и несудоходные реки) используются только первые пять.

Широкое внедрение волоконно-оптических сетей (ВОС) на Взаимоуязвимой сети России объясняется возможностью создания ВОС в ограниченный период времени, низкой их стоимостью и высокой надежностью. Оптический кабель (ОК) может быть расположен на опорах железных дорог, на линиях электропередачи, в силовых кабелях, в канализационных и водопроводных трубах, по руслу рек и дну морей и озер, вдоль автомобильных дорог. При прокладке вдоль автомобильных дорог, длина которых больше 533 тыс. км, оптические кабели могут быть проложены непосредственно в грунт, в канализацию в виде полимерных труб, подвешены на специальных опорах, проложены в асфальт автомобильной дороги.

При прокладке вдоль железных дорог, длина которых составляет 86 тыс. км, оптические кабели могут быть проложены в полимерных трубах вдоль насыпи железнодоро-

рожного полотна, подвешены на опорах железных дорог, а также непосредственно в грунт вдоль трассы железной дороги.

При строительстве ВОЛС вдоль линий электропередачи используются кабели специальных конструкций, встроенные в грозозащитный трос высоковольтной линии, прикрепленные к тросу или навитые на него, встроенные в фазу, прикрепленные или навитые на фазу, а также проложенные в грунт вдоль ВВЛ на определенном расстоянии. Длина ВВЛ оценивается более 150 тыс. км.

Прокладка вдоль нефте- и газопроводов, общая длина которых оценивается более 200 тыс. км, использует все рассмотренные выше варианты, связанные с условиями среды.

Общие проблемы возникают по прокладке при отсутствии канализации и тоннелей: трудности выбора конструкции кабели и прокладки в вечномёрзлый грунт, трудности монтажа соединительных муфт, переход к прокладке в пластмассовых трубах новых конструкций оптических кабелей, прокладка пластмассовых труб с кабелями по поверхности земли с защитой от вандальных воздействий, прокладка в насыпь полотна железной дороги, прокладка в асфальт автомобильной дороги. Главными критериями являются при выборе трассы выбор конструкции кабеля, который на различных участках может отличаться по внешним покровам и методам защиты от вандальных воздействий, выбор микрокабелей при прокладке в мерзлый грунт, проблемы, связанные с организацией дистанционного питания промежуточных оптических усилителей и неравномерность их расположения в Северных широтах России.

При проектировании волоконно-оптических кабелей должна быть предусмотрена защита волокна от дополнительного затухания и чрезмерной механической деформации при различных условиях эксплуатации, учтены изменения геометрических размеров кабеля, оказывающие влияние на рабочие характеристики волокна. Кроме того, волокно должно быть таким, чтобы легко выполнялись работы по прокладке и сращиванию волокон в кабельных муфтах или соединениях на стойках при концевой заделке кабелей.

Внешние кабели прокладываются в разных условиях и могут подвергаться сильным природным воздействиям, поэтому при выборе кабеля необходимо предусматривать все возможные воздействия окружающей среды.

Очень перспективными являются полностью диэлектрические кабели связи, не подверженные воздействию сильных электромагнитных полей. Однако, при их применении должны быть обеспечены защита кабеля и особенно волокон от механических воздействий (землетрясения, вечная мерзлота, подвижка пластов, оползни, селевые потоки, камнепады), от проникновения паров воды с примесями и другими источниками атомарного водорода, способствующих коррозии кварцевых волокон, от грызунов и насекомых; электропитание необслуживаемых пунктов; передача сигналов телеконтроля, телемеханики и служебной связи, обнаружения места повреждения трассы подземного кабеля.

Кабели с металлическими элементами в настоящее время широко используются в подземных, подвесных, подводных конструкциях на магистральных, зонавых и местных сетях, в районах землетрясений, в районах с вечномёрзлыми и оползневыми участками, в местах обитания большого числа грызунов

При разработке конструкции ОК с металлическими элементами следует различать две большие группы (ди-

электрические и с металлическими элементами) и три подгруппы:

- ОК, содержащие армирующие элементы (диэлектрические или металлические) в центре конструкции кабеля;
- ОК, содержащие армирующие элементы по периферии оптического сердечника;
- ОК, содержащие армирующие элементы и в центре, и на периферии.

Кроме того, ОК с металлическими элементами могут быть разделены еще на две подгруппы: с пассивными металлическими элементами и с пассивными и активными металлическими элементами.

Вместе с тем, многие оптические кабели в своей конструкции имеют металлические элементы):

- внешние металлические элементы (ВМЭ) в виде механической защиты сердечника ОК;
- центральный металлический элемент (ЦМЭ);
- ВМЭ и жилы для дистанционного питания (ЖДП).

Кроме того, для увеличения срока службы ОВ применяется металлизация ОВ (ОВ с М).

Полностью диэлектрические конструкции ОК (ДОК) применяются как для прокладки кабеля в земле, так и для внешней подвески на различных существующих опорах.

При прокладке кабеля в земле возможна прокладка ОК совместно с высоковольтным кабелем (ВВК) или даже в конструкции ВВК, в туннеле и на пересечении с ВВК.

При этом возможно увеличение температуры на полимерных элементах ОК и потеря со временем механических свойств полимеров, и, следовательно, уменьшение срока службы.

При освоении Северных территорий требуется разделить прокладку в грунт и на грунт на четыре позиции:

- прокладка внутри городской инфраструктуры,
- прокладка между городами,
- внутри поселковая прокладка,
- межпоселковая прокладка.

При выборе решений по этим 4 направлениям используются разные типы оптических кабелей с различными конструктивными решениями

Будут ли они подводными или наземными, оптические системы передачи различаются по расстояниям, которые они покрывают, которые часто больше, чем пересечение океанов (от 6000 до 12 000 км), связывая основные города и континенты (от 50 км до нескольких 1000 км). Этот участок сузился за прошлые 5 лет, поскольку наземные сети становились ближе по размеру к подводным сетям. Однако эти два типа сетей отличаются по нескольким фундаментальным характеристикам, кроме простого расстояния передачи.

В земных сетях электроэнергия может вообще поставляться каждому ретранслятору из соседнего источника мощности, тогда как под водой электроэнергия должна передаваться непосредственно по кабелю. В подводных кабелях пары оптических волокон окружены надежной кабельной оболочкой, содержащей стальные проволочные элементы жесткости и медный слой, питаемый напряжением до 10 кВ. Напротив, в наземном кабеле пары волокна защищены только броней из полиэтилена. Даже при том, что проблема потребления энергии важна и в подводных, и в наземных сетях, фактически установлен верхний предел числа оптических усилителей в подводных ретрансляторах и, следовательно, числа пар волокна внутри подводного кабеля. Это также ограничивает тип активных компонентов, которые могут использоваться под водой. Кроме того, в случае неисправности или повреждения ремонт подводных кабелей может занять несколько недель, особенно в глубоком море и в регионах мира, где обслуживающие корабли относительно дефи-

цитны. Следовательно, надежность всегда была основной заботой операторов подводных сетей, даже когда эта забота отвлекается попыткой минимизировать кризис денежных средств и максимизировать прибыль после экономического спада в прошлом тысячелетии. Реакция на это заботы – специальные механизмы защиты и восстановления (включая разнообразие маршрутов, если это возможно), как в земных сетях.

Учитывая свойства ОВ, оптические кабельные линии широко используют для подвески на опорах высоковольтных линий, осветительной сети, железных дорог, трамвая и троллейбуса [1]. В этом случае на высоких уровнях напряжений на ВВЛ постоянное воздействие электрического поля (опасное влияние) при определенных условиях, (дождь, высокий уровень загрязнения атмосферы) приводит к возникновению сухополосной дуги, что повлечет со временем к разрушению ОК.

Одновременно высокая напряженность поля изменяет показатель преломления ОВ, что приводит к эффекту Керра (увеличение затухания и дисперсии), т.е. мешающему влиянию продолжительное время. При грозовых разрядах возникают кратковременные эффекты Керра и Фарадея (мешающие влияния) [5]. Наиболее серьезным влиянием подвержены оптические кабели с металлическими элементами (ОК с МЭ) при прокладке в земле и на подвеске.

Какой транспортный маршрут выбрать для Северных районов следует определять, исходя из конкретных условий, как при городских условиях, так и для связи между городами.

Литература

1. *Портнов Э.Л.* Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 544 с.
2. *Калмыков В.В., Меккель А.М., Соколов Н.А., Шинаков Ю.С.* Транспорт и доступ в инфокоммуникационных сетях. М.: Международная академия связи, 2006. 264 с.
3. *Парфенов Ю.А.* Медным кабелям жить! Санкт-Петербург: ООО «Техника связи», 2011. 528 с.
4. *Андреев В.А., Бурдин В.А., Воронков А.А.* Анализ повреждаемости подземных оптических кабелей связи // Электросвязь. №12. 2014. С. 34-36.
5. *Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л.* Влияния внешних электромагнитных полей на линии связи и меры защиты. Учебное пособие. М.: МТУСИ, 2000. 67 с.
6. *Екимов А.Н., Баранов А.А.* Системы связи магистральных трубопроводов // Фотон-Экспресс, 4 июня 2006. С. 42-45.
7. *Екимов А.Н., Баранов А.Н.* Северные магистрали ВОЛС // Фотон-Экспресс, Запреля 2011. С. 16-18.

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Рыжков Анатолий Васильевич,
д.т.н., профессор, МТУСИ, Москва, Россия,
ryjkov.anatoly@yandex.ru

Насонов Анатолий Юрьевич,
к.т.н., начальник отдела, МТУСИ, Москва, Россия,
annasonov@yandex.ru

LTE (от англ. long term evolution) – это фундамент, на основе которого строятся мобильные широкополосные сети будущего. Технология LTE является стандартом беспроводной передачи данных и дальнейшим развитием стандартов GSM/UMTS. Цель внедрения LTE – увеличение пропускной способности и скорости передачи информации с использованием новых методов цифровой обработки сигналов и модуляции, реконструкции и упрощения архитектуры сетей, основанных на IP, со значительным уменьшением задержки при передаче данных по сравнению с архитектурой 3G сетей.

В LTE достижимы скорости передачи по нисходящему потоку до 300 мегабит/с, а по восходящему потоку до 75 мегабит/с и более. Задержка передачи данных может быть снижена до 5 миллисекунд.

Технология LTE позволяет создать абонентам наиболее комфортные, понятные, простые и выгодные условия для использования высокоскоростного (рис. 1 и 2) мобильного доступа к сети Интернет для бизнеса, развлечений, общения, обучения и полного спектра возможностей мировой сети. Помимо массового пользователя эта сеть нужна в таких проектах, как умные города, умный транспорт, интернет вещей, смарт-сервисы и т.п.

Технологии в системах радиосвязи на пути к 4G, 5G и 6G рассмотрены в [1-4], соответственно.

Сети 5G должны заработать в пяти городах – миллионах уже к 2022 году, хотя, как предупреждают «МегаФон», «ВымпелКом» и Tele2, потребностей населения в таком покрытии к этому времени пока еще не будет. Вместо этого операторы предлагают сначала протестировать новую технологию на сегменте b2b, в частности, в области интернета вещей. Обычным абонентам в этом случае придется ждать 5G примерно до 2023-2025 гг.

Тем не менее, инвестиции участников рынка в создание сетей 5G могут составить по прогнозам ПАО "Ростелеком" около 1 трлн. руб. Такие расходы заставят бизнес объединиться в консорциум либо создать единого инфраструктурного оператора 5G. Подобную идею, как указывают эксперты, обсуждают и европейские операторы. В России инициативу пока поддерживают аффилированный "Ростелекому" оператор Tele2 и власти Москвы, а Ericsson поставит МТС оборудование и программное обеспечение для 5G и технологий «интернета вещей» (IoT) на 400 млн. евро – «РИА Новости» от 23.10.2017 г. со ссылкой на пресс-релиз МТС. Достигнутое компаниями соглашение рассчитано на три года, а поставки будут осуществляться с 2017 по 2020 гг. Правительство РФ выделит в 2018 г. 12,5 млрд. руб. для дальнейшего покрытия современной связью труднодоступных регионов страны. Одновременно ведется подготовка для внедрения мобильной связи пятого поколения (5G), а в 2019 г. должны быть утверждены радиочастоты и международные стандарты (Российская газета от 26.01.2018).

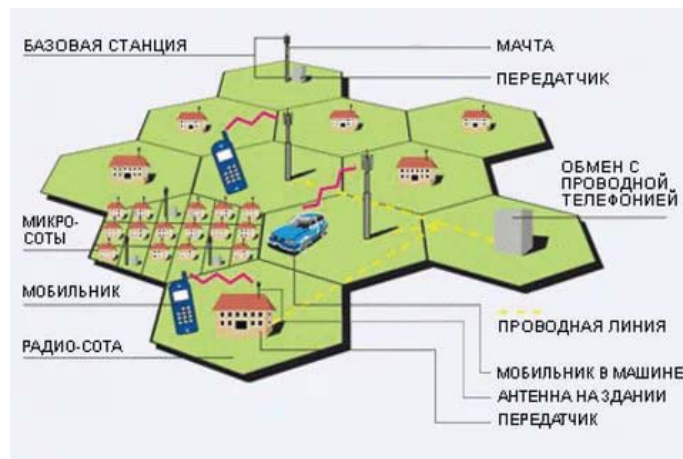


Рис. 1. Принцип организации сотовой связи



Рис. 2. LTE – высокоскоростной мобильный доступ к сети Интернет

LTE поддерживает в выделенных диапазонах 800 и 2600 МГц полосы пропускания частот от 1,4 до 20 МГц. Дальнейшее повышение эффективности использования радиоспектра связано с использованием временного разделения каналов, требующего частотно-временной синхронизации. К сожалению, в [1-4] она не рассматривается.

В настоящий момент существуют две основные разновидности LTE: LTE FDD (Frequency Division Duplex), LTE TDD (Time Division Duplex). Предусматривается дальнейшее развитие стандарта – LTE Advanced, соответствующее требованиям к сетям четвертого – шестого поколений xG. Актуальными остаются версии LTE FDD и LTE TDD. Основное отличие между ними – способ разделения каналов на прием/передачу. LTE FDD подразумевает две несущие частоты для приема/передачи, а LTE TDD – одну несущую частоту, но разделение приема/передачи по времени.

Технология LTE FDD подразумевает достаточность частотной синхронизации, а LTE TDD обязательно требует фазовую синхронизацию, при которой возможно существенное повышение эффективности использования радиоспектра до 30 бит/с/Гц по нисходящему и до 15 бит/с/Гц по восходящему потокам, соответственно.

LTE TDD является более гибкой в распределении пропускной способности нисходящего и восходящего потоков. Ее большое преимущество в том, что нужен только один зонный спектр вместо двух, т.е. способность до двух раз увеличить пропускную способность в выделенных полосах частот.

В реальных сетях используются оба типа технологий (Китай, Япония, США и др.), поэтому выбор синхронизации может быть различен. Однако не стоит забывать, что технология LTE Advanced изначально подразумевает использование фазовой (временной) синхронизации, поэтому целесообразнее сразу рассматривать фазовую синхронизацию с прицелом на будущее.

Среди основных, требующих ответа, вопросов при проектировании сетей Mobile Backhaul для LTE является вопрос выбора эффективного варианта осуществления синхронизации базовых станций (БС).

Существуют следующие наиболее распространенные варианты синхронизации:

- спутниковая – GPS/ГЛОНАСС;
- от существующей TDM-сети (SDH, PDH);
- с помощью пакетной сети на основе SyncE;
- с помощью пакетной сети на основе IEEE 1588v2.

Спутниковая частотно-временная синхронизация – проверенное временем рабочее решение, но требующее учета зависимости точности от атмосферных воздействий, активности солнца и радиопомех, особенно в крупных мегаполисах. Невозможность работы в закрытых помещениях.

Преимуществом синхронизации от TDM-сети является использование существующей инфраструктуры без дополнительных вложений при возможности на всех планируемых узлах подключения к TDM-сети.

Технология SyncE (физический уровень) аналогична синхронизации TDM-сети, но позволяет восстановить с высокой точностью только частоту.

Стандарт IEEE1588v2 подразумевает одновременную передачу частотной, фазовой и временной информации и может подойти для систем LTE TDD и LTE Advanced. Передача пакетов IEEE 1588v2 происходит на логическом уровне, а следовательно, зависит от загрузки сети. Не исследованными в достаточной степени остаются вопросы асимметрии задержек в прямом и обратном направлениях, поведения их во времени, возможности компенсации. Тем не менее, в мировой практике этому стандарту уделяется огромное внимание, так как ведущий сервер времени (ведущие часы), расположенный в ядре LTE сети, может обслуживать десятки и даже сотни ведомых серверов времени (ведомых часов), расположенных в БС и у абонентов сети. Отпадает необходимость установки приемников GPS/ГЛОНАСС в каждой БС. Кроме того, использование фазовой (временной) синхронизации позволяет обеспечить устойчивую связь с мобильными абонентами при пересечении сот, создающими дополнительную неопределенность по частоте за счет эффекта Доплера.

В Рекомендации МСЭ G.8271 (10/2010) представлены требования к временной синхронизации LTE TDD и LTE Advanced. Диапазон требуемых значений $\pm (0,5 - 1,5)$ мкс.

В Рекомендации МСЭ-Т G.8272/Y.1367, (10/2012) представлены требования к ведущему серверу (часам). Максимальная ошибка временного интервала не более 100 нс, а девиация временного интервала <30 нс на всем интервале

эксплуатации, подразумеваемом привязку к шкале UTC.

В Рекомендации МСЭ-Т G.8271.1 определен бюджет ошибки времени в ведомых часах линии передачи из 10 коммутаторов по отношению к шкале времени ведущих часов. Суммарная допустимая погрешность, вносимая линией передачи из конца в конец, не должна превышать $\pm (1-1,5)$ мкс.

Рекомендация МСЭ-Т G.8275/Y.1367 (07/2013) посвящена распределению времени и фазы в пакетных сетях. В целом в деятельности МСЭ-Т наблюдается, по существу, перезагрузка нормативной базы в области синхронизации по частоте, фазе и времени. Появились новые серии международных рекомендаций G.826X.X и G.827X.X.

На 42-м международном форуме по системам и приложениям точного времени (Precise time and time interval (PTTI)), ноябрь 2010 г., сформулирована задача достижения к 2030 г. в глобальных сетях связи точностей на уровне десятков наносекунд. Аналогичные требования изложены в Рек. G.8273.

Международные форумы (2014 – 2017 гг.), семинар 2017 г. в «Oscilloquartz», Швейцария посвящены новому профилю РТР, требованиям LTE Advanced – HetNet – сотовым сетям с малыми сотами, 5G; поиску альтернативных ГНСС источников сигналов времени. Повестка 3-го дня форума 2014 г. «Время под угрозой – узвимость источников, сред распределения и средств доставки».

Имеется широкий выбор оборудования для передачи сигналов времени. К наиболее продвинутым разработкам зарубежных фирм можно отнести серверы РТР (TP5000, TP500, TP1500) фирмы «Symmetricom» и (OSA 5331, 5320 и 5401) фирмы «Oscilloquartz», а также отечественную аппаратуру распределения сигналов времени (АРСВ) производства ООО «АЛТО» с разрешением 15 нс, NTP и РТР серверы разработки ЗАО «НТЦ «КОМСЕТ»», Россия.

Для аттестации стыков 1 pps, могут быть использованы перевозимые квантовые часы, образцовый комплект аппаратуры ГЛОНАСС/GPS с аппаратурной погрешностью в пределах ± 3 и ± 50 нс, соответственно, поверяемые по государственной (ГОСТ 8.129-99) поверочной схеме.

Появляется оборудование для измерения всех параметров одновременно в полевых условиях – вариации задержки пакетов (PDV), блуждания фазы (SyncE, TDM), частоты и фазы синхросигнала, например:

- портативный тестер синхронизации Calnex Sentinel STA-61 and STA-61G компании «Тритфейс» для тестирования сети на пригодность к использованию в качестве пакетной транспортной инфраструктуры LTE-Advanced или TDD-LTE;

- Anue 3500 компании Ixia – устройство для тестирования

синхронизации в пакетных сетях, CES и функций OAM;

- TP5000 с измерительными функциями PDV;
- средство измерений МАКС-ЕМК (Е) производства ООО «Бинар-КОМ» (г. Москва), реализующее функции клиентов протоколов РТР и NTP измерения разности (расхождения) шкал времени по отношению к шкале UTC (SU), сформированной встроенным приёмником сигналов ГЛОНАСС/GPS.

Обобщению и реализации современных требований к частотно-временному обеспечению (ЧВО) транспортных, мобильных и сотовых сетей электросвязи на основе международных Рекомендаций МСЭ-Т, стандартов ETSI и руководящих документов Минкомсвязи РФ посвящено учебное пособие [5]. В основу Пособия положены сведения из практики проектирования, строительства и эксплуатации классической системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС),

Рекомендаций МСЭ-Т по "синхронному" Ethernet, протоколам сетевого времени (NTP) и прецизионного времени (PTP) стандарта IEEE 1588v2-2008, опыта разработки и использования отечественной АРСВ в магистральных сетях. Приведена программа и методики линейных испытаний оборудования синхронизации на фрагментах пакетной сети. Представлены результаты экспериментальных исследований по ЧВО сетей электросвязи с использованием современного оборудования синхронизации и средств измерений различных производителей.

Пособие предназначено для будущих инженеров, которым предстоит заниматься проблемами моделирования, разработки и внедрения новых телекоммуникационных систем, рассчитано на преподавателей, аспирантов и студентов, изучающих радиотехнические и телекоммуникационные дисциплины. Содержит большой объем справочного материала и рассчитано для самостоятельного повышения квалификации специалистов операторов связи в области новых техно-

логий. Полезно для слушателей курсов по повышению квалификации специалистов в отрасли «Связь».

Литература

1. *Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Высочин В.П.* Сети мобильной связи LTE/LTE ADVANCED: технологии 4G, приложения и архитектура. М.: Издательский дом Медиа Паблшер, 2014. 384 с.
2. *Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю.* Технологии в системах радиосвязи на пути к 5G. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 280 с.
3. *Степунин А.Н., Николаев А.Д.* Мобильная связь на пути к 6G. В 2 Т. Том 1. Москва – Вологда: Инфа-Инженерия, 2017. 380 с.
4. *Степунин А.Н., Николаев А.Д.* Мобильная связь на пути к 6G. В 2 Т. Том 2. Москва – Вологда: Инфа-Инженерия, 2017. 416 с.
5. *Рыжков А.В.* Частотно-временное обеспечение в сетях электросвязи. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 280 с.

СОЧЕТАНИЕ КОДОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ АБОНЕНТОВ И OFDM ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО ВОЛОКНУ

Сперанский Валентин Сергеевич,

к.т.н., профессор МТУСИ, Москва, Россия, sperskyv@yandex.ru

Абрамов Степан Владимирович,

к.т.н., начальник отдела ФГУП «НТЦ», «ОРИОН», Москва, Россия,

Клинцов Олег Иванович,

к.т.н., заместитель начальника отдела ФГУП «НТЦ» «ОРИОН», Москва, Россия, oklintsov@mail.ru

При высокоскоростной передаче данных по оптическому волокну применяется технология OFDM [1, 2]. С другой стороны в оптических сетях связи целесообразно кодовое разделение абонентов CDMA, которое позволяет иметь большое число абонентов и обеспечивает высокую помехоустойчивость к узкополосным и импульсным помехам и малый уровень интерференционных помех [3- 5]. Патент [6] описывает гибридную OFDM-CDMA систему передачи данных. Рассмотрена многоканальная передача данных с совместным применением кодового разделения абонентов и технология OFDM в оптической сети, позволяющее использовать достоинства обеих технологий, а передача по волокну большую дальность действия до тысяч километров.

На рисунке 1 представлена структурная схема системы передачи CDMA-OFDM по волокну. Передаваемые данные абонентов поступают на N канальный формирователь по числу абонентов. Каждый канал включает формирователь сигнала OFDM и затем на умножитель на псевдослучайную последовательность (ПСП). Каждому абоненту присваивается своя индивидуальная последовательность, которая является его адресом. Длину последовательности удобно выбрать равной числу частот OFDM.

Псевдослучайные кодовые последовательности должны обладать хорошими авто и взаимно-корреляционными свойствами, то есть иметь малый уровень боковых пиков, которые определяют шумы неоптогональности и соответственно уровень интерференционных помех, которые наряду с шумом являются основной помехой при приеме. Наиболее подходят ПСП в виде последовательностей Голда, последовательности на основе полиномов Лежанждра. Известны ортогональные коды на основе последовательностей Уолша, но они применимы при синхронном приеме. При асинхронном режиме они не пригодны. Известны ПСП разработанные специально для оптических систем CDMA [7, 8]. Каналы объединяются интерфейсом и далее поступают на прямой модулятор света вместе с опорным сигналом лазера несущей частоты. Прямой способ модуляции выбран из соображений простоты реализации. Полученный модулированный оптический сигнал подается в волоконно-оптическую линию (фидер).

Возможны две реализации формирователя данного сигнала. Первая устройство до модулятора реализуется на радиочастоте. Вторая-устройство выполняется целиком в оптике: оптический формирователь сигнала OFDM, оптический формирователь ПСП, умножитель и интерфейс.

Приемник данных включает оптический полосовой фильтр, выделяющий полосу принимаемых сигналов, фотодетектор преобразующий оптический сигнал в радиосигнал.

После усиления радиосигнал поступает многоканальный декодер ПСП, оценивающий последовательности абонентов, и демодуляторы данных сигналов OFDM. Принятые данные

отправляются абонентам. Приемник может реализовываться в оптическом виде: оптические корреляторы ПСП, оптические демодуляторы OFDM и фотодетектор, преобразующий оптический сигнал в радиосигнал. В настоящее время система с передачей радио по волокну представляется более простой чем чисто оптическая.

На рисунке 2 показана схема одного из вариантов оптического формирователя OFDM.

Спектральная эффективность систем передачи OFDM-CDMA по волокну определяется характеристиками устройства OFDM и составляет порядка 1 бит/с/Гц. Формирователь OFDM хорошо сочетается с последующим формирователем Найквиста – WDM [6].

В качестве кодовых последовательностей оптического CDMA кроме кодов Голда и последовательностей Уолша перспективно использовать коды квадратичных сравнений при циклических сдвигах. Алгоритм формирования имеет вид

$$x_{nef}(i) = \begin{cases} 1; & i = (n-1) + [a(e+b)^2 + f] \bmod p + b, b = 0, 1..p-1 \\ 0; & \end{cases}$$

где n, a, e, f – коэффициенты, определяющие свойства кода. $n = \overline{1, N}$; N – длина кода. $a = \overline{0, p-1}$

Пример

n	e	f	x_{nef}
1	0	0	100 000 010 000 010 000
1	0	1	010 000 001 000 001 000

Кросс-корреляция кодов $\{x_{ef}\}$ и $\{x_{gh}\}$.

$$\{x_{ef}\} \otimes \{x_{gh}\} = \begin{cases} p & e = g, f = h \\ 0 & e = g, f \neq h \\ 1 & e \neq g \end{cases}$$

Длина кода Np^2 , объем системы сигналов $M = N(p^2 - 1) / 2$

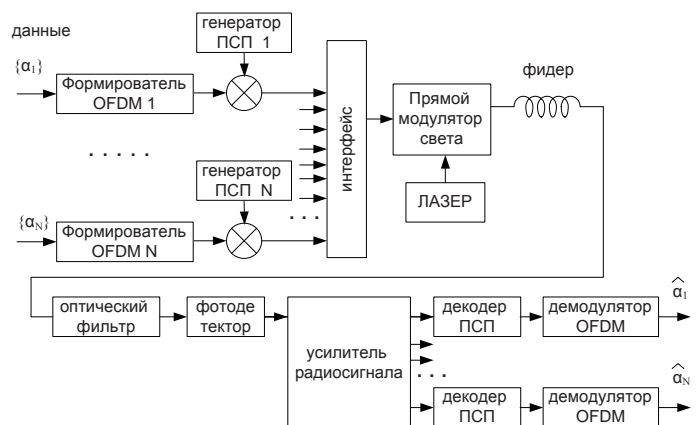


Рис. 1. Структурная схема системы CDMA+OFDM по волокну

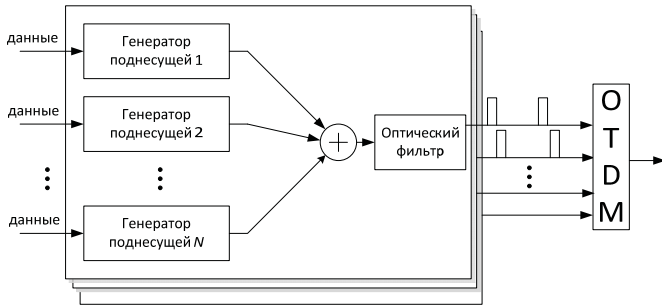


Рис. 2. Оптический OFDM формирователь; ОТДМ – оптический временной мультиплексор

На рисунке 3 даны графики битовой ошибки приема от мощности принимаемого сигнала дБВт. Кривая 1 соответствует двум одновременно работающим абонентам, а кривая 2 восьми абонентам из 32. Увеличение числа активных абонентов приводит к увеличению битовой ошибки.

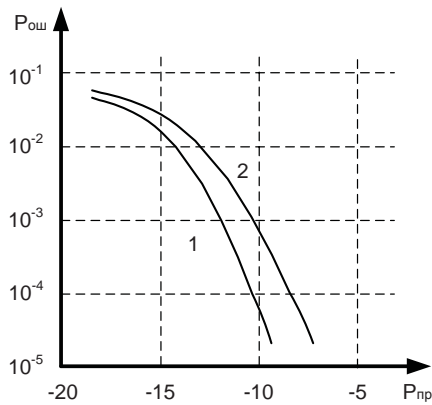


Рис. 3. Зависимость битовой ошибки от оптической мощности принимаемого сигнала

Вероятность битовой ошибки записывается как

$$P_{ош} = \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{P_c}{P_u}} \right),$$

где $\operatorname{erf}(x) = \frac{1}{2} \int_x^\infty \exp(-t^2) dt$ – интеграл вероятности.

Система передачи устойчива к нелинейности фидера и к хроматической дисперсии.

Пример системы. Длина волны 1550 нм, скорость передачи 150 Мбит/с; мощность шума приемника -10 дБВт; битовая ошибка 10^{-9} ; спектральная эффективность 0,8 бит/с/Гц.

Число абонентов можно увеличить, используя коды с циклическим сдвигом. Целесообразно использовать спектрально-амплитудное кодирование последовательности.

Выводы

1. Применение совместной кодовой модуляции и технологии OFDM при передаче по оптическому волокну обеспечивает высокую скорость передачи, многопользовательский доступ и передачу данных на большие расстояния.
2. Приведенная система передачи обладает высокой помехоустойчивостью и малочувствительна к нелинейным искажениям и хроматической дисперсии.
3. Спектральная эффективность достигает 1бит/с/Гц.
4. Предложенный способ передачи данных вполне реализуем на современной элементной базе.

Литература

1. Сперанский В.С. OFDM в оптоволоконных сетях // Вестник связи. 2013. №10.
2. Guan P. End as All-Optical Ultra-High-Speed OFDM to Nyquist Conversion Based on Complete Optical Fourier Transformation // Journal of Lightwave Techn. 2016, vol. 34, №2.
3. Сперанский В.С., Клицков О.И. Оптические сети с кодовым разделением абонентов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. № 10.
4. Liu J.C., Yang G.C., Chen H., Kwong C. New Tree-Structured Optical Codes for Incoherent Optical-CDMA Applications // Journal of Lightwave Techn. 2015, vol. 33, №19.
5. Mohamed M.A., Sholaby H. MH., Badaway El. Optical code – division multiple access protocol with Selective transmission // Optical Engineering. 2006, 45(5).
6. Multiple-access Hybrid OFDM-CDMA System. United States Patent № US7, 764,594 B2. Data of Patent Jul.27, 2010.
7. Salehi J.A. Engineering Optical CDMA Techniques and Applications -Intern. Journal Optic and Photonic 2007, v1, №1
8. Jiang L., Seo D.S., Leairol D.E., Roussen R.V., Landrock C., Feuer M.M. Reconfigurable AU-Optical Code Translation in Spectral-Coded O-CDMA // Journal of Lightwave Technology. 2005, vol. 23, №6.

ИСПЫТАНИЯ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ АППАРАТУРЫ СВЯЗИ, УСТАНОВЛИВАЕМОЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОНАХ И НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Строганова Елена Петровна

д.т.н., профессор МТУСИ, Москва, Россия,
es@radiotest-mtuci.ru

Грычкин Сергей Евгеньевич

инженер по испытаниям, МТУСИ, Москва, Россия
sg@radiotest-mtuci.ru

Современное состояние общества характеризуется высоким уровнем технической оснащенности во всех сферах жизни, причем одними из ключевых элементов являются системы жизнеобеспечения, в том числе в промышленных зонах и энергетических объектах. Функционирование таких систем невозможно без современных сетей и средств связи. На практике технические системы и телекоммуникационные системы всегда тесно связаны. Для таких систем особенно значимой характеристикой является надежность как свойства объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [1, 2].

В промышленных зонах и на объектах электросетевого хозяйства при проектировании и эксплуатации встает проблема обеспечения электромагнитной совместимости оборудования (ЭМС) и систем связи [3].

Оборудование и системы связи на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воздействиям разного вида. Невыполнение условий ЭМС приводит к повреждению оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств автоматической защиты, перекрытию изоляции кабелей и клемм шкафов коммутации, сбою в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы промышленного или энергетического объекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте не превышают допустимых значений для конкретного оборудования.

ЭМС оборудования и систем связи достигается при выполнении основных требований:

- применение оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применение оборудования с ограниченным уровнем помехоэмиссии;
- выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий.

Каждое устройство испытывают на устойчивость к электромагнитным воздействиям. В технической документации на устройство производитель должен указывать уровень помехоустойчивости устройства, степень жесткости испытаний. При аттестации оборудования, устанавливаемого на объектах ОАО «ФСК ЕЭС», следует предъявлять требования по испытанию на помехоустойчивость и помехоэмиссию. Рекомендуемые степени жесткости испытаний и параметры испытательных воздействий для оборудования и систем связи приведены в [3], [4].

Устойчивая и надежная работа оборудования и систем связи возможна только при условии создания на объекте электромагнитной обстановки, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимые для каждого конкретного устройства значения. Стандарт [5] содержит требования по устойчивости испытываемого оборудования к помехам следующих видов: кондуктивные радиочастотные, микросекундные импульсы большой энергии, наносекундные импульсы, одиночные и повторяющиеся колебательные затухающие помехи, а также динамические изменения напряжения питания, электростатические разряды, радиочастотные электромагнитные поля.

Причины появления помехи типа «колебательная волна» и определение ее параметров

На электростанциях операции замыкания и размыкания высоковольтных разъединителей приводят к появлению затухающей колебательной волны с резким фронтом при времени нарастания порядка нескольких десятков наносекунд.

С 01.06.2017 г. введен в действие на территории РФ стандарт, определяющий помехоустойчивость оборудования к этим воздействиям – ГОСТ ИЕС 61000-4-18-2016 [6].

Очевидно что эти переходные процессы ухудшают качество функционирования оборудования. В результате появляются следующие задачи реализации испытательного воздействия и видов защиты:

- точное определение параметров затухающей колебательной волны;
- моделирование волны с заданными характеристиками;
- способы защиты оборудования от переходных процессов.

На основании исследований было выявлено, что для открытых электрических подстанций появляется так называемая «медленная затухающая волна», где частота меняется приблизительно от 100 кГц до нескольких мегагерц с частотой повторения 40 и 400 Гц соответственно.

На подстанциях электрических сетей, а так же на установках, подвергаемых воздействию электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва действует «быстрая затухающая волна» с частотами 3, 10 и 30 МГц и периодом повторения 200 мкс.

Моделирование затухающей колебательной волны

Для оборудования, предназначенного для конкретной установки, выбираются параметры воздействия и его испытательный уровень. В качестве имитации процесса колебаний применяется испытательный генератор.

Для примера рассмотрим одну из реализаций схемы генератора затухающей колебательной волны (рис. 1) частотой 100 кГц и испытательным уровнем 2,5 кВ (остальные пара-

метры затухающей волны в соответствии с п.6.1.1 ГОСТ IEC 61000-4-18).

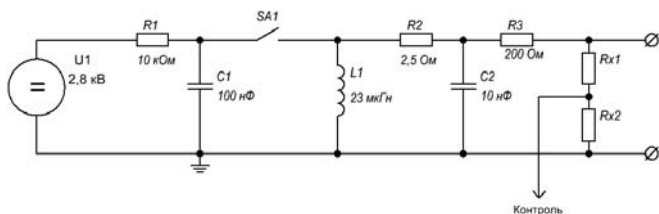


Рис. 1. Схема генератора затухающей колебательной волны частотой 100 кГц

Рассмотрим каждый элемент схемы подробнее:

U1 – источник постоянного напряжения; R1 – резистор, предназначенный для обеспечения зарядного тока конденсатора C1; SA1 – быстродействующий ключ, не обладающий «дребезгом контактов» (например управляемый газовый разрядник); R2 – резистор, обеспечивающий заданное время нарастания переднего фронта напряжения; R3 – резистор, обеспечивающий выходное сопротивление 200 Ом, а так же заданный ток короткого замыкания; Rx1, Rx2 – резисторы, представляющие собой делитель напряжения для контроля испытательного воздействия; C1, C2, L1 – составляющие элементы параллельного колебательного контура, настроенного на резонансную частоту $f_k = 100$ кГц.

Соотношение номиналов C1 и C2 определяет распределение накопленного заряда конденсатором C1 после замыкания ключа SA1 (т.е. степень затухания колебательного процесса). Частота колебаний напряжения определяется по формуле:

$$f_k = \frac{1}{2\pi\sqrt{(C1+C2) \cdot L1}} \quad (1)$$

Способы защиты оборудования от переходных процессов

Для защиты от переходных процессов необходимо устройство (элемент), обладающее свойствами быстрого срабатывания и рассчитанного на большие амплитуды. Одним из таких элементов защиты являются газовые разрядники, варисторы, а так же TVS-диоды. Принцип работы всех перечисленных элементов защиты основан на резком уменьшении сопротивления при превышении максимально допустимого напряжения. На рисунке 2 приведена типичная схема защиты на варисторе с предохранителем. TVS – диод представляет собой ограничитель напряжения, работающий на обратной ветви ВАХ (вольт-амперной характеристики) с лавинным пробоем, или на прямой ветви ВАХ.

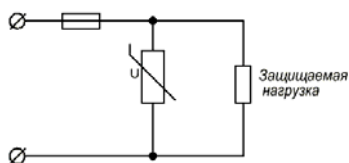


Рис. 2. Схема защиты на варисторе

На рисунке 3 показана схема защиты на двунаправленном (симметричном) TVS-диоде.

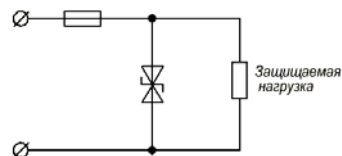


Рис. 3. Схема защиты на TVS-диоде

Так же часто применяется комбинирование этих защитных элементов (рис. 4).

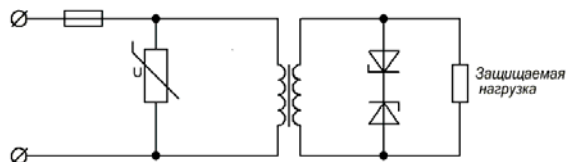


Рис. 4. Комбинированная схема защиты на варисторе и TVS-диоде

Заключение

Приведен краткий обзор помехоустойчивости оборудования и систем связи, устанавливаемых в промышленных зонах и на энергетических объектах. Подробно проанализированы испытания на воздействие затухающих колебательных волн и приведен расчет испытательного генератора. В дальнейшем будет проведен более детальный поиск новых схемотехнических решений в части испытательных генераторов и устройств защиты.

Литература

1. Строганова Е.П. К проблеме анализа помехоустойчивости // Технологии и средства связи. 2009, № 3. С. 46.
2. Проклов Р.В., Строганова Е.П. Современные требования и методы испытаний на помехоустойчивость средств радиосвязи // Т-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. № 8. 2012. С. 57-58.
3. СТО 56947007- 29.240.044-2010 ОАО «ФСК ЕЭС». Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. Стандарт организации.
4. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
5. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5:2001) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний.
6. ГОСТ IEC 61000-4-18-2016 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-18. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к затухающей колебательной волне.

ФАЗОВЫЕ ШУМЫ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Строганова Елена Петровна

д.т.н., профессор МТУСИ, Москва, Россия

es@radiotest-mtuci.ru

Грычкин Сергей Евгеньевич

инженер по испытаниям, МТУСИ, Москва, Россия

sg@radiotest-mtuci.ru

Кочемасов Дмитрий Викторович

научный сотрудник, ООО «Радиокомп», Москва, Россия

info@radiocomp.ru

Рассмотрено происхождение фазовых шумов и их модели, вопросы минимизации шумов в стабилизированных автогенераторах. Изложены основные методы измерений фазовых шумов.

Введение

К современным радиолокационным, радиоастрономическим, телекоммуникационным, измерительным системам предъявляются высокие требования по чувствительности и стабильности. В таких системах применяются опорные генераторы и гетеродины с высокой долговременной и кратковременной стабильностью частоты, а, следовательно, для них требуется минимизация шумов как причины нестабильности частоты сигнала [1]. Помимо низкого уровня шумов генераторы должны иметь узкий шаг перестройки, линейность модуляционной характеристики и высокую скорость перестройки в широком диапазоне частот без потери стабильности, и др.

Долговременная нестабильность частоты генератора определяется такими показателями как температурный уход частоты (обычно характеризуемый температурным коэффициентом частоты), старение элементов генератора.

Кратковременная нестабильность определяется случайными флуктуациями, которые также называют фазовым шумом (ФШ). Кратковременная нестабильность частоты (или ФШ) имеет намного большее влияние на качественные характеристики систем вследствие принципиальной невозможности устранения и компенсации такой нестабильности. Кратковременная нестабильность частоты уменьшает чувствительность при приеме сигналов, а в цифровых генераторах приводит во временной области к джиттеру – дрожанию фронта цифрового сигнала, а также вандеру, по которым понимают очень медленные изменения фазы цифрового сигнала.

В настоящей работе обсуждаются шумы стабилизированных автогенераторов (АГ) и методы их измерения.

Виды шумов в автогенераторе

К наиболее распространенным шумам АГ относятся тепловой, дробовой, генерационно-рекомбинационный шум активных и пассивных элементов, шум, обусловленный температурными флуктуациями, а также фликкерный шум.

Тепловой шум вызывается случайным движением заряда в любом проводнике, вследствие которого на концах проводника возникает флуктуирующая электродвижущая сила. Дробовой шум возникает, когда носители заряда случайно пересекают некоторый потенциальный барьер, так что возникают импульсы тока, а суперпозиция этих импульсов образует флуктуирующий ток. Генерационно-рекомбинационный шум вызывается случайной генерацией или рекомбинацией носителей в полупроводнике. Шум, обу-

словленный температурными флуктуациями, возникает из-за теплообмена между телом и окружающей его средой из-за флуктуаций испускаемого и поглощаемого излучения.

Особое место занимает фликкерный шум или шум $1/f$. Частотная зависимость спектра этого шума имеет вид:

$$S(f) = \frac{1}{f^{\gamma}} \quad (1)$$

с показателем γ близким к единице: $0,8 \leq \gamma \leq 1,2$, причем $\gamma \approx 1$ встречается наиболее часто. Термин $1/f$ -шум

указывает на близость показателя γ единице. Такой вид спектральной плотности означает, что шум $1/f$ проявляется, главным образом на низких частотах [2, 3]. Во фликкерных флуктуациях находят отражение многие электронные и атомные процессы, проявляются особенности микроструктуры. Причиной появления шума типа $1/f$ является суперпозиция различных процессов, таких как захват носителей медленными ловушками в полупроводниках, рождение/уничтожение дефектов решетки в металлах, флуктуации заселенности уровней, причем происходящие релаксационные процессы имеют различные постоянные времени. Однако полностью природа шума $1/f$ не установлена.

Моделирование шумов

ФШ как свободного, так и стабилизированного АГ может быть смоделирован с использованием проводимости шума или шумового сопротивления (схемы представлены на рис. 1). Также учет ФШ можно провести в модели Лисона [4]. Модель Лисона состоит из усилителя (с шумовой компонентой) с обратной связью в виде сопротивления с передаточной функцией (рис. 2). В [5] показана эквивалентность между этими двумя моделями.

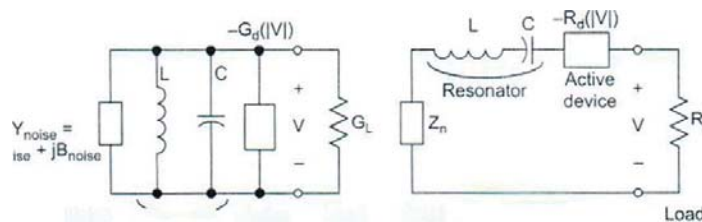


Рис. 1. Способы учета шумов в моделях АГ

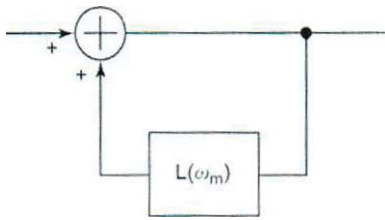


Рис. 2. Модель Лисона простейшего АГ

Спектральная плотность шума $S(f)$ показывает, какая шумовая мощность сосредоточена в полосе частот на данной частоте f и характеризует распределение интенсивности шума по частоте.

График зависимости спектральной мощности ФШ от частоты представлен на рис. 3.

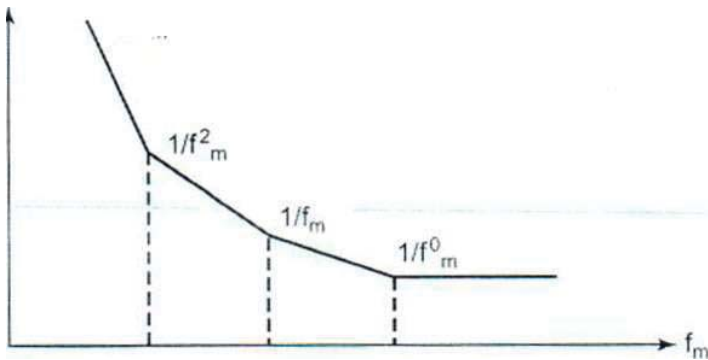


Рис. 3. Зависимость спектральной плотности мощности ФШ от частоты

Для частот, превышающих полуширину полосы резонатора $\frac{fc}{2Q}$ с добротностью Q , ФШ определяется в основном тепловым шумом усилителя и мощностью колебаний. Таким образом, определяющими факторами являются параметры генератора, такие как полуширина полосы пропускания резонатора $\frac{fc}{2Q}$ и граничная фликерная частота генератора. Основным методом уменьшения ФШ во всем диапазоне частот является применение стабилизированных АГ с высокодобротными резонаторами.

Стабилизированные автогенераторы СВЧ

Совокупность технических характеристик АГ, таких как стабильность частоты и уровень ФШ, мощность в нагрузке, диапазон перестройки, достигается применением высокодобротных резонаторов, конструктивных способов построения автогенераторов, а также применением активных приборов, имеющих малые значения шумов. Вплоть до СВЧ стабилизированные АГ строятся на основе АГ, стабилизированных кварцевым резонатором, и умножителей частоты, при этом стабильность частоты таких АГ достигает 10^{-11} – 10^{-12} . Однако использование многокаскадных умножителей приводит к увеличению уровня ФШ АГ и резкому возрастанию нестабильности частоты. Так что на СВЧ применяются генераторы с активными элементами, работающими непосредственно в диапазоне СВЧ. В диапазоне СВЧ наибольшую стабильность частоты автоколебаний и низкий уровень спектральной мощности ФШ демонстрируют оптоэлектронные АГ с резонаторами в виде оптических волноводов (волоконно-оптических линий задержки), а также АГ с резонаторами на колебаниях «шепчущей галереи», что обусловлено, в первую очередь, применением высокодобротных

стабилизирующих резонаторов. Применение мостовых схем, компенсирующих обратных связей и других конструктивных методов позволяет уменьшить ФШ АГ СВЧ.

Высокостабильные перестраиваемые по частоте АГ СВЧ выполняются на ЖИГ-сферах, а также как генераторы комбинационных частот (ГКЧ) [6]. В ГКЧ удается осуществить перестройку в относительно широком диапазоне частот и при этом избежать резкого падения стабильности частоты при перестройке собственной частоты высокодобротного стабилизирующего резонатора. Механизм сочетания управления частотой в двухконтурном АГ, стабилизированном высокодобротным резонатором, состоит в следующем. При наличии в генераторе двух устойчивых точек стационарного режима с частотами f_1, f_2 осуществляется внешнее воздействие на него с частотой $|f_1 - f_2|$. При этом возникает захват одной из боковых частот, так что она остается постоянной и приблизительно равной частоте стабилизирующего резонатора, а вторая из боковых частот может изменяться пропорционально частоте внешнего воздействия. В [7] приведен результат расчета шумов в таком АГ, который показал практическую неизменность уровня ФШ перестраиваемой частоты.

Методы измерений фазовых шумов

Если проводить измерение мощности шума для различных реализаций статистического ансамбля, получаемые значения средней по времени мощности будут отличаться друг от друга. Среднее этих значений равно дисперсии шума σ^2 , вычисленной по ансамблю: $\langle x^2 \rangle = \langle x^2 \rangle = \sigma^2$. Операция усреднения по времени в спектральном представлении осуществляется фильтром низких частот, который пропускает низкочастотные компоненты входного сигнала, включая постоянную составляющую, и подавляет высокочастотные, начиная с частоты порядка $1/T$.

Измерение ФШ может проводиться непосредственно анализатором спектра. Такой анализатор спектра должен иметь автоматическую функцию, которая измеряет и вычисляет спектральную плотность в полосе частот встроенного фильтра при заданной частоте отстройки от несущей. Такой анализатор спектра должен иметь собственные шумы меньше, чем шумы источника шумов, которые подлежат измерению.

Широко применяются для измерений ФШ метод измерений на основе фазового детектора и его модификации – методы опорного источника/ФАПЧ, частотного дискриминатора, гетеродинного цифрового дискриминатора [5].

Однако для стабилизированных АГ требуется применять методы измерений, обладающие наибольшей чувствительностью. Ее обеспечивает метод двухканальной взаимной корреляции, который основан на использовании двух петель опорного источника/ФАПЧ, которые затем проходят операцию взаимной корреляции (рис. 4). Поскольку собственные шумы, в отличие от шумов источника сигнала, некогерентные, то за счет корреляции можно уменьшить влияние собственных шумов обеих ветвей ФАПЧ. При увеличении числа операций корреляции, уменьшается влияние собственных ФШ ветвей ФАПЧ, но при этом увеличивается требуемое время измерений [8].

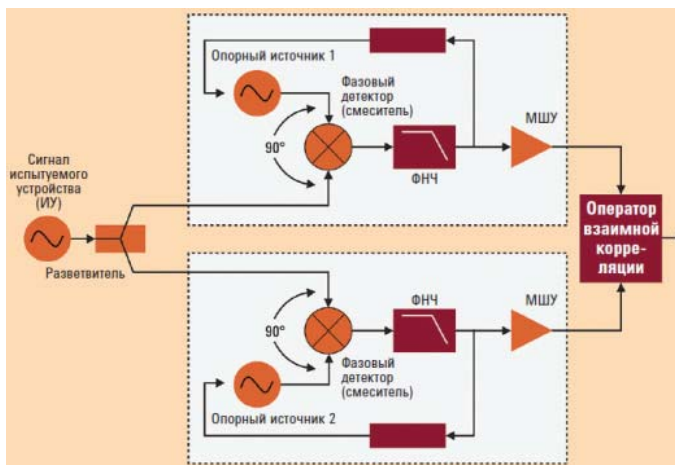


Рис. 4. Структурная схема измерителя ФШ методом двухканальной взаимной корреляции

Выводы

ФШ является одним из самых важных критериев качества устройств генерации радиочастотных сигналов. Особую значимость уровень ФШ приобретает в качестве характеристики стабилизированных АГ.

В настоящей работе рассмотрены источники шумов и их модели, свойства стабилизированных АГ, методы измерений

фазовых шумов, пригодные для измерений ФШ стабилизированных АГ.

Литература

1. Царапкин Д.П., Строганова Е.П., Кочемасов В.Н. Сравнительный анализ малошумящих СВЧ-автогенераторов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2017. Т. 22, № 1. С. 23-29.
2. Matulionis A. Noise, hot carrier effects. Encyclopedia of RF and Microwave Engineering. 2014. John Wiley and Sons, Inc., pp. 3439-3457.
3. Heng-Chia Chang. Phase noise and measurements. Encyclopedia of RF and Microwave Engineering. 2014. John Wiley and Sons, Inc., pp. 3802-3809.
4. Лисон Д. Простая модель спектра шума генератора с обратной связью // ТИИЭР. 1966. Т. 54. №2. С. 251-253.
5. Loh W., Yegnanarayanan S., Ram R.J., Juodawlkis P.W. Unified Theory of Oscillator Phase Noise II: Flicker Noise. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2013. Vol. 61. No. 12, pp. 4130-4144.
6. Строганова Е.П., Иванов Е.Н., Царапкин Д.П. СВЧ генератор комбинационных частот // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1981, Т.24. № 10. С. 69-72.
7. Строганова Е.П., Царапкин Д.П. Флуктуации в генераторе комбинационных частот // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1984. Т. 27. № 7. С. 89-91.
8. Keysight Technologies. Анализ стабильности частоты в частотной и временной областях. Рекомендации по применению. <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-4797RURU.pdf?id=2508814>.

QOS SUPPORT IN VOIP NETWORK OF MONGOLIA

Ariunaa Tsogbadrakh,

Telecommunication Department, School of Information and Communication Technology (SICT), Mongolian University of Science and Technology (MUST), Ulaanbaatar, Mongolia,
ts.ariunaa@sict.edu.mn

In Mongolia, ICT sector is intensively developing, the process of network convergence is carried out and the demand for convergent services is constantly increased. At the same time, the operators of Mongolia need to follow the international norms on quality of service parameters for IP networks. In this paper, we will discuss about the current status of ICT sector in Mongolia, communication quality parameters, the international norms on QoS(Quality of Service) parameters for IP networks and practical recommendations for improvement of QoS in VOIP networks of Mongolia is considered.

Keywords: Mongolia, ICT, QoS, recommendation, norm, service, class.

I. The current status of ICT sector in Mongolia

ICT sector of Mongolia is comprised of telecommunications, information technology, radio and TV broadcasting, and postal services. Mongolia has become fully digitalized as for as switching and transmission system is concerned.

For the past year, the large scale initiatives such as “The launching of national satellite of Mongolia” project, “Postal services to every household” and “Broadband” national programs were submitted to and approved by the Government of Mongolia.

In the last few years, there are number of large scaled programs and projects developed and implemented successfully; such as “State policy on development of ICT sector of Mongolia by year 2021”, “Launch of National Communications Satellite”, establishment of “Mongolian Silicon Valley”, “Switchover of radio and television broadcasting into digital technology”, “Establishment of broadband network” and “Development of electronic government”.

The national fiber optic network of Mongolia is now extended to reach 21 aimag centers and over 200 soums. ICTPA is planning to implement a project to extend fiber optic network in the next 2 years, which will connect remained soums.

Four mobile operators providing mobile services for 3,313,871 million subscribers (by June, 2012) throughout the territory of Mongolia and are currently expanding their services. Nowadays, Mongolian more than 3 million mobiles subscribers are benefiting from services offered in 3.5G environments and in Ulaanbaatar, 4G services started to offer, enabling communications through not only by voice, but also through video and other multimedia services. The fiber optic cable network has been extended to over 20,000 km. The Information Communication Network Company is the owner of the national backbone and access network of Mongolia including international, long distance, rural and local transmission networks and local loops. In addition, private operators such as Mobicom, Gemnet, Skytel and Mongolian Railway are installed fiber optic networks in some locations.

There are about 70 ISPs, which share 30 Gbps bandwidth and provide services to more than 641,000 internet subscribers (by 2012), who are using xDSL, fiber optic, 3G and GPRS connections.

At the present stage of Mongolian ICT market for telecommunication services, there is a convergence process of different types of communication services which are based on the different technologies.

The technology is changed from PSTN to IP (Fig.1). This way of development is completely coincides with world tendencies [5-7].

Tabl.1
The norms on quality parameters

№	Parameters	Norm
Network indicators		
1	The time for service establishment, h	<24 h
2	Average time of the connection, min	<1 min
3	Number of successful connection (dial-up)	max 3 (in 1 minute)
4	Total time of network refusal, min	<30 min (in a month)
5	Average time of network restoration, days	<3 days
6	Complaints of users (in 3 months)	<50 (for each 1000 users)
Malfunctions and repair:		
7	Number of malfunctions for each 100 subscribers (in a month)	<3
8	The probability of elimination for malfunctions in 24 hours	90%
9	The probability of elimination for malfunctions in 48 hours	95%
10	The probability of elimination for malfunctions in 72 hours	99%

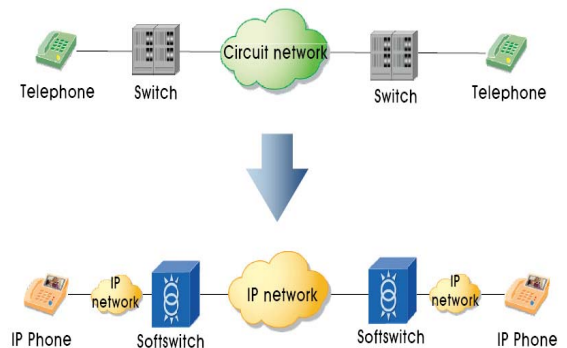


Fig. 1. The technology transfer from PSTN to IP

Few years before we are used following standards for PSTN network operation.

These parameters don't reflect the feature of IP networks.

Demand for convergent services constantly increases, generally, due to the role of a corporate segment in the ICT

market. Also, in last years, the role of a private sector is intensively grows.

ICT sector is one of most dynamically developing sector in Mongolia. In Mongolia, IP technology develops on the basis of national Internet network. Therefore, research work for QoS support in VoIP network and network development methodology for the improvement of QoS is the most important and actual problem. In order to establish normal condition for network operations, it is necessary to provide high-quality services via modern telecommunication network, using the latest technologies.

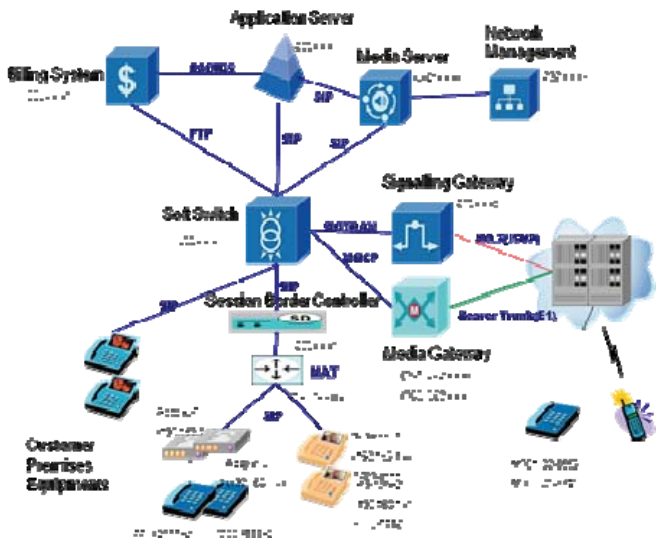


Fig. 2. Functional structure of VoIP network

PSTN (Public Switched Telephone Network) is the voice oriented telephone network. The reliability of the network is 99.999% [1]. PSTN network is able to provide sufficient bandwidth for voice services. There are 183,074 fixed telephone users in Mongolia (by June, 2012). Since 2010, in Mongolia, the number of fixed line subscribers has been decreased year by year [9] (Fig. 3), due to the introduction of mobile and IP services.

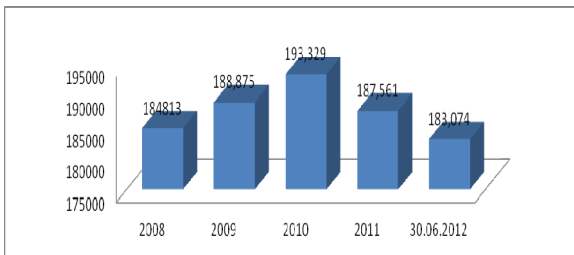


Fig. 3. The number of fixed line subscribers in Mongolia

At the same time, in Mongolia, the number of IP service subscribers and the number of mobile service subscribers are grows quickly (Fig. 4).

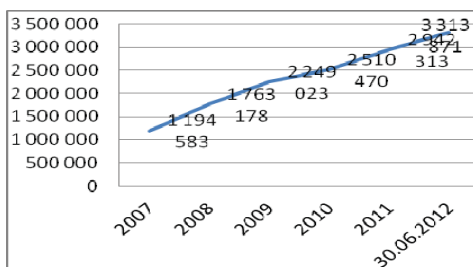


Fig. 4. The number of mobile service subscribers

In Mongolia, it is planned to construct the transport network (All-IP) on the basis of IP/MPLS technology (Fig. 5) [8].

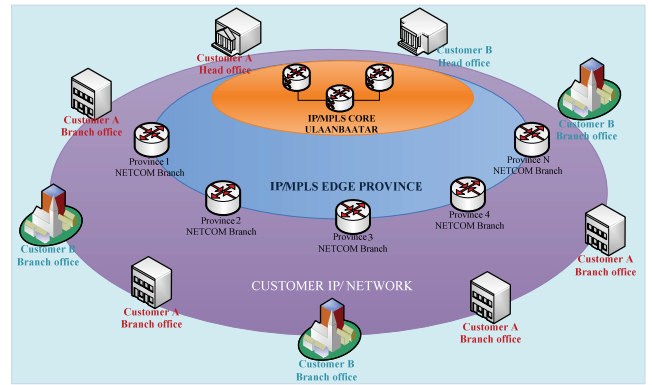


Fig. 5. IP/MPLS network structure

The IP/MPLS network structure in Mongolia is presented in Fig. 5. Apparently from Fig. 5 the network has the core (IP/MPLS Core) to which boundary IP/MPLS routers (Edge) are connected, in provinces.

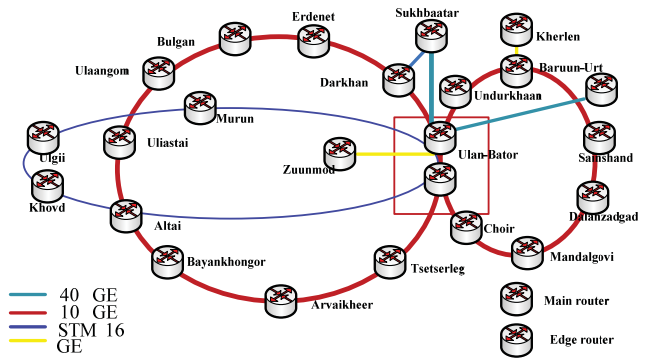


Fig. 6. The topology of IP/MPLS network

Description of the network topology: In Mongolia, it is planned to construct 1 ring from 40 GE, 2 rings with 10 GE. Also there are linear connection between Zuunmod-Ulan-Bator, Ulan-Bator-Baruun-Urt, Ulan-Bator-Sainshand, Ulan-Bator-Sukhbaatar, Darkhan-Sukhbaatar, Baruun-Urt-Kherlen with the corresponding capacities (Fig. 6). Some project works has been started.

The transport network (All-IP) on the basis of IP/MPLS technology, which is under construction, will be allow to increase the general capacity, to increase the network reliability. Also QoS service parameters will be improved.

VOIP QoS

Quality of Service (QoS) refers to the probability of the telecommunication network meeting a given traffic contract, or in many cases is used informally to refer to the probability of a packet succeeding in passing between two points in the network within its desired latency period (See Fig 7).

There are many factors affecting voice quality: the broadband connection, bandwidth, hardware, software and the technology itself. Therefore the connection to the internet and the devices used to connect to internet can play a part in reducing or improving the QoS.

Tabl. 2

Recommended QoS parameters for IP

Indicator name	Classes QoS			
	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3
Average time between network refusals, h	500	400	400	200
Average time for network restoration, min	300	600	3600	3600
IP packet delay, msec	100	400	400	400
IP Delay variation (jitter), msec	50	50	-	-

- Planning and optimization of VoIP network with use of simulation programs such as OPNET, NS2, NS3, NetCracer etc;
 - Right choice of audiocodexs, elimination of all undesirable and unwanted effects from input audiosignals, reduction of noise, suppression of pauses in speeches, application of a method for reduction of delays, packet loss and echo compensation;
 - Traffic prioritation, marking and packet rerouting;
- VoIP traffic has to be receive higher priority in comparison with data packets.
- There are the list of factors to which it is necessary to pay attention:
- the calculation and monitoring of network load, network productivity before VoIP introduction;
 - generation of VoIP synthetic traffic (forecasting of call quality);
 - definition of service level;
 - Ensuring VoIP network security;
 - Installation work and training of ICT staff;
 - Network monitoring.

Tabl. 3

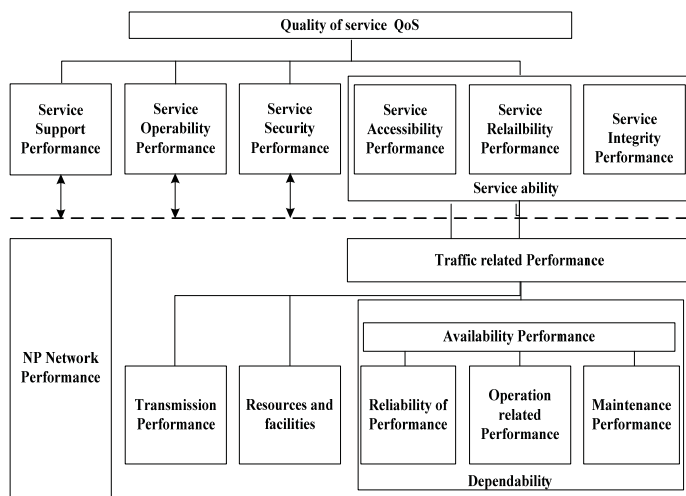


Fig. 7. Quality of Service

The QoS parameters

Now, ICT operator companies in Mongolia became to take attention on QoS issues.

Thus, we are recommending to use QoS parameters for IP networks, which are developed on the basis of international standards (Tab.2).

The international norms on QoS parameters for IP networks are presented in the Recommendation of ITU-T Y.1541 [4] and ITU-T G.107 [10]. On the following table (Tab.3) it is illustrated QoS parameters for different classes of services.

In Mongolia it is planned to enter the classification of IP networks according to QoS [2].

Practical recommendations for improvement of QoS parameters inVOIP network

When will be ready your VoIP system for operation and maintenance, need to provide related work in order to support reliable operation with high QoS.

Operators of Mongolia should follow the control for all process in order to introduce VoIP technology — since introduction and finishing with VoIP network expansions. For improvement of QoS in VoIP network, it is recommended to implement following measures:

Indicator characteristics	Indicators	Norm
Assessment of the level for reliability of services	Quantity of malfunctions counting on unit of the terminal equipment of in a year	≤ 0.1
	Coefficient of network availability on the average in a quarter, %	99
	Average time between network refusals, h	500-200
	Average time of network restoration, min	300-3600
Assessment of speed for access to the network	Time for implementation of the request for connections to the network, working days.	≤ 3
	Coefficient of the request for connections of the network, executed standard terms	$\geq 0,95$
	Time of restoration for access to the network, h	≤ 10
Assessment of quality for repair and maintenance	Coefficient of requests for elimination of the malfunctions, executed standard terms	$\geq 0,95$
	IP packet delay, msec	100-400
Assessment of quality for data transmission	IP delay variation (jitter), msec	50
	IP packet loss (coefficient) 10^{-3}	10^{-3}
	Coefficient for IP packet errors	10^{-4}
	Probability for premature disconnections of data transmission in a packet networks	2×10^{-5}

The communication quality needs to be controlled by network monitoring. When local networks are used, the network administrator can control and manage the quality of transmitted audio signals by controlling the network load level and packet losses. Besides factors which directly belong to the VoIP

applications, the network analyzer has to be capable to register and control the network load and other parameters. It is recommended to use the network analyzer for research work and network control.

Management

During voice transmission process via VoIP network, there can be appearsuch problems as physical level problems on access network, the overloaded port, incorrectly configured class of services, delay emergence. The network management strategy and diagnostics of faults is necessary. Network administrators have to carry out diagnostics of problems in order to eliminate access network's faults, the overloaded ports's problem and ensure QoS parameters. QoS management between networks (IP-TDM-IP) is one of important tasks:

- ensuring the IP quality on the basis of RSVP protocol, IPv6, MPLS;
- approach to control of established standards for IP quality;
- methodology, for creation of quality control system;
- the negotiations of SLA between operators/operators and users;
- development of related recommendations and state standards for QoS improvement in IP networks of Mongolia;
- development and implementation of comprehensive programs on QoS control for all operators;

Conclusions

ICT sector is one of most dynamically developing sector in Mongolia. At the present stage of Mongolian ICT market for telecommunication services, there is a convergence process of different types of communication services which are based on the different technologies. This way of development is completely coincides with world tendencies. The transport network (All-IP) on the basis of IP/MPLS technology, which is under construction, will be allow to increase the general capacity, to increase the reliability of network. Also QoS service parameters will be improved.

Quality parameters which are used and observed all operators of Mongolia, at present, don't reflect the feature of IP networks.

There is a need to follow and use the international norms on QoS parameters for IP networks. In Mongolia it is necessary to enter the classification of IP networks according to QoS. VoIP traffic has to be receive higher priority in comparison with data packets. The implementation of practical recommendations for improvement of QoS parameters in VOIP network, will allow to coordinate operation work of various operators.

Due to use of scientific achievements, the careful research work on IP network for the improvement of QoS, the implementation of comprehensive programs on IP network quality in Mongolia will be able to reach the planned level and by 2021, Internet service users will be able to use Internet speed up to 100 Mbit/sec in Ulan-Bator and up to 70 Mbit/sec in a major cities and in province centers, as it was mentioned in the official documents. As the speed of Internet services will grow, in parallel will improve QoS in VoIP network.

References

1. *Olifer V.G. and Olifer N.A.* Computer networks. 3rd Edition. M.: Peter, 2006.
2. *Deart V.U.* Multiservice network. M., 2007. 166 p.
3. *Jose Ignacio Moreno Novella, Francisco Javier Gonzales Castano.* QoS requirements for multimedia services. Madrid, Spain, 2010. 188 p.
4. Network performance objectives for IP-based services. ITU-T Recommendation Y.1541 // <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541-200602-I/cn>. February, 2006.
5. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Новые технологии и оборудование IP-сетей. СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2000.
6. *Гургенидзе А.* Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. М.: Наука и техника, 2003. 400 с.
7. *Норенков И.Т.* Телекоммуникационные технологии и сети. М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 2000. 248 с.
8. ICTPA. "White book-2013". М.: ICT technology White Book, 2013. 39 с.
9. ICTPA "ICT development tendency of Mongolia-2021", ICT Technology White Paper., 2011. 55 с.
10. The E-model, a computational model for use in transmission planning. ITU-T Recommendation G.107 // <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.107-200503/cn>. March, 2005.

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ АПОДИЗИРОВАННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК ИЗМЕНЕНИЕМ ГРУППОВОЙ ЗАДЕРЖКИ

Утепбергенов Ирбулат Туремуратович,

д.т.н., профессор, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Республика Казахстан,
irbulat@rambler.ru

Кусамбаева Назым Шаяхметовна,

докторант, Казахская академия транспорта и коммуникации им. М.Тынышпаева, Алматы, Республика Казахстан,
kussambayeva@mail.ru

Постоянно растущая потребность в увеличении скорости передачи информации, связанная с развитием средств телекоммуникаций, увеличением информационных потоков, ростом глобальных информационных систем и баз данных, расширением числа пользователей, привела к тому, что волоконно-оптические линии связи стали разрабатываться с применением спектрального мультиплексирования оптических каналов (DWDM).

В настоящее время уже разработаны соответствующие стандарты линий связи, устанавливающие интервал между соседними каналами 50 ГГц (около 0,4 нм в спектральном диапазоне вблизи 1,5 мкм). В экспериментальных линиях связи скорость передачи по одному каналу составляет 40 Гбит/с, в то время как общее их число достигает 200. Общая скорость передачи информации в такой линии связи составляет 8 Тбит/с.

Очевидно, что для успешной работы таких линий связи требуются устройства ввода/вывода отдельных спектральных каналов, которые могут быть успешно реализованы на основе волоконных брэгговских решеток [1-4]. Одна из возможных схем такого селектора оптического канала с длиной волны λ_N , построенная на основе брэгговской решетки с высоким коэффициентом отражения и двух оптических циркуляторов, приведена в [1] (рис. 1).

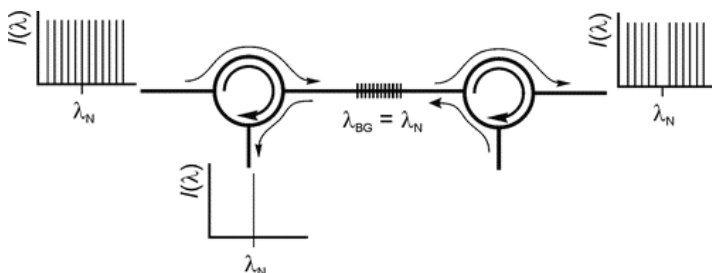


Рис. 1. Оптическая схема устройства для ввода/вывода заданного спектрального канала в волоконно-оптической линии связи [1]

Факторами, ограничивающими применение волоконных брэгговских решеток в этом случае, являются боковые максимумы в спектре решетки (рис. 2), а также оптические потери, вызванные возбуждением мод оболочки на структуре решетки. Для подавления боковых резонансов волоконных брэгговских решеток было предложено изменять амплитуду модуляции профиля преломления (ПП) в решетке по ее длине. Наилучшие спектральные характеристики имеют решетки со сглаженным по определенному закону профилем модуляции наведенного ПП при постоянном его среднем значении по длине решетки. Для подавления возбуждения оболочечных мод на оптоволоконных брэгговских решетках был также предложен ряд подходов.

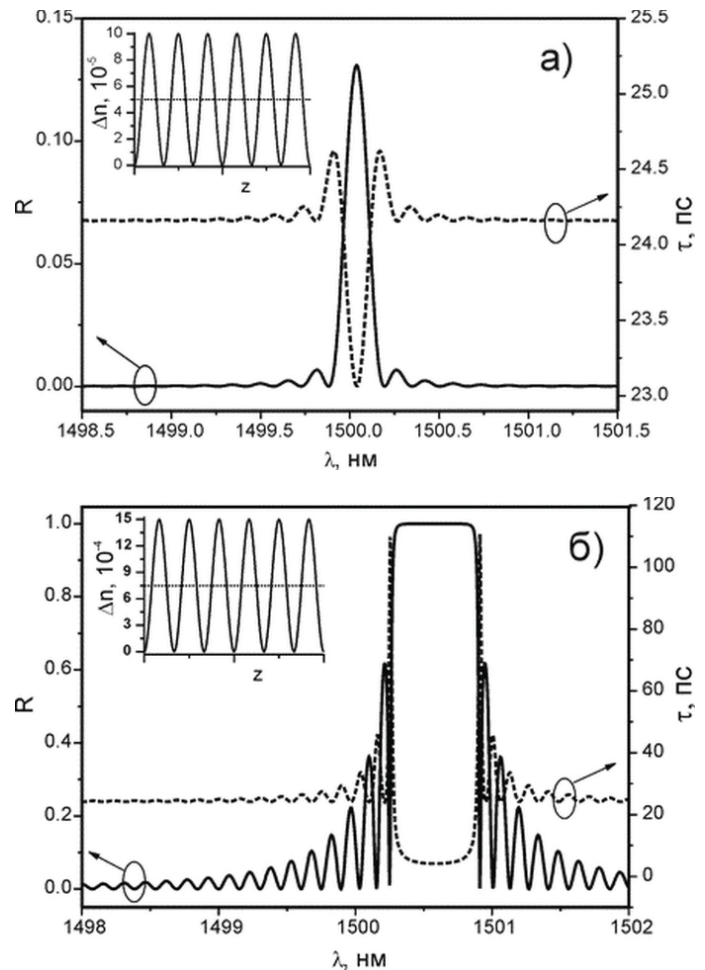


Рис. 2. Спектр отражения R [сплошная кривая] и групповая задержка τ [штриховая кривая] однородных брэгговских решеток с различной амплитудой модуляции наведенного ПП: $\Delta n_{mod} = 5 \cdot 10^{-5}$ (а) и $7,5 \cdot 10^{-4}$ (б). На врезках: схематический профиль ПП, наведенного в решетках [1]

Еще одним фактором, ограничивающим скорость передачи информации в современных оптоволоконных линиях связи, является хроматическая дисперсия волоконных световодов [5].

Дело в том, что при распространении в диспергирующей среде лазерные импульсы, несущие информацию, уширяются и начинают перекрывать друг друга. В стандартных волоконных световодах на длине волны 1,55 мкм величина дисперсии групповых скоростей составляет около 17 пс/(нм·км), поэтому, несмотря на низкие потери стандартных световодов (~0,2 дБ/км) при скорости передачи 40 Гбит/с расстояние, на которое можно передать информацию, не превышает 10 км. Для того, чтобы увеличить это расстояние для экс-

платирующихся волоконных световодов, необходимо компенсировать их дисперсию.

Это может быть сделано с использованием волоконных брэгговских решеток с переменным периодом [5, 6]. Сменнопериодические CFBG решетки (решетки с *переменным периодом*) с оптическим циркулятором, используются в оптических сетях, для компенсации хроматической дисперсии. Такая решетка способна вносить определенную временную задержку между спектральными компонентами импульса и, таким образом, восстанавливать его исходную форму. Как правило, для компенсации дисперсии требуются решетки большой длины, которые записываются через фазовую маску. Достигнутая величина дисперсии в решетках с переменным периодом более 1000 пс/нм позволяет компенсировать дисперсию 50-км отрезка стандартной волоконно-оптической линии на длине волны 1,55 мкм.

Функция аподизации и выбор параметров оказывает существенное влияние на отражательные компенсационные свойства брэгговских решеток. Аподизация используется для сглаживания боковых полос спектра отражения, что приводит к уменьшению дисперсии, но также имеет важное значение амплитуда сигнала, отраженного от аподизированной брэгговской решетки. Таким образом, оптимальный профиль аподизации должен оказывать благоприятное влияние максимальной сглаживанию боковых полос и на максимальную отражательную способность по амплитуде. Выбор соответствующей функции аподизации может значительно изменить характеристики отраженного светового сигнала, т.е., мощность и компенсацию дисперсии, и снизить стоимость производства решетки. Как правило, чем больше период сетки, тем она длиннее, следовательно, более трудно ее реализовать и, соответственно, повышается цена такого решения. На практике, используются решетки от нескольких мм до нескольких см. Поэтому разумно предположить, что выбор функции и соответствующих параметров аподизации для управления этой функцией нужен для того, чтобы получить оптимальные результаты.

Представленные в [7] профили аподизации были проанализированы для выбора функции аподизации и параметров их управления для того, чтобы улучшить коэффициент отражения сменнопериодических брэгговских решеток. Для анализа были взяты следующие функции аподизации: Тангенс, Хэмминга, Гаусса, Косинус, Коши, Синус. С помощью моделирования был проведен анализ отраженных спектров, и доказано, что лучший спектр отражения имеют решетки CFBG, аподизированные профилями Гаусса и Синус.

Для дальнейшего анализа компенсационных свойств на основе изменения групповой задержки аподизированных этими профилями CFBG решеток, нами проведено их моделирование.

Построенная математическая модель в программной среде MATLAB позволила провести моделирование групповой задержки в аподизированной брэгговской решетке. На рисунке 3 представлены результаты моделирования решетки с постоянным периодом и длиной 2 см без аподизации для узкого диапазона длин волн от 1549 нм до 1556 нм (длина волны $\lambda_D = 1550$ нм, эффективный показатель преломления $n_{eff} = 1,45$, число секции решетки $M = 200$, нормированная частота $V = 1$).

Выводы: Сила отражения моделированной брэгговской решетки принимает 100% значение, поэтому решетка может называться сильной. Поскольку наклон линии зависит от групповой задержки, то постоянная функция (константа) означает, что все волны, отраженные от решетки, будут испытывать равную групповую задержку.

Для тех же параметров решетки, но с сигналом линейной частотной модуляции (ЛЧМ) с параметрами: $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\varphi = 0.3e-7$, где: δ – параметр настройки от длины волны, φ – фаза отражения и пропускания брэгговских решеток, вид групповой задержки показан на рис. 4.

Выводы: Введенные ЛЧМ-сигналы для той же самой длины решетки (2 см) вызывает уменьшение отражательных способностей, но также и приносит желаемый эффект, каким является наклон групповой задержки (рис. 4). Во время передачи сигнала, волны большей длины испытывают большую положительную групповую задержку, чем волны с короткой длиной. Наклон групповой задержки означает, что отраженные волны от брэгговских решеток с большой длиной испытывают меньшую положительную задержку, чем волны меньшей длины, что противоположно сигналу передачи.

Таким образом, «размытый» (нечеткий) импульс возвращается к исходной форме, в результате чего получается компенсация дисперсии для передаваемого спектра длин волн.

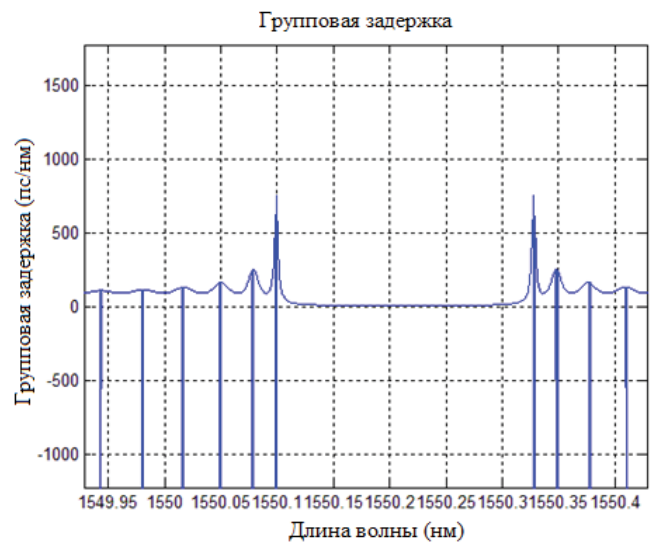


Рис. 3. Групповая задержка CFBG вокруг длины волны брэгговской решетки, длиной 2 см, $n_{eff} = 1,45$ (данные, получены из модели, выполненные в программе MATLAB)

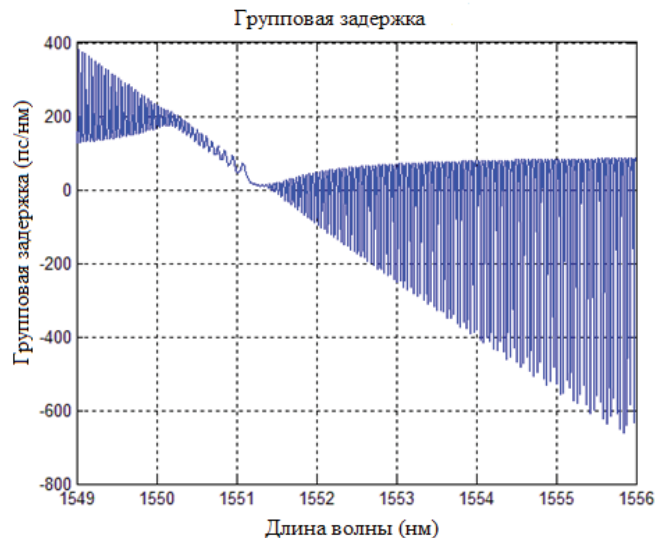


Рис. 4. Групповая задержка CFBG, длина решетки 2 см, $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\varphi = 0.3e-7$ (результаты, получены из модели, выполненные в программе MATLAB)

Литература

1. *Васильев С.А., Медведков О.И., Королев И.Г., Божков А.С., Курков А.С., Дианов Е.М.* Волоконные решетки показателя преломления и их применение // Квантовая электроника. 2005. т.35. №12. С. 1085-1103.
2. *Варжель С.В., Стригалева В.Е.* Метод устранения влияния сигнала помехи на чувствительность приема гидроакустической антенны на основе волоконных Брэгговских решеток // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2010.
3. *Никоноров Н.В., Сидоров А.И.* Материалы и технологии волоконной оптики: Оптическое волокно для систем передачи информации. Учебное пособие Санкт-петербург, 2009.
4. *Kurkov A.S., Paramonov V.M., Medvedkov O.I., Goncharov S.E., Zalevsky I.D.* Application of the multimode Bragg gratings in fiber lasers" / 12th Conference on Laser Optics, St.-Petersburg, June 26-30, 2006, 3rd International Symposium on High Power Fiber Lasers and Their Applications, p.8.2.
5. *Васильев С.А., Медведков О.И., Божков А.С., Королев И.Г., Дианов Е.М.* Модификация полей оболочечных мод при растворении H₂ в волоконных световодах и ее влияние на спектральные характеристики длиннопериодных решеток // Квантовая Электроника, 36, 1, 61-66, 2006.
6. *Wójcik W.* Systemy teleinformatyczne, Politechnika Lubelska, ISBN: 978-83-62596-64-5, Lublin 2011.
7. *Khan S., Islam S.* Determination of the Best Apodization Function and Grating Length of Linearly Chirped Fiber Bragg Grating for Dispersion Compensation, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesz // Journal Communications. November 2012. Vol. 7, №11, pp. 840-846.

ИСТОРИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Хромой Борис Петрович,

Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия,
p_khromoy@rambler.ru

Развитие техники связи на первых этапах осуществлялось на основе аналоговой или как ранее называлось непрерывной модуляции. На разных этапах она видоизменялась, что позволяло решать важные практические задачи. Применение амплитудной модуляции (АМ) датируется 1906 г. одним из пионеров радиотехники, американским инженером Р. Фессенденом. Дальнейшее развитие АМ происходило в несколько этапов. К ним следует отнести изобретение американским ученым Р. Карсоном однополосной модуляции в 1915 г., балансной модуляции, изобретение в 1939 г. в СССР А.И.Косцовым полярной модуляции. Оригинальным оказалось применение однополосной модуляции в черно-белом телевидении и балансной модуляции в цифровом. Рассматриваются технические преимущества применения различных модификаций АМ.

Ключевые слова: модуляция, сообщение, продолжение, демодуляция, передача, характеристики, несущая parameters.

Термин «модуляция» произошел от латинского слова «*modulatio*» (*размеренность, ритмичность*). Под этим термином понимают процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).

Таким образом, передаваемая информация заложена в управляющем (модулирующем) сигнале, а роль переносчика информации выполняет высокочастотное колебание, называемое несущим (модулируемым). Модуляция, представляет собой процесс «посадки» информационного колебания на заведомо известную несущую, с целью получения нового, модулированного сигнала. Термин «непрерывная модуляция» означает использование аналогового сигнала.

Когда происходило развитие радиосвязи, определенный диапазон электромагнитных волн делился на части, которые распределялись между радиостанциями. Каждая станция работала на «своей» частоте. В результате модуляции спектр низкочастотного управляющего сигнала переносился в область высоких частот. Это позволяет при организации вещания настроить функционирование всех приёмопередающих устройств на разных частотах с тем, чтобы они «не мешали» друг другу.

На приемном конце линии связи должен осуществляться процесс восстановления управляющего сигнала, т.е. процесс обратный модуляции.

Этот процесс выделения информации из принятых модулированных колебаний получил название демодуляции, или детектирования колебаний.

Таким образом, модуляция осуществляется на передающем конце линии связи, а демодуляция на приёмном конце. При радиовещании, на передающей радиостанции сигнал с микрофона модулирует несущее колебание, частота которого выделена для данной станции, а во всех радиоприемниках настроенных на прием данной станции, осуществляется процесс демодуляции (детектирования) и после усиления сигнал воспроизводится громкоговорителем.

Принято считать, что передачу речи с помощью АМ, первым осуществил один из пионеров радиотехники, американский инженер Р. Фессенден в 1906 г. Модуляция осуществлялась путем включения микрофона, изменяющего затухание в цепи, связывающей передающую антенну и машинный генератор высокой частоты. Этот вид модуляции с 1920 года стал основным в звуковом радиовещании в диапазонах низких, средних и высоких частот (НЧ, СЧ и ВЧ)

и сети аналогового АМ вещания, которые уже почти сто лет развиваются во всех странах мира. До 40-х годов этот вид модуляции использовался не только в вещании, но также и во всех других видах радиосвязи.

Помимо применения АМ для решения конкретных задач, осуществлялось его совершенствование. Большое значение для электросвязи имело изобретение американским ученым Р. Карсоном амплитудной модуляции с одной боковой полосой (ОБП), сделанное в 1915 году. Этот метод модуляции позволяет весьма эффективно использовать полосу частот канала связи. Системы с ОБП широко применяются до сих пор в системах многоканальной связи и в телевизионном (ТВ) вещании.

В СССР в 1939 году А.И.Косцовым был изобретен еще один метод аналоговой модуляции, названный полярной модуляцией (ПМ). Суть этого метода состоит в том, что положительная полуволна несущей частоты модулируется по амплитуде одним сообщением, а отрицательная - другим. В СССР этот метод был выбран для создания системы стереофонического вещания [4].

Одним из недостатков амплитудной модуляции является наличие составляющей несущего сигнала в спектре модулированного сигнала, на которую приходится значительная часть мощности. Устранение этого недостатка возможно путем применения балансной модуляции. При балансной модуляции происходит формирование модулированного сигнала без составляющей несущего сигнала. Для этого используются специальные балансные или кольцевые модуляторы. Применение АМ балансной модуляции и передача сигнала с одной боковой полосой оказалось целесообразным в системах многоканальной связи с частотным разделением каналов.

Известно, что на ранних этапах развития техники связи передача сигналов телефонии, телеграфии и радиовещания осуществлялась по кабелю. При этом было целесообразно обеспечить организацию возможно большего количества каналов. Это оказалось возможным путем применения АМ балансной модуляции и передача сигнала с одной боковой полосой.

Эффективность передачи с одной боковой полосой очевидна. При частотном уплотнении это позволяет удвоить количество передаваемых по линии сигналов. Что касается балансной модуляции, то причина эффективности её применения требует пояснения. При передаче сигналов по металлическим кабелям проявляется его затухание вследствие энергетических потерь. Накладывающийся на полезный сигнал шум ухудшает его качество и при

определенном отношении сигнал/шум прием сигнала становится невозможным. Например, симметричный кабель длиной 100 км вносит затухание сигнала равное 175 дБ. Необходимо обеспечивать либо большую мощность сигнала на входе линии, либо осуществлять усиление сигнала на промежуточных станциях. Строительство промежуточных станций требует больших финансовых затрат. По этой причине целесообразным является увеличение мощности на входе линии.

Однако увеличение мощности на передающем конце может быть выполнено в определенных пределах. Причина состоит в том, что при излишней мощности сигнала в тракте передачи возникают нелинейные искажения, в результате которых формируются взаимные помехи между каналами. Поскольку мощности сигналов отдельных каналов суммируются, то допустимая мощность, приходящая один канал имеет небольшую величину. Но при АМ модуляции основная мощность приходится на несущую частоту. Удаление же несущей с помощью балансной модуляции позволяет существенно увеличить мощность полезного сигнала в каждом канале без увеличения общей мощности сигнала в линейном тракте.

По перечисленным причинам при частотном уплотнении применяется балансная модуляция и удаление одной из боковых полос с целью увеличения числа передаваемых каналов связи. Таким образом, на определенном этапе развития связи применение однополосной модуляции в сочетании с балансной модуляцией имело большой экономический эффект.

Поскольку количество организуемых каналов по одному кабелю может превышать несколько сотен, то для их реализации потребуется большая номенклатура фильтров как на передающем, так и приемном концах.

Чтобы разнообразие фильтров было меньше сначала объединяют в группу три канала с частотами несущей модуляции для них 12, 16 и 20 кГц. Нижнюю боковую полосу подавляют.

Следующим интересным решением применения АМ является «полярная модуляция». С помощью полярной модуляции решается задача передачи по одному каналу двух сигналов одновременно, что требуется, например, в стереовещании или при передаче стереоснимков. Для решения этой задачи положительные составляющие синусоидальных колебаний несущей модулируются одним сигналом, а отрицательные составляющие другим. На приемном конце с помощью двух детекторов с разной полярностью включения диодов выделяются оба сигнала.

Представляет интерес способ применения однополосной АМ для передачи аналоговых телевизионных (ТВ) сигналов. ТВ имеет спектр в области частот от 25 до 6 МГц. Это соответствует стандарту, принятому в РФ (число строк 625,

частота кадров 25 Гц). При применении АМ для передачи ТВ сигнала по эфиру спектр расширяется в два раза, достигая 12 МГц. Стандартный ТВ канал имеет полосу пропускания 8 МГц, и для возможности его использования нижняя боковая полоса спектра амплитудно-модулированного сигнала подавляется, но только частично. Это объясняется невозможностью создания фильтра с требуемой частотной характеристикой, с помощью которой необходимо отделить нижнюю спектральную составляющую, отдаленную от несущей частоты всего на 25 Гц. Кроме того процесс АМ осуществляется в ТВ передатчике в выходном каскаде, поэтому фильтр должен быть рассчитан на работу с сигналом большой мощности.

Оригинальное решение, используемое в ТВ вещании заключается в том, что нижняя боковая частота АМ спектра подавляется частично и около несущей сохраняется остаток спектра шириной 1,25 МГц. При детектировании такого сигнала в области частот от 25 Гц до 1,25 МГц спектральные компоненты подвергаются амплитудным преобразованиям.

Следующим этапом развития непрерывной модуляции явилось изобретение квадратурной амплитудной модуляции (КАМ). КАМ – разновидность амплитудной модуляции сигнала, которая представляет собой сумму двух несущих колебаний одной частоты, но сдвинутых по фазе относительно друг друга на 90°, каждое из которых модулировано по амплитуде своим модулирующим сигналом.

В системе NTSC впервые для передачи цвета были применены цветоразностные сигналы U_{B-Y} и U_{R-Y} . Эти сигналы совмещались с яркостным сигналом, который был необходим для формирования четного-белого изображения в обычном ТВ приемнике. Для совмещения формировался цветовой сигнал на поднесущей частоте. Эта частота выбиралась в диапазоне спектра ТВ сигнала и модулировалась двумя цветоразностными сигналами методом балансной модуляции.

Литература

1. Кулешов В.Н., Удалов Н.Н., Богачев В.М. и др. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов. М.: МЭИ, 2008. 416 с.
2. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. Телевидение. М.: Связь, 1975. 400 с.
3. Гоноровский И.С. Частотная модуляция и её применение. М.: Связьиздат, 1948. 284 с.
4. Гусев К.Г., Филатов А.Д., Сополев А.П. Поляризация модуляция. М.: Советское радио, 1974. 288 с.
5. Верзунов М.В. Однополосная модуляция в радиосвязи. М.: Воениздат, 1972. 296 с.

СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В РОССИИ

Хромой Борис Петрович,

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), Москва, Россия,
p_khromoy@rambler.ru*

26 июня 2008 года в России был принят Федеральный закон N 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений" (Собрание законодательства Российской Федерации от 30 июня 2008 года N 26 ст.3021). В целях реализации Федерального закона приказом Минпромторга 17 июня 2009 года N 529 была утверждена «Стратегия обеспечения единства измерений в России до 2015 года». В 2015 году действие принятой стратегии закончилось и была разработана новая стратегия. Она была принята распоряжением Правительства РФ от 19 апреля 2017 г. № 737-р О стратегии обеспечения единства измерений в РФ до 2025 г. Разработка основных положений Стратегии имеет большое значение для решения ряда актуальных задач РФ. Среди них главное значение имеет развитие экономики и обороноспособности страны. Рассмотрены основные положения Стратегии.

Ключевые слова: стратегия, единство измерений, метрология, средство измерения, метролог, поверитель.

26 июня 2008 года в России был принят Федеральный закон N 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений" (Собрание законодательства Российской Федерации от 30 июня 2008 года N 26 ст.3021)[1]. В целях реализации Федерального закона приказом Минпромторга 17 июня 2009 года N 529 была утверждена «Стратегия обеспечения единства измерений в России до 2015 года». В 2015 году действие принятой стратегии закончилось и была разработана новая стратегия. Она была принята распоряжением Правительства РФ от 19 апреля 2017 г. № 737-р О стратегии обеспечения единства измерений в РФ до 2025 г.

Под стратегией обеспечения единства измерений в России понимается комплекс целевых программ, проектов и мероприятий организационного, правового, экономического, научно-технического и информационного характера, реализация которых позволит эффективно обеспечить единство измерений в стране и достигнуть на этой основе конкурентоспособности, высокого технологического уровня и инновационного развития отечественной промышленности.

Разработка рациональной Стратегии обеспечения единства измерений в России является важной задачей, однако особенно важным является её реализация. Решение этой задачи было поручено Минпромторгу России, который в 6-месячный срок должен был подготовить и представить в Правительство Российской Федерации план мероприятий по реализации Стратегии. Этот план мероприятий по реализации Стратегии должен был выполнен Минпромторгом России совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и кроме этого обеспечить мониторинг и контроль реализации положений Стратегии.

В водной части Стратегии отмечается, что она содержит систему долгосрочных приоритетов, целей и задач развития системы обеспечения единства измерений.

Развитие экономики промышленно развитых стран, к которым относится Российская Федерация, невозможно без повышения эффективности производства и производительности труда. Основным направлением для обеспечения этих факторов является переход к инновационной экономике, основанной на развитии науки и широком внедрении ее достижений в производство. Современная наука и производство насыщены средствами измерений, показатели точности которых, характеризуют уровень развития науки и производства. То же можно сказать о таких высокотехнологичных видах деятельности, как транспорт, энергетика, медицина, сфера обеспечения обороноспособности и безопасности государства.

В Стратегии рассмотрены общие положения, поясняющие роль системы обеспечения единства средств измерений в экономике РФ основные задачи её развития. Далее дается оценка состояния системы обеспечения единства средств измерений. Перечислены участники системы, рассмотрены: нормативно-правовая и нормативно-методическая база, эталонная база, состояние парка средств измерений, основные мероприятия по государственному регулированию, финансовое обеспечение, интеграция с международной системой измерений. Отдельный раздел посвящен оценке состояния обеспечения единства измерений в области обороны и безопасности государства.

В соответствии с содержанием документа целями Стратегии являются:

- развитие системы обеспечения единства измерений до уровня стран – лидеров в области промышленного развития, обеспечение ее эффективного функционирования с использованием преимущественно отечественных импортнезависимых технологий и приборной базы;
- создание условий, способствующих построению инновационной экономики Российской Федерации;
- достижение полного метрологического обеспечения измерений в сфере государственного регулирования, в том числе в области обороны и безопасности государства.

Большое внимание в Стратегии уделяется Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли, которая обеспечивает потребности государства в информации о точном значении московского времени и календарной дате, а также в эталонных сигналах времени и частоты с использованием глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС, спутниковых систем связи, радиосвязи, радиовещания и телевидения, а также в информации о параметрах вращения Земли с использованием согласованных каналов связи.

В структуре глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС технические средства Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли образуют основу этой системы, обеспечивая формирование и поддержание национальной шкалы времени, воспроизведение и хранение единиц времени и частоты, а также определение параметров вращения Земли.

Большое внимание в документе уделено развитию эталонной базы Российской Федерации, которая включает в себя систему государственных первичных эталонов, которые воспроизводят единицы величин с наивысшей точностью, достижимой при существующих научно-технических возможностях в данной области измерений. В настоящее время

эталонная база Российской Федерации насчитывает 164 государственных первичных эталона единиц величин.

Государственные первичные эталоны передают единицы величин подчиненным эталонам и через них - средствам измерений, применяемым в различных отраслях экономики, социальной сфере и оборонном комплексе страны. В их число входит более 62 тыс. эталонов единиц величин, сведения о которых содержатся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

Существует вид вторичных эталонов – военные эталоны единиц величин, разработанные по заказу Министерства обороны Российской Федерации и признанные Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в качестве исходных для обороны и безопасности Российской Федерации.

Состав и научно-технический уровень эталонной базы Российской Федерации охватывает все области измерений и обеспечивает решение большинства практических задач промышленности, обороны и безопасности государства и экономики в целом.

Высокий уровень развития эталонной базы Российской Федерации подтверждается положительными результатами сличений государственных первичных эталонов с международными эталонами и национальными эталонами иностранных государств. На начало 2017 года по количеству признанных и опубликованных Международным бюро мер и весов измерительных возможностей, определяемых по результатам международных сличений эталонов, Российская Федерация занимает второе место в мире (1693), уступая лишь Соединенным Штатам Америки (2112), на третьем месте Германия (1572).

В IV разделе Стратегии рассмотрены системные проблемы обеспечения единства измерений в Российской Федерации. Среди перечисленных проблем одной из важных проблем является недостаток квалифицированных кадров.

Начиная с последнего десятилетия прошлого столетия не происходит качественного повышения уровня профессиональной подготовки специалистов в области обеспечения единства измерений. Одновременно уменьшается число квалифицированных специалистов-метрологов. Это касается специалистов всех уровней – от техников до профессорско-преподавательского состава.

Образовательные стандарты (программы) по многим специальностям не предусматривают изучение основ метрологии, что обуславливает непонимание будущими специалистами целей и задач, решаемых при функционировании государственной системы обеспечения единства измерений.

В настоящее время во всех структурах экономики насчитывается, по экспертным оценкам, приблизительно 120-200 тыс. метрологов, в том числе в системе Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (в метрологических институтах, центрах метрологии, надзорных органах) – около 7000 человек.

По экспертным оценкам Межотраслевого совета по прикладной метрологии и приборостроению Российского союза промышленников и предпринимателей, ежегодно обучается

метрологическим специальностям в 4-5 раз меньше специалистов, чем это требуется экономике.

Помимо подготовки специалистов по метрологическим специальностям в Стратегии отмечается необходимость увеличения доли специалистов-метрологов, проходящих ежегодно подготовку (переподготовку), повышение квалификации, в общем количестве специалистов-метрологов.

В 2016 г. эта доля составляла всего 5%. Поставлена задача увеличить этот показатель до 15% в 2018 г., и до 20% в 2020 г.

В решении этой задачи принимает участие кафедра Метрологии, стандартизации и измерений в инфокоммуникациях МТУСИ, которая уже более 10 лет осуществляет переподготовку специалистов метрологов (поверителей) в отрасли связи. При проведении занятий метрологи изучают особенности поверки средств измерений общего назначения, радиотехнических приборов. Особое внимание уделяется обеспечению единства измерений в системах мобильной связи, определению времени соединения и объема передаваемой информации. При проведении занятий используется измерительная аппаратура разработанная в ЛОНИИС и приглашаются представители данной организации для проведения занятий. На кафедре Метрологии, стандартизации и измерений в инфокоммуникациях имеются специальные лаборатории со стендами оборудованными рабочими эталонами, предназначенные для обучения и повышения квалификации метрологов.

Специалисты, получающие обучение в МТУСИ также могут сыграть важную роль в разработке эталонов применяемых для измерений в инфокоммуникационных системах. На протяжении ряда лет преподаватели кафедры принимали участие в работе комиссий по приемке Государственных первичных эталонов в области связи.

Специалисты, получающие обучение в МТУСИ также могут сыграть важную роль в разработке эталонов применяемых для измерений в инфокоммуникационных системах. В материалах Стратегии указывается, что в настоящее время возраст государственных первичных эталонов в РФ 10,8 лет. Поставлена задача уменьшения данного возраста до 9 лет в 2025 г., что будет соответствовать международным нормам.

Литература

1. Федеральный закон РФ №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (от 26 июня 2008).
2. Федеральный закон №126-ФЗ «О связи» (от 7 июня 2003 г.).
3. Приказ Минкомсвязи России №184 (от 25.12.2009) Зарегистрирован в Минюсте России 01.02.2010 № 16179.
4. Федеральный закон № 303-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи принятием Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» (от 7 ноября 2011 г.).
5. Федеральный закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ (от 22 декабря 2002 г.).

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ЗАПРОСОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Барботко Илья Валерьевич,
магистр кафедр ИСС МФТИ, Москва, Россия,
barbotko@phystech.edu

Под облачными сервисами подразумевается предоставление пользователю компьютерных ресурсов и мощностей в виде интернет-сервиса [4]. Данный подход обладает рядом преимуществ и позволяет клиенту переложить работы по администрированию баз данных, приложений и операционной системы, а также по физическому обслуживанию дата-центров и серверов на сторону провайдера. В настоящее время исследование облачных моделей особенно актуально в связи с постоянно возрастающей ресурсоёмкостью компьютерных вычислений. В частности, интересен для рассмотрения вопрос приоритизации заявок в моделях с облачными вычислениями [1-4].

Основными характеристиками качества обслуживания потоков заявок являются число и доля потерянных заявок определённого потока, находящегося на обслуживании. Используя значения этих характеристик, можно оценить необходимое число серверов в облаке, размеры очередей и уровень резервирования, характеризующий долю ресурса, доступную лишь приоритетному трафику. Целью данного исследования является построение модели обслуживания приоритизированных заявок облачным сервисом с дальнейшей формулировкой рекомендаций по выбору параметров модели [3].

Для решения сформулированных задач необходимо построить математическую модель поступления и процесса обслуживания заявок, учитывая разбиение общего потока на приоритетный и неперитетный; определить характеристики качества обслуживания для данного конкретного случая и разработать алгоритм для оценки этих характеристик [6-8].

В данной работе рассматривается поток заявок от множества абонентов с дальнейшим разделением по приоритетам, в зависимости от типа клиента. Для упрощения ситуации будем рассматривать два вида заявок (приоритетные и неперитетные). Заявки обрабатываются облачными серверами, причём приоритетный поток может занимать любой свободный сервер, а неперитетный лишь некоторое количество, определяемое уровнем резервирования. Если заявка не может встать на обслуживание немедленно, то она помещается в очередь, откуда может уйти по таймауту. Причём, если ресурс освобождается, когда в обеих очередях есть заявки, на обслуживание поступает заявка приоритетного потока. Далее сформулируем предположения, необходимые для построения математической модели [3, 6, 9].

Пусть λ – интенсивность суммарного потока заявок, поступающих на обслуживание. Данный поток можно считать пуассоновским, поскольку заявки поступают независимо от большого числа клиентов. Суммарный поток делится на приоритетный с интенсивностью λ_1 и неперитетный с интенсивностью λ_2 . Общее число серверов в облачном сервисе обозначим за v , количество серверов, доступных неперитетному потоку (в дальнейшем будем называть это уровнем резервирования) равно s . Для простоты будем предполагать, что каждая заявка занимает ровно один сервер, время обслуживания подчиняется экспоненциальному

распределению с параметрами μ_1 и μ_2 для заявок приоритетного и неперитетного потоков соответственно. Как было упомянуто ранее, при полной загрузенности облачного ресурса, заявки помещаются в очереди, обозначим их размеры через b_1 и b_2 . Предположим, что максимальное время, которое заявка может провести в очереди подчиняется экспоненциальному распределению с параметрами σ_1 и σ_2 . По истечении времени ожидания заявка отбрасывается, так и не поступив на обслуживание.

Состояния модели будем описывать четырёхмерными векторами из множества состояний $U = \{(i_1, i_2, k_1, k_2) \in U, i_1 \leq b_1, i_2 \leq b_2, k_2 \leq s, k_1 + k_2 \leq v\}$.

Изменение состояний описывается случайным процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t), k_1(t), k_2(t))$, где

$i_n(t), k_n(t)$, $n = 1, 2$ – число заявок n -го потока, находящихся в очередях и на обслуживании в момент времени t соответственно. Поскольку все случайные величины, используемые при построении модели, имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга, то случайный процесс, описывающий функционирование модели обладает марковским свойством [3, 10]. Пусть $p(i_1, i_2, k_1, k_2)$ – стационарная вероятность состояния (i_1, i_2, k_1, k_2) . Она интерпретируется как доля времени пребывания системы в состоянии с i_1, i_2 заявками, находящимися в очереди, и k_1, k_2 заявками на обслуживании. Приведенная интерпретация позволяет определить, а затем и рассчитать основные показатели качества совместного обслуживания поступающих запросов. Поскольку число состояний конечно и из каждого состояния можно попасть в любое другое за конечное число шагов, то для процесса $r(i_1, i_2, k_1, k_2)$ существует стационарный режим.

Определим характеристики качества обслуживания, используя значения стационарных вероятностей. Заявка n -го потока теряется, если в соответствующей очереди нет места. Иными словами, для определения вероятности потери заявки n -го потока, необходимо просуммировать стационарные вероятности, по всем состояниям, удовлетворяющим равенству $i_n = b_n$. В свою очередь, для нахождения среднего числа заявок n -го потока, находящихся в данный момент на обслуживании, нужно просуммировать произведения стационарной вероятности состояния на k_n , производя суммирование по всем возможным состояниям модели.

Поскольку динамика изменения состояния числа передаваемых файлов описывается марковским случайным процессом, то введенные характеристики можно найти, если известны значения доли времени $p(i_1, i_2, k_1, k_2)$ пребывания

модели в состоянии (i_1, i_2, k_1, k_2) . Для вычисления значений $p(i_1, i_2, k_1, k_2)$ необходимо составить и решить систему уравнений статистического равновесия. Для составления системы уравнений равновесия определим события, переводящие систему из одного состояния в другое. Так как компонентами случайного процесса являются количества заявок в очередях и на обслуживании, в число событий входят: появление заявки 1-го/2-го потока, уход заявок 1-го/2-го потока из очередей по таймауту, окончание обслуживания заявки 1-го/2-го потока на одном из серверов и переход заявок 1-го/2-го потока из очередей на обслуживание. Определив интенсивности, с которыми осуществляются данные переходы, можно записать систему уравнений равновесия, эквивалентную системе отношений

$$\begin{aligned} & \{ \text{Суммарная интенсивность выхода } r(i_1, i_2, k_1, k_2) \text{ из состояния } (i_1, i_2, k_1, k_2) \} \\ & = \{ \text{Суммарная интенсивность перехода } r(i_1, i_2, k_1, k_2) \text{ в состояние } (i_1, i_2, k_1, k_2) \}, \\ & (i_1, i_2, k_1, k_2) \in U \quad [3] \text{ с учётом граничных условий.} \end{aligned}$$

Систему уравнений равновесия можно решить, используя итерационный метод Гаусса-Зейделя [5]. Зная все стационарные вероятности $p(i_1, i_2, k_1, k_2)$, можно найти и проанализировать свойства характеристик качества обслуживания в зависимости от параметров модели. После проведения анализа и расчётов формулируются рекомендации по практическому применению полученных результатов, а именно выбор количества серверов, обслуживающих заявки, размера очередей и уровня резервирования облачного ресурса.

1. Husnu S. Narman, Md. Shohrab Hossain, Mohammed Atiquz-zaman. DDSS: Dynamic Dedicated Servers Scheduling for Multi Priority Level Classes in Cloud Services // IEEE International Conference, June. 2014, pp. 3475-3480
2. W. Ellens, M. Zivkovic, J. Akkerboom, R. Litjens, and H. van den Berg. Performance of cloud computing centers with multiple priority classes / 2012 IEEE 5th International Conference on Cloud Computing (CLOUD), Honolulu, HI – June 24-29, 2012, pp. 245-252
3. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
4. Батура Т.В., Мурзин Ф.А., Семич Д.Ф. Облачные технологии: основные понятия, задачи и тенденции развития // Электронный журнал: программные продукты, системы и алгоритмы, 2014. С. 64-67.
5. K. Xiong and H. G. Perros. Service Performance and Analysis in Cloud Computing / IEEE Congress on Services, Los Angeles, CA, July 6-10, 2009, pp. 693-700.
6. H. Khazaee, J. Masic, and V. Masic. Performance analysis of cloud computing centers using M/G/m/m+r queuing systems // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, May 2012, vol. 23, no. 5, pp. 936-943.
7. Y. Hu, J. Wong, G. Iszlai, and M. Litoiu. Resource provisioning for cloud computing / Proceedings of the 2009 Conference of the Center for Advanced Studies on Collaborative Research (CASCON '09), Riverton, NJ, 2009, pp. 101-111.
8. Гольшико А.В., Степанов С.Н., Тихвинский В.О., Тереньтьев С.В. Экспертно-аналитическая система для исследования инновационных решений на телекоммуникационном рынке // Электросвязь. № 7. 2007. С. 32-36.
9. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links. Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince & Ercan Topuz (editors): "Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks". Springer 2006. 510 p.
10. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз. 2010. 392 с.

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЗЛА SDN С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБРАБОТКИ TCP/UDP ТРАФИКА

Варнавский Вадим Сергеевич,

факультет радиотехники и кибернетики, кафедры ИСС МФТИ, Москва, Россия,

vadim.varnavsky@gmail.com

В связи с увеличением количества и разнообразия сетевого трафика в сети Интернет, становится сложнее обеспечивать гарантированное качество обслуживания и удовлетворять требованиям пользователей. Актуальность исследования моделей программно-конфигурируемых сетей SDN увеличивается в связи с тем, что применение данной технологии позволяет достичь высокой адаптивности и масштабируемости рассматриваемых сетей, а также обеспечить высокий уровень конфигурируемости сети для удовлетворения потребностей все большего числа сервисов реального времени, таких как стриминговые платформы, облачные вычисления и хранилища.

В силу сложности исследуемого объекта, в большинстве исследований по данной тематике [1, 2] было проведено имитационное моделирование обслуживания пакетов в сетях SDN, где в качестве сетевого трафика рассмотрен только TCP/IP трафик с неограниченной очередью [3]. Однако есть работы, в которых сети данного вида описаны с помощью аналитических методов, а результаты согласуются с действительным поведением процессов в таких сетях [4].

Построена аналитическая модель объекта исследования, в качестве обслуживаемого трафика выступают как TCP, так и UDP пакеты, с приоритетом обработки пакетов UDP, а также используемый ресурс имеет ограниченный входной буфер хранения пакетов в очереди, сформулированы определения основных характеристик качества обслуживания. Таким образом, в данной работе будет рассмотрен фрагмент сети SDN, состоящий из программно-конфигурируемого коммутатора и контроллера. В рамках исследования планируется провести анализ модели узла-коммутатора с контроллером в сети SDN с учетом обработки TCP/UDP трафика. Для достижения сформулированной задачи необходимо построить математическую модель данного узла, на ее основе разработать алгоритмы оценки таких характеристик качества обслуживания, как среднее количество TCP/UDP пакетов и среднее время пребывания пакетов приведенной системе, а также сформулировать рекомендации по оценке значения требуемой по нагрузке скорости обслуживания трафика и подбору оптимальной скорости обработки пакетов, а также размерам буферов в устройствах по заданным параметрам трафика.

Математическая модель узла сети SDN с поступающим TCP трафиком была ранее рассмотрена в [1]. Предлагается рассмотреть процесс обработки сетевого трафика с учетом наличия смеси UDP и TCP пакетов и ограничения входных буферов обслуживающих устройств. Используя подходы [5-7], сформулируем предположения, необходимые для построения математической модели.

Будем предполагать, что поступление в систему TCP/UDP пакетов подчиняется пуассоновскому закону с интенсивностями λ_1 и λ_2 соответственно. Также предположим, что скорость обслуживания пакетов на коммутаторе и на контроллере имеют экспоненциальное распределение со средними μ_1 и μ_2 соответственно. Обозначим за i_1 чис-

ло TCP пакетов, за i_2 число UDP пакетов в очередях на обслуживание на коммутаторе. Также пусть i_3 – число TCP пакетов, находящихся в очереди на обслуживание на контроллере (считаем, что только TCP пакеты перенаправляются на контроллер), i_4 – состояние коммутатора, который может находиться в одном из режимов: ожидание пакета ($i_4 = 0$), обслуживание пакета TCP ($i_4 = 1$) или обслуживание пакета UDP ($i_4 = 2$). Будем считать, что на коммутаторе очередь TCP пакетов ограничена размером L_1 , очередь UDP пакетов ограничена размером L_2 , а буфер контроллера ограничен размером L_3 . Считаем, что, если в систему на обслуживание поступает пакет определенного вида, а соответствующая очередь заполнена, пакет отбрасывается и считается потерянным. Предположим, что для части пакетов TCP q_{nf} отсутствуют записи в таблице коммутации (*no-flow*), поэтому такие пакеты уходят на обслуживание в контроллер. Важно отметить, что приоритет в обслуживании на коммутаторе отдается пакетам UDP.

Обозначим через S – пространство состояний исследуемой модели, значения i_j удовлетворяют соотношениям:

$i_j \leq L_j (j = 1, 2, 3)$ и $i_4 \leq 2$. Тогда динамика изменения состояний модели может быть описана случайным марковским процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t), i_3(t), i_4(t))$. Поскольку все случайные величины, используемые при построении математической модели, имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга, то построенный случайный процесс, описывающий функционирование данной модели, обладает марковским свойством [5]. Пусть $p(i_1, i_2, i_3, i_4)$ – стационарная вероятность нахождения системы в состоянии (i_1, i_2, i_3, i_4) . Приведенную вероятность можно интерпретировать как долю времени пребывания системы в состоянии (i_1, i_2, i_3, i_4) . Таким образом с помощью стационарных вероятностей можно определить и рассчитать основные показатели качества обслуживания поступающего сетевого трафика в рассматриваемом фрагменте сети SDN. Так как из каждого состояния есть возможность попасть в любое другое состояние за конечное число шагов, а общее количество состояний также конечно, то для процесса $r(t)$ существует стационарный режим.

Качество обслуживания пакетов в узле сети SDN определяется средним числом пакетов TCP и UDP L_{TCP}, L_{UDP} , находящихся в системе, а также количеством пакетов на обслуживании (*p-processing*) в коммутаторе – L_{TCP}^p, L_{UDP}^p . Так как динамика изменения состояния приведенной математической модели описывается марков-

ским случайным процессом, то введенные характеристики для каждого вида трафика можно рассчитать как соответствующую сумму стационарных вероятностей $p(i_1, i_2, i_3, i_4)$ при некоторых ограничениях на состояние системы [5]. Зная интенсивности поступления пакетов в систему и среднее количество пакетов в системе, можем по формуле Литтла оценить среднее время пребывания TCP (W_{TCP}) или UDP (W_{UDP}) пакетов в системе.

Для вычисления значений стационарных вероятностей $p(i_1, i_2, i_3, i_4)$ необходимо составить и решить систему уравнений статистического равновесия. Решение составленной системы уравнений может быть получено с помощью итерационного метода Гаусса-Зейделя.

В проведенном исследовании был проведен анализ построенной математической модели обслуживания смеси TCP/UDP трафика в узле сети SDN с коммутатором, при условии ограниченности размеров входных буферов обслуживающих устройств; построен алгоритм оценки характеристик качества обслуживания пакетов сетевого трафика, построен алгоритм расчета значений стационарных вероятностей $p(i_1, i_2, i_3, i_4)$ в приведенной модели с помощью итерационного метода Гаусса-Зейделя.

Результаты данного исследования планируется использовать для формулирования практических рекомендаций по оценке значения требуемой по нагрузке скорости обслуживания пакетов данных по заданным параметрам трафика.

Литература

1. *Mahmood K.* On the modeling of openflow-based sdn: The single node case / Proceedings of the 6th International Conference on Networks and Communications. 2014.
2. *Allouche O., Tsoar A., Kadmon R.* Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS) // Journal of applied ecology. 2006. Vol. 43. No. 6, pp. 1223-1232.
3. *Metter C. et al.* Investigating the impact of network topology on the processing times of SDN controllers / Integrated Network Management (IM), 2015 IFIP/IEEE International Symposium on. IEEE, 2015, pp. 1214-1219.
4. *Goto Y. et al.* Queueing analysis of software defined network with realistic openflow-based switch model. Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS), 2016 IEEE 24th International Symposium on. IEEE, 2016, pp. 301-306.
5. *Степанов С.Н.* Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
6. *Степанов С.Н.* Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. I // Автоматика и телемеханика. 2011. № 4. С. 121-132.
7. *Степанов С.Н.* Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. II // Автоматика и телемеханика. 2011. №5. С. 139-147.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕСЫЛКЕ ЭЛАСТИЧНОГО ТРАФИКА ДАННЫХ И НАЛИЧИИ ПОРОГОВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ

Горбунов Артём Олегович,
магистр кафедры СиСК МТУСИ, Москва, Россия,
artem-gorbunov-94@mail.ru

Важной частью бизнеса операторов сетей сотовой подвижной связи является передача данных. В настоящее время передача трафика данных в современных мультисервисных сетях происходит совместно с передачей голосового трафика. Данный принцип используется в сетях 4G/LTE. Для передачи голосовых данных, в сети LTE используются технологии VoLTE (Voice over LTE), RCS и WiFi Calling, которые имеют некоторые преимущества: повышается качество речи (благодаря возможности использования технологии Voice HD), сокращается время соединения с вызываемым абонентом до 2-3 секунд (в сетях 3G – 8-9 секунд) [1,3-7]. Так как в настоящее время происходит постоянный рост числа мобильных абонентов, беспроводных сетей передачи данных и требований пользователей к скорости доступа в Интернет растет потребность в частотных ресурсах. При этом, особенно актуальной становится задача повышения эффективности использования дефицитного и дорогостоящего частотного ресурса в беспроводных сетях передачи данных. Основными методами повышения эффективности использования частотного диапазона являются внедрение новых радиотехнологий и/или оптимизация передаваемого интернет трафика. Между тем, в отдельных случаях оптимизация интернет-трафика позволяет использовать ресурсы радиочастотного спектра более эффективно, чем внедрение передовых радиотехнологий [8].

Отмеченная тенденция будет доминировать в ближайшем будущем, так как доля этого трафика в общем объеме пересылаемой информации постоянно возрастает. Пересылка данных, которые обладают свойством эластичности, имеет ряд особенностей, необходимых для решения задач планирования сотовых сетей, настройки механизмов допуска заявок и распределения ресурса передачи информации [3, 5]. Последующее изложение материала будет выполнено на примере стандарта LTE.

Организация процесса передачи информации, основанной на принципе TDM, зависит от процедуры выбора абонента, который будет обслуживаться в следующий тайм-слот. В сетях подвижной связи эту функцию реализует диспетчер пакетов (packet scheduler), представляющий собой программно-аппаратный комплекс, действия которого направлены на повышение эффективности использования радиointерфейса сотовых сетей и качества обслуживания пользователей услуг подвижной связи [1-4]. Его конкретная реализация во многом зависит от производителя оборудования. Управляющие решения комплекса принимаются на основе назначенных приоритетов, информации о состоянии канала, уровня помех и т.д. Наиболее известными алгоритмами опроса пользователей и назначения ресурса передачи информации являются: пропорциональная равнодоступность (Proportional Fairness – PF), когда на обслуживание с большей вероятностью берется абонент, который находится в лучших условиях приема информации; циклический опрос (Round Robin), когда абоненты отбираются на обслуживание

в заданном фиксированном порядке; максимальное отношение уровней сигнала и шума (Max C/I scheduler), когда выбирается абонент с максимальным значением данной характеристики [7, 8]. В модели предполагается, что заявки на передачу эластичного трафика занимают только часть свободного ресурса соты. Величина ограничения называется порогом. Её подбор является одной из важнейших задач настоящего исследования.

В разрабатываемой модели имеет место как ограничение доступа по числу абонентов, так и ограничение скорости доступа [10]. Для начала рассмотрим модель с ограничением доступа по числу абонентов. Обозначим через λ интенсивность поступления заявок на передачу файлов. Можно предположить, что объём файла имеет экспоненциальное распределение со средним значением F , которое выражается в битах. Из этого предположения следует, что время обслуживания заявки всем ресурсом линии также имеет экспоненциальное распределение со средним значением $\frac{1}{\mu} = \frac{F}{C}$, которое

выражается в секундах. Примем $i(t)$ – число заявок, находящихся на обслуживании в момент времени t . Динамика изменения состояний модели задается случайным марковским процессом $r(t) = i(t)$, которое определено на конечном пространстве состояний $S = \{i, i = 0, 1, \dots, u\}$, где i – число заявок, находящихся в системе, u – максимально число заявок, которые могут одновременно находиться на обслуживании. Если составить диаграмму переходов $r(t)$, то из её анализа будет видно, что при выполнении соотношения $1 + w = u$ она повторяет диаграмму переходов модели $M/M/1/1+w$, где w – число мест с ожиданием. Отсюда следует, что случайные процессы, описывающие число заявок, которые находятся в системе в момент времени t , в модели $M/M/1-PS$ с ограничением доступа по числу одновременно обслуживаемых абонентов и в модели $M/M/1+w$ имеют статистическую эквивалентность. Значит, для обеих моделей совпадают значения стационарных вероятностей $p(i)$ пребывания систем в состоянии (i) . Применим это свойство для оценки характеристик исследуемой модели динамического распределения ресурса передачи информации [7-10].

Теперь перейдем к модели с ограничением скорости доступа. Обозначим через $i(t)$ число заявок, которые находятся на обслуживании в момент времени t . Динамика изменения состояний модели задается случайным марковским процессом $r(t) = i(t)$ определенным на бесконечном пространстве состояний $S = \{i, i = 0, 1, \dots\}$. Проанализировав диаграмму переходов процесса $r(t)$, можно заметить, что она идентична диаграмме переходов модели $M/M/v-PS$.

Обозначим построенную модель через $M/M/v-PS$. Отсюда следует статистическая эквивалентность случайных

процессов, описывающих число заявок, которые находятся в системе в момент времени t , в моделях $M/M/v-PS$ и $M/M/v$. Таким образом, для обеих моделей совпадают значения стационарных вероятностей $p(i)$ пребывания систем в состоянии (i) . Полученным результатом следует воспользоваться для построения алгоритма расчёта характеристик исследуемой модели динамического распределения ресурса передачи информации [8, 9].

В результате проведенного исследования будет построена математическая модель оценки эффективности использования ресурса беспроводных сетей связи при пересылке эластичного трафика данных и наличии пороговых ограничений на скорость передачи; сформулированы основные определения параметров трафика; затронута тема ограничения доступа по числу одновременно обслуживаемых заявок. Полученные результаты можно использовать для оценки минимального ресурса передачи, необходимого для обслуживания известного объема трафика с заданным качеством, а также оценки максимального объема трафика, который может быть передан имеющимся ресурсом с требуемыми показателями качества.

Литература

1. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз, 2010. 392 с.
2. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. Серия «Теория и практика инфокоммуникаций». М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.

3. Bonald T., Virtamo J. A recursive formula for multirate systems with elastic traffic // IEEE Communications Letters. 2005. Vol. 9, pp. 753-755.

4. Stasiak M., Glabowski M., Wisniewski A., Zwierzykowski P. Modelling and dimensioning of mobile network: from GSM to LTE. John Wiley & Sons Ltd, 2011. 315 p.

5. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links / Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince & Ercan Topuz (editors): "Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks". Springer 2006. 510 p.

6. Гольшико А.В., Степанов С.Н., Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Экспертно-аналитическая система для исследования инновационных решений на телекоммуникационном рынке // Электросвязь. № 7. 2007. С. 32-36.

7. Степанов С.Н., Романов А.М., Осия Д.Л. Построение и анализ модели передачи данных на линии доступа от конечной группы абонентов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. № 9. С. 29-34.

8. Степанов С.Н., Степанов М.С. Планирование ресурса передачи при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных // Автоматика и телемеханика. 2017. № 11. С. 79-93.

9. Степанов С.Н., Пестерев А.А. Разработка и анализ модели совместного обслуживания трафика реального времени и данных в сетях 3GPP // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Том 7. № 7. С. 122-125.

10. Степанов С.Н. Модель обслуживания трафика сервисов реального времени и данных с динамически изменяемой скоростью передачи // Автоматика и телемеханика. 2010. № 1. С. 18-33.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ТРЕБУЕМОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗВЕНЬЕВ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА

Дачев Николай Йорданович,
магистр кафедры СС и СК МГУСИ, Москва, Россия,
dachev94@gmail.com

Мультисервисная сеть должна обладать возможностями предоставления услуг связи с заданными характеристиками качества. Чтобы передать информацию используется транспортная пакетная сеть. Подразумевается, что узлы сети имеют неограниченную производительность, а в линиях не допускаются ошибки в процессе передачи информации. Соединение должно устанавливаться после момента поступления заявки от абонента сети для выделения канального ресурса с целью дальнейшей передачи информации. Пересылаемое сообщение разделяется на пакеты, которые ограничены по длине и двигаются по маршруту, определяемый узлами сети. При этом используются упрощенные технологии коммутации на основе информации хранимой в заголовке пакета [1-5].

Соединительные линии связывают узлы сети. Топология сети определяется способом их размещения. Функциональная роль сегмента сети в процессе организации процесса передачи информации определяет выбор сетевых топологий. Большое значение в топологии сети имеет сетевое расстояние, измеряемое количеством узлов, проходимых информационным потоком от источника к получателю информации. Так как возможности линий связи ограничены, то любое переключение может быть причиной отказа в установленном соединении. Этот факт нужно учесть при оценке параметров качества обслуживания заявок.

Модели мультисервисных систем связи обычно представляют из себя простейшие сетевые структуры, которые состоят из одной линии, ресурс которой разделяется между некоторым количеством потоков заявок, образованных разными коммуникационными сервисами. Процесс перехода к многозвенным структурам требует учитывать зависимость процессов обслуживания заявок на конкретных звеньях сети. В данной ситуации чтобы оценить показатели качества обслуживания заявок, нужно использовать разные упрощенные предположения о характере движения потоков в сети.

Будем рассматривать сеть, которая состоит из определенного количества узлов, которые связаны между собой линиями. Пронумеруем их произвольным образом. Через V_j обозначим общее число линий, через v_j обозначим скорость передачи j -й линии. Обозначим число потоков заявок как n . Пронумеруем их цифрами от 1 до n . Интенсивность поступления заявок, число единиц ресурса, среднее время обслуживания заявки, маршрут следования информации определяют процесс поступления и обслуживания заявок k -го потока.

Использование иерархических сетей доступа обусловлено требованием создать условия для концентрации возникающих информационных потоков. Также эти сети носят название древовидных [2, 4, 5]. Очевидные плюсы иерархических сетей: простота управления и возможность нарастить дополнительные узлы и аналогичные иерархические сегменты. Недостатками данных конструкций являются слишком высокая централизация и вытекающие из этого проблемы надежности.

Рассмотрим характерные черты топологии исследуемой системы связи. Количество узлов сети на единицу больше, чем J число соединительных линий. Каждый узел сети, кроме $(J+1)$ -го, имеет по одной исходящей линии. Назовем $(J+1)$ -й узел корневым. Почти все узлы сети, кроме конечных, имеют по одной или более входящих линий. В одном из конечных узлов начинаются маршруты передачи потоков и заканчиваются в корневом узле. Число уровней иерархии сети определяется максимальным числом узлов в маршруте.

Предположим, что поступление заявок всех потоков подчиняется пуассоновскому закону, а времена их обслуживания распределены экспоненциально [2]. Важнейшей характеристикой данной модели является наличие свойства мультипликативности. Данное свойство дает возможность доказать важные утверждения, которые упрощают оценку характеристик модели. Пусть I_k множество состояний сети доступа, в которых поступившая заявка k -го потока принимается к обслуживанию. Множество I_k совпадает с множеством состояний данной модели сети доступа при уменьшении на b_k количества каналов во всех звеньях k -го маршрута [2, 4, 5].

Конечная цель расчета иерархической сети - оценка пропускной способности ее звеньев. В исследуемой модели мультисервисной сети доступа происходит обслуживание n потоков заявок для передачи информации от одного из конечных узлов до корневого. Как минимум один поток заявок поступает на каждый из конечных узлов. Оценка характеристик сетей доступа выполняется разными методами [6-10].

Выполним дополнительные построения, которые необходимы для решения поставленной задачи. Рассмотрим данную модель мультисервисной иерархической сети доступа и предположим, что пропускная способность всех ее соединительных линий равна бесконечности. Что касается остального, схема не будет изменяться. Вид топологии исследуемой сети позволяет ограничить число совместно обслуживаемых заявок для каждой линии сети доступа последовательно в соответствии с конкретным этапом установления соединения, при этом независимо от остальных линий на данном этапе. Используя данное свойство, построим рекурсивный алгоритм для оценки нормировочной константы. Рекурсия производится в соответствии с номером этапа установления соединения. Чтобы решить данную задачу, нужно произвести следующие действия [2, 4, 5].

Первый шаг вычислительной процедуры заключается в ограничении пропускной способности линий 1-го этапа установления соединения согласно изначально заданным значениям. Пропускная способность линий 2-го и следующих этапов равна бесконечности. Далее необходимо найти распределение числа каналов, которые заняты в линиях 1-го этапа установления соединения. С помощью Q_j обозначим распределение вероятностей числа занятых

каналов на j -й линии 1-го этапа. Составляющие функции $g_{j,q}$ находятся в результате свертки индивидуальных распределений числа каналов, занятые потоками заявок, которые используют j -ую линию с дальнейшим урезанием числа состояний по причине ограниченности пропускной способности [5]. Распределения вероятностей, которые были найдены, ненормируются.

В процессе второго шага алгоритма ограничивается пропускная способность линий 2-го этапа установления соединения. Линии далее следующих этапов имеют пропускную способность, равную бесконечности. Далее находим распределение числа каналов, занятых во всех линиях 2-го этапа установления соединения (обозначим как $N(S)$). Составляющие для функции $g_{j,q}$ определяются в процессе свертки распределений числа каналов, занятых на линиях 1-го этапа, входящих в j -ю линию. В дальнейшем необходимо урезать число состояний, связанное с ограниченностью пропускной способности j -й линии.

Аналогично первому и второму шагу выполняются третий и последующие шаги вплоть до q -го. Результатом выполнения последнего шага алгоритма является нахождение распределения вероятностей занятости каналов в J -й линии сети. Обозначим через $N(S)$ значение нормировочной константы. Выполняется следующее соотношение $g_{j,q}(0) + g_{j,q}(1) + \dots + g_{j,q}(v_j) = N(S)$.

На последнем шаге алгоритма находим показатели обслуживания заявок k -го потока. Для расчета π_k используем соотношение $\pi_k = 1 - N(I_k) / N(S)$, где $N(I_k)$ – сумма ненормированных значений вероятностей по множеству I_k . Чтобы получить $N(I_k)$, достаточно найти нормировочную константу с числом каналов уменьшенным на b_k во всех линиях, которые доступны заявкам k -го потока.

Чтобы найти показатели качества обслуживания для всех поступающих потоков заявок, необходимо однотипным образом $(n+1)$ раз рассчитать нормировочную константу для рассматриваемой модели иерархической сети, учитывая некоторые изменения в пропускной способности звеньев.

Основной задачей проведенного исследования является оценка пропускной способности звеньев мультисервисной

иерархической сети доступа. Для решения этой задачи был построен алгоритм оценки доли потерянных заявок для всех потоков сети. Алгоритм основан на свойстве мультипликативности. Данное свойство позволяет упростить оценку характеристик модели. Модель и алгоритм могут быть использованы для оценки пропускной способности сети доступа.

Литература

1. Гольшико А.В., Степанов С.Н., Тихвинский В.О., Тереньтьев С.В. Экспертно-аналитическая система для исследования инновационных решений на телекоммуникационном рынке // Электросвязь. № 7. 2007. С. 32-36.
2. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. Серия «Теория и практика инфокоммуникаций». М.: Телеком, 2015. 868 с.
3. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. - М.: Эко-Трендз, 2010. – 392с.
4. Virtamo J. <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s383141/english.shtml>.
5. Ross K.W. Multiservice loss models for broadband telecommunication networks. London: Springer. 1995. 343 p.
6. Степанов С.Н., Савенков Ю.Ю. Использование кластеризации информационных потоков для повышения эффективности занятия канального ресурса в мультисервисных сетях // Электро-связь. 2010. № 11. С. 22-25.
7. Степанов С.Н., Иверсен В.Б. Способы уменьшения объема вычислений при расчете моделей систем связи с потерями, основанные на игнорировании маловероятных состояний // Проблемы передачи информации. 2001. Том. 37. Вып.3. С. 82-95.
8. Степанов С.Н., Осия Д.Л. Приближенный метод оценки показателей обслуживания заявок в иерархических сетях доступа с учетом влияния поведения пользователя // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том 8. № 8. С. 93-96.
9. Степанов С.Н., Романов А.М., Осия Д.Л. Построение и анализ модели передачи данных на линии доступа от конечной группы абонентов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. № 9. С. 29-34.
10. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links. Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8–10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince&Ercan Topuz (editors): “Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks”. Springer 2006. 510 p.

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛИ СОВМЕСТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ЭЛАСТИЧНОГО ТРАФИКА ДАННЫХ В СОТЕ СЕТИ СТАНДАРТА LTE

Крохин Ефим Александрович,
магистрант кафедры ИСС МФТИ(ГУ), Москва, Россия,
efim.krohin@frtk.ru

С каждым годом количество абонентов сотовой связи растет. Операторы связи в борьбе за клиента расширяют перечень предоставляемых услуг, что ведет к возрастанию требований к ресурсу передачи данных. Сети сотовой связи имеют ряд ограничений, препятствующих наращиванию скорости передачи данных, такие как ограниченность доступной полосы частоты ограничения физического плана, поэтому большую роль в развитии сотовых сетей играет совершенствование процедур динамического распределения ресурса сети для принятых на обслуживание заявок от абонентов – packet – scheduler. Описанные выше причины подчеркивают актуальность исследования моделей с динамическим распределением ресурса. Проблема будет рассмотрена на примере процесса обслуживания поступающих заявок в изолированной соте сети стандарта LTE.

Первые вычислительные системы, известные как мейнфреймы, были очень дорогими и сложными в изготовлении. В связи с этим было целесообразно использовать множественный доступ пользователей с помощью нескольких устройств ввода – вывода. Исследование вопроса по организации процесса доступа к процессору привело к разработке так называемых моделей с разделением процессора. В работах [1-3] было показано, что модели с разделением процессора и модели массового обслуживания с ожиданием по многим характеристикам идентичны. Позднее, с развитием Интернета, данные модели оказались полезны для изучения процесса обслуживания заявок в TCP-соединениях. В современных реалиях сотовых сетей особый интерес представляют работы [4] по анализу моделей совместного использования ресурса линий связи трафиком реального времени и трафиком данных.

В данной работе производится оценка характеристик качества обслуживания смеси трафика реального времени, который требует фиксированную скорость передачи, и эластичного трафика данных, скорость которого может варьироваться в зависимости от нагрузки на базовую станцию в некоторых допустимых пределах. Основной характеристикой качества совместного обслуживания трафика k – го потока реального времени является доля потерянных заявок π_k , $k \in [1, n]$. Аналогично для трафика данных: π_d – доля потерянных заявок на скачивание файлов. В обоих случаях доля потерянных заявок формируется из запросов, которые не удалось принять в обработку. Это происходит, если отсутствует необходимый ресурс, и нет возможности снизить скорость передачи файлов, чтобы освободить часть ресурса. Также важной характеристикой является среднее время скачивания файла T_d . Его можно определить из формулы Литтла, рассчитав среднее количество заявок на передачу файлов в системе.

Значения характеристик качества обслуживания позволят оценить необходимый ресурс передачи информации, который потребуется для удовлетворения требований к данному ресурсу.

Для решения поставленной задачи необходимо построить математическую модель распределения ресурса. С исполь-

зованием данной модели можно будет разработать алгоритмы для оценки показателей качества совместного обслуживания трафика реального времени и эластичного трафика данных.

Задача планирования ресурса передачи при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных ранее рассматривалась в [5]. Существенное отличие данной работы состоит в модели описываемой системы: рассматривается n потоков заявок реального времени, а не один. Данное изменение сделано для того, чтобы решить более общую задачу, приближенную к реальности. Основываясь на подходах, выработанных в [4-7], сформулируем предположения для построения математической модели.

Пусть весь ресурс соты составляет C бит/с. Пусть r – минимальное требование к скорости от поступающих заявок такое, что C нацело делится на r . Тогда $v = C/r$ – скорость передачи соты, выраженная в единицах ресурса. Механизм контроля за распределением ресурса передачи информации следит за тем, чтобы каждая поступившая заявка на передачу трафика реального времени получила необходимый ей ресурс. Количество ресурса, выделенного на обработку заявки на передачу трафика данных, зависит от загруженности соты и лежит в допустимых пределах. Также система может снижать скорость обслуживания заявок на передачу трафика данных, если это возможно, чтобы обслужить новые заявки.

В описываемой модели полагаем, что имеется n пуассоновских потоков заявок на передачу трафика реального времени с интенсивностями λ_k . Будем полагать, что время обслуживания заявки t_k имеет экспоненциальное распределение со средним $1/\mu_k$, где μ_k – параметр экспоненциального распределения. Также в модели имеется один пуассоновский поток на передачу трафика данных с интенсивностью λ . Полагаем, что объем скачиваемого файла имеет экспоненциальное распределение со средним значением F бит. Минимальное количество ресурса на передачу трафика данных – единица. Получаем, что время обслуживания одной заявки имеет экспоненциальное распределение с параметром $\mu_e = r/F$. Определим, как работает процедура динамического распределения ресурсов. Пусть на обслуживании находится d заявок на передачу файлов и l -трафика реального времени. Тогда $(v-l)$ единиц ресурса обслуживают заявки трафика данных. Пусть $z = (v-l)/d$ – целая часть от деления $(v-l)$ на d . Разделим d заявок на две группы: $d = d_1 + d_2$, где $d_1 = v-l-zd$, $d_2 = (z+1)d - (v-l)$. Заявки из группы d_1 занимают по $(z+1)$ единиц ресурса каждая, из группы d_2 – по z единиц. Итого, время обслуживания в первом случае имеет экспоненциальное распределение с параметром $(z+1)\mu_e$, во втором случае – экспоненциаль-

ное распределение с параметром $z\mu_e$.

Теперь можно определить вектор состояния описанной модели, лежащий в конечном пространстве состояний S . Он состоит из $n+1$ компонент и имеет следующий вид: (i_1, \dots, i_n, d) , где i_k – число заявок k -го потока на передачу трафика реального времени, d – число заявок на передачу файлов.

Все случайные величины в описанной модели имеют экспоненциальное распределение и независимы, поэтому функционирование модели описывается случайным процессом, обладающим марковским свойством [6]. Данный многомерный случайный процесс описывает в динамике изменение общего числа заявок в системе и имеет следующий вид: $r(t) = (i_1(t), \dots, i_n(t), d(t))$. Он определен на конечном пространстве состояний S . Обозначим через $i_k(t)$ – число заявок k -го потока на передачу трафика реального времени, находящихся на обслуживании в момент времени t , $d(t)$ – число заявок на передачу трафика данных, находящихся на обслуживании в момент времени t .

Динамика изменения общего числа заявок в системе описывается случайным марковским процессом. Следовательно, выписав стандартным образом систему уравнений равновесия и решив ее численно, мы сможем определить характеристики совместного обслуживания, о которых говорилось ранее, потому как они зависят от $P(i_1, \dots, i_n, d)$ – вероятности пребывания системы в некотором состоянии, $(i_1, \dots, i_n, d) \in S$.

Результатом проведенного исследования стала математическая модель совместного обслуживания мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных в сети стандарта LTE. Были сформулированы основные характеристики качества совместного обслуживания поступающих на обслуживание заявок на передачу трафика реального времени и трафика данных; составлена система уравнений равновесия. В дальнейшем будет разработан алгоритм численного решения системы уравнений методом Гаусса – Зейделя и произведен анализ решения. На основе решения системы будет произведен численный анализ ха-

рактеристик обслуживания в зависимости от входных параметров системы. Основным результатом работы станет формулирование рекомендаций по оценке требуемого ресурса соты, который потребуется для обслуживания наперед заданного количества трафика реального времени и трафика данных с заданным качеством обслуживания.

Литература

1. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ. под ред. В. И. Неймана. М.: Машиностроение, 1979. 452 с.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: Пер. с англ. под ред. Б. С. Цыба. М.: Машиностроение, 1979. 452 с.
3. Kleinrock L. Time-shared systems: A theoretical treatment // Journal of the ACM (JACM). 1967. Т. 14. №. 2. С. 242-261.
4. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко – Трендз, 2010. 392 с.
5. Степанов, С.Н., Степанов М.С. Планирование ресурса передачи при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных // Автоматика и телемеханика. 2017. № 11. С. 79-93.
6. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. Серия «Теория и практика инфокоммуникаций». М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
7. Степанов С.Н., Иверсен В.Б. Способы уменьшения объема вычислений при расчете моделей систем связи с потерями, основанные на игнорировании маловероятных состояний // Проблемы передачи информации. 2001. Том. 37. Вып.3. С. 82-95.
8. Iversen V.B., Stepanov S.N., Kostrov A.V. Dimensioning of Multiservice Links Taking Account of Soft Blocking. LectureNotesin-ComputerScience. 2006. Vol. 4003 LNCS, pp. 3-10.
9. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links. Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince&ErcanTopuz (editors): “Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks”. Springer 2006. 510 p.
10. Степанов С.Н., Савенков Ю.Ю. Использование кластеризации информационных потоков для повышения эффективности занятия канального ресурса в мультисервисных сетях // Электро-связь. 2010. № 11. С. 22-25.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУФЕРА ПРИ СОВМЕСТНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ТРАФИКА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ТРАФИКА ДАННЫХ С ГРУППОВЫМ ПОСТУПЛЕНИЕМ ФАЙЛОВ

Кудашов Аркадий Вячеславович,
магистр кафедры ИСС МФТИ, Москва, Россия,
ark100295@yandex.ru

Повышение эффективности использования ресурсов сети является важной проблемой. Существует множество способов решения этой задачи. Один из них – использование буфера при совместном обслуживании трафика реального времени и данных. По примерным оценкам выигрыш от применения буферизации может составить порядка десятков процентов от общего объема ресурса канала передачи информации [5-6].

Основными показателями качества обслуживания трафика данных и трафика реального времени являются доля потерянных заявок и доля занятого ресурса канала. Для трафика данных рассматривается еще одна характеристика – среднее время доставки файла, получаемое из формулы Литтла [1-2].

Для решения сформулированных задач нужно построить математическую модель, которая будет учитывать особенности поступающего трафика и его обслуживания. На основе этой модели требуется разработать алгоритмы оценки показателей качества обслуживания. Решение будет рассмотрено на примере сегмента мультисервисной сети для TriplePlay трафика, где будет задействован буфер, позволяющий задерживать и сохранять групповой трафик данных. Рассмотрены линии доступа, как наиболее дорогие составляющие сети. Правильно спроектировав линии доступа, мы сможем сэкономить значительное количество ресурсов. Актуальность данного направления исследований также обусловлена быстрым ростом популярности голосовых и мультимедийных услуг [9].

Ранее рассматривался другой механизм повышения эффективности использования канального ресурса: математическая модель с резервированием ресурса передачи информации при совместном обслуживании трафика реального времени и трафика групповых данных [2, 5-6, 10]. Предлагается рассмотреть модель обслуживания трафика реального времени и данных с групповым поступлением файлов при наличии в системе буфера. Воспользуемся общим подходом к построению математической модели и сформулируем требуемые предположения [1, 3-5].

Пусть ν – скорость передачи информации через мультисервисную линию, выраженная в канальных единицах. На линию подаются два потока заявок на передачу трафика реального времени и поток заявок на передачу групповых данных. Полагаем, что один поток трафика заявок реального времени подчиняется распределению Пуассона, второй поток трафика реального времени описывается моделью Энгсета и поток заявок на передачу данных описывается распределением Пуассона [2, 5, 9].

Рассмотрим потоки трафика реального времени. Обозначим через λ_1 – интенсивность поступления заявок потока Пуассона, а через $1/m_1$ – среднее время обслуживания заявки, b_1 – ресурс канала, требуемый для обслуживания одной заявки. Для потока заявок Энгсета число абонентов,

участвующих в формировании потока заявок – n_2 , интенсивность поступления заявок от одного абонента – λ_2 , среднее время обслуживания заявки – $1/m_2$, требуемый ресурс канала для одной заявки – b_2 . Среднее время обслуживания заявки для каждого потока будет подчиняться экспоненциальному закону с параметрами m_1 и m_2 соответственно.

Рассмотрим трафик групповой передачи данных [5-6]. Будем считать, что λ_d – интенсивность поступления заявок на передачу данных. Каждой заявке соответствует группа файлов. Число файлов S в группе является случайным и будет определяться вероятностью f_s , то есть вероятность получить группу из S файлов равна f_s . Пусть один файл использует одну единицу ресурса канала. Число S принимает значения от 1 до ν . Таким образом, размер группы в заявке не будет пустым и не будет превышать размер канального ресурса. Среднее число файлов в группе будем обозначать за b_d . Оно находится из выражения $b_d = \sum_{s=1}^{\nu} s f_s$. Если

при поступлении группы из S файлов имеется достаточное количество ресурса канала, то S единиц ресурса будет занято передачей группы файлов. Если канального ресурса не хватило на S файлов, то занимается весь свободный ресурс канала, а файлы, которым не хватило канальных единиц, становятся в буфер ограниченной емкости W на ожидание начала передачи. Если для части файлов не хватает места для немедленной постановки на передачу или в буфере, то они теряются безвозвратно [5, 7-8].

Для описания исследуемой схемы будет использоваться марковский случайный процесс. Пусть $i_1(t)$ и $i_2(t)$ – число заявок трафика реального времени, где $i_1(t)$ – пуассоновский поток, а $i_2(t)$ – поток, описываемый моделью Энгсета, которые в момент времени t находятся на обслуживании, а $d(t)$ – число файлов, которые в момент времени t находятся на обслуживании и ожидании. Динамика изменения числа заявок описывается многомерным случайным процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t), d(t))$, определенным на конечном числе состояний S . Будем характеризовать процесс совместного обслуживания заявок вероятностью доступа к канальному ресурсу и средним объемом занятого ресурса для трафика реального времени, а так же временем обслуживания и вероятностью доставки файлов для группового трафика. Введенные показатели можно найти из вероятностей $p(i_1, i_2, d)$, суммируя их специальным образом, а именно по требуемым

подмножествам состояний S [1-2].

Обозначим через $p(i_1, i_2, d)$ – стационарные вероятности состояний $(i_1, i_2, d) \in S$. Они показывают долю времени пребывания системы в состоянии с i_1 и i_2 заявками потока Пуассона и Энгсета трафика реального времени, находящихся на обслуживании, и d файлов, находящихся на передаче и ожидании. Данная интерпретация вероятностей $p(i_1, i_2, d)$ позволяет легко определить и посчитать основные показатели качества обслуживания поступающих заявок. Для их нахождения требуется составить и решить систему уравнений статистического равновесия [1].

В результате проведенного исследования была построена математическая модель сегмента мультисервисной сети для TriplePlay трафика, которая учитывает специфику поступающего трафика и особенности его обслуживания; сформулированы определения характеристик качества обслуживания поступающих запросов на передачу файлов; построен рекурсивный алгоритм оценки значений $p(i_1, i_2, d)$; проведен численный анализ зависимости характеристик от особенностей формирования и обслуживания запросов и значений входных параметров; сформулированы рекомендации по практическому использованию полученных результатов, в частности, для оценки минимального ресурса канала сети, необходимого для обслуживания известного объема трафика групповых данных с заданным качеством, и оптимального размера буфера, требуемого для улучшения качества обслуживания трафика реального времени и повышения вероятности доставки трафика с групповым поступлением файлов.

Литература

1. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз. 2010. 392 с.
2. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. Серия «Теория и практика инфокоммуникаций». М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
3. Bonald T., Virtamo J. A recursive formula for multirate systems with elastic traffic // IEEE Communications Letters. 2005. Vol. 9, pp. 753-755.
4. Stasiak M., Glabowski M., Wisniewski A., Zwierzykowski P. Modelling and dimensioning of mobile network: from GSM to LTE. John Wiley & Sons Ltd, 2011. 315 p.
5. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. I // Автоматика и телемеханика. 2011. № 4. С. 121-132.
6. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. II // Автоматика и телемеханика. 2011. № 5. С. 139-147.
7. Васильев А.П., Степанов С.Н. Построение и анализ математической модели с динамическим распределением канального ресурса при групповом поступлении запросов на передачу данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Том 10. №11. С. 55-59.
8. Степанов С.Н., Степанов М.С. Планирование ресурса передачи при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных // Автоматика и телемеханика. 2017. № 11. С. 79-93.
9. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links. Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince & Ercan Topuz (editors): "Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks". Springer 2006. 510 p.
10. Степанов С.Н., Романов А.М., Осия Д.Л. Построение и анализ модели передачи данных на линии доступа от конечной группы абонентов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. № 9. С. 29-34.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ БАЛАНСИРОВКИ ТРАФИКА В СИСТЕМАХ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКИ НА СЕРВЕРА КЛАСТЕРА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Куприянов Дмитрий Олегович,

аспирант кафедры СС и СК МГУСИ, Москва, Россия,

dim.kupro@gmail.com

В условиях повсеместного роста компьютеризации и увеличения количества “умных” устройств, растет и количество приложений, позволяющих оптимизировать отдельные аспекты повседневной жизни и сделать использование сервисов комфортнее для потребителя. Для обслуживания высоконагруженных приложений уже не выгодно использовать собственное оборудование, поэтому для решения таких задач всё чаще используют облачные услуги. Наиболее востребованными из облачных услуг в данный момент являются кластеры для облачных вычислений (Cloud Computing), а также облачные хранилища, как базы данных для этих вычислений. Для обслуживания приложениями заявок от пользователей создаются кластеры, состоящие из большого количества виртуальных вычислительных машин (Instance). Чтобы заявки распределялись равномерно, при разворачивании кластера используются различные балансеры (Balancer). Они равномерно распределяют нагрузку между серверами в кластере и позволяют внедрять специальные правила для организации потока заявок на обслуживание виртуальными машинами. Сервера в кластере имеют ограниченный ресурс по вычислительной мощности, основными характеристиками которого являются количество оперативной памяти и загруженность (CPU Load) или время простоя (CPU Idle) процессора [1].

При достижении максимальной загруженности сервера, он не может принимать на обработку новые запросы, и все заявки, поступающие на него, получают отказ. Использование балансеров позволяет минимизировать вероятность отказа, при условии, что вычислительной мощности кластера достаточно для обслуживания поступающего потока заявок. Также, вероятность отказа при организации облачных сервисов уменьшается за счёт оперативного (Ad hoc) изменения канального ресурса автоматически или усилиями системных администраторов, обслуживающих облачную инфраструктуру.

Для обеспечения стабильного распределения потока заявок на обслуживание, балансер должен обладать возможностью проверять статус серверов в кластере (health check), иметь возможность добавления и удаления серверов из балансинга без перерывов в обслуживании [1]. Также, балансер должен помимо требуемых параметров учитывать различия в базовых технических параметрах сервера, на который он отправляет заявки.

Для решения поставленных задач, необходимо построить математическую модель системы массового обслуживания, учитывая перечисленные особенности поступления и обслуживания заявок в проектах с использованием облачных вычислений. В работе это решение будет рассмотрено на примере WEB-приложения, заявки на доступ к которому обслуживает облачный кластер из нескольких десятков виртуальных машин. Заявки представляют собой HTTP GET запросы на получение элементов окружения страницы, такие как изображения, текст, гиперссылки и прочее, поступаю-

щие от пользователей из сети на внешний адрес балансера, который равномерно распределяет их между серверами [1]. Также, стоит отметить, что каждый из серверов в кластере может обладать различной производительностью $\mu_{\max}(i)$, выраженной в обработанных запросах в единицу времени и при наличии таких серверов балансер распределяет нагрузку так, чтобы относительная загруженность $\mu(i)/\mu_{\max}(i)$ для всех серверов в кластере была одинакова. Равномерное распределение заявок между обслуживающими устройствами в системах облачных сервисов позволяет максимизировать время доступности сервиса и избежать отдельных отказов в обслуживании. Таким образом, сервис становится недоступен только при пиковой загрузке всех серверов в кластере. При высокой загруженности кластера, в условиях роста поступающего трафика, сохранение доступности сервиса достигается динамическим расширением кластера. Увеличение вычислительных мощностей для обслуживания увеличившегося потока заявок реализуется за счёт изменения характеристик серверов в кластере (вертикальное масштабирование), добавления серверов в кластер (горизонтальное масштабирование) или добавления нового кластера.

Предлагается построить и рассмотреть базовую модель облачного сервиса. В дальнейшем предполагается усложнение модели, ее разработка и адаптация для использования в облачных сервисах со специфичными требованиями или более точной балансировки трафика в системах, где уже организована балансировка трафика от пользователей.

При построении математической модели стоит учесть, что на коротких временных отрезках количество заявок не зависит от времени, поэтому поток заявок, поступающий на вход системы, можно считать стационарным пуассоновским потоком с интенсивностью λ . Также, стоит отметить, что в рассматриваемой системе отсутствует очередь и буфер, а при достижении максимальной нагрузки на виртуальный сервер, заявки на обслуживание получают отказ [2]. Клиент в этом случае получает ответ HTTP 503 Service Unavailable, а запрошенное им содержимое страницы не загружается. Рассмотрим разнородный облачный кластер, состоящий из двух групп серверов, обладающих разной производительностью. Под производительностью в данной работе следует понимать совокупные вычислительные характеристики отдельного сервера или кластера, влияющие на скорость обработки поступающих запросов, такие как, частота процессора, количество ядер в облачном сервере, количество оперативной памяти, скорость чтения диска и другие. Обозначим через v_1 и v_2 количество серверов для первой и второй группы соответственно, а через μ_1, μ_2 – их производительность. Обозначим через i_1, i_2 число заявок на обслуживание, находящихся в каждой из групп [6, 7]. Будем считать, что количество заявок на обслуживание в каждой группе находится в интервалах $i_1 : 0, 1, \dots, v_1, i_2 : 0, 1, \dots, v_2$, а время в рас-

смаатриваемой системе имеет экспоненциальное распределение с соответствующим параметром.

Обозначим через $S = (i_1, i_2)$ пространство состояний исследуемой модели, где i_1, i_2 – число заявок, находящихся на обслуживании в каждой из групп серверов. Величины i_1, i_2 удовлетворяют неравенству $i_1 b_1 + i_2 b_2 \leq v, v = v_1 + v_2$, где b_1, b_2 – число единиц вычислительного ресурса, требуемых для обслуживания заявок каждого из потоков [3, 4]. Так как независимо от сложности запроса, поступившего в систему, обработкой одного запроса всегда занимается одна вычислительная единица (CPU), эта величина принимает значение $b_1 = b_2 = 1$.

Динамика изменения общего числа обслуживаемых заявок описывается многомерным случайным процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t))$, определённом на конечном пространстве состояний S , где $i_1(t), i_2(t)$ – число заявок каждого из двух потоков, находящихся на обслуживании в момент времени t . Так как все случайные величины, использованные при описании системы имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга, случайный процесс $r(t) = (i_1(t), i_2(t))$, описываемый моделью, будет являться марковским [3]. Пусть $p(i_1, i_2)$ – стационарные вероятности состояния (i_1, i_2) . Они интерпретируются как доля времени пребывания системы в состояниях с i_1, i_2 запросами находящимися на обслуживании [5, 9, 10, 11]. Используя данную интерпретацию, определим основные показатели качества обслуживания, необходимые для оценки достаточного вычислительного ресурса кластера.

Качество обслуживания заявок k -го потока, где $k = 1, 2$, в рассматриваемой системе определяется долей потерянных заявок π_k и средней величиной занятого ресурса m_k .

Значения этих характеристик находятся стандартным образом через решение системы статистического равновесия для ненормированных вероятностей и последующей нормировки [8]. Через $y_k = m_k / b_k$ обозначим среднее число заявок k -го потока, находящихся на обслуживании.

В результате проведенного исследования построена математическая модель обслуживания заявок, поступающих на облачный кластер, состоящий из серверов с двумя различ-

ными наборами характеристик, которая может быть использована для дальнейших исследований в этой области, а также для расчёта оборудования при обслуживании заявок в реальных облачных системах.

Литература

1. Limoncelli T.A., Chalup S.R., Hogan C.J. The Practice of Cloud System Administration. Addison-Wesley, 2015. 524 p.
2. Anupama A., Satya Keerthi G. Using Queuing theory the performance measures of cloud with infinite servers // International Journal of Computer Science & Engineering Technology, 2014. pp. 17-21.
3. Степанов С.Н. Основы телеграфика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз. 2010. 392 с.
4. Степанов С.Н. Теория телеграфика: концепции, модели, приложения. Серия «Теория и практика инфокоммуникаций». М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
5. Степанов С.Н., Иверсен В.Б. Способы уменьшения объема вычислений при расчете моделей систем связи с потерями, основанные на игнорировании маловероятных состояний // Проблемы передачи информации. 2001. Том. 37. Вып. 3. С. 82-95.
6. Iversen V.B., Stepanov S.N., Kostrov A.V. Dimensioning of Multiservice Links Taking Account of Soft Blocking. Lecture Notes in Computer Science. 2006. Vol. 4003 LNCS, pp. 3-10.
7. Степанов С.Н., Степанов М.С. Планирование ресурса передачи при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных // Автоматика и телемеханика. 2017. № 11. С. 79-93.
8. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links / Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince & Ercan Topuz (editors): "Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks". Springer, 2006. 510 p.
9. Степанов С.Н., Савенков Ю.Ю. Использование кластеризации информационных потоков для повышения эффективности занятия канального ресурса в мультисервисных сетях // Электро-связь. 2010. № 11. С. 22-25.
10. Степанов С.Н., Осия Д.Л. Приближённый метод оценки показателей обслуживания заявок в иерархических сетях доступа с учётом влияния поведения пользователя // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 8. С. 93-96.
11. Степанов С.Н. Интегральные соотношения равновесия для неполнодоступной системы с повторными попытками и их применение // Проблемы передачи информации. 1980. Т. 16. № 4. С. 88-93.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ЛИНИЙ ДОСТУПА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НЕОДНОРОДНОГО ТРАФИКА

Лонгинов Илья Александрович,
магистр кафедры СС и СК МТУСИ, Москва, Россия,
Vonignol@mail.ru

С развитием современных сетей передачи данных был совершён переход к мультисервисным сетям нового поколения (NGN), которые получили повсеместное распространение, как в городах, так и на площадках отдельных предприятий. Сети связи на основе NGN призваны предоставить пользователю неограниченное количество необходимых услуг в любое время и в любой точке пространства с соответствующим качеством и удобством. Данный подход предполагает наличие большого количества разнообразных клиентских устройств, как стационарных, так и мобильных, а также многообразие технологий доступа.

Появление мультисервисных сетей на основе NGN обусловило развитие большого числа новых мультимедийных сервисов, что в свою очередь способствует росту трафика реального времени. Значительное увеличение объёмов неоднородного потока данных, который требует мгновенной передачи с минимальной задержкой, делает тему моделирования и прогнозирования ещё более актуальной, а уже полученные ранее сведения нуждаются в анализе и доработке для максимального точного соответствия новым технологиям и разработкам.

В современных сетях NGN процесс выделения необходимых ресурсов для передачи информации нуждается в специальных механизмах контроля, иначе существует угроза их бесконтрольного распределения в пользу отдельных потоков информации. В такой ситуации потоки заявок с минимальными требованиями к ресурсам передачи начинают вытеснять из обслуживания информационные потоки с более высокими требованиями. Для минимизации возможности подобного развития событий применяется ограничение по доступу заявок. Заявка может приниматься к обслуживанию на основании информации о количестве заявок данного потока, которые уже находятся на обслуживании, либо доступ ограничивается исходя из общего количества занятых канальных единиц линии. Данный алгоритм распределения ресурсов для передачи информационных потоков называется резервированием.

Рассмотрим мультисервисную модель Эрланга и изменим её в рамках реализации механизма резервирования ресурса линий доступа с помощью использования функции внутренней блокировки [1]. Сначала требуется описать основные параметры модели Эрланга. Пусть v – скорость линии доступа, которая выражается в канальных единицах; n – количество поступающих информационных потоков; λ_k и μ_k – параметры экспоненциального распределения временного интервала между последовательным поступлением заявок k -го потока и времени на их обслуживание соответственно; b_k – количество единиц ресурса линии доступа, который необходим для обслуживания одной заявки k -го потока данных, где $k = 1, 2, \dots, n$. Рассмотрим процедуру резервирования канального ресурса для передачи заявок k -го информационного потока. Пусть $\varphi_k(i)$ – вероятностная функ-

ция, используемая для фильтрации процесса допуска заявок к ресурсу линии в зависимости от номера информационного потока k и общего количества занятых канальных единиц i . Делается предположение, что в отношении всех $k = 1, 2, \dots, n$ выполняется соотношение $0 \leq \varphi_k(i) \leq 1$. Сама процедура фильтрации реализуется следующим образом. Заявка k -го потока данных допускается к обслуживанию с вероятностью $1 - \varphi_k(i)$ и соответственно, с обратной вероятностью $\varphi_k(i)$ заявка получает отказ и более не поступает в систему. Ясно, что значения функции $\varphi_k(i)$ не могут быть произвольными. Отказ заявке в обслуживании из-за отсутствия необходимого канального ресурса происходит с вероятностью, которая равна единице. Из этого следует, что в отношении заявок k -го потока данных выполняется равенство $\varphi_k(i) = 1$, если $i = v - b_k + 1, v - b_k + 2, \dots, v$.

Если положить $\varphi_k(i) = 0$ для $i = 0, 1, \dots, \theta_k$ и $\varphi_k(i) = 1$ для $i = \theta_k + 1, \theta_k + 2, \dots, v$, то анализируемая процедура резервирования ресурсов сводится к традиционному методу с пороговым уровнем резервирования для заявок k -го потока данных, равным $\theta_k \leq v - b_k$. Изменяя параметр θ_k , становится возможным уравнивать значения доли потерянных заявок. Данный механизм допуска заявок используется для обеспечения оператора эффективным средством воздействия на характеристики качества обслуживания заявок в современных мультисервисных сетях. Для анализа результатов влияния резервирования на характеристики систем связи созданы специальные расчётные методики [2-3].

Главным направлением использования данной модели является оценка скорости мультисервисной линии, которая необходима для обслуживания потоков информации с заданным качеством. Необходимо определить вид пространства состояний, а также структуру случайного процесса, который описывает динамику изменений состояния модели. Пусть $i_k(t)$ количество заявок k -го потока, которые находятся на обслуживании в момент времени t . Динамику изменения количества заявок, находящихся на обслуживании, с течением времени можно описать многомерным марковским процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t))$, который определён на конечном пространстве состояний Ω , состоящем из векторов (i_1, i_2, \dots, i_n) , удовлетворяющих условию $\sum_{k=1}^n i_k b_k \leq v$. Пространство состояний S , которые реально используются, является подмножеством Ω и зависит от выбранных значений функции внутренней блокировки. Пускай U_k – множество состояний, принадлежащих S , в которых заявка из k -го потока данных имеет вероятность отказа

равную единице. Вид множеств U_k будет зависеть от выбора функции $\varphi_k(i)$.

Определим необходимые показатели качества обслуживания заявок [4-6]. Пусть $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ – стационарная вероятность пребывания данной модели в состоянии $(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S$. Определим качество обслуживания потока данных, как долю потерянных заявок π_k и среднее количество канальных единиц линии доступа m_k , которые заняты в их обслуживании. Определения π_k и m_k приводятся через значения стационарных вероятностей $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$:

$$\pi_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_n) \varphi_k(i) \quad \text{и}$$

$$m_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_n) i_k b_k. \quad \text{Пусть } y_k = \frac{m_k}{b_k} -$$

среднее число заявок k -го потока данных, которые находятся в данный момент на обслуживании. По формуле Литтла можно показать, что π_k и m_k связаны соотношениями $\lambda_k = \lambda_k \pi_k + y_k \mu_k$, $k = 1, 2, \dots, n$. Данные выражения являются равенством интенсивностей потоков заявок, которые поступают и обслуживаются в анализируемой системе связи, и могут применяться для расчёта y_k и m_k по известному значению потерь заявок.

Чтобы найти необходимые показатели качества обслуживания потока заявок, нужно рассчитать $p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ для всех $(i_1, i_2, \dots, i_n) \in S$. Мультисервисная модель с резервированием не обладает свойством мультипликативности и поэтому единственным способом оценки π_k и m_k , $k = 1, 2, \dots, n$, является составление и решение системы уравнений равновесия [7-10, 11].

В результате проведённого исследования была построена математическая модель обслуживания трафика реального времени в сетях доступа с применением алгоритма резервирования; проанализирована схема функционирования модели; определено пространство состояний и описаны его свойства; сформулированы определения характеристик качества обслуживания поступающих потоков заявок; построен алгоритм оценки значений доли потерянных заявок и среднего

числа канальных единиц, занятых в их обслуживании; проведён анализ процедур повышения эффективности использования ресурса линий доступа при обслуживании неоднородного трафика, который показал необходимость применения механизмов резервирования в мультисервисных сетях нового поколения для минимизации риска перераспределения ресурсов линии доступа в сторону менее требовательных потоков.

Литература

1. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз, 2010. 392 с.
2. Лагутин В.С., Степанов С.Н. Телетрафик мультисервисных сетей связи. М.: Радио и связь, 2000. 320 с.
3. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. Серия «Теория и практика инфокоммуникаций». М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
4. Степанов С.Н., Савенков Ю.Ю. Использование кластеризации информационных потоков для повышения эффективности занятия канального ресурса в мультисервисных сетях // Электро-связь. 2010. № 11. С.22-25.
5. Virtamo J. <http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s383141/english.shtml>.
6. Ross K.W. Multiservice loss models for broadband telecommunication networks // London: Springer. 1995. 343 p.
7. Степанов С.Н. Интегральные соотношения равновесия для неполнодоступной системы с повторными попытками и их применение // Проблемы передачи информации. 1980. Т.16. Вып.4. С. 88-93.
8. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links. Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince & Ercan Topuz (editors): "Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks". Springer 2006. 510 p.
9. Iversen V.B., Stepanov S.N., Kostrov A.V. Dimensioning of Multiservice Links Taking Account of Soft Blocking. Lecture Notes in Computer Science. 2006. Vol. 4003 LNCS, pp. 3-10.
10. Iversen V.B., Stepanov S.N. The Usage of Convolution Algorithm with Truncation for Estimation of Individual Blocking Probabilities in Circuit-Switched Telecommunication Networks. In: V.Ramaswami and P.E.Wirth (editors) / Proceedings of 15th International Teletraffic Congress, pp.1327-1336. Elsevier, Amsterdam. 1997.
11. Степанов С.Н., Осия Д.Л. Приближённый метод оценки показателей обслуживания заявок в иерархических сетях доступа с учётом влияния поведения пользователя // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 8. С. 93-96.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА С ПОТОКАМИ ЗАЯВОК ОТ КОНЕЧНЫХ ГРУПП ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Орехов Евгений Александрович,
бакалавр кафедры ИСС МФТИ, Москва, Россия,
evgenii.orekhov@phystech.edu

Сети доступа являются важнейшим элементом мультисервисных сетей. С практической точки зрения наиболее удобны иерархические сети доступа, которые используются в тех ситуациях, когда требуется создать условия для концентрации возникающих информационных потоков. В теории графов подобные сети называются древовидными, что означает, что в них узлы и связи между ними образуют неориентированный ациклический граф, не содержащий замкнутых путей и позволяющий соединить единственным образом любую пару её узлов. Добиться требуемых показателей качества обслуживания иерархических сетей доступа можно двумя способами. Первый из них – это положиться на избыточность канального ресурса. В данном случае, эффективность сети оказывается очень низкой, а контролировать качество передачи информации становится практически невозможно. Поэтому актуальность темы исследования заключается в разработке алгоритма планирования систем связи с целью построить сеть с заданным качеством обслуживания. При таком подходе передаточный ресурс распределяется более оптимальным способом, что позволяет добиться дифференцированного обслуживания абонентов с заявленными показателями качества [1]. Направления решения поставленной задачи для случая, когда поступление заявок подчиняется закону Пуассона, описаны в [2-4]. Однако, в большинстве случаев, предположение, что число пользователей услуг связи велико и изменение их численности никак не сказывается на значении общей интенсивности поступления заявок, вступает в противоречие с реалиями функционирования действующих систем связи. В данной работе рассмотрено обобщение данной модели для конечного числа источников заявок.

Рассмотрим иерархическую сеть, состоящую из некоторого числа узлов, связанных между собой линиями. Занумеруем их произвольным образом. Обозначим через J общее число линий, а через v_j обозначим скорость передачи j -й линии, $j = 1, \dots, J$, выраженную в единицах канального ресурса, требуемого для обслуживания поступающих заявок. Обозначим через q общее число потоков заявок. Занумеруем их числами от 1 до q . Процесс поступления и обслуживания заявок k -го потока, $k = 1, \dots, q$, определяется следующими параметрами: числом единиц ресурса, требуемого для обслуживания одной заявки b_k , количеством источников заявок n_k и средним числом потенциальных соединений, которое создадут абоненты при условии отсутствия потерь a_k . Поступившая заявка k -го потока принимается к обслуживанию, когда во всех линиях используемого маршрута имеются свободными не менее b_k единиц канального ресурса.

В активном состоянии от k -го источника поступают заявки на выделение канального ресурса через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром β_k . Состояние занятости источника (время обслужива-

ния заявки) длится случайное время, имеющее экспоненциальное распределение с параметром μ_k . В случае отсутствия потерь, среднее число потенциальных соединений для одного абонента можно записать в виде $a_k = \gamma_k n_k / (1 + \gamma_k)$. Значение $\gamma_k = \beta_k / \mu_k$ показывает среднее число заявок, поступающих от источника, находящегося в активном состоянии, за среднее время обслуживания одной заявки.

Информационные потоки, имеющие доступ к j -й линии, не могут занять более, чем v_j канальных единиц. Воспользуемся этим утверждением для определения границ пространства состояний S анализируемой модели мультисервисной сети связи. Обозначим через i_k число заявок k -го потока, находящихся на обслуживании. Состояние $(i_1, i_2, \dots, i_q) \in S$, если выполняется очевидное соотношение $\sum_k i_k b_k \leq v_j$, где суммирование ведется по потокам, имеющим доступ к j -й линии. Обозначим через $i_k(t)$ число заявок k -го потока, находящихся в момент времени t на обслуживании. Динамика изменения с течением времени состояний исследуемой модели сети описывается многомерным марковским процессом $r(t) = (i_1(t), i_2(t), \dots, i_q(t))$, определённым на конечном пространстве состояний S . Обозначим через $p(i_1, i_2, \dots, i_q)$ стационарные вероятности состояния $(i_1, i_2, \dots, i_q) \in S$ [7].

Качество обслуживания заявок k -го потока оценим долей времени π_k пребывания модели в состояниях, когда приём поступившей заявки k -го потока невозможен из-за нехватки свободного канального ресурса хотя бы в одной из линий, входящих в состав маршрута, и средним числом m_k канальных единиц сети, занятых на обслуживание заявок k -го потока. Обозначим через U_k множество подобных состояний. Характеристики π_k и m_k определяются из следующих выражений: $\pi_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_q) \in U_k} p(i_1, i_2, \dots, i_q)$; $m_k = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_q) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_q) i_k b_k$.

Одной из важнейших характеристик построенной модели является наличие свойства мультипликативного представления значений $p(i_1, i_2, \dots, i_q)$ [6, 8]. Выполнение данного свойства позволяет представить $p(i_1, i_2, \dots, i_q)$ в виде следующего соотношения:

$$p(i_1, i_2, \dots, i_q) = \frac{1}{N} (C_{n_1}^{i_1} \gamma_1^{i_1}) (C_{n_2}^{i_2} \gamma_2^{i_2}) \dots (C_{n_q}^{i_q} \gamma_q^{i_q}),$$

где $N = \sum_{(i_1, i_2, \dots, i_q) \in S} (C_{n_1}^{i_1} \gamma_1^{i_1}) (C_{n_2}^{i_2} \gamma_2^{i_2}) \dots (C_{n_q}^{i_q} \gamma_q^{i_q})$. Также,

это даёт возможность доказать несколько важных утверждений, упрощающих оценку введённых характеристик модели.

Обозначим через I_k множество состояний сети, в которых поступившая заявка k -го потока принимается к обслуживанию. Множество I_k совпадает с множеством состояний исследуемой модели сети только с уменьшенным на b_k числом каналов во всех звеньях k -го маршрута. По определению выполняется соотношение $S = I_k \cup U_k$. Следовательно, $\pi_k = 1 - N(I_k)/N(S)$. Таким образом, для оценки доли потерянных по времени заявок k -го потока достаточно найти значения нормировочных констант для исследуемой модели сети и аналогичной модели сети только с уменьшенным на b_k числом каналов во всех линиях, составляющих маршрут следования k -го информационного потока [8].

Найдём выражение для вычисления m_k . Введём вероятность потерь по вызовам π'_k . Она определяется как доля потерянных заявок на выделение канального ресурса и равна отношению интенсивности потерянных заявок $\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_q) \in U_k} p(i_1, i_2, \dots, i_q) (n_k - i_k) \gamma_k$ к интенсивности поступивших заявок $\sum_{(i_1, i_2, \dots, i_q) \in S} p(i_1, i_2, \dots, i_q) (n_k - i_k) \gamma_k$ [5]. Домножая обе интенсивности на b_k и, пользуясь полученным ранее выражением для m_k , приводим последнее выражение к виду $\pi'_k = 1 - m_k / (n_k b_k - m_k) \gamma_k$ из которого нетрудно выразить $m_k = n_k b_k (1 - \pi'_k) \gamma_k / (1 + (1 - \pi'_k) \gamma_k)$. Связь π_k и π'_k является следствием общего утверждения, называемого *arrival theorem*, которое выполняется для моделей с потерями и конечным числом источников заявок и гласит, что вероятность потерь по вызовам совпадает с вероятностью потерь по времени, найденной для той же модели, но с уменьшенным на единицу числом источников заявок и фиксированными остальными параметрами [6]. Таким образом, для нахождения m_k нам необходимо пересчитать π_k для той же модели с уменьшенным на единицу n_k .

Для построенной модели существует эффективный алгоритм расчёта вероятностных характеристик. Метод вычислений базируется на реализации последовательности свёрток векторов вероятностей числа обслуживаемых заявок, полученных при отдельном использовании ресурса линии каждым из входных потоков. Возможность применения алгоритма основана на свойстве мультипликативности и подробно описана в [1, 9].

В результате проведенного исследования построена математическая модель иерархической сети доступа с источниками заявок от конечных групп пользователей. Сформу-

лированы определения характеристик качества обслуживания: доля потерь по времени и средний объём занятого канального ресурса. Величины характеристик выражены через значения стационарных вероятностей пребывания модели в состояниях с различным числом заявок каждого вида, находящихся на обслуживании. Для оценки характеристик использован алгоритм свёртки. Полученная модель дает возможность формулировки рекомендаций по оценке значения скорости линии, удовлетворяющей заданным показателям качества обслуживания. Для оценки необходимой пропускной способности звеньев иерархической сети для удовлетворения совместных показателей качества обслуживания сразу для всех групп пользователей требуется разработка более совершенного алгоритма, чему и будет посвящены будущие исследования.

Литература

1. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
2. Степанов С.Н., Романов А.М. Моделирование особенностей обслуживания трафика реального времени от конечных групп пользователей и трафика данных с динамически изменяемой скоростью передачи на линиях доступа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том 8. № 12. С. 91-93.
3. Степанов С.Н., Осия Д.Л. Приближённый метод оценки показателей обслуживания заявок в иерархических сетях доступа с учетом влияния поведения пользователя // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том 8. № 8. С. 93-96.
4. Степанов С.Н., Романов А.М., Осия Д.Л. Построение и анализ модели передачи данных на линии доступа от конечной группы абонентов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. № 9. С. 29-34.
5. Delbrouck L.E.N. On the Steady-State Distribution in a Service Facility Carrying Mixtures of Traffic with Different Peakedness Factor and Capacity Requirements // IEEE Transactions on Communications. 1983. V.COM – 31, pp. 1209-1211.
6. Medhi J. Stochastic Models in Queueing Theory. Academic Press, 2002. 482 p.
7. Kelly F.P. Reversibility and stochastic networks. New York: Wiley, 1979. 230 p.
8. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimal dimensioning of multi-service links. Proceedings from COST285 Mid-term Symposium, Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince & Ercan Topuz (editors): "Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks". Springer 2006. 510 p.
9. Iversen V.B., Stepanov S.N. The Usage of Convolution Algorithm with Truncation for Estimation of Individual Blocking Probabilities in Circuit-Switched Telecommunication Networks. In: V.Ramaswami and P.E.Wirth (editors), Proceedings of 15th International Teletraffic Congress, pp.1327-1336. Elsevier, Amsterdam, 1997.

МОДЕЛЬ КОНТАКТ-ЦЕНТРА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ САМООБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ И РАЗДЕЛЕНИЕМ ОПЕРАТОРОВ ПО КОМПЕТЕНЦИЯМ

Степанов Михаил Сергеевич,

к.т.н., доцент кафедры СС и СК МТУСИ, Москва, Россия,

mihstep@yandex.ru

Степанов Сергей Николаевич,

д.т.н., заведующий кафедрой СС и СК МТУСИ, Москва, Россия,

stpnsrg@gmail.com

Журко Анна Михайловна,

аспирант кафедры СС и СК МТУСИ, Москва, Россия,

hazhurko@yandex.ru

Повышение клиентского опыта или уровня удовлетворенности клиентов было и остается важным элементом стратегии роста для всех ключевых мировых компаний. Для этой цели используются самые разные инструменты и процессы. Современные технологические решения, такие как аналитика “больших данных” (Big Data Analytics) и появление чат-ботов (виртуальных помощников), позволяют использовать информацию о клиентах для получения прогнозов о будущем состоянии рынка. Их успешное внедрение и эффективное использование помогает бизнесу достичь новых уровней удовлетворенности клиентов и повысить значимость своего бренда. Однако опыт компаний-лидеров говорит о том, что полагаться исключительно на технологии не стоит – должен быть баланс между автоматизацией и инвестициями в человеческие ресурсы.

Исследование, проведенное журналом MIT Technology Review при поддержке Genesys [2], показало, что компании-лидеры индустрии при взаимодействии с клиентами посредством контакт-центров умеют грамотно сочетать средства самообслуживания и “живых” операторов, не считая первых полноценной заменой вторым. Порядка 60% респондентов, опрошенных по данному вопросу, считают, что у них оптимальное соотношение традиционных и автоматизированных каналов коммуникации с клиентами. Для компаний-аутсайдеров, согласно данным того же отчета, значение этого показателя ниже более чем в два раза.

Планирование оптимального соотношения между операторами и средствами самообслуживания невозможно без предварительного анализа с использованием математических моделей. Но зачастую подобные модели имеют достаточно сложный вид и их численный расчет довольно затруднен [3]. В таких случаях следует прибегать к оценке характеристик обслуживания вызовов с помощью приближенных методов. Рассмотрим математическую модель контакт-центра, в которой процедура обслуживания состоит из трех этапов – система IVR, операторы первой линии, отвечающие на общие вопросы, и операторы второй линии, разделенные на группы в соответствии с их компетенциями. Данная модель основана на результатах [1, 4-6, 8, 9] и позволяет как учитывать отмеченные выше особенности обслуживания вызовов, так и проводить расчеты характеристик в широком диапазоне изменения входных параметров.

Функционирование модели определяется следующими правилами. В контакт-центр поступает поток вызовов, подчиняющийся пуассоновскому закону с интенсивностью λ . После попадания вызова в систему IVR, состоящую из N обслуживающих устройств, существует три варианта развития событий:

1. Клиент получает всю необходимую информацию и покидает систему. Среднее время обслуживания имеет экспоненциальное распределение с параметром α_1 .

2. Клиент получает отказ в обслуживании из-за отсутствия свободных обслуживающих устройств (возможность повторения вызова в модели не предусмотрена).

3. Клиенту требуется дополнительная информация.

В последнем случае вызов с вероятностью p маршрутизируется на следующий этап обслуживания, и события снова осуществляются по одному из трех вариантов:

1. Вызов попадает к одному из U операторов первой линии, клиент получает всю необходимую информацию и покидает систему. Среднее время обслуживания имеет экспоненциальное распределение с параметром α_1 .

2. Клиент получает отказ в обслуживании и становится на ожидание, длительность которого ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение с параметром σ .

3. Клиенту требуется дополнительная информация.

В последнем случае вызов с вероятностью p_k маршрутизируется на третий этап обслуживания, где возможны следующие варианты развития событий.

1. Вызов попадает к оператору второй линии в одну из k групп, где $k = 1, \dots, m$. Среднее время обслуживания имеет экспоненциальное распределение с параметром α_k , где $k = 1, \dots, m$.

2. Клиент получает отказ в обслуживании и становится на ожидание, длительность которого ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение с параметром σ_k , где $k = 1, \dots, m$.

Введем компоненты случайного процесса $r(t)$, описывающего динамику изменения во времени состояний модели. Через $i(t)$ обозначим число занятых в момент времени t обслуживающих устройств IVR, через $l(t)$ обозначим число занятых в момент времени t операторов первой линии и мест ожидания их освобождения, через $l_k(t)$ обозначим число занятых в момент времени t консультантов из k -й группы и мест ожидания их освобождения, $k = 1, 2, \dots, m$. Таким образом, динамика изменения состояний модели в зависимости от момента времени t описывается случайным процессом

$$r(t) = (i(t), l(t), l_1(t), \dots, l_m(t)),$$

определенном на пространстве состояний S . Построенный процесс будет марковским поскольку все случайные величины, определяющие длительности времени пребывания модели в различных состояниях, имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга так же как и вероятности перехода из состояния в состояние. Обозначим через $P(i, l, l_1, \dots, l_m)$ вероятности стационарных состояний модели. Они имеют интерпретацию доли времени пребывания модели в состоянии (i, l, l_1, \dots, l_m) .

В дальнейшем планируется использовать данную модель, а также рассчитанные с её использованием показатели эффективности контакт-центра, для построения и анализа характеристик работы справочно-информационных служб с увеличенным числом групп операторов, более сложными процессами маршрутизации вызовов между этапами обслуживания или учетом влияния повторных вызовов [6]. К основным показателям, которые представляют интерес, можно отнести: число обслуживающих устройств IVR, число операторов первой и второй линий, число мест ожидания, длительности интервала времени, ограничивающего максимально возможное время пребывания на ожидании и т.д.

Предложенная модель относится к классу структурно-сложных, поскольку одновременно рассматривает три этапа обслуживания заявок в контакт-центре и к тому же учитывает для заблокированного вызова возможности повторения запроса и ожидания начала обслуживания. Подобная детальность анализа усложняет модель и сказывается на увеличении времени счета, особенно, в случаях больших значений структурных параметров. Поэтому для приближенной оценки характеристик рассматриваемой модели рекомендуется использовать метод декомпозиции. В данном случае последовательность блоков логичнее выбрать из последова-

тельности этапов обслуживания вызовов. Влияние отдельных функциональных блоков друг на друга учитывается введением поправочных коэффициентов, которые находятся из результатов измерений или специальных соотношений.

Литература

1. *Stollenz R., Helber S.* Performance analysis of an inbound call center with skill-based routing // OR Spectrum. 2004, pp. 331-352.
2. Getting to Iconic. How world-leading brands balance talent and technology for CX excellence. MIT Technology Review, 2017.
3. *Гольшико А.В., Степанов С.Н., Тихвинский В.О., Тереньтьев С.В.* Экспертно-аналитическая система для исследования инновационных решений на телекоммуникационном рынке // Электросвязь. № 7. 2007. С. 32-36.
4. *Степанов М.С.* Оценка характеристик работы контакт-центра с использованием итерационных методов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Том 6. №7. С. 188-192.
5. *Степанов М.С.* Обобщенная модель контакт-центра и частные случаи ее использования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Том 7. №7. С. 126-130.
6. *Степанов М.С.* Планирование числа операторов и линий доступа в современных контакт-центрах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том 8. №7. С. 89-91.
7. *Степанов С.Н.* Интегральные соотношения равновесия для неполнодоступной системы с повторными попытками и их применение // Проблемы передачи информации. 1980. Т.16. Вып.4. С. 88-93.
8. *Степанов С.Н., Степанов М.С.* Построение и анализ обобщенной модели контакт-центра // Автоматика и телемеханика. 2014. № 11. С. 55-69.
9. *Степанов С.Н., Степанов М.С.* Алгоритмы оценки показателей пропускной способности обобщенной модели контакт-центра // Автоматика и телемеханика. 2016. № 7. С. 86-102.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ С ДИНАМИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА В СЕТЯХ IMS/LTE

Степанов Сергей Николаевич,

Московский Университет Связи и Информатики (МТУСИ), заведующий кафедрой сетей связи и систем коммутации, д.т.н.,
Москва, Россия

stpnsvrg@gmail.com

Васильев Александр Протальонович,

Московский Университет Связи и Информатики (МТУСИ), аспирант кафедры сетей связи и систем коммутации,
Москва, Россия

apvasil@yandex.ru

Ключевые слова: мультисервисные модели, LTE/IMS, динамическое распределение ресурса, групповое поступление запросов, система уравнений равновесия.

Развитие и появление новых технологий передачи данных в сетях сотовой связи, а также разработка новых телекоммуникационных приложений приводят к необходимости более эффективного использования имеющегося канального ресурса. По мнению экспертов компании Cisco Systems лавинообразный рост числа пользователей мобильной связи, «умных» устройств, мобильного видео и сетей 4G в ближайшие пять лет приведет к восьмикратному увеличению мобильного трафика. Мобильное видео выйдет на первое место по темпам роста среди всех мобильных приложений. К 2020 году на соединения 4G будет приходиться более 70% всего мобильного трафика, а ежемесячный объем почти в шесть раз превысит трафик соединений всех других типов.

Трафик мультисервисных сетей неоднороден и носит пачечный характер. Особенно это относится к трафику сетей доступа. Поэтому операторам связи необходимо контролировать трафик на границах сетевых уровней, четко понимать его объемы, определять пиковые значения нагрузки. Неравномерность трафика приводит к неэффективному использованию ресурса, большим очередям, что требует от операторов связи дополнительных объемов каналов и вызывает большие задержки при обслуживании трафика в коммутаторах. Целью оператора связи является более эффективное использование ограниченного канального ресурса. Для реализации поставленной цели необходимо проводить анализ трафика и разрабатывать математические модели, пригодные для определения размеров очередей в системах и характеристик качества обслуживания [1].

В сетях подвижной сотовой связи, канальный ресурс является ограниченным ресурсом. Динамическое распределение ресурса осуществляется планировщиком на eNodeB. В стандартах 3GPP, относящихся к технологии LTE, не определены алгоритмы распределения ресурса передачи информации, поэтому каждый разработчик может применять собственные инновационные алгоритмы и процедуры эффективного распределения канального ресурса. Разрабатываемые и уже существующие алгоритмы, такие как MSR (Maximum Sum Rate), FA (Fairness algorithm), PF (Proportional Fairness) [2], основаны на идее динамического распределения ресурса передачи информации. Наиболее близок к равномерному распределению канального ресурса, алгоритм пропорционального справедливого распределения обслуживания (Proportional Fair Scheduling). Суть его работы состоит в том, что БС сравнивает отношение сигнал-шум от принимаемой пользовательской станции, который передается в параметре CQI (Channel Quality Indicator) и подстраи-

вает скорость. При использовании алгоритма Proportional Fair Scheduling скорость у всех пользователей будет одинаковой.

С развитием сетей LTE операторы стали предоставлять услуги передачи голосового трафика через сеть LTE/IMS (Voice over LTE). Для соблюдения параметров QoS (Quality of Service) при использовании большого количества сервисов, на участке между eNodeB и UE, каждому потоку приписывается QCI идентификатор QoS класса (QoS Class Identifier, QCI), которые описаны в 3GPP TS 36.300, TS 23.401, TS 23.203 [3].

В сетях связи данные всегда буферизируются, так как допускаются задержки в передаче информации. Это позволяет уменьшать потери во время пиковых нагрузок и улучшить характеристики качества обслуживания. Этот принцип используется в сетях LTE, где буферизация пакетов данных осуществляется в нисходящем направлении. Как правило, доступная скорость передачи по радиоканалу меньше, чем скорость передачи по сетевому интерфейсу (S1) между eNodeB и MME. В случае, когда входных данных больше, чем возможно передать в данный момент по радиоканалу, эти данные будут накапливаться в буферах eNodeB. Математическая модель с динамическим распределением канального ресурса при групповом поступлении запросов на передачу данных рассматривалась в [4-5]. В данной работе будет рассматриваться модель, учитывающая передачу мультисервисного трафика.

Пусть C скорость передачи информации в бит/с, предоставляемая радиоинтерфейсом базовой станции. Обозначим через r минимальную требуемую скорость, необходимую для обработки поступающих запросов соответствующих потоков трафика. Значение C делится нацело на r . Пусть $v = \frac{C}{r}$ количество единиц ресурса. В анализируемой модели, рассматривается процесс совместного обслуживания двух потоков запросов на передачу трафика в режиме реального времени и один поток запросов на передачу эластичного трафика данных.

Предположим, что запросы на передачу трафика реального времени подчиняются закону Пуассона с интенсивностью λ_1 и λ_2 . Для обслуживания одного запроса используются b_1 , b_2 единиц канального ресурса соответственно. Поступающий пуассоновский поток отдельных групп запросов на передачу данных имеет интенсивность λ_d .

С вероятностью f_k поступившая группа содержит k запросов на передачу файлов, $k = 1, 2, \dots, S$ [6-7].

Для удобства записи последующих формул будем считать, что $S = v + w$, тогда индекс k для f_k меняется от 1 до $v + w$. В силу сделанных предположений, поступившая группа запросов не бывает пустой, общее число запросов в группе не превосходит $v + w$, и выполняется соотношение

$$\sum_{k=1}^{v+w} f_k = 1$$

. Обозначим через F – средний объем передаваемого файла, выраженный в битах. Число мест для ожидания ограничено емкостью буфера и равно w . Обозначим через T максимально допустимое время пребывания одного запроса на ожидании при передаче данных. Если после прошествии этого времени запрос не попал на обслуживание, то он покидает систему и считается потерянным. Будем предполагать, что величина T имеет экспоненциальное распределение с параметром σ [8]. Время обслуживания одного запроса с использованием одной канальной единицы имеет экспоненциальное распределение с параметром $\mu_a = \frac{r}{F}$.

Обозначим через $l_1(t), l_2(t)$ количество запросов на передачу трафика реального времени, обслуживаемых в момент времени t , а через $d(t)$ обозначим количество запросов на передачу данных, которые обслуживаются в момент времени t . Динамика изменения во времени общего количества запросов в анализируемой системе подчиняется марковскому процессу $r(t) = (l_1(t), l_2(t), d(t))$, принимающему значения конечном пространстве состояний S , куда входят состояния модели (l_1, l_2, d) с компонентами l_1, l_2, d , принимающими значения

$$l_1 = 0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{v}{b_1} \right\rfloor; l_2 = 0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{v}{b_2} \right\rfloor; d = 0, 1, \dots, v + w - l_1 b_1 - l_2 b_2.$$

Обозначим через $P(l_1, l_2, d)$ значения стационарных вероятностей состояний $(l_1, l_2, d) \in S$. Их можно интерпретировать как часть времени, в течение которого модель остается в состоянии (l_1, l_2, d) . Эта интерпретация дает возможность использовать значения $P(l_1, l_2, d)$ для оценки основных показателей эффективности модели [9-10].

Процесс обслуживания трафика в режиме реального времени будет характеризоваться долей времени, когда имеющегося свободного ресурса недостаточно для обслуживания поступившего запроса, средним числом единиц ресурса, занятого на обслуживание трафика реального времени и средним числом таких запросов, находящихся на обслуживании. В рамках построенной модели, введенные показатели производительности могут быть найдены после суммирования вероятностей стационарных состояний по соответствующим подмножествам S . Для эластичного трафика данных качество обслуживания будем оценивать долей потерянных запросов на передачу данных, средним числом единиц ресурса, занятых эластичным трафиком данных, средним числом таких запросов, находящихся на обслуживании и ожидании, средним числом единиц ресурса, используемых для обслуживания одного запроса на передачу данных и средним временем передачи данных.

Поскольку динамика изменения состояния числа обслуживаемых заявок описывается марковским случайным процессом, то введенные характеристики можно найти, если известны значения доли времени $P(l_1, l_2, d)$ пребывания модели в состоянии (l_1, l_2, d) . Для вычисления значений $P(l_1, l_2, d)$ необходимо составить систему уравнений статистического равновесия, которую можно решить итерационным методом Гаусса-Зейделя.

В результате проведенного исследования построена модель совместного обслуживания трафика реального времени и эластичного трафика данных в сети стандарта LTE. В рамках построенной модели сформулированы определения для оценки основных характеристик качества совместного обслуживания поступающих заявок через значения стационарных вероятностей состояний модели. Предложен алгоритм расчета введенных характеристик на основе решения системы уравнений статистического равновесия. Данная модель может использоваться для решения задачи оценки минимального ресурса передачи, необходимого для обслуживания известного объема трафика данных с заданным качеством, и оценки максимального объема трафика, который может быть передан имеющимся ресурсом с требуемым качеством.

Литература

1. Sami Tabbane. IoT Network Planning // Developing the ICT ecosystem to harness IoTs, Bangkok, Thailand, 2016. 208 p.
2. Yaser Barayan., Ivica Kostanic. Performance Evaluation of Proportional Fairness Scheduling in LTE / Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. 2013. Vol II. WCECS 2013, pp. 712-717.
3. 3GPP TS 36-Series, www.3gpp.org/dynareport/36-series.htm
4. Васильев А.П., Степанов С.Н. Построение и анализ математической модели с динамическим распределением канального ресурса при групповом поступлении запросов на передачу данных // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. №11. С. 55-59.
5. Васильев А.П., Степанов С.Н. Построение и анализ математической модели с ожиданием и динамическим распределением канального ресурса при групповом поступлении запросов на передачу данных и использовании буфера // Научные исследования Земли. 2017. Т. 9. №4. С. 6-12.
6. Степанов С.Н. Модель обслуживания трафика сервисов реального времени и данных с динамически изменяемой скоростью передачи // Автоматика и телемеханика. 2010. №1. С. 18-33.
7. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. I // Автоматика и телемеханика. 2011. №4. С. 121-132.
8. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. II // Автоматика и телемеханика. 2011. №5. С. 139-147.
9. Степанов С.Н., Степанов М.С. Планирование ресурса передачи при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных // Автоматика и телемеханика. 2017. № 11. С. 79-93.
10. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия Телеком, 2015. 868 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО УЗЛА ДОСТУПА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ТРАФИКА ПАКЕТА УСЛУГ TRIPLE PLAY

Тучин Артем Евгеньевич,
кафедра ИСС МФТИ, Москва, Россия,
tuchin5@yandex.ru

Динамический способ разделения канального ресурса систем связи, зависящий от свойств передаваемого трафика, позволяет значительно повысить его загрузку [1, 3-8]. Таким образом провайдеры телекоммуникационных услуг имеют возможность обслуживать большее количество клиентов, но при этом не уменьшать заявленный уровень качества обслуживания. В нынешних условиях актуальность исследований моделей с динамическим распределением ресурса увеличивается в связи с увеличением количества трафика, передаваемого по сети Интернет, а также с целью эффективного использования всего ресурса сервис провайдера. Пакет услуг Triple Play предполагает наличие в системе трёх типов трафика в сети – трафики типа “голос” и “видео”, требующие постоянной неизменяющейся скорости передачи, а также трафик типа “файлы”, скорость передачи которого может меняться в зависимости от заявленного уровня обслуживания.

Основными показателями качества обслуживания трафика данных являются доля потерянных заявок и среднее время пересылки информационного сообщения. Используя значения этих характеристик можно оценить объем ресурса передачи, необходимый для обслуживания известного объема трафика данных с заданным качеством, либо оценить максимальный объем трафика, который может быть передан имеющимся ресурсом с требуемыми показателями. Значения рассмотренных характеристик существенно зависят от свойств поступающего трафика, в частности, от количества абонентов, которые формируют трафик реального времени, и от наличия места в ресурсе системы для обслуживания заявок.

Для решения сформулированных задач необходимо построить математическую модель распределения ресурса, учитывающую перечисленные особенности поступления и обслуживания информационных сообщений, и на ее основе разработать алгоритмы оценки показателей качества передачи эластичного трафика данных. Решение этих задач будет рассмотрено на примере анализа процесса обслуживания трафика мультисервисным узлом доступа из сети фиксированной связи, где при передаче данных используется принцип динамического распределения ресурса. Заявки на передачу трафика будем делить на два типа: заявки на передачу трафика сервисов реального времени и заявки на передачу файлов, скорость которых может меняться.

Пусть C – скорость линии, выраженная в битах в секунду. Это ресурс линии, предоставляемый в общее пользование абонентам; C_r – скорость передачи информации трафика реального времени типа “голос”, требуемая для обслуживания данного типа заявки; C_d – скорость передачи информации трафика реального времени типа “видео”, необходимая для обслуживания соответствующей заявки. Скорость передачи файлов v не может быть ниже значения C_1 , обусловленная заявленным уровнем обслуживания каждого абонента, а также не может быть больше значения C_2 . В

модели рассматривается ситуация с поступлением заявок на обслуживание трафика сервисов реального времени, а также заявок на передачу данных. Будем считать, что заявки на обслуживание трафика реального времени типа “видео” поступают по распределению Энгсета. Введём максимальное количество обслуживаемых абонентов данного типа трафика – n . Время обслуживания каждой заявки имеет экспоненциальное распределение с параметром γ . Также на вход в систему поступает пуассоновский поток на передачу трафика типа “голос” с интенсивностью λ и пуассоновский поток заявок на передачу файлов с интенсивностью μ . Будем предполагать, что объём передаваемого файла имеет экспоненциальное распределение с средним значением F , выраженным в битах. Если на момент поступления заявки на обслуживание в системе нет возможности выделить ресурс, эта заявка получает отказ в обслуживании, и она покидает систему.

Обозначим через $S = \{(i, j, k) \in S, ic_r + jc_d + kc_1 \leq C, j \leq n\}$ пространство состояний исследуемой модели. Их изменение с течением времени описывается случайным процессом $\xi(t) = (i(t), j(t), k(t))$, где $i(t)$ – число запросов на передачу трафика реального времени типа “голос”, находящихся на обслуживании в момент времени t , $j(t)$ – число запросов на передачу трафика реального времени типа “видео”, находящихся на обслуживании в момент времени t , а $k(t)$ – число запросов на передачу файлов, находящихся на обслуживании в момент времени t . Поскольку все случайные величины, используемые при построении модели имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга, то случайный процесс, описывающий функционирование модели обладает марковским свойством [3]. Пусть $r(i, j, k)$ – стационарная вероятность состояния (i, j, k) . Приведенная интерпретация позволяет определить, а затем и рассчитать основные показатели качества совместного обслуживания поступающих запросов. Поскольку число состояний конечно и из каждого состояния можно попасть в любое другое за конечное число шагов, то для процесса $\xi(t)$ существует стационарный режим.

После того, как определено пространство состояний исследуемой модели, можно описать процесс поступления заявки на обслуживание. Если в систему поступает запрос на обслуживание трафика типа “голос”, требующий выделение ресурса объёма C_r , и при это выполняется неравенство $ic_r + jc_d + kc_1 + C_r \leq C$, то заявка принимается на обслуживание, в ином случае клиент получает отказ в обслуживании. Если в систему поступает запрос на обслуживание трафика типа “видео”, требующий выделение ресурса объёма C_d , и при это выполняется неравенство $ic_r + jc_d + kc_1 + C_d \leq C$, то заявка принимается на обслуживание, в ином случае клиент получает отказ в обслуживании. Если в систему поступает

запрос на передачу файлов, требующий минимально ресурс объема C_1 , и при это выполняется неравенство $ic_r + jc_d + kc_1 + c_1 \leq C$, то заявка принимается на обслуживание, в ином случае клиент получает отказ в обслуживании. После того, как заявка принята на обслуживание, происходит перераспределение ресурсов между эластичным трафиком и трафиком реального времени с целью оптимизации используемых ресурсов.

Качество обслуживания поступающего запроса на передачу файла оценим средним временем пересылки файла. Значение этой характеристики определим с помощью формулы Литгла после вычисления среднего числа запросов, находящихся в системе. Другой важной характеристикой работы системы является доля потерянных запросов. Она формируется из запросов, получивших отказа из-за ограниченности сетевого ресурса.

Поскольку динамика изменения состояния системы описывается марковским случайным процессом, то введенные характеристики можно найти, если известны значения доли времени $p(i, j, k)$ пребывания модели в состоянии $s(i, j, k)$. Для вычисления значений $p(i, j, k)$ необходимо составить и решить систему уравнений статистического равновесия.

В результате проведенного исследования построена математическая модель обслуживания эластичного трафика и трафиков реального времени мультисервисным узлом доступа из сети фиксированной связи; сформулированы определения характеристик качества обслуживания поступающих запросов на передачу файлов; построен рекурсивный алгоритм оценки значений $p(i, j, k)$; проведен численный анализ зависимости характеристик от особенностей формирования и обслуживания запросов и значений входных параметров; сформулированы рекомендации по практическому использованию полученных результатов, в частности, для оценки минимального ресурса передачи, необходимого для обслуживания известного объема трафика данных с задан-

ным качеством, и оценки максимального объема трафика, который может быть передан имеющимся ресурсом с требуемыми показателями.

Литература

1. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М: Горячая линия – Телеком, 2015. 868 с.
2. Donald T., Virtamo J. A recursive formula for multirate systems with elastic traffic // IEEE Communications Letters. 2005. Vol. 9, pp. 753-755.
3. Stasiak M., Glabowski M., Wisniewski A., Zwierzykowski P. Modelling and dimensioning of mobile network: from GSM to LTE. John Wiley & Sons Ltd, 2011. 315 p.
4. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. I // Автоматика и телемеханика. 2011. № 4. С. 121-132.
5. Степанов С.Н. Модель совместного обслуживания трафика сервисов реального времени и данных. II // Автоматика и телемеханика. 2011. № 5. С. 139-147.
6. Степанов С.Н. Модель обслуживания трафика сервисов реального времени и данных с динамически изменяемой скоростью передачи // Автоматика и телемеханика. 2010. № 1. С. 18-33.
7. Степанов С.Н., Пестерев А.А. Разработка и анализ модели совместного обслуживания трафика реального времени и данных в сетях 3GPP // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 7. С. 122-125.
8. Степанов С.Н., Романов А.М. Моделирование особенностей обслуживания трафика реального времени от конечных групп пользователей и трафика данных с динамически изменяемой скоростью передачи на линиях доступа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том. 8. № 12. С. 91-94.
9. Степанов С.Н., Степанов М.С. Планирование ресурса передачи при совместном обслуживании мультисервисного трафика реального времени и эластичного трафика данных // Автоматика и телемеханика. 2017. № 11. С. 79-93.
10. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз. 2010. 392 с.

КОНТРОЛЬ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕНОРМИРОВАННЫХ МОДУЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ШУМА

Абрамов Валентин Александрович,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
vabramov44@mail.ru

Попов Олег Борисович,
к.т.н., профессор, МТУСИ, Москва, Россия,
olegp45@yandex.ru

Терехов Алексей Николаевич,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
a.n.terekhov@mtuci.ru

Люкина Елена Валерьевна,
аспирант, МТУСИ, Москва, Россия,
smetianta@gmail.com

Существенной проблемой мегаполисов стало не только ухудшение состояния воздуха, воды и почвы, но и загрязнение антропогенными физическими полями – электромагнитными, радиационными и акустическими. Акустические шумы, от различных источников, содержат как случайные, так и квазипериодические звуковые колебания. Такими являются прежде всего звуки от автотранспорта, а также разнообразные производственные и бытовые шумы.

Отрицательное воздействие шумов на психофизиологию человека является одной из причин роста количества больных и психически неустойчивых людей, наркомании, пьянства, преступности, что приводит к экономическим потерям [1].

Особенностью загрязнения мегаполиса шумами является то, что они содержат, в том числе, низкие и инфранизкие частоты, соответствующие биоритмам органов тела и мозга человека. Это приводит к негативным последствиям при длительном пребывании человека в такой звуковой среде. Инфранизкие частоты в шумах обладают большой проникающей способностью, поэтому защититься от них даже в жилых и производственных помещениях оказывается затруднительно. На содержание инфранизких частот в шумах до настоящего времени отсутствуют какие-либо нормативные документы. Исследование параметров городских шумов показало также, что негативные влияния на человека оказывают резкие изменения амплитуды (атаки), модуляционные характеристики шумов, а также присутствие в них периодических составляющих [1].

До настоящего времени контроль акустических загрязнений осуществляется без учета их специфики – обычными шумомерами, которые измеряют мощность, как правило психофотометрическую, шума [2, 3]. Восприятие модулированного, внятного, акустического шума, осуществляется человеком с большей чувствительностью и с негативными последствиями.

При воздействии шума от нескольких источников, а именно такая обстановка складывается в большинстве случаев, возникает явление интерференции и взаимной модуляции. И если воздействие инфразвука, в том числе на биоритмы человека, исследовано, хотя и не оценивается в существующих приборах, то влияние модуляционных параметров шума, определяемых колебанием его амплитудной огибаю-

щей и доминирующей мгновенной частоты, до настоящего времени при анализе его воздействия не учитывалось [3]. Выявление параметров модуляции, должно производиться с высокой точностью.

До настоящего времени не принимается во внимание особенность воздействия на человека скорости изменения мгновенной частоты и огибающей шума (атаки), а также количество этих атак в единицу времени. Из теории звуковосприятия информационных сигналов известно, что в информационном отношении для слуха человека наиболее ценны именно атаки, так как они определяют узнаваемость сигнала, его информационное содержание, а также его психоэмоциональное и физиологическое воздействие. Шумы с упомянутыми характеристиками особенно опасны по своему психофизиологическому воздействию на человека и потому требуют особого внимания и адекватных методов и средств контроля.

При длительном мониторинге шума возникает задача распознавания источника для последующей юридической идентификации, что позволит разработать рекомендации по оптимизации режима работы предприятий с производствами использующими неустраняемые источники шума и определить виновника компенсационных выплат.

Существующие методы и приборы позволяют оценивать следующие нормированные характеристики шумов [3]: усредненные спектральные характеристики шума; распределение мощности шума по времени; мощностные. Используется также нормирование предельно допустимых значений в виде дозиметров, которые контролируют: уровень шума за большие промежутки времени; статистические распределения шума по уровню; непостоянные шумы, которые эквивалентны по воздействию на человека постоянным шумам (эквивалентные уровни шума).

Кроме контроля нормированных параметров шума, выявлена необходимость, контроля также таких его ненормированных параметров как: мощности дискретизированного шумового сигнала и перепадов этой мощности, в том числе на коротких временных интервалах; крутизны нарастания и спада огибающей шумового процесса; ритмических (отбойный молоток, или шум проносающихся машин) и инфразвуковых составляющих; точного спектрального анализа особенно в зоне частот прямого воздействия на организм; сте-

пени гармонической связанности компонент шума.

Разработка алгоритмов формирования оценок перечисленных параметров стало возможным с использованием комплексного представления сигнала, что позволило сформировать аналитическую огибающую и мгновенную частоту шума [6].

Разработанный на кафедре ТиЗВ МТУСИ высокоточный метод формирования ортогонального сигнала из исходного широкополосного акустического сигнала открывают возможности для применения его в задачах контроля параметров городских шумов.

На кафедре ТиЗВ МТУСИ разработаны алгоритмы позволяющие контролировать такие информативные параметры шума как [6, 7]:

- Относительную среднюю мощность (ОСМ) и ее первую производную дОСМ, позволяющую не только оценивать громкость (или энергию) шумового сигнала и ее перепады, но и эмоциональное воздействие шума на человека по шкале торможение – возбуждение [5];

- Крутизну интервалов нарастания и спада огибающей шума, т.е. атаки в шумовом сигнале, которые в значительной степени характеризуют спектральный состав шума, а спады характеризуют акустическую обстановку в местах воздействия шума. Крутизна огибающей – это отношение разности максимального и минимального уровней огибающей на интервале нарастания (спада) к длительности этого нарастания (спада) огибающей [4, 10];

- Ритмические и инфранизкочастотные компоненты шумов, которые могут приводить к самым разным и в том числе негативным, воздействиям на человеческий организм и его психику [4];

- Спектральные параметры шума, контролируемые с точностью, приближенной к точности периферического слухового анализатора человека, что позволяет контролировать частоты, оказывающие прямое воздействие на организм в диапазоне до 200 Гц [6];

- Кепстральные параметры шумового сигнала, которые позволяют выявить соотношение шумовых и периодических (гармонических) составляющих в шуме, выявить основной тон, если он присутствует на оси частот и его смещения в процессе развития во времени [4];

- Модуляционные характеристики шума по амплитуде и частоте [4].

Результаты работы, направленные на разработку новых методов и алгоритмов контроля шумовых сигналов на основе измерения как нормированных, так и ненормированных в настоящее время параметров шумов, позволили разработать программное обеспечение (ПО) для формирования оценок ненормированных параметров шума [8, 9]. Разработанное ПО должно быть использовано для повышения экологической безопасности и комфортности городской среды, повышения уровня физиологического и психического здоровья населения, а также улучшения условий проживания, снижения утомляемости и депрессивности, поднятия производительности труда, а также коммерческой оценки стоимости жилья в зависимости от уровня акустического комфорта.

Внедрение предлагаемого метода, алгоритмов и разработанного на кафедре ТиЗВ МТУСИ программного обеспечения по распознаванию различных источников шума открывает

возможности для его контроля и записи на протяжении длительного времени, в том числе с целью его последующей юридической идентификации, что будет способствовать улучшению юридического сопровождения претензий населения и городской администрации к нарушителям шумового режима и позволит разработать рекомендации по оптимизации режима работы предприятий с производствами использующими неустранимые источники шума.

Использование разработанного ПО непосредственно населением позволит сделать процесс контроля шумовой обстановки повсеместным, а сведение результатов такого массового контроля в единую информационную базу позволит осуществить постоянный мониторинг за шумовым загрязнением городской среды.

Литература

1. Павлова Ю.А., Морозов Ю.А. Анализ причин снижения экологической безопасности и комфортности городской среды вследствие воздействия городских шумов на население / XVI Международный форум «Медико-экологическая безопасность реабилитация и социальная защита населения. Тезисы докладов. Москва, 2004. С. 35-38.

2. Павлова Ю.А., Абрамов В.А., Копылов А.М., Рысин Ю.С. Варианты систем контроля городского шума. 6-я Международная научно-техническая конференция. Перспективные технологии в средствах передачи. Владимир, 2005. С. 268-269.

3. ГОСТ 23 33 7-78* "Шум. Методы измерения на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий", М.: Стандарт, 1978; Санитарных норм СН 2.2.4./2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки.

4. Попов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка и измерения сигналов в трактах звукового вещания. М.: Инсвязиздат, 2010. 292 с.

5. Абрамов В.А., Попов О.Б., Рихтер С.Г. Патент № 2458340, БИ № 10 от 10.04.2012 Способ измерения мгновенных и средних значений абсолютной и относительной мощности акустических сигналов и устройство для его осуществления.

6. Абрамов В.А., Попов О.Б. Патент RU 2573248 С2, БИ №2 от 20.01.2016. Способ измерения спектра информационных акустических сигналов телерадиовещания и устройство для его осуществления.

7. Абрамов В.А., Попов О.Б., Черников К.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617341 Дата гос. Регистрации 09.08.2013. Точный спектральный анализ звукового сигнала «Spectran».

8. Абрамов В.А., Ожидихин Г.М., Попов О.Б., Черников К.В., Малов А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616645 Дата гос. Регистрации 15.07.2013. Анализ параметров сигналов звукового вещания «ESTIM».

9. Абрамов В.А., Малов А.В., Попов О.Б., Черников К.В. Прогнозирование качества передачи сигнала вещания по короткому реальному звуковому сигналу // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. №2. С. 19-22.

10. Попов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 201100 (210405)-"Радиосвязь, радиовещания и телевидение" и 201200 (210402)-"Средства связи с подвижными объектами" направления подготовки дипломированных специалистов 654400-"Телекоммуникации". Москва, 2007.

УСТРАНЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ИЗ ЦИФРОВОГО ВИДЕОСИГНАЛА В ПРИКЛАДНОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БПЛА

Балобанов Андрей Владимирович,
к.т.н., доц. каф. ТуЗВ, МТУСИ, Москва, Россия,
andrey_sam@mail.ru

Балобанов Владимир Григорьевич,
к.т.н., доц. каф. РРТ, ПГУТИ, Самара, Россия,
balobanov33@mail.ru

Рассматривается способ сжатия цифрового потока видеосигнала в телевизионном канале связи при управлении беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), использующий психофизические особенности человеческого зрения, которые позволяют, не усложняя аппаратуру, добиться получения более высоких результатов визуального качества изображения и в тоже время не требуют большой задержки и вычислительной сложности. Предусматривается деление полей на группы. В группе есть поля 3-х типов: О-поля, играющие роль опорных; четные N-поля, кодируемые путем предсказания на основе предыдущего поля в пределах одного кадра; нечетные М-поля, кодируемые с предсказанием на основе предыдущего нечетного поля из другого кадра. Предлагаются методы, повышающие эффективность сжатия цифрового потока в телевизионном канале связи [5, 6].

Для управления современными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) может использоваться целый комплекс бортового оборудования: видеокамеры, ультразвуковые или лазерные дальномеры, альтиметры, гироскопы, датчик системы спутниковой навигации и т.д. Особое внимание следует уделить сигналу изображения, получаемому с видеокамеры, последующей его обработке и передаче оператору. Кодер должен удовлетворят нескольким противоречащим друг другу требованиям: малая задержка и высокая степень сжатия сигнала изображения, низкие вычислительная сложность метода сжатия и энергопотребление при реализации.

Резервы для уменьшения цифрового потока без ущерба качеству воспроизводимого изображения заключены в специфике ТВ сигнала, обладающего значительной информационной избыточностью, которую условно делят на пространственную (внутрикадровую), психофизическую (межкадровую) [1, 3]. Следует также отметить, что резких границ здесь нет. Психофизическая избыточность связана с временной и пространственной избыточностями.

Наиболее известными стандартами сжатия изображений являются MPEG-2, MPEG-4, H-264, H-265 [2, 3]. Но у указанных стандартов при использовании для управления БПЛА есть один недостаток – либо высокая степень компрессии видеосигнала, за счет использования межкадрового сжатия, компенсации движения, что означает увеличение времени задержки при кодировании, либо уменьшение степени сжатия, за счет использования только внутрикадрового сжатия, из-за чего повышаются требования к пропусканию канала связи.

В разработанном методе несколько иной порядок кодирования при сжатии цифрового потока (рис.1). Последовательность полей (но не кадров) делится на группы. В группе есть поля 3-х типов:

– О-поля – изображения, играющие роль опорных при восстановлении других изображений. Предсказание для них не формируется, используют внутриполевое кодирование;

– N-четные поля – изображения, кодируемые путём предсказания на основе предыдущего поля в пределах одно-

го кадра, используют межполевое кодирование, в результате которого образуется межстрочная разность двух соседних строк нечётного и чётного полей;

– М-нечётные поля – кодируемые с предсказанием на основе предыдущего нечётного поля из другого кадра.

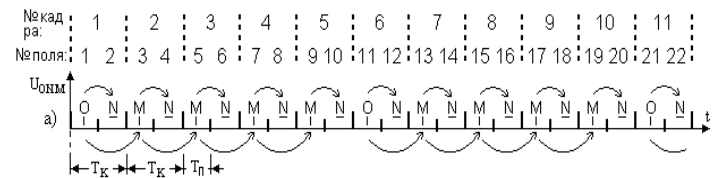


Рис. 1. Порядок следования кадров в цифровом потоке в разработанном методе сжатия

Буквами на рис. 1 обозначается их тип, а цифрами 1, 2, 3, ... – порядок поступления их на вход кодера. В группе 10 полей (5 кадров). Начинается группа с изображением типа О, подвергается только внутриполевого компрессии. В изображении полей N- и M-типа устраняется как пространственная, так и временная избыточность. Число полей (кадров) в группе может быть иным, чем это представлено на рис.1. Стрелки на рис. 1 определяют порядок предсказания: для N – в пределах одного кадра, и M – в пределах 2-х соседних кадров для нечётных полей.

Изображения N-полей содержат в основном тонкие горизонтальные линии разной протяженности (низкочастотные составляющие). При движении в изображениях N-полей появляются ВЧ-составляющие.

Изображения M-полей содержат в основном высокочастотные составляющие, отражают межкадровую разность в пределах нечётных полей соседних кадров. Здесь НЧ-составляющие появляются при резкой смене сюжетов.

При передаче малоподвижных объектов в изображениях M-полей сигнал практически равен нулю, а сигнал от N-полей отличен от нуля. ВЧ-составляющие в N-полях появляются от передачи наклонных линий. Для дополнительного сокращения цифрового потока осуществим двойное прореживание (децимацию) сигналов от N-полей. Эта операция правомерна и не ухудшает качество изображения, так как частота дискретизации для N-полей слишком велика. Расположение отсчетов для N-полей расположим в шахматном порядке, что значительно повышает визуальную межэлементную связь по вертикали. В декодирующем устройстве проведем обратную операцию – интерполяцию, восстанавливая потерянную информацию. Подобные операции положены в основу сокращения цифрового потока в вейвлет-преобразованиях в НЧ- и ВЧ-каналах.

Операции прореживания отсчетов (в шахматном порядке) и интерполяции можно провести также и для сигналов от M-полей. В декодирующем устройстве восстановление пропущенных отсчетов осуществляется путем использования одномерного цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой.

В результате проведенных преобразований цифровой поток в N-полях дополнительно уменьшается примерно в 4 раза, а в M-полях – в два раза.

Как и в стандарте MPEG в системе сжатия применяется энтропийное кодирование и определение векторов движения в M-полях. В N-полях компенсацию движения можно не учитывать, так как они расположены в тех же кадрах что и O- и M-поля.

Наиболее предпочтительной схемой кодирующего устройства системы ONM является схема, изображенные на рис. 2, где прореживание отсчетов осуществляется до ДКП. Более высокая эффективность сжатия здесь объясняется более сильной связью между элементами в блоке, чем между коэффициентами ДКП.

В декодирующем устройстве все преобразования выполняются в обратном порядке: декодирование кодов переменной длины (декодирование энтропийного кода), деквантование, обратное ДКП (ДКП⁻¹) и восстанавливается исходная последовательность полей с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ).

Более подробно работа и устройство декодера рассмотрены в работе [5]. Здесь, так же и в кодирующем устройстве, возможны и другие варианты построения видеodeкодера.

то путем прореживания этих сигналов, получим дополнительное сжатие цифрового потока.

Выводы

1. Предлагаемая система ONM компрессии видеоданных, используя внутри- и межполевое кодирование, имеет хорошие перспективы применения при управлении БПЛА. Система реализуема в основном на цифровых сигнальных процессорах или ПЛИС, обеспечивает высокое качество изображения при сравнительно более простой её реализации.

2. Известные способы сжатия цифрового потока MPEG-2, MPEG-4, вейвлет-преобразование сложнее предложенного способа в смысле технической реализации, поэтому ограничены в своем применении.

3. Дополнительное прореживание отсчетов в рассмотренном случае повышает эффективность системы в сокращении цифрового потока более чем в 2 раза.

4. Значительно более сильные, чем в прототипе, корреляционные связи между сравниваемыми элементами обеспечивают эффективное устранение избыточности из телевизионных сообщений и делают систему перспективной при ее модернизации.

5. Преимуществом описанного устройства является улучшение качества изображения при относительно более простой схемной его реализации.

6. При необходимости система сжатия цифрового потока по предлагаемому способу легко переходит в режим работы «опорного кадра», когда передается последовательность полей, состоящая из кадров: (O, N), (N, O), (O,N),..., то есть поля O и N в каждом кадре меняются местами. В результате произведенной перестановки полей визуальная четкость изображения повышается. Все кадры визуально воспроизводятся с качеством изображения опорного кадра (виртуального).

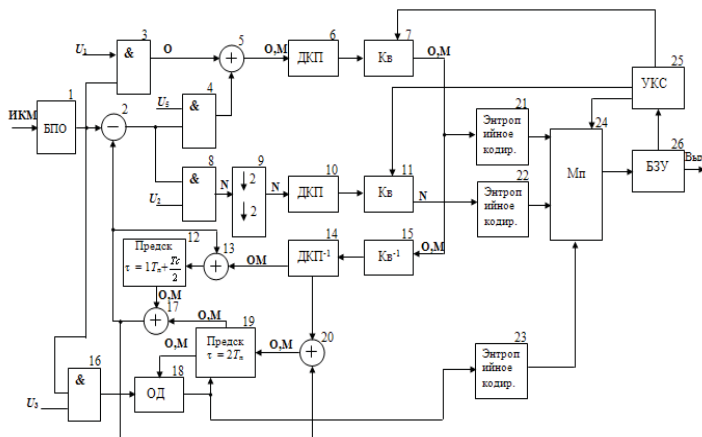


Рис. 2. Кодирующее устройство

В рассмотренной системе для улучшения качества изображения можно периодически менять местами опорное O-поле с N-полем в каждой второй группе полей. После декодирования сигналов порядок следования полей восстанавливается. При воспроизведении опорные O-поля будут появляться как в четных так и в нечетных полях. То есть мы получаем визуально полноценный опорный кадр с более высоким качеством изображения, чем остальные.

В рассмотренной системе опорный кадр состоит из 2-x полей: в первом поле – сжатие цифрового потока происходит с использованием ДКП и энтропийного кодирования, во 2-м поле – межполевое кодирование (образуется межстрочная разность между четными и нечетными строками раstra). Цифровой поток разностных сигналов затем дополнительно сжимается с использованием дискретно-косинусного преобразования и последующего квантования. Если учесть, что разностный сигнал содержит в основном НЧ составляющие,

Литература

1. Безруков В.Н., Балобанов В.Г. Системы цифрового вещательного и прикладного телевидения. Учебное пособие / Под ред. проф. Безрукова В.Н. М.: Гор. Линия – Телеком, 2015, 600с.
2. Балобанов А.В., Балобанов В.Г., Безруков В.Н. Сжатие цифрового потока видеосигнала в телевизионном канале связи // ИКТ. Т.12, №3, 2013. С. 60-64.
3. Балобанов В.Г., Безруков В.Н., Балобанов А.В. Способ сжатия цифрового потока в телевизионном канале связи. Патент на изобретение № 2467499.Бюлл. №32, 2012.
4. Катаев С.И., Хромой Б.П., Безруков В.Н., Балобанов В.Г. Способ передачи двух программ черно-белого телевидения. Авторское свидетельство № 301875. Бюллетень изобретений № 14, 1971.
5. Безруков В.Н., Балобанов А.В., Балобанов В.Г., Кодирующее и декодирующее устройства системы сжатия цифрового потока видеоданных // ИКТ. Т.13, №2, 2015. С. 190-196.
6. Ричардсон Ян. Видеокодирование. Н. 264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения / Перевод с английского В.В Чепыжева. М.: Техносфера, 2005. 368 с.

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПРИКЛАДНОМ И ВЕЩАТЕЛЬНОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ

Балобанов Андрей Владимирович,

к.т.н., доц. каф. ТуЗВ, МТУСИ, Москва, Россия,
andrey_sam@mail.ru

Кладкова Александра Евгеньевна,

магистрант каф. ТуЗВ, МТУСИ, Москва, Россия,
kladkovaee@gmail.com

В современных системах прикладного и вещательного телевидения при увеличении разрешения большую роль играет правильное масштабирование изображения. При этом часто имеет значение низкая вычислительная сложность и энергопотребление при реализации используемых методов. Рассмотрен алгоритм масштабирования изображения, оптимизируемый для использования при управлении беспилотными летательными аппаратами или для работы в абонентской приставке. Масштабирование позволяет увеличивать разрешение изображения для вышеуказанных применений и, соответственно, смотреть видео с более высоким качеством.

В данном случае речь идет об увеличении разрешения изображения и в работе под «восстановленными» пикселями имеются ввиду рассчитанные пиксели, которых не хватало, для удвоения разрешения.

Размер изображения может быть изменён несколькими способами. Простейшим способом удвоения разрешения является метод «ближайшего соседа», который заключается в копировании пиксела и замене каждый пикселя четырьмя пикселями того же цвета. Данный метод требует минимальных вычислительных ресурсов, но при этом изображение, сохраняя детали оригинала, приобретает нежелательный «лестничный эффект», особенно заметный на наклонных линиях.

Следующий по эффективности метод билинейной интерполяции обеспечивает некоторое сохранение гладкости контуров рисунка, но иногда вызывает нежелательные эффекты сглаживания деталей.

Метод бикубической интерполяции является более эффективным, но требует намного большей вычислительной сложности и, соответственно, более требователен к машинным ресурсам. Также возрастает количество операций необходимых для восстановления одного пикселя и вычисления могут происходить не в реальном масштабе времени, что неприемлемо для практического применения, где задержки недопустимы. Поэтому в основу разрабатываемого метода положен принцип билинейной интерполяции [1-3].

Каждый кадр видео задается матрицей пикселей размером $m \times n$, который преобразуется в кадр размерами $2m \times 2n$. Схематичное изображение исходного и полученного в результате обработки кадра с удвоенным по горизонтали и вертикали разрешением представлено на рис. 1. Кружками обозначены пиксели исходного кадра, треугольниками – пиксели восстанавливаемые в первую очередь на основе исходных, а квадратами – во вторую, на основе исходных и восстановленных в первую очередь пикселей.

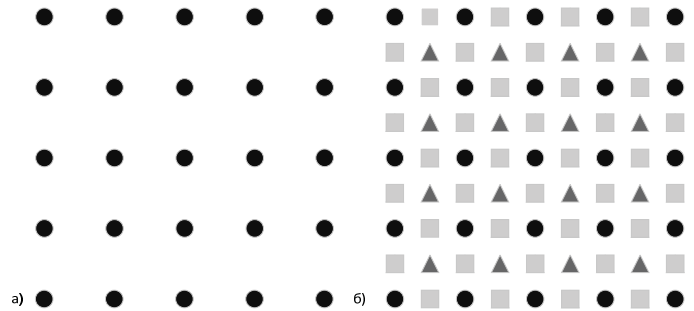


Рис. 1. Представление исходного кадра (а) и кадра с увеличенным в 2 раза разрешением (б)

Каждый пиксель матрицы кадра представлен тремя значениями – интенсивностью красного (R), зеленого (G) и синего (B) цветов. Вначале производится перевод сигнала в цветовую модель YCrCb, где Y – яркостной, а Cb, Cr цветоразностные сигналы, в соответствии с соотношениями:

$$\begin{aligned} Y &= (0.257 * R) + (0.504 * G) + (0.098 * B) + 16 \\ Cb &= -(0.148 * R) - (0.291 * G) + (0.439 * B) + 128 \\ Cr &= (0.439 * R) - (0.368 * G) - (0.071 * B) + 128 \end{aligned} \quad (1)$$

Восстановление пикселей яркостной составляющей сигнала (Y) производится в два этапа [4,5]. Первоначально восстанавливаются пиксели, находящиеся в по диагонали по отношению к исходным. Вначале производится сравнение приращений значений яркостей в главной диагонали слева и справа от восстанавливаемого пикселя (рисунок 2а):

$$\begin{aligned} \Delta D11 &= |P_{x-2y-2} - P_{x-1y-1}| \\ \Delta D22 &= |P_{x+2y+2} - P_{x+1y+1}| \end{aligned} \quad (2)$$

В случае, если $\Delta D11 < \Delta D22$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего левого пикселя (P_{x-1y-1}), если $\Delta D11 > \Delta D22$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего правого пикселя (P_{x+1y+1}), то есть производится экстраполяция значения в главной диагонали. Если $\Delta D11 = \Delta D22$, то производится сравнение приращений значений яркостей в побочной диагонали слева и справа от восстанавливаемого пикселя:

$$\begin{aligned} \Delta D12 &= |P_{x+2y-2} - P_{x+1y-1}| \\ \Delta D21 &= |P_{x-2y+2} - P_{x-1y+1}| \end{aligned} \quad (3)$$

В случае, если $\Delta D12 < \Delta D21$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего левого пикселя (P_{x+1y-1}), если $\Delta D12 > \Delta D21$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего правого пикселя (P_{x-1y+1}), то есть производится экстраполяция значения в побочной диагонали. Если $\Delta D12 = \Delta D21$, то значение яркости пикселя получается путем интерполяции яркости 4 соседних исходных пикселей:

$$\frac{P_{x-1,y-1} + P_{x+1,y-1} + P_{x-1,y+1} + P_{x+1,y+1}}{4} \quad (4)$$

Восстановление недостающих пикселей в горизонтальном (строках) и вертикальном (столбцах) направлениях происходит вторым этапом. В горизонтальном направлении сравнение для возможности применения экстраполяции происходит вначале по строкам (рисунок 2б):

$$\begin{aligned} \Delta L1 &= |P_{x-2,y} - P_{x-1,y}| \\ \Delta L2 &= |P_{x+2,y} - P_{x+1,y}| \end{aligned} \quad (5)$$

В случае, если $\Delta L1 < \Delta L2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего левого пикселя ($P_{x-1,y}$), если $\Delta L1 > \Delta L2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего правого пикселя ($P_{x+1,y}$). Если $\Delta L1 = \Delta L2$, то производится сравнение приращений значений яркостей в вертикальном направлении от восстанавливаемого пикселя:

$$\begin{aligned} \Delta C1 &= |P_{xy-2} - P_{xy-1}| \\ \Delta C2 &= |P_{xy+2} - P_{xy+1}| \end{aligned} \quad (6)$$

В случае, если $\Delta C1 < \Delta C2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего верхнего пикселя (P_{xy-1}), если $\Delta C1 > \Delta C2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего нижнего пикселя (P_{xy+1}). Если $\Delta C1 = \Delta C2$, то значение яркости пикселя получается путем интерполяции яркости 2 соседних исходных пикселей по горизонтали и 2 соседних восстановленных пикселей по вертикали:

$$\frac{P_{x-1,y} + P_{x+1,y} + P_{xy-1} + P_{xy+1}}{4} \quad (7)$$

В вертикальном направлении сравнение для возможности применения экстраполяции происходит вначале в столбцах и рассчитывается по формуле 6 (рис. 2в). В случае, если $\Delta C1 < \Delta C2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего верхнего пикселя (P_{xy-1}), если

$\Delta C1 > \Delta C2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего нижнего пикселя (P_{xy+1}). Если $\Delta C1 = \Delta C2$, то производится сравнение приращений значений яркостей в горизонтальном направлении от восстанавливаемого пикселя и рассчитывается по формуле 5. В случае, если $\Delta L1 < \Delta L2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего верхнего пикселя ($P_{x-1,y}$), если $\Delta L1 > \Delta L2$, восстанавливаемый пиксель принимает значение ближайшего нижнего пикселя ($P_{x+1,y}$). Если $\Delta L1 = \Delta L2$, то значение яркости пикселя получается путем интерполяции яркости 2 соседних исходных пикселей по вертикали и 2 соседних восстановленных пикселей по горизонтали и рассчитывается по формуле 4.

Кроме яркостного сигнала необходимо произвести восстановление цветоразностных составляющих [6]. В зависимости от использования формата дискретизации возможны следующие варианты:

- если используется формат дискретизации 4:4:4, то цветоразностные составляющие предлагается восстанавливать по тем же самым формулам 2-7;
- если используется формат дискретизации 4:2:2, то цветоразностные составляющие предлагается восстанавливать в горизонтальном направлении по формулам 5-7, а в вертикальном направлении дублированием горизонтальных составляющих;
- если используется формат дискретизации 4:2:0, то цветоразностные составляющие предлагается восстанавливать яркостной составляющей во всех направлениях (рис. 3).

Дублирование цветоразностных составляющих при использовании форматов дискретизации 4:2:2 и 4:2:0 позволяет увеличить быстродействие работы алгоритма и обеспечивает высокое качество передаваемого сигнала, так как, основываясь на особенностях зрения человека, глаз в большей степени реагирует на изменение яркости сигнала и в меньшей – на цветовую составляющую.

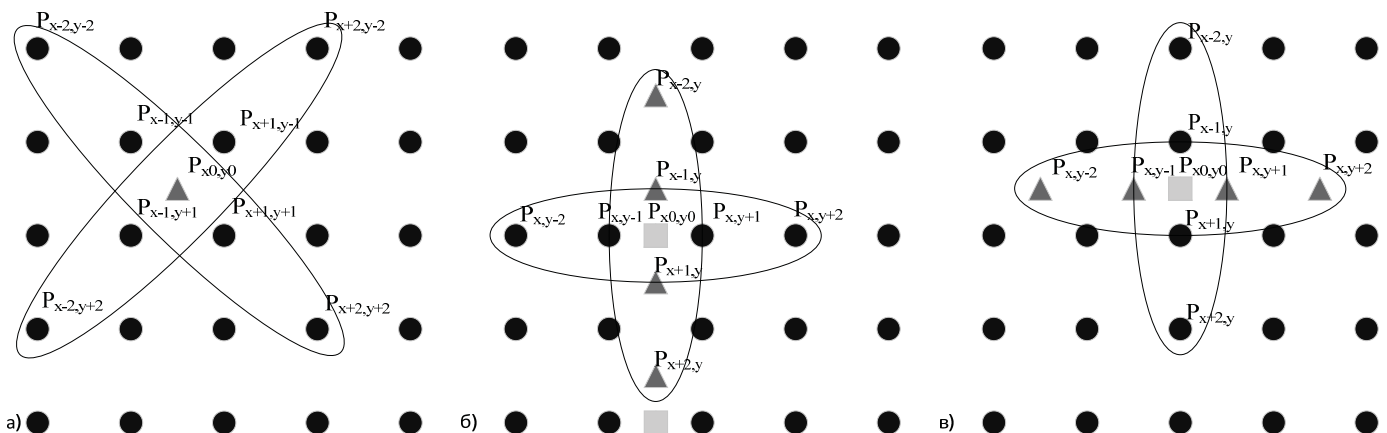


Рис. 2. Восстановление пикселей яркостной составляющей сигнала в диагональном направлении (а), в горизонтальном направлении (б), в вертикальном направлении (в)

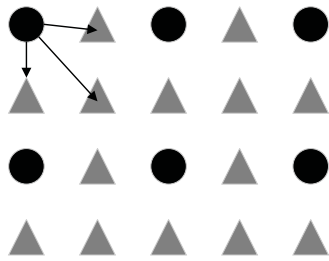


Рис. 3. Восстановление цветоразностных сигналов

Перед непосредственным выводом кадра на монитор, происходит обратное преобразование сигнала из модели YCrCb обратно в цветовую модель RGB, в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} R &= 1.164 * (Y - 16) + 1.596 * (V - 128) \\ G &= 1.164 * (Y - 16) - 0.391 * (U - 128) - 0.813 * (V - 128) \\ B &= 1.164 * (Y - 16) + 2.018 * (U - 128) \end{aligned} \quad (8)$$



а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Исходное изображение (а) и его увеличенный фрагмент (б) и восстановленное по предложенному методу изображение (в) и его увеличенный фрагмент (г)

Предложенный метод повышения разрешения изображений промоделирован в среде MATLAB.

На рисунке 4 представлено исходное изображение (а) и его увеличенный фрагмент (б) и восстановленное по предложенному методу изображение (в) и его увеличенный фрагмент (г).

Выводы

1. Разработанный метод позволяет повысить разрешение изображения в два раза по горизонтали и вертикали без существенных искажений.

2. Анализ межстрочных изменений сигнала ТВ изображений в вертикальном направлении в области предшествующей интерполируемому пикселю и в последующей области обеспечивает возможность конкретизации весовых соотношений в процессе преобразования ТВ сигнала, отражающих горизонтально ориентированные границы в пространственной структуре изображений подвижных объектов.

Литература

1. Безруков В.Н., Балобанов А.В., Власюк И.В. Пат. 2454822 Российская Федерация, МПК7 H04N 9/00. Способ преобразования сигнала телевизионного изображения и устройство для его осуществления. / Патентообладатель ФГБОУ ВО МТУСИ. Оpubл. 27.06.2012. Бюл.№18. 9 с.
2. Балобанов А.В., Балобанов В.Г. Устранение искажений, возникающих при преобразовании чересстрочной развертки в построчную в цифровом телевидении // Инфокоммуникационные технологии. 2017. Т. 15. № 1. С. 85-91.
3. Безруков В.Н., Балобанов А.В., Власюк И.В. Нелинейные искажения формирования сигналов изображений в системах телевидения // Электросвязь. 2012. № 6. С. 12-15.
4. Балобанов А.В., Власюк И.В., Комаров П.Ю. Коррекция пространственных искажений сигнала изображения в системах цифрового телевидения // Инфокоммуникационные технологии. 2006. Т. 4. №4. С. 69-73.
5. Балобанов А.В., Гайворонский Д.В., Гребенюк О.В. Особенности структуры внутрикадровой дискретизации сигналов изображений в системах телевидения / Международная научно-техническая конференция «INTERMATIC-2012». М.: МИРЭА, 2012. С. 29-34.
6. Балобанов А.В. Цифровые методы формирования и преобразования сигналов цветовых составляющих из черно-белых изображений // Инфокоммуникационные технологии. 2011. Т. 9. № 4. С. 81-86.

СВЕРХМИНИАТЮРНЫЕ ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ АНТЕННЫ ТРЕТЬЕГО ТИПА

Белянский Владимир Борисович,

к.ф.-м.н., доцент, Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия,
belyanskyv@gmail.com

Сперанский Валентин Сергеевич,

к.т.н., профессор, Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия,
speranskyv@yandex.ru

Пронина Евгения Дмитриевна,

аспирантка, Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия,
jane19912007@yandex.ru

Широкодиапазонные системы радиосвязи являются востребованными и весьма перспективными системами особенно в системах подвижной связи, в робототехнике, в системах роботов стайного поведения. При этом, в ряде случаев, определяющим являются малые габариты широкодиапазонных антенн с высоким КПД. Габариты диапазонных антенн ограничены пределом Чу-Харрингтона-Фано [3]. Однако, в последнее время показано, что предел Чу-Харрингтона-Фано может быть преодолен [4, 5]. Антенны, преодолевающие этот предел, могут быть выполнены на основе логопериодических или квазилогопериодических рамочных или вибраторных антенн [2] с рамками или вибраторами уменьшенных размеров, резонансы которых восстанавливаются соответственно емкостными или индуктивными сосредоточенными элементами. Восстановление эффекта отсечки логопериодической структуры за резонансными элементами предлагается использованием частотнозависимых изоляторов, прозрачных в некотором диапазоне частот и/или прозрачных на низкочастотном участке рабочего диапазона. Такие антенны предложено называть сверхминиатюрными широкодиапазонными антеннами первого или второго типа. Здесь следует отметить, что для этих антенн предел Чу-Харрингтона является важным индикатором резкого усложнения конструкции при габаритах антенн, приближающихся к пределу Чу-Харрингтона-Фано или преодолевающих его [7, 8]. В связи с этой особенностью рассматриваемых антенн и в связи с тем, что частотнозависимые изоляторы хотя и являются теоретически реализуемыми, но в настоящее время не разработаны, то весьма целесообразно продолжить работу по упрощению конструкции сверхминиатюрных широкодиапазонных антенн (США).

Основной трудностью в реализации США является необходимость использования большого числа элементов в антенной решетке. Уменьшить число элементов можно, используя элементы решетки с пониженной добротностью. Обычно в таких случаях для вибраторных антенн используют вибраторы с повышенным диаметром плеч, причем повышение диаметра реализуется в форме системы проводов, являющимися образующими цилиндра (антенна Надененко – л1). Однако, строгим электродинамическим расчетом показано, что вибраторы, плечи которых реализованы в виде системы двух параллельных проводов, имеют добротность близкую к добротности вибраторов, плечи которых выполнены из цилиндров с диаметром, равным расстоянию между указанными выше параллельными проводами (см. рис. 1). На рисунке 1:

1 – вибраторы уменьшенной добротности;
2 – настроечные сосредоточенные индуктивные элементы;
3 – распределительный фидер.

В любом случае, такая система позволяет вдвое уменьшить количество надстроечных сосредоточенных элементов.

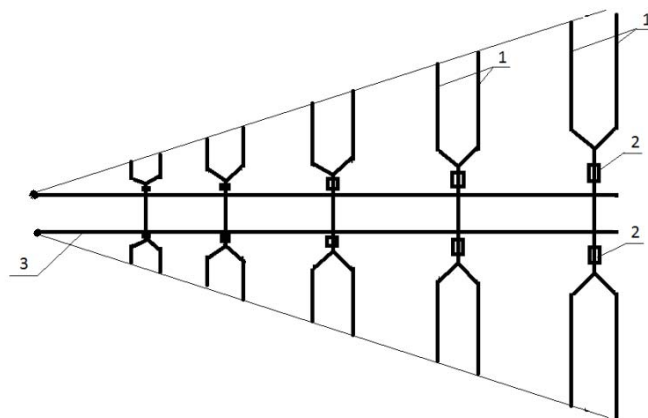


Рис. 1. Вибраторная логопериодическая антенна с элементами уменьшенной добротности

Следующим фактором, облегчающим реализацию США, является оптимизация геометрии логопериодической структуры. Очевидно, что плоская логопериодическая антенна должна максимально использовать площадь круга радиуса a , где a – радиус воображаемой сферы, охватывающей антенну. Следовательно, логопериодическая антенна должна иметь максимальную длину L и максимальную длину плеч l_0 , определяемые соотношениями (см. рис. 2):

$$L = \frac{3}{2} a, \quad (1a)$$

$$l_0 = \frac{\sqrt{5}}{2} a. \quad (16)$$

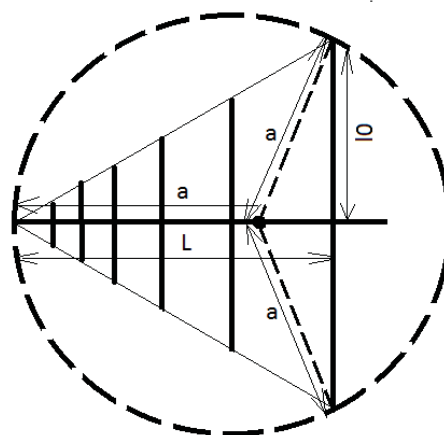


Рис. 2. Оптимальные размеры сверхминиатюрной широкодиапазонной логопериодической антенны

Следующий проблемный фактор – использование частотнозависимых изоляторов. Данную проблему можно ис-

ключить, отказавшись от наличия нескольких элементов в активной зоне логопериодической антенны и допустив небольшое снижение значения КПД. В этом случае расстояние между элементами в антенной решетке можно увеличить таким образом, чтобы соблюдалось условие:

$$1 - \tau = \frac{1}{Q} \quad (2)$$

где τ – геометрический параметр логопериодической антенны (см. л2); Q – добротность уединенного элемента антенной решетки.

При соблюдении условия (2) будет почти обеспечиваться возбуждение единственного вибратора, резонанс которого наиболее близок к частоте возбуждающего сигнала, и, таким образом, эффект отсечки будет обеспечиваться автоматически.

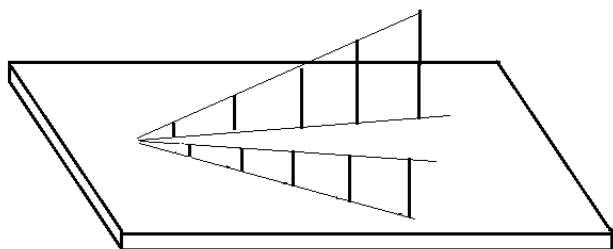


Рис. 3. Решетка из двух логопериодических антенн

Недостатком предлагаемого режима работы антенны является то, что на частотах, удаленных от резонансных частот, КСВ антенны будет иметь повышенное значение. Если это неприемлемо, то можно использовать решетку из N логопериодических антенн (см. рис.3), отличающихся друг от друга масштабными коэффициентами k_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Масштабный коэффициент $i = 1$ соответствует логопериодической антенне-прототипу. Любой размер l любой i -той антенны отличается от соответствующего размера антенны-прототипа масштабным коэффициентом k_i :

$$l_i = l_1 k_i \quad (3)$$

Выбор масштабных коэффициентов определяется характером спектра коэффициента отражения по входу антенны. При почти равномерном спектре целесообразно выбрать

$$k_i = \tau^{\frac{i-1}{N}} \quad (4)$$

На рисунке 4 в качестве примера приведена частотная зависимость КСВ сверхминиатюрной широкодиапазонной логопериодической антенны с $\tau = 0,995$ и решетки из двух таких антенн с масштабными коэффициентами $k_1 = 1$ и $k_2 = \sqrt{\tau}$. Из рисунка видно, что использование решетки логопериодических антенн позволяет существенно снизить КСВ системы.

Сверхминиатюрные антенны описанного выше типа предлагается называть сверхминиатюрными антеннами третьего типа. В общем случае использование антенн третьего типа позволяет существенно упростить и удешевить конструкцию сверхминиатюрных антенн, так как исключает использование частотнозависимых изоляторов и уменьшает число излучающих элементов в антенной решетке. Однако может оказаться целесообразным сочетание использования частотнозависимых изоляторов и соблюдение условия $1 - \tau = \frac{1}{Q}$. Нами разработаны простые в реализации

корректирующие частотнозависимые изоляторы, позволяющие уменьшить число элементов в антенной решетке при одновременном снижении значения КСВ антенны по входу.

Поэтому, в дальнейшем стоит продолжить исследование сверхминиатюрных антенн всех трех типов, а также выполнить поиск путей реализации частотнозависимых изоляторов.

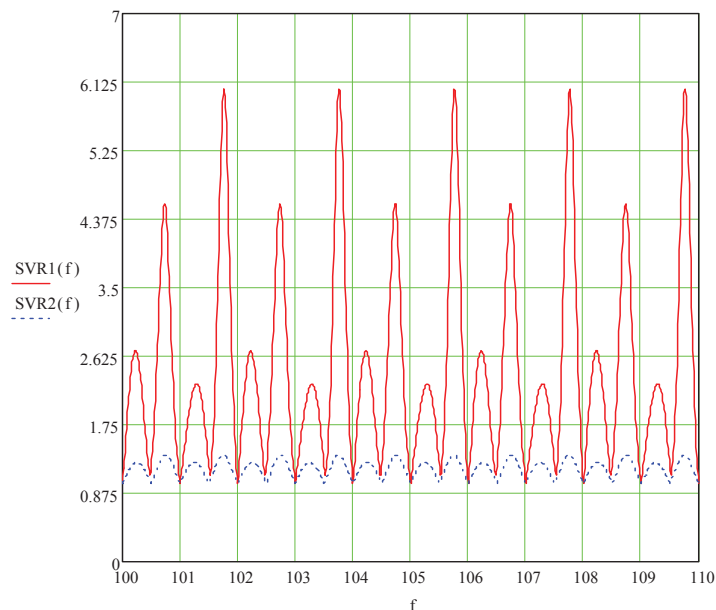


Рис. 4. Частотная зависимость КСВ при использовании одной США (SVR1) и при использовании решетки из двух таких антенн (SVR2)

Выводы

1. Использование оптимальной геометрии логопериодической антенны позволяет преодолеть предел Чу-Харрингтона-Фано без использования частотнозависимых изоляторов.
2. Использование масштабных коэффициентов решетки логопериодических антенн может позволить существенно снизить КСВ антенной системы по входу.

Литература

1. Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. М.: Горячая линия – Телеком, 2004.
2. Сверхширокополосные антенны. Сборник под ред. Л.С. Бененсона. М.: Мир, 1964.
3. Chu L.J. Physical limitations of omni-directional antennas. // Journal of Applied Physics. №19, December, 1948.
4. Белянский В.Б. Возможно ли преодолеть предел Чу-Харрингтона? // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2013. №8. С. 24-27.
5. Белянский В.Б., Пронина Е.Д. Широкодиапазонные антенны первого типа, преодолевающие предел Чу-Харрингтона-Фано // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. №4. С. 48-53.
6. Белянский В.Б., Прошин А.Б., Худяков К.Н. Антенны ДВ, СВ и КВ диапазонов цифрового звукового вещания уменьшенных габаритов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2013. №8. С. 28-29.
7. Белянский В.Б., Пронина Е.Д. Малогабаритные передающие антенны длинноволнового диапазона цифрового стандарта радиовещания // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики / Материалы VIII-ой Международной молодежной научно-практической конференции, 2015. С. 226-229.
8. Белянский В.Б., Кочержевский В.Г., Худяков К.Н. О критерии миниатюризации антенн // Труды Московского Технического Университета Связи и Информатики, 2008. Том 2.

СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ МЕДИАДАННЫХ

Быков Виктор Викторович,

к.т.н., доцент кафедры ТиЗВ МТУСИ, Москва, Россия

mtuci@mtuci.ru

На всех этапах технологического процесса формирования ТВ-программ (съемка, монтаж, перекодирование, вещание и архивное хранение) всегда присутствуют системы записи, хранения и выдачи медиainформации. В работе любой телевизионной компании очень важно уменьшение возможности потери отснятого видеоматериала и снижение стоимости производства. Это зависит, в частности, от выбора системы накопления материала. Поэтому добиваются эффективного хранения и защиты контента с обеспечением совместного доступа к данным для нескольких пользователей [1, 2].

К устройствам хранения данных относятся - «флешки», оптические диски (CD, DVD), ленточные накопители, жесткие диски. Все большую популярность набирают «твердотельные» системы хранения SSD (Solid State Disk или Solid State Drive), которые по принципу действия подобны «флешкам» для цифрового фотоаппарата или смартфона, только имеют контроллер и больший объем хранимых данных [3].

Все более широко используются видеокамеры с памятью на SSD и оптических дисках. Существует мнение, что будущее всех систем хранения данных – твердотельные диски SSD (флеш-диски). Они позволяют поднять производительность и снизить время отклика при запросе материала [4].



Рис. 1. Камкордер 8С-В60А компании Sharp с 40-минутной записью на карту памяти видеосигнала с разрешением 8К

С ростом объемов данных увеличиваются требования к пропускной способности систем хранения, возрастают емкости для записи одного часа видеосигнала.

Таблица 1

Объем памяти при записи одного часа медиаматериала для современных стандартов, обеспечивающих разрешения 4К и 8К

Видеоформат	Объем памяти для записи часа материала
Full HD	720 Гб/час
Ultra HD-1 4К	5,4 Тб/час
Ultra HD-2 8К	14,4 Тб/час

Производство видео в ультравысоком разрешении, с высокой частотой кадров, большим динамическим диапазоном и высокой глубиной цвета требует значительно большей

емкости для хранения, чем видео в стандартном разрешении SD или HD.

Таблица 2

Емкости, необходимые для хранения одного часа видео с различными параметрами съемки [5]

Параметры стандарта	Емкость хранилища для одного часа видео
HDTV (1080p), 30fps, 10-bit RGB	895 Гб/час;
4K UHD-1, 60fps, 10-bit RGB	6.7 Тб/час;
8K UHD-2, 120fps, 12-bit RGB	64.5 Тб/час.

На один час законченного медиаматериала для ТВ-вещания требуется значительно больше времени для съемки. Результаты опроса телевизионных операторов и режиссеров эти данные представлены в таблице (2016 год) [6].

Таблица 3

Необходимое время для съемки на 1 час медиаматериала

Число опрошенных специалистов, %	Необходимое время для съемки на 1 час готового медиаматериала, часы
44	2-5
26	6-10
16	11-50
3	более 100

Автоматизированные комплексы вещания часто выполняются на базе централизованной системы хранения данных. Такие комплексы имеют сетевую инфраструктуру, которая может иметь в своей основе или одну, или несколько сетевых технологий (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Fibre Channel) [7].

Литература

1. *J. Honeycutt.* Making the business case for the media industry transition to IP. *Business of television. Broadcast and cable.* CISCO, 2015.
2. *J. Careless.* The Business Case for the Media Industry Transition to IT/IP. *Business of television. Broadcast and cable.* CISCO, 2015.
3. *O. Peters.* Evolution of Storage Solutions: What Matters Now in Media Management. *TVTechnology*, November, 2017.
4. *C. Johnston.* Sharp Introduces First 8K Camcorder. *TVTechnology*, December, 2017
5. *B. Петров.* 4К, UHD и выше: 5 советов по подготовке системы хранения видеоконтента. <https://tvkinoradio.ru/article/article11793-4uhd-i-vishe-5-sovetov-po-podgotovke-sistemi-hraneniya-videokontenta>. 2017.
6. *T. Coughlin.* Inexpensive Active Archiving and Storage in the Cloud for Media and Entertainment Workflows. *Coughlin Associates*, December 2016
7. *G. Boath.* To Cloud or Not To Cloud? Is That the Wrong Question? *TVTechnology*. September, 2017.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ СТАНДАРТА DRM С УЧЕТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ РАДИОШУМОВ

Варламов Олег Витальевич,
д.т.н., начальник отдела МТУСИ, Москва, Россия,
vov@mtuci.ru

Варламов Владимир Олегович,
МТУСИ, Москва, Россия,
f.vvo@bk.ru

Цифровое радиовещание стандарта DRM [1] в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ позволяет наиболее экономично обслуживать значительные по площади, малонаселенные и удаленные территории [2, 3, 4, 5] с заданным качеством [6]. Разработанные в [2] технологические решения позволяют использовать существующие на сети вещания антенно-мачтовые сооружения диапазонов НЧ и СЧ [7, 8] и радиопередающие устройства [9, 10]. Так же разработаны требования к приемным устройствам [11] и методики частотно-территориального планирования [12, 13, 14, 15]. В частности, показана необходимость учета уровней атмосферных радишумов для корректного расчета зоны обслуживания передатчика цифрового радиовещания (ЦРВ) [16]. Распределение максимальных уровней атмосферных радишумов в диапазонах НЧ и СЧ по территории Земли рассмотрено авторами в [17]. Разработанное в [17] программное обеспечение позволяет автоматизировать расчет распределения максимальных уровней атмосферных радишумов, превышаемых в течение 2% времени, для любой территории с отображением их на карте. Дальнейшее развитие данного ПО может позволить перейти к расчету зоны обслуживания передатчика.

Традиционно зона обслуживания аналоговых радиовещательных передатчиков диапазонов НЧ и СЧ определялась по заданной напряженности поля полезного сигнала с помощью кривых МСЭ (REC ITU-R P.368-9) или программного обеспечения различных производителей, использующих модуль расчета МСЭ "GRWAVE". При расчете зоны обслуживания передатчика ЦРВ необходимо оперировать не значением напряженности поля полезного сигнала, а отношением сигнал-шум, которое должно быть выше минимально необходимого значения для заданного режима помехоустойчивости DRM, с учетом вариаций напряженности поля полезного сигнала.

Для решения поставленной задачи представляется целесообразным дополнить разработанное авторами в [17] ПО модулем расчета МСЭ "GRWAVE". Данный модуль был перекомпилирован из свободно распространяемого МСЭ исходного кода для возможности использования его на современных 64-х разрядных ЭВМ. Поскольку модуль "GRWAVE" рассчитывает вектор зависимости изменения напряженности поля полезного сигнала от расстояния до передатчика, был реализован алгоритм пересчета полученных данных в координатную плоскость, сопряженную со структурой данных, рассчитываемых в [17] и отображаемых на карте в виде распределения атмосферного радишума. Это позволило рассчитать отношение сигнал шум для последующего отображения его в графическом виде в качестве зоны обслуживания передатчика.

Введение модуля расчета напряженности поля полезного сигнала потребовало дополнения графического интерфейса пользователя модулем ввода параметров передатчика, которые включают координаты передатчика, его мощность, а также диэлектрическую проницаемость и проводимость почвы в предполагаемой зоне обслуживания.

В качестве примера рассмотрим условное предполагаемое расположение передатчика в районе Южной Африки (Замбия) в точке с координатами 10° южной широты и 30° восточной долготы. Результаты расчета максимальных уровней атмосферных радишумов, превышаемых в течение 2% времени, приведены на рис. 1а. Как видно из рис. 1а, перепад уровней напряженностей атмосферного радишума в предполагаемой зоне обслуживания составляет более 6-ти дБ.

Результаты расчета напряженности поля полезного сигнала приведены на рис.1б. Естественно, что напряженность поля полезного сигнала уменьшается пропорционально расстоянию до передатчика независимо от направления. Рассчитанные же границы зоны обслуживания по заданному отношению сигнал-шум (рис.1в), по своей форме существенно отличаются от границ зоны обслуживания, которые могли быть получены из расчета напряженности поля полезного сигнала (рис.1б) при равномерном распределении атмосферных радишумов. Сравнивая рисунки 1 б) и в), легко видеть, что видимый эллипс зоны обслуживания развернут по часовой стрелке, что обусловлено неравномерностью распределения атмосферных радишумов в зоне обслуживания (рис.1а).

Приведенный пример показывает актуальность учета неравномерности распределения уровня атмосферных радишумов при расчете зоны обслуживания передатчика ЦРВ.

Разработанная процедура и ПО для определения зоны обслуживания передатчика с учетом атмосферных радишумов так же актуальна для расчета зон покрытия сетей передачи навигационных данных в направлении берег - судно (NAVDAT) [18], поскольку в тропических прибрежных зонах во многих случаях уровень радишумов имеет максимальные значения.

Дальнейшими направлениями исследований могут являться актуальная для крупных городов разработка процедуры совместного учета атмосферных и промышленных радишумов, имеющих различное распределение, а также разработка программного обеспечения для расчетов зон покрытия в крупно-кластерных одночастотных сетях ЦРВ, описанных в [2, 3], так как в пределах кластера с размерами, превышающими две тысячи километров, уровень атмосферного радишума может изменяться более чем на 10 дБ.

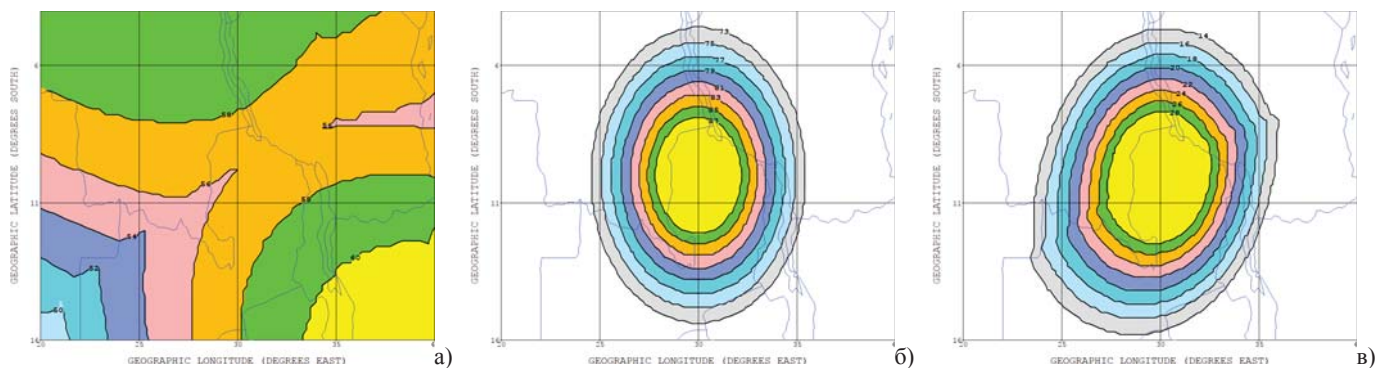


Рис. 1. а) результаты расчета максимальных уровней атмосферных радиощумов, превышаемых в течении 2% времени (дБмКВ/м); б) результаты расчета напряженности поля полезного сигнала (дБмКВ/м); в) результаты расчета отношения сигнал-шум (дБ)

Литература

1. Варламов О.В. Разработка отечественной нормативной базы цифрового радиовещания стандарта DRM // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 9. С. 47-50.
2. Варламов О.В. Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации. /Дисс. на соиск. ученой степени д.т.н. / Московский технический университет связи и информатики. Москва, 2017.
3. Варламов О.В. Способ организации глобальной сети цифрового радиовещания в диапазоне ДВ // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 5. С. 63-68.
4. Варламов О.В. Исследование цифрового радиовещания DRM в диапазоне СВ в зоне фединга // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 2. С. 41-45.
5. Варламов О.В. Использование необыкновенной волны для цифрового радиовещания DRM зенитным излучением // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 1. С. 32-38.
6. Варламов О.В. Качественные характеристики звукового тракта в системе DRM // Век качества. 2014. № 1. С. 48-52.
7. Варламов О.В. Разработка алгоритма и программных средств проектирования антенно-согласующих цепей цифровых радиовещательных передатчиков стандарта DRM // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. №2. С. 47-50.
8. Варламов О.В., Чугунов И.В. Расчет частотно-расширительной цепи для DRM передатчиков диапазонов ДВ и СВ. /Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2016611512 15.12.2015.
9. Варламов О.В., Лаврушенков В.Г. Критерии качества передающего устройства для стандарта DRM и измерительное оборудование // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2004. № 3. С. 44-48.
10. Иванюшкин Р.Ю., Варламов О.В., Сягаев А.К. Нелинейные искажения сигнала стандарта DRM в синтетических схемах линейного усиления // В сборнике: Обработка сигналов в системах наземной радиосвязи и оповещения Материалы XV межрегиональной научно-технической конференции. 2007. С. 301-310.
11. Варламов О.В. Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 39-42.
12. Варламов О.В. Особенности частотно-территориального планирования сетей радиовещания DRM диапазонов НЧ и СЧ // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 43-46.
13. Варламов О.В. Корректное планирование сетей DRM вещания // Электросвязь. 2014. № 6. С. 26-34.
14. Варламов О., Лаврушенков В., Козыревский Б., Калюга В. Уточнение отдельных величин защитных отношений для цифрового радиовещания стандарту DRM. Результаты лабораторных и эфирных измерений // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2006. № 5. С. 56-59.
15. Varlamov O.V. Analog to digital signal power ratio in simulcast DRM transmission // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. №12. С. 81-84.
16. Varlamov O. The radio noise effect on the coverage area of DRM broadcast transmitter in different regions // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т.9. № 2. С. 90-93.
17. Варламов О.В., Варламов В. О. Распределение максимальных уровней атмосферных радиощумов в диапазонах низких частот и средних частот по территории Земли // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 5. С. 42-51.
18. Варламов О.В. Применение стандарта DRM для передачи навигационных данных в направлении берег – судно // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2016. Т. 7. № 2. С. 15-16.

МЕТОДИКА И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВИДЕОКОДЕКОВ

Егоров Дмитрий Аркадиевич,
аспирант каф. ТуЗВ, МТУСИ, Москва, Россия
Tvs-mtuci@gmail.com

Федоров Владимир Дмитриевич
магистрант факультета РnТ, каф. ТуЗВ, МТУСИ, Москва, Россия
Erhardis@yandex.ru

Существующие на данный момент алгоритмы сжатия используют устранение избыточности видеоизображения, то есть используют сжатие данных с потерями, поэтому вопрос измерения качества полученного видеоизображения, является актуальным и важным. Основной целью большинства методов сжатия видео, является создание видео, которое по точности передачи визуальной информации приближается к исходному, одновременно обеспечивая минимальный размер файла. Однако, есть также несколько других факторов, которые можно использовать в качестве основы для сравнения. Например, в стандартах последнего поколения добавлена поддержка использования блоков 64×64 пикселей (избыточный для последовательностей высокого и сверх высокого разрешения, но не дающий значительных преимуществ на видео стандартного разрешения), улучшено предсказание векторов движения, и алгоритмов линейной экстраполяции пикселей во внутрикадровом пространстве, добавлен скользящий кадровый буфер, для повышения эффективности внутренних ссылок [1, 3].

Для сравнения результата работы алгоритмов сжатия видео последовательностей, используют оценку нескольких параметров:

- скорость выходного потока при равном качестве;
- качество при равных скоростях выходного потока;
- вычислительная сложность (загрузка ресурсов целевой системы при равных параметрах качества или скорости потока).

Объективные методы оценки видео – это математические модели, которые стремятся предсказать понимание, зрительной системы человека, качества изображения, что часто иллюстрируется результатами экспериментов, по оценке субъективного качества. Они основаны на критериях и показателях, которые могут быть объективно оценены компьютерной программой. Объективные методы классифицируются с позиции оценки участия оригинального видеосигнала, который считается качественным (как правило, не сжимаемым). Исходя из этого, методы могут быть классифицированы как:

- методы с полным эталоном (FR, full reference), где доступен весь исходный видеосигнал;
- методы с частью эталонной последовательности (RR, reduced reference), где доступна только частичная информация исходной последовательности;
- методы без эталона (NR, no reference), где исходная последовательность недоступна вообще;

Субъективная оценка качества видео основана на просмотре и вынесении оценки о конкретной видеопоследовательности реальным человеком, со специальной (или без) подготовкой. Субъективные тесты качества видео довольно дорогие, это связано с высокими затратами времени (подготовка и запуск), человеческими ресурсами (точность оценки зависит от размера группы и подготовки экспертов).

Существует множество способов оценки видеопоследовательности экспертам. Некоторые из них были стандартизированы, в рекомендации МСЭ-R BT.500-13 и рекомендации МСЭ-T P.910. Причиной для измерения субъективного качества видео является то же, что и для измерения MOS звука (сложность системы восприятия человека). Мнения экспертов могут быть усреднены, а средняя оценка обычно предоставляется с доверительным интервалом. Для усреднения можно использовать дополнительные процедуры. Например, эксперты, которые дают неустойчивые результаты, могут быть отстранены от участия в них (если корреляция их показателей со средним низкая). Трудно использовать длинные последовательности для субъективного тестирования. Обычно используются три или четыре десятисекундные последовательности, в то время как полные фильмы используются для объективных показателей. Выбор последовательности важен – те последовательности, которые аналогичны используемыми разработчиками для настройки своих кодеков, более конкурентоспособны.

В различных реализациях кодеров и декодеров можно встретить пре и пост фильтрацию. Префильтры, такие как шумоподавление, подавление мерцания, имеют широкое распространение. Подавление шума и всплеск обычно не изменяет значения PSNR при одновременном повышении качества изображения (лучшие реализации шумоподавления также увеличивают PSNR на средних и высоких битрейтах). Стабилизация видео значительно уменьшает PSNR, но повышает субъективное качество изображения. Постфильтры имеют схожие характеристики – подавление блочности и звона не меняют значения PSNR, но повышают качество. Все фильтры увеличивают время сжатия / декомпрессии, поэтому они повышают качество изображения, но уменьшают скорость кодирования и декодирования [2].

К наиболее распространенным полностью референсным метрикам можно отнести ПОСШ (PSNR), ИСС(SSIM), ТВИ(VIF). Существуют и другие, но в силу малой распространенности их применение нецелесообразно. Однако эти метрики не согласованы со зрительной системой человека и результат, полученный с помощью них, не всегда можно интерпретировать однозначно.

Данная проблема была решена специалистами компании Netflix, которая в силу специфики своей работы, крайне нуждается в максимально компактном и совместимом со множеством устройств, качественном представлении видео последовательностей. Важно отметить, что компания обладает большой аудиторией и базой видео последовательностей, это дает хорошую исходную базу видеoinформации, которая необходима для подобных исследований. С помощью проверенной библиотеки libsvm, реализующий метод опорных векторов, была создана модель классификации упомянутых выше метрик, согласованная с результатами полученными при оценке экспертными группами.

Это позволяет точно оценить качество сжатой видеопоследовательности без привлечения экспертных групп. Данный метод классификации был назван: Мульти методологическая оценка видео (VMAF) [4, 10].

Каждый метод сжатия использует различные алгоритмы, с помощью которых необработанное видео (по сути, последовательность несжатых цифровых изображений с полным разрешением) может быть уменьшена по размеру. Алгоритмы могут варьироваться от простого математического сжатия, до психовизуальных подходов (когда устраняется избыточная информация, не воспринимаемая ЗСЧ) [5,6,7]. Также кодировщик способен выбирать и варьировать методы обработки, для повышения эффективности обработки видеоизображения. Каждая реализация кодека обработки работает в соответствии со своими собственными алгоритмами и параметрами, следовательно, конечное сжатое видеоизображение отличается у различных кодеков, что соответствует изменению качества и эффективности между ними [8,9].

Для сравнительной оценки реализаций стандартов сжатия видео последовательностей, будем применять следующую методику:

1. Исходные последовательности будем компрессировать с разными целыми битрейтами.

2. Для каждого из полученных компактных представлений будем рассчитывать:

1) PSNR:

1. Для яростной компоненты;
2. Для цветоразностных компонент;
3. Общий;

2) SSIM:

1. Для яростной компоненты;
2. Для цветоразностных компонент;
3. Общий;

3) VAMF

3. По полученным данным построим графической представление для визуальной оценки.

Для оценки были взяты следующие реализации x264[11], x265[12],openh264[13], libvpx9, aom. Тестирование производилось на следующей платформе:

ЦП: Intel Xeon E5-1650 v2 @ 3.50GHz;

ЯДРО: Linux 4.4.0-53-generic x86_64.

В ходе тестирования 2 исходных, не сжатых видеопоследовательностей с xiph.org (city, train), были скомпрессированы различные (5) реализации (наиболее распространённые), четырех стандартов сжатия видео. Сжатие производилось со следующим рядом 800, 1200, 2000, 3000, 5000, 10000. Данный ряд был выбран исходя из соображений, что при построении кривая будет иметь экспоненциальную природу. Далее каждая последовательность обрабатывалась согласно описанной методике.

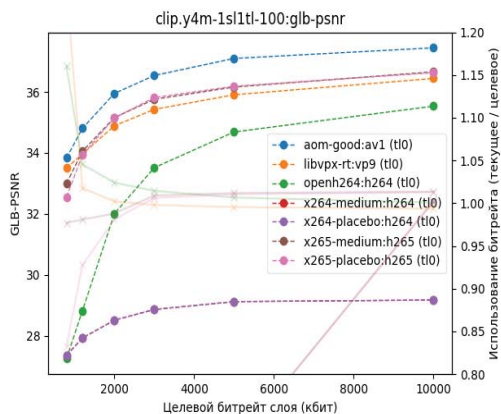


Рис. 1.1. ПОСШ для 1 последовательности

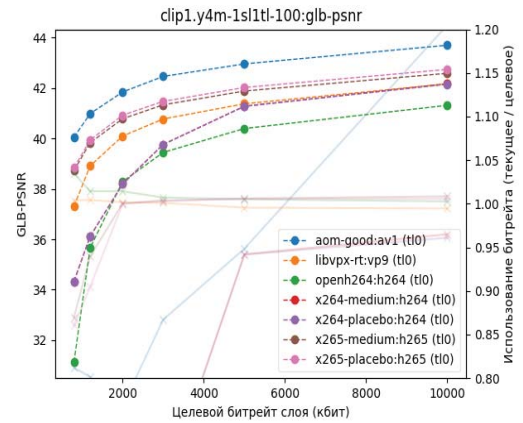


Рис. 1.2. ПОСШ для 1 последовательности

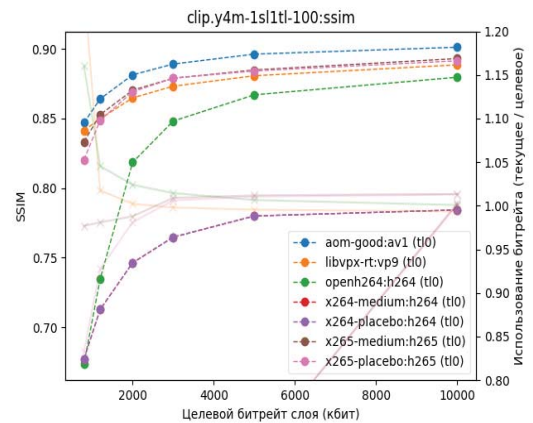


Рис. 2.1. ПОСШ для 2 последовательности

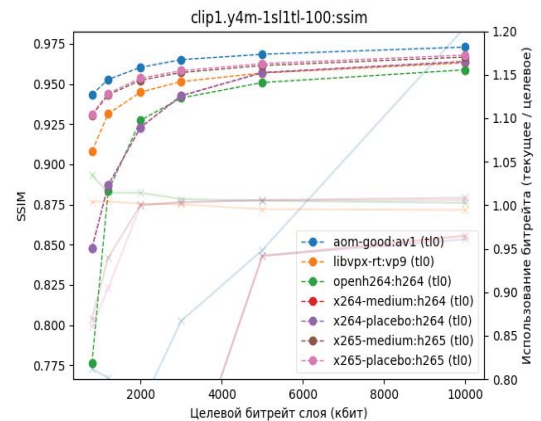


Рис. 2.2. ПОСШ для 2 последовательности

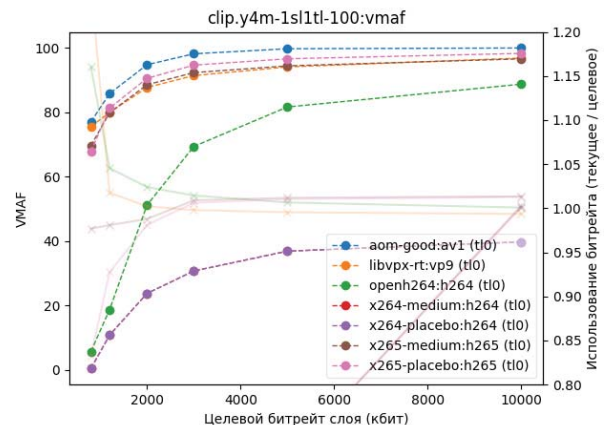


Рис. 3.1. VMAF для 1 последовательности

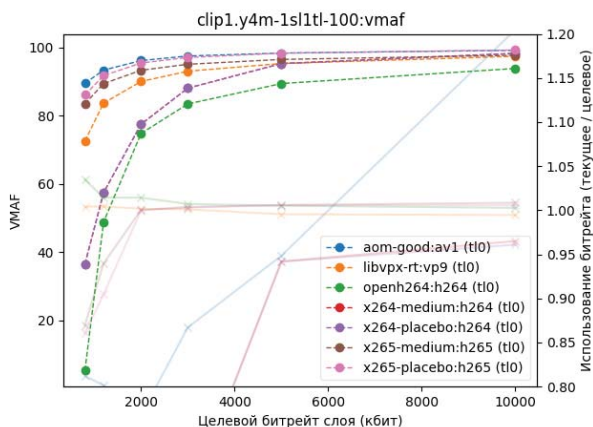


Рис. 3.2. VMAF для 2 последовательности

По результатам (рис. 1-3) можно сделать следующее заключение: с точки зрения эффективности кодирования наиболее перспективным является кодек av1, но в силу отсутствия аппаратной поддержки и медленной программной реализации его массовое применение не целесообразно.

С точки зрения программной реализации оптимален openh264, но с учетом повсеместной аппаратной поддержки h264, данное преимущество не существенно. Стоит так же отметить что при разрешении 1920x1080 h265 не позволяет получить значительное увеличение качества при средних битрейтах и применении средних профилей, в сравнении с h264.

Литература

1. Власюк И.В., Сидорова А.И., Романова Е.П. Особенности межкадрового кодирования видеoinформации по стандарту MPEG-4 // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2010. Т. 4. № 9. С. 50-52.

2. Власюк И.В. Разработка модели зрительной системы человека для метода объективного контроля качества изображений в системах цифрового телевидения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2009. № S1. С. 189-191.

3. Liu, Tsung-Jung; Lin, Yu-Chieh; Lin, Weisi; Kuo, C.-C. Visual quality assessment: recent developments, coding applications and future trends. APSIPA Transactions on Signal and Information Processing. 2. doi:10.1017/atsip.2013.5. ISSN 2048-7703.

4. Blog, Netflix Technology. Toward A Practical Perceptual Video Quality Metric. Netflix TechBlog. Retrieved 2017-10-08.

5. Koumaras, H.; Kourtis, A.; Martakos, D.; Lauterjung, J. Quantified PQoS assessment based on fast estimation of the spatial and temporal activity level. Multimedia Tools and Applications. 34 (3): 355-374. doi:10.1007/s11042-007-0111-1. ISSN 1380-7501.

6. Shahid, Muhammad; Rossholm, Andreas; Lövnström, Benny; Zepernick, Hans-Jürgen. No-reference image and video quality assessment: a classification and review of recent approaches. EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2014: 40. doi:10.1186/1687-5281-2014-40. ISSN 1687-5281.

7. Winkler, Stefan. The evolution of video quality measurement: from PSNR to hybrid metrics. IEEE Transactions on Broadcasting. doi:10.1109/TBC.2008.2000733.

8. Saad, M. A., Bovik, A. C., Charrier, C. Blind Prediction of Natural Video Quality. IEEE Transactions on Image Processing. 23 (3): 1352-1365. doi:10.1109/tip.2014.2299154. ISSN 1057-7149.

9. Stefan Winkler. Digital Video Quality, Wiley, ISBN 0-470-02404-6 * Quality Control, Duvall, Richard, Broadcast Engineering, February 2010.

10. Perceptual video quality assessment based on multi-method fusion. <https://github.com/Netflix/vmaf>. (дата обращения: 23.02.2018).

11. Software library and application for encoding video streams into the H.264/MPEG-4 AVC compression format, and is released under the terms of the GNU GPL. <https://www.videolan.org/developers/x264.html>. (дата обращения: 23.02.2018).

12. Software library and application for encoding video streams into the H.265. <https://www.videolan.org/developers/x265.html>. (дата обращения: 23.02.2018).

13. Open Source H.264 Codec <https://github.com/cisco/openh264>. (дата обращения: 23.02.2018).

ВОСПРИЯТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ ЗРЕНИЯ

Коринский Алексей Михайлович,
ст. препод. каф. ТуЗВ, МТУСИ, Москва, Россия,
korinskiy@yandex.ru

Одним из важных параметров приёмников телевизионных сигналов является разрешение экрана. Этот параметр показывает количество пикселей экрана (элементов телевизионного изображения) по ширине и по высоте. Приведены сведения о выпуске в настоящее время телевизоров с различными разрешениями. Основная масса современных телевизионных приемников имеют повышенную и сверхвысокую четкость: 720, 1080 и 4К. Для определения необходимости применения экранов с большим разрешением в работе приведен анализ восприятия человеком изображений мелких деталей. Показано, что просматривать изображения с разрешением 4К имеет смысл только в ограниченной зоне и с достаточно маленького расстояния, которое соизмеримо с шириной экрана телевизионного приемника. При удалении от экрана человек перестает воспринимать мелкие детали, и близлежащие пиксели не будут восприниматься отдельно. В этом случае человек не увидит разницу между изображениями с разрешениями 4К и 1080. На основе такого анализа в работе определены зоны просмотра телевизионных передач с повышенной и сверхвысокой четкостью.

Ключевые слова: Телевизор, приемник, разрешение, зрение, пиксель, элемент, 4К.

Одним из важных параметров приёмников телевизионных сигналов является разрешение экрана. Этот параметр показывает количество пикселей экрана (элементов телевизионного изображения) по ширине и по высоте. В настоящее время при просмотре телевизионных изображений используется разрешения стандартной (SDTV), повышенной (EDTV) и сверхвысокой (UHDTV) четкости. Отказ от просмотра изображений стандартной четкости приведет к увеличению степени детализации изображения, к увеличению заметности на телевизионном изображении мелких деталей.

Мировая промышленность предлагает широкий выбор телевизионных приемников с различным разрешением. Проводить анализ потребности зрителей в телевизорах с различными характеристиками затруднено, так как это является коммерческой тайной производителей и магазинов, однако можно рассмотреть предложения магазинов телевизионной техники. В нашей стране на рынке телевизионных приемных устройств предложения значительно опережают спрос, особенно на дорогие модели с большими разрешениями экранов, это объясняется кризисом, во время которого население в основном тратит деньги на товары первой необходимости. Таким образом, характер предложений магазинов хорошо коррелирован с характером выпущенных телевизионных приемных устройств. Анализ показывает распределение выпущенных устройств с различными разрешающими способностями.

В начале марта 2018 года в московских магазинах были представлены 1512 моделей телевизоров, при этом 98,2 % моделей имели разрешения 720, 1080 и 4К, что соответствует количеству пикселей 1280x720, 1920x1080 и 3840x2160 соответственно. Такие устройства имеют торговые названия HD ready, Full HD и Ultra HD. Распределение моделей по диагонали экрана приведено в табл. 1 и на рис. 1. Приведенные данные показывают, что мировые производители перестали выпускать телевизоры с обычным разрешением. Распределение моделей в этих трех группах практически равное: 512 моделей имеют разрешение HD ready, 553 - Full HD и 519 моделей работают в формате Ultra HD (4К). Разрешение 720 имеют в основном телевизионные приемники с диагональю экрана до 40", 1080 примерно с 35" до 55", при этом имеется провал в районе 40". С высокой четкостью (Ultra HD) выпускаются в основном телевизионные приемные устройства с экранами, имеющими диагонали от 45" до 70".

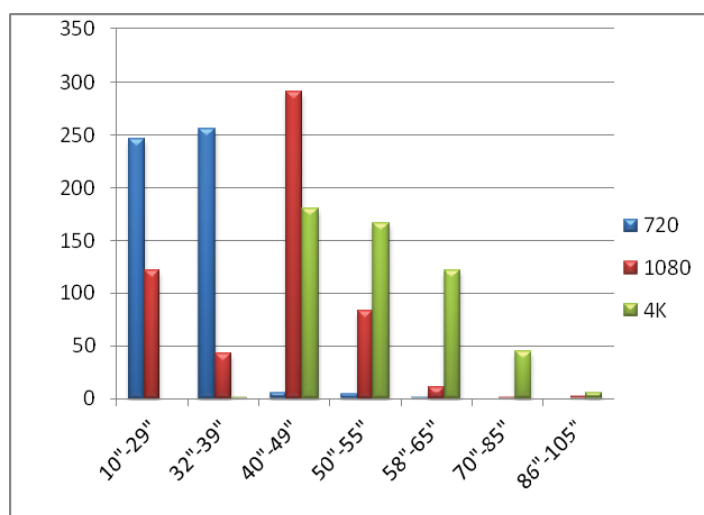


Рис. 1. Распределение предложений телевизоров в зависимости от размера и разрешения изображения

Таблица 1

Распределение предложений телевизоров
в зависимости от размера и разрешения изображения

Разрешение	Диагональ экрана						
	10"-29"	32"-39"	40"-49"	50"-55"	58"-65"	70"-85"	86"-105"
720	246	256	5	4	1	0	0
1080	122	43	291	83	11	1	2
4K	0	1	180	166	122	45	5

При выборе конкретной модели потребитель в первую очередь смотрит на цену, однако продавцы и реклама "рекомендуют" покупать телевизоры с максимальным разрешением. Никто при этом не поясняет, насколько необходимо такое большое разрешение. Для ответа на этот вопрос необходимо учитывать условия просмотра передач и свойства зрения человека.

Как известно разрешающей способностью глаза называют минимальный угол между направлениями на две точки, при котором человек видит их раздельными.

Острота зрения – величина обратно пропорциональна разрешающей способности зрения, таким образом при остроте зрения 1,0 разрешающая способность равна одной угловой минуте (рис. 2). Отсюда можно сделать вывод, что рассматривать телевизионное изображение необходимо с расстояния, при котором угловой размер пикселя будет меньше 1'. Ухудшение остроты зрения увеличивает этот угол, так при зрении 0,5 предельный размер увеличивается до 2', т.е. минимальное расстояние уменьшится.



Рис. 2. Разрешающая способность глаза человека при остроте зрения 1,0

В таблице 2 приведены параметры экрана при разном размере диагонали, а в таблице 3 – размер пикселя в зависимости от размера и разрешения изображения.

Таблица 2

Параметры экрана при разном размере диагонали

Диагональ экрана										
дюймы	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
см	25,4	50,8	76,2	101,6	127	152,4	177,8	203,2	228,6	254
Высота экрана										
дюймы	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4	34,3	39,2	44,1	49
см	12,5	24,9	37,4	49,8	62,3	74,7	87,2	99,6	112,1	124,5
Ширина экрана										
дюймы	8,7	17,4	26,1	34,9	43,6	52,3	61	69,7	78,4	87,2
см	22,1	44,3	66,4	88,6	110,7	132,8	155	177,1	199,2	221,4

Таблица 3

Размер пикселя при разном размере диагонали

	Диагональ экрана в дюймах									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
размер пикселя в дюймах:										
576	0,009	0,017	0,026	0,034	0,043	0,051	0,060	0,068	0,077	0,085
720	0,007	0,014	0,020	0,027	0,034	0,041	0,048	0,055	0,061	0,068
1080	0,005	0,009	0,014	0,018	0,023	0,027	0,0318	0,036	0,041	0,045
4K	0,002	0,004	0,007	0,009	0,011	0,014	0,0159	0,018	0,020	0,023
размер пикселя в мм:										
576	0,22	0,43	0,65	0,86	1,08	1,3	1,51	1,73	1,95	2,16
720	0,17	0,35	0,52	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,56	1,73
1080	0,12	0,23	0,35	0,46	0,58	0,69	0,81	0,92	1,04	1,15
4K	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29	0,35	0,4	0,46	0,52	0,58

Исходя из приведенных данных, можно определить минимальное расстояние просмотра телевизионного изображения. Эти данные представлены в таблице 4 и на рис. 2. Следует иметь в виду, что в расчете учитывался человек с остротой зрения 1.0. Для зрителей с пониженной остротой зрения расстояние уменьшается практически линейно.

В таблице 5 представлены данные для остроты зрения 0,5.

Таблица 4

Предельное расстояние просмотра в метрах для зрителя с остротой зрения 1.0

Разрешение экрана	Диагональ экрана в дюймах									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
576	0,74	1,49	2,23	2,97	3,72	4,46	5,2	5,95	6,69	7,43
720	0,59	1,19	1,78	2,38	2,97	3,57	4,16	4,76	5,35	5,95
1080	0,4	0,79	1,19	1,59	1,98	2,38	2,77	3,17	3,57	3,96
4K	0,2	0,4	0,59	0,79	0,99	1,19	1,39	1,59	1,78	1,98

Таблица 5

Предельное расстояние просмотра в метрах для зрителя с остротой зрения 0.5

Разрешение экрана	Диагональ экрана в дюймах									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
576	0,37	0,74	1,11	1,49	1,86	2,23	2,6	2,97	3,34	3,72
720	0,3	0,59	0,89	1,19	1,49	1,78	2,08	2,38	2,68	2,97
1080	0,2	0,4	0,59	0,79	0,99	1,19	1,39	1,59	1,78	1,98
4K	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,59	0,69	0,79	0,89	0,99

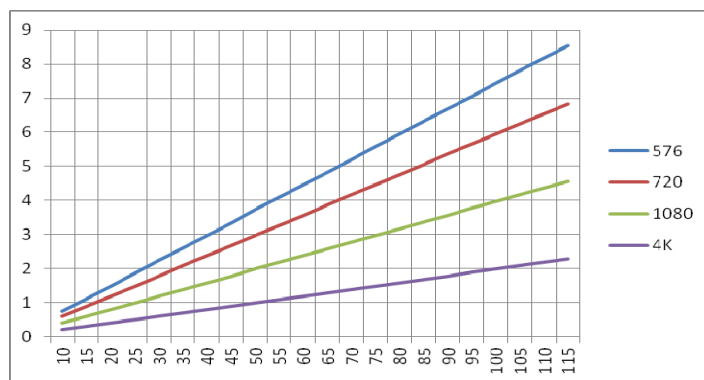


Рис. 2. Предельное расстояние просмотра в метрах для зрителя с остротой зрения 1.0 в зависимости от разрешения экрана телевизора

Приведенные на рисунке 2 данные позволяют выбрать зону просмотра телевизионного изображения. При использовании устройства, например, с разрешением 4K и диагональю 40" (102 см), имеющего размеры изображения 89 X 50 см, человеку с остротой зрения 1.0 необходимо располагаться на расстоянии не менее 79 см от экрана. Удаляться на расстояние более 1,6 см не имеет смысла, так как телевизор с разрешением 4K (Ultra HD) можно заменить на устройство с разрешением 1080 (Full HD), при этом зритель не заметит разницы. При прочих равных условиях телевизоры Full HD имеют меньшую стоимость, чем телевизионные приемники с разрешением 4K (Ultra HD), что в условиях финансового кризиса имеет большое значение.

С помощью графиков рис. 2 можно решить и обратную задачу: подобрать телевизионный приемник для просмотра изображений в конкретных условиях. Пусть среднее расстояние просмотра составит 3 метра. Телевизор 4К (Ultra HD) в этих условиях имеет смысл использовать только в том случае, если диагональ не менее 75" (190 см), оптимальное устройство 1080 (Full HD) в этих условиях должно иметь размер от 50" до 75".

Вывод

Телевизоры с разрешением UHD TV (4K) целесообразно использовать только при близком расположении зрителя возле телевизора, примерно равным ширине изображения.

Литература

1. *Пескин А.Е., Труфанов В.Ф.* Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы: Справочник. 2-е изд., испр. М.: Горячая Линия – Телеком, 2013. 260 с.
2. ITU-R Recommendation BT.709-3. Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange. 1998.
3. ITU-R Recommendation BT.2020-2. Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange. 2015.
4. *Безруков В.Н., Балобанов В.Г.* Системы цифрового вещательного и прикладного телевидения. Учебное пособие для вузов / Под ред. профессора В.Н.Безрукова. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 608 с.
5. *Форсайт Д.А., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. 928 с.

МЕТОДЫ КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ, ОЦЕНКИ И ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ИХ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Литвин Семен Анатольевич,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
simon.litvin@gmail.com

Попов Олег Борисович,
к.т.н., профессор, МТУСИ, Москва, Россия,
olegp45@yandex.ru

Абрамов Валентин Александрович,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
yabramov44@mail.ru

Борисов Андрей Александрович,
аспирант, МТУСИ, Москва, Россия,
a.borisov199@gmail.com

Эффективность систем воспроизведения, передачи и хранения звукового сигнала, в том числе в каналах звуково-го вещания и связи во многом определяются способом представления этого сигнала. На сегодня практически все каналы, передающие звуковой сигнал в аналоговой или цифровой форме, адаптивно меняют свои характеристики в соответствии со свойствами сигнала, что не позволяет сохранить его форму и это проявляется как в сохранении субъективно достаточно высокого качества звучания, так и в ухудшении этого качества. Поэтому существующие способы контроля звуковых сигналов, основанные на оценке изменения их формы, не позволяют полноценно контролировать современные каналы и качество данных сигналов.

К настоящему времени алгоритмы, используемые при компактном представлении звукового сигнала, его обработке и объективной оценке качества звучания, достигли предельных возможностей, достижимых при существующих способах представления сигнала во временной и частотной областях. В связи с этим актуальной является задача по разработке новых способов представления звуковых сигналов. Решение подобной задачи может быть основано, в частности, на комплексном представлении сигнала, позволяющего проводить раздельное описание и обработку таких модуляционных параметров сигнала как его аналитическая огибающая, мгновенная фаза и ее первая производная - мгновенная частота [1]. В большинстве публикаций по данной тематике для реализации комплексного представления предлагается использовать искусственно синтезированный ортогональный сигнал, при этом основные трудности связаны с необходимостью обеспечения высокой точности его формирования, что затруднительно для широкополосных вещательных сигналов [2].

Необходимая точность реализации ортогонального преобразования исходного звукового сигнала определяется, в конечном итоге, свойствами слуха по заметности искажений модуляции сигнала. Это позволяет связать параметры допустимой для восприятия на слух искажений модуляции звуковых сигналов с допустимой ошибкой ортогонального преобразования. Допустимая ошибка синтеза ортогонального сигнала не должна превышать 10^{-5} . Предварительные исследования показали, что необходимая точность реализации синтеза ортогонального сигнала существенно выше при работе с таким модуляционным параметром как мгновенная частота, а не с амплитудной огибающей звукового сигнала.

Для реализации преобразования Гильберта (ПГ) широкополосного сигнала существуют два основных способа. Согласно первому широкополосный звуковой сигнал преобразуется в узкополосный путем его амплитудной модуляции на высокочастотной несущей и дальнейшим поворотом фазы уже узкополосной боковой полосы частот [1]. Достижимая точность невелика, ошибка синтеза ортогонального сигнала составляет 10^{-3} , а на участках нестационарности сигнала до 10^{-2} , что недостаточно для решения поставленных задач.

По второму способу широкополосный звуковой сигнал подвергается ПГ непосредственно в занимаемом спектре, без переноса в высокочастотный спектр. В рассматриваемом варианте предлагается способ формирования ортогонального сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье. В этом случае точность преобразования во многом определяется правильным выбором оконной функции и длительностью выборки. Предпочтительны оконные функции с минимальным уровнем боковых лепестков, например окно Наттола (или минимальное 4-х членное Блэкмана-Хэрриса). Расширение основного лепестка характерное для таких окон можно скомпенсировать увеличением длительности выборки. При любой длительности перекрытия это окно не обеспечивает единичной передаточной функции, что приводит к необходимости введения дополнительного компенсирующего окна на выходе преобразователя. Погрешность синтеза ортогонального звукового сигнала с помощью преобразования Фурье и использовании модифицированного окна Наттолла может быть снижена до 10^{-5} при длительности выборки 4000 точек и выше. Такая погрешность соответствует точности достаточной для реализации эффективных алгоритмов выделения на основе ПГ таких модуляционных параметров широкополосных звуковых сигналов как амплитудная огибающая и мгновенная частота.

Представление звукового сигнала в виде аналитической огибающей и мгновенной фазы позволило разработать оригинальный, практически безынерционный, способ регулирования уровней звукового сигнала дающий возможность существенно повысить его относительную среднюю мощность без изменения динамического диапазона сигнала, что недостижимо для существующих аналогов [3].

Такое регулирование позволяет скомпенсировать часть нежелательных изменений, вносимых в сигнал существующими методами компактного представления и обработки.

На основе использования усредненной мгновенной час-

тоты сигнала, выделенной в результате комплексного представления этого звукового сигнала, разработан новый способ адаптивной фильтрации. Он позволяет перестраивать узкополосные фильтры по частоте, отслеживая локальные максимумы огибающей амплитудного спектра сигнала, согласованные со свойствами периферического слухового анализатора. Способ обеспечивает высокую концентрацию энергии в малом наборе субполосных сигналов и позволяет сохранить форму сигнала. Это, в свою очередь, позволяет его использовать при оценке качества передачи на основе существующих методик.

С использованием комплексного представления сигнала разработан способ компактного представления звукового сигнала на основе формирования с помощью ПГ из сигнала квазипостоянных и переменных сигналов на первой, второй и третьей ступенях модуляционного разложения связанных с параметрами мгновенной частоты и гильбертовской амплитудной огибающей сигнала. Выделенные на трех ступенях модуляционного разложения параметры после оцифровки передаются на приемную сторону, где по ним осуществляется восстановление звукового сигнала [4, 8]. Способ обеспечивает достаточно высокий коэффициент сжатия (около 4) при сохранении формы сигнала, а следовательно и качества исходного звукового сигнала.

Использование модуляционных параметров при комплексном представлении сигнала позволяет повысить эффективность алгоритмов объективной оценки качества передачи сигнала звукового вещания в трактах без сохранения формы, какими являются все современные аналоговые и цифровые тракты [5]. Кроме того рассматриваемые модуляционные параметры звуковых сигналов параметры хорошо отражают некоторые аспекты эмоционального содержания вещательных программ.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

Комплексное представление звукового сигнала позволяет расширить возможности алгоритмов компактного представления, обработки и оценки качества передачи звукового сигнала по каналу связи. Основное препятствие для использования такого представления – низкая точность синтеза ортогонального сигнала, преодолевается в ходе синтеза ортогонального сигнала с помощью БПФ, при использовании оконной функции Наттола дополненного компенсирующим окном на выходе преобразователя. Ошибка синтеза ортогонального сигнала не превышает 10^{-5} уже на длительности выбоки в 4000 точек. Такая точность достаточна для создания алгоритмов и устройств по обработке, анализу и компактному представлению звукового сигнала.

Точное комплексное представление звукового сигнала позволяет реализовать его компактное представление в виде суммы узкополосных сигналов формируемых с помощью перестраиваемых по частоте фильтров отслеживающих локальные максимумы огибающей амплитудного спектра сигнала.

Анализ свойств аналитической огибающей и мгновенной частоты позволяет разработать новые способы объективной оценки качества звучания в каналах передачи без поддержания формы сигнала, обеспечивающих как субъективно достаточно высокое качество звучания, так и ухудшение этого качества [5]. С помощью анализа формы аналитической огибающей удастся выявить ритмические свойства сигнала и его изменения в канале передачи, во многом определяющие его эмоциональное воздействие на слушателя.

Безынерционное регулирование сигнала позволяет поддерживать уровень сигнала практически со скоростью следования звуковых объектов, что недостижимо для существующих аналогов [3] и дает возможность уменьшить деградацию сигнала, определяемую используемыми способами снижения скорости передачи. Сохранение формы сигнала при его представлении частными модулирующими функциями гарантирует высокое качество передачи при снижении объема сигнала.

В процессе проведения исследований и разработки практических приложений комплексного представления звукового сигнала, был предложен оригинальный метод для измерений мгновенных и средних значений абсолютной и относительной мощности дискретизированных звуковых сигналов на коротких временных интервалах [6]. Также был предложен метод для формирования оценки спектра с точностью приближенной к возможностям периферического слухового анализатора [7]. Кроме того, разработан способ передачи и приема сигналов, представленных параметрами ступенчатого модуляционного разложения [4]. Разработано оригинальное программное обеспечение для оценки параметров сигнала, представленного в комплексной форме и позволяющей прогнозировать оценку качества передачи слушателем «Estim» [8].

Литература

1. *Ииуткин Ю.М., Уваров В.К.* Основы модуляционных преобразований звуковых сигналов. Под ред. Уварова В.К. СПб.: СПбГУКиТ, 2004. 102 с.
2. *Уваров В.К., Редько А.Ю.* Модуляционный анализ-синтез звуковых сигналов и перспективы его использования в целях шумопонижения // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 6-3. С. 518-522.
3. *Попов О.Б., Рихтер С.Г.* Патент РФ №2408976 БИ №1. 10.01.2011 «Способ автоматического регулирования пиковых значений электрических вещательных сигналов на заданный уровень при стабилизации относительной средней мощности и устройство для его реализации».
4. *Абрамов В.А., Попов О.Б.* Патент № 2584462 БИ № 14 от 20.05.2016 Способ передачи и приема сигналов, представленных параметрами ступенчатого модуляционного разложения и устройство для его осуществления.
5. *Попов О.Б., Рихтер С.Г.* Цифровая обработка и измерения сигналов в трактах звукового вещания. М.: Инсвязьиздат, 2010. 292 с.
6. *Абрамов В.А., Попов О.Б., Рихтер С.Г.* Патент № 2458340, БИ № 10 от 10.04.2012 Способ измерения мгновенных и средних значений абсолютной и относительной мощности акустических сигналов и устройство для его осуществления.
7. *Абрамов В.А., Ожидихин Г.М., Попов О.Б., Черников К.В., Малов А.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616645 Дата гос. Регистрации 15.07.2013. Анализ параметров сигналов звукового вещания «ESTIM».
8. *Попов О.Б., Рихтер С.Г.* Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 201100 (210405)-"Радиосвязь, радиовещания и телевидение" и 201200 (210402)-"Средства связи с подвижными объектами" направления подготовки дипломированных специалистов 654400-"Телекоммуникации". Москва, 2007.

МЕХАНИЗМЫ СЕТЕВОГО ДОСТУПА И ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В LTE

Орлов Владимир Георгиевич,
доцент МТУСИ, Москва, Россия,
ovg250846@gmail.com

Среди современных радиотехнологий мобильного доступа LTE является наиболее перспективной и быстро развивающейся технологией мобильного широкополосного доступа. Постепенное уменьшение количества сетей 2G/3G и интенсивное распространение LTE свидетельствуют о том, что данная технология будет повсеместно использоваться в беспроводных системах для передачи данных. При этом реализуемые в сетях LTE скорости передачи данных обеспечивают повышение качества предлагаемых пользовательских услуг, включая передачу так называемого «тяжёлого контента», услуг IP-TV с HD качеством, on-line сервисов с IoT и M2M приложениями, а также мультимедийного широкополосного вещания eMBMS с трансляцией ТВ-контента в режиме реального времени (LTE-Advanced). С точки зрения использования такого дефицитного ресурса, как радиочастотный спектр, а также по спектральной эффективности LTE существенно превосходит наиболее эффективный вариант UMTS – HSPA+, [1].

Характеристики современных радиотехнологий мобильного доступа

Отличительной особенностью LTE является то, что в отличие от стандарта мобильной связи 3G, в сетях LTE весь трафик проходит не по двум разным сетям (голосовой по сети с коммутацией каналов через MSC, а данные - по сети данных через узлы маршрутизации данных и обслуживания абонентов GGSN/SGSN), а через единую архитектуру EPC (Evolved Packet Core) по протоколу IP. Это влечёт за собой все угрозы связанные с IP. Открытая, основанная на IP, распределенная архитектура LTE позволяет злоумышленникам использовать мобильные устройства и сети со спамом для организации хищения данных и прослушивания пользователей, IP-спуфинга, распространения вредоносного ПО, атак DDoS и многих других вариантов кибератак и преступлений. Основные угрозы и риски безопасности связаны с распределенной сетью и открытой архитектурой, использованием комплексной бизнес-модели (совместное использование IS/Service) и децентрализованным мониторингом обеспечения безопасности. С учётом этого архитектура LTE была спроектирована и разработана 3GPP с учетом принципов безопасности, основывающихся на пяти группах функций безопасности [5]:

1. Безопасность доступа к сети. Обеспечивается безопасный доступ UE к EPC и защита от возможных атак в радиоканале посредством защиты целостности и шифрования между USIM, ME, E-UTRAN и объектами EPC (как обслуживающие, так и домашние сети).

2. Безопасность сетевого домена. Обеспечивается защита сетевых элементов опорной сети от возможных атак и защита обмена сигнальными и пользовательскими данными.

3. Безопасность пользовательского домена для управления доступом к мобильным станциям. Обеспечивается совместной аутентификацией USIM и ME, прежде чем они смогут получить доступ друг к другу, с использованием секретного PIN-кода.

4. Безопасность домена приложения – набор функций безопасности, которые позволяют приложению в UE и поставщику услуг установить безопасную связь на уровне

приложения. Прозрачность и конфигурация безопасности позволяют пользователю контролировать наличие функций безопасности в операциях обмена данными.

В целом стандарт LTE включает мощные криптографические методы взаимной аутентификации между сетевыми элементами с механизмами безопасности, встроенными в его архитектуру [5] и включающими процедуры AKA – Authentication and Key Agreement, а также шифрование и контроль целостности данных

Взаимная аутентификация и соглашение о ключах (AKA – Authentication and Key Agreement). Процедура запускается сетью при подключении абонентского терминала (UE) к сети для взаимной аутентификации абонента и сети, и формирования промежуточного ключа KASME. UE идентифицируется посредством IMSI (IMSI и K хранятся как в HSS, так и на SIM карте UE), после чего MME, получив запрос, обращается к HSS за информацией для аутентификации (Auth Data Request), передавая при этом IMSI, SNID, Network Type. HSS определив K, соответствующий полученному IMSI, формирует с помощью односторонних функций f1 – f5 параметры вектора аутентификации AV (рис.1), где:

- MAC (Message Authentication Code), используется UE при контроле подлинности обслуживаемой сети;
- KASME (Key Access Management Entity), генерируется HSS с помощью алгоритма KDF (Key Derivation Function);
- XRES (Expected Response), используется MME при установлении подлинности UE;
- CK (Ciphering Key) – ключ закрытия информации;
- IK (Integrity Key) – ключ целостности информации;
- AK (Anonymity Key), используется для шифрации SQN;
- AMF (Authentication Management Field), используется для указания типа сети;
- SQN (Sequence Number) – счетчик процедур AKA, предотвращающий повторное использование вектора аутентификации AV;
- IMSI – Международный идентификатор UE (SIM карты);
- K – абонентский ключ;
- SNID (Serving Network Identity) – идентификатор обслуживаемой сети, равный PLMN ID данной сети.

В результате определяется вектор аутентификации AV = {RAND, XRES, AUTN, KASME} и параметр аутентификации сети AUTN = {SQN + AK, AMF, MAC}, (рис. 1) [5].

Сформированный вектор аутентификации AV (Auth Data Response) передаётся из HSS по запросу в MME, где для UE с номером IMSI формируется сообщение Auth Request, содержащее RAND и AUTN, которое MME передаёт по эфиру UE. Получив вектор аутентификации AV для UE с номером IMSI, MME формирует сообщение Auth Request, содержащее RAND и AUTN, и передает его UE. Получив данное сообщение, UE обеспечивает формирование данных, необходимых для аутентификации, используя односторонние функции f1 – f5, такие же, как в HSS, (рис. 2) [2].

На основании сформированной информации UE идентифицирует сеть путём сравнения xMAC с полученным MAC. В случае их отличия UE передает MME сообщение (Auth Failure) с указанием причины отсутствия аутентификации. Равенство xMAC = MAC означает, что сеть успешно аутентифицирована, после чего UE отправляет MME сообщение (Auth Response), содержащее RES [3].

Обмен информацией между UE и MME осуществляется в соответствии с протоколом NAS. Получив данное сообщение от UE, MME производит аутентификацию UE, сравнивая RES с ранее полученным от HSS xRES. Если они не равны, MME направляет UE сообщение (Auth Reject) об отрицательном результате аутентификации. При равенстве xRES = RES процесс взаимной аутентификации UE и MME считается успешным. Следует отметить, что обмен информацией между UE и MME осуществляется в соответствии с протоколом NAS.

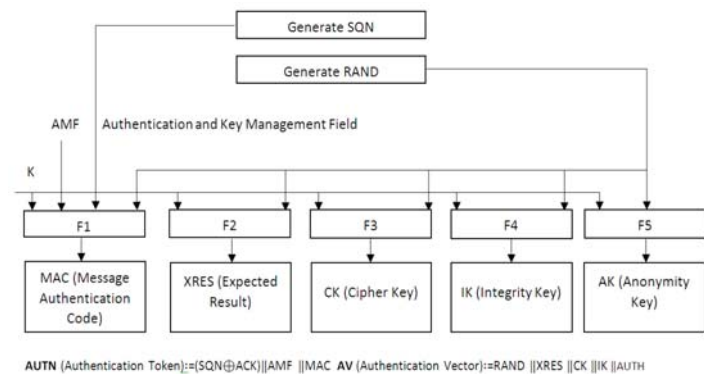


Рис. 1. Формирование AV и AUTN в HSS

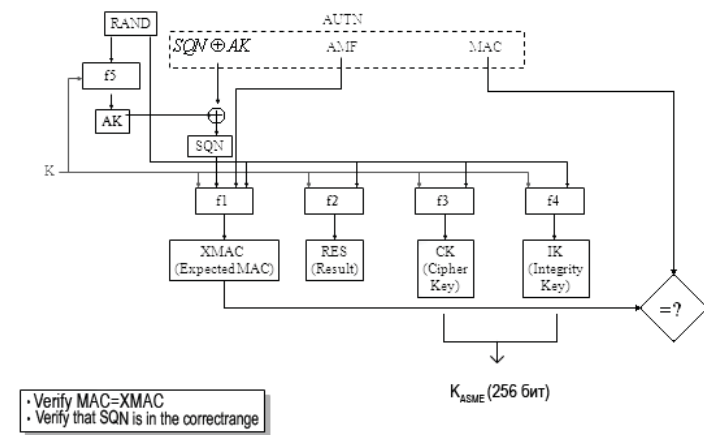


Рис. 2. Преобразование информации аутентификации в UE и идентификация сети

Шифрование и контроль целостности данных

При успешном завершении процедуры аутентификации и АКА MME, eNB и UE производят генерацию ключей, используемых для шифрации и проверки целостности получаемых сообщений. Процедуры безопасности реализуются, как в плоскости управления, так и в пользовательской плоскости. В радиоканале защита обеспечивается, как для сигнального трафика, так и для пользовательских пакетов. При этом данные сигнализации разделяют на сквозные сигнальные сообщения между UE и MME (NAS – Non Access Stratum) и сигнальные сообщения между eNB протокола RRC (AS – Access Stratum). Для шифрации и защиты целостности предусматривается использование следующих ба-

зовых алгоритмов, [5]:

- UEA2 (UMTS Encryption Algorithm и UIA2 (UMTS Integrity Algorithm), разработанные для стандартов 3G;
- AES (Advanced Encryption Standard).

Исходным ключом для всей цепочки процедур формирования ключей является K_{ASME} (рис. 3). KDF генерирует ключи длиной 256 бит, у которых с помощью функции Trunc исключают 128 старших бит, в результате чего получают рабочие ключи длиной 128 бит, (рис. 3а). При этом формирование NAS ключей в UE и MME выполняется параллельно, однако UE начинает генерацию ключей по команде MME после выбора им алгоритма, (рис. 3). Идентификатор алгоритма (Alg ID) и индикатор ключа K_{ASME} KSI (Key Set Identifier) содержатся в команде MME (NAS Security Mode Command). UE информирует MME о завершении генерации NAS ключей путём передачи сообщение NAS Security Mode Complete, после получения, которого UE и MME будут производить обмен зашифрованной информацией с проверкой ее целостности.

Шифрование и проверки целостности информации, передаваемой между eNB – UE выполняются с помощью протокола RRC, [5]. Схема получения ключей шифрации и целостности для трафика отличается от схемы генерации ключей для NAS тем, что в качестве исходного параметра служит вторичный промежуточный ключ K_{eNB} (256 бит). Этот ключ генерируется UE и MME и также использует KDF. Исходными входными параметрами для его генерации служат: K_{ASME} , счетчик сигнальных сообщений NAS вверх, прежнее значение K_{eNB} , идентификатор соты и номер частотного канала в направлении вверх. По завершении генерации K_{eNB} его значение из MME передается в eNB. Таким образом, при каждой периодической локализации UE происходит изменение K_{eNB} [4].

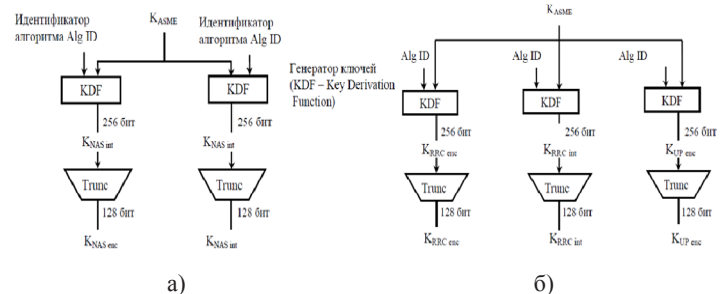


Рис. 3. Формирование ключей шифрования и целостности для NAS сигнализации (а) и для UE – eNB (б)

Процесс шифрации и дешифрации сообщений с использованием алгоритма EEA (EPS Encryption Algorithm) представлен на рис. 4.

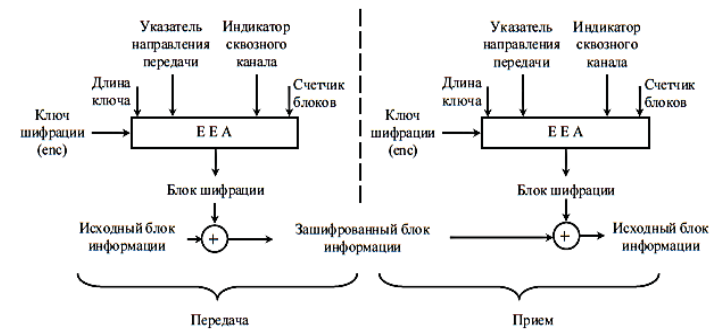


Рис. 4. Алгоритм шифрации в E-UTRAN

Исходными параметрами в этом процессе являются ключ шифрации (128 бит), счетчик блоков (32 бита), идентификатор сквозного канала (5 бит), указатель направления переда-

чи (1 бит) и длина шифрующего ключа LENGTH. В соответствии с алгоритмом шифрации EEA формируется шифрующее число KEYSTREAM BLOCK, которое при передаче складывают по модулю два с шифруемым исходным блоком информации PLAINTEXT BLOCK. При приёме для дешифрации повторно выполняется та же операция.

Проверка целостности передаваемых сообщений (рис.5) базируется на генерации и присоединении к передаваемому пакету числа MAC (Message Authentication Code) (32 бита), которое вычисляется на передающей стороне. На приёмной стороне с помощью того же алгоритма EIA (EPC Electronic Industries Alliance) вычисляется xMAC. Вычисление MAC и xMAC производится при одних и тех же исходных данных и при сравнении их равенство свидетельствует о целостности полученного пакета.



Рис. 5. Алгоритм проверки целостности в E-UTRAN

Заключение

Механизмы реализации взаимной аутентификации и процедура АК в LTE и криптостойкое шифрование в сетях LTE исключает возможность доступа злоумышленников к пользовательской информации и данным сигнализации, как в радиоканале, так и в сетевой инфраструктуре. Контроль целостности обнаруживает любую попытку злоумышленника ретранслировать или изменить сигнальные сообщения и защищает систему от атаки типа «man in the middle», в случае, когда злоумышленник, перехватывая последовательность сообщений сигнализации, модифицирует и повторно передает их, пытаясь получить доступ к информации абонентов сети.

Литература

1. Лохвицкий М.С., Мардер Н.С. Сотовая связь: от поколения к поколению. М.: Издательство ИКАР, 2014. 236 с.
2. 3GPP TS 36.101 v10.0.0; User Equipment (UE) radio transmission and reception.
3. 3GPP TS 36.321 v9.3.0; Medium Access Control (MAC) protocol specification.
4. 3GPP TS 24.301 v10.0.0; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3.
5. 3GPP TS 33.401 v9.4.0; 3GPP System Architecture Evolution (SAE); Security architecture.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ МАССИВОВ СВЕТОФИЛЬТРОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СВЕТ-СИГНАЛ

Поташников Алексей Михайлович,
м.н.с. отд. ЦТнВ, МГУСИ, Москва, Россия,
nickmikh@gmail.com

Власюк Игорь Викторович,
к.т.н., доц. каф. ТнЗВ, МГУСИ, Москва, Россия,
ru3dlp@yandex.ru

Существует два основных способа формирования цветных сигналов телевизионных изображений в преобразователях свет-сигнал. Первый заключается в разделении светового потока на несколько спектральных диапазонов с помощью так называемой дихроичной призмы с последующим преобразованием каждой из составляющей отдельной матрицей светочувствительных элементов. Второй – в нанесении на матрицу специального массива светофильтров, благодаря которому производится пространственное разделение цветовых компонент, что позволяет использовать одну матрицу.

В современных видеосистемах всё чаще применяют второй метод в силу относительной простоты его реализации. Однако пространственное разделение компонент приводит к определённым искажениям локальной структуры изображения.

Существует большое количество типов массивов светофильтров, различающихся используемыми цветовыми компонентами и взаимным расположением. Тип массива светофильтров влияет на качество получаемого изображения, типы искажений, чёткость, чувствительность, сложность процесса восстановления и другие параметры [1-3].

В настоящее время используются варианты массивов светофильтров, состоящих из основных цветов (красный, зелёный и синий), из дополнительных цветов, смешанные, например МГСЦ (пурпурный, зелёный, циан и жёлтый), а также содержащие нейтральные или спектрально-смещённые цвета. Кроме спектральных свойств, выбор конкретных цветов зависит от многих факторов, например, простоты исполнения, срок службы, устойчивости к погодным условиям красителей. От цветов светофильтров зависит и светочувствительность системы, поскольку спектрально-смещённые цвета позволяют получить лучший цветовой охват, однако в большинстве случаев спектральный диапазон таких красителей меньше, что приводит к меньшей энергии светового потока, попадающего на элемент. Кроме того, при использовании массивов с большим количеством оттенков увеличивается сложность процесса демозаикизации [4]. При этом увеличивается размер массива и увеличиваются шумы, связанные с пространственным разделением компонент. Поскольку в большинстве случаев изображения сохраняются в формате основных цветов (RGB), то во многих задачах оптимально использовать светофильтры именно с этими компонентами, поскольку во-первых они позволяют изначально получить требуемые цветовые составляющие, во-вторых обеспечивают приемлемое визуальное качество, и в-третьих при их использовании требуется относительно простые решения задачи демозаикизации [5].

Было проведено исследование массивов на возможность восстановления полной структуры изображения, при этом использовались два типа изображений – реальное изображение с большим количеством деталей и чёрно-белое (ч/б) изображение с резкими границами различного направления.

Восстановление при всех структурах производилось билинейной интерполяцией.

По результатам оценки качества изображения по пиковому отношению сигнал/шум (PSNR) можно сделать вывод, что наибольшего качества восстановления можно добиться при использовании массива Бауэра (27,3 дБ для цветного и 24,8 дБ для ч/б изображения). Наихудшее качество восстановленного изображения получается при использовании вертикального массива для цветного изображения и Бауэра с добавлением белого цвета для ч.б.

Анализ существующих систем показывает, что наилучших результатов при восстановлении можно достичь при использовании массива светофильтров, обладающего следующими свойствами:

1. Использование основных цветов позволяет упростить процесс восстановления компонент цветности;
2. Непериодическая структура позволяет уменьшить заметность искажений цветовой структуры изображения;
3. Наименьшее пространственное разделение отсчётов компоненты позволяет увеличить чёткость изображения и уменьшить ошибки интерполяции;
4. Соотношения частот дискретизации цветовых компонент изображения следует выбирать пропорционально остроте зрения человека в области соответствующих указанным компонентам длин волн [6].

Для определения местоположения светофильтров основных цветов, удовлетворяющих данным свойством, используется узкополосный двумерный псевдослучайный сигнал.

Форма частотной характеристики такого сигнала в идеальном случае представляет собой изотропный полый цилиндр с диаметром f и толщиной df .

Частоты f и df выбираются исходя из требования к средней периодичности следования отсчётов конкретной компоненты и неравномерности распределения отсчётов.

Узкополосный сигнал $I(x,y)$, определяющий компоненты цветности, можно рассчитать с помощью свёртки двумерного широкополосного случайного сигнала размера матрицы с импульсной характеристикой данного фильтра.

По сигналу $I(x,y)$ отсчёты компоненты цветности определяются в точках его локального максимума.

Обозначим булеву двумерную функцию $s(x,y)$ так, что она принимает значения 1 в точках локальных максимумов сигнала $I(x,y)$ и 0 в другом случае. Таким образом, в матрице светофильтра отсчёты рассчитываемой компоненты должны находиться в точках, где $s(x,y)$ равна единице.

При этом следует определять s для двух компонент из трёх. Поскольку отсчёты определяются на основе псевдослучайного сигнала, возможны отсчёты, в которых $s_1(x,y) = s_2(x,y) = 1$.

В этом случае в окрестности $s_1(x,y)$ определяется точка (x_1, y_1) , в которой функция равна 0, и значение $s_2(x,y)$ переносится в эту точку.

Изменение точки отсчёта компоненты изменяет частотные свойства разрабатываемого массива светофильтров. Поскольку при расчёте положения отсчётов разных цветовых компонент применяются независимые псевдослучайные сигналы, то вероятность появления искажённого отсчёта изображения равна произведению относительных количеств отсчётов компонент.

В целях минимизации случая, когда для двух компонент одна точка является единичной, определять расположение следует проводить для двух компонент, относительное количество отсчётов которых на изображении предполагается наименьшим. Поскольку эти две компоненты не охватывают в совокупности больше 66% матрицы (для случая одинакового количества отсчётов каждой из компонент), вероятно, искажения структуры компоненты равна 10%.

При этом есть возможность ещё уменьшить в два раза искажения структуры, если разделить перенос компонент равномерно по компонентам. Более того, учитывая то, что другие значения берутся в непосредственной близости, частотное нарушение структуры будет практически незаметно.

Оставшаяся компонента занимает точки матрицы, не заполненные двумя первыми компонентами.

По результатам исследования массива светофильтров можно сделать выводы, что при использовании псевдослучайной структуры светофильтров уменьшается точность восстановления структуры изображения. Благодаря уменьшению цветовых муаровых искажений, субъективное качество восстановленных изображений выше.

Недостатком метода является необходимость применения сложной анизотропной обработки при восстановлении

изображений, однако в современных системах кодирования, данный недостаток не является существенным [7].

Литература

1. *Lukas R.* Color Filter Arrays: Design and Performance Analysis. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No 4, November 2005.
2. *Honda H., Iida Y, Itoh G, Egawa Y., Seki H.* A novel Bayer-like WRGB Color Filter Array for CMOS Image Sensors. Human Vision and Electronic Imaging XII, 2007.
3. *L. Anzagira, E. Fossum,* Color filter array patterns for small-pixel image sensors with substantial cross talk, J. Opt. Soc. Am. A 32, 2015, pp. 28-34.
4. Пат. 2557261 Российская Федерация, МПК7 H04N 5/335, H04N 11/24. Способ и устройство формирования сигналов изображения в системах цифрового телевидения стандартной и высокой четкости / В.Н. Безруков, С.Г. Романов, И.В. Власюк, патентообладатель ФГБОУ ВПО МТУСИ. №2013138922/07; заявл 20.08.2013, опубл. 20.07.2015 Бюл.№20. 7с.
5. *Поташиников А.М., Романов С.Г.* Исследование характеристик пороговой различимости цветовых оттенков зрительной системы человека в зависимости от насыщенности и яркости изображения. "Перспективные технологии в средствах передачи информации / Материалы 9-ой международной научно-технической конференции". Владимир: ВлГУ. Т. 2. 2011. С. 11-14.
6. *Безруков В.Н., Романов С.Г., Седов М.О.* Адаптивность при сжатии спектра сигналов изображений в системах цифрового телевидения // Электросвязь.2013. №3. С. 22-26.
7. *McGuire M., College W.* Efficient High-Quality Bayer Demosaic Filtering on GPUs. Journal of Graphics Tools. Vol 13, 2008.

ВОПРОСЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ

Рихтер Сергей Георгиевич,
к.т.н., профессор, МГУСИ, Москва, Россия

Для реализации радиовещательных систем высокого класса качества, обеспечивающих многопрограммное звуковое вещание и способных функционировать при движении абонента по высокоскоростной магистрали большой протяженности с постоянно меняющимися условиями приёма, необходимо использовать цифровой формат вещания в гибридных спутниково – наземных системах [1-3]. Для построения такой системы должна найти решение ключевая проблема – обеспечение мобильного приема без заметных на слух искажений звукового вещательного сигнала (ЗВС) в моменты перехода с наземного канала (НК) на спутниковый (СК) и обратно. Другими словами, речь идёт об обеспечении «бесшовного» покрытия вещанием территории, на которой реализуется прием звуковых программ на подвижном объекте,двигающемся с высокой скоростью при быстро меняющихся условиях приёма. При движении в таких условиях радиоприем часто сопровождается быстрыми замираниями, вызывая дисперсию сигнала и нестационарное поведение канала. Последнее характеризуется доплеровским расширением спектра F_d , которое приводит к фазовым искажениям, а при больших значениях F_{dmax} возникают неустраняемые ошибки принимаемых данных [4].

При переходах НК→СК→НК происходит изменение характеристик среды распространения радиоволн от передатчика к абонентскому приемнику. Это, как правило, приводит к существенному изменению характера замираний и колебаниям уровня принимаемого сигнала и, следовательно, отношения сигнал-шум (ОСШ) на входе демодулятора приемника. В результате увеличивается вероятность потерь передаваемых аудиоданных. Так, в гибридной системе WorldSpace [2] уменьшение ОСШ при переходах НК→СК→НК нередко вызывает рост вероятности битовых ошибок (BER) приблизительно в 100 раз – от 10^{-5} до 10^{-3} . При этом всегда существует конечная вероятность появления коротких пакетов ошибок, которые не исправляются декодером канала: даже эффективное перемежение не может декоррелировать все возникающие в канале пакеты ошибок, поскольку это потребовало бы слишком большой задержки сигнала на приеме [4,5]. Поэтому при изменении характера замираний в передаваемом по каналу сигнале возможен не только рост числа одиночных ошибок, но и формирование аномальных ошибок при группировании ошибок в пакеты. В докладе на основе анализа ошибок в гибридных системах звукового вещания предлагается вариант совершенствования критерия обеспечения переходов НК→СК→НК с сохранением высокого качества услуг. Для конкретности проводимого анализа предполагается использование в системе кодека стандарта MPEG-1 Layer II [6, 7].

Цифровой ИКМ-поток ЗВС на входе MPEG-кодера организован в виде последовательности кадров (фреймов). Такой кадр состоит из: *преамбулы*, содержащей служебную информацию; *кодозащиты* – циклического кода CRC и *аудиоданных*, представляющих собственнокомпрессированный ЗВС. Часть аудиоданных составляет заголовок кадра, где помещается информация о распределении битов по субполосам (BitAllocation); данные о передаваемых масштабных

коэффициентах (Scale Factor Selection Information) для каждой из 32 субполос и сами значения масштабных коэффициентов (ScaleFactor). Наконец, в звуковом кадре следуют субполосные выборки (SubbandSamples) звукового сигнала.

Наиболее ценная информация, поступающая на вход декодера, содержится в заголовке звукового кадра, на долю которого приходится примерно 10% объема кадра. Одиночные ошибки, в принципе, могут равновероятно поражать все элементы кадра, однако их влияние на качество декодированного сигнала зависит от местоположения в кадре, ценности расположения там информации, а также от возможности пакетирования. В нормах MPEG ошибки классифицируются по их восприятию на слух и вредным последствиям для системы. Ошибки, приводящие к необходимости замены кадра целиком, относятся к разряду катастрофических. К таким ошибкам ведёт искажение любого из приблизительно 330 битов заголовка. Эта особо ценная информация защищается помехоустойчивым кодом CRC с 48 избыточными битами, в то время как остальная часть кадра остается незащищенной. В стандартах [6, 7] на этой основе реализуется стратегия маскировки ошибок. В простейшем случае кадр с катастрофической ошибкой заменяется сохраненным в декодере предшествующим кадром. Такая замена в каналах связи относительно высокого качества, характеризуемых нормой $BER \leq 10^{-5}$, происходит не чаще одного - двух раз в минуту, что практически не влияет на качество звука у потребителя услуги.

В каналах с повышенным уровнем шумов, когда вероятность появления ошибок возрастает, как правило, до величины $BER \approx 10^{-3}$, имеющейся CRC – защиты становится явно недостаточно. При появлении неисправленных ошибок декодеру приходится повторять предшествующий кадр в среднем до трех раз в секунду, что делает такой канал непригодным для высококачественного звукового вещания.

В гибридной системе ЗВ рассмотренная ситуация может усугубиться с появлением аномальных ошибок, свойственных переходам НК→СК→НК. При этом в зависимости от местонахождения канальных ошибок в кадре возможны два варианта развития событий:

- приблизительно 10% ошибок, попадающих в заголовки кадра, катастрофические; те из них, которые не исправлены CRC-кодом, вызывают замену кадра предыдущим;
- большая часть (до 90%) канальных ошибок попадает в незащищенную корректирующим кодом часть кадра, содержащую субполосные отсчеты ЗВС. Заметный на слух щелчок способны вызвать лишь те отсчёты, которые содержат ошибки в 5-6 старших разрядах [8].

Какой из двух вариантов будет превалировать, может показать лишь моделирование радиоканала с быстрыми замираниями при использовании реальных звуковых программ различного жанра и с применением субъективных оценок. Аналитическое решение этой задачи не просматривается в силу неопределенности статистики неисправленных ошибок на выходе декодера канала и трудности определения адекватных

ватной модели канала при радиоприеме в движении с высокой скоростью по сложно пересечённой местности.

При подвижном приеме субъективная оценка качества в принципе трудна для измерения. Поэтому, например, в гибридной системе WorldSpace [2] критерий переходов НК→СК→НК определяют на основе расчета частоты событий ошибок: кадр длиной T_F , содержащий неисправленные ошибки после декодера, трактуется как *событие ошибки*.

Частота событий ошибок определяется коэффициентом ошибок в кадре: $FER = (N_{\text{ош}} / N_K) \times 100, \%$, где $N_{\text{ош}}$ – число кадров с ошибками, N_K – число кадров. Этот расчетный параметр получают путем измерения коэффициента ошибок по битам (BER); оценку качества наземных и спутниковых сигналов осуществляют на основе расчетных коэффициентов $BER_{\text{НК}}$ и $BER_{\text{СК}}$, ориентируясь на пороговое значение $BER_{\text{ПОР}} = 10^{-4}$.

Ошибка в потоке аудиоданных идентифицируется слушателем на слух, как правило, при повторении предыдущего кадра и появлении ошибочных отсчетов ЗВС. Инерционность слуха человека позволяет эффективно маскировать такие ошибки. Заметность этих процедур зависит от частоты повторения кадров F_K и частоты следования интерполированных отсчетов $F_{\text{и.о.}}$; критические значения $(F_K)_{\text{КР}}$ и $(F_{\text{и.о.}})_{\text{КР}}$ этих параметров в системах звукового вещания определяются типом звуковой программы: речь или музыка (если музыка, то какая!). На этом основании предлагается отказаться от расчетных коэффициентов $BER_{\text{НК}}$ и $BER_{\text{СК}}$, используя в качестве критерия обеспечения высококачественных переходов НК→СК→НК параметры $(F_K)_{\text{КР}}$ и $(F_{\text{и.о.}})_{\text{КР}}$, непосредственно связанные с качеством звукопередачи. Дело в том, что величина $BER_{\text{ПОР}}$ лишь косвенно связана с качеством передачи звука в системе, поскольку не учитывает статистику неисправленных ошибок, которая, по существу, и определяет истинную помехоустойчивость системы.

Субъективно - статистические испытания (ССИ) показали [9], что при нарушении условия

$$(F_{\text{и.о.}})_{\text{КР}} \leq 2 \text{ (инт.отсч/сек)} \quad (1)$$

слушатель может испытывать дискомфорт при прослушивании звуковой программы. Будет ли при пороговом значении $BER_{\text{ПОР}} = 10^{-4}$ в канале передачи автоматически выполняться требование (1) к частоте $F_{\text{и.о.}}$ на аналоговом выходе анализируемой системы? Лишь результаты моделирования с разными моделями канала при условии выполнения требования (1) позволят найти ответ на этот вопрос. Аналитическое решение этой задачи представляется маловероятным в силу тех же причин, о которых было сказано ранее.

Выше отмечалось, что 2-3 ошибки в минуту, связанные с повторами кадров, практически не замечаются слушателями. Однако для полноценной оценки параметра $(F_K)_{\text{КР}}$, очевидно, необходимо проведение обстоятельных ССИ.

Литература

1. Рихтер С.Г. Системы и сети цифрового радиовещания. М.: Горячая линия - Телеком, 2017. 448 с.
2. DSB Handbook. Terrestrial and satellite digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the VHF/UHF bands. ITU, Radiocommunication Bureau, Geneva, 2002. 826 p.
3. ETSI TS 102 584 V1.3.1 (2011-11). Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-SH Implementation Guidelines. Technical Specification. EBU – UER.
4. Скляр Бернад. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
5. Кларк Дж., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1987. 392 с.
6. ETSI EN 300401. Radio broadcast systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers. Second Edition (May 1997), p. 226.
7. ISO/IEC 11172-3. International Organization for Standardization, 1993, p. 152.
8. Понов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания. Учеб. Пособие. М.: Горячая линия – Телеком, 2007/2011. 341 с.
9. Mathieu M. Vulnerabilite aux erreurs de transmission de signaux sonores de haute qualite et methodes de protection. Ann. Telecommun., 37, №5-6, 1982, pp. 267-271.

ВЫДЕЛЕНИЕ РЕЧЕВЫХ ОБРАЗОВ ИЗ ЗАШУМЛЕННОЙ РЕЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СЛУХОВОЙ ТОМОГРАФИИ

Санников Владимир Григорьевич,

Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
tes_mtuci@mail.ru

Анализируя процессы преобразования речевых сигналов на периферии слуха, и сравнивая их с алгоритмами реконструкции скрытых от непосредственного наблюдения закономерностей, выдвигается гипотеза о том, что слуховая система построена по принципу томографической системы. В работе развиваются аспекты формирования проекционные данных - сигналов сенсорных каналов, которые характеризуют восстанавливаемый речевой образ под тем или иным углом зрения, связанным с резонансной частотой амплитудно-частотно-высотной характеристики слухового детектора. Разработан алгоритм цифровой реализации слуховой томографии.

Ключевые слова: слуховая томография, слуховая система, зашумленный речевой сигнал, проекционные данные, пространство Радона.

Введение

В цифровых системах речевой информатики и связи в качестве получателя речевых сигналов (РС), искаженных шумом наблюдения, выступает слуховая система человека, осуществляющая выделение из зашумленной речи речевых образов – фонем, аллофонов, дифонов и других элементов [1, 2]. В работе отмечается, что существующие методы распознавания речевых образов значительно уступают по помехозащищенности слуховой системе. Поэтому актуальной является задача более детального изучения процессов преобразования РС в различных отделах слуховой системы и использования их для разработки адекватных слуховому восприятию методов автоматического распознавания речевых образов и эффективного сжатия речевых данных [1].

Анализируя процессы преобразования РС на периферии слуха, и сравнивая их с алгоритмами томографической реконструкции скрытых от непосредственного наблюдения закономерностей, выдвигается гипотеза о том, что слуховая система построена по принципу томографической системы [2, 3]. Предположив, что выдвинутая гипотеза справедлива, в работе [4] развиваются аспекты формирования проекционные данные – сигналы сенсорных каналов, которые характеризуют восстанавливаемый речевой образ под тем или иным углом зрения, связанным с резонансной частотой амплитудно-частотно-высотной характеристики слухового детектора. Показано, что проекционные данные, зависящие от откликов слуховых детекторов, пропорциональны значению спектральной плотности мощности РС.

Поэтому для одной марковской модели РС получены новые формулы обращения проекционных данных в речевые образы в пространстве Радона [3]; найдены оптимальные стабилизирующие параметры весовых функций, обеспечивающие максимум отношения сигнал/шум на выходе схемы формирования речевых образов; разработан и исследован цифровой алгоритм слуховой томографии, на основе которого на сегментах зашумленной речи длительностью 32 мс. с числом отсчетов, равного 256, получены матрицы проекционных данных и матрицы данных, соответствующих слуховым образам. Делается вывод о том, что слуховая система воспринимает воздействующий на её вход скалярный РС в виде сложного объемного изображения, по которым в центральных отделах слухового пути и выносятся решения о произносимых звуках речи.

Модель слуховой томографии

Задача слуховой системы состоит в том, чтобы из принятого РС выделить, закодированное в нем, речевое сообщение

(речевой образ) [2, 4]. С этой целью в ее периферической части формируются проекционные данные - сигналы сенсорных каналов, которые характеризуют восстанавливаемый речевой образ под тем или иным углом зрения. Данный угол зрения φ можно оценить как произведение резонансной частоты $f_r(z)$ слухового фильтра z -ого высотного канала на интервал наблюдения T , т.е. $\varphi(z) = 2\pi f_r(z)T$ [4]. В центральных отделах слуховой системы на основе этих данных восстанавливается скрытое от непосредственного наблюдения речевое сообщение (фонема, дифон, слово, звук и т.д.).

Нейрофизиологические исследования нейронов высших отделов слуховой системы показывают наличие эффектов обострения фронтов импульсных стимулов так, как это, например, происходит при дифференцировании сигналов. Установлен так же факт не только дифференцирования, но и низкочастотной фильтрации импульсных откликов нейронов в синаптических окончаниях дендритов слуховых нейронов [2]. Кроме того, в отмеченных работах отмечается, что в высших отделах слуховой системы существует множество нейронов-детекторов, которые реагируют на суммарный эффект от множества реакций, полученных от различных сенсорных каналов (под разными углами).

Предположив, что выдвинутая гипотеза справедлива, в работе [4] показано, что проекционные данные искомого речевого образа $C(t_1, t_2)$, в котором аргументы t_1 и t_2 равны: $t_1 = t \cdot \cos \varphi, t_2 = t \cdot \sin \varphi$, определяются из соотношения

$$R(t, \tau, \varphi) = \sqrt{G_s[2\pi f(z), \tau]} / \int_{t-0.5T}^{t+0.5T} \sqrt{G_s[2\pi f(z), \tau]} d\tau \Big|_{z=\nu(\varphi)}, \quad (1)$$

где $G_s[2\pi f(z), \tau]$ – текущая спектральная плотность мощности (СПМ) РС.

Теперь, зная функцию $R(t, \tau, \varphi)$ и используя стандартную форму обращения [4], находим следующее правило восстановления речевого образа для момента t :

$$C_s(t, t_1, t_2) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi d\varphi \int_{-\infty}^{\infty} R(t, \tau, \varphi) q_\alpha(t_1 \cos \varphi + t_2 \sin \varphi - \tau) d\tau \quad (2)$$

Регуляризация формул обращения

Формулы (1) и (2) получены для случая, когда функция $R(t, \varphi)$, известна точно. Если же она задана с некоторой погрешностью, то вместо нее имеем: $R_N(t, \varphi) = R(t, \varphi) + N(t, \varphi)$, где $N(t, \varphi)$ – случайная

погрешность. Очевидно, что по таким проекционным данным осуществить точное восстановление функции $C(x, y)$ невозможно. Тогда естественно задачу реконструкции переформулировать следующим образом: требуется по приближенным проекционным данным $R_N(t, \varphi)$ найти приближенную функцию $C_\alpha(x, y)$, которая в каком-то смысле хорошо описывала бы искомую функцию $C(x, y)$. Эта задача относится к классу некорректных задач. Устранить это нежелательное явление можно, регуляризируя формулы обращения по Тихонову [5].

Неустойчивость решения уравнения (2) проявляется в наличии интенсивных высокочастотных составляющих погрешности восстановления. Учитывая данное обстоятельство можно построить приближенное, но зато устойчивое решение этого уравнения, если уменьшить влияние высокочастотных составляющих. Для этого достаточно в частотной области ввести некоторую функцию $H_\alpha(|f|)$, значения которой уменьшаются с увеличением частоты. Тогда импульсная реакция в (2) ищется в виде

$$q_\alpha(t) = \pi \int_{-\infty}^{\infty} |f| H_r(|f|) \exp(j2\pi ft) df = 2 \int_0^{\infty} H_\alpha(f) \cos(2\pi ft) df, \quad (3)$$

Функция $H_r(|f|)$ называется регуляризирующей. Выберем ее равной

$$H_r(|f|) = 1/\pi |f| [1 + (f/F)^{2n}], \quad (4)$$

где $\mathbf{a} = (F, n)$ - векторный параметр с положительными компонентами, которые называют регуляризирующими или стабилизирующими параметрами [5], а передаточная функция результирующего фильтра, с учетом (3) и (4), равна

$$H_\alpha(f) = |f| H_r(|f|) = 1/[1 + (f/F)^{2n}]. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3) находим искомую импульсную реакцию

$$q_\alpha(t) = 2 \int_0^{\infty} \frac{\cos(2\pi ft) df}{1 + (f/F)^{2n}} = \frac{\pi F}{n} \sum_{k=1}^n e^{-s_k(F)|t|} \sin[\varphi_k + c_k(F)|t|], \quad (6)$$

где $s_k(F) = 2\pi F \sin \varphi_k$, $c_k(F) = 2\pi F \cos \varphi_k$, $\varphi_k = (2k-1)\pi/2n$.

На рисунке 1 приведены графики весовых регуляризирующих функций $q_\alpha(t)$ при различных стабилизирующих параметрах $\mathbf{a} = (F, n)$: $F = 2; 4$ кГц; $n = 2; 4; 8$.

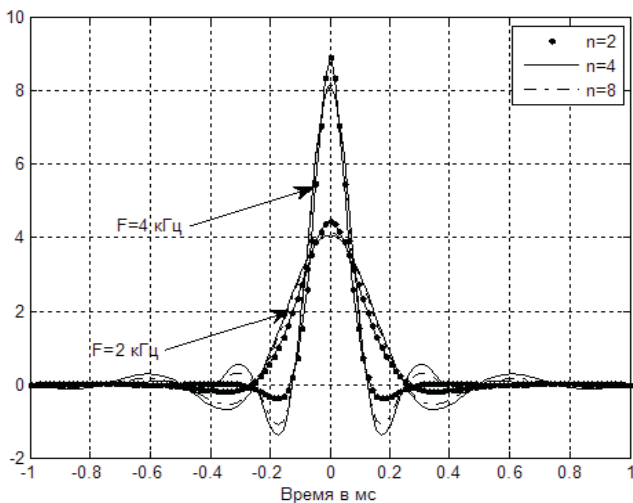


Рис. 1. Весовые регуляризирующие функции

Подставляя теперь (6) в (2), получаем регуляризирующий алгоритм восстановления речевого сообщения.

Расчет оптимальных параметров алгоритма регуляризации

Одной из проблем, которая требует своего решения, является проблема определения оптимальных стабилизирующих параметров $\mathbf{a} = (F, n)$, обеспечивающих экстремум некоторого функционала качества восстановления РС, как томографического изображения в пространстве Радона [3].

Для решения этой задачи воспользуемся моделью речевого сигнала в виде марковского вектора $[S(t), \Lambda(t)]^T$, задаваемого системой уравнений [6]:

$$dS/dt = \Lambda, \quad d\Lambda/dt = -2\alpha\Lambda - \omega_0^2 S + \omega_0^2 n_2. \quad (7)$$

СПМ сигнала, удовлетворяющего (7), равна

$$G_s(\omega) = \frac{2\alpha D_s [\alpha^2 + \omega_0^2] / \pi}{[\alpha^2 + (\omega + \omega_0)^2] \cdot [\alpha^2 + (\omega - \omega_0)^2]}. \quad (8)$$

Полагая теперь, что наблюдению подлежит РС с СПМ (8) в смеси с белым шумом, имеющим одностороннюю СПМ N_0 , найдем отношение сигнал шум (ОСШ) SNR на выходе фильтра с передаточной функцией (5):

$$SNR = \frac{2n \sin(\pi/2n)}{\pi N_0 F} \int_0^{\infty} G_s(2\pi f) [1 + (f/F)^{2n}]^{-1} df. \quad (9)$$

Графики зависимости SNR от стабилизирующих параметров F и n показаны на рис. 2 (левый график); они имеют экстремальный характер. Очевидно, оптимальным стабилизирующим параметрам F_0 и n_0 соответствует максимум ОСШ SNR_{max} . Наблюдая зависимость SNR_{max} и F_0 от порядка n (правый график), для речевого сигнала, определяемого моделью (7), можно принять $F_0 = 0,6$ кГц, $n_0 = 4$. Отметим, что эти данные получены при следующих условиях: $D_s = 1$, $N_0 = 0.01$, $\alpha = 10^3 \text{ с}^{-1}$, $\omega_0 = 2\pi f_0$, $f_0 = 500$ Гц.

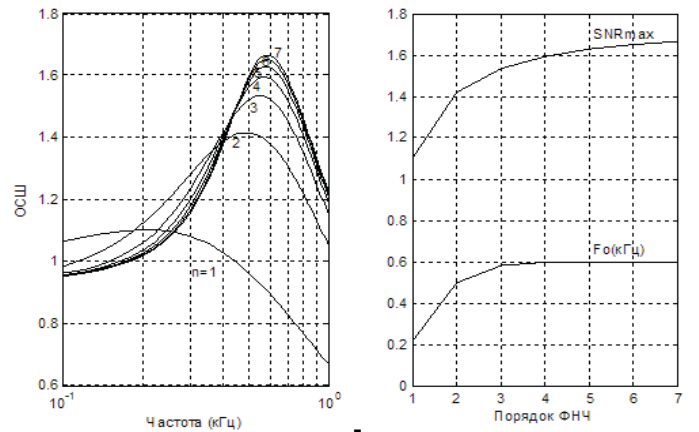


Рис. 2. Зависимости ОСШ от стабилизирующих параметров

Цифровой алгоритм слуховой томографии

Используя теоретические результаты, связанные с реконструктивной томографией, приведем практическую процедуру расчета проекционных данных и соответствующих им слухового образа для выбранного речевого сегмента. Алгоритм расчета состоит в следующем.

- РС $s(t)$ дискретизируется и разбивается на сегменты, содержащие по N отсчетов.
- На k -ом сегменте анализа, формируется выборка $s_k = \{s_{l,k}, l = 0, N-1\}$, $k = 1, 2, \dots$.
- Посредством БПФ определяется амплитудный спектр выборки S_k

$$S_k = \text{fft} \{s_k\} = \{S_{n,k}, n = \overline{0, N-1}\}.$$

• Находится выборка средних дисперсий в высотной области, соответствующих выходам слуховых детекторов

$$G_{s,z,k} = 0.5 \sum_{n=0}^{N-1} S_{n,k}^2 \cdot k_{z,n}^2, z = \overline{0, M-1},$$

где $k_{z,n}$ – амплитудно-высотно-частотная характеристика периферии слуха вида [4]:

$$k_{z,n} = \left[1 + Q_1^2 (v_n^{-1}(z) - v_n(z))^2 \right]^{p/2}, v_n \geq 0, v_n = f_n / f_r(z),$$

которая соответствует z -му окну (слою) проекционных данных.

• Формируются элементы матрицы проекционных данных в соответствии с (1):

$$R_{k,n}(\phi_m) = \sqrt{G_s[v_n(z_m), k]} / N^{-1} \sum_{n=1}^N \sqrt{G_s[v_n(z_m), k]} \Big|_{z_m = \psi(\phi_m)},$$

$$m = \overline{1, M}, n = \overline{1, N}$$

где $z_m = \psi(\phi_m), m = \overline{1, M}$, определяются в (4).

• По элементам $R_{k,n}(\phi_m)$ матрицы проекционных данных формируются элементы матрицы слухового образа, соответствующего речевому сегменту S_k ,

$$C_s(k, k_1, k_2) = M^{-1} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} R_{k,n}(\phi_m) q_\alpha ([k_1 \cos \phi_m + k_2 \sin \phi_m - n] \Delta t).$$

• Данная процедура повторяется для каждого сегмента анализа $k = 1, 2, \dots$.

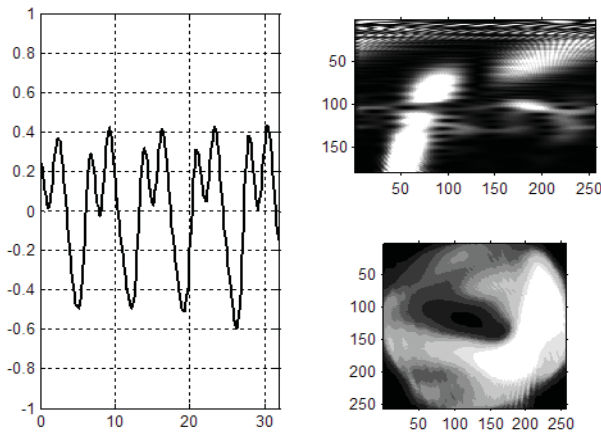


Рис. 3. Сегмент речевого сигнала, проекционная матрица и слуховой образ

На рисунке 3 показаны рассчитанные по данному алгоритму зависимости для РС без шума, соответствующие одному из его сегментов в звуке Э. Число отсчетов N на сегменте анализа в 32 мс равно 256, величины углов $\phi_m \in [0, 180^\circ]$.

На рисунке 3 представлены: 1) сегмент исходной речи длительностью 32 мс (левый график), 2) матрица проекционных данных размера 180×256 в виде полутонного изображения (правый верхний график), 3) матрица данных размера 256×256 в виде полутонного изображения, соответствующая слуховому образу (правый нижний график).

Заключение

Из полученных результатов следует, что слуховая система воспринимает воздействующий на её вход скалярный речевой сигнал в виде сложного объемного изображения. Именно по этим изображениям в центральных отделах слухового пути вероятно и выносятся решения о произносимых звуках речи. Очевидно, разным звукам речи соответствуют и различные слуховые образы. Как это производится пока неизвестно. Эти вопросы требуют дальнейшего исследования.

Литература

1. Орищенко В.И., Санников В.Г., Свириденко В.А. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / Под ред. В.А. Свириденко. М.: Радио и связь, 1985. 184 с.
2. Слуховая система / Ред. Я.А. Альтман. Л.: Наука, 1990. 620 с.
3. Троицкий И.Н. Статистическая теория томографии. М.: Радио и связь, 1989. 240 с.
4. Санников В.Г. Слуховая томография – новое направление в области обработки речевых сигналов // Электросвязь. № 5. 2007. С. 52-56.
5. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. ГР ФМЛ, 1986. 288 с.
6. Величкин А.И. Передача аналоговых сообщений по цифровым каналам связи. М.: Радио и связь, 1983. 240 с.

АЛГОРИТМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ НАЛИЧИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЯМ РЕЧИ В СЕТЯХ СВЯЗИ

Терехов Алексей Николаевич,

МТУСИ, к.т.н., доцент кафедры ОТС, Москва, Россия

a.n.terekhov@mtuci.ru

Абрамов Валентин Александрович,

МТУСИ, к.т.н., доцент кафедры ТуЗВ им. С.И. Катаева, Москва, Россия

v.abramov@mirteltest.ru

Попов Олег Борисович,

МТУСИ, к.т.н., проф. кафедры ТуЗВ им. С.И. Катаева, Москва, Россия

olegp45@yandex.ru

Потапова Екатерина Алексеевна,

МТУСИ, ст. преподаватель кафедры ОТС, Москва, Россия

potapova-69@bk.ru

Ключевые слова: сети связи, мобильные устройства, параметры речи, ранняя диагностика наличия заболеваний, оператор связи, закон Яровой, мониторинг здоровья, услуги связи, пользователи услуг связи.

В данном исследовании выполнен анализ возможности осуществления диагностики наличия заболеваний по отклонениям параметров речи пользователей телефонных услуг связи. Осуществление мониторинга, с использованием отклонений параметров речи от среднестатистических, станет возможным после внедрения в жизнь (фактической реализации) федерального закона (ФЗ) от 6 июля 2016 г. № 374-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О противодействии терроризму» и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности» (закон Яровой). В соответствии с ним «...операторы связи обязаны хранить на территории Российской Федерации: – ... голосовую информацию пользователей услугами связи – до 6 месяцев с момента окончания их приема, передачи, доставки и (или) обработки ...». Внедрение законопроекта приведет к дополнительным расходам операторов связи [13]. Компенсировать расходы возможно за счёт предоставления услуги мониторинга здоровья на основании изменения параметров речи, передаваемой по сетям связи. Предлагаемый алгоритм мониторинга затрагивает семантическую составляющую информации лишь на этапе статистической выборки повторяющихся фрагментов речи, предназначенных для анализа, а следовательно не нарушает конфиденциальность персональных данных пользователей услуг связи.

В ходе исследования выявлены причины, влияющие на изменение параметров речи, безотносительно к заболеваниям, которые необходимо учитывать как мешающие достоверной постановке диагноза. Первичная классификация (обведена пунктиром на рисунке 1) субъективных и объективных причин изменения параметров речи, а также их состав рассмотрены в работе [9]. Как видно, причины изменения речевых параметров носят как субъективный, так и объективный характер. К субъективным причинам причислены эмоциональные и вызванные заболеваниями изменения параметров речи. К объективным причинам отнесены влияние акустического окружения, специфика функционирования устройств и сетей связи, исследование качества которых рассмотрено в работе [4]. Изменения параметров речи, вносимые джиттером в речевой сигнал, аналогичны погрешностям АЦП и ЦАП и связаны с ошибками квантования и последующего восстановления сигнала [8].

Расширенная первичная классификация причин изменения параметров речи (расположена вне зоны обозначенной пунктиром на рис. 1). Как видно, дополнительно учитывается возможная смена: пользователя услуги связи и телефонного аппарата.

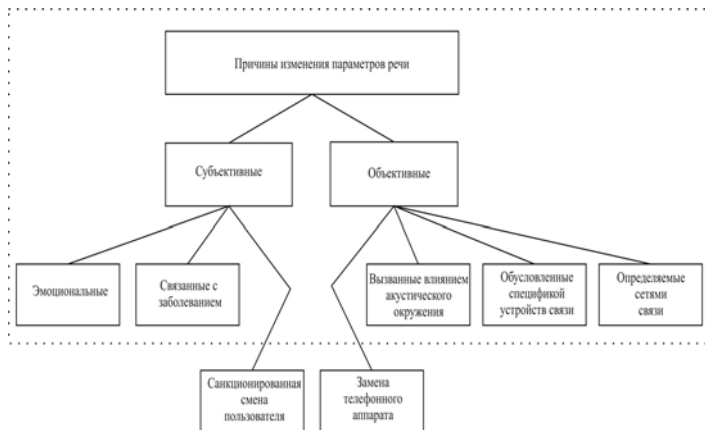


Рис. 1. Расширенная первичная классификация причин изменения параметров речи

Также, изменение параметров речи связано с влиянием ошибок, вызванных: потерей; задержкой; вариацией задержки и искажением содержимого IP-пакетов [2-4].

Дополнительную сложность вызывает постановка правильного диагноза посредством сетей мобильной связи [14].

В логопедии выявлено 9 форм нарушения устной речи и их проявлений, которые приведены в табл. 1.

Нарушения темпо-ритмической организации речи, обусловленные судорожным состоянием мышц речевого аппарата (логоневроз) и технические способы его лечения рассмотрены в работах [5-7]. На рисунке 2 приведен, предложенный авторами, укрупненный алгоритм инструментальной диагностики наличия заболеваний по отклонениям параметров речи в сетях связи. Предварительная обработка сигнала для распознавания элементов речи рассмотрена в [1].

После того, как информационный фрагмент идентифицирован как элемент речи, а не пауза, проверяется его наличие в базе. Оценка достоверности инструментальной диагностики наличия заболеваний по изменению речи в сетях связи рассмотрена в работе [9].

Таблица 1

Формы и проявления нарушений устной речи

Форма нарушения устной речи	Проявления нарушений устной речи	Способ обнаружения изменений в речи
Дисфония (афония)	отсутствие или расстройство фонации вследствие патологических изменений голосового аппарата	ритм, атаки
Брадилалия	патологически замедленный темп речи	подсчёт ритмического числа атак на период
Тахилалия	патологически ускоренный темп речи	число атак на период
Заикание (логоневроз)	нарушение темпа - ритмической организации речи	ритм, атаки
Дислалия	дефекты звукопроизношения, фонетические дефекты, недостатки произношения фонем	смещение АЧХ, кепстральный анализ
Ринолалия	нарушения тембра голоса и звукопроизношения	статистический анализ АЧХ
Дизартрия	нарушение произносительной стороны речи	ритм, кепстральный анализ,
Алалия	отсутствие или недоразвитие речи	статистический анализ спектра
Афазия	полная или частичная утрата речи	статистический анализ пауз

Кроме вышеперечисленного, на достоверность постановки диагноза о наличии заболевания, будет оказывать влияние интонационная окраска русского языка [15]. За рубежом уже давно исследуют возможность определения состояния здоровья по косвенным признакам и делают это не только у людей, а и у птиц. Эти исследование подтверждают – вокализация является прямым индикатором здоровья [10, 11].

Выводы

1. Представленный алгоритм, в отличие от рассмотренного в работе [9], учитывает возможную смену: пользователя услуги связи (телефоном санкционировано воспользовался другой человек); телефонного аппарата (пользователь услуг связи купил другой телефон), а, следовательно, потенциально увеличивает вероятность достоверности постановки диагноза о наличии/отсутствии заболевания.
2. Для дифференцирования наличия или отсутствия заболеваний необходимо использовать предложенный алгоритм выделения оптимального порога, обеспечивающего адаптацию к статической выборке параметров речи.
3. Снижение ошибок вычислительного характера возможно за счет применения проверенного математического аппарата определения априорной вероятности правильности постановки диагноза о наличии заболеваний.
4. Обеспечить достоверность определения наличия заболевания, не увеличивая необходимый объём вычислительных ресурсов, возможно при использовании корреляционного анализа.

Литература

1. Попов О.Б., Рихтер С.Г., Терехов А.Н., Чернышева Т.В. Методы оценки качества в каналах телерадиовещания. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. 232 с.
2. Терехов А.Н., Рысин Ю.С. Некоторые пороги восприятия запаздывающих акустических сигналов (эхо-сигналов) // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, № 4, 2015. С. 51-53.
3. Венедиктов М.Д., Рысин Ю.С., Терехов А.Н. Программно аппаратный комплекс для оценки параметров сетей, обеспечивающих телефонные услуги связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. Том 7. № 8. 2013. С. 39-43.
4. Терехов А.Н. The integrated evaluation of the quality of phone conversation under new perspective communication services // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, № 4. 2016. С. 67-72.
5. Терехов А.Н. Устройство коррекции речи. Международный форум информатизации (МФИ – 2008) / Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». М.: Инсвязьиздат, 26 ноября 2008. С. 277-279.
6. Мелконов В.Ю., Рысин Ю.С., Терехов А.Н. Аудиоинформационные устройства для лечения заикания / 7-я международная научно-техническая конференция. Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ – 2008. Доклады, Книга 2. Владимир, 2008. С 87-93.
7. Манонина И.В., Рысин Ю.С., Терехов А.Н. Способы коррекции заикания. Международный форум информатизации / Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы». М.: Инсвязьиздат, 25 ноября 2009. С. 341-343.
8. Рысин Ю.С., Терехов А.Н., Яблочников С.Л. Инструментальная идентификация говорящего в условиях помех // Вестник связи, № 11, 2017. С. 8-10.
9. Денисова М.А., Тутова Н.Д., Терехов А.Н. Оценка достоверности инструментальной диагностики наличия заболеваний по изменению речи в сетях связи. Телекоммуникации и информационные технологии. 2017. Т.4. №2. С. 38-40. (<http://www.srdmtuci.ru/attachments/article/249/ТИТ-2-2017.pdf>).
10. Garamszegi, L. Z., A. P. Møller, János Török, Gábor Michl, Péter Péczely and Murielle Richard (2004). Immune challenge mediates vocal communication in a passerine bird: an experiment // Behavioral Ecology 15 (1): 148-157. DOI:10.1093/beheco/arg108.
11. Redpath, S. M., Bridget M Appleby, Steve J Petty (2000). Do male hoots betray parasite loads in Tawny Owls? // Journal of Avian Biology 31 (4): 457-462. DOI:10.1034/j.1600-048X.2000.310404.x.
12. <http://simptomer.ru/simptom/naruszenie-rechi>.
13. Роман Рожков, Юлия Тишина. «Пакет Яровой» наполнят псевдонимами // Газета «Коммерсантъ» №147 от 12.08.2017. С. 2.
14. Терехов А.Н. Отпечатки устройств и сетей связи в речевом сигнале / Материалы XI научно-практической конференции «Обеспечение прав и свобод человека в современном мире», посвященной памяти заслуженного юриста РФ, доктора юридических наук, профессора Юрия Кузьмича Орлова, Том №3. М.: Проспект, 22 ноября-03 декабря 2016 г. С. 380-386.
15. Брызгунова Е.А. Эмоционально-стилистические различия русской звучащей речи. М., 1984.

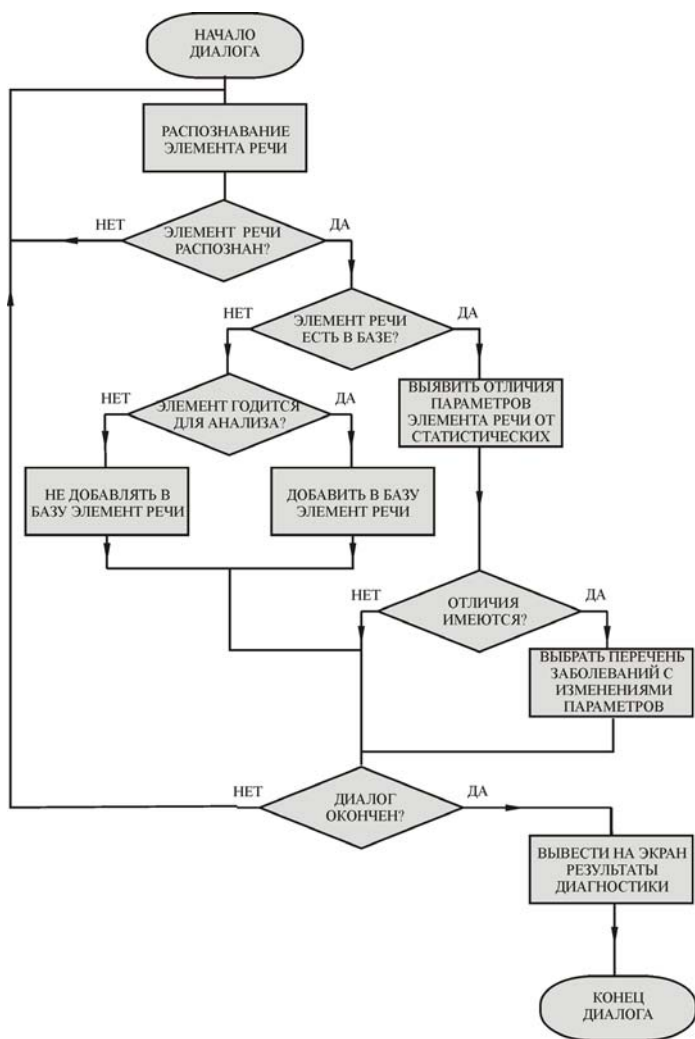


Рис. 2. Укрупнённый алгоритм инструментальной диагностики наличия заболеваний по отклонениям параметров речи в сетях связи

АКУСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ СПОРТИВНЫХ АРЕН В КОНЦЕРТНЫЕ ЗАЛЫ

Уткина Виктория Игоревна,

студентка группы МРА1601 МТУСИ, Москва, Россия,

vikau1995@mail.ru

Чернышёва Татьяна Васильевна,

МТУСИ, к.т.н., доцент кафедры ТВиЗВ, Москва, Россия,

krba2012@yandex.ru

Рассмотрены особенности конструкции спортивного сооружения и задачи, возникающие при проектировании для обеспечения наилучшего восприятия звуковой панорамы слушателем. Выделен качественный параметр, влияющий на разборчивость речи и музыкальных произведений. Проанализированы проблемы, возникающие при трансформации спортивной арены в концертную площадку. Даны рекомендации для устранения основных возникающих акустических проблем при планировании рассмотренных многоцелевых сооружений. Исследована значимость первых кратных отражений и их влияние на формирование звукового поля.

Ключевые слова: реверберация, звук, акустика, спортивные арены, концертный зал, анализ, ранние отражения.

В начале 21 века во всем мире спорт, культура и архитектура спортивных сооружений оказываются перед необходимостью глубокого переосмысления своих границ, целей и инструментов. Это в целом формирует новую картину мира, архитектуры и связей между ними. Спортивные стадионы считаются узкоспециализированными постройками, которые в отличие от других помещений общественного назначения, не подвергались основательной реконструкции и не всегда использовались достаточно рационально [4]. Это приводит к незначительной их нагрузке и, как следствие, их эксплуатация обходится очень дорого. Решение этой проблемы возможно при синтезе противоположных по характеру направлений: культура и спорт. Благодаря чему возникает новый тип сооружений – универсальные спортивно-зрелищные комплексы с большой вместимостью. В эксплуатации многоцелевые спортивно-зрелищные залы имеют экономические преимущества по сравнению с узкоспециализированными зрелищно-массовыми сооружениями. Дальнейший успех строительства универсальных построек зависит от обеспечения наилучших условий эксплуатации. В результате возникает ряд проблем по совмещению нескольких разноплановых мероприятий. К сожалению, такие залы являются неудовлетворительными по качеству звука. Они нацелены на проведение спортивных мероприятий, где звук используется в малом объеме и его качественные параметры не принимаются во внимание. Ставится задача обеспечить необходимое качество звучания при трансформации спортивной арены в концертный зал. Универсальные помещения считаются неудовлетворительными по качеству звука и нуждаются во внимании к их акустическим составляющим [1].

Основной формой спортивных арен с древних времен является амфитеатр. Сейчас стараются модифицировать помещение по специализации проводимых в нем соревнований, то есть возможен отход к другим пространственным формам сооружений. При проектировании зала с трибунами, влияющими на пропорции, желательно соблюдать отношение ширины к высоте, которое не должно быть более 5, иначе может нарушиться диффузность поля [1]. Однако возможно некоторое допущение, превышающее примерно $\frac{1}{4}$ общей длины помещения. Учитывая, что в задних рядах на слушательских местах должен соблюдаться достаточный уровень звука, необходимо правильно подобрать длину зала.

Условия зрительного восприятия также влияют на пространственную организацию, геометрические размеры спортивно-зрелищных залов, специфики зрелищ. Так, например, крытый конькобежный центр в крылатском имеет форму полукруга, где основная трибуна зрителей располагается с наиболее зрелищной стороны – у финиша. Для проведения различных мероприятий требуется в каждом случае специальная площадка определенных размеров, иными словами, у объекта наблюдения имеются свои геометрические характеристики в горизонтальной плоскости. Чаще всего помещения, где проходят различные спортивные соревнования не относят к постройкам с архитектурной акустикой. В настоящее время практически все большие залы оборудованы системой звукоусиления, но всё-таки стараются сохранить требования, обеспечивающие наиболее комфортные акустические условия. К сожалению, в спортивно-зрелищных комплексах первоочередной задачей является обеспечение хорошей видимости и размещение как можно большего количества зрителей, не принимая во внимание слуховое восприятие.

Слуховая оценка звучания на отдельных местах слушателей может быть различна, что обусловлено неправильным соотношением плотности энергии поздних отражений к ранним. Отсюда вводят параметр акустического отношения. При преобладании энергии диффузного поля возникает специфическая проблема, как повышение гулкости. Возникновение этой проблемы характерно для спортивно-зрелищных объектов [5]. В настоящее время при их постройке используются исключительно железобетонные конструкции. Как правило, спортивные сооружения имеют большой внутренний объем и значительное количество хорошо отражающих звук поверхностей. В результате, первоочередной проблемой акустики таких построек является – гулкость. Как следствие, является критерием такого показателя качества, как разборчивость речи. Для спортивных мероприятий этот параметр имеет особое значение, так как необходимо обеспечить хорошую слышимость зрителей при объявлении результатов матча. Достигается это при помощи подбора необходимых характеристик звукового оборудования. Игнорирование этого показателя качества обычно приводит к некомфортным акустическим условиям, как для слушателей, так и для спортсменов. Для крытых катков, например, характерна ситуация, где при высокой гулкости помещения

фигуристы не могут отслеживать темп звукового сопровождения.

При проведении спортивных мероприятий акустика помещения отходит на второй план, и как было сказано ранее, при строительстве спортивных арен не берут во внимание законы геометрической акустики. Поэтому при трансформации в концертный зал необходимо устранить акустические дефекты, проявляющиеся в помещениях такого типа. Правильное расположение сцены, её оформление и материал выполнения влияет на распространение звуковой волны от источника до ограждающих поверхностей, от которых происходит многократное отражение, то есть на формирование диффузного звукового поля. Частично избавиться от акустических проблем такого типа удаётся благодаря конструкциям, применяемым при трансформации помещения. Каждая деталь, использованная в качестве зонирования это неотъемлемая часть для создания необходимой диффузности поля. Кроме того, важен использованный материал, из которого сделаны данные конструкции. Ведь увеличив поглощение, мы сможем уменьшить акустическое соотношение и избавиться от такой частой проблемы при проведении спортивных мероприятий, как гулкость. Акустическое отношение растёт при увеличении расстояния между источником звука с малым значением коэффициента осевой концентрации, уменьшением среднего коэффициента звукопоглощения поверхностей помещения и объёма [2]. На основании этого необходимо проведение специальной акустической обработки при трансформировании спортивной площадки в концертный зал и установки систем звукоусиления. Применение различных конструкций для отражений звуковых волн в зрительный зал позволяет соблюдать достаточную протяженность звучания. Чаще всего концертный зал делится с помощью тканевых завес при сборке 2:1. Такой объём позволяет увеличить коэффициент поглощения и достаточно уменьшить время реверберации. Стоит отметить, что при выборе материала необходимо замерить существующее время реверберации в помещении. Так, в конькобежном дворце на Крылатском при зонировании сцены используют обычные панели ПВХ, что является достаточным для обеспечения требуемого качества звука. За счет уникальности по совместительству двух разноплановых площадок возникает ряд некоторых особенностей. В одном случае зритель на-

блюдает динамичную игру футбольного матча, в другом – становится свидетелем малоподвижного выступления артиста. За счет этого меняется характер и специфика планирования количества и размещения зрительских мест при зрелищных мероприятиях. Возникает проблема обеспечения такого слухового восприятия, которое бы определяло хорошую слышимость речи и музыки при трансформации спортивных площадок в концертные залы. Снижение уровня шума, возникающего при проведении различных спортивно-массовых мероприятий, также влияет на повышение разборчивости речи и улучшению акустических условий для зрителей.

Следуя рекомендациям можно избежать основных возникающих акустических проблем при планировании рассмотренных многоцелевых сооружений. Практическая ценность исследования, несомненно, определяется возможностью получения социального и экономического эффекта от внедрения предложенных рекомендаций в практику проектирования спортивно-зрелищных комплексов. Социальный эффект определяется созданием комфортных условий для слушателя при нахождении на любом из мероприятий в данном помещении. Экономический эффект достигается за счёт оптимизации использования многоцелевого пространства спортивных и концертных сооружений.

Литература

1. Вахитов Ш.Я., Ковалгин Ю.А. и др. Акустика: Учеб. Пособие. М.: Изд. Горячая линия – Телеком, 2009.
2. Назаренко И.К. Основы пространственной организации универсальных спортивно-зрелищных залов большой видимости: Учеб. метод. пособие для студентов; СмииСО, 2012.
3. СНиП 2.08.02-89 – справочное пособие: «Проектирование спортивных залов, помещений для физкультурно-оздоровительных занятий и крытых катков с искусственным льдом».
4. Выхольский Н.А. Проблемы модернизации городских спортивных сооружений: Статья; институт архитектуры и искусств, 2012.
5. Макриненко Л.И., Сухов В.Н., Щиржецкий Х.А. и др. Рекомендации по акустическому проектированию крытых спортивных сооружений: Научно-исследовательский институт строительной физики Госстроя СССР, 1987.

ВЫБОР РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-R ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗОН ПОКРЫТИЯ СИГНАЛОМ DVB-T2

Михаил Ильич ЯКОБ,

*Аспирант, Генеральный директор Г.П. “Радиокоммуникаций”, Молдова,
mihail.iacob@radiocom.md*

Юрий Иванович ДЕМЧУК,

*Магистр, инженер Технического отдела Г.П. “Радиокоммуникаций”, Молдова,
iurie.demciuc@radiocom.md*

Ион Андреевич АВРАМ

*Кандидат технических наук, Технический Университет Молдовы, доцент, Молдова,
ion.avram@rc.utm.md*

Проведено сравнение значений прогноза напряженности электромагнитного поля, выполненных в соответствии с рекомендациями МСЭ-R P.370, МСЭ-R P.1546 и МСЭ-R P.1812, с результатами полевых измерений. Расчеты и измерения выполнены для одной из зон цифрового телевидения DVB-T2 Республики Молдова, функционирующей в синхронном режиме на 31 телевизионном канале.

Ключевые слова: цифровое наземное телевидение, DVB-T2, SFN, эффективно излучаемая мощность, МСЭ-R P.370, МСЭ-R P.1546, МСЭ-R P.1812, зона покрытия, минимальная медианная напряженность поля.

Введение

Зона покрытия наземным радиосигналом может быть представлена в виде определенной территории на границе которой величина напряженности поля равна или превышает величину минимальной медианной напряженности поля. Качество приема телевизионных наземных сигналов зависит от множества факторов, как например: технические параметры передатчика и приемника; высота подвеса и технические характеристики передающей и приемной антенны; рельеф и ландшафт местности в зоне покрытия; плотность и высота застройки в месте приема; время дня; время года; погодные условия и многие другие. Сложность учета всех факторов влияющих на качество приема позволяет говорить лишь об прогнозировании зоны покрытия. Даже самые сложные, комплексные методики не предоставляют абсолютно точной физической модели распространения радиоволн. Для прогнозирования зон покрытия наземным радиосигналом могут быть использованы модели представленные в рекомендациях МСЭ-R.

Специалисты профильных предприятий Республики Молдова длительное время с успехом используют Рекомендацию МСЭ-R P.1546, которая демонстрирует приемлемую точность расчетов. В то же время была поставлена задача проверить точность прогнозирования в случае использования рекомендаций МСЭ-R P.370 и МСЭ-R P.1812. В целях реализации поставленной задачи, был проведен программный расчет напряженности поля в 6 контрольных точках расположенных в зоне взаимных интерференций 3 передатчиков DVB-T2. Передатчики расположены вблизи населенных пунктов г.Стрэшень, г. Хынчешть и с. Иванчя, работают в режиме SFN (Single Frequency Network) и обеспечивают сигналом одну из зон цифрового наземного вещания.

На рисунке 1 показано местоположение передатчиков и выбранных контрольных точек на карте местности. В ходе выполнения поставленной задачи было проведено сравнение результатов теоретических расчетов с результатами полевых измерений.

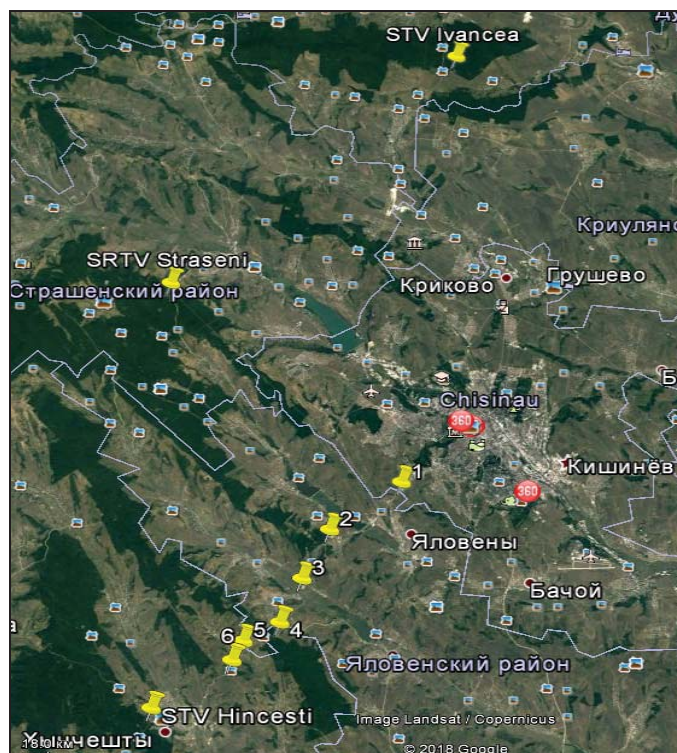


Рис. 1. Местоположение передатчиков и контрольных точек приема на карте местности

Подготовка данных для прогнозирования напряженности поля

Исходными данными для расчета напряженности поля являются: эквивалентная излучаемая мощность на выходе передающих антенн; географические координаты пунктов передачи и приема; высота над уровнем моря оснований передающих и приемных мачт; высота подвеса передающих и приемных антенн; характеристики направленности передающих и приемных антенн.

Вышеназванные характеристики исследуемой сети представлены в табл. 1 и 2.

ТАБЛИЦА 1

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЮЩИХ АНТЕНН

Параметры	Передающие антенны		
	Стрэшны	Хынчешты	Иванця
Географические координаты	E28.33°57.7" N 47.07°17.5"	E28.34°02.1 N 46.49°26.9"	E28.48°51.2" N 47.17°45.6"
Высота местности над уровнем моря, м	329	273	202
Высота подвеса, м	283	70	110
Поляризация	Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная
Диаграмма направленности	Круговая	Круговая	Круговая
Э.И.М.(W)	2536	1325	392

ТАБЛИЦА 2

ПАРАМЕТРЫ ПУНКОВ ПРИЕМА

Контрольные точки	Характеристика пунктов приема		
	Географические координаты	Высота местности над уровнем моря, м	Высота подвеса антенны, м
№1	28E46°14.05", 46N58°40.61"	188	10
№2	28E42°37.24", 46N56°41.44"	216	10
№3	28E41°16.79", 46N54°40.18"	93	10
№4	28E40°13.9", 46N52°53.22"	245	10
№5	28E38°26.22", 46N52°08.12"	161	10
№6	28E37°55.06", 46N51°21.92"	161	10

Модели для прогноза напряженности поля

Применительно к телевизионным наземным сигналам, рекомендации МСЭ-R P.370, МСЭ-R P.1546, МСЭ-R P.1812 дают возможность выполнять прогнозирование напряженности электромагнитного поля в режиме «точка-зона» во всех телевизионных частотных диапазонах I-V.

Прогноз напряженности электромагнитного поля согласно моделей ITU-R P.370, ITU-R P.1546, основан на использовании кривых распространения радиоволн. Кривые представляют собой полученные экспериментальным путем значения напряженности поля превышаемые для заданного процента мест (в пределах заданных элементарных площадей) и заданного процента времени. Высота подвеса передающей антенны оценивается эффективной высотой, которая соответствует высоте ее подвеса над рельефом местности усредненном на расстоянии 3-15 км в направлении приемной антенны.

В связи с этим полученное в ходе расчетов значение напряженности поля, для заданных условий, является среднестатистическим в пределах заданной элементарной площади. Вместе с тем данные методики не дают возможность выполнять расчет типа „точка-точка”, в этом случае коректнее подразумевать расчет типа „точка-элементарная площадь”.

Рекомендация ITU-R P.1812 описывает метод прогнозирования, пригодный для подробной оценки уровней сигнала, для заданного процента мест и заданного процента времени. Данный метод предусматривает подробный анализ трассы на основе профиля земной поверхности.

Предсказания для систем "из точки в зону", выполняемые с использованием этого метода, состоят из множества предсказаний "из точки в точку", которые равномерно распределены в проектируемой зоне покрытия. Количество точек при этом должно быть достаточно большим, для того чтобы предсказанные значения напряженности поля были бы разумными оценками средних значений для конкретных элементарных площадей, которые они описывают.

Программный расчет напряженности поля для выбранных контрольных точек был выполнен в соответствии с тремя представленными выше моделями.

Сравнение результатов расчета напряженности поля с результатами полевых измерений

Запланированные измерения напряженности поля создаваемого антенно-фидерными устройствами передатчиков расположенных в г. Стрэшень и с. Иванця удалось провести в точках 2, 3, 4, 5 и 6. Измерение напряженности поля создаваемого передатчиком расположенным в г. Хынчешты были проведены в 6 точках. Измерение напряженности поля одного из передатчиков проводилось при условии отключения двух других. Прогнозируемые и измеренные значения напряженности поля представлены в табл. 3 и 4.

ТАБЛИЦА 3

ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ В КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧКАХ

Контрольная точка	Прогнозируемые значения напряженности поля Емсэ передатчика в соответствии с рекомендацией								
	МСЭ-R P.370-7, dB(μV/m)			МСЭ-R P.1546-5, dB(μV/m)			МСЭ-R P.1812-3, dB(μV/m)		
	Стрэшень	Хынчешты	Иванця	Стрэшень	Хынчешты	Иванця	Стрэшень	Хынчешты	Иванця
№1	75,6	62,8	43,8	69	56,7	39,2	81,1	67,7	49,6
№2	70,2	69,3	44,5	65,3	62	38	65,8	80,2	49
№3	62,8	58,8	28,7	59,3	54,6	26,9	49,2	47,7	30,4
№4	72,9	73,3	44,3	65,6	68,8	33,1	78,3	70,7	51,4
№5	57	62,7	19	54,4	55,3	17,2	44,8	50,4	27,9
№6	67,9	89,9	41,5	64	77	30,7	63,9	88,4	48,6

ТАБЛИЦА 4

ИЗМЕРЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ В КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧКАХ

Контрольная точка	Измеренные значения напряженности поля Е, азимут, расстояние до передатчика								
	Передатчик Стрэшень			Передатчик Хынчешты			Передатчик Иванця		
	Азимут, °	Расстояние, км	Е, dB(μV/m)	Азимут, °	Расстояние, км	Е, dB(μV/m)	Азимут, °	Расстояние, км	Е, dB(μV/m)
№1	315	22,3		221	23,1	70,7	4	35,5	
№2	330	22,6	60,3	218	17,3	63,4	10	39,8	49
№3	337	25,2	52	222	13,4	48,8	11	43,9	41,1
№4	342	27,9	48,1	230	10,2	71,4	12	47,4	43,7
№5	347	28,7	51,9	227	7,5	56,1	14	49,3	41
№6	349	30	63,8	233	6,1	88,7	15	50,8	51,1

Проведем сравнение значений прогноза и результатов измерений, для чего из прогнозируемых значений напряженности поля Емсэ вычтем измеренные значения напряженности поля Е. Полученные данные внесем в табл. 4. Результаты статистической обработки полученных данных запишем в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5

**СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПРОГНОЗА
С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Контрольная точка	(Емсэ – Е)								
	МСЭ-Р Р.370-7, dB(μV/m)			МСЭ-Р Р.1546-5, dB(μV/m)			МСЭ-Р Р.1812-3, dB(μV/m)		
	Стрэгень	Хынчеить	Иванчя	Стрэгень	Хынчеить	Иванчя	Стрэгень	Хынчеить	Иванчя
№1		-7,9			-14			16,8	
№2	9,9	5,9	-4,5	5	-1,4	-11	5,5	16,8	0
№3	10,8	10	12,4	7,3	5,8	14,2	-2,8	-1,1	10,7
№4	24,8	1,9	0,6	17,5	-2,6	10,6	30,2	-0,7	7,7
№5	5,1	6,6	-22	2,5	-0,8	23,8	-7,1	-5,7	13,1
№6	4,1	1,2	-9,6	0,2	-11,7	20,4	0,1	-0,3	-2,5

ТАБЛИЦА 6

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ В
КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧКАХ**

Характеристика события, dB(μV/m)	Частота события		
	Р.370	Р.1546	Р.1812
$ \text{Емсэ-Е} \leq 3$	3	5	7
$3 < \text{Емсэ-Е} \leq 6$	4	2	2
$6 < \text{Емсэ-Е} \leq 10$	4	1	2
$10 < \text{Емсэ-Е} \leq 16$	3	5	2
$16 < \text{Емсэ-Е} $	2	3	3

Выводы

1. Более точные результаты прогнозирования получены при использовании моделей МСЭ-Р Р.1812 и МСЭ-Р Р.1546. Тем не менее анализ полученных данных демонстрирует возможность использования для расчетов и модели МСЭ-Р Р.370.

2. При сравнении результатов 16 измерений и 16x3 прогнозов, в 15 случаях расхождение между прогнозом и измерением находится в диапазоне ± 3 dB (что соответствует погрешности измерения) а в 23 случаях это расхождение находится в диапазоне ± 6 dB, что представляет приблизительно половины всех случаев прогноза.

3. При проектировании сетей наземного цифрового вещания целесообразно использовать не менее двух рекомендаций: МСЭ-Р Р.1546 и МСЭ-Р Р.1812; или МСЭ-Р Р.370 и МСЭ-Р Р.1812. При этом методика МСЭ-Р Р.1546 (или МСЭ-Р Р.370) позволит более наглядно обозначить предполагаемые границы зоны покрытия, а методика МСЭ-Р Р.1812 позволит более наглядно выявить теньевые зоны.

Литература

1. ETSI TS 102 831. Technical Specification Digital Video Broadcasting; Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).

2. ITU-R P.1546 Method for point-to area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz.

3. ITU-R P.370-7 VHF and UHF propagation curves for the frequency.

4. Рекомендация МСЭ-Р Р.1812 Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ.

5. Final acts of the regional radiocommunication conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 and 470-862 MHz (RRC-06).

ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Аджемов Сергей Сергеевич,

д.т.н., начальник отдела, МТУСИ, Москва, Россия,

adjemov@mail.ru

Доможакова Виктория Викторовна,

ведущий инженер-программист, МТУСИ, Москва, Россия,

viktoriyabuzanova@gmail.com

Трунов Сергей Викторович,

студент, МГТУ им. Баумана, Москва, Россия,

trunov224@gmail.com

Рабочее время в условиях современного рынка – одно из самых дорогих ресурсов, поэтому увеличение производительности работы одного работника экономически оправдано. Так при ручном измерении параметров операционных усилителей (ОУ) и разбраковке микросхем требуется затрачивать не только время, но и готовить специалистов определенного уровня. Рассматриваемая система позволит повысить производительность труда работника за счет автоматизации требуемых измерений и проведения их на одной установке, снизить вероятность возникновения ошибки за счет неверных начальных установок режимов измерения, а также не требует высокой квалификации от оператора.

Основной задачей работы является разработка графического приложения, выполняющее взаимодействие с пользователем и измерительными приборами согласно заданному алгоритму измерения ОУ, обеспечивающее при этом минимальное время, затрачиваемое на измерение всех параметров усилителя.

Абстрагирование работника от измерительного оборудования реализуется через интерфейс программы. Для этого требуется обеспечить измерение всех параметров без лишних манипуляций с испытуемым образцом. Из [1] известно, что основными статическими параметрами операционного усилителя являются: напряжение смещения нуля, максимальное выходное напряжение, ток потребления, коэффициент усиления, входные токи инвертирующего и не инвертирующего входов, коэффициент ослабления синфазных сигналов, коэффициент влияния источников питания, максимальный выходной ток. Проведя сравнительный анализ методик измерения, указанных выше параметров, нетрудно заметить, что для измерения одного из параметров усилителя требуется выполнить: определенное включение ОУ, подключить измерительное устройство в требуемое место, подать питание и испытательные сигналы на микросхему.

Основным аналогом, разрабатываемого комплекса, является ручной измеритель, состоящий из источников питания, вольтметров, двух амперметров, подстроечных резисторов и 18 штук переключателей, обеспечивающих коммутацию ОУ согласно схеме измерения. Главные недостатки такого устройства являются временные затраты на измерения всех параметров, возможность возникновения ошибки и необходимость переноса измеренных данных в электронный формат. Замена ручного измерителя на автоматический позволит избежать указанных недостатков и автоматизирует процесс измерений ИМС.

Соответственно структурная схема измерительного комплекса (см. рис. 1) представляет из себя:

- персональный компьютер (ПК);
- вольтметр;
- управляемый источник-измеритель постоянного напряжения;
- управляемый источник-измеритель испытательных сигналов;
- коммутирующее устройство;
- источник питания коммутирующего устройства;
- контактное устройство с ОУ.

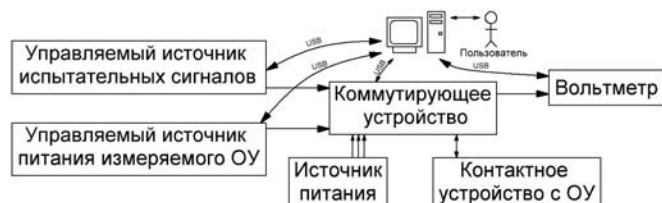


Рис. 1. Схема функционирования комплекса

ПК выполняет основную программу, выполняющую связь пользователя с измерительным оборудованием. Другими словами, оператор при нажатии на клавишу «измерить» запускает основной алгоритм программы согласно которому ПК управляет измерительными приборами и коммутирующим устройством производит полный цикл измерений с последующим выводом результатов на экран монитора.

Вольтметр – измерительный прибор, обеспечивающий измерение постоянного напряжения, в диапазоне от сотен микровольт до десятков вольт, с последующей передачей данных по шине USB в ПК.

Управляемый источник-измеритель питания и испытательных сигналов – предназначен для установки точного напряжения на ОУ и испытательных сигналов, с последующим измерением токов, отдаваемых в нагрузку. Управление и измерение происходит по шине USB.

Источник питания – стабилизированный источник постоянного напряжения с напряжением питания $E_n = \pm 15\text{В}$ и $E_n = +5\text{В}$. Предназначен для служебного питания коммутирующего устройства.

Коммутирующее устройство – набор твердотельных реле (обеспечивающих коммутацию ОУ и источников сигнала согласно схеме включения для измеряемого параметра), цифроаналоговый преобразователь (для точной балансировки ОУ) и микроконтроллера (для связи с ПК и управления реле).

Связь устройства и ПК осуществляется по COM порту, для

удобства использования применяется преобразователь USBto-COM.

Контактное устройство содержит в себе сменную плату под разный корпус с тестируемым ОУ и распаянной на ней схемой включения для измерения параметров.

Реализация программного обеспечения проводилась в среде LabVIEW, на графическом языке программирования «G», фирмы National Instruments. Применение LabVIEW в рассматриваемом приложении связано с поддержкой огромного спектра оборудования различных производителей и имеет в своём составе (либо позволяет добавлять к базовому пакету) многочисленные библиотеки компонентов.

Один из возможных сценариев работы комплекса выглядит следующим образом. При запуске управляющей программы происходит установка связи с измерительными приборами, и их первичная инициализация. После чего пользователю предлагается выбрать конфигурационный файл в соответствии с типом измеряемого ОУ и применить изменения. Наличие «вшитых» в программу конфигурационных файлов поможет снизить ошибки при тестировании ОУ оператором, так как не потребует использования ручного ввода с клавиатуры или последующего сравнения результатов измерений с нормами на параметры. По нажатию пользователем на кнопку «измерить», система переходит в активный режим и согласно предустановленному алгоритму начинает проводить последовательное измерение параметров ОУ, сравнение полученных результатов с нормами и их вывод на лицевую панель с соответствующей индикацией годности параметра. По желанию пользователя все измерения можно сохранить в файл.

Например, процесс измерения коэффициента усиления начинается с предварительной балансировки испытуемой микросхемы. ПК посылает по шине USB в коммутирующее устройство команду о коммутации всех реле с подключением вольтметра на выход ОУ. Далее по алгоритму половинного деления через цифроаналоговый преобразователь управляющая программа балансирует вход ОУ так, чтобы на вольтметре установился ноль входного напряжения с заданной точностью. В случае, если балансировка выполнена успешно, программа переходит к измерению коэффициента усиления, если нет, то измерение пропускается, а результат равен нулю. Для измерения коэффициента усиления коммутатор переключает входы микросхемы согласно инвертирующему включению ОУ (с коэффициентом передачи равным $K_u = -1$), а вспомогательный инструментальный усилитель подключается между входами ИМС. Подавая симметричный сигнал (указанный в технических условиях на микросхему) относительно нуля на инвертирующий вход микросхемы, регистрируется изменение напряжения на

выходе инструментального усилителя. Отношение разности испытуемого сигнала к разности напряжений на выходе инструментального усилителя является коэффициентом усиления схемы. В случае если результат превосходит норму на указанный параметр, то рядом с результатом загорается индикатор зеленого цвета. Алгоритм работы одного модуля системы, рассмотренный ранее с небольшими изменениями распространяется на остальные параметры. Разработанная система измеряет все параметры одного канала ОУ мене чем за 30сек, в то время как на ручной установке это время составляет порядка 5мин.

Автоматизация измерений позволит не только проводить измерения параметров ОУ, но и строить графики зависимостей параметров микросхемы от напряжения питания, входного сигнала и сопротивления нагрузки, что является особенно актуальным при исследованиях экспериментальных образцов.

Разработанное приложение можно использовать для контроля параметров микросхемы не только в корпусе, но и на полупроводниковой пластине на этапе входного контроля или в ходе лазерной настройки параметров с минимальными изменениями.

В данной работе разработано приложение в среде LabVIEW, направленное на автоматизацию ручных измерений, что привело к повышению скорости и точности производимых измерений. Решение поставленной задачи упростит и удешевит процесс изготовления и контроля параметров микросхем операционных усилителей.

Литература

1. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том I: Пер. с нем. М: ДМК Пресс, 2008.
2. *Тревис Дж.* LabVIEW для всех: пер. с англ. Н.А. Клушина. М.: ДМК Пресс; ПриборКомлект, 2005.
3. *Кучумов А.А., Кучумов А.И.* Электроника и схемотехника. Издание пятое, переработанное и дополненное. М.: Гелиос АРВ, 2017. 367 с.
4. *Кучумов А.А., Кучумов А.И.* Машинное моделирование прохождения модулированных сигналов через аналоговые линейные цепи на основе быстрого преобразования Фурье // Измерительная техника. 1998. №8. С. 38.
5. *Кучумов А.А., Припутин В.С., Николаев А.В.* Реализация на ПЛИС алгоритма оптимального сложения для систем широкополосной связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. №11. С.55-57.
6. *Курахтенков Л.В., Кучумов А.А., Жанкевич А.О.* Новые методы интерполяции сигнала с нерегулярной дискретизацией и их применение // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2010. № 11. С. 46-48.

МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ И МЕТОД АНАЛИЗА НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ В ЗАДАЧЕ СЛЕПОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ СИГНАЛОВ

Аджемов Сергей Сергеевич,

д.т.н., начальник отдела, МТУСИ, Москва, Россия,

adjemov@mail.ru

Кучумов Андрей Александрович,

к.т.н., зам. начальника отдела, МТУСИ, Москва, Россия,

kuchumov@gmail.com

Либеровский Никита Юрьевич,

инженер 1-ой категории, МТУСИ, Москва, Россия,

liberovsky.nikita@mail.ru

Припутин Владимир Сергеевич,

к.т.н., с.н.с., МТУСИ, Москва, Россия,

v-priputin@yandex.ru

Введение

Методы слепого разделения сигналов представляют собой перспективное направление цифровой обработки сигналов, решающее задачу разделения различных поступающих на массив приемных устройств сигналов, не имея априорной информации о структуре приемных устройств и характеристиках поступающих сигналов. Единственные предположения о свойствах передаваемой системы состоят в том, что сигнал наблюдений линейно зависит от сигнала источников. Также предполагается, что источники сигналов являются статистически независимыми.

Основным преимуществом слепого метода разделения сигналов является гибкость его алгоритмов по отношению к изменениям передаваемой среды. Поскольку в реальных условиях работы существует много неизвестных факторов, влияющих на прием сигнала, то любое отклонение конкретной априорной информации, заложенной в стандартных методах пространственно-поляризационной селекции, приводит к систематическим погрешностям в работе, компенсировать которые на практике представляется затруднительным. Помимо различных направлений исследований в этой области в отечественной науке [1-3], в данной работе приведен обзор принципов слепого разделения сигналов, основанных как на критериях некоррелированности, так и на критериях независимости сигналов, используя результаты теории информации.

Математическая модель смешивания принимаемых сигналов

Пусть на антенную решетку падают N статистически независимых исходных сигналов. Тогда каждый наблюдаемый сигнал является линейной комбинацией этих N источников, что можно представить следующим равенством:

$$x_j(t) = \sum_{i=1}^N a_{ji} s_i(t), \quad (1)$$

где a_{ji} ($i \in \{1, 2, \dots, N\}$, $j \in \{1, 2, \dots, M\}$) – смешивающие коэффициенты, $s_i(t)$ ($i \in \{1, 2, \dots, N\}$) – исходные

сигналы, $x_j(t)$ ($j \in \{1, 2, \dots, M\}$) – наблюдаемые сигналы.

В матричной форме выражение (1) будет выглядеть следующим образом:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t), \quad (2)$$

где $\mathbf{A} \in \mathbf{R}^{M \times N}$ – смешивающая матрица,

$\mathbf{s}(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)]^T \in \mathbf{R}^{N \times 1}$ – вектор исходных

сигналов, $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]^T \in \mathbf{R}^{M \times 1}$ – вектор наблюдаемых сигналов.

Поскольку все реальные каналы связи неидеальны, то вектор наблюдаемых сигналов помимо смеси исходных сигналов содержит аддитивный шум, который необходимо учитывать:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t), \quad (3)$$

где $\mathbf{n}(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_M(t)]^T \in \mathbf{R}^{M \times 1}$ – вектор аддитивного шума.

Метод главных компонент (Principal component analysis, PCA)

Суть метода главных компонент состоит в том, чтобы путем линейных преобразований изначальных векторов \mathbf{X} найти векторы $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_N$, обладающие максимальной дисперсией. Каждый из векторов $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_N$ можно представить следующим образом [4]:

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{v}_i^T \mathbf{X} \quad (i = 1, \dots, N), \quad (1)$$

где \mathbf{v}_i – векторы, содержащие соответствующие весовые коэффициенты.

Данную задачу можно решить рекурсивным способом. Значение вектора \mathbf{v}_1 находится исходя из условия $\mathbf{v}_1 = \arg \max_{\|\mathbf{v}\|=1} E \left\{ (\mathbf{v}^T \mathbf{X})^2 \right\}$. Затем проводится процедура ортогонализации Грамма-Шмидта, уменьшая размерность входных данных \mathbf{X} . Оставшиеся $N-1$ векторы \mathbf{v}_i нахо-

дятся аналогично в оставшемся подпространстве сигналов.

Хотя основная задача PCA состоит в создании набора некоррелированных сигналов, в большинстве случаев необходимо уменьшить размерность данных с N до p , чтобы избавиться от ненужных сигналов.

На практике, вычисление \mathbf{V}_i может быть сведено к нахождению собственных векторов матрицы $\mathbf{C} = \mathbf{X}^T \mathbf{X}$. Используя сингулярное разложение, матрица \mathbf{X} может представлена следующим образом:

$$\mathbf{X} = \mathbf{U} \mathbf{S} \mathbf{V}^T, \quad (2)$$

где \mathbf{S} – матрица размерности $M \times N$, заполненная нулями кроме элементов S_i , расположенных на главной диагонали в порядке убывания. Каждое значение S_i равно $\sqrt{\lambda_i}$, где λ_i – собственные значения матрицы $\mathbf{C} = \mathbf{X}^T \mathbf{X}$. Чем меньше λ_i , тем меньше общая энергия сигнала, получаемая при i -ом линейном преобразовании матрицы \mathbf{X} . Таким образом, сигнал, соответствующий наименьшему значению λ_i , зачастую считают эквивалентным шуму. Столбцы матрицы \mathbf{V} представляют собой собственные векторы \mathbf{v}_i матрицы \mathbf{C} .

Основы метода анализа независимых компонент (Independent Component Analysis, ICA)

Метод ICA является обобщенным названием набора алгоритмов [5], позволяющих разделить независимые сигналы по наблюдаемым данным, предполагая, что наблюдения представляют собой линейную смесь независимых сигналов.

Основная идея ICA состоит в нахождении размещающей матрицы \mathbf{W} , решая задачу оптимизации различных критериев независимости сигналов. В данной статье будут рассмотрены следующие алгоритмы:

- применение коэффициента эксцесса в задаче максимизации негауссовости;
- применение негэнтропии в задаче максимизации негауссовости;

Максимизация негауссовости сигнала

Основная идея данного метода состоит в том, что согласно Центральной предельной теореме, сумма независимых случайных величин имеет распределение, близкое к нормальному. Таким образом, для того, чтобы разделить независимые сигналы, необходимо найти такую размещающую матрицу \mathbf{W} , чтобы выходные сигналы имели распределение, как можно более непохожее на нормальное. В качестве критерия негауссовости можно применять различные величины, например коэффициент эксцесса

$\kappa = \frac{E\{(x - \mu_x)^4\}}{\sigma^4}$, где μ_x – математическое ожидание случайной величины x , а σ – его среднеквадратическое отклонение. Поскольку коэффициент эксцесса гауссовой величины равен 3, то чем больше коэффициент эксцесса отличается от 3, тем больше распределение вероятности сигнала отличается от нормального.

Использование негэнтропии вместо коэффициента эксцесса

Хотя коэффициент эксцесса κ в теории является неплохим критерием негауссовости сигнала, его значение довольно чувствительно к изменениям на концах распределения. Поэтому желательно иметь другие критерии независимости сигналов.

В качестве такового можно выбрать негэнтропию сигнала. Данный критерий основан на измерении энтропии в терминах теории информации. Чем более непредсказуемой является случайная величина, тем больше ее энтропия. Для дискретной случайной величины y , принимающая множество значений $\{y_i\}$ с вероятностным распределением

$P(y_i)$, энтропия H определяется следующим образом:

$$H(y) = -\sum_i P(y_i) \log_2 P(y_i). \quad (3)$$

Данное определение можно обобщить для непрерывных случайных величин, введя понятие дифференциальной энтропии. Для случайного вектора \mathbf{y} с плотностью распределения $f(\mathbf{y})$ дифференциальная энтропия h определяется следующим образом:

$$h(\mathbf{y}) = -\int f(\mathbf{y}) \log_2 f(\mathbf{y}) d\mathbf{y} \quad (4)$$

Фундаментальным результатом теории информации является тот факт, что случайная величина с нормальным распределением вероятности имеет наибольшую энтропию среди всех случайных величин с одинаковой дисперсией. Это означает, что энтропию можно использовать как меру негауссовости сигнала. Введем понятие негэнтропии. Для случайного вектора \mathbf{y} негэнтропия J определяется следующим образом:

$$J(\mathbf{y}) = h(\mathbf{y}_G) - h(\mathbf{y}), \quad (5)$$

где \mathbf{y}_G – гауссовая случайная величина с той же матрицей ковариации, как и у \mathbf{y} . Негэнтропия всегда неотрицательна и равна нулю тогда, и только тогда, когда \mathbf{y} имеет нормальное распределение вероятности.

Негэнтропия является эффективным критерием негауссовости сигнала. Однако для его вычисления необходимо знать функцию плотности вероятности сигнала, что затрудняет его использование в задачах слепого разделения сигналов. Существует два решения этой проблемы: эмпирическим путем на основе наблюдаемых сигналов оценить функцию плотности вероятности, или же приближенно выразить негэнтропию через хорошо вычисляемые величины. Например, можно вывести негэнтропию через коэффициент эксцесса:

$$J(y) \approx \frac{1}{12} E\{y^3\}^2 + \frac{1}{48} \kappa(y)^2, \quad (6)$$

однако такая аппроксимация имеет те же проблемы, связанные с коэффициентом эксцесса. Существует другая аппроксимация:

$$J(y) \approx [E\{g(y)\} - E\{g(\mathcal{G})\}]^2, \quad (7)$$

где \mathcal{G} – гауссовая случайная величина с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, g – некоторая неквадратичная функция, выбираемая заранее. В качестве g

обычно выбирают $\frac{1}{\alpha} \ln \cosh(\alpha y)$ или $-e^{-\frac{y^2}{2}}$.

Использование критерия взаимной информации в методах ИСА

Используя понятие дифференциальной энтропии, можно определить характеристику, называемой взаимной информацией I между M случайных величин y_i , $i = 1, \dots, M$ [6]:

$$I(y_1, y_2, \dots, y_M) = \sum_{i=1}^M H(y_i) - H(\mathbf{y}). \quad (8)$$

Взаимная информация является мерой независимости между случайными величинами. Она всегда неотрицательна и равна нулю тогда, и только тогда, когда случайные величины y_1, y_2, \dots, y_M являются независимыми. В частном случае, когда y_i имеет единичную дисперсию, взаимная информация может быть выражена через негэнтропию следующим образом:

$$I(y_1, y_2, \dots, y_M) = c - \sum_{i=1}^M J(y_i), \quad (9)$$

где c – константа. Тем самым, подставляя вместо $J(y_i)$ различные аппроксимации, можно получить семейство алгоритмов, основанных на информационных критериях разделения независимых сигналов.

Заключение

Рассмотрен вопрос слепого разделения сигналов и несколько подходов к его решению.

Рассмотрен также метод главных компонент PCA, позволяющий преобразовать набор входных сигналов к набору некоррелированных выходных сигналов.

Данный метод хорошо подходит для начальной подготовки сигналов к дальнейшему разделению.

Был рассмотрен метод анализа независимых компонент ИСА, позволяющий разделить сигналы, используя различные критерии независимости сигналов.

Предложены критерии, основанные на максимизации негауссовости сигналов. Для этого были использованы различные статистики сигналов, такие как коэффициент эксцесса, негэнтропия и взаимная информация сигналов. Эти критерии открывают многочисленные возможности исследования различных семейств алгоритмов слепого разделения сигналов.

Литература

1. Припутин В.С. Метод слепого разделения сигналов на базе статистик второго порядка в задаче пространственно-поляризационной селекции // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. №6. С. 36-39.
2. Аджемов С.С., Кучумов А.А., Макаренков С.А., Припутин В.С. Тензорный алгоритм слепого разделения сигналов / Материалы VI отраслевой научной конференции-форума «Технологии информационного общества». М.: МТУСИ, 2012. С. 93-93.
3. Припутин В.С. Поддержание связности в алгоритмах слепого разделения сигналов / Материалы VI отраслевой научной конференции-форума «Технологии информационного общества». М.: МТУСИ, 2012. С. 97-97.
4. Jolliffe IT Principal Component Analysis // New York: Springer-Verlag, 1988.
5. A. Hyvarinen. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis // IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 10, no. 3, pp. 626-634, May 1999.
6. Xianchuan Yu, Dan Hu, Jindong Xu. Blind Source Separation: Theory and Applications. Wiley, 2014.

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФИЛЬТРОВ АНАЛИЗА И ФИЛЬТРОВ СИНТЕЗА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Голубев Евгений Аркадьевич,
д.т.н., г.н.с., МТУСИ, Москва, Россия

Лобова Елизавета Олеговна,
инженер 1-ой категории, МТУСИ, Москва, Россия,
lizabeth2@mail.ru

Магсумов Виль Ренатович,
инженер 1-ой категории, МТУСИ, Москва, Россия,
vilmagsumov1993@gmail.com

Припутин Владимир Сергеевич,
к.т.н., с.н.с., МТУСИ, Москва, Россия,
v-priputin@yandex.ru

Введение

Цифровые многоскоростные банки цифровых фильтров анализа-синтеза одним из первых были описаны Крошье в работе для сжатия речи. С течением времени, подобные системы получили широкое распространение, главным образом, для субполосного кодирования звука, изображений и видео [1-3].

Банк фильтров состоит из фильтров анализа и синтеза, образуя систему анализа-синтеза. При анализе сигнал разделяется в частотной области на M составляющих, в каждой из которых, для уменьшения нагрузки на вычислительную систему, понижается частота дискретизации с коэффициентом M при помощи дециматоров для последующей обработки, зависящей от области применения, а при выполнении синтеза составляющие интерполируются с коэффициентом M при помощи интерполяторов и объединяются для получения выходного сигнала. Общая схема построения банка фильтров

представлена на Рис. 1.

Многоскоростная фильтрация, предполагающая возможность изменения частоты дискретизации входных цифровых сигналов в ходе их преобразования, является эффективным инструментом уменьшения требуемых вычислительных ресурсов и емкости памяти данных, используемых для реализации микропроцессорных систем. В данной работе речь пойдет об основных методах построения фильтров анализа и фильтров синтеза сигналов.

Различают банки фильтров с полным и не полным восстановлением исходного сигнала. Полное восстановление заключается в том, что сигнал, прошедший через систему анализа-синтеза, полностью повторяет форму входного с точностью до задержки. Для этого фильтры синтеза должны подавлять наложения спектра (см. 2 и

Рис. 3) и устранять амплитудные и фазовые искажения.

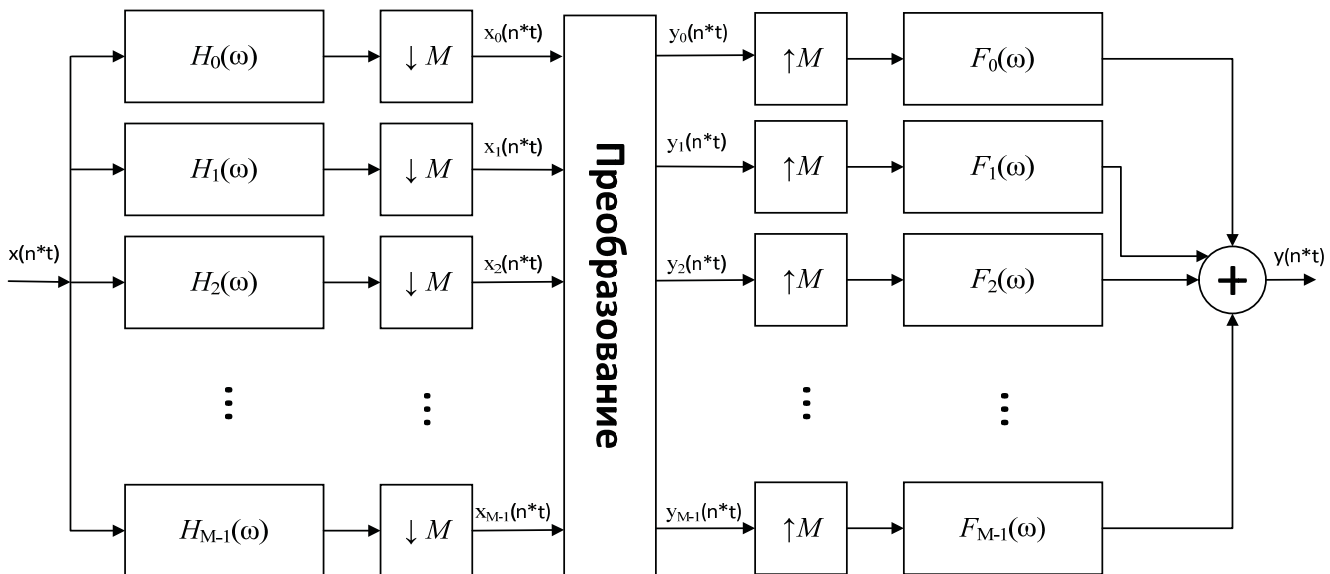


Рис. 1. Структурная схема банка фильтров

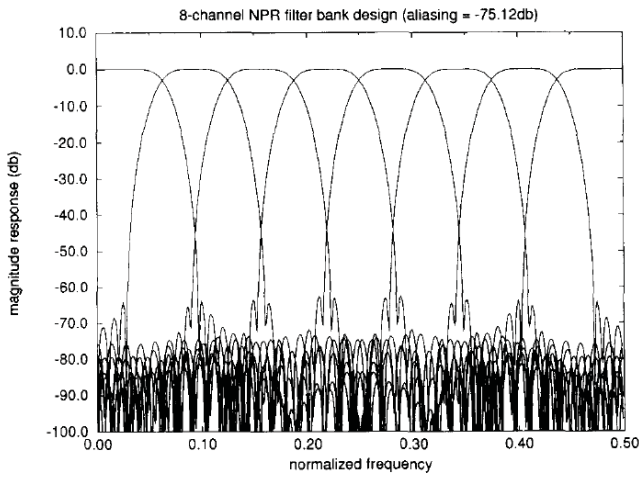


Рис. 2. Демонстрация эффекта наложения спектра в 8-и канальном банке цифровых фильтров [11]

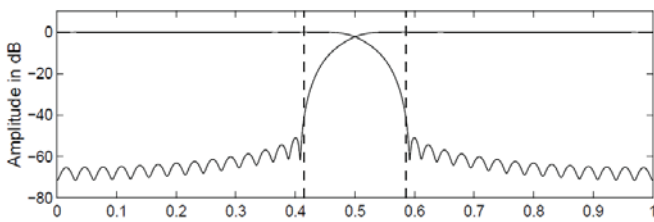


Рис. 3. Демонстрация эффекта наложения спектра в банке цифровых фильтров [9]

Полифазная схема с применением ДПФ

Рассмотрим методы синтеза фильтров анализа и фильтров синтеза. Обратим внимание на то, что реализация банка фильтров с помощью однократных систем интерполяции и децимации является крайне неэффективной, так как приводит к значительному увеличению вычислительных затрат, которые можно снизить путем снижения частоты дискретизации. Для повышения эффективности системы используется полифазная структура фильтра-прототипа систем децимации и интерполяции. Суть полифазного метода состоит в замене системы децимации (интерполяции) с одним фильтром нижних частот (ФНЧ), работающем на «высокой» частоте дискретизации выходного сигнала, системой с количеством фильтров, равным коэффициенту децимации (интерполяции), работающими на «низкой» частоте дискретизации. То есть фильтрация сигнала ради сокращения вычислительных затрат осуществляется после дециматора или до интерполятора. Полифазная структура основывается на разбиении, децимации, группировании коэффициентов фильтра-прототипа на подгруппы, называемые «полифазными фильтрами».

Далее будем рассматривать полифазную систему на примере полифазной децимации.

Первый этап синтеза банка полосовых фильтров – расчёт ФНЧ прототипа, удовлетворяющего необходимым требованиям по ширине полосы пропускания, крутизне спада АЧХ, величине пульсаций амплитудной характеристики и так далее. Порядок фильтра должен быть кратен коэффициенту прореживания M . Для проектирования ФНЧ прототипа используются такие методы синтеза фильтров, как метод взвешивающих окон, метод частотной выборки и т.д. Частота среза фильтра-прототипа определяет количество каналов банка и их ширину, так как вся полоса частот может быть поделена на M равных частей. Степень наложения отдель-

ных полос ограничивается в соответствии с требованиями, налагаемыми областью применения конкретного банка цифровых фильтров.

Как показано в работе [4], одномерную последовательность коэффициентов фильтра прототипа $h(n)$, $n = 0 \dots N-1$, где $h(n)$ – импульсная характеристика ФНЧ прототипа, можно представить в виде двумерной матрицы коэффициентов размерности $M \times K$:

$$\begin{matrix}
 h_{0,0} & h_{0,1} & h_{0,2} & \dots & h_{0,K-1} \\
 h_{1,0} & h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,K-1} \\
 h_{n,k} = h_{2,0} & h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,K-1} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 h_{M-1,0} & h_{M-1,1} & h_{M-1,2} & \dots & h_{M-1,K-1}
 \end{matrix} \quad (1)$$

Нулевая строка матрицы (1) представляет собой прореженную последовательность $h(n)$, $n = 0 \dots N-1$, с коэффициентом децимации M . Каждая последующая строка матрицы образована с помощью предварительного сдвига влево последовательности $h(n)$ на число отсчетов, определяемое номером строки (см. Рис. 4). Каждой строке матрицы (1) можно поставить в соответствие некоторый КИХ-фильтр K -го порядка с импульсной характеристикой $h_k(n)$,

$n = 0 \dots K-1$ и передаточной функцией $H_k(z^{-M})$, характерный тем, что частота дискретизации как входной, так и выходной последовательности данных понижена на коэффициент M , т.е. это обычный КИХ-фильтр, но работающий на пониженной частоте дискретизации. Совокупность КИХ-фильтров $H_k(z^{-M})$, $k = 0 \dots M-1$, полученную последовательным сдвигом и прореживанием отсчетов импульсной характеристики одного и того же фильтра, называют множеством полифазных фильтров.

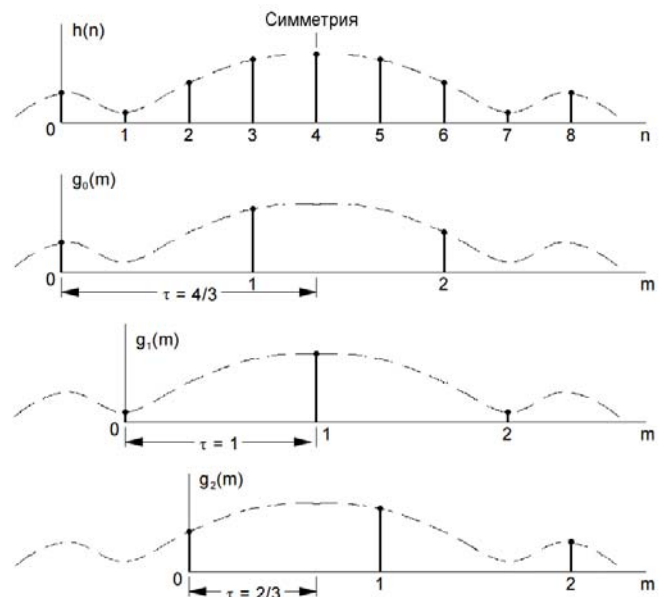


Рис. 4. Пример полифазной декомпозиции фильтра прототипа

Оценка субполосных сигналов осуществляется после модуляции, реализуемой при помощи ДПФ, вычислительную

сложность которого можно ограничить, используя алгоритмы БПФ. Итоговый пример построения подобной схемы изображен на 5.

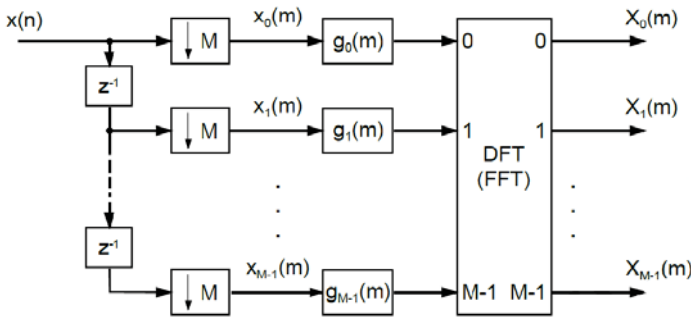


Рис. 5. ДПФ-модулированный банк фильтров анализа

Квадратурные зеркальные фильтры (КЗФ)

В многоступенчатой цифровой обработке сигналов (ЦОС), тема квадратурных зеркальных фильтров (КЗФ) получила широкое распространение. Наборы КЗФ широко используются в передаче речи, изображений и в других областях, которые включают разделение входного сигнала на подполосы и, в конечном итоге, реконструкцию исходного сигнала. Двумя похожими подходами к проектированию M-канального банка КЗФ являются наборы КЗФ с полной реконструкцией и псевдо-КЗФ. Компромиссом между этими двумя подходами является то, что у последнего присутствует эффективная методика проектирования (разрабатывается только фильтр прототипа), в то время как первый подход достигает полной реконструкции (ПР) входа (т.е. без наложения спектров, магнитудных или фазовых искажений).

Схема с использованием квадратурных зеркальных фильтров (КЗФ)

Одним из подходов к созданию систем анализа-синтеза является построение пирамидальных структур цифровых фильтров, на основе квадратурных зеркальных фильтров. Идея данного метода состоит в последовательном понижении частоты дискретизации, при этом принцип многоступенчатости используется для всего набора фильтров в целом. Квадратурные зеркальные фильтры – это два фильтра, амплитудно-частотная характеристика которых является зеркальным отражением друг друга относительно точки $\pi/2$. При правильном подходе к синтезу таких фильтров, любой входной сигнал может быть восстановлен без искажений после обратного синтеза сигнала, если данные фильтры находятся в парах.

Высокочастотный фильтр (ФВЧ) и ФНЧ связаны между собой, и вместе образуют квадратурный зеркальный фильтр. Амплитудно-частотные характеристики таких фильтров являются зеркальным отражением друг друга. КЗФ фильтры эффективно решают проблему наложения спектров. Эффективный синтез структур на базе КЗФ фильтр был подробно рассмотрен в работах некоторых зарубежных авторов, например, в статьях [4] и [5].

Особенностью структур данного типа является идея последовательного понижения частоты дискретизации. Набором таких двухканальных систем в пирамидальную схему, можно получить систему анализа/синтеза с большим количеством каналов. В такой пирамидальной схеме, на каждом этапе спектр сигнала делится на две части, и затем в два раза снижается тактовая частота. Затем, при необходимости,

осуществляется синтез сигнала в обратном порядке.

На Рис. 6 представлен возможный вариант построения восьмиканальной пирамидальной структуры банка фильтров с использованием квадратурных зеркальных фильтров. Такая структура включает в себя три ступени преобразования входного сигнала.

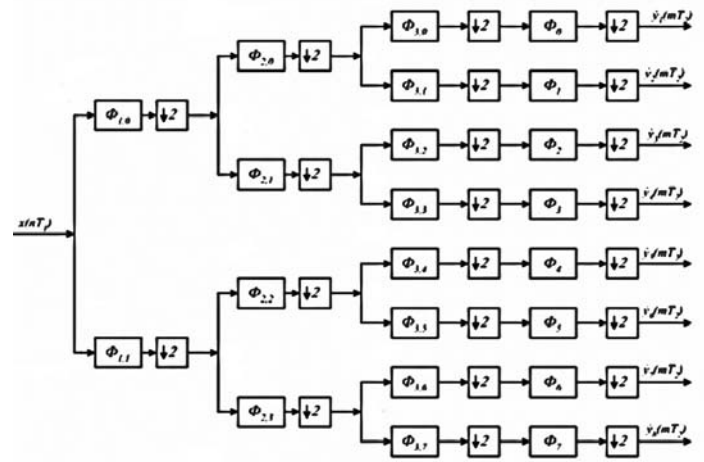


Рис. 6. Пример построения пирамидальной структуры частотной селекции

Сигнал на выходе двухканальной системы анализа синтеза может быть представлен в виде выражения:

$$y(z) = \frac{1}{2} [H_0(z)F_0(z) - H_1(z)F_1(z)]x(z) + \frac{1}{2} [H_0(-z)F_0(z) - H_1(-z)F_1(z)]x(-z) \quad (2)$$

где $H_0(z)$ и $H_1(z)$ – передаточные функции фильтров синтеза; $F_0(z)$ и $F_1(z)$ – передаточные функции фильтров синтеза; $x(z)$ – входной сигнал.

Первый член слагаемого в выражении (2) соответствует передаточной функции системы анализа синтеза, а второе слагаемое соответствует наложенным компонентам.

Для предотвращения эффекта наложения фильтры для системы необходимо выбирать следующим образом:

$$F_0(z) = H_1(-z), \quad (3)$$

$$F_1(z) = H_0(-z), \quad (4)$$

$$H_1(z) = H_0(-z). \quad (5)$$

И тогда с учетом формул (3) – (5) равенство (2) приобретает следующий вид:

$$y(z) = \frac{1}{2} [H_0(z)H_0(z) - H_0(-z)H_0(-z)]x(z) + \frac{1}{2} [H_0(-z)H_1(-z) - H_1(-z)H_0(-z)]x(-z) \quad (6)$$

Второе слагаемое выражения (6), которое соответствует наложенным компонентам равно нулю. Тогда окончательно получим:

$$y(z) = \frac{1}{2} [H_0^2(z) - H_0^2(-z)]x(z). \quad (7)$$

Тогда расчет квадратурного зеркального фильтра сводится к поиску ФНЧ, удовлетворяющего условию:

$$\frac{1}{2} [H_0^2(z) - H_0^2(-z)] = 1. \quad (8)$$

Схема с использованием псевдо-квадратурных зеркальных фильтров (псевдо-КЗС).

Широкое распространение получили банки фильтров с использованием псевдо-квадратурных зеркальных фильтров псевдо-КЗС.

Для данного метода коэффициенты ИХ фильтров синтезируемого банка фильтров анализа и фильтров синтеза можно получить при помощи метода косинус модуляции [6].

Для фильтров анализа:

$$h_k(n) = 2h(n) \cos\left(\frac{\pi}{M}\left(k + \frac{1}{2}\right)n + \varphi_k\right) \quad (9)$$

Для фильтров синтеза:

$$f_k(n) = 2h(n) \cos\left(\frac{\pi}{M}\left(k + \frac{1}{2}\right)n - \varphi_k\right) \quad (10)$$

где M – коэффициент децимации, $k = 0, \dots, M - 1$, $h(n)$ – импульсная характеристика фильтра прототипа, n – номер отсчета импульсной характеристики фильтра прототипа.

Фазы рассчитываются в соответствии с минимизацией наложений в смежных каналах:

$$\varphi_k = (-1)^k \frac{\pi}{4} \quad (11)$$

Из (10) и (11) можно получить выражение, показывающее взаимосвязь фильтров анализа и фильтров синтеза:

$$f_k(n) = h_k(N - 1 - n), \quad (12)$$

$$F_k(z) = z^{-(N-1)} \tilde{H}_k(z), \quad (12)$$

где $\tilde{H}_k(z)$ – передаточная функция фильтра анализа,

$F_k(z)$ – передаточная функция фильтра синтеза.

У фильтров $\tilde{H}_k(z)$ и $F_k(z)$, вследствие косинусной модуляции фаза нелинейна, однако, у передаточной функции всей системы анализа-синтеза $T(z)$ фаза линейна.

Косинус модуляция реализуется так, чтобы достичь наименьшего перекрытия между соседними субполосами. Идеальная реконструкция входного сигнала может быть достигнута соответствующим проектированием фильтра-прототипа.

Предполагается, что выходные сигналы банка фильтров будут децимированы с коэффициентом M , вследствие чего на выходе такого банка цифровых фильтров возникают компоненты наложения спектра, уровень которых зависит от качества фильтра прототипа. Данное обстоятельство, накладывает повышенные требования к характеристикам ФНЧ прототипа.

Заключение

В представленном в данной работе обзоре обозначен круг основных проблем, связанных с проектированием цифровых банков фильтров, а также описаны основные методы решения задачи расчета банка цифровых фильтров анализа-синтеза. Более подробные сведения о тех или иных методах со сравнительным анализом планируется провести в следующих работах.

Литература

1. Crochiere R.E., Rabiner L. Multirate Digital Signal Processing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.
2. Витязев В.В. Цифровая частотная селекция сигналов. М.: Радио и связь, 1993. 240 с.
3. Validyanathan P.P. Multirate Systems and Filter Banks, Prentice Hall, Englewood, NJ, 1983.
4. Validyanathan P.P. Theory and design of M-channel maximally decimated quadrature mirror filters with arbitrary M, having perfect reconstruction properly, IEEE Trans. On Acoustics, Speech and Signal Processing, p. 476, April 1987.
5. Johnston J.D. A Filter Family for Use in Quadrature Mirror Filter Bank, IEEE Trans. On Acoustics, Speech and Signal Processing, p. 325, April 1980.
6. Koilpillai R.D., Validyanathan P.P. Cosine-modulated FIR filter banks satisfying perfect reconstruction, IEEE Trans. On Signal Processing, p. 770, April 1992.

О ВЛИЯНИИ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ФУНКЦИЮ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ

Жиличкин Алексей Геннадьевич,

к.т.н., главный специалист АО «РКС», Москва, Россия

Курахтенков Леонид Владимирович,

к.т.н., заведующий лабораторией, МТУСИ, Москва, Россия,

lkurakht@gmail.com

Кучумов Андрей Александрович,

к.т.н., зам. начальника отдела, МТУСИ, Москва, Россия,

kuchumov@gmail.com

Либеровский Никита Юрьевич,

инженер 1-ой категории, МТУСИ, Москва, Россия,

liberovsky.nikita@mail.ru

Одной из важных задач, возникающих при разработке и оценивании качества оптико-электронных съемочных систем (ОЭС), является априорная оценка ожидаемой разрешающей способности и детальности получаемых изображений. Расчет разрешающей способности выполняется с использованием функции передачи модуляции (ФПМ) сквозного информационного тракта (СИТ), в котором в качестве звеньев процесса формирования изображений рассматриваются атмосфера, оптическая система, фотоприемник, системы сжатия, приема-передачи, обработки изображений и другие звенья.

Принято считать, что наибольшее влияние на качество цифрового изображения оказывает фотоприемник, функция передачи модуляции которого описывается выражением [1]:

$$\text{ФПМ}_{\text{фн}}(\nu) = \left[\frac{\sin(\pi \cdot \nu \cdot d_x)}{\pi \cdot \nu \cdot d_x} \right] \quad (1)$$

где: d_x – размер фотоприемного элемента; ν – пространственная частота.

Анализируя зависимость (1) можно прийти к выводу, что она является частотным преобразованием импульсной характеристики одного ПЗС элемента фотоприемника, которая представляет собой прямоугольный импульс с шириной равной размеру ПЗС элемента – d_x (см. рис. 1).

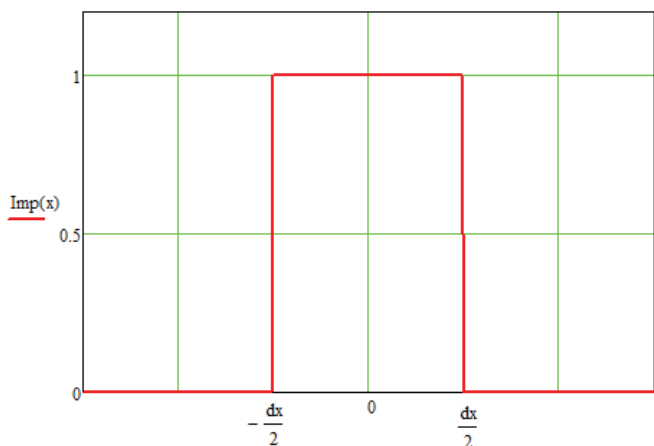


Рис. 1. Вид импульсной характеристики ПЗС элемента фотоприемника

Подобная импульсная характеристика соответствует поперечному сечению функции рассеяния линии (ФРЛ), обра-

зованной бесконечно тонкой линией (линейно-протяженным объектом) при ее идеальном совпадении проекции объекта с фотоприемными элементами оптико-электронной съемочной системы.

Особенностью выражения (1) является тот факт, что ее применение для априорного расчета разрешающей способности зачастую приводит к результатам, превышающим частоту Найквиста для дискретного изображения. Такой результат вызывает с одной стороны радость разработчиков цифровых оптико-электронных систем, а с другой удивление специалистов, занимающихся обработкой и анализом качества цифровых изображений.

В реальности, из-за произвольного расположения точечных объектов относительно границы элементов фотоприемника ее изображение в поперечном сечении формируется несколькими ПЗС элементами одновременно, что приводит к несоответствию функции передачи модуляции отдельного ПЗС элемента (1) и функции передачи модуляции дискретного изображения в целом.

Прежде чем продолжить вывод функции передачи модуляции дискретного изображения, поясним некоторые, используемые в работе термины и определения, а также покажем взаимосвязь между ними.

В оптике используются такие понятия как:

- функция рассеяния линии (ФРЛ),
- функция рассеяния края (ФРК);
- функция передачи модуляции (ФПМ).

Функция рассеяния линии – реакция оптико-электронной системы на одномерную дельта-функцию (бесконечно узкий импульс фиксированной мощности). Моделью одномерной дельта-функции в оптике является линейно протяженный объект – яркий бесконечно длинный (линейно-протяженный) объект, ширина которого пренебрежимо мала по сравнению с размером проекции пиксела ОЭС на земной поверхности. Функция описывает пространственную зависимость изменения яркости изображения в плоскости по одной из координат вдоль или поперек снимка. ФРЛ фактически представляет собой одномерную импульсную характеристику оптико-электронной системы.

Функция рассеяния края – реакция оптико-электронной системы на ступенчатую функцию (см. рис. 2).

Моделью ступенчатой функции в оптике является так называемый «резкий край» (РК) – резкий переход яркости изображения, ширину перехода которого можно считать пренебрежимо малой по сравнению с размером проекции пиксела на земной поверхности. Функция описывает простран-

ственную зависимость изменения яркости изображения вдоль или поперек снимка. ФРК представляет собой одномерную переходную характеристику оптико-электронной системы. $\Phi PK(x)$ и $\Phi PK(y)$ рассматриваются отдельно.

Взаимосвязь между ФРЛ и ФРК поясняется следующими зависимостями:

$$\Phi PL(x) = \frac{\Phi PK(x)}{dx} \quad \text{и} \quad \Phi PL(y) = \frac{\Phi PK(y)}{dy}$$

Функция передачи модуляции – частотный отклик системы на одномерное импульсное воздействие. Находится как преобразование Фурье от ФРЛ:

$$\Phi PM(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi PL(x) \cdot \exp(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot x) dx$$

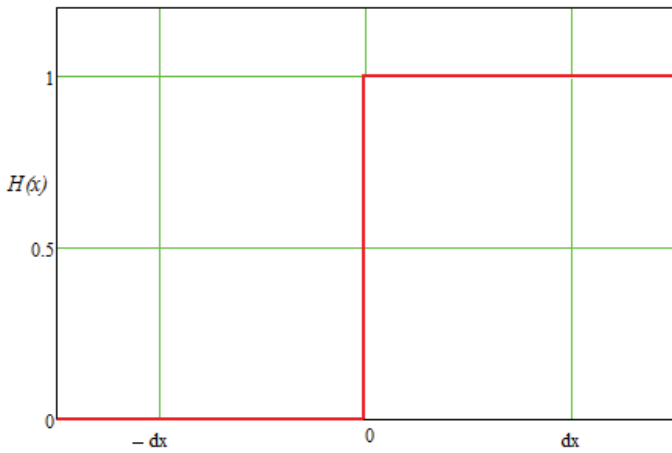


Рис. 2. Вид ступенчатой функции

Учитывая взаимосвязь между ФРК, ФРЛ и ФПМ рассмотрим реакцию дискретной системы на произвольное смещение границы резкого края в пределах проекции пиксела на земной поверхности от левой его границы ($\Delta x = 0$) до правой ($\Delta x = dx$).

Очевидно, что при смещении положения резкого края внутри проекции пиксела, его яркость на изображении будет меняться пропорционально площади, попадающей на светлую область поверхности. Функция рассеяния линии, при этом расширяется, «перетекая» из одного элемента в соседний элемент изображения.

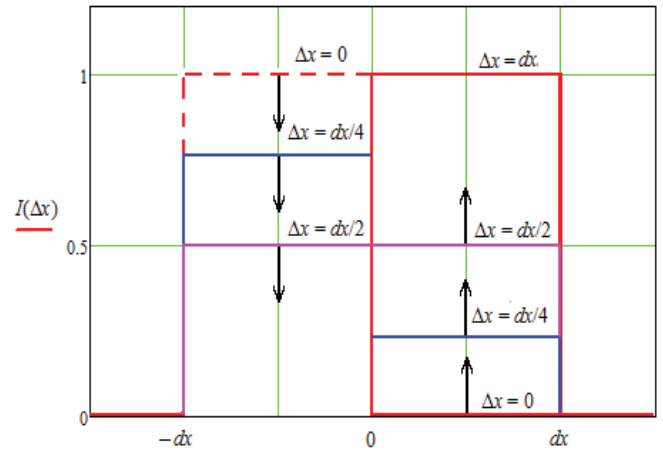
Изменение формы функция рассеяния линии при смещении РК к границе проекции пиксела (Δx) показано на рис. 3а).

Так как положение снимаемых объектов на местности является произвольным, и они могут с равной вероятностью находиться в любом месте относительно края проекции пиксела, то усредненную форму ФРЛ можно получить усреднением по всему ансамблю возможных реализаций Δx от 0 до dx

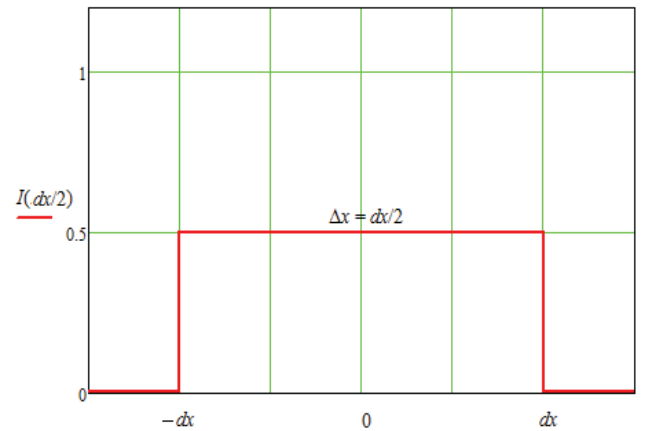
Легко убедиться, что усредненная форма ФРЛ (УФРЛ) будет соответствовать смещению $\Delta x = dx/2$ (см. рис. 3б).

Усредненная функция передачи модуляции для дискретного изображения находится путем преобразования Фурье от УФРЛ:

$$\Phi PM_{ou}(\nu) = \int_{-dx}^{dx} 0.5 \cdot \exp(j \cdot 2 \pi \cdot \nu \cdot t) dt = \left[\frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot d_x)}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot d_x} \right]$$



а)



б)

Рис. 3. Динамика формы ФРЛ

Аналогичный результат может быть получен путем усреднения ФПМ для всех реализаций ФРЛ

$$\Phi PM_{ou}(\nu) = \int_0^{dx} \left(\int_{-\Delta x}^0 a_1(\Delta x) \cdot \exp(j \cdot 2 \pi \cdot \nu \cdot t) dt + \int_0^{\Delta x} a_2(\Delta x) \cdot \exp(j \cdot 2 \pi \cdot \nu \cdot t) dt \right) d(\Delta x)$$

где $a_1(\Delta x)$ и $a_2(\Delta x)$ – зависимости яркости соседних пикселей от величины смещения Δx

$$a_1(\Delta x) = \frac{dx - \Delta x}{dx}, \quad a_2(\Delta x) = \frac{\Delta x}{dx}$$

$$\Phi PM_{ou}(\nu) = \left[\frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot d_x)}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot d_x} \right] \quad (2)$$

Анализ зависимостей (1) и (2) показывает (см. рис. 4.), что ширина первого лепестка ФПМ дискретного изображения (2), в два раза уже, чем ФПМ фотоприемника (1). Первый нуль ФПМ ДИ находится на частоте $\nu = 1/2dx$, которая соответствует частоте Найквиста. Следовательно, разрешающая способность, полученная с использованием (2) не будет превышать частоты Найквиста.

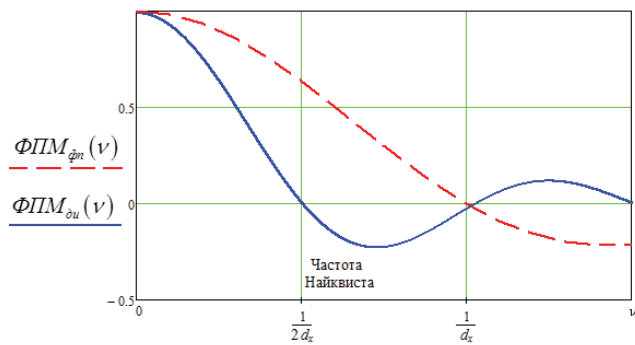


Рис. 4. Сравнение ФПМ фотоприемника (1) (штриховая линия) и ФПМ

Таким образом, при априорном расчете ожидаемой разрешающей способности цифровых оптико-электронных съемочных систем с учетом влияния основных элементов сквозного информационного тракта вместо ФПМ фотоприемника (1) следует применять выражение ФПМ дискретного изображения (2).

Его использование более полно учитывает эффекты формирования цифровых снимков и не приводит к коллизии, когда рассчитанная разрешающая способность для проектируемой аппаратуры становится лучше частоты Найквиста.

Литература

1. *Бакланов А.И.* Системы наблюдения и мониторинга: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 234 с.
2. *Аджемов С.С., Кузнецов Г.А., Кучумов А.А.* Имитационное моделирование спутниковых телекоммуникационных систем / Труды МТУСИ. Москва, 2007. С. 164-167.
3. *Батраков А.С., Анатольев А.Ю.* Математическая модель для прогнозирования линейного разрешения космических оптико-электронных систем дистанционного зондирования // Оптич. журн. 2000. Т. 67. №. 7.
4. Дистанционное зондирование: количественный подход / Под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис. М.: Недра, 1983. 415 с.
5. *Карпович И.Н.* Военное дешифрирование аэроснимков. М.: Военное издательство, 1990. 543 с.

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ПОИСКА АБОНЕНТОВ ДЛЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Воронцов Юрий Алексеевич,

д.т.н., заведующий кафедрой информационных систем, МТУСИ, Москва, Россия,
yvorontsov@newmail.ru

Козинец Артур Валерьевич,

старший преподаватель кафедры информационных систем, МТУСИ, Москва, Россия,
kozinec@mtuci2.ru

Груничев Юрий Алексеевич,

к.э.н., ассистент кафедры информационных систем, МТУСИ, Москва, Россия,
ygrunichev@mail.ru

Рассматриваются различные способы хранения и обработки информации о местоположении мобильных абонентов. Отмечено значительное отклонение характеристик большинства потоков в системе от экспоненциальных. Указано на недопустимость применения экспоненциальной аппроксимации из-за значительных погрешностей. Предложено использовать диффузионную аппроксимацию второго порядка. Проведен анализ зависимости времени поиска информации о местоположении при изменении числа абонентов сети связи.

Ключевые слова: поиск мобильных абонентов; база данных о местоположении; быстрый поиск; распределенные информационные системы.

Введение

Тенденция по снижению доходов от традиционных услуг связи способствует активному росту интереса со стороны операторов беспроводных сетей к активно развивающемуся сегменту Интернета вещей (англ. Internet of Things) [1, 2, 3, 4]. Если говорить о количественных оценках, то различные эксперты называют различные цифры. К 2020 году Компания Gartner ожидает, что к интернету будут подключены 26 млрд. «умных» устройств, Cisco Systems – 50 млрд., а Intel аж в 200 млрд.

Существующие сети 2G/3G/4G станут стартовой площадкой для запуска систем связи следующего поколения. Поэтому мобильные операторы по всему миру начинают готовить свою инфраструктуру к появлению стандарта 5G в 2020 году [6, 7].

Анализ систем поиска подвижных абонентов

Для поиска подвижных абонентов в сетях GSM/UMTS используется сочетание двух регистров: домашнего регистра местоположения абонента HLR (Home Location Register) и гостевого регистра VLR (Visitors Location Register). В сетях мобильной связи 4G с архитектурой IMS (IP-Multimedia Subsystem) домашний регистр местоположения абонента HLR заменяется сервером абонентов домашней сети HSS (Home Subscriber Server), который является расширением HLR [5, 9]. Работа сети связи может быть построена на централизованном поиске информации о местоположении мобильных абонентов только до определенного предела.

Для сетей связи 2-го поколения один HLR может обслуживать до 1 миллиона абонентов. А в материалах производителей оборудования можно встретить фразу: «В случае если в сети IMS используется несколько серверов HSS, необходимо добавление SLF (Subscriber Locator Function) который занимается поиском HSS с данными конкретного абонента» По сути это иерархический поиск: HSS – это первый уровень, а SLF – это второй.

Следуя этой логике, далее будут третий, а может быть и даже четвертый уровень.

Постановка задачи

Общая схема сети связи следующего поколения представлена на рис. 1.

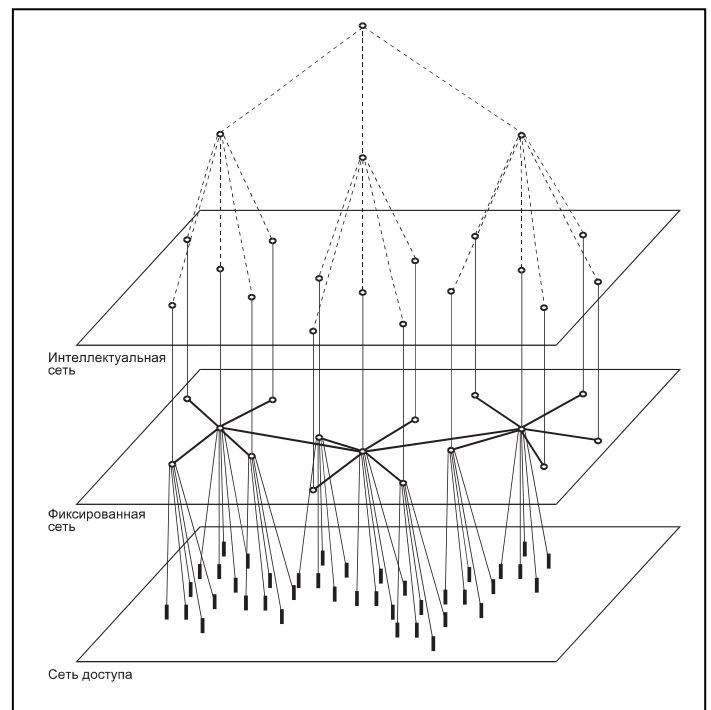


Рис. 1. Архитектура сети связи

Она состоит из трех уровней: сеть доступа, фиксированная сеть и интеллектуальной сети. Сеть доступа – это интерфейс между абонентом и системой. Фиксированная сеть – это комплекс линий связи (выделенные либо коммутируемые линии связи) используемые для передачи, как полезной информации, так и служебного трафика сети связи. Интеллектуальная сеть – именно с ее помощью отслеживаются перемещения абонентов, происходит поиск вызываемого абонента.

Внедрение новых механизмов поиска информации о местоположении подвижного абонента между большим количеством устройств, требует разработки новых математических моделей, описывающих работу интеллектуальной сети.

Модели работы сетей связи с различными методами поиска подвижных абонентов при вызове в целом и интеллектуальной сети в частности приведены в статьях [8, 10]. Модели процедур поиска при использовании роуминга и при N уровнях управления представлены на рис. 2.

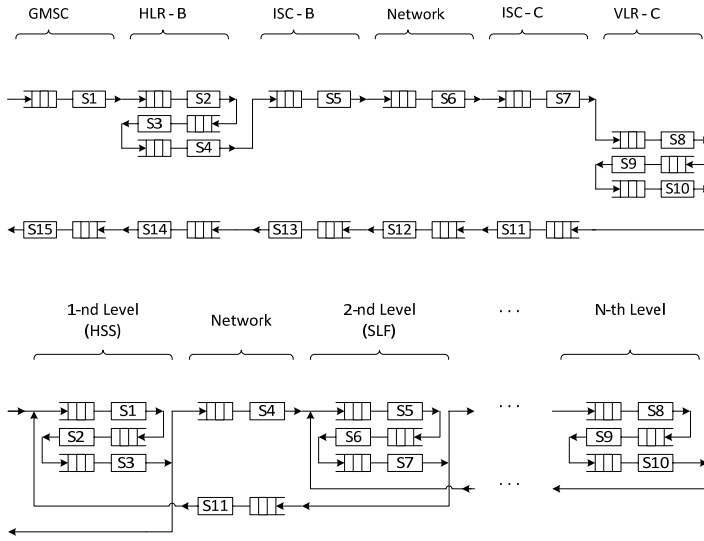


Рис. 2. Модели процедур поиска при использовании роуминга и при N уровнях управления

Сравнение вероятностно-временных характеристик определения местоположения подвижных абонентов при вызове в системах связи при использовании распределенного метода с аналогичными системами, использующими роуминговый метод определения местоположения подвижного абонента, является сложной задачей. Более того, проведение анализа вероятностно-временных характеристик определения местоположения подвижных абонентов в аналитической форме для общего случая не возможно. Это вызвано тем, что в общем случае не известна структура интеллектуальной сети: число уровней управления, число узлов на каждом из уровней, взаимная подчиненность узлов [11].

Максимальное время поиска при вызове для заданного числа абонентов может быть найдено численными методами из системы трансцендентных уравнений [13] и не может быть использовано для сравнения систем поиска подвижных абонентов при вызове, использующих распределенный и традиционный централизованный методы поиска.

Сравнение проведено по среднему времени поиска подвижного абонента. В распределенной системе поиска абонентов при вызове будет использована двухуровневая система поиска, в которой все узлы управления первого уровня подчинены одному единственному узлу управления второго уровня. Для упрощения анализа предположим, что зона обслуживания разбита на K подзон одинакового размера и одинаковой формы.

Также предположим, что абоненты равномерно распределены по зоне обслуживания. В этом случае выражение для расчета среднего времени T_q поиска подвижного абонента для распределенной системы поиска упрощается и будет иметь вид:

$$T_q = K(\alpha_1 T_{q1} + \alpha_2 T_{q2} + \alpha_3 T_{q3}) + \alpha_4 T_{q4} + \alpha_5 T_{q5} + \alpha_6 T_{q6} \quad (1)$$

Где K – число узлов первого уровня; α_i – коэффициенты передач для i -й системы массового обслуживания; T_{qi} – среднее время обработки запроса системой массового обслуживания.

Для упрощения сравнения предположим, что вероятности передач заявок на следующий уровень управления для всех узлов первого уровня одинаковы и равны p_{cl} . Учитывая сказанное выше согласно [14] коэффициенты передач для всех типов систем массового обслуживания, сводящих в открытую сеть массового обслуживания, будут:

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \frac{1}{K}; \alpha_2 = \frac{1}{K(1-p_{cl})}; \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = p_{cl} \quad (2)$$

Подставляя в (1) значения коэффициентов передач из (2), получим:

$$T_q = 3,12 \cdot t_k (1 + p_{cl}) + \frac{T_{q2}}{(1-p_{cl})} + p_{cl} T_{q5} \quad (3)$$

Подставляя значения для среднего времени пребывания запроса в системах S_2 и S_5 из [15] и [16] в (3), получим:

$$T_q = 3,12 \cdot t_k (1 + p_{cl}) + \frac{1}{(1-p_{cl})} \cdot \frac{k_{\rho_2}}{\mu_{S_2}} + p_{cl} \frac{k_{\rho_5}}{\mu_{S_5}} \quad (4)$$

Введем коэффициент $k_{из}$ изменения загрузки как отношение коэффициента ρ_2 загрузки процессора поиска узла управления первого уровня распределенной системы к коэффициенту $\rho_{2ц}$ загрузки процессора поиска узла управления централизованной системы:

$$k_{из} = \frac{\rho_2}{\rho_{2ц}} \quad (5)$$

Учитывая, что время доступа t_1 распределенной системы зависит от времени доступа $t_{1ц}$ централизованной системы в соответствии с [12], то формула (5) примет вид:

$$k_{из} = \frac{\sqrt{\frac{1}{K(1-p_{cl})^2} \left[\log_2 \left(\frac{N}{K} (1 + p_{omc}) + 1 \right) \right]^2 + [p_{cl} \log_2 (N \cdot p_{omc} + 1)]^2}}{\log_2 (N + 1)} \quad (6)$$

В суммах под знаками логарифма стоят выражения определяющие количество записей в базах данных соответствующих узлов управления. В реальной ситуации число записей минимум на два порядка больше единицы. Поэтому формулу (6) можно упростить:

$$k_{из} = \sqrt{\frac{1}{K(1-p_{cl})^2} \left[1 + \frac{\log_2 ((1 + p_{omc})/K)}{\log_2 (N)} \right]^2 + p_{cl}^2 \left[1 + \frac{\log_2 (p_{omc})}{\log_2 (N)} \right]^2} \quad (7)$$

Анализируя формулу (7), мы приходим к очень важному выводу: практически всегда коэффициент изменения загрузки $k_{из}$ меньше единицы. При равных условиях коэффициент загрузки процессоров поиска в распределенной системе меньше коэффициента загрузки процессора поиска централизованной системы.

Подобная картина будет наблюдаться при любых возможных значениях числа абонентов системы N , числа узлов

управления первого уровня K , вероятности отсутствия подвижного абонента в зоне обслуживания домашнего узла управления первого уровня p_{omc} . Если в процессе эксплуатации системы связи происходит увеличение числа подвижных абонентов, то в первую очередь из-за перегрузки выйдет из строя централизованная система, в то время как распределенная будет продолжать работать, хотя время поиска подвижного абонента будет больше расчетного значения.

Для иллюстрации этого утверждения был произведен расчет зависимости времени поиска подвижного абонента в централизованной и распределенной системах от числа под-

вижных абонентов при следующих исходных данных: число узлов управления первого уровня $K = 3$, коэффициент перераспределения вычислительной мощности $k_{ПВМ} = 4,6$, вероятность отсутствия подвижного абонента в зоне обслуживания домашнего узла управления $p_{omc} = 0,02$, вероятности передачи вызова на следующий уровень $p_{cl} = 0,05$, время доступа к базе данных централизованной системы $t_{1y} = 1,4мс$. График зависимости представлен на рис. 3.

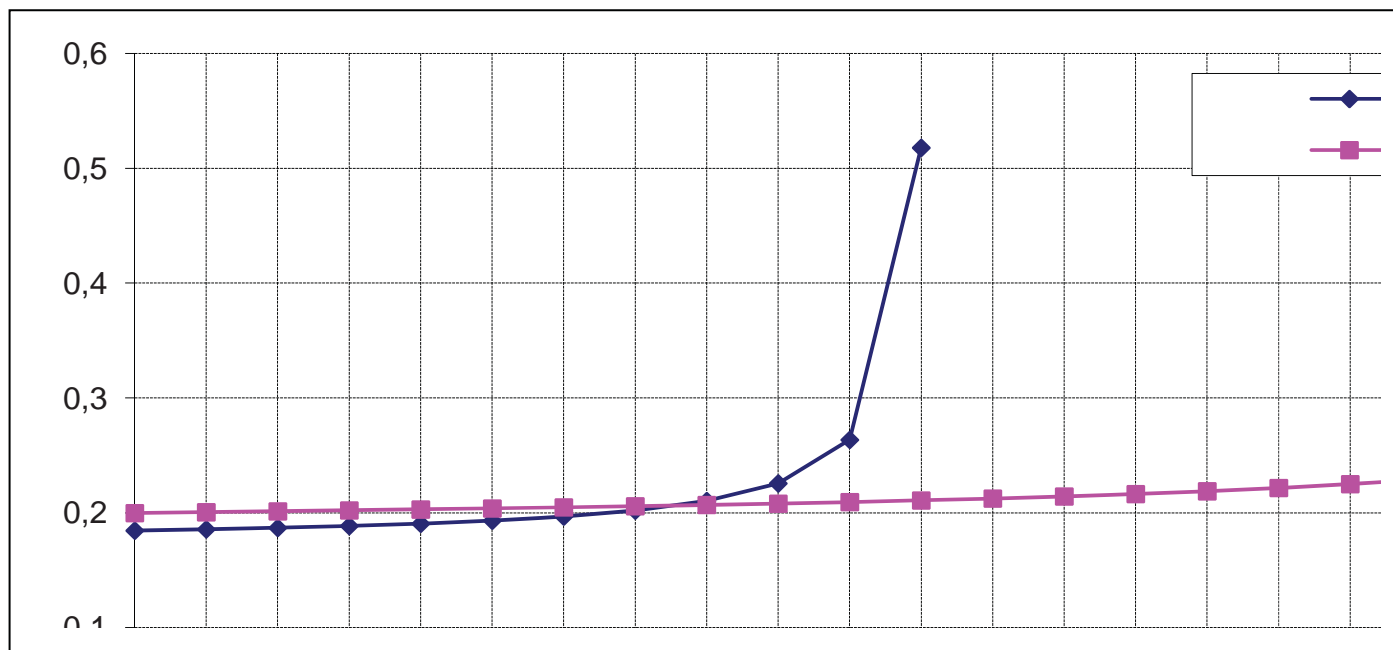


Рис. 3. График зависимости времени поиска подвижного абонента в централизованной и распределенной системах от числа подвижных абонентов

Вывод

По результатам сравнения централизованной и двухуровневой распределенной систем поиска подвижных абонентов при различном числе абонентов можно сделать вывод: распределенная система лучше справляется с увеличением числа абонентов (увеличением нагрузки).

Литература

1. Крейнделин В.Б., Усачев В.А. 5G – Фундамент для новых информационно коммуникационных технологий и услуг, использующих мобильную связь / Технологии информационного общества XI Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2017. С. 273-274.
2. Ignatova L., Khakimov A., Mahmood A., Muthanna A. Analysis of the Internet of Things devices integration in 5G networks / 2017 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017.
3. Vorontsov Y.A., Farkhadov M.P., Blinova O.V., Abramnikov A.N. Architecture of user applications for network with mobile nodes / 18-я международная конференция «Распределенные компьютерные и коммуникационные сети: управление, вычисление, связь» (DCCN-2015). С. 460-465.
4. Курьяновский В.П., Шнепс-Шнеппе М.А., Намиот Д.Е., Селезнев С.П., Снягов С.А., Курьяновская Ю.В. Веб Вещей и Интернет Вещей в цифровой экономике // International Journal of Open Information Technologies. 2017. №5. С. 38-45.

5. Гольдштейн А.Б. Эволюция моделей управления сетями NGN/IMS и пост-NGN // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 6. С. 46-50.
6. Dementev O., Galinina O., Gerasimenko M., Tirronen T., Torsner J., Andreev S., Koucheryavy Y. Analyzing the overload of 3GPP LTE system by diverse classes of connected-mode M2M devices / Proc. of the IEEE World Forum on Internet of Things 2014, pp. 309-312.
7. Ванина М.Ф., Ерохин А.Г., Фролова Е.А. Применение математических моделей для оценки эффективности web-сайтов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 8. С. 25-29.
8. Воронцов Ю.А., Козинец А.В. Анализ потока запросов об изменении местоположения подвижных абонентов / Технологии информационного общества. Сборник трудов XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (15-16 марта 2017 г. Москва, МТУСИ). М.: ИД Медиа Паблишер, 2017. С. 58-59.
9. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 796 с.
10. Козинец А.В. Расчет времени поиска информации о местоположении подвижного абонента в базе данных // Электронный научный журнал «Век качества». 2015. №3. С. 85-100.
11. Козинец А.В. Определение времени поиска подвижного абонента при вызове в сети доступа с распределенным управлением // Электронный научный журнал «Век качества». 2015. №4. С. 89-113.
12. Козинец А.В. О характеристиках потока запросов на обновление информации о местоположении подвижных абонентов

// Электронный научный журнал «Век качества». 2016. №4. С. 91-102.

13. *Воронцов Ю.А.* Исследование и разработка методов расчета и оптимизации показателей производительности узлов коммутации и сетей передачи дискретной информации на базе асимптотических моделей второго порядка / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МТУСИ, 1995.

14. *Бонч-бруевич А.М., Козинец А.В.* Учет нестационарности потоков запросов при оптимизации структуры интеллектуальной сети системы поиска подвижных абонентов // Т-Comm:

Телекоммуникации и транспорт. 2010. №9. С. 91-93.

15. *Kozinets A., Grunichev Y., Vorontsov Y.* Mobile networks subscribers search time analysis using roaming devices / Proc. of the IEEE 2018 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications. (сдано в печать)

16. *Grunichev Y., Vorontsov Y, Kozinets A.* Analysis of the time of hierarchical distributed search for subscribers in next-generation mobile communication networks / Proc. of the IEEE 2018 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications. (сдано в печать)

СРЕДСТВА СВЯЗИ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Гришин Денис Валерьевич,
Инженер-программист 1 категории, МТУСИ, Москва, Россия,
grishind@yandex.ru

Курахтенков Леонид Владимирович,
к.т.н., заведующий лабораторией, МТУСИ, Москва, Россия,
lkurakht@gmail.com

Сподобаев Александр Михайлович,
инженер, ФГУП «НИИР», Москва, Россия

Введение

При оценке производительности функционирования КА (КК) ДЗЗ одним из необходимых параметров, наряду с объемом памяти бортового записывающего устройства и характеристиками бортовой аппаратуры зондирования, является скорость сброса добытой информации на Землю. В конечном счете, именно этот параметр накладывает основное ограничение на объем добытой информации, т.к. на практике КА наблюдения способен получить в разы больше данных, чем он может передать на Землю за время прохождения зон радиовидимости наземных станций приема информации в составе космического комплекса.

Существуют и применяются теоретические методы расчета скорости передачи информации по радиолинии, основанные на расчете энергетики радиолинии, с учетом используемой модуляции и помехоустойчивого кодирования, а также доступности канала связи, зависящей от статистики погодных явлений. Подходы к такому расчету могут различаться в зависимости от специфики решаемой задачи, могут использоваться различные математические модели, пренебрегаться или наоборот уточняться определенные группы параметров. Такие расчеты опираются на

практику и опыт разработки и развертки космических комплексов, и поэтому необходима сверка предлагаемого расчета с данными, полученными экспериментально на этапах летной отработки и эксплуатации уже функционирующих космических комплексов.

В разделе 1 проводится обзор ряда спутников ДЗЗ и сравниваются характеристики оборудования радиосвязи. Вся информация о характеристиках оборудования получена из открытых источников [3-5]. В случаях, когда спутниковая линия содержала несколько каналов, выбирался наиболее скоростной. В настоящей статье будут рассмотрены девять КА ДЗЗ, запущенных не ранее 2012 года (см. табл. 1).

При проведении теоретических расчетов энергетического бюджета (раздел 2) использовались методические подходы, описанные в работах [1, 2].

Обзор рассматриваемых КА

В таблице 1 приводится перечень рассматриваемых КА и основных характеристик бортовой аппаратуры связи. В последующих подразделах приводится краткий обзор каждого из рассматриваемых аппаратов.

Таблица 1

Сводная таблица характеристик оборудования радиосвязи рассматриваемых КА

Спутник	Дата запуска	Высота орбиты, км	Несущая частота, ГГц	Общая ширина полосы частот, МГц	Мощность передатчика, Вт	КУ антенны КА, дБ	КУ антенны станции, дБ	Модуляция	Скорость передачи, Мбит/с
GCOM-C1	23.12.2017	798	8,105	144	39,81	5	57,6	OQPSK	138,76
Sentinel-5P	13.10.2017	824	8,266	233	39,81	9	54,6	TCM-8PSK	310
Formosat-5	24.08.2017	716-730	8,190	150	39,81	8,61	58	QPSK	150
Sentinel-2(A,B)	07.03.2017	777-794	8,260	140	35,48	9,0	54,6	TCM-8PSK	280
OCO-2	02.07.2014	701-704	8,115	150	3,02	20,5	58,5	OQPSK	150
Spot-7	30.06.2014	822	8,150	250	63	8	55	D-QPSK	300
ALOS-2	24.05.2014	628	8,175	300	6,92	17,8	56,8	16QAM	800
Landsat 8 (LDCM)	11.02.2013	701-718	8,212	375	38,9	4,5	57,6	QPSK	384
Канопус-В №1, БКА	22.07.2012	510-512	8,128	123	13,18	6,5	52,5	PSK/QPSK	122,88

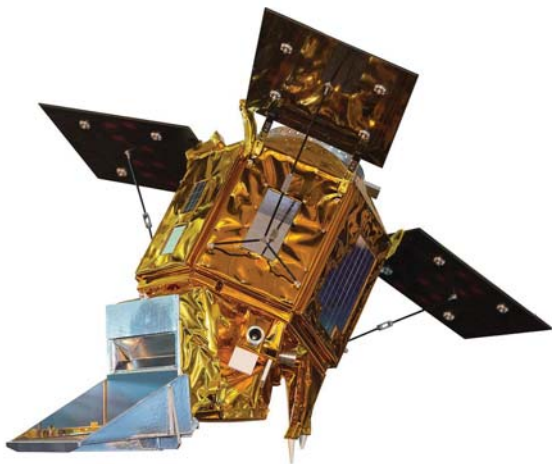
КА «GCOM-C1»



Космический аппарат «GCOM-C1» – Японский спутник наблюдения, запущенный 23.12.2017г. на на солнечносинхронную орбиту высотой 798 км, наклонением 98,6°. Цель проекта – глобальное и долгосрочное наблюдение за окружающей средой Земли (наблюдения за тропосферой и изучения климатических изменений).

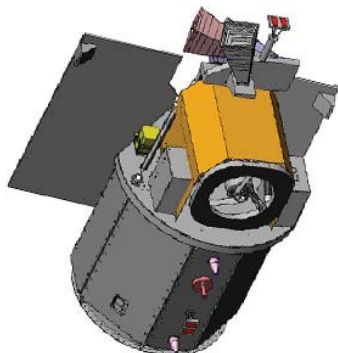
Полученные спутником данные делятся на две категории: данные глобального наблюдения и данные регионального наблюдения Японии и прилегающих территорий. Данные глобального наблюдения передаются в X-диапазоне на каждом витке на станцию KSAT (Kongsberg Satellite Services) в городе Шпицберген, Норвегия. Данные регионального наблюдения передаются в X-диапазоне на наземную станцию Японского агентства аэрокосмических исследований (JAXA) в городе Кацуура при каждом проходе зоны радиовидимости станции.

КА «Sentinel-5P»



Космический аппарат «Sentinel-5P» – спутник наблюдения, запущенный 13.10.2017г на солнечносинхронную орбиту высотой 824 км, наклонением 98,742°. в рамках объединенного проекта Европейского космического агентства (ESA) и Нидерландского космического отделения (NSO). Цель проекта – мониторинг атмосферы Земли.

КА «FormoSat-5»



Космический аппарат «FormoSat-5» – спутник наблюдения, запущенный 24.08.2017г. на солнечносинхронную орбиту высотой 723 км, наклонением 98,3° Национальной космической организацией (NSPO) Республики Китая (Тайвань). Является первым спутником ДЗЗ, разработанным этой организацией.

КА «Sentinel-2»



Sentinel-2 — семейство спутников дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства, созданное в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды и безопасности «Коперник». Спутники предназначены для мониторинга использования земель, растительности, лесных и водных ресурсов, также могут применяться при ликвидации последствий стихийных бедствий. Высота орбиты в перигее – 777 км, в апогее – 794 км, наклонение – 98,6°.

Первый спутник, Sentinel-2A, запущен 23.06.2015 г. Запуск второго спутника, Sentinel-2B, произведён 7.03.2017 г.

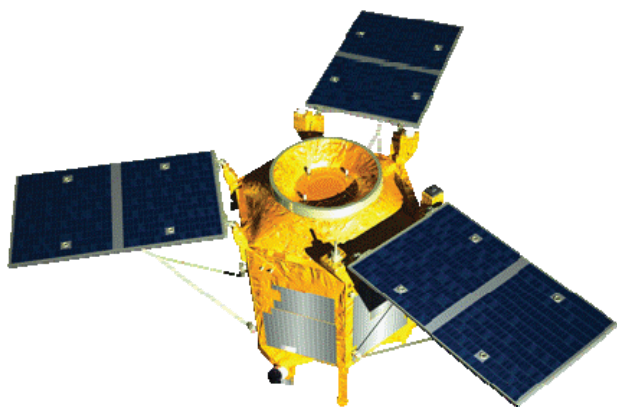
Данные целевой аппаратуры КА "Sentinel-2" передаются на наземные пункты приема по радиолинии X-диапазона со скоростью 560 Мбит/с.

КА «OCO-2»



Космический аппарат «OCO-2» – спутник наблюдения, запущенный 2.07.2014г. на солнечносинхронную орбиту высотой 702 км, наклонением 98,2°.

КА «Spot-7»



Аппарат выведен на орбиту высотой 822 км и наклоном $98,7^\circ$ 30.06.2014 г.

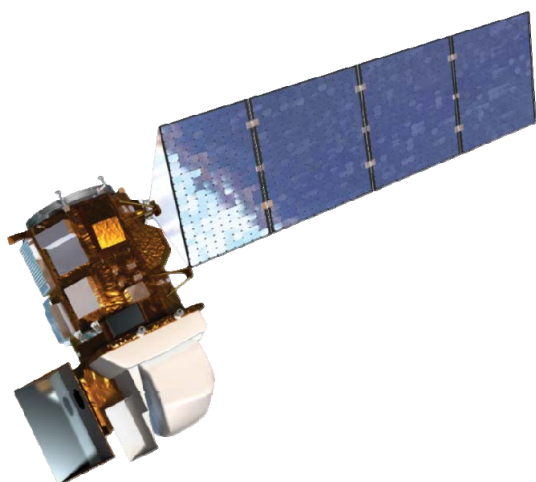
Скорость передачи данных – до 300 Мбит/с.

КА «ALOS-2»



КА «ALOS-2» (Advanced Land Observing Satellite 2), также именуемый Daichi 2, — японский спутник, запущенный 24.05.2014 г. на солнечносинхронную орбиту высотой 628 км, наклоном $97,9^\circ$. Полезная нагрузка аппарата разработана компанией Mitsubishi Electric Corporation по контракту с Японским агентством аэрокосмических исследований (JAXA).

КА «Landsat 8»



Landsat-8 – американский спутник дистанционного зондирования Земли, восьмой в рамках программы Landsat (седьмой, выведенный на орбиту). Изначально

назывался Landsat Data Continuity Mission (LDCM), создан совместно NASA и USGS. Выведен 11.02.2013 г на орбиту высотой 701-718 км, наклоном $98,2^\circ$.

Скорость передачи данных – 440 Мбит/с. Данные передаются по радиолинии X-диапазона. Несущая частота радиопередающего устройства для одной линии – 8200,5 МГц.

КА «Канопус-В» №1



Канопус-В – российский спутник дистанционного зондирования Земли. Изготовлен ОАО «Корпорация „ВНИИЭМ“», совместно с британской компанией Surrey Satellite Technology Limited. Запущен 22.07.2012 г. РН Союз-ФГ с космодрома Байконур на орбиту средней высоты 514 км, наклоном $97,4^\circ$.

Данные целевой аппаратуры КА «Канопус-В» передаются на наземные пункты приема по двум радиолиниям X-диапазона, каждая из которых может работать на двух скоростях (122,88 Мбит/с или 61,44 Мбит/с). Несущая частота радиопередающего устройства для одной линии находится в диапазоне 8066,3-8189,7 МГц, для другой линии в диапазоне 8258,3-8387,7 МГц.

Используется вибраторная антенна массой 0,15 кг, высотой 95 мм, диаметром 120 мм.

Расчет энергетического бюджета радиолинии сброса добытой КА информации на наземную станцию

В настоящем разделе представлены результаты проведенных расчетов энергетического бюджета для каждого из рассмотренных модельных случаев. Сводка результатов расчетов представлена в таблице 2. При проведении расчетов были приняты следующие допущения: полосы частот передатчика и приемника согласованы, КПД волноводного тракта передатчика и приемника принят за 1, скорость кода – 1, выигрыш кода – 0 дБ. Расчет проводился для угла места 30 градусов, BER – 10^{-8} .

Полученные значения отношения скоростей содержат в себе в качестве множителей скорости помехоустойчивых кодов, а также коэффициент сужения полосы частот с целью обеспечения защитных интервалов. Рассчитанный энергетический запас отводится на компенсацию потерь в волноводных трактах приемной и передающей сторон, затухания сигнала при прохождении через атмосферу, дополнительных шумов на входе приемника, связанных с рассогласованностью полос частот приемника и передатчика.

Стоит отметить, что в приведенные значения энергетического запаса не включен выигрыш помехоустойчивого кодирования. В таблице 3 приводится расширенный набор входных и выходных параметров для каждого из проведенных расчетов.

Сводная таблица результатов расчетов энергетического бюджета радиолинии сброса по каждому из рассматриваемых КА

Спутник	Общая ширина полосы частот, МГц	Модуляция	Заявленная скорость передачи, Мбит/с	Предельная скорость передачи, Мбит/с	Отношение скоростей	Энергетический запас, дБ
GCOM-C1	144	OQPSK	138,76	288	0.48180...	15,94
Sentinel-5P	233	8PSK	310	699	0.44349...	5,25
Formosat-5	150	QPSK	150	300	1/2	14,83
Sentinel-2(A,B)	140	8PSK	280	420	2/3	11,26
OCO-2	150	OQPSK	150	300	1/2	18,31
Spot-7	250	D-QPSK	300	500	3/5	11,46
ALOS-2	300	16QAM	800	1200	2/3	10,35
Landsat 8	375	QPSK	384	750	0.512	11,31
Канопус-В №1	123	PSK/QPSK	122,88	246	0.4995...	8,11

Таблица 3

Расширенная таблица результатов расчетов энергетического бюджета радиолинии сброса по каждому из рассматриваемых КА

Входные параметры									
Параметр	GCOM-C1	Sentinel-5P	FormoSat-5	Sentinel-2	OCO-2	Spot-7	ALOS-2	Landsat 8	Канопус-В
Высота орбиты	798 км	824 км	730 км	794 км	704 км	822 км	628 км	718 км	512 км
Угол места	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°
Центральная частота	8,105 ГГц	8,266 ГГц	8,190 ГГц	8,260 ГГц	8,115 ГГц	8,150 ГГц	8,175 ГГц	8,212 ГГц	8,128 ГГц
Ширина полосы частот	144 МГц	233 МГц	150 МГц	140 МГц	150 МГц	250 МГц	300 МГц	375 МГц	123 МГц
Мощность бортового передатчика	39,81 Вт	39,81 Вт	39,81 Вт	35,48 Вт	3,02 Вт	63 Вт	6,92 Вт	38,9 Вт	13,18 Вт
KУ бортовой антенны	5 дБ	9 дБ	8,61 дБ	9 дБ	20,5 дБ	8 дБ	17,8 дБ	4,5 дБ	6,5 дБ
KУ антенны наземной станции	57,6 дБ	54,6 дБ	58 дБ	54,6 дБ	58,5 дБ	55 дБ	56,8 дБ	57,6 дБ	52,5 дБ
Эквивалентная шумовая температура приемника с учетом внутренних и внешних шумов	131 К	120 К	470 К	120 К	302 К	185 К	190 К	150 К	300 К
Модуляция	OQPSK	8PSK	QPSK	8PSK	OQPSK	D-QPSK	16QAM	QPSK	QPSK
Результаты расчета									
Наклонная дальность	1391876 м	1432491 м	1284624 м	1385609 м	1243205 м	1429374 м	1120751 м	1265537 м	929531 м
Затухание в свободном пространстве	173,49 дБ	173,92 дБ	172,89 дБ	173,62 дБ	172,52 дБ	173,774 дБ	171,69 дБ	172,78 дБ	170,01 дБ
Энергетический запас	15,94 дБ	5,25 дБ	14,83 дБ	11,26 дБ	18,31 дБ	11,46 дБ	10,35 дБ	11,31 дБ	8,11 дБ
Скорость передачи	288 Мбит/с	699 Мбит/с	300 Мбит/с	420 Мбит/с	300 Мбит/с	500 Мбит/с	1200 Мбит/с	750 Мбит/с	246 Мбит/с

Заключение

Был проведен обзор и сравнительный анализ характеристик аппаратуры радиосвязи на КА ДЗЗ. Характеристики оборудования, представленные в открытых источниках, оказываются хорошо согласованы со значениями, полученными на основе расчета энергетического бюджета радиолинии.

Литература

1. Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание. Справочник. Радио и связь, 1988.
2. Freeman R.L. Radio System Design for Telecommunications. 2007.

3. Бочаров В.С. и др. Результаты лётных испытаний антенно-фидерных устройств телекомандной системы КА «Канопус-В» №1 и Белорусского КА и пути усовершенствования их характеристик // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014.

4. Интернет-ресурс «OSCAR. Obseving Systems Capability Analysis and Review Tool»; режим доступа: <http://www.wmo-sat.info/oscar/>; дата обращения: 26.02.2017.

5. Интернет-ресурс «Earth Observation Portal», Satellite Mission Database (База данных спутниковых миссий); режим доступа: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/>; дата обращения: 26.02.2017.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕННЫХ МЕТОК БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КА НА ОРБИТАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПО СИГНАЛАМ ГЛОНАСС/GPS

Гришин Денис Валерьевич,
Инженер-программист 1 категории, МТУСИ, Москва, Россия,
grishind@yandex.ru

Курахтенков Леонид Владимирович,
к.т.н., заведующий лабораторией, МТУСИ, Москва, Россия,
lkurakht@gmail.com

Кучумов Андрей Александрович,
к.т.н., зам. начальника отдела, МТУСИ, Москва, Россия,
kuchumov@gmail.com

Задача временной синхронизации является необходимым условием успешного функционирования любой распределенной системы. Примером задач, для которых необходима временная синхронизация могут быть: определение местоположения объекта, определение скорости движения объекта, слежение за параметрами окружающей среды, идентификация источников радиоизлучения, разделение абонентов системы связи. Основной проблемой является невозможность идентичной работы часовых генераторов в различных узлах распределенной системы, связанная с проявлением эффектов старения кварцевых резонаторов.

Для компенсации этих явления используются различные механизмы подстройки локальных часов в узле распределенной системы относительно некоторых эталонных часов. Для бортового оборудования низковысотных космических аппаратов (КА) такая синхронизация возможна, так как высота орбиты КА Глонасс/GPS и диаграммы направленности их передатчиков позволяют обеспечить непрерывную радиовидимость низких спутников. Для средневысотных КА непрерывная радиовидимость невозможна. В статье рассматривается среднее время нахождения в зоне радиовидимости передатчиков системы Глонасс/GPS космических аппаратов на средневысотных, геостационарных и высокоэллиптических орбитах.

Орбитальная группировка ГЛОНАСС состоит из КА, функционирующих на высоте 19100 км. Апертура антенны КА составляет 38°, что захватывает область, находящуюся над поверхностью Земли на высоте до 2000км. Орбитальная группировка GPS состоит из КА, функционирующих на высоте 20180км. Апертура антенны КА составляет 34°, что захватывает область, находящуюся над поверхностью Земли на высоте до 1400км (рис. 1).

Оценка возможности синхронизации времени с КА ГЛОНАСС/GPS производилась для трех типов КА, расположенных на средневысотной околоземной круговой орбите, на геостационарной орбите и на высокоэллиптической орбите. В результате имитационного моделирования функционирования КА в программном комплексе QSatStat, разработанном в МТУСИ, были рассчитаны следующие параметры: среднесуточное время возможности синхронизации, среднее количество сеансов связи в сутки, средняя длительность сеанса связи, средняя периодичность вхождения в связь, максимальный интервал отсутствия связи, максимальный интервал наличия связи. Результаты расчета представлены в табл. 1.

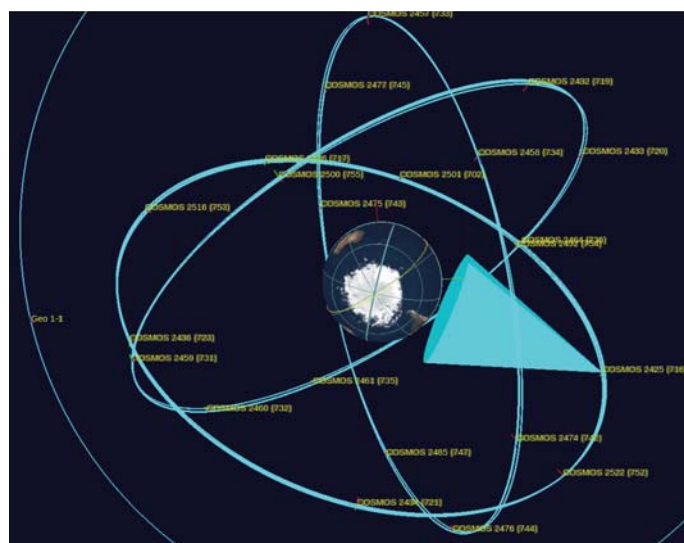
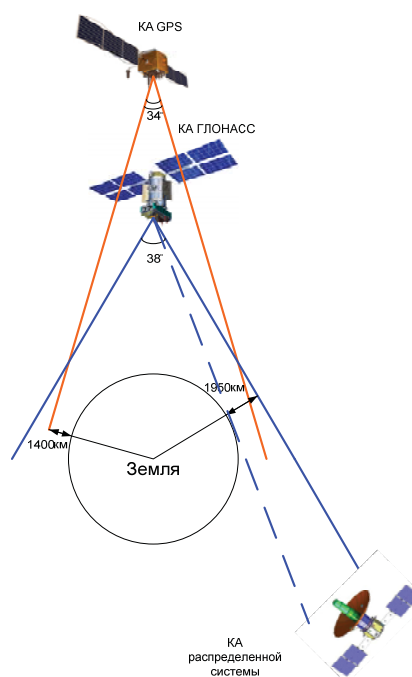


Рис. 7. Схема синхронизации времени по радиосигналам КА ГЛОНАСС/GPS

Таблица 4

Оценки характеристик возможности синхронизации времени с КА ГЛОНАСС/GPS для КА на средневысотной, геостационарной и высокоэллиптической орбите

Характеристика доступности ГЛОНАСС/GPS	Средневысотная круговая орбита, высота 10 000 км	Геостационарная орбита	Высокоэллиптическая орбита
Среднесуточное время синхронизации	21ч 55мин/ 19ч 21мин	10ч 20мин/ 9ч 48мин	15ч 49мин/ 12ч 31мин
Среднее количество сеансов связи в сутки	18.3/34.6	36.5/22.2	25.4/22.1
Средняя длительность сеанса связи	1ч 11мин/ 33мин	34мин/ 26мин	37мин/ 34мин
Средняя периодичность вхождения в связь	7мин/ 8мин	45мин/ 38мин	19мин/ 31мин
Максимальный интервал времени отсутствия связи	19мин/ 31мин	1ч 33мин/ 1ч 47мин	1ч 26мин/ 58мин
Максимальный интервал времени наличия связи	6ч 11мин/ 2ч 36мин	2ч 7мин/ 1ч 28мин	4ч 9мин/ 2ч 14мин

Для средневысотных круговых орбит показательны графики увеличения максимального времени ожидания вхождения в связь (гарантированного времени синхронизации) и уменьшения среднесуточного времени доступности связи с увеличением высоты орбиты КА на рис.х 2, 3. Анализ проводился для КА на орбитах высотой от 2000 км (непрерывное нахождение в связи с КА ГЛОНАСС) до 20000 км (гарантированное время синхронизации 56мин, среднесуточное время нахождения в связи 15ч 49мин).

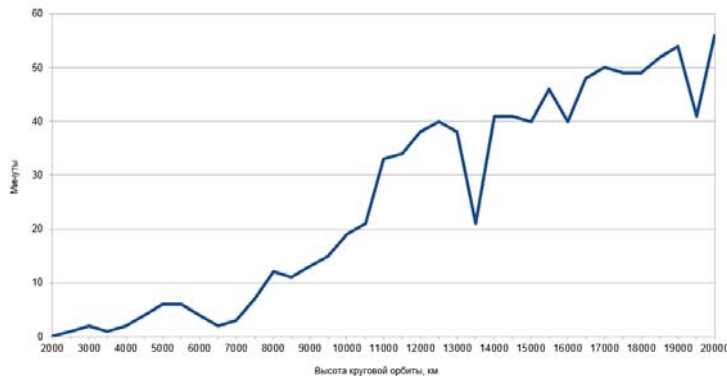


Рис. 8. Зависимость гарантированного времени синхронизации времени с системой ГЛОНАСС в зависимости от высоты орбиты КА

При моделировании функционирования КА связь считалась возможной, при условии, что КА попадает в апертуру антенны хотя бы одного из КА ГЛОНАСС/GPS.

Максимальное расстояние между КА на высокоэллиптической орбите и навигационным КА в три раза больше чем расстояние от навигационного КА до абонента на поверхности Земли.

Тем не менее, энергетического запаса радиолинии для синхронизации времени будет достаточно, так как отсутствуют затухания в атмосфере, а также возможно использование направленной приемной антенны.

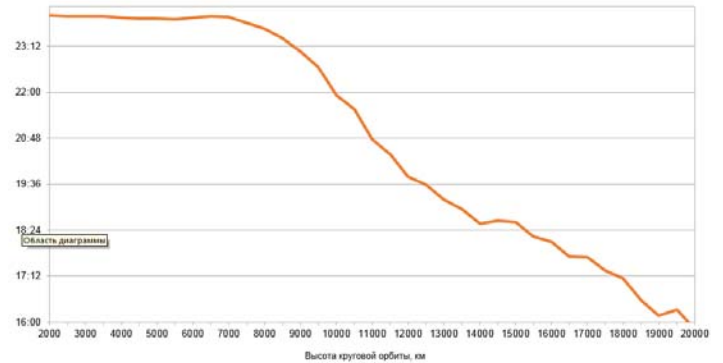


Рис. 9. Зависимость среднесуточного времени возможной синхронизации времени с системой ГЛОНАСС в зависимости от высоты орбиты КА

Выводы

Для обеспечения синхронизации времени в распределенных радиотехнических системах, узлы которых расположены на космических аппаратах возможно использование временных меток из сигналов систем ГЛОНАСС/GPS. Гарантированное время синхронизации с ГЛОНАСС для КА на высокоэллиптической и геостационарной орбите – раз в полтора часа. Для КА на круговой орбите высотой не более 10 000км гарантированное время синхронизации менее 20мин. Для синхронизации с GPS данные показатели незначительно хуже.

Литература

1. Рекомендация МСЭ-R P.1144-7 (07/2015). Руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи.
2. Аджемов С.С., Кузнецов Г.А., Кучумов А.А. Имитационное моделирование спутниковых телекоммуникационных систем / Труды МТУСИ. Москва, 2007. С.164-167.
3. Акимов А.А., Данилов Д.Ю., Шевчук Д.В. Оперативность передачи информации в низкоорбитальной системе связи с переносом сообщений на борту космических аппаратов // Технологии и средства связи. №1, 2015. С. 69-72; №2, 2015. С. 72-75.
4. Recommendation ITU-R P.1511-1 (07/2015). Topography for Earth-to-space propagation modelling.
5. Акимов А.А., Чазов В.В., Курахтенков Л.В., Смирнов С.А. Оценка состояния орбитальной группировки системы связи Globalstar и связанных с ним ограничений в обслуживании абонентов // Технологии и средства связи. №1, 2016. С. 58-63.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ С УЧЕТОМ УТОЧНЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ

Жаднов Валерий Владимирович,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
профессор Департамента электронной инженерии, Москва, Россия,
vzhadnov@hse.ru*

Королев Павел Сергеевич,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
аспирант 1 г.о. курса Департамента электронной инженерии, Москва, Россия,
pskorolev@hse.ru*

Серебрякова Юлия Олеговна,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
бакалавр 2 курса Департамента электронной инженерии, Москва, Россия,
yuoserebryakova@edu.hse.ru*

Совершенствование систем мобильной связи приводит к развитию новых возможностей при приеме, обработке и передаче информации. В свою очередь, этот процесс не обходится стороной и усложнение составных частей систем мобильной связи. Одним из этапов проектирования упомянутых систем является этап обеспечения надежности, на котором задаются те требования к эксплуатации, в ходе которой объект должен исправно работать.

Вопросы обеспечения надежности радиоэлектронных средств (РЭС), входящих в состав систем мобильной связи не теряют актуальности на сегодняшний момент из-за повышающихся требований к их проектированию и дальнейшей эксплуатации в различных климатических условиях, где могут быть присущи механические, вибрационный и другие воздействия, негативно сказывающиеся на сроке службы.

Надежность характеризуется несколькими показателями [1], одним из которых является долговечность, которая учитывает множество внешних воздействующих факторов (температура, влажность, давление, вибрация и др.) на РЭС.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, т.е. наступления такого состояния, когда оно должно быть направлено либо в ремонт (средний или капитальный), либо изъято из эксплуатации.

Согласно действующим стандартам в области надежности долговечность – это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. В действительности, предельным состоянием объекта является состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Критерием этого состояния выступает признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией. Работоспособное состояние электронной компонентной базы РЭС определяется значением всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, когда они соответствуют требованиям нормативно-технической документации (или техническим условиям)

[2, 3].

К количественным характеристикам показателей долговечности относят вероятность безотказной работы, гамма-процентный ресурс, минимальная наработка, средний ресурс и т.д. [1].

Минимальная наработка показывает количество часов работающего изделия до первого отказа, т.е. определяет наработку (минимальную) приходящуюся на один отказ. Гамма-процентный ресурс – это суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в процентах. Средний ресурс – это математическое ожидание ресурса, где ресурс – это суммарная наработка РЭУ от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. Гамма-процентный срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой РЭУ не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в процентах. Средний срок службы – это математическое ожидание срока службы, где срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации РЭУ или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние [4].

Показатели долговечности, отсчитываемые от ввода объекта в эксплуатацию до окончательного снятия с эксплуатации, называются гамма-процентный полный ресурс (срок службы), средний полный ресурс (срок службы).

Радиоэлектронное средство в большинстве своем, представляет собой корпус, в котором размещен печатный узел. Последний, в свою очередь, состоит из электрорадиоизделий (ЭРИ), которые относятся к конкретному классу, группе и подгруппе.

Расчет надежности РЭС заключается в оценке надежности печатного узла, с входящими в него ЭРИ. Суммарная надежность РЭС будет характеризоваться самым «ненадежным» электрорадиоизделием, т.е. тем ЭРИ, у которого будет самое высокое количественное значение интенсивности отказов в режиме эксплуатации или хранения.

При расчете показателей надежности, а, в частности, долговечности, особый вклад в количественные значения ее показателей вносит коэффициент вариации.

В ОСТ 4.012.013 [5] он принят равным 0,15 (постоянное значение). Однако, по результатам испытаний на надежность можно судить об обратном по количественным значениям минимальной наработки и гамма-процентным ресурсом. Результаты испытаний для конкретного ЭРИ приводятся в источнике «Справочник Надежность ЭРИ 2006» [6]. Также, в работе [7] доказано, что выражение, связывающее минимальную наработку с гамма-процентным ресурсом [5] не правдоподобно использовать в данном виде, из-за недостающих коэффициентов, отражающих внешние воздействующие факторы. Но, если использовать в данной форме, то можно показать вклад коэффициента вариации при расчете гамма процентного ресурса.

Для каждого электрорадиоизделия определяется техническое условие, из которого выбираются показатели надежности, а именно минимальная наработка и гамма-процентный ресурс. В большинстве случаев в технических условиях не указывают значение, поэтому возникает необходимость обращения к справочнику [6]. По виду и типу ЭРИ в таблице «Характеристика надежности и справочные данные отдельных типов электрорадиоизделий» проводится поиск значения гамма-процентного ресурса и уточняется минимальная наработка.

Рассматривая класс «Трансформаторы» группы «Импульсные», в частности «ТИМ», коэффициент вариации для данного ЭРИ равен 0,22 для квантиля нормального распределения при 95% вероятности. В свою очередь, квантили могут быть разными по значению для другого значения вероятности [5].

Неоднократно возникает ситуация, когда необходимое электрорадиоизделие, например, трансформатор, не оказывается в справочнике [6], тогда предлагается использовать среднее значение коэффициента вариации для всей группы (подгруппы). Например, для трансформаторов группы «Импульсные» для квантиля нормального распределения при 95% вероятности, он равен 0.218.

Уточненное значение коэффициента вариации для каждого класса, применительно к конкретной группе и подгруп-

пе электрорадиоизделий планируется внедрить в автоматизированную систему расчета надежности и качества (АСО-НИКА-К-СЧ).

В заключении необходимо отметить, что важно уточнять коэффициент вариации для каждого конкретного ЭРИ, входящего в определенный класс, группу и подгруппу если оно указано в справочнике [6]. Если же нужно рассчитать гамма-процентный ресурс для новых (современных) электрорадиоизделий, отсутствующих в справочнике [6], то рекомендуется воспользоваться значением среднего коэффициента вариации для отдельной группы или подгруппы.

Уточненный расчет показателей надежности радиоэлектронных средств, а в частности долговечности с учетом предлагаемого подхода, применительно к коэффициенту вариации, позволит повысить правдоподобность получаемых численных значений современных систем мобильной связи.

Литература

1. Животкевич И.Н., Смирнов А.П. Надежность технических изделий. М.: Институт испытаний и сертификации вооружений и военной техники, 2004. 472 с.
2. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др. Надежность технических систем: справочник под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
3. IEC 60050 (191):1990-12 «Dependability and quality of service», (NEQ). [Электронный ресурс]: URL: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=191> (дата обращения 02.02.2018).
4. Каратузов М.А., Полесский С.Н., Иванов И.А., Королев П.С. Оценка показателей долговечности радиоэлектронных устройств // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 7. С. 36-40.
5. ОСТ 4.012.013-84. Аппаратура радиоэлектронная. Определение показателей долговечности. [Дата введения 1985-07-01]. М.: Москва ВНИИ РФ, 1984. С. 8. (Руководящий документ).
6. Надежность ЭРИ: справочник. М.: МО РФ, 2006. С. 52.
7. Жаднов В.В. Расчетная оценка показателей долговечности электронных средств космических аппаратов и систем // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 2. С. 65-73.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Королев Павел Сергеевич,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
аспирант 1 г.о. Департамента электронной инженерии, Москва, Россия,
pskorolev@hse.ru*

Седов Кирилл Дмитриевич,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
бакалавр 2 курса Департамента электронной инженерии программы
Инфокоммуникационные технологии и системы связи, Москва, Россия,
kdsedov@edu.hse.ru*

Соснин Антон Ильич,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
бакалавр 2 курса Департамента электронной инженерии программы,
Инфокоммуникационные технологии и системы связи, Москва, Россия,
aisosnin@edu.hse.ru*

Развитие науки и технологий, мощнейший скачок в отрасли систем мобильной связи и радиодоступа, а также спутниковой связи и вещания, вызывают потребность в создании все более совершенных и модернизированных инфокоммуникационных, производственных и других систем. С ходом времени сложность данных систем неуклонно растет, усложняется все: начиная от электрорадиоизделий (ЭРИ) и составных частей, вплоть до единой системы в целом. В частности, это требует разработки схем электрических принципиальных (СЭП), отличающихся высокой степенью надежности. А обеспечение надежности любой системы является одной из главных задач разработчика на этапах проектирования.

Все изделия радиоэлектронной промышленности характеризуются качеством, то есть определенной совокупностью свойств, которые существенно отличают данное изделие от других. В процессе эксплуатации радиоэлектронных средств (РЭС), вследствие износа и процессов старения характеристики аппаратуры будут изменяться. Изменения качества во времени характеризует один из главных его показателей – надежность. Надежность оценивают по таким характеристикам изделия, как работоспособность, долговечность, безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость.

При проектировании РЭС существует перечень определенных требований, которые необходимо учитывать. Одним из них является расчет надежности по определенным критериям. Эти критерии характеризуют единичные показатели безотказности (КХН) ЭРИ. Согласно ГОСТ 27.002-89 [1], выделяют шесть основных показателей КХН: вероятность безотказной работы, гамма-процентная наработка до отказа, интенсивность отказов, средняя наработка до первого отказа, средняя наработка на отказ, параметр потока отказов.

На данный момент на рынке ПО существует большое разнообразие зарубежных и отечественных программных комплексов по расчету надежности ЭРИ.

В источнике [2] указано, что среди зарубежных ПК наибольшей популярностью пользуются RELEX (Relax software Corporation, США) и Risk Spectrum (Relcon AB, Швеция). Данные программные комплексы позволяют проводить ло-

гико-вероятностный анализ надежности и безопасности техническим систем. Одним из преимуществ этих комплексов является возможность расчета надежности современных автоматизированных систем управления технологическими процессами и оптимизации техногенного риска. Именно поэтому ПК Risk Spectrum широко распространен в сфере вероятностного анализа безопасности объектов атомной энергетики на стадии проектирования. Однако проблема распространенного использования данного программного комплекса в России заключается в его высокой стоимости, технологической зависимости и трудности в подготовке ликвидных кадров.

Наиболее предпочтительным программным комплексом в России является АСОНИКА-К-СЧ. Это программное средство позволяет решить задачи анализа и обеспечения надежности РЭС. По своим возможностям ПК не уступает отечественным и зарубежным аналогам, а популярность в России достигается из-за возможности вести расчет надежности РЭС, производимой в России, на основе данных, приведенных в отечественных справочниках «Надежность электрорадиоизделий» и «Надежность электрорадиоизделий зарубежных аналогов». К тому же АСОНИКА-К-СЧ отвечает требованиям комплекса военных стандартов «Мороз-6» для РЭС ответственного применения. Еще одним преимуществом является то, что данный ПК специализирован в области электроники и является инструментом разработчика электроники. В системе АСОНИКА созданы интуитивно понятные графические интерфейсы, состыкованные с базой данных материалов.

При расчете надежности в программе АСОНИКА-К-СЧ человеку-оператору необходимо ввести ряд определенных параметров (электрических, тепловых и др.) для каждого ЭРИ, содержащегося в схеме электрической принципиальной (СЭП). Так, например, для полупроводниковых приборов необходимо указать рабочий средний прямой ток, нагрузку по напряжению, максимальную мощность по техническому условию, рабочий ток стабилизации и т.д.

При работе с конденсаторами, резисторами и дросселями требуется другой набор параметров, он состоит из таких, как

номинальное напряжение, сопротивление, мощность и т.д.

Существующие программные комплексы (ПК) для расчета количественных характеристик надежности радиоэлектронных средств требуют ручного ввода параметров (электрических и др.) электрорадиоизделий (ЭРИ) для определенного режима работы. Это приводит к значительному неудобству в использовании и попросту занимает дополнительное время у человека-оператора, особенно при изменении режима работы исследуемого образца РЭС. В связи с этим, целью данной работы является повышение эффективности работы человека-оператора при расчете надежности РЭС за счет сокращения времени ввода необходимых параметров для ЭРИ.

Существует два этапа работы с электрической схемой. Их, как правило, выполняют два разных отдела на предприятии.

Первый – проектирование СЭП в таких программах схемотехнического моделирования, как LTSpice, Multisim или Proteus, где инженер-проектировщик создает виртуальную модель.

Второй – расчет надежности в таких ПК, как, к примеру, ПК АСОНИКА-К-СЧ. На этом этапе инженеру необходимо ввести вручную в программу электрические параметры каждого электрорадиоизделия, содержащегося в схеме электрической принципиальной, используя документацию на СЭП. Это занимает большое количество времени, учитывая, что схема может содержать несколько сотен ЭРИ.

Устранить данный недостаток предлагается за счет автоматизации процесса ввода электрических и тепловых параметров ЭРИ человеку-оператору, предоставив возможность рассчитывать ранее перечисленные характеристики надежности еще на этапе проектирования СЭП. Это позволит сократить время, которое затрачивается на коммуникацию между двумя отделами и сократить количество документации, тем самым повысить эффективность расчета количественных характеристик показателей надежности СЭП.

В действительности, если на втором этапе выясняется, что необходимы внесения изменений в конфигурацию СЭП,

оператор из второго отдела должен сообщить об этом первому оператору, который в свою очередь будет вносить корректировки в СЭП с последующим предоставлением ее в другой отдел.

Использование разрабатываемого программного комплекса повышает эффективность расчета при проектировании СЭП, так как позволит первому оператору изменять схему, исходя из результатов расчета, которые он сразу получает. В таком случае, при изменении режима работы СЭП, уже не требуется заново вводить необходимые параметры ЭРИ и рассчитывать по справочникам новые значения параметров. А достаточно лишь в программном комплексе Multisim изменить режим работы и перезапустить расчет в ПК LabView.

В заключении необходимо отметить, что в ходе работы была сформирована вспомогательная сводная таблица для каждого класса ЭРИ со списком электрических параметров, необходимых для расчета количественных характеристик показателей надежности составных частей систем спутниковой связи по справочникам [3-5]. Разработан пользовательский интерфейс разрабатываемого программного комплекса в LabView с возможностью интеграции в него СЭП из ПК Multisim. Данный подход позволит повысить эффективность расчета надежности при проектировании СЭП составных частей систем спутниковой связи.

Литература

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. [Дата введения 1990-07-01]. М.: МО РФ, 1990. (Руководящий документ).
2. Обзор программных комплексов по расчету надежности. [Электронный ресурс]. URL: http://www.kit-e.ru/articles/device/2007_5_183.php (дата обращения: 15.01.2018).
3. Надежность ЭРИ 2006: справочник. М.: МО РФ. С. 641, 2006.
4. Надежность ЭРИ ИП: справочник. М.: МО РФ. С. 52, 2006.
5. MIL-HDBK-217: Military Handbook, Reliability prediction of electronic equipment, [Дата введения 1990-01-02].

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ПОЛЯХ ГАЛУА ДЛЯ БЫСТРОГО ПОИСКА ПО ЗАДЕРЖКЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГОЛДА

Михайлов Владимир Юрьевич,

Профессор, доцент, д.т.н., Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), Москва, Россия,
mihvj@yandex.ru

Мазепа Роман Богданович,

Зав. кафедрой, профессор, к.т.н., Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), Москва, Россия,
mrb402@mai.ru

Объект рассмотрения – асинхронно-адресные системы, использующие кодовое разделение абонентов. Предмет анализа – квазиортогональные ансамбли сигналов на основе последовательностей Голда, обеспечивающие разделение абонентов при воздействии имитационных и сигналоподобных помех, и устройства их обработки. Цель анализа – оптимизация процедур и устройств поиска по задержке последовательностей Голда, способных адаптироваться к изменению структуры сигналов, составляющих ансамбли. Решение базируется на принципах и математических моделях, разработанных авторами: принципе быстрых преобразований в полях Галуа, алгебраической модели представления и структуре устройств быстрого поиска по задержке подкласса последовательностей, построенных на основе кодов Голда. Проблема возникает при использовании последовательностей большой длины в условиях ограниченного времени наблюдения сигнала, высоких требованиях к надежности и точности синхронизации, а также структурной скрытности рассматриваемых систем. В этих условиях применение разнообразных упрощенных процедур быстрого поиска ограничено ввиду их низкой энергоэффективности, а оптимальные параллельные процедуры слишком сложны для реализации. Проблема существенно усложняется при необходимости вхождения в синхронизм с ансамблем квазиортогональных сигналов, в том числе с применением динамически изменяемой структуры сигналов в условиях воздействия сигналоподобных помех.

Данная статья посвящена построению метода обработки и модели устройства поиска на основе быстрых преобразований в полях Галуа, близкого по эффективности к оптимальной параллельной схеме, и способного оперативно адаптироваться к изменению структуры кодов Голда, на основе которых формируются ансамбли квазиортогональных сигналов. Ключевыми особенностями описанного метода обработки являются реализация корреляционного приема совокупности синхронизированных выборок коротких последовательностей идентичной структуры и накопление символов множества копий короткой последовательности, полученных из исходной кодовой последовательности Голда. Используемые принципы раздельной синхронизации по компонентам задержки и быстрые преобразования в полях Галуа обеспечивают большое разнообразие вариантов построения устройств поиска, что может быть использовано для обеспечения компромисса между скоростью и сложностью поиска, как это достигается в известных последовательно-параллельных схемах. Показано, что предложенная модель устройства поиска для рассматриваемого подкласса сигналов обеспечивает высокий уровень адаптации к изменению структуры сигнала. Предлагаемые варианты схемы поиска выполняют прием и первичную обработку кодовых последовательностей в реальном времени, что выгодно отличает их от известных схем, выполняющих быстрые преобразования другими методами. В частности, в них отсутствуют устройства памяти для хранения принятой реализации на этапе обнаружения, что обычно требуется при выполнении быстрых преобразований другими методами. На основе анализа существенных свойств быстрых преобразований в полях Галуа определены перспективы дополнительного снижения временных затрат на поиск по задержке сложных многокомпонентных конструкций, базирующихся на кодах максимальной длины. Результаты работы будут полезны специалистам, занимающимся проектированием инфокоммуникационных систем, использующих сложные сигналы с большой базой и изменяемой структурой для обеспечения защиты от исследования и воздействия сигналоподобных помех.

Ключевые слова: асинхронно-адресные системы, структурная избыточность, быстрый поиск по задержке, квазиортогональные ансамбли сигналов, коды Голда; поля Галуа, быстрые преобразования.

На рисунке 1 приведена модель варианта устройства поиска рассматриваемых последовательностей Голда.

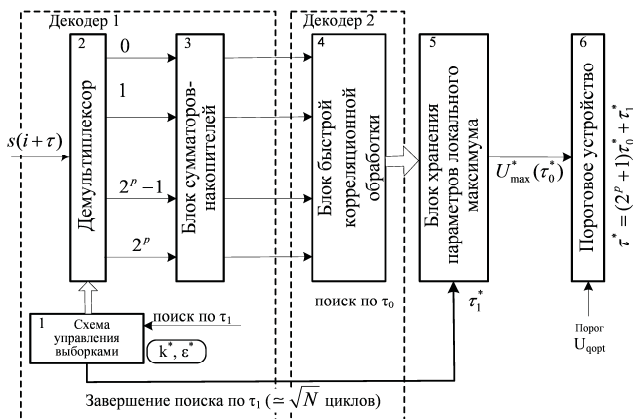


Рис. 1. Модель варианта устройства последовательного поиска последовательности Голда

На этом рисунке представлены следующие блоки.

1 (Схема управления выборками) – схема обеспечивающая синхронное накопление символов короткой последовательности при $\tau_1 = 0$ и заданных параметрах k^* , ϵ^* последовательности Голда.

2 (Демультимплексор) – схема, выполняющая распределение принятых символов по накопительным «карманам» – каналам. Схема работает под управлением схемы 1 и ее логика не зависит от параметров k^* , ϵ^* последовательности Голда.

3 (Блок сумматоров-накопителей), в качестве которых могут быть использованы реверсивные счетчики разрядности $p+1$, аккумулирующие одноименные символы короткой последовательности при $\tau_1 = 0$. Логика работы этого блока не зависит от структуры исходной последовательности и метода преобразования. Отметим, что результат накопления не зави-

сит и от наличия синхронизации по компоненту τ_0 полной задержки, что позволяет разделить поиск на два этапа.

4 (Блок быстрой корреляционной обработки) – блок, обеспечивающий определение компонента τ_0 полной задержки. Логика работы данного блока не зависит от структуры исходной последовательности и выбранного метода преобразования. Он может быть выполнен по любой известной схеме, в том числе и методом согласованной фильтрации. В этом случае устройство становится беспоисковым. Поскольку длина коротких последовательностей существенно (приблизительно в \sqrt{N}) меньше длины исходной последовательности, то метод согласованной фильтрации приобретает интерес. В любом случае, поскольку результат накопления в блоке 3 сохранен, декодирование короткой последовательности может быть выполнено значительно быстрее, чем обработка в реальном времени.

5 (Блок хранения параметров локального максимума) – блок, обеспечивающий получение максимального глобального результата корреляционной обработки по завершению цикла поиска, как это предусматривается процедурой оптимальной корреляционной обработки.

6 (Пороговое устройство) – стандартный блок, не имеющий особенностей.

Особенностью этого варианта схемы поиска является то, что параметры k^* , ε^* последовательности Голда определяют только структуру «Схемы управления выборками». Именно она адаптирует схему поиска к изменению структуры кодовой последовательности в установленных границах. К сожалению, определить логику работы этой схемы аналитически не представляется возможным, что, однако, не препятствует получению результата путем моделирования. Поскольку прототипом представленного варианта схемы является схема в [12], то оценка эффективности поиска сохраняется: для завершения полного цикла поиска максимально требуется приблизительно в \sqrt{N} раз меньше шагов по сравнению с традиционной последовательной процедурой поиска. Поиск путей оптимизации схемы поиска связан с результатами более глубоких исследований структуры полей Галуа рассматриваемого типа, получением основанных на них методов и алгоритмов быстрых преобразований, и является темой отдельных дополнительных исследований. В частности, конкурентно способным представляется вариант быстрого поиска по задержке путем выполнения быстрых преобразований копии принятой оцифрованной последовательности.

Литература

1. Шахгильдян В.В., Бойков В.В. Глонасс: Перспективы использования новых CDMA-сигналов // Электросвязь. 2011. №4. С. 13-18.
2. Лосев В.В., Бродская Е.Б., Коржик В.И. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов. М.: Радио и связь, 1988. 224 с.
3. Polydoros A., Weber C. A Unified Approach to Serial Search Spread-Spectrum Code Acquisition-Part I: General Theory // IEEE Transactions on Communications. 1984. vol. 32, no 5, pp. 542-549.
4. Kwonhue Choi, Kyungwhoon Cheun, Taejin Jung. Adaptive PN Code Acquisition Using Instantaneous Power-Scaled Detection Threshold Under Rayleigh Fading and Pulsed Gaussian Noise Jamming // IEEE Transactions On Communications. 2002. vol. 50, no. 8,

pp. 1232-1235.

5. Jiaqi Zhang, Ning Ge, Zhaocheng Wang, Sheng Chen. Fast Antijamming Timing Acquisition Using Multilayer Synchronization Sequence // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2013. vol. 62. no. 7, pp. 3497-3503.

6. Косолапов А.С., Галев А.В. Исследование возможности декодирования сложных кодовых последовательностей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, Инженерный журнал: наука и инновации, №1, 2014. С. 10.

7. Shin Oh-Soon, Bok Kwang. Differentially Coherent Combining for Double-Dwell Code Acquisition in DS-CDMA Systems // IEEE Transactions On Communications. 2003. vol. 51, no. 7, pp. 1046-1050.

8. Benkrinah Sabra, Barkat Mourad, Benslama Malek. An Adaptive Hybrid double-dwell PN Code Acquisition in Rayleigh Fading Channels Using OS-CFAR algorithm // International conference on electronics & Oil: From Theory to Applications (ICEO'11). March 01-02, 2011, Ouargla Algeria.

9. Bychenkov S., Sakaniwa K., Mikhailov V. Fast acquisition of PN sequences in DS-CDMA systems with incoherent demodulator // IEICE Transactions On Communications. 2006. vol. E89-B, no. 12, pp. 3319-3334.

10. Bychenkov S., Mikhailov V., Sakaniwa K. Fast acquisition of PN sequences in DS/CDMA systems // IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences. 2002. vol. E85-A, no 11, pp. 2498-2520.

11. Акулов О.А. Комбинированный метод поиска сложных сигналов по задержке // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Приборостроение». 2008. №3. С. 46-53.

12. Михайлов В.Ю., Мазена Р.Б. Метод быстрого поиска по задержке подкласса M-последовательностей // Научные технологии. 2015. №10. С. 56-62.

13. Mikhailov V., Vitomsky E. Performance estimation of the fast conversions in Galois field to speed up of subclass M-sequences delay acquisition / Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). July 03-04, 2017, IEEE, Kazan, Russia.

14. Михайлов В.Ю., Мазена Р.Б. Построение изоморфных ансамблей сигналов в асинхронно-адресных системах // Научные технологии. 2015. Т. 16. №11. С. 36-40.

15. Михайлов В.Ю. Теоретико-числовая модель аналитического оценивания и выбора ансамблей сигналов в асинхронно-адресных телекоммуникационных системах / Труды МАИ, 2012, №50, http://mai.ru/upload/iblock/395/teoretiko_chislovaya-model-analiticheskogo-otsenivaniya-i-vybora-ansambley-signalov-v-asyncronno_adresnykh-telekommunikatsionnykh-sistemakh.pdf.

16. Proakis G. Digital Communications, 4rd edition, McGraw-Hill International Editions, 2001.

17. Михайлов В.Ю. О расчете максимальных значений функции взаимной корреляции M-последовательностей // Радиотехника и электроника. 1982. Т. 27, №6. С. 1219-1221.

18. Михайлов В.Ю. Регулярный метод синтеза квазиортогональных ансамблей M-последовательностей // Радиотехника и Электроника. 1984. Т.29. №9. С. 1838-1840.

19. Михайлов В.Ю., Мазена Р.Б. Выбор наилучших ансамблей сигналов в асинхронно-адресных и командно-измерительных аэрокосмических системах // Электросвязь. 2016. №4. С. 20-24.

20. Gold R. Maximal recursive sequences with 3-valued recursive cross-correlation functions (Corresp.) // IEEE Transactions on Information Theory. 1968. vol. IT-14, no. 1, pp. 154-156.

21. Михайлов В.Ю. Обобщенный синтез двухкомпонентных составных кодов с гарантированными ансамблевыми характеристиками // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 4. № 2. С. 95-102.

22. Михайлов В.Ю. Синтез подкласса трехкомпонентных составных кодов со сверхбольшим ансамблем // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 1. С. 142-148.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИМО ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

Панкратов Денис Юрьевич,

к.т.н., Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), кафедра СиСРТ, Москва, Россия,
dpankr@mail.ru

Степанова Анастасия Георгиевна,

старший преподаватель, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ),
кафедра «Теория электрических цепей» (ТЭЦ), Москва, Россия,
ag.otc@rambler.ru

В условиях увеличения объемов передаваемой информации, постоянно возрастают требования к пропускной способности систем радиосвязи. Один из способов увеличения пропускной способности - применение высокоэффективных алгоритмов цифровой обработки сигналов, для исследования которых используется компьютерное моделирование. В настоящей работе проведено моделирование систем связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами (Multiple Input Multiple Output, MIMO) с различным числом антенн для оценки пропускной способности и помехоустойчивости таких систем. Будущие системы 5G ориентированы на значительное повышение пропускной способности, в том числе с помощью технологии Massive MIMO. Разработанные алгоритмы моделирования планируется использовать для систем MIMO с большим числом антенн, для сигналов с большей кратностью модуляции, а также для радиоканалов MIMO с пространственно коррелированными замираниями.

Ключевые слова: технология MIMO, технология Massive MIMO, 5G, имитационное моделирование, пропускная способность, помехоустойчивость, алгоритм моделирования.

В условиях увеличения объемов передаваемой информации, постоянно возрастают требования к пропускной способности систем радиосвязи. Системы радиосвязи являются системами с большим числом элементов и функциональных связей между ними, они находятся под случайными воздействиями. В них одновременно протекает множество различных преобразований сигналов с высокой скоростью цифровой обработки сигналов. С ростом сложности современных систем связи на фоне стремительного повышения возможностей вычислительной техники особое значение приобретают имитационные модели. Процесс моделирования является удобным, гибким, мощным средством разработки нового оборудования заменяющим дорогостоящий натурный эксперимент.

Один из способов увеличения пропускной способности - применение высокоэффективных алгоритмов цифровой обработки сигналов, для исследования которых используется компьютерное моделирование.

В настоящее время большое внимание уделяется системам связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами (Multiple Input Multiple Output, MIMO). Технология MIMO позволяет существенно увеличить спектральную эффективность систем радиосвязи [1, 2]. Наибольший интерес сейчас вызывают системы MIMO с большим числом антенн.

При моделировании система радиосвязи обычно рассматривается в виде нескольких функциональных блоков, каждый из которых описывается с помощью отдельной программы [3, 4, 5]. Таким образом, большая и сложная система представляет собой совокупность простых моделей. Исследование которых дает возможность детально, разносторонне изучить интересующие свойства и добиться желаемого результата.

Проведено моделирование систем MIMO с различным числом антенн для оценки пропускной способности и поме-

хоустойчивости таких систем.

Рассмотрим моделирование системы радиосвязи с одной передающей и одной приемной антенной (Single Input Single Output, SISO) [1], представление радиоканала которой изображено на рис. 1, а схема моделирования - на рис. 2.

Рассмотрим случай двоичной фазовой модуляции (ФМ-2), т.е. когда каждый сигнал переносит один бит данных.

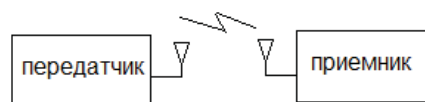


Рис. 1. Представление радиоканала SISO

Приведем методику моделирование системы SISO в программно-имитационной математической среде.

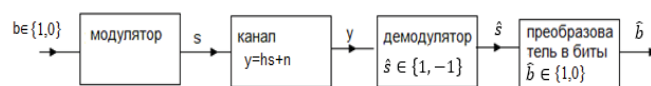


Рис. 2. Схема моделирования системы SISO

Источник информации выдает случайным образом сгенерированный бит $b \in \{1, 0\}$, который поступает на вход модулятора ФМ-2. Далее сигнал $s \in \{1, 0\}$, проходит по радиоканалу с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) и коэффициентом передачи h . Таким образом, на вход демодулятора поступает смесь $y = hs + n$, сигнала s и шума n , из которой происходит восстановление сигнала. Подсчет числа ошибок осуществляется посредством сравнения, переданного и принятого битов, затем вычисляется коэффициент битовых ошибок (Bit error rate, BER) в зависимости от отношения

сигнал/шум (SNR). Алгоритм моделирования системы SISO приведен в табл. 1.

Таблица 1

Номер шага	Действия программы моделирования	Переменные, которые используются в программе
1.	Начало цикла по отношению сигнал/шум	SNR
2.	Начало цикла по числу испытаний	$L = 10000$
	Формирование равномерно распределенной случайной величины для генерирования информационного бита	x
	Преобразование величины x в бит (1 или 0)	b
	Модуляция (получение информационного символа) ФМ-2 (1 или -1)	s
3.	Генерирование шума в канале связи и коэффициента передачи	n, h
4.	Получение смеси сигнала и шума	$y = hs + n$
5.	Демодуляция (получение оценки информационного символа)	\hat{s}
6.	Получение оценки принятого бита	\hat{b}
7.	Сравнение величин \hat{b} и b и регистрация ошибки	err
8.	Подсчет общего числа ошибок	sum
9.	Завершение цикла пункта 2	
10.	Вычисление коэффициента ошибок	BER
11.	Завершение цикла пункта 1	
12.	Построение графика зависимостей коэффициента ошибок от отношения сигнал/шум	$BER = f(SNR)$

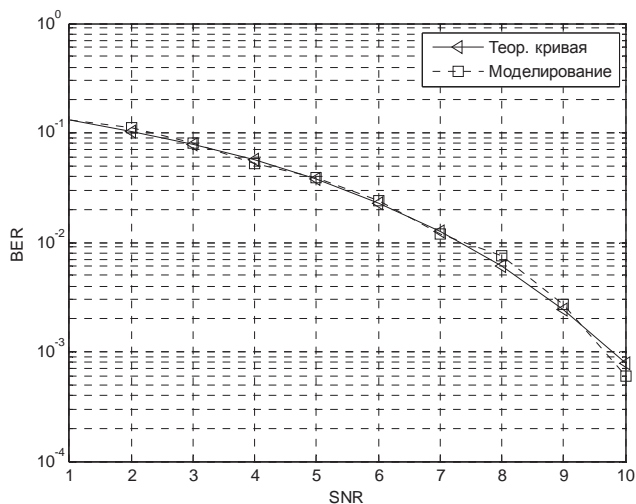


Рис. 3. Зависимость $BER=f(SNR)$ коэффициента ошибок от отношения сигнал/шум для системы SISO для гауссовского канала

На рисунке 3 представлены графики зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум (SNR), полученных в результате теоретического анализа и моделирования. Для построения теоретической кривой использовалась следующая формула [6, 7]:

$$BER(SNR) = 0.5 \cdot erfc(\sqrt{0.5 \cdot 10^{0.1SNR}}) \quad (1)$$

$$\text{где } erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt \quad (2)$$

– остаточная функция ошибок.

Кривая помехоустойчивости, полученная с помощью моделирования, незначительно отклоняется от теоретической кривой при $L = 10000$. Это указывает на адекватность используемой модели и проведенного моделирования [8].

Рассмотрим модель системы MIMO (Multiple Input Multiple Output – много входов, много выходов) [1] с M передающими антеннами и M приемными антеннами.

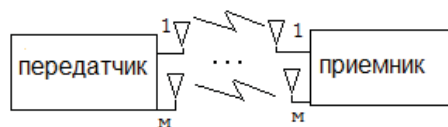


Рис. 4. Представление радиоканала MIMO

Модель сигнала, которая поступает на вход демодулятора имеет следующий вид:

$$y = Hs + n \quad (3)$$

где y – вектор принимаемых сигналов размерности $M \times 1$; H – комплексная матрица радиоканала MIMO размерности $M \times M$; s – вектор переданных сигналов размерности $M \times 1$; n – гауссовский случайный вектор шума размерности $M \times 1$.

Элементы h_{ij} матрицы H радиоканала MIMO представляют собой комплексные коэффициенты передачи от j -й передающей антенны к i -й приемной антенне.

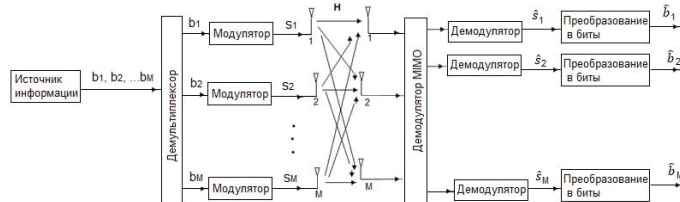


Рис. 5. Схема моделирования системы MIMO

Алгоритм моделирования системы MIMO приведен в табл. 2.

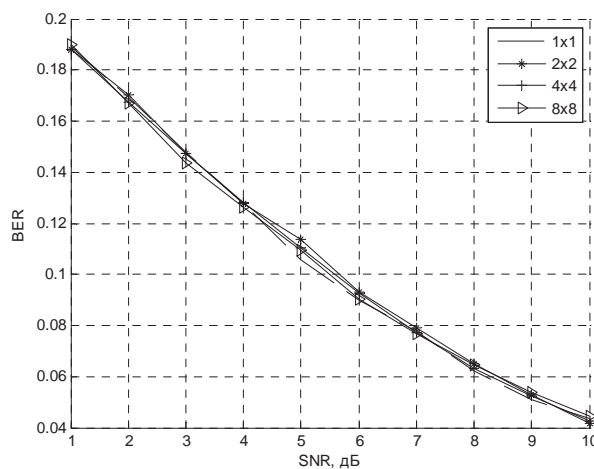


Рис. 6. Зависимость $BER=f(SNR)$ коэффициента ошибок от отношения сигнал/шум для различного числа приемных и передающих антенн

Эксперимент показал, что коэффициент битовых ошибок для систем MIMO и SISO практически не отличается (см. рис. 6). Это объясняется тем, что система MIMO, в рассматриваемом случае релейского канала с некоррелированными замираниями, представляет собой совокупность параллельных независимых систем SISO. Полученные кривые вероятности ошибки (BER) в зависимости от отношения сигнал/шум (SNR) можно использовать для сравнения других видов модуляции, поскольку ФМ-2 является наилучшей схемой побитового кодирования.

Перейдем к моделированию и анализу пропускной способности радиоканала систем SISO и MIMO с помощью следующей формулы [1, 2]:

$$C = \log_2 \left(\det \left(I + \frac{SNR}{M} HH' \right) \right) \quad (4)$$

где C – пропускная способность в бит/с/Гц, SNR – отношение сигнал/шум в дБ, I – единичная матрица, M – число передающих (и приемных) антенн, H – комплексная матрица радиоканала MIMO, H' – сопряженная по Эрмиту комплексная матрица радиоканала MIMO.

Таблица 2

Номер шага	Действия программы моделирования	Переменные, которые используются в программе
1.	Начало цикла по отношению сигнал/шум	SNR
2.	Начало цикла по числу испытаний	$L=10000$
3.	Начало цикла по числу передающих антенн	
	Формирование равномерно распределенной случайной величины (для каждой антенны)	x
	Преобразование величины x в бит (1 или 0)	b
	Модуляция (получение информационного символа) ФМ-2 (1 или -1)	s
4.	Завершение цикла п.3	
5.	Формирование вектора из сгенерированных информационных символов для всех передающих антенн	s
6.	Генерирование матрицы радиоканала MIMO, состоящей из комплексных коэффициентов передачи	H
7.	Генерирование вектора комплексного гауссовского шума	n
8.	Получение смеси сигнала и шума	$y = Hs + n$
9.	Нахождение обратной матрицы радиоканала MIMO	$G = H^{-1}$
10.	Демодуляция (получение оценки принятого вектора информационных символов)	\hat{s}
11.	Получение оценки вектора принятых битов	\hat{b}
12.	Сравнение векторов \hat{b} и b и регистрация ошибок	err
13.	Подсчет общего числа ошибок	sum
14.	Завершение цикла пункта 2	
15.	Вычисление коэффициента ошибок	BER
16.	Завершение цикла пункта 1	
17.	Построение графиков зависимостей коэффициента ошибок от отношения сигнал/шум для различного числа антенн	$BER=f(SNR)$

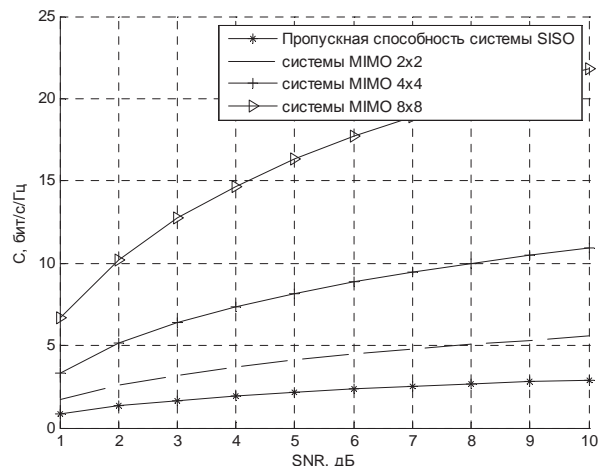


Рис. 7. Графики зависимости пропускной способности C от отношения сигнал/шум для систем SISO и MIMO

На рисунке 7 приведены графики зависимости пропускной способности (C) от отношения сигнал/шум (SNR) для радиоканалов системы SISO и системы MIMO с различным числом антенн. Как мы видим, увеличение числа антенн обеспечивает существенное увеличение пропускной способности при одинаковом отношении сигнал/шум.

Алгоритм моделирования пропускной способности для различного числа антенн приведен в табл. 3.

Таблица 3

Номер шага	Действия программы моделирования	Переменные, которые используются в программе
1.	Начало цикла по отношению сигнал/шум	SNR
2.	Начало цикла по числу испытаний	$L=10000$
3.	Генерирование матрицы радиоканала MIMO, состоящей из комплексных коэффициентов передачи	H
4.	Вычисление пропускной способности по всем испытаниям	c, s
5.	Конец цикла пункта 2	
6.	Вычисление средней пропускной способности	cav
7.	Завершение цикла пункта 1	
8.	Построение графиков зависимостей пропускной способности от отношения сигнал/шум для различного числа антенн	$C=f(SNR)$

Будущие системы 5G [8,9,10] ориентированы на значительное повышение пропускной способности, в том числе с помощью технологии Massive MIMO. Разработанные алгоритмы моделирования планируется использовать для систем MIMO с большим числом антенн, для сигналов с большей кратностью модуляции, а также для радиоканалов MIMO с пространственно коррелированными замираниями.

Данный материал полезен как для анализа характеристик систем MIMO, так и для более глубокого понимания сложных алгоритмов цифровой обработки сигналов систем MIMO. Обучение студентов необходимо начинать с простых

алгоритмов, раскрывающих суть, так как использование готовых блоков не способствует подготовке специалистов с высоким уровнем компетенций. Технология Massive MIMO в перспективных системах радиосвязи позволит значительно уменьшить помехи между сотами и помехи внутри сот, что в свою очередь, позволит повысить спектральную эффективность и энергетическую эффективность [8]. Но на пути к практическому использованию таких систем существует ряд сложностей, для решения которых и направлены данные исследования.

Литература

1. Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б. Технология MIMO: принципы и алгоритмы. М.: Горячая линия-Телеком, 2014. 244 с.
2. MIMO System Technology for Wireless Communications/ Edited by George Tsoulos. USA, FL, Boca Raton, CRC Press, 2006. 378 p.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.:

Питер, 2002. 608 с.

4. Васильев К.К., Служивый М.Н. Математическое моделирование систем связи: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 170 с.

5. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 516 с.

6. Прокис Дж. Цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.

7. Скляр Бернанд. Цифровая связь. Теоритические основы и практическое применение. М.: ИД «Вильямс», 2007. 1004 с.

8. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю. Технологии в системах радиосвязи на пути к 5G. Горячая линия – Телеком, 2018. 280 с.

9. Бакулин М.Г., В.Б. Крейнделин, Шумов А.П. Вопросы повышения спектральной эффективности систем связи: ортогональная передача // Цифровая обработка сигналов. 2014. №2. С. 22-33.

10. 5G-SIG-white-paper-first-version
<https://ru.scribd.com/document/327361899/Fei-Hu-Opportunities-in-5G-Networks-A-Research-and-Development-Perspective-CRC-Press-2016-pdf>.

ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИОКАНАЛА (С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТЕОРНОЙ СВЯЗИ)

Рыбаков Алексей Игоревич,

аспирант кафедры «Радиопередающие устройства и средства подвижной связи» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия,

lexeus.rl@gmail.com

Дано общее описание алгоритмов кодирования и декодирования, использованных при разработке сигнально-кодowych конструкций, реализованных в макетах носимых станций метеорной связи. Представлены форматы кадров широковещательного и полудуплексного протоколов. Приведена структура и функциональное описание разработанного программного обеспечения программно-конфигурируемого радиоканала (с применением метеорной связи).

Ключевые слова: схемы кодирования, система метеорной связи, канал передачи, частотное разделение каналов, частотные фильтры, сигнально-кодowych конструкции, широковещательный протокол, полудуплексный протокол.

Введение

В данной статье дано общее описание алгоритма кодирования, используемого при разработке сигнально-кодowych конструкций, реализованных в макетах носимых станций метеорной связи. Представлены форматы кадров широковещательного и полудуплексного протоколов. Приведена структура и функциональное описание разработанного программного обеспечения программно-конфигурируемого радиоканала (с применением метеорной связи).

Алгоритм кодирования.

Зададимся условием на приеме: пусть принят вектор y_0^{N-1} . Сразу поясним, что в описываемом программном коде используется последовательный алгоритм декодирования. Он состоит в следующем:

Шаг 1. В приоритетную очередь добавляется путь нулевой длины и вероятности $\Omega(0)$, функция $\Omega(i)$ называется эвристической функцией и будет определена ниже.

Шаг 2. Из приоритетной очереди выбирается путь в кодовом дереве u_0^{i-1} с наибольшей оценкой вероятности $T(u_0^{i-1}|y_0^{N-1})$.

Если длина этого пути N , то соответствующее кодовое слово возвращается и декодер завершает работу.

Если символ u_i является (динамически) замороженным (1). В противном случае далее отдельно рассматриваются случаи $u_i = 0, u_i = 1$. Вычисляются оценки вероятности наиболее правдоподобного кодового слова $uB_m G_N$ полярного кода, задаваемого вектором u с префиксом u_0^i (1).

$$T(u_0^{N-1}|y_0^{N-1}) = P(u_0^{i-1}|y_0^{N-1})\Omega(i),$$
$$\Omega(i) \approx \prod_{j>i, j \in F} (1 - P_j), \quad (1)$$

где P_j – вероятность неправильного принятия решения относительно символа u_i при известных значениях принятых символов, а также символов u_0^{i-1} . Эти значения вычисляются с помощью метода гауссовской аппроксимации, описанного в [1-5].

Шаг 3. Если количество путей u_0^{i-1} длины i , когда-либо извлеченных декодером, превышает заданный порог L , из приоритетной очереди удаляются все пути длины i и менее. Если количество путей в приоритетной очереди превышает некоторый параметр Θ , пути с наименьшими метриками $T(u_0^{N-1}|y_0^{N-1})$ удаляются.

Возврат на шаг 2.

Шаг 4. Увеличивая параметры L и Θ , можно добиться уменьшения вероятности ошибки за счет увеличения сложности декодирования. При достаточно больших значениях этих параметров реализуется декодирование почти по максимуму правдоподобия.

В некоторых случаях возвращаемое алгоритмом кодовое слово не является наиболее правдоподобным. Как правило, это происходит вследствие отбрасывания правильного пути на шаге 4. Как правило, это сопровождается резким увеличением числа итераций, выполняемых декодером. Это можно использовать для обнаружения ошибки декодирования. То есть, декодер возвращает флаг ошибки, если число итераций вышеприведенного алгоритма превышает некоторое пороговое значение, зависящее от кода.

Итак, нам удалось воспроизвести принципы, по которым строился окончательный алгоритм принятия решений по качественному использованию канального ресурса с достаточным уровнем правдоподобия и надежности в передаче информации, заключенной в использовании описанной кодовой конструкции.

Протоколы передачи.

В проектируемой радиосистеме предусмотрено два протокола передачи: вещательный и полудуплексный.

Вещательный протокол. Данный протокол предназначен для осуществления односторонней связи и осуществления гарантированной доставки сообщений, что реализуется с помощью многократного повторения сообщения передатчиком. Протокол характеризуется периодом передачи информации и периодом приёма информации. Применительно к нашему радиоканалу в каждом сообщении используется кодирование. В зависимости от объема сообщения применяется соответствующая спецификация кодирования (табл. 1).

Таблица 1

Структура кадра данных

Заголовок		Кодовое слово		
Преамбула 6 байт	ID кода 2 байта	CRC 2 байта	ID пакета 1 байта	Поле данных (переменная длина)

Следует отметить, что ввод данных для передачи осуществляется оператором на радиоканале, в соответствующее поле, в символьном виде. Следовательно, размер поля данных в байтовом представлении меньше.

Полудуплексный протокол. Также имеет возможность использования в рассматриваемом программно-конфигурируемом радиоканале. Полудуплексный протокол подразумевает поочередный обмен данными между станциями. Рассмотрим возможные передаваемые сигналы:

- *Зонд-сигнал* предназначен для определения начала метеорного следа. Зонд-сигнал отправляется базовой станцией. (Базовой станцией метеорной системы связи [6]).

- *Сигнал подтверждения об образовании канала* (появлении метеорного следа). Отправляется на базовую станцию как только принят зонд-сигнал. От возможных передаваемых сигналов, мы переходим к рассмотрению кадра данных и его структуре.

В начальный момент времени отправляются зонд-сигналы. Длительность зонд-сигналов составляет 0,8 мс. Задержка между последовательными зонд-сигналами составляет 50 мс, что обусловлено минимально возможной скоростью переключения антенных коммутаторов. В случае образования метеорного следа зонд-сигнал поступает на вход периферийной станции. Периферийная станция также переключает антенный коммутатор с приема на передачу. Затем выполняется передача сигнала подтверждения на базовую станцию. После приема сигнала подтверждения базовой станцией (для метеорной системы связи) считается, что образовался канал передачи и выполняется передача данных. После получения кадра данных отправляется подтверждение о передаче.

Итак, теперь перед нами стоит задача - разобраться в содержании структуры сигналов более подробно. Для начала определим возможные значения для поля «Флаги»:

11110000 – данных для передачи нет;
00001111 – за кадром подтверждения будет передан кадр данных.

Номер кадра 0 используется при инициализации сеанса двустороннего объема данными.

Таблица 2

Структура кадра данных

Заголовок кадра		Кодовое слово		
Преамбула 6 байт	ID кода 2 байта	CRC 2 байт	ID пакета 1 байт	Поле данных (переменная длина)

В данном случае (табл. 2) в каждом сообщении также используется кодирование. В зависимости от объема сообщения применяется соответствующая спецификация кодирования.

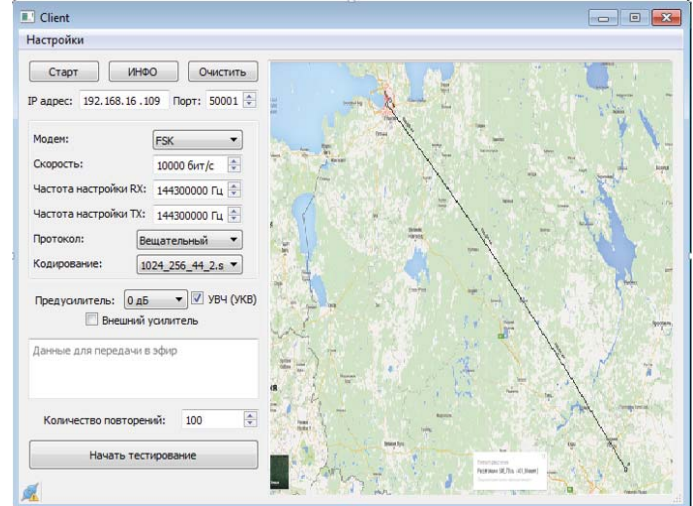
Итогом работы стало разработанное программное обеспечение (далее ПО) – предназначено для приёма и передачи

информации посредством использования метеорных отражений. ПО используется для управления приемопередающим модулем (ППМ), включающим трансивер SunSDR2 и антенный усилитель [6].

Функции программного обеспечения:

- Передача сигналов через метеорные отражения;
- Приём сигналов через метеорные отражения.

Структурная схема разработанного программного обеспечения приведена на



Все ПО построено на основе клиент-серверной архитектуры. Клиентская часть выполняет функции индикации, настройки и управления комплексом, передачи данных / отображением пересылаемой / принятой информации на дисплейном модуле. Результирующие параметры и данные отправляются на серверную часть, которая реализует функции управления трансивером SunSDR2 и передачи данных.

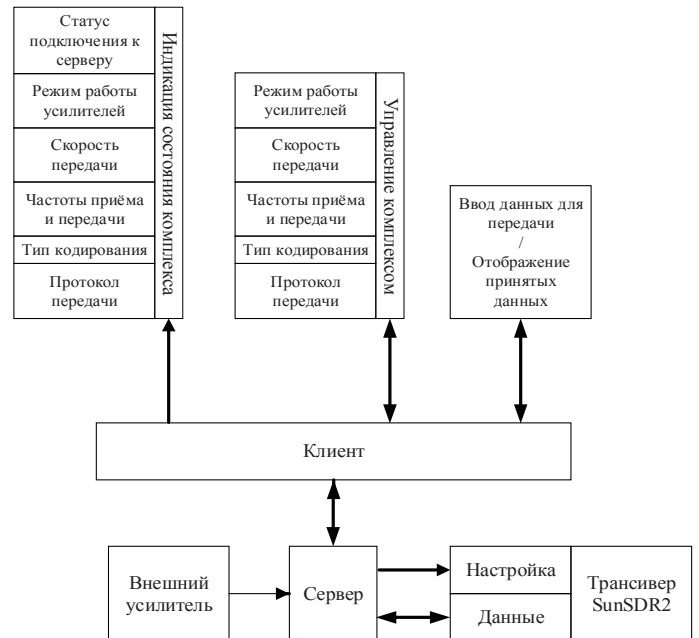


Рис. 1. Структурная схема программы

мехозащищенной сигнально-кодовой конструкции.

Литература

1. Горелкин Г.А., Гориков А.В., Тулемисов У.М. Модель проектирования информационных систем в условиях потока новых информационных технологий // Системы высокой доступности. 2011. № 1. С. 50-53.

2. Arikian E. Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels // IEEE Transactions on Information Theory, vol. 55, no. 7, 2009, pp. 3051-3073.

3. Воробьев О.В., Рыбаков А.И. Разработка мобильной системы информационного обеспечения с использованием каналов метеорной связи / В сборнике: материалов VI Международную научно-техническую и научно-методическую конференции «Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании». 2016.

4. Воробьев О.В., Рыбаков А.И. Вариант реализации двунаправленной связи в смс (системе метеорной связи). Описание программно-аппаратного комплекса смс / В сборнике: материалов VII Международную научно-техническую и научно-методическую конференции «Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании». 2017.

5. Рыбаков А.И., Селезнев Е.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ № 20018610247, 09.01.2018. Программное обеспечение с многокритериальными алгоритмами обработки информации.

6. Воробьев О.В., Рыбаков А.И. Вариант реализации схемы кодирования и действующего протокола передачи данных программно-конфигурируемого радиоканала (с применением метеорной связи) / Труды учебных заведений связи. Т.4. №1 С.10-17. 2018.

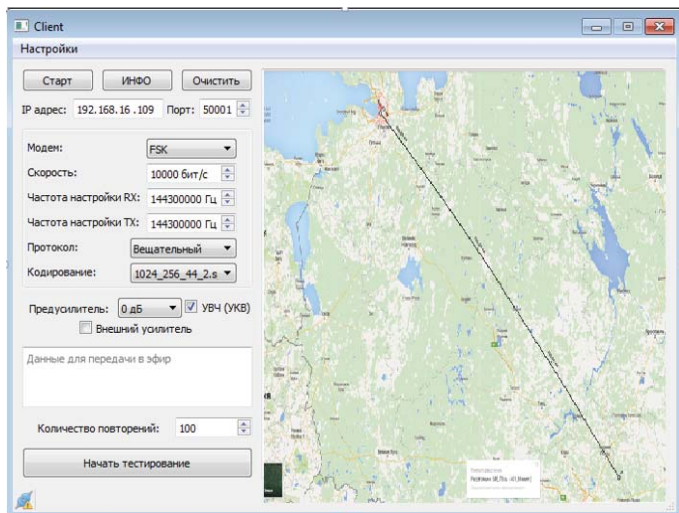


Рис. 2. Главное окно программы (клиентская часть программы)

Как мы видим на рисунке 2 входными (прим. в зав. от полукомплекта станции) данными ПО являются: порт серверной части; трасса радиоканала; IP-адрес и порт трансивера; мощность передатчика трансивера; скорость передачи; частота настройки передатчика; частота настройки приёмника; тип протокола; тип кодирования; управление усилителями; сообщения для передачи; количество повторений сообщения для передачи в случае вещательного протокола.

Заложенный в описании вариант реализации схемы кодирования и действующего протокола передачи данных программно-конфигурируемого радиоканала (с применением метеорной связи) действительно может быть использован для установки каналов связи между носимыми станциями метеорной связи, в качестве более энергоэффективной и по-

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОКАНАЛОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

Самойлов А.Г.,

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия,
ags@vlsu.ru*

Самойлов С.А.,

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия,
samoylow@rambler.ru*

Куракова Т.П.,

*Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
tatiana.kurakova@itu.int*

Рассмотрена методика создания имитатора радиоканалов нового пятого поколения мобильной связи 5G. Предложена многолучевая архитектура имитатора, позволяющего моделировать ослабление сигнала миллиметровых волн при движении абонента в условиях приема как прямого, так и отраженных сигналов. Моделируются ослабления сигнала в зависимости от интервала и профиля трассы связи и изменения плотности вероятности передаточной функции при движении абонентов и изменении мест и условий отражения распространяющихся сигналов.

Ключевые слова: имитатор радиоканала, замирания сигналов, распространение радиоволн, ослабление сигнала, подвижная связь, миллиметровые волны.

Введение

Международный союз электросвязи (МСЭ) выдвинул задачу по созданию до 2020 года пятого поколения подвижной связи (5G) с требованием максимальной скорости передачи данных до 20 Гбит/с и возможностью подключения до миллиона устройств Интернета вещей (IoT-устройств) на площади в один квадратный километр. Следует отметить, что прототипы сетей следует пока относить к Pre-5G, а не к полноценным 5G, поскольку спецификаций сетей 5G еще нет.

Испытания в прототипах сетей 5G уже презентовали такие кампании как: Huawei, Vodafone, Nokia, Sonera, Ericsson, Qualcomm, Cisco, Samsung, Huawei, NTT DoCoMo и др. Эти и другие представители телекоммуникационного рынка предлагают различные инновационные решения для 5G. Например, недавно компания Optus и Huawei обновили рекорд скорости передачи данных в сетях Pre-5G, разогнав их до 35 Гбит/с, проведя испытания на частоте 73 ГГц, а на международном экономическом форуме в Санкт-Петербурге «МегаФон» и Huawei представили базовую станцию пятого поколения в действии, в частотном диапазоне миллиметрового диапазона (ММД) на частоте 70 ГГц с шириной полосы пропускания 2 ГГц, продемонстрировав работу сети пятого поколения на скорости 35 Гбит/с.

Эти исследования показали, что требования к поколению 5G по максимальной скорости передачи данных до 20 Гбит/с и времени отклика от 1 мс можно успешно реализовать в диапазоне миллиметровых волн (ММВ).

Ведущие мировые кампании производителей средств связи уже продемонстрировали свои успехи в этом направлении, но для производителей оборудования и разработчиков сетей связи требуется инструментарий, позволяющий без организации дорогостоящих полевых испытаний определять качество выполненных разработок. В качестве такого инструментария разрабатывается имитатор радиоканала

ММД сети 5G, изменяющий сигналы адекватно реальным радиоканалам между базовыми станциями и подвижными абонентами, работающих в диапазоне миллиметровых волн (ММВ). Рассмотрим методику построения такого имитатора.

Математическая модель радиоканала миллиметрового диапазона частот

Математическая модель передаточной функции канала 5G, должна содержать детерминированную и стохастическую составляющие, позволяющие моделировать ослабление сигнала ММВ в атмосфере с заданными характеристиками при движении абонента в условиях приема прямого и отраженных сигналов. Детерминированная составляющая определяется известными априори данными, такими как: протяженность моделируемой трассы, ее профиль, наличие отражателей сигнала, скорость передвижения абонента относительно базовой станции, рабочая частота, занимаемая полоса частот и т.д.

Вероятностная составляющая передаточной функции канала определяется многолучевым распространением сигналов миллиметрового диапазона (ММД) и интерференцией принятых сигналов на входе приемника.

При передаче через атмосферу сигнал ММВ претерпевает ослабления, которые можно описать следующими выражениями:

– Ослабление в свободном пространстве, определяемое в дБ

$$B = 20 \lg \left(\frac{4\pi Rf}{C} \right), \quad (1)$$

где R – расстояние между передатчиком и приемником; C – скорость света, f – частота несущей.

– Ослабление в газах атмосферы определяется экспериментальными данными [1], приведенными на рис. 1, и на большинстве частот в диапазоне до 100 ГГц не превышают 1

дБ/км.

– Ослабление в дождях, измеряемое в дБ, в работе [2] предложено описывать выражением

$$B_d = \left(\frac{f}{70}\right)^2 Yr, \quad (2)$$

где: Y – интенсивность дождя [мм/ч]; f – несущая частота в ГГц, r – протяженность дождя на трассе связи в км.

При движении абонента расстояние до базовой станции меняется и зависит от скорости движения абонента V , а также при движении появляются доплеровские сдвиги частоты. Поэтому в имитаторе необходимо предусмотреть автоматическое изменение задаваемых при проводимых измерениях параметров R, r, f в зависимости от величины скорости движения абонента с учетом времени его движения.

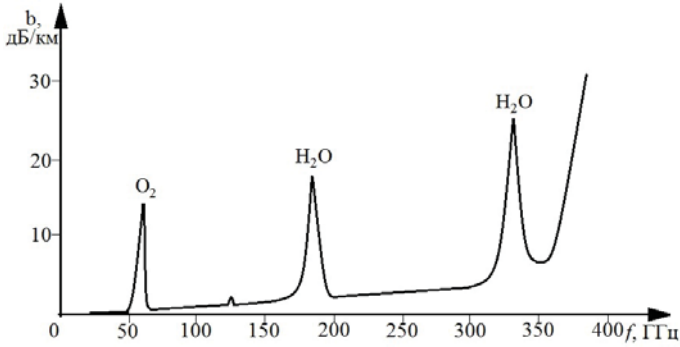


Рис. 1. Затухание ММВ в спокойной атмосфере

При этом движение абонента указывает на увеличение затухания при удалении абонента от базовой станции и на уменьшение затухания при приближении. Если абонент движется под углом α к направлению на базовую станцию, то выражение (1) принимает вид

$$B = 20 \lg \left(\frac{4\pi f [R \pm Z \cos \alpha]}{C} \right), \quad (3)$$

где Z – расстояние, проходимое абонентом за время сеанса связи с базовой станцией.

Аналогично при движении абонента изменится доплеровский сдвиг частоты. При приближении абонента к базовой станции частота f_0 увеличивается до величины

$$f = f_0 \left(\frac{1+V/C}{1-V/C} \right), \quad (4)$$

где f_0 – несущая частота системы связи; V – скорость движения приемника и передатчика относительно друг друга.

При удалении абонента от базовой станции частота уменьшается

$$f = f_0 \left(\frac{1-V/C}{1+V/C} \right). \quad (5)$$

Скорость изменения частоты определится скоростью передвижения абонента

В лучах ММВ, приходящих к приемнику из-за отражения от местных предметов затухание увеличивается пропорционально коэффициенту отражения от данной поверхности и если моделировать отдельно прямой и отраженные лучи распространения ММВ, то это необходимо учитывать. Другой и более удобный вариант моделирования состоит в том, чтобы учесть влияние отраженных лучей на качество передачи информации интегрально, сведя их влияние к изменениям передаточной функции канала связи.

Так как в ММД из-за малых длин волн отражающая по-

верхность представляет собой множество элементарных отражателей, то каждый отраженный сигнал является суммой множества сигналов с различными фазами и амплитудами, изменяющимися по случайным законам. Результирующий отраженный от подстилающей поверхности или от местных предметов сигнал ММВ в результате имеет изменяющиеся при движении абонента по случайным законам амплитуду и фазу, характер флуктуаций которых определяется передаточной функцией канала $\omega(\gamma)$.

Анализ показывает, что передаточные функции каналов с рассеянием и с множественными отражениями практически совпадают [3]. Поэтому для отраженных лучей ММВ можно выбрать модель канала с рассеянием, дифференциальное распределение модуля передаточной функции которой, характеризующее замирания амплитуды распространяющегося по отраженному лучу сигнала ММВ у движущегося абонента, можно [4] описать четырехпараметрическим законом распределения

$$\begin{aligned} \omega(\gamma) = & \frac{\gamma}{\sigma_x \sigma_y} \exp \left(-\frac{\gamma^2}{2\sigma_x^2} - \frac{m_x^2 \sigma_y^2 + m_y^2 \sigma_x^2}{2\sigma_x^2 \sigma_y^2} \right) \times \\ & \times \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{s=0}^{\infty} \frac{(2k+2s-1)! (\sigma_y^2 - \sigma_x^2)^k m_y^{2s} \sigma_x^{2s}}{k! (2s)! 2^k \sigma_y^{2k+4s} m_x^{k+s}} \times \\ & \times \gamma^{k+s} I_{k+s} \left(\frac{m_x}{\sigma_x} \gamma \right), \end{aligned} \quad (6)$$

где γ – модуль передаточной функции канала связи; $I_{k+s}(z)$ – модифицированная функция Бесселя порядка $k+s$; $\sigma_x, m_x, m_y, \sigma_y$ – параметры четырехпараметрического распределения вероятностей.

Фаза принимаемого сигнала ММВ также флуктуирует по четырехпараметрическому закону, зависящему от параметров $\sigma_x, m_x, m_y, \sigma_y$ и плотность вероятности фазы определяется [2] выражением

$$\begin{aligned} w(\phi) = & \frac{\sigma_x \sigma_y \exp \left(\frac{m_x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{m_y^2}{2\sigma_y^2} \right)}{2\pi (\sigma_y^2 \cos^2 \phi + \sigma_x^2 \sin^2 \phi)} \times \\ & \times [1 + L[1 + \Phi(\sqrt{2}L)]\sqrt{\pi} \exp(L^2)], \end{aligned} \quad (7)$$

где $\Phi(\cdot)$ – интеграл вероятности,

$$L = \frac{m_x \sigma_y^2 \cos \phi + m_y \sigma_x^2 \sin \phi}{\sigma_x \sigma_y \sqrt{\sigma_y^2 \cos^2 \phi + \sigma_x^2 \sin^2 \phi}},$$

Такая модель соответствует теории рассеяния радиоволн на точечных неоднородностях и универсальна, так как при различных значениях параметров $\sigma_x, m_x, m_y, \sigma_y$ приводит [3] к различным законам распределения замираний, таким как:

– Релея при $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$; $m_x = m_y = 0$

$$w(\gamma) = \frac{\gamma}{\sigma^2} \exp \left[-\frac{\gamma^2}{2\sigma^2} \right], \quad (8)$$

– Райса при $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$; $m_y \neq 0$

$$w(\gamma) = \frac{\gamma}{\sigma^2} \exp \left[-\frac{\gamma^2 + m_x^2}{2\sigma^2} \right] I_0 \left[\frac{m_x \gamma}{\sigma^2} \right], \quad (9)$$

где I_0 – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

– Усеченно-нормальному распределению при σ_x или σ_y равных нулю

$$w(\gamma) = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sigma_{x,y}\sqrt{\pi}} \right) \exp \left[\frac{-\gamma^2}{2\sigma_{x,y}^2} \right], \quad \gamma > 0. \quad (10)$$

и так называемому [] Подрелеевскому распределению, при $\sigma_x \neq \sigma_y$; $m_x = m_y = 0$

$$w(\gamma) = \frac{\gamma}{\sigma_x \sigma_y} \exp \left[\frac{-\gamma^2}{4} \left(\frac{1}{\sigma_x^2} + \frac{1}{\sigma_y^2} \right) \right] \times I_0 \left[\frac{\gamma^2}{4} \left(\frac{1}{\sigma_x^2} - \frac{1}{\sigma_y^2} \right) \right]. \quad (11)$$

То есть, меняя параметры четырехпараметрического закона распределения вероятностей не сложно придти к тем законам распределения вероятностей флуктуаций амплитуды и фазы, которые часто наблюдаются у сигналов, прошедших через реальные каналы наземной многолучевой радиосвязи.

Для доказательства правомерности и состоятельности такой модели многолучевого радиоканала была проведена серия экспериментальных исследований радиоканалов дециметрового и сантиметрового диапазонов [5], проводившиеся на различных наземных трассах радиорелейной связи разной протяженности и в различных климатических и географических условиях на трассах связи Уральск – Актюбинск, Владимир – Орел, Норильск – Игарка, Дзержинск – Муром и др.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили правомочность четырехпараметрической модели для многолучевых радиоканалов и показали, что более чем в 60% времени сеансов связи эта модель упрощается и сводится к описанию передаточной функции радиоканала распределением Релея.

Таким образом, имитатором должны моделироваться ослабления сигнала в зависимости от рабочей частоты, расстояния, профиля трассы связи, наличия гидрометеоров, скорости и времени движения абонента, а также от стохастических изменений плотности вероятности передаточной функции радиоканала при движении абонентов и изменении мест и условий отражения распространяющихся сигналов.

Разработка структурной схемы имитатора

Технология пространственного кодирования МИМО (Multiple Input Multiple Output), используемая в группе стандартов IEEE 802.11 и стандарте IEEE 802.16 определила многоканальную архитектуру имитатора радиоканалов сетей 4G и 5G, с возможностью изменения корреляции сигналов в каналах разнесения. Управление корреляционными связями каналов разнесения необходимо, так как если на базовых станциях возможно пространственное разнесение канальных антенн системы МИМО на расстояния в десятки раз превышающее рабочие длины ММВ, то у абонента такой возможности чаще всего нет и сигналы разных лучей пространственного разнесения будут частично коррелированы. Причем степень корреляции будет зависеть и от вида применяемого пространственно-временного кодирования передаваемых сигналов в используемой системе МИМО.

Каждый канал разнесения в имитаторе должен содержать регулируемую линию задержки (DL), определяющую время прохождения ММВ по конкретному лучу и его изменение при движении абонента. Для имитации отраженных от подстилающей поверхности и от местных предметов лучей в

каналах имитатора должны устанавливаться управляемые фазовращатели (Sh), имитирующие изменение фазы ММВ при отражениях и при движении абонента. Для моделирования ослабления сигналов в соответствии с выражениями (1)-(3) каждый канал имитатора должен содержать управляемые аттенюаторы (At), а для моделирования доплеровского сдвига частоты при движении абонента частотные модуляторы (FM).

В каждом канале имитатора должна быть система управления (CDi), позволяющая устанавливать значения параметров DL, Sh, At, FM и менять их по заданной программе испытаний, учитывающей профиль трассы, параметры передвижения абонента относительно базовой станции, используемый тип МИМО и его характеристики.

Так как сигналы управления проще реализовать в цифровой форме, то перед каждым управляемым каскадом необходимо поставить цифро-аналоговый преобразователь (ДАС). Предлагаемая структура имитатора показана на рис. 2.

Количество n каналов имитатора моделирующих лучи распространения и входов и выходов имитатора определяется числом антенных излучателей системы МИМО передатчика (Т) и приемника (R) линии связи. Аппаратура всех каналов имитатора требуется одного типа, а отличия заключаются в значениях величин сигналов управления, формирующих воздействия на сигнал ММВ в соответствии с выражениями (1)-(3) и выражениями (4)-(11) при движении абонента относительно базовой станции.

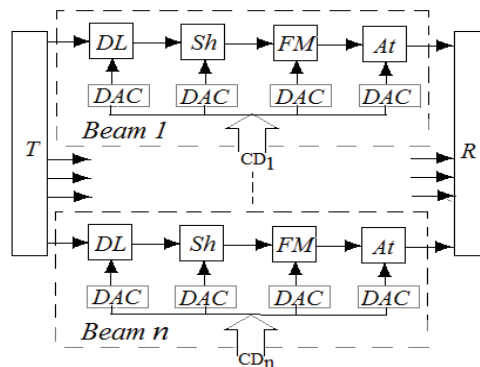


Рис. 2. Увеличенная структурная схема имитатора с подключенным передатчиком (Т) и приемником (R)

Таким образом предлагаемая структура имитатора радиоканала ММД представляет собой многоканальный комплекс с числом каналов, определяемым используемой в сети 5G технологией пространственного кодирования МИМО и унифицированным оборудованием в каналах, обеспечивающим моделирование воздействий на передаваемый сигнал в соответствии с выражениями (1)-(11).

Реализационные основы имитатора

При построении имитатора радиоканалов ММД часть блоков являются типовыми для радиоаппаратуры и их построение не вызывает затруднений. К ним относятся такие узлы имитатора как: фазовращатель, частотный модулятор, управляемый аттенюатор, цифро-аналоговый преобразователь и генератор. Другие каскады имитатора при построении могут вызвать затруднения.

Например, управляемые линии задержки в имитаторах, разработанных авторами по заказам промышленности для

дециметрового [4] и сантиметрового [5] диапазонов волн выполнялись как многоотводные линии задержки с переключением отводов. Это не позволяло исследовать приемопередающую аппаратуру в динамике движения и ограничивало возможности имитаторов. Создание управляемых задержек на основе полосковых линий, управляемых изменением потенциалов на металлизированной поверхности над полосковой линией [6] позволило решить проблему плавной перестройки величины задержки сигнала. В разрабатываемом имитаторе радиоканалов ММВ управляемая линия задержки основана на использовании этого принципа.

Определенные трудности могут возникать и при создании устройства управления, схема которого приведена на рис. 3.

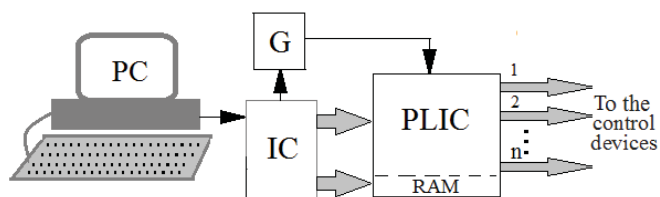


Рис. 3. Устройство управления

Устройство работает следующим образом. На персональном компьютере (PC) для каждого блока имитатора разрабатывается своя программа управления, учитывающая особенности радиоканала конкретного луча распространения ММВ и специфику сигналов исследуемой системы передатчик – приемник ММД.

Через контроллер (IC), обеспечивающий интерфейс PC с программируемой логической интегральной схемой (PLIC), с участием тактового генератора (G) программы записываются

в PLIC, а имеющаяся в PLIC оперативная память (RAM) доставляет в программы необходимые параметры для управления определенными узлами имитатора.

Заключение

Предложено математическое описание радиоканалов ММД и схемное решение имитатора таких радиоканалов, предназначенного для разработки нового оборудования поколения 5G, сокращения затрат и ускорения технологических процессов настройки, регулировки, испытаний и сертификации выпускаемых промышленностью систем мобильной связи. Полученные результаты основаны на изучении радиоканалов ММД и на имеющемся у авторов практическом опыте по созданию имитаторов дециметрового и сантиметрового диапазонов.

Литература

1. Pi Z. and Khan F. An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems // IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 6, pp. 101-107, Jun. 2011.
2. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн. М.: ЛЕНАНД, 2009.
3. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Связь, 1969.
4. Галкин А.П., Лапин А.Н., Самойлов А.Г. Моделирование каналов систем связи. М.: Связь, 1979.
5. Самойлов А.Г. Имитаторы многолучевых радиоканалов // Проектирование и технология электронных средств. № 4, 2003. С. 32-36.
6. Малютин Н.Д., Лоцилов А.Г., Тренкаль Е.И., Федоров В.Н. Полосковые управляемые меандровые линии задержки / Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. № 4 (38), 2015. С. 42-46.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДИАПАЗОНОВ ЧАСТОТ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СИСТЕМ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Тихомиров Андрей Викторович,

*старший преподаватель кафедры «Телекоммуникационные системы»,
Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, г. Зеленоград, Россия,
radiotav@yandex.ru*

Омельянчук Елена Владимировна,

*старший преподаватель кафедры «Телекоммуникационные системы»,
Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, г. Зеленоград, Россия,
omelia81@gmail.com*

Семенова Анастасия Юрьевна,

*ассистент кафедры «Телекоммуникационные системы»,
Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, г. Зеленоград, Россия,
semenova.anastasia.y@gmail.com*

В настоящий момент стандарт пятого поколения мобильной связи (5G) официально не принят, однако в рамках реализации «дорожной карты 5G» разработка устройств и алгоритмов для 5G активно ведется во всем мире. Для работы оборудования в соответствии с требованиями пятого поколения мобильной связи, которые являются достаточно общими и частично взаимоисключающими, в Российской Федерации предлагается ряд частотных диапазонов. Необходимо проанализировать особенности использования каждого их предлагаемых диапазонов с целью выявления наиболее перспективных для развертывания сетей 5G. Определены основные проблемы, которые призвано решить внедрение новых принципов планирования систем связи пятого поколения, проведена оценка возможности использования каждого из рекомендованных к использованию диапазонов частот для решения поставленных проблем. Показано, что в зависимости от сегмента и сценария использования устройств 5G предпочтительным является использование различных диапазонов, при этом в наибольшей степени удовлетворяет указанным требованиям диапазон 3,4-3,8 ГГц.

Ключевые слова: 5G, частотный диапазон, бюджет радиолинии, пропускная способность, распространение радиоволн.

Введение

В соответствии с программой «Цифровая экономика» [1] в 2018 году будет определен частотный ресурс для развертывания сетей 5G; к концу 2020 года операторам мобильной связи планируется выделить радиочастоты для сетей 5G в городах с населением более 1 млн. чел. и при необходимости провести конверсию радиочастотного спектра. Под проектирование систем связи пятого поколения в России на данный момент предварительно выделены частотные диапазоны 3,4-3,8 ГГц, 25,5-27,0 ГГц [2], однако Консорциумом 3GPP рассматриваются также варианты использования ряда полос частот в диапазонах 450-960 МГц, 3-6 ГГц, 24,25-52,6 ГГц, 66-86 ГГц [3].

В настоящий момент принято разделять всех частотных диапазонов, рассматриваемых с точки зрения возможности их использования в сетях связи 5G, на две большие группы: до 6 ГГц и выше 6 ГГц. Частоты выше 6 ГГц мало освоены для использования в мобильной связи, поэтому для их использования в системах 5G требуется модернизация элементной базы. Особые сложности существуют в области разработки элементов для частот выше 30 ГГц (в области миллиметровых волн). Но и для частот от 6 ГГц до 30 ГГц необходима разработка широкополосных усилителей, антенн и антенных решеток, в том числе в интегральном исполнении, что непосредственно влияет на стоимость услуг, предоставляемых мобильными операторами. Поэтому в первую очередь для тестирования оборудования 5G в России

рассматриваются диапазоны 2,5 и 3,6 ГГц. Также МСЭ выделяет в области до 6 ГГц диапазон 694-790 МГц, в Российской Федерации на настоящий момент использующийся для систем цифрового телевидения [4].

Таким образом, в отсутствие строго определенных рабочих диапазонов частот для разработки приемопередающей аппаратуры пятого поколения мобильной связи необходимо осуществлять их выбор из планируемых к использованию диапазонов с учетом требований по спектральной и энергетической эффективности, а также доступной элементной базы.

Требования, предъявляемые к системам 5G

Стандарт пятого поколения мобильной связи 5G, или IMT-2020, призванный улучшить параметры систем связи предыдущих поколений, включая последнюю модификацию стандарта 4G, IMT-Advanced, объединяет, в том числе функционально, многие из существующих на данный момент приложений для беспроводных устройств и сетей. Как следствие, данный стандарт требует новых подходов к построению сетей мобильной связи и новых технических решений для реализации разнообразных требований, предъявляемых в рамках концепции IMT-2020.

При определении основных параметров систем мобильной связи 5G в первую очередь следует учитывать, что предполагается разделение устройств на три сегмента, в которых к разрабатываемому оборудованию предъявляются различ-

ные требования [5]. Выделяют следующие сегменты:

- eMBB (Enhanced mobile broadband) – усовершенствованная мобильная широкополосная связь, обеспечивающая работу ресурсоемких приложений и высокоскоростной доступ в интернет;
- mMTC (Massive machine type communications) – массовые машинные коммуникации, необходимые для функционирования быстрорастущих высокообъемных приложений интернета вещей, таких как смарт измерения, интеллектуальные здания, умные города и др.;
- URLLC (Ultra-Reliable and low latency communications) – ультра надёжные коммуникации с малым временем задержки применяющиеся в таких службах как автономные транспортные средства, здравоохранение, промышленная автоматика.

Требования к целевым параметрам устройств и сетей связи 5G превышают те показатели, которые обеспечиваются в 4G, как показано в табл. 1 [6].

Таблица 1

Требования к системам связи 4 и 5 поколения систем связи

Целевой параметр	IMT-2020	IMT-Advanced
Пропускная способность на единицу площади, Мбит/с/м ²	10	0,1
Пиковая скорость, Гбит/с	20	1
Скорость на одного пользователя, Мбит/с	100	10
Спектральная эффективность, бит/с/Гц	30	10
Максимальная скорость движения абонентов, км/ч	500	350
Задержки, мс	1	10
Количество устройств на км ²	10 ⁶	10 ⁵

Требования для каждого сегмента, которые предъявляются к оборудованию систем связи пятого поколения в целом, обладают различным приоритетом в зависимости от предполагаемого применения. Значения целевых параметров, приведенные в табл. 1, являются предельными и отвечают не всем сегментам систем 5G. Для сегмента mMTC ключевым параметром является плотность расположения устройств, для URLLC, как следует из названия, – величина задержки и мобильность устройств. Наиболее строгие требования предъявляются к сегменту eMBB: наряду с высокой пропускной способностью и спектральной эффективностью всей системы требуется обеспечить высокую спектральную эффективность и мобильность для каждого пользователя.

Дальность связи

Возможная дальность связи и размер соты сети связи будет определяться параметрами антенн БС. В [7] рассматривается использование трех секторальных антенн с шириной диаграммы направленности 120°. Тогда, считая, что одна антенна ведет передачу с пиковой спектральной эффективностью, и в соответствующем секторе выполняется требование по пропускной способности на единицу площади, радиус всей такой соты достигает 44 м.

В представленном МСЭ в октябре 2017 г. драфте [7] рассмотрены возможные сценарии для систем связи 5 поколения сегмента eMBB.

1. Indoor Hotspot-eMBB – использование усовершенствованной мобильной широкополосной связи внутри помещений с большой плотностью размещения абонентских устройств. Такой сценарий подходит для офисов и торговых центров, где АС стационарны или движутся со скоростью до 10 км/ч. Базовые станции или точки доступа размещаются на расстоянии около 20 м друг от друга.

2. Dense Urban-eMBB – использование усовершенствованной мобильной широкополосной связи в городской среде с плотным дорожным трафиком, где скорость движения абонентов ограничена величиной 30 км/ч. Для данного сценария характерно деление сетевой инфраструктуры на уровень базовых станций (макроуровень) и микроуровень, на котором внутри каждой соты расположены по несколько точек доступа.

3. Rural-eMBB – использование усовершенствованной мобильной широкополосной связи в сельской среде с широким покрытием. В данном сценарии скорость движения абонента может достигать 500 км/ч. В первую очередь рассматривается высокоскоростной наземный транспорт, такой как скоростные поезда. Конфигурация базовых станций для такого сценария в общем случае соответствует сотовой структуре с возможностью расположения точек доступа вдоль автомобильных магистралей или железнодорожного полотна.

Исходя из трех предлагаемых применений систем пятого поколения, их разработка может быть направлена на

- повышение пропускной способности системы до 20 Гбит/с;
- уменьшение задержек в системе до 1 мс;
- увеличение количества абонентов в сети до 1 млн. на 1 км²;
- увеличение мобильности абонентов до 500 км/ч.

Различные размеры сот соответствуют случаям применения систем пятого поколения:

- в помещении (до 25 м);
- в городских условиях (до 500 м);
- в пригороде или сельской местности (до 2000 м).

Очевидно, что выбор частотного диапазона оказывает значительное влияние на выбор размера соты. Типы существующих сот в зависимости от их покрытия представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры различных типов сот [8]

Тип соты	Мощность излучения	Радиус охвата	Локализация
Макро-	10...50 Вт	8...30 км	Вне помещений
Микро-	1...10 Вт	0,2...2 км	Вне помещений / Внутри помещений
Пико-	0,25...1 Вт	0,1...0,2 км	Вне помещений / Внутри помещений
Фемто-	0,001...0,25 Вт	0,01...0,1 км	Внутри помещений

Особенности распространения радиоволн

При распространении радиоволн различных частотных диапазонов характерно преобладание тех или иных механизмов распространения.

К ультравысоким частотам (УВЧ) относятся диапазоны 694-790 МГц и 2,5 ГГц. Радиоволны данного диапазона на-

зываются дециметровыми и используются в таких системах как телевидение, сотовая связь, фиксированная и подвижная связь, радиовещание и др. Дециметровые радиоволны распространяются преимущественно прямолинейно, претерпевая отражения от гладких препятствий. На малых расстояниях, не превышающих расстояния прямой видимости, дециметровые волны распространяются как земные, дифракция выражена слабо. Атмосферные явления не оказывают существенного влияния на распространение радиоволн УВЧ-диапазона.

К сверхвысоким частотам (СВЧ) относятся диапазоны 3,4-3,8 ГГц, 5,9 ГГц, 25,5-27 ГГц. Такие волны называются сантиметровыми, используются преимущественно в радиорелейных и спутниковых системах связи, и в настоящий момент активно осваиваются системами подвижной связи. Волны сантиметрового диапазона распространяются прямолинейно, рассеиваясь на препятствиях, размеры которых сравнимы с длиной волны. СВЧ-сигналы претерпевают поглощение в гидрометеорах и атмосферных газах (в первую очередь, в кислороде и водяных парах).

К крайне высоким частотам (КВЧ) относятся диапазоны выше 30 ГГц; такие волны называются миллиметровыми. Миллиметровые волны подчиняются законам геометрической оптики, для них характерна рефракция в неоднородностях атмосферы и значительное поглощение в гидрометеорах и в газах.

Преимуществом миллиметровых волн является возможность выделения широких диапазонов частот, обеспечивающих целевые значения пропускной способности радиоканала, а также относительная незанятость радиочастотного спектра. С другой стороны, радиоволны миллиметрового диапазона испытывают значительное поглощение при прохождении через среду.

В таблице 3 показано ослабление радиосигнала в свободном пространстве в рассматриваемых частотных диапазонах на расстоянии до 2000 м.

Таблица 3

Затухание в свободном пространстве

Частота	25 м	500 м	2000 м
700 МГц	57,3	83,3	95,4
2,5 ГГц	68,4	94,4	106,4
3,6 ГГц	71,5	97,5	109,6
5,9 ГГц	75,8	101,8	113,9

С учетом возможных применений систем пятого поколения мобильной связи в помещениях, в городской среде и в сельской местности, с точки зрения выбора частотного диапазона систем 5G следует рассматривать следующие случаи:

- повышение пропускной способности системы до 20 Гбит/с внутри помещений для фемтосот;
- увеличение мобильности абонентов до 500 км/ч в сельской местности для микросот;
- увеличение пропускной способности системы и скорости движения абонентов в городской среде для микро- и пикосот.

Два из приведенных случаев являют предельными, когда требуется достижение максимального значения пропускной способности для квазистационарной АС и максимального значения скорости движения АС при возможности обеспечения сотовой связи. Не меньшие трудности представляет и

реализация третьего сценария, характерного для крупных городов, когда при относительно высокой мобильности абонентов требуется передача больших объемов трафика. Самым естественным решением является повышение рабочей частоты для обеспечения требуемой пропускной способности и уменьшение рабочей частоты для обеспечения требуемой мобильности. Ниже приведены расчеты затухания в каналах связи, соответствующих рассматриваемым сценариям.

Расчет потерь

В соответствии с документами 3GPP [9] для расчета затухания радиосигнала на частотах от 0,5 ГГц до 100 ГГц в помещениях могут использоваться следующие выражения:

$$\begin{cases} L_{\text{indoor}(LOS)} = 32,4 + 17,3 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f), \\ L_{\text{indoor}(NLOS)} = \max(L_{\text{indoor}(LOS)}, L'_{\text{indoor}(NLOS)}), \\ L'_{\text{indoor}(NLOS)} = 17,3 + 38,3 \cdot \log_{10}(d) + 24,9 \cdot \log_{10}(f). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь частота f задается в ГГц, а расстояние d в м. Данная модель применима для расчета потерь при прохождении радиоволн внутрь офисного здания на расстояниях до 100 м при прямой видимости и до 86 м при отсутствии прямой видимости.

Для расчета затухания радиосигнала на частотах от 0,5 ГГц до 100 ГГц в городской среде могут использоваться выражения:

$$\begin{cases} L_{\text{urban}(LOS)} = 28,0 + 22 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f), \\ L_{\text{urban}(NLOS)} = \max(L_{\text{urban}(LOS)}, L'_{\text{urban}(NLOS)}), \\ L'_{\text{urban}(NLOS)} = 13,54 + 39,08 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) - 0,6(h_r - 1,5). \end{cases} \quad (2)$$

В сельской местности расчеты производятся для частот от 0,5 ГГц до 30 ГГц в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{cases} L_{\text{rural}(LOS)} = 20 \log_{10}(40\pi df / 3) + \min(0,03h^{1,72}; 10) \log_{10}(d) - \\ - \min(0,044h^{1,72}; 14,77) + 0,002 \log_{10}(hd), \\ L_{\text{rural}(NLOS)} = \max(L_{\text{rural}(LOS)}, L'_{\text{rural}(NLOS)}), \\ L'_{\text{rural}(NLOS)} = 161,04 - 7,1 \log_{10}(W) + \\ + 7,5 \log_{10}(h) - (24,37 - 37(h/h_t)^2) \log_{10}(h_t) + \\ + (43,42 - 3,1 \log_{10}(h_t))(\log_{10}(d) - 3) + \\ + 20 \log_{10}(f) - (3,2(\log_{10}(11,75h_t))^2 - 4,97). \end{cases} \quad (3)$$

Частота f задается в ГГц, а расстояние d в м в выражениях (2) и (3).

Под h понимают среднюю высоту застройки, $5 м \leq h \leq 50 м$; W – ширина улицы, $5 м \leq W \leq 50 м$.

Результаты расчетов в соответствии с выражениями (1-3) используются для оценки энергетического потенциала радиолинии для каждого из сценариев.

Энергетический потенциал радиолинии

В первую очередь необходимо оценить необходимую полосу для обеспечения целевых значений пропускной способности радиолинии с учетом требуемой спектральной эффективности. Для обеспечения скорости передачи 100 Мбит/с на одного пользователя при спектральной эффективности 30 бит/с/Гц потребуется полоса, равная 3,3 МГц. Следовательно, для обеспечения полнодуплексной связи можно считать, что необходимая ширина полосы должна составлять около 10 МГц.

Энергетический потенциал радиолинии можно оценить с помощью следующего выражения:

$$P_i G_i = -228,6 - Q + h^2 + R + L, \text{ дБ}, \quad (4)$$

где R – скорость передачи информации, L – суммарные потери в радиоканале, Q – добротность приемника, h^2 – необходимое соотношение сигнал/шум, P_t – мощность передатчика, G_t – коэффициент усиления передающей антенны.

На рисунке 1 представлены результаты оценки энергетического потенциала радиолинии для трех сценариев применения систем 5G в рассматриваемых частотных диапазонах. Расчет затухания радиосигнала проводился по формулам (1-3); значение скорости передачи данных R выбрано равным 100 Мбит/с, значение добротности приемной системы Q – «минус» 81 дБм. Коэффициент усиления антенны передатчика не учитывался, поскольку проведенная оценка является приблизительной и не учитывает ограничения EIRP для рассматриваемых частотных полос. Тем не менее, она дает возможность проверить выполнение требований для 5G по спектральной эффективности.

Например, для КАМ-256 требуемое отношение сигнал/шум составляет 24 дБ, что позволяет получить спектральную эффективность 8 бит/с/Гц. Таким образом, достижение пропускной способности БС 20 Гбит/с является очень сложной задачей без использования систем massive MIMO. При этом для сценария Rural-eMBB достижение спектральной эффективности 30 бит/с/Гц не является целью для 5G. Очевидно, что для достижения максимальной пропускной способности и максимальной скорости движения абонента следует использовать различные диапазоны частот.

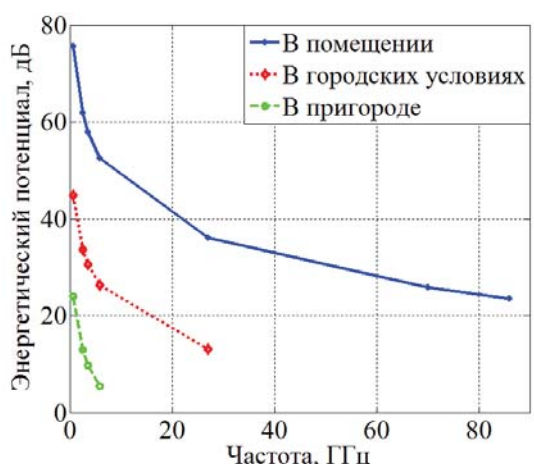


Рис. 1. Энергетический потенциал радиолинии для различных сценариев

Выводы

Выбор частот для разработки аппаратуры 5G наряду с требованиями регламентирующих документов должен основываться на учете особенностей распространения радиоволн доступных диапазонов, а также предполагаемых применений системы связи. Разделяя частотный спектр на диапазоны ниже 6 ГГц и выше 6 ГГц, следует заключить, что использование частот выше 6 ГГц позволит достичь наиболее высоких скоростей передачи, однако потребует установки базовых станций на малых расстояниях друг от друга, что существенно увеличивает затраты на внедрение систем связи на этих частотах [10].

Для мобильной широкополосной связи фиксированных абонентов и абонентов, движущихся с малыми скоростями, а также в помещениях, следует выбирать диапазоны 3,4-

3,8 ГГц или 25,5-27,0 ГГц как обеспечивающие достаточно широкую полосу для достижения целевого значения пропускной способности радиоканала.

Для мобильной широкополосной связи абонентов, движущихся со средними скоростями, что соответствует условиям городской застройки, предпочтительно использовать или наиболее низкий диапазон 694-790 МГц, или диапазон 3,4-3,8 ГГц для достижения достаточной пропускной способности связи с большим количеством абонентов в сети.

Для мобильной широкополосной связи абонентов, движущихся со средними и высокими скоростями, что соответствует условиям сельской местности, предпочтительно использовать наиболее низкий диапазон 694-790 МГц, так как необходимо в первую очередь поддержание связи с мобильными абонентами в условиях доплеровского сдвига несущей частоты.

Во всех случаях при увеличении рабочей частоты число базовых станций на единицу площади для систем 5G должно возрасти, что связано со значительным ослаблением радиоволн при прохождении через различные среды, а также потребностью обеспечения высокой пропускной способности на единицу площади в зоне покрытия. Таким образом, в настоящий момент целесообразным является выбор среднего частотного диапазона из рассматриваемых, то есть 3,4-3,8 ГГц.

Литература

- 1 Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Июль 2017, № 1632-р. <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB7915v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения 24.12.2017)
- 2 Решение ГКРЧ – Приложение № 7 к решению ГКРЧ. Июль 2017 г., № 17-42-08-2. http://minsvyaz.ru/uploaded/files/prilozhenie--7-k-resheniyu-gkrch-17-42-08-2_wfpPcym.pdf (дата обращения 24.12.2017)
- 3 Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020. October 2017, Revision 1 to Document 5/57-E. <https://www.itu.int/md/R15-SG05-C-0057/en> (дата обращения 24.12.2017)
- 4 Серьгина Е. Европа выбрала для развития 5G частоты 700 МГц. Ведомости, апрель 2017. <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2017/04/26/687439-evropa-5g> (дата обращения 26.12.2017)
- 5 International Telecommunication Union. Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s), 2017, vol. 0, p. 9.
- 6 Geneva Mission Briefing Series. Emerging trends in 5G/IMT2020 <https://www.itu.int/en/membership/Documents/missions/GVA-mission-briefing-5G-28Sept2016.pdf> (дата обращения 19.12.2017)
- 7 Al-Juboori G., Doufexi A., Nix A.R. System Level 5G Evaluation of MIMO-GFDM in an LTE-A Platform. 2017 24th International Conference on Telecommunications (ICT), Limassol, 2017, pp. 1-5.
- 8 Nguyen T. Small Cell Networks and the Revolution of 5G <http://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g> (дата обращения 21.12.2017)
- 9 3GPP, “Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz,” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TR 38.901 V14.0.0, May, 2017. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/DynaReport/38901.htm>
- 10 Развитие сетей 5G в России. Март 2017. http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B9_5G_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8 (дата обращения 19.12.2017)

СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ УЗКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ ИНЕРЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Тихонов Вячеслав Юрьевич,
Аспирант, ФГБУ МТУСИ, Москва, Россия,
sl-tx@yandex.ru

Шинаков Юрий Семенович,
Профессор, д.т.н., ФГБУ МТУСИ, Москва, Россия,
Shinakov1@mtici.ru

Для узкополосных сигналов путем имитационного моделирования получена оценка искажений передачи системы цифровой связи при введении алгоритмов компенсации нелинейных инерционных устройств. Показано, что использование таких алгоритмов заметно уменьшает разброс мгновенных значений сигнала. Представлен метод компенсации искажений, возникающих в нелинейных инерционных устройствах (НИУ), с помощью предискажений сигналов. Эта компенсация осуществляется устройствами предискажений (УПрИ), которые включаются перед НИУ и которые фактически реализуют «обратные операции». Анализируются факторы, влияющие на качество работы последовательно соединенных УПрИ и НИУ, и основные типы алгоритмов, обеспечивающих реализацию предискажающих устройств. Исследования выполнены для моделей НИУ в виде типового радиотехнического звена и сигналов OFDM. Результаты получены путем имитационного моделирования наиболее важных характеристик подобных устройств в спектральной и временной областях.

Ключевые слова: нелинейные искажения, предискажения, усилитель мощности, сигнал OFDM.

Введение

Основным проблемным блоком в системах связи, использующих узкополосные сигналы, является усилитель мощности (УМ), который при работе в режиме с высоким коэффициентом полезного действия в силу своей природы вносит нелинейные искажения в усиливаемый сигнал [1]. В некоторых случаях можно считать, что такой УМ выполняет нелинейное безынерционное преобразование, возможно включающее амплитудно-фазовую конверсию [2], однако в большинстве случаев такое упрощение оказывается не совсем оправданным, поскольку УМ приходится рассматривать как нелинейное устройство с памятью, обусловленной наличием в них инерционных элементов [3].

Модель нелинейного инерционного устройства

В данной работе исследуемое НИУ представляется последовательным соединением трех типовых звеньев: фильтр 1 – нелинейное безынерционное устройство – фильтр 2.

Комплексный сигнал на входе такой модели обозначим символом $x(t)$, представляющим комплексную огибающую узкополосного сигнала, в качестве которого будем использовать OFDM сигнал. Тогда для сигнала на выходе фильтра 1 можно записать:

$$y_1(t) = \sum_{i=0}^{M-1} K_i x(t-i)$$

В качестве нелинейного безынерционного устройства выберем часто используемую модель Салеха [4]:

$$y_2(t) = |y_2(t)| \exp\{arg(y_2(t))\},$$

$$\text{где } |y_2(t)| = \frac{\alpha_1 |y_1(t)|}{1 + \beta_1 |y_1(t)|^2},$$

$$arg(y_2(t)) = arg(y_1(t)) + \frac{\alpha_2 |y_1(t)|^2}{1 + \beta_2 |y_1(t)|^2}$$

Тогда сигнал на выходе модели УМ можно записать в виде:

$$y_3(t) = \sum_{i=0}^{m-1} k_i y_2(t-i).$$

В этих выражениях введены следующие обозначения: $K_i, i=1,2,\dots$ и $k_i, i=1,2,\dots$ – коэффициенты КИХ фильтров 1 и 2, соответственно, а M и m – их параметры; $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ – коэффициенты нелинейной модели Салеха.

Такая модель представляет собой НИУ, для которого можно построить зависимости между мгновенными значениями комплексных огибающих на выходе и на входе в дискретные моменты времени (рис. 1) и разности мгновенных фаз процессов на выходе и на входе и мгновенного значения вещественной огибающей на входе модели (рис. 2). Обычно говорят, что рис. 1 характеризует нелинейную зависимость значений огибающей на выходе от значений огибающей сигнала на входе (нелинейность АМ-АМ), а рис. 2 – зависимость разности мгновенной фазы сигналов выхода и входа от значений огибающей на входе (нелинейность АМ-ФМ).

В настоящее время для уменьшения нелинейных искажений узкополосных сигналов в УМ используют устройства предискажений (УПрИ) [5, 6]. Такие устройства могут иметь постоянные [7] или меняющиеся адаптивно [8] во времени параметры.

В большинстве адаптивных УПрИ в основном используются простейшие градиентные алгоритмы [8, 9]. Они привлекательны низкой вычислительной сложностью. Однако градиентные алгоритмы обладают известными недостатками: медленная сходимость, зависимость длительности переходного процесса и значения остаточной ошибки в выходном сигнале от параметра шага сходимости.

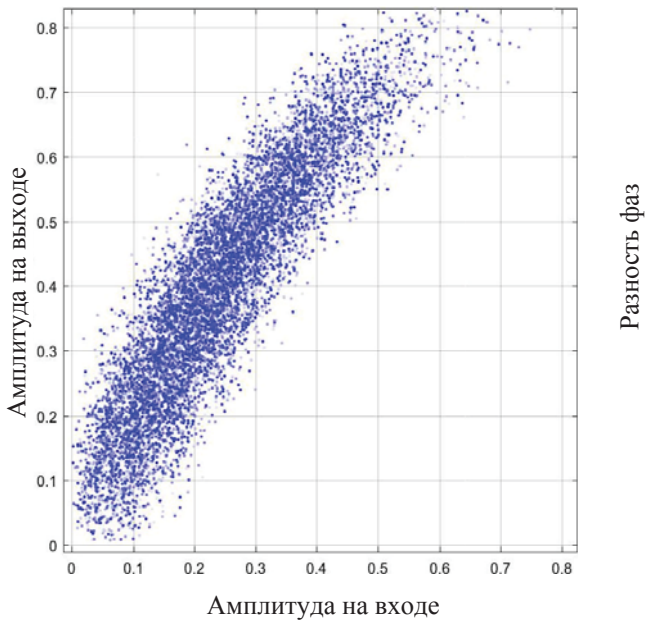


Рис. 1. Нелинейность AM-AM НИУ

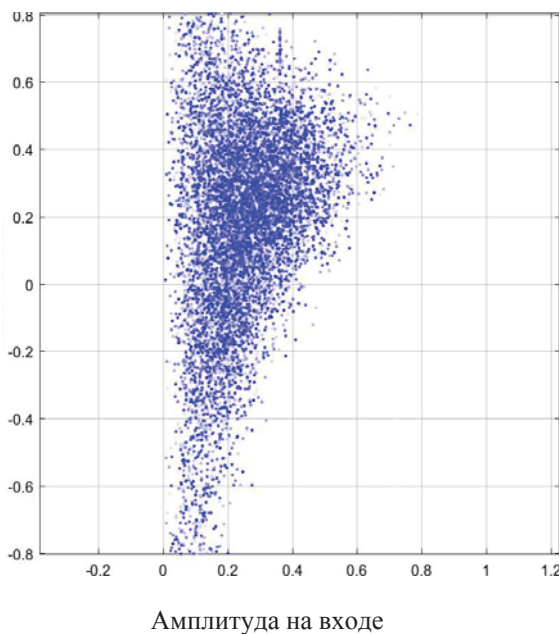


Рис. 2. Нелинейность AM-ФМ НИУ

Указанные недостатки отсутствуют в рекурсивных алгоритмах, основывающихся на критерии наименьших квадратов (Recursive Least Squares – RLS-алгоритмы) [6, 10].

Согласно RLS-алгоритму значения подстраиваемых коэффициентов необходимо рекурсивно изменять, чтобы минимизировать текущее значение функции ошибки взвешенных наименьших квадратов. По сравнению с другими алгоритмами RLS-алгоритмы обычно обеспечивают достаточно быструю сходимость, однако это преимущество достигается за счет более высокой вычислительной сложности.

Устройство предискажений

В исследуемой модели передающего устройства УПри располагается между модулятором OFDM сигнала и усилителем мощности (рис. 3).

Для описания УПри выберем полиномиальную модель с памятью, как наиболее подходящую модель для компенсации УМ [11]:

$$y(t) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=1}^N P_{ij}(t) x^j(t-i)$$

где M определяет память устройства, а N – максимальную степень полинома, значения коэффициентов P_{ij} полиномов должны быть определены таким образом, чтобы данное преобразование сигнала $x(t)$ в определенном смысле оказывалось обратным преобразованием этого сигнала в НИУ, искажения которого УПри должно компенсировать.

Для реализации УПри будем использовать следующий RLS-алгоритм:

Введем следующие обозначения и термины: $p = M \cdot N$ – число коэффициентов P_{ij} , λ – коэффициент сохранения (забывания), δ – значение для инициализации $P(0)$.

До начала вычислений выполняется инициализация, в результате которой переменным величинам алгоритма адаптации присваиваются начальные значения:

$w(k) = 0$ для $k = -p, -(p-1), \dots, 1$; $y(k) = 0$, $x(k) = 0$ для $k = -p, -(p-1), \dots, 1, 0$; $P(0) = \delta I$, где I – единичная матрица размера $p+1$.

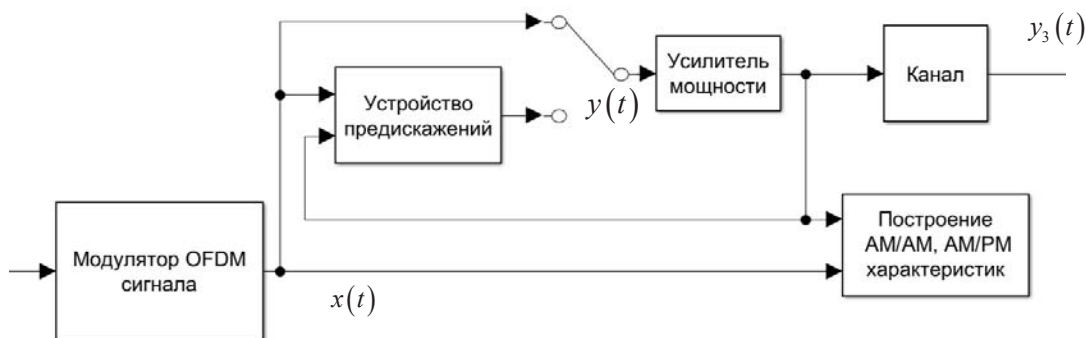


Рис. 3. Место устройства предискажений в модели передающего устройства

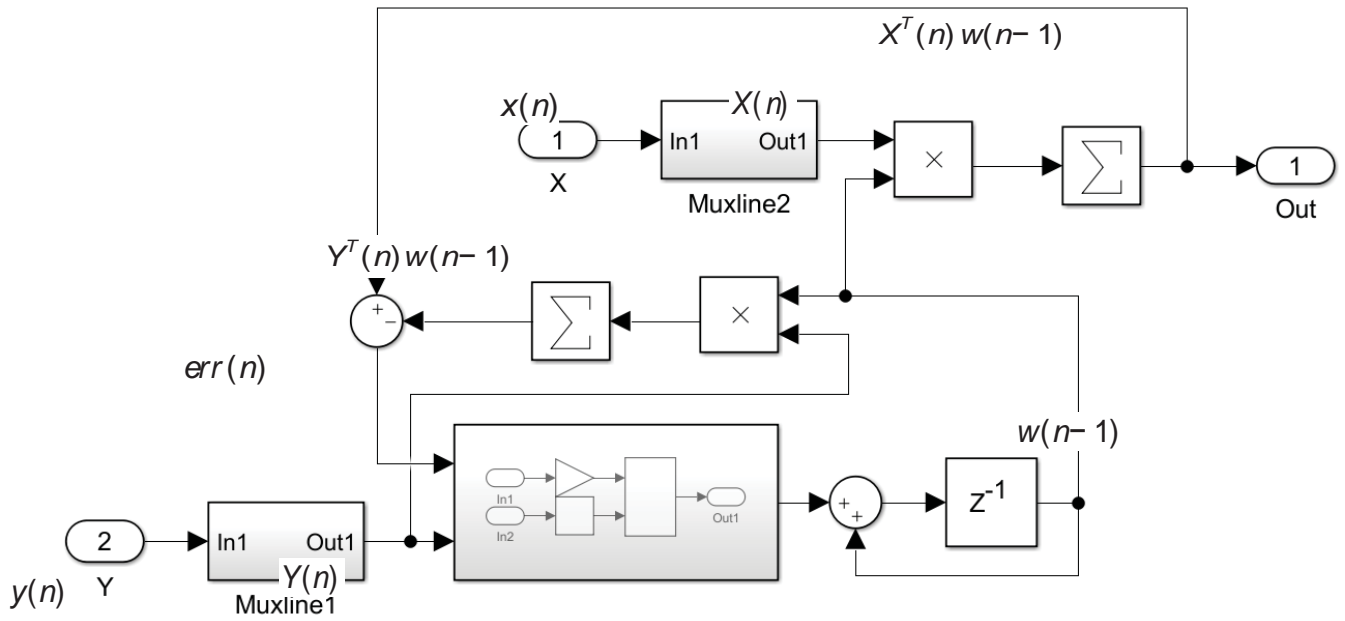


Рис. 4. Исследуемая модель УПРИ

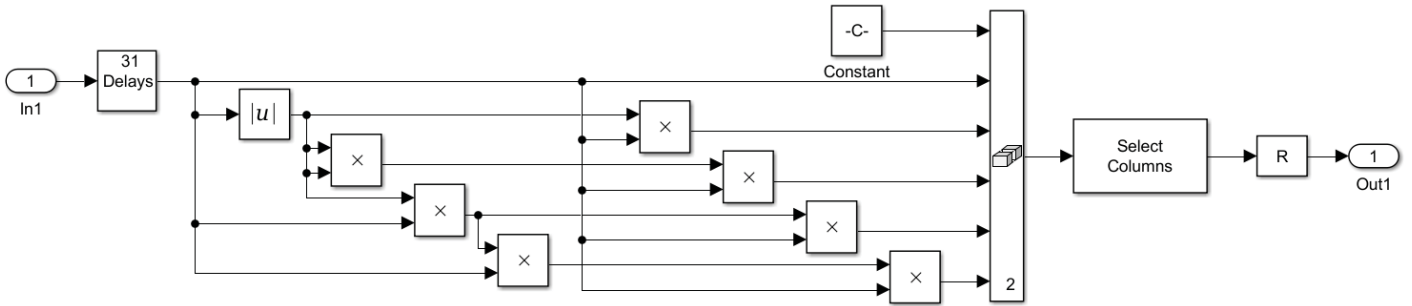


Рис. 5. Блок Muxline с параметрами $M = 32$, $N = 5$

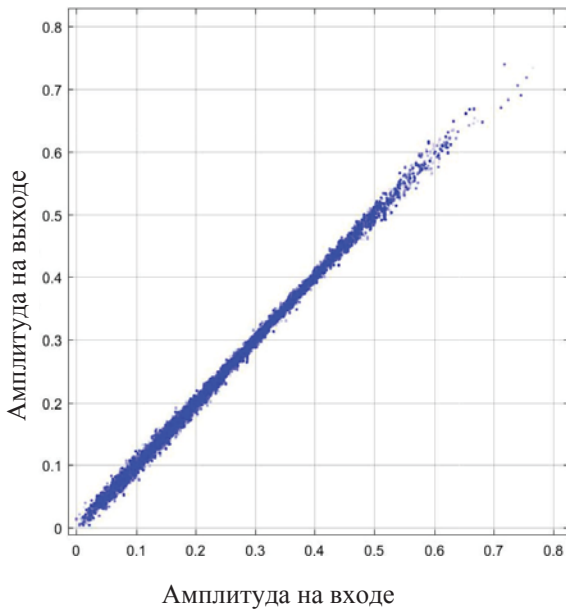


Рис. 6. Зависимость АМ-АМ УПРИ и НИУ

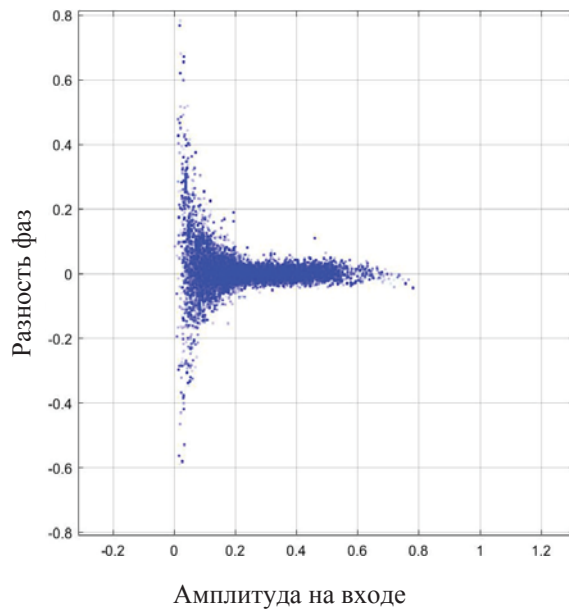


Рис. 7. Зависимость АМ-ФМ УПРИ и НИУ

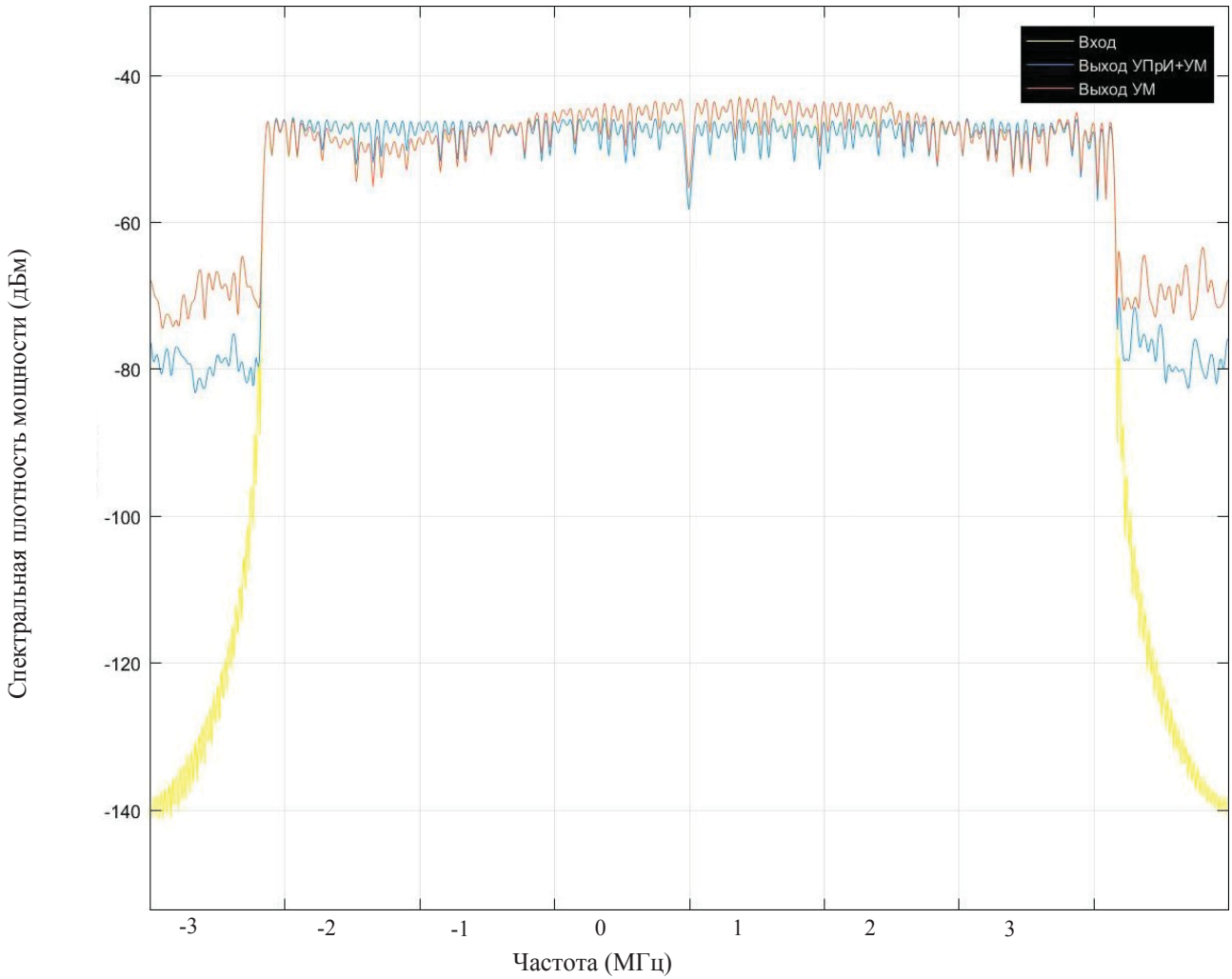


Рис. 8. Спектральные плотности мощности

Далее рекурсивно выполняются вычисления для $n = 0, 1, 2, \dots$

$$X(n) = \begin{bmatrix} x(n) \\ x(n-1) \\ \vdots \\ x(n-p) \end{bmatrix}, Y(n) = \begin{bmatrix} y(n) \\ y(n-1) \\ \vdots \\ y(n-p) \end{bmatrix},$$

$$w(n) = \begin{bmatrix} w_1(n) \\ w_2(n) \\ \vdots \\ w_p(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(n) \\ P_{12}(n) \\ \vdots \\ P_{ij}(n) \end{bmatrix}$$

Здесь $X(n)$ – вектор отсчетов комплексной огибающей сигнала на входе УПРИ, $Y(n)$ – вектор отсчетов комплексной огибающей сигнала на выходе УПРИ в дискретные моменты времени $t_n = n \cdot \Delta t$ с шагом дискретизации Δt ;

$err(n) = X^T(n)w(n-1) - Y^T(n)w(n-1)$ – ошибка представления;

$g(n) = P(n-1)Y(n)[\lambda + Y^T(n)P(n-1)Y(n)]^{-1}$ – коэффи-

циент усиления;

$P(n) = \lambda^{-1}P(n-1) - g(n)Y^T(n)\lambda^{-1}P(n-1)$ – вектор оценок параметров;

$w(n) = w(n-1) + err(n)g(n)$ – текущее значение вектора весовых коэффициентов.

Более детальная функциональная схема исследуемого УПРИ представлена на рис. 4. Блоки Muxline1 и Muxline2 формируют из последовательно поступающих отсчетов сигналов и выдают на выходе текущие для каждого такта значения векторов $X(n)$ и $Y(n)$; состав компонентов этих векторов определяется следующими равенствами:

$$X(n) = \begin{bmatrix} x(n), x(n-1), \dots, x(n-M+1), x^2(n), x^2(n-1), \dots, \\ x^2(n-M+1), \dots, x^N(n), \\ x^N(n-1), \dots, x^N(n-M+1) \end{bmatrix}^T,$$

$$Y(n) = \begin{bmatrix} y(n), y(n-1), \dots, y(n-M+1), y^2(n), \\ y^2(n-1), \dots, y^2(n-M+1), \dots, y^N(n), \\ y^N(n-1), \dots, y^N(n-M+1) \end{bmatrix}^T.$$

На рисунке 5 представлена возможная схема построения блоков Muxline.

Результаты моделирования

На основании сравнения рис. 1 и 6 можно сделать вывод о наличии полезного эффекта от введения предискажающего устройства для компенсации нелинейности амплитудной характеристики НИУ. Следовательно, можно допустить увеличение динамического диапазона мгновенных значений вещественной огибающей сигнала на входе НИУ с целью повышения энергетической эффективности усилителя мощности.

Наличие полезного эффекта от введения предискажений можно видеть также и из сравнения рис. 2 и рис. 7, поскольку введение УПрИ снижает случайные отклонения фазы выходного сигнала УМ от мгновенной фазы сигнала на входе. Наличие таких случайных отклонений фактически представляет собой помеху для системы передачи, которая возникает из-за зависимости мгновенной фазы сигнала на выходе от мгновенного значения вещественной огибающей сигнала на входе УМ.

На рисунке 8 приведены нормированные графики спектральной плотности мощности для сигнала без искажения, для сигнала на выходе НИУ без предискажений и для выходного сигнала последовательно соединенных УПрИ и НИУ.

Заключение

Стремление повысить энергетическую эффективность усилителей мощности сигналов в системах передачи сопровождается ростом помехи нелинейных искажений, возникающих из наличия нелинейностей характеристик АМ-АМ и АМ-ФМ этих усилителей. Включение таких устройств перед усилителями мощности позволяет скомпенсировать нелинейности АМ-АМ и АМ-ФМ усилителей мощности, т.е. последовательное соединение предискажающего устройства и усилителя мощности позволяет уменьшить помеху нелинейных искажений при фиксированном динамическом диапазоне

мгновенных значений входного сигнала, или увеличить динамический диапазон (а значит и энергетическую эффективность) усилителя мощности при сохранении уровня помехи нелинейных искажений.

Литература

1. *Cheng-Po Liang, Je-Hong Jong, W.E. Stark, J.R. East.* Nonlinear Amplifier Effects in Communications Systems. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 8, Aug 1999, pp. 1461-1466.
2. *Шунаков Ю.С.* Спектральная плотность мощности помехи нелинейных искажений в устройствах с амплитудно-фазовой конверсией // Радиотехника и электроника. 2013. № 10. С. 1053-1064.
3. *John Wood J.* Digital Pre-Distortion of RF Power Amplifiers, PAWR 2017 IEEE, pp. 1-3, 2017.
4. *Saleh, A.A.M.* Frequency-independent and frequency-dependent nonlinear models of TWT amplifiers, IEEE Trans. Communications, vol. COM-29, pp.1715-1720, Nov 1981.
5. *J. Kim and K. Konstantinou,* Digital predistortion of wideband signals based on power amplifier model with memory // IEEE Electronics Lett. Vol. 37. No. 23, pp. 1417-1418, Nov 2001.
6. *Sayed A.H.* Fundamentals of adaptive filtering. NY, Hoboken: John Wiley and Sons, Inc. 2003. 1125 p.
7. *M.H.A Davis, R.B. Vinter,* Stochastic Modelling and Control, Springer, 1985, ISBN 0-412-16200-8.
8. *Аверина Л.И, Лавлинский С.С* Двухблочная модель цифрового корректора для линеаризации аналогового радиотракта // Радиотехника и электроника. 2017. №7. С. 687-692.
9. *Simon Haykin* Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 2002, ISBN 0-13-048434-2.
10. *Hayes, Monson H. (1996).* 9.4: Recursive Least Squares. Statistical Digital Signal Processing and Modeling. Wiley. p. 541. ISBN 0-471-59431-8.
11. *Morgan, Ma, Kim, Zierdt, and Pastalan.* A Generalized Memory Polynomial Model for Digital Predistortion of RF Power Amplifiers // IEEE Trans. on Signal Processing. Vol. 54. No. 10. Oct 2006.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВАХ

Аджемов Артем Сергеевич,
д.т.н., профессор МТУСИ, Москва, Россия,
asa@mtuci.ru

Кудряшова Анастасия Юрьевна,
аспирант МТУСИ, Москва, Россия,
asykka@bk.ru

В современных системах проводной и оптической связи вопросы оценки качества передачи сигналов являются весьма актуальными. Для оценки этого в статье проведено исследование влияние на качество принимаемых сигналов методов кодирования с учетом особенностей преобразований сигналов в различных метрических пространствах, в частности при аналого-цифровых преобразованиях. Получены аналитические выражения, показывающие границы достижимого качества в зависимости от установленных показателей рисков и вида возникающих ошибок в цифровом сигнале.

Современные телекоммуникационные системы отличаются высоким уровнем цифровизации, при котором все виды сигналов, поступающих от источников, отображаются в цифровой форме.

Исходный сигнал от источника $s(t)$, передаваемый по системам связи к получателю, претерпевает ряд преобразований, в результате которых во вновь сформированном сигнале возможно возникновение определенных искажений или ошибок.

Данные преобразования в общем случае могут иметь как линейный, так и нелинейный характер, а само описание сигнала до преобразования может осуществляться в одном метрическом пространстве, тогда как после преобразования в ином метрическом пространстве. В результате, анализируя передачу сигнала на различных этапах, приходится проводить данное рассмотрение в различных метрических пространствах. При этом понятно, что в конечном итоге получателя сигналов «будет интересовать» итоговое качество поступающего сигнала в исходном метрическом пространстве, характерном для данных источника и получателя сигналов.

Пусть исходный сигнал от источника $s(t)$ принимает значения s_1, s_2, \dots, s_N с соответствующими вероятностями p_1, p_2, \dots, p_N .

После некоторого преобразования, которое будем обозначать через Π , получаем сигнал $S(t) = \Pi\{s(t)\}$. При этом данное преобразование может трансформировать сигнал $s(t)$ из одного метрического пространства в другое.

Сигнал $S(t)$ принимает значения S_1, S_2, \dots, S_M с вероятностями P_1, P_2, \dots, P_M . Очевидно, что при $M \geq N$ преобразование сигнала $s(t)$ в сигнал $S(t)$ может носить однозначный характер или взаимно однозначный характер, тогда как при $M < N$ - это не возможно.

В общем случае возможно множество преобразований Π_i во время доставки сигнала от источника к получателю. Запишем это в общем виде следующим рекуррентным соотношением:

$$S_i(t) = \Pi_i \{S_{i-1}(t)\} \quad (1)$$

Для оценки качества передачи сигналов введем некие меры погрешностей или рисков, если из-за действия помех или каким-либо иным влияющим факторам вместо переданного значения сигнала s_i получателем будет принято значе-

ние s_j .

Для количественного оценивания этого введем матрицу рисков:

$$R = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \dots & r_{1,j} & \dots & r_{1,N} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \dots & r_{2,j} & \dots & r_{2,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{N-1,1} & r_{N-1,2} & \dots & r_{N-1,j} & \dots & r_{N-1,N} \\ r_{N,1} & r_{N,2} & \dots & r_{N,j} & \dots & r_{N,N} \end{pmatrix} \quad (2)$$

где r_{ij} – величина погрешностей (рисков, потерь), если вместо переданного значения сигнала s_i получателем будет принято значение s_j .

Отметим, что по очевидным представлениям в главной диагонали данной матрицы будут нули. Кроме того, часто относительно главной диагонали матрица имеет определенную симметрию, хотя в общем случае это не должно выполняться, т.е. равенство $r_{ij} = r_{ji}$ может выполняться не всегда.

Отметим также, что преобразования Π_i могут соответствовать трансформации дискретного сигнала в дискретный, дискретного сигнала в непрерывный и наоборот, а также всевозможным иным трансформациям.

При этом на каждом этапе возникают, как правило, свои характерные причины, влияющие на качество, что необходимо исследовать по отдельности, но с пониманием их общего влияния на качество конечного сигнала, поступающего к получателю.

Остановимся на рассмотрении случаев, когда цифровой сигнал оценивается «по Хеммингу», а качество исходного аналогового сигнала в пространстве Евклида.

Условимся для определенности кодировать уровни квантования, начиная от нижнего к верхнему, n -символьными кодовыми комбинациями в последовательности возрастания их значения.

Возможны и другие варианты, отличные от способа кодирования «по возрастанию». Всего существует N вариантов, число которых можно подсчитать по формуле:

$$N = (2^n)! \quad (3)$$

где n – число символов в кодовой комбинации.

С точки зрения эффективности первичного кодирования, казалось бы, что выбор того или иного варианта не важен, поскольку в любом случае кодовая комбинация состоит из n символов. Однако при оценивании качества восстановления сигнала на приеме это не так в условиях действия помех и возникающих ошибок в цифровом сигнале.

В общем случае матрица рисков, характеризующая погрешности (искажения) при неверном восстановлении исходного сигнала из принятого цифрового сигнала, отражает расстояния, согласно введенной метрике, между значениями исходного аналогового сигнала при его дискретизации и квантовании, если вместо исходного значения сигнала S_i будет принято значение S_j .

Определение значений параметров $r_{i,j}$ матрицы рисков является отдельной не тривиальной самостоятельной задачей и не рассматривается в данной статье. Однако при этом показано, что выбор хорошего или оптимального метода кодирования (цифрового отображения в пространстве Хемминга) значений отсчетов аналогового сигнала существенно зависит от этих параметров, а, следовательно, приступая к оптимизации, необходимо определится с показателями матрицы рисков.

Из-за действия помех и возникающих в результате этого ошибок в цифровом сигнале происходит трансформация S_i в S_j или S_i в S_k . Это фактически определяется вектором ошибок. Поэтому важно учитывать цифровое отображение S_i , S_j и S_k . Если переход S_i в S_j приводит к большему значению $r_{i,j}$ по сравнению с $r_{i,k}$, что соответствует переходу S_i в S_k , то очевидно, что целесообразно кодовое расстояние между цифровым отображением S_i в S_j сделать большим по сравнению с цифровым отображением S_i в S_k . С ростом n эта задача, согласно (3) приобретает быстро нарастающую размерность и соответственно сложность решения.

Рассматривая «без избыточный» вариант цифрового кодирования при $M=N$, отметим, что при цифровом отображении относительно любой наугад выбранной кодовой комбинации существует ровно C_n^1 других кодовых комбинаций, которые отличаются от нее на кодовое расстояние равное 1. Соответственно существует ровно C_n^2 кодовых комбинаций, которые будут отличаться на кодовое расстояние, равное 2 и т.д. В общем случае отметим, что относительно любой заранее выбранной кодовой комбинации существует ровно C_n^d цифровых комбинаций, отличающихся относительно нее на кодовое расстояние равное d .

Из-за действия помех в канале связи в n – символьных цифровых кодовых комбинациях могут возникать однократные, двукратные и т.д. m – кратные ошибки, число которых можно оценить по очевидному соотношению C_n^m . Таким образом, сопоставляя m с d , можно сделать вывод о том, что независимо от вариантов цифрового кодирования значений сигнала S_i , S_j и S_k , суммарное число искажений остается неизменным и равным $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{i,j}$.

Однако, если учесть, что вероятности ошибок различной кратности существенно отличаются друг от друга, то становится понятным, что выбор способа цифрового отображения значений сигнала S_i становится существенно значимым, поскольку в условиях статистической «неравномерности» ошибок различной кратности целесообразно наиболее веро-

ятым ошибкам поставить в соответствие переходы S_i в S_j , имеющих наименьшие значения $r_{i,j}$ и, наоборот наименее вероятным переходам S_i в S_k – поставит в соответствие наибольшие значения $r_{i,k}$.

Данный, достаточно очевидный подход, позволяет выявить в определенном смысле сравнительно «хорошие» и «плохие» методы цифрового отображения. Однако это не доказывает оптимальность найденного решения, поскольку осуществляется локальная оптимизация без учета складывающегося взаимного влияния выбора относительно одной кодовой комбинации по отношению ко всем другим возможным вариантам, число которых как отмечалось оценивается по формуле (3).

Известно, что оценка качества может происходить путем оценивания различных показателей и в последующем их нормирования. Достаточно часто применяется оценка в среднем. Используя ее запишем среднее значение рисков (искажений) которое следует минимизировать при поиске оптимально варианта цифрового отображения S_j :

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_{i,j} \cdot r_{i,j} \quad (4)$$

Рассмотрим пример передачи аналогового сигнала методом ИКМ. В этом случае уровни квантования отражают значения отсчетов аналогового сигнала. Рассматривая эти значения «снизу до верха», можно отметить, что в этом случае строчки матрицы R из (2) будут представлять собой простейшую арифметическую прогрессию, сумма n членов которой вычисляется по формуле:

$$S_n = \frac{2a_1 + d(N-1)}{2} \cdot N, \quad (5)$$

где a_1 – 1-й член арифметической прогрессии, d – шаг арифметической прогрессии, N – количество членов в арифметической прогрессии

(Отметим, что в данном примере шаг арифметической прогрессии $d=1$).

Поскольку каждую строку матрицы R можно разделить на две арифметические прогрессии, то, опуская промежуточные преобразования, запишем итоговую сумму, учитывая, что $N = 2^n$:

$$S = \frac{(2^n - j - 1) \cdot (2^n - j) + j(j+1)}{2}, \quad (6)$$

где $j = 0, 1, 2, \dots, (2^n - 1)$

Используя данное выражение, можно убедиться в том, что наибольшие искажения, или риски, возникают для кодовых комбинаций, отражающих крайние уровни, а наименьшие соответственно для центральных уровней.

Для наглядности приведем пояснения на примере, когда $n=3$.

Рассмотрим ошибки в цифровом сигнале на примере трехсимвольного кодирования, нумеруя символы в кодовой комбинации справа-налево. Тогда ошибка в первом символе преобразует, например, комбинацию 000 в 001, что будет соответствовать искажению в аналоговом сигнале на 1 уровень. Ошибка второго символа переведет комбинацию 000 в 010, что в аналоговом сигнале вызовет искажения на 2 уровня и т.д. Все возможные варианты ошибок и соответствующих им искажений приведены для данного варианта кодирования в табл. 1.

Таблица 1

Исследование количества искажений при разных кратностях ошибок для натурального (взвешенного) кода

Натуральный код	000	001	010	011	100	101	110	111	Итого
Однократные ошибки (3, 2, 1)	4, 2, 1	4, 2, 1	4, 2, 1	4, 2, 1	4, 2, 1	4, 2, 1	4, 2, 1	4, 2, 1	56
Двукратные ошибки (3-2, 2-1, 3-1)	6, 3, 5	6, 1, 3	2, 1, 5	2, 3, 3	2, 3, 3	2, 1, 5	6, 1, 3	6, 3, 5	40
Трехкратные ошибки (3 2 1)	7	5	3	1	1	3	5	7	32

Среди всех возможных вариантов трехсимвольного кодирования были рассмотрены еще три варианта, а именно: код Грея, код с минимальными искажениями при двукратных ошибках (Мин-2) и код с минимальными искажениями (Мин-3) при трехкратных ошибках.

Сравнительные данные приведены на рис. 1.

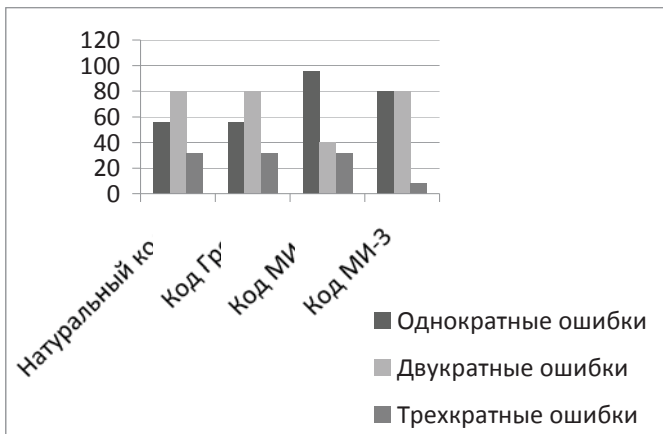


Рис. 1. Диаграмма анализа сдвигов при ошибках разной кратности

Анализ диаграмм подтверждает, что выбор варианта кодирования существенно влияет на качество восстановления исходного аналогового сигнала.

Так, например, для однократных ошибок преимущество за кодом Грея по сравнению с Мин-2 и Мин-3, тогда как при двукратных и трехкратных ошибках наоборот код Грея проигрывает. Важно так же отметить, что «хороший» выбор варианта не отличается по сложности реализации от других, что подчеркивает необходимость оптимизации выбора варианта кодирования в зависимости от вида ошибок в цифровом сигнале.

Показано, что в зависимости от вида ошибок в цифровом сигнале различные варианты кодирования обеспечивают существенно различные искажения в восстанавливаемом аналоговом сигнале. Таким образом, в результате исследования удалось вывести формулу расчета суммарных рисков искажений для каждой кодовой комбинации. Полученный результат немаловажен для оценки качества передаваемых сигналов.

Литература

1. Adzhemov A.S., Sineva I.S. Efficiency of genetic-like coding algorithm for metric space sources / 2-nd IEEE International conference on circuit and systems for communication - 2004.
2. Аджемов А.С., Кудряшова А.Ю. Особенности оценки качества передачи сигналов в различных метрических пространствах / Материалы международной научно-технической конференции "INTERMATIC-2017". Москва, РИО МИРЭА, 2017. С. 886-888.
3. Аджемов А.С. Телекоммуникации, информационные коммуникации. Что дальше? Облака! М.: Медиа Паблишер, 2012. 174 с.

КОМПАКТНЫЕ ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ ВСТРЕЧНО-ГРЕБЕНЧАТЫХ СТРУКТУР

Аристархов Григорий Маркович,
Аринин Олег Вячеславович,
Кириллов Игорь Николаевич,

кафедра «Электроника», Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
g.aristarkhov2010@yandex.ru

Введение

Микрополосковые фильтры (МПФ) находят самое широкое применение в микроволновых интегральных устройствах систем мобильной и спутниковой связи, радиолокации и навигации, что определяется их высокой технологичностью и сравнительно малыми габаритами. Особое место среди различных типов МПФ занимают четвертьволновые гребенчатые структуры, как обладающие наибольшей компактностью. Кроме того, в этих структурах возможно формирование полюсов рабочего затухания на конечных частотах, обеспечивающих повышенную частотную избирательность МПФ. Число формируемых полюсов рабочего затухания и их расположение на частотной оси определяется в этих структурах целым рядом взаимосвязанных факторов: скачком волновых сопротивлений или коэффициентов связи на разных участках длины двухступенчатых резонаторов [1,2], степенью их кондуктивного включения [3], неравенством фазовых скоростей нормальных волн в связанных микрополосковых линиях (МПЛ) [4], а также дополнительными электромагнитными связями между несмежными резонаторами [5].

Необходимо отметить, что в двухрезонаторных микрополосковых гребенчатых структурах потенциально возможно, как будет показано ниже, формирование при выполнении определенных условий двух полюсов рабочего затухания на конечных частотах.

Однако в N-резонаторных гребенчатых структурах число формируемых полюсов рабочего затухания P ограничено. Даже при организации дополнительных электромагнитных связей между несмежными резонаторами, что существенно усложняет конструкцию МПФ, их число не превышает значения $P \leq N-2$. Стремление сохранить в многорезонаторных структурах потенциальные селективные возможности, свойственные двухрезонаторным гребенчатым секциям, привело к созданию встречно-гребенчатых МПФ [6, 7].

В данной работе исследуются четырехрезонаторные многоступенчатые встречно-гребенчатые МПФ, в которых наряду с неуравновешенными электромагнитными связями между смежными резонаторами включена дополнительная гальваническая связь. Это обеспечивает возможность формирование четырех полюсов рабочего затухания ($P=N$) без введения каких-либо дополнительных связей между несмежными резонаторами. При этом полюсы рабочего затухания могут достаточно произвольно располагаться на частотной оси, обеспечивая требуемые уровни затухания в заданных полосах заграждения.

Базовые гребенчатые секции

На рис. 1а-с представлены симметричные четвертьволновые гребенчатые секции, каждая из которых выполнена на основе трехступенчатой (то есть нерегулярной) системы связанных МПЛ. В этой системе возбуждается, как известно, две волны четного ($0e$) и нечетного ($0o$) типов, для которых характерно неравенство фазовых скоростей $v_{0e} < v_{0o}$, обуслов-

ленное неоднородностью среды (подложка – воздух). Таким образом, каждая ступень связанных МПЛ характеризуется своими волновыми параметрами и коэффициентом электромагнитной связи. Совокупность этих параметров является достаточной для управления как шириной полосы пропускания, так и взаимным расположением полюсов затухания относительно полосы пропускания. На рис. 1d представлены частотные зависимости рабочего затухания этих секций соответственно. При этом относительная ширина полосы пропускания для всех рассматриваемых секций задавалась одинаковой и равной 5%. Структуры выполнены на подложке толщиной $H=1$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=10$; минимальное расстояние между МПЛ $S_{\min} \geq 0,15$ мм.

Учитывая характер распределения напряжений и токов в гребенчатых структурах, можно выделить в связанных резонаторах области с преобладающей магнитной и электрической связями между ними. Так, первая ступень в области короткозамкнутых на экран резонаторов определяет магнитную связь между резонаторами, а третья ступень, где резонаторы находятся в режиме холостого хода, определяет электрическую связь. Такое пространственное разделение электромагнитных связей обеспечивает конструктивную простоту управления частотными свойствами гребенчатых секций.

В структуре, представленной на рис. 1а, преобладающей связью между резонаторами является магнитная связь, что обуславливает формирование полюсов рабочего затухания в области верхних частот. Степень расщепления полюсов рабочего затухания определяется в основном соотношением коэффициентов связи во второй и в третьей ступенях секции.

В структуре, представленной на рис. 1б, преобладающей является электрическая связь между резонаторами, что обуславливает формирование полюсов затухания в области нижних частот. Расщепление этих полюсов затухания в основном определяется соотношением коэффициентов связи в первой и во второй ступенях секции.

В структуре, представленной на рис. 1с, полюсы затухания формируются как в области нижних, так и верхних частот. Этот режим работы секции обеспечивается выбором соответствующего баланса коэффициентов связи во всех ее ступенях.

Следует отметить, что совмещение полюсов затухания за счет неправильного выбора соотношения коэффициентов связи на разных участках длины резонаторов обуславливает их вырождение.

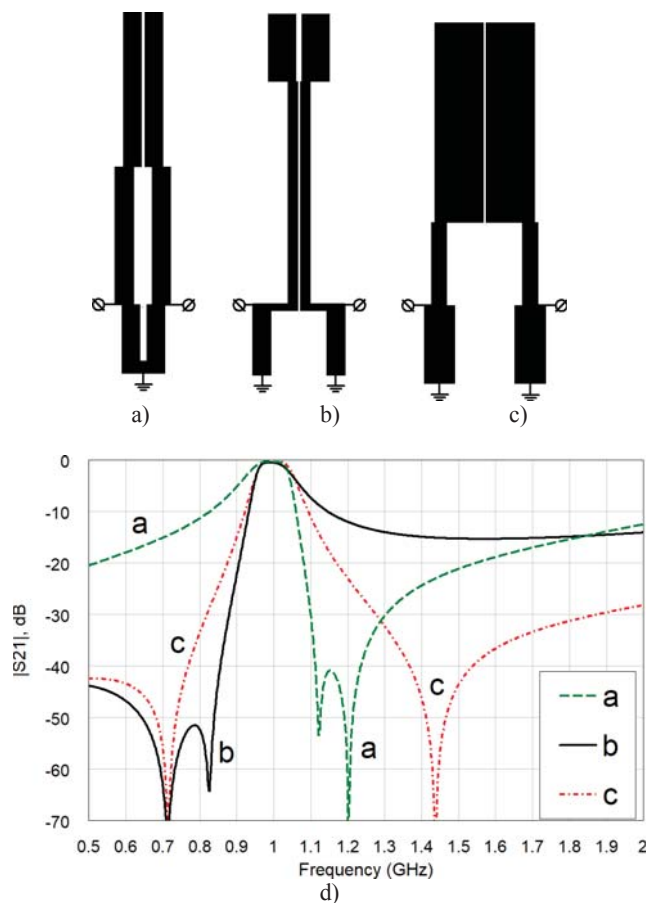


Рис. 1. Микрорешетчатые секции и их частотные характеристики

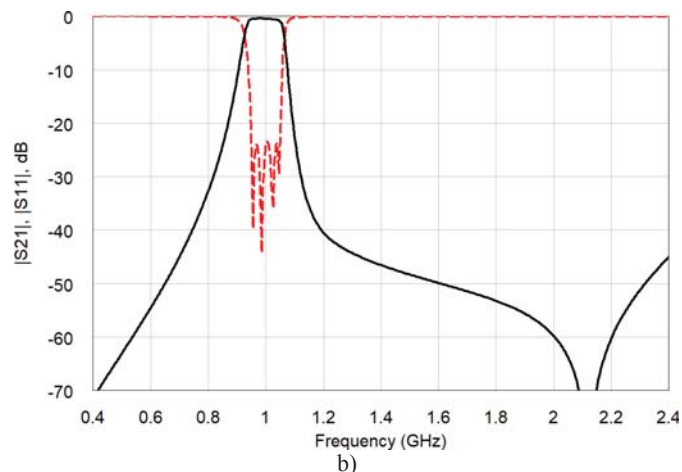


Рис. 2. Встречно-решетчатая структура и частотные зависимости ее S-параметров

Четырехрезонаторные МПФ на основе встречно-решетчатых структур

Исследуем четырехрезонаторную встречно-решетчатую структуру, в которой двухрезонаторные секции электромагнитно связаны между собой (рис. 2а). Как видим, эта структура обладает (рис. 2б) повышенной крутизной рабочего затухания в области верхних частот. При этом характер частотной зависимости $|S_{21}|$ свидетельствует о том, что в этой области частот формируются полюсы рабочего затухания, но они являются вырожденными, так как эта структура не обладает достаточным числом степеней свободы для их расщепления.

Снять это ограничение в формировании и расщеплении полюсов рабочего затухания удастся за счет введения дополнительной гальванической связи между центральными резонаторами.

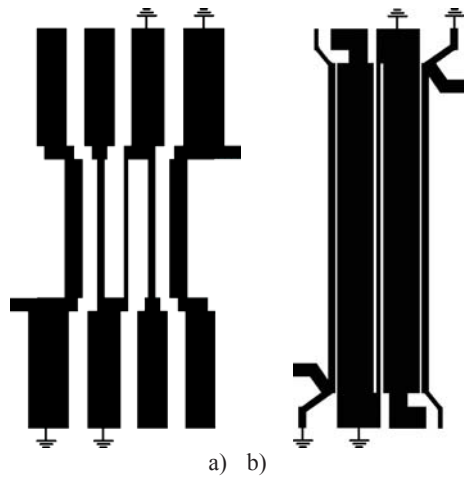
На рисунке 3а приведена топология такой структуры, в средней ступени которой образован дополнительный (пятый) отрезок МПЛ, связывающий две решетчатые секции.

По существу, в этой компактной структуре реализовано два способа наращивания порядка фильтров: за счет электромагнитного взаимодействия между резонаторами и каскадного соединения отдельных звеньев (секций). В структуре формируется четыре ($P = N$) полюса рабочего затухания на конечных частотах, что обеспечивает повышенную частотную избирательность МПФ в области нижних частот (рис. 3с). Минимальные расстояния между МПЛ и максимальная ширина проводников равны $S_{\min} = 1,05$ мм и $W_{\max} = 3$ мм соответственно.

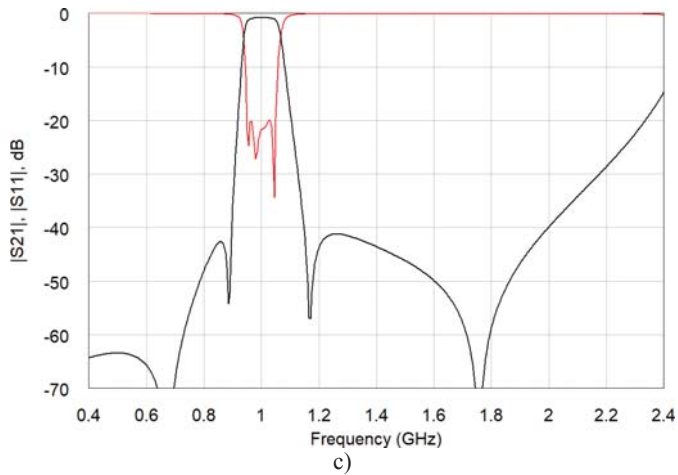
Перераспределим полюсы затухания на частотной оси с целью существенного повышения крутизны рабочего затухания в области верхних частот (рис. 3д). В этом случае сформируем один полюс затухания в области нижних и три – в области верхних частот.

Это достигается за счет уменьшения магнитной связи между МПЛ в каждой решетчатой секции и усиления электромагнитного взаимодействия между решетчатыми секциями (рис. 3б). Минимальные расстояния между МПЛ и максимальная ширина проводников равны $S_{\min} = 0,15$ мм и $W_{\max} = 3,3$ мм соответственно. Возможны и другие варианты распределения полюсов рабочего затухания на конечных частотах.

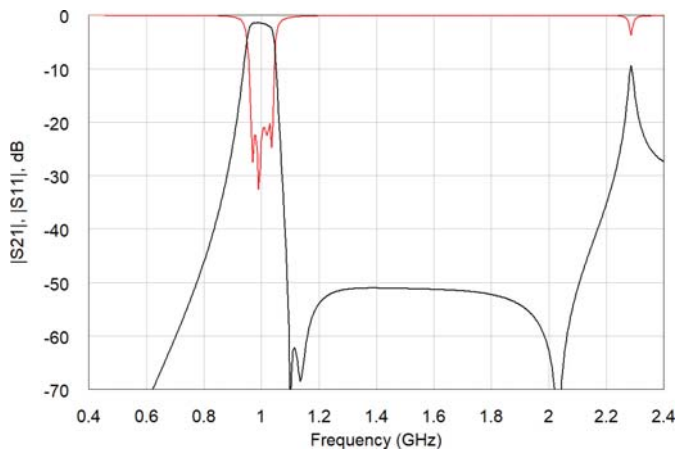
Важной особенностью рассматриваемых структур является высокое значение их характеристического сопротивления. Это обеспечивает возможность их реализации на подложках с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon_r \approx 100$ без введения каких-либо дополнительных цепей согласования.



a) b)



c)



d)

Рис. 3. Встречно-гребенчатые структуры с квазисимметричной частотной характеристикой (а, с) и с повышенной односторонней частотной избирательностью (b, d)

Заключение

Рациональное сочетание в четвертьволновых встречно-гребенчатых структурах электромагнитного взаимодействия и гальванической связи между гребенчатыми секциями позволяет сформировать четыре полюса рабочего затухания на конечных частотах. Их заданное расположение на частотной оси достигается выбором степени неуравновешенности электромагнитных связей на разных участках длины резонаторов. Это открывает новые возможности в создании высокоизбирательных МПФ на основе компактных структур с существенно ограниченным числом резонаторов.

Литература

1. Rhodes J.D. The stepped digital elliptic filter // IEEE Trans.MTT. 1969. Vol. MTT-17. №4, pp. 178-184.
2. Макимото М., Ямасито С. Компактный полосовой фильтр на резонаторах со ступенчатым изменением сопротивления // ТИИЭР. 1979. Т.67. №1. С. 17-21.
3. Аристархов Г.М., Чернышев В.П. Анализ микрополосковых секций решетчатого и гребенчатого типа при кондуктивном включении // Электронная техника. Сер. Микроэлектронные устройства. 1983. Вып.2(38). С. 19-23.
4. Аристархов Г.М., Вершинин Ю.П. Анализ фильтров на связанных линиях с неравными фазовыми скоростями // Радиотехника и электроника. 1983. Т. 28. № 9. С. 1714-1724.
5. Роудз Дж. Д. Теория электрических фильтров. М.: Сов. радио, 1980. 240 с.
6. Аристархов Г.М., Чернышев В.П. А.с. 1026203 СССР, МПК Н01Р 1/205. Микрополосковый фильтр на встречных стрержнях. Оpubл. 1983. Бюл. № 24.
7. Владимиров В.М., Марков В.В., Петров Д.В., Шепов В.Н. Трехдиапазонный малошумящий усилитель для активной антенны высокоточного позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/GPS // Радиотехника. 2013. № 6. С. 012-017.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Бирюкова Ольга Витальевна,

старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия,
BiriukovaOV@mpei.ru

Корецкая Ирина Валерьевна,

старший преподаватель ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия,
KoretskyaIV@mpei.ru

Ключевые слова: датчик ускорения, акселерометр, микроконтроллер, измерительный прибор, калибровка.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили различные технические устройства, управляемые дистанционно. При этом возможен широкий спектр частот, обеспечивающих такое управление, а также использование различных физических принципов. Это может быть радиосигнал, инфракрасное излучение, высоконаправленный лазерный луч или ультразвук. Каждый вид излучения нашел свое применение в зависимости от среды, расстояния, наличия помех и т.д.

Устройства передачи, приема, обработки сигналов требуют использования современной элементной базы и высокоскоростных протоколов обмена данными. Если речь идет об удаленном управляемом объекте, имеющем регистрирующие функции, должны быть обеспечены возможности накопления информации с различных классов датчиков, с целью ее интерпретации и непосредственного использования для управления. На рисунке 1 приведена блок-схема измерительного модуля. Основной задачей является функционирование модуля в режиме реального времени.

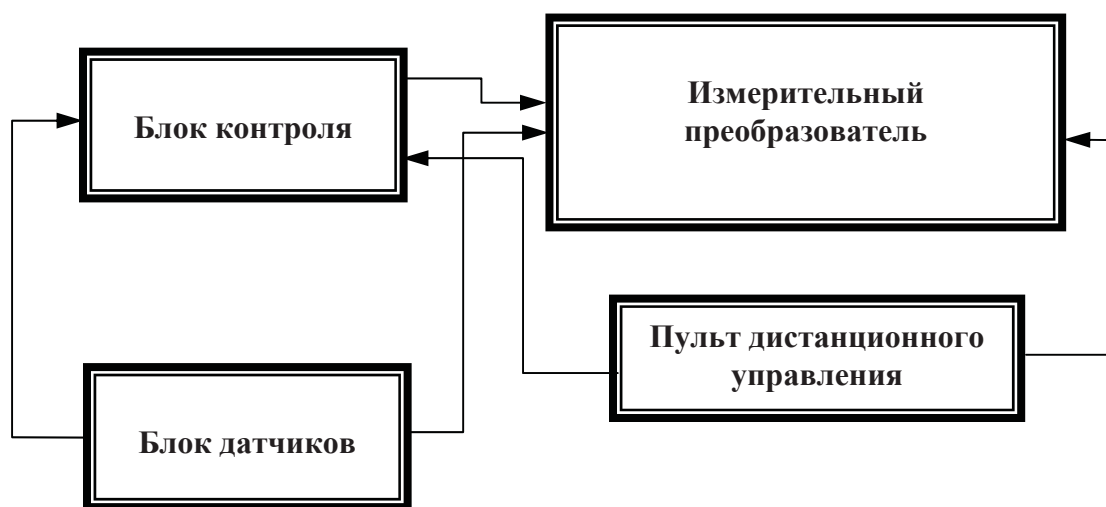


Рис. 1. Блок-схема

1. Обеспечение самоконтроля

Основным требованием, предъявляемым к современной аппаратуре, является возможность самодиагностики и самокалибровки. Для элементной базы подобные функции предусмотрены производителями. Так, например, используемый двухканальный аналого-цифровой преобразователь МХ7705 имеет функцию самокалибровки для каждого из каналов. Для широкого класса операционных усилителей предусмотрена функция термокомпенсации при выходе на рабочий режим. И т.д. В данной работе обсуждаются алгоритмы, предложенные авторами для обеспечения функций управления и калибровки регистрирующего прибора в целом.

Выход регистрирующего прибора на рабочий режим предусматривает следующие шаги:

- чтение из памяти начальных параметров;
- определение ориентации в пространстве;
- контроль параметров окружающей среды;
- сохранение в память текущих значений, в том числе и для возможности использования их в аварийной ситуации.

Для хранения калибровочных характеристик и стартовых настроек оборудования используется внутренняя EEPROM память контроллера ATmega-8. Информацию о принципах работы с внутренней памятью, назначению регистров и порядку обращения к ним можно найти в спецификации конкретного микроконтроллера. Такая спецификация доступна на сайтах производителей.

В нашем случае используются адресные регистры EEARN и EEARL (EEPROM Address Register) и EEDR (EEPROM Data Register) непосредственно в который помещается информация. Более подробную информацию о процессе записи и чтении информации можно найти в соответствующем разделе [1], а использованные авторами подходы изложены в работе [2].

Под непосредственным управлением микроконтроллера работает акселерометр MMA 7361 (производитель Freescale Semiconductor), отвечающий за координацию системы в пространстве, и блок датчиков. Описание акселерометра приводится в спецификации [3]. Использование его для измерения угла отклонения от вертикали рассмотрено в работе [4]. Для увеличения достоверности получаемой от акселерометра информации и ее правильной интерпретации при дистанционном управлении требуется дополнительная калибровка. Возможности такой калибровки обоснованы и будут подробно описаны авторами в последующих публикациях.

Контроль параметров окружающей среды необходим при функционировании любой контрольно-измерительной схемы. Особенно зависимыми от температуры являются датчики давления, которые в нашем случае используются при проведении статического зондирования. При осуществлении термокомпенсации в этом случае применяется диодная пара, схема включения которой определяется после испытаний на температурном стенде. Для более точного контроля температуры окружающей среды тестировались датчики TMP36 (Analog Devices) и LM335 (National Semiconductor). Использование дополнительных датчиков позволяет сохранять информацию о текущей температуре или непосредственно передавать ее для обработки с применением специального программного обеспечения на персональный компьютер.

Для выполнения команд пульта дистанционного управления контроллером предусмотрены два внешних прерывания. Измерительная часть схемы отвечает за перевод информации от датчиков или акселерометра из аналоговой формы в цифровую при помощи двухканального аналого-цифрового преобразователя MX7705. Обмен данными между контроллером и АЦП осуществляется посредством синхронного последовательного интерфейса SPI (Serial Peripheral Interface – последовательный периферийный интерфейс). Программа контроллера позволяет интерпретировать данные с датчиков и сопоставить их с соответствующими физическими величинами. В работе, в первом приближении, решена задача калибровки акселерометра MMA 7361 и получены результаты инклинометрии с заданной точностью.

2. Использование информации

Сохранение результата измерений, в том числе с целью накопления статистики, особенно важно при сложных условиях измерения и при отсутствии возможности сразу сформировать сигнал для передачи. Выбор протокола обмена информацией между регистрирующим прибором и системой хранения и воспроизведения определяется возможностями управляющей схемы. В качестве вариантов рассмотрено использование карт памяти и микросхем памяти с последовательным доступом к информации (SPI и I²C). Использование

микросхем памяти в оборудовании, работающем на дистанционном управлении, более оправдано, т.к. не предусматривает механического крепления, а значит возможности нарушения электрического контакта при вибрации. Микросхема памяти работает под управлением собственного контроллера. Это позволяет развести управление двумя независимыми процессами: измерением и сохранением информации и существенно упрощает управление системой при незначительном усложнении конструкции. Обмен информацией между двумя контроллерами осуществляется по той же схеме, что и обмен с компьютером, но согласования сигналов, а, следовательно, использования дополнительных элементов, не требуется.

Непосредственная связь с персональным компьютером существенно облегчает процесс сохранения и последующей обработки информации. Реализация такой связи обеспечивается последовательным протоколом передачи данных USART. Для этого используется модуль MMusb232RL на базе микросхемы FT232R [5] и программа-драйвер, позволяющая приводить данные к нужным единицам измерений.

Еще более важной является возможность организации обратной связи – мгновенного реагирования модуля на изменяющиеся условия функционирования. На данном этапе, кроме термокомпенсации, реализовано информирование оператора о перегрузке датчиков и об обрыве связи с датчиками.

Заключение

В работе рассмотрены возможности одновременного использования акселерометра и блока датчиков при создании многоцелевой контрольно-измерительной аппаратуры, работающей под дистанционным управлением. Поставлены задачи калибровки, контроля и самоконтроля работы модуля и рассмотрены пути их решения. Особый акцент при проведении разработок делался на возможности автономной работы оборудования в полевых условиях.

Литература

1. www.microchip.com.
2. Бирюкова О.В., Корецкая И.В. Последовательные протоколы обмена данными в контрольно-измерительной аппаратуре / Труды XI Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» (15-16 марта 2017 г. Москва, МТУСИ). М.: Издательский дом Медиа Паблшер, 2017. С. 334-335.
3. Freescale Semiconductor Technical Data Document Number: MMA 7361L, Rev 0, 04/2008.
4. Бирюкова О.В., Корецкая И.В. Синхронизация и обработка данных инклинометрии при использовании акселерометра в составе измерительного комплекса / Труды Международной научно-технической конференции «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» СИНХРОИН-ФО-2017 (Казань, 3-4 июля 2017 г). М.: Издательский дом Медиа Паблшер.
5. Захаров А. Некоторые проблемы применения FT232RL. <http://andrew1955.ucoz.ru/publ/tekhnika>.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА МОДУЛЯЦИОННОГО ТРАКТА УМРС ПРИ МАЛЫХ УРОВНЯХ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

Болотов Артем Олегович,
магистрант МТУСИ, Москва, Россия
sharp79@yandex.ru

В диапазоне ВЧ с использованием ионосферного распространения радиоволн возможна организация радиосвязи на большие расстояния. Данное свойство особенно актуально для подвижных объектов, находящихся вне зоны действия сетей связи массового обслуживания [1]. Энергетические ресурсы источников питания подвижных объектов в большинстве случаев ограничены. Данное обстоятельство предопределяет использование радиопередающих устройств с повышенным КПД [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Наиболее перспективным способом реализации высокоэффективных передатчиков в настоящее время считается построение его усилителя мощности по методу раздельного усиления составляющих однополосного сигнала (УМРС) [8]. В нем высокочастотный оконечный каскад, работающий в ключевом режиме, модулируется сигналом огибающей, усиливаемой низкочастотным усилителем класса D, обеспечивая высокий КПД всего усилителя. Применяемые в настоящее время высокоэффективные методы модуляции, в частности, OFDM, характеризуются высоким значением пик-фактора и средней мощностью на 10 дБ меньше пиковой. Данное обстоятельство делает актуальным рассмотрение способов повышения КПД оконечного каскада модуляционного тракта УМРС при малых уровнях выходного сигнала.

Вопросы построения высокоэффективного ШИМ модуляционного тракта, имеющего повышенный КПД в области малых значений усиленного сигнала, что особенно актуально для OFDM передатчиков, рассматривались в [5, 9, 10], где, в частности, показано, что для обеспечения высокого КПД (выше 90%) при снижении мощности до уровня 14 дБ меньше максимального уровня используется традиционное схемотехническое решение построения оконечного каскада усилителя ШИМ с рекуперационным диодом, однако такое решение не обеспечивает требуемой линейности в нижней части амплитудной характеристики. Следует отметить, что линейность модуляционного тракта во многом определяет качественные характеристики всего усилителя, требования к которым достаточно высоки [11, 12].

Если использовать двухтактную синхронную схему оконечного каскада ШИМ усилителя, то можно обеспечить достаточную линейность и такой вариант построения выходного каскада можно рассматривать в качестве основы для разработки модуляционного тракта с заданными параметрами. Для того, чтобы анализировать энергетическую эффективность ШИМ усилителя в широком диапазоне входных напряжений использовалась более расширенная методика учета потерь. В нее включены следующие элементы:

1. Потери на сопротивлении насыщения «верхнего» транзистора:

$$P_{Внас} = I_n^2 * r * D,$$

где D – рабочий цикл ($E_{вых}/E_{вых\ макс}$); $I_n = E_{вых} / R_n$, R_n – сопротивление нагрузки модулятора; r – сопротивление насыщения транзистора.

2. Потери на переключение «верхнего» транзистора:

$$P_{Впер} = 0.5 * E_{ПИТ} I_n * (t_r + t_f) * f_{такт},$$

где $f_{такт}$ – тактовая частота ШИМ; t_r и t_f – времена фронта и спада транзистора.

3. Коммутативные потери «верхнего» транзистора:

$$P_{Вком} = 0.5 * C_{вых} * E_{ПИТ}^2 * f_{такт},$$

где $C_{вых}$ – выходная емкость транзистора.

4. Потери на сопротивлении насыщения «нижнего» транзистора:

$$P_{Ннас} = I_n^2 * r * (1 - D).$$

5. Потери в диоде подложки «нижнего» транзистора:

$$P_{ДП} = V_f * I_n * (t_{dr} + t_{df}) * f_{такт},$$

где V_f – прямое напряжение диода подложки; t_{dr} , t_{df} – времена фронта и спада диода подложки.

6. Потери на восстановление диода подложки:

$$P_{rr} = Q_{rr} * E_{ПИТ} * f_{такт},$$

где Q_{rr} – накопленный заряд диода подложки.

7. Потери в ФНЧ:

$$P_{фил} = I_n^2 * R_{фил},$$

где $R_{фил}$ – сопротивление катушек индуктивности ФНЧ и датчика тока.

Результирующий КПД усилителя ШИМ можно определить как:

$$\eta = \frac{E_{ВЫХ} * I_n}{E_{ВЫХ} * I_n + P_{Внас} + P_{Впер} + P_{Вком} + P_{Ннас} + P_{ДП} + P_{rr} + P_{фил}}.$$

Анализ различных усилителей ШИМ, выполненный по приведенной выше методике, показал следующее:

– для низковольтных схем, где напряжение питания составляет примерно от 20 до 25 вольт энергетически более выгодно использовать синхронную схему оконечного каскада;

– если напряжение питания превышает 25-30 вольт (25-150 В), то для получения наилучших энергетических характеристик лучше использовать синхронную схему оконечного каскада с параллельно подключенным к «нижнему» транзистору диоду Шотки. В ней устраняются потери на восстановление диода подложки «нижнего» транзистора, хотя и добавляются незначительные коммутативные потери на емкости диода.

Такая конфигурация обеспечивает КПД более 90% при снижении выходного сигнала на 20 дБ от максимального и превосходит параметры существующих решений. Она была использована при разработке ключевого ВЧ усилителя мощности с раздельным усилением составляющих однополосного сигнала мощностью 300 Вт [8, 9].

Для планируемой новой разработки с выходной мощностью 5 кВт, состоящей из четырех блоков по 1500 Вт, проведено моделирование энергетических характеристик оконечного каскада модуляционного тракта при различных уровнях

входного сигнала.

Моделирование проводилось в программе «Ltpice». При моделировании принималось, что максимальная выходная мощность равна 1500 Вт, напряжение питания 65 В, сопротивление нагрузки 1,5 Ом.

Проведен анализ энергетических характеристик оконечного каскада, построенного на двух вариантах электронных приборов, выполненных по различным технологиям: широко распространенной MOSFET (транзисторы IRFB4410Z) и перспективной GaN «enhancement mode high electron mobility transistor» (E-HEMT, транзисторы GS61008T). Результаты моделирования энергетических характеристик оконечного каскада модуляционного тракта при различных уровнях входного сигнала приведены на рис. 1.

КПД оконечного каскада модулятора

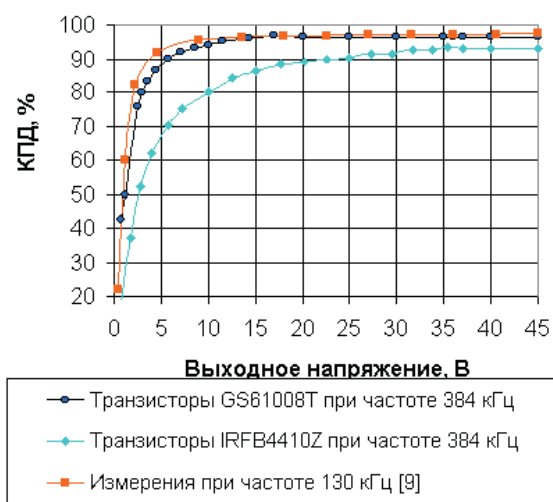


Рис. 1. Результаты моделирования энергетических характеристик оконечного каскада модуляционного тракта при различных уровнях выходного сигнала

Как видно из рис. 1, КПД в максимальной точке составляет 96,5% для транзисторов GS61008T и 93% для транзисторов IRFB4410Z, а при снижении выходного сигнала на 20 дБ от максимального — 86,5% и 65% соответственно. Также из рис. 1 видно, что транзисторы GS61008T при работе на частоте 384 кГц имеют характеристики, сопоставимые с характеристиками, полученными в [9] при работе выходного каскада предыдущей разработки с меньшей мощностью (300 Вт) на частоте 130 кГц.

Таким образом, проведенное моделирование показало возможность обеспечения достаточно высокого КПД при малых уровнях входного сигнала. При этом лучшие параметры обеспечиваются при использовании транзистора GS61008T, построенного по технологии GaN. Дополни-

тельным его преимуществом является меньшее требуемое напряжение входного сигнала (5 вольт вместо 8), что уменьшает мощность предварительного каскада.

Дальнейшим направлением исследований будет использование разработанной модели для исследования влияния сопротивления нагрузки передатчика на качественные характеристики оконечного каскада усилителя мощности ШИМ сигнала.

Литература

1. Варламов О.В. Использование необыкновенной волны для цифрового радиовещания DRM зенитным излучением // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 1. С. 32-38.
2. Варламов О.В., Гончаров И.А., Лаврушенко В.Г. Мощный ВЧ цифроаналоговый преобразователь для усилителя мощности ОМ сигналов // Электросвязь. 1989. № 8. С. 54-57.
3. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Козырев В.Б., Меланьин А.В. Сложение мощностей двухтактных ключевых генераторов ПН с резистивной нагрузкой // Радиоэлектроника. Известия высших учебных заведений, Киев. 1989. Том 32. № 7. С. 31-36.
4. Варламов О.В., Чугунов И.В. Исследование энергетических характеристик цифрового усилителя мощности OFDM сигналов диапазона УВЧ с дельта-сигма модулятором // Научные технологии в космических исследованиях земли. 2015. № 2. С. 30-33.
5. Варламов О.В. Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Московский технический университет связи и информатики. Москва, 2017
6. Filinotov N., Varlamov O. Power amplifier circuit for amplifying rf-signals / Патент на изобретение DEU EP1229642 (B1) 31.01.2001
7. Filimonov N., Varlamov O., Itkin G. Efficient modulation of RF signals / Патент на изобретение DEU EP1450479 (B1) 20.02.2003
8. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г. Разработка коротковолнового ключевого усилителя мощности с раздельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 42-44.
9. Варламов О.В. Разработка высокоэффективного модуляционного тракта для ВЧ усилителя мощности с раздельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. №9. С. 45-46.
10. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г., Чугунов И.В. Генератор испытательных сигналов для измерительных характеристик ключевых усилителей мощности с раздельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 47-49.
11. Иванюшкин Р.Ю., Варламов О.В., Сягаев А.К. Нелинейные искажения сигнала стандарта DRM в синтетических схемах линейного усиления / В сборнике: Обработка сигналов в системах наземной радиосвязи и оповещения. Материалы XV межрегиональной научно-технической конференции. Нижний Новгород, 2007. С. 301-310.
12. Варламов О.В. Research of influence of DRM broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. № 2. С. 59-60.

РАСШИРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА МШУ И СМЕСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЯЧЕЙКИ ДЖИЛЬБЕРТА

Бычков Михаил Сергеевич,
АО "НИИМА "Прогресс", г. Москва, Россия,
bychkov1975@yandex.ru

Исследовано применение структурного метода и метода компенсации нелинейных искажений для расширения динамического диапазона входных блоков интегральных приемников: МШУ и смесителей на основе ячейки Джильберта. Получены оценки эффективности применения методов относительно друг друга. Работа проводилась в диапазоне частот системы ГЛОНАСС (1,6 ГГц) на основе моделирования в пакете CADENCE (США).

Ключевые слова: динамический диапазон, метод компенсации, структурный метод, нелинейные искажения, шумы, интегральная микросхема, кремний-германиевая технология.

Введение

Основа современных приемников — интегральные микросхемы с постоянно увеличивающейся степенью интеграции. Каждый переход к новой ступени интеграции сопровождается уменьшением проектных норм технологии, и, как следствие, уменьшением величин пробивных напряжений. Повышение динамического диапазона (ДД) при наличии этих факторов является сложной и актуальной задачей. На практике расширение ДД достигается проведением мероприятий, направленных на существенное увеличение линейности при малом росте собственных шумов устройства. Все известные методы увеличения линейности можно разделить на две группы: схемотехнические (компенсация, отрицательная обратная связь, предискажения входного сигнала, использование усилительных приборов с повышенной линейностью передаточной характеристики и др.) и системотехнические (структурный метод, систематический поиск) [1]. Литературный поиск показал, что структурный метод не нашел практического применения при проектировании входных блоков интегральных приемников.

В данной работе приводятся общие выводы по использованию структурного метода для построения интегральных МШУ и активных смесителей на основе ячейки Джильберта [2]. Подробные результаты сравнительного анализа по показателям качества множества МШУ и смесителей можно найти в [3] и [4] соответственно.

Структурный метод

Структурный метод – это метод, реализующий подавление нелинейных искажений подсистем путем построения системы по структурной схеме с нулевой чувствительностью. Метод получил распространение при проектировании операционных усилителей и гибридных микросхем на микрополосковых линиях связи [5, 6]. Традиционно, в структурном методе оперируют с законченными функциональными блоками (усилитель, смеситель и т.п., [2]). Использование структурного метода для построения интегральных МШУ и смесителей потребовало перехода к базовому элементу нового типа – простейший каскад с открытым коллектором и разработать метод перехода от структурных схем к принципиальным электрическим схемам [7].

Исследование строилось следующим образом. Вначале, на основе литературного поиска, формировались исходные множества структурных схем с нулевой чувствительностью.

Затем, с помощью условий и ограничений, они усекались до допустимых множеств. На следующем этапе проводилось реализация структурных схем в виде упрощенных электрических схем и для них проводился анализ с целью поиска условий компенсации нелинейных искажений. После приведения реализованных схем к единому виду (одинаковые коэффициенты передачи и токи, протекающие в каналах передачи сигнала) проводилось моделирование в пакете CADENCE (США) на частоте 1,6 ГГц. Получив набор характеристик и используя их как показатели качества, затем, осуществлялся сравнительный анализ множества реализованных схем с помощью алгоритма многокритериального выбора [8]. В исследуемое множество реализованных схем были добавлены схемы с расширенным динамическим диапазоном, полученные с помощью метода компенсации нелинейных искажений. Последние были взяты из литературы и приведены к единому виду с остальными.

Результаты

На основе проведенных в работе исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Структурный метод позволяет получать схемы, обладающие стабильностью характеристик на уровне схем с линейной отрицательной обратной связью.

2. Нелинейные искажения в схемах, построенных на основе структурных схем с нулевой чувствительностью, подавляются более эффективно относительно схем на основе метода компенсации. Максимальный выигрыш в динамическом диапазоне составил 2,5дБ. Разница в механизмах компенсации нелинейных искажений двух методов сказывается на значениях точек компрессии и интермодуляционных искажений третьего порядка относительно друг друга. В методе компенсации разница между точками увеличивается, в структурном методе – уменьшается.

3. В полученных схемах нижняя граница динамического диапазона всегда увеличивается, но при этом происходит расширение самого ДД на 9,7 дБ (МШУ, [3]) и на 3,9 дБ (смеситель, [4]) относительно эталонных схем. При этом ток увеличивается в 4 и 2,6 раза для схем МШУ и смесителей соответственно.

Литература

1. *Богданович Б.М.* Радиоприемные устройства с большим динамическим диапазоном. М.: Радио и связь, 1984. 176 с.
2. *Богатырев Е.А.* Микроэлектронные аналоговые и аналого-дискретные устройства приема и обработки радиосигналов: уч/пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 264 с.
3. *Богатырев Е.А., Бычков М.С.* Структурный метод расширения динамического диапазона интегральных МШУ / 26-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и коммуникационные технологии» (КрыМиКо`2016). 2016. Т2. С. 240-246.
4. *Богатырев Е.А., Бычков М.С.* Оценка эффективности структурного метода на примере проектирования интегральных смесителей // REDS. 2016. Т. 1. С. 387-392.
5. *Крутчинский С.Г.* Структурный синтез аналоговых электронных схем: Монография. Ростов н/Д.: Из-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы, 2001. 180 с.
6. *Kenington P.B.* High-linearity RF Amplifier Design. L: Artech House microwave library, 2000. 552 p.
7. *Бычков М.С.* Методика реализации структурных схем с нулевой чувствительностью // Радиотехника. 2016. №11. С. 46-53.
8. *Кандырин Ю.В.* Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР. М.: Издательство МЭИ, 2004. 170 с.
9. *Бычков М.С.* Динамический диапазон широкополосных МШУ с частичной компенсацией шума // Радиотехника. 2012. №4. С. 47-55.

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С РАЗДЕЛЬНЫМ УСИЛЕНИЕМ НА УЗКОПОЛОСНУЮ АНТЕННУ

Воронков Александр Александрович,
магистрант МГУСИ, Москва, Россия,
voronkovalexandralexandrovic@gmail.com

При организации цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазонах ниже 30 МГц [1] полоса сигнала может достигать 10...20 кГц и, естественно, полоса пропускания антенно-фидерных устройств (АФУ) не должна быть меньше этой величины. В диапазонах длинных и средних волн обеспечение требуемой широкополосности антенны представляет собой трудную и дорогостоящую проблему [2]. В тоже время производители и поставщики современных радиопередатчиков [3, 4], усилители мощности которых построены по методу раздельного усиления составляющих модулированных колебаний (УМРС, метод Кана [5, 6]), отмечают необходимость тщательной настройки антенны (до КСВ не хуже 1,05...1,1 на краях полосы DRM сигнала [7]), что обеспечивает заданные качественные показатели излучаемого сигнала цифрового радиовещания. В противном случае возникают недопустимые нелинейные искажения, что приводит к расширению спектра сигнала.

К сожалению, в доступной литературе отсутствуют сведения о причинах искажений цифрового сигнала при работе передатчика на узкополосную антенну, что, в свою очередь, не позволяет разработать рекомендации на технические характеристики отдельных трактов цифровых передатчиков ДВ и СВ диапазонов.

В связи с вышесказанным, в настоящей статье был проведен качественный анализ работы УМРС на узкополосную антенну, что позволило выявить механизм возникновения искажений.

Анализ будем проводить на простейшем эквиваленте антенной цепи, схема которого приведена на ри. 1.

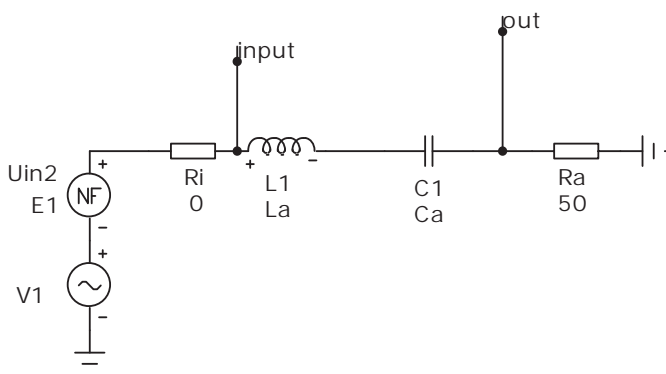


Рис. 1. Эквивалентная схема узкополосной антенны

На представленной схеме приведен последовательный колебательный контур, настроенный на рабочую частоту. Элементы L_a , C_a могут варьироваться в процессе анализа таким образом, что резонансная частота остается постоянной, а изменяется лишь добротность антенны Q_a , определяемая как отношение величины сопротивления реактивного элемента к активному сопротивлению антенны R_a :

$Q_a = \omega_p L_a / R_a = 1 / (\omega_p C_a * R_a)$, где ω_p – резонансная частота антенны.

На рисунке 2 приведены результаты анализа антенной цепи в программе «Micro Cap» при воздействии на её вход радиоимпульса длительностью 100 мкс с частотой заполнения, равной резонансной частоте антенны 100 кГц.

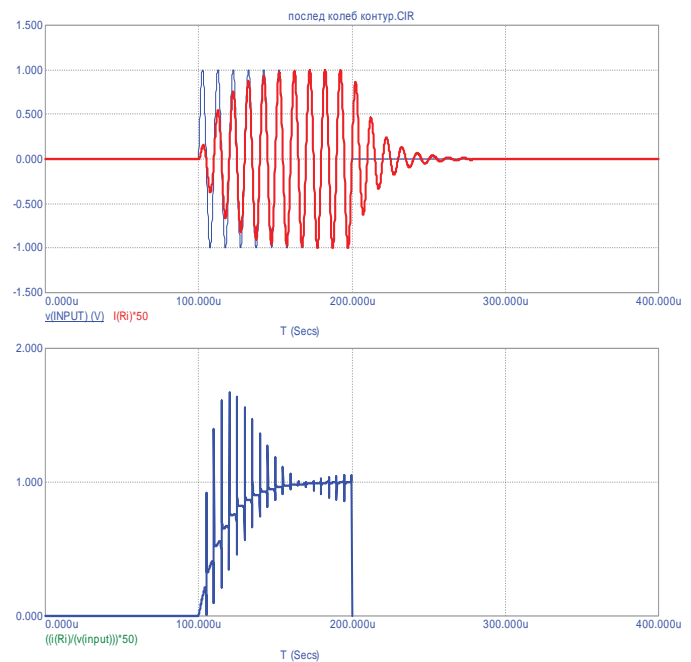


Рис. 2. Результат воздействия радиоимпульса на узкополосную антенну с добротностью $Q_a = 5$ и резонансной частотой 100 кГц

На верхнем графике приведены эпюры входного напряжения (синий цвет) и тока в антенне (красный цвет). На нижнем графике приведена зависимость мгновенной нормированной входной проводимости антенны, вычисленная как отношение мгновенного тока в антенне к мгновенному входному напряжению. Некоторая «бахрома» на нижнем графике связана с тем, что мгновенные значения тока и напряжения периодически принимают значения близкие к нулю, что и приводит к такому эффекту при операции деления.

Представленные результаты помогают визуально оценить происходящий переходный процесс накопления энергии в контуре. В самом начале радиоимпульса энергии и тока в контуре нет, а ВЧ напряжение уже приложено, поэтому входная проводимость близка к нулю. По мере накопления энергии в контуре, его ток нарастает, вместе с ним нарастает и входная проводимость антенны. И, наконец, к середине длительности радиоимпульса контур полностью зарядился, наступил установившийся режим, и нормированная входная проводимость стала равна единице вплоть до окончания входного радиоимпульса. После окончания радиоимпульса вновь наступает переходный процесс теперь уже разряда контура. Ток экспоненциально затухает с частотой собственного резонанса контура.

Формально вычисленная проводимость устремляется в бесконечность, поскольку является результатом деления на нулевое напряжение.

Таким образом, при возбуждении контура сигналом с быстро изменяющейся амплитудой, он работает в переходных режимах и его входная проводимость (сопротивление) становится переменной величиной – в отличие от установившегося режима.

Рассмотрим теперь воздействие на узкополосную антенну сигнала с амплитудной и фазовой модуляцией одновременно. В качестве такого сигнала будем использовать равноамплитудный двухтоновый сигнал. На рисунке 3 синим цветом приведены эпюры входного напряжения – двухтонового сигнала с разнесом 10 кГц и красным цветом – тока в антенне с добротностью $Q_a = 5$.

Как видно из приведенного рисунка, на интервалах времени, когда мгновенная амплитуда входного напряжения нарастает ($0 < T < 50$ мкс), контур заряжается, а амплитуда тока в антенне меньше своего номинального (установившегося) значения. Как отмечалось выше (см. рисунок 2), это соответствует пониженной относительно своего номинального значения входной проводимости антенны. И, напротив, когда мгновенная амплитуда входного напряжения спадает ($50 < T < 100$ мкс), контур разряжается, а амплитуда тока в антенне больше своего номинального значения, что соответствует повышенной относительно своего номинального значения входной проводимости антенны.

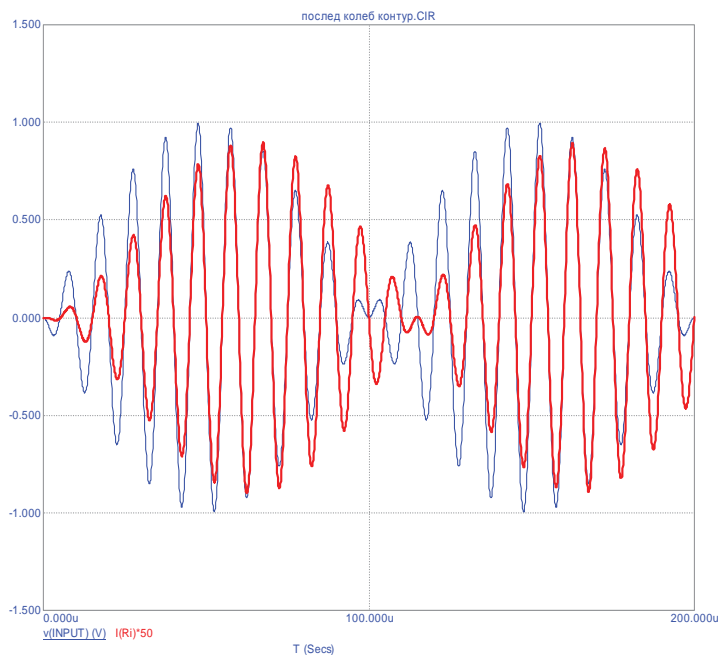


Рис. 3. Результаты анализа воздействия двухтонового сигнала на узкополосную антенну. Синим цветом изображено входное напряжение, красным – ток в антенне

Весьма интересен интервал времени ($100 < T < 115$ мкс) на эпюрах рисунка 3. Он характерен тем, что при переходе амплитуды сигнала через нулевое значение фаза входного напряжения двухтонового сигнала скачком изменяется на 180° .

При этом в токе двухтонового сигнала (токе антенны), задержанном на $\approx 1,5$ периода рабочей частоты, переворот фазы происходит позднее. На этом интервале времени (между скачками фазы напряжения и тока антенны), входное на-

пряжение и ток антенны противофазны. В результате этого энергия из антенны поступает в источник сигнала, а проводимость нагрузки, вычисленная как отношение входного напряжения к току антенны, становится отрицательной.

Из вышеизложенного необходимо отметить два момента, важные для дальнейшего исследования:

1. Синхронно с изменением амплитуды входного напряжения изменяется проводимость нагрузки для источника сигнала – при нарастании амплитуды проводимость снижается относительно своего номинального значения, а при снижении амплитуды, наоборот, проводимость повышается. Такое поведение нагрузки характерно для линейно-параметрической цепи.

2. При резких переворотах фазы на 180° , характерных для сигналов с амплитуднофазовой модуляцией (однополосных и цифрового вещания), появляются интервалы времени, численно равные величине задержки тока нагрузки (антенны), на которых энергия поступает из нагрузки в источник сигнала, а проводимость его нагрузки становится отрицательной.

Естественно, что в рассмотренной линейной модели, приведенной на рис. 1, отмеченные особенности не приводят к возникновению нелинейных искажений. Действительно, ток, протекающий через нагрузку последовательной LC цепи, претерпевает только линейные искажения, определяемые АЧХ и ФЧХ последовательного колебательного контура.

Однако в современных радиовещательных передатчиках ДВ и СВ диапазонов используются как нелинейные (ключевые) режимы работы активных приборов, так и нелинейные операции – перемножение отдельно усиленных огибающей и ВЧ ФМ составляющей модулированного сигнала в оконечном каскаде передатчика (метод Кана). И здесь ситуация становится совершенно другой. Сопротивление нагрузки (проводимость), которое «ощущает» модулятор, питающий оконечный каскад (ОК), определяется входной проводимостью антенного тракта, на который работает ОК.

Если антенный тракт узкополосный и его КСВ меняется в пределах ширины полосы усиливаемого радиочастотного сигнала, то и проводимость нагрузки ОК и, соответственно, его модулятора изменяется синхронно с изменением амплитуды входного напряжения. При этом сопротивление нагрузки модулятора становится нелинейным, а на некоторых интервалах времени (между скачками фазы напряжения и тока в антенне на 180°) и вовсе отрицательным.

Физический смысл возникновения отрицательного сопротивления заключается в том, что на рассматриваемых интервалах ток антенны находится в противофазе с выходным напряжением ОК, и его транзисторы работают как синхронный выпрямитель, преобразуя гармонический ток антенны рабочей частоты в постоянный ток, втекающий в ФНЧ модулятора со стороны ОК. Таким образом, нелинейная нагрузка модулятора приводит к нелинейным искажениям огибающей и, соответственно, выходного сигнала передатчика.

Для разработки количественных требований к характеристикам узлов передатчика, необходимо разработать его адекватную модель, позволяющую проводить исследования на сигнале, максимально приближенном к реальному сигналу цифрового вещания стандарта DRM, что будет являться дальнейшим направлением работы.

Литература

1. *Варламов О.В.* Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Московский технический университет связи и информатики. Москва, 2017.
2. *Варламов О.В.* Разработка алгоритма и программных средств проектирования антенно-согласующих цепей цифровых радиовещательных передатчиков стандарта DRM // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 2. С. 47-50.
3. *Варламов О.В.* Мощные коротковолновые радиовещательные передатчики // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 1999. № 3. С. 40-47.
4. *Варламов О.В.* Современные средневолновые радиовещательные передатчики // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 1999. № 1. С. 28-34.
5. *Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г.* Разработка коротковолнового ключевого усилителя мощности с раздельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 42-44.
6. *Варламов О.В., Гончаров И.А., Лаврушенко В.Г.* Мощный ВЧ цифроаналоговый преобразователь для усилителя мощности ОМ сигналов // Электросвязь. 1989. № 8. С. 54-57.
7. *J. Huber*, "DRM on MF and LF, coverage and technical requirements," EBU-DRM Conference. Geneva, 26 Nov 2009, https://tech.ebu.ch/docs/events/drm09/presentations/ebu_drm09_huber.pdf.

ПРИЕМНАЯ ТВ КОРОТКАЯ ДВУХЗЕРКАЛЬНАЯ АНТЕННА С ПЛОСКИМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ

Гайнутдинов Тимур Аншарович,
к.т.н., доцент, МТУСИ, г. Москва Россия,
tedia@mtuci.ru

Богданов Иван Николаевич,
магистрант каф.ТЭДиА, МТУСИ, г. Москва Россия,
tedia@mtuci.ru

Стрельцова Виктория Андреевна,
магистрантка каф. РТС, МТУСИ, г. Москва Россия,
tedia@mtuci.ru

Переход к цифровым стандартам телевидения в нашей стране является весьма затянутым во времени процессом. В связи с этим довольно длительное время будет вестись одновременное вещание ТВ сигналов как в аналоговом, так и в цифровом формате. Отсюда следует возможность создания более удобных для практической эксплуатации конструкций приемных ТВ антенн, обеспечивающих прием ТВ сигналов в более узкой рабочей полосе, что характерно для цифровых мультиплексов, но и при этом сохраняющих способность приема небольшого количества аналоговых телеканалов. Учитывая достаточно сложную электромагнитную обстановку, особенно вблизи границ пересечения области действия соседних телецентров, важным параметром для приемных антенн цифрового ТВ становится величина коэффициента защитного действия (КЗД), определяемая как отношение значения диаграммы направленности приемной антенны в направлении на передатчик к значению диаграммы направленности в строго противоположном направлении. Как правило, величина КЗД определяется в дБ [1]. С точки зрения удобства установки и эксплуатации наиболее часто используемые в данное время [2, 9, 10, 11] антенны “волновой канал” весьма подвержены влиянию осадков и снега, что ведет к ухудшению характеристик антенны, а то и к механической деформации, и соответственно поломке антенны. Главной причиной этого негативного явления является большой продольный размер антенны (1-1,5 м) [2], вследствие чего на длинной горизонтальной штанге скапливается вода и снег с соответствующей коррозией (см. рис.1) и наклоном антенны к земле. Основной целью работы является создание антенны с высоким усилением, согласованием не уступающим согласованию действующих антенн “волновой канал”, высоким КЗД, малым продольным размером и удобным креплением к плоской стене дома.



Рис. 1

Для решения поставленной задачи предлагается произвести модификацию известной [3] короткой двухзеркальной антенны Ереншпека, изображенной на рис. 2.

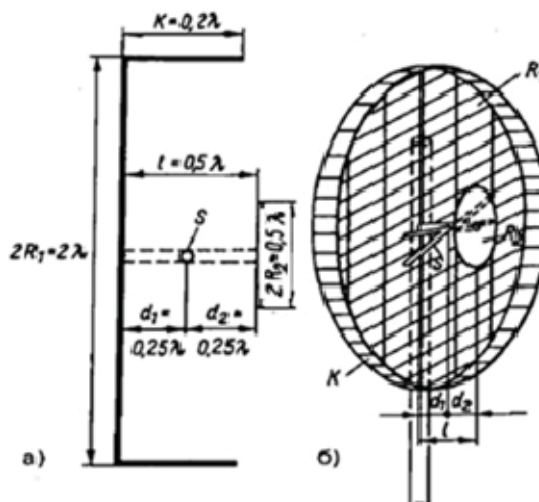


Рис. 2. а) эскиз антенны б) компоновка антенны и ее параметры

Антенну образуют главный отражатель диаметра 2λ (где λ – длина волны в воздухе), излучатель и вспомогательный отражатель диаметра 0.5λ . Отражатели имеют форму круга (в принципе допустима любая фигура имеющая ось симметрии, совпадающую с продольной осью антенны, например правильный шестиугольник или восьмиугольник). Бортик главного отражателя глубиной 0.2λ способствует увеличению КЗД антенны. Центры дисков-отражателей и фазовый центр излучателя лежат на одной прямой, причем излучатель находится посередине между большим и малым диском. Общая длина антенны 0.5λ . За характерный внешний вид иногда такие антенны радиолюбители называют антенна сковорода [3].

В ходе исследования были разработаны две модификации короткой двухзеркальной антенны, представленные на рис. 3.

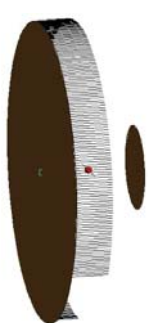


Рис. 3а

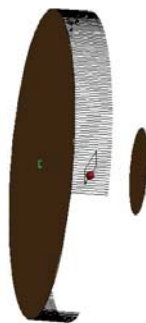


Рис. 3б

Геометрия обеих модификаций абсолютно одинакова: диаметр большого диска равен 0,99 м ($1,78\lambda$), диаметр малого диска = 0,28 м ($0,5\lambda$), расстояние от большого диска до излучателя = 0,16 м ($0,29\lambda$), расстояние от излучателя до малого диска 0,16 м ($0,29\lambda$), глубина бортика 0,12 м ($0,21\lambda$), нижняя часть бортика с угловым раствором 60° удалена для беспрепятственного стекания воды и снега из тела главного отражателя антенны. Отличия модификаций друг от друга заключается в типе излучателя. В одной модификации используется симметричный электрический вибратор (СЭВ) длиной 22 см ($0,4\lambda$), а в другой петлевой вибратор с длиной 18 см ($0,34\lambda$) и шириной 5 см ($0,09\lambda$). Толщина провода у петлевого вибратора 1 см ($0,016\lambda$), а у СЭВ 3 см ($0,048\lambda$), поскольку при его использовании была предпринята попытка оценить собственную широкополосность антенны по согласованию с 75-омным кабелем без использования дополнительных согласующих устройств, которая как следует из [4] в основном определяется широкополосностью излучателя. Для излучателя в виде петлевого вибратора после первых же расчетов было очевидно, что ввиду его высокоомности, согласование антенны с 75-Омным кабелем без согласующих устройств невозможно. В дальнейшем, для краткости, модификацию с СЭВ будем называть дипольной модификацией, а модификацию с петлевым вибратором петлевой. Нахождение всех размеров в обеих модификациях осуществлялось из условия максимизации минимального усиления антенны в диапазоне 490-590 МГц.

На рисунке 4 приведен график зависимости КУ от частоты для дипольной модификации, а на рис.5 аналогичный график для петлевой.

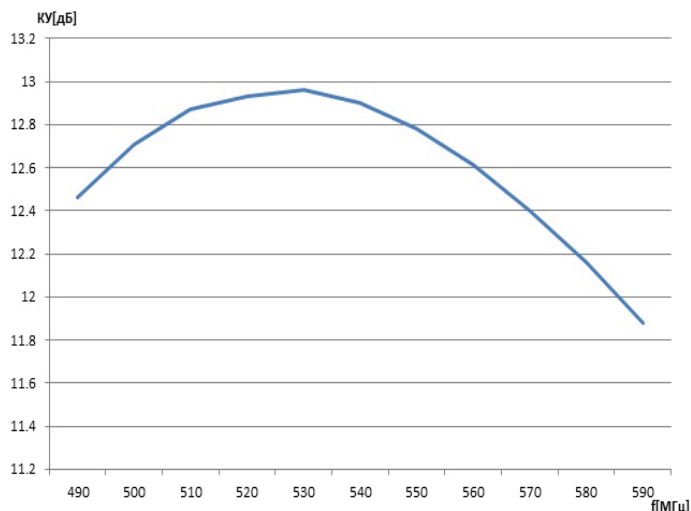


Рис. 5

Как видно из сравнения рис. 10 и 11 тип активного элемента оказывает крайне малое влияние на характеристики усиления антенны. Для дипольной антенны минимальный КУ наблюдается на верхней частоте диапазона и равен 11,88 дБ, у петлевой модификации наихудший КУ наблюдается на той же частоте и равен 11,67 дБ. Наилучшее усиление у дипольной модификации равно 12,96 дБ на частоте 530 МГц, а у петлевой 13,06 дБ на частоте 520 МГц. Наихудшие КЗД у обеих модификаций существуют на верхней частоте 590 МГц и равны 18,6 дБ у дипольной модификации и 17,3 дБ у петлевой. Наилучшие КЗД у обеих модификаций на нижней частоте 490 МГц и равен 22,93 дБ у дипольной модификации и 20,12 дБ у петлевой. На наш взгляд, с точки зрения направленных характеристик обе модификации практически равносильны, поэтому рассмотрим ниже характеристики согласования обеих антенн.

Однако, тип излучателя оказывает большое значение на характеристики согласования. У дипольной модификации в подавляющей части рабочей полосы, а именно от 500 до 590 МГц естественный КСВ антенны не превышает 3. К сожалению, в поддиапазоне 490-500 МГц, в которой работает второй цифровой мультиплекс КСВ больше 3 и достигает величины 3,4.

Для согласования использовалась простая двухзвенная схема согласования, приведенная в [5]. Сама схема, представлена на рис. 6, а зависимость КСВ от частоты для дипольной модификации изображена на рис. 7.

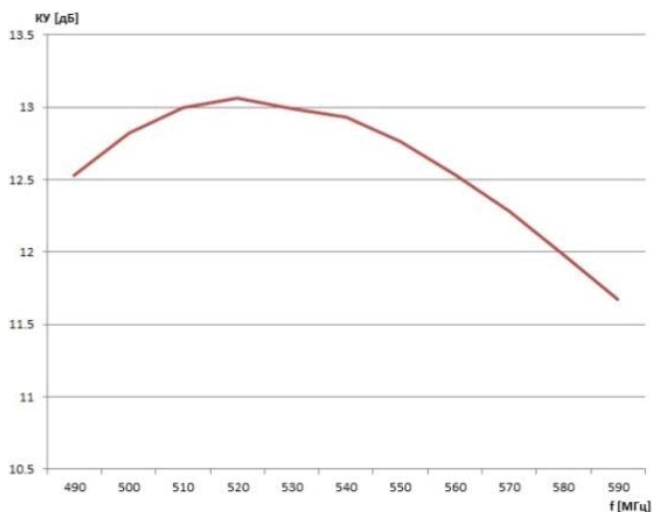


Рис. 4

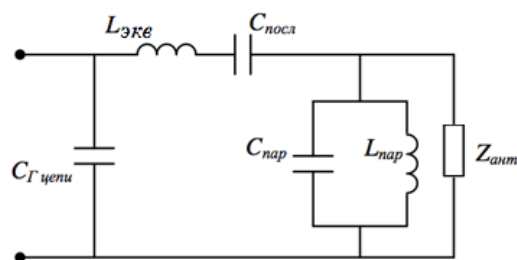


Рис. 6

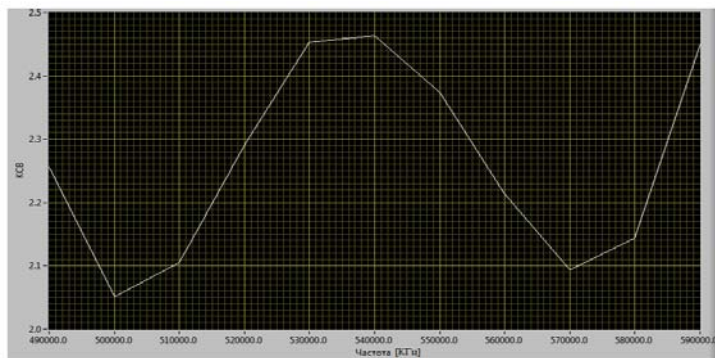


Рис. 7

Как видно из рис. 7 применение схемы согласования позволяет обеспечить КСВ дипольной модификации не более 2,5 во всем рабочем диапазоне

Гораздо проще согласуется петлевая модификация антенны. Поскольку антенна является высокоомной, то возможна схема согласования (см. рис. 8), состоящая из параллельного контура, включенного параллельно излучателю и понижающей Г-цепи [6]. Объединяя две параллельные индуктивности, получаем простую схему согласования из трех элементов, приведенную на рис. 9.

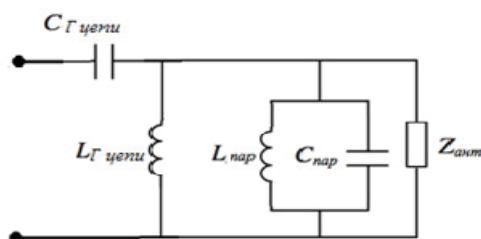


Рис. 8

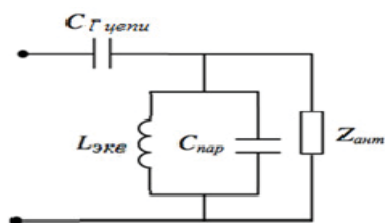


Рис. 9

Зависимость КСВ от частоты для петлевой модификации с использованием вышеописанной схемы согласования изображена на рис. 10.

Как видно из этого рис. 10 КСВ петлевой модификации в пределах рабочей полосы не превосходит величины 1,9, что вполне соответствует типичным требованиям на приемные ТВ антенны [2]. Если сравнить дипольную и петлевую модификацию между собой по характеристикам согласования, то из рис. 7 и рис. 10 видно, что петлевая модификация согласовывается лучше при более простой схеме согласования, поэтому при экономической целесообразности использования согласующих устройств, петлевая модификация лучше. Кстати, согласно [7] и [8] суммарная цена элементов, входящих в согласующую цепь, на момент написания статьи, составляла 47 руб., поэтому применение согласующей цепи не приведет к сильному удорожанию антенны. Если же применение согласующего устройства невозможно, то дипольная модификация лучше, поскольку естественный КСВ петлевой модификации во всей рабочей полосе частот не меньше 4.

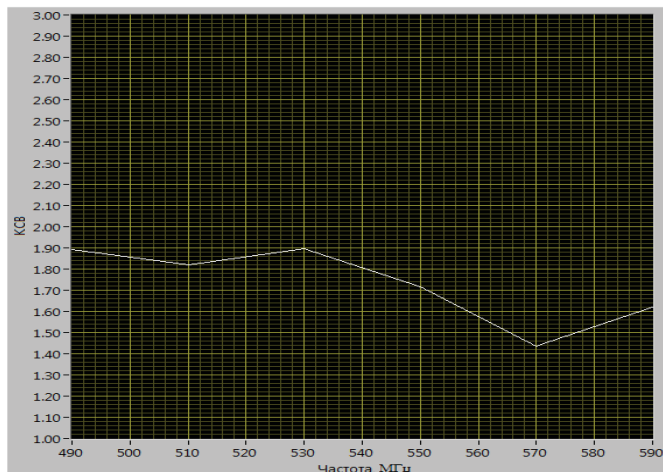


Рис. 10

В заключении статьи отметим, что ключевым элементом в предлагаемой короткой двухзеркальной антенне с плоскими отражателями является излучатель и именно он определяет диапазонные свойства антенны, причем широкополосность определяется вопросами согласования, в то время как КУ антенны в зависимости от частоты меняется гораздо медленнее, чем КСВ. Поэтому на наш взгляд, ключевым вопросом при дальнейшем исследовании подобных антенн является нахождение таких излучателей, которые бы обеспечивали требуемое качество согласования во всей полосе 470-790 МГц, чтобы избежать ненужной зависимости от частотных планов цифрового ТВ, которые могут меняться в разных регионах РФ по весьма непредсказуемым причинам.

Литература

1. Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г., под ред. Г.А. Ерохина «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн». М.: Горячая линия – Телеком 2007. 491 с.
2. URL: <http://velasat.ru/efirmoe-televidenie/efirnye-antenny/antenny-dmv-diapazona-21-69-kanalov> // Velasat.ru Купить антенны ДМВ диапазона [Электронный ресурс] // (Дата обращения: 05.02.2018)
3. Ротхаммель К. Антенны. М.: ДМК Пресс, 2011. 814 с.
4. Modern Antenna Handbook. Edited by Constantine A. Balanis Wiley-Interscience 2008. 1704 p.
5. Гайнутдинов Т.А., Гаранкина Н.И., Кочержевский В.Г. Двухзвенное согласующее устройство длинноволновых радиовещательных антенн // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. № 6. 2015. С. 48-56.
6. Фуско В. СВЧ цепи и сигналы. Анализ и автоматизированное проектирование. М.: Радио и связь 1990. 288 с.
7. URL: <http://www.radiochip.ru/cgi-bin/goodra.cgi?act=search&qui=2&start=1> // Радиочип / интернет-магазин радиодеталей [Электронный ресурс] // Конденсаторы в розницу. (Дата обращения: 05.02.2018)
8. URL: <https://www.chipdip.ru/catalog/inductances> // Чип и Дип [Электронный ресурс] // Индуктивности / купить оптом и в розницу. (Дата обращения: 05.02.2018).
9. Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г., Петровский А.А. Анализ ближнего поля проволочных антенн // Антенны. 1999. № 1. С. 31-36.
10. Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г. Исследование действия приемных антенн на плоскую волну // Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. № 6. С. 1005-1008.
11. Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г., Петровский А.А. Структура ближнего поля проволочных антенн // Журнал радиоэлектроники. 1999. № 3. С. 2.

ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЧ-УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Горгадзе Светлана Феликсовна,

Д.т.н., профессор Московского технического университета связи и информатики, Москва, Россия,
svetlana-gorgadze@yandex.ru

До недавнего времени шумовые характеристики усилителей мощности считались не имеющими значения, поскольку полезные сигналы как на входах, так и на выходах таких усилителей имеют высокий уровень, так что шумами можно пренебречь. Но по мере развития современных инфокоммуникационных систем выяснилось, что усилитель мощности может вносить заметный фазовый шум вблизи несущей частоты усиливаемого сигнала, что повышает вероятность ошибок при передаче цифровых сигналов, ухудшает чувствительность систем, в которых измеряется фаза и амплитуда сигнала, ограничивает расстояние между соседними частотными каналами и т.д. [1-4]. Особенно острой данная проблема становится при использовании НЕМТ и РНЕМТ, поскольку их шумовые характеристики существенно хуже, чем у биполярных транзисторов. Отметим, что основным источником шума в усилителе мощности является активный элемент (транзистор).

Один из типов шумов в усилителе мощности - это высокочастотный усиленный шум его активного элемента, находящийся в пределах полосы частот усилителя. Взаимодействие такого шума с сигналом можно рассматривать как аддитивный процесс, то есть шум просто добавляется к сигналу. Уровень такого шума уменьшается, по сравнению с уровнем полезного сигнала при увеличении последнего на входе усилителя мощности. Но аддитивное взаимодействие сигнала и шума в усилителе возможно лишь в том случае, если усилитель является строго линейным в том смысле, что линейными являются все элементы его схемы. Но даже, если он работает в линейном режиме, в его структуре всегда имеются нелинейные элементы, которые преобразуют вверх по частоте мощные низкочастотные шумы транзистора. В качестве примера такого элемента можно рассматривать даже затвор полевых транзисторов.

Таким образом, шумы, появляющиеся на выходе усилителя мощности, являются результатом сложного нелинейного взаимодействия полезного сигнала с сильными шумами транзистора, частота которых находится вне рабочей полосы частот усилителя, в том числе и с низкочастотными фликер-шумами. Такое взаимодействие полезного сигнала и шумов транзистора зависит от многих факторов: от режима работы транзистора (линейный или нелинейный), от выбора схемы усилителя мощности, от частоты входного сигнала, от его мощности на входе усилителя и т.д. При этом вклад разных элементов схемы меняется в зависимости от мгновенной мощности усиливаемого сигнала.

В настоящее время отсутствуют достоверные модели нелинейных взаимодействий шумов активного элемента и полезного сигнала в усилителе мощности. Тем не менее, можно считать экспериментально доказанным, что в этом случае происходит перенос вверх по частоте мощных низкочастотных шумов активного элемента усилителя, и их действие проявляется в виде шума вблизи несущей частоты усиливаемого сигнала. В то же время нелинейное взаимодействие полезного сигнала с высокочастотным шумом активного элемента проявляется при большем удалении от его несущей

частоты, по сравнению с низкочастотным шумом. Результатирующее действие шумов такого рода рассматривается в виде флуктуаций фазы полезного сигнала, поэтому соответствующий шум обычно называют фазовым. В действительности при таком взаимодействии сигнала и шума не могут не возникать и флуктуации амплитуды сигнала. В докладе получены аналитические выражения, показывающие, что слабые флуктуации фазы сигнала, описываемые синусоидальной функцией, приводят к появлению в его спектре на выходе усилителя мощности двух боковых полос, симметричных относительно несущей частоты. При этом выявлена взаимосвязь между мощностью фазового шума в каждой из боковых полос на выходе усилителя и мощностью усиливаемого сигнала. Таким образом, отношение сигнал/шум на выходе усилителя не меняется при увеличении мощности сигнала на его входе или выходе.

Результаты измерения нормированного спектра шума на выходе усилителя с кремний-германиевым гетеробиполярным транзистором, взятые из [5], приводятся на рис. 1. На этом рисунке по оси абсцисс отложена разница между частотой, на которой проводилось измерение, и несущей частотой сигнала, составлявшей 2 ГГц. Входная мощность усиливаемого сигнала менялась от -5 дБмВт до 7 дБмВт. Измерения проводились как при линейном, так и при нелинейном режиме работы усилителя, поскольку для него уровень входного сигнала -3 дБмВт соответствует компрессии сигнала на выходе на 1 дБ.

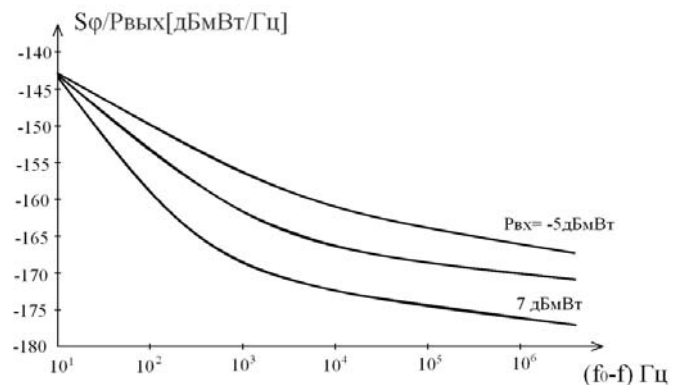


Рис. 1. Результаты измерения нормированного спектра шума на выходе усилителя мощности в окрестностях несущей частоты усиливаемого сигнала

Из анализа рис. 1 следует, что на частотах, близких к несущей частоте сигнала имеет место увеличение нормированного спектра шума, слабо зависящего от мощности входного сигнала. Это значит, что значения ненормированного спектра пропорциональны выходной мощности, и основной вклад в спектр результирующего шума вносит преобразованный вверх по частоте низкочастотный шум транзистора. Но, по мере увеличения отстройки по частоте относительно

несущей частоты, значение нормированного спектра шума все больше зависит от мощности входного сигнала.

Это значит, что происходит увеличение коэффициента шума усилителя, и все более существенный вклад вносит усиленный аддитивный шум в полосу частот сигнала.

С целью интерпретации графиков, приведенных на рис. 1, и развивая подход, предполагающий использование упрощенного описания взаимодействия сигнала и шума в усилителе мощности, была выражена спектральная плотность мощности фазового шума на его выходе через коэффициент его шума. Последний часто называют также шум-фактором. Этот параметр усилителя мощности зависит от частоты усиливаемого сигнала, а также от напряжения смещения. Зависимость коэффициента шума от мощности усиливаемого сигнала при некоторой его частоте довольно сложная. Суммарный коэффициент шума при фиксированной выходной мощности может быть измерен.

На рисунке 2 приводятся зависимости от частоты минимального коэффициента шума и эквивалентного шумового сопротивления усилителя на нитрид-галлиевом НЕМТ CGH09120F. При измерениях схема смещения оптимизировалась на минимальный уровень шумов на выходе на низких частотах. Показано, что приближенное значение спектра фазового шума на выходе усилителя можно рассчитать, зная его коэффициент шума и мощность входного сигнала. Приводится пример, основанный на анализе графиков, приведенных на рис. 1 и 2.

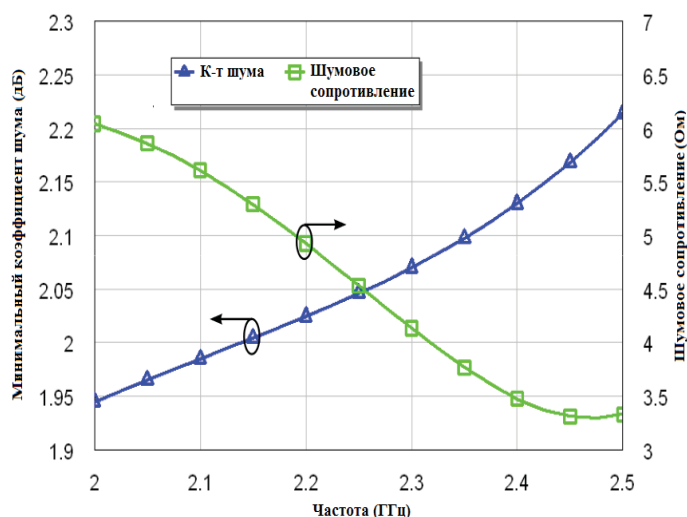


Рис. 2. Зависимость минимального коэффициента шума и шумового сопротивления от частоты для НЕМТ CGH09120F при постоянных значениях, $I_{co} = 1A$

Таким образом, очевидно, что при отсутствии модели взаимодействий шумов транзистора и сигнала в усилителе мощности довольно сложно интерпретировать графики, приведенные на рис. 1, поскольку, с одной стороны, заметное увеличение уровня шумов вблизи несущей частоты сигнала свидетельствует о наличии фазового шума, являющегося результатом переноса вверх по частоте низкочастотных шумов транзистора, но, с другой стороны, зависимость спектра этого шума от мощности входного сигнала не столь существенная, как можно было бы предположить. Очевидно, что в данном случае необходимо рассматривать и нелинейные взаимодействия сигнала с высокочастотным белым шумом транзистора, и аддитивный высокочастотный шум в полосе частот усилителя. Кроме того, пример, приведенный на рис. 1, соответствует транзистору с относительно низким уровнем низкочастотных шумов, и был использован при отсутствии подобных результатов исследований для транзисторов, характерных для усилителей с более мощными фликер-шумами.

Литература

1. Сечи Ф., Буджатти М. Мощные твердотельные СВЧ-усилители. М.: Техносфера, 2016. 416 с.
2. Горгадзе С.Ф., Клинков А.В. Характеристики интермодуляционных помех при нелинейных преобразованиях совокупностей сложных сигналов // Электросвязь. 2008. №7. С. 32-36.
3. Горгадзе С.Ф., Бойков В.В. Измерительные сигналы с многопозиционными поднесущими для спутниковых радионавигационных систем // Радиотехника и электроника. 2014. Т. 59. №3. С. 264.
4. Смирнов Н.И., Горгадзе С.Ф. Закономерности в характеристиках энергетических спектров совокупностей шумоподобных сигналов // Радиотехника и электроника. 1990. №4. С. 781.
5. Cibiel G., et al., A Study of the Correlation Between High-Frequency Noise and Phase Noise on Low-Noise Silicon-Based Transistor // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques/ V.52. October 2004, pp. 183-190.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ТРАНЗИСТОРНЫХ КВ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ

Громорушкин Виктор Николаевич,

к.т.н., старший научный сотрудник НИЛ-6 НИЧ МТУСИ, Москва, Россия,

grom@mtuci.ru

Непрерывно возрастающие требования к надежности, скорости перестройки, к качественным и энергетическим характеристикам современных связанных радиопередатчиков КВ диапазона побуждают разработчиков к созданию транзисторных усилителей взамен ламповых с выходной мощностью до 5...10 кВт.

До недавнего времени современные мощные ВЧ транзисторы, пригодные для реализации широкополосных усилителей мощности КВ диапазона, позволяли реализовывать усилительные ячейки с выходной мощностью до 150...200 Вт в линейном режиме (класс АВ) и до 300 Вт в ключевом режиме [1, 7]. При построении усилителей мощности транзисторных радиопередатчиков традиционно применяются многоступенчатые сумматоры, складывающие мощности отдельных усилительных ячеек [2, 4, 10, 11]. Необходимость применения сумматора приводит к увеличению массогабаритных характеристик передатчика и потерям мощности в его элементах. Радикальным путем повышения мощности КВ радиопередатчика является разработка усилительной ячейки с существенно большей выходной мощностью. Такая возможность появилась в 2017 году с выпуском фирмой NXP мощного полевого ВЧ транзистора MRFX1K80H. Этот транзистор обеспечивает выходную мощность до 1800 Вт на частотах от 1,8 до 400 МГц в узкополосных схемах, что не позволяет использовать их в широкополосных усилителях мощности КВ диапазона без проведения дополнительных исследований. Целью статьи является поиск схемотехнических решений усилительной ячейки в 5-6 раз более мощной по сравнению с известными [1].

Линейный усилитель мощности.

Традиционно усилительная ячейка КВ передатчика строится на основе двухтактного широкополосного линейного усилителя мощности (ЛУМ), упрощенная схема которого приведена на рис. 1.

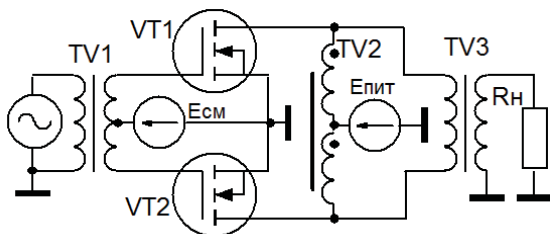


Рис. 1. Упрощенная схема двухтактного широкополосного усилителя

Входная и выходная цепи обычно строятся по трансформаторной схеме (TV1...TV3). Для обеспечения высокого КПД и линейности транзисторы работают в классе АВ с углом отсечки $\Theta \approx 90^\circ$. При этом импульсы токов стока содержат кроме первой гармоники рабочей частоты и высшие, максимальная из которых - вторая, имеет величину, определяемую

коэффициентами Берга: $\alpha_2(90^\circ)/\alpha_1(90^\circ) \approx 0,6$ (60% относительно тока первой гармоники). Для устранения негативного влияния второй гармоники тока стоков в выходной колебательной системе широкополосных двухтактных каскадов применяют трансформатор-закоротку (TV2 на рис. 1). Бифилярно включенные обмотки этого трансформатора закорачивают на землю токи второй и четных гармоник.

В результате ВЧ напряжения на стоках транзисторов имеют практически гармоническую форму. На практике импеданс нагрузки для четных гармоник определяется паразитными параметрами трансформатора-закоротки - индуктивностью рассеивания L_s его магнитно связанных обмоток. Для снижения величины L_s часто этот трансформатор выполняют отрезком коаксиального или полоскового радиокабеля. Однако и в этом случае величина L_s определяется погонной индуктивностью отрезка радиокабеля.

Кроме того существует паразитная монтажная индуктивность выводов радиокабеля L_m . Негативное влияние паразитных параметров трансформатора-закоротки особенно проявляется в мощных усилительных ячейках, при низком сопротивлении нагрузки в стоковой цепи и, соответственно, повышенных токах стока основной и четных гармоник. Паразитный импеданс в цепи протекания токов четных гармоник носит индуктивный характер и максимально сказывается на верхних частотах рабочего диапазона частот.

С учетом обсуждаемых паразитных параметров была разработана компьютерная модель ЛУМ на транзисторе MRFX1K80H с выходной колебательной системой: трансформатор-закоротка 20 см кабеля РП6 ($L_s=6\text{нГн}$) с монтажной индуктивностью $L_m=10\text{нГн}$, трансформатор с $K_R = 1:9$ на трех отрезках согласованного радиокабеля включенных параллельно по входу и последовательно по выходу, обеспечивающим сопротивление нагрузки в стоке одного транзистора $R_{нз} = 2,8\text{ Ом}$, симметрирующий трансформатор на отрезке 50 Ом кабеля и несимметричная нагрузка 50 Ом.

Анализ модели показал, что на верхней рабочей частоте 30 МГц колебательное напряжение на стоках транзисторов содержит вторую гармонику, что приводит к увеличению размаха колебательного напряжения, переходу транзисторов в перенапряженный режим и превышению пробивного напряжения транзисторов. В качестве иллюстрации на рис. 2 приведены эпюры стокового напряжения модели ЛУМ на частоте 30 МГц при относительно небольшой выходной мощности первой гармоники $P_1 = 200\text{ Вт}$.

Как видно из рис. 2 режим работы транзисторов приближается к критическому (граничному) при уровне выходной мощности 200Вт. Увеличение входного сигнала приводит к перенапряженному режиму и уплощению амплитудной характеристики ЛУМ.

На рисунке 3 приведена нормированная амплитудная характеристика модели ЛУМ (нелинейная кривая).

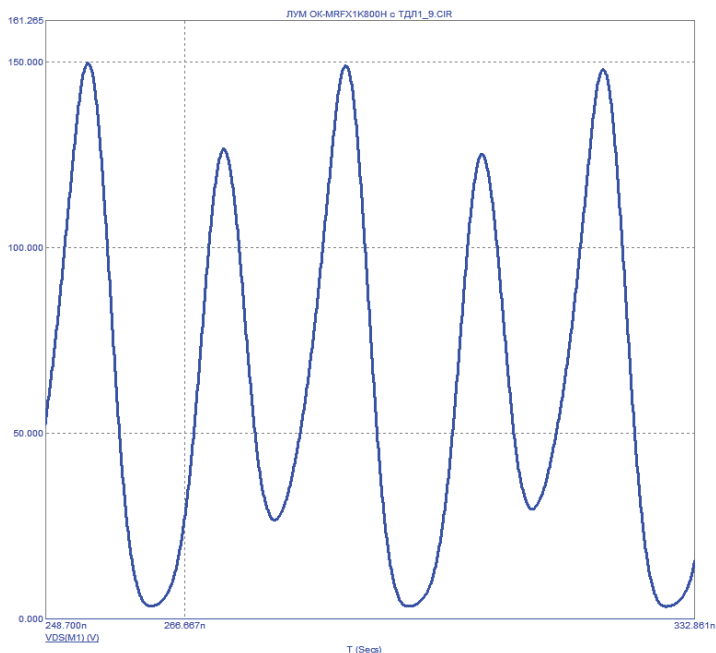


Рис. 2. ВЧ напряжение сток-исток в ЛУМ, $f = 30$ МГц, $P_{\text{вых}} = 200$ Вт, $L_m = 10$ нГн

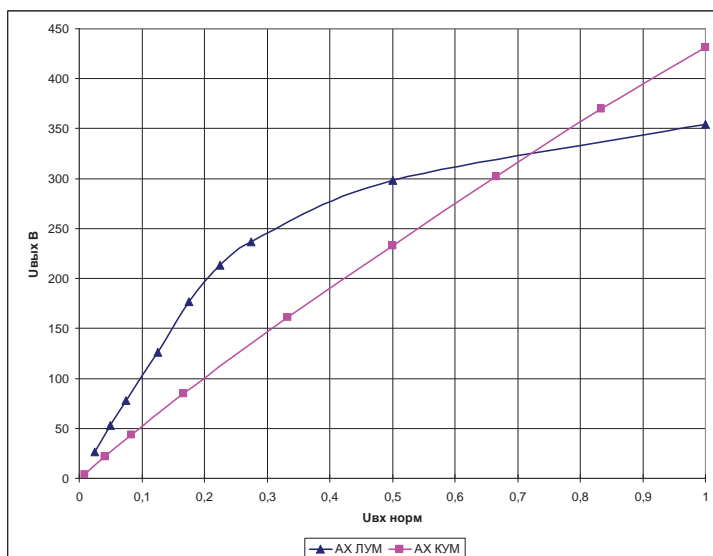


Рис. 3. Амплитудные характеристики ЛУМ и КУМ на транзисторе MRFX1K80H

По горизонтальной оси отложены значения нормированного ВЧ напряжения на затворах транзисторов $U_z / U_{z \text{ макс}}$. По вертикальной оси отложена амплитуда напряжения первой гармоники на 50 Ом нагрузке. Как следует из рисунка 3, амплитудная характеристика ЛУМ линейна на начальном участке выходного напряжения от 0 до 200 В ампл, или выходной мощности 400 Вт.

Дальнейшее увеличение входного сигнала приводит к перенапряженному режиму и уплощению амплитудной характеристики. Максимальная амплитуда составляет 354 В (выходная мощность 1250 Вт). При этом напряжение на стоках транзисторов равно пробивному и повышение выходной мощности невозможно. Из проведенного анализа следует, что в широкополосных ЛУМ невозможно обеспечить выходную мощность, заявленную производителем. Для повышения выходной мощности усилительной ячейки необходи-

мо применять ключевой усилитель мощности (КУМ). Для этого используют синтетические методы усиления, наиболее перспективным из которых является метод раздельного усиления (метод Кана или EER) [1, 5, 6, 8, 9]. Рассмотрим потенциальные возможности транзистора MRFX1K80H в ключевом режиме.

Ключевой усилитель мощности.

Структура оконечного ВЧ каскада КУМ совпадает со структурой ЛУМ, приведенной на рис. 1. Отличие заключается в том, что возбуждающее ВЧ напряжение на входе имеет прямоугольную форму, а транзисторы работают в ключевом режиме, попеременно переходя из режима насыщения в режим отсечки на периоде ВЧ колебания. Известно несколько вариантов построения КУМ, наиболее распространенными из которых являются генераторы с переключением напряжения (ПН) и с переключением тока (ПТ) [3, 4].

Анализ модели КУМ с ПН, показал, что при больших мощностях и, соответственно, малой нагрузке в стоковой цепи, ему присущи те же недостатки, что и ЛУМ. Так, на этапах недокрытия, когда оба транзистора находятся в отсечке (разомкнуты), запасенная в паразитных индуктивностях L_s и L_m энергия за счет самоиндукции вызывает значительные выбросы напряжения на стоках транзисторов, что приводит к их пробое при выходной мощности более 500 Вт.

Альтернативным решением является применение КУМ с ПТ, который реализуется включением дросселя между средней точкой трансформатора-закоротки TV2 и источником питания $U_{\text{пит}}$ (см. рис. 1). Индуктивное сопротивление дросселя на нижней рабочей частоте должно быть в 3-5 раз больше сопротивления нагрузки в стоковой цепи. При этом необходимо обеспечить режим перекрытия работы транзисторов [3], т.е. время насыщения каждого из них более полупериода рабочей частоты. Однако практическое выполнение этих требований - обеспечение значительного времени перекрытия и реализация ненасыщающегося дросселя большого номинала вызывает трудности.

Для решения этих проблем предлагается комбинированный режим работы транзисторов, сочетающий достоинства генераторов с ПН и с ПТ. Для этого необходимо устранить режим недокрытия, т.е. обеспечить минимальное перекрытие только фронтов возбуждающих цепи затворов ВЧ импульсов и небольшой дроссель в цепи питания. При этом в низкочастотном участке КВ диапазона КУМ работает как генератор с ПН, а высокочастотном - как генератор с ПТ. Для устранения режима недокрытия во входной цепи КУМ устанавливается ФНЧ с полосой пропускания 20...40 МГц, который ограничивает полосу входного ВЧ сигнала.

При этом входные импульсы ВЧ напряжения на затворах из прямоугольных становятся трапецеидальными, а на верхних частотах могут иметь и синусоидальную форму. ФНЧ может быть реализован на паразитных параметрах схемы: входной емкости транзисторов и индуктивности рассеивания входного трансформатора (TV1). Помимо ограничения полосы частот входного ВЧ сигнала, необходимо увеличить напряжение смещения цепей затворов ($U_{\text{см}}$) выше напряжения отсечки, что устраняет недокрытие и обеспечивает перекрытие на фронтах входных ВЧ напряжений транзисторов двухтактной схемы.

В качестве дросселя в цепи питания может использоваться индуктивность рассеивания трансформатора-закоротки, выполненный монтажным проводом, что упрощает конст-

рукцию ЛУМ. Величина дросселя не должна быть менее 50 нГн, чтобы не увеличивать максимальное напряжение на стоках. В качестве иллюстрации на рис. 4 приведены эпюры стокового напряжения модели КУМ на частоте 30 МГц при номинальной выходной мощности первой гармоники $P_1 = 1800$ Вт.

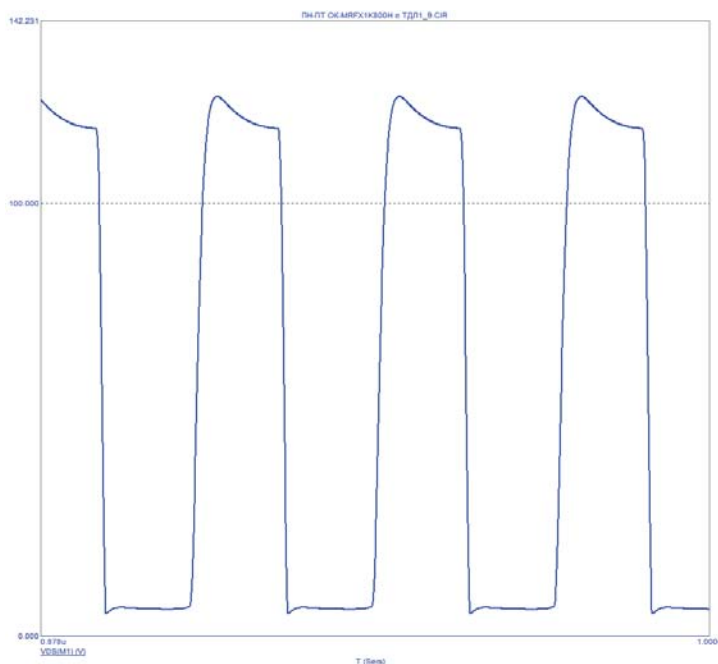


Рис. 4. ВЧ напряжение сток-исток в КУМ, $f = 30$ МГц, $P_{\text{вых}} = 1800$ Вт, $L_m = 50$ нГн

На рисунке 3 приведена нормированная амплитудная характеристика модели КУМ (линейная кривая).

По горизонтальной оси $U_{\text{вх}}$ норм отложено нормированное модулирующее напряжение питания оконечного ВЧ каскада $U_{\text{пит}}/U_{\text{пит макс}}$ ($U_{\text{пит макс}} = 60$ В), которое в КУМ определяет амплитуду выходного сигнала. По вертикальной оси отложена амплитуда напряжения первой гармоники на 50 Ом нагрузке. Как следует из рис. 3, амплитудная характеристика КУМ практически линейна на всем своем протяжении. В максимальной точке амплитуда напряжения первой гармоники составляет 430 В, что соответствует выходной мощности 1850 Вт.

Сравнивая амплитудные характеристики ЛУМ и КУМ, приведенные на рисунке 3, следует отметить, что ключевой усилитель мощности обеспечивает лучшую линейность и существенно большую выходную мощность при сохранении безопасного режима работы транзисторов по току и напря-

жению в стоковой цепи.

Анализ предложенной модели КУМ с режимом ПН-ПТ на транзисторе MRFX1K80H показал возможность реализации широкополосной усилительной ячейки с выходной мощностью первой гармоники не менее 1800 Вт в КВ диапазоне с высоким электронным КПД = 86-84%.

Литература

1. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г. Разработка коротковолнового ключевого усилителя мощности с разделением усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 42-44.
2. Громорушкин В.Н. Разработка мостового сумматора для 1кВт КВ радиопередатчика / В сборнике: Технологии информационного общества X Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2016. С. 171-172.
3. Козырев В.Б., Лаврушенко В.Г., Леонов В.П., Новиков Г.В., Петяшин Н.Б., Попов И.А., Харитонов А.В., Громорушкин В.Н. Транзисторные генераторы гармонических колебаний в ключевом режиме. Москва, 1985.
4. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Козырев В.Б., Меланьин А.В. Сложение мощностей двухтактных ключевых генераторов ПН с резистивной нагрузкой. Известия высших учебных заведений // Радиотехника. 1989. Т. 32. № 7. С. 31-36.
5. Ивановский Р.Ю., Варламов О.В., Сягаев А.К. Нелинейные искажения сигнала стандарта DRM в синтетических схемах линейного усиления / В сборнике: Обработка сигналов в системах наземной радиосвязи и оповещения. Материалы XV межрегиональной научно-технической конференции. Нижний Новгород, 2007. С. 301-310.
6. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г., Чугунов И.В. Генератор испытательных сигналов для измерительных характеристик ключевых усилителей мощности с разделением усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 47-49.
7. Громорушкин В.Н. Разработка фильтра гармоник для коротковолнового ключевого передатчика // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 10. С. 20-23.
8. Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г., Харитонов А.В. Устройство для усиления / Патент на изобретение RUS 1354388. 16.06.1986.
9. Filimonov N., Varlamov O., Itkin G. Efficient modulation of RF signals / Патент на изобретение EP1450479 (B1). 20.02.2003.
10. Громорушкин В.Н. Разработка 1кВт усилителя мощности для КВ радиопередатчика / В сборнике: Технологии информационного общества. XI Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2017. С. 246.
11. Варламов О.В., Гончаров И.А., Лаврушенко В.Г. Мощный ВЧ цифроаналоговый преобразователь для усилителя мощности ОМ сигналов // Электросвязь. 1989. № 8. С. 54-57.

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ПО СХЕМЕ У. ДОГЕРТИ ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ

Иванюшкин Роман Юрьевич,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
rivanyushkin@gmail.com

Козырев Виктор Борисович,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия

Нестеров Антон Анатольевич,
МТУСИ, Москва, Россия,
admateras@gmail.com

Разин Кирилл Олегович,
МТУСИ, Москва, Россия,
razin.k2014@yandex.ru

Рассматриваются особенности схемотехники и режимов работы линейного усилителя мощности, построенного на основе схемы У. Догерти. Обсуждается методика расчета линейного усилителя мощности по схеме У. Догерти, а также его компьютерное схемотехническое моделирование. Дополнительно обсуждается возможность применения автоматической регулировки режима по питанию в схеме У. Догерти.

Ключевые слова: линейный усилитель мощности, метод У. Догерти, КПД, расчет режима работы, компьютерное схемотехническое моделирование, автоматическая регулировка режима.

Линейные усилители мощности (ЛУМ), построенные на основе схемы У. Догерти, являются перспективным решением для передатчиков цифрового телевидения, а в ряде случаев, и для передатчиков цифрового радиовещания. ЛУМ, построенные по схеме У. Догерти, с одной стороны, обеспечивают повышенные КПД, что очень актуально при усилении радиосигналов цифрового телерадиовещания. С другой стороны, это повышение КПД обеспечивается за счет саморегулирования схемы, при котором не требуется никаких внешних регулировок, а также не происходит никаких нелинейных преобразований над усиливаемым радиосигналом. В конечном итоге, это существенно упрощает задачу линеаризации ЛУМ.

Несмотря на то, что метод У. Догерти известен давно [1], и на эту тему существует много научных публикаций последних лет [2,3,4], существует необходимость разработки инженерного подхода к расчету и моделированию ЛУМ, построенных по этому принципу, учитывая его специфические особенности.

ЛУМ, построенный по методу У. Догерти (см. рис. 1) основан на совместной работе на общую нагрузку двух усилительных приборов (основного и дополнительного «пикового»), работающих в принципиально разных режимах. Основной усилительный прибор работает в режиме класса АВ, а «пиковый» – в режиме класса С, и включается только тогда, когда амплитуда усиливаемого радиосигнала превысит половину от своего максимального значения $U_{\text{пик}}$, то есть, при пиковых значениях огибающей. При этом, если «пиковый» усилительный прибор непосредственно подключен к нагрузке (ко входу выходной фильтрующей системы передатчика), то основной усилительный прибор подключается к ней через специальный инвертирующий четырехполосник. Вносимый им фазовый сдвиг компенсируется аналогичным инвертирующим четырехполосником, включаемым на вход «инверсного» усилительного прибора.

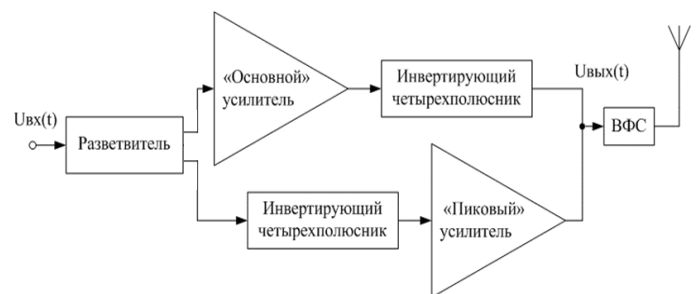


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ЛУМ на основе метода У. Догерти

Когда амплитуда усиливаемого радиосигнала не превышает половины от пикового значения $0,5U_{\text{пик}}$, основной усилительный прибор работает в недонапряженном режиме класса АВ, а «пиковый» заперт большим отрицательным напряжением смещения. При достижении амплитудой величины строго $0,5U_{\text{пик}}$, режим работы основного усилительного прибора становится граничным, а его эквивалентная нагрузка, благодаря действию инвертирующего четырехполосника, в четыре раза превышает по величине общую нагрузку ЛУМ, т.е. равна $4R_{\text{н}}$. В общую нагрузку, при этом отдается мощность, равная четверти от максимального значения. При превышении входной амплитудой величины $0,5U_{\text{пик}}$, включается «пиковый» усилительный прибор, за счет совместной работы которого с основным усилительным прибором через инвертирующий четырехполосник, эквивалентная нагрузка основного усилительного прибора начинает снижаться (по мере дальнейшего роста входной амплитуды), что препятствует его переходу в перенапряженный режим и росту нелинейных искажений.

В результате, в диапазоне изменений входной амплитуды от $0,5U_{\text{пик}}$ до $U_{\text{пик}}$, основной усилительный прибор работа-

ет в граничном режиме класса АВ, а «пиковый» - в недонапряженном режиме класса С. Наконец, в пиковой точке, когда входная амплитуда равна $U_{\text{пик}}$, оба усилительных прибора работают в граничном режиме, отдавая в общую нагрузку равную полезную мощность, составляющую половину от максимального значения. Эквивалентные нагрузки для каждого из усилительных приборов при этом составляют $2R_{\text{н}}$.

Для обеспечения требуемых режимов работы основного и «пикового» усилительных приборов, кроме включения в выходную цепь ЛУМ инвертирующего четырехполюсника, необходимо обеспечить для них разные напряжения смещения (что обеспечивается отдельными источниками смещения) и разные амплитуды напряжений возбуждения (что обеспечивается специальным разделительным устройством на входе ЛУМ, как показано на рис. 1).

На рисунке 2 [5] приведены осциллограммы входных напряжений и выходных токов основного (при работе в классе В) и «пикового» усилительных приборов (полевых транзисторов), для случая работы в точке пикового значения входной амплитуды. На рис. 3 [5] приведен пример принципиальной схемы реализации ЛУМ на основе метода У. Догерти на полевых транзисторах с резонансной нагрузкой. Здесь выходной инвертирующий четырехполюсник выполнен на основе П-цепочки ФНЧ-типа. При этом, для компенсации вносимого фазового сдвига, может быть установлена как П-цепочка ФВЧ-типа по входу основного усилительного прибора (вариант а), так и П-цепочка ФНЧ-типа по входу «пикового» усилительного прибора (вариант б). В качестве входного разветвителя включен параллельный колебательный контур с емкостным делителем, обеспечивающий разные напряжения возбуждения основного и «пикового» приборов.

Электрический расчет ЛУМ, построенного на основе метода У. Догерти нужно проводить отдельно для основного и «пикового» усилительных приборов. Для основного усилительного прибора расчет режима ведут для двух значений амплитуды напряжения возбуждения, равных $0,5U_{\text{пик}}$ и $U_{\text{пик}}$, а для «пикового» усилительного прибора расчет ведут только для точки $U_{\text{пик}}$. В расчет закладывается, что пиковой точке каждый из двух приборов отдает в нагрузку мощность, равную половине от максимальной.

Особенностью режима работы основного усилительного прибора является выбор угла отсечки несколько превышающим 90 градусов, что соответствует режиму класса АВ и определяется требованиями к линейности ЛУМ. Расчет ведется из условия, что в пиковой точке он отдает половину максимальной мощности ЛУМ на эквивалентную нагрузку, в два раза превышающую сопротивление нагрузки всего ЛУМ. Также в расчет закладывается, что в точке $0,5U_{\text{пик}}$ основной усилительный прибор отдает полезную мощность, составляющую четверть от максимальной мощности ЛУМ на эквивалентную нагрузку, превышающую нагрузочное сопротивление всего ЛУМ в четыре раза. Как в пиковой точке, так и в точке $0,5U_{\text{пик}}$ основной усилительный прибор работает в режиме, близком к граничному. «Пиковый» усилительный прибор в пиковой точке обеспечивает работу в режиме, близком к граничному, при угле отсечки равном 60 градусов. При этом, расчет ведется из условия, что он отдает половину максимальной мощности ЛУМ в эквивалентную нагрузку, в два раза превышающую сопротивление нагрузки всего ЛУМ, как и основной прибор.

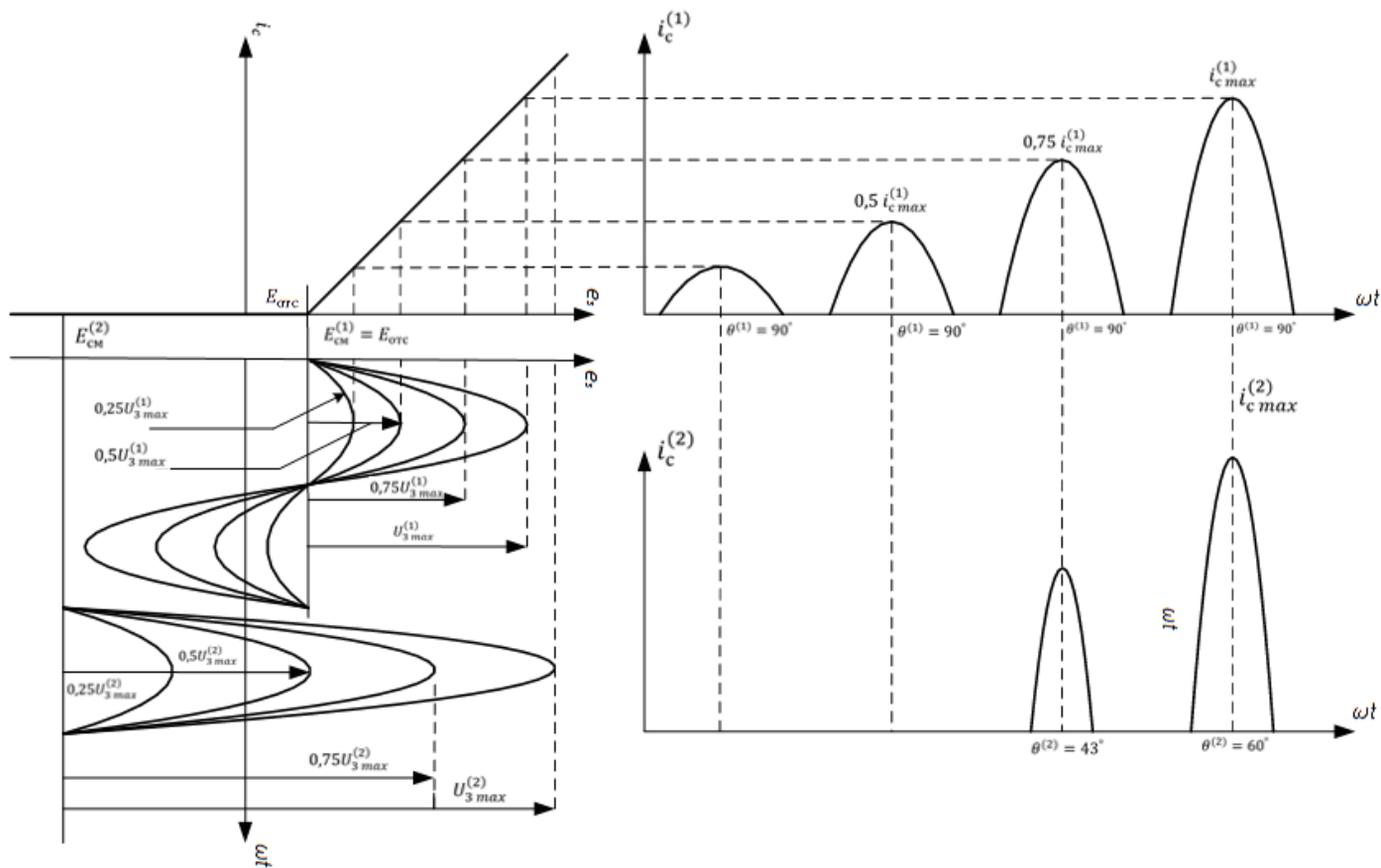


Рис. 2. Осциллограммы входных напряжений и выходных токов основного и «пикового» усилительных приборов

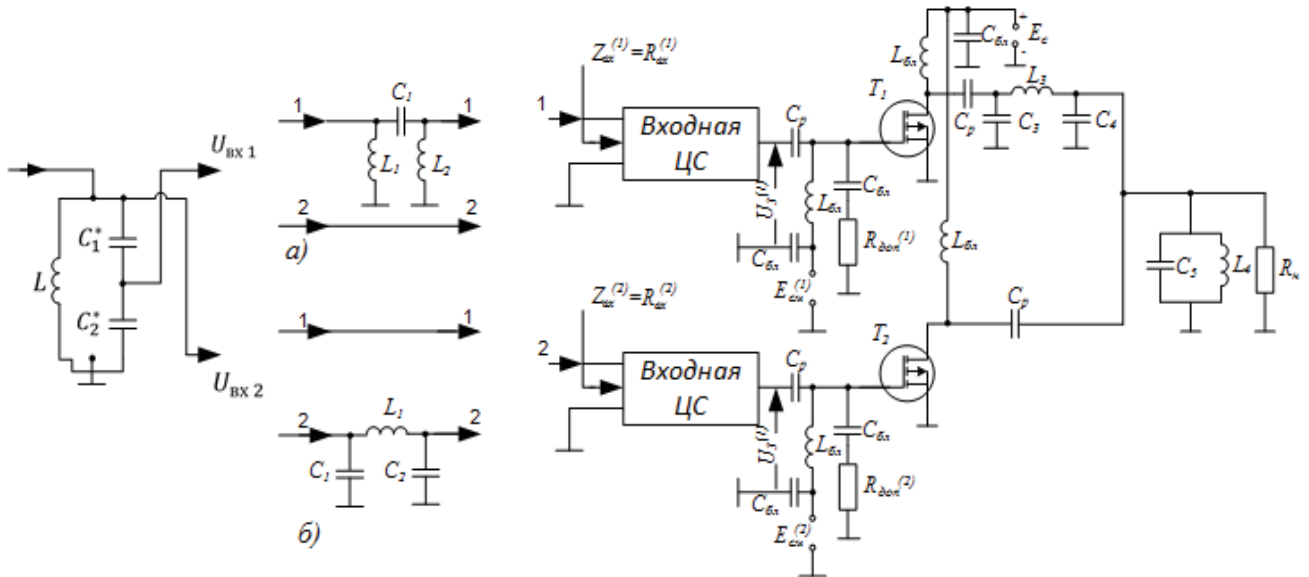


Рис. 3. Принципиальная схема ЛУМ, построенного по методу У. Догерти, на полевых транзисторах с резонансной нагрузкой

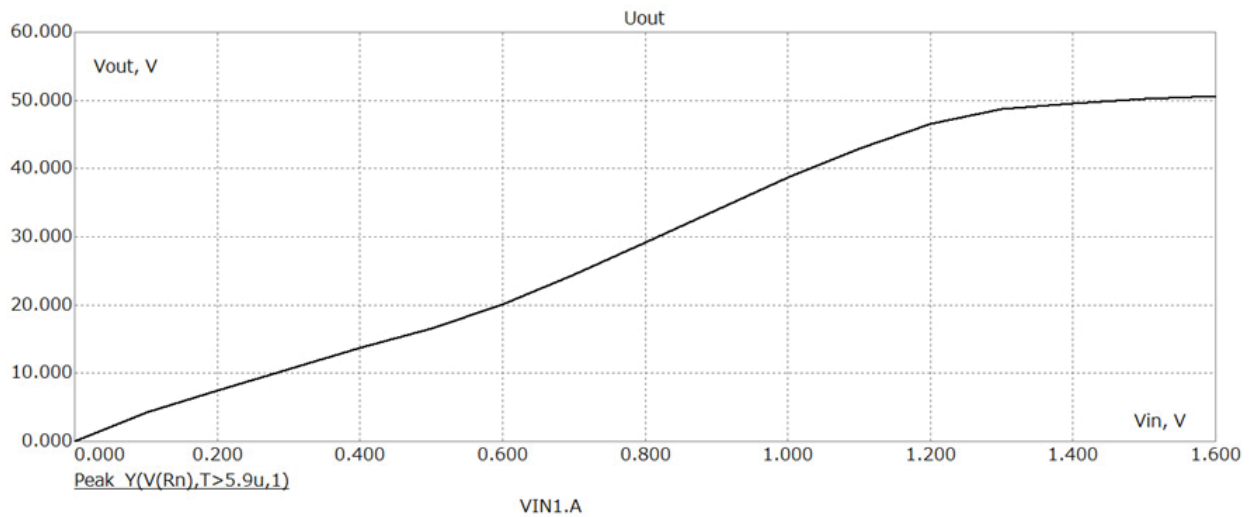


Рис. 4. Амплитудная характеристика компьютерной модели ЛУМ

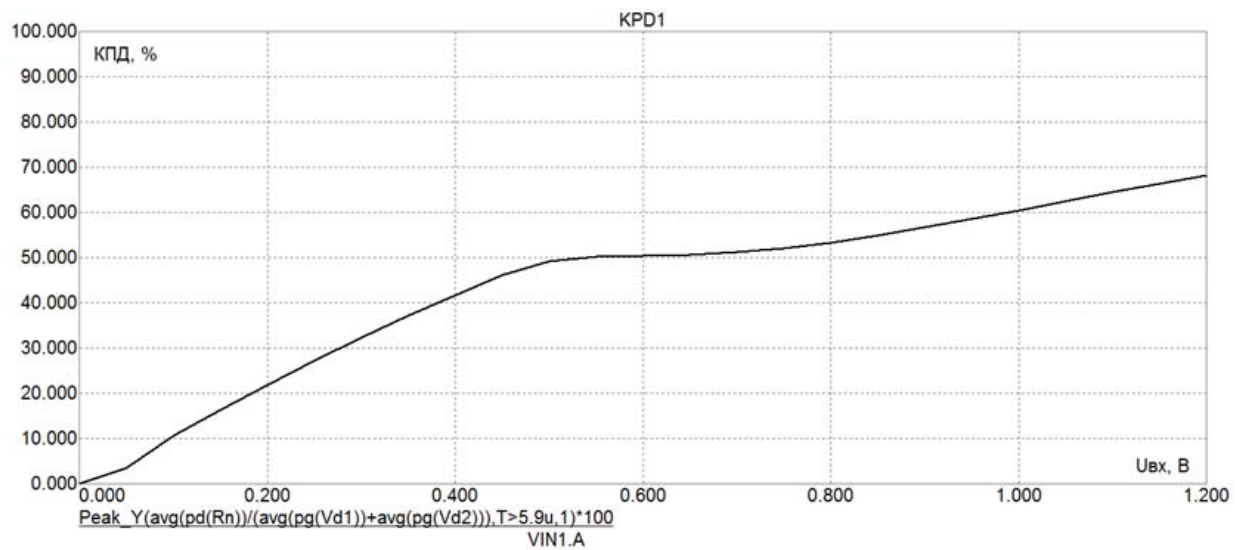


Рис. 5. Зависимость КПД ЛУМ от амплитуды входного напряжения

По результатам проведенного (на основе вышеизложенного подхода) теоретического расчета, в студенческой версии системы схемотехнического моделирования «Micro-Cap X» была построена компьютерная модель ЛУМ, построенного на основе метода У. Догерти, на базе балансного полевого транзистора типа BLF278 при рабочей частоте 100 МГц. По результатам моделирования была построена амплитудная характеристика такого ЛУМ, показанная на рис. 4., где виден характерный для схемы У. Догерти излом в области $0,5U_{\text{пик}}$, а также зависимость КПД от амплитуды напряжения на входе (см. рис. 5).

Из графика на рис. 5 следует, что КПД в точке $0,5U_{\text{пик}}$, по сравнению с точкой $U_{\text{пик}}$, оказывается ниже, что связано с несовершенством моделирования. При этом, теоретический КПД схемы У. Догерти, показанный сплошной линией на рис. 6 [6, 7], должен достигать максимального значения, как в точке $U_{\text{пик}}$, так и в точке $0,5U_{\text{пик}}$, и существенно превышает КПД обычного ЛУМ класса В (показанный на рис. 6. штриховой линией). Еще большего увеличения КПД (см. штрих-пунктирную линию на рис. 6) можно добиться, применяя в ЛУМ по схеме У. Догерти автоматическую регулировку режима (АРР) по питанию [3, 6, 7].

Литература

1. *Doherty W.H.* A New High Efficiency Power Amplifier for Modulated Waves / IRE Proc., Vol. 24, September 1936, pp. 1163-1182.
2. *Grebennikov A.* RF and Microwave Power Amplifier Design, New York: McGraw Hill, 2005.
3. *Шахгильдян В.В., Иванюшкин Р.Ю.* Методы повышения энергетической эффективности линейных усилителей мощности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5, № 9. С. 143-145.
4. *Martin Horspool.* DVB-T2 Technology and New Products. Gate-Air Mason, Ohio, USA, July 2014.
5. *Дингес С.И., Иванюшкин Р.Ю., Козырев В.Б.* и др. Радиопередающие устройства: учебник для вузов. Рукопись (готовится к изданию), 2018.
6. *Иванюшкин Р.Ю.* О целесообразности применения автоматической регулировки режима по питанию в линейном усилителе мощности, построенном по методу У. Догерти / В сборнике: Технологии информационного общества. X Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2016. С. 182-183.
7. *Разин К.О., Иванюшкин Р.Ю.* Сравнение способов построения усилителей мощности передатчиков эфирного цифрового телевидения / Международная научно-техническая конференция "Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2017. 2017. Т. 3. С. 175-178.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ X-ПАРАМЕТРОВ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ В РЕЖИМЕ БОЛЬШОГО СИГНАЛА

Котов Даниил Валерьевич,
аспирант, МТУСИ, Москва, Россия,
danilkotov16@gmail.com

Иванюшкин Роман Юрьевич,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
rivanyushkin@gmail.com

Представлены результаты исследования возможности использования поведенческой модели на основе X-параметров для моделирования радиочастотных усилителей мощности в САПР ADS. Проведена генерация X-параметров из компактной модели транзистора. Представлено сравнение компактной модели транзистора, представленной производителем, с поведенческой моделью на основе X-параметров, а также результатов компьютерного моделирования каскада усиления мощности S-диапазона на основе этих двух моделей.

Ключевые слова: Усилитель мощности, нелинейный режим работы, режим большого сигнала, поведенческая модель, X-параметры.

В процессе разработки современной радиочастотной техники широко используют компьютерное моделирование, позволяющее на основе созданной модели разрабатываемых устройств, предварительно оценить ее их основные качественные и энергетические характеристики при любых возможных режимах работы. Это позволяет определять и устранять большинство ошибок недоработок разрабатываемого изделия до изготовления его опытного образца.

При анализе работы, а также при компьютерном схемотехническом моделировании различных усилительных схем, чрезвычайно важное значение имеет адекватность эквивалентной схемы и математической модели усилительных приборов. Применительно к построению эквивалентных схем по переменному току для малосигнальных устройств, усилительные приборы чаще всего удается заменять эквивалентными четырехполюсниками, описываемыми малосигнальными параметрами, такими как Y-параметры, Z-параметры, H-параметры и др. Для СВЧ-устройств, по аналогии существует система малосигнальных S-параметров, которая широко используется при их расчетах и моделировании.

В то же время, при математическом и компьютерном моделировании усилителей мощности, где на усилительные приборы воздействует большой сигнал, становится невозможным использовать малосигнальные параметры, поскольку они не учитывают нелинейностей амплитудной характеристики (АХ), а также амплитудно-фазовую конверсию (АФК), приводящую к неравномерности фазоамплитудной характеристики (ФАХ) усилителя.

Для учета этих нелинейностей приходится либо анализировать усилители мощности непосредственно на основе статических вольт-амперных (ВАХ) и вольт-фарадных (ВФХ) характеристик усилительных приборов, либо пользоваться сложными нелинейными компьютерными моделями таких приборов, создаваемыми их производителями (так называемыми компактными моделями), применительно к тем или иным программным пакетам компьютерного схемотехнического моделирования.

Однако, по ряду причин, производители радиочастотных транзисторов часто не предоставляют компактных моделей

для многих из своих устройств. Таким образом, провести компьютерное моделирование каскадов усиления мощности радиопередающего тракта в полной объеме является трудной задачей.

Относительно недавно компанией Keysight Technologies, совместно с компанией Maury Microwave был предложен [2] новый подход к компьютерному моделированию усилителей мощности, учитывающий проявления нелинейных эффектов в усилительном приборе, при его работе на большом сигнале. При этом, как и для случая малосигнальных моделей, усилительный прибор описывается системой, так называемых X-параметров.

В отличие от малосигнальных параметров, X-параметры учитывают нелинейность АХ и неравномерность ФАХ при работе усилительного прибора на большом сигнале. Измеренные X-параметры мощных транзисторов предлагается использовать для компьютерного моделирования каскадов усиления мощности (УМ) в САПР Keysight Advanced Design System (ADS), для чего они записываются в файл формата, хпр, который импортируется в этот пакет компьютерного схемотехнического моделирования.

Система X-параметров учитывает, что воздействие сигнала с большим уровнем мощности на входе УМ обычно приводит к заходу усилительного прибора (транзистора) в нелинейные области его ВАХ и ВФХ. В результате таких нелинейных режимов работы, спектр выходного сигнала обогащается, как высшими гармониками усиливаемого радиосигнала, так и различными комбинационными составляющими от его компонент.

При этом, возникают такие проявления нелинейности, как искажение формы выходного сигнала и закона его амплитудной модуляции, паразитная фазовая модуляция выходного сигнала (возникающая в следствие АФК), а также уширение и подрост выходного спектра. Создание поведенческих моделей каскадов усиления мощности на основе X-параметров строится на основе анализа амплитудных фазовых спектров входного и выходного сигнала при разных уровнях полезной мощности.

Имеют место два способа создания поведенческих моделей на основе X-параметров:

- Измерение X-параметров с использованием высокотехнологичного измерительного оборудования компаний Keysight Technologies и Maury Microwave [3]. Основным прибором для измерения X-параметров является векторный анализатор цепей PNA-X [4]. Данный способ позволяет получить поведенческую модель опытного образца устройства, которая будет с максимальной точностью описывать поведение измеряемого образца. Поведенческая модель представляет собой файл формата *.xpr

- Генерирование модели в САПР ADS, позволяющее получить поведенческую модель на основе X-параметров любого разрабатываемого устройства. Данная модель также представляет собой файл формата *.xpr.

Проведено исследование возможности использования поведенческой модели транзистора BLS6G2735L-30

S-диапазона на основе X-параметров в моделировании СВЧ усилителя мощности и приведены сравнительные характеристики усилителя мощности, полученные, как на основе компактной модели транзистора, так и на основе его поведенческой модели. Формирование поведенческой модели осуществлялось путем генерации X-параметров из компактной модели.

На первом этапе исследования проведено моделирование СВЧ усилителя мощности на основе компактной модели LDMOS-транзистора BLS6G2735L-30 S-диапазона [5], предоставленной компанией Ampleon. Рабочий диапазон частот усилителя 2,7-3,5 ГГц. Схема модели усилителя в САПР ADS изображена на рис. 1.

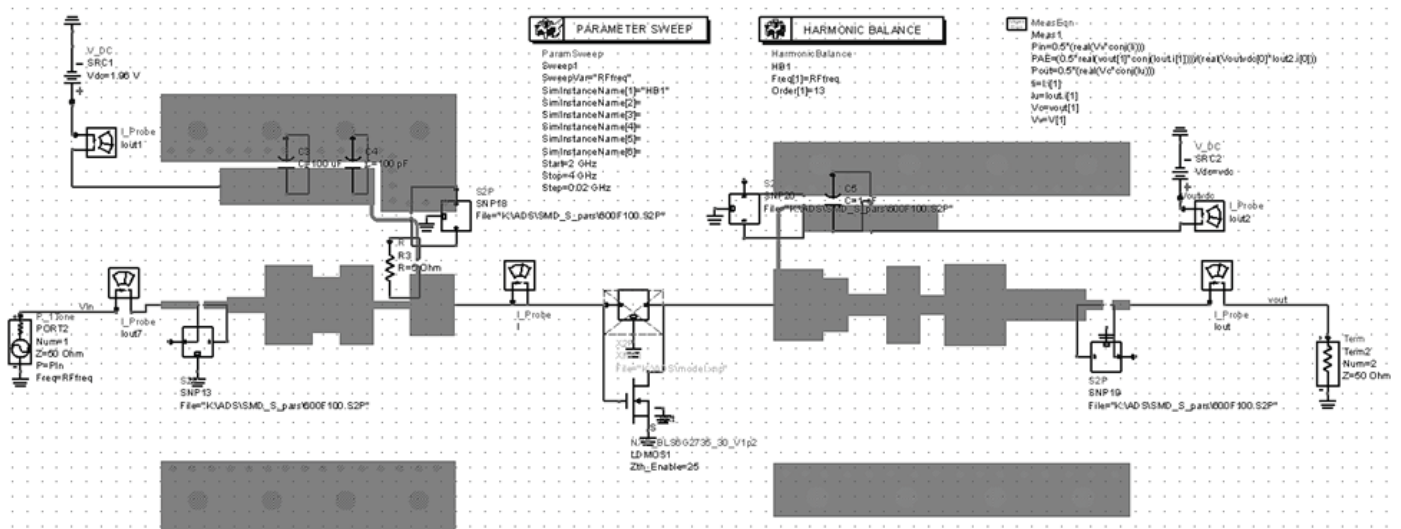


Рис. 1. Модель УМ в САПР ADS

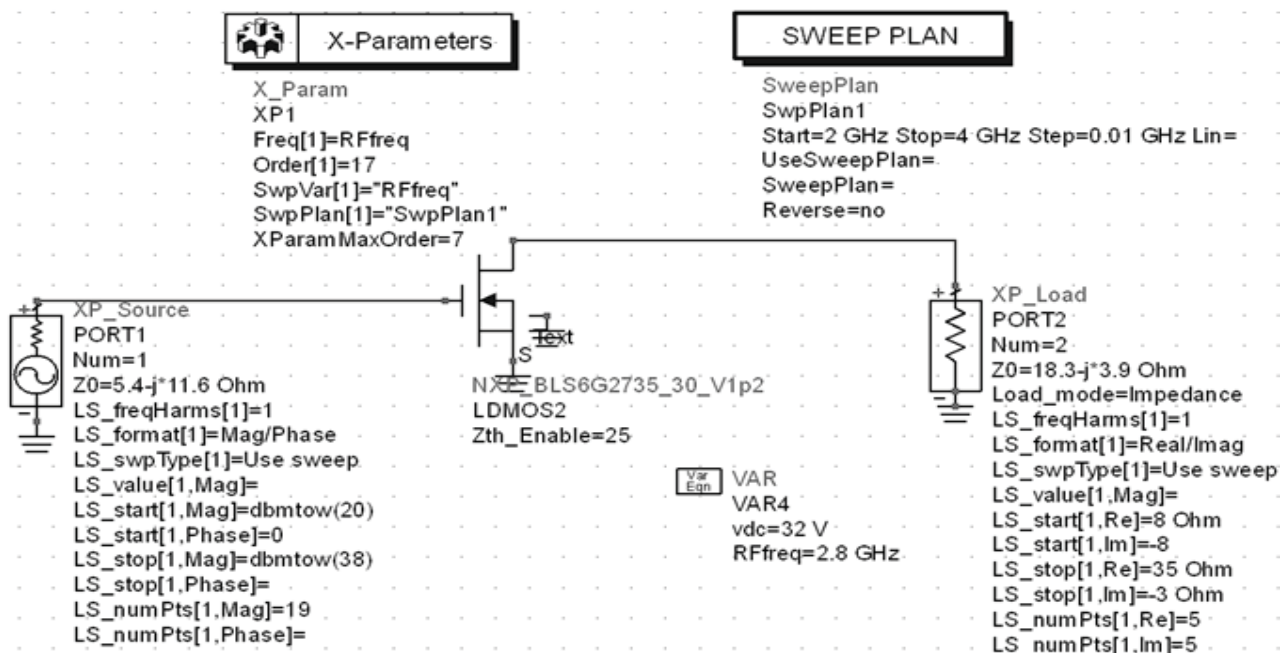


Рис. 2. Схема генерации файла X-параметров в САПР ADS

На втором этапе проведена генерация файла X-параметров из компактной модели транзистора, на основе которой проведено моделирование исследуемого УМ. Схема генерации X-параметров изображена на рис. 2.

Активный элемент задан компактной моделью транзистора BLS6G2735L-30. К данной модели подключены источник сигнала XP_Source и нагрузка XP_Load. Для параметрического источника сигнала XP_Source заданы следующие параметры:

- Импеданс: $5.4-j*11.6$ на частоте 3,1 ГГц, который выбран из спецификации транзистора.
- Диапазон входной мощности: от 20 дБм до 38 дБм с шагом 1 дБм.
- Диапазон значений напряжения смещения: от 1,8 В до 2 В с шагом 0,01 В.

Для генерации X-параметров из компактной модели на требуется подключать отдельные параметрические источники напряжения смещения и питания. Их значения задаются в XP_Source и XP_Load соответственно. Отдельные параметрические источники требуются в случае генерации X-параметров из моделей УМ, для которых разработана топология включения, требующая подключить источники напряжения к определенным точкам данной топологии.

Для параметрической нагрузки XP_Load задан диапазон значений импедансов следующим образом: из спецификации транзистора выбрано значение импеданса для центральной частоты 3,1 ГГц и вокруг данного значения на диаграмме Вольперта-Смита на этой частоте формируются 20 значений импеданса нагрузки.

Диапазон частот формируется в блоке Sweep Plan и составляет от 2 до 4 ГГц с шагом 10 МГц. Таким образом, для каждого значения частоты формируются 20 значений импеданса нагрузки.

В блоке-симуляторе X-parameters задается количество гармоник, записываемых в формируемый файл. Здесь же указывается директория записи файла формата *.xpr. В процессе симуляции формируется файл X-параметров, который и является поведенческой моделью исследуемого транзистора.

На третьем этапе исследования полученная поведенческая модель импортируется в разработанную схему УМ на место компактной модели (рис. 1). На рисунке 3 изображено сравнение АЧХ УМ на основе компактной модели и поведенческой модели из X-параметров.

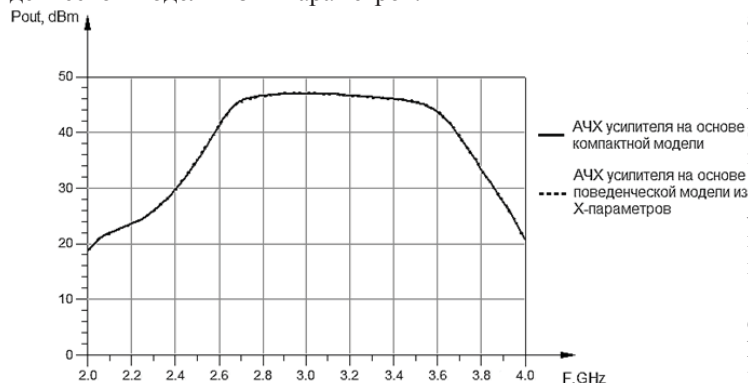


Рис. 3. АЧХ модели УМ

Из данного рисунка видно, что АЧХ двух моделей совпадают. Сравнительные характеристики частотных зависимо-

стей КПД двух моделей изображены на рис.4. Они также достаточно близки.

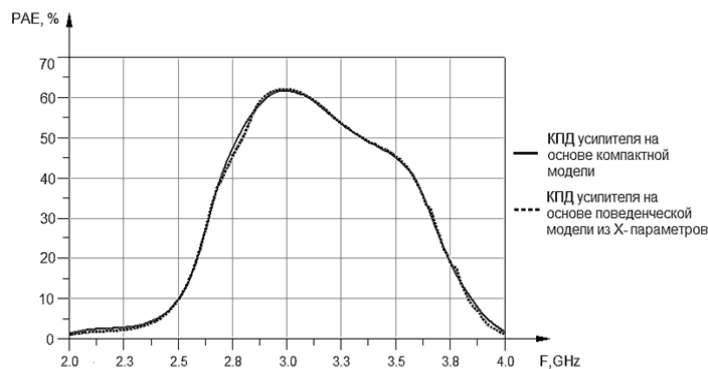


Рис. 4. Зависимость КПД УМ от частоты

Для оценки адекватности учета нелинейных свойств усилительного элемента в поведенческой модели на основе X-параметров, проводится исследование амплитудных и фазоамплитудных характеристик полученного УМ, на основе двух моделей транзистора (компактной и поведенческой).

По результатам сравнения амплитудных и фазоамплитудных характеристик двух моделей УМ, а также на основе сравнения количественных значений величин точки компрессии и точки пересечения третьего порядка, полученных в результате применения компактной и поведенческой моделей транзистора, можно будет сформулировать выводы о том, насколько поведенческая модель на основе X-параметров учитывает нелинейность ВАХ и ВФХ усилительных приборов.

Поскольку математическое формирование структур файла поведенческих моделей, полученных путем генерации в ADS и путем измерения с применением специального оборудования, одинаково, то при правильном подходе к измерениям X-параметров, можно также получить достоверную поведенческую модель измеряемого прототипа УМ.

Литература

1. Aaen P., Pla J. Wood Modeling and Characterization of RF and Microwave power FETs. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 362 p.
2. Root D.E., Horn J., Betts L., Gillese C., Verspecht J. X-parameters: the new paradigm for measurement, modeling, and design of nonlinear RF and microwave components. Microwave Engineering Europe, 2008. pp. 16-21.
3. Адоньев О.А., Котов Д.В., Плутешко А.В., Блинников А.А., Зайцев А.В., Маслов П.В. Методика измерений X-параметров мощного СВЧ-усилителя S-диапазона // Известия высших учебных заведений России «Радиоэлектроника». 2016. С. 69-71.
4. High Power Amplifier Measurements Using Agilent's Nonlinear Vector Network Analyzer. [Электронный ресурс] URL: <https://www.av.it.pt/62-PNA-X/X-tutorial.pdf> (дата обращения: 25.01.18).
5. Котов Д.В., Адоньев О.А., Блинников А.А. Методика моделирования СВЧ усилителя мощности S-диапазона в САПР ADS, Международная научно-техническая конференция «INTERMATIC», 2017. С. 1064-1067.

УЛУЧШЕНИЕ ДИАПАЗОННЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ МАЛЫХ АНТЕНН ЗА СЧЕТ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ

Кочержевский Вадим Георгиевич,

ст. преподаватель кафедры ТЭДиА, МТУСИ, Москва Россия,

tedia@mtuci.ru

Гаранкина Наталья Ильинична,

инженер лаборатории кафедры ТЭДиА, МТУСИ, Москва, Россия,

tedia@mtuci.ru

Известны [1] трудности, связанные с согласованием электрически малых антенн (ЭМА), т.е. антенн, чей физический размер много меньше длины волны, на которой работает антенна. Классическим примером таких антенн являются “короткий” электрический диполь (монополь) и рамочная антенна «малого» радиуса [2].

Обычно используемый так называемый метод широкополосного согласования [3] требует резонансного типа поведения входного сопротивления антенны в окрестности заданной центральной частоты f_0 рабочего диапазона, что обеспечивается либо подключением ко входу антенны сосредоточенной ёмкости/индуктивности, либо трансформирующего отрезка линии передачи определённой длины. При этом

предполагают, что $\frac{dR}{df}=0$ при $f = f_0$, хотя известно [4], что на

самом деле сопротивление излучения (следовательно, и действительная часть входного сопротивления) короткого электрического диполя зависит от частоты квадратично, а в случае рамки – пропорционально 4ой степени. Это обстоятельство в лучшем случае приводит к сильному завышению оценки ожидаемой ширины полосы.

Вторым шагом используемого метода, который и обеспечивает сравнительную широкополосность согласования, является добавление колебательно контура на сосредоточенных элементах или на основе отрезков длинных линий с противоположным типом резонансного поведения.

Поскольку в ближнем поле диполя преобладает запасённая электрическая энергия и основным элементом эквивалентной схемы его входного сопротивления является ёмкость, тогда как для рамочной антенны превалирует магнитная запасённая энергия и, соответственно, индуктивность, то вполне естественно попытаться свести к минимуму использование внешних реактивных согласующих элементов, заменяя их собственными реактивностями рассматриваемых типов излучателей. При этом возможны два подхода:

1. Один из излучателей рассматривается как активный, тогда как второй, компенсирующий избыточную реактивность первого, пассивен и связан с активным через незначительный пространственный промежуток.

2. Оба типа излучателей объединяются в составной конструкции и связаны между собой кондуктивно.

В предлагаемой работе исследовались особенности применения обоих подходов. Следует отметить, что похожие вопросы с других позиций рассматривались в работе [5].

Рассмотрим сначала пассивную электрическую рамку как согласующий элемент для активного электрического диполя, и вопрос о выборе размера её оптимального радиуса.

Как известно, даже на очень низких частотах, кроме индуктивности одиночная рамка, схематично изображенная на рис. 1 обладает и некоторой незначительной собственной ёмкостью [5].

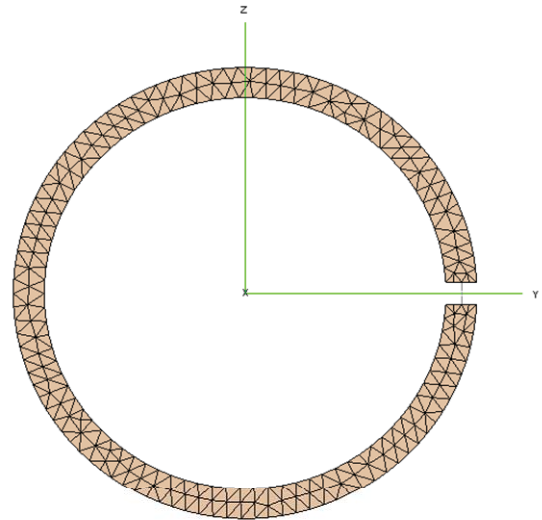


Рис. 1

Поэтому в частотном поведении входного сопротивления одиночной рамки, выполненной из идеального проводника, при возрастании частоты от нуля первым появляется резонанс параллельного типа с очень высокой добротностью [6], так как “потерь” на излучение ещё практически нет. На рис. 2 а.

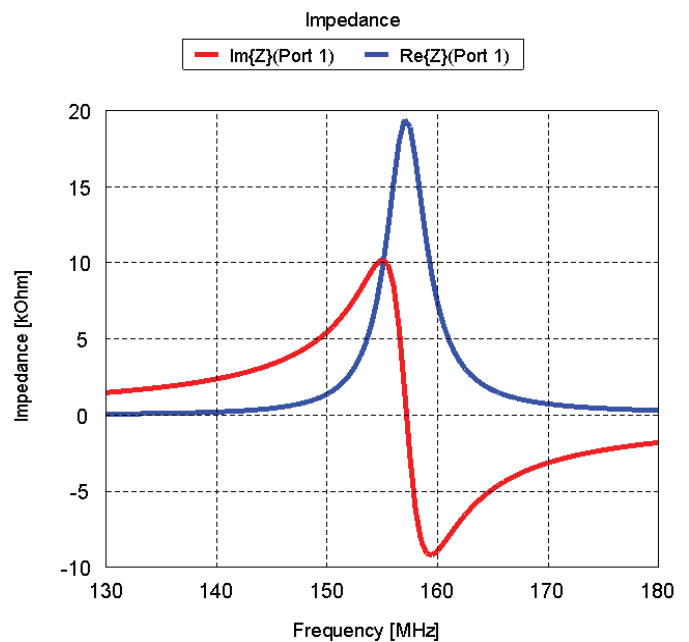


Рис. 2а

Показаны расчётные кривые действительной и мнимой частей входного импеданса плоскостной рамки в окрестности этого типа резонанса. Внешний и внутренний радиусы рамки равны 0,15 и 0,13 м соответственно. Следующий тип резонанса появляется гораздо позже. Он соответствует последовательному резонансу, возникающему на сравнительно высокой частоте, когда рамка уже хорошо излучает и вдоль периметра рамки укладывается одна длины волны тока. Естественно, такую рамку уже нельзя рассматривать как малую. Отрезок расчётной кривой на диаграмме Смита (рис. 2б) соответствует диапазону частот 200-400 МГц, возрастание частоты идет по часовой стрелке.

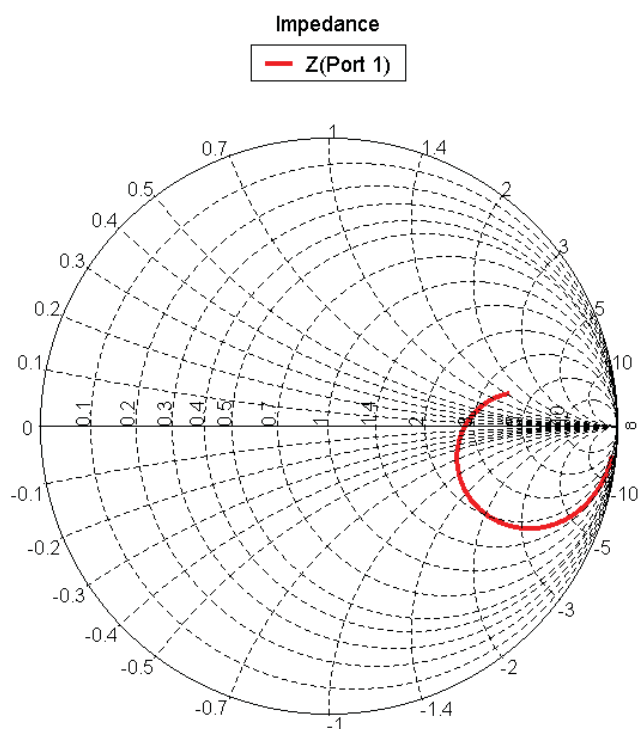


Рис. 2б

Входное сопротивление рамки с внешним радиусом 0,15 м и внутренним радиусом 0,13 м на диаграмме Смита в диапазоне 200-400 МГц

Необходимо напомнить, что рамка, как настроечный инструмент для активного электрического диполя (рис. 3а,б), должна восполнять недостаточный для появления резонанса запас его собственной магнитной энергии.

Малая рамка в области частот ниже первого резонанса этого не делает. Направление наведенного тока в пассивной рамке таково, что её собственное магнитное поле противоположно по направлению магнитному полю диполя. Среда из малых рамок является диамагнетиком. «Правильное» поведение малой рамки возникает лишь в узкой полосе сразу после наступления первого (т.е. параллельного) резонанса. Поскольку теперь рамка уже не является одиночной, то добротность этого резонанса существенно уменьшается из-за совместного излучения рамки и диполя. Как показали результаты численного моделирования, такое применение рамочных антенн позволяет укоротить длину плеча симметричного электрического излучателя, работающего в режиме последовательного резонанса с одновременным расширением рабочей полосы частот на 25-30 %.

Использование рамок, работающих в области последовательного резонанса также возможно, например, в сочетании с электрическим вибратором, работающим на частоте своего параллельного резонанса. При этом уменьшаются характерные размеры, как вибратора, так и рамки и одновременно расширяется рабочая полоса частот.

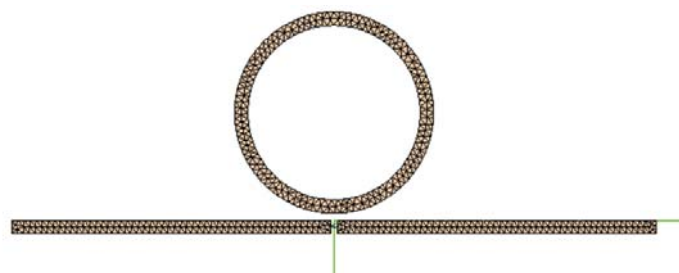


Рис.3а

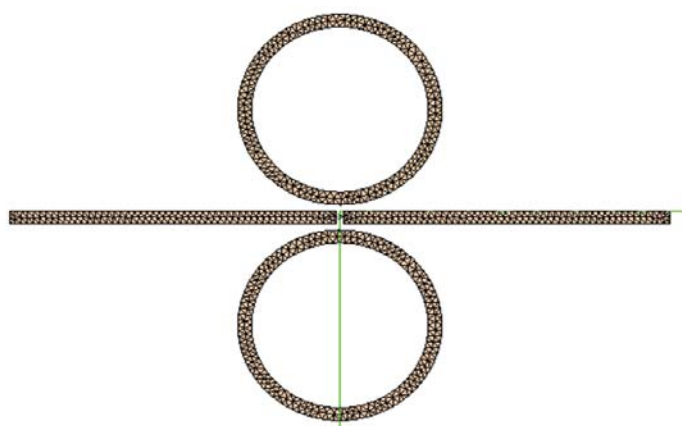


Рис. 3б

Чтобы избежать ограничений на возможные размеры рамок, связанных с диамагнитным эффектом, можно использовать составную конструкцию, изображённую на рис. 4. По очевидным причинам такой излучатель называют омега-излучателем

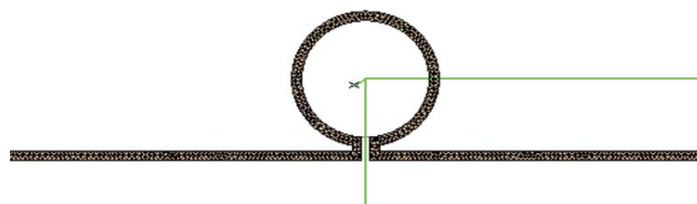


Рис. 4

Здесь между диполем и рамкой имеется кондуктивная связь так, что и диполь, и рамка должны рассматриваться как активные [7]. Этим устраняется диамагнитный эффект малых пассивных рамок.

Одиночный омега-излучатель имеет резонансное поведение входного сопротивления, причём, очевидно, тем более узкополосное, чем меньше его электрические размеры. Тем не менее, его полоса значительно шире, чем у диполя с такой же длиной плеча, настроенного в резонанс с помощью дополнительной внешней индуктивности. Это объясняется увеличением сопротивления излучения составной конструк-

ции. Значительное дополнительное расширение полосы достигается использованием системы из двух близко расположенных активного и пассивного омега-излучателей (рис. 5).

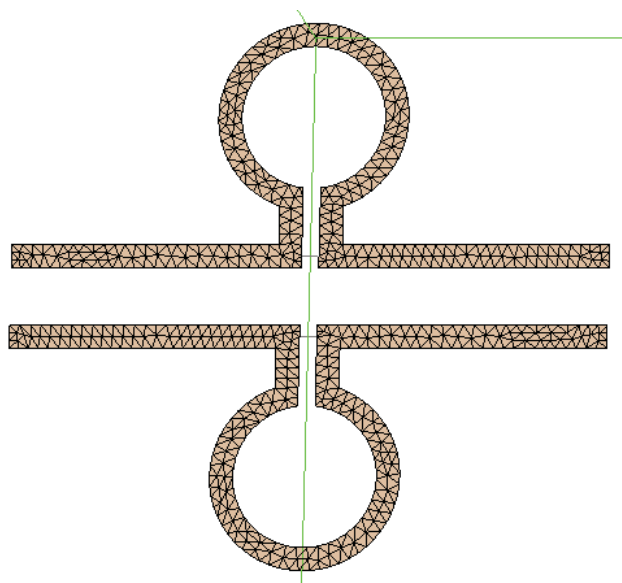


Рис. 5

Литература

1. Слюсар В.И. 60 лет теории электрически малых антенн. Некоторые итоги // Электроника, технология, бизнес 2006. № 7. С. 10-19.
2. Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 491 с.
3. Сазонов Д.М. Устройства СВЧ и антенны. М.: Высшая школа, 1988. 432 с.
4. Щелкунов С., Фриис Г. Антенны. М.: Сов. радио, 1955. 287 с.
5. Величенко В.П., Буянов Ю.И. и др. О возможности расширения полосы пропускания малогабаритных излучателей // Радиотехника и электроника. Т. 44. №3. 1999. С. 178-184.
6. Гайнутдинов Т.А., Гаранкина Н.И., Кочержевский В.Г. Укороченный несимметричный петлевой вибратор // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. № 8. 2016. С. 9-17.
7. Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г. Особенности расчета взаимных импедансов произвольных антенн по их диаграммам направленности // Антенны. 1998. № 1. С. 9-14.

ГЕНЕРАТОРЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА, РЕАЛИЗОВАННОЙ НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ ГАЛУА

Зуев Максим Юрьевич,

*Кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств,
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, г. Казань, Россия,
maxzv93@yandex.ru*

Логинов Сергей сергеевич,

*Кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств,
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, г. Казань, Россия,
sslogin@mail.ru*

Рассмотрен новый класс генераторов псевдослучайных сигналов, построенных на основе модифицированной системы Лоренца, реализованной над конечным полем Галуа. Проведен анализ основных статистических характеристик предложенных формирователей. Получены оценки интервалов корреляции сигналов, а также гистограммы вероятностей формируемых чисел.

Ключевые слова: *формирователи псевдослучайных сигналов, система Лоренца, статистические характеристики.*

Введение

Динамические системы с хаотическим поведением используются в радиотехнике и телекоммуникациях как для описания радиоэлектронных схем [1], так и в качестве новых носителей информации [2]. Такие системы обладают сложным поведением и большим многообразием режимов, что делает их применение в качестве носителей информации особенно актуальным.

В настоящее время достаточно широко исследованы целые классы динамических систем. Некоторые из них, например, система Лоренца, были получены в областях далеких от радиотехники [3], а затем были реализованы на элементах цифровой и аналоговой электроники, другие, например системы Чуа, Дмитриева-Кислова и Анищенко-Астахова были получены изначально для описания динамики радиоэлектронных схем [4]. Аналоговые реализации формирователей сигналов на основе нелинейных динамических систем обладают низкой воспроизводимостью статистических характеристик сигналов ввиду невозможности точного воссоздания одинаковых начальных условий в различных схемах. Поэтому непрерывно совершенствуются цифровые реализации радиоэлектронных динамических систем на основе использования, например, квазирезонансных воздействий на параметры систем и параметры временной сетки [5-7].

Новые формирователи псевдослучайных сигналов на основе модифицированной системы Лоренца

В процессе практической реализации систем на элементах программируемой логики важным является использование более простых форматов представления данных с наименьшим возможным числом разрядов. Это могут быть форматы с фиксированной запятой, а также целые числа. В последнем случае система, представленная вместо арифметики с плавающей запятой в целочисленном формате, полностью теряет связь с исходной динамической системой. Фактически на основе некоторой первоначальной системы формируется новая система, в которой все операции выполняются над числами в полях Галуа соответствующей размерности. В качестве исходной динамической системы, которая подвергается

модификации, в работе выбрана динамическая система Лоренца, широко исследованная в отечественной и зарубежной литературе [3]

$$\begin{cases} X_{i+1} = X_i + t \times (\sigma \times X_i + \sigma \times Y_i), \\ Y_{i+1} = Y_i + t \times (r \times X_i + Y_i + X_i \times Z_i), \\ Z_{i+1} = Z_i + t \times (b \times Z_i + X_i \times Y_i); \end{cases} \quad (1)$$

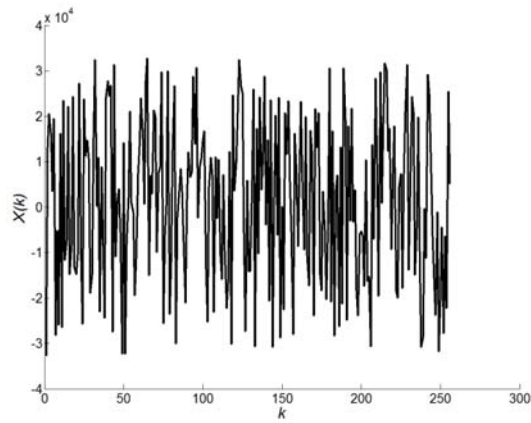
где t – шаг интегрирования; r, σ, b – параметры системы, а все операции в уравнениях производятся над полем Галуа.

Автокорреляционные функции псевдослучайных сигналов

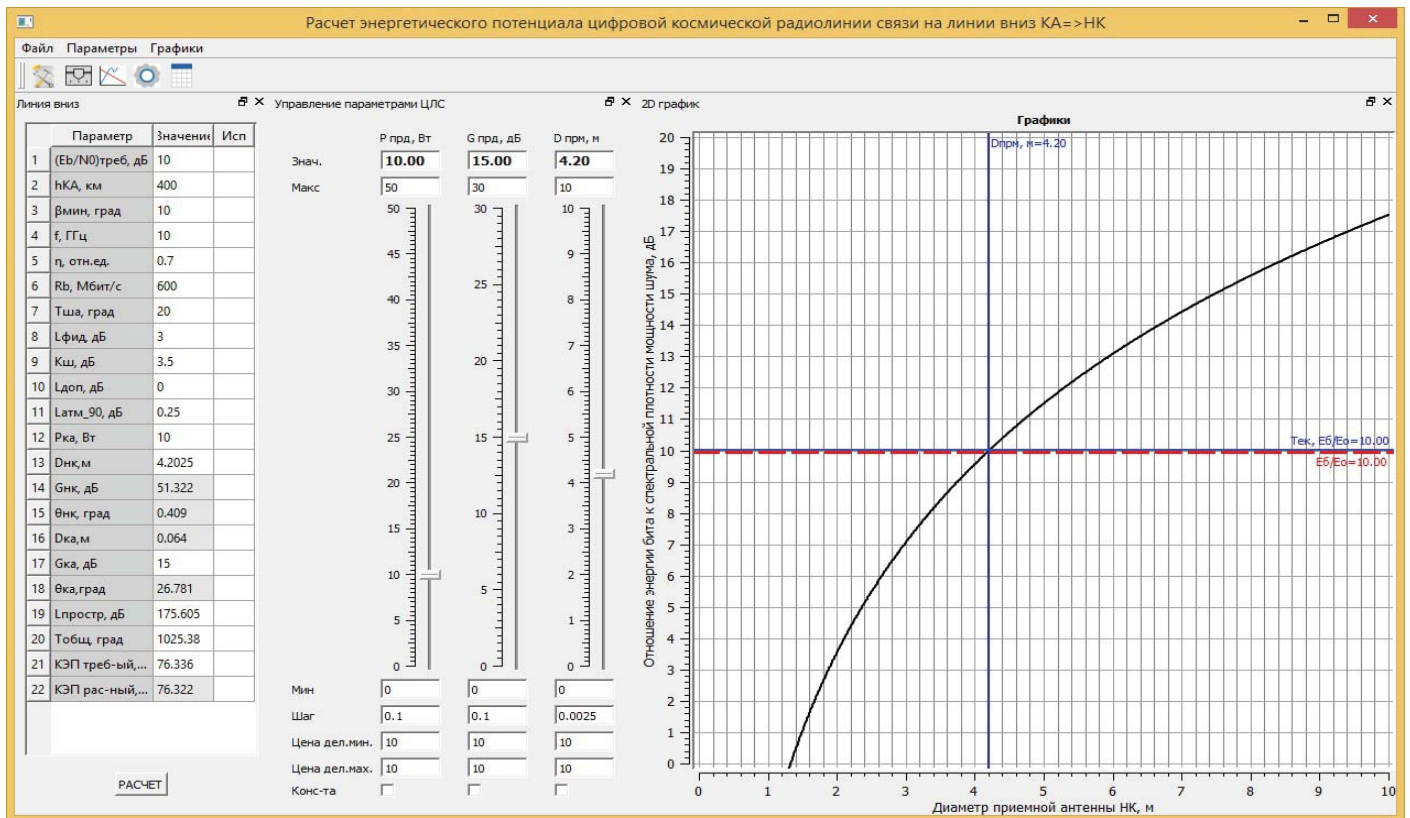
Целью данной работы является реализация на основе динамической системы Лоренца новых цифровых формирователей псевдослучайных сигналов и анализ их основных статистических характеристик.

Исследуемая система была получена из исходной системы Лоренца путем представления всех используемых при численном интегрировании системы методом Эйлера чисел в формате unsigned integer 16 и замене арифметических операций на операции над полем Галуа $GF(2^{16})$. В работе анализируются базовые статистические характеристики формирователей псевдослучайных сигналов – автокорреляционные функции и гистограммы чисел.

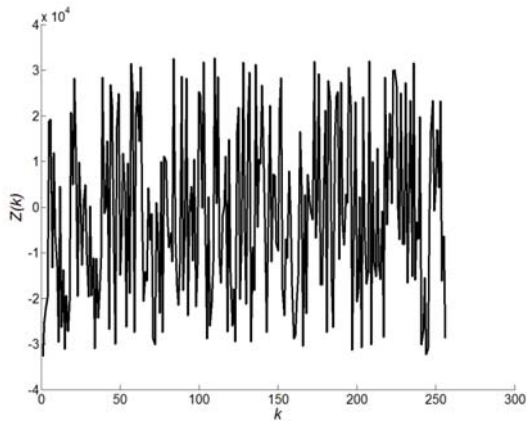
На рисунке 1 приведены временные реализации X, Y, Z модифицированной динамической системы и фазовый портрет.



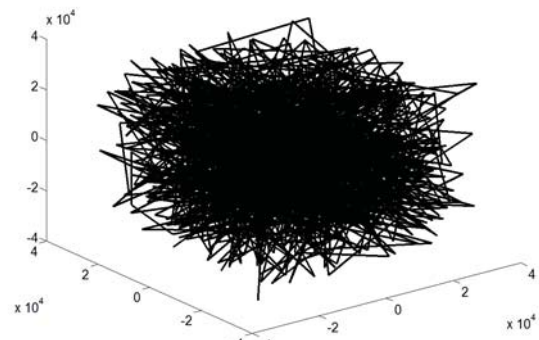
а



б)



в)



г)

Рис. 1. Реализации сигналов X,Y,Z системы (1) и фазовый портрет

Из рисунка 1 видно, что полученная динамическая система формирует сложные шумоподобные псевдослучайные сигналы. Фазовый портрет системы достаточно равномерно заполнен фазовыми траекториями, что подтверждает вывод о сложности режима системы (1). Необходимо отметить, что полученные режимы работы системы (1), как и следовало ожидать, имеют мало общего с исходной динамической системой Лоренца.

Автокорреляционные функции сигналов являются характеристиками, показывающими наличие внутренних связей в сигналах и имеют первостепенное значение при практическом их применении. Поэтому в работе оценены аperiodические автокорреляционные функции сигналов модифицированной системы Лоренца. На рисунке 2 приведена корреляционная функция сигнала X .

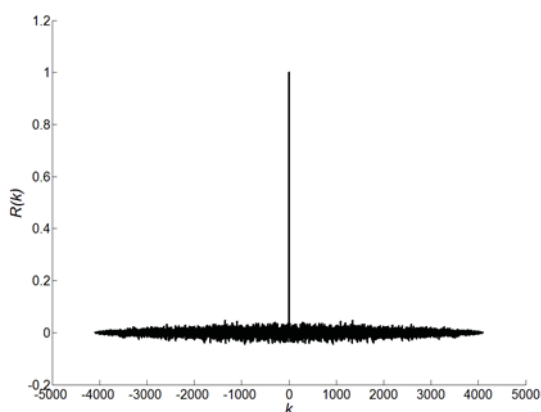


Рис. 2. Автокорреляционная функция сигнала системы (1)

Из рисунка 2 видно, что полученные реализации сигналов характеризуются достаточно низким уровнем боковых лепестков нормированной автокорреляционной функции, который составляет не более 0,07 для длины реализаций сигналов в 4096 элементов.

Гистограммы являются важной характеристикой формирователей псевдослучайных сигналов. Они позволяют оценить вероятность появления чисел на выходе формирователя.

Гистограммы для сигнала X модифицированной системы Лоренца приведена на рис. 3.

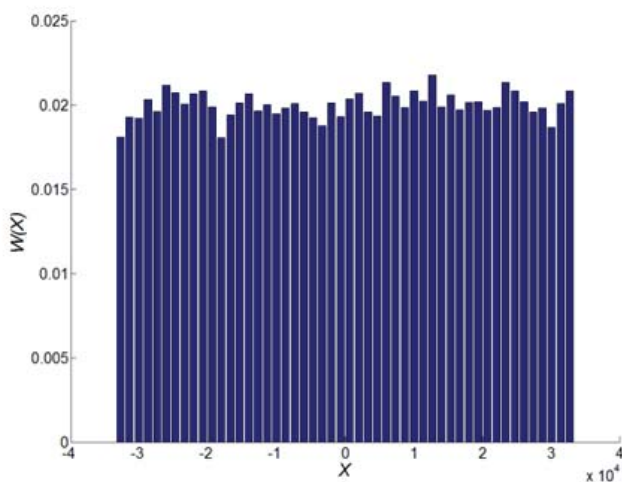


Рис. 3. Гистограмма реализации сигнала X системы (1)

При формировании псевдослучайных чисел на основе нелинейных систем особенно остро встает вопрос периода их повторения в отличие от линейных систем на основе регистров сдвига и сумматоров по модулю. Выполнены предварительные оценки минимального периода совпадения всех трех координат системы (1) при вариации начальных условий. В общей сложности использовано 1000 вариантов сочетаний начальных условий системы (1). При всех использованных начальных условиях режим системы (1) оставался стохастическим, повторения всех трех координат составляет более 107 точек. Дальнейшие работы по анализу формирователей на основе системы (1) должны быть сосредоточены на расширении анализе формируемых последовательностей на повторяемость различных серий, взаимных корреляций, погрешностей по равномерности.

Системы типа (1) могут быть реализованы с использованием относительно простых ПЛИС и сигнальных процессоров благодаря использованию арифметики над полем Галуа размерности не только рассмотренной в данной работе, но и произвольной размерности. Одним из возможных применений подобных трехмерных систем может быть использование их при криптографической обработке изображений.

Заключение

Предложены новые формирователи псевдослучайных сигналов на основе модифицированной системы Лоренца, реализованной над полем Галуа.

Проведенный анализ временных реализаций, фазовых портретов и автокорреляционных функций сигналов показал, что модифицированная система Лоренца формирует псевдослучайные сигналы с уровнем боковых лепестков автокорреляционных функций, сопоставимым с соответствующим уровнем для M -последовательностей.

Распределения вероятностей чисел на основе модифицированной системы Лоренца по трем близки к равномерным.

Литература

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Изд-во физ.-мат лит., 2001. 295 с.
2. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2002. 252 с.
3. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: Физматлит, 2003. 496 с.
4. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Формирование псевдослучайных сигналов с управляемыми корреляционными характеристиками на основе систем с динамическим хаосом // Инфокоммуникационные технологии. Т.6. №2, 2008. С. 19-22.
5. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Анализ и синтез нелинейных радиоэлектронных динамических устройств и систем с варьируемым шагом временной сетки. Казань: Изд-во КГТУ, 2013.
6. Логинов С.С. Генераторы псевдослучайных сигналов на основе системы Лоренца, реализованной над конечным полем Галуа // Нелинейный мир. №5. Т. 15. 2017. С. 26-29.
7. Афанасьев В.В., Логинов С.С. Многомерные негармонические спектры в диагностике управляемых формирователей псевдослучайных сигналов на основе систем с динамическим хаосом // Инфокоммуникационные технологии. 2013. Т. 11. № 2. С. 9-13.

ПОЛИГАУССОВО И КВАЗИДЕТЕРМИНИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ СИГНАЛОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА

Логинов Сергей Сергеевич,

Кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств,
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, г. Казань, Россия,
sslogin@mail.ru

Афанасьев Вадим Владимирович,

Кафедра радиоэлектронных и квантовых устройств,
Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, г. Казань, Россия,
nsdx@yandex.ru

На основе выделения на сигналах системы Лоренца с помощью негармонического спектрального анализа характерных участков с типовой динамикой развит метод представления распределений вероятностей сигналов. Определены взаимосвязи выявленных участков типовой динамики системы Лоренца с распределениями вероятностей. Оценено минимальное число полигауссовых компонент, необходимых для представления сигналов с необходимой точностью.

Ключевые слова: динамический хаос, динамические системы, статистические характеристики, негармонический спектр.

Введение

Нелинейные системы с динамическим хаосом описывают явления в различных областях физики, биологии, техники и радиоэлектроники. Известны целые классы нелинейных динамических систем: Дмитриева-Кислова, генераторов с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова, Лоренца, Чуа, фазовой автоподстройки частоты, систем связанных генераторов, кольцевых автоколебательных систем дискретных нелинейных систем [1-3].

Широко и разносторонне исследована система с хаотической динамикой Лоренца

$$\dot{X} = -\sigma(X - Y); \dot{Y} = rX - Y - XZ; \dot{Z} = -bZ - XY, \quad (1)$$

где X, Y, Z – пространственные переменные нелинейной системы с динамическим хаосом; r, σ, b – параметры системы Лоренца [1].

Несмотря на то, что система (1) достаточно широко исследована, ее анализ по-прежнему остается актуальным. В настоящее время отсутствуют общие аналитические методы решения систем нелинейных дифференциальных уравнений, поэтому интерес многих авторов сосредоточен на математическом моделировании и экспериментальных методах исследований. В работах [6, 7] для описания распределений вероятностей сигналов, формируемых системами с хаотической динамикой, был использован метод полигауссовых представлений. Показана возможность аппроксимации распределений вероятностей нелинейных динамических систем смесями распределений Гаусса с числом компонент не более трех с приемлемой для инженерных приложений точностью.

В работе [8] на основе представлений сигналов в виде импульсных случайных процессов развит метод негармонического спектрального анализа сигналов систем с динамическим хаосом. Обобщенный спектральный анализ сигналов нелинейных радиоэлектронных систем со спектром вида $1/f^\alpha$ проводился путем разложения реализаций сигналов, представленных в виде импульсных случайных процессов, по базису дробно-степенных функций времени, адекватного анализируемым сигналам:

$$M(t) = \sum_k \left[A_k \left(\frac{t-t_k}{\tau_k} \right)^{\alpha_k} + B_k \right], \quad (2)$$

Выражение (2) позволило получить оценки параметров амплитуды A_k , длительности τ_k и степени α_k для совокупности интервалов разложения, по которым были оценены гистограммы параметров разложения. Гистограммы и являются фактически негармоническими спектрами сигналов. Полученные в [9,10] гистограммы имеют достаточно изрезанный вид с локализациями вблизи характерных для данных сигналов и систем значений. Локализация параметров гистограмм представления (2) позволяет выделить на сигналах систем с хаотической динамикой временные участки с типовым для выбранных режимов поведением.

Целью работы является исследование особенностей применения полигауссова описания распределений вероятностей сигналов системы Лоренца на характерных временных участках ее типовой динамики, определенных методом негармонического спектрального анализа сигналов разложением вида (2).

Результаты математического моделирования

Реализации сигналов системы Лоренца получены путем численного интегрирования систем дифференциальных уравнений (1) методом Эйлера при значениях параметров, обеспечивающих хаотическую динамику. Для выделения на сигналах участков с типовым поведением использованы гистограммы параметров дробно-степенного представления (2). На оцененных гистограммах выделены локальные образования, которые позволили выявить на сигналах участки с типовым поведением.

На рисунке 1 показано, что на основе анализа гистограмм параметров разложений (2) и выделения на них локальных образований возможно определение участков реализаций сигналов с типовой динамикой.

В частности, для реализаций X системы Лоренца, приведенной на рис. 1а, в случае использования амплитудного или временного разделения это могут быть области, в которых совершаются колебания в окрестностях состояний равновесия, а также области переходов между этими состояниями. На основе степенного разделения, приведенного на рис. 1б, участков того же сигнала возможно выделение уже трех характерных областей. То есть на участках с колебаниями в

окрестности состояний равновесия системы (1) можно выделить участки условно «прямого» и «обратного» хода проекции фазовой траектории на ось X .

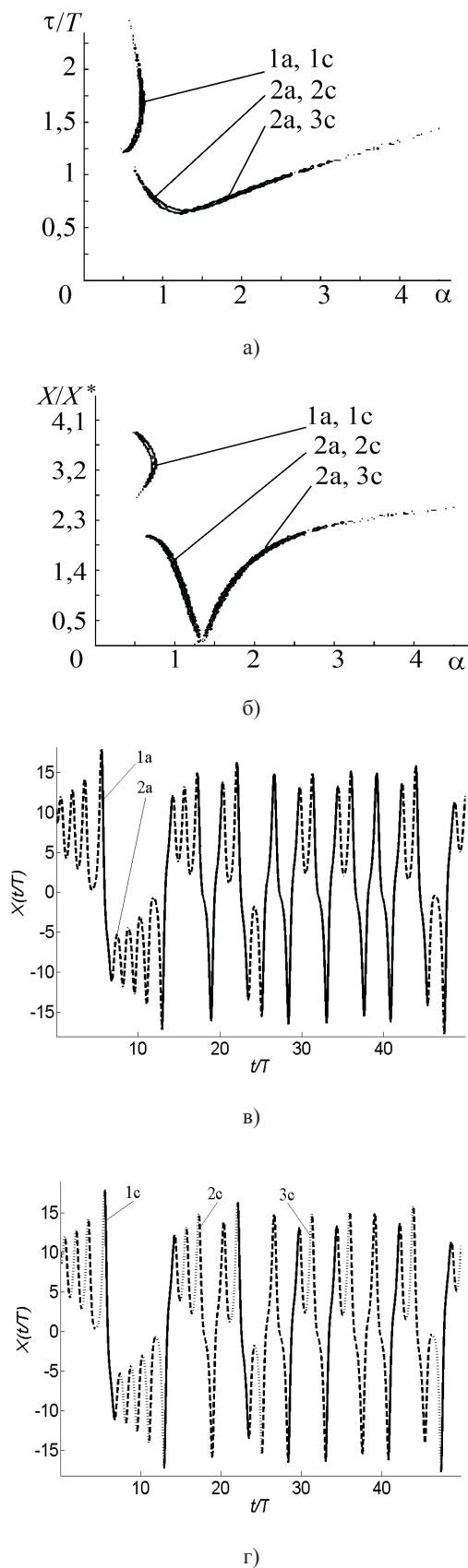


Рис. 1. Негармонические спектры и выделение участков сигнала X системы (1) с типовым поведением на основе разложения (2) с разделением
Выделение характерных областей реализаций сигналов

делает необходимым проведение более детального анализа распределений вероятностей сигналов в соответствующих областях. Для описания распределений вероятностей сигналов на участках с типовым поведением использованы их полигауссовы представления. Эти представления в области вероятностного описания являются аналогом преобразования Фурье в области спектрального описания [8].

На рисунке 2 приведены распределения вероятностей сигналов X системы (1) на характерных временных участках типовой динамики при использовании амплитудного метода их разделения на основе представления (2).

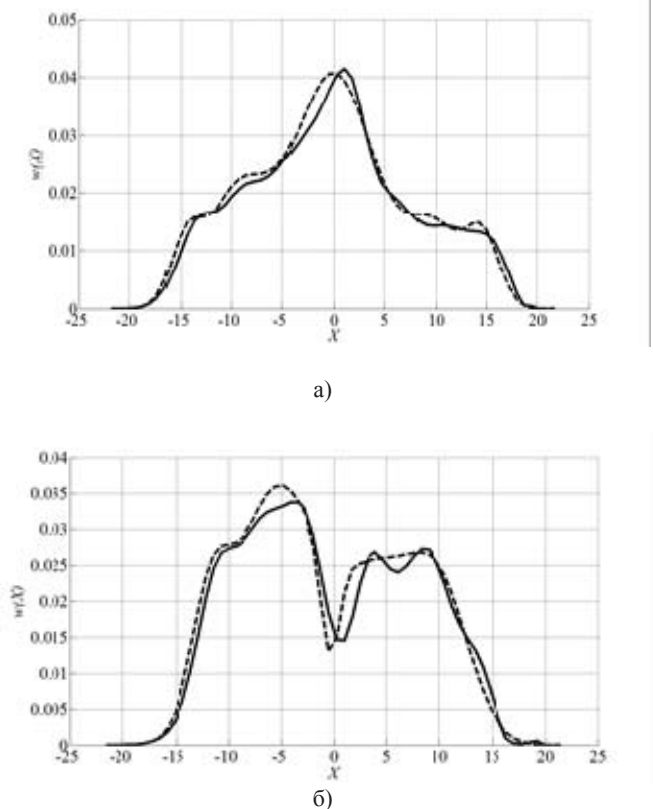


Рис. 2. Распределения вероятностей сигналов X системы (1) на характерных временных участках типовой динамики на основе амплитудного разделения: а – соответствует участкам 1а рис. 1а, б – участкам 2а; рис. 1а; сплошная линия – исходное распределение, пунктир – аппроксимация распределения

По рисунку 2а видно, что при переходах между состояниями равновесия наиболее вероятным является нулевое значение X , в то же время вблизи состояний равновесия наблюдается практически равномерный вид распределения. Полученное распределение аппроксимируется полигауссовым распределением, состоящим из трех компонент с погрешностью не более 5%. На распределении вероятностей, соответствующем характерным временным участкам колебаний X в окрестности состояний равновесия системы (1), видны колоколообразные образования (рис. 2б).

В окрестностях состояний равновесия наблюдаются небольшие провалы. Эти провалы отдаленно напоминают провалы в центре U – образного распределения. Но колебания X в окрестности состояний равновесия достаточно далеки от синусоидальных, для которых характерен U – образный вид распределения. Указанное распределение может быть аппроксимировано смесью из пяти компонент Гауссова распре-

деления с погрешностью не более 5%. При числе компонент равном трем погрешность аппроксимации распределений увеличивается до 10-15%.

Для разделения участков сигналов с типовой динамикой показателя степени выражения (2) можно выделить два характерных участка на сигналах Y системы (1). На рисунке 3 приведены распределения вероятностей для трех выделенных областей реализаций сигналов.

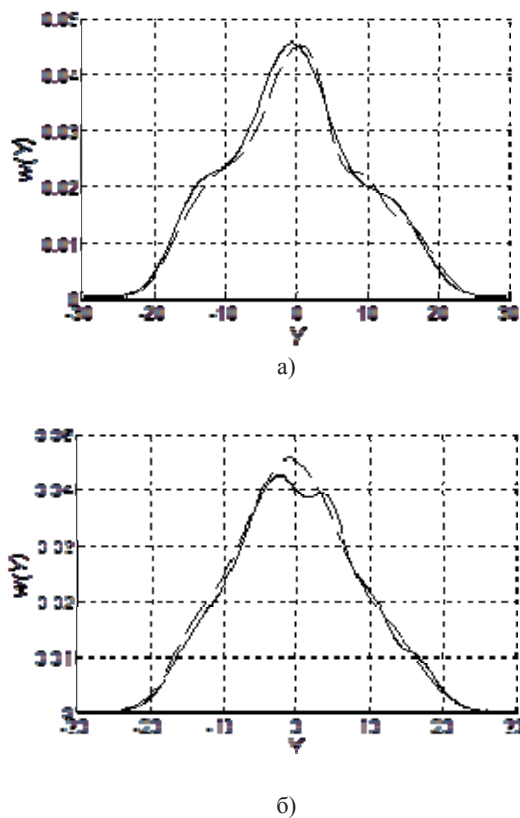


Рис. 3. Распределения вероятностей сигналов Y системы (1) на характерных временных участках типовой динамики на основе степенного разделения: а – степенное разделение участки вблизи состояний равновесия, б – степенное разделение участки вблизи переходов между состояниями равновесия

Распределение, приведенное на рис. 3, соответствует переходам между состояниями равновесия системы Лоренца, обозначенным $1c$ на рис. 1б, но в отличие от амплитудного разделения участков сигналов степенное позволяет выделить только часть переходов сигналов с относительно малым перегибом вблизи $Y=0$. Для аппроксимации приведенных распределений так же достаточно трех гауссовых компонент. Изрезанность вида исследуемых распределений наблюдается при вариации начальных условий системы (1), что свидетельствует о том, что подобный их вид вызван спецификой выделяемых областей реализаций сигналов, а не статистическим разбросом.

Анализ с помощью предлагаемого подхода сигналов X , Y , Z системы (1) показывает, что для аппроксимации распределений вероятностей сигналов системы на характерных временных участках типовой динамики с погрешностью 5% необходимо не более трех – семи компонент распределений Гаусса. Число выделяемых характерных участков сигналов с использованием негармонического спектрального анализа не

превышает трех. Выделяемые характерные участки сигналов имеют четкую связь с процессами, происходящими в системе и позволяют различать: движения в окрестности состояний равновесия системы (1) и переходы между ними, области с быстрым и медленным ростом текущего значения сигнала, области с большим и меньшим значением амплитуды или области с характерной длительностью сигналов.

Полученное полигауссово представление распределений вероятностей сигналов системы Лоренца на характерных временных участках типовой динамики, определенных методом негармонического спектрального анализа сигналов на базе представления в виде импульсных случайных процессов, дает возможность предложить для приема, обнаружения и распознавания сигналов такого типа эффективные полигауссовские методы и алгоритмы, предложенные Ш.М. Чабдаровым [11]. Для повышения эффективности выделения сигналов систем с хаотической динамикой при действии негауссовых помех целесообразна разработка моделей устройств для приема сигналов на фоне произвольных помех, что будет являться целью последующих работ.

Заключение

Разложения сигналов, порождаемых системой Лоренца, в обобщенные ряды Фурье по базису дробно-степенных функций времени, позволяют представить сигналы всех трех переменных системы с динамическим хаосом в квазидетерминированном виде.

Установлены количественные и качественные взаимосвязи между выявленными временными участками сигналов системы Лоренца с типовой динамикой и распределениями вероятностей этих сигналов.

Показано, что число полигауссовых компонент, используемых для аппроксимации распределений вероятностей сигналов системы Лоренца в характерных областях типовой динамики систем, не превышает семи при погрешности аппроксимации не более 5%.

Литература

1. Анищенко В.С., Астахов В.В. и др. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Саратов; Берлин; Сент-Луис, 2011. 535 с.
2. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2002. 252 с.
3. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: Физматлит, 2003. 496 с.
4. Афанасьев В.В., Михайлов С.В., Польский Ю.Е., Торпов А.Ю. Влияние основных параметров моделирования на ЭВМ на поведение динамических систем со странными аттракторами // Письма в Журнал технической физики. 1995. Т. 21. № 23. С. 10-14.
5. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Статистические характеристики двоичных псевдослучайных сигналов, формируемых на основе систем Дмитриева-Кислова и Анищенко-Астахова // Инфокоммуникационные технологии. 2012. Т. 10. № 2. С. 4-7.
6. Афанасьев В.В., Логинов С.С. Полигауссовы модели в представлении распределений вероятностей сигналов нелинейной системы Лоренца с динамическим хаосом // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 12. С. 10-14.

7. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Полигауссовы модели в описании сигналов динамической системы Лоренца // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2017. № 2 (34). С. 32-38.

8. *Афанасьев В.В., Логинов С.С., Ценцезицкий А.А.* Дробно-степенные спектры сигналов систем с хаотической динамикой // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2008. № 4. С. 42-47.

9. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Импульсные случайные процессы в анализе и диагностике нелинейных систем с динамическим хаосом // Радиотехника и электроника, 2013. Т. 58. № 4. С. 382-388.

10. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Многомерные негармонические спектры в диагностике управляемых формирователей псевдослучайных сигналов на основе систем с динамическим хаосом // Инфокоммуникационные технологии. 2013. Т. 11. № 2. С. 9-13.

11. *Чабдаров Ш.М., Трофимов А.Т.* Полигауссовы представления произвольных помех и прием дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 1975. Т.20. №4. С. 734-745.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RFID ДЛЯ УЧЁТА ГРУЗОВ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ

Мастяев Михаил Александрович,

магистрант МТУСИ, ведущий инженер технической поддержки центрального офиса ООО РГС-Жизнь, Москва, Россия,
mocst_93@mail.ru

Должик Дмитрий Сергеевич,

магистрант МТУСИ, руководитель отдела ИТ ООО Логистика, Москва, Россия,
dolzhikds@protonmail.com

Управление передвижением товарно-материальных ценностей по праву является одной из самых сложных видов деятельности в области логистики. Мы должны постоянно уделять внимание грузу клиента для достижения высокого уровня обслуживания с минимально возможной стоимостью хранения. Лучшей стратегией для достижения этой цели является поддержание минимально возможных запасов на складах грузов, но с возможностью решить проблему нехватки быстро и эффективно. Во время логистических операций следует избегать перенасыщения и недосыщения пунктов реализации товаров, всего должно быть в меру. Также необходимо использовать и своевременно обновлять информацию в программных продуктах по отслеживанию и контролю товарно-материальных ценностей (тмц) для поддержания актуальной информации и уменьшения издержек. Управление запасами должно фокусироваться на использовании технологий и систем, чтобы максимизировать использование компанией своих ресурсов.

Управление поставками всегда поддерживается планированием и управлением ресурсами. Компании, которые осуществляют поставки разного рода ресурсов должны быть уверены в том, что ресурсов хватит на все проекты и они будут использованы согласно плану. Тут к нам и приходит на помощь технология радиометок (RFID). Огромное количество программных продуктов используют радиометки для контроля перемещения ресурсов и осуществления инвентаризации, некоторые из них также используют данную технологию для автоматического пополнения ресурсов при достижении определённого порога. Также технология RFID позволяет отслеживать местонахождение ресурса в грузовике, что позволит проводить инвентаризацию груза в режиме реального времени без необходимости разгрузки. Достигается это благодаря установке радиометок на груз [2].

В крупных розничных компаниях, где всегда необходимо держать руку на пульсе и отслеживать тенденции спроса покупателей на товары в точках продаж, использование технологии радиометок позволяет получить более точную аналитику продаж и спроектировать стратегию продаж для увеличения конверсии посетителей в покупателей. Также не стоит забывать про частый перенос товаров из одного места в другое, кражу товаров. И здесь технология RFID позволяет отследить местоположение товара в режиме реального времени и принять меры для выхода из неблагоприятных ситуаций. Из-за технических ограничений систем, которые не используют радиометки, либо которые не используют системы для мониторинга продаж – вы можете не получать актуальную информацию по продажам и имеете все шансы усилить «эффект хлыста». Эффект хлыста – феномен в цепях поставок, который заключается в усилении амплитуды колебания спроса (объема заказов) по мере удаления от ре-

ального источника спроса в цепи поставок [1]. Это означает, что колебания в "конце" цепи поставок (ближе к потребителю, например, на уровне розничного торговца) намного слабее по сравнению с другим "концом" цепи поставок (далеко от потребителя, например, на уровне производителя или поставщика). Двигаясь в цепи поставок от потребителя к поставщику колебания заказов заметно усиливаются. Чем больше звеньев в цепи поставок и чем длиннее время выполнения заказов, тем значительнее амплитуда колебания. Используя радиометки, мы можем автоматически получать информацию в режиме реального времени, что позволит уменьшить эффект хлыста, а также уменьшить затраты из-за дисбаланса в поставках товаров. Система, которая использует радиометки, позволяет достигнуть полноценного понимания где находится товар в данный момент и куда он будет направлен. Поставщик и принимающая сторона могут опираться на возможные даты доставки и в зависимости от ситуации принимать решения для улучшения показателей загрузки стеллажей в целом. Нам не нужно постоянно разгружать стеллажи для проведения инвентаризации, ведь технология радиометок позволяет считывать их с допустимого расстояния.

В итоге это экономит время и ресурсы сотрудников, позволяя уменьшить задержки при транспортировке грузов. Конечно не стоит отменять технические ошибки и человеческий фактор при проведении сортировки, забора и хранения грузов. Сотрудник может под давлением многих факторов совершить ошибку при поиске, инвентаризации и перемещения груза при использовании обычных систем на основе штрихкодов. Системы на основе радиометок позволяют уменьшить человеческий фактор: с их помощью мы можем отследить местоположение, получить информацию о грузе и при помощи аналитической системы получить информацию о необходимости отправки того или иного груза. Также считывание информации о грузе в любом положении может быть произведено автоматически при помощи сенсоров.

Но не стоит забывать о безопасности – как и любая другая ИТ система, технология радиометок несёт в себе риск взлома злоумышленником. При внедрении RFID технологии в ИТ инфраструктуру компании, мы можем выбирать типы меток: простые метки, метки с симметричными ключами и метками с публичными ключами [3]. Компании, естественно, предпочитают простые метки из-за их дешевизны, но ведь эти метки не используют шифрование, соответственно данные можно с лёгкостью перехватить. Злоумышленник может записать ложную информацию на метку, либо модифицировать её для получения доступа к какой-либо системе. Используя эту особенность простых меток, мы можем подменить информацию, к примеру, о стоимости товара и получить его намного дешевле первоначальной стоимости; сабо-

тировать работу склада, поменяв местами метки на грузах. Также большой проблемой безопасности является спуфинг – злоумышленник может использовать своё устройство для перепрограммирования и изменить параметры метки, учитывая, что в обычных (не защищённых) метках нет контроля доступа на разрешённые программаторы и запрещённые. Но всё это решается при помощи использования криптографии и оптимальной настройкой информационных систем.

Глядя на опыт больших компаний, можно выделить опыт транспортной компании DHL – они приобрели более 500 миллионов RFID меток. Инженеры и эксперты по логистике работали не покладая рук над реализацией технологии RFID, которая позволила бы им достичь поставленных целей. Главной целью было найти способ повторного использования меток для уменьшения издержек. Также была необходима уверенность что за клиентами не будет производиться слежка злоумышленниками при помощи этих меток. Инженеры решили проблему следующим образом – они клали RFID метки в специальный корпус, который прикрепляется к грузу и защищал чип от воздействий внешней среды, который в дальнейшем снимается и остаётся на терминале выдачи груза, либо у курьера. Это позволило сделать метку многоразовой и не беспокоиться о проблеме слежки за покупателями вне магазинов. Также была достигнута цель автоматизации инвентаризации груза [4].

Одним из главных достоинств RFID меток является память с возможностью чтения\записи информации на метке. Метка содержит два блока, это блок идентификации самой метки и блок непосредственно памяти[5]. Данная возможность позволяет передавать информацию с датчика объема и веса груза на саму метку, посредством передачи на частотах 860-960 МГц. Этот частотный диапазон соответствует меткам, работающим в диапазоне UHF, второе поколение которых уже обладает криптографической защитой отдельных блоков своей памяти, что позволяет довольно безопасно передавать информацию с большей степенью её сохранно-

сти[6]. Главный определяющий фактор полезной деятельности подобных меток над их ценой в логистическом сегменте где осуществляется перевозка ресурсов является связка из метки, считывателя, GPS датчика, датчика веса и объема. Такая комбинация позволяет вести отслеживание груза и его сохранность в реальном времени. Информация с датчиков веса, объема и GPS передается на метку, метка в свою очередь получив информация передает её на ридер, который в свою очередь подключен к мобильной точке выхода в сеть интернет, для передачи информации с метки в базу данных, по которой уже непосредственно проводится отслеживание. Ридер или считыватель бывает двух видов, мобильный и стационарный. Стационарный считыватель более объемный и требует большего энергопотребления в отличие от мобильного, но главным достоинством является возможность считывать несколько меток одновременно, подключать дополнительные устройства к считывателю[5].

Литература

1. *Доналд Бауэрсокс, Дейвид Клосс.* Логистика. Интегрированная цепь поставок. М.: Олимп-Бизнес, 2017. 640 с.
2. *Максим Власов.* RFID. 1 технология – 1000 решений. Практические примеры использования RFID в различных областях. М.: Альпина Паблишер, 2015. 218 с.
3. *Дмитрий Мельников.* Организация и обеспечение безопасности информационно-технологических сетей и систем. Учебник. М.: КДУ, 2015. 598 с.
4. DHL. 2016. SmartSensor RFID. http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/innovation/smartsensor/DHL_SmartSensor_RFID_Flyer.pdf. (дата посещения 15.02.2018).
5. *Сандип Лахири.* RFID. Руководство по внедрению = The RFID Sourcebook / Дудников С.М.: Кудиц-Пресс, 2007. 312 с. ISBN 5-91136-025-X.
6. *Иван Боечко.* Уникальность или универсальность? (рус.). журнал "Information Security" №3 за апрель-май 2008.

ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ СИНТЕЗАТОР ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С ПРОГРАММНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

Рябов Игорь Владимирович,

*д.т.н., профессор ПГТУ, Поволжский государственный технологический университет,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия,
iryabov40@gmail.com*

Толмачев Сергей Владимирович,

*аспирант ПГТУ, Поволжский государственный технологический университет,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия,
korgik-89@mail.ru*

Стрельников Игорь Витальевич,

*аспирант ПГТУ, Поволжский государственный технологический университет,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия,
str-i-v@yandex.ru*

Рассмотрены методы формирования сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты, показаны преимущества систем с ППРЧ при постановке помех средствами радиоэлектронной борьбы. Предложена новая структура цифрового вычислительного синтезатора частотно-модулированных сигналов, обладающая высокой скоростью перестройки частоты.

Ключевые слова: цифровой вычислительный синтезатор, псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ), системы радиосвязи с расширением спектра сигналов, частотно-модулированные сигналы.

Введение

Скачок в развитии знаний в области метода псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ), а также его практическое применение приходится на 1940-е годы, когда был получен патент на изобретение о помехоустойчивом радиоуправлении противокорабельной торпедой. Принцип работы устройства основывался на коррекции движения торпеды с самолёта посредством передачи сигналов с ППРЧ и записью опорного сигнала, при этом обеспечивалась синхронизация частот передачи и приёма.

В установленном для работы систем с расширенным спектром (СРС) диапазоне при методе ППРЧ спектр расширяется путем скачкообразного изменения несущей частоты.

Сигналы с ППРЧ – это, прежде всего, последовательность модулированных радиоимпульсов, несущие частоты которых перестраиваются в диапазоне W_s . Через псевдослучайные коды происходит определение числа перестраиваемых частот и порядок их чередования.

В процессе работы с сигналами с ППРЧ важно соблюдать условие детерминированности псевдослучайной последовательности радиоимпульсов, а точнее их несущих частот и временного положения. Это обеспечивает синхронизацию сигналов (по частоте и времени) на приёмной стороне СРС. Возможность применения средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) затруднена, так как закон перестройки несущей частоты ППРЧ для самого постановщика помех неизвестен.

Цель работы – провести сравнительный анализ методов формирования сигналов с ППРЧ и на его основе выбрать метод расширения спектра сигнала, обладающий более высокой помехоустойчивостью к воздействию РЭБ; на основе этого метода разработать структуру цифрового вычислительного синтезатора, позволяющего формировать частотно-модулированные сигналы для систем радиосвязи с программной перестройкой рабочей частоты.

Методы псевдослучайной перестройки рабочей частоты

Скачок или перестройка несущей частоты происходит в полосе частот, включающей определённое количество частотных каналов. В установленном диапазоне каждый из этих каналов (смежный или разнесённый) можно считать спектральной областью с центральной частотой, в которой величина может быть одной из несущих частот. Данный способ образования сигналов с ППРЧ способствует исключению каналов со значительными помехами или каналы с устойчивыми замираниями. Эта процедура носит название «формирования спектральных провалов».

Время функционирования на определённой частоте T_h является характеристикой временного интервала между переключениями частот и носит название «длительность частотного элемента».

Классификация ППРЧ по отношению T_h (период функционирования на определённой частоте) и T_s (длительность информационных символов): межсимвольная (n информационных символов, $n \geq 2$, передаются на одной частоте, при этом $T_h = nT_s$), посимвольная (определённый символ передаётся на своей рабочей частоте, интервал скачка частоты равен длительности символа T_s) и внутрисимвольная (когда спектр расширяется благодаря разнесению символов на субсимволы (не зависящие частотные элементы), каждый субсимвол транслируется на собственной частоте, $T_h = T_s/L$, где L – число скачков рабочей частоты внутри одного символа (уровень разнесения). Существует также частный случай классификации ППРЧ при двоичной ЧМ без кодирования – межбитовая, побитовая, внутривитовая.

На рисунке 1 показана огибающая и временные интервалы определённых образующих частотного элемента (скачка частоты) при межсимвольной ППРЧ. Данная характеристика непостоянна (в силу особенностей образования частотного элемента), она включает разнообразные элементы с установленной длительностью.

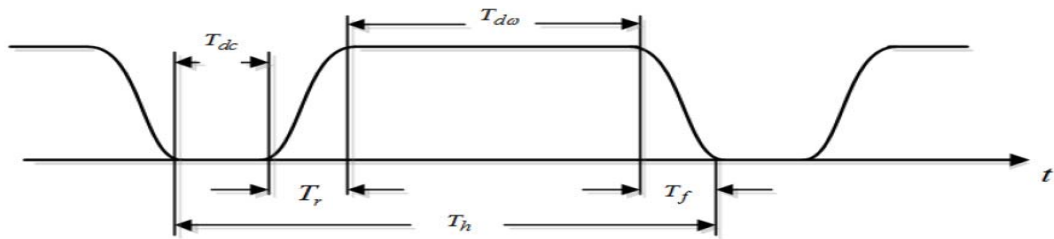


Рис. 1. Огибающая и временные интервалы отдельных составляющих частотного элемента при межсимвольной ППРЧ

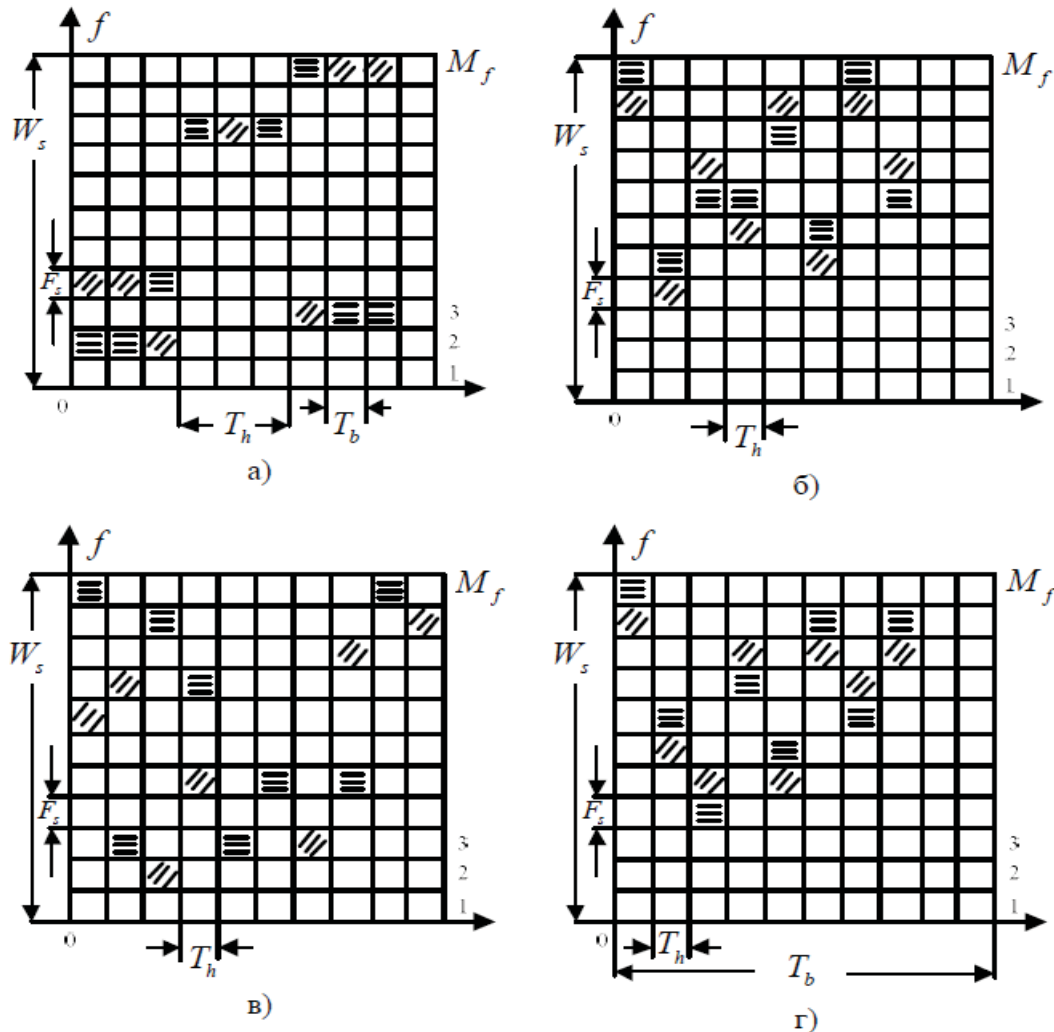


Рис. 2. Фрагменты частотно-временной матрицы сигналов с ППРЧ

На рисунке 1 обозначено:

- T_{dc} – период времени, за которое частотный синтезатор не дает напряжения («мертвое» время);
- T_r, T_f – временные интервалы нарастания и снижения фронтов частотного элемента;
- $T_{d\omega}$ – временной интервал с полной амплитудой, за которую сообщаются информационные и кодовые символы («активное» время);
- общее время $T_{s\omega} = T_r + T_f + T_{dc}$ носит название интервал переключения.

Принимая во внимание установленные обозначения, продолжительность скачка частоты $T_h = T_{d\omega} + T_{s\omega}$.

При сопоставлении разных СРС с ППРЧ выделяют одну важную отличительную характеристику – скорость скачков частоты в единицу времени. В зависимости от этой характеристики СРС подразделяются на три группы: СРС с медленной (100-300 скачков в секунду (ск/с)), средней (300-1000 ск/с) и быстрой (свыше 1000 ск/с) скоростью перестройки частотных элементов. Следует помнить, что, несмотря на использование скорости ППРЧ в сравнении СРС, она имеет второстепенное значение, уступая главному параметру с точки зрения помехоустойчивости – фактическому времени работы на определённой частоте. Данная характеристика определяет способность систем радиосвязи «избегать» помех РЭБ.

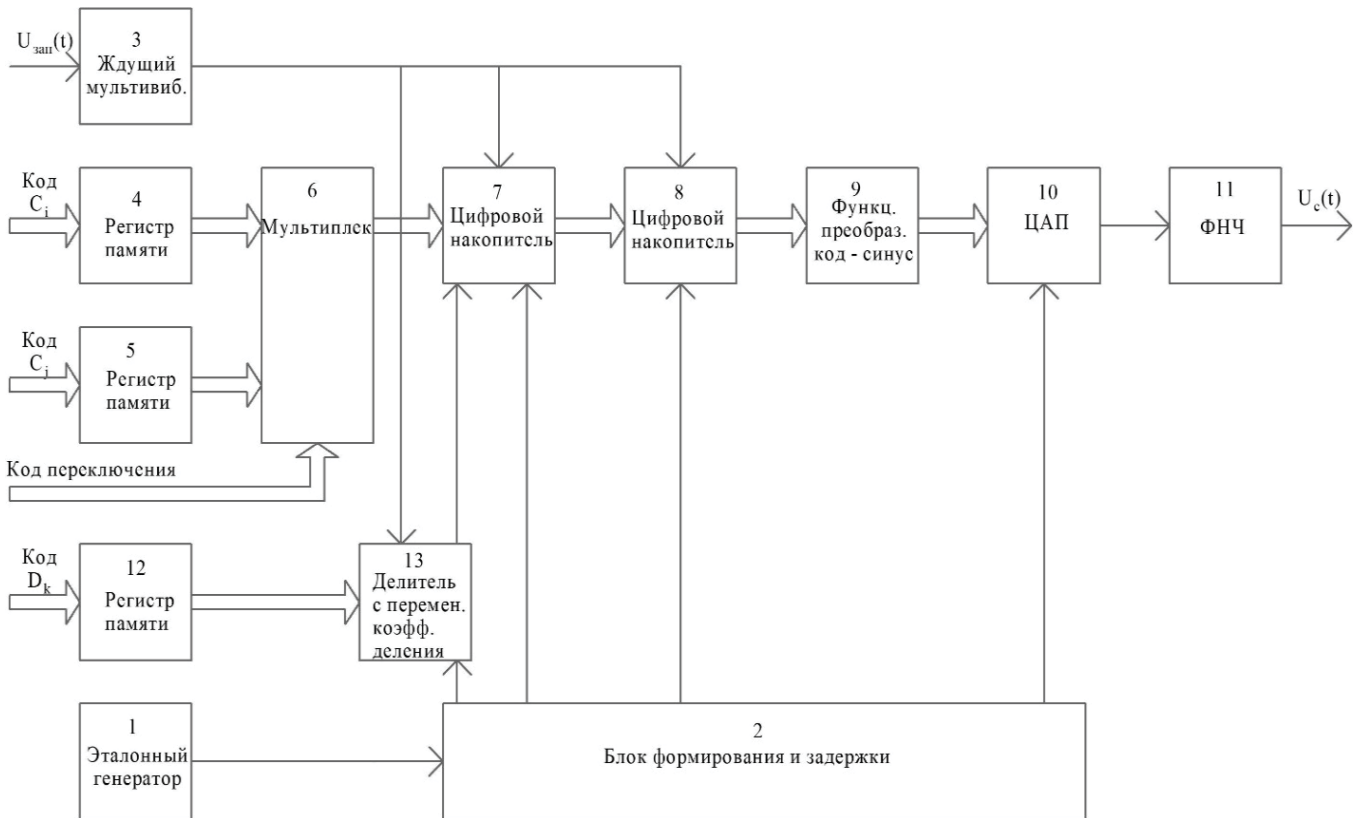


Рис. 3. Структурная схема цифрового вычислительного синтезатора частотно-модулированных сигналов

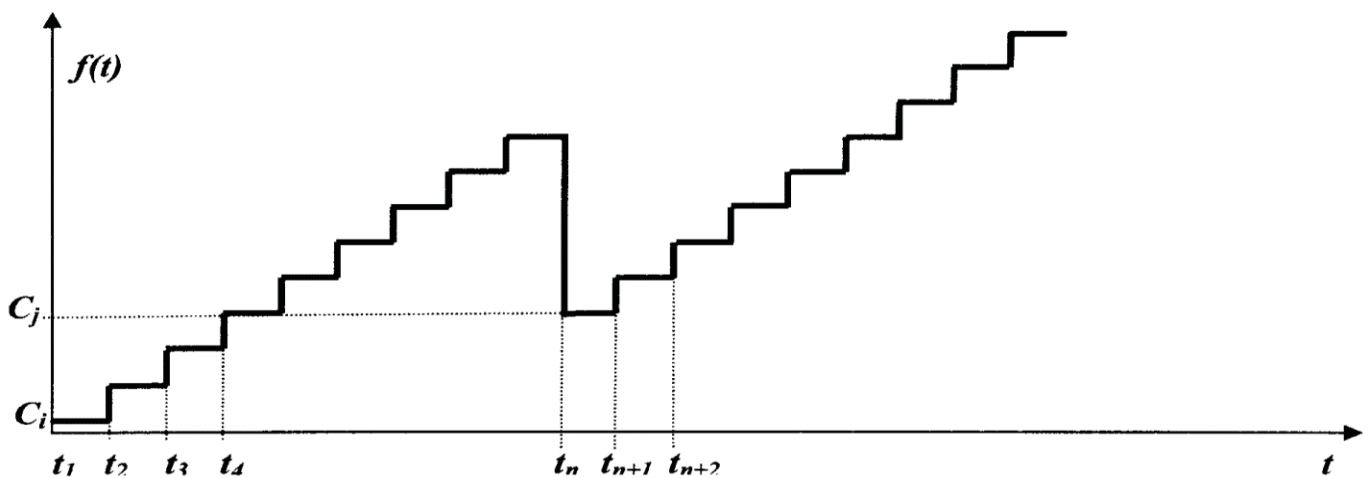


Рис. 4. Графики изменения частоты на выходе цифрового вычислительного синтезатора

На рисунке 2,а-г представлены фрагменты частотно-временной матрицы (ЧВМ) сигналов: с межбитовой ППРЧ и двоичной ЧМ (а); с побитовой ППРЧ и неслучайной двоичной ЧМ, когда каналы символов 1 и 0 взаимодействуют на частотной оси (смежные каналы) (б); с побитовой ППРЧ и случайной двоичной ЧМ, при которой каналы символов 1 и 0 не соприкасаются (несмежные каналы) и выбираются обособленно друг от друга во всей полосе частот W_s (в); с внутрибитовой ППРЧ и неслучайной двоичной ЧМ (г).

Квадратом с горизонтальными линиями обозначен ос-

новной канал (канал передачи), по которому в соответствующие отрезки времени передаются элементы сообщения, а квадратом с наклонными линиями – дополнительный канал, в котором в эти же отрезки времени элементы сообщения отсутствуют; F_s – ширина полосы одного частотного канала; M_f – число частотных каналов, $M_f = W_s / F_s$.

В СРС с ППРЧ применяется когерентная и некогерентная обработка сигналов. Во время передачи информации в системах радиосвязи с медленной и, в большей степени, с быстрой ППРЧ, главный способ информационной модуляции –

M-ичная некогерентная ЧМ, в частности двоичная ЧМ. При медленной скорости передачи данных могут применяться и иные виды модуляции, среди которых квадратурная ФМ, двоичная ФМ, относительная ФМ (ОФМ); манипуляция с минимальным сдвигом фазы.

Перемежение или передача определённого символа кодового слова по своему частотному каналу необходимо, чтобы соблюсти статистическую независимость ошибок в СРС при приёме символов на передающей стороне. Это достигается путём превращения сигнала в бесструктурную форму во течение нахождения во временной области. Оба эти процесса в СРС способствуют коррекции пакетов ошибок, вызванных импульсными помехами на определённых фрагментах диапазона частот СРС.

Цифровой вычислительный синтезатор частотно-модулированных сигналов

Цифровой синтезатор предназначен для синтеза сигналов с частотной модуляцией и может использоваться в радиолокации, навигации и в адаптивных широкополосных системах связи с программной перестройкой рабочей частоты.

Структурная схема цифрового вычислительного синтезатора частотно-модулированных сигналов представлена на рис. 3.

Цифровой вычислительный синтезатор частотно-модулированных сигналов содержит последовательно соединенные эталонный генератор 1 и блок формирования и задержки 2, ждущий мультивибратор 3, вход которого является входом запуска ЦВС; первый и второй регистры памяти 4, 5, выходы которых подключены к первому и второму входам мультиплексора 6 соответственно; последовательно соединенные мультиплексор 6, первый и второй цифровые накопители 7 и 8, функциональный преобразователь код-синус 9, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) 10 и фильтр нижних частот (ФНЧ) 11; последовательно соединенные третий регистр памяти 12, делитель с переменным коэффициентом деления 13 и вход последовательного переноса первого цифрового накопителя 7; выход ждущего мультивибратора 3 подсоединен к входам установки первого и второго цифровых накопителей 7, 8 и делителя с переменным коэффициентом деления 13; выходы блока формирования и задержки 2 подключены к тактовым входам первого и второго цифровых накопителей 7, 8, цифроаналогового преобразователя 10 и делителя с переменным коэффициентом деления 13; цифровыми входами ЦВС являются входы первого, второго и третьего регистров памяти 4, 5 и 12, а его управляющим входом – вход переключения мультиплексора 6, аналоговым выходом цифрового вычислительного синтезатора является выход фильтра нижних частот 11.

Предложенная структурная схема дает возможность повышения быстродействия и оперативного управления начальной частотой синтезируемого частотно-модулированного сигнала.

На информационные входы первого, второго, третьего регистров памяти 4, 5, 12 поступают коды C_i , C_j , D_k , которые соответственно будут определять начальную частоту и скорость изменения частоты синтезируемого сигнала. На управляющий вход мультиплексора 6 поступает код переключения K .

Эталонный генератор 1 вырабатывает синусоидальный сигнал опорной частоты, из которого в блоке формирования и задержки 2 формируются тактовые импульсы прямоугольной формы, разнесенные во времени и служащие для син-

хронизации работы узлов цифрового вычислительного синтезатора: делителя с переменным коэффициентом деления 13, первого и второго цифровых накопителей 7, 8 и цифроаналогового преобразователя 10. Пусть код переключения $K=0$, тогда код C_i с выхода первого регистра памяти 4 поступит на выход мультиплексора 6.

В момент времени t_1 (рис. 4) на вход ждущего мультивибратора 3 приходит импульс запуска $u_{зан}(t)$, из которого формируется импульс установки, который поступает на установочные входы первого и второго цифровых накопителей 7, 8 и делителя с переменным коэффициентом деления 13. При этом код C_i из первого регистра памяти 4 через мультиплексор 6 записывается в первый цифровой накопитель 7, а код D_k из третьего регистра памяти 12 - в делитель с переменным коэффициентом деления 13.

Затем с каждым последующим тактовым импульсом в моменты времени t_2 , t_3 , t_4 и т.д. на выходе цифрового накопителя 7 код суммы A будет изменяться по формуле:

$$A = C_i + T / D_k \quad (1)$$

где C_i - код начальной частоты синтезируемого сигнала, D_k - код, определяющий коэффициент деления делителя с переменным коэффициентом деления: $T=\Delta t$ - номер тактового импульса.

Код суммы A с выхода первого цифрового накопителя 7 поступает на вход второго цифрового накопителя 8, результат суммирования B в котором можно описать выражением:

$$B = C_i \times T + T^2 / D_k \quad (2)$$

В функциональном преобразователе 9 коду B ставится в соответствие код $\sin(B)$, который поступает на информационный вход цифроаналогового преобразователя (ЦАП) 10, где формируется ступенчатый частотно-модулированный сигнал «синусоидальной» формы.

Сигнал с выхода ЦАП 10 поступает на фильтр нижних частот 11, который служит для подавления побочных высокочастотных спектральных составляющих в спектре синтезируемого сигнала. Фильтр нижних частот 11 имеет частоту среза, равную половине тактовой частоты $f_{cp} = 0,5f_m$.

Если принять, что $2\pi f_0 = C_i$ - начальная частота; $\pi f' = 1/D_k$ - скорость изменения частоты синтезируемого сигнала, $\Delta t = T$ - период следования тактовых импульсов, то сигнал на выходе цифрового вычислительного синтезатора можно описать следующим выражением:

$$u_c(t) = U_0 \sin(2\pi f_0 t + \pi f' t^2), \quad (3)$$

где U_0 - амплитуда сигнала.

Далее, если в момент времени t_n на вход ждущего мультивибратора 3 придет следующий импульс запуска, а перед этим установить код переключения мультиплексора 6 на $K=1$, то на выход мультиплексора 6 пройдет код C_j из второго регистра памяти 5. По импульсу установки произойдет запись кода C_j в первый цифровой накопитель 7, и это приведет к изменению начальной частоты синтезируемого сигнала.

Если обозначить, что $2\pi f_1 = C_j$ - начальная частота синтезируемого сигнала, то сигнал на выходе цифрового вычислительного синтезатора в моменты времени t_n , t_{n+1} , t_{n+2} и т.д. можно описать выражением:

$$u_c(t) = U_0 \sin(2\pi f_1 t + \pi f' t^2) \quad (4)$$

Таким образом, в данном цифровом вычислительном синтезаторе появилась возможность оперативно управлять начальной частотой синтезируемого сигнала, подавая на

управляющий вход мультиплексора 6 соответствующий код переключения K .

Время переключения с одной начальной частоты на другую в основном будет определяться задержкой переключения в мультиплексоре 6, так как коды начальных частот предварительно записаны в первый и второй регистры памяти 4 и 5. Скорость изменения частоты синтезируемого частотно-модулированного сигнала можно изменять, задавая код D_k в третьем регистре памяти 12. Чем больше значение D_k , тем меньше скорость изменения частоты синтезируемого частотно-модулированного сигнала.

Заключение

1. Рассмотренные методы формирования сигналов с ППРЧ позволяют снизить влияние преднамеренных помех, вызванных действием средств радиоэлектронной борьбы, причем системы с быстрой перестройкой рабочей частоты обладают большей помехоустойчивостью.

2. Предложена новая структура ЦВС частотно-модулированных сигналов, защищенная патентом РФ на

изобретение, которая обладает высокой скоростью перестройки частоты и может быть использована в адаптивных системах радиосвязи как с быстрой, так и медленной ППРЧ.

Литература

1. *Борисов В.И.* Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.
2. *Рябов И.В.* Цифровой синтез прецизионных сигналов: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 152 с.
3. *Рябов И.В.* Прямой цифровой синтез сложных широкополосных сигналов в задачах радиолокации, навигации и связи: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. 151 с.
4. *Рябов И.В., Дедов А.Н., Толмачев С.В., Чернов Д.А., Мишаков А.А.* Патент № 2566962 Российской Федерации МПК H03B 19/00, H03C 3/02. Цифровой вычислительный синтезатор частотно-модулированных сигналов. Заявл. 15.04.2014. Оpubл. 27.10.2015. Бюл. №30.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА ИМПЕДАНСНОЙ АНТЕННЫ

Седов Владимир Михайлович,
к.т.н., доцент, МТУСИ, г. Москва Россия,
tedia@mtuci.ru

Корнюхин Владимир Ильич,
к.т.н., доцент, МТУСИ, г. Москва Россия,
mtuci_zotf@mail.ru

Для создания компактной антенны с узкой диаграммой направленности целесообразно использовать решётку слабораправленных излучателей, питаемых электромагнитной волной с замедленной фазовой скоростью. Как известно, для такой решётки отсутствует направление, в котором излучаемые поля от каждого излучателя складываются синфазно. Расчёты показывают, что уменьшение фазовой скорости волны в решётке, начиная с $v_\phi = C$, сопровождается постепенным сужением основного лепестка в ДН (это увеличивает КНД) и ростом боковых лепестков (это ведёт к уменьшению КНД). В результате КНД такой решётки в осевом направлении сначала растёт, достигая максимума, при некоторой, оптимальной, величине замедления волны, а потом уменьшается и обращается в нуль при некоторой, критической, величине замедления фазовой скорости волны. Коэффициент направленного действия решётки, как известно, становится максимальным, когда поля, излучаемые крайними элементами, приблизительно противофазны. В таблице 1 приведены результаты расчёта для таких немодулированных решёток.

Таблица 1

Электрическая длина решётки, $\frac{1}{\lambda}$	2,5	5,0	10,0
Оптимальное замедление, $\left(\frac{c}{v_\phi}\right)_{opt}$	1,2	1,1	1,05
КНД, дБ	13	16	19
$2\theta_{0,5}^\circ$	39	27	19

При реализации этого типа решёток неизбежно приходится сталкиваться со следующим противоречием: с одной стороны, для увеличения направленности решётки требуется использовать в ней волну с малым замедлением фазовой скорости, а с другой стороны, это существенным образом ухудшает эффективность её возбуждения в начале решётки. Исключить это противоречие позволяет схема построения, которая предложена [1]. Согласно ей, в начале решетки возбуждается первичная волна со значительным замедлением фазовой скорости. Распространяясь по решётке, эта волна в каждой точке трансформируется во вторичную волну, обладающую малым замедлением фазовой скорости. Введённая в рассмотрение вторичная волна и формирует требуемую форму диаграммы направленности решётки.

Решётки, использующие подобную схему построения, в антенной технике называются модулированными антеннами поверхностных волн. Для их расчёта целесообразно использовать метод конструктивного синтеза импедансной поверхности [2]. Следуя этому методу, магнитное поле возле синтезируемой импедансной поверхности антенны задаём в следующем виде (рис. 1):

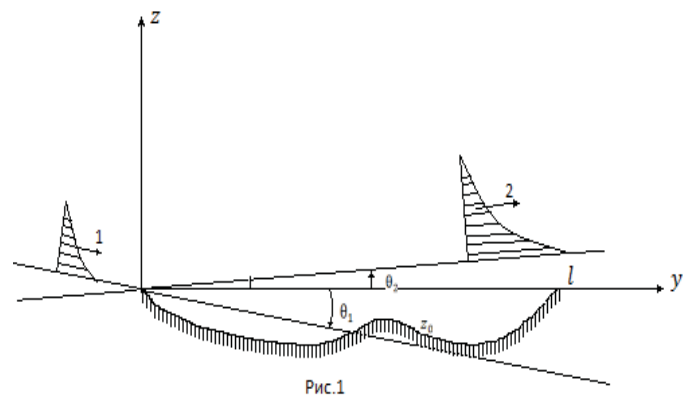


Рис.1

$$H_x^z(y, z) = H_x^{(1)}(y, z) + H_x^{(2)}(y, z) = A(y, z) + iB(y, z), \quad (1)$$

где

$$A(y, z) = A_1 \exp(p_1 c_1) \cdot \cos(h_1 d_1) + A_2 \exp(p_2 c_2) \cdot \cos(h_2 d_2),$$

$$B(y, z) = -A_1 \exp(p_1 c_1) \cdot \sin(h_1 d_1) - A_2 \exp(p_2 c_2) \cdot \sin(h_2 d_2),$$

$$c_1 = y \sin \theta_1 + z \cos \theta_1, \quad d_1 = y \cos \theta_1 - z \sin \theta_1,$$

$$c_2 = y \sin \theta_2 - z \cos \theta_2, \quad d_2 = y \cos \theta_2 + z \sin \theta_2,$$

$$h_i = \kappa \cdot \frac{c}{v_{\phi i}}, \quad p_i = \sqrt{h_i^2 - \kappa^2}, \quad \kappa = \frac{2\pi}{\lambda} - \text{волновое число. } i = 1, 2$$

Проекции суммарного электрического поля возле импедансной поверхности могут быть определены из первого уравнения Максвелла для гармонического поля. Учитывая, что $\frac{\partial}{\partial x} = 0$, это будут проекции $E_z^z(y, z)$ и $E_y^z(y, z)$.

Для определения профиля импедансной поверхности используем формулу вида:

$$z'_0 = \frac{\frac{\partial A}{\partial z} B - \frac{\partial B}{\partial z} A}{\frac{\partial A}{\partial y} B - \frac{\partial B}{\partial y} A} \quad (2)$$

Здесь z'_0 – производная к рельефу импедансной поверхности $z_0(y)$ в каждой её точке.

Чисто индуктивный импеданс $X(y)$ определяем по следующей формуле:

$$X(y) = \frac{z_c}{\kappa} \cdot \frac{\frac{\partial A}{\partial z} \cdot \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{\partial A}{\partial y} \cdot \frac{\partial B}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial z} B - \frac{\partial B}{\partial z} A\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial y} B - \frac{\partial B}{\partial y} A\right)^2}} \quad (3)$$

Задачи синтеза импедансной поверхности решаем с конечной точностью, определяемой двумя коэффициентами [3]:

$$1) \text{ коэффициентом использования первичной волны } q_1 = \exp(-2p_1 \ell \sin \theta_1), \quad (4)$$

$$2) \text{ коэффициентом возникновения вторичной волны } q_2 = \exp(-2p_2 \ell \sin \theta_2). \quad (5)$$

Отметим, что при выводе этих соотношений предполагается, что $z_0(0) = z_n = 0$ и $z_0(\ell) = z_k = 0$.

Первый коэффициент характеризует относительный уровень мощности первичной волны на конце антенны. Для ребристых замедляющих структур его величина обычно составляет 0,01...0,1. При заданном замедлении этой волны его величина определяет угол θ_1 в (1).

Второй коэффициент характеризует относительный уровень мощности вторичной волны в начале антенны. Его величина непосредственно связана с уровнем боковых лепестков антенны. Оптимальным значением этого коэффициента является величина 0,5...0,7. Выбор замедления вторичной волны определяется требованиями к диаграмме направленности антенны.

Используя апертурный метод расчета, диаграмму направленности в пл. Е можно рассчитать по следующей формуле [4]:

$$F(\theta) = \sqrt{[M(\theta)]^2 + [N(\theta)]^2}, \quad (6)$$

где обозначено

$$M(\theta) = \frac{p_2 \cos \theta_2}{\left(p_2 \cos \theta_2\right)^2 + \left(h_2 \sin \theta_2 - \sin \theta\right)^2},$$

$$N(\theta) = \frac{h_2 \sin \theta_2 - \sin \theta}{\left(p_2 \cos \theta_2\right)^2 + \left(h_2 \sin \theta_2 - \sin \theta\right)^2}.$$

В (6) угол $\theta = 0^\circ$ соответствует оси антенны.

Соотношение между амплитудами волн A_1 и A_2 в (1) непосредственно вытекает из баланса активных мощностей следующего вида [3]:

$$\operatorname{Re} \int_{z_n}^{\infty} \left(\Pi_y^\Sigma \right) \cdot \partial z = \operatorname{Re} \int_{z_k}^{\infty} \left(\Pi_y^\Sigma \right) \cdot \partial z, \quad (7)$$

где $\Pi_y^\Sigma = \frac{1}{2} E_z \cdot H_x^*$ – комплексный вектор Пойнтинга.

При условии $z_n = z_k = 0$ соотношение (7) преобразуется в квадратное уравнение следующего вида:

$$\xi^2 + a\xi + b = 0, \quad (8)$$

где обозначено

$$a = \frac{4p_1 \left[\gamma - \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} (\gamma \cos \alpha \ell + \beta \sin \alpha \ell) \right] \cos \theta_1}{(\gamma^2 + \beta^2)(1 - q_1)},$$

$$b = \frac{p_1 \cos \theta_1}{p_2 \cos \theta_2} \cdot \frac{(q_1 + 1)}{q_2 (1 - q_1)},$$

$$\gamma = p_1 \cos \theta_1 + p_2 \cos \theta_2,$$

$$\alpha = h_1 \cos \theta_1 + h_2 \cos \theta_2,$$

$$\beta = h_1 \sin \theta_1 + h_2 \sin \theta_2,$$

$$\xi = \frac{A_1}{A_2}.$$

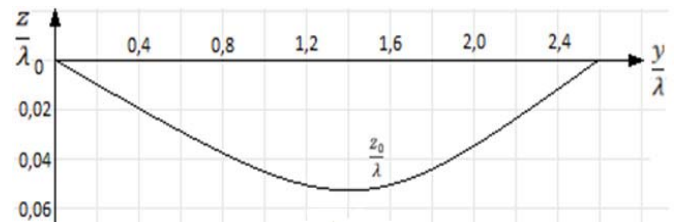


Рис. 2

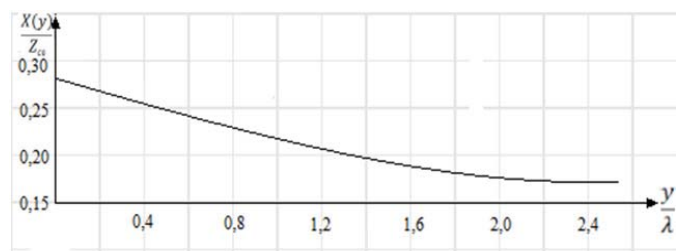


Рис. 3

На рисунке 2 изображён рельеф импедансной поверхности антенны, а на рис.3 – распределение чисто реактивного импеданса по её длине. Эти функции соответствуют следующим параметрам поверхностных волн в ближней зоне антенны:

$$p_1 = 0,458 \cdot \kappa, \quad p_2 = 0,181 \cdot \kappa,$$

$$h_1 = 1,1 \cdot \kappa, \quad h_2 = 1,016 \cdot \kappa,$$

$$\theta_1 = 20^\circ, \quad \theta_2 = 5^\circ$$

Длина синтезированной антенны составляет $\ell = 2,5\lambda$.

Выводы

1. Представление структуры поля вблизи синтезируемой импедансной поверхности в виде суперпозиции двух поверхностных волн, переходящих одна в другую, позволило создать импедансную антенну, которая при заданной электрической длине позволяет обеспечить выигрыш в направленных свойствах по сравнению с немодулированной антенной замедленной волны той же длины.

2. Учитывая общие закономерности, присущие поверхностным волнам в любых замедляющих структурах, как известно, можно с инженерной точностью перенести результаты расчетов двумерной импедансной поверхности на любую из этих замедляющих структур. В работе этот механизм преобразования результатов расчёта параметров двумерной импедансной поверхности применён при построении конструкции цилиндрической ребристо-стержневой антенны. С этой целью используются дисперсионные характеристики цилиндрической замедляющей структуры.

3. В дальнейшем предполагается проведение экспериментальных исследований на разработанном лабораторном макете по оценке его направленных свойств.

Литература

1. Терёшин О.Н., Гофман В.Г. Синтез рельефной импедансной поверхности // Радиотехника. 1969. Т. 24. №8. С. 46-52.
2. Терёшин О.Н. Обратная электродинамическая задача для импедансной антенны со специальным профилем // Радиотехника и электроника, 1963. Т. VIII, №4. С. 715-718.
3. Терёшин О.Н., Седов В.М., Чаплин А.Ф. Синтез антенн на замедляющих структурах. М.: Связь. 1980. С. 136.
4. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. М.: Связь, 1977. С. 440.
5. Гончаренко В.М., Седов В.М. Расчёт дисперсионных параметров цилиндрических ребристых структур // Вопросы радиоэлектроники, серия Техника радиосвязи, 1974. №8. С. 10.

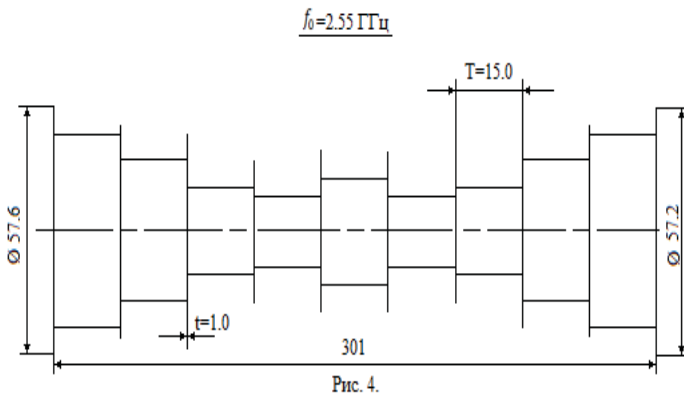


Рис. 4.

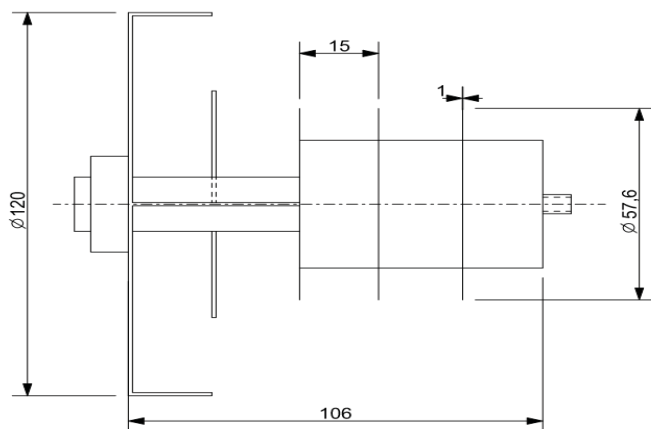


Рис. 5

На рис.4 и рис.5 представлены конструкции лабораторных макетов замедляющей структуры антенны и возбуждающего устройства. Глубина короткозамыкающих канавок в макетах рассчитывалась по дисперсионным зависимостям, приведённым в [5].

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ПРИЕМНЫХ АНТЕНН

Смирнов Евгений Владимирович,
доцент кафедры ТЭДИА МТУСИ, Москва, Россия,
smirnovmtuci@rambler.ru

В наших предыдущих работах [1-2] было показано, что в состав полного поля рассеяния произвольной приемной антенны (ППРА) входит информационная составляющая (ИСПРА), ответственная за передачу информации от плоской волны к нагрузке антенны и определены ее основные параметры (комплексная амплитуда и ее форма). Оказалось, что форма ИСПРА центрально симметрична диаграмме направленности антенны (ДН) в режиме передачи, а сама ИСПРА определяется соотношением

$$\vec{E}_{\text{inf}}(\vec{n}_0, \vec{r}_0) = \frac{D}{2ik} (\vec{F}(-\vec{n}_0) \cdot \vec{e}_0) \vec{F}(-\vec{r}_0) \frac{\exp(-ikr)}{r}. \quad (1)$$

В (1) D – КНД антенны в направлении максимума ДН антенны, $\vec{F}(\vec{r}_0)$ – ДН антенны, а $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число.

Вектор \vec{n}_0 определяет направление распространения плоской волны, а \vec{e}_0 – ее поляризацию. Причем оказалось, что

мощность рассеяния ИСПРА равна максимально возможной мощности, выделяемой в нагрузку антенны при выполнении требования равенства сопротивления нагрузки комплексно-сопряженному входному сопротивлению антенны, и не зависит от сопротивления нагрузки. В тоже время из оптической теоремы известно, что мощность, выделяемая в нагрузку антенны, неоднозначно связана с полной мощностью, рассеиваемой антенной [3] и одной и той же мощности, выделяемой в нагрузку, может соответствовать как большая мощность рассеяния, так и маленькая. Поэтому можно предположить, что амплитуда составляющей ППРА, совпадающая по форме с ИСПРА также в общем случае может быть и больше и меньше, чем амплитуда самой ИСПРА, определяемой соотношением (1). То есть можно говорить о том, что сама компонента ППРА, совпадающая по форме с ИСПРА имеет некоторую структуру и состоит из составляющей участвующей в передаче энергии от плоской волны к нагрузке антенны и составляющей, которая не участвует в этой передаче, но которая оказывает существенное влияние на мощность, рассеиваемую приемной антенной.

Эту составляющую в дальнейшем мы будем называть дополнительной составляющей поля рассеяния антенны (ДСПРА). За счет в общем случае знакопеременной взаимной мощности между ДСПРА и оставшемся полем рассеяния антенны, полная мощность рассеяния антенны может принимать как максимальное, так и минимальное значения при постоянной мощности, выделяемой в нагрузку антенны. Этим, по всей видимости, и объясняется упомянутая выше неоднозначная связь между мощностью, выделяемой в нагрузку антенны и мощностью, рассеиваемой антенной.

В случае, если ДСПРА в составе ППРА отсутствует, связь между полем рассеяния антенны и мощностью, выделяемой в нагрузку становится однозначной. Исследование структуры ИСПРА важно, как с теоретической, так и с прак-

тической точки зрения, так как при постановке и планировании экспериментов по обнаружению и исследованию ИСПРА важно знать при каких параметрах эксперимента в составе рассеянного антенной поля отсутствует ДСПРА и в ее состав входит только ИСПРА. В случае если реализовать эти параметры в эксперименте не удастся, то теория позволит учесть существование ДСПРА при оценке результатов эксперимента.

Работы [1-2] кроме того, что позволили на физическом уровне лучше понять, как происходит передача энергии от плоской волны в нагрузку антенны и почему ДН приемной антенны совпадает с ДН этой же антенны в режиме передачи заложили основу для дальнейших теоретических исследований физических связей между мощностью, выделяемой в нагрузку, мощностью экстинкции (мощность, отбираемая антенной от плоской волны) и мощностью составляющих полного поля рассеяния антенны. Актуальность таких исследований вызвана тем, что в последнее время активно обсуждается вопрос о достижимых значениях такого важного параметра любой приемной антенны, как эффективность поглощения, под которым часто понимается отношение мощности, выделяемой в нагрузку, к мощности, отбираемой антенной от плоской волны.

Причем поскольку на повестку дня встали задачи снижения радиолокационной заметности объектов, с установленными на них антеннами, которые за счет, создаваемых ими полей рассеяния существенно демаскируют объекты, то и исследования эффективности поглощения антенн стало необходимо проводить для антенн, удовлетворяющих определенным требованиям к рассеиваемой ими мощности. В случае отсутствия в полном поле рассеяния антенны ДСПРА, разработанный в [5-9] подход позволил нам в [10] провести анализ влияния согласования антенны и нагрузки на эффективность поглощения приемной антенны при заданных требованиях к принимаемой и рассеиваемой ей мощности. Но для оценки эффективности поглощения приемных антенн в общем случае необходимо исследовать вопрос о структуре ИСПРА, определить величину ДСПРА и выяснить ее влияние на полную мощность рассеяния приемной антенны. Решению этих вопросов и посвящена настоящая работа. Основным соотношением, характеризующим процесс взаимодействия приемной антенны и падающей на нее плоской волны, является оптическая теорема [4]. Согласно которой, мощность экстинкции поля плоской волны, падающей на приемную антенну (P_{ext}) равна мощности взаимодействия этого поля с полем рассеяния антенны в направлении распространения волн.

Представляя полное поле рассеяния антенны в виде суммы ИСПРА, ДСПРА и оставшейся части ППРА, учитывая квадратичный характер связи мощности ППРА с мощностью, выделяемой в нагрузку антенны, используя оптическую теорему, удалось сначала определить амплитуду

ДСПРА, затем и взаимные мощности между ДСПРА и оставшейся частью ППРА. Проведенное в работе исследование показало, что, как и ожидалось, ДСПРА не участвует в передачи мощности от плоской волны в нагрузку антенны. В тоже время она дает дополнительный вклад в мощность ППРА в виде двух слагаемых, одно из которых соответствует собственной мощности рассеяния ДСПРА, а второе определяет взаимную мощность между ДСПРА и оставшейся частью ППРА. Причем ДСПРА может иметь как положительный, так и отрицательный знаки. Поскольку знак взаимной мощности определяется сдвигом фаз между компонентами полей, участвующих в образовании взаимной мощности, то мощность ППРА может принимать максимальное или минимальное значения при одинаковой мощности, выделяемой в нагрузку.

Минимальному значению мощности ППРА соответствует эффективность поглощения приемной антенны больше 0,5, а максимальному – меньше 0,5. В случае отсутствия ДСПРА максимально достижимая эффективность поглощения антенны равна 0,5. При этом следует отметить, что последний случай соответствует максимальному значению коэффициента использования антенны.

Литература

1. *Смирнов Е.В.* Об информационной составляющей поля рассеяния приемных антенн / INTERMATIC 2014 Материалы Международной научно-технической конференции “Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения”, Москва, 1-5 декабря 2014 г. М.: МИРЭА, 2014. Часть 5. С. 19-23.
2. *Смирнов Е.В.* Исследование информационного канала взаимодействия произвольных приемных антенн // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 7. С. 41-46.
3. *Ерохин Г.А.* О достижимых характеристиках в трехмерных задачах синтеза пассивных рассеивателей // РЭ. 1986. Т. 31. С. 1447-1450.
4. *Ерохин Г.А.* Оптическая теорема для приемных антенн и ее следствия // РЭ. 1990. Т. 35. С. 2065-2071.
5. *Смирнов Е.В.* К вопросу оценки эффективности приемных антенн / INTERMATIC 2016 Материалы Международной научно-технической конференции “Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения”, Москва, 21-25 ноября 2016 г. М.: МИРЭА, 2016. Часть 5. С. 189-194.
6. *Смирнов Е.В.* Минимизация рассеяния приемных антенн при заданной принимаемой мощности // Антенны. 2008. №2(129). С. 74-80.
7. *Смирнов Е.В.* Исследование влияния диаграммы направленности антенны на каналы взаимодействия плоской волны с рассеянным антенной полем. / Труды НТОРЭС им. А.С. Попова, 2010, вып. LXV. С. 14-16.
8. *Смирнов Е.В.* Применение метода ортогональных составляющих в задачах рассеяния приемных антенн / INTERMATIC 2015 Материалы Международной научно-технической конференции “Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения”, Москва, 1-5 декабря 2015 г. М.: МИРЭА, 2015. Часть 5. С. 274-278.
9. *Смирнов Е.В.* Исследование трехканальной модели произвольных приемных антенн // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. №9. С. 9-13.
10. *Смирнов Е.В.* Исследование влияния согласования антенны и нагрузки на эффективность поглощения приемной антенны // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. №12. С. 21-25.

ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ СИНТЕЗАТОР ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ

Толмачев Сергей Владимирович,

аспирант ПГТУ, Поволжский государственный технологический университет,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия,
korgik-89@mail.ru

Рябов Игорь Владимирович,

д.т.н., профессор ПГТУ, Поволжский государственный технологический университет,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия,
iryabov40@gmail.com

Стрельников Игорь Витальевич,

аспирант ПГТУ, Поволжский государственный технологический университет,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия,
str-i-v@yandex.ru

Рассматриваются методы расширения спектра сигналов, на основе которых разработана новая структурная схема цифрового вычислительного синтезатора частотно-модулированных сигналов. Предложенная структура ЦВС обладает повышенным быстродействием и позволяет формировать многочастотные частотно-модулированные сигналы. Цифровой вычислительный синтезатор предназначен для синтеза сигналов с частотной модуляцией и может использоваться в радиолокации, навигации и в адаптивных широкополосных системах связи с расширенным спектром.

Ключевые слова: цифровой вычислительный синтезатор, ППРЧ, системы радиосвязи с расширенным спектром, частотно-модулированные сигналы.

Введение

В процессе организации качественной связи необходимо учитывать воздействие различных внешних факторов: многолучевость распространяемых радиоволн, негативное влияние организованных/преднамеренных, а также случайных помех, возможность многостанционного доступа при работе в пакетных сетях радиосвязи. Эти факторы, а также необходимость решения высокоточных задач определяют использование в радиоустройствах связи сигналов с расширением спектра. Расширение спектра сигнала – это порядок трансляции радиосигнала, при котором сигнал занимает более широкую полосу частот по сравнению с минимально требуемой для передачи информации. Расширение спектра сигнала приводит к увеличению базы сигнала, таким образом, повышается эффективность передачи данных.

Цель работы – разработка новой структуры цифрового вычислительного синтезатора, позволяющего формировать сложные многочастотные частотно-модулированные сигналы, которые могут использоваться в системах радиосвязи с расширенным спектром.

1. Принципы и методы расширения спектра сигналов

При помощи особого управляющего кода (на него не влияют транслируемые данные) расширяют полосу частот сигнала. Для восстановления данных и сжатия полос в приёмном тракте используется код, аналогичный коду передающего тракта, синхронизированный с ним.

Согласно управляющему коду (функции, расширяющей спектр) в передающем тракте параллельно модулируются (отдельно друг от друга) сигнал и передаваемое сообщение, в то же время в приёмном тракте в соответствии с данным

кодом (функцией) происходит синхронная демодуляция и восстановление сообщения.

Преимущества систем радиосвязи с расширенным спектром: энергетическая скрытность, высокая помехоустойчивость и пропускная способность, защищённость от влияния организованных помех, возможность разделения сигналов при многостанционном доступе.

Теорема Клода Шеннона послужила теоретической платформой для создания систем связи с расширенным спектром. Она устанавливает связь между пропускной способностью, шириной полосы и соотношением сигнал-шум в системах связи при воздействии аддитивного белого гауссовского шума.

$$C = W_s \log_2(1 + P_s / P_j) \quad (1)$$

Согласно формуле (1), после задания значения пропускной способности C (бит/с) канала радиосвязи, в условиях действия аддитивной гауссовской помехи (шума) с ограниченной средней мощностью P_j (Вт), пропускная способность обеспечивается двумя путями: применением широкой полосы частот W_s (Гц) с малым отношением сигнал/шум P_s / P_j , либо – узкой полосы частот W_s (Гц) с более высоким отношением сигнал/шум P_s / P_j , где P_s – средняя мощность сигнала.

Исходя из формулы (1) «обмен» мощности сигнала P_s на полосу пропускания канала W_s представляется наиболее рациональным, а при заданном отношении сигнал-шум в канале радиосвязи пропускная способность C может быть увеличена путем соответствующего расширения спектра сигнала.

Методы расширения спектра сигналов применяются в системах радиосвязи, с целью обеспечения качественной связи в условиях радиоэлектронного подавления (РЭП).

Расширение спектра возможно с помощью модуляции параметров сигнала: амплитуды, фазы, частоты, задержки

сигнала согласно особому управляющему коду, который формируется по псевдослучайному закону.

Наиболее распространенными являются следующие методы расширения спектра сигналов:

1) Метод непосредственной модуляции несущей псевдослучайной последовательностью (ПСП).

2) Метод псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ).

3) Метод псевдо-временной импульсной модуляции (ПВИМ).

4) Комбинированные методы модуляции.

Из всех перечисленных методов, метод ППРЧ является наиболее перспективным, так как при воздействии средств радиоэлектронного подавления он обладает более высокой помехоустойчивостью, так как несущая частота сигнала может изменяться в широких пределах.

2. Цифровой вычислительный синтезатор частотно-модулированных сигналов

Цифровой вычислительный синтезатор предназначен для синтеза сложных частотно-модулированных сигналов и может использоваться в системах связи с расширенным спектром.

Структурная схема цифрового вычислительного синтезатора частотно-модулированных сигналов представлена на рисунке 1.

Цифровой вычислительный синтезатор содержит эталонный генератор 1, блок формирования и задержки 2; первый регистр памяти 3, первый и второй цифровые накопители 4 и 5, первый функциональный преобразователь код $x - \sin(x)$ 6, первый инверсный $\sin(x)/x$ фильтр 7, коммутатор 8, первый ЦАП 9; второй регистр памяти 10, третий и четвертый цифровые накопители 11 и 12, второй функциональный преобразователь код $x - \sin(x)$ 13, второй инверсный $\sin(x)/x$ фильтр 14, второй ЦАП 15; третий регистр памяти 16 и делитель с переменным коэффициентом деления 17, выходы блока формирования и задержки 2 подключены к тактовым входам первого, второго, третьего и четвертого цифровых накопителей 4, 5, 11 и 12, а также тактовым входам первого

и второго ЦАП 9 и 15 и управляющему входу коммутатора 8. Цифровыми входами ЦВС являются входы первого, второго и третьего регистров памяти, 3, 10, 16, а его аналоговыми выходами являются выходы первого и второго ЦАП 9 и 15.

Эталонный генератор 1 вырабатывает синусоидальный сигнал опорной частоты, из которого в блоке формирования и задержки 2 формируются последовательности прямоугольных импульсов формы «меандр», служащие для синхронизации работы основных узлов ЦВС. Они поступают на тактовые входы первого, второго, третьего и четвертого цифровых накопителей 4, 5, 11 и 12, тактовые входы первого и второго ЦАП 9 и 15 и управляющий вход коммутатора 8.

Предложенная схема дает возможность повышения быстродействия и возможности формирования многочастотных частотно-модулированных сигналов.

Цифровой вычислительный синтезатор работает следующим образом.

По первому тактовому импульсу в момент времени t_1 код A_i записывается из первого регистра памяти 3 в первый цифровой накопитель 4, код B_j из второго регистра памяти 10 - в третий цифровой накопитель 11, код D_k из третьего регистра памяти 16 - в делитель с переменным коэффициентом деления 17.

В момент t_2 по второму тактовому импульсу код A_i из первого цифрового накопителя 4 записывается во второй цифровой накопитель 5, а код B_j из третьего цифрового накопителя 11 записывается в четвертый цифровой накопитель 12.

Код D_k будет определять скорость изменения частоты в первом и третьем цифровых накопителях, чем больше значение кода D_k , тем ниже скорость изменения информации в первом и третьем цифровых накопителях.

Далее с каждым последующим тактовым импульсом информация в первом тактовым импульсом в первом цифровом накопителе будет изменяться по формуле:

$$F_1 = A_i + T / D_k \quad (2)$$

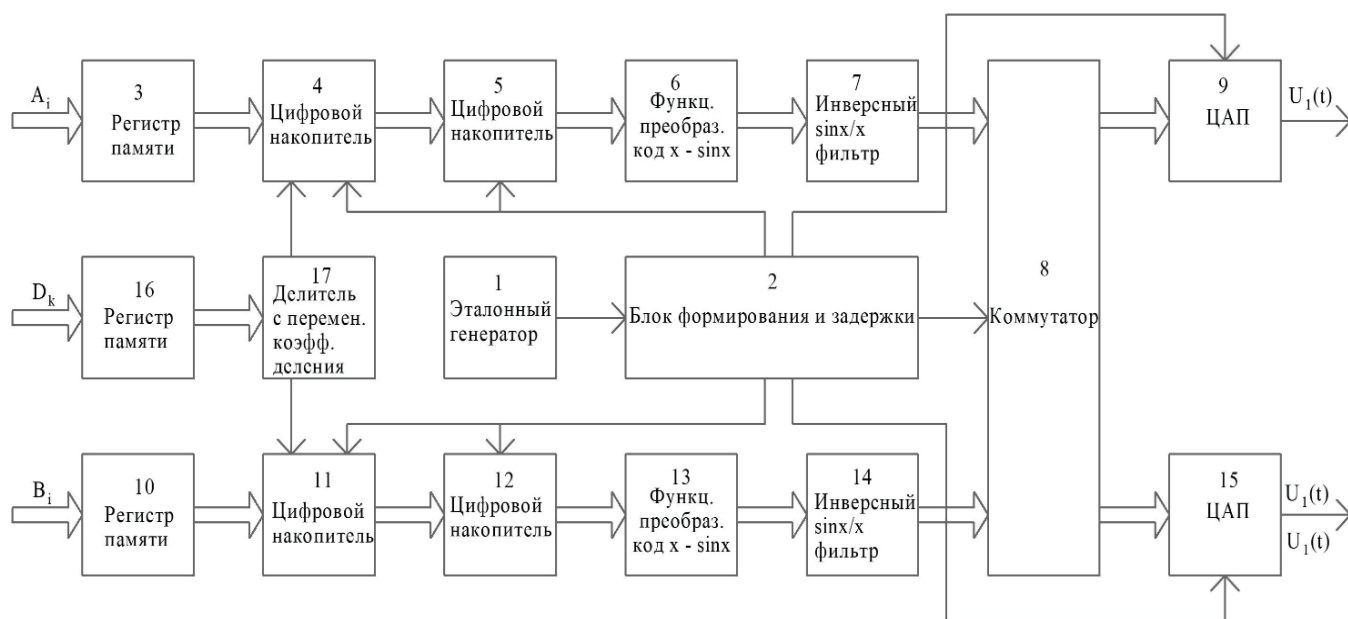


Рис. 1. Структурная схема цифрового вычислительного синтезатора частотно-модулированных сигналов

В третьем цифровом накопителе информация будет изменяться по формуле:

$$F_2 = B_j + T / D_k \quad (3)$$

Информация во втором и четвертом цифровых накопителях будет описываться следующими формулами:

$$\varphi_1 = A_i \times T + T^2 / D_k, \quad (4)$$

$$\varphi_2 = B_j \times T + T^2 / D_k. \quad (5)$$

В функциональных преобразователях 6 и 13 происходит сопоставление кодов φ_1 и φ_2 в коды $\sin(\varphi_1)$ и $\sin(\varphi_2)$

Далее коды $\sin(\varphi)$ поступают через инверсные фильтры 7 и 14 на коммутатор 8, а оттуда на информационные входы первого и второго ЦАП 9, 15. Инверсные фильтры 7 и 14 служат для выравнивания АЧХ на высоких частотах.

Если ввести обозначения

$f_1=A_i$; $f_2=B_j$; $0,5f_1'=1/D_k$; $T=\Delta t$, то сигналы на выходах ЦАП можно описать следующими выражениями:

$$u_1(t) = U_0(2\pi f_1 t + \pi f_1 t^2) + U_0(2\pi f_2 t + \pi f_2 t^2)$$

Форма сигнала на выходе первого ЦАП 9 приведена на рис. 2.

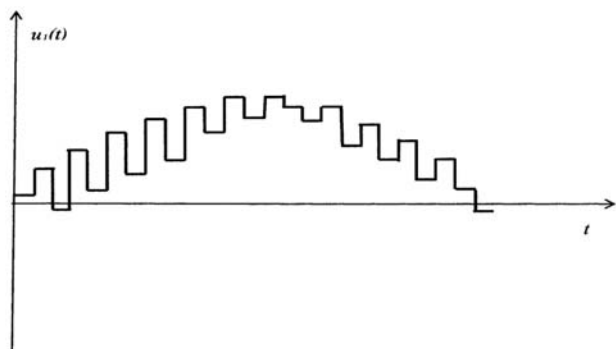


Рис. 2. Графики частотно-модулированных сигналов на выходе ЦВС

Таким образом, на выходах цифрового вычислительного синтезатора формируются два когерентных двухчастотных частотно-модулированных сигнала.

Заключение

Применение методов расширения спектра сигналов в системах радиосвязи позволяет повысить помехоустойчивость или значительно снизить мощность излучения передатчиков связанных систем.

Предложенная новая структура цифрового вычислительного синтезатора, защищенная патентом РФ на изобретение, позволяет синтезировать когерентные двухчастотные частотно-модулированные сигналы, которые могут быть использованы в системах радиосвязи с расширенным спектром с целью повышения помехоустойчивости и надежности сеанса связи.

Литература

1. Борисов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.
2. Рябов И.В. Цифровой синтез прецизионных сигналов (монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 152 с.
3. Рябов И.В. Прямой цифровой синтез сложных широкополосных сигналов в задачах радиолокации, навигации и связи (монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. 151 с.
4. Рябов И.В., Дедов А.Н., Толмачев С.В., Чернов Д.А. Патент № 2580444 Российской Федерации МПК H03L 7/00. Цифровой вычислительный синтезатор частотно-модулированных сигналов. Заявл. 30.10.2014. Опубл. 10.04.2016. Бюл. №10.

ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ШИМ СИГНАЛА С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДЕЛЬТА-СИГМА МОДУЛЯЦИЕЙ

Холуков Роман Геннадьевич,
магистрант МТУСИ, Москва, Россия,
romaninze2009@yandex.ru

В диапазоне ВЧ с использованием ионосферного распространения радиоволн возможна организация радиосвязи на большие расстояния. Данное свойство особенно актуально для подвижных объектов, находящихся вне зоны действия сетей связи массового обслуживания [1]. Энергетические ресурсы источников питания подвижных объектов в большинстве случаев ограничены. Данное обстоятельство предполагает использование радиопередающих устройств с повышенным КПД [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Наиболее перспективным способом реализации высокоэффективных передатчиков в настоящее время считается построение его усилителя мощности по методу раздельного усиления составляющих однополосного сигнала (УМРС) [8]. В нем высокочастотный оконечный каскад, работающий в ключевом режиме, модулируется сигналом огибающей, усиливаемой низкочастотным усилителем класса D, обеспечивая высокий КПД всего усилителя. Применяемые в настоящее время высокоэффективные методы модуляции, в частности, OFDM, характеризуются высоким значением пик-фактора и средней мощностью на 10 дБ меньше пиковой.

Для усилителя класса D необходим формирователь сигнала, который бы обеспечил необходимый динамический диапазон. Так как на вход передатчика сигнал подается в цифровом виде, то целесообразно будет использовать циф-

ровой формирователь ШИМ-сигнала, чтобы избежать двойного преобразования. Использование такого формирователя также позволяет ввести дополнительную математическую обработку, с помощью которой можно улучшить объективные показатели формирователя в целом.

Как показано в [9, 10, 11], сигналы с цифровыми видами модуляции более критичны к искажениям в нижней части амплитудной характеристики. По этой причине линейный динамический диапазон амплитудной характеристики ШИМ модулятора должен составлять не менее 46...50 дБ. Существующие аналоговые решения с ШИМ [12] обеспечивают динамический диапазон на 10... 15 дБ меньше требуемого при полосе пропускания тракта огибающей до 35...50 кГц. Дальнейшее совершенствование их характеристик ограничено физической невозможностью формирования импульсов малой длительности (менее 50 нс) на высоком уровне мощности. Обойти это ограничение потенциально позволяет иной метод формирования сигнала, а именно, сочетание широко-импульсной и дельта-сигма модуляции.

Цифровое формирование ШИМ сигнала с дополнительной дельта-сигма модуляцией может быть реализовано в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 1.

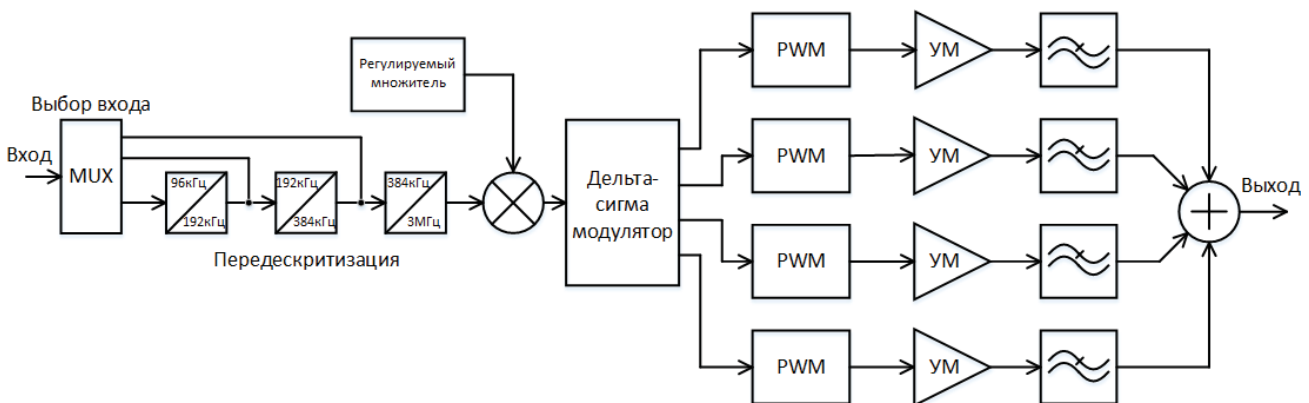


Рис. 1. Структурная схема цифрового формирователя ШИМ сигнала с дополнительной дельта-сигма модуляцией

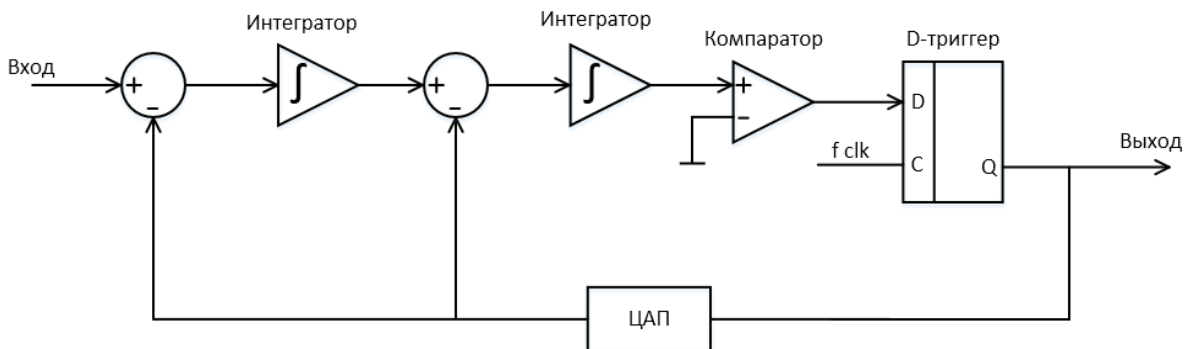


Рис. 2. Структурная схема дельта-сигма модулятора второго порядка

На рисунке 1 обозначено:

1. MUX - мультиплексор, который осуществляет подачу 16-битного сигнала с различными частотами дискретизации: 96кГц, 192кГц, 384кГц.
2. Блоки передискретизации содержат три КИХ - фильтра повышения частоты дискретизации с заданными параметрами. Максимальное допустимое затухание в полосе пропускания составляет 0,1 дБ. Минимальное допустимое затухание в полосе задерживания составляет 80 дБ.
3. Регулируемый множитель, который описывает уровень усиления в канале с помощью перемножителя, то есть регулирует уровень сигнала в тракте.
4. Дельта-сигма модулятор второго порядка [13] (Рисунок 2), который осуществляет дополнительную математическую обработку, перераспределяя спектр шума в более высокочастотную, относительно рабочей области частот, область, снижая его в рабочей полосе частот.
5. PWM – четырехфазный цифровой формирователь ШИМ сигнала, который работает на частоте 400 МГц. Разрешение составляет 512 уровней по длительности. Частота поступления отсчетов составляет 768 кГц. Модуляция по треугольнику работает на удвоенной частоте дискретизации.
6. УМ – усилитель мощности класса D, который усиливает импульсы прямоугольной формы с различной скважностью.
7. ФНЧ – фильтр нижних частот, который обеспечивает фильтрацию высших гармоник.

Моделирование формирователя ШИМ сигнала с дополнительной дельта-сигма модуляцией проводилось в среде

математического моделирования MATLAB. Структурная схема модели приведена на рис. 3. Блоки дельта сигма модулятора и цифрового формирователя ШИМ сигнала были описаны кодом. На вход схемы подавался 16-битный сигнал с различными рабочими частотами, с частотой дискретизации 96 кГц. В качестве анализатора спектра использовалась программа SpectraPLUS, с помощью которой также генерировался испытательный сигнал. Спектр выходного сигнала на частоте 1 кГц приведен на рис. 4. Как видно из рисунка 4, динамический диапазон предложенного цифрового формирователя ШИМ сигнала на частоте 1 кГц с дополнительной дельта-сигма модуляцией составляет не менее 117 дБ.

В связи с тем, что мы хотим получить высокую мощность, требуется сделать суммирование мощности четырех выходных каскадов. При суммировании мощности, если осуществить разделение по фазам, значительно снижается уровень помех и требования к выходному фильтру. Использование многофазной ШИМ эквивалентно повышению тактовой частоты.

Результаты измерения динамического диапазона при различных входных частотах приведены в табл. 1. Как видно из таблицы 1, динамический диапазон предложенного цифрового формирователя ШИМ сигнала составляет не менее 90 дБ в полосе частот до 36 кГц. Сквозная АЧХ модулятора и всех цифровых фильтров приведена на рис. 5, из которого видно, что неравномерность АЧХ на частоте 36 кГц составляет -7 дБ.

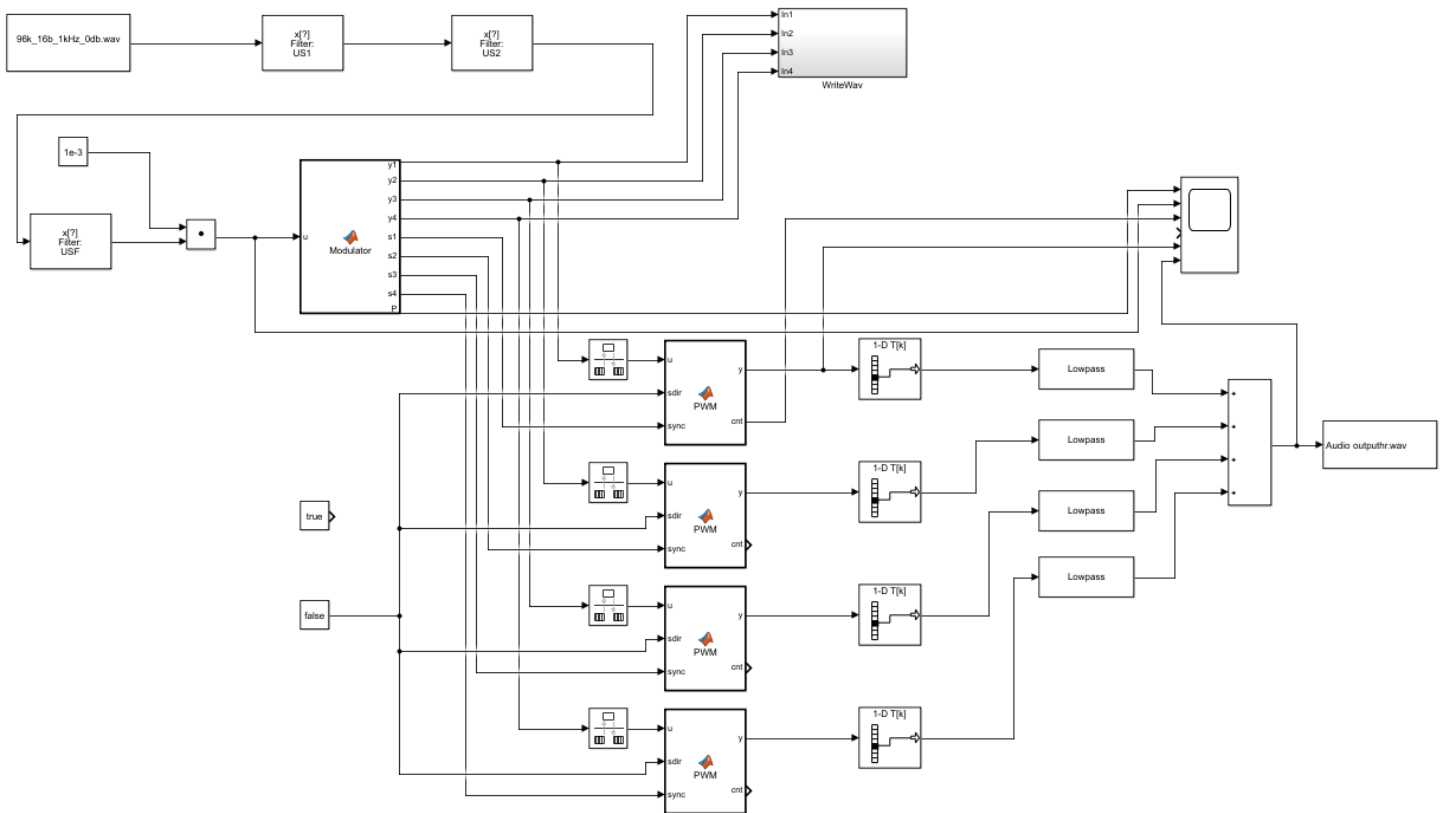


Рис. 3. Структурная схема цифрового формирователя ШИМ сигнала с дополнительной дельта-сигма модуляцией в среде MATLAB

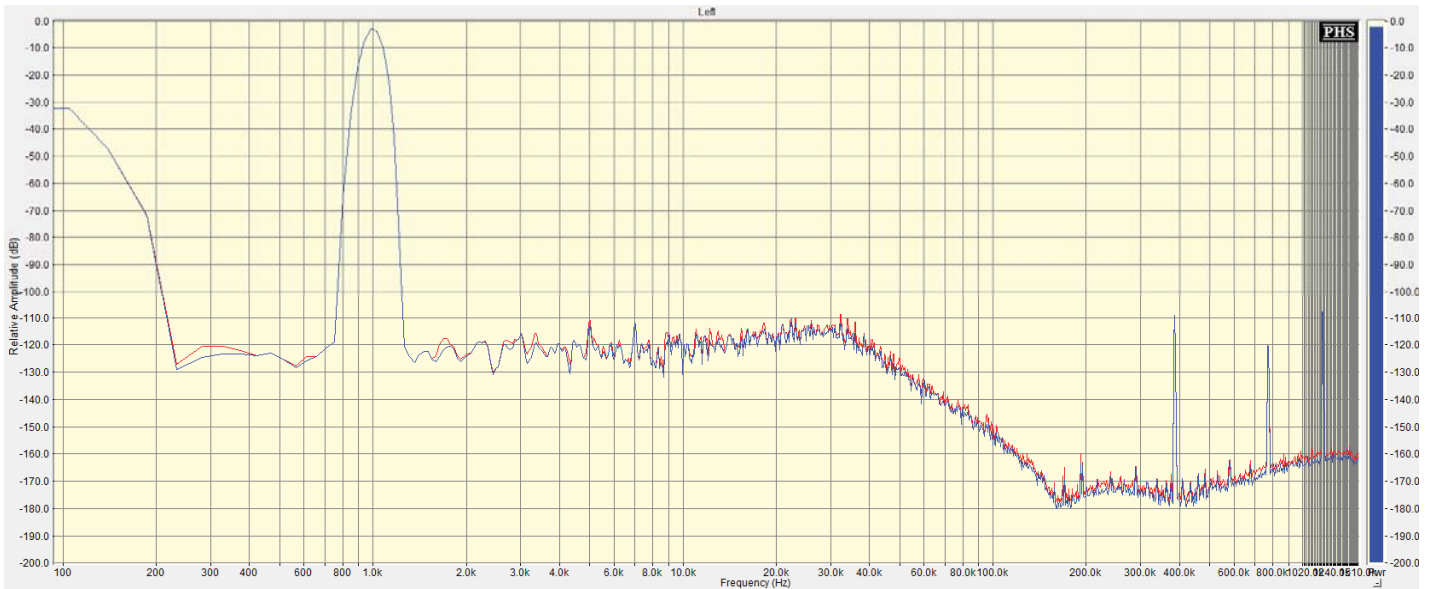


Рис. 4. Спектр выходного сигнала на частоте 1 кГц

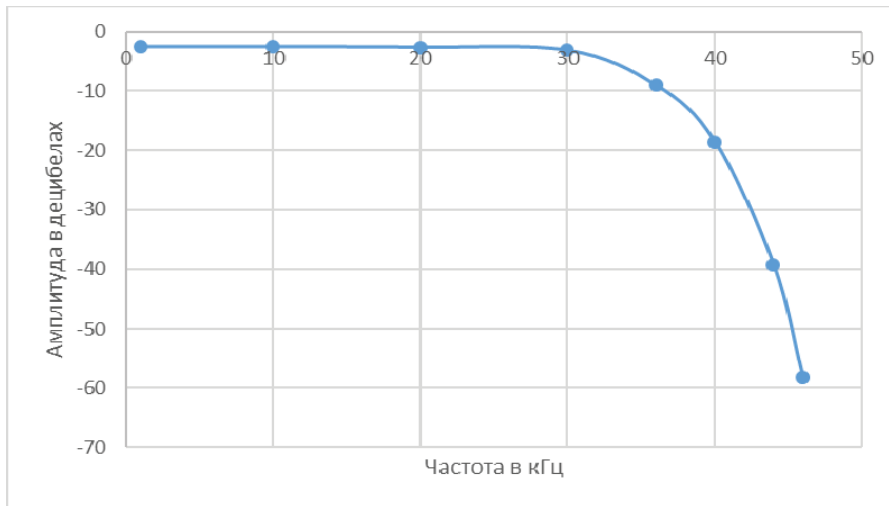


Рис. 5. Сквозная АЧХ модулятора и всех цифровых фильтров

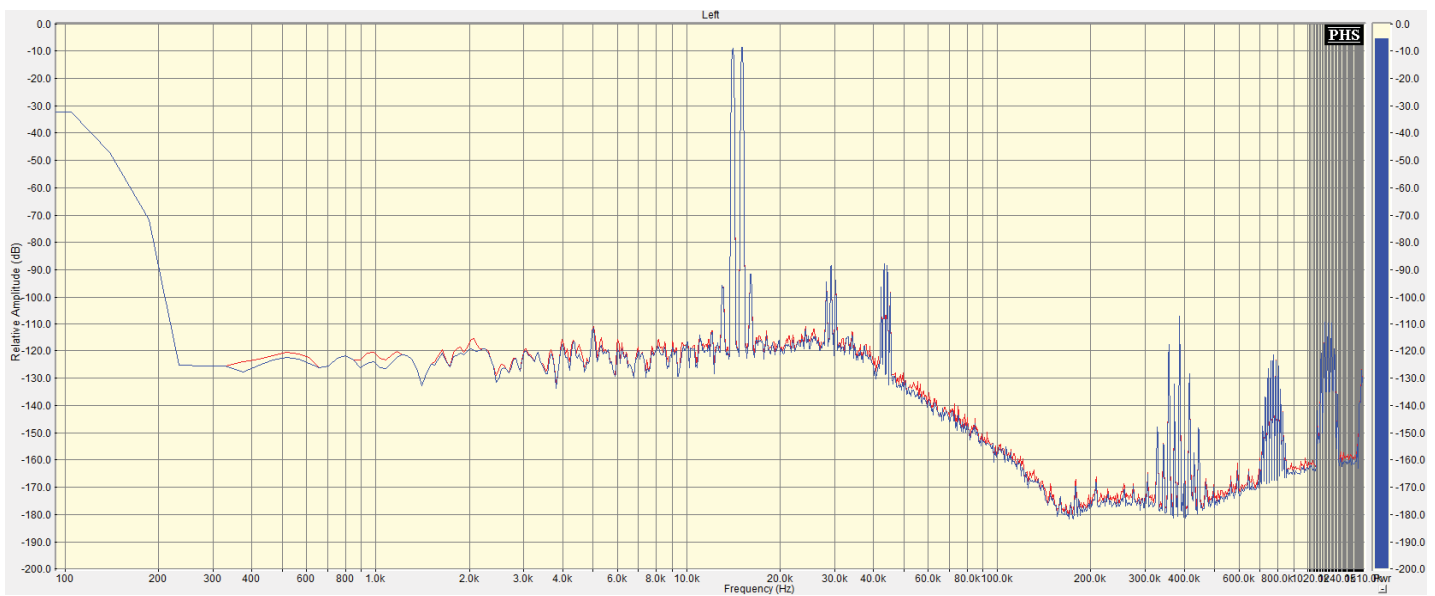


Рис. 6. Спектр выходного сигнала при подаче на вход двух тонов с частотами 14 и 15 кГц с равными амплитудами

Таблица 1

**Результаты измерения динамического диапазона
при различных входных частотах**

Частота, кГц	Динамический диапазон, дБ
1	117,35
10	94,65
20	93,31
30	93,23
36	92,82
40	88,84
44	81,09

Спектр выходного сигнала при подаче на вход двух тонов с частотами 14 и 15 кГц с равными амплитудами приведен на рис. 6. Как видно из рисунка 6, интермодуляционные искажения предложенного цифрового формирователя ШИМ сигнала на частотах 14 и 15 кГц с дополнительной дельта-сигма модуляцией составляет менее -80 дБ.

Результаты моделирования показали, что цифровой формирователь ШИМ сигнала с дополнительной дельта-сигма модуляцией обладает высокими параметрами и в перспективе может быть использован в передатчиках с отдельным усилением составляющих, работающих с OFDM модуляцией.

Литература

1. Варламов О.В. Использование необыкновенной волны для цифрового радиовещания DRM зенитным излучением // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 1. С. 32-38.
2. Варламов О.В., Гончаров И.А., Лаврушенко В.Г. Мощный ВЧ цифроаналоговый преобразователь для усилителя мощности ОМ сигналов // Электросвязь. 1989. № 8. С. 54-57.
3. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Козырев В.Б., Меланьин А.В. Сложение мощностей двухтактных ключевых генераторов ПН с

резистивной нагрузкой // Радиоэлектроника. Известия высших учебных заведений, Киев. 1989. Том 32. № 7. С. 31-36.

4. Варламов О.В., Чузунов И.В. Исследование энергетических характеристик цифрового усилителя мощности OFDM сигналов диапазона УВЧ с дельта-сигма модулятором // Научные технологии в космических исследованиях земли. 2015. № 2. С. 30-33.

5. Варламов О.В. Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Московский технический университет связи и информатики. Москва, 2017.

6. Filinotov N., Varlamov O. Power amplifier circuit for amplifying rf-signals / Патент на изобретение DEU EP1229642 (B1) 31.01.2001.

7. Filimonov N., Varlamov O., Itkin G. Efficient modulation of RF signals / Патент на изобретение DEU EP1450479 (B1) 20.02.2003.

8. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г. Разработка коротковолнового ключевого усилителя мощности с отдельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 42-44.

9. Варламов О.В. Research of influence of DRM broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. № 2. С. 59-60.

10. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г., Чузунов И.В. Генератор испытательных сигналов для измерительных характеристик ключевых усилителей мощности с отдельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 47-49.

11. Иванюшкин Р.Ю., Варламов О.В., Сягаев А.К. Нелинейные искажения сигнала стандарта DRM в синтетических схемах линейного усиления / В сборнике: Обработка сигналов в системах наземной радиосвязи и оповещения. Материалы XV межрегиональной научно-технической конференции. Нижний Новгород, 2007. С. 301-310.

12. Варламов О.В. Разработка высокоэффективного модуляционного тракта для ВЧ усилителя мощности с отдельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. №9. С. 45-46.

13. Вологдин Э.И. Сигма дельта модуляция в цифровой аудиотехнике. Конспект Лекций. СПбГУТ 2013.

РАСЧЕТ ПЛАНАРНОЙ ЩЕЛЕВОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ

Чебышев Вадим Васильевич,
д.т.н., профессор МГУСИ, Москва, Россия

Ястребцова Ольга Игоревна,
аспирант кафедры ТЭДиА МГУСИ, Москва, Россия,
yastrebtsova@rambler.ru

Плоские спиральные антенны находят широкое применение в различных системах связи как широкополосные антенны вращающейся поляризации, имеющие маловыступающую конструкцию [1,2]. В частности, спиральные антенны находят применение в спутниковых навигационных системах. Особое значение имеет исследование этих антенн в составе ФАР широкополосных систем, предполагающих работу со сверхкороткими импульсами [3] и требующих устойчивых частотных характеристик в широкой полосе частот. В этой связи возникает необходимость в строгих методах исследования щелевых спиральных антенн с учетом факторов, позволяющих учитывать использование дополнительных конструктивных элементов. К таким факторам относятся многослойные среды и нагруженные экраны, позволяющие влиять на частотные свойства и габариты спирали.

Аналогом плоских щелевых спиральных антенн являются микрополосковые спиральные антенны [4], которые используются обычно в диапазоне от 0.2 до 18 ГГц. Основными признаками таких антенн является плоская слоистая среда, включая подложку и покрытие спирали, топология полосковой структуры спирали и условия ее возбуждения. По топологии полосковой структуры принято различать архимедовы и эквиугольные спирали, для анализа которых используется метод интегральных уравнений [4]. Сравнение характеристик эквиугольной спирали и архимедовой спирали как спирали с более простой топологией, имеющей постоянный шаг спирали, указывает на большую частотную стабильность характеристик эквиугольных спиралей из-за приближения топологии последних к топологии взаимодополняющих структур. В свою очередь, щелевые спирали имеют преимущество в сравнении с микрополосковыми спиралями в части устойчивости частотных свойств и меньшего размера отражающей (резонаторной) области (малой толщины выступающей конструкции) антенны.

Цель работы – описание математической модели для плоской щелевой двухзаходной спирали со слоистой подложкой на нагруженном экране и укрытием на основе метода интегральных уравнений и численном анализе ее частотных свойств в зависимости от параметров топологии спирали, параметров слоистой среды и поверхностного импеданса нагруженного экрана с последующим определением конструктивных размеров в части размеров щелевой структуры антенны, слоистой среды и размера (толщины) резонаторной области антенны.

Определение математической модели щелевой антенны в слоистой среде основано на наиболее общем подходе при решении электродинамических задач для неоднородных сред, который состоит в построении интегральных представлений поля в плоских слоистых средах с использованием формализма представлений векторных потенциалов поля для магнитных токов при помощи специального построения

тензорной функции Грина в слоистой среде [6]. Основой анализа является обращение (редукция) граничной задачи электродинамики к интегро-дифференциальному уравнению для поверхностного магнитного тока щелевой структуры антенны с последующим преобразованием его к одномерному интегральному уравнению Фредгольма первого рода для полного магнитного тока спирали по аналогии с [4]. Для численного решения интегрального уравнения используется эффективный алгоритм, основанный на реализации принципа «саморегуляризации». Тогда для известного магнитного тока спирали можно определить входной импеданс (проводимость), а затем характеристики направленности, такие как диаграмма направленности, коэффициент эллиптичности, угол наклона большой оси эллипса поляризации. В работе приводятся примеры расчета указанных характеристик для малогабаритной щелевой эквиугольной спиральной антенны с многослойной подложкой и укрытием.

Была рассмотрена следующая задача электродинамики: в области с плоским слоистым заполнением на одной из границ раздела расположена щелевая структура двухзаходной спирали $S_{щ}$. Среда моделирует свойства подложки и укрытия для щелевой структуры $S_{щ}$, которая, в общем случае, может быть многослойной, и характеризуется параметрами $\epsilon(z)$ и μ_0 . Среда может содержать в качестве граничного слоя экран с поверхностным импедансом Z_s , а сама щелевая структура может быть нагружена на сосредоточенные сопротивления Z_p , p – целое число.

Геометрия щелевой структуры $S_{щ}$ характеризуется образующей в виде гладкой кривой Γ и имеет ширину $2d$, $kd \ll 1$, где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – рабочая длина волны, и длину $2L$, $kL > 1$. Для описания геометрии образующей Γ используется ортогональная криволинейная система координат (s,v) с коэффициентами Ламе h_1 и h_2 и элементами длины $dl = h_1 ds$ и $dt = h_2 dv$. Вход излучателя представляется узкой линейной щелью шириной $2d$ и размером $2b$, $kb \ll 1$. К кромкам щели приложена разность потенциалов U , при которой в щели устанавливается первичное поле E^0 . Предполагая эффективное возбуждение, расчет этого поля можно провести в квазистатическом приближении [6].

При заданном возбуждении в щелевой структуре $S_{щ}$ устанавливается магнитный ток с поверхностной плотностью $j_s^M(M_0)$, точка M_0 лежит на щелевой структуре $S_{щ}$. Обращение задачи и вывод интегрального уравнения был проведен в предположении, что образующая Γ щелевой структуры $S_{щ}$ имеет постоянную кривизну (коэффициенты Ламе h_1 , h_2 – постоянные величины). К таким структурам относятся линейные, кольцевые и эквиугольные структуры. Используя комбинацию из фрагментов структур такого вида можно составить весьма произвольную щелевую структуру.

Для поля (E,H) , создаваемого магнитным током j_s^M , использовалось интегральное представление векторного по-

тенциала с ядром, которое определяется элементами тензорной функции Грина для магнитного источника в слоистой среде [6]. Далее использовалась известная процедура обращения задачи [4] к интегральному уравнению первого рода для тока j_s^M щелевой спирали. В приближении «узкой» щели ($kd \ll 1$) это уравнение можно преобразовать в одномерное интегральное уравнение для полного магнитного тока Γ^M как интегральной характеристики тока j_s^M (по аналогии с током полосковой спирали в [4]). В результате происходит переход к интегральному уравнению Фредгольма первого рода для тока Γ^M . Для численного решения этого интегрального уравнения с ядром, имеющим слабую (интегрируемую) особенность, наиболее приспособлен алгоритм, реализующий принцип «саморегуляризации» [4].

Дискретизация интегрального уравнения при реализации принципа «саморегуляризации» приводит к формированию системы линейных алгебраических уравнений с преобладающими элементами на главной диагонали матрицы, что обеспечивает ее устойчивое решение. Решение системы линейных алгебраических уравнений позволяет определить распределение магнитного тока спирали Γ^M и затем найти такие ее характеристики как входной импеданс и поле излучения.

При исследовании частотных свойств щелевой спирали следует учитывать возможность возникновения поверхностных волн электрического и магнитного типов в слоистой среде. Поле поверхностных волн, учитывая его локальное распределение вблизи поддерживающей слоистой поверхности, можно рассматривать как реактивное поле антенны, влияние которого ведет к ухудшению частотных свойств и сужению рабочей полосы частот антенны. Поэтому необходимо применять структуры, препятствующие возникновению поверхностных волн и работающих в режиме «отсечки» последних. Это относится к выбору толщины и диэлектрической проницаемости слоев слоистой структуры и, также, использованию дополнительных «сторонних» структур в виде нагруженных экранов с поверхностным импедансом Z_s , которые не поддерживают поверхностные волны. Условия,

гарантирующие отсутствие поверхностных волн высших типов, т.е. режим «отсечки» в двухслойной диэлектрической среде на проводящем экране, приведены в работе [5].

Таким образом, в работе предложен метод расчета планарной щелевой спиральной антенны со слоистой подложкой и слоистым укрытием на основе численного решения уравнения Фредгольма первого рода для магнитного тока позволяет учесть нагруженные экраны, которые могут использоваться для ограничения распространения поверхностных волн в диэлектрической среде. Описан алгоритм численного решения интегрального уравнения, а также приведен результат исследования частотных характеристик планарной эквиугольной щелевой спирали с одним диэлектрическим слоем укрытия и двумя диэлектрическими слоями подложки.

Литературы

1. *Volakis J.L., Namberger M.W., Filipovic D.S.* A broadband cavity-backed slot spiral antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine*, vol. 43, No. 6, December, 2001.
2. *Fumeaux C., Baumann P., Vahldieck R.* Finite-volume time-domain analysis of a cavity-backed Archimedean spiral antenna, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, No. 3, March, 2006.
3. *Будагян И.Ф., Чебышев В.В., Максимов М.А.* Моделирование характеристик излучения микрополосковых спиральных антенн при работе со сверхкороткими импульсами // *Электросвязь*, №3, 2011. С. 27-31.
4. *Чебышев В.В.* Микрополосковые антенны и решетки в слоистых средах. М.: Радиотехника, 2007. 160 с.
5. *Ястребцова О.И.* Электродинамический анализ волн в направляющих многослойных структурах // *Антенны*. №12. 2016. С. 22-32
6. *Чебышев В.В.* Вычислительная электродинамика для полосковых структур в слоистых средах. М.: ПСТМ, 2013. 128 с.
7. *Чебышев В.В., Ястребцова О.И.* Расчет щелевых излучателей со слоистым покрытием на основе метода интегральных уравнений // *Антенны*, №3, 2017. С. 24-31.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КОСМИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ РАДИОЛИНИИ СВЯЗИ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ

Чиков Вадим Александрович,

ведущий специалист АО НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки, Россия,
chvva@mail.ru

Петров Александр Сергеевич,

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник АО НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки, Россия,
as-petr@yandex.ru

Прилуцкий Андрей Алексеевич,

д.ф.-м.н., начальник комплекса АО НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки, Россия,
niidar2011@yandex.ru

Разработаны методика и программа для персональной ЭВМ, предназначенные для расчета энергетического потенциала и определения мощности передатчика, а также коэффициентов усиления антенн бортового и наземного комплексов космической цифровой радиолинии связи. Приведены примеры расчета энергетического потенциала и базовых параметров таких линий.

В системах радиовещания, телевидения, телефонии, радиовидения и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) используются космические цифровые радиолинии связи (КЦРС) между наземным комплексом (НК) и космическим аппаратом (КА). Обмен информацией между НК и КА в двух направлениях, НК→КА и КА→НК, проводится при помощи КЦРС на линиях «вверх» и «вниз», соответственно. Адекватный прием сигнала возможен лишь в том случае, когда энергетический потенциал (ЭП), выражаемый отношением сигнала к шуму, превосходит определенное предельное значение. В монографиях [1] и [2] вопросам расчета ЭП КЦРС посвящены отдельные главы. В уравнение для расчета ЭП входит множество переменных параметров, что затрудняет выбор их оптимальной комбинации. Для облегчения решения этой задачи в статье [3] предложен метод мультипликативных групп (МГ), входящих в уравнение для расчета ЭП, позволяющий упростить определение коэффициентов усиления (КУ) антенн и мощности передатчика, установленных в аппаратуре КЦРС. В докладе отражены результаты разработки методики определения КУ антенн и мощности передатчика по методу МГ, а также расчета ЭП КЦРС при помощи программы, реализованной в среде Microsoft Visual Studio C++ для персональной ЭВМ.

Энергетический потенциал цифровой радиолинии связи определяется величиной E_b/N_0 , выражающей отношение энергии бита принимаемой информации к спектральной плотности мощности белого шума приемного устройства [1, 2]. Уравнение для расчета ЭП имеет следующий вид

$$E_b/N_0 = P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} / (k T_{\text{общ}} R_b L_{\text{пр}} L_{\text{атм}} L_{\text{доп}}), \quad (1)$$

где $P_{\text{прд}}$ – мощность сигнала передатчика, $G_{\text{прд}}$ и $G_{\text{прм}}$ – коэффициенты усиления антенн передатчика и приемника, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $T_{\text{общ}}$ – общая шумовая температура системы, R_b – битовая скорость передачи информации, $L_{\text{пр}}$, $L_{\text{атм}}$, – потери пространственные и в атмосфере, $L_{\text{доп}}$ – дополнительные потери, например, связанные с обработкой сигнала. Запас (резерв) по энергетическому потенциалу оценивается, как отношение рассчитанного к тре-

буемому значению отношения энергии бита к спектральной плотности мощности шума, а именно, $M_{\text{зап}} = (E_b/N_0) / (E_b/N_0)_{\text{треб}}$.

В соответствии с методикой, предложенной в [3], используя соотношение (1), вначале рассчитываем значение мультипликативного коэффициента энергетического потенциала (КЭП)

$$KЭП = P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} = M_{\text{зап}} (E_b/N_0)_{\text{треб}} (k T_{\text{общ}} R_b L_{\text{пр}} L_{\text{атм}} L_{\text{доп}}), \quad (2)$$

который определяется как произведение мощности сигнала передатчика и коэффициентов усиления антенн, установленных на борту космического аппарата (КА) и на наземном комплексе (НК). Внимательное рассмотрение показывает, что при проектировании конкретной КЦРС все коэффициенты и параметры, стоящие в правой части формулы (2), полностью определяются геометрической конфигурацией трассы, состоянием атмосферы, стандартными параметрами приемника, требуемой скоростью передачи информации, примененным видом модуляции сигнала несущей частоты и выбранным типом помехоустойчивого кодирования информации. Таким образом, остается лишь найденное при помощи (2) значение произведения $KЭП = P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}}$ оптимальным образом разделить на три составные части.

Блок-схемы, описывающие модель расчета ЭП КЦРС на линиях «вверх» (НК→КА) и «вниз» (КА→НК), представлены на рис. 1.

Коэффициент усиления антенны оцениваем при помощи формулы

$$G = 4\pi S_a \eta / \lambda^2, \quad (3)$$

где S_a – площадь апертуры антенны, η – коэффициент использования ее площади, λ – длина волны в вакууме. Для антенны с круглой апертурой $G = (\pi D_a)^2 \eta / \lambda^2$, где D_a – ее диаметр. Пространственные потери

$$L_{\text{пр}} = (4\pi R / \lambda)^2. \quad (4)$$

R – наклонная дальность, определяемая геометрией трассы [4, 5]. Потери в атмосфере, выраженные в децибелах,

$$L_{\text{атм}}(\beta) \approx L_{90^\circ}/\sin(\beta), \quad (5)$$

где L_{90° – потери в атмосфере при угле скольжения (возвышения) $\beta = 90^\circ$ также выраженные в децибелах.

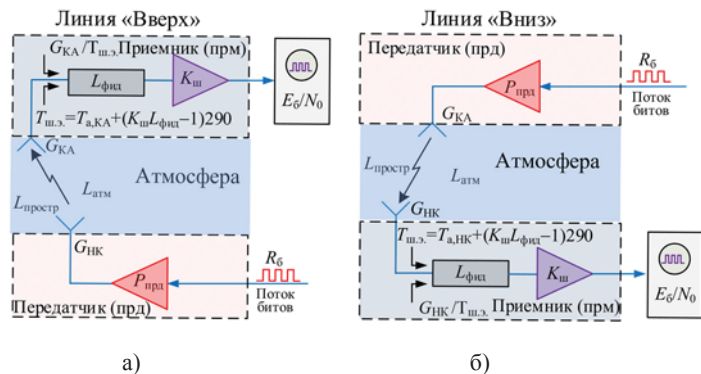


Рис. 1. Блок-схемы, описывающие модель расчета ЭП КЦРС на линиях «вверх» а) и «вниз» б)

Если на входе малошумящего усилителя (МШУ) с коэффициентом шума $K_{ш}$ установлен фидерный тракт (ФТ) и полотно-пропускающий фильтр (ППФ), имеющие суммарные диссипативные потери $L_{\text{фид}}$, то общая шумовая температура системы, состоящей из антенны, ФТ, ППФ и МШУ определяется при помощи формулы

$$T_{\text{общ}} = T_a + (L_{\text{фид}} K_{ш} - 1) 290^\circ, \quad (6)$$

где $L_{\text{фид}}$ и $K_{ш}$ выражены в относительных единицах и связаны с соответствующими величинами, выраженными в децибелах, следующим образом $L_{\text{фид}} = 10^{L_{\text{фид, дБ}}/10}$,

$K_{ш} = 10^{K_{ш, дБ}/10}$. Например, на линии «вниз», работающей в X-диапазоне частот, шумовую температуру антенны НК, направленной в небо, принимаем равной его шумовой температуре при частоте 10 ГГц и минимальном угле возвышения КА над линией горизонта 10° . Используя графические зависимости, приведенные в [1, 2], получаем $T_a = 20^\circ$ К. А на линии «вверх» шумовую температуру антенны, установленной на борту КА и направленной в сторону Земли, принимаем равной $T_a = 290^\circ$ К. Если коэффициент шума приемника, присчитанный к его входу, $K_{ш} = 3.5$ дБ, а потери в фидерном тракте и в ППФ $L_{\text{фид}} = 3$ дБ, то в результате на линии «вниз» получаем $T_{\text{общ}} = 1025^\circ$, а на линии «вверх» $T_{\text{общ}} = 1295^\circ$.

При использовании M -арных видов модуляции сигнала несущей частоты требуемую ширину полосы частот канала можно оценить при помощи следующего соотношения [1]

$$\Delta f \approx 1.5 R_b / \log_2(M). \quad (7)$$

При $R_b = 600$ Мбит/с и $M = 16$ получим $\Delta f \approx 225$ МГц. Вероятность битовой ошибки при модуляции M -QAM, где $M = 2^k$ рассчитывается при помощи следующей формулы [1]

$$P_6 \approx [2(1-L^{-1})/(\log_2 L)] Q[(3 \log_2 L)(L^2 - 1)^{-1/2} (E_b/N_0)], \quad (8)$$

где гауссов интеграл ошибок $Q(x) = 0.5 \text{erfc}(x/2)$, $\text{erfc}(x) = 2 \int_x^\infty \exp(-u^2) du$, $L = \sqrt{M}$.

Расчеты показывают, что при $M = 16$ для обеспечения вероятности появления ошибочного бита $P_b < 10^{-7}$ потребовалось бы иметь отношение $E_b/N_0 > 15$ дБ. Для уменьшения этого отношения следует воспользоваться методами помехоустойчивого кодирования. Они позволяют уменьшить уровень требований к отношению E_b/N_0 , выраженному в децибелах, в 2-3 раза за счет снижения скорости передачи информации.

В качестве примера рассмотрим КЦРС на трассе «вниз» в которой высота полета КА $h_{\text{КА}} = 400$ км, угол скольжения (возвышения) $\beta = 10^\circ$, $\lambda = 3$ см, $L_{90} = 0.25$ дБ, параметры фидерного тракта и МШУ заданы выше. Будем полагать также, что $R_b = 600$ Мбит/с, $M_{\text{зап}}(E_b/N_0)_{\text{треб}} = 10$ дБ. Рассчитываем при помощи формулы (2) значение КЭП = 76.3 дБВт. Примем диаметр антенны приемного устройства, установленного на НК, равным $D_{\text{прм}} = 4.2$ м. Используя формулу (3), в которой положили $\eta = 0.7$, находим $G_{\text{прм}} = 51.3$ дБ. Определяем ЭИИМ бортовой аппаратуры ЭИИМ_{прд} = КЭП - $G_{\text{прм}} = 25$ дБВт.

Если выбрать значение мощности бортового передатчика $P_{\text{прд}} = 10$ Вт, то найдем КУ его антенны $G_{\text{прд}} = \text{ЭИИМ}_{\text{прд}} - P_{\text{прд}} = 15$ дБ, откуда следует, что ее диаметр $D_{\text{прд}} = 6.4$ см.

Таким КУ обладают, например, спиральные антенны. Ширина ДН антенны передатчика $\Delta\theta_{3\text{дБ}} \approx 0.886\lambda/D_{\text{прд}} = 26.8^\circ$. Антенну с таким КУ можно также реализовать и на основе малой фазированной антенной решетки (ФАР) с числом элементов 2×2 , в которой в качестве излучателей используются микрополосковые антенны. Она позволит выполнять электрическое сканирование ДН, обеспечивая ее нацеливание на точку, в которой располагается НК.

В аналогичной КЦРС, работающей на линии «вверх» (НК-КА), можно использовать те же две антенны. Небольшое отличие будет состоять только в том, что в этом случае увеличивается шумовая температура антенны, установленной на КА, поскольку она направлена на Землю. Впрочем, недостаток энергетического потенциала на НК всегда можно скомпенсировать увеличенной на нем мощностью передающего устройства. Более существенное отличие между двумя линиями выявится в том, что на линии «вверх», которая, как правило, является командной, может потребоваться другая, меньшая скорость передачи информации.

Описанная методика реализована алгоритмически и программно в среде Microsoft Visual Studio C++ для персональной ЭВМ. Меню программы, в котором задаются входные параметры задачи, при работе КЦРС на трассе «вниз» представлено на рис. 2. В нем имеется три окна. В первом из них вводятся основные параметры радиолинии. Во втором – слайдеры, предназначенные для плавного изменения мощности передатчика и коэффициентов усиления антенн, установленных на НК и на КА, и кроме того меню, в котором задаются параметры осей и шаг координатной сетки узлов графической зависимости E_b/N_0 от диаметра антенны, установленной на НК. Сама эта зависимость отображается в третьем окне программного меню.

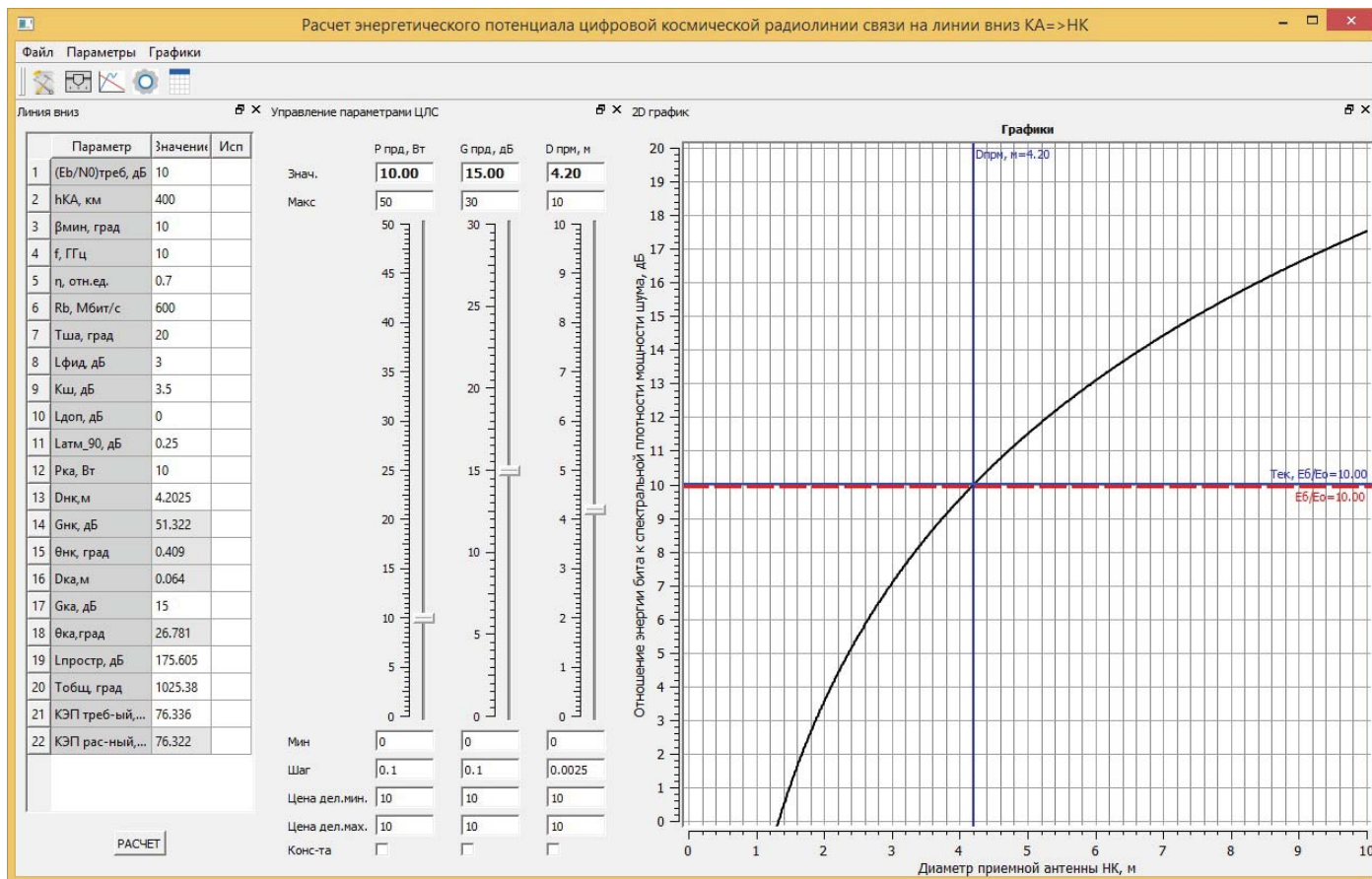


Рис. 2. Меню программы

Заключение

Разработанные методика, алгоритмы и программа позволяют ускорить процесс уточненного определения таких параметров КЦРС, как мощность передатчика и коэффициенты усиления антенн, установленных на НК и КА, при которых обеспечивается заданный уровень отношения энергии бита к спектральной плотности мощности белого шума.

Литература

1. Склар Б. Цифровая связь. Теоретическое и практическое применение. Пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 1102 с.
2. Бартенев В.А., Болотов Г.В., Быков В.Л. и др. Спутниковая связь и вещание: справочник / Под ред. Л.Я. Кантора. М.: Ра-

дио и связь, 1997. 526 с.

3. Петров А.С., Павленко Г.П. Энергетика цифровой радиолинии связи и определение параметров антенных устройств с помощью мультипликативных коэффициентов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2006. №2-3. Т. 11. С. 106-108.
4. Петров А.С., Прилуцкий А.А. Проекция диаграммы направленности фазированной антенной решетки на земную поверхность // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 3. С. 59-66.
5. Юскевич И.А., Тепляков В.Д., Петров А.С. Моделирование зон засветки поверхности Земли диаграммами направленности многолучевых активных фазированных антенных решеток // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62. №9. С. 847-856.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО УСИЛЕНИЯ В ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ И СВЕРХШИРОКОДИАПАЗОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ НА СОВРЕМЕННЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Шмаков Никита Дмитриевич,
аспирант, МТУСИ, Москва, Россия,
shmaki-shmak@yandex.ru

Иванюшкин Роман Юрьевич,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
rivanyushkin@gmail.com

Рассматриваются основные области применения, достоинства и недостатки, свойственные усилителям бегущей волны с распределенным усилением на полевых транзисторах, а также обсуждаются перспективы применения таких усилителей в качестве широкодиапазонных и сверхширокодиапазонных усилителей мощности в диапазонах ВЧ, СВЧ и УВЧ. Приводятся результаты исследования энергетических и качественных показателей усилителя с распределенным усилением на мощных полевых транзисторах методами компьютерного схемотехнического моделирования.

Ключевые слова: усилитель с распределенным усилением, полевые транзисторы, электронные лампы, искусственные длинные линии, вилка фильтров, широкодиапазонные усилители.

В настоящее время, при построении радиопередающих трактов, велика потребность в построении непереключаемых широкодиапазонных и сверхширокодиапазонных усилителей мощности радиочастоты. Так наиболее перспективным направлением является применение сверхширокополосных усилителей бегущей волны в качестве предварительных и предоконечных усилителей мощности в телевизионных радиопередающих устройствах [9], а также целесообразно применение таких усилителей в измерительной технике.

К преимуществам такого типа усилителей относят: возможность усиления в широком диапазоне частот, постоянный коэффициент усиления в заданном диапазоне, распределенное теплоотведение, которое позволяет существенно упростить задачу охлаждения усилителя в целом, а также то, что на сопротивление выходной линии УРУ оказывает влияние выходная емкость только одного активного элемента. К явным недостаткам такого типа построения усилителей мощности относят низкий КПД и относительно небольшой коэффициент усиления [8].

Наиболее высокие энергетические показатели достигаются при расчете УРУ по методике, основанной на построении входной и выходной искусственных длинных линий (ИДЛ) УРУ на основе Т-образных ФНЧ-звеньев 3-го порядка, где, в качестве емкостного элемента, включается входная или выходная емкость транзистора, соответственно. Производить расчет по методикам, предназначенным для расчета ламповых УРУ (при их адаптации под современные полевые транзисторы) нецелесообразно, поскольку, как показал опыт расчета, энергетические показатели получаются существенно хуже, чем при расчете на основе первой методики [9].

Расчет и компьютерное моделирование проводились для двух схем УРУ на разных полевых транзисторах и на основе разных средств моделирования.

Расчет широкодиапазонного ВЧ-СВЧ УРУ производился на балансных полевых транзисторах типа BLF278 для диапа-

зона рабочих частот от 10 до 110 МГц, а при моделировании Т-образных ФНЧ-звеньев 3-го порядка частота среза была выбрана равной 120 МГц. Схемотехническое моделирование производилось на 4 половинках полевых транзисторов BLF278 [1] в студенческой версии пакета Micro-Cap 10.

На выходе схемы применяется дуплексер, который (для упрощения компьютерной модели) образован последовательными и параллельными колебательными контурами. Колебательные контуры настроены в резонанс на первую (полезную) гармонику и нагружены на сопротивления равные волновому сопротивлению выходной искусственной длинной линии, а при расчете, нагруженная добротность контуров принималась равной 5. Смоделированная схема представлена на рис. 1 [7].

На основе приведенной компьютерной модели исследованы энергетические характеристики УРУ. На рисунке 2 представлена зависимость полезной мощности на выходе УРУ от частоты.

Как видно из рис. 2, выходная мощность имеет некоторую неравномерность по диапазону, которая связана с неполным согласованием искусственных длинных линий. Также исследованы амплитудная и фазоамплитудная характеристики УРУ на рабочей частоте, соответствующей уровню максимальной полезной мощности (90 МГц) [7]. Полученные характеристики представлены на рис. 3 и 4, соответственно.

Нелинейность амплитудной и фазоамплитудной характеристики обусловлена существенной нелинейностью его вольт-фарадных характеристик, поэтому при различных амплитудах усиливаемого радиосигнала, нарушается согласование искусственных длинных линий, которое происходит из-за существенных изменений величин входной и выходной емкостей транзистора. По этой причине при усилении радиосигналов с непостоянной огибающей целесообразно применение мер по его линеаризации, в частности наиболее эффективным методом является цифровая предкоррекция.

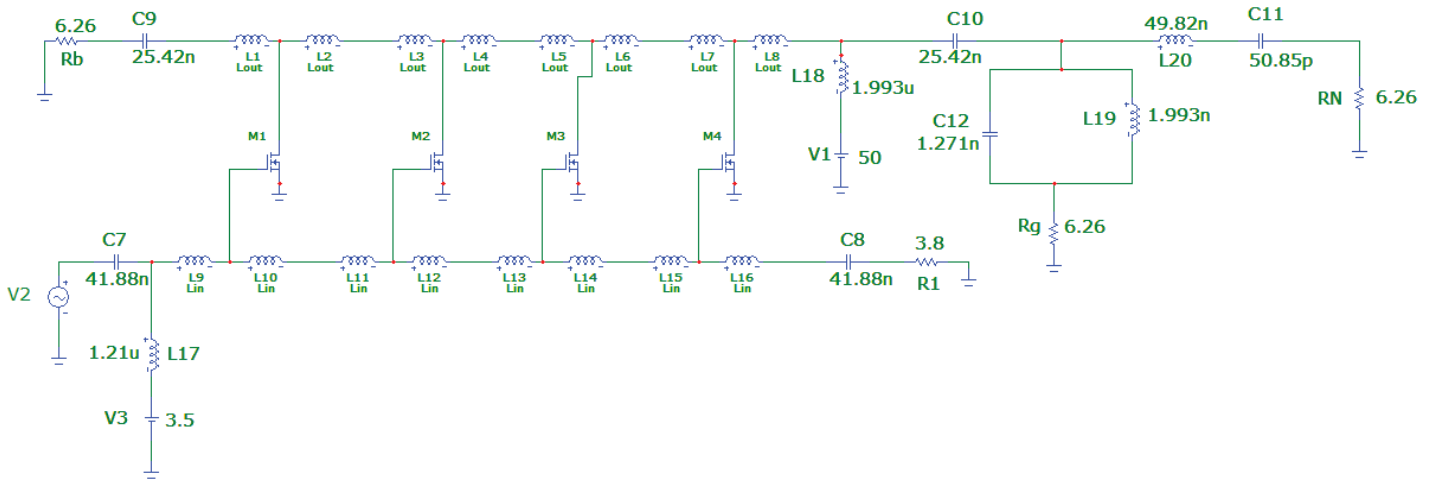


Рис. 1. Смоделированная схема УРУ на полевых транзисторах BLF 278

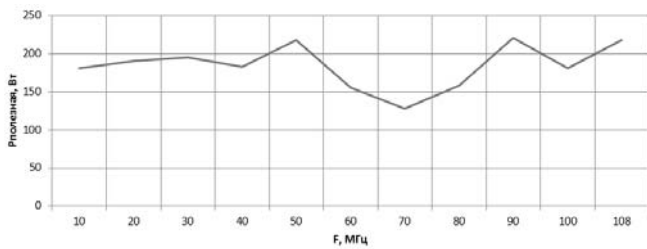


Рис. 2. Зависимость полезной мощности на выходе УРУ от частоты

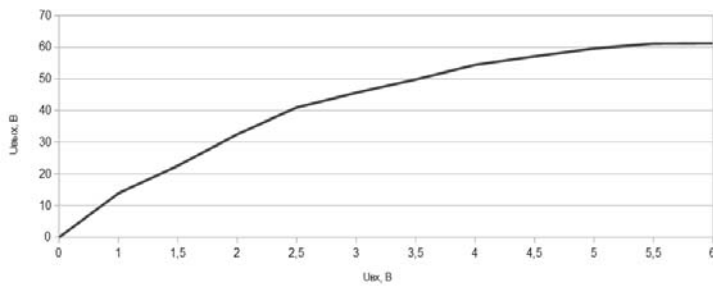


Рис. 3. Амплитудная характеристика УРУ

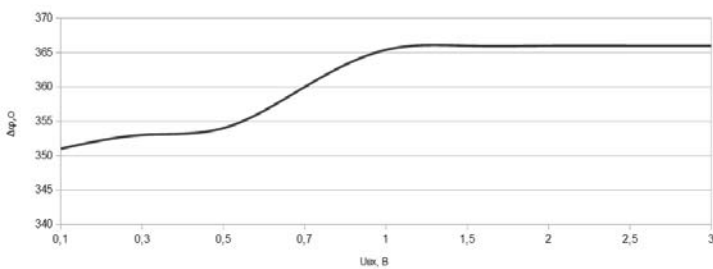


Рис. 4. Фазаамплитудная характеристика УРУ

Разработка сверхширокодиапазонного усилителя с распределенным усилением производится на современном полевом транзисторе MRF9045 [2]. Верхняя рабочая частота данного полевого транзистора равна 1 ГГц, что позволяет применять его в разработке сверхширокодиапазонного УРУ. Исследование проходных и выходных характеристик полевого транзистора MRF9045 производилось в программной среде AWR. Схема для исследования проходной характеристики полевого транзистора представлена на рис. 5, а сама проходная характеристика представлена на рис. 6.

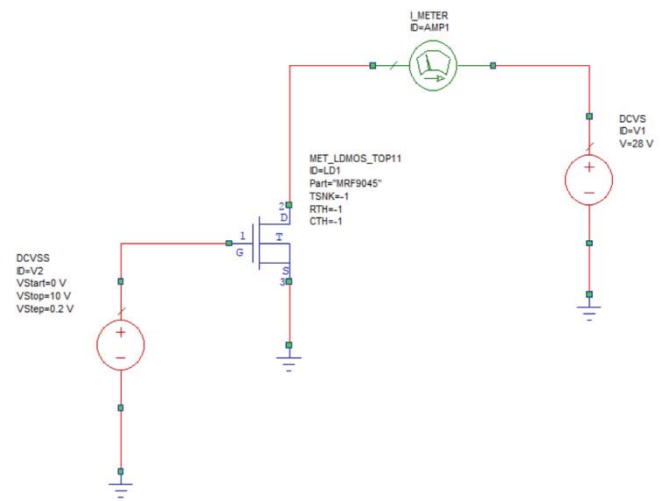


Рис. 5. Схема для исследования проходной характеристики полевого транзистора

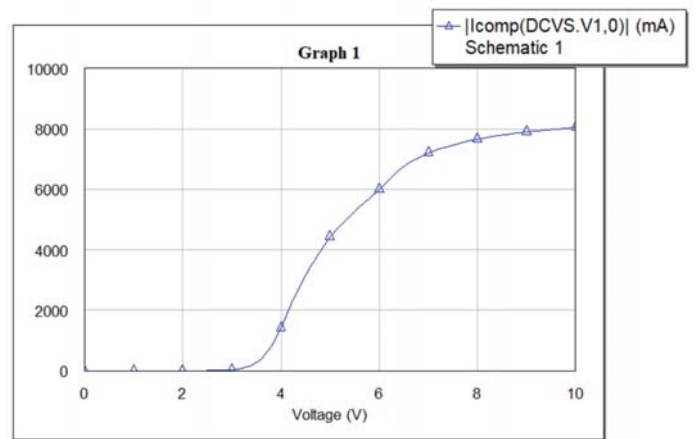


Рис. 6. Проходная характеристика полевого транзистора MRF9045

Как видно из рис. 6, напряжение отсечки данного транзистора составляет 3 В. Схема для исследования семейств выходных характеристик полевого транзистора, представлена на рис. 7.

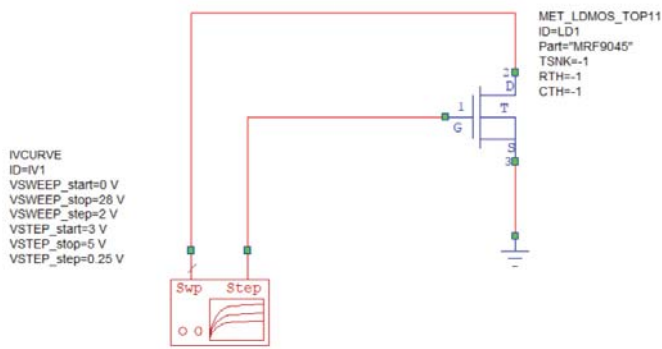


Рис. 7. Схема для исследования семейства выходных характеристик

Полученное семейство выходных характеристик представлено на рис. 8.

Рис. 8. Семейство выходных характеристик полевого транзистора MRF9045

Моделирование Т-образных ФНЧ-звеньев 3-го порядка с частотой среза 1 ГГц, на основе которых будут строиться входные и выходные искусственные длинные линии разрабатываемого УРУ, производилось в студенческой версии пакета Micro-Cap 10. Смоделированная схема Т-образного ФНЧ-звена 3-го порядка, предназначенного для построения выходной ИДЛ, и его АЧХ представлены на рис. 9 и рис. 10 соответственно.

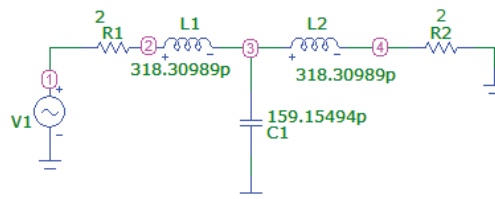


Рис. 9. Смоделированная схема выходного Т-образного ФНЧ-звена 3-го порядка

Смоделированная схема Т-образного ФНЧ-звена 3-го порядка, предназначенного для построения входной ИДЛ, и его АЧХ представлены на рис. 11 и 12 соответственно.

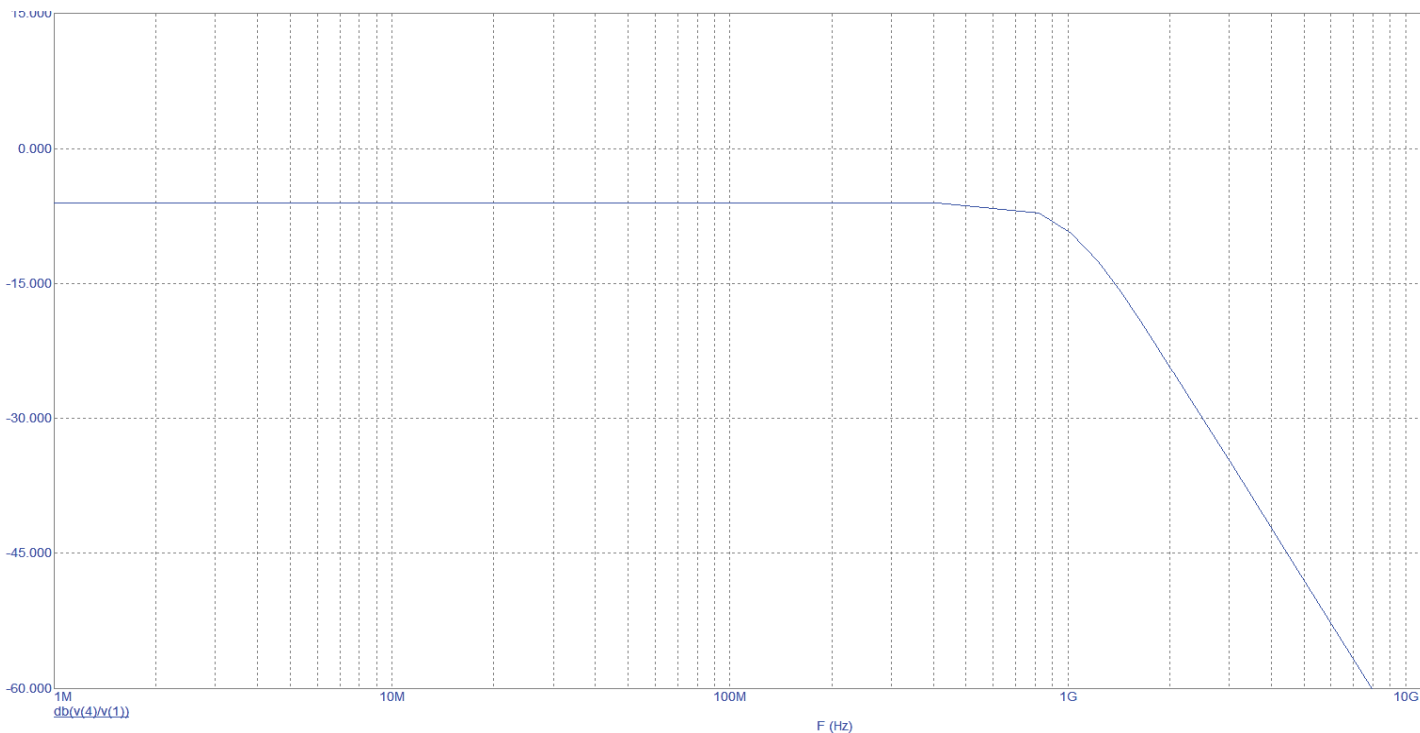
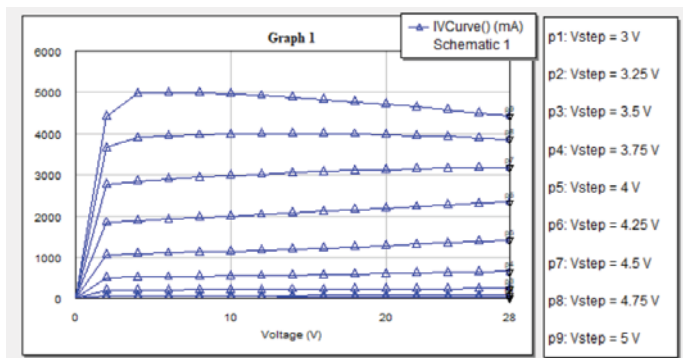


Рис. 10. АЧХ выходного Т-образного ФНЧ-звена 3-го порядка

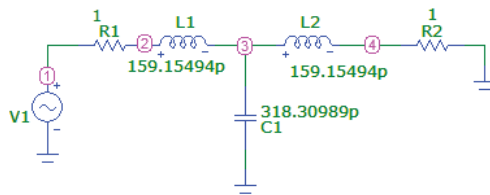


Рис. 11. Смоделированная схема входного Т-образного ФНЧ-звена 3-го порядка

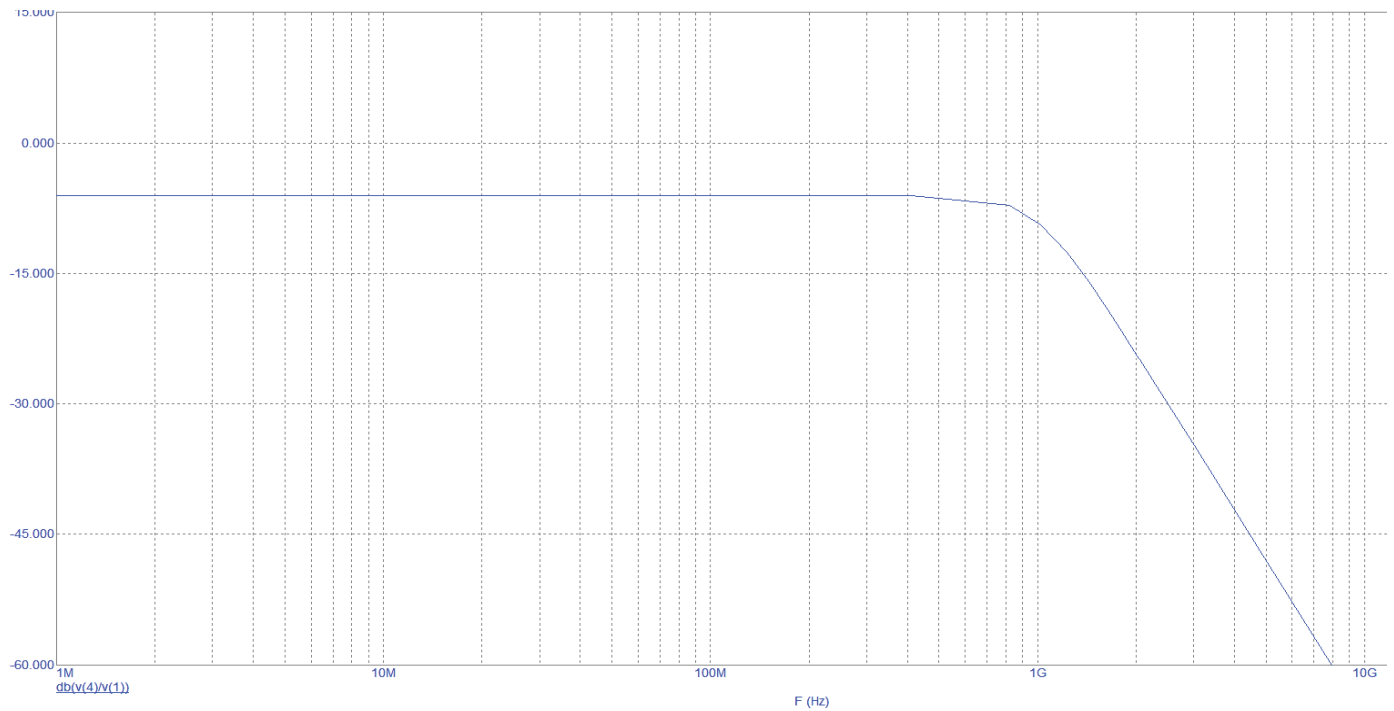


Рис. 12. АЧХ входного Т-образного ФНЧ-звена 3-го порядка

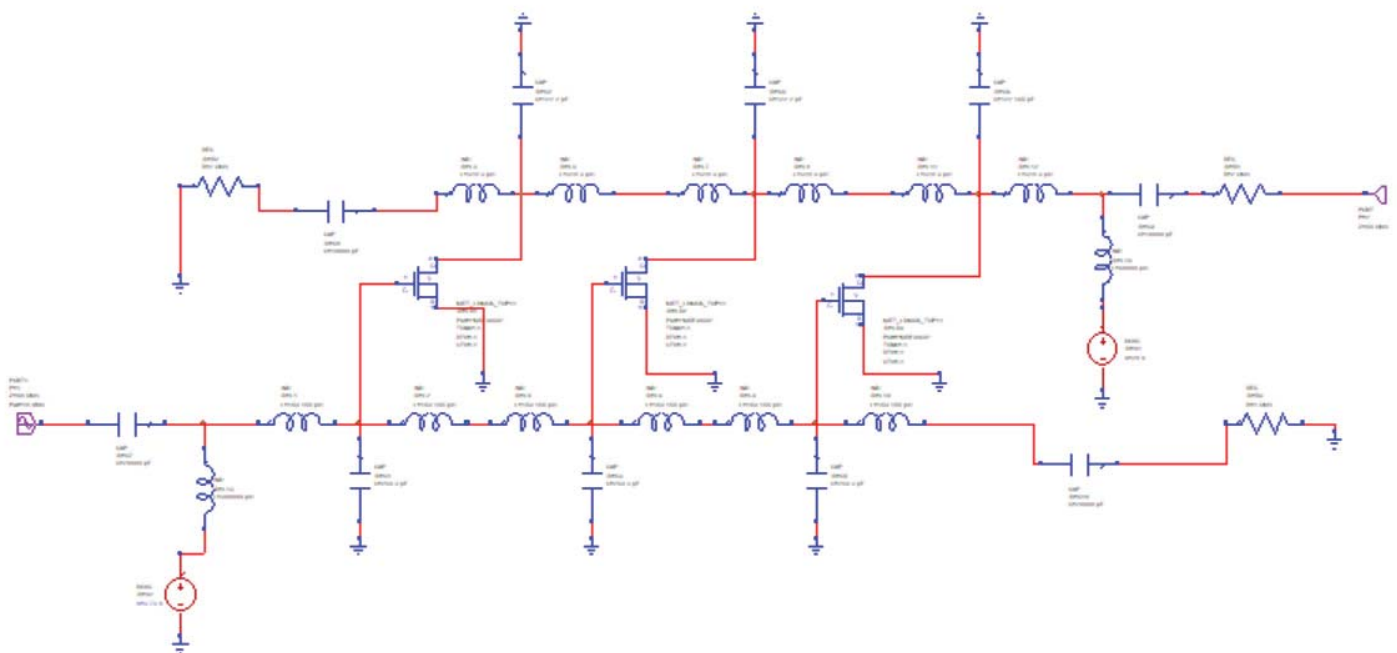


Рис. 13. Компьютерная модель сверхширокодиапазонного УРУ на полевых транзисторах типа MRF9045

В качестве нагрузки Т-образных ФНЧ-звеньев 3-го порядка использовались значения модулей входного и выходного импеданса полевого транзистора MRF9045 на частоте 945 МГц [2].

На основе разработанных ИДЛ, а также на основе расчета режимов работы транзистора по ранее полученным статическим характеристикам, в программной среде AWR была построена компьютерная модель сверхширокодиапазонного УРУ, приведенная на рис. 13.

Дальнейшими задачами исследования являются исследование энергетических и качественных показателей сверхширокополосного УРУ, на основе построенной компьютерной модели.

Литература

1. Официальный сайт компании ASI. Datasheet BLF 278 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.advancedsemiconductor.com/transistors/BLF/BLF278.shtml> (дата обращения 20.10.2017).
2. Официальный сайт компании NXP. Datasheet MRF9045 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/datasheet/MRF9045.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1> (дата обращения 10.02.2018)
3. *Алексеев О.В.* Усилители мощности с распределенным усилением. Ленинград: Издательство «Энергия». Ленинградское отделение, 1968. 244 с.

4. *Шахгильдян В.В., Шумилин М.С., Козырев В.Б.* и др. Проектирование радиопередатчиков. Учебное пособие для вузов. М.: Радио и связь, 2000, 4-е изд.. С. 177-186.

5. *Арыков В.С., Дмитриев В.Д., Коротаев В.М., Шишкин Д.А.* GaAs МИС усилителя распределенного усиления [Электронный ресурс]. URL: http://www.micran.ru/sites/micran_ru/data/User-File/File/Publ/2012/GaAs_MMIC_of_distributed_amplifier.pdf (дата обращения 20.11.2017)

6. *Nikita D. Shmakov, Roman Yu. Ivanyushkin.* Research of solid-state amplifiers of traveling wave of the VHF band using two approaches of their calculation / IEEE Conference Publication: 2017 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunication (SYNCHROINFO).

7. *Шмаков Н.Д., Иванюшкин Р.Ю.* Компьютерное моделирование усилителя бегущей волны диапазона ОВЧ, построенного на ФНЧ звеньях 3-его порядка / Международная научно-техническая конференция "Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2017». Сборник трудов. Суздаль, 2017. Т. 3. С. 80-83.

8. *Шмаков Н.Д., Иванюшкин Р.Ю.* Моделирование усилителя с распределенным усилением на полевых транзисторах BLF278 для диапазонов ВЧ и ОВЧ. Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2017. № 11. С. 34-41.

9. *Шмаков Н.Д., Иванюшкин Р.Ю.* Применение технологии распределенного усиления при построении широкодиапазонных и сверхширокодиапазонных радиочастотных усилителей мощности // Телекоммуникации и информационные технологии. 2017. Т.4. № 2. С. 46-50.

ЯВЛЕНИЕ «ОСЛЕПЛЕНИЯ» В МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ С ОДНОСЛОЙНОЙ ПОДЛОЖКОЙ

Ястребцова Ольга Игоревна,

аспирант кафедры ТЭДиА МТУСИ, Москва, Россия,

yastrebtsova@rambler.ru

Возбуждение поверхностных волн в диэлектрической подложке микрополосковых антенных решеток может приводить к так называемому явлению «ослепления», когда при определенном угле сканирования излучение решетки пропадает. Учитывая возможность широкого применения микрополосковых антенных решеток в системах наземной связи следующего поколения в новых более высоких частотных распределениях, это явление, делающее невозможным обслуживание абонентов в определенном диапазоне углов сканирования, требует детального анализа.

Согласно многим источникам, в том числе [1, 2, 3], явление «ослепления» связано с взаимодействием возбуждаемых в диэлектрической подложке антенной решетки поверхностных волн с излучаемой модой Флоке, что выражается следующим образом равенством: $(k_{xmn} - 2\pi m/d_x)^2 + (k_{ymn} - 2\pi n/d_y)^2 = k_0^2 \sin^2(\theta_0)$, где k_{xmn} и k_{ymn} – фазовые постоянные мод Флоке, m , n – целые числа, d_x и d_y – расстояние между излучающими элементами по осям ОХ и ОУ соответственно, k_0 – волновое число в воздухе, θ_0 – угол сканирования.

Графически определить углы сканирования, при которых может произойти «ослепление», можно с помощью диаграмм фазовых постоянных в приближении бесконечной антенной решетки (построения подробно изложены в [4]). На этих диаграммах одновременно изображаются окружности, определяющие фазовые постоянные мод Флоке, т.е. левая часть приведенного выше уравнения, и окружности, соответствующие фазовым постоянным поверхностных волн (правая часть этого же выражения). Координата точки пересечения окружности основной моды Флоке при данном угле сканирования и какой-либо окружности, соответствующей поверхностным волнам, и будет определять угол, при котором возможно появление явления «ослепления».

Известно [5, 6], что правильный подбор соотношения диэлектрической проницаемости подложки и ее толщины позволяет добиться отсутствия возбуждения поверхностных волн магнитного типа, так как у низшего типа магнитных поверхностных волн есть критическая частота, однако одна поверхностная волна электрического типа будет возбуждаться при сколь угодно тонкой подложке, так как у нее критической частоты нет. Учитывая это, возможность появления явления «ослепления» должна проверяться для любой микрополосковой антенной решетки.

Анализ явления «ослепления» удобно производить путем определения диаграммы излучателя в бесконечной антенной решетке при условии, что остальные элементы будут пассивными, поэтому для подтверждения применимости упомянутого выше метода фазовых постоянных было проведено моделирование двух вариантов бесконечных антенных решеток из тонких микрополосковых диполей на подложке из одного слоя диэлектрика. В первом случае подложка была выбрана таким образом, чтобы в ней возбуждалась только одна поверхностная волна электрического типа (диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = 4,2$, толщина подложки $0,1\lambda$), во втором случае – две поверхностные волны электрического

типа и одна магнитного типа (диэлектрическая проницаемость по-прежнему $\epsilon_r = 4,2$, толщина подложки $0,3\lambda$). Расстояние между элементами в обоих случаях было взято равным $0,8\lambda$.

На диаграммах направленности излучателя в бесконечной антенной решетке в первом случае проявились следующие углы «ослепления»: - в плоскостях Е и Н «ослепление» возникло при $\theta = 0^\circ$, а при $\varphi = 45^\circ$ - при $\theta = 0^\circ$ и 33° , что полностью соответствует углам, определенным с помощью метода диаграмм фазовых постоянных.

Для второго случая «ослепление» проявилось при следующих углах: в плоскости Е - 10° , 14° , 38° и 40° , в плоскости Н - 11° , 24° и 60° , при $\varphi = 45^\circ$ - 7° , 24° , 31° , 42° и 53° . Единственным непроявившимся при моделировании углом «ослепления» является $\theta = 50^\circ$ при $\varphi = 45^\circ$.

Упомянутые выше результаты позволяют заключить, что риск возникновения «ослепления» накладывает значительные ограничения на диапазон возможных углов сканирования микрополосковых антенных решеток, т.е. на их «широкоугольность». Например, если взять первый случай антенной решетки с одной поверхностной волной и выбрать полуволновое расстояние между элементами, что обеспечивает отсутствие дифракционных лепестков при любом угле сканирования, то из-за явления «ослепления» углы сканирования должны быть ограничены до $\pm 48^\circ$, так как при $\theta = \pm 48^\circ$ градусах ослепление возможно в плоскостях Е и Н.

Учитывая, что на практике в системах связи используются антенные решетки с конечным числом элементов, были получены диаграммы направленности излучателя в микрополосковых антенных решетках конечных размеров (8×8 , 16×16 , 24×24 и 40×40 элементов) для первого случая, т.е. при возбуждении в диэлектрической подложке только одной поверхностной волны электрического типа. Расстояние между излучающими элементами было взято равным $0,8\lambda$. Полученные зависимости позволяют заключить, что для рассмотренного случая «ослепление» при $\theta = 0^\circ$ проявляется даже в совсем небольшой решетке, тогда как «ослепление» при $\theta = 33^\circ$ различимо плохо даже для решетки размером 40×40 элементов.

Для упрощения процесса проектирования микрополосковых антенных решеток представляется целесообразным сформулировать условия, при выполнении которых в заданный диапазон углов сканирования не будут попадать углы «ослепления». Эти условия должны включать в себя как параметры самой однослойной диэлектрической подложки (ее толщину и диэлектрическую проницаемость), так и расстояние между излучающими элементами.

В результате анализа были получены следующие условия отсутствия углов «ослепления» для однослойной диэлектрической подложки при сканировании вдоль главных осей, т.е. в плоскостях Е и Н: $k_0 \sin(\theta_{\max}) < [\beta / (2\pi/d_x)] < 2\pi/d_x - k_0 \sin(\theta_{\max})$, где θ_{\max} – максимальный угол сканирования, β – фазовая постоянная поверхностной волны, d_x – расстояние между элементами по оси, вдоль которой осуществляется

сканирование. В случае возбуждения в подложке нескольких типов поверхностных волн это условие должно проверяться для каждой из них отдельно.

Если изобразить зависимость максимальных углов сканирования без появления «ослепления» от толщины подложки H_1 , выбрав расстояние между элементами, например, равным $0,5\lambda$, что обеспечивает отсутствие дифракционных лепестков при любом угле сканирования, то можно сделать следующие выводы: при использовании диэлектрика с $\epsilon_r = 1,1$ ограничения углов сканирования практически не происходит даже при относительно толстых подложках, что связано с тем, что возбуждается только один тип поверхностной волны, фазовая скорость которого близка к скорости распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, однако использование, например, диэлектрической подложки с $\epsilon_r = 4,5$, приводит уже к значительным ограничениям: при толщине подложки $0,01\lambda$ «ослепление» проявляется примерно при $\theta = 60^\circ$, а при толщине $0,1\lambda$ углы сканирования должны быть ограничены до $\pm 15^\circ$. Кривые носят сильно изломанный характер, что связано с тем, что проверять условия отсутствия углов «ослепления» необходимо для каждого типа поверхностной волны, поэтому появление при увеличении толщины подложки каждого нового типа поверхностной волны приводит к еще большему ограничению углов сканирования. Величина диэлектрической проницаемости сильно влияет на количество возбуждаемых поверхностных волн при фиксированной толщине подложки, например, для $\epsilon_r = 4,5$ при несколько преувеличенной толщине, равной λ , возбуждается уже восемь типов поверхностных волн, в то время как при $\epsilon_r = 1,1$ по-прежнему возбуждается только одна поверхностная волна электрического типа.

Проведен анализ появления явления «ослепления» в микрополосковой антенной решетке с однослойной диэлектрической подложкой в приближении бесконечной антенной решетки, а также проведено сравнение с результатами для конечных антенных решеток. Кроме того, были сформулированы условия, накладываемые на параметры диэлектрической подложки и расстояния между излучающими элементами, для обеспечения отсутствия углов «ослепления» в заданном диапазоне углов сканирования, что может использоваться при проектировании для приблизительного определения параметров однослойной подложки и расстояния между излучающими элементами микрополосковых антенных решеток.

Литература

1. Pozar D.M., Schaubert D.H. Scan Blindness in Infinite Arrays of Printed Dipoles / IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1984, v. AP-32, No. 6, pp. 602-610.
2. Hansen R.H. Phased Array Antennas. USA. John Wiley & Sons. 2009. 547 p.
3. Sanadgol B., Litschke O., Solbach K. Method to Predict Scan Blindness in Printed Planar Phased Arrays / 3rd European Conference on Antennas and Propagation, 2009.
4. Ястребцова О.И. Связь поверхностных волн с явлением «ослепления» микрополосковых антенных решеток // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2017. Т. 17. № 4. С. 1035-1038.
5. Вольман В.Ю., Пименов В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. М.: Радио и Связь, 2000. 536 с.
6. Чебышев В.В. Основы проектирования антенных систем. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. 149 с.

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Агафонов Павел Алексеевич,
магистрант, МТУСИ, Москва, Россия,
agafonov1995@yandex.ru

Введение

Концепция Интернета Вещей IoT (Internet of Things) была предложена в 1999 году лабораторией Auto-ID при Масачусетском технологическом институте. Люди во всем мире теперь готовы пользоваться преимуществами IoT. Ожидается, что к 2020 г. количество подключенных устройств IoT достигнет более 20 млрд. единиц. Такой рост пользователей вызван в том числе благодаря системам беспроводной связи (Wi-Fi, LTE Advanced Pro, RFID).

Систему IoT можно представить с двух сторон: логической и технической. С логической точки зрения это совокупность устройств, которые при помощи модуля связи (присутствует в каждом устройстве), взаимодействуют между собой. С технической точки зрения IoT может использовать различные пути анализа данных, коммуникации, технологии и методологии, основываясь на их целевом предназначении. Основные компоненты IoT: USN (Ubiquitous Sensor Networks) и RFID (Radio Frequency Identification). Так как сетевая структура USN построена на базе протокола IPv6, это дает возможность каждому датчику присвоить свой IP-адрес.

В связи с интенсивным увеличением числа пользователей IoT, можно прогнозировать и увеличенное число атак на устройства пользователей. Проблема защиты информации IoT на сегодняшний день является одной из наиболее актуальных.

Возможные атаки, основанные на архитектуре.

IoT еще не был ограничен определенной архитектурой, но в целом IoT имеет четыре уровня: уровень восприятия, сетевой уровень, уровень передачи и прикладной уровень. Рассмотрим возможные угрозы к каждому уровню [3].

1. *Внешняя атака:* Чтобы полностью использовать преимущества IoT, вопросы информационной безопасности должны стоять в первую очередь. Надежность поставщика услуг облачных вычислений является ключевой проблемой. Организации намеренно разгружают как чувствительные, так и нечувствительные данные для получения услуг. Но они не знают, где их данные будут обрабатываться или храниться. Возможно, поставщик может поделиться этой информацией с другими, или сам поставщик может использовать ее для вредоносных действий.

2. *Wormhole атака:* Атака wormhole очень популярна в беспроводных динамических сетях. IoT соединяет как стационарные, так и динамические объекты, начиная от наручных часов и холодильников до транспортных средств. Связь, связывающая эти объекты, также гетерогенна, может быть проводной или беспроводной, и зависит от географического местоположения. Здесь злоумышленнику не нужно компрометировать какие-либо хосты в сети. Злоумышленник просто захватывает данные, пересылает их на другой узел и повторно передает их с этого узла. Wormhole атаку сложно идентифицировать.

3. *Выборочное продвижение данных (Selective forwarding attack):* Вредоносные узлы выбирают пакеты и отбрасывают их, т.е. они выборочно фильтруют определенные пакеты.

Отброшенные пакеты могут содержать необходимые данные для последующей обработки.

4. *DDoS (Distributed Denial of Service) атака:* DDoS атака начинается с выявления потенциально слабых узлов в сети. После обнаружения этих узлов, на них совершается атака. На те узлы, которые удалось захватить, устанавливается вредоносная программа. DDoS атака может привести к перегрузке ресурсов, так что авторизованные пользователи не смогут получить доступ к облачным сервисам. Эта атака является причиной отказа в обслуживании [7].

5. *IP-спуфинг:* IP-спуфинг является еще одной серьезной проблемой безопасности. Злоумышленник получает IP-адрес и внедряет туда вредоносные программы для атаки пользователей. В результате чего злоумышленнику становится возможным получить доступ к конфиденциальным данным пользователей и использовать их для злонамеренных целей. IP-спуфинг чаще всего используется в DoS-атаках.

Рассмотрим несколько типов спуфинг атак, т.к. они запускаются от имени клиента и уничтожают ресурсы Data Center (DC).

Скрытая атака

Злоумышленник одновременно отправляет большое количество поддельных пакетов со случайным IP-адресом. Это создает путаницу в DC относительно того, какие пакеты должны быть обработаны как законные пакеты.

Отраженное нападение

Злоумышленник отправляет поддельные пакеты с исходным IP-адресом неизвестного пользователя (жертва), любому другому неизвестному пользователю. Вследствии чего неизвестный пользователь пытается связаться с жертвой, тем самым увеличивает поток лишней информацией.

Имитационная атака

Злоумышленник отправляет спуфинг пакеты с IP - адресом любого неизвестного законного пользователя и действуют как законный пользователь. Это эквивалентно атаке человек посередине (MITM). Злоумышленник получает запросы от клиентов, подменяет IP и пересылает запросы в DC, действуя как законный пользователь. Ответы DC промежуточно обрабатываются и отправляются клиентам. Это приводит к проблемам конфиденциальности и краже данных или потере в DC.

Если надлежащего механизма обнаружения спуфинга нет на месте, DC может плохо реагировать, что приводит к частичному отключению служб.

- На сетевом уровне DDoS, злоумышленник будет пытаться отправить недопустимые запросы, с целью перегрузки поставщика облачных услуг (например, запросы на полуоткрытое соединение).

- На уровне обслуживания DDoS, злоумышленник будет отправлять запросы, которые кажутся законными. Их контент будет похож на запрос, сделанный законным пользователем.

6. *Повторная атака:* Злоумышленник перехватывает и сохраняет старые сообщения, а затем отправляет их в качестве одного из участников для получения доступа к конфиденциальным ресурсам.

7. *Backdoor*: Злоумышленник получает доступ к сети через обход механизмов управления, используя «заднюю дверь», такую как модем и асинхронное внешнее соединение.

8. *Атака Сивиллы (Sybil attack)*: Атака Сивиллы – в которой злоумышленник подрывает систему репутации одноранговой сети, создавая большое количество псевдонимов, используя их, чтобы получить непропорционально большое влияние.

9. *Атака затопления (HELLO flood attacks)*: Злоумышленник использует высокомошный передатчик, чтобы обмануть большую часть узлов. Злоумышленный узел будет охватывать широкую частотную область и, следовательно, становится соседним со всеми узлами сети. Если злоумышленник намеренно передает ложный маршрут к базовой станции, все эти узлы будут выбирать передачу через атакующий узел, несмотря на то, что многие из них находятся вне радиодиапазона в действительности [6].

10. *Атака Воронки (Sinkhole Attack)*: Как правило, такой атаке подвержены датчики, которые долгое время оставались без внимания в сети. Sinkhole атака препятствует получению базовой станцией полных и корректных данных, формируя серьезную угрозу приложениям более высокого уровня. Более подробную информацию о данной атаке можно найти в [7].

Data centers (DC) – это централизованный репозиторий, физический или виртуальный, для хранения и распространения данных и информации.

Заключение

С каждым годом число пользователей IoT стремительно растет, а вместе с этим и растет объем данных, которые необходимо защищать. Проведенный в работе обзор атак на-

глядно демонстрирует возможности, с помощью которых ценная информация может оказаться в руках злоумышленника. На сегодняшний день еще не сформулирована единая концепция защиты информации, следовательно, этот вопрос является наиболее актуальным.

Литература

1. Мойл Э. "Пять составляющих безопасности интернета вещей" // Электронный ресурс. Режим доступа: <http://internetofthings.ru/bezopasnost/76-5-sostavlyayuushchikh-bezopasnosti-interneta-veshchej>.
2. Информационная безопасность Интернета Вещей – Режим доступа: URL: http://www.smileexpo.ru/public/upload/showsEvent/informational_security_in_iiot_14266798614437_file.pdf.
3. Kang Kai, Pang Zhi-bo, Wang Cong. Security and privacy mechanism for health Internet of Things // The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications. 2013. pp. 64-68.
4. Yong Wang, Attebury G., Ramamurthy B. A survey of security issues in wireless sensor networks // Communications Surveys & Tutorials, IEEE. vol.8. no.2, pp. 2, 23, Second Quarter 2006.
5. DDoS-атаки. Причины возникновения, классификация и защита от DDoS-атак [Электронный ресурс]. URL: <http://efsol.ru/articles/ddosattacks.html>
6. Virendra Pal, Aishwarya S., Sweta Jain. Signal Strength based HELLO Flood Attack Detection and Prevention in Wireless Sensor Networks // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), vol. 62. No.15, January 2013.
7. Krontiri, T. Giannetos and T. Dimitriou. Launching a sink-hole attack in wireless sensor networks; the intruder side / Wireless and Mobile Computing, Networking and Communication, IEEE International Conference, 2008, pp. 526-531.

ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОМАСШТАБНОГО АЛГОРИТМА SLAM ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Айрапетов Дмитрий Петрович,

студент 1-го курса магистратуры, кафедра ИСУиА, лаборант учебной лаборатории кафедры ИСУиА,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
dmitry_a95@live.ru

Проведён анализ метода – использования алгоритма SLAM. Рассмотрены ключевые этапы построения данной технической системы. Работа ориентирована на дальнейшее продолжение, основанное на проведённом анализе и базовой реализации. Рассмотрены технические средства реализации проекта. Перечислены основные принципы реализации метода. Произведена работа над изучением простой модели движения объекта. Рассматриваемые этапы представляют собой разработку алгоритмов и программного обеспечения. Показан пример использования нейронных сетей при выполнении поставленных задач. Рассмотрены рекомендации по использованию оборудования, разработке и эксплуатации системы. Сделаны выводы по результатам проведённой работы, на основе которых будут приняты последующие решения. Конечный продукт должен быть запущен с помощью аппаратуры Raspberry Pi3. Научный руководитель – к.т.н., с.н.с. кафедры ИСУиА Буянов Б.Я.

Ключевые слова: SLAM, движение, объект, нейронная сеть, локализация.

Введение

Технология LSD-SLAM - подход к локализации и сопоставлению на основе ключевого кадра, который основывается на следующих этапах [1]:

- движение камеры отслеживается в направлении опорного ключевого кадра на карте. Новые ключевые кадры генерируются, если камера слишком далеко отошла от существующих ключевых кадров;
- глубина (расстояние) в текущем эталонном ключевом кадре оценивается из стерео соответствий на основе отслеживаемого движения (временное стерео) [2];
- позиции ключевых кадров выполнены глобально согласованными с помощью взаимного прямого выравнивания изображений и оптимизации алгоритма графического пози-

ционирования.

Для реализации требуется персональный компьютер на базе операционной системы Ubuntu, веб-камера, дополнительные программные пакеты.

В Stereo LSD-SLAM глубина в ключевых кадрах дополнительно оценивается непосредственно из статического стерео. Существует целый ряд преимуществ этого подхода: полагаться исключительно на временные или исключительно на статическую стереосистему. Статическая стереосистема позволяет оценивать абсолютный масштаб мира и не зависит от движения камеры.

Тем не менее, статическое стерео ограничено постоянной базой (с во многих случаях фиксированным направлением), что эффективно ограничивает производительность до определенного диапазона [3].

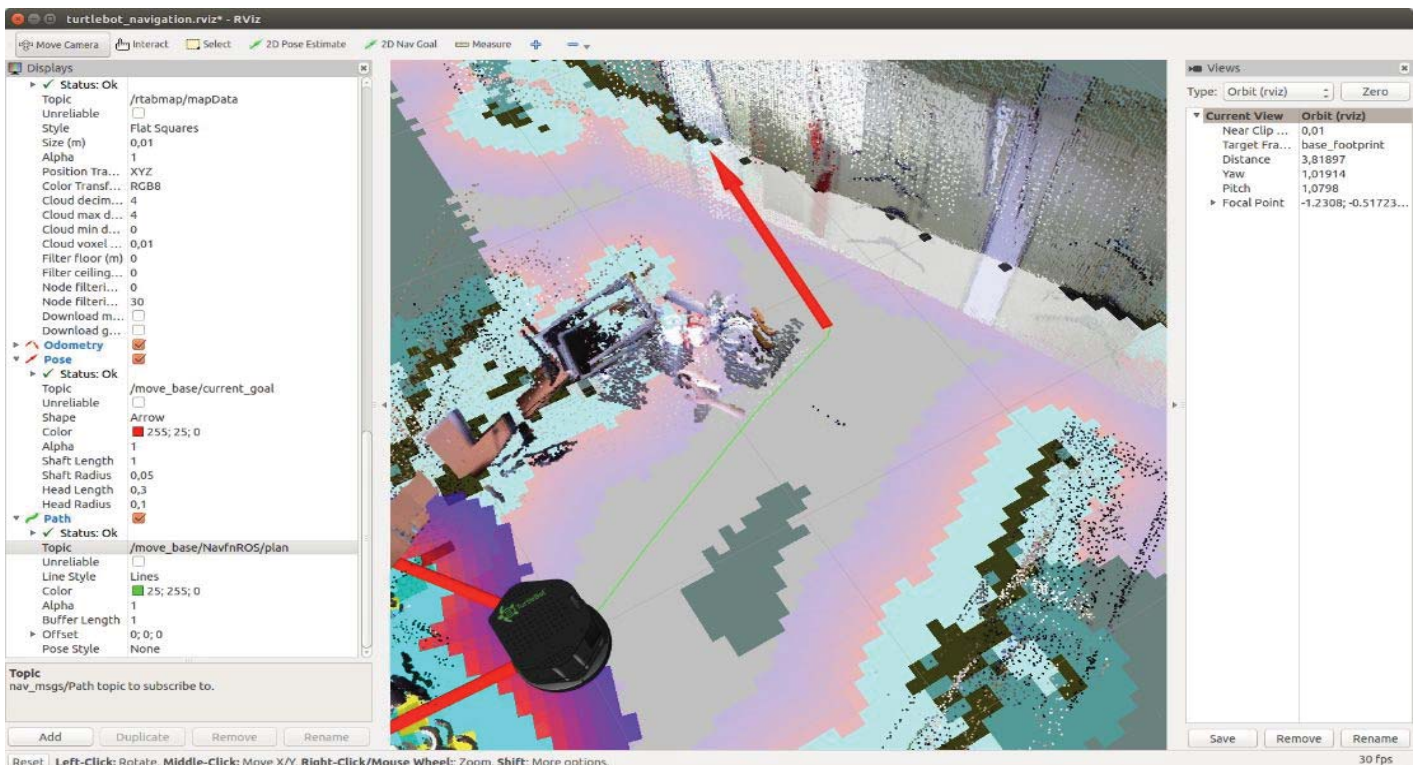


Рис. 1. Работа SLAM

Метод напрямую выравнивает изображения с использованием фотометрических и геометрических остатков в плотном наборе пикселей. Выбираются пиксели, в которых имеется достаточная информация для статического или временного стерео-оценки. Подход не ограничивается конкретным типом элементов изображения, которые извлекаются в развязанный этап обработки до выравнивания изображения.

Временная стереосистема не ограничивает производительность до определенного диапазона. Один и тот же датчик может использоваться в очень малых и очень больших средах и легко перемещаться между ними. С другой стороны, он не обеспечивает масштабирование и требует передвижения камеры [4]. Дополнительным преимуществом сочетания временной и статической стереосистемы является то, что доступно несколько базовых направлений: в то время как статическое стерео обычно имеет горизонтальную базовую линию, что не позволяет оценить глубину вдоль горизонтальных кромок, временное стерео позволяет завершить карту глубины, обеспечивая другое движение направления [5].

Основные принципы реализации метода (алгоритма):

- обобщение LSD-SLAM на стереокамере, комбинируя временное и статическое стерео в прямом, режиме SLAM в режиме реального времени.
- моделирование изменения освещения при прямом выравнивании изображений, что повышает надёжность метода.
- систематическая оценка двух базовых наборов данных из полученных изображений.



Рис. 2. Графическая реализация алгоритма SLAM на собственном примере

Простая модель обучения на основе движения

Визуальное моделирование подвижного объекта-наблюдателя производится с помощью сверточной нейронной сети (CNN) [6]. Объект оптимизирует его визуальное представление, минимизируя ошибку преобразований камеры, полученной при его передвижении на основе предсказания. Выполнение этой задачи эквивалентно обучению нейронной сети с двумя потоками, принимающей два изображения в качестве входных данных и предсказывает перемещение, чему объект подвергался, когда он перемещался между по X и Y, из которых два изображения были получены. Чтобы узнать полезные визуальные представления, агент постоянно выполняет эту задачу (в зависимости от окружающей обстановки) [7].

Рассматриваются разные варианты предварительной

оценки для оценки полезности изученных функций. Перфекционирование – процесс оптимизации значений случайно инициализированной нейронной сети для вспомогательной задачи, которая не совпадает с целевым преобразованием камеры из пар изображений.



Рис. 3. Изучение перемещения для контроля визуальных функций

Мобильный объект, оборудованный визуальными датчиками, получает последовательность изображений в качестве входных данных во время движения.

Движение объекта эквивалентно перемещению камеры. Перемещение ставится, как проблема прогнозирования [8].

В Stereo LSD-SLAM глубина в ключевых кадрах дополнительно оценивается непосредственно из статического стерео. Существует целый ряд преимуществ этого подхода: полагаться исключительно на временные или исключительно на статическую стереосистему. Статическая стереосистема позволяет оценивать абсолютный масштаб мира и не зависит от движения камеры. Тем не менее, статическое стерео ограничено постоянной базой (с во многих случаях фиксированным направлением), что эффективно ограничивает производительность до определенного диапазона.

```
for(int i = 1; i < NUM_PYRS; ++i)
{
    resizeVMap(vmaps_curr_[i - 1], vmaps_curr_[i]);
    resizeNMap(vmaps_curr_[i - 1], vmaps_curr_[i]);
    resizeNMap(nmaps_curr_[i - 1], nmaps_curr_[i]);
}

cudaDeviceSynchronize();

fernThresh = 0.3095f;

timeDelta = 200;
icpCountThresh = 35000;
icpCountThresh = 40000;
start = 1;
so3 = !(Parse::get().arg(argc, argv, "--nso", empty) > -1);
end = std::numeric_limits<unsigned short>::max();

+FIND_PATH(EIGEN3_INCLUDE_DIR Eigen/Core /usr/include /usr/include/eigen3)
+IF ( EIGEN3_INCLUDE_DIR )
+ MESSAGE(STATUS "-- Looking for Eigen3 - found")
+ELSE ( EIGEN3_INCLUDE_DIR )
+ MESSAGE(FATAL_ERROR "-- Looking for Eigen3 - not found")
+ENDIF ( EIGEN3_INCLUDE_DIR )
```

Рис. 4. Программная реализация

Микрокомпьютер Raspberry Pi3

Микрокомпьютер Raspberry Pi3 считается хорошим аппаратным устройством для реализации конечного продукта ввиду своих небольших размеров и быстродействия [9].

Что представляет из себя Raspberry Pi 3 Model B в техническом плане:

- SoC: Broadcom BCM2837
- Процессор: ARM Cortex-A53 (4 ядра)
- Графический процессор: Broadcom VideoCore IV
- Оперативная память: 1Гб LDDR2
- Встроенные адаптеры: 10/100Мбит Ethernet, Bluetooth 4.1 LE, Wi-Fi 802.11n.

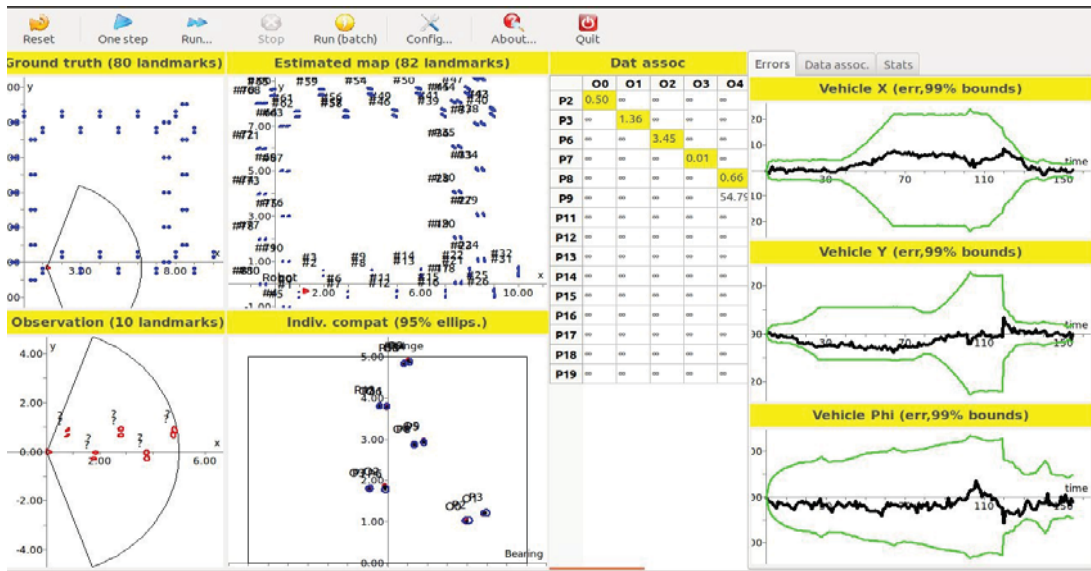


Рис. 5. Графический анализ движения с помощью программы «SLAM Tuning»



Рис. 6. Микрокомпьютер Raspberry Pi3

Для разработки рекомендуется использовать пакеты Keras, Theano. Взаимодействие с ними пользователя происходит через систему Linux (Ubuntu). Персональный компьютер – база для разработки алгоритма, который в будущем предстоит транспортировать в память микрокомпьютера.

Заключение

Исследование показало, что базовая реализация алгоритма SLAM возможна при использовании среднестатистического оборудования. В дальнейшем, считается целесообразным использовать аппаратуру с большей вычислительной способностью.

Литература

1. Davison A.J. Real-time simultaneous localisation and mapping.
2. Володин, Ю.И. Телевизионная система объемного зрения для управления движением мобильного робота: дис.... канд. техн. наук: 05.02.05: защищена 04.06.11 / Володин Юрий Сергеевич. Москва, 2011. 209 с.

3. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition / Proceedings of the IEEE, 86(11), pp. 2278-2324.
4. RoboMe [Электронный ресурс] // URL: http://robome.ru/tehnicheskoe_zrenie (дата обращения: 11.12.2017).
5. Петрова Т.В. Машинное зрение // Математические машины и системы. 2009. №4. С. 18.
6. Хабрахабр. Vision-based SLAM: монокулярный SLAM. Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/singularis/blog/277537/> (дата обращения 14.12.2017 г.).
7. Thrun S., Montemerlo M., Koller D., Wegbreit B., Nieto J., Nebot E. FastSLAM: an efficient solution to the simultaneous localization and mapping problem with unknown data association // Journal of Machine Learning Research, 2004.
8. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. 2-е изд., стереотип. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 382 с.
9. Raspberry Pi 3. Обзор и начало работы. Режим доступа: <http://dmitrysnotes.ru/raspberry-pi-3-obzor-i-nachalo-raboty> (дата обращения: 19.12.2017).

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЗЛОВРЕДНОЙ АКТИВНОСТИ В DNS-ТРАФИКЕ

Исаков Тимофей Геннадьевич,

*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия,
tiso@breakingbrain.org,*

Андреев Всеволод Владимирович,

*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Россия,
andreev_vsevolod@mail.ru*

Уже давно никого не удивит существованием вредоносных, которые похищают конфиденциальную информацию, объединяют компьютеры в ботнеты или совершают иные деструктивные действия. По этой причине остро встает вопрос: как обезопаситься? Можно прибегнуть к антивирусным решениям, но они не всегда помогают. К тому же, если устройство было заражено до установки антивируса, то последний не сможет помочь. Сегодня наиболее распространены сетевые вредоносы. И именно благодаря этому их и можно выявить.

Одним из способов выявления сетевых вредоносных или иной сетевой аномалии является анализ сетевого трафика. Например, в работе [1] был разработан инструмент для выявления вредоносных программ, которые не обнаруживаются стандартными антивирусными средствами. Исследовалась взаимосвязь пула IP-адресов с доменами с точки зрения выявления на основе этой информации вредоносных программ. В работе [2] было исследовано поведение DNS-трафика для выявления fast flux DNS, то есть детектировалась быстрая смена IP-адресов домена. Такой техникой зачастую пользуются ботнеты.

В одной из недавних работ [3] разрабатывалась комплексная система глубокого обучения для обнаружения зловредных URL-адресов в сетевом трафике. Однако, стоит отметить, что при построении набора данных для обучения были сделаны предположения, которые способны отразиться на конечном результате, а именно: все URL, которые участвовали в исследовании, проверялись ресурсом VirusTotal на зловредность; если URL обнаруживался в 5 или более черных списках VirusTotal, то URL помечался, как зловредный; если он не обнаруживался ни в одном из блэклистов, то он помечался, как доверенный. В противном случае URL отбрасывался. Это могло привести к тому, что при построении набора данных зловредные домены могли быть отброшены или могли быть вписаны в список доверенных.

В связи с этим возникает необходимость минимизации ложных данных в конечной выборке, а также минимизация отбрасывания корректных данных. Целью данной работы является разработка метода для разметки набора данных, который будет использоваться при последующем анализе.

Полный анализ сетевой активности, то есть анализ всего трафика является идеальным решением, так как можно попытаться анализировать полезную нагрузку пакетов, их содержимое, и т.п. Но полное хранение абсолютно всего трафика не всегда является целесообразным, хотя бы потому, что в высоконагруженной сети за день могут проходить сотни гигабайт данных, что потребует настоящего дата-центра в случае необходимости хранения данных в течение длительного срока (недели, месяцы, годы). К тому же зачастую уже при анализе DNS-трафика можно обнаружить вредоносы. Поэтому можно выбрать следующий подход: сохранение DNS-трафика для поиска вредоносных.

Задачей данного исследования является разработка быст-

рого способа выявления зловредной активности в сетевом трафике, включая не детектируемую стандартными способами активность, например, с использованием антивирусов. Кроме того, исследование направлено на разработку эффективного способа подготовки и разметки, данных для дальнейшего использования в обучении нейронной сети с целью повышения качества предсказания зловредной активности. Участие человека при разметке данных должно быть сведено к минимуму, но не отброшено полностью.

Многие сетевые вредоносы используют DNS для нахождения своего управляющего сервера или для общения с ним при помощи DNS-туннелирования. В этом случае задачей исследователя является обнаружение аномального вредоносного сетевого трафика.

Самым простым способом обнаружения такого трафика является ручной анализ каждого запроса/ответа в Wireshark, что в принципе является действенным способом, если размер анализируемого DNS-трафика мал. В противном случае данный способ не является эффективным.

Также для анализа DNS-трафика может применяться машинное обучение. Для этого необходимо снимать дампы на протяжении продолжительного времени, например, в течение 2-3 недель.

Чаще всего доменные имена, используемые вредоносами, являются автоматически сгенерированными, или их имена максимально приближены к реально существующим. В последнем случае возможна фишинг-атака. В первом случае для обнаружения многих вредоносных достаточно семантического анализа названия домена, так как, чаще всего, названия доменов будут содержать случайный набор символов, либо название не несет никакой смысловой нагрузки или оно является очень длинным.

В качестве анализируемых данных взят реальный дампы DNS-трафика, снятый в одной организации. Для обнаружения фишинг-доменов, т.е. доменов, которые максимально приближены к реальным, использовано расстояние Левенштейна. В качестве легитимных доменов использован топ 100 тысяч сайтов из глобального рейтинга Alexa. Анализ состоял в отработке технологии обнаружения доменов с названиями, максимально похожими на легитимные домены.

В зависимости от используемого расстояния Левенштейна будут различные результаты. Очевидно также, если расстояние Левенштейна большое, то будет множество ложных срабатываний. В случае небольшого расстояния можно пропустить вредоносные домены. Недостатком такого подхода является множество ложных срабатываний, а также то, что расстояние Левенштейна позволяет лишь обнаружить домен, отличающийся от доверенного одной или двумя буквами. На практике же возможно большее количество отличий, например, из-за punycode. Таким образом, данный метод не эффективен.

Чаще всего домены для управляющих серверов генерируются при помощи специальных алгоритмов. Например,

можно применить NLP (обработка естественного языка) и анализировать энтропию в названиях доменов. Но данный способ не всегда является хорошим ввиду краткости имён доменов. В результате показатели для случайно сгенерированных имён доменов не будут существенно отличаться от показателей для настоящих доменов:

```
echo 'google' | ent
```

```
Entropy = 2.235926 bits per byte.
```

```
echo 'axcvdf' | ent
```

```
Entropy = 2.807355 bits per byte.
```

В результате невозможно однозначно определить – является ли название домена случайным или нет. Поэтому необходим другой подход в анализе названий доменов.

Одним из неплохих подходов является частотный анализ. В любом языке та или иная буква появляется в определённой позиции в слове с индивидуальной вероятностью. Поэтому, учитывая особенности языка, можно выявлять домены, которые имеют неестественную расстановку символов в названии. Применив метод частотного анализа в трафике удалось обнаружить около 30 доменов, имеющих отношение к малвари. Кроме детектирования вредоносных доменов имели место также ложные срабатывания для доменов с короткими именами, например, aif.ru, rbk.ru и т.д. Всего было отфильтровано 728 доменов из 1423662.

Для сокращения перечня доменов, то есть для выявления гарантированно зловредных доменов, использовались VirusTotal и белый список доменов. В списке кроме доме-

нов-вредоносных остались домены онлайн-казино и прочее, что обычно отображается в качестве надоедливой рекламы на различных сайтах. VirusTotal использовался на всем множестве доменов из трафика. Оказалось, что на данном примере данных расхождения с частотным анализом минимальны, но некоторые зловредные домены, обнаруженные частотным анализом, не были обнаружены VirusTotal. Их зловредность уже была обнаружена после ручного анализа.

Таким образом, использование даже простых методов помогает лучше разметить данные, снизить процент ложных данных в обучающей выборке, которые в конечном итоге могут ухудшить результат обучения. В дальнейшем планируется использовать разработанный инструмент для разметки DNS-трафика с целью последующего применения при разработке модели машинного обучения.

Литература

1. Antonakakis M., Perdisci R., Lee W., Li N.V., Dagon D. Detecting Malware Domains at the Upper DNS Hierarchy. USENIX Security Symposium. 2011, pp. 1-16.
2. Ghafir I., Prenosil V. DNS query failure and algorithmically generated domain-flux detection. In IET Seminar Digest. 2014.
3. URLNet: Learning a URL Representation with Deep Learning for Malicious URL Detection // arxiv.org URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.03162.pdf> (дата обращения: 10.02.2018).

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ СБОРА ТОВАРОВ СО СТЕЛЛАЖЕЙ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ И/ИЛИ ВМЕСТИМОСТЬ ТАРЫ

Барсук Игорь Вадимович,

к.т.н., доцент, заместитель директора по науке Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института почтовой связи – филиала ФГУП «Главный центр специальной связи», Москва, Россия,

barsuk.iv@niips.ru

Постановка задачи

Предметом исследования служит система управления складом временного хранения (СВХ). Товары одного типа (артикулы) по мере их поступления на СВХ размещаются в ячейках стеллажей. На одной ячейке стеллажа может находиться не более одного артикула. По высоте стеллажи имеют несколько ярусов, поэтому в ячейках, расположенных в стеллаже друг над другом, колонке ячеек (КЯ), может находиться несколько артикулов [1]. Маршруты по сбору товаров начинаются от бортового ограждения сборного транспортёра (линии 00), вдоль которого предварительно напротив стеллажей складывается порожняя тара. По окончании прохода по маршруту работник устанавливает тару с артикулами на движущийся в направлении к границе цеха (точке w) рабочий орган сборного транспортёра. В соседнем цехе товары извлекаются из тары и на сортировочной установке [2, 3] или вручную распределяются по магазинам, пунктам выдачи заказов, почтоматам и т.п.

Целью работы является минимизация числа маршрутов сбора товаров со стеллажей и доставки тары с артикулами к границе цеха (точке w) при ограничении на грузоподъемность и/или вместимость тары.

Исходные данные

Исходной информацией для решения задачи служит полная матрица кратчайших расстояний (ПМКР) между всеми КЯ стеллажей в плане, бортовым ограждением сборного транспортёра (линией 00) и КЯ стеллажей; число ярусов стеллажей M; количество типов товаров (артикулов), находящихся на складе N; таблица размещения артикулов по КЯ с учётом высоты (ярусности) стеллажей; масса артикула g_n ; расстояние S_j от границы цеха (точки w) до рядов стеллажей; скорости движения работника V_p на маршруте и рабочего органа сборного транспортёра V_T ; среднее время выемки товара работником из ячейки стеллажа, регистрация товара и укладки в тару $t_{я}$; время установки тары с товарами на рабочий орган сборного транспортёра $t_{у}$; грузоподъемность G вместимость тары E.

Расстояния C_{oj}^{oi} между бортовым ограждением сборного транспортёра (линией 00) и КЯ a_j^i , а также C_{jl}^{ik} – между КЯ a_j^i и a_l^k измеряются в соответствии с траекторией движения работника методом натянутой нити с учётом коэффициента непрямолинейности движения $\lambda = 1,0 \dots 1,1$ [4, 5]. Принимается, что $C_{oj}^{oi} = C_{jo}^{jo}$ и $C_{jl}^{ik} = C_{lj}^{ki}$, поэтому ПМКР имеет треугольный вид [4, 5].

Предварительная подготовка данных

Время движения работника по маршруту рассчитывается по формулам:

$$t_{oj}^{oi} = C_{oj}^{oi} / V_p + m_j^i t_{я} \quad (1), \quad t_{jl}^{ik} = C_{jl}^{ik} / V_p + m_l^k t_{я} \quad (1)$$

$$t_{oj}^{oi} = C_{oj}^{oi} / V_p \quad (2)$$

Время установки и транспортирования тары с артикулами от КЯ j-го ряда стеллажей до точки w определяется по формуле:

$$t_{ytj} = t_y + S_j / V_T \quad (3)$$

Данные по времени установки и транспортирования тары с артикулами к границе цеха (точке w) представляются в форме таблицы:

Номер ряда стеллажей, j	1	2	...	j	...	J-1	J
Значение t_{ytj}	t_{yt1}	t_{yt2}	...	t_{ytj}	...	t_{ytJ-1}	t_{ytJ}

Маршруты строятся отдельно для каждого артикула. Если в одну тару необходимо собирать несколько артикулов, то они объединяются в одну группу под общим номером в таблице размещения артикулов по КЯ.

Из ПМКР выделяется фрагмент, содержащий только КЯ с выгружаемыми артикулами – матрица кратчайших расстояний (МКР).

Для выделенных КЯ составляется матрица затрат времени (МЗВ), элементы которой рассчитываются по формулам (1-3).

По данным МЗВ и фрагменту таблицы, в котором представлены значения t_{ytj} для стеллажей с КЯ, в которых находятся собираемые артикулы, строится матрица экономии времени (МЭВ), в первую строку которой заносятся значения t_{oj}^{oi} первый столбец – значения t_{jo}^{jo} , а в основную часть матрицы – значение f_{jl}^{ik} , рассчитанные по формуле (3, 4):

$$f_{jl}^{ik} = t_{jo}^{jo} + t_{ok}^{ok} - t_{jl}^{jk} + t_{ytj} \quad (4)$$

В МЭВ заносят только значения f_{jl}^{ik} больше 0, в противном случае в МЭВ заносятся нули.

Общая схема алгоритма

Построение каждого очередного маршрута начинается от КЯ, находящейся в ряду стеллажей, наиболее удаленном от точки w, т.е. имеющему максимальный номер j, и в ряду КЯ, имеющему максимальный номер i для этого ряда стеллажей a_{maxj}^{maxi} . Направление движения по маршруту задается движением рабочего органа сборного транспортёра – в сторону точки w. Все артикулы из КЯ a_{maxj}^{maxi} перегружаются в тару. Маршрут 00 – a_{maxj}^{maxi} – 00 – w проверяется на соблюдение ограничения на грузоподъемность G / вместимость E тары. Рассчитывается оставшийся резерв грузоподъемности G / вместимости E тары:

$$R = G - gm_{maxj}^{maxi} / E - m_{maxj}^{maxi}$$

Если $R = 0$, то построение маршрута завершается. По формулам (1), (3), (4) рассчитывается время обслуживания маршрута и доставки тары с артикулами к точке w . Переход к построению следующего маршрута.

Если R больше 0, то построение маршрута продолжается. Количество артикулов в КЯ $a_{\max j}^{\max i}$ становится равным нулю ($m_{\max j}^{\max i} = 0$). Количество перегружаемых артикулов из КЯ a_i^k в тару определяется оставшимся резервом грузоподъемности G / вместимости E тары R .

Если R больше gm_i^k / m_i^k , то в тару перегружаются все m_i^k артикулы, количество артикулов в КЯ a_i^k становится равным нулю ($m_i^k = 0$). Дуга $a_{\max j}^{\max i} - a_i^k$ включается в маршрут. Построение маршрута продолжается.

Если $R = gm_i^k / m_i^k$, то в тару перегружаются все m_i^k артикулы, количество артикулов в КЯ a_i^k становится равным нулю ($m_i^k = 0$). Построение маршрута завершено. Определяется время обслуживания полученного маршрута и доставки товаров к точке w :

$$T_m = t_{0\max j}^{0\max i} + t_{\max j}^{\max i} + t_{l_0}^{k_0} + t_{yT_1}.$$

Переход к построению следующего маршрута.

Если R меньше gm_i^k / m_i^k , то в тару перегружаются R артикулов, а $m_i^{k'} = m_i^k - R$ остается в КЯ a_i^k . Построение маршрута завершено. Для значения выгруженных из КЯ a_i^k в тару R артикулов рассчитывается время обслуживания маршрута и доставки тары с артикулами к точке w . В связи с тем, что после построения маршрута на стеллажах КЯ a_i^k осталось $m_i^{k'}$ артикулов, производится корректировка исходных данных: значение m_i^k изменяется на $m_i^{k'} = m_i^k - R$, в МЗВ и МЭВ по формулам (1), (2), (4) пересчитываются значения элементов строк и столбцов, связанных с КЯ a_i^k . Переход к построению следующего маршрута.

Расчеты продолжаются до тех пор, пока все КЯ с артикулами не будут включены в маршрут, а элементы МЗВ и основной части МЭВ вычеркнуты.

Рекомендации по расчетной вместимости тары

Результаты исследования алгоритмов заполнения контейнера посылками показывают, что коэффициент объемно-го заполнения контейнера составляет [6]:

при загрузке «навалом», беспорядочно – 0,5;

при заполнении работником вручную контейнера с открытыми боковыми дверями и откинутой верхней крышкой – 0,8.

С учётом того, что, как правило, тара заполняется сверху, и манипуляции с товаром при загрузке в неё ограничены, в качестве расчётной вместимости тары можно рекомендовать значение:

$$E = 0,7 * V_n, \text{ где } V_n - \text{полезный объем тары.}$$

Рекомендации по очередности выгрузки артикулов из ячеек КЯ на маршруты при одновременном подходе работников к КЯ

1. В первую очередь перегрузка артикулов должна проводиться на маршрут, куда разгружается меньшее количество ячеек, чтобы минимизировать время простоя работника

от ожидания перегрузки артикулов на другой маршрут.

2. При одинаковом числе ячеек, разгружаемых на оба маршрута, предпочтительнее вначале проводить перегрузку артикулов на маршрут с большим расчетным временем обслуживания и доставки тары с артикулами к границе цеха.

3. При одинаковом числе разгружаемых ячеек КЯ и расчетном времени обслуживания маршрута сбора и доставки артикулов к границе цеха для разрешения неопределенности перегрузка артикулов вначале производится, например, на маршрут с меньшим порядковым номером.

Выводы

1. В рассмотренном алгоритме после завершения построения каждого маршрута осуществляется обновление (корректировка) фрагмента таблицы размещения артикулов по КЯ, МЗВ и МЭВ.

2. Наличие в распоряжении диспетчера СВХ программного обеспечения, реализующего быстродействующие алгоритмы построения маршрутов сбора со стеллажей и доставки товара к границе цеха при ограничении на время маршрута [4], на число маршрутов [5] и грузоподъемность и/или вместимость тары позволит ему в диалоговом режиме с ЭВМ оптимизировать управление производственным процессом на складе в зависимости от оперативно складывающейся ситуации.

3. Результаты исследования могут быть полезны разработчикам систем управления складскими комплексами для крупных компаний оптовой торговли («Комус» и др.) и компаний, занимающихся курьерской доставкой («Почта России», Главный центр специальной связи, DPD, SPSR Express и др.).

Литература

1. Дыбская В.В. Логистика складирования: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2015. 559 с.
2. Завьялов К., Санкина Е. Индустриально-логистический парк KENON: расширение рынка сбыта и оптимизация логистики на территории Китай – Забайкальск – Восточная Сибирь // Логистика. 2014. № 7. С. 12-15.
3. Толмачев К. Повышение эффективности автоматизированной сортировки на складе // Логистика. 2014. № 8. С. 30-34.
4. Барсук И. Алгоритм построения маршрутов сбора товаров со стеллажей // Логистика. 2016. № 8. С. 22-29.
5. Барсук И.В. Организация сбора товаров со стеллажей на складе временного хранения при заданном числе маршрутов // Приоритетные направления развития науки и образования: монография / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2017. С. 143-156.
6. Буланов Э.А., Третенко Ю.И. Подъемно-транспортные и погрузочно-разгрузочные устройства почтовой связи: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. перераб., доп. М: Радио и связь, 1990. 232 с.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ВИРТУАЛЬНЫХ ЧАСТНЫХ СЕТЯХ. СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ IPSEC И TLS

Безруков Игорь Михайлович,
igorbezr@yandex.ru

Дуплищева Яна Вадимовна,
sidny.triks.418@mail.ru

Барсуков Дмитрий Александрович,
amidmels@gmail.com

Стремительное развитие современных телекоммуникаций сопровождается революционными преобразованиями не только в отрасли и смежных областях, но и в области ведения бизнеса, государственного управления и повседневной жизни людей. С момента появления первых специализированных маршрутизаторов в 80-ых, с трудом справляющихся непосредственно с маршрутизацией IP пакетов, сетевые устройства эволюционировали до состояния высокофункциональных фабрик по обработке трафика на всех уровнях модели OSI [1-4]. Вместе с аппаратными решениями совершенствовались и программные средства обработки и анализа трафика, что к настоящему моменту привело к появлению комплексных продуктов по аналитике и учёту трафика: Next Generation Firewall (Cisco ASA, Fortigate), FirePower, NetScout, StealthWatch, SolarWings и т.д. [4].

Обилие средств аналитики трафика привело к беспрецедентной угрозе конфиденциальности данных: нешифрованный, передаваемый как «plain text», трафик теперь фактически может быть перехвачен и проанализирован на любом участке пути. Таким образом, построение надёжной, снабжённой стойкими средствами шифрования, и вместе с тем недорогой сети становится естественной потребностью любой географически распределённой организации. Общеупотребительным способом построения такой сети являются виртуальные частные сети – VPN [3,4].

Существует два основных метода построения VPN: Site-to-Site и Remote access [1-4]. Первый метод решает задачи обеспечения защиты информации при передаче её между филиалами компании, тогда как второй направлен на обеспечение безопасного подключения отдельных пользователей. При построении Site-to-Site VPN защищённый канал строится между активным сетевым оборудованием с обеих сторон, тогда при Remote access VPN одной из сторон соединения является окончательное пользовательское устройство. При этом непосредственно шифрование и контроль целостности передаваемых данных можно реализовывать на различных уровнях модели OSI: IPSec обеспечивает шифрование начиная с 3-го уровня, тогда как TLS работает на 4-ом уровне [4]. Рассмотрим каждую из технологий подробнее.

IPSec не является единым протоколом, а представляет из себя «каркас» объединяющий алгоритмы шифрования (DES, 3DES, AES), хеширования (MD5, SHA), обмена ключами (DH), цифровой подписи (RSA) и защиты от повторной передачи. Вследствие этого технология IPSec быстро развивается и легко адаптируется к появлению новых алгоритмов [1,2]. Кроме того, поскольку шифрование осуществляется на уровне IP, полезная нагрузка может быть произвольной: с точки зрения сети, всё содержимое пакета относится к типу протокола № 50 – зашифрованное полезное содержимое ESP. Следовательно, IPSec может применяться для защиты любых вышерасположенных протоколов.

Построение защищённого туннеля осуществляется посредством протокола Internet Key Exchange (IKE) и делится на две фазы [1, 2]. В ходе первой фазы (IKE Phase 1) происходит построение шифрованного туннеля для передачи управляющей информации, причём участники соединения должны согласовать используемые алгоритмы хэширования, метод аутентификации, конкретную реализацию алгоритма Диффи-Хеллмана, время жизни туннеля и алгоритм шифрования. На этапе согласования параметров туннеля обмен информацией ведётся в открытом виде и потенциально доступен для перехвата. После формирования туннеля дальнейшая служебная информация передаётся только в зашифрованном виде в обоих направлениях. В рамках второй фазы (IKE Phase 2) происходит обмен служебной информацией о параметрах IPSec туннелей, непосредственно предназначенных для передачи данных. Соответственно, даже если информации о параметрах построения менеджмент-туннеля была перехвачена, параметры основных туннелей перехвачены не будут. Процедура договоренности аналогична таковой в Phase 1, однако теперь создаются два однонаправленных туннеля. Таким образом, в течение двух фаз IKE происходит согласование параметров и построение трёх туннелей: одного для управления и двух для передачи данных, которые вместе носят название security association (SA) [4].

Двухэтапный процесс построения туннелей обеспечивает высокую степень защиты данных, однако часто вызывает сложности при настройке оборудования и/или программного обеспечения (ПО). В частности, не существует общедоступного программного клиента для построения IPSec VPN, а в процессе пуско-наладочных работ на оборудовании наблюдаются разного рода проблемы, связанные с некорректным формированием SA. Например, при построении SA задействуется порт 500 и может быть задействован порт 4500, что означает необходимость разрешения на использование указанных портов вдоль всей трассы [1, 2]. Но наиболее существенна проблема аутентификации участников соединения: стороны должны однозначно убедиться, что каждая из них является той, за кого себя выдаёт. Как правило, решение достигается за счёт механизма цифровой подписи и построения т.н. инфраструктуры открытых ключей PKI, в частности развёртывания доверенного сервера сертификатов CA. CA выдаёт сертификаты участникам соединения и при необходимости подтверждает их подлинность, что обеспечивает надёжную аутентификацию сторон. Соответственно возникает проблема масштабирования построенной на базе IPSec с PKI частной сети, т.к. каждому из участников необходимо выдать сертификат, произведя необходимые операции на CA [4].

Обобщая всё вышесказанное, IPSec отлично подходит для формирования VPN типа Site-to-Site. Организации располагают ресурсами для настройки и пуско-наладки IPSec

туннелей, имеют требуемое оборудование достаточной производительности и могут развернуть свою PKI, а универсальность IPsec позволяет передавать внутри туннелей информацию самого различного типа. При этом использование IPsec для подключения удалённых пользователей к серверу хотя и возможно, но зачастую требует неоправданных затрат, т.е. для сценария Remote Access IPsec VPN практически не используется [4].

Эффективным решением как для Remote Access VPN, так и для безопасного подключения к расположенным в Интернете серверам является технология TLS. В соответствии со своим названием, TLS обеспечивает шифрование на транспортном уровне модели OSI [1,4]. Зачастую TLS реализуется поверх TCP соединения, однако имеется специфическая реализация DTLS, предназначенная для использования вместе с UDP. Наиболее широким применением TLS является его использование вместе с протоколом прикладного уровня HTTP, т.н. HTTPS, стремительно вытесняющий незащищённый HTTP из Интернета.

Построение TLS соединения происходит после завершения TCP рукопожатия и состоит в т.н. TLS рукопожатии. Клиент и сервер договариваются о версии протокола и типе шифрования, после чего сервер аутентифицирует себя, отправляя клиенту сертификат. В случае необходимости клиент проходит аутентификацию за счёт пары логин/пароль. Весь обмен данными происходит в открытом виде и доступен для перехвата. Лишь после того, как стороны обменяются тестовыми зашифрованными сообщениями и каждая из них убедится в возможности расшифровки, соединение станет защищённым [1, 4]. При этом обычно используется симметричный ключ, сгенерированный клиентом и затем зашифрованный открытым ключом сервера. Поэтому если закрытый ключ сервера окажется скомпрометированным, под угрозой оказывается безопасность всей ранее переданной информации. Более безопасной является реализация TLS, предусматривающая обмен ключами по алгоритму Диффи-Хеллмана, однако в настоящее время она применяется только на серверах крупных компаний, таких как Google, т.к. требует существенных вычислительных ресурсов [2, 4].

Обобщая сказанное выше, достоинства TLS таковы: процесс установки соединения в TLS значительно проще, чем в IPsec, размещение протокола «сверху» транспортного уровня позволяет использовать его в паре с прикладными прото-

колами без изменения последних. Использование повсеместно разрешённого 443 порта и стандартных прикладных протоколов позволяет строить TLS соединения посредством обычного браузера. Соответственно, TLS отлично подходит для безопасного подключения к серверам в Интернете и в качестве основы для Remote access VPN [4]. Даже если и требуется дополнительное ПО, оно может быть легко установлено как расширение браузера. Наконец, использование инфраструктуры PKI требуется только для серверов, количество каковых невелико. Однако у TLS есть и существенные недостатки: основная реализация протокола использует TCP, а защита UDP требует отдельной реализации. Обмен параметрами защищённого соединения происходит в открытом виде и уже существуют решения, способные на основании этих данных с высокой вероятностью определить характер передаваемого трафика даже без расшифровки такового. Наконец, не во всех браузерах реализация TLS выполнена с надлежащим уровнем безопасности.

Итак, завершая сравнение IPsec и TLS, важно подчеркнуть, что это различные инструменты, хоть и применяющиеся для схожих сценариев. Если при построении VPN главная задача-обеспечение безопасности передаваемых данных, то более рационален выбор IPsec, особенно если имеются соответствующие ресурсы и проблема масштабирования решения не столь существенна. Если же задача состоит в обеспечении конфиденциальности пользовательских данных, то альтернативы TLS на данный момент не имеется.

Никакое другое решение не обеспечивает такой гибкости применения и простоты настройки, вплоть до сценариев удалённой настройки ПО на стороне пользователя без участия последнего.

Литература

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. СПб.: Питер, 2012. 960 с.
2. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 5-е изд. СПб.: Питер, 2016. 992 с.
3. Росляков А. Виртуальные частные сети VPN. Модели и методы анализа. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 328 с.
4. Omar S., Jonh S. CCNA Security 210-260 Official Cert Guide. Cisco Press, 2015. 658 с.

О РАЗВИТИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Безумнов Данил Николаевич,

*Московский технический университет связи и информатики, ассистент кафедры ИСУиА, Москва, Россия,
danbez@yandex.ru*

Воронова Лилия Ивановна,

*Московский технический университет связи и информатики, зав. кафедрой ИСУиА, д.ф.-м.н., профессор, Москва, Россия,
voronova.lilia@ya.ru*

Реализация систем Интернета вещей подразумевает создание киберфизических систем, в которых вычислительные элементы взаимодействуют с датчиками, которые обеспечивают мониторинг киберфизических показателей, и с исполнительными элементами, которые вносят изменения в киберфизическую среду. Зачастую киберфизические системы ориентированы на то, чтобы каким-либо образом управлять окружающей средой. Киберфизические системы объединяют информацию от интеллектуальных датчиков, распределенных в физической среде, для лучшего понимания среды и выполнения более точных действий [1].

Современная мировая промышленность стоит на пороге четвертой промышленной революции, с которой связывают возможности кардинальной модернизации производства и экономики, а также появление таких явлений, как: цифровое производство, экономика «совместного использования» (shared economy), коллективное потребление, «уберизация» экономики, облачные технологии, распределенные вычисления, сете-центрическая модель управления, децентрализация управления и т.д. Интернет вещей и киберфизические системы в свою очередь являются технологической основой для перехода к новой экономической парадигме.

В настоящее время для повышения международной конкурентоспособности отечественные промышленные концерны и корпорации начинают внедрять элементы технологии Интернета вещей и киберфизических систем в существующие технологические процессы. Использование подобных технологий позволяет повысить производительность труда и качество производимой продукции, уменьшить себестоимость продукции и увеличить скорость выполнения заказов, а также открыть новые возможности по выстраиванию цепочки «производитель-потребитель». За количественным ростом Интернета вещей и организационно-технологической трансформацией производства стоят важные качественные изменения в экономике [2]:

- данные, которые раньше были не доступны, с ростом проникновения встроенных устройств представляют собой ценную информацию о характере использования продукта и оборудования для всех участников производственного цикла;

- виртуализация производственных функций сопровождается формированием «экономики совместного использования»;

- моделирование технологических процессов, сквозное проектирование и, как результат, оптимизация цепочки создания стоимости на всех этапах жизненного цикла продукта в режиме реального времени;

- эталонная архитектура, стандартизированные сети и модель аренды делают совместную

производственную инфраструктуру доступной для среднего и малого бизнеса;

- анализ данных о пользователе, его производственных объектах и характере потребления открывают возможности для поставщика услуги по улучшению клиентского опыта, созданию большего удобства пользования, лучшего решения и сокращению затрат клиента;

- функционирование различных отраслей экономики будет непрерывно усложняться под воздействием развития технологий и все больше осуществляться за счет автоматического принятия решений самими машинами на основе анализа большого объема данных с подключенных устройств, что приведет к постепенному снижению роли производственного персонала.

На фоне стремительных темпов внедрения элементов технологии Интернета вещей в промышленность и экономику возникает потребность в комплексной качественной подготовке квалифицированных специалистов для разработки и обслуживания инфраструктуры, функционирующей в рамках концепции Интернета вещей [2].

В секторе стандартизации технологии Интернет вещей на международной арене можно выделить:

- Международный союз электросвязи (International Telecommunication Union, ITU), который реализует сегодня инициативу IoT-GSU (Global Standards Initiative on Internet of Things);

- Европейский проект по архитектуре Интернета вещей (IoT-A), в который входят компании Siemens, NEC, Alcatel-Lucent, Hitachi, NXP, SAP, Telefonica, IBM и др., и целью которого является разработка эталонной архитектурной модели (Architectural ReferenceModel, ARM) Интернета вещей с описанием основных компонентов;

- Европейский исследовательский кластер Интернета вещей IERC, осуществляющий координацию различных проектов Евросоюза (ЕС) в области Интернета вещей с целью определения общего понимания принципов и технологий;

- Некоммерческий альянс Альянс IPSO, объединяющий различные сообщества, компании и организации в целях продвижения протокола межсетевого взаимодействия IP как коммуникационной среды для «умных объектов».

В ноябре 2016 года было объявлено, что Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии начинает формирование технического комитета, который займётся стандартизацией киберфизических систем [3].

Комитет будет проводить работы по стандартизации таких сфер, как «Интернет вещей», «Умные города»,

«Умное производство», «Большие данные». Планируется, что комитет выработает следующие национальные стандарты:

- ГОСТ Р «Интернет вещей. Эталонная архитектура»;
- ГОСТ Р «Интернет вещей. Термины и определения»;
- ГОСТ Р «Интернет вещей. Интероперабельность систем «Интернета вещей». Часть 1. Структура»;
- ГОСТ Р «Интернет вещей. Интероперабельность систем «Интернета вещей». Часть X. Семантическая интероперабельность»;
- ГОСТ Р «Большие данные. Эталонная архитектура»;
- ГОСТ Р «Большие данные. Термины и определения» (гармонизация с ИСО/МЭК 20546);
- ГОСТ Р «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 1. Структура бизнес- процессов Умного города»;
- ГОСТ Р «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 2. Структура управления знаниями Умного города»;
- ГОСТ Р «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 3. Инженерные системы Умного города»;
- ГОСТ Р «Умный город. Показатели ИКТ».

Лучшие зарубежные университеты США, Канады, Великобритании, Франции имеют факультеты технических и компьютерных наук, где готовят специалистов в области Интернета вещей и киберфизических систем.

В нашей стране научными исследования в области Интернета вещей активно занимаются ведущие российские организации, среди которых ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ИТМиВТ им. С.А. Лебедева РАН, ННГУ, МФТИ, МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГУСИ, ДГТУ и другие.

Кафедра «Интеллектуальные системы в управлении и автоматизации» (ИСУиА) Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ) проводит в этом направлении теоретические и практические исследования [4, 5].

В 2017 году кафедра открыла набор студентов по направлению подготовки 27.03.04 – «Управление в технических системах», профиль «Управление в киберфизических системах» [6, 7, 8].

Целью направления и профиля является комплексная подготовка квалифицированных специалистов в области Интернета вещей и киберфизических систем, способных проводить исследования и разработки на мировом уровне, а также обладающих знаниями и навыками в области облачных технологий, беспроводных сенсорных сетей, программно-аппаратных и встраиваемых систем реального времени Интернета вещей, обработки и анализа больших данных (Big Data), кибербезопасности систем Интернета вещей и киберфизических систем.

Данное направление обеспечивает подготовку специалистов в следующих областях:

- проектирование, исследование, производство и эксплуатацию киберфизических систем и средств управления в

промышленной и оборонной областях, в экономике, на транспорте, медицине;

- создание современных программных и аппаратных средств для исследования, проектирования и реализации, контроля и технического диагностирования распределённых систем управления.

Профильная подготовка ведется по теории управления, информационным технологиям, технологиям программирования, робототехнике, методам интеллектуального анализа данных, базам данных.

Для формирования квалифицированного специалиста в области Интернет вещей и киберфизических систем как ученого-исследователя необходима научная школа и участие в современных разработках мирового уровня.

Литература

1. Дзанни А. Киберфизические системы и разумные города [Электронный ресурс]. Режим доступа: [url: https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/](https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/), дата обращения: 11.01.2018.
2. *Khaitan S.K., McCalley J.D.* Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey, *IEEE Systems Journal*, 2014, № 9, pp. 1-16.
3. Концепция магистерской программы «Интернет вещей и киберфизические системы» [Электронный ресурс]. ФГАОУ ВО «НИУ «ВШЭ». М., 2017. – URL: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/213314991>, дата обращения: 19.01.2018.
4. *Безумнов Д.Н., Воронова Л.И.* Оценка временных характеристик выполнения задач реального времени на плате Arduino Uno // Телекоммуникации и информационные технологии. 2017. Т. 4. № 2. С. 51-54.
5. *Михаеску С.В., Трунов А.С., Воронова Л.И.* Анализ предметной области для разработки системы построения скелетной модели человека на основе массива опорных точек, получаемых совокупностью контроллеров Kinect // Международный студенческий научный вестник. Пенза: ООО "Информационно-технический отдел Академии Естествознания". 2015. № 3-4. С. 521-522.
6. *Воронов В.И., Воронова Л.И.* О повышении результативности магистерских программ в условиях инновационной экономики // Инновационные подходы в науке и образовании: теория, методология, практика. Монография. Под общей редакцией Г.Ю. Гуляева. Пенза: "Наука и Просвещение", 2017. С. 35-44.
7. *Voronov V.I., Voronova L.I.* Features of realization master's program "Automation of technological processes and manufactures" // International journal of applied and fundamental research. Саратов: ООО "Научно-издательский центр "Академия Естествознания". 2016. № 2. С. 27.
8. *Безумнов Д.Н., Воронова Л.И.* О поддержке дисциплин, включающих изучение «умного дома», с использованием конструкторов на базе Arduino и Raspberry // Приоритетные направления развития науки и образования: монография / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2017. С. 109-118.

АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПО ВИРТУАЛИЗАЦИИ ДОМАШНЕЙ СЕТИ НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ NFV

Володин Владислав Евгеньевич,
магистр МТУСИ, Москва, Россия,
goodladvlad@gmail.com

Шевелёв Сергей Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры МСuУС, МТУСИ, Москва, Россия,
shevelev-s@yandex.ru

Концепция виртуализации сетевых функций (Network Function Virtualization, NFV) была предложена относительно недавно, но уже успела пройти путь от стадии лабораторных исследований к практическому применению телекоммуникационными компаниями [1]. Данная концепция неразрывно связана с технологиями программно-определяемых сетей (Software Defined Networking, SDN) и облачными вычислениями [2].

NFV позволяет операторам строить инфраструктуру своих сетей, используя полномасштабную технологию виртуализации, отделяя программное обеспечение от аппаратной платформы [3]. При этом данная концепция успела получить в свои ряды многочисленных сторонников, прежде всего благодаря вновь открывшимся возможностям по сокращению времени вывода на рынок новых услуг и повышению экономической эффективности бизнеса.

По сути, NFV реализует сетевые функции с помощью технологий виртуализации программного обеспечения и запускает их на стандартном операторском оборудовании (то есть на стандартных серверах, хранилищах и коммутаторах), как показано на рисунке 1, где обозначены Content Delivery Network (CDN), Network Address Translation (NAT), Deep Packet Inspection (DPI), Virtual Private Network (VPN), Packet Data Network Gateway (PDN-GW или PGW) и IP Multimedia Subsystem (IMS). Эти виртуальные устройства могут развёртываться по мере надобности без установки нового оборудования. Например, операторы могут запускать брандмауэр с открытым исходным кодом на виртуальной машине (Virtual Machine, VM) на платформе x86 [4].

Будучи инновационной технологией, предполагающей переход к более дешевой и гибкой сетевой инфраструктуре, NFV может потенциально принести множество преимуществ инфокоммуникационным операторам, преобразив рынок телекоммуникационной отрасли. Помимо сокращения времени выхода на рынок новых услуг и быстрого ввода в эксплуатацию специализированных сервисов, основанных на потребностях клиентов, также возможно, например, сокращение капиталовложений и потребления электроэнергии за счет объединения сетевых устройств [5]. Вместе с тем, технологии NFV сопутствует определённый набор проблем, включая вопросы обеспечения гарантированной производительности сети для виртуальных устройств, их динамической реализации и миграции, а также эффективного размещения.

Значительный интерес представляет анализ возможности применения концепции NFV для виртуализации домашней сети.

Телекоммуникационные компании предоставляют услуги для домашних пользователей с использованием специализированного оборудования для обслуживания клиентов (Customer Premise Equipment, CPE), совместно с установленными на сетях операторов системами.

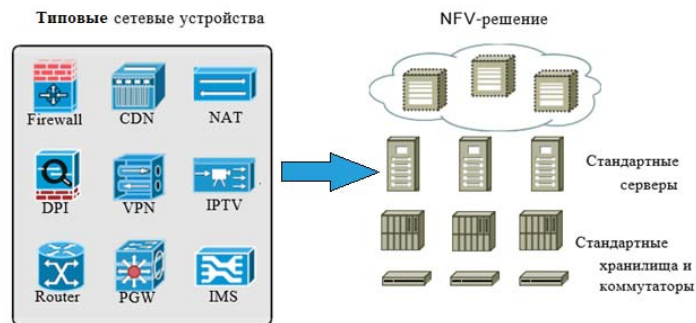


Рис. 1. От традиционных сетевых устройств до NFV

Типовые устройства CPE включают в себя пользовательские шлюзы (Residential Gateway, RG) для обеспечения доступа в Интернет и телевизионные приставки (Set Top Box, STB) для предоставления мультимедийных услуг. В такой архитектуре передача услуг IPTV, как известно, достаточно сложна из-за необходимости реализации интерактивных функций управления потоком (например, перемотки назад и перемотки вперед) [6]. Развивающаяся технология NFV наряду с возможностью обеспечения высокоскоростного широкополосного доступа на последней миле облегчает виртуализацию домашней сети и снижает сложность реализации услуг IPTV.

Архитектура одного из возможных решений по виртуализации домашних сетей изображена на рис. 2. Целями виртуализации являются STB и ряд компонентов RG, таких как брандмауэр, DHCP-сервер, VPN-шлюз и NAT-маршрутизатор. Перемещая их в центры обработки данных, операторы могут предоставлять пользователям простые и недорогие устройства с пониженными требованиями к эксплуатационным характеристикам и обслуживанию с точки зрения физического подключения к операторским сетям (представлены в левом нижнем углу рис. 2 в виде трёх серых прямоугольников) и возможности управления ими.

Эти устройства должны обеспечивать только функциональность уровня 2 для доступа к Интернету, так как функции RG уровня 3 и выше перемещаются в сеть операторов. Также, с данной виртуальной архитектурой можно разделить некоторые функции RG и STB между пользователями. Концепция виртуализации домашней сети на самом деле не является новой. Крупные телекоммуникационные операторы с большой абонентской базой уже несколько лет поддерживают решения Cloud Digital Video Recorder (DVR) или Network DVR. Cloud DVR позволяет хранить записанные видеопрограммы на серверах оператора вместо клиентского оборудования, и тем самым снижает требования к характеристикам STB, обеспечивающим данную функцию.

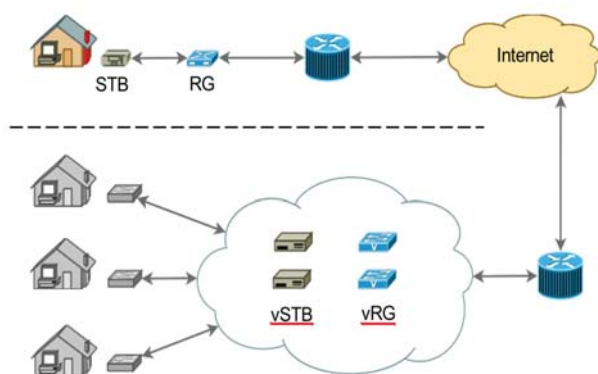


Рис. 2. Виртуализация домашней сети

Такая виртуализованная архитектура позволяет обеспечить множество преимуществ телекоммуникационным операторам и конечным пользователям. Во-первых, за счёт уменьшения эксплуатационных расходов на обслуживание клиентского оборудования и обновления устройств CPE, а также уменьшения нагрузки на колл-центр, поскольку более простое оборудование с несложным функционалом меньше подвержено отказам. Во-вторых, улучшается качество обслуживания клиентов путём предложения почти неограниченной емкости хранилища и обеспечения доступа ко всем сервисам и совместному контенту из разных мест, а также с использованием дополнительных устройств, таких, например, как смартфоны и планшеты. Это позволяет повысить степень удовлетворенности клиентом сервисом оператора. В-третьих, обеспечивается динамическое управление качеством обслуживания и контролируемый обмен между потоками пользовательских приложений, что позволяет поставщикам контента предоставлять услуги конечным пользователям программно через открытый интерфейс прикладных программ (Application Programming Interface, API) [7].

Наконец, новые услуги вводятся более плавно и прозрачно, минимизируя зависимость от функций CPE.

Проведённый анализ новой технологии виртуализации сетевых функций на примере виртуализации домашней сети, показал эффективность концепции NFV, позволяющей отвязать функциональность от специализированных устройств и реплицировать их в виртуальной форме.

Предполагается, что NFV, наряду с облачными вычислениями и SDN, станет критически важной технологией, позволяющей радикально упростить сетевую инфраструктуру большинства операторов связи и изменить способ её монетизации. Таким образом, технология NFV открывает для операторов новые возможности получения прибыли в цепочке создания стоимости услуг.

Литература

1. *Ланов И.* Виртуальность на старте // Стандарт. Цифровая трансформация, ИТ, коммуникации, контент. 2017. № 10 (177). С. 48-52.
2. *Jim Doherty.* A Visual Guide to Understanding Software Defined Networks and Network Function Virtualization. Pearson Education, 2016.
3. *S. Bhaumik, S. P. Chandrabose, M. K. Jataprolu, G. Kumar, A. Muralidhar, P. Polakos, V. Srinivasan, T. Woo.* CloudIQ: A Framework for Processing Base Stations in a Data Center. In Proceedings of MO-BICOM 2012, Aug. 2012.
4. *Paul Göransson, Chuck Black.* Software Defined Networks A Comprehensive Approach. Elsevier, 2016.
5. *M. Chiosi et al.* Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. ETSI White Paper, Oct. 2012.
6. *William Stallings.* Foundations of Modern Networking SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. Pearson Education, 2016.
7. *V. Sivaraman, T. Moors, H. H. Gharakheili, D. Ong, J. Matthews, C. Russell.* Virtualizing the Access Network via Open APIs. In Proceedings of CoNEXT 2013, Dec. 2013.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ КЛИЕНТОВ БАНКОВ

Волошина Татьяна Сергеевна,
магистрант группы М091701 (71), каф. ИБ МГУСИ, Москва, Россия,
tania083@mail.ru

Статья посвящена анализу состояния уровня достоверности аутентификации по различным видам биометрических данных клиентов для повышения защищенности доступности к финансовым услугам банков.

Ключевые слова: идентификация, аутентификация, биометрические данные, услуги с добавленной стоимостью (VAS-услуги).

В настоящее время большинство пользователей банков используют для аутентификации пластиковые карты, системы паролей и PIN-кодов. Однако данными средствами доступа к конфиденциальной информации может завладеть злоумышленник по причине их потери или забывчивости пользователя, что отрицательно сказывается на работе крупных банков, где циркулируют потоки денежных средств, важных документов и где остро стоит проблема строгого контроля. По этой причине крупные организации начинают использовать биометрические технологии, где вместо пароля пользователь использует свои биометрические характеристики, такие как, например, форма рук, папиллярный узор пальцев, манера речи или письма. Главное преимущество применение биометрии перед паролями и PIN-кодами заключается в том, что биологический код трудно подделать или украсть [1].

Наиболее часто используемым методом биометрической аутентификации является сканирование отпечатков пальцев по причине его высокой достоверности – характерное значение FAR (False Acceptance Rate, «ложная тревога») составляет 0.001%, что является лучшим показателем по сравнению с другими методами. Кроме того, сама процедура аутентификации достаточно проста.

В качестве недостатков данного метода следует заметить, что из-за нарушения папиллярного узора мелкими царапинами, порезами, химическими реактивами или сухости кожи сканер не в состоянии считать отпечаток пальца пользователя.

Принцип работы биометрических систем аутентификации, указанных в табл. 1, состоит в следующем: в базе данных системы хранится цифровой отпечаток пальца, радужной оболочки глаза или модуляции голоса [2].

Таблица 1

Методы биометрической аутентификации

Сортировка методов биометрической аутентификации по показателям ошибок (от лучших к худшим)	Коэффициент ложного отказа в доступе (FRR), %	Коэффициент ложного пропуска (FAR), %
ДНК	стремится к 0	стремится к 0
Сетчатка глаза	0,0001	0,4
Радужная оболочка глаза	0,00066	0,00078
Отпечаток пальца	<1	от 0,001 до 0,00001
Геометрия ладони	0,1	0,1
Геометрия лица	<1	0,1
Рисунок вен на кисти руки и ладони	0,0008	0,01
Подпись	0,09 – 0,12	0,09 – 0,12
Распознавание по голосу	0,01	0,3

Пользователь при попытке получить доступ к системе с помощью сканера или микрофона вводит необходимую информацию. Полученные данные сравниваются с образцом из базы данных, а затем принимается решение о допуске. Одним из недостатков биометрии считается возможность хищения биометрических данных уже после того, как они были оставлены, то есть в тот момент, когда пользователь кладёт палец на сканер и компьютер посылает оцифрованный отпечаток пальца на сервер с базой данных. Подлинная биометрическая информация не шифруется, поэтому её возможно перехватить на канале между сканером и проверяющей программой при дальнейшем использовании злоумышленником для получения доступа [3].

Биометрия может дать банкам возможность предоставлять клиентам услуги удалённо с помощью онлайн сервисов, используя такие подходы, как voice recognition (идентификация по голосу) и image recognition (идентификация по внешности). Это позволит крупным банкам значительно повысить экономию средств за счёт сокращения части персонала. При регистрации нового пользователя также удалённо злоумышленником может быть предоставлена чужая фотография или запись чужого голоса, поэтому проводится дополнительная проверка.

При сканировании лица получают изображения с разных ракурсов. Для проверки голоса, как утверждает «Сбербанк» система позволяет распознавать, когда человек звонит банк под принуждением или когда операцию пытаются провести злоумышленник. Также возможно введение дополнительных мер безопасности. При сканировании сетчатки глаза во избежание использования мошенником фотографии можно потребовать, чтобы клиент мигал или двигал глазами [4].

Одной из проблем биометрии является отказ в доступе, связанный с кратковременным изменением биометрических характеристик. Например, из-за простуды голос человека может измениться, а пользователя, сломавшего палец или стёршего на нём узор по каким-либо причинам, трудно идентифицировать по отпечатку этого пальца [5]. По этим причинам следует установить порог вероятности «узнавания» системой пользователя, при котором будет разрешена та или иная операция. Для пользователя с временно изменившимся голосом, может быть доступна банковская операция, рассчитанная на небольшую денежную сумму. Более эффективно использование многофакторной аутентификации с использованием нескольких способов биометрической аутентификации. «Сбербанк» предлагает помимо отпечатков пальцев применять аутентификацию голосом и движением губ при произношении кодовых слов, так как это является уникальной мышечной активностью, которую невозможно подделать и которая распознаётся при различных состояниях человека [6].

Для массового внедрения биометрии необходимо задействовать не только банки, но и другие области, в том числе

страховые компании и пенсионные фонды. В качестве достижения этой цели предлагается подключить банки к Единой системе идентификации и аутентификации (ЕСИА), через которую предоставляются некоторые госуслуги [7].

Для решения задачи, связанной с аутентификацией пользователя, важно решить вопрос об уровне защиты рассматриваемой системы. Для этого используются два подхода, первый из которых основан на основных стандартах в сфере информационной безопасности или какой-либо другой набор требований. Однако в таких документах требуемый уровень защищённости не всегда строго определён, что не даёт определить эффективный уровень защищённости системы [8]. Второй подход произошёл из принципа «разумной достаточности», применённого к сфере обеспечения информационной безопасности. Этот принцип описывают следующие утверждения:

- абсолютно непреодолимой защиты создать невозможно;
- необходимо соблюдать баланс между затратами на защиту и получаемым эффектом;
- стоимость средств защиты не должны превышать стоимости защищаемой информации;
- затраты злоумышленника на несанкционированный доступ должны превышать тот эффект, который он получит в его результате.

Таким образом, биометрическая аутентификация позволит клиентам банка получать услуги удалённо, а самим банкам, в свою очередь, даст возможность сэкономить за счёт сокращения штата сотрудников и повысить безопасность по причине отказа от вещественных идентификаторов и паролей. Для обеспечения большей безопасности рекомендуется использование многофакторной аутентификации, основанной на отпечатке пальца и произношении кодовой фразы. Также требуется решение проблемы функционального распределения действий по аутентификации, связанной с разработкой доверенного алгоритма аутентификации, который не позволит злоумышленникам завладеть подлинной биометрической информацией при её передаче от сканера к проверяющей программе.

Успехи в области сотовой связи и цифровой обработки сигналов позволяют перейти от теоретических исследований к практической реализации защиты информации с использованием биометрических параметров человека.

Операторы сотовой подвижной связи (СПС) помимо стандартных услуг голосовой связи, используя мощности сетей и оборудования, реализуют услуги с добавленной стоимостью (VAS-услуги). Операторами связи обслуживаются сервисы и услуги, требующие идентификации абонента и телефонного аппарата (ТА). Это продиктовано тем, что в

настоящее время на сетях СПС реализуются сервисы, которые позволяют с использованием ТА производить различного рода финансовые действия со счетом абонента, а также взаимодействовать с банковскими системами, получать отчетность и совершать операции по банковским картам [9].

В 2005 г. в Китае компанией Bird был анонсирован мобильный телефон, позволяющий идентифицировать его обладателя по отпечаткам пальцев от контактного дисплея [9]. Возможность идентификации абонента по голосовому ключу технически может реализовываться либо с использованием ресурсов классического оператора СПС, либо ресурсов контент-провайдера, выполняющего функции виртуального оператора (MVNO), организующего контроль доступа к своим услугам. Для того чтобы идентифицировать абонента по голосу, необходимо иметь речевой шаблон, с которым будет сравниваться вводимый в систему голосовой ключ. Сравнение ключа и шаблона может проводиться по одной или нескольким характеристикам речевого сигнала [10] представленным в цифровом виде.

Литература

1. Babrovich N. How biometric authentication can increase mobile banking security [электронный ресурс]. Режим доступа: www.scensoft.com. (Дата обращения 28.01.2018).
2. Маркелов Р. Неевклидова биометрия [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru> (Дата обращения 27.01.2018).
3. Шмырова В.В. России начинается тестирование единой биометрической системы для банков [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cnews.ru> (Дата обращения 1.02.2018).
4. Биометрия в банке: тело как пароль [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bosfera.ru> (Дата обращения 2.02.2018).
5. Биометрические технологии на службе банков // BISJournal. 2011. Вып. 11. С.48-49.
6. Сбербанк планирует опознавать клиентов по движению губ [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gia.ru> (Дата обращения 31.01.2018).
7. Единая Биометрическая Система: что ждать от запуска ЕБС? [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.plusworld.ru> (Дата обращения 1.02.2018).
8. Максименко В.Н., Ясюк Е.В. Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности // Экономика и качество систем связи, 2017. №1(3). С. 42-48.
9. Максименко В.Н., Даньков А.П. Идентификация абонента сотовой подвижной связи по голосу // Мобильные системы, 2006, № 7. С. 27-30
10. Дворянkin С.В. Речевая подпись / Под ред. заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., проф. А.В. Петракова. М.: РИО МТУСИ, 2003. 184 с.

АКСИОМАТИКА НЕЧЕТКОСТИ–ЧЕТКОСТИ В ИЕРАРХИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ)

Гадасин Вадим Арнольдович,

д.т.н., с.н.с., главный научный сотрудник Испытательного центра программных средств «ИБ Транс», Москва, Россия,
dengao@mail.ru

Гадасин Денис Вадимович,

к.т.н., доц., доцент кафедры Мультимедийных систем и услуг связи МТУСИ, Москва, Россия,
dengadiplom@mail.ru

Аксиома – положение, принимаемое без логического доказательства в силу непосредственной убедительности; истинное исходное положение теории. *Система* – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, *единство* [1]. Выделяют *материальные, социальные и абстрактные системы*. *Аксиоматика*, система аксиом, удовлетворяющая триаде условий (ограничений) – независимости, непротиворечивости, полноты. *Четкость* – однозначный смысл знака, отчетливое выделение составляющих (элементов) чего-нибудь. *Консенсус* нечеткости-четкости – *многозначный* смысл однозначного знака в зависимости от полноты ограничений; например, в квадратном уравнении есть два решения.

Математика основывается на аксиоматической методологии – исходя из нескольких предложений, истинность которых считается не требующей доказательства, выводят другие предложения, применяя только правила логики (четкости). Аксиомы предназначены для описания простых свойств рассматриваемых объектов в надежде на то, что эти свойства приближенно (нечетко) отразят их существенные черты. Введем обозначения: D – размерность точечной системы, мощность различных элементов в совокупности; N – критерий «общности», натуральное число; \aleph_0 – счётная мощность.

Известны слова выдающего математика Гильберта об аксиоматике (геометрии): – вообразим три системы вещей, которые мы назовем точками, прямыми и плоскостями. Что это за «вещи» – мы не знаем, да и незачем нам это знать. Все, на что мы можем претендовать, сводится к тому, чтобы мы усвоили относящиеся к ним аксиомы. Воспользуемся этой концепцией Гильберта при отражении аксиоматики консенсуса нечеткости-четкости. Нетрудно расширить эту мысль Гильберта, введя еще постулаты виртуальности – разума $4D$ и интеллекта $5D$. С психологической точки зрения назначение интеллекта $5D$ – «... создавать порядок из хаоса на основе приведения в соответствие индивидуальных потребностей с объективными требованиями реальности», [1].

Модель предметной области, исходит из того, что один и тот же факт можно представить разными дефинициями kD в зависимости от того, какими ограничениями представлена область определения рассматриваемых задач. Интерпретация расплывчатых допущений непрерывной реальности относятся к одному из триады классов систем – нечетких или четких.

Отображение природы есть виртуальная (информационная) надстройка над базисом (память). Тогда в классе виртуальных множеств (единств) выделяют материальные, социальные и абстрактные системы [3]. Кластер времени $1D$ переходит в виртуальный кластер однородности, пространства $2D$ – в перманентное постоянство множества $2D$, реальная

информация $3D$ – в сведения $3D$. Любая предметная область, в том числе и технология (система $5D$), представляется как нечеткая смесь постулатов четкости (кластеры kD) в совокупности критериев, ограниченные по некому вербальному (грубому) атрибуту.

Грубые допущения виртуальности принадлежат к классу нечетких, или четких, или точечного множества памяти. Эра цифровой экономики характерна изменением структуры соотношений между этими атрибутами в сторону кардинального увеличения доли четкости – искусственного интеллекта. Следствием этого является существенное увеличение мощности (вплоть до \aleph_0) кластеров аксиом $1D \div 5D$, которое сопровождается детализацией атрибутов нечеткости и переводу их в параметры четкости. Основное требование – комплексирование атрибутов с позиций неразделимости меры кластеров искусственного интеллекта $1D \div 4D$. Нечеткость процедур допускается только в кластере $5D$ – субъективный перескок в аналогиях, целях, исключениях.

В работах [2, 3] введен квинтет кластеров $1D \div 5D$ – дедуктивных субстанций аксиоматики нечеткости–четкости — как платформы для анализа и синтеза *однородных систем* разного назначения. «Задача технологии как науки – выявление физических, механических, и других *закономерностей* с целью определения и использования на *практике* наиболее *эффективных* и экономичных производств, процессов», [1].

В цифровых (четких) технологиях есть масса нечетких ограничений, как технических и тактических, так и математических и стратегических. Композиция технологий представляет, по сути, множество путей от неразделимости природы через дискретную четкость в неразделимость результата.

Можно выделить в иерархии парадигмы биосферы три причинно-следственные структуры, состоящие из *неразрывно связанных* между собой кластеров: *линейная* – независимая триада *тактики* «начало ~ заказчик – конец ~ исполнитель»; *стратегическая* – непротиворечивый квартет четкости разума разработчиков; *полнота* – прогноз эффективности проекта.

Линейная структура $3D$ (от начала до конца детерминированной технологии) сравнительно хорошо изучена. Отметим, что замкнутость аксиоматики приводят к двум дополнительным кластерам – $5D$ и $4D$. Облик стратегической подсистемы технологий предложен в [4], где обозначена радикально – кольцевая система, состоящая из кластеров $1D \div 4D$ скрепленных кластером $5D$. Комплексирование проблем искусственного интеллекта (ИИ) неизбежно приводит к иерархии сравнительно изолированных предметных областей – техническое, программное обеспечение, экономика, управление, государство, и т.д. Чтобы объединить вместе отдельные алгоритмы, системы, роботы, спрос и предложение, и

т.п. необходимо выделить общий критерий неделимости и затем наложить ограничения на область определения.

В данной работе принята гипотеза однородности атрибутов иерархии в трехмерном пространстве несовместных допущений. При *формальном* анализе выясняется, что лежащая в основе машины Тьюринга идея основана на *триаде* несовместных дефиниций – двоичная последовательность, *дискретность* знаков «±1», разделенные *непрерывностью* «0». Вследствие этого однородность создает формальные предпосылки для введения нормирования в четкую парадигму ИИ – от нано систем, структур, систем (изделий), мега – систем (общество), тера систем (биосфера), универсума (Вселенная).

Есть два предельных направления в методологии науки: интенсивное 1D – индукция, анализ, разложение на составные части, *время*; экстенсивное 2D – дедукция, синтез, сочетание случайностей, *пространство*. Различают полную индукцию, когда обобщение относится к конечно-обозримой области фактов, и неполную индукцию, когда оно относится к бесконечной сфере явлений. Началом дедукции являются аксиомы, постулаты или просто гипотезы, имеющие характер общих утверждений, а концом – следствия из посылок, теоремы. Поскольку в данной работе платформа ИИ основывается на трехмерном алфавите, то настоятельно необходима сущность – случайная, отражающая нечто среднее 3D, переход между этими двумя крайностями.

Обращает внимание, что сам искусственный интеллект трехмерный, выделяет *замкнутый* объем в точечном множестве дефиниций – многогранник 5D в пространстве точечного (конечного) разума 1D÷4D, который в свою очередь базируется на трехмерном алфавите исчисления 1D÷3D. Тогда *меньше* трех ступеней искусственного интеллекта быть не может. В данной работе предложен подход к множеству путей от *неразделимости* природы 1D÷3D через дискретность разума коллектива 2D÷4D к *неразделимости* платформы ИИ 3D÷5D.

Отражение интеллекта в природе есть отбор объекта – консенсус между временем (1D) и пространством (2D). Операция отбора есть *реальное* наследование субъекта 3D: новое появляется, тогда как прежнее – исчезает. Формально, в неделимом единстве «базис – надстройка» аналог *реального* отбора существует в виртуальности в *субъективности* одной и только одной личности. Тогда с полным основанием *субъективность* (в общем, нечеткость) можно считать интеллектом 5D, а вот *объективность* 4D – *искусственным* интеллектом.

Информация 3D в виртуальности есть субъективное соответствие личности 5D, а сколько людей – столько и мнений. На одном и том же *хаосе* фактов можно построить радикально отличными обоснования ИИ. Разум представляется совокупностями дискретных знаков из конечного алфавита, следовательно, мощность множества составляющих разума конечна. В математике есть общеизвестная теорема Брауэра – «Если некоторое отображение T непрерывно переводит отрезок в себя, т.е. каждой точке p отрезка ставит в соответствие точку $T(p)$ того же отрезка, причем $T(q)$ можно сделать сколь угодно близкой к p , то существует *по крайней мере* одна точка p_0 , остающаяся неподвижной: $T(p_0) = p_0$ ».

Чтобы точно позиционировать конкретную цифровую систему 1D÷5D среди себе подобных нужны, по крайней мере, четыре *перманентные* координаты – *неподвижные* точки. Виртуальность в ИИ эквивалента абстракции, триада типов абстракции [3]: изолирующая абстракция $1D \cap 2D$ – вычленивающая исследуемое явление из некоторой целостности; обобщающая абстракция 4D – дающая усредненную

картину явления; идеализация 5D – замещение реального эмпирического явления идеализированной схемой. Четвертая точка есть интерпретация, интуиция $4D \cup 5D$ – совмещение реальности отбора из *бесконечной* мощности с виртуальностью – отбор из конечного конформизма *субъективности*.

От неразделимости естественного интеллекта (ЕИ) к искусственному интеллекту (ИИ). Продолжительность жизни систем биосферы обуславливается объективным (нечетким) *круговоротом* природы, перемещением по «карьерной лестнице» *замкнутых* субстанций биосферы. Согласно определению [1] – «Биосфера – область активной жизни, охватывающей нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы. В биосфере живые организмы и среда их обитания органически связаны и взаимодействуют друг с другом, образуя целостную динамическую систему». Что фактически иерархия в парадигме систем.

Этот отбор симбиоза и конкуренции порождается *нечетким естественным интеллектом* (ЕИ) – скользящую иерархию дискретности объектов, от кварков до Галактик, от нано- до тера- систем. Искусственный интеллект (ИИ) представим в классе цифровой информации, в таком случае он является *четкой* интерпретацией субъектов биосферы. Аксиоматика в математике удовлетворяет трем ограничениям нечеткости – непротиворечивость, независимость, полнота. Полнота является следствием атрибутов *замкнутой* предметной области. Четкость, как ограничение надстройки, выражается одним кластером или же двумя кластерами аксиом линейных границ.

Общая теория относительности (ОТО) Эйнштейна, описывающая поведение неживых объектов, основана на *квартете* постулатов – одно- размерное время и трех- пространство. Математический аппарат парадигмы ОТО – тензоры. Мощность *однородных* точечных множеств допускает в качестве меры счетную бесконечность \aleph_0 – число натуральных чисел. Иерархия неполной индукции в точечном множестве чисел очевидна, но натуральные числа удовлетворяют *пяти* аксиомам Пеано. В работах [3, 4] освещен *квинтет* кластеров аксиоматики точечных множеств.

В физике элементарных частиц приобрела популярность аксиоматика теории струн [5]. Считалось, что есть *пять* различных суперструнных теорий, *пять* различных кандидатов на роль универсальной Теории Всего (ТОЕ – *Theory of Everything*) в мире элементарных частиц – нано мире. По мере дальнейших исследований физиков общее исходное число струн 5 увеличилось до 10, потом до 13, а с учетом дуальных преобразований – до 26. Отсутствие единого профессионалов свидетельствует о том, что надо кардинально обобщить проблему «Теории всего». «Всё» строится из отдельных частей, ввести иерархию дискретностей – перевести проблему ТОЕ из разряда квантовых в класс виртуальных систем, независимо от масштаба реальностей.

Математический аналог – взаимно обратимый перевод суммы натуральных чисел в интеграл и дифференциал. Если рассматривать с общих позиций субъективного интеллекта, то можно этот аналог считать субстанцией ИИ. Иерархия в пяти размерной пространстве четкости обобщает различные пути влияния одного события от другого. Налицо *трех* размерная иерархия технологий искусственного интеллекта – от неразделимости природы к неразделимости субъекта. Еще *два* кластера обуславливаются связью между ступенями иерархии.

Как и следовало ожидать, иерархия ИИ проходит трехзвенный путь от низшего звена А – неразделимость исходных данных (три триады непрерывности ЕИ), через триаду В

– неразделимость объективности, к субъективности С.

Итого – 13 кластеров технологий ИИ.

А – Неразделимость исходных данных – Техническое обеспечение (1D_A) + Программное обеспечение (2D_A) + Моделирование (3D_A).

1D_A – Техническое обеспечение – Материалы + Средства вычислительной техники + Производство.

2D_A – Программное обеспечение – Память + Носитель + Способ доставки.

3D_A – Моделирование – Алгоритмы + Предметная область + Технология.

В – Неразделимость объективности – Экономика + Управление + Творчество.

С – Неразделимость субъективности - Исполнитель

Литература

1. Советский энциклопедический словарь. М.: Изд. «Советская энциклопедия», 4-е издание, 1989. 1632 с.

2. Гадасин В.А., Гадасин Д.В. Система комплексной оценки информационных технологий / Технологии информационного общества X Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2016. М.: Издательский дом Медиа Паблшер". С. 18-21.

3. Гадасин В.А., Гадасин Д.В. Неразделимость нечеткости и четкости в электронных технологиях информационного общества / XI Международная научная конференция: сборник трудов. 2017. М.: Издательский дом Медиа паблшер.

4. Гадасин В.А., Гадасин Д.В. Замкнутость понятия "надежность" на основе полноты систем / Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC – 2016»

5. <http://www.astronet.ru/db/msg/1199352>.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАННЫХ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПЕРЕЗАГРУЗКЕ ОБЛАКА

Гадасин Денис Вадимович,

к.т.н., доц., доцент кафедры Мультимедийных систем и услуг связи МТУСИ, Москва, Россия,
dengadiplom@mail.ru

Кривов Денис Андреевич,

студент 2-го курса магистратуры группы М111601(74), МТУСИ, Москва, Россия,
ostrov4815@gmail.com

Золотухин Павел Алексеевич,

студент 2-го курса магистратуры группы М111601(74), Москва, Россия,
zolutuchin94@mail.ru

В начале 2018 года стало известно о двух уязвимостях в процессорах, в основном, в процессорах компании Intel, Meltdown и Spectre. Обе уязвимости связаны со спекулятивным исполнением самого процессора. Зная об этих двух уязвимостях можно организовать атаки (интернет ресурс использует скрипты и способен украсть данные из памяти ОС). Возможность атак опасна не только для рядовых пользователей, но и для «облачных» провайдеров, а также, соответственно, для всех тех, кто пользуется облачными сервисами. Так как «облако» – это не только приложения, поставляемые в качестве услуг через Интернет, но и аппаратные средства и программные системы в центрах обработки данных, которые обеспечивают предоставление этих услуг, то есть по сути, агрегированно, это просто большой, "общий компьютер", где пользователи изолированы друг от друга различными методами защиты в том числе и механизмом защиты памяти.

По данным компании PassMark [4] доля процессоров Intel на текущий момент составляет 69%, и она занимает лидирующие позиции на рынке. Данное положение приводит к тому, что крупные компании, такие как AWS, IBM, Microsoft и другие, предоставляющие «облачные» сервисы в своих центрах обработки данных (ЦОД), должны устранить выявленную уязвимость на своих серверах для предотвращения критической ситуации. Ошибка устраняется путем остановки процессора и "программным лечением", что ведет к перезагрузке устройства и в общем случае может привести к перезагрузке всех физических устройств образующих облако или ЦОД. В ходе данной процедуры ни одна виртуальная машина не должна остановиться и особенно ни один килобайт данных не должен быть потерян.

Исходя из статьи 7 «Категорирование объектов критической информационной инфраструктуры» федерального закона «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [6], ЦОД можно рассматривать как критический объект. Потеря хранящейся информации и/или доступ к ней имеет не только имиджевую, но и финансовую составляющую. В законе также говорится о «принятии организационных и технических мер для обеспечения безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры», то есть закон предписывает поставщику цифровых услуг принимать меры для устранения возникающих уязвимостей.

Для купирования критической ситуации должны быть разработаны механизмы и алгоритмы. Одним из таких алгоритмов может быть алгоритм миграции виртуальной машины с одного сервера на другой (в более общем случае узла на другой узел), при этом виртуальная машина не должна прекращать работать, в данном случае можно говорить о

«живой миграции». Главной задачей во время «живой миграции» является сохранность данных в облаке, устранение неисправности на сервере-источник, переместив их на сервер, не требующий отладки – сервер-приемник.

На первом этапе происходит миграция постоянной памяти (ROM) и памяти с произвольной выборкой (RAM), при которой перед процедурой копирования гипервизор сохраняет все данные из источника в пункт назначения, в то время как виртуальная машина все еще работает на источнике. Если некоторые данные меняются во время этого процесса, они переупорядочиваются до тех пор, пока скорость перекопированных данных не становится меньше, чем скорость их обновления.

После выполнения данной процедуры виртуальная машина прекращает свою работу на исходном хосте, а оставшиеся данные переносятся в пункт назначения, и виртуальная машина возобновит работу на новом узле. Время между остановкой виртуальной машины на исходном хосте и возобновлением ее на новом, «время простоя», варьируется от нескольких миллисекунд до нескольких секунд в зависимости от размера памяти и приложений, запущенных на виртуальной машине.

При остановке виртуальной машины минимальное подмножество состояний выполняемой виртуальной машиной (состояние CPU, регистры и другие) передается перенесенной. В случае, если виртуальная машина пытается получить доступ к данным, которые еще не были переданы, она выдаст ошибку, сетевые сбои. Слишком много сетевых сбоев может ухудшить производительность приложений, запущенных внутри виртуальной машины. Следовательно, необходимо произвести предварительный пейджинг, то есть синхронизацию передачи данных. Данная процедура позволяет провести динамическую адаптацию порядка передачи данных и ускоряет исправление сетевых ошибок.

Для улучшения настоящей схемы миграции можно использовать технологию блокчейн. Так как блокчейн это выстроенная по определенным правилам непрерывная последовательная цепочка блоков, содержащих информацию, то они более устойчивы к сетевым сбоям [3]. Использование данной технологии позволит однозначно определить, что все данные были скопированы без потерь и искажений. Второй важной особенностью применения блокчейн - отказ от пейджинга, так как если какие-либо данные будут меняться на сервере-источнике, то они сразу должны будут измениться и на сервере-приемнике. В-третьих, для чего может быть полезен блокчейн – спасение данных в случае чрезвычайной ситуации, например, стихийное бедствие или непрерывный отказ всего оборудования, когда требуется «спасти» как можно больше данных с последующим однозначным вос-

становлением. Использование блокчейн позволит выявить недостающие или потерянные данные и свести к минимуму информационные издержки при восстановлении работоспособности облачной инфраструктуры.

Еще одной немаловажной задачей является место для временного хранения данных. Решение данной задачи может лежать в плоскости использования частных ресурсов пользователей [1] или услуг других провайдеров. Использование внешних распределенных ресурсов для хранения и обработки информации ведет к возникновению «виртуального ЦОД», то есть происходит переход на уровень туманных вычислений. Концепция которых представляет из себя архитектуру системного уровня для расширения или замены облачных функций таких как: хранение, вычисление, сетевое взаимодействие. В этой концепции существует ряд проблем:

- Производительность – минимальные задержки во времени
- Доступность – быстрое восстановление в случае сбоев
- Надежность – качество предоставления услуг не должно быть хуже, чем в облаке

Следовательно, основной проблемой является производительность сети передачи данных, она должна иметь высокую скорость и любое устройство в любой момент времени, не должно потерять доступ к сети. Для решения этой проблемы используются расплывчатые вычисления. Этот род вычислений, когда на локальном устройстве сохраняется более облегченная, локальная копия, что позволит работать в автономном режиме. Как только сеть восстановится, произойдет немедленная синхронизация всех устройств с даль-

нейшим восстановлением данных. С внедрением туманных вычислений станет возможно отказаться от облачных вычислений. В свою очередь операционные системы и приложения должны поддерживать расплывчатые вычисления.

В итоге, в случаях необходимости, будет существовать возможность перезапустить «облако». Главной задачей во время этого процесса будет сохранность данных и минимальное время перезапуска. Сам перезапуск может быть произведен, как поэтапно, так и одновременно, благодаря новым технологиям. Последний метод не совершенен и требует больших физических и денежных затрат на его обработку.

Литература

1. Джейсон Лэнгоун, Андрэ Лейбовичи. Виртуализация настольных компьютеров с помощью VMware View 5. ДМК Пресс, 2013. 280 с.
2. Андрей Маркелов. OpenStack. Практическое знакомство с облачной операционной системой. ДМК Пресс, 2016. 160 с.
3. Уильям Могайар. Блокчейн для бизнеса. Москва, 2018. 215 с.
4. График, показывающий долю рынка Intel по данным компании PassMark. https://www.cpubenchmark.net/market_share.html.
5. Джордж Риз. Облачные вычисления. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. 287 с.
6. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации".

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ НСД ПРИ РАБОТЕ С ИС

Руднев Алексей Николаевич,

к.т.н., доцент каф. «Информационная безопасность и автоматизация», МТУСИ, Москва, Россия,
alexrudnev@mail.ru

Ганиев Тимур Рамисович,

магистрант, МТУСИ, Москва, Россия,
Jeksparwan@bk.ru

Выполнение проверки на возможность получения доступа не авторизованному пользователю представляет собой один из возможных методов оценки уровня информационной безопасности объекта. В ходе проверки выполняется моделирование действий возможного злоумышленника, который воздействует как из внешней сети, так и со стороны интернет. Подобный метод аудита безопасности позволяет получить оценку существующего уровня защиты объекта. Также в ходе выполнения проверки проваливаются слабые места в существующей системе безопасности, например такие, которые могут не быть выявлены при других методах аудита [3].

Целью тестирования на проникновение часто становились сети информационных систем управления (ИС). На сегодняшний день необходимость регулярного выполнения работ по анализу защищенности подобных систем особенно актуальна в связи с их высокой значимостью и участвовавшими за последние несколько лет атаками, направленными на них. Поэтому информационной безопасности ИС все больше внимания уделяют как исследователи в области ИБ, так и регулирующие органы и владельцы систем, и все чаще ИС стали фигурировать в работах, посвященных тестированию на проникновение [1].

В состав оказанных услуг в рассмотренный период входили несколько видов тестирования на проникновение:

- внешнее тестирование;
- внутреннее тестирование;
- комплексное тестирование, включающее внешнее и внутреннее тестирование.

В 2017 году подавляющее большинство систем (более 80%) оказались подвержены уязвимостям, которые могут позволить реализовать доступ к особо важным ресурсам и данным, таким как Active Directory, ERP-системами, системами электронной почты и другими). Большая часть систем, которые были подвергнуты проверке, не смогли предотвратить получение контроля над критическими ресурсами сети. При этом угроза мало завесила от уровня потенциального злоумышленника. В трети случаев для этого необходимо и достаточно иметь доступ к внутреннему сегменту корпоративной сети. Однако следует отметить, что относительно результатов проверки предыдущих лет, количество случаев получения доступа к важным ресурсам локальной информационной системы (ЛВС) сократился на более чем 10% [1].

Наиболее распространены (56%) критические уязвимости безопасности систем, которые используют не актуальные, устаревшие версии ПО, что даже выше показателей прошлых лет [1].

Незначительный процент систем смог противостоять попыткам проникновения сквозь внешний сетевой периметр при заданных рамках проведения тестирования. В большинстве же случаев существует возможность получения несанк-

ционированного доступа к критически важной информации и ресурсам ЛВС из сети интернет. Многие из этих способов были рассмотрены на практике.

Следует отметить, что часто для этого нарушителю достаточно иметь средний или даже низкий уровень знаний. В отдельных случаях для получения доступа достаточно было выполнение абсолютно тривиальных действий злоумышленником [2].

Как показали исследования для успешной реализации атаки системы необходимо использование, как правило, двух и более уязвимостей системы безопасности. Почти в половине случаев успешного преодоления периметра был реализован подбор словарных паролей пользователей.

Наиболее распространённые уязвимости на сетевом периметре это:

- использование словарных (в том числе установленных производителями по умолчанию и пустых) паролей;
- наличие на сетевом периметре интерфейсов удаленного доступа и управления сетевым оборудованием и серверами, которые должны быть доступны только ограниченному числу администраторов;
- использование открытых протоколов передачи персональных данных (Telnet, FTP, HTTP и др.).

Существенно возросла доля уязвимостей, связанных с использованием открытых протоколов передачи данных на периметре сети, а также с доступностью интерфейсов управления из сети Интернет [2]. Доли систем с доступными интерфейсами управления и удаленного доступа (SSH, Telnet, RDP, SNMP и др.) и открытыми протоколами передачи данных (FTP, Telnet, HTTP) возросли по сравнению с предыдущими годами. Так, если ранее наиболее распространенными и уязвимыми являлись протоколы связи FTP, SSH, Telnet, в случае использования которых проблемы уязвимости наблюдались в половине случаев, то в последние годы данная тенденция имеет место быть практически во всех рассмотренных системах. При этом если почти в трети случаев (36%) рассматриваемых систем были использованы при администрировании сетевого оборудования и серверов интерфейсы которые могли быть доступны по протоколу HTTPS, то в другой трети случаев (27%) для доступа к интерфейсам администрирования оборудования был использован открытый и уязвимый протокол HTTP [2].

Управление устройствами не должно быть доступно из внешних сетей. Для передачи данных, особенно для управления оборудованием, рекомендуется использовать безопасные протоколы (SSH, HTTPS и др.). Списки контроля доступа следует настраивать таким образом, чтобы удаленное управление устройством было разрешено адресам только из тех сетевых диапазонов, которые используются администраторами.

Для обеспечения безопасности необходимо использовать

корректно настроенные современные антивирусные решения, препятствующие запуску потенциально опасного ПО, а также обеспечивать двухфакторную аутентификацию для привилегированных пользователей

Одной из главных проблем, которая возникает при работе с информационными системами в сети – угроза несанкционированного доступа к передаваемой информации. Наиболее простым решением данной проблемы является использование защиты канала передачи данных средствами протокола Secure Sockets Layer/Transport Layer Security (SSL/TLS) [6].

Протокол SSL (Secure Sockets Layer) используется для создания защищённого канала связи между компьютерами на базе TCP. Создателем протокола является фирма Netscape. SSL использует при создании сеанса связи и передачи ключей асимметричное шифрование, но при передаче данных используется симметричное шифрование. Этот протокол использует метод диалога (рукопожатия) при создании сеанса связи (на сеансовом уровне). При этом стороны получают уверенность в том, с кем имеют дело, и в том, что на линии связи не произошла подмена партнёра. На основании диалога стороны вырабатывают общий симметричный ключ для быстрой передачи данных [2].

Протокол защиты транспортного уровня (TLS – Transport Layer Security) есть протокол, который получил своё начало от SSL протокола и в будущем может его заменить.

Протокол защитной оболочки (SSH – Secure Shell protocol) использует открытый ключ для создания соединения и проведения авторизации. Используется для безопасного удалённого доступа к компьютеру, а также для передачи данных при помощи SFTP (Secure File Transfer Protocol) протокола.

Интернет-протокол защиты данных (IPSec – IP Security) есть сборник протоколов, позволяющий обезопасить движение данных по сети шифрованием. Он реализует двустороннюю авторизацию и шифрование через Интернет. Двумя основными составляющими протокола являются IP заголовков (AH – Authentication Header), при помощи которого можно пакеты данных снабжать цифровой подписью (ESP – Encapsulated Security Payload) и шифровать пакеты данных AES или 3DES алгоритмами.

L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol) использует PPP авторизацию и IPsec шифрование, требует авторизацию компьютера клиента с сертификатами. PPP пакеты инкапсулированы при помощи L2TP, чтобы передавать информацию через глобальную сеть. IPsec ESP шифрует L2TP движение. Поддерживается AES шифрование до 256 бит.

PPTP (Point to Point Tunneling Protocol) протокол используется в течение длительного времени и хорошо совместим с

различными системами. Не требует авторизации сертификатов. При создании соединения диалог проводится в незашифрованном виде, что является наибольшей слабостью протокола PPTP. Протокол использует PPP для авторизации пользователя и MPPE (Microsoft Point to Point Encryption) шифрование данных 40-битным, 56-битным или 128-битным ключом.

Основная проблема SSL/TLS – снижение производительности при соединении. Эта процедура требует больших расходов процессорного времени на выполнение сложных криптографических операций с длинными ключами. Однако после установления соединения накладные расходы на шифрование сокращаются. Чтобы повысить производительность Web-узла, следует следовать некоторым правилам:

- Необходимо свести SSL/TLS-часть Web-узла к минимуму.
- Использовать SSL/TLS только для пересылки конфиденциальных данных — все остальные части Web-узла можно оставить без защищенного соединения.
- Выполнять SSL/TLS-страницы простыми.
- Повторно использовать кэшируемые SSL/TLS-соединения.

Проведённый анализ безопасности информационных систем, подтверждает актуальность данной проблемы, а также необходимость обеспечения мер организации информационной безопасности при работе с WEB-приложениями различного рода.

Литературы

1. Статистика уязвимостей корпоративных информационных систем в 2017 году. Positive technologies. Режим доступа <http://www.ptsecurity.ru>.
2. *Читига А.Ф.* Информационная безопасность автоматизированных систем: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям в обл. информ. безопасности. М.: Гелиос АРМ, 2010. 336 с.
3. *Щеглов А.Ю.* Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. М.: Наука и техника, 2015. 384 с.
4. Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ (ред. от 21.07.2016) "О персональных данных".
5. *Баймакова И.А., Новиков А.В., Рогачев А.И.* Обеспечение защиты персональных данных. Методическое пособие. М.: ИС-Пабблишинг, 2010. 214 с.
6. *Биячев Т.А.* Безопасность корпоративных сетей. Учебное пособие / под ред. Осовецкого Л.Г. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2013. 161 с.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Руднев Алексей Николаевич,

к.т.н., доцент каф. «Информационная безопасность и автоматизация», МТУСИ, Москва, Россия,
alexrudnev@mail.ru

Ганиев Тимур Рамисович,

магистрант, МТУСИ, Москва, Россия,
Jeksparwan@bk.ru

В общем случае под анализом рисков (аудитом) принято понимать проведение независимой оценки системы информационной безопасности, которая гарантирует, что данная система соответствует заданным требованиям, их соответствие установленным средствам управления, политике и процедурам функционирования, а также рекомендует методы, которые позволяют достичь этого соответствия [2].

Как правило, целями проведения аудита являются:

- Оценка степени защиты информационных ресурсов организации, поиск ошибок при реализации системы ИБ, а также разработка направлений по дальнейшему совершенствованию системы защиты информации в компании;
- Анализ достижения заданных целей при реализации системы защиты информации на предприятии, реализация требований установленной политики безопасности, реализуемых руководством компании, либо же другими заинтересованными лицами;
- Оценка эффективности инвестиций денежных средств в сферу обеспечения информационной безопасности на предприятии;
- Проведение сертификации с целью подтверждения норм и требований в сфере информационной безопасности.

Рассмотренные задачи, стоящие при выполнении аудита могут быть выполнены после реализации заданной системы защиты информации. В случае же, если аудит происходит в процессе проектирования ИБ, т.е. аудитор принимает участие в разработке данной системы, то подобная проверка не может быть однозначно признана достоверной и названа аудитом. Аудитор по определению должен оставаться беспристрастным и реализовывать независимую оценку и анализ заданного объекта, т.е. в данном случае – механизмов реализации ИБ. В противном случае утрачивается независимость аудитора, а следовательно, и объективность его суждений и оценки.

Однако на практике это достигается далеко не всегда, поскольку внутренний аудитор в организации так же является и специалистом по ИБ, и принимает в ее организации деятельное участие.

Принято подразделять аудит информационной безопасности по местоположению инициатора проверки относительно руководящего состава компании или организации на внутренний и внешний.

При внешнем аудите предполагается, что он инициируется либо непосредственно руководством предприятия, либо же сторонней компанией, реализующей данную деятельность. Внешний аудит не предполагает регулярного проведения анализа, однако не исключает, что он будет однократным.

Под внутренним аудитом предполагается, что анализ ИБ выполняется непосредственно силами самой организации либо предприятия. Как правило, за внутренний аудит на предприятии отвечает соответствующий отдел на основании «Положение о внутреннем аудите». Данный вид аудита за-

ранее планируется и для него характерна определённая цикличность, призванная поддерживать уровень безопасности в компании на требуемом уровне [1].

В общем смысле под аудитом можно понимать определенный перечень мероприятий, в которых могут быть задействованы как аудитор или аудиторы, так и сами сотрудники подразделений организации. Поэтому на этапе инициирования процедуры аудита должны быть решены следующие организационные вопросы:

- права и обязанности аудитора должны быть четко определены и документально закреплены в его должностных инструкциях, а также в положении о внутреннем (внешнем) аудите;
- аудитором должен быть подготовлен и согласован с руководством план проведения аудита;
- в положении о внутреннем аудите должно быть закреплено, в частности, что сотрудники компании обязаны оказывать содействие аудитору и предоставлять всю необходимую для проведения аудита информацию.

Изначально при выполнении процедуры аудита ИБ необходимо определить пределы проводимого исследования. Так, одни подсистемы в компании могут не являться критически значимыми, что позволяет исключить их из списка объектов, относительно которых выполняется анализ, а аудит других подсистем не может быть реализован, вследствие их изначальной конфиденциальности.

Основные цели, общие для внешнего и внутреннего аудита, представлены на рисунках. При проведении внутреннего аудита кроме выше указанных задач следует выделить еще четыре дополнительные задачи.

Проведя анализ структуры аудита можно выделить ряд составляющих:

1. Аудит системы информационной безопасности, который должен включать проверку, как аппаратной, так и программной составляющей при непосредственной установке ее в интрасеть. Главная задача, которая должна быть при этом выполнена, заключается в проверке соответствия системы информационной безопасности требуемому уровню защиты и политикам системной конфигурации. Можно отметить, что для данного вида аудита характерно использование стороннего специализированного программного обеспечения, реализующего данные функции [4].

Периодический запланированный анализ интрасети компании с целью обнаружения несанкционированных внешних проникновений либо неутвержденного доступа сотрудников компании. Целью данного вида аудита является общая оценка защиты интрасети от несанкционированного доступа как изнутри, так и извне. Целесообразно данный вид проверки проводить не реже раза в неделю при отсутствии сотрудников на рабочих местах, то есть в ночное или вечернее время [2, 4].

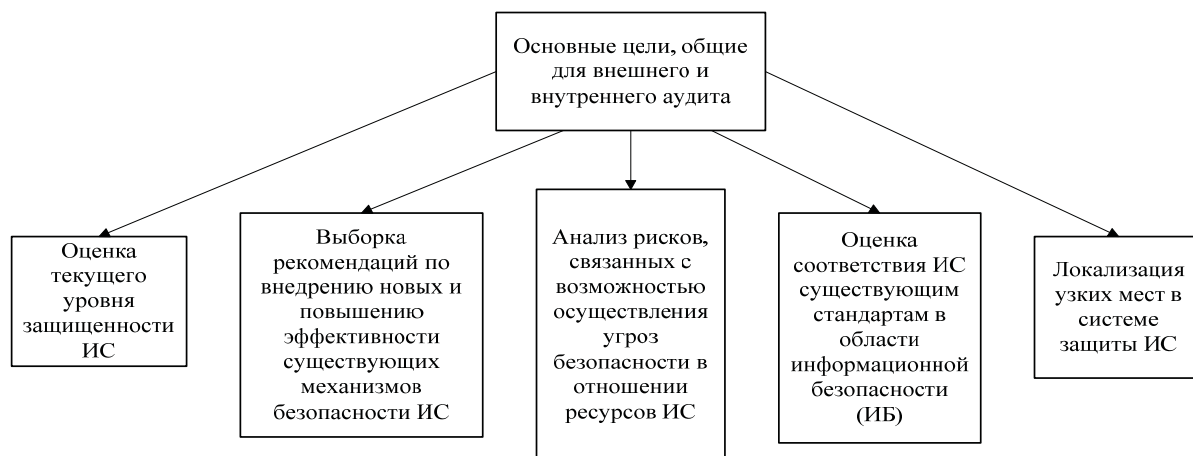


Рис. 1. Основные цели аудита



Рис. 2. Дополнительные задачи аудита

2. Выборочный аудит системы ИБ. Данные проверки безопасности проводятся без предварительного уведомления в следующих случаях:

- С целью выявления злонамеренных и несанкционированных действий сотрудников с целью удаления, порчи или же изменения конфиденциальных данных компании;
- С целью проверки системы безопасности в случае наличия различных специфических проблем, таких как выявление уязвимостей сетевой файловой системы;
- С целью проверки на соответствие специальным стандартам и политике безопасности.

После выполнения данного вида аудита результаты проверки предоставляются руководству предприятия для принятия и выполнения соответствующих организационных [3].

3. Аудит целостности особо ценных файлов и данных. Так в первую очередь данный вид аудита используется относительно баз данных с конфиденциальной, финансовой информацией, файлов, содержащих парольные записи, и т.д. В результате проверки выполняется сравнение текущих версий данных с предыдущими и поиск следов несанкционированных действий по удалению, порче либо же изменению информации [1].

Аудит активности бюджетов (записей) с целью поиска записей пользователей которые могут содержать ошибки, неправильно использоваться либо быть потерянными. При этом следует периодически оценивать дату последнего обращения к данным записям. В случае, когда запись не используется длительное время, то ее следует отметить специальным маркером и составить соответствующий отчет с пояснением причин неактивности. Неактивные записи следует своевременно лишать доступа и архивировать [4].

Очевидно, что объективные и компетентные результаты по состоянию информационной безопасности в компании могут быть сделаны только в случае обеспечения аудитора всеми необходимыми для проведения анализа данными. Получение информации об организации, функционировании и текущем состоянии ИС осуществляется аудитором в ходе специально организованных интервью с ответственными лицами компании, путем изучения технической и организационно-распорядительной документации, а также исследования ИС с использованием специализированного программного инструментария.

Как можно видеть, вопрос выполнения аудита информационной безопасности и оценки рисков является одним из основополагающих при реализации эффективной системы информационной безопасности. Однако, вследствие большого разнообразия существующих методов проведения анализа данная проблема является актуальной и требующей пристального внимания.

Литература

1. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Системный подход. К.: ООО ТИД Диа Софт, 2012. 992 с.
2. Белов Е.Б., Лось В.П. Основы информационной безопасности. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 544 с.
3. Егорова И.С. Организация внутреннего контроля согласно элементам, рекомендованным Минфином России // Аудитор. 2014. № 9. С. 31-43.
4. Булыга П.П. Методика аудита информационной безопасности// URL: http://www.profiz.ru/se/2_14/riski_audita_IB/ (дата обращения: 17.12.2017).

ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТУПА К ДАННЫМ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Руднев Алексей Николаевич,

к.т.н., доцент каф. «Информационная безопасность и автоматизация», МТУСИ, Москва, Россия,
alexrudnev@mail.ru

Ганиев Тимур Рамисович,

магистрант, МТУСИ, Москва, Россия,
Jeksparwan@bk.ru

В последнее время повышаются требования к безопасности доступа к ресурсам информационных систем. В связи с этим получили развитие методы, основанные на биометрической аутентификации пользователей.

Защита информационных данных в основном заключается в охране данных от неуполномоченного пользователя, или неправильного использования, случайного или преднамеренного искажения данных, модификации или уничтожения.

Одним из аспектов решения данной проблемы является процесс подтверждения прав доступа к запрашиваемому объекту – аутентификация. На сегодняшний день разработано большое число различных способов подтверждения прав личности на доступ к информации, среди них различают аутентификацию с помощью пароля или секретного слова, уникального предмета (брелок, карта доступа и т.д.) биометрических данных. Последний способ заслуживает особого внимания поскольку основан на физиологических особенностях конкретного человека и не зависит от предметов или паролей. Контроль доступа – механизм, позволяющий получать доступ к некоторому ресурсу только авторизованным пользователям.

В любой аутентификационной системе именно самое слабое место чаще всего подвергается атакам. Поэтому для аутентификации нужно использовать такие методы, которые не будут создавать новых уязвимых мест и лазеек в системе безопасности.

Безопасность системы обеспечивается путем устранения уязвимостей в точках атак, то есть защиты «ценных активов» приложения, например, посредством предотвращения перехвата информации [2].

Существует три основных метода авторизации объектов, описанных Миллером [6]. Они развивались по мере совершенствования технологий печати, фотографии и автоматизации; эти методы использовались задолго до того, как потребовалась автоматическая электронная аутентификация.

Все указанные методы аутентификации могут применяться как обособленно друг от друга, так и совместно. При этом возникают различные комбинации такие как «пароль плюс идентификационный номер», которые позволяют объединить сильные стороны различных методов. Так, например, банковская карта является собственностью, однако требует секретных знаний пин-кода для выполнения различных операций со счетом владельца, паспорт является собственностью, но при этом содержит фотографию владельца и образец его подписи, что относится к биометрическим параметрам [4].

При этом, непосредственно процедуре авторизации, то есть предоставлению прав доступа к какому-либо ресурсу или информации, предшествуют процедуры идентификации и следующей за ней аутентификации пользователя.

Таблица 1

Методы авторизации объектов

по собственности.	Любой человек, имеющий определенный предмет, например ключ или с магнитной полосой карту, может получить доступ к приложению (то есть быть авторизован).
по знаниям	Люди, имеющие определенные знания, имеют право на получение доступа. Аутентификация здесь основана на секретных знаниях, таких, как пароль, шифр замка и ответы на вопросы.
по биометрическому параметру	Это характерная особенность человека, которая может быть как-то измерена (или с нее может быть получен образец) в форме биометрического идентификатора и которая отличает человека от всех других людей. Это свойства, которые в большей степени определяются генами и фенотипом. Ими сложно обменяться, их сложно украсть или подделать, в отличие от собственности и знаний; их нельзя изменить.

Под идентификацией следует понимать процедуру выделения определенного пользователя из заданного множества на основе известного идентификатора, который ставится ему в соответствие. Для подтверждения прав доступа к данным пользователям необходимо проходить процедуру проверки данных прав – аутентификацию [1].

Как правило, принято различать следующие методы выполнения сравнения [5]:

– Верификация предполагает, что аутентификация пользователя, который был ранее идентифицирован на основе биологического признака или уникального идентификатора, производится путем сравнения данного параметра, относительно изначально заданного, один к одному.

– При идентификации происходит сравнение полученных данных пользователя со всеми зарегистрированными в базе данных пользователями, в не зависимости от полученного ранее идентификатора.

Также можно выделить несекретную информацию, которая важна для аутентификации. Идентификационный номер пользователя компьютера или банковский счет часто запрашиваются для аутентификации, и так как они не являются секретными, это не предотвращает попыток имитировать их хозяина для получения доступа. На самом деле можно выстроить континуум секретности информации – девичья фамилия матери часто используется для аутентификации, но так как она не является секретной информацией, ее можно легко узнать.

Следует отметить, что не существует биометрических параметров, абсолютно удовлетворяющих всем требованиям, которым должен отвечать идентификатор [3], так же как и тех, которые бы сочетали в себе все эти свойства одновре-

менно. Это означает, что любой метод биометрической аутентификации – результат определенных компромиссов.

Границы между собственностью и знаниями могут быть нечеткими. Например, идентифицирующие части предмета (собственности) могут быть оцифрованы и храниться в сжатом виде. Это в некотором смысле преобразует собственность в знания, и как следствие снижает эффективность рассматриваемых методов.

Тем не менее, биометрический метод идентификации принято относить к физическим, потому что аутентификация производится при помощи физического объекта, а не информации самой по себе, даже если создание экземпляра происходит на основе информации [1]. Подпись как биометрический параметр (и в меньшей степени голос) включает в себя знания. Это значит, что подпись может быть изменена по желанию, но и подделать ее будет легче. Это побуждает исследователей, занимающихся проблемами автоматического распознавания подписей, изучать примеры атак злоумышленников, использующих фальсификации [4].

Требования к точности аутентификационной системы обычно выражаются с помощью количественных параметров, таких, как уровень ошибок, который, конечно, должен быть как можно более низким. Если биометрическая аутентификационная система должна гарантировать высокий уровень защиты, нужно серьезно подойти к выбору биометрического параметра.

Из существующих биометрических признаков следует отметить идентификацию по голосу пользователя. Данный метод выгодно отличается от остальных способов возможностью удаленно осуществлять идентификацию говорящего, что позволяет использовать данный метод во многих сферах жизни.

Возможность обеспечения физической и информационной безопасности посредством аутентификации голоса привлекает внимание исследователей, но такие системы неудобны в использовании. Голосовая идентификация необходима для аудио- и видеоиндексирования.

Если одновременно с получением образца голоса можно принимать видеосигнал, то часто в дополнение к распознаванию голоса используется идентификация по движению губ [5]. Традиционно применяемые для верификации технологии стали использоваться в идентификационных протоколах – это области, куда включается аудио- и видеоиндексирование [6]. Разработки, сочетающие в себе распознавание голоса и обмен информацией в интерактивном аутентификационном протоколе (диалоговые биометрические техники), могут обеспечить более высокую точность.

Приведенные выше примеры описывают различные аспекты организации доступа к системам и ресурсам и имеют большое значение для реализации информационной безопасности.

Литература

1. *Щеглов А.Ю.* Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. М.: Наука и техника, 2013. 412 с.
2. *Соколов А.М., Степанюк О.М.* Защита объектов и компьютерных сетей. М.: АСТ, СПб.: Полигон, 2012. 272 с.
3. *Белов Е.Б., Лось В.П.* Основы информационной безопасности. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 544 с.
4. *Гришина Н.В.* Комплексная система защиты информации на предприятии. Учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2011. 240 с.
5. *Каменова Е.* ЭЦП и электронное согласование проектов документов с использованием ИС // Делопроизводство и документооборот на предприятии. 2011. № 9. С. 48-56.
6. *Васильков А.В., Васильков И.А.* Безопасность и управление доступом в информационных системах. Учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2010. 368 с.
7. *Морзеев Ю.* Современные биометрические решения в системах безопасности // Компьютер Пресс, март, 2003.
8. *Бондаренко В.П., Коцубинский В.П., Мещеряков Р.В.* Выделение особенностей структуры речевого сигнала / В. П. Бондаренко / Сборник трудов XII сессии Российского акустического общества. М., 2003. Т.3. С. 63-66.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Руднев Алексей Николаевич,

к.т.н., доцент каф. «Информационная безопасность и автоматизация», МТУСИ, Москва, Россия,
alexrudnev@mail.ru

Ганиев Тимур Рамисович,

магистрант, МТУСИ, Москва, Россия,
Jeksparwan@bk.ru

Одним из необходимых шагов при определении угроз информационной безопасности объекта является разработка в виде модели нарушителя определим источников угроз. Как следует из [1] угрозы представляют не только злоумышленники, которые не работают в компании, но и также сотрудники компании. Сотрудники могут представлять угрозу вследствие неудовлетворенности условиями труда, либо оказания какого-либо давления со стороны и т.п. Очевидно, что в трудовом коллективе необходимо реализовывать положительный морально-психологический климат, а также внимательно относиться к новым сотрудникам для пресечения возможной утечки информации.

Модель злоумышленника позволяет охарактеризовать следующие пункты[2]:

- возможные варианты нарушителей, а также методы оказания воздействия на защищаемый объект;
- цели и задачи, преследуемые злоумышленниками в рамках каждого типа, используемые инструменты, технические средства и другие механизмы;
- наиболее вероятные сценарии возможных действий злоумышленника, которые содержат характерный алгоритм действий на каждом этапе.

Для различных систем защиты информации в зависимости от ее текущего состояния воздействие на нее могут реализовывать различные типы злоумышленников. При разработке, построении и поддержке могут оказывать 2-4, 7 типы злоумышленников, при этом следует учитывать и возможность воздействия и группы злоумышленников в случае недостаточного уровня организационных мер безопасности [3].

В текущих нормативных документах и приказах, регулирующих порядок обеспечения ИБ на предприятии, под нарушителем принято рассматривать человека, который может получить полный либо частичный доступ к конфиденциальным данным, а также средствам ИС. Принято подразделять нарушителей по уровню их технической подготовки по возможностям, которые могут быть получены от штатных средств ИБ.

Выделяется четыре уровня этих возможностей. Классификация является иерархической, т.е. каждый последующий уровень включает в себя функциональные возможности предыдущего:

- Под первым, самым нижнем уровнем следует понимать достаточно низкий уровень возможностей ведения диалога в ИС (характерен для «удаленного» нарушителя) — реализует возможность запуска фиксированного набора приложений или задач, позволяющих выполнить предварительно предусмотренные функции по обработке информации;
- На следующем (втором) уровне нарушитель имеет возможность осуществить реализации, а также запуска собственных программных средств, имеющих расширенный

набор возможностей по обработке информации и пользовательских данных;

- На третьем уровне нарушитель имеет возможность управлять работой как отдельных информационных систем, так и сетевого оборудования интранет, т.е. воздействует на базовое ПО системы и на состав и конфигурацию ее оборудования;

- четвертый уровень определяется всем объемом возможностей прав доступа (внутренний нарушитель (злоумышленник)), осуществляющих проектирование, реализацию и ремонт аппаратных компонентов ДСО, вплоть до включения в состав ИС собственных технических средств с новыми функциями по обработке информации.

Подобная классификация злоумышленников необходима в процессе анализа рисков ИБ, оценки уязвимости системы защиты ИБ, а также определении эффективности действующих и планируемых мер защиты. Данная классификация позволяет сузить круг потенциальных нарушителей и более точно определить их потенциальные возможности.

Очевидно, что виды злоумышленников могут достаточно сильно различаться между собой по количеству действующих лиц, техническим и организационным возможностям, а также преследуемым целям. Также не стоит исключать потенциальную возможность сговора между злоумышленниками, которые могут относиться к различным классам, а также подкупа и реализации других методов воздействия.

Прежде всего, злоумышленников принято подразделять по отношению к рассматриваемой системе ИБ на внутренних и внешних. Во многих источниках[5] соотношение данных групп оценивается в пропорции 80/20, поскольку многочисленные факты нарушений как правило скрываются предприятиями для поддержания высокого имиджа приписываются внешним источникам.

Изначально под внутренними нарушителям следует понимать сотрудников предприятия работающих в отделах ИТ, информационной безопасности, предоставляющие телекоммуникационные и иные информационные услуги.

Среди внутренних нарушителей в первую очередь можно выделить:

- пользователей, а также администраторов информационных систем, а также руководителей различных уровней;
- администраторов вычислительных сетей и информационной безопасности;
- сотрудников, выполняющих работы по созданию и управлению программным обеспечением;
- представителей отдела охраны.

Исключение нарушений ИБ возможно при выполнении специальной подготовке персонала, обеспечении положительного рабочего и дружного климата в коллективе работников компании, точном одборе сотрудников при приеме на работу, своевременном обновлении и настройке параметров системы ИБ.

Группу внешних нарушителей могут составлять:

- недовольные клиенты или пользователи;
- сотрудники, являющиеся представителями конкурирующих компаний;
- злоумышленники требований несанкционированного доступа;

Создание модели нарушителя или определения значений параметров нарушителя в большой мере субъективно. Модель необходимо строить с учетом технологий обработки информации и особенностей данной области ИС.

Таблица 1

Построение модели нарушителя

Тип нарушителя	Цели	Сценарий вероятных действий
Хулиган	Четкая цель отсутствует	Предположительно может быть под воздействием алкогольных либо психотропных веществ. Оказывает, как правило, не последовательные и необдуманные действия. Возможные действия: битье стекол, вандализм, попытки проникновения в здание либо поджога. Как правило, действует в темное время суток.
Организованная преступная группировка	Хищение предметов, ценностей, данных. Нарушение деятельности компании.	Для данного типа нарушителей характерна подготовительная работа, анализ объекта. Это позволяет в некоторых случаях вычислить подозрительных лиц, неоднократно наблюдаемых у или внутри компании. Действия возможны как в темное, так и в светлое время суток
Террористические группировки	Захват заложников, диверсия (взрыв, поджог)	Данный тип злоумышленников является наиболее опасным вследствие использования оружия. Как правило, действие оказывается в составе группы лиц. Возможны попытки убийства и нанесения тяжких травм здоровью людей
Нарушитель который имеет цель получение коммерческой тайны	Получение конфиденциальной информации	Возможно проникновение на территорию под видом сотрудника сторонних организаций, под предлогом трудоустройства. Возможна кража или выкуп средств авторизации сотрудников
Сотрудник-нарушитель – сотрудник, недовольный условиями труда, либо таящий обиду на руководство или других сотрудников УС;	Добыча информации ограниченного распространения	Критическая оценка деятельности компании Частое отсутствие на рабочем месте, нахождение в помещениях, не предназначенных для посещения.

Каналы проникновения в систему и утечки информации можно рассматривать как прямые. Прямые каналы могут использоваться без внесения изменений и компоненты системы или с изменениями компонентов.

По способу получения информации физический канал доступен для всех категорий. Оценим способы физического проникновения злоумышленника к источникам информации. Так как достаточно сложно определить ущерб в результате реализации угрозы в денежном выражении (это зависит от большого числа факторов), то будем рассматривать его как относительную величину в диапазоне целых чисел от 1 до 10. В таком же диапазоне оценим вероятность угрозы.

На основании возможного ущерба и вероятности угрозы, определяем ее ранг (величину угрозы).

Оценка возможностей нарушителя

Категория	Положение в системе	Классификация	Уровень возможностей в АС	Описание
1.	Внутренний	Низкая – высокая	I	Пользователи, операторы, из числа сотрудников и временных работников.
2.		Высокая	II	Прикладные программисты.
3.		Высокая	III	Администраторы БД и пользователи, обладающие неограниченными полномочиями относительно доступа к данным
4.		Высокая	IV	Администраторы вычислительной сети
5.		Низкая	Не имеют легального доступа к АС	Технический, обслуживающий персонал (уборщики, водители и т.п.)
6.	Внешний	Низкая – высокая	Не имеют легального доступа к АС	Нарушители пропускного режима, временные работники (не специалисты по тех. и прог. средствам АС), гости, студенты, представители органов надзора и управления.
7.		Высокая	Получают временный доступ по уровням I-IV	Специалисты сторонних организаций, осуществляющих поставку, монтаж и ремонт оборудования вычислительной системы.

Следующие источники информации, которые должны быть защищены [5]:

- сотрудники (в ходе своей работы, так или иначе, сталкиваются с информацией ограниченного распространения);
- вычислительная техника – компьютеры (ввиду автоматизации большинства процессов деятельности компании);
- носители информации;
- электронные (архивные копии, критичная и наиболее важная) – обычно хранятся в сейфе руководителя, в архивных помещениях.
- бумажные документы (отчетность, контракты и договоры и т.п.)

При проектировании системы контроля доступа, кроме угроз информационной безопасности нужно учитывать также угрозы хищения денежных средств, материальных ценностей или оборудования и угрозы террористических актов.

При рассмотрении возможных угроз следует рассматривать не элемент информации как таковой, а группу таких элементов в пределах одного помещения.

Таким образом, рассмотренная система классификации нарушителей позволяет более точно и полно определить перечень угроз информационной безопасности при разработке мер защиты объекта от несанкционированного доступа.

Литература

1. Щеглов А.Ю. Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа. М.: Наука и техника, 2013. 412 с.
2. Соколов А.М., Степанюк О.М. Защита объектов и компьютерных сетей. М.: АСТ, СПб.: Полигон, 2012. 272 с.
3. Партыка Т.Л., Попов И.И. Информационная безопасность. Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014.
4. Белов Е.Б., Лось В.П. Основы информационной безопасности. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 544 с.
5. Гришина Н.В. Комплексная система защиты информации на предприятии. Учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2011. 240 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Гордеев Дмитрий Сергеевич,
магистр МГУСИ, Москва, Россия,
nillsondg@gmail.com

Шевелёв Сергей Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры МСиУС, МГУСИ, Москва, Россия,
shevelev-s@yandex.ru

При организации мероприятия важно не просто провести его в срок, пригласить участников, слушателей и спонсоров, но и по возможности оптимизировать порядок его подготовки и проведения. Под мероприятием в контексте настоящей статьи подразумеваются деловые (бизнес-форумы, конференции, деловые завтраки и т.п.) и иные культурно-массовые мероприятия. По окончании мероприятия важно собрать и проанализировать информацию, которая может быть использована в дальнейшем. Данный комплекс задач может быть эффективно решён только с использованием информационных систем, способных объединить отдельные инструменты и сервисы, используемые организаторами на каждом этапе.

Для определения процессов, происходящих при организации и проведении мероприятий, был проведен опрос 10 организаторов событий [1], а также детально изучена работа компании «AgGon Promo» на примере организации бизнес-форумов в 5 городах России [2].

В ходе анализа результатов исследований были выявлены следующие основные бизнес-процессы:

1. Работа с аудиторией.
2. Работа со спонсорами и партнерами.
3. Регистрации и продажи билетов (или рассылки приглашений) на мероприятие.
4. Сбор и анализ статистики.

В рамках каждого процесса организатор решает определенные задачи. Проведём более подробное описание указанных процессов.

Для решения задач работы с аудиторией организатор использует следующие основные инструменты: сайт мероприятия, email-рассылки, мобильное приложение.

Веб-сайт мероприятия отражает актуальную и наиболее полную информацию о событии: расписание, спикеры, программа мероприятия и т.д. Также он позволяет использовать более широкие возможности каналов продвижения. К сайту могут быть подключены счетчики для аналитики, возможна интеграция с социальными сетями для ретаргетинга, то есть показа рекламы уже заходившим на веб-сайт людям [3,4].

Email-рассылки используются для напоминаний о мероприятии посетителям, изменениях, а также при продвижении новых мероприятий организатора.

Мобильное приложение также, как и сайт позволяет узнать информацию о событии, может использоваться для оповещения об изменениях или для рассылки информации прямо во время мероприятия, и для реализации коммуникаций на мероприятии посетителей [5].

Работа с партнерами в контексте продвижения мероприятиях заключается в отслеживании эффективности использования конкретного канала, например, с помощью UTM-меток [3].

При регистрации и продаже билетов организатор исполь-

зует системы онлайн платежей, которые зачастую интегрируются с сайтом. Также важно собирать информацию о посетителях, например, email-адрес, для того, чтобы использовать в дальнейшем [3].

Сбор статистики и аналитика позволяют выявлять наиболее эффективные каналы рекламы или инструменты продвижения мероприятия.

Для каждой задачи в большинстве случаев организатор вынужден использовать отдельные инструмент или класс инструментов, либо сервис, решающий некоторый набор задач. Организатор вынужден импортировать данные из одного сервиса в другой, а его возможности по сбору статистики и дальнейшей аналитики могут быть ограничены. Кроме того, для решения некоторых задач необходимо привлечение сторонней команды IT-специалистов, например, для разработки веб-сайта или мобильного приложения.

В данной ситуации способом оптимизации процесса организации мероприятия является реализация информационной системы, которая позволила бы решать все задачи с использованием единого инструментария. Это позволит сократить издержки при решении задач, возникающих при продвижении события, а также снизить затраты на создание веб-сайта или мобильного приложения за счет уже готовых компонентов или шаблонов.

Использование единой системы также позволяет собирать статистику в одном месте. Организатору не нужно вручную импортировать данные из одного сервиса в другой, что открывает возможности для всестороннего анализа с привлечением соответствующего математического аппарата, как выявление неочевидных зависимостей. На основе анализа статистики организатор может принимать решения, которые, в конечном счёте, приводят к повышению эффективности мероприятия. Критерием эффективности может быть, например, повышение окупаемости инвестиций (return of investments) [6]. Данный подход проиллюстрирован на рис. 1.

На сегодняшний день разработано большое количество такого рода систем управления мероприятиями, однако не все реализуют вышеуказанный комплексный подход. В качестве примеров реализованных систем были рассмотрены:

1. Eventbrite [7].
2. Svent [8].
3. Timepad [9].
4. Kudago [10].
5. 2do2go [11].
6. АИС «Единое информационное пространство в сфере культуры» [12].

Результаты анализа наличия основных функций указанных систем можно свести в табл. 1.

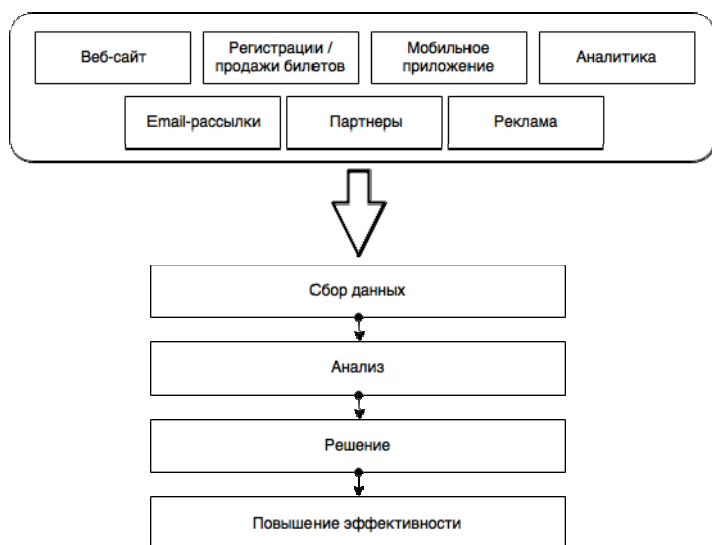


Рис. 1. Оптимизация процесса организации мероприятия

Таблица 1

Сравнительный анализ систем

АИС	Веб-сайт	Регистрация/продажа билетов	Мобильное приложение	Аналитика	Email-рассылки	Партнеры	Коммуникация посетителей
Evenbrite	+	+	+	+	+	+	-
Cvent	+	+	+	-	-	+	-
Timepad	+	+	-	+	+	-	-
Kudago	+	-	+	-	-	-	-
2do2go	+	-	+	-	-	-	-
АИС «ЕИПСК»	+	-	-	-	-	-	-

Из рассматриваемых систем Evenbrite удовлетворяет наибольшему количеству критериев, поэтому эту систему можно взять в качестве основы. Однако помимо отсутствия некоторых функций, у неё также есть недостатки в реализованных.

Система предлагает создание статической веб-страницы для каждого мероприятия, однако возможность кастомизации отсутствует. Таким образом, можно сформулировать дополнительные технические требования для данной функции:

1. Возможность добавлять и удалять блоки с информацией о мероприятии на странице мероприятия.
2. Возможность изменять внешний вид и компоновку блоков.
3. Отражать изменения в мобильном приложении.

Как видно из таблицы 1, ни одна из систем не реализует коммуникацию между посетителями. На сегодняшний день данный функционал реализуется отдельными приложениями

(например, 100am). Сформулируем основные технические требования к данной функции:

1. Возможность авторизации через социальные сети.
2. Возможность заполнения дополнительной информации о себе.
3. Возможность обмена контактами с другими участниками мероприятия.
4. Возможность видеть список других посетителей мероприятия с информацией о себе.

Для аналитики системы предлагается добавить требование о возможности обновления статистики в режиме реального времени.

Оптимизация процесса подготовки и проведения мероприятия – важная задача его организатора, которую можно решить с помощью объединяющих отдельные инструменты и сервисы информационных систем. Сформулированные выше дополнительные требования к функциональности указанных систем предполагается использовать для разработки новой информационной системы. Это позволит повысить эффективность процесса подготовки и проведения мероприятия.

Литература

1. Bowdin G.A.J. и др. Events Management. 2-е изд. Elsevier, 2006. 533 с.
2. ArgonPromo – мероприятия [Электронный ресурс]. URL: <http://argonpromo.ru/nashi-meropriyatiya> (дата обращения: 10.02.2017).
3. Румянцев Д., Франкель Н. Event-маркетинг. Все об организации и продвижении событий. Питер, 2017. 320 с.
4. Lee S., Boshnakova D., Goldblatt J. 21st Century Meeting and Event Technologies Powerful Tools for Better Planning, Marketing, and Evaluation. Apple Academic Press, 2016. 378 с.
5. Hathaiwichian P., Siriwittayacharoen L. Android Application for Event Management and Information Propagation. 2014. С. 139-142.
6. Shone A., Parry B. Successful Event Management: A Practical Handbook. 3-е изд. Cengage Learning EMEA, 2004. 246 с.
7. Evenbrite – Discover Great Events or Create Your Own & Sell Tickets [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eventbrite.com> (дата обращения: 10.02.2017).
8. Cvent: Event Management Software & Hospitality Solutions [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cvent.com> (дата обращения: 10.02.2017).
9. TimePad.ru – сервис для организации и продвижения событий [Электронный ресурс]. URL: <https://timepad.ru> (дата обращения: 10.02.2017).
10. KudaGo.com – все интересные места и события вашего города [Электронный ресурс]. URL: <https://kudago.com> (дата обращения: 10.02.2017).
11. 2do2go – Афиша событий и мест вашего города [Электронный ресурс]. URL: <https://www.2do2go.ru> (дата обращения: 10.02.2017).
12. АИС «Единое информационное пространство в сфере культуры» (АИС ЕИПСК) [Электронный ресурс]. URL: <https://all.culture.ru/> (дата обращения: 10.02.2017).

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОПАСНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ С МОТИВИРОВАННЫМ ПОВЕДЕНИЕМ

Городничев М.Г.,

*к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
gorodnichev89@yandex.ru*

Полянцева К.А.,

магистрант группы М091701(70), МТУСИ, Россия

Введение

8 июня 2016 г. вступило в силу постановление об опасном вождении. Официальное название – постановление Правительства РФ от 30 мая 2016 г. № 477 «О внесении изменения в Правила дорожного движения Российской Федерации» [1].

Опасное вождение – это совершение совокупности действий автомобилистом (такие как: невыполнение требования уступить дорогу транспортному средству при перестроении; перестроение при интенсивном движении, несоблюдение дистанции и бокового интервала, резкое торможение, препятствие обгону), которые были выполнены в течение короткого промежутка времени и угрожали безопасности остальным участникам движения.

Однако способа отслеживания таких нарушений нет. А некоторые из перечисленных нарушений можно зафиксировать только в случае возникновения дорожно-транспортного происшествия. Поэтому было принято решение разработать систему, которая могла бы отслеживать нарушения, связанные с понятием опасного вождения (экстренное торможение, резкая смена скорости, резкая смена направления движения), сохранять координаты места нарушения и передавать их на сервер для дальнейшей обработки. Для сбора данных используется мобильное устройство под управлением операционной системы iOS, а также встроенные в него датчики.

Датчики мобильного устройства

Современный смартфон вмещает в себя большое количество датчиков и сенсоров, которые предназначены для решения широкого класса задач. Рассмотрим наиболее популярные датчики и сенсоры.

Акселерометр – датчик который измеряет линейное ускорение движущегося тела по трем осям координат. Далее измерения собираются и обрабатываются при помощи однокристалльной системы или специально выделенного микроконтроллера. Затем выполняется математический расчет на основании которого фиксируется положения смартфона в пространстве в реальном времени [2].

Гироскоп – датчик, который работает в паре с акселерометром и дополняет его. Гироскоп выполняет функцию фиксации углов наклона устройства. С этой целью используются измерения скорости углового вращения.

Магнитометр – сенсор для измерения магнитного поля. Он представляет собой выполненный по технологии микроэлектромеханических систем миниатюрный датчик на основе эффекта Холла. Он регистрирует изменения силы магнитного поля по трем осям X, Y и Z. В этом случае он используется для навигационных и разных картографических приложений, для повышения точности определения место-

положения.

Температурный датчик – этот сенсор измеряет температуру. Бывают двух видов:

- Внутренний – для измерения температуры модулей смартфона, нужен для контроля над нагревом и предотвращения перегрева компонентов.
- Внешний – для измерения температуры окружающей среды.

Датчик влажности воздуха – в паре с барометром и температурным датчиком может выполнять функции современной метеостанции.

В новейшей модели iPhone сканер отпечатков пальцев отсутствует, а для разблокировки устройства и повышения безопасности используется распознавание лица Face ID. Весь блок датчиков в Apple назван TrueDepth Camera, он расположен в выступе над дисплеем. Для распознавания лица используется машинное обучение и нейронный движатель, встроенный в бионический чип.

В разработанном приложении используются данные полученные с помощью сенсоров описанных ранее.

Проектирование и разработка интеллектуальной системы

Клиент-Сервер – архитектура, в которой разделяется вычислительная нагрузка между сервером и клиентом (рис. 1). Сервер – это компьютерная программа или, чаще всего, специальная вычислительная машина, которая ожидает запросы от клиента и отвечает на них, предоставляя свои ресурсы. Клиент – программа на пользовательском устройстве (в данном случае – смартфоне), отправляющая запросы на сервер для получения данных [3].

Преимуществом данной архитектуры является снижение требований к производительности компьютеров, на которых установлен клиент, так как большую часть вычислений осуществляет сервер. Клиент в свою очередь осуществляет сбор и отправку данных.

Также стоит отметить, что разграничение нагрузки между несколькими вычислительными машинами значительно увеличивает общую производительность системы.

В настоящее время наиболее популярными для клиент-серверных приложений являются мобильные устройства.

По данным StatCounter Global Stats (рис. 2), самой распространенной операционной системой в мире является Android от Google. Второе место занимает iOS от корпорации Apple, незначительную долю рынка занимают такие операционные системы, как BlackBerry OS, Windows Phone и др.

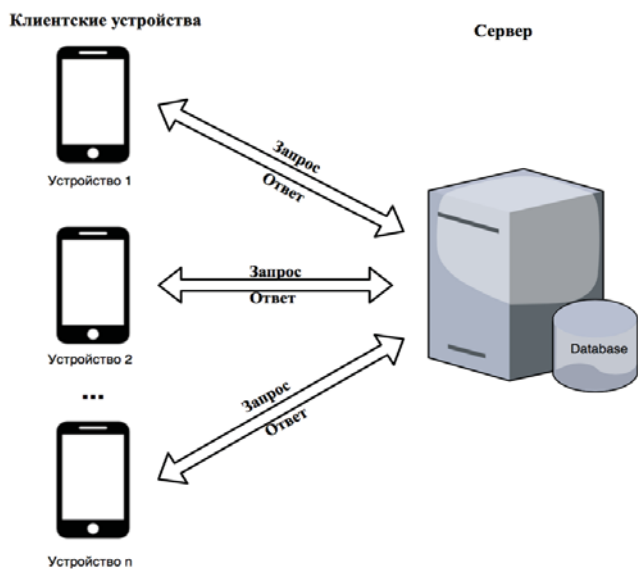


Рис. 1. Архитектура клиент-сервер

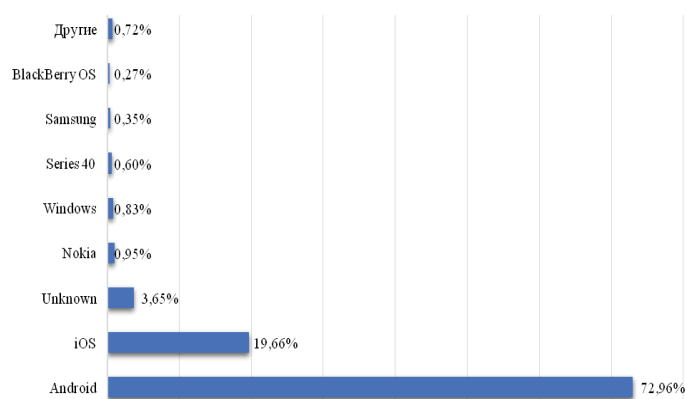


Рис. 2. Статистика распространения мобильных ОС в мире за 2017 год

Несмотря на доминирующие позиции Android, с каждым годом доля устройств под управлением ОС iOS только увеличивается. В России позиции операционных систем в рейтинге не значительно отличаются от мировых, однако самая распространенная ОС Android занимает в России на 5% меньше рынка, чем в целом в мире, а владельцев смартфонов Apple, в процентном соотношении в России больше на 8%. В некоторых странах мира доля смартфонов от Apple уже превысила показатели смартфонов под управлением ОС Android (например, в США 53,5% всех мобильных устройств – это iPhone).

Для разработки мобильного клиент-серверного приложения была выбрана операционная система iOS.

iOS – это мобильная операционная система, созданная и разработанная Apple Inc. исключительно для ее оборудования. Первая версия была выпущена в 2007 году; первоначально – для iPhone и iPod touch, позже – для iPad и Apple TV. В 2014 году появилась поддержка автомобильных мультимедийных систем Apple CarPlay.

В качестве среды разработки используется Xcode. Xcode – это интегрированная среда разработки (IDE) для MacOS, содержащая набор инструментов разработки программного обеспечения для MacOS, iOS, watchOS и tvOS.

Разработка программного обеспечения для iOS ведется на языках программирования Objective-C и Swift.

Objective-C – это универсальный объектно-ориентированный язык программирования, который добавляет обмен сообщениями в стиле Smalltalk к языку программирования C. Это был основной язык программирования, используемый Apple до появления Swift.

Swift – это универсальный, многопарадигмный, скомпилированный язык программирования, разработанный Apple. Swift предназначен для работы с Apple Cocoa и Cocoa Touch и большим объемом существующего кода Objective-C, написанного для продуктов Apple.

На данный момент, по данным статистики веб-сервиса GitHub, количество проектов, созданных на данном сервисе с открытым исходным кодом, написанных на Swift, превышает количество проектов на Objective-C в полтора раза.

При разработке использовались некоторые библиотеки и фреймворки, а также CocoaPods.

UIKit – создание и управление пользовательским интерфейсом.

MapKit – отображение карты или спутниковых изображений непосредственно из интерфейса приложения, а также определение геолокации.

CoreLocation – позволяет определить текущую позицию или направление, ассоциированное с устройством.

Alamofire – HTTP сетевая библиотека.

SwiftlyJSON – библиотека для удобной работы с данными в формате JSON.

CoreMotion – это объектно-ориентированное API для доступа к первичным датчикам движения на устройстве.

FacebookCore – API для работы с Facebook.

В приложении реализованы функции регистрации и авторизации пользователей, авторизации пользователей через Facebook; определения геолокации (широта и долгота), скорости, изменения движения объекта в одной из плоскостей (x, y, z), все данные отправляются на сервер с помощью JSON для дальнейшей обработки.

При авторизации в приложении, начинается считывание координат местоположения. Для дальнейшего отслеживания всего маршрута пользователя, все данные отправляются на сервер в формате: широта, долгота, скорость, дата и время. Также идет считывание показаний акселерометра, если же разница между предыдущими и текущими показаниями значительна, то эта точка запоминается и помечается, как место предполагаемого нарушения.

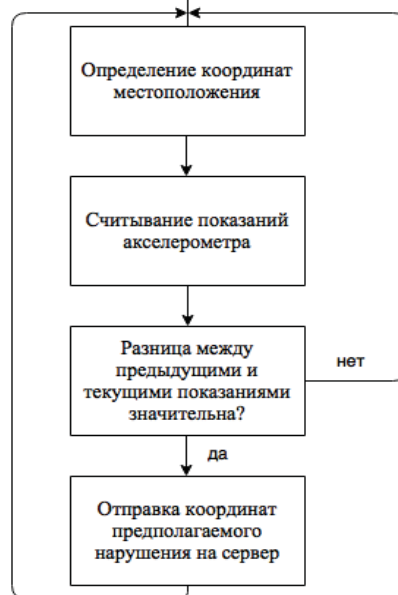
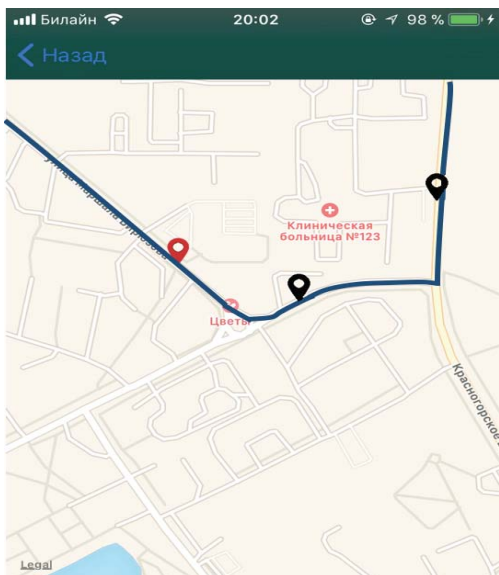


Рис. 3. Упрощенный алгоритм работы программы



Долгота: 55.682673
Широта: 37.266678
Скорость: 73 км/ч
Нарушение: Резкое перестроение влево

Рис. 4. Пример работы программы

Заключение

В связи с вступлением в силу постановления об опасном вождении, стал актуальным вопрос отслеживания данного рода нарушений. Для решения этой задачи была разработана система сбора и анализа данных, которая помогает зафиксировать нарушения. У разработанного клиент-серверного приложения есть свои недостатки: устройство должно быть жестко закреплено в автомобиле, чтобы снимаемые показания скорости и бокового ускорения были как можно точнее. Для решения данных недостатков в дальнейшей работе планируется подключение к сенсорам автомобиля посредством OBD.

Литература

1. *Николай Жульнев*. Правила дорожного движения 2018 с комментариями. М.: АСТ, 2018. 128 с.
2. *Alasdair Allan*. Basic Sensors in iOS. California, 2011. 108 p.
3. *Эндрю Таненбаум*. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003. 877 с.
4. *Дэвид Марк. Swift*. Разработка приложений в среде Xcode для iPhone и iPad с использованием iOS SDK. М.: Вильямс, 2016. 816 с.
5. *Craig Clayton*. Learn iOS 11 Programming with Swift 4, 2nd Edition. California, 2018. 812 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕАЛИЗАЦИЙ REST API НА БАЗЕ ПРОТОКОЛОВ HTTP И WEBSOCKET ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ IOS

Городничев М.Г.,
к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
gorodnichev89@yandex.ru

Кочупалов А.Е.,
магистрант, МТУСИ, Россия

Писчиков Д.А.,
магистрант, МТУСИ, Россия

Постановка задачи

1. Реализовать REST API на базе HTTP-протокола для клиент-серверного приложения.
2. Реализовать API на основе протокола WebSocket, полностью повторяющее функционал API на базе HTTP.
3. Сравнить производительность двух решений путем замера среднего времени исполнения 10 одинаковых запросов.

Для тестирования было выбрано реализовать приложение Notes. Клиентская часть представляет из себя программу, осуществляющую создание, редактирование и удаление простых текстовых заметок. Все эти операции осуществляются с помощью запросов к серверной части, которая хранит заметки в собственной базе данных.

Используемые технологии

Для разработки серверной части была выбрана программная платформа Node.js, так как она ориентирована на асинхронную обработку запросов с применением парадигмы Callback-ориентированное программирование. Благодаря такому подходу, при грамотной реализации логики приложения и выборе быстрой базы данных, возможно обрабатывать до 10 тысяч запросов в секунду в один поток на обычном ноутбуке.

В качестве базы данных (БД) была выбрана документо-ориентированная база MongoDB, которая использует формат JSON для хранения объектов и JavaScript (JS) в качестве языка запросов к БД. Благодаря этому, достигается быстрая и «тесная» интеграция с кодом Node.js.

Так как Node.js является Open-Source платформой с широким распространением среди веб разработчиков, существует большое количество программных пакетов, дополняющих функционал данной платформы. NPM (Node Package Manager) является централизованным хранилищем этих пакетов.

Из NPM были загружены следующие зависимости:

1. Mongoose – ODM (Object Document Mapper). Позволяет осуществлять запросы к MongoDB и отображать результаты объектов JavaScript.
2. Express – HTTP-server Framework. Реализует функционал роутинга входящих запросов, формирование ответов.
3. Body-parser – набор классов, осуществляющих парсинг тела HTTP-запросов. Поддерживается xml, json и другие форматы.
4. Websocket – набор классов для создания серверов и клиентов протокола WebSocket.

Обоснование выбора WebSocket в качестве альтернативы HTTP

Большинство современных веб-приложений также имеют API для реализации собственных или сторонних приложений. В подавляющем большинстве случаев, API реализуется с использованием HTTP протокола с применением архитектурного стиля RESTful. Данный подход очень упрощает разработку как самого API, так и клиентских приложений, использующих API, так как поддержка HTTP-протокола реализована на всех программных и аппаратных платформах. HTTP имеет широкие возможности по кешированию, что позволяет экономить ресурсы в случаях редко изменяемых данных, которые часто запрашиваются. Но также HTTP имеет и некоторые ограничения.

Основное ограничение кроется в особенности алгоритма HTTP. В протоколе HTTP сервер всегда является пассивным звеном, который ждет запросы и никогда не инициирует соединение первым. При запросе, клиент инициирует соединение с сервером (на основе TCP), посылает запрос, и, не разрывая соединения дожидается ответа. После получения ответа (или в случае неудачи) соединение разрывается до следующего запроса от клиента.

Такая модель сводит становится непригодной, например, для рассылки актуальных изменений данных на сервере клиентам. Для этого приходится либо использовать алгоритмы с периодическим опросом сервера, либо реализовывать API на основе других протоколов.

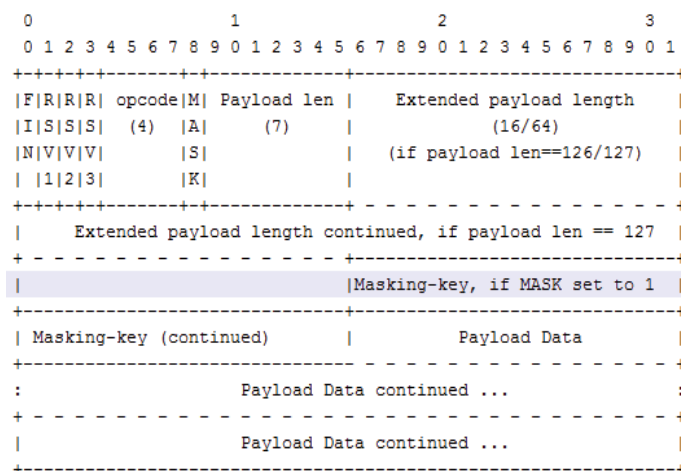


Рис. 1. Формат пакета WebSocket

WebSocket является протоколом, который приходит на помощь в таких случаях. В отличие от HTTP, между сервером и клиентом имеется возможность двухстороннего взаимодействия. Стоит отметить, что схема работы напоминает протокол TCP. Перед началом работы, клиент отправляет запрос серверу на установление соединения (запрос отсылается в формате HTTP), сервер отвечает согласием (процедура «рукопожатия»). После этого обмен осуществляется уже в собственном формате пакетов WebSocket.



Рис. 2. Формат HTTP-пакета

Если сравнивать форматы обмена данными HTTP и WebSocket, можно заметить, что пакет HTTP, даже при минимальной заполненности заголовка запроса, имеет больший объем из-за обилия ключевых слов (Host, Accept, Date). WebSocket имеет намного более компактный размер, так как в своем заголовке имеет только три типа данных – opcode (тип сообщения), маску и длину полезных данных.

WebSocket не поддерживает кеширования запросов. Ответственность за это возлагается на разработчика, что особенно полезно в случаях, когда кеширование не требуется, а требуется максимально быстрая отправка и обработка данных. Также на разработчика возлагается ответственность за разработку идентифицирования типа запросов, так как полей, содержащих метод и параметры, как у HTTP нет.

WebSocket, в отличие от чистого TCP, имеет поддержку во всех современных браузерах, что позволяет его использовать вместо HTTP в веб-приложениях.

Структура разработанного REST API на основе HTTP

API имеет 4 метода:

1. GET example.com/list – получение списка заметок. В ответ возвращается JSON-массив с заметками.
2. PUT example.com/new - создание новой заметки. В теле запроса передается JSON-объект с новыми данными заметки (по желанию, в случае пустого тела создается заметка с названием «новая заметка»).
3. POST example.com/edit/{id} – редактирование заметки с идентификатором id. В теле запроса передается JSON-объект с новыми данными заметки.
4. DELETE example.com/delete/{id} – удаление заметки с идентификатором id.

Структура разработанного API на основе WebSocket

Все запросы совершаются на endpoint <ws://localhost:8080>. Разработан собственный небольшой протокол WSREST, который имитирует REST на основе HTTP. Метод запроса, параметры запроса и тело запроса передается внутри JSON-

объекта со структурой:

```
{
  method: String,
  parameters: [String: String],
  data: [Notes]
}
```

Использование такой имитации позволяет переиспользовать серверный код, предназначенный для обработки HTTP-запросов путем написания небольших адаптеров и обработчиков запросов.

Разработка мобильного приложения

Мобильное приложение представляет из себя клиентское приложение, основной задачей которого является реализация функций по добавлению, редактированию и отображению заметок путем взаимодействия с сервером.

Так как основной целью данной работы является сравнение производительности API на основе протоколов HTTP и WebSocket, на клиенте реализован выбор используемого API.

Приложение написано на языке программирования Swift 4 с использованием классических фреймворков, входящих в iOS SDK, такие как Foundation (фундаментальные классы по работе со строками, сетью и потоками) и UIKit (классы элементов пользовательского интерфейса). Исключение составляет фреймворк SwiftWebSocket, который предоставляет классы по взаимодействию с протоколом WebSocket.

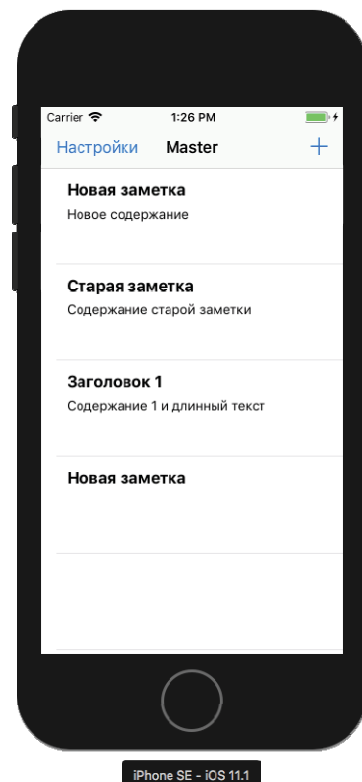


Рис. 3. Скриншот основного экрана приложения (Master)

В качестве дополнения, интерфейс реализован с использованием Master-Detail View Controllers. Это формат интерфейса приложения, входящий в стандартный набор iOS SDK, используется с целью адаптации приложения одно-

временно к смартфонам и планшетах. В этом формате экран приложения разделяется на две зависимые друг от друга части – Master и Detail. Master-часть отображает список элементов (список заметок), а Detail, после выбора элемента на Master, отображает полное описание элемента и дополнительные возможности по манипуляции с ним. В смартфонах экран Detail занимает всю площадь экрана и доступен только после выбора элемента в Master, тогда как на планшетах Master и Detail отображаются одновременно.

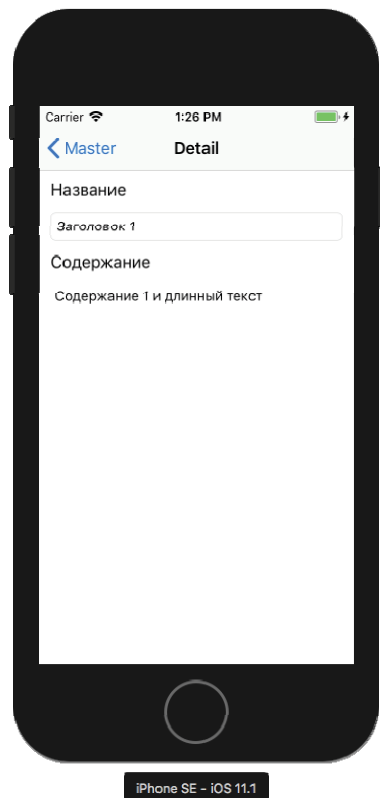


Рис. 4. Скриншот экрана редактирования заметки (Detail)

В приложении присутствуют следующие основные классы (диаграмма представлена ниже):

1. Note – модель заметки.
2. NotesContainer – модель контейнера заметки, необходимый для реализации API на основе WebSocket. Имеет поле data, которое содержит в себе массив экземпляров класса Note.
3. NotesManager – класс, осуществляющий сетевое взаимодействие с сервером на основе протокола HTTP.
4. NoteWebSocketManager – класс, осуществляющий сетевое взаимодействие на основе протокола WebSocket.
5. SettingsManager – класс, который получает и сохраняет пользовательские настройки (список серверов, выбранный сервер и протокол).
6. MasterViewController – класс-контроллер, отвечающий за отображение интерфейса списка заметок, операции по удалению и добавлению заметок.
7. DetailViewController – класс-контроллер, отвечающий за полное отображение заметки и возможность редактирования заметки.

Методика измерения производительности

Замер осуществлялся на клиентской части, реализованной в виде iOS-клиента. Замер времени обработки запросов осуществлялся с помощью unit-тестов и функции measure в XCTest Framework. Класс XCTestExpectation необходим для тестирования асинхронных запросов, чтобы выполнение тестирования останавливалась только после получения результата (или ошибки).

XCTest выполняет каждый тест 10 раз и берет среднее значение.

Исходный код тестов:

```
func testWsPerformance() {
    let wsManager = NoteWebSocketManager()

    let openExpectation = XCTestExpectation(description:
    "WebSocket Open")

    wsManager.open = {
        openExpectation.fulfill()
    }

    wsManager.openConnection()

    wait(for: [openExpectation], timeout: 10)

    self.measure {

        let expectaion = XCTestExpectation(description:
    "WebSocket Performance Measurment")
        wsManager.listNotes = { _ in
            expectaion.fulfill()
        }

        wsManager.getNotesList()
        self.wait(for: [expectaion], timeout: 10)
    }
}

func testHttpPerformance() {
    self.measure() {

        let expectaion = XCTestExpectation(description:
    "Http Performance Measurment")
        NotesManager.list { (_, _) in
            expectaion.fulfill()
        }.performRequest()

        wait(for: [expectaion], timeout: 5)
    }
}
```


Результаты измерений

Скорость исполнения запросов:

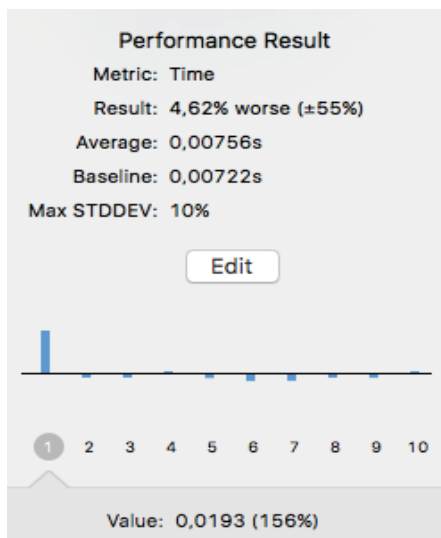


Рис. 6. Результаты замеров скорости исполнения на WebSocket API

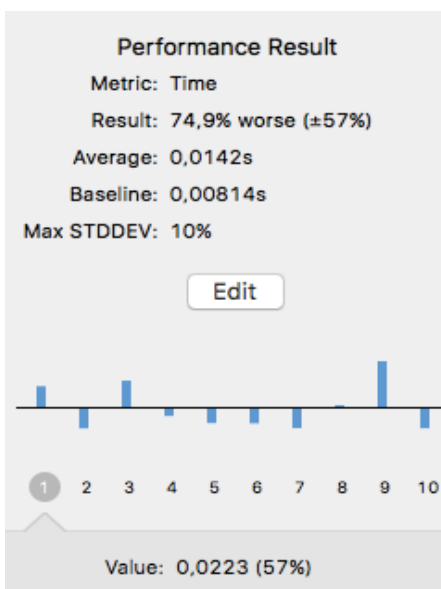


Рис. 7. Результаты замеров скорости исполнения на HTTP REST API

Размеры пакетов:

	WebSocket API	HTTP API
Размер запроса, байт	104	348
Размер ответа, байт	416	232 (кеш-попадание) 600 (кеш-промах)

Выводы

WebSocket API позволяет реализовать гораздо более компактные запросы, чем HTTP API. Суммарно, запрос вместе с ответом занимает на 10% меньше объема (в случае, если HTTP использует кеш) и 38% меньше объема, если HTTP не удастся использовать кеш. В среднем, время исполнения запросов меньше почти в два раза.

Литература

1. Николай Жульнев. Правила дорожного движения 2018 с комментариями. М.: АСТ, 2018. 128 с.
2. Alasdair Allan. Basic Sensors in iOS. California, 2011. 108 p.
3. Эндрю Таненбаум. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003. 877 с.
4. Дэвид Марк. Swift. Разработка приложений в среде Xcode для iPhone и iPad с использованием iOS SDK. М.: Вильямс, 2016. 816 с.
5. Craig Clayton. Learn iOS 11 Programming with Swift 4, 2nd Edition. California, 2018. 812 p.

ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Городничев М.Г.,

к.т.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,

gorodnichev89@yandex.ru

Зыков А.С.,

магистрант группы М091701(70), МТУСИ, Россия

Введение

Объемы вычислений, которые требуются для решения научных и прикладных задач часто превышают возможности отдельного компьютера. Поэтому вычисления распределяются по нескольким одновременно функционирующим аппаратным единицам, объединенным в вычислительную сеть. Высокопроизводительные вычисления играют все большую роль при проведении научных исследований, разработке новых видов промышленной продукции и в социальной сфере.

Область распределенных вычислений представляет собой раздел теории вычислительных систем, изучающий теоретические вопросы организации распределенных систем. Также распределенные вычисления иногда определяют в более узком смысле, как применение распределенных систем для решения трудоемких вычислительных задач. Существует множество определений распределенной системы, причем ни одно из них не является строгим или общепринятым.

Термин «распределенная система» описывает широкий спектр систем от слабо связанных многомашинных комплексов, представляемых, например, набором персональных компьютеров, объединенных в сеть, до сильно связанных многопроцессорных систем. Системы распределенных вычислений основаны на режиме дистанционного управления. Поэтому в сетях распределенных вычислений должны быть выделены серверы приложений.

При организации распределенных вычислений решаются вопросы размещения функций по узлам сети. В зависимости от того, между какими взаимодействующими частями распределенных вычислений имеется длинная связь, различают четыре модели распределенных вычислений (см. рис. 1):

- Файловые сервер (FS – File Server);
- доступ к удаленным данным (RDA – Remote Data Acces);
- сервер баз данных (DBS – Data Base Server);
- сервер приложений (ApS – Application Server).

Описание ресурса BOINC

BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing) – это технология организации распределенных вычислений с использованием подключенных к сети интернет пользовательских машин.

BOINC был разработан в Калифорнийском университете в Беркли для обработки данных, поступающих с радиотелескопов, в целях поиска радиосигналов от внеземных цивилизаций. Проект получил название SETI@Home.

В дальнейшем эта технология стала использоваться во множестве других проектов. На сегодняшний день BOINC является универсальной платформой для проектов в области математики, молекулярной биологии, медицины, астрофизики и климатологии. BOINC даёт исследователям возможность задействовать огромные вычислительные мощности персональных компьютеров со всего мира.

В настоящее время система работает на множестве 32 и 64 битных вариантов операционных систем, включая Windows, Linux, BSD-системы, Solaris, MacOS, а также Android.

Программное обеспечение выпускается под лицензией GNU/LGPL.

Программный комплекс состоит из серверной и клиентской частей.

Клиентские машины получают задания для обработки с сервера через всемирную сеть интернет.

Причиной создания стала нехватка свободных вычислительных мощностей для обработки данных, поступающих с радиотелескопов. И в связи с этим, разработчики решили объединить несколько проектов и сообществ, для решения масштабной задачи.

Архитектура системы BOINC клиент-сервер, состоит из программы-клиента и составного сервера BOINC, что подразумевает возможность использования нескольких компьютеров в качестве сервера.

Составной сервер, раздает задания и собирает результаты, в то время как множество подключаемых к серверу программ-клиентов выполняют основную вычислительную работу по получению результата.

Все программы-клиенты подключаются к серверу и получают задание на обработки. После выполнения задания,

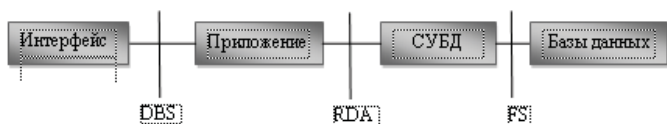


Рис. 1. Варианты распределенных систем

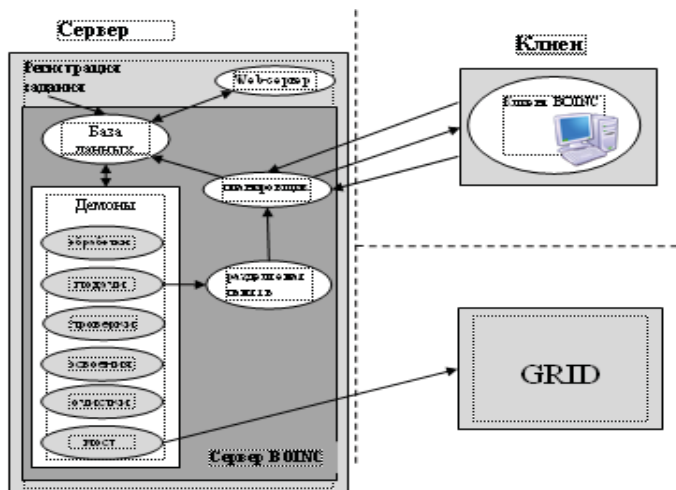


Рис. 2. Архитектура системы BOINC

ответ высылается на обработку сервером, после чего получает новое задание.

В этой схеме есть ряд недостатков, один из них, если клиент-программа не выйдет на связь с сервером после получения задания. Причиной может стать потеря интереса участника к проекту. Еще более опасная проблема это возможность того, что программа-клиент, по различным причинам, может присылать неверные результаты вычислений.

Первая проблема решается путем постановки сроков отклика программы-клиента.

Вторая проблема решается за счет рассылки одного и того же задания нескольким клиент-программам. Для каждой задачи количество дублирующих исполнителей вычисляется отдельно в зависимости от задачи, но количество по умолчанию равно пяти. Когда программа-клиент пересылает результат, сервер сравнивает его с ранее присланными ответами, и конечным результатом считается тот, который совпал наибольшее число раз, а остальные ответы отвергаются, также для задачи вычисляется наименьшее число совпадений ответов, по умолчанию оно равняется трем. Участники, приславшие неверные ответы не получают кредиты.

Для максимальной эффективности решения отдельных небольших подзадач необходимо, чтобы задачи были практически не связаны между собой и результаты других параллельно выполняемых заданий не зависели между собой. Иначе очень большие затраты производительности будут приходиться на ожидание синхронизации и решения из других процессов. Для такого рода задач, подзадачи которых независимы, и разработали архитектуру системы BOINC (см. рис. 2).

В качестве основы архитектуры BOINC использована идея конечного автомата – сервер состоит из набора отдельных подсистем. Каждая из подсистем отвечает за свою определенную задачу, к примеру, арифметику, передачу данных и т.д. Каждая из подсистем работая в бесконечном цикле, проверяя состояние подзадачи, производя какие-то действия и изменяя состояние подзадачи.

В основном, система состоит из сервера BOINC (есть возможность распределения на несколько физических серверов), групп клиентов, вычисляющих задачи сервера и нескольких дополнительных компонентов, представляющих собой присоединенные GRID-сети, к примеру, инструментарий Globus Toolkit.

Сервер BOINC состоит из следующих частей:

- Web-сервер (один или несколько), обрабатывающий входные и выходные сообщения;
- Сервер баз данных, хранящий данные клиентов о набранных ими баллах, а также отслеживает состояние всех выполненных задачи и результаты к ним;
- Пять различных демонов, проверяющие с заданным интервалом состояние базы данных и выполняющие необходимые работы по распределению подзадач и обслуживанию системы.

Для передачи задания клиенту, должно быть разработано и запущено, как минимум одно приложение BOINC. После создания проекта, исполняемый файл регистрируется на сервере BOINC, и администратор может начать создавать подзадачи для этого приложения. В том случае, если проект необходимо запустить для вычисления на разных платфор-

мах, то надо реализовать и зарегистрировать версии для каждой из платформ.

Генератор заданий (разрабатывается для каждого проекта отдельно) создает и дублирует входные данные;

Планировщик BOINC распределяет данные между клиентскими программами и отправляет их; Клиентская программа делает вычисления и передает выходные данные на сервер;

Служба проверки результатов (разрабатывается для каждого проекта) занимается проверкой выходных данных, полученных от клиентов, сравнивает выходные данные разных клиентских программ с одинаковыми входными данными;

Служба освоения (разрабатывается для каждого проекта отдельно) занимается обработкой результатов;

Служба удаления занимается очищением базы данных от ненужных файлов и информации после завершения работы службы освоения.

Необходимо обратить внимание на то, что есть службы стандартные и независимые от конкретного проекта и его реализации. Несмотря на это множество служб необходимо разработать отдельно для каждого проекта – в этом и заключается дополнительная сложность, которую необходимо преодолеть для возможности проведения распределенных вычислений.

Заключение

Для выполнения высокопроизводительных расчетов, а также обработки больших массивов данных, как правило, используют суперкомпьютеры и вычислительные кластеры. С увеличением скорости и пропускной способности сети Интернет и ростом производительности персональных компьютеров становится все более популярным направление, связанное с организацией грид-сетей, объединяющих персональные компьютеры. Desktop Grid позволяют достаточно быстро и легко объединить значительное число источников сравнительно небольших вычислительных ресурсов для решения вычислительно емких задач.

Одной из наиболее популярных платформ организации распределенных вычислений в Desktop Grid является BOINC. Из 94 действующих проектов добровольных вычислений, 77 основаны на BOINC, т.е. данная платформа практически является стандартом для разработки добровольных вычислений.

Литература

1. *Косяков М.С.* Введение в распределенные вычисления. СПб.: НИУ ИТМО, 2014. 155 с.
2. *Радченко Г.И.* Распределенные вычислительные системы. Челябинск: Фотохудожник, 2012. 184 с.
3. Официальный российский ресурс распределенных вычислений на платформе BOINC // <http://www.boinc.ru>.
4. Основной официальный сайт системы BOINC // <http://boinc.berkeley.edu>.
5. *Эндрю Таненбаум, Маартен ван Стен.* Распределенные системы. Принципы и парадигмы. Серия «Классика computer science». СПб.: Питер, 2003. С. 877. ISBN 5-272-00053-65-272-00053-6

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Городничев Михаил Геннадьевич,

*к.т.н., зам. декана ФПК, доцент кафедры МКиИТ,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
gorodnichev89@yandex.ru*

Махров Станислав Станиславович,

*к.т.н., старший научный сотрудник, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
slavam4@yandex.ru*

Денисова Елена Николаевна,

*магистрант, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
slavam4@yandex.ru*

Булдин Илья Дмитриевич,

*аспирант, Высшая школа экономики, Москва, Россия,
id345u@yandex.ru*

Произведено исследование возможности применения технологии блокчейна для обеспечения безопасности беспроводной сенсорной сети. Выявлено, что посредством технологии блокчейна представляется возможным эффективно решить основные проблемы безопасности беспроводных сенсорных сетей. Предложены способы решения каждой из проблем.

Ключевые слова: технология блокчейна, блокчейн, распределенный реестр, беспроводные сенсорные сети, безопасность, защита от вторжений.

В настоящее время беспроводные сенсорные сети (БСС) являются одним из ключевых компонентов для создания устройств согласно концепции "Интернет вещей" – IoT-устройств. С каждым годом растет число IoT-устройств, созданных и функционирующих согласно данной концепции. При этом уязвимым местом IoT-устройств является защита узлов и циркулирующей в них информации. Существующие в настоящее время решения не позволяют в полной

мере обеспечить безопасность БСС [1].

Уточним некоторые определения.

Блок транзакций *BT* – запись части или нескольких транзакций, а также вычисленный хэш от адреса предыдущего блока и суммы хэшей всех транзакций текущего блока.

Каждый блок состоит из адреса, даты и времени создания, хэша и списка транзакций (рис. 1) [4].

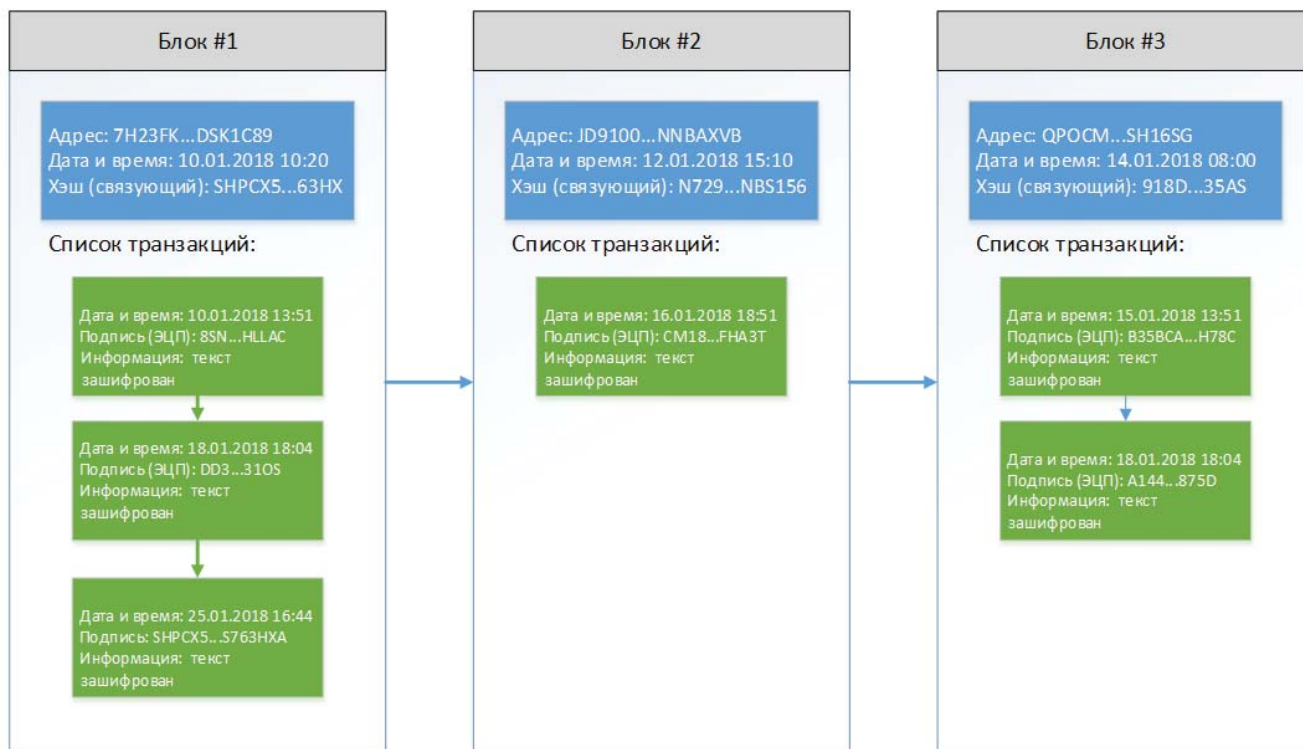


Рис. 1. Цепочка блоков транзакций из трех блоков

Адрес – публичный ключ, генерируемый асимметричным алгоритмом шифрования (например, RSA), на основе приватного ключа;

Дата и время – тот момент, когда был создан блок;

Хэш (связующий) H_{CON} – вычисляется (с помощью алгоритма шифрования SHA512) от адреса предыдущего блока и суммы хэшей всех транзакций текущего блока:

$$H_{CON} = SHA512(H_{CON-PREV} + H(trans_1) + H(trans_2) + \dots + H(trans_N)), \quad (1)$$

где $H_{CON-PREV}$ – хэш (адрес) предыдущего блока, $trans_i$ – i -ая транзакция.

Хэш является связующим, так как для его генерации требуется адрес $H_{CON-PREV}$ предыдущего блока BT_{PREV} .

Информация – сообщение (полезная нагрузка).

Цепочка блоков транзакций BCH – это последовательная цепь блоков транзакций о добавлении новых узлов, где связующий хэш H_{CON} каждого последующего блока ссылается на хэш предыдущего блока $H_{CON-PREV}$.

Новым блоком называется запись части или всех недавних транзакций, которые еще не были записаны в предыдущие блоки. Практически во всех случаях новые блоки добавляются в конец цепи блоков. Когда блок добавлен в конец цепи, он не может быть изменен. Каждый блок содержит информацию обо всём, что произошло в предыдущих блоках, перед тем как он был создан.

Майнеры – узлы сети, которые подтверждают новый блок транзакций (подтверждают транзакции) [5, 3].

Проблемы безопасности БСС

В настоящее время существует ряд нерешенных проблем безопасности БСС [2]:

- аутентификация существующих/новых устройств внутри сети;
- аудит транзакций;
- журналирование смены владельца устройства (путь от производителя до конечного пользователя).

Для решения указанных выше проблем, в данном исследовании предложено использовать технологию распределенного реестра (блокчейна).

Аутентификация узлов БСС

Защита от вторжения в сеть узлов злоумышленников требует от узлов БСС возможности определения по принципу «свой» – «чужой». **Доверенным узлом** будем называть узел, уже состоящий в составе сети. Фактически, потребуются, чтобы каждый узел сети знал доверенные узлы, и при этом, в случае добавления нового узла в сеть, мог проверить его право на вхождение в существующую сеть. В случае если необходимо добавить новый узел, то он должен пройти процедуру аутентификации.

Для того чтобы обеспечить аутентификацию новых узлов, положим, что БСС построена на основе инфраструктуры открытых ключей.

Инфраструктура открытых ключей (ОИК) – набор средств, распределённых служб и компонентов, в совокупности используемых для поддержки криптозадач на основе закрытого и открытого ключей. В основе PKI лежит использование криптографической системы с открытым ключом и несколько основных принципов:

- закрытый ключ (private key) известен только его владельцу;
- удостоверяющий центр создает электронный документ — сертификат открытого ключа, таким образом, удостоверяя факт того, что закрытый (секретный) ключ известен эксклюзивно владельцу этого сертификата, открытый ключ (public key) свободно передается в сертификате;
- никто не доверяет друг другу, но все доверяют удостоверяющему центру;
- удостоверяющий центр подтверждает или опровергает принадлежность открытого ключа заданному лицу, которое владеет соответствующим закрытым ключом [6].

Согласно описанным принципам, в системе распределенного реестра каждый узел сети будет хранить у себя блоки, состоящие из транзакций о добавлении доверенных узлов. При приеме/передаче данных узел проверяет, имеется ли транзакция о добавлении данного узла в сеть.

Если транзакция есть, то из транзакции выбирается открытый ключ для расшифровки данных. Соответственно, обмен ведется с использованием шифрования и только с доверенными узлами.

Алгоритм подписи данных



Рис. 2. Алгоритм подписи транзакции

Майнерами в сети будут выступать неавтономные узлы, вычисляющие связующую хэш-функцию для подтверждения новых блоков транзакций. Первый майнер вычисливший связующую хэш-функцию, подтверждает блок транзакций. Майнер играет роль удостоверяющего центра, который будет проверять цифровые подписи узлов. Если узел не является доверенным, то майнер не подтвердит блок транзакций и новый узел не сможет участвовать в обмене данными внутри БСС. Если майнер подтвердит блок транзакций, то он добавит к транзакции открытый ключ нового доверенного узла, подпишет транзакцию своей цифровой подписью (рис. 2) [4] и разошлет данные всем остальным узлам БСС.

Для того чтобы пройти аутентификацию в сети, новый узел посылает транзакцию, которая содержит его цифровую подпись, полученную ранее от одного из удостоверяющих центров. Затем, транзакцию подтверждает/не подтверждает майнер.

Таким образом, согласно описанному подходу, контроль за добавлением новых узлов в сеть будут осуществлять майнеры, играя роль удостоверяющего центра согласно концепции распределенного реестра.

Аудит транзакций

Аудит транзакций также является немаловажной задачей в БСС. Технология блокчейна, в свою очередь является мощным инструментом в плане журналируемости событий, так как данные о транзакциях распределяются по всем участникам сети. Для удаления событий, потребуется удалить их на каждом узле беспроводной сенсорной сети.

В соответствие со своей концепцией, блокчейны устойчивы к модификации любых сохраненных данных. Функционально цепочка блоков транзакций может служить открытым, распределенным реестром, который может записывать транзакции между двумя сторонами с возможностью постоянного их контроля в режиме реального времени.

Журналирование смены владельца устройства

Журналирование смены владельца позволит каждому производителю идентифицировать своё устройство и хранить данные с момента производства, передачи поставщику, продавцу, покупателю и т.д. Это позволит доказать гарантийные обязательства в отношении цифрового устройства, так как будет видна его история.

Выводы

Технология распределенного реестра (блокчейна) в настоящее время является одной из самых перспективных для

обеспечения безопасности, контроля и аудита. Блокчейн – это один из видов распределенного хранения данных, который использует 3 ранее известных технологии: одноранговые сети, шифрование и базы данных. База данных представляет из себя цепочку блоков, которая специальным образом шифруется и хранится на всех узлах сети в одном и том же виде (репликация — точная копия). Связь между блоками обеспечивается за счет связующего хэша, и как следствие практически невозможно подделать информацию в блоках.

Блокчейн позволяет безопасно распространять и/или обрабатывать данные между несколькими узлами через недоверенную сеть.

На текущем этапе исследования, описанном в статье, рассмотрена возможность применения технологии блокчейна для решения проблем безопасности БСС, а именно: для аутентификации существующих/новых устройств внутри сети; аудита транзакций; журналирования смены владельца устройства (путь от производителя до конечного пользователя). В результате предложены эффективные способы использования технологии блокчейна для решения каждой из проблем. В следующем этапе исследования планируется разработать модель протокола передачи данных на основе технологии блокчейна для применения в БСС.

Литература

1. *Dorri A., Kanhere S. S., Jurdak R. and Gauravaram P.* Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home / 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), Kona, HI, 2017, pp. 618-623. doi: 10.1109/PERCOMW.2017.7917634.
2. *Halpin H. and Piekarska M.* Introduction to Security and Privacy on the Blockchain / 2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW), Paris, 2017, pp. 1-3. doi: 10.1109/EuroSPW.2017.43.
3. *Zheng Z., Xie S., Dai H., Chen X. and H. Wang.* An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends / 2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress), Honolulu, HI, 2017, pp. 557-564. doi: 10.1109/BigDataCongress.2017.85.
4. Блокчейн: возможности, структура, ЭЦП и задание для студента, часть 1: [Электронный ресурс] Хабрахабр. - Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/348014/> (Дата обращения: 19.02.2018).
5. Блокчейн: организация сети, проверка подписи и задание для студента, часть 2: [Электронный ресурс] Хабрахабр. Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/348020/> (Дата обращения: 19.02.2018).
6. *Полянская О.Ю., Горбатов В.С.* Инфраструктуры открытых ключей. Учебное пособие. Москва, 2007. ISBN 978-5-94774-602-0.

БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

Горячев Дмитрий Владимирович,

Московский технический университет связи и информатики, инженер кафедры ИСУиА, Москва, Россия,
dhsle@yandex.ru

Воронов Вячеслав Игоревич,

Московский технический университет связи и информатики, к.т.н., доцент кафедры ИСУиА, Москва, Россия,
vorvi@mail.ru

В настоящее время Большие данные – тренд в научных исследованиях. Это подтверждается результатами исследований одной из наиболее авторитетных в области аналитики развития и распространения технологий компании Gartner, которая с 1995 г. регулярно выпускает отчеты о современном состоянии и прогнозировании технологических инноваций Hype Cycle (цикл зрелости технологий). Например, Gartner на 2014 г. показывает, что на первой и второй стадиях находятся технологии Интернета вещей, пользовательской 3D-печати, нейрокомпьютерные интерфейсы, умные роботы, Большие данные и ряд других технологий Индустрии 4.0, а ожидаемый срок массового внедрения в среднем определяется в 5-10 лет (рис. 1).



Рис. 1. Hype Cycle 2014 [1]

В этой связи, актуальным становится подготовка квалифицированных кадров в области больших данных и машинного обучения, что проявилось в наличии соответствующих компетенции в таком масштабном движении как WS [2][3].

Движение WorldSkills зародилось в 1947 в Испании с целью развития высоких профессиональных стандартов. Раз в два года одна из стран участниц движения проводит мировой чемпионат профессионального мастерства. Россия присоединилась к движению в мае 2012 года и с тех пор принимает в нем самое активное участие.

В настоящее время произошла определенная трансформация набора компетенций, традиционно представляемых на чемпионате. Появилось более 15 новых «FutureSkills», такие как «Машинное обучение», «Технологии блокчейн», «Корпоративная защита от угроз внутренней информационной безопасности» и другие. Впервые эти компетенции были представлены в декабре 2017 года в г.Иннополис (под Казанью) на I отраслевом чемпионате по стандартам WorldSkills в сфере информационных технологий DigitalSkills. В чемпионате принимали участие сотрудники малого, среднего и

крупного бизнеса отрасли и студенты среднего и высшего профессионального образования. Затем, по большинству из компетенций FutureSkills прошли региональные соревнования World Skills Junior 12-17 февраля 2018 в г. Москва [4].

Представители МТУСИ принимали участие в этих соревнованиях по компетенции «Машинное обучение и большие данные» и заняли призовые места.

В техническом описании компетенции «Машинное обучение и большие данные» отмечено, что специалист в этой области работает с методами интеллектуального анализа данных (Data Mining), обеспечивая исследование больших неструктурированных объемов данных для поиска закономерностей, не используя четких детерминированных алгоритмов. Как правило, для этого применяются методы машинного обучения. За последнее десятилетие машинное обучение было реализовано в беспилотных автомобилях, распознавании речи, эффективных поисковых системах и т.д. На данный момент машинное обучение прочно вошло в повседневную жизнь [5].

В рамках компетенции применяются наиболее эффективные алгоритмы машинного обучения, реализуется опыт их практического применения. Рассматривается применение машинного обучения к практическим новым задачам, требующим быстрого и эффективного решения. Специалист по машинному обучению должен иметь навыки предобработки данных, классификации, восстановления регрессии, построения прогностических моделей, а также выполнять обработку больших массивов данных. Компетентный специалист владеет современными программными средствами (Python, Anaconda, SciKit-learn, Hadoop, Spark) и занимается решением практических прикладных задач во всех областях производства и бизнеса.

На основании этих требований участникам предлагалось выполнить, в течение трех дней, конкурсное задание, содержащее шесть модулей. На выполнение каждого модуля отводится по 3 часа.

Содержание конкурсного задания заключалось в следующем.

На основе большого набора кадровых данных необходимо:

1. выполнить предобработку больших данных, представленных в ненормализованном виде;
2. провести машинное обучение на основе больших данных;
3. произвести проверку модели данных на тестовой нормализованной выборке;
4. разработать бота, который по указанным параметрам вычисляет возможную заработную плату.

Ниже причислены модули конкурсного задания.

1. Модуль 1. Подготовка репозитория хранения данных.
2. Модуль 2. Предобработка больших данных.

3. Модуль 3. Визуализация зависимостей.
4. Модуль 4. Разработка алгоритма машинного обучения.
5. Модуль 5. Разработка бота.
6. Модуль 6. Документирование.

Задание первого модуля заключалось в определении ключевых полей для обучающего алгоритма, выявлении полей, содержащих множественные данные с последующим разбиением. В конце первой сессии необходимо было представить реализованную БД и схему с описанием ее структуры.

Во второй части участникам требовалось провести очистку данных, преобразовать исходный набор к созданной ранее схеме и загрузить данные в БД. Под очисткой подразумевается удаление тэгов гипертекстовой разметки и специальных символов, удаление дублирующих и пустых строк.

Третий этап включает в себя анализ обработанных данных, поиск скрытых зависимостей и их визуализацию.

В четвертом модуле необходимо реализовать алгоритм обучающийся алгоритм и провести его обучение. Участникам могут воспользоваться готовыми библиотеками, однако необходимо продемонстрировать понимание принципов их работы.

Следующий этап - создание чат-бота, который на основе обученной модели должен порекомендовать пользователю наиболее подходящие вакансии.

Заключительным этапом является документирование разработанной системы с последующей презентацией достигнутых результатов.

При подготовке участников к соревнованию была написана программа для загрузки актуальных открытых данных по вакансиям при помощи headhunter API. Информация о вакансии была разбита на 27 полей. Общий объем полученных данных составил порядка 1,5 Гб и содержал в себе информацию о 500000 вакансиях.

Для выполнения первых двух модулей конкурсного задания из предлагаемых организаторами инструментов была выбрана СУБД MySQL и MySQL Workbench для визуального проектирования базы данных.

Работа над второй частью проводилась в два этапа. написание программы на языке C#, преобразующей исходный документ в файл формата csv и последующий импорт в БД.

Для решения задачи поиска зависимостей использовалась библиотека Pandas для языка Python. Эта библиотека является мощным инструментом для анализа данных, представленных в табличном виде. Визуализация полученных дан-

ных проводилась с помощью библиотеки matplotlib.

Во время подготовки рассматривались различные современные реализации алгоритмов МО, решающих задачу классификации, такие как деревья решений, метод ближайших соседей, нейронные сети, случайны лес. Выбор был сделан в пользу последнего, так как он показал хорошие результаты прогнозирования и высокую скорость работы, что в условиях ограниченного конкурсного времени является важным аспектом. Классификация проводилась по названию вакансии. Ключевым входным параметром алгоритма являлось поле с описанием вакансии, преобразованное методом TF-IDF. Метод позволяет провести ранжирование вакансий на основе информации и соискателе. Кроме того на вход подавались такие параметры как опыт работы, вид занятости, график работы.

Использование метода TF-IDF позволило реализовать в чат-боте обработку естественного языка. Соискателю предлагается ввести информацию о себе в свободной форме, после чего информация подается в обученную модель, которая возвращает наиболее подходящее название вакансии. По полученной информации производится выборка актуальных вакансий из базы данных.

Результатом проведенной подготовки является успешное подтверждение участниками своих профессиональных навыков в ходе конкурсных испытаний.

Литература

1. Top Strategic Predictions for 2018 and Beyond – Режим доступа: URL: <http://www.gartner.com/technology/research/predicts>.
2. *Воронов В.И., Воронова Л.И.* О повышении результативности магистерских программ в условиях инновационной экономики. Инновационные подходы в науке и образовании: теория, методология, практика. Монография. Под общей редакцией Г.Ю. Гуляева. Пенза: "Наука и Просвещение", 2017. С. 35-44.
3. *Безумнов Д.Н., Воронова Л.И.* О поддержке дисциплин, включающих изучение «умного дома», с использованием конструкторов на базе Arduino и Raspberry. Приоритетные направления развития науки и образования: монография / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2017. С. 109-118.
4. VI ОЧМ «Московские мастера» по стандартам WorldSkills Russia [Электронный ресурс]. Режим доступа: url: http://present.worldskills.moscow/o_chempionate/, дата обращения: 19.02.2018.
5. Техническое описание компетенции Машинное обучение и большие данные [Электронный ресурс]. Союз «Ворлдскиллс Россия». Режим доступа: URL: https://worldskills.moscow/uploaded_files/tech_file/691.zip.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ ПРИ ПОМОЩИ ОТКРЫТЫХ БИБЛИОТЕК

Денисов Владислав Юрьевич,
студент гр. М271601, МТУСИ, Москва, Россия,
denisov@sports.ru

Синева Ирина Сергеевна,
к.ф.-м.н., доцент, МТУСИ, Москва, Россия,
iss@mtuci.ru

Задача детектирования и распознавания лиц на изображениях и видеозаписях является очень актуальной. Распознавание образов применяется как в социальных сетях (для отметки на фотографии), так и целыми государствами. Например, российская компания NTechLab появилась на рынке, представив продукт FindFace, способный найти похожих людей в социальных сетях, а теперь разрабатывает алгоритмы распознавания лиц для московской городской системы видеонаблюдения. Данную систему можно использовать для поиска преступников, борьбы с терроризмом и сборе информации об участниках массовых мероприятий.

В рамках данной работы планируется создать веб-интерфейс, при помощи которого пользователь, загрузивший фотографию, сможет увидеть наиболее похожего на себя человека (который имеется в базе данных).

Распознавание лица на фотографии состоит из следующих этапов:

1. Поиск всех лиц на изображении. В рамках данной работы наложено ограничение, что на фотографии должно быть одно лицо.

2. Выделение уникальных характеристик лица, которые позволяют отличить его от других.

3. Сравнение полученных характеристик с имеющимися в базе данных лицами и поиск наиболее похожего.

Примерно такой же алгоритм распознавания осуществляется в человеческом мозге, однако происходит это автоматически и мгновенно. Для обучения компьютера используются модули OpenFace и dlib.

Для поиска лиц на фотографии используется гистограмма направленных градиентов [2] (HOG), суть которого заключается в поиске направлений от светлых участков на черно-белом представлении изображения к темным. Чтобы учесть яркость и контрастность, градиенты необходимо нормировать локально нормировать, для этого они группируются в блоки. Deskриптор HOG, таким образом, является вектором компонент нормированных гистограмм ячеек из всех областей блока. Таким образом, нормализацию вектора v можно осуществить при помощи L1 или L2 норм (опытным путем, определено, что L1-норма дает менее надежные результаты [2]):

$$\text{L2-норма: } f = \frac{v}{\sqrt{\|v\|^2 + \varepsilon^2}}$$

где ε – некоторая малая константа.

Конечным шагом в распознавании объектов с использованием HOG является классификация дескрипторов при помощи системы обучения с учителем. В оригинальной работе использовался метод опорных векторов.

В случае изображений высокого качества данный метод является ресурсозатратным, и для увеличения скорости работы исследуется не единичный пиксель, а некоторая область (например, размером 32x32 пикселей).

Следующий этап – так называемая нормализация лица. На многих фотографиях лицо изображено не под прямым углом, и на данном этапе этот поворот осуществляется. Для этого необходимо найти 68 опорных точек на лице (это осуществляется при помощи заранее обученной модели, являющейся общедоступной [3]), которые необходимо отцентрировать. Положение каждой точки показано на рис. 1. Центрирование осуществляется при помощи аффинных преобразований (вращение и масштабирование, которые сохраняют параллельность линий). Трехмерные деформации сознательно не используются, поскольку это сильно увеличивает сложность алгоритма.

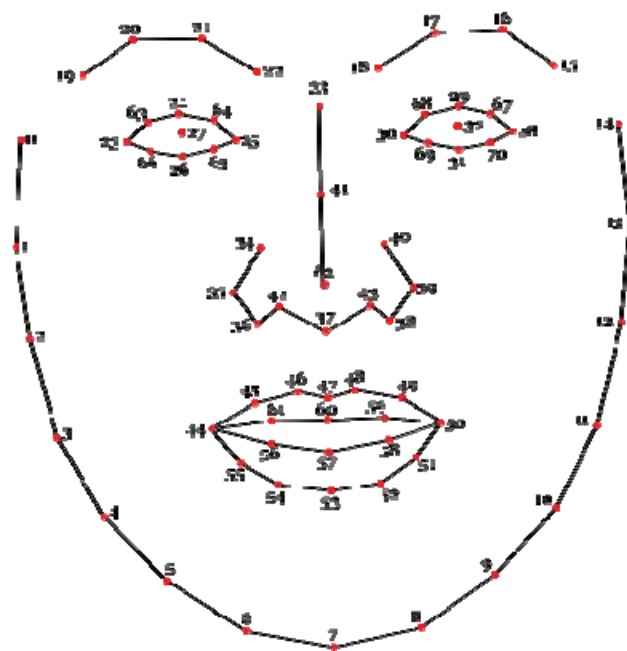


Рис. 1. Примерное положение 68 опорных точек на лице

Предложенный метод является настолько быстрым, что позволяет обрабатывать потоки видео большого разрешения без использования большого количества аппаратных средств.

Полученное на предыдущем шаге представление лица используется далее для сравнения с имеющимися в базе данных изображениями. Сравнить именно изображения – очень трудоемкая задача, поэтому предлагается извлечь из фотографий некоторые базовые характеристики. Например, измерить расстояние между глазами, длину носа, ширину лица и так далее.

Для выделения характеристик лица используется глубокая сверточная нейронная сеть, которая также находится в свободном доступе [4]. Она позволяет выделить 128 числовых характеристик у изображения, это возможно благодаря тому, что она обучена на миллионах изображений.

К сожалению, получить информацию о том, что представляет из себя каждая характеристика, невозможно. В данном случае важно лишь то, чтобы для нескольких фотографий одного человека численные показатели были близки.

Последний этап – применение любого метода классификации на основе собранных изображений. В данном случае для каждого человека выбирается 10 фотографий с различных ракурсов. В процессе работы алгоритма характеристики немного изменяются так, чтобы изображения одного класса были «ближе» друг к другу. Для случая, когда база данных изображений собирается не автоматически, это допустимо. Получается, что набор фотографий одного человека в рамках задачи классификации – это один класс. Например, можно использовать SVM-классификатор [5], который отлично подойдет для решения данной задачи и сработает достаточно быстро. Принцип его работы заключается в переводе исходных векторов в пространство более высокой размерности и поиск разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором в этом пространстве. Две параллельных гиперплоскости строятся по обеим сторонам гиперплоскости, разделяющей классы.

Разделяющей гиперплоскостью будет гиперплоскость, максимизирующая расстояние до двух параллельных гиперплоскостей. Алгоритм работает в предположении, что чем больше разница или расстояние между этими параллельными гиперплоскостями, тем меньше будет средняя ошибка классификатора. В результате выбирается наиболее близкий к входному изображению класс.

Стоит отметить, что самая ресурсоемкая операция в данном процессе – выделение числовых характеристик изображения, поэтому время обучения модели зависит от числа входных изображений. Задача распознавания заключается в применении описанных выше алгоритмов для входного изображения (за исключением обучения классификатора). Данный алгоритм можно применять и для видео в режиме реального времени, однако для должной работы потребуется графический ускоритель.

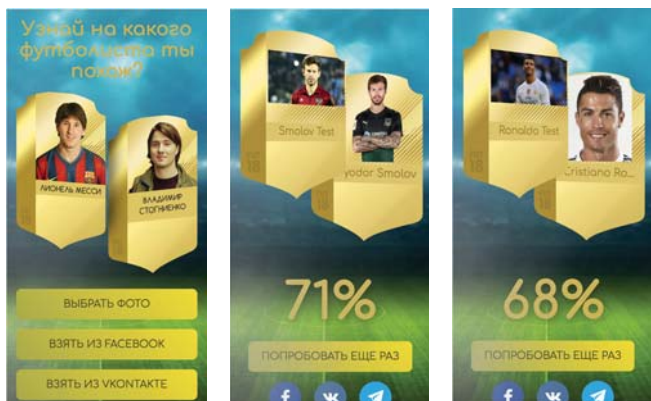


Рис. 2. Пример работы интерфейса поиска похожих лиц

В результате был реализован интерфейс, который позволяет загрузить изображение (либо напрямую с устройства, либо из социальных сетей), распознает на нем лицо и осуществляет поиск наиболее похожего образа в предобученной

модели. Принцип работы интерфейса изображен на рис. 2. На самом деле коэффициент «схожести» (на рис. 2 он равен 71%) намного меньше, и трансформируется таким образом, чтобы был приятен пользователю.

Добиться высоких значений реального коэффициента возможно, увеличив количество изображений для каждого класса и количество классов. График зависимости средней точности совпадений от количества изображений показан на рис. 3.

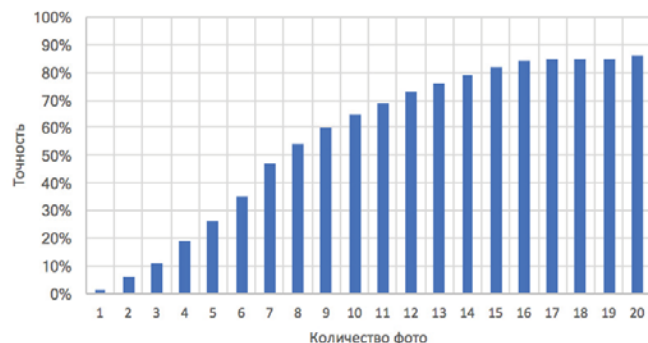


Рис. 3. График зависимости средней точности совпадений от количества фотографий для одного класса

Таким образом, удалось в краткие сроки построить систему распознавания образов при помощи ресурсов, находящихся в свободном доступе.

Литература

1. Бурсак А. Узнать в лицо: как FindFace победила Google с минимальными средствами [Электронный ресурс] // РБК — новости, акции, курсы валют, доллар, евро: [сайт]. [2017]. URL: https://www.rbc.ru/own_business/11/05/2017/59132cae9a7947598fca4084?utm_source=google&utm_medium=cpc (дата обращения: 20.02.2018).
2. Dalal N., Triggs B. Histogramms of Oriented Gradients for Human Detection [Электронный ресурс] // THOTH: [сайт]. [2013]. URL: http://lear.inrialpes.fr/people/triggs/pubs/Dalal-cvpr05.pdf?action=read_paper (дата обращения: 20.02.2018).
3. Kazemi V., Sullivan J. One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees [Электронный ресурс] // Skolan för datavetenskap och kommunikation | KTH [сайт]. [2014]. URL: http://www.csc.kth.se/~vahidk/papers/KazemiCVPR14.pdf?action=read_paper (дата обращения: 20.02.2018).
4. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering [Электронный ресурс] // The Computer Vision Foundation – A non-profit organization that fosters and supports research in all aspects of computer vision: [сайт]. [2015]. URL: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2015/app/1A_089.pdf?action=read_paper (дата обращения: 20.02.2018).
5. Вьюгин В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: МЦМНО, 2013. 390 с.

АНАЛИЗ КОНТЕНТА УЧАСТНИКА СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОВЕРЕННОГО СУБЪЕКТА

Долгова Наталья Дмитриевна,
Магистрант группы М091701(71), каф. ИБ МГУСИ, Москва, Россия,
domova.lana@mail.ru

Максименко Владимир Николаевич,
МГУСИ, к.т.н., доцент, кафедры ИБ, Москва, Россия,
vladmaks@yandex.ru

Статья посвящена вопросу доверия к информации, публикуемой пользователями социальных сетей. Основная часть статьи посвящена анализу контента пользователя и способам определения достоверности информации, публикуемой в социальных сетях.

Ключевые слова: социальные сети, доверенный субъект, анализ контента, достоверность информации.

Социальные сети на сегодняшний день являются наиболее часто посещаемым видом ресурсов в Интернете. По статистическим данным [11] количество активных авторов в России за май 2017 года составило 38 млн., превалирующая доля контента сосредоточена в социальных сетях – 470 737 тысяч публикаций.

Для многих пользователей социальные сети являются основным, или даже единственным источником информации.

От традиционных СМИ социальные сети [12] отличаются тем, что источниками новостей являются сами пользователи. Они не придерживаются принципов нейтральности и объективности и подают новости или делают какие-либо заявления, исходя из своих предпочтений и интересов.

Но главное отличие в том, что социальные сети позволяют людям не только публиковать свои мысли, но и объединять людей в группы на основе различных интересов. При этом проявляются такие эффекты, как изменение мнений участников социальных сетей, под влиянием так называемых «авторитетных» пользователей [13-15] или под влиянием массы пользователей в сообществе, лавинообразное распространение сообщений в результате «цепного» взаимодействия. Это позволяет использовать социальные сети с целью распространения мнений определённой направленности, призывов к проведению каких-либо акций в реальной жизни или для вербовки членов в различные организации.

Значительный процент информации, публикуемой в социальных сетях, о разнообразных событиях не соответствует действительности [16]. Главной причиной этому является применение ее в целях государственной пропаганды: в таком случае новостные сообщения используются не для информирования людей, а для навязывания им мнения, выгодного тем или иным силам.

Государство в процессе реализации своих функций по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации поддерживает деятельность общественных объединений, направленную на защиту общества от искаженной и недостоверной информации. Рассматриваются способы определения достоверности данных страницы пользователя.

При моделировании реальных систем доверенным субъектам, как правило, соответствуют субъекты, реализующие механизмы безопасности или функционирующие от имени доверенных (привилегированных) пользователей [17].

Если пользователь представится в социальной сети, как

специалист в какой-либо области многие люди станут прислушиваться к мнению, которое он распространяет без какой-либо проверки как к рекомендациям врача. Это объясняется пониженной критичностью восприятия информации пользователями социальных сетей.

Рассмотрим страницу пользователя социальной сети Вконтакте, изображение представлено на рис. 1. Информацию со страницы пользователя можно разделить на несколько общих групп:

- общая информация о пользователе в разделах (1)(2)(3), которая может быть неполной или искажённой;
- социальные связи пользователя (4)(5)(6) позволяют частично компенсировать отсутствие или искажённую информацию, введённую пользователем;
- интересы пользователя, представленные в разделах (2, 3, 6-9) также могут помочь в идентификации.

Данные со страниц пользователей можно проверить и проанализировать. Анализ контента пользователей социальных сетей дает безграничные возможности к исследовательской деятельности.

Процесс опознания пользователя включает в себя извлечение данных со страницы исследуемого пользователя социальной сети. Данные страницы участника социальной сети представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные страницы пользователя социальной сети

Самоидентификация	Контент	Дополнительные данные
Атрибуты: ФИО; возраст; пол; место работы, учебы; образование; интересы; контакты: родной город, телефон, адрес, сайт, ссылки на другие страницы в социальных сетях	Атрибуты: публикации, фотографии, аудиофайлы, видеофайлы, документы	Атрибуты: виртуальные друзья пользователя; подписчики; интересные страницы; группы; комментарии; лайки; репосты

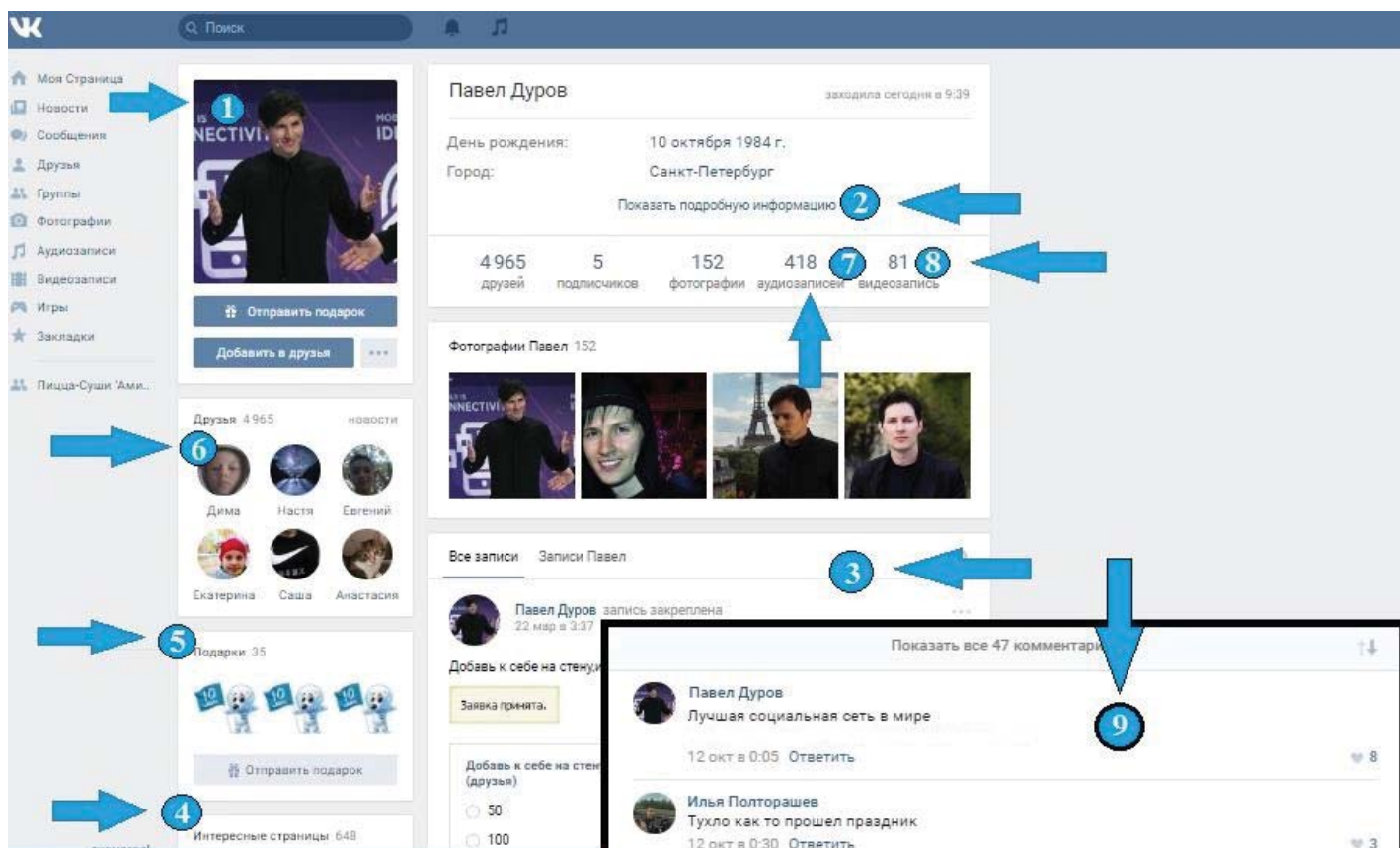


Рис. 1. Страница пользователя

Как определить, можно ли доверять той информации, которую публикует некоторый пользователь социальной сети? Есть возможности провести анализ отзывов о пользователе. Наличие отзывов, комментариев, оценок является важным критерием доверия [19]. Так же важно проверить, чтобы эти отзывы не были фейковыми, подделку сразу выдает фейковый аккаунт. Помимо этого, если с даты регистрации пользователя в социальной сети прошло хотя бы полгода, уровень доверия к такому пользователю повышается. Фотографии пользователя не должны быть загружены одним архивом, разные даты публикаций так же повышают вероятность того, что аккаунт настоящий.

С помощью обратного поиска можно проверить является ли фотография профиля оригиналом, по метаданным фотографии можно узнать подвергалась ли фотография обработке в фоторедакторе, дату съемки для сравнения с датой публикации и геолокацию для сравнения с указанным местом съемки. Так же есть возможность сверить пол и возраст пользователя на фотографии с указанными в личных данных и найти пользователя на других фотографиях. С помощью этих действий мы сможем с определенной долей вероятности сказать, верны ли данные, которые пользователь представил.

Если пользователь указал в личных данных родной город Ростов-на-Дону, скорее всего, у него на странице будут фотографии, сделанные в Ростове-на-Дону, можно проверить геолокацию при извлечении метаданных фотографии. Так же в числе его друзей вероятнее всего будут люди, указавшие такой же родной город.

Место работы, должность, образование являются важными факторами в соответствии, с которыми многие люди станут или не станут прислушиваться к мнению пользователя. Эти данные можно проверить. Если пользователь указывает определенное место работы, учебы, образование, скорее

всего среди его друзей найдутся люди, указавшие такие же данные, а среди групп и интересных страниц, на которые подписан пользователь будут хотя бы несколько с соответствующей тематикой. Если пользователь часто публикует фотографии то высока вероятность, что у него на странице есть фотографии с ним с места работы.

Текст публикаций можно проверить на грамотность, на антиплагиат. Факты, которые описаны в статье, должны быть подтверждены ссылками на источники информации.

Популярность автора определяется числом его друзей и подписчиков, цитированиями и репостами его текстов, лайками, а так же комментариями к публикациям, с ростом популярности автора повышается и уровень доверия к его постам.

Выводы

Анализ социальных сетей представляет собой эффективную систему для обнаружения и интерпретации личных данных [110, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. С помощью анализа данных страниц пользователей социальных сетей можно сделать выводы об уровне доверия к пользователю.

Таким образом, несмотря на возможности по сокрытию и искажению информации, определение достоверности информации, публикуемой пользователем по выработанным критериям, и другим косвенным признакам позволяет повысить шансы на получение достоверной информации и выявление пользователей публикациям которых можно доверять.

Литература

1. Крылова С.Л. Социальные сети в России, лето 2017: цифры и тренды // Brand Analytics. Аналитика информационного поля

бренда. 2017.

2. Теренина К.И. Особенности продвижения товара через социальные платформы // Евразийский Союз Ученых. Вып. № 9-1 (18). 2015.

3. Гомзин А.Г., Кузнецов С.Д. Метод автоматического определения возраста пользователей с помощью социальных связей / Труды Института системного программирования РАН. 2016.

4. Гомзин А.Г., Кузнецов С.Д. Методы построения социодемографических профилей пользователей сети интернет / Труды Института системного программирования РАН. 2015.

5. Донченко Д.С., Завьялов Д.В. Подходы к математической оценке влияния субъектов социального графа на примере социальной сети Twitter // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016.

6. Тоискин В.С., Красильников В.В. Классификация социаль-

ных сетей Интернет, как элементов социальных структур. Режим доступа: <http://econf.rae.ru/article/7041> (дата обращения: 15.09.2017).

7. Redmond-Neal Alice, Hlava Marjorie M.K. ASIS&T Thesaurus of Information Science, Technology, and Librarianship // Information Today, Inc. 2005. С. 255.

8. Ланенок М.В. Идентификация пользователя в различных социальных сетях по средствам анализа социальных связей пользователя и атрибутов профиля // Образовательные Технологии и Общество. 2016.

9. Рудниченко А.К. Идентификация личности пользователя в интернете // Молодой ученый. 2016. №16. С.45-47.

10. Trattner C., Kappe F. Social Stream Marketing on Facebook: A Case Study. 2016.

ОБЗОР И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА PORT-KNOCKING ДЛЯ СКРЫТИЯ СЕРВИСОВ ОТ ВНЕШНИХ УГРОЗ

Должник Дмитрий Сергеевич,

магистрант МГУСИ, руководитель отдела ИТ ООО Логистика, Москва, Россия,

dolzhikds@protonmail.com

Сегодня мы можем наблюдать огромное количество 0-day эксплойтов, которые позволяют получить доступ к критически важным элементам систем. С таким темпом роста количества вредоносного обеспечения информация о безопасности становится важной составляющей для защиты от посягательств нашей приватной информации. Но для того чтобы разобраться в том, как мы можем защитить наши сервисы, давайте разберёмся как мы можем получить доступ к ним.

Перед началом поиска уязвимостей необходимо собрать по максимуму информацию о ресурсе, в который требуется проникнуть. Мы можем собрать данные из открытых источников – структуру поддоменов сайта, IP адреса, версии CMS систем. Далее мы можем просканировать каждый из этих адресов при помощи сканера портов, например, nmap и получить данные об операционных системах и открытых портах с описанием сервисов, которые работают на них. Ну а дальше уже дело поиска необходимого эксплойта, использование соц. инженерии и других специфических действий. Также не стоит забывать про ботнеты, коих превеликое множество в сети, их задача довольно тривиальна – поиск открытых портов и брутфорс учётных записей для получения доступа на сервер. Если вы арендовали выделенный сервер с белым IP адресом, и не настроили базовую защиту сервера, вы можете сразу начать наблюдать в логах огромный список серверов, заражённых ботнетами, которые пытаются залезть к вам на сервер (рис. 1) [1].

Конечно вариантов защиты превеликое множество: настройка доступа только для определённого(ых) адреса(ов), использование ключей шифрования и разрешение доступа

только с помощью них, настройка утилиты fail2ban для блокировки доступа при соблюдении условий превышения попыток авторизации/DDoS атаки на выбранный сервис, внедрения дополнительных механизмов на межсетевом экране, например, «Port-knocking» [2]. В данной статье я как раз таки расскажу о своём опыте настройки и использования данного механизма. Мы попробуем скрыть наш сервис от внешних угроз, оставив доступ только нужным нам пользователям с помощью механизма «Port-knocking», при помощи которого межсетевой экран откроет порт для нашего клиента после получения определённой комбинации попыток подключения к сетевым портам (рис.2). Есть несколько вариантов использования данного механизма: при помощи специального демона knockd, либо просто дополнительными правилами для межсетевого экрана и самописного клиента для подключения [3]. В зависимости от использования того или иного варианта, мы можем использовать расширенный функционал программы knockd для выполнения необходимых нам команд на сервере путём комбинации попыток подключения к сетевым портам, либо просто получить доступ к необходимому нам сервису в случае использования доп. настроек межсетевого экрана. Также стоит отметить, что данный механизм позволяет защититься не только от брутфорс атак, но и от удалённых атак на уязвимые сервисы сервера в случае публикации 0day уязвимостей. Но есть и другая сторона данного механизма - его могут использовать в руткитах / бэкдорах для скрытия порта управления, порта приёма/передачи данных, либо инициации подключения reverse shell.

```
Feb 18 17:13:50 web sshd[1847]: reverse mapping checking getaddrinfo for host123-217-177-94.serverdedicati.aruba.it [94.177.217.123] failed - POSSIBLE BREAK-IN ATTEMPT!
Feb 18 17:13:50 web sshd[1847]: Invalid user admin from 94.177.217.123
Feb 18 17:13:50 web sshd[1847]: input_userauth_request: invalid user admin [preauth]
Feb 18 17:13:50 web sshd[1847]: pam_unix(sshd:auth): check pass; user unknown
Feb 18 17:13:50 web sshd[1847]: pam_unix(sshd:auth): authentication failure; logname= uid=0 euid=0 tty=ssh ruser= rhost=94.177.217.123
Feb 18 17:13:52 web sshd[1847]: Failed password for invalid user admin from 94.177.217.123 port 42510 ssh2
Feb 18 17:13:52 web sshd[1847]: Received disconnect from 94.177.217.123: 11: Bye Bye [preauth]
Feb 18 17:14:07 web sshd[1849]: pam_unix(sshd:auth): authentication failure; logname= uid=0 euid=0 tty=ssh ruser= rhost=120.27.157.103 user=root
Feb 18 17:14:07 web sshd[1849]: pam_succeed_if(sshd:auth): requirement "uid >= 1000" not met by user "root"
Feb 18 17:14:10 web sshd[1849]: Failed password for root from 120.27.157.103 port 44151 ssh2
Feb 18 17:14:10 web sshd[1849]: Received disconnect from 120.27.157.103: 11: Bye Bye [preauth]
Feb 18 17:25:09 web sshd[2123]: reverse mapping checking getaddrinfo for host151-160-177-94.serverdedicati.aruba.it [94.177.160.151] failed - POSSIBLE BREAK-IN ATTEMPT!
Feb 18 17:25:09 web sshd[2123]: Invalid user minecraft from 94.177.160.151
Feb 18 17:25:09 web sshd[2123]: input_userauth_request: invalid user minecraft [preauth]
Feb 18 17:25:09 web sshd[2123]: pam_unix(sshd:auth): check pass; user unknown
Feb 18 17:25:09 web sshd[2123]: pam_unix(sshd:auth): authentication failure; logname= uid=0 euid=0 tty=ssh ruser= rhost=94.177.160.151
Feb 18 17:25:11 web sshd[2123]: Failed password for invalid user minecraft from 94.177.160.151 port 42844 ssh2
Feb 18 17:25:11 web sshd[2123]: Received disconnect from 94.177.160.151: 11: Bye Bye [preauth]
Feb 18 17:34:04 web sshd[2466]: Invalid user ittec from 125.212.227.56
Feb 18 17:34:04 web sshd[2466]: input_userauth_request: invalid user ittec [preauth]
Feb 18 17:34:04 web sshd[2466]: pam_unix(sshd:auth): check pass; user unknown
Feb 18 17:34:04 web sshd[2466]: pam_unix(sshd:auth): authentication failure; logname= uid=0 euid=0 tty=ssh ruser= rhost=125.212.227.56
Feb 18 17:34:06 web sshd[2466]: Failed password for invalid user ittec from 125.212.227.56 port 26708 ssh2
Feb 18 17:34:06 web sshd[2466]: Connection closed by 125.212.227.56 [preauth]
Feb 18 17:34:21 web sshd[2478]: reverse mapping checking getaddrinfo for host123-217-177-94.serverdedicati.aruba.it [94.177.217.123] failed - POSSIBLE BREAK-IN ATTEMPT!
Feb 18 17:34:21 web sshd[2478]: Invalid user PlcmSpIp from 94.177.217.123
Feb 18 17:34:21 web sshd[2478]: input_userauth_request: invalid user PlcmSpIp [preauth]
Feb 18 17:34:21 web sshd[2478]: pam_unix(sshd:auth): check pass; user unknown
Feb 18 17:34:21 web sshd[2478]: pam_unix(sshd:auth): authentication failure; logname= uid=0 euid=0 tty=ssh ruser= rhost=94.177.217.123
Feb 18 17:34:24 web sshd[2478]: Failed password for invalid user PlcmSpIp from 94.177.217.123 port 52128 ssh2
```

Рис. 1. Попытки брутфорса учётных записей для доступа по SSH

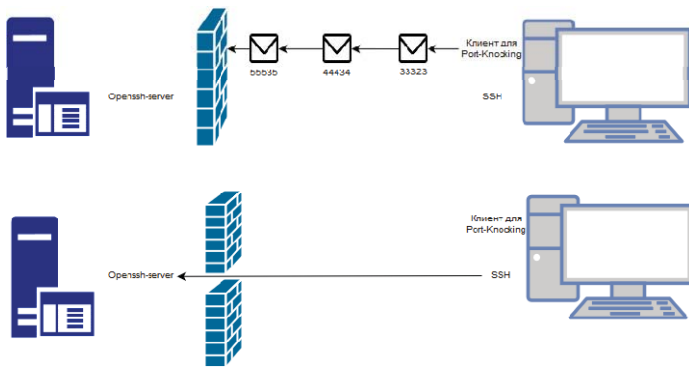


Рис. 2. Пример работы механизма «Port knocking»

В нашем примере мы будем использовать следующие параметры: сетевой порт является по умолчанию закрытым, но до тех пор, пока на него не поступит заранее определённая последовательность пакетов данных, которая даст команду межсетевому экрану открыть порт. Например, вы можете сделать «невидимым» для внешнего мира порт нужного сервиса, и открытым только для тех, кто знает нужную последовательность. Мы просканируем порты в определённой последовательности: сначала порт 55535, затем 44434, а после 33323 для попадания в список разрешенных узлов и дальше уже будем подключаться к нужному нам сервису.

Давайте для примера на одном из серверов на базе Linux Centos настроим технологию «Port knocking» для сервиса SSH. В качестве межсетевого экрана будет использоваться пакет iptables. Будем использовать уже заготовленный ранее конфигурационный файл с дополнительной цепочкой KNOCKING и правилами:

```
*filter
:INPUT DROP [0:0]
:FORWARD ACCEPT [0:0]
:OUTPUT ACCEPT [0:0]
:KNOCKING - [0:0]
-A INPUT -m state --state RELATED,ESTABLISHED -j ACCEPT
-A INPUT -i lo -j ACCEPT
-A INPUT -p icmp -j ACCEPT
-A KNOCKING -m state --state NEW -p tcp --dport 22 -m recent --rcheck --seconds 15 --name knock3 -j ACCEPT
-A KNOCKING -m state --state NEW -m tcp -p tcp --dport 33323 -m recent --rcheck --seconds 5 --name knock2 -m recent --name knock3 --set -j DROP
-A KNOCKING -m state --state NEW -m tcp -p tcp --dport 44434 -m recent --rcheck --seconds 5 --name knock1 -m recent --name knock2 --set -j DROP
-A KNOCKING -m state --state NEW -p tcp --dport 55535 -m recent --name knock1 --set -j DROP
-A INPUT -j KNOCKING
COMMIT
```

В этом конфигурационном файле мы разрешаем доступ на сервер соединениям со статусами RELATED, ESTABLISHED, разрешаем доступ с loopback интерфейса, разрешаем пинг, добавляем в цепочку правила для наших портов и прописываем время доступа. Заметьте, для портов 55535, 44434, 33323 мы применяем действие DROP, что позволяет нам скрыть эти порты от обнаружения внешними атакующими.

Теперь создаём скрипт для подключения на клиентской машине **knock.sh** с помощью текстового редактора со следующим содержимым:

```
#!/bin/bash
ports="55535 44434 33323"
host=$2
for x in $ports
do
  nmap -Pn --host_timeout 10 --max-retries 0 -p $x $host
  sleep 1
done
ssh $1@$2
~
~
~
~
~
~
~
~
~
~
-- INSERT --
1,1 All
```

Рис. 3. Итоговый скрипт для подключения к нашему серверу

При запуске скрипта мы передаём ему параметр *host* – ip адрес сервера, куда мы хотим подключиться, также передаём имя пользователя, например, **./knock.sh dds 10.5.5.5**. Сохраняем и даём права на запуск командой **chmod +x knock.sh**. Для работы скрипта нам также понадобится пакет nmap, устанавливаем его с помощью команды – **yum install nmap -y**.

Теперь запускаем наш скрипт и проверяем работоспособность – **./knock.sh dds 10.5.5.5**.

```
dds@docker-vm:~$ ./knock.sh dds 10.5.5.5
Starting Nmap 7.01 ( https://nmap.org ) at 2018-02-22 21:29 MSK
Nmap scan report for 10.5.5.5
Host is up (0.00050s latency).
PORT      STATE      SERVICE
55535/tcp  filtered  unknown
Nmap done: 1 IP address (1 host up) scanned in 0.11 seconds
Starting Nmap 7.01 ( https://nmap.org ) at 2018-02-22 21:29 MSK
Nmap scan report for 10.5.5.5
Host is up (0.00045s latency).
PORT      STATE      SERVICE
44434/tcp  filtered  unknown
Nmap done: 1 IP address (1 host up) scanned in 0.15 seconds
Starting Nmap 7.01 ( https://nmap.org ) at 2018-02-22 21:29 MSK
Nmap scan report for 10.5.5.5
Host is up (0.00058s latency).
PORT      STATE      SERVICE
33323/tcp  filtered  unknown
Nmap done: 1 IP address (1 host up) scanned in 0.20 seconds
dds@10.5.5.5's password:
Linux vpn 4.13.4-1-pve #1 SMP PVE 4.13.4-26 (Mon, 6 Nov 2017 11:23:55 +0100) x86_64
The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Feb 22 21:20:53 2018 from 10.5.5.10
dds@vpn:~$
```

Рис. 4. Проверка работоспособности скрипта

Как мы видим на скриншоте – первоначально мы отправили пакеты на порт 55535, затем на 44434 и 33323, после чего успешно подключились к серверу по SSH. Статус *filtered* означает что Nmap не может определить, открыт порт или нет, так как фильтрация пакетов межсетевым фильтром не даёт достигнуть запросам Nmap этого порта.

Литература

1. Эндрю Таненбаум, Дэвид Уэзеролл. Компьютерные сети, 2016.
2. Шаньгин В.Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: уч. пособие. М.: ИД «Форум», 2011. 416 с.
3. Интернет ресурс <https://www.devops.zone/> (дата посещения 10.02.2018).

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА

Зенкин Евгений Игоревич,

магистрант, кафедра «Информационной безопасности» МТУСИ, Москва, Россия,

raher93@mail.ru

С ростом вычислительных мощностей и коммуникации порождает общество, которое получает большое количество информации. Однако большая часть информации находится в виде исходных данных. Если данные характеризуются как записанные факты, тогда информация представляет собой набор шаблонов или ожиданий, которые лежат в основе данных. Существует огромное количество информации, спрятанной в базах данных. Эта информация, которая потенциально важна, но еще не была обнаружена или сформулирована.

Кластеризация – это тип правил, налагаемых категоризацией на группу точек данных или объектов. Широким определением кластеризации может быть «процесс категоризации конечного числа точек данных в группы, где все члены в некотором роде аналогичны». В результате кластер представляет собой совокупность объектов. Все точки данных в одном кластере имеют общие свойства (например, расстояние), которые отличаются от точек данных, лежащих в других кластерах.

Кластерный анализ – это повторный процесс обнаружения знаний, и он представляет собой многомерный статистический метод, который идентифицирует группировки объектов данных, основанных на сходствах между объектами, вычисленных выбранной метрикой расстояния. Алгоритмы кластеризации можно разделить на две категории: иерархическая кластеризация и кластерная разбивка. Алгоритмы разделения кластеров, которые отличаются от иерархических алгоритмов кластеризации, обычно создают несколько наборов кластеров при запуске и разбивают данные на аналогичные группы после каждой итерации. Кластерная разбивка более полезна, чем иерархическая кластеризация, потому что набор данных можно разделить на более чем две подгруппы за один шаг, но для метода иерархии всегда объединяться или делиться на две подгруппы и не нужно заполнять дендрограмму.

Кластерный анализ данных является важной задачей в области обнаружения знаний и интеллектуального анализа данных. Он направлен на группирование данных на основе сходства и различий между элементами данных. Процесс может выполняться контролируемым, полуконтролируемым или неконтролируемым образом. Предложены различные алгоритмы, которые учитывают характер данных и входных параметров для разделения данных. Векторы данных группируются вокруг центроидных векторов. Кластер, к которому принадлежит вектор данных, определяется его расстоянием до вектора центроида. В зависимости от характера алгоритма числа центроидов либо заранее определяются пользователем, либо автоматически определяются алгоритмом. Обнаружение оптимального количества кластеров или естественных групп в данных не является тривиальной задачей. Известные методы кластеризации имеют свои собственные преимущества и ограничения с точки зрения количества кластеров, формы кластеров и перекрытия кластеров. Некоторые другие подходы разрабатываются с использованием различных кластерных методов и включают оптимизацию в

процесс.

Кластеризация профилей пользователей является важной задачей в области информационных технологий, так как информация о кластерах пользовательских предпочтений позволяет проводить оценку эффективности работы отдельных сотрудников, выявлять информационные потребности групп пользователей и обосновывать целесообразность вложений в развитие ИТ-инфраструктуры, а также выявлять недобросовестных работников и злоумышленников.

Данная работа посвящена рассмотрению и выявлению оптимальных алгоритмов кластеризации. А также программная реализация.

Из открытых источников была скачана база данных с профилями пользователей и на её основе была создана новая база с параметрами необходимыми для работы алгоритмов кластеризации, к которым относятся:

- IP-адрес и/или ID Интернет-пользователя;
- Интернет-ресурсы, посещаемые пользователем за определенный промежуток времени;
- Количество переходов каждого пользователя к определенному Интернет-ресурсу.

Также были рассмотрены наиболее популярные и востребованные алгоритмы кластеризации: K-means, MeanShift, Birch, DBSCAN, SpectralClustering. К основным критериям отбора относилось:

- Возможность работы с большой базой данных;
- Работа с похожими друг на друга данными;
- Точность определения пользователей в группы (кластеры);
- Скорость работы алгоритма.

При данных критериях наилучший результат показал алгоритм K-means, который, в итоге рассмотрен более детально.

Обычный алгоритм K-means основан на декомпозиции, самой популярной методике в области интеллектуального анализа данных. Концепция алгоритма K-means использует K как параметр, делит n объекты на кластеры K , чтобы создать относительно высокое сходство в кластере и относительно низкое сходство между кластерами. И свести к минимуму общее расстояние между значениями в каждом кластере до центра кластера. Центром кластеров каждого кластера является среднее значение кластера. Расчет подобия выполняется по среднему значению объектов кластера. Измерение подобия для выбора алгоритма выполняется обратным Евклидовым расстоянием. То есть, чем ближе расстояние, тем больше сходство двух объектов и наоборот.

Процедура выполнения алгоритма K-means:

K-means распределяет все объекты на K число кластеров в случайном порядке;

- 1) Рассчитать среднее значение каждого кластера и использовать это среднее значение для представления кластера;
- 2) Перераспределить объекты в ближайший кластер в соответствии с его расстоянием до центра кластера;
- 3) Обновить среднее значение кластера, вычислить

среднее значение объектов в каждом кластере;

4) Вычислять функцию критерия E до тех пор, пока она не сойдется.

Функция критерия K-means, определяется как:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2$$

В которой E – полная квадратная ошибка всех объектов в кластере данных, p – объект данных, m_i – среднее значение кластера C_i . Функция этого критерия состоит в том, чтобы сделать сгенерированный кластер максимально компактным и независимым.

Алгоритм K-means имеет как преимущества, так и недостатки.

К преимуществам данного алгоритма относятся:

- Он прост и быстр;
- Является относительно гибким и высокоэффективным, поскольку сложность равна $O(nkt)$, где n – число всех объектов, k – число кластеров, t – время итерации.

А к недостаткам то, что он чувствителен к выбору начального центра кластера.

Все рассмотренные алгоритмы кластеризации были реализованы на языке программирования Python. Каждый алгоритм был протестирован с собранной базой данных.

В конечном итоге были сделаны выводы и выбран наиболее оптимальный алгоритм для решения поставленной задачи.

Один из результатов программной реализации алгоритма K-means представлен на рис. 1.

Экспериментальным путем было выявлено, что оптимальный результат при кластеризации тематических профилей пользователей был получен с помощью алгоритма K-means. При дальнейшем рассмотрении данного алгоритма получено начально заданное количество кластеров ($k = 6$), при котором K-means дает наиболее точный результат.

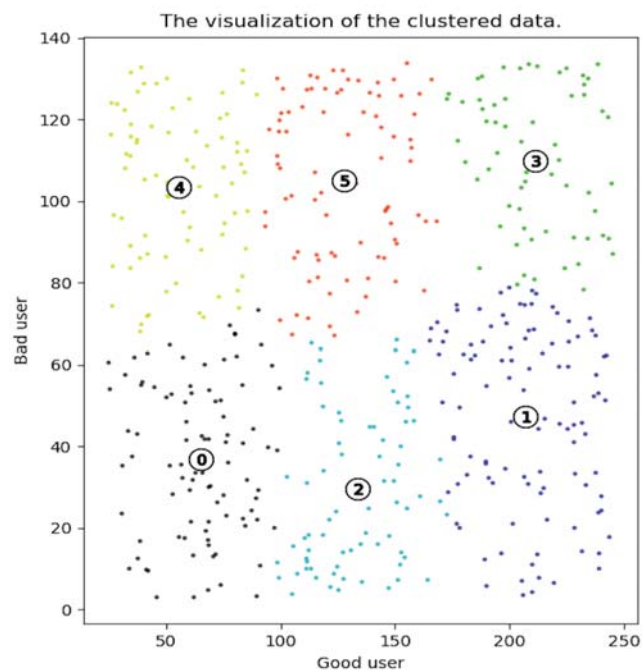


Рис. 1. Результаты алгоритма K-means при $k = 6$

Литература

1. Witten I., Frank E., and Hall M. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Philadelphia: Elsevier Science, 2011.
2. Evans M. and Rosenthal J. Probability and Statistics: The Science of Uncertainty. New York: W.H. Freeman, 2011.
3. Tan P., Steinbach M., and Kumar V. Introduction to Data Mining. NJ: Prentice Hall, 2013.
4. Wu, Junjie. Advances in K-means Clustering: A Data Mining Thinking. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
5. Charu C. Aggarwal, Chandan K. Reddy. Data Clustering: Algorithms and Applications – Chapman and Hall/CRC, 2013.
6. M. Emre Celebi. Partitional Clustering Algorithms. Springer International Publishing Switzerland, 2015.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ И АНАЛИЗ СЕТЕВЫХ АТАК ПУТЕМ ВЫЯВЛЕНИЯ КЛАССОВ БЕЗОПАСНОСТИ СОГЛАСНО МЕТОДАМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПАКЕТАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ СВЯЗИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Калашников Евгений Александрович,

к.т.н., доцент, профессор, кафедра автоматизированных систем управления Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия,
ek.misis@gmail.com

Кондыбаева Алмагуль Бауржановна,

магистр, кафедра автоматизированных систем управления Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119991, Москва, Россия,
almakonde18@gmail.com

Оситис Анастасия Петровна,

Профессор, Президент Международной общественной академии связи. «Заслуженный работник связи РФ», «Почетный радист», «Мастер связи», Москва, Россия,
info@ita.org.ru

Хотя существует возрастающая потребность в системе, способной безошибочно выявлять вторжения в сети, на данный момент не существует альтернативы к системе обнаружения вторжений на основе правил. Этот метод зарекомендовал себя сравнительно эффективным, при условии, что точные характеристики атаки известны. Сетевые атаки постоянно изменяются из-за индивидуальности подходов злоумышленников и регулярных изменений в программном обеспечении и аппаратных средствах целевых систем. Из-за бесконечного количества атак и множества злоумышленников, даже целенаправленные усилия на постоянное обновление базы правил экспертной системы никогда не смогут точно идентифицировать различные вторжения. Постоянно меняющийся характер сетевых атак требует гибкую защитную систему, которая способна анализировать огромное количество сетевого трафика по методу, который менее структурирован чем тот, что основан на построении определенных правил. Система обнаружения вторжений на основе нейронной сети может потенциально решить многие из проблем, которые имеют место быть в системах, основанных на правилах.

Один из вопросов обеспечения безопасности информации – метод кодирования сообщений. Для предотвращения атак на информацию, обладающую высокой степенью секретности, попробуем применить технологию нейронных сетей. С помощью данной технологии будет проводиться смена алгоритма шифрования, ключа шифрования, кодировка сигнала. Смена будет происходить через различные промежуточные времени, выбирающиеся случайным образом.

В своих исследованиях Жульков Е.В. предложил разбить трафик на векторы и при помощи системы обнаружения вторжений (СОВ), построенной по модульному принципу, анализировать трафик как векторы [3].

Алгоритм поиска вторжений сводится к последовательности следующих действий.

1. Подготовка базы данных атак.
2. На основании части базы, не содержащей вторжений, генерация базы для генератора шума (система, выдающая векторы нормального трафика, используется для обучения нейросети).
3. Выделение параметров межсетевого взаимодействия (основные параметры трафика, используемые в векторах).
4. Создание и обучение нейронной сети первого уровня.
5. Обучение второго уровня нейронной сети выходными данными первого уровня.
6. Тестирование.
7. Работа СОВ

Рассматривается методология оптимизации защиты данных и анализа сетевых атак путем выявления классов безопасности согласно методам машинного обучения на пакетах передачи данных в сетях связи нового поколения.

Ключевые слова: защита информации, средства защиты информации, информационная защита, технологии защиты информации, информации безопасность, защита данных.

Результаты работы

В работе рассмотрена выборка из среза 5890 объектов трафика в среде MATLAB, проанализированным и разде-

ленным согласно введенным метрикам на 10 классов атак. Результаты работы на тестовой выборке представлены на рис. 1 в численной форме.

№	Классы трафика												Класс атак
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	9,110242	9,783637	9,110242	9,783637	9,110242	9,783637	9,110242	9,783637	9,110242	9,783637	9,110242	9,783637	1
2	8,293469	11,58689	8,293469	11,58689	8,293469	11,58689	8,293469	11,58689	8,293469	11,58689	8,293469	11,58689	1
585	39,93775	69,17647	39,93775	69,17647	39,93775	69,17647	39,93775	69,17647	39,93775	69,17647	39,93775	69,17647	10
586	37,27699	68,17943	37,27699	68,17943	37,27699	68,17943	37,27699	68,17943	37,27699	68,17943	37,27699	68,17943	10
587	35,69319	66,85357	35,69319	66,85357	35,69319	66,85357	35,69319	66,85357	35,69319	66,85357	35,69319	66,85357	10
588	38,37049	65,3646	38,37049	65,3646	38,37049	65,3646	38,37049	65,3646	38,37049	65,3646	38,37049	65,3646	10
589	38,41223	68,96097	38,41223	68,96097	38,41223	68,96097	38,41223	68,96097	38,41223	68,96097	38,41223	68,96097	10

Рис. 1. Результаты классификации в численной форме

Выводы

Первое преимущество в использовании нейронной сети в выявлении вторжений – это гибкость, которую предоставляет эта сеть. Нейронная сеть способна анализировать данные из сети, даже если данные неполные или искажены. Кроме того, сеть будет обладать способностью проводить анализ с данными в нелинейной форме.

Обе характеристики имеют важное значение в сетевой среде, где полученная информация подвержена случайным ошибкам системы. Кроме того, поскольку некоторые атаки на сеть могут быть проведены скоординированным вторжением нескольких злоумышленников, способность обрабатывать данные из нескольких источников в нелинейной форме особенно важна.

Скорость, свойственная нейронным сетям, является еще одним преимуществом этого подхода. Поскольку защита вычислительных ресурсов требует своевременного выявления атак, скорость обработки нейронной сети может обеспечить реагирование на вторжение до того, как будет нанесен непоправимый ущерб системе.

Поскольку результат работы нейронной сети выражается в виде вероятности, нейронная сеть обеспечивает возможность прогнозирования для обнаружения случаев вторжения. Система обнаружения вторжений на основе нейронных сетей определит вероятность того, что конкретное событие или ряд событий, свидетельствуют о нападении на систему. По мере получения опыта, нейронная сеть улучшает способность определять, какие события и где могут произойти в процессе атаки. Эта информация затем может быть использована, чтобы сгенерировать последовательность событий, которые должны произойти, если имеет место быть попытка вторжения. Отслеживая последующие возникновения этих событий, система будет способна улучшить анализ событий и, возможно, провести защитные меры, прежде чем атака будет удачно выполнена.

Есть две основные причины, почему нейронные сети не применялись в разрешении задачи обнаружения вторжений в прошлом. Первая причина связана с требованиями к обучению нейронной сети. Поскольку способность искусственной нейронной сети к идентификации признаков вторжение полностью зависит от правильного обучения системы, данные для обучения и методы обучения, которые используются, являются критическими. Процедура обучения требует очень большой объем данных, чтобы гарантировать статистически точные результаты. Обучение нейронной сети для целей обнаружения вторжений может потребовать тысячи последовательностей индивидуальных атак, и это количество нужной информации трудно получить.

Наиболее существенным недостатком применения нейронных сетей для обнаружения вторжений является природа "черного ящика" нейронной сети. В отличие от экспертных систем, которые имеют жестко закодированные правила для анализа событий, нейронные сети адаптируют свой анализ данных в ответ на полученное обучение. Вес связи и передаточные функции различных сетевых узлов, как правило, замораживаются после того, как сеть достигла приемлемого уровня успеха в идентификации событий. В то время как анализ сети достигает достаточной вероятности успеха, основа для этого уровня точности не всегда известна. "Проблема черного ящика" преследует нейронных сетей в ряде приложений. Это постоянная область исследований в нейронных сетях.[2]

Литература

1. *Бакланов И.Г.* NGN: принципы построения и организации / под ред. Ю. Чернышова. М.: Эко-Трендз, 2008. 400 с.
2. *Битнер В.И., Михайлова Ц.Ц.* Сети нового поколения – NGN. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 226 с.
3. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2002. 672 с.
4. *Семенов Ю.В.* Проектирование сетей связи следующего поколения. СПб.: Наука и Техника, 2005. 240 с.
5. *Дорогов А.Ю.* Структурные и топологические инварианты быстрых перестраиваемых преобразований / VIII Всероссийская научно-техническая конференция "Нейрон форматика-2006". Научная сессия МИФИ-2006. В 3-х частях. Ч.1. М.: МИФИ, 2006. С. 39-50.
6. *Kohonen T.* The "Neural" Phonetic Typewriter // IEEE Computer, March 1988, pp. 11-22.
7. *Глезер В.Д.* Зрение и мышление. Изд.2-е.- СПб.: Наука, 1993. 284 с.
8. *Дьяконов В., Абраменкова И.* MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
9. *Дьяконов В.* Вейвлеты. От теории к практике. М.: САЛОН-Пресс, 2004. 400 с.
10. *Смоленцев Н.К.* Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.
11. *Горбань А.Н.* Обобщенная аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей // Сибирский журнал вычислительной математики. Новосибирск: РАН. Сиб. отделение, 1998. № 1. С. 11-24.

О НАПРАВЛЕНИЯХ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ, УПРАВЛЯЮЩИХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО И БОРТОВОГО БАЗИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕССНОЙ ОСНОВЕ

Козлов Сергей Витальевич,

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия,
SKozlov@ipiran.ru

Кубанков Александр Николаевич,

Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
kan1999@rambler.ru

Рассматриваются на основе применения процессного подхода к интеграции информационных, управляющих и телекоммуникационных систем наземного и бортового базирования проблемные вопросы их развития в составе системы управления как совокупности органов, пунктов и средств управления и соответствующих им организационных, организационно-технических и технико-технологических процессов.

Ключевые слова: Система управления, информационная, управляющая и телекоммуникационная система, процессный подход, организационный, организационно-технический, технико-технологический процессы.

Введение

Проблема создания многофункциональных управляющих систем различного назначения на основе перспективных информационных и телекоммуникационных технологий является актуальной и в современных условиях в наибольшей степени проявляется в аспектах, связанных с эффективной интеграцией их функциональных элементов. Многофункциональные системы как конгломерат взаимоувязанных функциональных подсистем предназначены для своевременного и качественного выполнения поставленных перед ними разнородных функциональных задач. В свою очередь, высокая динамика изменения условий функционирования систем и расширение перечня выполняемых задач требует непрерывного их поддержания в состоянии, адекватном текущему уровню задач, на протяжении длительного периода времени, что обычно может обеспечиваться по следующим направлениям:

- своевременная модернизация отдельных функциональных подсистем с учетом изменения требований, предъявляемых к системе в целом;
- проведение одновременной взаимоувязанной модернизации подсистем в составе всей системы.

В соответствии с первым вариантом интеграция функциональных подсистем осуществляется с применением дополнительных интерфейсных модулей, обеспечивающих единство информационных процессов, что при относительной простоте практической реализации представляется нерациональным с точки зрения неоднородности объединяемых программно-технических решений в составе подсистем. В этой связи более широкие возможности по созданию интегрированных многофункциональных систем как основы современных систем управления могут быть использованы на основе второго варианта с учетом совершенствования их процессной основы.

1. Обоснование процессной основы для интеграции информационных, управляющих и телекоммуникационных систем

Как отмечено в [1] система управления представляет собой взаимоувязанную совокупность органов, пунктов и средств управления, создаваемых в целях выполнения задач по мониторингу обстановки в заданной сфере ответственности органов управления, по своевременному выявлению, идентификации и нейтрализации угроз и опасностей. При

этом под конкретные задачи с учетом прогнозируемых направлений их расширения создаются органы управления, в распоряжение которых выделяются необходимые ресурсы различных видов для выполнения поставленных задач. Для обеспечения деятельности органов управления создаются пункты управления, оснащаемые необходимыми средствами управления (автоматизированными системами управления и телекоммуникационными системами). В целях максимального выявления и рационального использования возможностей элементов системы управления представляется целесообразным рассматривать их взаимодействие на процессном уровне. Необходимо представить в соответствие каждому из элементов системы управления характерный для него процесс. Разработанные в [2] предложения по структуре процессов в жизненном цикле системы управления представлены в табл. 1.

Таблица 1

Классификация процессов по принадлежности к элементам системы управления

Элементы системы управления	Органы управления	Пункты управления	Средства управления
Характер процессов	Организационные (административные или бизнес-процессы)	Организационно-технические процессы	Технико-технологические процессы
Признак классификации	Взаимодействие органов управления, подразделений, должностных лиц, специалистов между собой без применения средств управления	Взаимодействие подразделений, должностных лиц, специалистов между собой с применением средств управления	Взаимодействие средств управления между собой без участия человека-оператора

В настоящее время методы процессного подхода широко представлены и активно применяются к организационным или, другими словами, бизнес-процессам [3].

С применением методов процессного подхода производится анализ и оптимизация деятельности по обеспечению качества [8] в сфере разработки и производства высокотехнологических систем. В предлагаемой постановке, связанной с расширением области применения процессных методов, задача создания и развития информационных, управляющих и телекоммуникационных систем в рамках системы управления обладает новизной.

Зачастую на основе весьма распространенного функционального подхода в интересах организации и обеспечения деятельности органов управления производится выбор необходимых ресурсов из имеющихся способов и средств, а также их комплексирование на существующей нормативно-методической, технической и технологической основе, когда различные компоненты системы управления в процессе их интеграции объединяются на своей технико-технологической основе, а их единство обеспечивается посредством создания интерфейсов.

С точки зрения организационного процесса, обеспечивающего расширение функционала, цель достигается. В то же время с технико-технологической точки зрения сквозной процесс выполнения интегрированных функций реализуется нерациональным образом.

Такой подход при своей простоте, срокам реализации и экономичности обуславливает существенные ограничения в различных ситуациях применения системы управления, поскольку не в полной мере учитывает не только динамику развития угроз и опасностей в сфере ее ответственности и выполняемых задач, но и не рассматривает на процессном уровне природу развития негативных факторов и их взаимодействие с внутренними процессами в рамках системы управления. В свою очередь, в условиях интенсивной конкуренции в области создания перспективных информационно-телекоммуникационных систем на основе информационных технологий это оказывает сдерживающее влияние.

В этой связи целесообразно рассмотреть обобщенный механизм влияния внешних факторов на состояние системы управления и ее компонентов. Так, например, используя разработанный в [4] подход к описанию взаимосвязи внешних факторов, действующих на объект, запускаемых ими процессов в рамках объекта, приводящих к изменению технологических свойств объекта, применительно к системе управления схема их взаимосвязи может быть представлена в следующем виде, как показано на рис. 1.

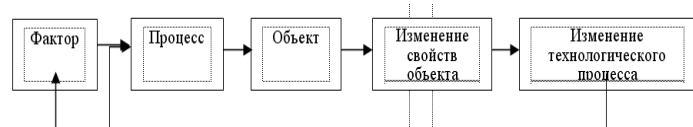


Рис. 1. Обобщенная схема взаимосвязи факторов, процессов и свойств объектов

Конкретный фактор внешних условий функционирования системы управления объектами запускает организационный процесс в виде формирования дополнительных требований к ее объектам, либо изменения условий ее функционирования, в результате чего под воздействием фактора изменяются функциональные свойства системы управления на организационно-техническом уровне, либо на технико-технологическом уровне (см. табл. 1).

Анализ и реализация этих требований должны оцениваться и проводиться с учетом характера их влияния на организационный процесс. Важно отметить, что телекоммуни-

кационная основа системы управления, являясь ключевым элементом системы управления, определяющим в значительной мере ее структуру и топологию, имеет главной целью обеспечение технико-технологической поддержки организации и практической реализации организационно-технических и организационных процессов в системе управления. Телекоммуникационная основа (ТКО) системы управления должна рассматриваться как объект, находящийся под комплексным воздействием указанных выше факторов.

На примере трех видов факторов различной природы (организационного, организационно-технического, технико-технологического характера) иллюстрируется взаимосвязь факторов, запускаемых ими процессов, которые, в свою очередь, проявляются во взаимодействии между собой, и приводят к изменению свойств телекоммуникационной основы системы управления, которые, в конечном счете, приводят к изменению и свойств системы управления. При этом необходимо отметить их многонаправленное взаимное влияние.

Технико-технологические процессы представляют особый интерес с точки зрения их анализа, оптимизации и обоснования рациональных решений по их интеграции с организационно-техническими процессами в рамках системы управления с учетом достижения синергетического эффекта. В течение длительного периода в разработке средств управления (автоматизации управления и средств связи) широко применяется принцип функциональной интеграции, реализация которого зачастую сопровождается элементами технической избыточности, приводящей, в конечном счете, к снижению их надежности и экономичности.

Анализ подхода к классификации процессов по их принадлежности к элементам системы управления и по их роли в сквозном процессе позволяет отметить, что такая декомпозиция процессов создает условия для выявления приоритетности тех или иных процессов при определении основы для интеграции. При этом выбор направления интеграции процессов может осуществляться с учетом направлений взаимосвязи видов процессов по компонентам системы управления – от организационных к технико-технологическим через организационно-технические процессы (объединение органов управления и их реорганизация требует изменения средств управления в направлении расширения их возможностей);

– от технико-технологических процессов через организационно-технические к организационным (появление новых технологий и средств расширяет возможности средств управления, что обуславливает необходимость реорганизации органов управления, расширения их функциональных задач).

Принимая во внимание широкое разнообразие технологических решений в информационно-телекоммуникационной области, пригодных для реализации систем управления, следует отметить, что несмотря на первенство организационных процессов, определяемых поставленными задачами перед системой управления, в ближайший период в рамках нового технологического уклада нано-, био-, информационных и когнитивных технологий [5, 6] определяющими станут технико-технологические процессы.

Технологический уклад, как отмечено в [6], представляет собой совокупность сопряженных производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно. Поэтому представляется весьма актуальным в сущности такого определения выделить сопряженность разнородных процессов и рассматривать ее изменение в рамках всего жизненного цикла систем управления.

Учитывая необходимость всестороннего анализа условий, ограничений и возможностей по созданию и развитию перспективной системы управления, необходимо рассматривать в комплексе указанные выше направления интеграции процессов, а обоснование рациональной структуры разнородных процессов производить на основе итерационной процедуры последовательно по обоим направлениям. При этом в поисках рациональной структуры процессов необходимо исходить из приоритетности поставленных перед системой управления задач. Затем с учетом имеющихся ограничений по реализации необходимых технико-технологических процессов в системе управления целесообразно производить поиск компромиссного решения между организацией и реализацией организационных и организационно-технических процессов с учетом поиска Парето-оптимальных альтернатив.

2. Предложение по совершенствованию технико-технологических процессов для интеграции систем

В настоящее время в рамках системы разработки и постановки продукции различного назначения на производство получают широкое распространение перспективные формы и способы менеджмента качества продукции, среди которых важное место занимают методы процессного подхода. Следует отметить, что они, прежде всего, относятся к сфере административной деятельности заказчика и исполнителя работ по созданию продукции и в меньшей степени к организации технологического процесса на предприятии.

Вместе с тем, рассматривая в содержательном плане деятельность главного конструктора по поиску, обоснованию и выбору конкретных системотехнических решений по ее созданию, необходимо отметить, что методы процессного подхода из области организации административной деятельности заказчика и исполнителя работ, а также из области организации технологического процесса на предприятии исполнителя могут быть применены к сфере деятельности главного конструктора при обосновании системотехнических решений по созданию конкретной продукции. Это становится актуальным при создании интегрированных систем, когда в

области выбора типовых технических решений находятся следующие альтернативные варианты:

1. Интеграция на основе применения готовых технических решений и средств с разработкой минимально необходимых устройств их сопряжения.

2. Интеграция на основе разработки сквозного технико-технологического процесса, необходимого для создания интегрированной системы, и его практической реализации на основе разработки новых технических средств.

Реализация процессного подхода по второму варианту становится возможной на основе современных технологий передачи информации и конструирования технических средств радиосредств.

В качестве объекта анализа уровня реализованных технических решений в тракте радиосвязи рассматривается система дистанционного управления передающим радиосредством, которая реализована на основе принципа централизованного управления группами передатчиков в его составе. Предметом анализа является процесс преобразования по частоте группы информационных сигналов для передачи по магистральным каналам КВ/УКВ радиосвязи.

На процессном уровне проведен анализ основных и обеспечивающих процессов подготовки сигналов, излучаемых передатчиками большой и средней мощности на их рабочих частотах. На этой основе выявлены резервы для расширения технических возможностей радиосредства в целом и передающего радиосредства, в частности.

В таблице 2 представлен процесс последовательного преобразования информационных сигналов по несущей частоте применительно к существующему варианту обеспечения централизованного дистанционного управления передающим радиосредством.

В целях сокращения избыточности в тракте дистанционного управления и, в первую очередь, на передающем радиосредстве предложено уточнить структуру системы подготовки рабочих сигналов для передатчиков в составе вынесенного передающего радиосредства, как показано в табл. 2.

Таблица 2

Преобразования по частоте информационного сигнала

Вариант интеграции средств радиосредства	На приемном радиосредстве	На передающем радиосредстве
На основе применения готовых технических решений и средств	$\left. \begin{matrix} F_{пэс\ 1} \\ F_{пэс\ 2} \\ \dots \\ F_{пэс\ N} \end{matrix} \right\} \xrightarrow{F_{лду}} \text{1 преобразование}$	$\left. \begin{matrix} F_{лду} \\ F_{пэс\ 1} \\ F_{пэс\ 2} \\ \dots \\ F_{пэс\ N} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} \longrightarrow f_{рс\ 1} \\ \longrightarrow f_{рс\ 2} \\ \longrightarrow \dots \\ \longrightarrow f_{рс\ N} \end{matrix} \text{2 преобразования}$
На основе разработки сквозного технико-технологического процесса, для создания интегрированной системы)	$\left. \begin{matrix} F_{пэс\ 1} \\ F_{пэс\ 2} \\ \dots \\ F_{пэс\ N} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} f_{рс\ 1} \\ f_{рс\ 2} \\ \dots \\ f_{рс\ N} \end{matrix} \xrightarrow{F_{гвч}} \text{2 преобразования}$	$F_{гвч} \begin{matrix} \longrightarrow f_{рс\ 1} \\ \longrightarrow f_{рс\ 2} \\ \longrightarrow \dots \\ \longrightarrow f_{рс\ N} \end{matrix} \text{1 преобразование}$

К существенным признакам второго варианта следует отнести:

1. Новую последовательность общего преобразования N первичных электрических сигналов (пэс) в N радиосигналов в тракте радиосвязи при удаленном размещении излучающих радиосредств, расположенных на пере-

дающем радиосредстве, от передающих оконечных устройств, расположенных на приемном радиосредстве (вводятся преобразования N информационных первичных электрических сигналов в N радиосигналов на приемном радиосредстве, а на передающем радиосредстве исключаются N преобразований первичных электрических сигналов в радиосигналы).

2. Новые условия формирования частоты группового высокочастотного сигнала $F_{гвч}$, передающегося в линии дистанционного управления между приемным радиоцентром и удаленным передающим радиоцентром, заключающиеся в выборе соотношений между значениями частоты $f_{гвч}$ и максимальной частоты радиосигнала $f_{max\ pc}$.

В предлагаемом способе дистанционного управления передающим радиоцентром на основе второго варианта N информационных первичных электрических сигналов с частотой $F_{пс\ i}$ ($i=1, 2, \dots, N$), поступающих от N передающих оконечных устройств, на приемном радиоцентре преобразуются в N радиосигналов с частотами $f_{pc\ i}$ ($i=1, 2, \dots, N$), совокупность которых преобразуется в групповой высокочастотный сигнал с частотой $f_{гвч}$, который от приемного радиоцентра передается по радиорелейной или кабельной линии дистанционного управления на передающий радиоцентр, на котором из принятого группового высокочастотного сигнала с частотой $f_{гвч}$ выделяются N радиосигналов с частотами $f_{pc\ i}$ ($i=1, 2, \dots, N$), каждый из которых усиливается по мощности и направляется в передающую антенну.

При этом с целью уменьшения до допустимой величины значения коэффициента нелинейных искажений сформированных радиосигналов с частотами $f_{pc\ i}$ ($i=1, 2, \dots, N$) частоту группового высокочастотного сигнала $f_{гвч}$, выбирают больше максимальной частоты радиосигнала $f_{max\ pc} = \max \{f_{pc\ i}\}$, ($i=1, 2, \dots, N$) не менее, чем в 1000 раз, то есть необходимо выполнение условия $f_{гвч} \geq 1000 f_{max\ pc}$.

Это позволяет за счет существенного сокращения количества преобразований принимаемого группового высокочастотного сигнала на передающем радиоцентре и соответствующего сокращения количества основного оборудования, реализующего эти преобразования, повысить мобильность передающего радиоцентра.

В предлагаемом способе дистанционного управления [7] передающим радиоцентром в его рамках исключается N процессов преобразования информационных первичных электрических сигналов в радиосигналы, а осуществляется только усиление каждого из N радиосигналов, выделенных из группового высокочастотного сигнала. Поэтому на удаленном ПДРЦ исключаются N устройств преобразования первичных электрических сигналов в радиосигналы, а размещается только группа радиоизлучающего оборудования (усилители мощности радиосигналов, согласующие антенные и передающие антенно-фидерные устройства), обеспечивающие усиление и излучение N радиосигналов.

Выводы

1. Декомпозиция процессов в жизненном цикле информационных, управляющих и телекоммуникационных систем

с выделением организационных, организационно-технических и технико-технологических процессов, соответствующих основным элементам системы управления, позволяет в наибольшей мере учесть особенности объединяемых элементов на процессной основе и, в конечном счете, сформировать их в рамках сквозного процесса.

2. В рамках применения процессного подхода при обосновании направлений интеграции функциональных подсистем предложено рассматривать воздействие различных факторов, определяющих облик системы управления, в виде взаимоувязанной последовательности «фактор – процесс – изменение свойства системы управления – изменение технологического процесса, в котором она задействована».

3. Предложенное решение по совершенствованию технико-технологического процесса в рамках телекоммуникационной основы системы управления направлено на изменение системотехнических решений по созданию тракта дистанционного управления элементом телекоммуникационной системы.

Литература

1. Основные органы управления, силы и средства ГСЧС. http://texts.news/chrezvyichaynye-situatsii_1537/osnovnyie-organy-i-upravleniya-silyi-sredstva-63396.html.
2. Козлов С.В. Об основных направлениях развития телекоммуникационной основы системы управления с учетом комплексного совершенствования организационных, организационно-технических и технико-технологических процессов в ее жизненном цикле. Сборник трудов XXIII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». В 3-х томах. Воронеж. Изд-во «Научно-исследовательские публикации» ООО «ВЭЛБОРН», 2017. Т. 1. С. 147-152.
3. Ретин В.В., Елиферов В.Г. процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.
4. Акусова А.А., Топоров А.А. Процессный подход к исследованию изменения технического состояния оборудования химических производств. <http://masters.donntu.org/2013/fimm/vypiraiko/library/article7.htm>.
5. Хронология и характеристика технологических укладов. <http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/1999/vestniksf90-2/vestniksf90-2020.htm>.
6. Технологические уклады. Краткая справка. <http://www.savproject.ru/articles/tekhnologicheskie-uklady-kratkaia-spravka.php>.
7. Козлов С.В., Маковий В.А., Семисошенко М.А. Способ дистанционного управления передающим радиоцентром. Патент РФ № 2360362. Приоритет изобретения от 12.02.2007 г. Зарегистрирован в Госреестре 27.06.2009 г.
8. Кубанков А.Н., Кубанков Ю.А. Свойства процесса защиты информации, определяющие его качество // Стандарты и качество. 2016, № 9. С. 104-107.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОБРАБОТКИ «БОЛЬШИХ ДАННЫХ»

Комолов Андрей Валерьевич,
Студент 1 курса магистратуры, МГУСИ, Москва, Россия,
komolov_1995@mail.ru

По данным аналитической компании IDC за последние 10 лет наблюдается экспоненциальный рост данных, который накоплен в электронном виде. В качестве примера такой информации можно привести метеорологические данные, сообщения из мессенджеров и социальных сетей, логи действия пользователей на веб-ресурсах, информация от устройств мониторинга здоровья и прочее. Технологии больших данных (Big Data) постоянно внедряются во многие сферы деятельности человека (в научно-исследовательскую деятельность, в коммерческий сектор и сферу государственного управления [1]). Для управления таким большим объемом информации требуется наличие эффективной системы хранения и специальный инструментарий для распределенных вычислений. Приводится обзор таких достаточно новых технологий, как платформа анализа данных Spark, экосистема Hadoop (HDFS и MapReduce) и NoSQL системы управления базами данных.

Цель данной работы состоит в сравнительном анализе технологий работы с Big Data. Для сравнения технологий Spark и Hadoop определены следующие критерии: скорость обработки данных, использование файловой системы, язык запросов и машинное обучение.

Ключевые слова: большие данные, Big Data, Hadoop, HDFS, MapReduce, Spark, NoSQL.

Длительный период развития информационных технологий и экспоненциальный рост информации в настоящее время привели к наличию большого объема данных, накопленных в электронном виде. В связи с этим существует потребность в хранении и наличии инструментария для эффективного управления такими данными, которые получили название «большие».

Термин Big Data стал активно употребляться с 2011 года, что было обусловлено следующими причинами. К 2013 году количество хранящейся информации в мире составило 1,2 зеттабайта, из которых на нецифровую информацию приходится менее 2%. В мае 2015 года глобальное количество данных превысило 6,5 зеттабайта, то есть объем накопленной информации увеличился более чем в 5 раз, а по данным исследования IDC Digital Universe к 2020 году человечество сформирует 40-44 зеттабайтов информации [2].

В современном мире очень много источников больших данных. В качестве примера можно привести метеорологические данные, сообщения из мессенджеров и социальных сетей, информация о местонахождении абонентов сотовых операторов, данные о транзакциях клиентов банка, логи действия пользователей на веб-ресурсах, GPS-сигналы от автомобилей для транспортной компании, информация от устройств мониторинга здоровья и прочее.

Развитие и широкое использование этих источников послужило началом для внедрения технологий Big Data во многие сферы деятельности человека. В первую очередь в научно-исследовательскую деятельность, в коммерческий сектор и сферу государственного управления [1].

Помимо этого, технологии больших данных активно используются в различных секторах экономики, таких как банки, телеком, ритейл, медицина, страхование и др. В секторе телекоммуникаций более 45% компаний внедряют проекты с применением Big Data. Основными задачами в данном секторе являются бизнес-аналитика, «умные» маркетинговые кампании, выявление мошенничества и др. [3]

На сегодняшний день для анализа больших данных присутствуют различные методики их исследования, в основу которых заложены инструменты из математической статистики и информатики. Например, кластерный анализ, регрессионный анализ, машинное обучение, искусственные нейронные сети, визуализация аналитических данных и др.

Говоря о техническом инструментарии в Big Data, следу-

ет отметить, что при хранении и обработке больших объемов структурированной и неструктурированной информации традиционные подходы стали неэффективными, а, следовательно, необходимо применять новые инструменты. Цель данной работы состоит в сравнительном анализе технологий работы с Big Data.

Hadoop и HDFS. Техническим основоположником в области Big Data можно считать компанию Google, которая в 2004 году представила модель распределенной обработки данных MapReduce. Через два года Дуг Каттинг реализовал данную модель в своем проекте Hadoop с открытым исходным кодом. С технической точки зрения Apache Hadoop – свободный (open source) Java-framework по осуществлению распределенных вычислений для обработки больших объемов данных. Ядром Hadoop является отказоустойчивая распределенная файловая система HDFS (Hadoop Distributed File System). Она делит входные данные на блоки и сохраняет их в узлах кластера, применяя репликацию. Основное преимущество такой системы – возможность практически бесконечного горизонтального масштабирования, то есть для увеличения объема памяти достаточно добавить новые узлы в кластер. Кроме того, HDFS предоставляет приложениям программный интерфейс, который позволяет выполнять вычисления рядом с данными [4].

MapReduce. MapReduce – модель распределенных вычислений для обработки больших объемов данных. Задание MapReduce разбивает большие наборы данных на независимые части (*split*) и организует их в пары ключ-значение для параллельной обработки. Это означает, что вычисление проводится на некотором кластере из узлов, в результате чего увеличивается скорость выполнения заданий. Вычисления в парадигме MapReduce представляются в виде последовательности задач *map*, *shuffle* и *reduce*. *Map* задача на каждом узле принимает на вход набор данных и преобразует его в пары ключ-значение. Далее выполняется этап *shuffle*: все пары, полученные на предыдущем шаге *map*, группируются по ключу и подаются на вход *reduce* задаче. Данная операция *shuffle* выполняется внутри алгоритма MapReduce и пользователем не задается. Завершает алгоритм задача *reduce*, которая агрегирует все результаты для каждого уникального ключа.

Spark. Реализация алгоритма MapReduce в Hadoop спроектирована так, что все конечные и промежуточные резуль-

таты записываются на диск. В результате время считывания и записи на диск зачастую в несколько раз превышает время самих вычислений. В связи с этим был создан проект Apache Spark – framework с открытым исходным кодом (open source) для распределенной обработки данных. В отличие от Hadoop, во время вычислений данные хранятся в оперативной памяти, поэтому Spark имеет преимущество в производительности. Spark написан на функциональном языке программирования Scala, а также имеет интерфейс для Java, Python и R.

Сравнение Spark с Hadoop. Выделим следующие критерии для сравнения:

1) Скорость обработки данных. В отличие от MapReduce Spark не сохраняет промежуточные наборы результатов на диск, а хранит их в оперативной памяти, при этом обмен данными происходит через сеть. Поскольку MapReduce разрабатывался в 2000-х годах, когда оперативная память стоила дорого, разработчики реализовали обмен промежуточными данными через HDFS. Благодаря этому скорость выполнения заданий MapReduce намного меньше, чем у Spark.

2) Использование файловой системы. В состав Hadoop входят и компонент хранения HDFS, и модель распределенных вычислений MapReduce, поэтому обработку данных можно осуществлять и без Spark. У Spark нет собственной системы хранения файлов, поэтому необходима интеграция если не с HDFS, то с какой-то другой платформой хранения данных.

3) Язык запросов. Для изолирования пользователя от сложностей программирования для MapReduce в компании Facebook была создана SQL-подобная инфраструктура для организации хранилищ данных – Hive [5]. Аналогом Hive служит Spark SQL, который также позволяет писать SQL-запросы над данными. Различие технологий в том, что Hive является расширением для Hadoop, а Spark SQL – для платформы Spark.

4) Машинное обучение. Обе технологии имеют встроенные библиотеки для анализа данных с помощью машинного обучения. У Spark – MLlib, у Hadoop – Mahout. Помимо разнообразия поддерживаемых алгоритмов фреймворки отличаются скоростью их выполнения. Spark выполняет итерационные алгоритмы в 100 раз быстрее, чем Hadoop.

NoSQL. С появлением Big Data стали набирать популяр-

ность нереляционные базы данных (NoSQL), которые используются как для хранения, так и для обработки больших данных. Они имеют распределенную отказоустойчивую архитектуру, могут легко масштабироваться за счет добавления новых узлов. NoSQL базы данных часто оптимизированы для операций поиска и добавления элемента. Бывают ситуации, когда необходимо организовать произвольный доступ для чтения/записи к большим наборам данных в реальном времени [6]. Для таких целей в большинстве случаев и используют NoSQL базы данных.

Их применение оправдано, когда:

1) данных много и их не удается разместить на одном компьютере;

2) данные часто обновляются и/или удаляются;

3) нужен произвольный доступ к данным по определенным ключам. Если данные только добавляются, редко обновляются и не обрабатываются, то лучше не использовать технологию NoSQL, а хранить информацию в файлах.

Таким образом, в работе представлена проблема больших данных, источники их появления и сферы применения, обозначен базовый инструментарий, который необходим для Big Data, дан сравнительный анализ наиболее основных и часто используемых фреймворков и представлены рекомендации для выбора соответствующей технологии.

Литература

1. Большие данные (Big Data). [tadviser.ru](http://www.tadviser.ru) URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_\(Big_Data\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Большие_данные_(Big_Data)) (дата обращения: 25.10.2016).
2. Мир big data в 8 терминах // rb.ru URL: <http://rb.ru/howto/big-data-in-8-terms/> (дата обращения: 25.10.2016).
3. Соболев А.С. Обработка больших данных в телекоммуникационных компаниях // Вестник СибГАУ. 2014. №2 (54).
4. Клеменков П.А., Кузнецов С.Д. Большие данные: современные подходы к хранению и обработке / Труды ИСП РАН. 2012.
5. Чак Лэм. Hadoop в действии. М.: ДМК Пресс, 2012.
6. Том Уайт. Hadoop: Подробное руководство. СПб.: Питер, 2013.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОАГЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

Коршунов Андрей Игоревич,

Эксперт, Институт Инженерной Физики, Москва, Россия,
and.korshunov94@gmail.com

Ивашкин Юрий Алексеевич,

Профессор, МТУСИ, Москва, Россия,
ivashkin@nextmail.ru

Рассматриваются теоретические и практические основы мультиагентного моделирования систем обнаружения и предотвращения вторжений в режиме реального времени с применением нейронных сетей при разработке агентов-участников данной системы. Излагается концепция системы обнаружения и предотвращения вторжений, как многоагентной модели и поведения агентов в ситуациях обнаружения атаки или нормальной работы. Описывается агент-детектор атаки и излагается концепция разработки нейронной сети, реализующей ключевой алгоритм работы данного агента. Также изложены преимущества и недостатки подобных систем.

Ключевые слова: агент, система обнаружения вторжений, информационная безопасность, многоагентная технология, нейронные сети.

Введение

В настоящее время вопрос безопасности внутренних информационных ресурсов предприятий стоит очень остро. Появление большого количества инструментов для нарушения целостности, конфиденциальности и доступности информации, и их распространение повсеместно и безвозмездно приводит к увеличению числа злоумышленников, а также, к уменьшению требований к их компетенциям. Подобные тенденции вызывают всплеск атак на информационные ресурсы, часть из которых, давно известны и есть возможность их отразить. Другую часть составляют новые атаки, являющиеся результатом «творчества» хакерских групп с высокой квалификацией и большим опытом ее участников в области IT и информационной безопасности.

Количество взломанных систем обнаруженных уязвимостей и быстрый темп наращивания информационных ресурсов существующий подход к разработке IDS/IPS становится недостаточно эффективен. Централизация подобной системы, унификация ее компонентов и подходов к разработке позволяет злоумышленникам составить общее представление о системе и разработать вектора атак.

В связи с этим, необходимо создание такой системы, способной обнаружить и предотвратить известные атаки, а также, выявить и распознать ранее не известные вторжения и обеспечить сетевую и собственную безопасность.

Многоагентная система обнаружения и предотвращения вторжений

Возможным решением описанной проблемы может быть создание высокоинтеллектуальных систем защиты с применением мультиагентных технологий [2].

Существующий подход к реализации СОВ подразумевает наличие централизации, т.е. центром системы является компонент, отвечающий за обработку данных, полученных от детекторов, и за вывод их конечному пользователю. Злоумышленнику достаточно получить доступ к центральному элементу, чтобы скомпрометировать работу всей системы.

Многоагентная система не имеет центра и функции, «роли» в разделены между агентами. Агенты, в соответствии с уровнем ИИ, можно классифицировать на следующие основные типы[1]:

- *Целенаправленные обучаемые интеллектуальные агенты* – характеризующиеся наличием первоначальной

базой знаний, иерархией целей, банком моделей поведения и стратегий достижения цели в условиях неопределенности, риска и противодействия;

- *Самообучающиеся целеустремленные агенты* – характеризующиеся способностью накапливать знания на основе большого объема данных и онтологии событий в процессе взаимодействия с другими агентами и окружающей средой, адаптацией к ситуации, способностью выбора стратегии достижения выбранной цели и оцениванием степени ее достижения;

При этом, если того требует ситуация, внутри СОВ возможно создание новых агентов одного из следующих типов:

- Агент предобработки (CollectAgent) – выполняет функцию обработки входящего трафика;
- Агент идентификации и аутентификации (AIAgent) – выполняет функцию идентификации источника сообщений и проверку его подлинности;
- Агент-детектор (DetectAgent) – детектирует вредоносную деятельность, получает сообщения от CollectAgent и настраивает защиту системы. Данный агент должен отвечать требованиям типа *Целенаправленные обучаемые интеллектуальные агенты*;
- Агент-учитель (TeachAgent) – агент, который аккумулирует в себе собранные знания для последующего обучения других агентов;
- Агент-администратор (AdminAgent) – в случае получения от DetectAgent информации о том, что обнаружена вредоносная активность, он предпринимает ряд мер по устранению угрозы. Этот агент должен соответствовать требованиям типа *Самообучающиеся целеустремленные агенты*;

Схема взаимодействия агентов показана на рис. 2. Трафик извне поступает и обрабатывается сначала агентом идентификации AIAgent[3] так, чтобы понять, насколько идентифицирован, аутентифицирован и авторизован ли источник данных. Далее информация поступает агентам CollectAgent, которые аккумулируют собранную информацию и приводят ее в вид, позволяющий агентам DetectAgent произвести необходимый анализ подозрительной активности. Каждый из DetectAgent'ов отвечает за определенный тип атак [4].

На схеме представлены только агенты типов DDoS и Spoof атак, но, в случае реализации этой системы в виде конечного продукта необходимо расширить их количество. Далее, агенты-детекторы, после анализа информации передают, в случае обнаружения вредоносной активности, ин-

формацию агенту-администратору, который предпримет необходимое решение по устранению угрозы.

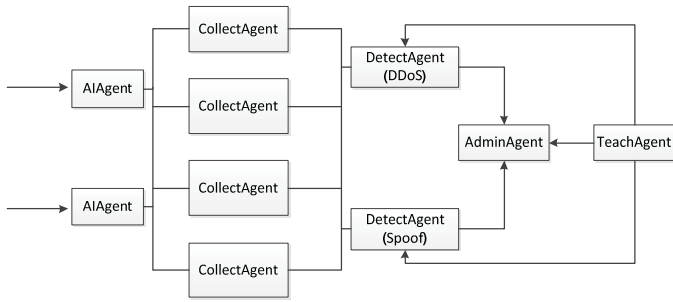


Рис. 2. Схема взаимодействия агентов в MAC IDS/IPS

Информация, которая не была обработана агентами или воспринята неверно, направляются агенту-учителю TeachAgent, который обучает агентов-детекторов и агента-администратора [5].

Использование нейронной сети при создании агента

Для наглядного примера выбрана реализация агента DetectAgent(DDoS). Интеллектуальный агент DetectAgent в агентно-ориентированной модели можно описать разными переменными и параметрами когнитивного состояния Co , банка моделей стратегий поведения PL , Z – множество целей:

$$DetectAgent(DDoS) = \{Z, Co, PL\}$$

$Co_{DA} = \{c_{DA1}, c_{DA2}\}$ – вектор параметров когнитивного состояния DA – агента, включающий c_{DA1} – возбужденность, обнаружена атака, c_{DA2} – спокойное состояние, нормальная работа.

$Z_{DA} = \{z_{DA1}, z_{DA2}\}$ – множество целей агента. z_{DA1} – цель выявления атаки, z_{DA2} – цель подтверждения отсутствия вредоносной активности.

$PL_{DA} = \{PL_{z_{DA1}}, PL_{z_{DA2}}\}$ – банк моделей стратегий для достижения целей.

Для реализации агента будем использовать многослойную полносвязную нейронную сеть (многослойный перцептрон), в которой каждый нейрон следующего слоя связан с нейронами предыдущего слоя.

Многослойный перцептрон содержит три типа слоев нейронов: входной, скрытый и выходной. Каждый нейрон сети имеет гладкую нелинейную функцию активации. Для данной топологии нейронной сети с хорошей обобщающей способностью необходимо определить меру Вайнника-Червоненкиса. Чтобы предотвратить «переобучение» нейронной сети размерность (количество нейронов) скрытого слоя должна быть ниже или равна размерности обучающей выборки.

Данные о каждом соединении содержат 41 параметр и разделены на две категории, соответствующие типам атак:

- 1) Denial of Service Attack (DoS) – отказ в доступе легальному пользователю;
- 2) Spoof – ситуация, в которой один человек или программа успешно маскируется под другую путём фальсификации данных и позволяет получить незаконные преимущества;

При выборе архитектуры нейронной сети было необходимо учитывать, как минимум, девять параметров (табл. 1) которые обеспечивают полное описание информации, переданной в пакете.

Таблица 1

Основные параметры сетевого соединения

Параметр	Описание
duration	Длительность соединения (секунды)
protocol_type	Тип протокола
service	Сетевая служба получателя
flag	Состояние соединения
src_bytes	Число байтов переданных от источника получателю
dst_bytes	Число байтов переданных от получателя источнику
land	1 если соединение по идентичным портам; 0 в других случаях
wrong_fragment	Количество «неверных» пакетов
urgent	Количество пакетов с флагом URG

Входной слой спроектированной нейронной сети имеет 9 нейронов, содержит один скрытый слой и выходной слой с двумя нейронами, соответствующими нормальной работе и атаке (рис. 3).

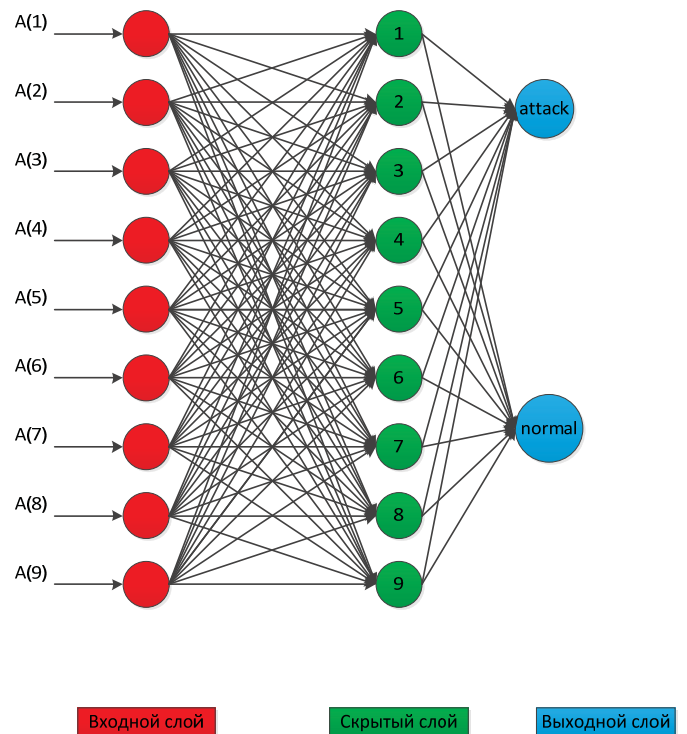


Рис. 3. Архитектура нейронной сети [7]

Набор данных (3000 кортежей) был разделен на три группы: для обучения, тестирования и подбора наиболее оптимального состояния системы (65% записей использовались для обучения системы, 20% – тестирование, а 15% – для подбора наиболее оптимального состояния системы).

Для обучения искусственной нейронной сети применялся алгоритм обратного распространения ошибки с вычислением ошибки, как выходного слоя, так и каждого нейрона обучающей сети, а также коррекция весов нейронов в соответствии с их текущими значениями. На первом шаге данного алгоритма веса всех межнейронных связей инициализируются случайными значениями (от 0 до 1). После инициализации весов в процессе обучения нейронной сети выполняются следующие шаги:

- прямое распространение сигнала;

- вычисление ошибки нейронов последнего слоя;
- обратное распространение ошибки.

Прямое распространение сигнала производится послойно, начиная со входного слоя, при этом рассчитывается сумма входных сигналов для каждого нейрона и при помощи функции активации генерируется отклик нейрона, который распространяется в следующий слой с учетом веса межнейронной связи. В результате выполнения данного этапа получаем вектор выходных значений нейронной сети. Следующий этап обучения – вычисление ошибки нейронной сети как разницы между ожидаемым и действительным выходными значениями.

Полученные значения ошибок распространяются от последнего, выходного слоя нейронной сети, к первому. При этом вычисляются величины коррекции весов нейронов в зависимости от текущего значения веса связи, скорости обучения и ошибки, внесенной данным нейроном. После завершения данного этапа шаги описанного алгоритма повторяются до тех пор, пока ошибка выходного слоя не достигнет требуемого значения.

Заключение

В заключении можно сказать, что описанный выше подход к разработке систем обнаружения и предотвращения вторжений не является решением всех проблем данной отрасли разработки ПО и имеет свои недостатки. Спроектированная конечная система требует постоянного обучения, т.к.

реализация большинства классов атак на компьютерные сети – результат нестандартного подхода и мышления, которым обладает человек. Также, подобные системы требуют больших вычислительных мощностей, что не всегда целесообразно при отображении на параметры защищаемого объекта.

Литература

1. *Ивашкин Ю.А.* Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3: учебное пособие. М.: Лаборатория знаний, 2016. 350 с.
2. *Котенко И.В., Карасев О.И.* Использование многоагентных технологий для комплексной защиты информационных ресурсов в компьютерных сетях // Известия ТРТУ. 2004. С. 38-50.
3. *Котенко Д.И., Котенко И.В., Саенко И.Б.* Методы и средства моделирования атак в больших компьютерных сетях: состояние проблемы/Д.И. Котенко / Тр. СПИИРАН. 2012. №22. С. 5-30.
4. *Котенко И.В.* Многоагентные технологии анализа уязвимостей и обнаружения вторжений в компьютерных сетях // Безопасность компьютерных систем. 2004. С. 72-76.
5. *Гончаров В.А., Пржегорлинский В.Н.* Метод обнаружения сетевых атак, основанный на кластерном анализе взаимодействия узлов вычислительной сети // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2011. № 36. С. 3-10.
6. *Hofmann A., Sick B.* Evolutionary Optimization of Radial Basis Function Networks for Intrusion Detection / Proceedings, International Joint Conference on Neural Networks (Volume 1), 2003, pp. 415-420.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ В КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

Кретов Максим Игоревич,

магистрант, кафедра «Информационной безопасности» МТУСИ, Москва, Россия,
maksimkretov1994@rambler.ru

Рассмотрены четыре основных алгоритма обнаружения аномальных вторжений: алгоритм Бродского-Дарховского, алгоритм на основе дискретного вейвлет преобразования, алгоритм на основе сумм квадратов вейвлет-коэффициентов, алгоритм на основе максимума квадратов вейвлет-коэффициентов.

Статистики алгоритма Бродского-Дарховского было впервые, предложено в работе Дарховского Б.С. и Бродского Б.Е. «Апостериорное обнаружение момента разладки случайной последовательности для апостериорной задачи о разладке».

Суть алгоритма состоит в следующем: пусть $X = \{x(n)\}_{n=1}^N$ – случайный процесс с дискретным временем.

При этом известно, что случайные величины $x(1), x(2), \dots, x(n_0)$ имеют общую одномерную функцию распределения F_0 , а случайные величины $x(n_0 + 1), \dots, x(N)$ – общую одномерную функцию распределения F_1 . Требуется по реализации процесса X дать оценку неизвестного номера n_0 – момента «разладки». При решении задачи апостериорного обнаружения момента «разладки» предполагается, что функции F_1 и F_2 непрерывны и различимы в некотором смысле.

Когда решение о наличии или отсутствии номинального выброса принимается в онлайн режиме, используется скользящее окно, смещающееся слева-направо по мере поступления данных.

В этом случае алгоритм Бродского-Дарховского имеет вид:

$$Y(m) = \left[\frac{n}{N} \left(1 - \frac{n}{N} \right) \right]^V \left(\frac{1}{n} \sum_1^n z_{i,m} - \frac{1}{N-n} \sum_{n+1}^N z_{i,m} \right)$$

Или в упрощенной форме:

$$Y(m) = \frac{n}{N} \left(\frac{1}{n} \sum_1^n z_{i,m} - \frac{1}{N-n} \sum_{n+1}^N z_{i,m} \right)$$

$$G = \max_{1 \leq m \leq N} |Y(m)|$$

Если $G < h$ – делается вывод об отсутствии аномалий [1].

Алгоритм на основе дискретного вейвлет преобразования может работать в двух режимах:

- критерий Фишера;
- критерий Кохрана.

В данном алгоритме используется метод скользящих окон W_1 и W_2 , что позволяет увеличить надёжность обнаружения незначительных аномалий, свидетельствующих о наличии сетевой атаки.

Критерий Фишера предложен для обнаружения изменений в дисперсиях выборок окон W_1 и W_2 . Распределение выборок считается гауссовским. В каждый момент времени (положении окон) t на масштабном уровне j выдвигаются две статистические гипотезы о равенстве дисперсий двух выборок $\{d_{1x}, d_{2x}, d_{3x}, \dots, d_{nx}\}_{t,j}$ и $\{d_{1y}, d_{2y}, d_{3y}, \dots, d_{my}\}_{t,j}$: нулевая $H_0: \sigma_{12t,j} = \sigma_{22t,j}$ и альтернативная $H_1: \sigma_{12t,j} \neq \sigma_{22t,j}$.

Алгоритм обнаружения выбросов в гауссовском процессе на основе анализа аномального изменения дисперсий записывается как:

$$z_{t,j} = \frac{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (d_{iy} - \bar{d}_y)^2}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_{ix} - \bar{d}_x)^2}$$

Введем обозначения:

$$S_{1,t,j}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_{ix} - \bar{d}_x)^2$$

$$S_{2,t,j}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (d_{iy} - \bar{d}_y)^2$$

$$\bar{d}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ix}$$

$$\bar{d}_y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_{iy}$$

где $S_{1,t,j}^2$ и $S_{2,t,j}^2$ – выборочные дисперсии выборок последовательности деталей на масштабном уровне j в окнах W_1 и W_2 , а \bar{d}_x и \bar{d}_y – выборочные средние выборок последовательности деталей на масштабном уровне j в окнах W_1 и W_2 .

С учетом введенных обозначений:

$$Z_{t,j} = \frac{S_{2,t,j}^2}{S_{1,t,j}^2}$$

Нулевая гипотеза опровергается в пользу альтернативной, в случае если $Z > \text{Fr}(v_1, v_2)$, где $\text{Fr}(v_1, v_2)$ – p -квантиль распределения Фишера с $v_1 = n-1$ $v_2 = m-1$.

Критерий Кохрана предложен для обнаружения изменений среднего значения выборок аппроксимации $\{a_{1x}, a_{2x}, a_{3x}, \dots, a_{nx}\}_{t,j}$ и $\{a_{1y}, a_{2y}, a_{3y}, \dots, a_{my}\}_{t,j}$.

Алгоритм обнаружения выбросов на основе анализа аномального изменения среднего значения выборки записывается как:

$$Y = \frac{1}{s} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ix} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_{iy} \right)$$

Вводим обозначения:

$$S_{1,t,j}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{ix} - \bar{a}_x)^2$$

$$S_{2,t,j}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (a_{iy} - \bar{a}_y)^2$$

$$S_{t,j}^2 = \frac{S_{1,t,j}^2}{n} + \frac{S_{2,t,j}^2}{m}$$

$$\bar{a}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ix}$$

$$\bar{a}_y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_{iy}$$

где $S_{1,t,j}^2$ и $S_{2,t,j}^2$ - выборочные дисперсии выборок последовательности деталей на масштабном уровне j в окнах W1 и W2, а \bar{a}_x и \bar{a}_y - выборочные средние выборок последовательности деталей на масштабном уровне j в окнах W1 и W2.

С учетом введенных обозначений алгоритм принимает вид:

$$Y = \frac{1}{S_{t,j}} (\bar{a}_y - \bar{a}_x)$$

Критические значения статистики вычисляются по формуле:

$$t'_p = \frac{f_1 t_p(v_1) + f_2 t_p(v_2)}{f_1 + f_2}$$

где $f_1 = S_1^2 / n$, $f_2 = S_2^2 / m$; $t_p(v)$ - p -квантиль распределения Стьюдента с v степенями свободы ($v_1 = n - 1$ и $v_2 = m - 1$) [2].

Для Алгоритма на основе сумм квадратов вейвлет-коэффициентов определим алгоритмы обработки для коэффициентов детализации и аппроксимации:

$$S_d^{(\Psi)}(j) = \sum_{k=0}^K (d_{j,k}^{(\Psi)})^2, j = \overline{1, M} \quad k = \overline{0, 2^{M-j} - 1}$$

$$S_a^{(\Psi)}(j) = \sum_{k=0}^K (a_{j,k}^{(\Psi)})^2, j = \overline{1, M} \quad k = \overline{0, 2^{M-j} - 1}$$

Для коэффициентов детализации можно считать, что они являются совместными, независимыми стандартными нормальными случайными величинами. В результате случайная величина имеет распределение хи-квадрат с K степенями свободы.

Распределение хи-квадрат является частным случаем гамма-распределения, плотность которого имеет вид:

$$W_{2(k)}(S_{j,d}) = \gamma\left(\frac{K}{2}, \frac{1}{2}\right) = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{K/2}}{\Gamma(K/2)} S_{j,d}^{K/2-1} e^{-S_{j,d}/2}$$

где $K_j = 2^{M-j}$.

При $T \rightarrow \infty$ имеет асимптотически хи-квадрат распределение как сумма квадратов независимых стандартных гау-

совских величин. Критерий обнаружения разладки основанный на алгоритме

$$S_d^{(\Psi)}(j) = \sum_{k=0}^K (d_{j,k}^{(\Psi)})^2, j = \overline{1, M} \quad k = \overline{0, 2^{M-j} - 1},$$

определяется для каждого уровня разрешения как:

$$P_j = 1 - F_{\chi_j^2}(S_d^{(\Psi)}(j))$$

где

$$F_{\chi_j^2}(z) = \gamma\left(\frac{K}{2}, \frac{z}{2}\right) \Gamma^{-1}\left(\frac{K}{2}\right)$$

На каждом уровне разрешения проверяются гипотезы $H_{0,j}$ и $H_{1,j}$.

Решающее правило состоит в следующем: принимается гипотеза H_0 - об отсутствии в наблюдаемой реализации аномального выброса, против гипотезы H_1 о наличии аномального выброса:

$$\begin{cases} H_{0,j}, P_j > \alpha^* \\ H_{1,j}, P_j \leq \alpha^* \end{cases}$$

где α^* - уровень значимости критерия.

При использовании коэффициента аппроксимации:

$$\begin{cases} H_{1,j}, S_a^{(\Psi)} > U_{nop,j,a} \\ H_{0,j}, S_a^{(\Psi)} \leq U_{nop,j,a} \end{cases}$$

где $U_{nop,j,a}$ - пороговый уровень [3].

Рассматривая алгоритм на основе максимума квадратов вейвлет-коэффициентов определим для каждого уровня разрешения квадраты вейвлет-коэффициентов для разложения при обработке коэффициентов детализации:

$$I_{d,j,k}^{(\Psi)} = (d_{j,k}^{(\Psi)})^2, k = \overline{0, 2^{M-j} - 1}$$

$$I_{a,j,k}^{(\Psi)} = (a_{j,k}^{(\Psi)})^2, k = \overline{0, 2^{M-j} - 1}$$

При $T \rightarrow \infty$ $I_{d,j,k}^{(\Psi)}$ формула имеет асимптотически хи-квадрат распределение с одной степенью свободы:

$$I_{a,j,k}^{(\Psi)} \in W_{\chi^2(k=1)}(S_{j,d}) = \gamma\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$$

На каждом уровне разрешения находим максимум для $I_{d,j,k}^{(\Psi)}$.

Находим асимптотическое распределение вероятностей статистики для максимума $I_{d,j,k}^{(\Psi)}$.

Пусть $F_{I_{j,max}^{(\Psi)}(x)}$ - функция распределения максимума периодограммы на уровне разрешения $F_{\chi_j^2(x)}$ - функция распределения хи-квадрат с одной степенью свободы

$$K_j = 2^{M-j}.$$

Критерий обнаружения разладки последовательности, основанный на максимуме квадратов вейвлет-коэффициентов детализации:

$$\begin{cases} H_{0,j}, P_j > \alpha^* \\ H_{1,j}, P_j \leq \alpha^* \end{cases}$$

где P:

$$P_j = F_{\chi_j^2}^{k_j} \left(I_{j,max}^{(\Psi)} \right)$$

Гипотеза H_0 принимается в том случае, если на всех уровнях разрешения принимаются гипотезы $H_{0,j}$. Альтернативная гипотеза принимается в том случае, если принимается хотя бы одна гипотеза $H_{1,j}$.

Для вейвлет-коэффициентов аппроксимации:

$$\begin{cases} H_{1,j}, P_j > U_{nop,j,a} \\ H_{0,j}, P_j \leq U_{nop,j,a} \end{cases}$$

Гипотеза H_0 принимается в том случае, если на всех уровнях разрешения принимаются гипотезы $H_{0,j}$. Альтернативная гипотеза принимается в том случае, если принимается хотя бы одна гипотеза $H_{1,j}$ [4].

Проверка эффективности работы алгоритмов обнаружения вторжений проводилась с использованием 4х типов трафика:

- аномальный реальный трафик
- аномальный сгенерированный
- нормальный реальный трафик
- нормальный сгенерированный трафик

Образцы аномального реального трафика были получены с сайта <https://stratosphereips.org/> и содержат такие виды аномалий как:

- Shifu Banking Trojan;
- Tinba Banking Trojan;
- Locky Ransomware;
- Cerber Ransomware;
- Trojan.Rasftuby;
- Trojan LuminosityLink;
- Worm.Allapple;
- Worm.Netsky;
- TrojanSpy;
- Wannacry;
- Trickster;
- Artemis;
- Snojan;
- Yakes;
- Ursnif;
- Graftor.

Аномальный сгенерированный трафик получен средствами сетевого симулятора NS-3.

Нормальный реальный трафик был получен с помощью использования программы Wireshark.

Нормальный сгенерированный трафик был получен с использованием пакета прикладных программ MATLAB. Для создания модели трафика использовалась модель «Input M/G/∞». В данной модели предполагается, что количество источников трафика неограниченно, и в каждый момент

времени могут появиться новые источники трафика со своими параметрами.

В модели «Input M/G/∞» на временной оси задан пуассоновский процесс с интенсивностью λ , т.е. $A = (\dots, A_0, A_1, A_2, \dots)$ – последовательность случайных величин, равных количеству событий этого потока в соответствующем временном окне [5].

Результаты работы алгоритмов представлены в таблице ниже:

Алгоритм	Процент ложных срабатываний	Процент пропущенных аномалий
Нормальный трафик (сгенерированный)		
Алгоритм Бродского-Даровского	0,27%	
Алгоритм на основе дискретного вейвлет преобразования	0,26%	
Алгоритм на основе сумм квадратов вейвлет-коэффициентов	0,47%	
Алгоритм на основе максимума квадратов вейвлет-коэффициентов	0,47%	
Аномальный трафик (сгенерированный)		
Алгоритм Бродского-Даровского		2,27%
Алгоритм на основе дискретного вейвлет преобразования		2,1%
Алгоритм на основе сумм квадратов вейвлет-коэффициентов		2,97%
Алгоритм на основе максимума квадратов вейвлет-коэффициентов		3,21%
Нормальный трафик (реальный)		
Алгоритм Бродского-Даровского	2,3%	
Алгоритм на основе дискретного вейвлет преобразования	2,22%	
Алгоритм на основе сумм квадратов вейвлет-коэффициентов	0,96%	
Алгоритм на основе максимума квадратов вейвлет-коэффициентов	1,03%	
Аномальный трафик (реальный)		
Алгоритм Бродского-Даровского		6,04%
Алгоритм на основе дискретного вейвлет преобразования		5,79%
Алгоритм на основе сумм квадратов вейвлет-коэффициентов		4,89%
Алгоритм на основе максимума квадратов вейвлет-коэффициентов		5,11%

На основе полученных данных наиболее эффективным является алгоритм на основе сумм квадратов вейвлет-коэффициентов, однако он является достаточно сложным в реализации и требует большего числа ресурсов. Из более простых алгоритмов, наибольшую эффективность показывает алгоритм на основе дискретного вейвлет преобразования.

Литература

1. Шелухин О. И., Филинова А.С. Обнаружение сетевых аномальных выбросов трафика методом разладки Бродского-Дарховского-2013.
2. Шелухин О.И., Гармашев А.В. Обнаружение DoS и DDoS-атак методом дискретного вейвлет-анализа-2011.
3. Шелухин О.И., Панкрушин А.П. Оценка достоверности об-

наружения аномалий сетевого трафика методами дискретного вейвлет-анализа // Т-Сотт: Телекоммуникации и Транспорт. 2013.

4. Шелухин О.И., Филинова А.С. Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения аномалий трафика методами дискретного вейвлет-анализа.

5. Благов А.В. Построение имитационных моделей самоподобного телекоммуникационного трафика. 2011.

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Куропов Алексей Владимирович,
магистрант, кафедра «Информационной безопасности» МТУСИ, Москва, Россия,
alexey0019@rambler.ru

Руднев Алексей Николаевич,
к.т.н., доцент, кафедра «Информационной безопасности» МТУСИ, Москва, Россия,
alexrudnev@mail.ru

В современном обществе информация является одним из важнейших ресурсов, накопление которой растёт в геометрической прогрессии, и её защита является одной из актуальнейших задач. Как говорится, «кто владеет информацией, тот владеет миром». Безусловно, все аспекты безопасности очень важны, но сегодня на первое место, как во многих передовых странах, так и в России, выходит информационная безопасность.

Защита информационной системы начинается с того, что для начала необходимо составить модель нарушителя этой самой системы. Модель нарушителя – это перечисление определённых предположений о возможных нарушителях, которых может быть как один, так и несколько, а так же об их возможной квалификации, материальных и технических средствах и т. д.

Эта модель нарушителя уже будет являться необходимым условием для построения системы защиты с целью обеспечения информационной безопасности.

На практике обычно строится неформальная модель нарушителя, которая отражает причины и мотивы побуждающие его к незаконным действиям, возможности, знания, преследуемые им цели, приоритетность этих целей для нарушителя, наиболее вероятные пути достижения поставленных целей. Это может быть способ реализации исходящих от нарушителя угроз, возможная тактика, характер и место действий и т. п. Для достижения нарушителем поставленных перед собой целей, необходимо приложить определённые усилия и использовать ресурсы.

После определения основных причин нарушений, появляется возможность оказать на них необходимое воздействие или нужным образом скорректировать требования к этой системе защиты от данного вида угроз. Анализируя нарушения защиты нужно уделять должное внимание субъекту (личности) нарушителя. Чтобы в дальнейшем избежать повторения подобных случаев, необходимо устранять мотивы или причины, которые побудили к нарушению.

Так же оцениваются реальные оперативные технические возможности нарушителя для воздействия на защищаемый объект или на систему защиты. Под техническими возможностями имеется в виду перечень всевозможных технических средств, которые могут находиться у нарушителя в момент совершения действий, направленных на преодоление системы информационной защиты.

На основании чего можно выделить некоторые основные виды нарушителей информационной безопасности:

- Н1 – Одиночный нарушитель;
- Н2 – Одиночный нарушитель со средствами или связями;
- Н3 – Группа лиц с ограниченным финансированием;
- Н4 – Группа лиц с неограниченным финансированием;

- Н5 – Государственные структуры или спецподразделения;

Одиночный нарушитель, это нарушитель обладающий стандартным персональным компьютером, с обычным (реже выделенным) выходом в сеть Интернет. Этот тип нарушителя очень сильно ограничен в плане финансов. Он не обладает большими знаниями в области компьютерных технологий и как правило для реализации угроз использует готовые компьютерные программы, которые доступны в Интернете, и уже известные до этого уязвимости. Такой тип нарушителя не обладает достаточными знаниями о построении информационной системы банка и совершённые им действия больше носят скорее экспериментальный характер. Нет явной цели получить доступ к секретной информации или изменить её с целью получения выгоды. Имеется просто обычный интерес провести некоторые манипуляции с информационной системой банка, которые недоступны простым пользователям сети Интернета. Характер действий является скрытым, но в меру своих возможностей. Чаще всего, после проведения успешного воздействия, останавливается.

Следующий тип злоумышленника – это одиночный нарушитель со средствами или связями. Этот тип злоумышленника не обладает достаточными финансовыми возможностями. Так же нет возможности использования вычислительной мощности уровня крупного предприятия. Отсутствует и возможность использовать мощный пропускной канал в сеть Интернет. Но есть суммарные знания в области компьютерных технологий, которые представляют большую опасность.

Подобные злоумышленники используют все доступные им приемы для осуществления сканирования информационных систем с целью выявить новые уязвимости, так же применяются методы реализации угроз через известные уязвимости. Данный тип нарушителя в состоянии писать программы, которые используют найденные уязвимости: сетевые черви, вирусы, трояны и другие вредоносные программные средства. Для осуществления своих планов они имеют возможность встраивать свои вредоносные программы в вычислительные системы атакуемых объектов.

Группа лиц с ограниченным финансированием обладает достаточно высокими знаниями в области информационных технологий, а так же имеет в возможность при организации атак использовать мощные вычислительные сети и каналы передачи данных для выхода в интернет с относительно высокой пропускной способностью. Имеет в своём наличии достаточно высококвалифицированных специалистов, но ограниченное финансирование не подразумевают возможности нанять нужного специалиста или специалистов со стороны для решения каких-то возникающих в ходе деятельности задач.

Группа лиц с неограниченным финансированием включает в себя наличие собственных мощных вычислительных сетей и каналов передачи данных с высокой пропускной способностью для выхода в сеть Интернет. Наличие больших финансовых возможностей. Специалисты с высокими знаниями в области компьютерных технологий, как в самой компании, так и специалистов нанятых "под заказ". В связи с тем, что есть большие финансовые возможности, так же возможны и попытки подкупа сотрудников службы безопасности.

Для получения сведений о функционировании системы информационной защиты могут предприниматься серьезные усилия, в том числе внедрение своего представителя в службу безопасности атакуемого объекта. В качестве преследуемых целей может быть блокирование функционирования информационной системы, подрыв имиджа, а так же деструктивные действия, которые направлены на причинение непоправимого ущерба, вплоть до полного разорения. Для этих целей используются самые продвинутые методы проникновения в информационные системы и воздействия в ней на потоки данных. Действия этого типа нарушителя могут носить как скрытый, так и открытый, то есть демонстративный характер. Действия по взлому производятся до осуществления своих намерений.

Самым опасным нарушителем для службы безопасности являются угрозы со стороны спецслужб или разведывательных служб иностранных государств и коррумпированные представители различных структур ведомственного уровня. В их распоряжении имеются практически неограниченные вычислительные и финансовые возможностями. Они самостоятельно могут регулировать и контролировать трафик в сети Интернет. У них на службе состоят самые высокопро-

фессиональные специалисты в компьютерных технологиях. Данные специалисты участвуют в разработке стандартов по безопасности информации и сетевых протоколов. Они хорошо знают возможности и недостатки в компьютерных технологиях.

После составления полной модели нарушителя необходимо определить наиболее вероятных нарушителей. Тут важно понять, кто вообще будет иметь интерес проводить атаки на охраняемый объект. И уже исходя из этого выстраивать наиболее подходящую систему защиты.

Литература

1. *Миронова В.Г., Шелупанова А.А.* Модель нарушителей безопасности конфиденциальной информации // Информатика и системы управления. 2012. № 1(31). С. 28-35.
2. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при обработке в информационных системах персональных данных (УВТ. 15.02.2008 ФСТЭК РФ) // ФСТЭК России.
3. *Запечников С.В.* и др. Информационная безопасность открытых систем: в 2-х т. Т. 1. М.: Горячая Линия – Телеком, 2006.
4. *Малыгин И.Г., Козьмовский Д.В.* Методы обеспечения безопасности распределенных информационных систем МЧС России, основанных на анализе трафика и контроле сетевой деятельности пользователей // Проблемы упр. рисками в техносфере. 2013. № 2 (26). С. 78-82.
5. *Синецук Ю.И.* и др. Основные угрозы и направления обеспечения безопасности единого информационного пространства // Вестн. С.-Петерб. ун-та МВД России. 2013. № 2. С. 150-154.

МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ УСЛУГ СИСТЕМЫ «ЭРА-ГЛОНАСС»

Максименко Владимир Николаевич,
МТУСИ, к.т.н., доцент кафедры ИБ, Москва, Россия,
vladmaks@yandex.ru

Статья посвящена анализу понятия «целостность объекта», свойств целостных объектов для целей модернизации телекоммуникационных систем и услуг на основе эволюционного подхода и инженерных CASE-методов проектирования. Методология, как составная часть CASE-технологии, обеспечивает регламентацию процесса проектирования защищенной телекоммуникационной системы и обеспечение управления этим процессом с тем, чтобы повысить вероятность как выполнения требований информационной безопасности, так и характеристик потребительских свойств услуг телекоммуникационной системы.

Ключевые слова: целостный объект, структура, телекоммуникационная система, информационная безопасность, CASE-технология, методология, метод, нотация, инструментальные средства.

Методологические основы модернизации систем: общие положения целостных объектов

Предложения по модернизации системы «ЭРА-ГЛОНАСС» базируются на общих положениях целостных объектов. В отличие от определения понятия «целостности системы», приведенного в законе «О связи», в данной работе свойства целостной системы рассматриваются не с позиций исключения узлов или связей из системы, а, наоборот, путем введения дополнительных узлов и связей [1]. При этом новый целостный объект сохраняет старые и приобретает новые свойства. С развитием науки и производства различные предметы, взаимодействуя между собой, объединяются в комплексы, сети и системы, образуя более сложные целостные объекты, изучение, создание и управление ими становится все более трудным делом.

Изучение и создание таких объектов происходит при обязательном участии восприятия. Проблема восприятия целостного объекта сближается с проблемой формирования у человека целостной картины мира.

Объем информации о мире, которым располагает человечество, неизмеримо превосходит возможности восприятия и хранения информации человеком. Наука не справляется с задачей сокращения избыточности в уже накопленном знании. Это приводит к узкой и сверх узкой специализации, возникает потеря общего языка (нотаций) даже в рамках одной науки. Все явственнее проявляется необходимость в синтетических направлениях как внутри отдельных научных областей и в научных комплексах, так и в науке в целом. Примерами могут служить общая теория систем, исследования операций, теория автоматов, теория автоматического управления, системотехника и другие.

Появляются средства объединения и обобщения ранее разрозненных и пока не связанных между собой данных, происходит выработка более точных языков описания, создание систем параллельной обработки больших объемов данных. Однако, не смотря на успехи в этом направлении, необходимы специальные усилия для преодоления противоречия между объемом накопленных наукой знаний и ограничениями отдельного человека в усвоении этой информации.

В качестве примера преодоления существующего противоречия можно привести проблему оценки и управления качеством услуг в телекоммуникационных сетях.

В зависимости от уровня развития науки и сложности телекоммуникационной системы уровень познания объекта как целого бывает различным. Вершина познания может быть достигнута при совместном использовании принципов причинности и структурности при доминировании одного из них в каждом конкретном случае.

Структура – одна из основных характеристик целостного объекта. Целостность – объективное свойство целостных объектов.

В науке используются два основных метода изучения целого: «от части к целому» и «от целого к части». В познании так же существуют два пути к познанию целого: анализ с последующим синтезом и синтез ранее накопленных частных знаний. При первом подходе делается попытка вывести свойства целого из свойств его частей. Во втором случае за исходное принимается целое, и поведение частей выводится из законов, управляющих целым. Каждый подход может привести к успеху в конкретных исследованиях. В общем случае необходимо использовать оба метода.

Метод исследования телекоммуникационной системы как целого объекта с использованием принципов причинности и структурности обеспечивает восприятие только статических свойств системы, не обладает исчерпывающей полнотой и должен быть дополнен идеей эволюции. Эволюционный подход к исследованию телекоммуникационной системы предполагает исследование различий не только между уровнями организации и этапами эволюции, но и обнаружение инвариантов эволюции, принадлежащих всем стадиям развития. С одной стороны, объекты телекоммуникационных систем становятся более сложными, принимают формы комплексов, систем, а их число постоянно возрастает. Непрерывно растет объем научно-технической информации, которую требуется использовать для их создания. С другой стороны, уменьшается время морального старения технических объектов. Все это приводит к тому, что объем исследовательских и проектных работ возрастает примерно на порядок за время технологического цикла, а длительность цикла сокращается каждый раз в полтора раза.

Выходом из создавшейся ситуации представляется использование инженерных методов проектирования на основе накопленных знаний в различных областях науки и техники, вычислительной математики, компьютерной техники и информационных технологий, получивших название CASE-технология [2]. CASE-технология объединяет такие понятия как методология, метод, нотация и инструментальные средства. Методология обеспечивает регламентацию процесса проектирования телекоммуникационной системы и обеспечение управления этим процессом с тем, чтобы повысить вероятность как выполнения требований процесса разработки, так и характеристики потребительских свойств самой телекоммуникационной системы. Метод – это стандартизованная процедура формирования описаний компонентов проектируемой системы или приложений с

использованием соответствующего набора графических и текстовых обозначений для описания структуры системы и способов ее функционирования, структуры и потоков данных, этапов и процессов их обработки. В рамках методологии может быть использовано несколько методов на разных этапах жизненного цикла объекта (телекоммуникационной системы). К инструментальным средствам относятся любые программные средства, автоматизирующие те или иные или их совокупность процессов проектирования телекоммуникационной системы.

В качестве основы для анализа основных направлений модернизации системы «ЭРА-ГЛОНАСС» воспользуемся методом СМРИКУ [3] и нотациями визуального языка моделирования UML [4].

1. Анализ вариантов цели создания системы «ЭРА-ГЛОНАСС»

Алгоритм функционирования такой сложной автоматизированной системы и, соответственно, оценка качества зависят от сформулированной цели создания АС «ЭРА-ГЛОНАСС». В докладе представлены результаты сравнительного анализа зависимости сформулированных в разных источниках [5-7] вариантов цели создания системы «ЭРА-ГЛОНАСС» и ее структуры как целостной системы:

1. «Цель создания государственной системы экстренного реагирования при аварии «ЭРА-ГЛОНАСС» - сохранение жизни и здоровья пострадавших в дорожных авариях, а также в других нештатных и чрезвычайных ситуациях на дорогах России [5]. Это достигается использованием возможностей современных технологий: телекоммуникационных, информационных, спутниковой навигации (ГЛОНАСС и GPS). Они позволяют сократить до нескольких секунд время доведения информации о координатах и обстоятельствах происшествия до системы 112 и экстренных оперативных служб. В результате время до оказания первой помощи пострадавшим сокращается до 30%» [5].

2. «Основной целью автоматизированной системы (АС) «ЭРА-ГЛОНАСС» является сокращение времени реагирования экстренных служб при дорожно-транспортных происшествиях и иных происшествиях на автомобильных дорогах Российской Федерации» [6].

3. «Основные цели создания системы «ЭРА-ГЛОНАСС» – снижение тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий благодаря ускорению прибытия и начала оказания помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях» [7].

Направления модернизации

Расширение состава потребителей. Цель достигается введением нового оборудования потребителя и нового программного обеспечения базовой сети. Пример новых потребителей – люди с ограниченными возможностями, требующими помощи в чрезвычайных ситуациях.

Введение новых услуг в систему. Цель достигается за счет дополнительных программных приложений. Пример новой услуги – предупреждение дорожно-транспортного происшествия посредством оперативного оповещения автомобилиста о наказании за нарушение скоростного режима.

Разработка новых систем с использованием технологии системы спутниковой навигации. Пример новой системы – заказ и доставка почтовых (товарных) отправлений, модифицированная курьерская доставка в малонаселенной сельской местности.

2. Проектирование инфокоммуникационных систем и приложений на основе метода СМРИКУ и нотаций визуального языка моделирования UML позволяют объектам, сформированным с использованием языка UML, внедрять программное обеспечение проектируемой системы которое сможет обеспечить «бесшовное» взаимодействие с программным обеспечением уже существующим в системе.

Литература

1. Максименко В.Н., Васильев М.А. Методика расчета стандартизированных показателей качества дополнительных услуг на сетях подвижной связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. № 4. 2011. С. 26-28.

2. Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений: Пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2011. 704 с.

3. Максименко В.Н., Васильев М.А. Методика системного проектирования инфокоммуникационных услуг сетей 3G // Электросвязь. № 6.2011. С. 37-41.

4. Фаулер М., Скотт К. UML: Основы. Пер. с англ. СПб: Символ-Плюс, 2002. 192 с.

5. «РУБЕЖ» Информационно-аналитический журнал, Продукт недели: Система «ЭРА-ГЛОНАСС» 28.10.2013 – 17.49.

6. Постановление Правительства РФ О создании автоматизированной системы экстренного реагирования при авариях «ЭРА-ГЛОНАСС» РФ.

7. Главное управление информационных технологий и связи Тверской области, <http://quitis.ru>.

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИКОЙ РАДИОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Максимчук Даниил Николаевич,
Григораш Кирилл Валерьевич,

Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт «Эталон», Москва, Россия,
daniil_max@mail.ru

Данная статья посвящена проблемам логистического обслуживания на радиостроительных предприятиях, рассматривается актуальность интеллектуализации управления логистикой, представлена общая постановка задачи принятия решений при использовании методов интеллектуальной поддержки.

Ключевые слова: логистика, радиостроение, логистическое управление, интеллектуализация.

Радиостроение – это разработка и промышленное производство радиоэлектронных приборов, систем и оборудования военного, промышленного, бытового и другого назначения. Это современное высокотехнологичное оборудование, высококвалифицированные кадры, наукоемкое производство.

Продукция радиостроительных предприятий стала узкоспециализированной. Из-за высокого уровня её сложности, для обеспечения технологической независимости и информационной безопасности электронных систем необходимы отечественные разработки, однако сегодня в доле мирной продукции радиоэлектронной промышленности свыше 60% составляет импортная электронно-компонентная база, в оборонном радиостроении доля ввозимых из-за рубежа деталей составляет около 90%. Государственная программа «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» ставит перед отраслью радиостроения следующие задачи: создание современной инфраструктуры отрасли, увеличение доли импортозамещающих и инновационных товаров в общем объеме выпуска радиоэлектронной продукции.

Специфика управления радиостроительным предприятием заключается в сложности, а иногда и секретности, исходных данных и большом количестве задействованных работников, через которые проходит необходимая информация, начиная с аналитического отдела и заканчивая производственным. В связи с такой длиной логистической цепочки, возникает масса проблем с принятием верного решения и передачи достоверной информации следующему отделу. Неправильное решение вызывает механизм «цепной реакции», что приводит к возрастанию стоимости ущерба, наносимого предприятию ошибочными действиями.

В этом контексте высокий уровень логистического обслуживания предприятий в соответствии с поставленными задачами и спецификой отрасли является необходимым условием эффективного управления. При этом отечественные радиостроительные компании в связи с недостаточным развитием логистического рынка и сложностью требуемых услуг предпочитают, как правило, иметь собственную логистику.

Управление предприятием на основе использования разных современных зарубежных логистических концепций: концепция «точно в срок» (JIT), микрологистическая система «Kanban», «MRP-системы» - базируется на понимании факта прибыльности в результате наилучшего удовлетворения запросов потребителей на основе изучения рынка ресурсов, контроля качества сырья и готовой продукции, усовершенствования систем материально-технического и информационного обеспечения предприятий. При этом основной

акцент уделяется клиенту и выполнение его потребностей в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

Проблема логистического обслуживания предприятий отражена в работах следующих зарубежных и отечественных авторов: Бауерсокс Д.Дж., Вуд Д.Ф., Вордлоу Д.Л., Уотерс Д., Фирон Х., Линдерс М., Сергеев В.И., Смехов А.А., Громов Н.Н., Клочков В.Н., Гусев С.А. и др. Несмотря на большое число публикаций и исследований проблемы использования логистических систем в управлении предприятием, этот вопрос остается открытым. Вместе с тем значительный круг вопросов, которые касаются использования логистических систем в управлении материальными и информационными потоками исследовано недостаточно.

В связи с активным развитием ИТ-технологий все более важное значение приобретает корпоративные информационные системы. Также в последнее десятилетие наблюдается четкая тенденция к группировке и централизации управления всей системой логистики. Такой подход снимает многие конфликты между различными функциями, и обеспечивает эффективный анализ издержек. Такая централизация на крупном радиостроительном предприятии невозможна без внедрения методов интеллектуальной поддержки в логистическое управление.

Целью настоящей статьи является обоснование актуальности интеллектуализации управления логистикой радиостроительного предприятия как качественно нового механизма оптимизации текущих процессов.

Интеллектуализация управления логистическими системами, позволяет проектировать и адаптивно изменять состав и структуру управления. Использование систем искусственного интеллекта для обеспечения качественного планирования и управления логистическими системами дает возможность поиска оптимальных управленческих решений, обеспечивающих мониторинг и быструю реакцию на происходящие изменения за счет скорости и точности информационно-коммуникативного обмена данными.

На радиостроительном предприятии при принятии решений рассматривается как правило множества альтернатив, на котором ищется оптимальное решение. При этом приходится генерировать и оценивать альтернативы уже в процессе выбора с помощью специальных методов измерения полезности альтернатив. Также во многих управленческих задачах присутствуют нечеткие переменные и критерии, создающие так называемые расплывчатые ситуации. Для эффективности выбора в данных ситуациях и создаются автоматизированные экспертные системы поддержки принятия решений.

Представим общую постановку задачи принятия решения при использовании методов интеллектуальной поддержки.

Если Ω – множество вариантов, а P – принцип оптимальности, то решением задачи (Ω, P) является множество $\Omega_P \subseteq \Omega$, полученное с помощью принципа оптимальности P . Математическим выражением принципа оптимальности P служит функция выбора C_P . Она сопоставляет любому подмножеству $X \subseteq \Omega$ его часть $C_P(X)$. Решением Ω_P исходной задачи и является множество $C_P(X)$.

Как Ω так и P могут быть неизвестными.

Информацию, необходимую для выделения Ω_P получают в процессе решения. Задачу с известными Ω называют задачей выбора, а задачу с известными Ω из P – общей задачей оптимизации.

Элементы множества Ω называются альтернативами или вариантами. Принцип оптимальности P задаёт понятие лучших альтернатив: лучшими считают альтернативы, принадлежащие $C_P(\Omega)$. В практических задачах альтернативы обладают многими свойствами, оказывающими влияние на решение. Одновременный учёт отдельных свойств может быть затруднительным. При этом можно выделить группы свойств, которые агрегируют в виде аспектов – сложных свойств альтернатив, которые одновременно учитывают все свойства, входящих в группу. В частном случае аспект может являться критерием. Критериальным пространством называют пространство, координаты которого есть оценки соответствующих критериев.

Схема процесса принятия решения при этом выглядит так.

Формируется множество Ω , для этого используют условие возможности и допустимости альтернатив, которые определяют конкретными ограничениями задачи. При этом считают известным универсальное множество альтернатив Ω_U . Таким образом, задача формирования Ω является задачей выбора (Ω_U, P_1) , где P_1 – принцип оптимальности, выражающей условия допустимости. Множество $\Omega = C_{P_1}(\Omega_U)$, полученное в результате решения называют исходным множеством альтернатив. Таким образом, общая задача принятия решения сводится к решению двух последовательных задач выбора.

Прикладные результаты теории принятия решений имеют вид алгоритмов решения задач. Основная часть алгоритмов ориентирована на применение в автоматизированных экспертных системах.

При рассмотрении перспектив развития логистики в сфере радиостроительного предприятия, можно заключить, что

достижение оптимального баланса между затратами предприятия и уровнем качества и количества продукции возможно за счет внедрения в сферу управления логистикой методов интеллектуальной поддержки, что позволит обеспечить эффективное развитие отрасли.

Литература

1. *Энгель Е.А.* Модели и методы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-i-metody-intellektualnoy-podderzhki-pri-prinyatii-upravlencheskih-resheniy> (дата обращения: 19.02.2018)
2. *Барсегян А.* Анализ данных и процессов. СПб.: БХВ-Петербург, 2015.
3. *Кузнецова М.* Управление закупками на предприятии. – LAP Lambert Academic Publishing, 2013.
4. *Есинов Б.А.* Методы оптимизации и исследование операций. Конспект лекций: учеб. пособие [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/2140346/> (дата обращения: 19.02.2018).
5. *Осинов В.А.* Проблемы развития логистики в России // Молодой ученый [Электронный ресурс]. URL <https://moluch.ru/archive/117/28947/> (дата обращения: 19.02.2018).
6. *Старкова Н.О., Успенский А.В.* Проблемы и перспективы современной российской логистики [Электронный ресурс]. URL: <http://sibac.info/15009> (дата обращения: 19.02.2018).
7. *Садыков В.М., Ануфриев Е.А.* Использование логистических систем в управлении предприятием [Электронный ресурс]. URL: http://www.rusnauka.com/13_NPN_2010/Economics/65758.doc.htm (дата обращения: 19.02.2018).
8. *Сергеев В.И.* Логистика в современной фирме(РФ) [Электронный ресурс] URL: <https://thermos.wordpress.com/2008/12/22> (дата обращения: 19.02.2018).
9. *Черноморец Д.* Десять тенденций в логистике в ближайшее десятилетие [Электронный ресурс]. URL: <http://www.logist.by/press/view/desiat-tendenciy-v-logistike> (дата обращения: 19.02.2018).
10. *Тихонов Э.* Взгляд в будущее: логистика 2013-2050 [Электронный ресурс]. URL: <http://brainteam.ru/vzglyad-v-budushhee-logistika-2013-2050/> (дата обращения: 19.02.2018).
11. Модели и методы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-i-metody-intellektualnoy-podderzhki-pri-prinyatii-upravlencheskih-resheniy> (дата обращения: 19.02.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПОДВОДНОМ РАСПРЕДЕЛЕННОМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОМ СРЕДСТВЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАВУЧИХ ОБЪЕКТОВ

Митрофанов Егор Михайлович,
студент группы М111601(73), МТУСИ, Москва, Россия,
egor_mitrofanov@outlook.com

Произведено моделирование объекта для магнитометрического средства обнаружения, так же уточнена модель протяженного объекта для более точного моделирования. Были выделены ключевые особенности объектов обнаружения для дальнейшей работы, а также собраны данные для написания алгоритма обнаружения в распределенном магнитометрическом контуре, написаны алгоритмы обнаружения, произведено тестирование и отладка алгоритмов.

Результаты показали, что предложенная модель плавучего объекта применима к реальным объектам, а алгоритмы обнаружения с успехом детектируют объекты в зоне действия распределенного магнитометрического контура.

Применение магнитометрических средств обнаружения на данный момент является своевременной и актуальной задачей, так как дальнейшее совершенствование технических охранно-сигнализационных средств возможно только за счет комплексного использования нескольких каналов приема и обработки данных: сейсмического, акустического, магнитометрического, что позволяет без существенного усложнения алгоритмов обработки данных обеспечить выполнение жестких требования по вероятности правильного обнаружения и времени наработки на ложную тревогу в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки и топологии местности при сохранении достаточной незаметности для средств разведки потенциального нарушителя.

Принцип действия магнитометрических систем обнаружения состоит в том, что искомый объект (нарушитель) обнаруживается по вызываемому им локальному изменению магнитного поля Земли в зоне чувствительности, которая определяется конструкцией и параметрами первичного измерительного преобразователя. Им может быть магнитометрический преобразователь точечного типа или чувствительный элемент распределенного типа, – техническое устройство, преобразующее изменение магнитного поля Земли в электрический сигнал. Объектами обнаружения магнитометрических средств обнаружения являются транспортные средства, боевая техника, а так же люди, имеющие при себе оружие(нож, пистолет, автомат), ручной инструмент(кусачки, отвертки) и различные ферромагнитные предметы в обмундировании, обуви и поклаже.

В настоящее время применяются три типа построения магнитометрических средств обнаружения: однолинейные, двухлинейные и трехлинейные, в зависимости от числа кабельных линий вдоль рубежей охраны.

На основе существующих моделей сигналообразования и результатов исследования магнитометрических моделей объектов обнаружения, представленного полем магнитного диполя, проведем моделирование сигналов двухлинейных и трехлинейных индукционных магнитометрических преобразователей. При этом, изменяемыми факторами являлись следующие параметры объектов обнаружения: магнитный момент, высота перемещения над плоскостью витка и скорость перемещения объекта обнаружения.

Исходные данные для моделирования сигналов магнитометрических преобразователей (см. табл. 1).

При моделировании приняты следующие допущения:

1) объект обнаружения представлен магнитным диполем,

причем его ориентация в пространстве остается неизменной, а место расположения магнитного диполя совпадает с центром масс объекта обнаружения;

2) объект обнаружения движется параллельно плоскости, в которой находятся магнитометрические преобразователи, причем скорость движения и высота с течением времени постоянна в пределах данной реализации.

Таблица 1

Тип ферромагнитного объекта	Магнитный момент $M_{cp}, A \cdot m^2$	Высота перемещения h_z, m
Корабль длиной 120 м	100000	50 м

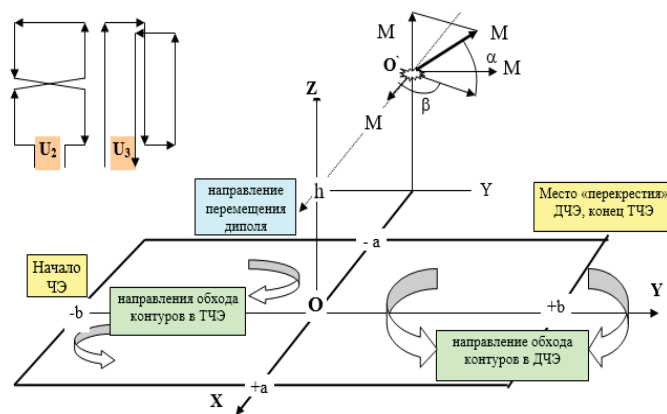


Схема координат для моделирования процесса сигналообразования

Полезный сигнал, снимаемый с одного витка плоской, горизонтально расположенной петли *двухлинейного* магнитометрического преобразователя, в соответствии с законом Фарадея, определяется как ЭДС индукции, равная скорости изменения магнитного потока сквозь площадь сегмента:

Для получения сигнатур ПС ДЛМП координаты диполя удобно представлять в относительном виде ($x = X/Ax, h = hz/Ax$):

$$U(x) = \frac{-200 * V * M * W}{A^2} ((2 * \sin(\alpha) * \sin(\beta) * h * (\frac{x+1}{(h^2 + (x+1)^2)^2} - \frac{x-1}{(h^2 + (x-1)^2)^2})) + \cos(\alpha) * (\frac{h^2 - (x+1)^2}{(h^2 + (x+1)^2)^2} - \frac{h^2 - (x-1)^2}{(h^2 + (x-1)^2)^2}))$$

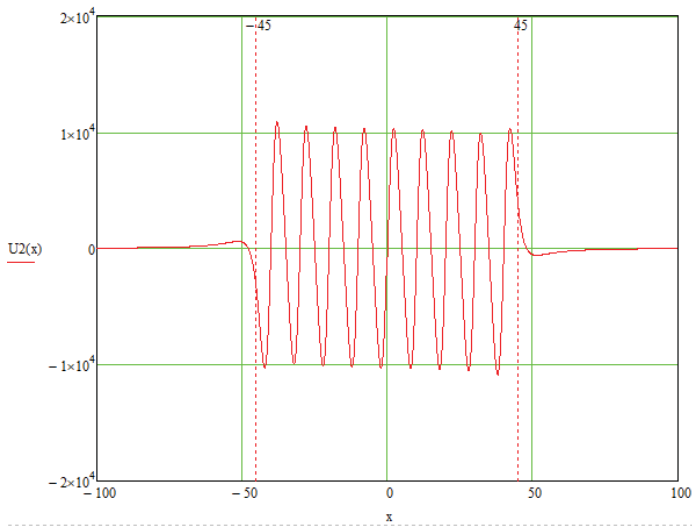
где U – уровень сигнала с выхода *двухлинейного* магнитометрического преобразователя, нВ; V – скорость перемещения диполя, м/с; M – магнитный момент диполя, $A * M^2$; W – число витков петли магнитометрического преобразователя, $\alpha = 0, \beta = \pi/2$.

Для моделирования протяженного объекта(корабля) представим его в виде отдельных точек:

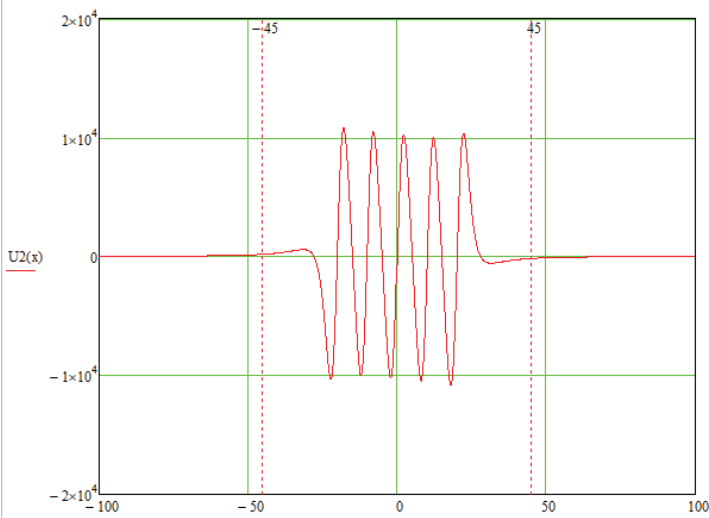
$$U1(x) = U(x) + U(x + 1 * k) + \dots + U(x + n * k)$$

где n = 1, 2, 3 ...; k – постоянный множитель.

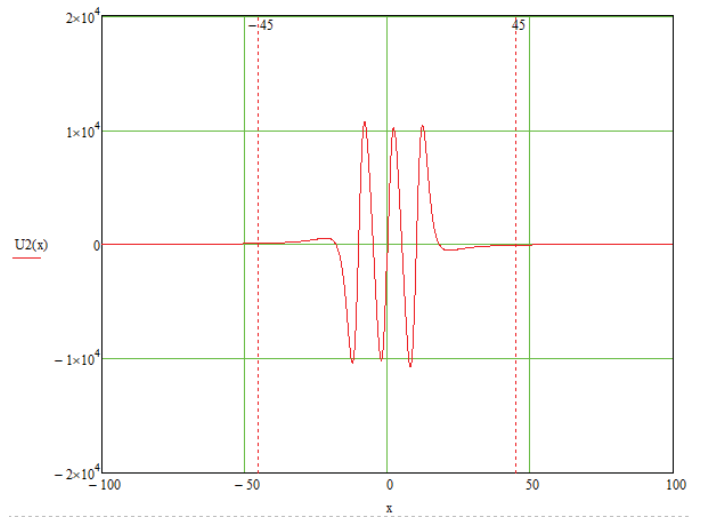
Представим сигнатуры полезных сигналов от объекта обнаружения, рассчитанные по приведенной выше формуле.



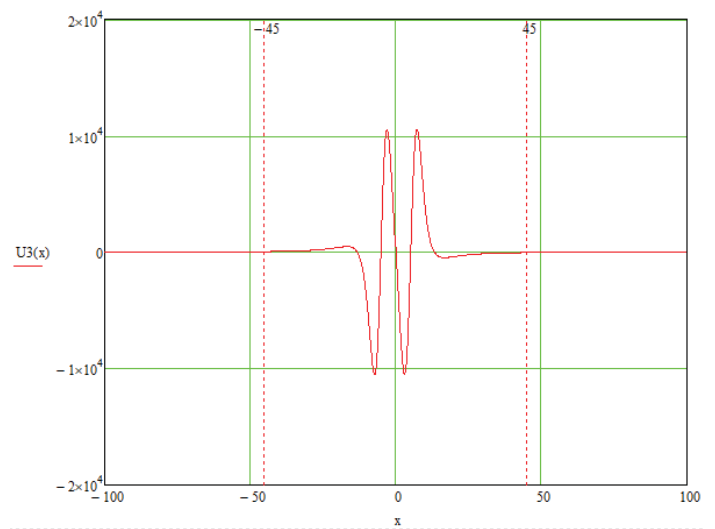
hz=50 м, M=10⁵ A*M², A=2, N=9



hz=50 м, M=10⁵ A*M², A=2, N=5



hz=50 м, M=10⁵ A*M², A=2, N=3

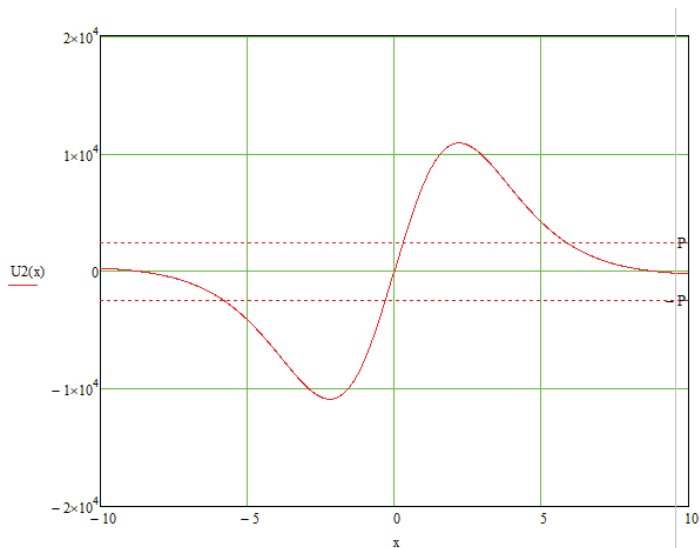


hz=50 м, M=10⁵ A*M², A=2, N=2

В ходе моделирования были получены, проанализированы и выявлены взаимосвязи и зависимости между коэффициентами уравнения сигналообразования в распределенном магнитометрическом контуре. Используя математическое программное обеспечение Mathcad были написаны два алгоритма для детектирования прохода нарушителя и определения некоторых его характеристик.

Пороговый алгоритм обнаружения представляет из себя классический алгоритм, где сигнал с магнитометрического контура сравнивается с определенным значением (порогом) и выносятся соответствующее решение о наличии или отсутствии объекта в зоне действия магнитометрического контура.

На первом этапе моделирования и отладки при моделировании будут учтены только идеальные условия без помех.



$U2(x)$ – сигнал с магнитометрического контура,
 P и $-P$ – пороговые значения

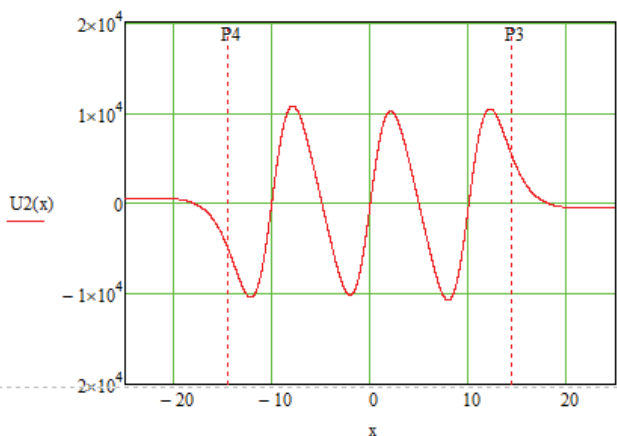
Используя математическое программное обеспечение Mathcad был написан алгоритм, который успешно детектирует объект обнаружения

$$Rf := 20$$

$$P3 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0, 0 + 0.01 \dots 30 \\ \quad s \leftarrow i \text{ if } U2(i) > 0.5 \cdot 10^4 \end{cases}$$

$$P4 := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0, 0 - 0.01 \dots -30 \\ \quad s \leftarrow i \text{ if } -U2(i) > 0.5 \cdot 10^4 \end{cases}$$

$$R := P3 - P4 = 29.02$$



$U2(x)$ – сигнал с магнитометрического контура,
 $P3$ и $-P4$ – вычисляемые значения, R – детектируемая протяженность объекта, Rf – фактическая протяженность объекта

Из приведенных данных можно заметить несовпадения детектируемой и фактической протяженности объекта, это обусловлено особенностью двухлинейного магнитометрического контура, и исправится на этапе тестирования введения

ем линейного поправочного коэффициента.

В приведенном выше примере был использован порог со значением $0.5 \cdot 10^4$, который может быть настроен в зависимости от условий эксплуатации.

Минимум/максимум – алгоритм, детектирующий всплески функции на заданном интервале и выносящий решение о наличии или отсутствии объекта в зоне действия магнитометрического контура.

$$Rf := 20$$

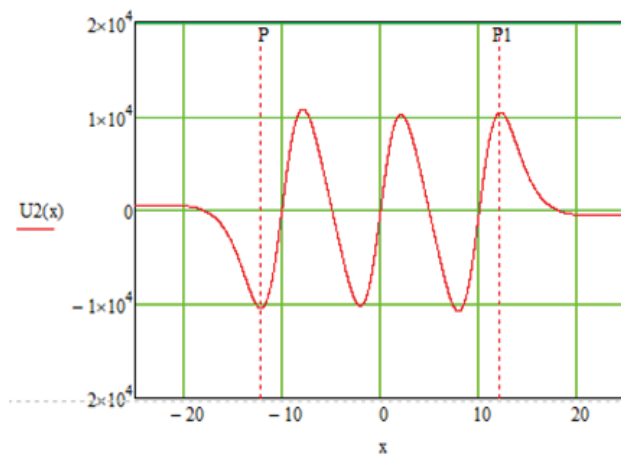
$$P := \text{Minimize}(U2, x)$$

$$P = -12.194$$

$$P1 := \text{Maximize}(U2, x)$$

$$P1 = 12.194$$

$$R := P1 - P = 24.387$$



$U2(x)$ – сигнал с магнитометрического контура,
 P и $-P1$ – вычисляемые значения, R – детектируемая протяженность объекта, Rf – фактическая протяженность объекта

Как видно данный алгоритм так же имеет ошибку в детектировании протяженности объекта обнаружения, и требует введения линейного поправочного коэффициента на этапе тестирования.

По результатам предыдущих этапов работы было произведено тестирование алгоритмов для проверки работоспособности и установления линейных поправочных коэффициентов.

Для удобства восприятия данных полученных в ходе тестирования составим таблицу всех полученных значений (табл. 2).

Таблица 2

Пороговый алгоритм

Фактическая протяженность объекта обнаружения (Rf), м	Детектируемая протяженность объекта обнаружения (R), м	$\frac{Rf}{R}$
10	18,98	0,527
20	29,02	0,689
40	48,98	0,817
60	68,98	0,87

Проведя усреднение, получим поправочный коэффициент для первого приближения порогового алгоритма:

$$\frac{0.527 + 0.689 + 0.817 + 0.87}{4} = 0.72575$$

Таким образом, помножив результаты детектируемой приближенности на поправочный коэффициент, получим:

Фактическая протяженность объекта обнаружения(Rf), м	Детектируемая протяженность объекта обнаружения(R), м	$\frac{Rf}{R}$
10	13,77	0,72
20	21,06	0,94
40	35,54	1,12
60	50,62	1,18

Алгоритм минимум/максимум

Фактическая протяженность объекта обнаружения(Rf), м	Детектируемая протяженность объекта обнаружения(R), м	$\frac{Rf}{R}$
10	13,959	0,716
20	24,387	0,82
40	44,39	0,901
60	64,391	0,93

Проведя усреднение, получим поправочный коэффициент для первого приближения алгоритма минимума/максимума:

$$\frac{0.716 + 0.82 + 0.901 + 0.93}{4} = 0.841$$

Таким образом, помножив результаты детектируемой приближенности на поправочный коэффициент, получим:

Фактическая протяженность объекта обнаружения(Rf), м	Детектируемая протяженность объекта обнаружения(R), м	$\frac{Rf}{R}$
10	11,73	0,852
20	20,50	0,975
40	37,33	1,07
60	54,15	1,10

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что данные алгоритмы с успехом детектируют объекты в зоне действия распределенного магнитометрического контура, однако есть погрешности в определении протяженности объекта.

Использование магнитометрических средств обнаружения в составе современных систем и комплексов охраны позволяет повысить их информативность и помехоустойчивость.

Вывод

Обозначена модель магнитометрического обнаружения объектов, произведено моделирование сигналообразования в чувствительных элементах магнитометрических средств обнаружения на поверхности, произведено моделирование сигналообразования в чувствительных элементах магнитометрических средств обнаружения плавучих объектов, уточнена модель магнитного момента протяженных объектов, собраны данные для написания алгоритма обнаружения в распределенном магнитометрическом контуре, написаны алгоритмы обнаружения, произведено тестирование и отладка алгоритмов.

Литература

1. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1989. 232 с.
2. Иванов В.А., Гомонов А.Н. Результаты исследования воздействия объектов обнаружения на точечные магнитометрические средства обнаружения / Материалы пятой Всерос. науч.-тех. конф «Современные охраняемые технологии и средства обеспечения безопасности объектов». Россия, Пенза-Заречный, 18-20 мая 2004 г.
3. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты. Мир; АСТ. 2002. 386 с.
- 4) Звежинский С.С., Ларин А.И. Периметровые маскируемые магнитометрические средства обнаружения // Специальная техника. 2001. №4, №5.
5. Крюков И.Н., Звежинский С.С., Иванов В.А., Гомонов А.Н., Духан Е.И. Магнитометрические средства обнаружения: теория и практика построения. М.: Издательство «Радиотехника». 2013. 192 с.
6. Коваленко А.П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. М.: Машиностроение. 1975. 247 с.

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ ПУТЁМ АНАЛИЗА ТРАФИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Новосельцев Евгений Олегович,
магистр МТУСИ, Москва, Россия,
borninger@yandex.ru

Шевелёв Сергей Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры МСиУС, МТУСИ, Москва, Россия,
shevelev-s@yandex.ru

Тема защиты информации в сетевой среде является одной из важнейших на сегодняшний день. Стремительное развитие и распространение глобальных и локальных сетей изменило вычислительные системы, которые стали более связанными и менее защищенными от злоумышленников, обладающих новыми возможностями для своих разрушительных целей. Через одну рабочую станцию в день проходит огромный объем информации, что приводит к необходимости анализировать ее для разграничения «хорошего» и «плохого» трафика.

Автоматизация процессов обработки, хранения и передачи информации приводит к возникновению новых проблем, связанных с обеспечением ее безопасности. В это же время, современные вычислительные системы становятся все более сложными из-за динамических изменений в конфигурации и программном обеспечении. Такая ситуация создает практически неограниченные возможности для злоумышленников, которые используют программные приложения и уязвимости операционных систем для успешного проникновения в компьютерную систему.

В настоящее время используются различные подходы к обнаружению сетевых атак (вторжений), но на практике эти подходы не всегда эффективны. По этой причине способы и средства обнаружения вторжений необходимо постоянно исследовать и совершенствовать.

Для того чтобы разработать динамическую систему обнаружения вторжений необходимо проанализировать типы вторжений, типы систем обнаружения вторжений, а также подходы к обнаружению вторжений.

Обнаружение вторжений можно определить как процесс интеллектуального мониторинга событий, происходящих в вычислительной сети или системе, их анализ на наличие признаков нарушения политики безопасности и попытки поставить под угрозу конфиденциальность, целостность, доступность, или обойти механизмы безопасности хоста или сети.

Система обнаружения вторжений захватывает поток данных из сети, применяет определенные правила к этим данным, обнаруживает аномалии в них и сообщает об этом пользователю (администратору). Подобные системы обычно состоят из трех функциональных компонентов - модуля сбора событий, модуля анализа и модуля реагирования.

Модуль сбора событий - источник данных обо всех событиях в сети.

Модуль анализа принимает информацию из источника данных и анализирует данные на наличие признаков атак или нарушений политики безопасности. В нем может использоваться обнаружение следующих угроз:

➤ **неправильное использование:** обнаружение вторжений, которые эксплуатируют известные шаблоны атак, использующие уязвимости программного обеспечения. Основное ограничение этого подхода заключается в том, что он

ищет только предварительно указанные «слабые места», и не может быть полезен при обнаружении неизвестных атак.

➤ **аномалии поведения:** анализирующий механизм будет искать какие-либо редкие или необычные действия, или активности. Потоки событий в системе исследуются статистически, чтобы найти те из них, проявление которых выглядит аномальным.

Модуль реагирования – активируется в том случае, когда анализирующий механизм определил возможную атаку. Реакция может быть активной и пассивной. В первом случае система предпринимает некоторый набор действий, например, блокирование определенного IP-адреса, во втором - пользователю сообщается об угрозе, и событие заносится в журнал аудита.

Интенсивные исследования и разработки, проводимые в настоящее время в этом направлении, показывают, что достижение приемлемых уровней защиты информационных ресурсов от все более изощренных атак невозможно на основе применения обычных алгоритмических и программно-аппаратных решений [1-4]. Современные средства обнаружения вторжений неизбежно должны включать в себя интеллектуальные подсистемы, по крайней мере, в качестве одной из своих составных частей.

Таким образом, необходима разработка системы обнаружения вторжений, обладающей способностью адаптации к изменениям поведения вычислительной сети, основанной на использовании аппарата искусственных нейронных сетей.

Искусственная нейронная сеть - это математическая модель, а также её программная или аппаратная реализация, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей (сетей нервных клеток живого организма). Ограниченность применения нейронных сетей в системах обнаружения вторжений обусловлена требованием больших вычислительных мощностей и невозможности оперативного анализа больших объемов данных в условиях работы в качестве сетевой системы обнаружения вторжений (Network Intrusion Detection System, NIDS) большой корпоративной сети.

Алгоритм поиска вторжений сводится к последовательности следующих действий [5]:

1. Подготовка базы данных атак.
2. На основании части базы, не содержащей вторжений [3], генерация базы для генератора шума (система, выдающая векторы нормального трафика, используется для обучения нейросети).
3. Выделение параметров межсетевое взаимодействия (основные параметры трафика, используемые в векторах).
4. Создание и обучение нейронной сети первого уровня.
5. Обучение второго уровня нейронной сети выходными данными первого уровня.
6. Тестирование.
7. Работа системы обнаружения вторжений.

Вероятность обнаружения известных атак составляет 91%, вероятность обнаружения неизвестных атак - 86% [6].

Есть две основные причины, почему нейронные сети не применялись в разрешении задачи обнаружения вторжений в прошлом. Первая причина связана с требованиями к обучению нейронной сети. Поскольку способность искусственной нейронной сети к идентификации признаков вторжения полностью зависит от правильного обучения системы, данные для обучения и методы обучения, которые используются, являются критическими. Процедура обучения требует очень большой объем данных, чтобы гарантировать статистически точные результаты. Обучение нейронной сети для целей обнаружения вторжений может потребовать тысячи последовательностей индивидуальных атак, а такое количество нужной информации трудно получить [7].

Тем не менее, наиболее существенным недостатком применения нейронных сетей для обнаружения вторжений является природа «чёрного ящика» нейронной сети. В отличие от экспертных систем, которые имеют жестко закодированные правила для анализа событий, нейронные сети адаптируют свой анализ данных в ответ на полученное обучение. Вес связи и передаточные функции различных сетевых узлов, как правило, замораживаются после того, как сеть достигла приемлемого уровня успеха в идентификации событий. В то время как анализ сети достигает достаточной вероятности успеха, основа для этого уровня точности не всегда известна. Проблема «чёрного ящика» преследует нейронные сети в ряде приложений. Это постоянная область исследований в нейронных сетях.

Современный подход к построению систем обнаружения сетевых вторжений и выявления признаков компьютерных

атак на информационные системы полон недостатков и уязвимостей, позволяющих, к сожалению, злонамеренным воздействиям успешно преодолевать системы защиты информации. Переход от поиска сигнатур атак к выявлению предпосылок возникновения угроз информационной безопасности должен способствовать тому, чтобы в корне изменить данную ситуацию, сократив дистанцию отставания в развитии систем защиты от систем их преодоления.

Литература

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. 1992 г.
2. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. 2004.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. 2016.
4. Лебедева Т.Ф. Информационная безопасность. 2013.
5. Яновский В.В., Большев А.К. Применение нейронных сетей для обнаружения вторжений в компьютерные сети [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neuronnyh-setey-dlya-obnaruzheniya-vtorzheniy-v-kompyuternye-seti> (дата обращения 21.02.2018).
6. Жульков Е.В. Построение модульных нейронных сетей для обнаружения классов сетевых атак [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/postroenie-modulnyh-neuronnyh-setey-dlya-obnaruzheniya-klassov-setevyh-atak> (дата обращения 21.02.2018).
7. Мустафаев А.Г. Нейросетевая система обнаружения компьютерных атак на основе анализа сетевого трафика [Электронный ресурс] Режим доступа: http://e-notabene.ru/nb/article_18834.html (дата обращения 21.02.2018).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СКВОЗНЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА

Панков Константин Николаевич,

Научный сотрудник, к.ф.-м.н., МТУСИ, Москва, Россия,

pankov_kn@mtuci.ru

Минкомсвязи России в 2017 году была подготовлена программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Одной из основных сквозных цифровых технологий этой программы является система распределенного реестра или, как принято говорить, технология блокчейн.

Под блокчейном понимают выстроенную по определенным правилам непрерывную последовательную цепочку блоков, содержащих информацию, причем в англоязычном определении связь между блоками и безопасность цепочки должны обеспечиваться криптографическими методами. Впервые этот термин появился в 2008 году как название распределенной базы данных, реализованной в системе «Биткойн» [5]. Однако, первые работы [3], [2] по подобным цепочкам вышли еще в начале 90-х годов прошлого века, а концептуальные прототипы описаны в [4] и [6]. В настоящее время технология распределенного реестра вышла за пределы криптовалют и может быть распространена на любые информационные блоки. Исследователи [10], определяют блокчейн как «вечный цифровой распределенный журнал ... который может быть запрограммирован для записи не только финансовых операций, но и практически всего, что имеет ценность» Каждый пользователь имеет свою копию этого журнала, и любые новые записи в него можно вносить только с согласия большинства пользователей. Однажды записанная информация уже никогда не может быть изменена или стерта.

В блокчейне устройства хранения данных не подключены к общему серверу. Эта база данных хранит постоянно растущий список упорядоченных записей, называемых блоками. Каждый блок содержит метку времени и ссылку на предыдущий блок. Новые блоки всегда добавляются строго в конец цепочки.

Все пользователи блокчейн образуют собой сеть компьютеров, на каждом из которых хранится копия данных блокчейна. Пока функционирует хоть одно устройство хранения данных или пользователь блокчейн существует. При этом все компьютеры равноправны, в сети нет организаторов, модераторов, контролеров и менеджеров.

Все данные блокчейна - блоки и их содержимое - открыты всегда и для всех. Каждый пользователь легко можете прочитать любой блок и увидеть все записи в этом блоке, может посмотреть цепочку и отследить изменение информации. Таким образом, все данные в блокчейне легко проверяемы, а значит, пользователям не обязаны доверять другим участникам сети.

Для защиты данных и пользователей в блокчейне используются средства криптографии. Благодаря этому пользователь системы одновременно получает открытость и достоверность даже при полном отсутствии доверия к остальным участникам и, более того, в случае их злонамеренного умысла. Надежность и защищенность блокчейна основана на том, что криптографические инструменты и сложные алгоритмы, используемые пользователями для сохранения целостности сети, фактически заменяют посредника, играющего роль гаранта доверия. С помощью этих инструментов

можно легко проверить достоверность и корректность данных.

Для обеспечения безопасности и реализации цепочки в технологии распределенного реестра обычно применяются такие криптографические средства как криптографическая хеш-функция и электронная цифровая подпись (ЭЦП).

Под функцией хеширования традиционно [8] понимается сжимающее отображение, переводящее объекты множества со сколь угодно большой мощностью в объекты множества с малой мощностью. Такие отображения, как известно, находят применение в различных прикладных областях, например в алгоритмах поиска и хранения данных. В криптографических приложениях функции хеширования используются, к примеру для выработки кодов целостности сообщений, при вычислении цифровой подписи. Учитывая это, сжимающие отображения, используемые в криптографических приложениях, должны удовлетворять условиям однонаправленности и трудоемкости решения задач построения коллизии и второго прообраза.

В блокчейнах, существующих в настоящее время, применяются бесключевые хеш-функции. Интересно отметить также, что при этом в различных реализациях цепочки могут применяться функции, построенные как на основе хорошо изученной и достаточно строго обоснованной на настоящее время структуры Меркля-Дамгарда (к примеру, в Биткойн используется функция SHA-256), так и на иных принципах (к примеру, в Ethereum (эфириум) используется функция КЕССАК-256, построенная по принципу криптографической губки [7]).

Итак, пусть в сети, использующей технологию блокчейна, два пользователя совершают транзакцию, под которой мы понимаем обмен данными между двумя сторонами. В качестве данных могут выступать денежные средства, контракты, документы, медицинские записи или любая другая информация, которая может быть представлена в цифровом виде. В зависимости от типа обмениваемых данных выделяют блокчейны 1.0, 2.0 и 3.0 [9].

В зависимости от параметров сети транзакция может подтверждаться либо моментально, либо отправляться в очередь ожидаемых подтверждения транзакций. В последнем случае узлы (компьютеры или серверы сети) проверяют, соответствует ли транзакция установленным правилам сети. Для подтверждения транзакции пользователи используют электронную цифровую подпись. В блокчейне биткойна и эфириума, к примеру, используется алгоритм ЭЦП на эллиптической кривой ECDSA с параметром secp256k1 [1]. Отметим, что для генерации и хранения секретного ключа, используемого в этом алгоритме требуется надежные криптографические средства формально не относящиеся к реализации распределенного реестра.

Пользователи сети делятся на две группы: обычные пользователи, которые создают новые транзакции, и майнеры, которые создают блоки из проверенных записей. Каждый блок содержит заголовок, включающий в себя в том числе хеш предыдущего блока, созданный принятым в сети

блокчейна алгоритмом, применяющимся по заданным правилам, и список записей транзакций, хэш от которых сформированный с помощью дерева Меркля, также включается в заголовок. Такое построение блока позволяет создать защищенную и взаимосвязанную цепочку. Все блоки выстроены в одну цепочку, которая содержит информацию обо всех совершенных когда-либо операциях в базе. Самый первый блок в цепочке – первичный блок (genesis block) – рассматривается как отдельный случай, так как у него отсутствует родительский блок. Перед добавлением в цепочку блоки должны пройти процедуру принятия остальными пользователями или валидацию. Наиболее признанными формами валидации являются так называемая системы доказательства выполнения работы (PoW) и доказательства доли владения (PoS), исследование которых с точки зрения информационной безопасности далеко от завершения.

Если майнер-злоумышленник попытается внести в цепочку блок с измененными им записями, то хеш-функция этого блока и хеш-функции всех последующих блоков изменятся. Другие узлы сети увидят эти изменения и попросту не примут измененный блок в сеть большинства, исключая, таким образом, мошенничество. Аналогично будет отвергнута (не принята ни в один блок) неправильно подписанная или некорректная транзакция.

В системе биткойна за удачно проведенный расчет блока выплачивается вознаграждение в виде некоторого количества цифровой валюты – именно так происходит ее эмиссия. Но потенциал технологии блокчейна неизмеримо шире обычного элемента системы электронных денег. В последние годы представители как государственного сектора, так и бизнес-кругов изучают то, как блокчейн может изменить базовые процессы работы организаций. Его потенциальное и фактическое применение рассматривается во всех сферах – от выполнения контрактов до использования в сфере государственного управления.

Одной из проблем, которая потребует незамедлительного решения при внедрении технологии распределенного реестра с учетом особенностей этой технологии и российского законодательства – это необходимость лицензирования средств криптографической защиты информации (СКЗИ),

которые используются в нашей стране при защите персональных данных, и которые, обеспечивают работу и безопасность системы. В современных реализациях блокчейна используются СКЗИ, ни один из которых не является рекомендуемым к использованию в России. Для успешного внедрения технологии распределенного реестра, к примеру, для обеспечения защищенного документооборота и электронного взаимодействия граждан, органов государственного и муниципального управления потребуются разработка и исследование блокчейн-систем, криптографические средства которых должны соответствовать документам по стандартизации, вырабатываемым ТК-26.

Литература

1. *Antonopoulos A.M.* Mastering Bitcoin: Programming the Open Blockchain O'Reilly Media, 2017. 408 p.
2. *Bayer, D., Haber S.; Stornetta W.* Improving the Efficiency and Reliability of Digital Time-Stamping // Sequences II. Methods in Communication, Security, and Computer Science. New York: Springer. 1993, 477 p., pp. 99-111.
3. *Haber S.; Stornetta W.* How to time-stamp a digital document // Journal of Cryptology. 1991. Vol. 3, Issue 2, pp. 99-111.
4. *Mazieres D.; Shasha D.* Building secure file systems out of Byzantine storage // Proceedings of the Twenty-First ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. 2002, pp. 108-117.
5. *Nakamoto S.* Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008 URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (дата обращения: 21.02.2018).
6. *Szabo N.* Bit Gold, URL: <http://unenumerated.blogspot.ru/2005/12/bit-gold.html> (дата обращения: 21.02.2018).
7. *Авезова Я. Э.* Современные подходы к построению хеш-функций на примере финалистов конкурса SHA-3 // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 3 (11), pp. 60-67.
8. *Лось А.Б., Нестеренко А.Ю., Рожков М.И.* Криптографические методы защиты информации.– М.: Юрайт. 2016. 473 с.
9. *Свон М.* Блокчейн. Схема новой экономики. М.: Олимп-Бизнес, 2017. 240 с.
10. *Танскотт А., Танскотт Д.* Технология блокчейн - то, что движет финансовой революцией сегодня. М.: Эксмо, 2017. 448 с.

СИСТЕМА "ЭРА-ГЛОНАСС" КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ УСЛУГ ЗАЩИТЫ ОТ НСД

Ухин Дмитрий Андреевич,

Магистрант группы М091701 (71), каф. ИБ МГУСИ, Москва, Россия,

Dmitri.Ukhin@gmail.com

Статья посвящена анализу возможности использования системы «ЭРА-ГЛОНАСС» для оказания услуг защиты гражданских объектов в сельской местности посредством быстрого реагирования о проникновении в защищаемый объект и его местоположении.

Ключевые слова: объект защиты, местоположение, глобальная навигационная спутниковая система, угроза безопасности.

В настоящее время, контроль и обеспечение безопасности подвижных объектов, в частности автотранспорта, является крайне важной задачей. При передвижении транспортного средства возможны различные инциденты: от элементарных неисправностей до похищения груза или транспортного средства злоумышленниками. На сегодняшний день для обеспечения безопасности и быстрого реагирования в случае непредвиденных ситуаций все чаще используются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). С 2015 года в России функционирует система экстренного реагирования при авариях "ЭРА-ГЛОНАСС"

Система "ЭРА-ГЛОНАСС" включает в себя инфраструктуру оператора (навигационная платформа, сеть передачи данных и сеть мобильной связи по принципу "виртуальный оператор") и устройства, устанавливающиеся на контролируемые объекты.

Согласно государственным стандартам [1, 2, 3], автоматический вызов осуществляется при сильных фронтальных и боковых ударах, наезде сзади, опрокидывании автомобиля при включенном зажигании или в течение минуты после его выключения устанавливает местоположение поврежденного транспортного средства (для этого используются спутники ГНСС ГЛОНАСС и GPS) и, в соответствии с протоколами, передает инфраструктуре ЭРА-ГЛОНАСС данные об аварии. Кроме того, в системе предусмотрена услуга кнопки "SOS", позволяющей совершить вызов вручную. В случае такого вызова, оператор голосом свяжется с пострадавшим, уточнит детали происшествия и в случае подтверждения информации (или отсутствии ответа) отправит по полученным координатам экстренные службы.

Реализацией проекта ЭРА-ГЛОНАСС занималось Некоммерческое партнерство "ГЛОНАСС", созданное в 2012 году и объединяющее лидеров телекоммуникационного, навигационного и IT-рынков, таких как ООО "Яндекс", ПАО "МТС", ПАО "Вымпелком", ассоциацию "ГЛОНАСС/ГНСС - Форум", АО "ГЛОНАСС" и др. Данное НП изначально было создано для развития и внедрения ГЛОНАСС в России и за рубежом, а так же стандартизации технологий и услуг. На территории РФ для использования системой зарезервированы телефонные коды 941-949, функционирование контакт-центров было организовано дочерней компанией ОАО "Ростелеком" - "Ростелеком Контакт-центр".

30 января 2013 года, в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза "О безопасности колесных транспортных средств", были установлены сроки оснащения транспортных средств терминалами "ЭРА-ГЛОНАСС":

- с 1 января 2015 года – транспортные средства, впервые проходящие процедуру одобрения типа на соответствие требованиям технического регламента;
- с 1 января 2016 года – транспортные средства, используемые для коммерческой перевозки пассажиров и пе-

ревозки опасных грузов, твердых бытовых отходов и мусора (мусоровозы), выпускаемые в обращение на территории стран Таможенного союза;

- с 1 января 2017 года – все транспортные средства, выпускаемые в обращение на территории стран Таможенного союза.

6 декабря 2017 года вступило в силу постановление правительства РФ о порядке оснащения автобусов, которые планируется использовать для въезда в города Чемпионата мира по футболу 2018 года, аппаратурой спутниковой навигации. В соответствии с данным постановлением, запрещается въезд на территорию город, принимающих матчи ЧМ-2018, автобусов, осуществляющих пассажирские перевозки, кроме тех, что были допущены местными органами МВД и тех, что оснащены аппаратурой "ЭРА-ГЛОНАСС" [4, 6].

Крайне сложно переоценить важность системы "ЭРА-ГЛОНАСС". В первую очередь, она может спасти жизнь человека после серьезного ДТП, когда пострадавший находится без сознания или не имеет возможность вызвать экстренные службы. Кроме того, к важным преимуществам относят и потенциал системы: в будущем она может быть расширена для использования в страховых целях, для оформления европротоколов, для охранно-поисковых услуг. На сегодняшний день рассматривается возможность предоставления органам внутренних дел таких возможностей, как дистанционное отключение двигателя и автоматической фиксации выезда на полосу встречного движения.

Отдельно следует сказать, что система "ЭРА-ГЛОНАСС" технологически полностью совместима с общеевропейской системой eCall, что позволяет ей функционировать в Европе за пределами Российской Федерации. Однако при этом "ЭРА-ГЛОНАСС" остается самостоятельным продуктом, способным работать, как совместной системой ГЛОНАСС/GPS, так и используя исключительно спутники российской ГНСС. Такая вариативность очень важна в условиях тяжелой и нестабильной внешнеполитической обстановки и защищает систему от отключения извне.

На сегодняшний день служба технической помощи и эвакуации системы "ЭРА-ГЛОНАСС" включает 130 пунктов в 100 городах России, 800 эвакуаторов и 250 автомобилей технической помощи, 1500 сотрудников техслужбы, 160 штатных инженеров-механиков [7].

Согласно информации АО "ГЛОНАСС", к системе подключено более 1,5 млн. транспортных средств, системой принято и обработано более 600 тыс. вызовов, из которых более 8 тысяч реальных, а среднее время передачи информации в Систему-112 составило 19 секунд [5, 8]. Такие результаты позволяют экстренным службам молниеносно реагировать на поступивший вызов, что намного увеличивает шансы на спасение людей в случае серьезных происшествий.

Несложные подсчеты показывают, что, даже если каж-

дому терминалу соответствовал только один вызов, услуга "ЭРА-ГЛОНАСС" использовалась лишь 0.53% транспортных средств, оснащенных соответствующим оборудованием, из чего можно сделать вывод, что большую часть времени инфраструктура проводит в режиме ожидания и ее ресурсы не используются в полную силу.

Для оптимального использования вычислительных мощностей и инфраструктуры, на базе "ЭРА-ГЛОНАСС" можно организовать предоставление коммерческих услуг. Такое решение позволит уменьшить время бездействия системы и увеличить приток финансов за счет оплаты таких услуг[9].

Очень перспективным выглядит использование системы "ЭРА-ГЛОНАСС" для предоставления услуг охраны объектов частной собственности. Несмотря на то, что современные охранные системы качественно и надежно реагируют на угрозы, они не используют навигационные технологии, что может стать критичным, если к охраняемому объекту тяжело подъехать (например, участок в сельской местности). С другой стороны, оснащение экипажей навигационным оборудованием позволит значительно сократить время с момента приема заявки, до прибытия сотрудников на место происшествия.

Таким образом, система "ЭРА-ГЛОНАСС" является отличной платформой для предоставления коммерческих услуг, которые, помогут клиентам уберечься от злоумышленников и принесут организации "ГЛОНАСС" дополнительные финансы, за счет которых можно ускорить развитие самой системы.

Литература

1. ГОСТ Р 54620-2011 Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях.

Автомобильная система вызова экстренных оперативных служб. Общие технические требования. М., 2011.

2. ГОСТ Р 54619-2011 Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Протокол обмена данными автомобильной системы вызова экстренных оперативных служб с инфраструктурой системы экстренного реагирования при авариях. М., 2011.

3. ГОСТ Р 54721-2011 Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Общий порядок оказания системой базовой услуги. М., 2011.

4. Постановление Правительства РФ от 25 ноября 2017 г. № 1426 "Об утверждении Положения о порядке оснащения автобусов аппаратурой спутниковой навигации, идентификации ее в Государственной автоматизированной информационной системе "ЭРА-ГЛОНАСС".

5. Государственная автоматизированная информационная система "ЭРА-ГЛОНАСС": [Электронный ресурс] // Акционерное общество "ГЛОНАСС". URL: <http://aoglonass.ru/gais-ehra-glonass/>

6. Автобусы для Чемпионата мира обяжали оснастить системой «ЭРА-ГЛОНАСС» [Электронный ресурс] // Вестник ГЛОНАСС. URL: http://vestnik-glonass.ru/news/intro/avtobusy-dlya-chempionata-mira-obyazali-osnastit-sistemoy-eraglonass/?sphrase_id=10557/

7. Тенденции рынка подключенных автомобилей в РФ [Электронный ресурс] // Вестник ГЛОНАСС. URL: http://vestnik-glonass.ru/news/otchyety_o_meropriyatiyakh/tendentsii-rynka-podklyuchennykh-avtomobiley-v-rf/?sphrase_id=10557.

8. Центр обработки вызовов для системы экстренного реагирования отмечен премией [Электронный ресурс] // Вестник ГЛОНАСС. URL: <http://vestnik-glonass.ru/news/intro/tsentr-obrabotki-vyzovov-dlya-sistemy-ekstrennogo-reagirovaniya-otmechen-premiey>.

9. Максименко В.Н., Васильев М.А. Методика системного проектирования инфокоммуникационных услуг сетей 3G // Электросвязь. № 6. 2011. С. 37-41.

ЗАЩИТА ЗНАКОВ ПОЧТОВОГО ОТПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТОВСТАВКИ АЛГОРИТМА СИММЕТРИЧНОГО КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Большаков Александр Сергеевич,

доцент кафедры «Информационная безопасность», к.т.н., МТУСИ, Москва, Россия,
as.bolshakov57@mail.ru

Согласно открытым публикациям ФГУП «Почта России» [1] в настоящее время существует проблема «серой почты», обусловленная действиями мошенников по подделке знаков почтовой оплаты. Поддельные штемпели (франкотипы) выявить при приемке вручную практически невозможно. Сегодня на рынке функционирует более 8 тысяч официально зарегистрированных в Роскомнадзоре франкировальных машин, из них лишь 10% принадлежит «Почте России» [1]. Остальная часть зарегистрированного оборудования установлена либо у корпоративных клиентов, которыми большей частью являются государственные ведомства, учреждения и организации, либо у партнеров-посредников (консолидаторов корпоративной почты более мелких клиентов). Но существует и теневой рынок франк-машин, которые нигде не зарегистрированы и используются для печати фальшивых франкотипов. Данный факт определяет актуальность борьбы с такого рода преступлениями, успешность которой позволит улучшить финансовые показатели операционной деятельности ФГУП «Почта России» в виде доходов франкировальных машин [1].

Франкировальная машина (или франк-машина) – машина, предназначенная для нанесения на письменную корреспонденцию государственных знаков почтовой оплаты, подтверждающих оплату услуг почтовой связи, даты приема данной корреспонденции и другой информации [6].

Франкирование применяется при оплате пересылки корреспонденции корпоративными клиентами, осуществляющими массовые рассылки писем и бандеролей.

Франкотип – результат механического франкирования почтовых отправлений корпоративных клиентов. Представляет собой оттиск знака почтовой оплаты вместе или рядом с календарным почтовым штемпелем.

Франкировальные машины ФГУП «Почта России» согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 16022-2008 «Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификация символик Data Matrix» [2] предусматривают нанесение знаков почтовой оплаты путем нанесения на почтовое отправление двухмерного штрих-кода. Данный ГОСТ предусматривает использование алгоритма обнаружения и исправления ошибок методом Рида-Соломона для символик версии ECC 200. Этот метод позволяет осуществлять автоматическую идентификацию почтового отправления.

Существуют две основные подгруппы символов Data Matrix. Первая подгруппа Data Matrix, группа, использующая сверточное кодирование для корректирования ошибок и использовалась для установки большей части систем Data Matrix – имеют названия от ECC-000 до ECC-140. Вторая подгруппа ECC-200 использует метод исправления ошибок по способу Рида-Соломона [3].

В качестве идентификатора оттиска клише франкировальной машины используется двумерный матричный код DataMatrix. Методы создания двумерного матричного кода должны соответствовать спецификациям AIM и ISO [8, 9]. Для формирования двумерного матричного штрихового кода Data Matrix в качестве идентификатора оттиска клише фран-

кировальной машины рекомендовано использовать версию кода ECC 200, в которой применяется алгоритм исправления ошибок Рида-Соломона. С помощью такого штрих кода можно закодировать достаточно большой объем информации (2-3Кбайт) [3].

Применение помехоустойчивого кодирования в определенных пределах защищает знаки почтовой оплаты от случайного или преднамеренного искажения самого рисунка/оттиска знаков почтовой оплаты [3], но не от мошеннических действий, направленных на несанкционированный выпуск знаков почтовой оплаты. Требуется защита информации, заложенной в почтовом знаке в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 16022-2008, трудновоспроизводимая злоумышленником и/или обнаруживаемая подделка почтового франкотипа в приемном почтовом отделении.

Для защиты потока почтовых отправлений от «взброса» фальшивых франкотипов в настоящей работе предлагается использовать алгоритм симметричного криптографического преобразования согласно ГОСТ 28147-89 «Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования» [4], позволяющая по мнению автора улучшить защиту почтовых знаков от мошенничества, т.е. от «серой почты», путем добавления к основному тексту имитовставки с использованием симметричного алгоритма криптографического преобразования с открытым ключом. Имитовставка должна обеспечить целостность текста почтового отправления, защиту франкотипа от подделки и выполнять функцию аутентификации источника данных.

Информация о почтовом отправлении представляет собой открытый текст пользователя/отправителя, объединяющую в себе уникальный двухмерный матричный штрих-код, содержащий информацию о машине (регистрационный номер), на которой формируется код, идентификатор клиента, данные о статусе оплаты и т.п.

Согласно ГОСТ 28147-89 используется симметричный блочный алгоритм шифрования с 256-битным ключом, который оперирует блоками данных по 64 бита. Преобразование данных пользователя при отправке почты происходит в следующей последовательности:

Этап 1. Кодирование данных в соответствии с символикой ECC 200. Для кодирования данных необходимо произвести анализ потока данных и определить разнообразие типов различных знаков, подлежащих кодированию. Символы версии ECC 200 содержат различные схемы кодирования, которые позволяют различные знаки преобразовать в кодовые слова более эффективно по сравнению со схемой кодирования, принятой по умолчанию. Буквенные и числовые символы, содержащиеся в почтовом отправлении, последовательно преобразуются побайтно в соответствии с спецификацией ASCII (КОИ-7/КОИ-8).

Этап 2. Преобразование кодированных данных согласно требованиям ГОСТ кода DataMatrix.

На этом этапе вводят дополнительные кодовые слова для переключения между схемами кодирования и для выполне-

ния других функций. Добавляют необходимое количество знаков-заполнителей для образования требуемого числа кодовых слов. Если пользователь не установил размер матрицы, то выбирают наименьший размер, в котором могут быть размещены данные.

Этап 3. Формирование имитовставки и «прикрепление» ее к закодированному основному тексту.

Имитовставка выполняет защиту от ввода несанкционированной информации в почтовое отправление. Текст остаётся открытым, но появляется возможность проверить, что его не изменяли, не добавляли, ни случайно, ни намеренно. Имитовставка вырабатывается для $M \geq 2$ блоков открытого текста по 64 бита.

Открытый текст разбивается на блоки длиной 64 бита. Последний блок в случае необходимости дополняется нулями. Первый блок шифруется согласно ГОСТ 28147-89 тем же ключом, что и сообщение, но с применением 16 циклов вместо 32. Результат по битам по модулю 2 складывается с вторым блоком и так же шифруется. Результат складывается с третьим блоком... и так далее.

Первые 32 бита получившегося блока составляют имитовставку. Имитовставка обычно передаётся в конце сообщения [4]. В распоряжении злоумышленника нет более эффективного метода подбора, чем простое угадывание, в случае если он намеревается организовать несанкционированный поток «серой почты» с использованием легитимного открытого ключа. Обычно длина имитовставки принимается равной 32 бит, что обеспечивает достаточную криптостойкость. При использовании имитовставки размером 32 бита эта вероятность равна $2^{-32} \approx 0.23 \cdot 10^{-9}$.

Этап 4. Формирование кодовых слов проверки и исправления ошибок.

Для символов, содержащих более 255 кодовых слов, поток кодовых слов, включая имитовставку, подразделяют на чередующиеся блоки, чтобы дать возможность обработки алгоритмами исправления ошибок. Для каждого блока формируют кодовые слова исправления ошибок. Результатом этого процесса является удлинение потока кодовых слов на число кодовых слов исправления ошибок. Кодовые слова исправления ошибок помещают после кодовых слов данных.

Этап 5. Размещение модулей в матрице и нанесение двухмерного штрихкода.

Модули кодовых слов размещают в матрице. В матрицу вставляют модули направляющих шаблонов (при их наличии). Вокруг матрицы добавляют модули шаблона поиска.

В приемном почтовом отделении программное обеспечение считывающего устройства производит матричное декодирование. Формат и длина декодирующего исходного открытого текста регламентированы программным обеспечением, поэтому ПО определяет наличие или отсутствие имитовставки и, используя открытый ключ, вычисляет/декодирует имитовставку на основании принятого исходного текста отправителя. Ее отсутствие или изменение по сравнению с имитовставкой, сформированной на передающей стороне, указывает на возможные варианты событий:

а) обработка франкирующей машиной несанкционированного почтового отправления;

б) случайное или преднамеренное изменение штрихкода, соответствующее «истиной» имитовставке, приводящее к неисправляемым ошибкам при декодировании методом Рида-Соломона.

Наступление второго варианта событий зависит от эффективности помехоустойчивого кодирования и условий пересылки почтовых отправлений.

В случае совпадения кодового рисунка имитовставки, полученной с использованием открытого ключа, и выделенной ПО из общего штрих-кода, принимается решение о санкционированном почтовом отправлении, в противном случае – принятое почтовое отправление отбраковывается, при этом можно указывать причины а) или б) несовпадения.

Программное обеспечение автоматизированной системы формирования знаков почтовой оплаты должно обеспечивать формирование и интеграцию имитовставки в систему государственных знаков почтовой оплаты, а также формирование имитовставки в составе электронного знака почтовой оплаты.

Кроме того, для предложенного варианта защиты от фальшивых знаков оплаты требуется организовать установку открытого ключа для функционирования ПО, при этом информация о конфигурации открытого ключа должна быть труднодоступной для мошенников. Задача может быть реализована на стадии разработки и внедрения ПО в эксплуатацию, предусматривающее инициализацию открытых ключей в момент ввода в эксплуатацию ПО франкируемых машин.

В случае передачи открытого ключа по каналам связи могут быть использованы криптографические способы защиты информации о конфигурации открытого ключа.

Литература

1. <http://www.comnews.ru/content/109101/2017-08-14/pochta-rossii-pereydet-na-frankirovanie-v-rezhime-onlayn#ixzz531N5oeww>.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 16022-2008 «Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификация символики Data Matrix».
3. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир, 1964. 339 с.
4. ГОСТ 28147-89 «Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования».
5. Руководящий технический материал (РТМ1-1) «Структура штрихкодовой идентификации почтовых отправлений».
6. Руководящий технический материал (РТМ 0002/01-01) «Коды атрибутов почтовых отправлений».
7. ИСО/МЭК 8859-5:1999 Информационные технологии. Наборы 8-битовых однобайтных кодированных графических знаков. Часть 5. Латинский/кирилловский алфавит (Information technology - 8-bit single-byte coded graphic character sets - Part 5: Latin/Cyrillic alphabet).
8. AIM Inc. ITS/04-001 Международный технический стандарт. Интерпретации в расширенном канале. Часть 1. Схемы идентификации и протокол (AIM Inc. ITS/04-001 International Technical Standard: Extended Channel Interpretations – Part 1: Identification Schemes and Protocol).

ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ IP-ТРАФИКА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ванюшина Анна Вячеславовна,

Старший преподаватель кафедры "Информационная безопасность", МТУСИ, Москва, Россия,

vanuanna@rambler.ru

Проблема точной, высокопроизводительной классификации в реальном времени актуальна, важна и до сих пор полностью не решена. Идеальной технологии классификации трафика на сегодняшний день не существует – даже самые точные способы не имеют 100% точности. К тому же, как правило, более точная классификация требует увеличения объема вычислений, что в свою очередь снижает возможности для применения алгоритма.

В последнее время появилось множество различных подходов к классификации, но все они являются различными реализациями классификатора

1. На основе порта транспортного уровня,
2. На основе анализа содержимого пакетов,
3. На основе статистических данных.

Создание «идеального» классификатора невозможно пока не будут решены проблемы, присущие данной области – такие как:

1) Отсутствие общего, репрезентативного набора исходных данных, который мог бы стать стандартным для исследований в данной области. Подобный набор позволил бы количественно оценить производительность, точность и другие характеристики разрабатываемых систем классификации трафика.

2) Существующие методы теряют свою актуальность с развитием сетевых протоколов, и сетевой инфраструктуры в целом. Многие текущие методы для классификации трафика не могут работать в современных сетях, и современными сетевыми протоколами благодаря появлению и широкому развитию шифрования, инкапсуляции и многоканальной связи.

3) Плохое масштабирование алгоритмов для каналов с высокой пропускной способностью, что фактически делает невозможным использование их на магистральной провайдера.

4) Отсутствие стандартных процедур и критериев для оценки метода. В большинстве известных работ, несмотря на разнообразие подходов к классификации для оценки точности используется лишь процентный показатель, который в реальных условиях может сильно отличаться. Более того, с учетом первой проблемы сравнивать два алгоритма становится еще сложнее.

Таким образом, задачу классификации сетевого трафика в реальном масштабе времени можно свести к следующим:

- Выработка методологии и получение большого объема надежных исходных данных, которые в данном случае представляют собой классифицированный по классам приложений трафик и будут использоваться в дальнейшем для создания модели классификатора.
- Сравнение и выбор оптимальных алгоритмов машинного обучения и выбора признаков, для решений задачи классификации сетевого трафика.
- Разработка программного обеспечения для решения задачи классификации методами машинного обучения в реальном масштабе времени
- Экспериментальное исследование классификации трафика, проведение оценок, подбор оптимальных параметров и атрибутов классификации с целью оптимизации модели классификатора.

Результаты классификации являются наиболее точными, если классификатор обучался в той же сети, в которой выполняется процедура классификации. Это объясняется параметрами, которые в конкретной сети не изменяются, но которые будут отличаться в различных сетях.

Практически невозможно использовать уже предварительно классифицированные данные (к примеру, публичные трассировки сети) как учебные данные для машинного обучения, так же как нельзя использовать DPI или другие классификационные инструменты для предварительной классификации данных. В процессе обработки трафика возникает ряд вопросов:

Как следует вычислять выбранные классификационные атрибуты для каждого потока? Нужно ли обрабатывать весь поток целиком или достаточно знать только количество пакетов в этом потоке? Если да, то сколько пакетов и из какой части потока?

Обычно, классификаторы, основанные на алгоритмах машинного обучения, не могут распознать класс элементов, если он не присутствовал среди обучающих данных. Кроме того, такие классификаторы не могут определять случай как неизвестный поскольку каждый такой случай обрабатывается в соответствии со схемой принятия решений для того или иного класса.

Как правило, заголовки пакетов Ethernet, IP и TCP/UDP не содержат какой-либо информации о содержании (к примеру, аудио, видео и так далее), которое передает поток или о провайдере (к примеру, Yahoo, Facebook), с которым связан поток. В некоторых случаях эти данные могут быть извлечены из заголовков HTTP – такой метод считается одной из технологий DPI. Таким образом, алгоритмы машинного обучения не являются лучшим решением для распознавания содержимого (контента), передаваемого потоком, его поведения или провайдера (для Web-потоков), но они могут определяться с высокой точностью благодаря IP. Поведение потока (потокосная передача, Web-браузер, загрузка) непосредственно влияет на классификационные атрибуты, такие как: размеры пакетов, распределение пакетов без полезной нагрузки или с определенными флагами TCP, соотношением загрузок (upload, download) и так далее.

Для обеспечения конфиденциальности пользователей, IP-адреса можно обрабатывать односторонними хэш-функциями перед тем, как передавать их с пользовательских компьютеров на сервер. Отличить различные виды данных, передаваемых одним и тем же приложением можно только в отдельных случаях. Во-первых, когда приложения используют HTTP для передачи различных типов данных. Во-вторых, когда приложение использует HTTP вместе с другим протоколом. В-третьих, можно использовать номера

потоков, если известно, что выбранное приложение имеет номера портов для выбранных данных.

Наиболее перспективными методами решения данной проблемы являются гибридные системы классификации, использующие в своей работе одновременно различные подходы. На транспортном и сетевом уровне анализ проводится с использованием статистических свойств сетевых потоков, а на последующих, вплоть до уровня приложения анализ содержимого пакета с использованием сигнатурных методов, и значений заголовков протоколов уровня приложений. Такой подход позволяет осуществлять высокоскоростную идентификацию приложения при сниженных требуемых вычислительных ресурсах, по сравнению с классической реализацией классификатора на основе глубокого анализа пакетов. Гибридное решение позволило бы достичь близкую к максимальной точности, однако без введения машинного обучения для кластеризации оно неспособно определять новые протоколы и приложения, для которых не существует сигнатуры или обучение по которым не производилось.

Известны подходы к классификации трафика, сочетающие в себе методы с учителем и без, что обусловлено двумя основными причинами.

Во-первых, методы кластеризации трудно реализуемы, в то время как методы обучения с учителем не работают в реальных данных также хорошо, как проходило обучение на эталонных данных.

Во-вторых, могут появиться новые априорно неизвестные приложения, и в результате, методы обучения с учителем классифицируют этот неизвестный поток объектов в один из известных классов.

В этом случае методы классификации состоят из двух шагов. На первом шаге обучающий набор данных, состоящий из помеченных и непомеченных потоков, поступают в алгоритм кластеризации. На втором шаге свободные помеченные потоки используются для получения отображения из кластеров в различные известные классы. Эти несколько шагов позволяют кластерам повысить чувствительность и использовать для этого вероятностное присваивание.

Важное значение имеет обучение на несбалансированных выборках. Считается, что выборка не сбалансирована, если количество объектов в одном из классов превосходит количество объектов в другом в 10 раз или больше. При этом меньший класс называется минорным, а больший — доминирующим. Известны два простых метода борьбы с несбалансированностью. Первый из них удаляет случайные объекты доминирующего класса до тех пор, пока соотношение классов не станет приемлемым. Второй дублирует случайные объекты минорного класса. Оптимальное число объектов для удаления или дублирования следует подбирать с помощью кросс-валидации. Отметим, что данные методы применяются лишь к обучающей выборке, а контрольная выборка остается без изменений.

Литература

1. Шелухин О.И., Симонян А.Г., Ванюшина А.В. Эффективность алгоритмов выделения атрибутов в задачах классификации приложений при интеллектуальном анализе трафика // *Электросвязь*. 2016. №11. С. 79-85.
2. Шелухин О.И., Симонян А.Г., Ванюшина А.В. Влияние структуры обучающей выборки на эффективность классификации приложений трафика методами машинного обучения // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2017. Том 11. №2. С. 25-31.
3. Sheluhin O.I., Simonyan A.G., Vanyushina A.V. Benchmark data formation and software analysis for classification of traffic applications using machine learning methods // *T-Comm*. 2017. Vol. 11, no.1, pp. 67-72.
4. Шелухин О.И., Ванюшина А.В., Габисова М.Е. Фильтрация нежелательных приложений Интернет-трафика с использованием алгоритма классификации Random Forest // *Вопросы кибербезопасности* №1 (25). 2018.
5. Ерохин С.Д., Ванюшина А.В. Влияние фонового трафика на эффективность классификации приложений методами машинного обучения // *T-Comm*. Vol. 11, no.1, pp. 67-72.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ

Звездинский Станислав Сигизмундович,
д.т.н., профессор, МГУСИ, Москва, Россия,
zwierz@rambler.ru;

Кокурин Лев Александрович,
к.в.н., начальник отдела ООО «Телеформ-ИС», Москва, Россия,
tfinfo@teleformis.ru

В настоящее время в РФ заметен повышенный интерес государственных заказчиков (МВД, МЧС, Газпром и пр.) к организации и, самое главное, «наполнению» разнообразных ситуационных центров, предназначенных для повышения эффективности управления территориально-распределенными объектами посредством соответствующих сил и средств - в дежурном режиме и нештатных ситуациях, связанных с нарушениями информационной безопасности в широком смысле этого слова. Например, в 2011-17 гг. в разных городах России прошли семь Всероссийских конференций - форумов «Система распределённых ситуационных центров», организованные Издательским домом Connect при поддержке ФСО России [1, 2]. На них обсуждались методы, технологии и практика создания распределенных ситуационных центров (РСЦ), анализ возможностей отечественных информационных систем, рекомендации органам исполнительной власти по методическому и техническому обеспечению, модернизации и развитию информационных систем ситуационных центров и др.

Компанией ООО «Телеформ ИС» (г. Москва) разработано специальное программное обеспечение (СПО), которое может найти свое применение в системе ситуационных центров [3-5]:

1) СПО VI-Сфера; область применения – бизнес-аналитика: мониторинг информационных объектов, поддержка принятия решений, стратегическое планирование и управление; основное назначение – моделирование последствий управленческих решений, мотивация персонала.

2) СПО Интра-Сфера; область применения – интеграция приложений и сервисов, порталные сервисы, автоматизированные системы защиты информации; основное назначение – управление ресурсами организации, создание интеграционной платформы для формирования единого информационного пространства и автоматизации бизнес-процессов, полное оперативное информационное обеспечение сотрудников организации.

В вышеназванные СПО может интегрироваться ГИС для разработки ситуационных задач с использованием баз справочников и роботизированных моделей; в них описан порядок разработки ситуационных задач (ролевых игр), создание баз прецедентов для выработки или поддержки управленческих решений по кризисным ситуациям, возможно моделирование действий государственного органа с учетом факторов обстановки и перспективных угроз.

Система РСЦ позиционируется как платформа обработки информационной среды и формирования единого информационного поля, для повышения эффективности государственного управления. Вместе с тем имеется ряд факторов, снижающих эффективность функционирования системы, например: 1) ложная информация, поступающая от первичных источников; 2) несвоевременность приема, передачи и обработки информации; 3) не соответствие категории ин-

формации (пунктам) центрам её приема и обработки; 4) неточные выводы из результатов анализа поступающей информации; 5) отсутствие количественно-качественных критериев оценки поступающей информации; 6) наличие избыточной информации по отдельным направлениям (тормозит работу системы); 7) отсутствие заготовленных вариантов решения кризисных ситуаций и моделей предвидения развития обстановки и др.

Составными понятиями системы РСЦ являются информационная среда, информационное поле и ситуация. Информационная среда – это постоянно происходящие реальные события, факты, явления, действия и т.д. Информационное поле формируется из среды на основе системно организованной деятельности внешних и внутренних источников информации, в зависимости от поставленной задачи и формы деятельности источники могут формировать информационное поле разной направленности (истинное, ложное) в заданном месте. Под ситуацией понимается совокупность взаимосвязанных фактов и конкретных событий, отражающих состояние информационного поля в определенный момент времени: они могут быть стандартными, напряженными и критическими.

По своему предназначению РСЦ отличаются от информационно-аналитических (статистических, консультационных) центров, тем, что должны решать задачи не только сбора и обработки информации от различных источников (по направлению их деятельности), но и формировать сценарии решения ситуаций. В настоящее время известные ситуационные центры различных ведомств, муниципальных и государственных органов функционируют в упрощенном порядке, – преимущественно как информационно-аналитические центры сбора и обработки информации, поступающей из первичных источников (рис.1).

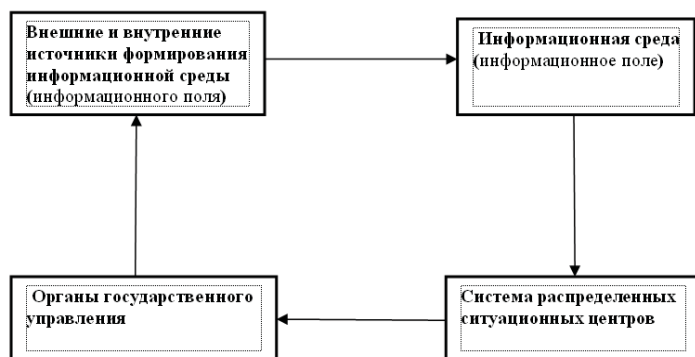


Рис. 1. РСЦ как система сбора, обработки и анализа информации

Как показывает практика, информация, поступающая в РСЦ, во многом недостоверна из-за их нежелания показывать реальное положение дел в ведомстве (т.е. скрывается

негативная информация и завышается эффективность деятельности органа). Кроме того, идет вброс в информационное поле ложной информации через СМИ, НКО и др. источники, контролируемые иностранными государствами. При нерешенной проблеме оценки качества поступающей информации из первичных источников дальнейшая её обработка, анализ, систематизация, хранение, защита и т.д. являются нецелесообразными.

В качестве примера можно привести события в Украине, где внешними источниками информации сформировано ложное информационное поле на территории всей страны. Поэтому без решения проблемы проверки качества информации от первичных источников нельзя исключить использование системы РСЦ для формирования ложного информационного поля и на территории РФ.

Повышение эффективности системы РСЦ может достигаться по следующим направлениям:

- совершенствование проверки входящей информации от первичных источников;
- подготовка вариантов разрешения кризисных ситуаций и проигрывания их сценариев на основе технологии моделирования ситуационных задач в пространственно-временном континууме;
- создание (на основе проигрыша сценариев кризисных ситуаций) баз прецедентов и вариантов их решения;
- подготовка данных руководству заказчика для формирования (на основе проигрыша сценариев кризисных ситуаций) благоприятного информационного поля в области их деятельности (т.е. обратная связь);

Наиболее перспективным способом проверки качества поступающей в РСЦ информации видится пространственно-временное моделирование ситуаций с возможностью проигрыша разработанного сценария. Группа экспертов на основе полученных данных первичных источников осуществляет пространственно-временное моделирование ситуации и проигрывает полученный сценарий. Если результат соответствует анализу поступившей информации, делается вывод о том, что информация достоверная, если нет - то ложная.

Пространственно-временное моделирование ситуационных сценариев может быть использовано не только для проверки информации, поступающей от внутренних и внешних источников, но и для моделирования ситуаций нужной категории. Необходимый результат прогнозируется путем введения в ситуационный сценарий дополнительных данных, и по результатам его проигрыша вырабатываются рекомендации заказчику по воздействию на источники формирования информационного поля (рис. 2).

Для осуществления корректной деятельности системы РСЦ предлагается в каждом ситуационном центре иметь группы экспертов по моделированию конкретных ситуаций. На основе проигрыша ситуационных сценариев группой экспертов при государственном органе разрабатывается несколько вариантов решения проблемных ситуаций и выработка конкретных мероприятий по формированию благоприятного информационного поля. В настоящее время технология пространственно-временного моделирования ситуаций используется в системе подготовки кадров при пограничных институтах ФСБ России, где предварительные результаты показывают её эффективность при разработке ролевых игр и ситуационных задач за счет быстрой подготовки большого количества вложенных сценариев.

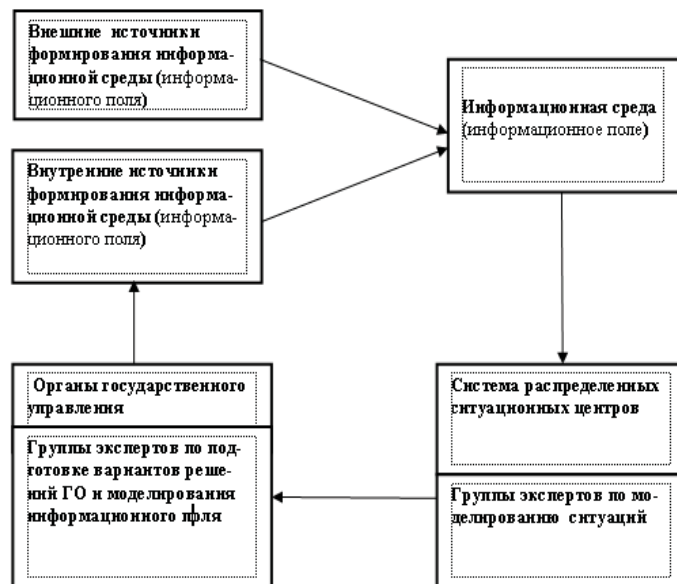


Рис. 2. Функционирование информационного поля в условиях активного формирования его элементов в РСЦ

Технология пространственно-временного моделирования ситуационных задач включает компоненты, широко используемые в других приложениях, особенность состоит только в принципе их организации и методике разработки ситуационных задач. Такие компоненты суть:

- Электронная цифровая карта местности;
 - ГИС – для подготовки листа электронной карты (загрузка дополнительных слоёв, построение графа, матрицы высот, нанесение условных знаков объектов исходной обстановки и др.);
 - Программный интерфейс и оболочка для пространственно-временного моделирования ситуационных задач;
 - Базы справочников (погодные условия, проходимость местности, условий наблюдения с использованием технических средств и др.) и организация взаимодействия их с роботизированными моделями динамических и активных объектов;
 - Базы условных знаков динамических и активных (реагирующих на изменение обстановки) объектов;
 - Базы роботизированных моделей для динамических объектов;
 - Временная шкала (для проигрыша сценариев ситуационных задач в режиме реального и машинного времени);
 - Методика разработки ситуационных задач и их загрузки в моделирующую программу для проигрыша пространственно-временных сценариев;
 - Программа запуска сценариев ситуационных задач, отображение хода их проигрыша, управление динамическими моделями в ходе проигрыша ситуационных задач, отображение результатов и сохранение в базе прецедентов.
- Действия всех объектов информационной среды происходят в пространственно-временном диапазоне, характер их поведения отображают следующие признаки:
- динамический объект (элемент госструктуры, правонарушители, противник, нейтральный объект);
 - технические (биологические) средства повышающие возможности объекта;
 - способ передвижения объекта (вид транспорта);

- место нахождения объекта в пространственно-временном диапазоне (маршрут движения);
- время деятельности объекта на каждом этапе поставленной задачи;
- взаимодействие объектов с информационной средой посредством считывания ГИС и данных баз справочников;
- взаимодействие динамического объекта с другими объектами с использованием роботизированных моделей;
- сценарии ситуационных задач с участием большого количества динамических объектов (готовятся на основе планирования действий в течение суток по категориям, на каждую - отдельный план);
- сценарии категорий динамических объектов, обозначающих противника (правонарушителей) готовятся по отдельным планам.

Технология пространственно-временного моделирования ситуаций может быть применена в любой области управленческой деятельности. Важнейшую роль здесь играют эксперты-разработчики ситуационных сценариев, которые не только должны знать предметную область направления деятельности заказчика и владеть методикой моделирования, но и обладать пространственно-временным мышлением, необходимым для выработки предложений по формированию перспективного информационного поля.

Таким образом, внедрение технологии пространственно-временного моделирования в области различных видов производственной, научной, общественной, административной и управленческой деятельности может способствовать формированию благоприятных информационных полей. Принятие управленческих решений на основе подготовленных сценариев в системе распределенных ситуационных центров позволяет более достоверно прогнозировать последствия этих решений, а также снижать риски критических ошибок.

Литература

1. <http://www.connect-wit.ru>.
2. <http://www.tadviser.ru/index.php>.
3. <https://teleformis.ru>.
4. *Звежинский С.С., Силкин В.В., Кокурин Л.А.* Пространственно-временное моделирование в программно-аппаратном комплексе обеспечения безопасности важного объекта / XI Межд. отраслевая науч.-тех. конференция «Технологии информационного общества»: сб. трудов. М.: Медиа-Паблишер, 2017. С. 295-296.
5. *Звежинский С.С., Парфенцев И.В., Симонов Д.Г.* Интеллектуальная система анализа и прогноза угроз важным объектам / XI Межд. отраслевая науч.-тех. конференция «Технологии информационного общества»: сб. трудов. М.: Медиа-Паблишер, 2017. С. 300.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИГНАЛООБРАЗОВАНИЯ В ПАССИВНОМ ИНФРАКРАСНОМ СРЕДСТВЕ ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЕЙ

Звездинский Станислав Сигизмундович,
д.т.н., профессор МТУСИ, г. Москва, Россия,
zwierz@rambler.ru

Духан Евгений Изович,
к.т.н., доцент УрФУ, г. Екатеринбург, Россия,
evgeny.duchan@usu.ru

Ковба Михаил Валерьевич,
преподаватель УрФУ, г. Екатеринбург, Россия,
mihail.kovba@mail.ru

Предложенный в [1] метод научного исследования сигнализационных средств обнаружения (СО) предполагает, прежде всего, разработку адекватной математической модели (ММ) сигналообразования в чувствительном элементе. В алгоритмизированной методике разработки ММ можно выделить этапы, которые в зависимости от физического принципа функционирования СО выполняются в указанном порядке или одновременно:

1. Составление обобщенной (физической) модели сигналообразования.
2. Декомпозиция обобщенной модели сигналообразования в СО.
3. Описание объекта обнаружения (ОО) и учет динамики его воздействия на чувствительный элемент (ЧЭ) СО.
4. Составление абстрактной математической модели сигналообразования, описание и задание переменных.
5. Уточнение физических явлений, обуславливающих сигналообразование, введение ограничений и допущений.
6. Формирование математической модели в формульном виде.
7. Анализ ММ на возможность численного расчета выходных сигналов.
8. Разработка специального программного обеспечения, реализующего математическую модель, предназначенного для создания банка модельных сигналов.

С использованием этой методике разработана обобщенная модель сигналообразования (рис.1) в типовом пассивном инфракрасном средстве обнаружения (ПИКСО). Поверхности предметов и ограждающих конструкций в зоне обнаружения (ЗО) средства обнаружения, а также человек-нарушитель формируют совокупное тепловое излучение, которое специальной многосекционной оптической системы фокусируется на пироприемнике, – на его выходе и формируется полезный сигнал в виде напряжения.

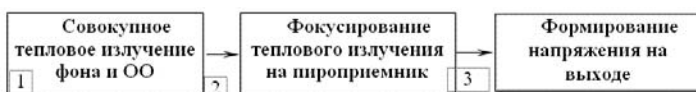


Рис. 2. Обобщенная модель сигналообразования в ПИКСО

Декомпозиция модели (по рис. 1) представлена на рис. 2. Совокупное тепловое излучение предметов и ограждающих конструкций охраняемого помещения определяется распределением (текстурой) температуры по их поверхностям, а также пространственным расположением площадей излу-

чающих поверхностей относительно ПИКСО. Нарушитель представляется трехмерным объектом с размерами и температурной текстурой, характерными человеку в одежде; текстура модели нарушителя инкапсулируется в трехмерную модель охраняемого пространства как и другие предметы в ЗО, отличаясь только своей подвижностью [2-3].

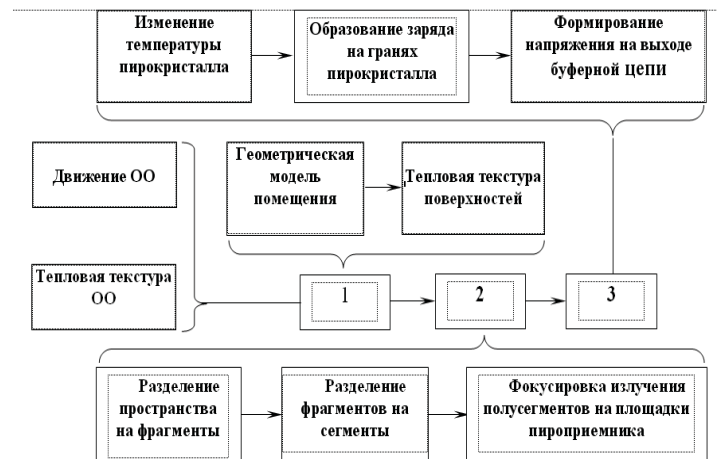


Рис. 3. Декомпозиция обобщенной модели сигналообразования в ПИКСО

ЗО ПИКСО представляет собой совокупность фрагментов пространства, каждая из которых образована элементарной линзой оптической системы (ОС), у которой оптическая ось проходит через линию, разделяющую соседние чувствительные площадки пироприемника (ПП). Благодаря этому каждый фрагмент ЗО оказывается разделен на два сегмента – четный и нечетный. Совокупное излучение всех нечетных сегментов фокусируется на одну из площадок приемника, четных – на другую. Сигналы, соответствующие совокупному излучению четных и нечетных сегментов, вычитаются в буферном усилителе, на выходе которого в отсутствие нарушителя формируется близкое к нулю напряжение, чем достигается компенсация теплового фона помещения.

Температура тела человека отличается от температуры поверхностей охраняемого помещения; при движении он поочередно перекрывает четные и нечетные смежные сегменты ЗО, нарушая баланс выходного напряжения ПП. Вследствие этого полезный сигнал, обусловленный нарушителем, имеет знакопеременный характер, что учитывается при принятии решения об обнаружении осуществляется на

основе амплитудно-временного анализа.

Работа ПП описывается тремя последовательными преобразованиями (рис.3). Тепловой поток, изменяющийся во времени вследствие движения нарушителя, и фокусирующийся на фоточувствительные площадки ПП, изменяет температуру $T(t)$ пирокристалла. Это изменение (температурное) вызывает нарушение равновесия структуры электрических доменов пирокристалла и образование пироэлектрического заряда $Q(t)$ на его поверхностях. Изменение заряда приводит к возникновению тока во внешней цепи пироэлемента и появлению выходного напряжения $U(t)$.

При формировании модели сигналообразования в ПИК-СО математической первые два элемента его предметной модели следует объединить и рассматривать два последовательных процесса: 1) фокусирование теплового потока $\Phi(t)$, обусловленного совокупным излучением поверхностей контролируемого пространства, на чувствительные площадки ПП4; 2) преобразование теплового потока в выходное напряжение $U(t)$ пироприемника. В данном случае целесообразно объединить этапы создания абстрактной модели и ее формульного вида.

Для формирования ММ ПИКСО в силу линейности процессов фокусирования теплового потока, возможно рассчитывать «разностный» тепловой поток в соответствии с выражением [2]:

$$\Phi_p(t) = \sum_i^m (\Phi_{i_n}(t) - \Phi_{i_n}(t)), \quad (1)$$

При этом вследствие «линейности» процесса пироэлектрического преобразования пироприемник можно считать одноплощадочным, что упрощает формирование модели [3].

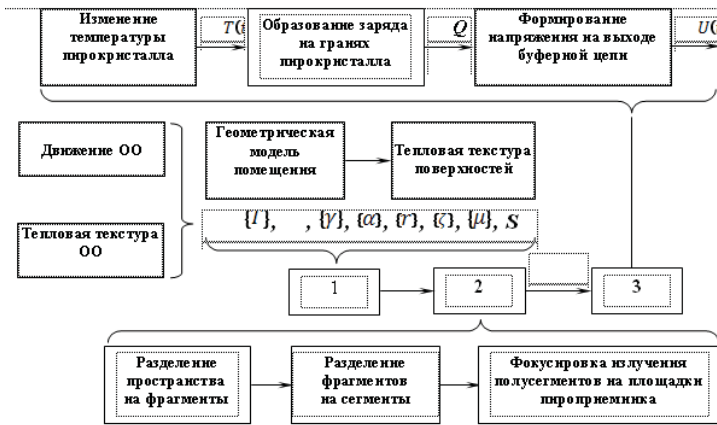


Рис. 4. Абстрактная модель сигналообразования в ПИКСО

В пределах рабочей полосы оптических частот ПИКСО излучающие тепло объекты являются «серыми телами» со степенью, обусловленной материалом поверхности. Их интегральная излучательная способность зависит от температуры поверхности, описывается законом Стефана-Больцмана [4]:

$$R_{cep} = \zeta R = \zeta \int_0^{\infty} r_e^{u,m}(v, T) dv = \zeta \sigma T^4 \quad (2)$$

где λ – длина волны теплового излучения, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \times \text{Вт/см}^2 \cdot \text{К}^4$ – постоянная Больцмана, T – температура тела в $^{\circ}\text{K}$, ζ – безразмерный коэффициент (излучения).

По закону Ламберта [4] количество тепловой энергии d^2R_{β} , излучаемое элементом поверхности охраняемого

пространства в направлении элемента dS оптической системы, формирующего i -й сегмент ЗО, пропорционально произведению количества энергии, излучаемой им по нормали, на величину элементарного пространственного угла $d\Omega$ и $\cos \beta$, где β – угол между нормальными поверхностями dS и dF :

$$d^2R_{\beta} = R_{cep} \cos \beta d\Omega dF. \quad (3)$$

Пусть r – расстояние по прямой между dF и dS , тогда $d\Omega$ – телесный угол, вырезаемый элементом площади dS на сфере радиусом r с центром совпадающим с точкой, откуда исходит нормаль, при этом:

$$d\Omega = \frac{dS}{r^2}. \quad (4)$$

Из (3) и (4) вычисляется поток мощности, проходящий через i -й сегмент оптической системы dS_i :

$$\Phi_i(t) = \int_{dS_i} \int_{dF} \frac{\zeta(t) \sigma T^4(t)}{\pi r^2(t)} \cos \beta dS dF, \quad (5)$$

Вычисление совокупного разностного потока по **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – 0 предполагает наличие для каждого сегмента ЗО ПИКСО информации о соответствующих геометрических и физических параметрах, получить которую можно посредством построения трехмерной компьютерной модели помещения. Поскольку любая такая модель дискретна, каждый из сегментов можно представить в виде некоторого набора трехмерных примитивов площадью F_j .

Тогда в 0 от интеграла по площади dF можно перейти к сумме величин потоков от F_j , составляющего i -й пространственный полусегмент. Интеграл по dS_i в силу малого отношения площади линзы к расстоянию r , можно заменить на произведение величины суммарного потока от всех примитивов на площадь i -й элементарной линзы S_i .

Трехмерная 3D-модель позволяет найти проекцию трехмерного примитива на плоскости чувствительных площадок пироэлемента S . Процесс расчета проекций в 3D-приложении автоматизирован, и имеется возможность для каждого F_j найти эквивалентную площадь проекции по координатам вершин их примитивов. Расчет может осуществляться с помощью алгоритма «центральной проекции», при котором проецируемые объекты размещаются внутри пирамиды с углами при основании α и γ . Из геометрии можно вычислить площадь элемента F_j по площади его проекции:

$$F_j = \frac{r^2 \tan \alpha \tan \gamma}{S \cos \beta} F_{j-np}, \quad (6)$$

вследствие чего формула **Ошибка! Источник ссылки не найден.** принимает удобный для вычисления вид:

$$\Phi_i(t) = \mu S_i \sum_j \left(\frac{\zeta(t) \sigma T^4(t) \tan \alpha \tan \gamma}{\pi S} F_{j-np} \right). \quad (7)$$

При этом величины α и γ являются параметрами трехмерной модели, а площади проекций находятся численно. В выражениях **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – 0 и далее опущены индексы i при переменных ζ , T , α, γ, r , которые в общем случае зависят от времени.

На рисунке 4 обозначены множества указанных парамет-

СРЕДСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ МЕЖСЕТЕВЫХ ЭКРАНОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ РАБОТЫ

Симонян Айрапет Генрикович,

к.т.н., доцент кафедры "Информационная безопасность", МГУСИ, Москва, Россия,
blackman-05@mail.ru

Нечаев Иван Андреевич,

МГУСИ, Москва, Россия,
nneechay@mail.ru

В настоящее время интернет является источником большого количества угроз, как для частных пользователей ПК, так и для автоматизированных рабочих мест и серверов на крупных предприятиях. Для создания надежной защиты используются комплексы средств защиты информации. Одним из основных компонентов таких комплексов является межсетевой экран.

Межсетевой экран – это программное обеспечение, которое отслеживает сетевую активность компьютера, разрешая или запрещая соединения в соответствии с установленными правилами. Помимо двух основных функций межсетевого экранирования – фильтрации трафика и функции посредничества, он может выполнять другие действия, такие как: взаимодействие с антивирусным ПО для обнаружения вредоносных программ, идентификация и аутентификация пользователей, разграничение доступа пользователей внешней и внутренней сети, проверка подлинности принимаемой информации, трансляция IP-адресов во внешнюю сеть, кэширование данных, регистрация и анализ событий. Перечисленные функции позволяют улучшить защищенность персонального компьютера или даже локальной сети. Однако не все брандмауэры осуществляют эти функции и поэтому не могут обеспечить достаточный уровень безопасности. Более того, необходимо учитывать тот факт, что злоумышленники постоянно разрабатывают новые способы обхода защиты межсетевых экранов. Таким образом, пользователь должен быть уверен, что установленный на его компьютер межсетевой экран может противостоять как давно известным, так и новым угрозам.

Для проверки эффективности работы того или иного межсетевого экрана, применяются специальные тестовые программы и сервисы. Как правило, каждая такая программа или сервис осуществляет определенный набор процедур, пытаясь обойти защиту брандмауэра, при этом эмулируя работу вредоносного ПО или какой-либо атаки. По результатам работы пользователю выдается соответствующая информация.

Надежный межсетевой экран должен контролировать все соединения и передача информации, как входящая, так и исходящая должна осуществляться только через него. Любая входящая информация должна быть не только отфильтрована в соответствии с правилами, но и проанализирована на предмет различных угроз. Например, проверка трафика может быть направлена на выявление и предотвращение различного рода атак, которые могут совершаться на защищаемый компьютер.

Контролировать всю исходящую информацию необходимо, поскольку очень часто вредоносные программы используются в целях кражи какой-либо информации с компьютера жертвы, такой как: конфиденциальные документы и файлы, логины и пароли, снимки с веб-камеры, скриншоты

экрана. Задача межсетевого экрана в этом случае состоит в том, чтобы определить наличие такого соединения и предотвратить передачу данных.

В связи с этим, тестовое программное обеспечение можно условно разделить на две группы: проверяющие возможности фильтрации входящего трафика, соединений, поступающих из внешней сети, и проверяющие возможности фильтрации исходящего трафика и исходящих соединений.

Тесты, относящиеся к первой группе, обычно реализуются в виде онлайн-сервисов. Для проверки качества защиты своего межсетевого экрана от нежелательного трафика, проходящего извне, нужно пройти по ссылке, предоставляемой разработчиком теста, и ожидать результат проверки.

Тесты, относящиеся ко второй группе, реализуются в виде специальных программ, которые запускаются пользователем непосредственно с компьютера. Такие программы называются leak-тесты. Они предназначены для проверки способности межсетевого экрана предотвращать утечку информации.

Для того, чтобы наиболее полно проверить брандмауэр, необходимо использовать комплекс leak-тестов. Использовать один leak-тест нецелесообразно, так как каждый из них проверяет лишь один сценарий действий. Поэтому для получения более подробного отчета о работе межсетевого экрана, необходимо использовать несколько тестов.

Обычно разработчики создают свои leak-тесты на основе следующих сценариев:

- 1) Приложение переименовывает себя в любую из доверенных программ и пытается осуществить передачу данных;
- 2) Для передачи информации используется скрытое окно системного браузера, которое невидимо для пользователя и потому не может быть им закрыто;
- 3) В данном тесте загружается специальная dll-библиотека, которая запускается вместе с любой доверенной программой и таким образом обходит межсетевой экран;
- 4) Программный код приложения внедряется в dll-файл доверенного приложения, тем самым становится скрытым от брандмауэра;
- 5) В этом тесте специальная программа загружает себя в область памяти, отведенную для доверенного приложения. Затем совершает попытку передать данные на правах взломанной программы.

Тестирование должно состоять из набора leak-тестов, осуществляющих проверку наиболее распространенных и опасных уязвимостей. Для проведения тестирования был разработан следующий тестовый набор:

В первом тесте на локальном диске создается документ, в который записывается текстовая информация. Затем приложение попытается выслать содержимое этого документа на заранее определенный адрес электронной почты. Если пись-

мо окажется в ящике, то межсетевой экран не справился с данным тестом.

Второй тест заключается в следующем. Программа запускает командную строку. Далее из нее поступит команда на запуск браузера Internet Explorer, который уже попытается перейти на конкретный сайт по ссылке. Такая цепочка последовательных запусков необходима для того, чтобы запутать межсетевой экран. Если с помощью программы-теста сразу открыть браузер, то брандмауэр, скорее всего, сможет определить, что запуск браузера осуществила неизвестная программа. А в данном тесте, браузер открывается из командной строки, которая является известным доверенным приложением. Обычно межсетевые экраны проверяют не всю цепочку запусков приложений, а только лишь предпоследнее родительское приложение, которое вызвало запуск дочернего, и поэтому разрешает соединение.

В третьем тесте создается копия приложения, но с другим именем. Имя для новой копии теста выбирается точно такое же, как у доверенного приложения, например, `iexplore.exe`. Далее новая копия теста с новым именем пытается открыть заранее определенную страницу сайта. Межсетевой экран, который идентифицирует процессы исключительно по имени, разрешит передачу данных, так как примет тестовое приложение за известное доверенное программное обеспечение.

Для удобства использования leak-тестов необходимо применять ПО, осуществляющее их последовательный запуск и контроль работы. После проведения тестирования приложение должно анализировать журнал событий межсетевого экрана и выдавать отчет о результатах проверки. Отчет должен содержать следующую информацию:

- Общее количество проведенных leak-тестов;
- Реакция межсетевого экрана на те действия leak-

тестов, которые были определены как вредоносные;

- Сравнение количества выполненных и не пройденных leak-тестов;
- Оценка качества работы проверяемого межсетевого экрана;
- Рекомендации пользователю по корректировке настроек и правил межсетевого экрана.

Таким образом, с помощью такого приложения можно проверять практически любой программный межсетевой экран, выявлять уязвимости и выдавать отчеты с результатами тестов. Пользователь, изучив результаты тестирования, может скорректировать настройки межсетевого экрана, для его правильного функционирования, или же сменить его на другой, при необходимости.

Используя данное программное обеспечение можно выбрать несколько тестов для проверки конкретных уязвимостей и составить собственный рейтинг межсетевых экранов. Исходя из рейтинга, выбрать лучший, подходящий для защиты компьютера в конкретных условиях.

Литература

1. *Лапонина О.Р.* Межсетевые экраны. Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ». 2016. 465 с.
2. *Harris A.* Cisco ASA Firewall Fundamentals. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014. 223 p.
3. *Цирлов В.А.* Основы информационной безопасности автоматизированных систем. Издательство «Феникс», 2008. 173 с.
4. *Лебедь С.В.* Межсетевое экранирование. Теория и практика защиты внешнего периметра. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2002. 304 с.
5. *Terry W.O.* Practical Firewalls. 2000. 504 p. ISBN: 0-7897-2416-2,

ПРИМЕНЕНИЕ ЖУРНАЛОВ СОБЫТИЙ АНТИВИРУСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Симонян Айрапет Генрикович,

к.т.н., доцент кафедры "Информационная безопасность", МГУСИ, Москва, Россия,
blackman-05@mail.ru

Новоженин Лев Викторович,

МГУСИ, Москва, Россия,
l3n6@icloud.com

Ежедневно с помощью кредитных карт оплачиваются покупки в интернете, отправляется по почте рабочая документация, пароли и логины от социальных сетей хранятся на компьютере, а также другая личная информация, например, фотографии и видео. Но, существуют вредоносные программы (вирусы), благодаря которым злоумышленники могут воспользоваться уязвимостями ОС с целью завладения или повреждения конфиденциальных данных. Для предотвращения подобных действий применяются антивирусные программы.

Зачастую антивирусное программное обеспечение (ПО) блокируют сотни попыток вредоносного воздействия на систему и пользовательские данные. Во всех антивирусных программах присутствует модуль, отвечающий за ведение журналов событий, отвечающий за фиксацию локальных происшествий в виде событий, таких как обнаружение опасных объектов, неактуальность базы данных сигнатур вирусов, повреждение антивирусных баз, остановке работы системы безопасности и т.д. О возникновении таких событий пользователь узнаёт благодаря всплывающим уведомлениям и звуковым сигналам.

Для рядового пользователя могут остаться неочевидными все возможности и достоинства анализа журнала событий антивируса, но для специалиста это важнейший и незаменимый источник информации. Пожалуй, к немногочисленным недостаткам ведения журнала событий антивирусного ПО можно отнести затрату ресурсов, а именно вычислительных мощностей и времени необходимого для анализа полученных данных. Учитывая техническую оснащённость современных компьютеров, затрату ресурсов можно считать несущественной проблемой. К недостаткам, можно отнести возможность отключения журнала событий, в некоторых антивирусных программах; благодаря чему злоумышленник может попытаться остановить запись информации о несанкционированных действиях и подозрительной активности. Подобными действиями злоумышленники могут скрыть или исказить возникновение проблем с безопасностью.

Одним из главных достоинств ведения и анализа журнала событий является предупреждение пользователя о постоянных атаках, приближающихся опасностях, осложнениях или возникновении аварийных ситуаций в системе безопасности. Очевиден тот факт, что всё это возможно только при условии правильного использования журнала событий антивирусного программного обеспечения, неправильная настройка может привести к появлению большого количества событий, что в свою очередь может негативно отразиться на общей производительности системы и быстрому заполнению журнала безопасности не нужной информацией. Для правильной настройки специалистам необходимо знать какие факторы должны быть учтены, какие задачи им необходимо выполнить для развертывания эффективной политики безопасности. Также существует необходимость постоянно-

го отслеживания поступающей информации, оперативного реагирования на возникающие проблемы и опасности. Анализ регистрируемых событий дает возможность оценить распределение загрузки общих ресурсов в течение определенного времени, позволяет создать профили пользователей по выполнению различных операций на своих компьютерах, дополнительно аутентифицировать пользователей, например, по клавиатурному почерку (динамика набора текста) и т.д. К сожалению, в рамках обеспечения безопасности этого может оказаться недостаточно, ведь многообразие задач специалиста не позволяет рассчитывать на эффективную обработку столь большого объема информации, содержащейся в журнале событий антивируса без использования специальных средств и программного обеспечения, направленного на постоянную обработку данных. При автоматическом устранении угрозы системой безопасности существует вероятность того, что пользователем или специалистом не будет составлена максимально достоверная картина угрозы. Именно поэтому в рамках обеспечения безопасности, необходим постоянный и детальный анализ развития тенденций для планирования и распределения ресурсов для решения возникающих задач, а также необходимо постоянное ведение отчетов и сопоставление произошедших событий. В условиях, когда требуется высокий уровень безопасности, хранение архивов записей журнала событий антивирусного ПО принесёт немалую пользу. Со временем в журнале событий антивируса записываются ситуации или происшествия, требующие изучения или наблюдения. Некоторые события, выглядящие угрожающе сейчас, могут не нести никаких последствий и проблем, а может получиться и так, что казалось бы безобидное событие станет предвестником серьёзных проблем. Если проблемы возникают спустя какое-то время, специалистам будет полезно изучить историю этого события.

Полный и глубокий анализ журнала событий антивируса поможет изучить происхождение и масштаб когда-либо происходивших угроз и как следствие составить прогноз на будущее. Использование глубокого анализа и прогнозирования на основе данных хранящихся в журнале событий антивирусного программного обеспечения, демонстрирует специалисту слабые места и помогает вовремя заметить вторжение в систему безопасности. Понимание того, что на систему происходят только предварительные атаки, с целью поиска уязвимостей и подготовки более крупной, подскажет специалисту как нужно укрепить систему для отражения атак и как следствие избежать ущерба. Проанализировав журнал событий антивирусного ПО может сложиться понимание о том, какими методами будет проводиться атака. Это позволит максимально автоматизировать процессы управления уязвимостями и контроля соответствия политикам безопасности и вносимых изменений, а также правильно распределить ресурсы.

Сегодня существует большой арсенал методов обеспечения информационной безопасности, среди которых журнал событий антивирусного программного обеспечения занимает очень важное место, являясь, безусловно, полезной и необходимой системой аудита. Получив в результате глубокого анализа ценную информацию об уязвимостях системы безопасности, специалист может не только изучить историю возникшей проблемы, но и прогнозировать их, а, следовательно, предупреждать потерю, искажение и кражу данных.

Литература

1. *Бирюков А.А.* Информационная безопасность: защита и нападение, 2-е издание. ДМК-Пресс, 2017. 260 с.
2. *Камский В.А.* Защита личной информации в интернете, смартфоне и компьютере. Отдельное издание, 2017. 111 с.
3. *Скабцов Н.* Аудит безопасности информационных систем. Питер, 2017. 245 с.
4. *Шаньгин В.Ф.* Информационная безопасность и защита информации. Профобразование, 2017. 185 с.
5. *Проскурин В.Г.* Защита в операционных системах. М.: Горячая Линия – Телеком, 2014. 120 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МЕЖСЕТЕВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ЭКРАНИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА НА ИХ ОСНОВЕ МЕЖСЕТЕВОГО ЭКРАНА

Симонян Айрапет Генрикович,

к.т.н., доцент кафедры "Информационная безопасность", МТУСИ, Москва, Россия,
blackman-05@mail.ru

Русских Екатерина Александровна,

магистрант, МТУСИ, Москва, Россия,
ketrinrus@rambler.ru

По данным Международного союза электросвязи (МСЭ) от 30.06.2017, количество пользователей Интернета в мире составляет 3,8 миллиарда человек. Любой пользователь сети Интернет с легкостью может найти нужную информацию, зайти на информационный ресурс любой страны из любой точки мира. Также легко пользователь может оказаться на сайте, распространяющим вредоносное ПО или производящим атаку на пользовательский компьютер, т.е. может нанести вред системе, данным пользователя или даже целой организации.

Для защиты компьютера от вредоносных программ применяются различные ПО, такие, как антивирусы, межсетевые экраны (МЭ) и антишпионские программы.

Если сравнить эти три типа программ, то можно сказать, что антивирус предназначен для обнаружения и уничтожения вирусов; антишпионская программа предназначена для обнаружения и удаления нежелательных шпионских и рекламных программ; межсетевой экран необходим для предотвращения проникновения вредоносных программ и разнообразных атак на компьютер.

Так как большинство проблем, связанных с защитой компьютера от вредоносных программ, решались с помощью антивирусных программ, межсетевые экраны появились гораздо позже. Но, начиная с 1990 годов, злоумышленники расширили возможности вредоносных программ и антивирусы уже не справлялись со своей задачей. Одним из первых проектов программных межсетевых экранов был Netfilter/iptables. Он был создан в 1998 году и встраивался в ядро Linux с версии 2.4.

Было разработано программное обеспечение, которое позволяет перехватить, проанализировать и, с помощью набора правил, заблокировать трафик. В наборе правил учитываются такие параметры, как протокол, порт, IP, приложение и другие параметры.

В основе ПО лежит технология WFP (Windows Filtering Platform)- современная и удобная технология, которая работает как в режиме ядра, так и в пользовательском режиме. Платформа фильтрации Windows представляет собой набор API и системных сервисов, которые необходимы для создания сетевых фильтрующих приложений. API WFP позволяет разработчикам разрабатывать программный код, который выполняется на нескольких уровнях в сетевом стеке операционной системы. Сетевые данные могут быть отфильтрованы и также изменены до того, как они достигнут пользователя.

WFP пришел на замену технологиям обработки трафика вроде NDIS, TDI и LSP. WFP позволяет создавать постоянные фильтры, которые остаются активными после перезагрузки; временные фильтры, которые сохраняются после завершения программы, но не после перезагрузки; и сесси-

онные, которые действуют только тогда, когда программа, создавшая их, все еще выполняется.

Платформа фильтрации Windows позволяет совершать определенные действия над пакетом, к таким действиям относятся:

- разрешить (FWP_ACTION_PERMIT);
- заблокировать (FWP_ACTION_BLOCK);
- продолжить обработку;
- запросить больше данных;
- прервать соединение.

Основными модулями разработанного программного обеспечения являются:

- Модуль авторизации;
- Модуль мониторинга;
- Модуль анализа сетевого трафика;
- Модуль фильтрации;
- Модуль журнала событий.

Модуль авторизации запускается сразу же после запуска программы и запрашивает у пользователя логин и пароль. В случае неверного ввода пароля и логина пользователю выдается соответствующее сообщение и количество оставшихся попыток.

Если пользователь три раза неправильно вводит логин и пароль, выдается сообщение об отказе в доступе и прекращении работы программы, что позволяет избавиться от несанкционированного доступа к программе.

После успешной авторизации управление передается модулю мониторинга. Модуль мониторинга перехватывает сетевой трафик, на котором установлена данная программа, и выводит информацию о трафике в реальном времени:

- IP получателя/отправителя;
- Протокол;
- Размер пакета;
- Время жизни пакета;
- Тип трафика:
 - Прием;
 - Отправка.

Модуль журнала событий даёт возможность увидеть все действия, совершенные ранее пользователем или самой программой. К таким действиям можно отнести:

- Вход в программу;
- Включение монитора;
- Настройка фильтра трафика;
- Удаление данных журнала событий.

Также модуль журнала событий позволяет просмотреть трафик, прошедший через монитор.

Если модуль мониторинга собирает трафик, то модуль анализа сетевого трафика обрабатывает собранный трафик, а результаты используются в модуле фильтрации.

Данный модуль играет важную роль в разработанном ПО, поскольку он в первую очередь определяет подозрительную активность и предупреждает об этом пользователя.

Модуль производит анализ трафика и выводит такие параметры, как:

- Количество прошедших пакетов;
- Средний размер пакета;
- Среднее количество пакетов в секунду;
- Средний объем бит в секунду;
- Время работы монитора.

Также по полученным параметрам построены графики:

- Зависимость бит от ip;
- Зависимость количества пакетов на время;
- Зависимость бит на пакет;
- Зависимость бит от времени.

Модуль фильтрации использует правила для фильтрации сетевого трафика.

В результате работы на данном этапе получен и проанализирован трафик, были собраны пакеты, средний размер которых равен 200 бит на пакет, среднее количество информации за секунду равно 1818 бит.

Получен и проанализирован трафик с аномалией. Далее весь исследуемый трафик был разбит на интервалы, и для каждого интервала определено наличие аномалии. Если мо-

дуль разницы среднего значения бит в секунду нормального трафика и среднего значения бит во взятом интервале аномального трафика превышает среднеквадратическое значение, то интервал содержит аномалию.

С помощью данного метода было выявлено два интервала, в которых был обнаружен аномальный трафик.

Литература

1. *Лапонина О.Р.* Межсетевое экранирование, 2-е изд. М.: Интуит, 2016. 415 с.
2. *Лапонина О.Р.* Протоколы безопасного сетевого взаимодействия (2-е изд.). М.: Интуит, 2016. 401 с.
3. Эффективный C++ Скотт Мэйерс. М.: ИД "Вильямс", 2016. 304 с.
4. FACTS AND FIGURES ICT 2017. М.: ITU, 2017. 8 с.
5. *Смелянский Р.Л.* Компьютерные сети. Том 2. Сети ЭВМ. М.: Академия, 2011. 240 с.
6. Стратегии межсетевого взаимодействия WEB: http://citforum.ru/nets/tpns/glava_2.shtml.
7. Windows Filtering Platform WEB: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/windows/desktop/aa366510\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/windows/desktop/aa366510(v=vs.85).aspx).

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Симонян Айрапет Генрикович,

к.т.н., доцент кафедры "Информационная безопасность", МГУСИ, Москва, Россия,

blackman-05@mail.ru

Чехов Алексей Сергеевич,

МГУСИ, Москва, Россия,

xutpbui15@mail.ru

На сегодняшний день существует огромное количество вредоносных программ, и с каждым днем их число неуклонно растет. Вследствии этого все более широкое распространение получает антивирусное программное обеспечение, так как большинство пользователей хотят защитить свои устройства. Антивирусы обеспечивают безопасность различными методами и способами. Большинство из них являются комплексными решениями, так как для того, чтобы обеспечить высокий уровень защищенности системы, необходимо использовать не один метод борьбы с вредоносным программным обеспечением. Антивирусное программное обеспечение от известных производителей обычно включает в себя разное число защитных компонентов. Так же компании как правило предлагают разные продукты, в которых количество модулей зависит от требований конечного пользователя.

Основными составляющими современного антивирусного программного обеспечения являются:

- Антивирусный сканер;
- Антивирусный монитор;
- Модуль превентивной защиты;
- Модуль обновления;
- Карантин.

Антивирусный сканер – компонент, который выполняет поиск вредоносных программ по запросу пользователя. Как правило в данном компоненте используется метод сигнатурного обнаружения. Данный метод поиска основан на выявлении сигнатур, которые представляют собой комбинацию байтов однозначно идентифицирующих вредоносный файл или приложение. Сигнатуры помещаются в файл базы данных антивирусной программы, которые следует своевременно обновлять, так как постоянно появляются новые вредоносные программы. Так же должна создаваться база исключений, в которой должны содержаться сведения о файлах и приложениях, которые пользователь посчитал безопасными. При использовании данного метода сканирование проводится в несколько этапов, при этом антивирус взаимодействует с двумя базами данных: база данных сигнатур и база данных исключений. Основным этапом является непосредственно проверка файлов, каждый сканируемый файл изначально необходимо проверить по базе данных исключений, если запись о файле содержится в ней, то в дальнейшей его проверке нет необходимости. В противном случае, файл необходимо проверить на наличие вредоносного кода в соответствии с базой данных сигнатур.

Достоинством данного метода является низкая вероятность ошибки. В то же время методика обладает серьезным недостатком: данный метод позволяет обнаруживать только известные вредоносные программы, следовательно, злоумышленнику достаточно изменить структуру файла или добавить текстуальные изменения, для того чтобы сигнатура отсутствовала в базе антивируса.

Антивирусный монитор – компонент, обеспечивающий защиту системы в реальном времени, блокирует попытки запуска или загрузки вредоносного программного обеспечения. Для того чтобы осуществлять защиту системы, данный модуль должен постоянно находиться в оперативной памяти компьютера. Как правило, в антивирусных мониторах применяются механизмы вероятностного анализа. К наиболее часто применяемым методам можно отнести:

- Поведенческий анализ;
- Эвристический анализ;

Поведенческий анализ заключается в следующем. Антивирусная программа следит за поведением приложения и, в случае если его действия покажутся подозрительным, блокирует дальнейшую работу, при этом обычно выводит на экран уведомление для пользователя. Ярким примером использования поведенческого анализа может служить технология виртуального контейнера, при которой неизвестное приложение изначально запускается в так называемом контейнере, из которого невозможно получить доступ к файлам системы, если приложение выполняет потенциально опасные действия, то оно будет заблокировано.

Эвристический анализ так же является разновидностью вероятностного анализа, данный метод позволяет выявить потенциально опасное приложение. Существует два основных метода эвристического анализа. Первый основан на том, что действиям, которые могут быть выполнены в операционной системе присваиваются некоторые значения уровня опасности, одни более опасные, другие менее, и в зависимости от того, какие функции выполняются программой, она может быть признана вредоносной или нет. Другим методом эвристического анализа является декомпиляция программы, то есть получение и анализ её исходного кода. Антивирусная программа детектирует код, свойственный вредоносному программному обеспечению, и при наличии определенного процента такого кода признает приложение вредоносным.

Главным достоинством этих методов является возможность обнаруживать новые, неизвестные вредоносные программы и блокировать их, но, как правило, сразу вылечить их не удастся, так как неизвестны алгоритмы лечения. Пользователю приходится ждать некоторое время, пока сигнатура вредоносной программы попадет в антивирусные базы, и станет известен алгоритм лечения файлов. Так же недостатком является высокая вероятность ложного срабатывания.

Модуль превентивной защиты – модуль, который обеспечивает защиту важных файлов самой антивирусной программы. Он предотвращает опасные действия программ, которые могут нанести вред самому антивирусу. Данный модуль так же как и антивирусный монитор должен быть постоянно загружен в оперативную память защищаемой системы, для того чтобы обеспечивать постоянную защиту. Данный компонент, также использует методы поведенческо-

го анализа.

Модуль обновления – компонент, отвечающий за обновление антивирусных баз данных, а также других модулей антивирусного программного обеспечения. Является важным компонентом системы, так как современные антивирусные продукты должны получать обновления как минимум каждый день, для того чтобы получать сведения о новых образцах вредоносных программ и алгоритмах лечения файлов, при их обнаружении.

Карантин – защищенное хранилище, в которое помещаются потенциально зараженные файлы. Файлы в карантин как правило попадают в результате работы эвристического анализатора, так как нельзя точно сделать вывод, является файл вредоносным или нет. Если пользователь уверен в том, что файл является безопасным для его системы, он всегда может восстановить его из карантина.

Так же в антивирусные комплексы могут включать и другие модули, в зависимости от версии программного обеспечения и производителя.

Ни одно антивирусное решение не может обеспечить абсолютную защищенность системы, каким бы количеством модулей оно не обладало. Так как борьба создателей вредо-

носных программ и производителей антивирусного программного обеспечения представляет собой бесконечный процесс, при котором первые находят уязвимости и пытаются воспользоваться ими, а вторые устраняют их. Так же стоит отметить, что вирусные атаки с развитием информационных технологий получают возможность наносить больший ущерб своим жертвам, что делает проблему защиты систем всё более актуальной.

Литература

1. *Виктор Холмогоров*. PRO вирусы. ООО «Страта», Санкт-Петербург, 2015.
2. *Joxean Koret, Elias Bachaalany*. The Antivirus Hacker's Handbook. John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana, 2015.
3. *Климентьев К.Е.* Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста. М.: ДМК Пресс, 2013.
4. *Касперски К.* Компьютерные вирусы изнутри и снаружи. СПб.: Издательский дом "Питер", 2006.
5. *Касперски К.* Записки исследователя компьютерных вирусов. СПб.: Издательский дом "Питер", 2005.

ОБНАРУЖЕНИЕ СЕТЕВЫХ АНОМАЛИЙ В ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ерохин Сергей Дмитриевич,

к.т.н., доцент кафедры «Информационная безопасность», МТУСИ, Москва, Россия,
s.d.erokhin@gmail.com

Тужилина Ксения Александровна,

Магистрант кафедры «Информационная безопасность», МТУСИ, Москва, Россия,
kсения291995@mail.ru

В современных компьютерных сетях аномалии трафика являются частым явлением. Их может спровоцировать ряд следующих причин: неисправность сетевого оборудования, случайные или преднамеренные действия со стороны пользователей, неверная работа приложений, действия злоумышленников и т.д.

Обнаружение аномалий в потоковом режиме является сложной задачей, поскольку предполагает последовательный характер поступления данных для обнаружения аномалий. Для последовательностей существует множество определений аномалий; аномальным может быть событие в последовательности, подпоследовательность внутри последовательности, или вся последовательность. Сравнительный анализ известных методов обнаружения аномалий в дискретных последовательностях показал, что одним из эффективных статистических методов является использование дискретных моделей Маркова [1, 2].

Целью работы является разработка скрытой марковской модели, для обнаружения аномалий в потоковых данных в реальном масштабе времени на примере DoS атаки.

Решение с помощью моделей Маркова предполагает упреждение появления определенного символа в тестируемой последовательности, используя вероятностную модель. Степень аномальности последовательности вычисляется на основе оценки вероятностей появления всех ее элементов и переходов между элементами. Методы, предполагающие решение с использованием скрытых моделей Маркова, преобразуют входные последовательности в последовательности так называемых скрытых состояний образуя скрытую модель Маркова (НММ - hidden Markov model).

Отличие от обычной марковской модели, где вероятности перехода состояния являются единственными параметрами и состояние системы непосредственно наблюдаемо, в НММ единственными видимыми элементами являются переменные системы, которые находятся в потоке состояния системы, в то время как состояния самой системы скрыты.

Для оценки параметров НММ нормального поведения системы в качестве обучающих данных используются последовательности нормальных событий, собранных в нормальном режиме работы системы.

Скрытые состояния $S = \{S_1, S_2, \dots, S_{N-1}, S_N\}$ – это набор скрытых состояний. Каждое состояние случайным образом генерирует смесь наблюдений M или видимых состояний O . Вероятность последующего состояния зависит только от предыдущего состояния. Полная модель определяется следующими компонентами: матрица вероятностей перехода $A = \{a_{ij}\}$, где $a_{ij} = p(S_i|S_j)$, матрица вероятностей наблюдения $B = (b_i(v_m))$, где $b_i(v_m) = p(v_m|S_i)$ и начальный вектор вероятностей $\pi = p(S_i)$. Вероятность наблюдения представляет собой атрибут, который наблюдается с некоторой вероятностью, если определенное состояние сбой ожидаемо.

Модель представлена $\lambda = (A, B, \pi)$.

Матрица вероятности перехода представляет собой квадратную матрицу размера, равного числу состояний, и отражает вероятность перехода состояния. Распределение вероятностей наблюдений представляет собой не квадратичную матрицу, размерность которой равна числу состояний по числу наблюдений и отражает вероятность наблюдения для данного состояния.

На примере DoS атаки, рассмотрено и реализовано построение НММ модели состоящей из двух этапов: обучения и тестирования. В качестве экспериментальной реализации в работе использован дамп трафика, в виде последовательности значений числа пакетов сетевого трафика с шагом 1 с. Длительность реализации составляет 10700 с.

Обнаружение аномалии в режиме онлайн осуществлялось с помощью текущего окна анализа длительностью $N = 100$.

На этапе обучения была сформирована скрытая марковская модель наблюдаемой реализации. Модель ненаблюдаемых состояний предложено рассматривать состоящей из двух состояний: «Состояние 1» – аномалии нет и «Состояние 2» – аномалия возможна. Данная модель описывается матрицей переходных вероятностей $a_{ij} = p(S_i|S_j)$, размером 2×2 и вектором начальных вероятностей $\pi = (0.5, 0.5)$.

Каждое наблюдаемое состояние дискретной цепи Маркова характеризуется векторами дискретных распределений вероятности b_i^1 и b_i^2 , численные значения которых найдены путем статистической обработки наблюдаемого дампа на этапе обучения при фиксированном положении окна анализа.

Учитывая, что параметры матриц переходных вероятностей считались неизменными, построенная модель была названа стационарной.

С помощью сформированной на этапе обучения модели, используя свойство дискретных цепей Маркова, производилось тестирование поведения трафика на участке предсказания.

Тестирование состояло в вычислении условных вероятностей для каждого символа тестовой последовательности с использованием алгоритма Viterbi [4, 5], а затем объединения их для получения общей вероятности для использования тестовой последовательности. Проведенные исследования показали, что поскольку наблюдаемый трафик является явно нестационарным процессом, разработанную модель необходимо адаптировать к реальным характеристикам с учетом нестационарного характера трафика. С этой целью разработанная на первом этапе стационарная марковская модель с двумя ненаблюдаемыми состояниями была адаптирована,

путем модификации матрицы переходных вероятностей $p(S_i|S_j)$. В модифицированной модели ненаблюдаемых состояний значения переходных вероятностей изменялись (адаптировались путем пересчета в режиме on-line) при каждом положении окна анализа.

Исследования показали, что адаптированная модель НММ дает лучшие результаты прогнозирования трафика.

На следующем этапе, на основе построенной и реализованной марковской модели необходимо осуществить обнаружение аномалии.

На этапе оценки аномалии для тестовой последовательности может быть применен любой метод обнаружения аномальной последовательности.

Главным недостатком скрытых Марковских моделей является то, что в большинстве случаев выбор оптимальных скрытых состояний является довольно затруднительным, а также высокая степень зависимости достоверности обнаружения аномалии от статистических характеристик обучающих последовательностей и необходимости выполнения условий Марковости.

Если вышеприведенное предположение о том, что последовательности в S генерируются НММ, не выполняется,

производительность метода на основе НММ может быть хуже, чем эффективность метода обнаружения аномалий на исходных данных.

Другим недостатком методов, основанных на НММ, является то, что инициализация НММ (количество скрытых состояний, исходная матрица перехода) часто является интуитивным, и плохой выбор для них часто может приводить к субоптимальной производительности метода.

Литература

1. Рабинер Л.Р. Скрытые Марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи // ТИИЭР. 1989. Т. 77. С. 86-120.
2. Преимущества потоковой передачи данных. Web: <https://aws.amazon.com/ru/streaming-data>.
3. Hidden Markov Model Toolkit Book. Cambridge University Engineering Department, 2001-2009.
4. Anomaly Detection for Discrete Sequences: A Survey. Varun Chandola, Arindam Banerjee and Vipin Kumar, 2012.
5. Hidden Markov Model Based Intrusion Alert Prediction. The University of Western Ontario, September 2016.

ОБНАРУЖЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА АНОМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМНЫХ ЖУРНАЛОВ

Рябинин Владимир Сергеевич,

Магистрант кафедры «Информационная безопасность», МТУСИ, Москва, Россия,
ryabvs@gmail.com

Фармаковский Максим Александрович,

Ассистент кафедры «Информационная безопасность», МТУСИ, Москва, Россия,
farmakovskiy@gmail.com

Основной целью системного журнала является запись состояний системы и важных событий в различных критических точках, чтобы помочь отладить системные сбои и выполнить анализ основных причин. Такие данные журнала общедоступны практически во всех компьютерных системах. Данные журнала являются важным и ценным ресурсом для понимания состояния системы и производительности; поэтому различные журналы системы, естественно, являются отличным источником информации для онлайн-мониторинга и обнаружения аномалий.

Поскольку системы и приложения становятся все более сложными, они подвержены большему количеству ошибок и уязвимостей, которые злоумышленник может использовать для совершения атак, которые становятся все более изощренными. В результате обнаружение аномалий стало более сложной процедурой, и многие традиционные методы обнаружения аномалий, основанные на стандартных методологиях разработки, уже неэффективны.

Для традиционных автономных систем разработчики вручную проверяют системные журналы или записывают правила для обнаружения аномалий на основе их знаний о домене, с дополнительным использованием поиска по ключевым словам (например, «отказ», «исключение») с помощью регулярных выражений. Однако такое обнаружение аномалий, которое в значительной степени зависит от ручной проверки журналов, стало недостаточным для крупномасштабных систем. В результате автоматические методы анализа логов для обнаружения аномалий пользуются большим спросом.

Структура системы обнаружения аномалий включает в себя четыре этапа [1].

Первый этап – сбор журналов. Крупномасштабные системы обычно генерируют журналы с записями состояний системы и информации о выполнении процессов, каждая из которых содержит метку времени и сообщение журнала, указывающее, что произошло. Эти данные могут быть использованы для обнаружения аномалий.

Второй этап – лог-анализ. Журналы не структурированы и содержат текст в свободной форме. Цель синтаксического анализа – извлечь группу шаблонов событий, в результате чего необработанные журналы могут быть структурированы. При этом, каждое сообщение журнала может быть разделено парсером на шаблон (паттерн) события (постоянная часть) и параметры (переменная часть).

Третий этап – извлечение признаков. После разбора журналов на отдельные паттерны необходимо дополнительно представить их в виде числовых векторов признаков с целью применения в дальнейшем методов машинного обучения. Для этого необработанные журналы сначала “нарезаются” на набор логических последовательностей, различ-

ными методами группировки, включая фиксированные окна, скользящие окна и окна сеанса. Затем для каждой лог-последовательности создается векторный-объект (вектор счета событий), который представляет собой количество вхождений каждого события. Все векторы вместе формируют матрицу признаков, то есть матрицу счетчика событий.

Четвертый этап – обнаружение аномалий. Полученную матрицу признаков можно исследовать методами машинного обучения создавая модель для обнаружения аномалий. Построенная модель может использоваться для определения аномального характера лог-последовательностей.

Цель Лог Парсинга состоит в том, чтобы отделить постоянные части от переменных и сформировать паттерны (шаблоны) событий журнала.

Простой инструмент кластеризации логов SLCT [2], является первой работой по автоматическому парсингу журнала.

Другой инструмент LKE (Log Key Extraction) [7] – метод анализа логов, разработанный Microsoft – применяется в наборе задач по анализу неструктурированного журнала.

Метод парсинга журнала IPLoM (Iterative Partitioning Log Mining) [5], основанный на эвристике, специально разработан в соответствии с характеристиками сообщений журнала, и используется при интеллектуальном анализе данных.

Как было показано в [8], эффективность алгоритма LKE резко снижается с увеличением размера лог-файла. Точность алгоритма IPLoM является наивысшей среди представленных, а сам алгоритм применим к данным большого размера и не требует заранее заданного количества кластеров.

Если каждая текстовая строка в журнале событий считается точкой данных, а ее отдельные слова - рассматриваемыми атрибутами, то задача кластеризации сводится к группировке похожих сообщений журнала. Например, “Command has completed successfully”, можно считать 4-мерной точкой данных со следующими атрибутами «Command», «has», «completed», «successfully». Однако традиционные алгоритмы кластеризации не подходят для журналов событий по следующим причинам [6]:

1. Сообщения журнала не имеют фиксированного количества атрибутов.
2. Атрибуты точки данных, представляющие собой отдельные слова или токены в каждой строке, являются категорическими. Большинство обычных алгоритмов кластеризации предназначены для числовых атрибутов.
3. Традиционные алгоритмы кластеризации также игнорируют порядок следования атрибутов.

В журналах событий важное значение имеет порядок атрибутов.

Алгоритм IPLoM разработанный как алгоритм кластеризации данных журнала работает путем итеративного разби-

ния набора журнальных сообщений. На каждом этапе процесса разбиения результирующие множества становятся ближе к содержанию только сообщений журнала, которые производятся в одном формате. В конце процесса разбиения алгоритм пытается обнаружить шаблон, по которому сгенерированы строки в каждом разделе.

Первый шаг процесса разбиения основывается на предположении, что сообщения журнала, которые имеют один паттерн, могут иметь одинаковый размер сообщения. По этой причине первый шаг IPLoM использует признак размера события для разделения сообщений журнала. Разделяя данные по размеру событий, можно ожидать, что результирующие разделы данного шага, вероятно, будут содержать экземпляры разных кластеров с одинаковым размером события.

К началу второго этапа каждый кластер данных журнала содержит сообщения журнала одного размера и поэтому их можно рассматривать как n -размерные кортежи, где n является размером сообщения журнала в разделе.

Второй шаг алгоритма основывается на предположении, что столбец с наименьшим числом переменных (уникальных слов) скорее всего будет содержать слова, которые являются постоянными на данной позиции паттерна. Поэтому идея данного этапа заключается в поиске позиции токена с наименьшим количеством уникальных значений с дальнейшим разбиением каждого кластера, используя уникальные значения на данной позиции. В результате каждый результирующий раздел будет содержать только одно из этих уникальных значений.

На третьем и последнем шаге производится разделение путем поиска отношений между множеством уникальных токенов на двух позициях. Основная идея заключается в выборе первых двух позиций токена с наиболее часто встречающимся значением размера сообщения больше 1. Когда в наборах токенов существует отношение между двумя элементами, это обычно подразумевает, что между ними существует сильная связь и сообщения журнала с этими значениями токена в соответствующих позициях, разделяются на новые кластеры.

На этом этапе алгоритм разделения завершен, и предполагается, что каждый раздел представляет собой кластер, то есть каждое сообщение журнала в разделе было создано с использованием одного формата. Формат строки или паттерн состоит из строки текста, где константные значения представлены буквально, а значения переменных представлены с использованием подстановочных символов “*”. Это достигается путем подсчета количества уникальных токенов в каждой позиции. Если позиция токена имеет только одно значение, то она считается постоянным значением паттерна, если больше одного, то считается переменной.

Основной целью выделения признаков является извлечение признаков из журнальных событий, которые могут быть загружены в модели обнаружения аномалий.

Входными данными на данном этапе являются паттерны журнала, сгенерированные на этапе парсинга, результатом этапа является – матрица частот событий. Чтобы извлечь признаки, сначала необходимо разделить данные журнала на различные группы, где каждая группа представляет последовательность сообщений. Для этого применяется окно для разбиения набора данных журнала на конечные последовательности. Существуют три разных типа окон: фиксированные окна, смежные окна и окна сеанса.

Фиксированные окна основаны на отметке времени, ко-

торая содержит время появления каждого сообщения. Каждое фиксированное окно имеет свой размер, характеризующий временной интервал или продолжительность времени. Количество фиксированных окон зависит от заданного размера окна. События, которые произошли в одном окне, рассматриваются как последовательность событий.

В отличие от фиксированных скользящие окна состоят из двух атрибутов: размер окна и размер шага, например, часовые окна, скользящие с шагом каждые пять минут. В общем случае размер шага меньше размера окна, что вызывает перекрытие смежных окон. Количество скользящих окон обычно больше, чем фиксированных окон и зависит от размера окна и размера шага.

По сравнению с указанными выше двумя типами окон, окна сеансов основаны на идентификаторах вместо метки времени. Идентификаторы используются для обозначения различных путей выполнения в некоторых журнальных данных. Например, журналы HDFS с `block_id` записывают выделение, запись, репликацию, удаление определенного блока. Таким образом, имеется возможность группировки идентификаторов соответствии с номером окна.

После построения лог-последовательностей, генерируется матрица событий X . С этой целью для формирования вектора счета в каждой последовательности подсчитывается количество появлений каждого лог-события. Например, если вектор счета событий равен $[0, 0, 2, 3, 0, 1, 0]$, это означает, что в этой последовательности событие 3 произошло дважды, а событие 4 произошло три раза. Наконец, множество векторов составляет матрицу событий X , где запись $X_{i,j}$ отражает, сколько раз событие j произошло в i -й лог-последовательности.

Результирующий вектор счета событий для данной последовательности будет иметь вид: $[1000100000110000000000020002000]$.

Построенную из подобных векторов матрицу признаков можно подавать на вход модели машинного обучения и, таким образом, создавать модель для обнаружения аномалий. Построенная модель может использоваться для определения того, является ли новая входящая лог-последовательность аномальной.

Литература

1. *Shilin He, Jieming Zhu, Pinjia He, and Michael R. Lyu*, Experience Report: System Log Analysis for Anomaly Detection / 2016 IEEE 27th International Symposium on Software Reliability Engineering.
2. *R. Vaarandi*. A data clustering algorithm for mining patterns from event logs. In IPOM'03: Proc. of the 3rd Workshop on IP Operations and Management, 2003.
3. https://www.splunk.com/ru_ru.
4. <https://www.elastic.co/products/logstash>.
5. *A. Makanju, A. Zincir-Heywood, and E. Milios*. Clustering event logs using iterative partitioning. In KDD'09 / Proc. of International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2009.
6. *R. Vaarandi*. A Data Clustering Algorithm for Mining Patterns from Event Logs / Proceedings of the 2003 IEEE Workshop on IP Operations and Management (IPOM) , 2003, pp. 119-126.
7. *Q. Fu, J. Lou, Y. Wang, and J. Li*. Execution anomaly detection in distributed systems through unstructured log analysis / ICDM'09: Proc. of International Conference on Data Mining, 2009.
8. *Pinjia He, Jieming Zhu, Shilin He, Jian Li and Michael R. Lyu*. An Evaluation Study on Log Parsing and Its Use in Log Mining / 2016 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ГИБРИДИЗАЦИИ

Шелухин Олег Иванович,

профессор, д.т.н., заведующий кафедрой «Информационная безопасность», МГУСИ, Москва, Россия,
sheluhin@mail.ru

Авакян Самвел Тигранович,

магистрант кафедры «Информационная безопасность», МГУСИ, Москва, Россия,
avsam@rambler.ru

Рекомендация – это объект или несколько объектов, которые система рекомендации выдает пользователю. Основная задача рекомендательных систем (РС) – имея данные об объектах и пользователях, получить список объектов, наиболее интересных для конкретного пользователя. В зависимости от того, какие данные используются для расчета рекомендаций, системы делятся на три больших класса:

- Методы коллаборативной фильтрации на основе рейтингов (collaborative filtering – CF);
- Методы, анализирующие содержимое объектов (content-based);
- Методы, основанные на знаниях.

Помимо перечисленных в ряде случаев используются гибридные алгоритмы, обладающие положительными чертами вышеупомянутых видов рекомендательных систем [1].

Методы коллаборативной фильтрации предполагают, что интересы пользователей представлены оценками, которые они дают объектам после просмотра, покупки и т.д. Основной идеей данных методов является сравнение между собой интересов различных пользователей или объектов на основе этих оценок. При этом никакой дополнительной информации о самих пользователях и объектах не используется. Построение РС является задачей интеллектуального анализа данных (data mining).

В зависимости от обрабатываемых данных коллаборативные РС, делятся на две категории:

- *На основе объектов (Item-based)*. Для поиска подходящего объекта для предоставления пользователю в качестве рекомендации сравниваются рейтинги оценённых пользователем объектов. В результате строится таблица item-item, в строках и столбцах которой указаны все объекты. В ячейках на пересечении содержатся коэффициенты сходства между ними, на основе которых формируются рекомендации.
- *На основе пользователей (User-based)* Для поиска подходящего объекта для предоставления пользователю в качестве рекомендации сравниваются наборы рейтингов пользователей. Для пользователей, обладающих достаточным коэффициентом сходства, могут быть сформированы рекомендации из объектов, имеющих у одного и отсутствующих у другого в рейтинговой таблице.

Алгоритмы CF используют базу данных о предпочтениях пользователей, которые способны помочь предугадать темы или продукты, что будут с наибольшей вероятностью интересны пользователю [2]. Абстрактно, сценарий CF имеет следующую структуру: имеется список из m пользователей $\{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_m\}$ и список из n элементов $\{i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_n\}$, и каждый пользователь u_j имеет список оценённых им элементов I_{uj} . В качестве рейтингов могут быть как явные показатели, к примеру, в масштабе 1-5, так и неявные (количество посещений, история покупок) [3].

На основе этих данных строится матрица «пользователь-элемент», в которой по строкам располагаются пользователи U , а по столбцам – элементы I . На пересечении указывается рейтинг, выставленный пользователем u_j для элемента i_k . Данная матрица всегда будет иметь незаполненные ячейки. Элементы, в ячейке которых не указана оценка, будут представлены в качестве рекомендации пользователю u_j , если эти элементы получили хорошую оценку среди других пользователей, имеющих схожие показатели с текущим пользователем u_j .

Гибридикация коллаборативной РС путём добавления пользовательских признаков

В качестве исходных данных для коллаборативной фильтрации могут выступать, в частности, матрицы «пользователь-элемент», в которых содержатся пользовательские оценки для элементов, количество посещений страниц/прослушиваний аудиозаписей/просмотров видео, частота запросов и т.п.

Добавление пользовательской информации в виде таблицы «пользователь-признак» позволит снизить влияние разреженности таблицы «пользователь-элемент». Разреженность, т.е. низкая степень заполнения исходной рейтинговой таблицы, свойственна dataset'ам всех крупных компании, фиксирующих подобную информацию для формирования рекомендаций. Данная проблема возникает из-за того, что количество элементов в системе зачастую настолько велико, что большинство пользователей физически не способны оценить их все за конечный промежуток времени. В результате задача выявления сходства по предпочтениям усложняется из-за недостатка исходной информации.

Пользовательские признаки чаще всего представлены в виде слов и словосочетаний из сгенерированного заранее набора вариантов или введённых пользователями вручную. Наиболее очевидными являются два способа преобразования информации такого формата в пригодный для использования вид. При первом способе используется метод нечисловой кластеризации. При втором - производится преобразование признаков пользователя в набор числовых значений, сопоставленных с каждым признаком. Способ с использованием изначально числовых параметров в качестве пользовательских признаков соответствует второму способу. От выбора способа зависит структура учёта пользовательских признаков.

Нечисловая кластеризация

Рекомендации для пользователей, не имеющих достаточного количества ненулевых оценок в таблице «пользователь-

элемент», будут формироваться из кластера сущностей, высоко оценённых группой других пользователей. Под *кластеризацией* понимается процесс объединения наиболее схожих между собой сущностей из набора данных в группы, называемые *кластерами*. Помимо гибридизации данный метод, за счёт добавления информации о пользователях, дополняется *алгоритмом на основе модели кластеризации* [5]. Процесс составления рекомендаций с помощью коллаборативной РС будет осуществляться для менее объёмного набора наиболее схожих между собой пользователей в каждом кластере отдельно.

К преимуществам данного подхода можно отнести следующие:

- Увеличение точности рекомендаций при корректном распределении пользователей на кластеры;
- Повышение скорости формирования рекомендаций для новых пользователей, так как системе не придется сопоставлять параметры этого пользователя с параметрами всех пользователей в системе для выявления сходства.

В качестве недостатков стоит отметить, что в методах кластеризации нечисловых данных возникает проблема выбора коэффициента, влияющего на степень сходства сущностей в кластере между собой. Наиболее известен алгоритм CLOPE [7], основанный на частоте попадания каждого из вариантов всех признаков в кластер. Регулировка размера кластеров и, соответственно, их количества, производится за счёт изменения *коэффициента отталкивания r* , при увеличении которого, количество кластеров возрастает, а степень сходства между пользователями в нём снижается, и наоборот.

Преобразование признаков в набор числовых значений

При переводе исходных нечисловых признаков в числовое представление становится возможным объединение данных таблицы «пользователь-объект» и таблицы пользовательских признаков «пользователь-признак». В результате для каждого пользователя формируется однозначно определенный ненулевой набор параметров.

Одним из наиболее предпочтительных вариантов получения числового представления признаков является векторизация текста. Реализовать данную задачу возможно с помощью специальных библиотек различных языков программирования (к примеру, scikit-learn для python [8]) или отдельных технических средств, таких как word2vec [9] от компании Google. Результатом работы алгоритма векторизации текста являются численные коэффициенты для каждого варианта каждого из признаков, пригодные для использования в коллаборативных РС.

Данный подход, помимо ключевых достоинств, свойственных первому способу преобразования информации, обладает следующими характерными особенностями:

- Возможность применения всех числовых методов для нахождения коэффициента сходства между пользователями;
- Возможность для пользователей вводить произвольные признаки в виде текста, что повысит вариативность;
- Масштабируемость ограничена лишь функционалом выбранного алгоритма коллаборативной фильтрации.

К недостаткам подхода относится тот факт, что при малом объёме информации о пользовательских признаках или при высокой уникальности каждого из признаков точность векторизации снижается.

Из изложенного следует, что преобразование признаков в набор числовых значений более предпочтительно при большом объёме данных. Для малых объёмов данных и низкой вариативности признаков больше предпочтителен способ обработки признаков путём кластеризации.

Использование признаков пользователей в коллаборативных рекомендательных системах способствует улучшению качества рекомендаций за счёт увеличения количества данных при вычислении степени сходства между пользователями. Для составления рекомендаций, на основе сходства с другими становится возможным создавать индивидуальные рекомендации для новых пользователей [6], не обладающих достаточным объёмом оценочных данных по таблице «пользователь-элемент». Частично решается проблема разреженности данных, так как в системе появляется минимальный объём информации, достаточный для формирования начальных рекомендаций.

Литература

1. *Prem Melville, Raymond J. Mooney, Ramadass Nagarajan* "Content-Boosted Collaborative Filtering for Improved Recommendations".
2. *P. Resnick and H. R. Varian*. Recommender systems // Communications of the ACM, vol. 40, no. 3, pp. 56-58, 1997.
3. *Miller B.N., Konstan J.A., and Riedl J.* PocketLens: toward a personal recommender system // ACM Transactions on Information Systems, vol. 22, no. 3, pp. 437-476, 2004.
4. *Ченикова Е.Д., Савкова Е.О., Привалов М.В.* Исследование алгоритмов рекомендательных систем, Донецк ДонНТУ, 2016.
5. *J. Han and M. Kamber*. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann, San Francisco, Calif, USA, 2001.
6. «Рекомендательная система: введение в проблему холодного старта» // URL // <https://habrahabr.ru/company/surfbird/blog/168733>.
7. *Yang, Y., Guan, H., You, J.* CLOPE: A fast and Effective Clustering Algorithm for Transactional Data In Proc. of SIGKDD'02, July 23-26, 2002, Edmonton, Alberta, Canada.
8. Working With Text Data, // URL // http://scikit-learn.org/0.15/tutorial/text_analytics/working_with_text_data.html.
9. word2vec // URL // <https://code.google.com/archive/p/word2vec>.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Tsogbadrakh A.	91	Григораш К.В.	357
Абдулвасеа М.О.А.	74	Гришин Д.В.	179
Абрамов В.А.	126, 144, 156	Гришин Д.В.	183
Абрамов С.В.	84	Громорушкин В.Н.	231
Авакян С.Т.	391	Груничев Ю.А.	175
Авраам И.А.	160	Грычкин С.Е.	86, 88
Агафонов П.А.	282	Гумбатов Р.Т.	58
Аджемов А.С.	211	Данилов А.Н.	33, 41
Аджемов С.С.	163, 165	Дачев Н.Й.	108
Айрапетов Д.П.	284	Деарт В.Ю.	43
Андреев В.В.	26, 287	Демчук Ю.И.	160
Аринин О.В.	214	Денисов В.Ю.	329
Аристархов Г.М.	214	Денисова Е.Н.	324
Афанасьев В.В.	247	Долгова Н.Д.	331
Балобанов А.В.	128, 130	Должик Д.С.	251, 334
Балобанов В.Г.	128	Доможакова В.В.	163
Барботько И.В.	102	Дуплищева Я.В.	291
Барсук И.В.	289	Духан Е.И.	376
Барсуков Д.А.	291	Егоров Д.А.	138
Безруков И.М.	291	Ерохин С.Д.	387
Безумнов Д.Н.	293	Жаднов В.В.	185
Белянский В.Б.	133	Жиличкин А.Г.	172
Бирюков Н.Л.	28	Журко А.М.	120
Бирюкова О.В.	217	Зайцев В.С.	45
Богданов И.Н.	226	Звездинский С.С.	373, 376
Болотов А.О.	219	Зенкин Е.И.	336
Большаков А.С.	369	Золотухин П.А.	302
Борисов А.А.	144	Зубилевич А.Л.	48, 50, 52
Брыксенков А.А.	20	Зуев М.Ю.	244
Булдин И.Д.	324	Зыков А.С.	322
Бурдин В.А.	31	Ибрагимов Б.Г.	56, 58, 60
Быков В.В.	135	Ибрагимов Р.Ф.	58
Бычков М.С.	221	Иванов С.И.	78
Ванюшина А.В.	371	Иванюшкин Р.Ю.	234, 238, 275
Варламов В.О.	136	Ивашкин Ю.А.	346
Варламов О.В.	136	Исаев Я.С.	60
Варнавский В.С.	104	Исаков Т.Г.	287
Васильев А.П.	122	Калашников Е.А.	61, 338
Великовский Ю.Р.	33	Керимов В.Р.	56
Винтенкова Ю.С.	36	Кириллов И.Н.	214
Власюк И.В.	149	Кладкова А.Е.	130
Володин В.Е.	295	Клинцов О.И.	84
Волошина Т.С.	297	Ковба М.В.	376
Воробейчиков Л.А.	39	Козинец А.В.	175
Воронков А.А.	223	Козлов С.В.	36, 340
Воронов В.И.	327	Козырев В.Б.	234
Воронова Л.И.	293	Кокурин Л.А.	373
Воронцов Ю.А.	175	Колесников В.А.	50, 78
Гадасин В.А.	299	Комолов А.В.	344
Гадасин Д.В.	299, 302	Кондыбаева А.Б.	61, 33861
Гайнутдинов Т.А.	226	Корецкая И.В.	217
Ганиев Т.Р.	304, 306, 308, 310	Коринский А.М.	141
Гаранкина Н.И.	241	Корнюхин В.И.	258
Голубев Е.А.	168	Королев П.С.	185, 187
Горбунов А.О.	106	Коршунов А.И.	346
Горгадзе С.Ф.	229	Коршунов В.Н.	63
Гордеев Д.С.	312	Котов Д.В.	238
Городничев М.Г.	314, 317, 322, 324	Кочемасов Д.В.	88
Горячев Д.В.	327	Кочержевский В.Г.	241

Кочупалов А.Е.	317	Рыбаков А.И.	195
Кретов М.И.	349	Рыжков А.В.	81
Кривов Д.А.	302	Рябинин В.С.	389
Крохин Е.А.	110	Рябов И.В.	253, 263
Кубанков А.Н.	340	Самойлов А.Г.	23 198
Кудашов А.В.	112	Санников В.Г.	153
Кудряшова А.Ю.	211	Седов В.М.	258
Куприянов Д.О.	114	Седов К.Д.	187
Куракова Т.П.	198	Семенов А.Б.	78
Курахтенков Л.В.	172, 179, 183	Семенова А.Ю.	202
Курупов А.В.	353	Серебрякова Ю.О.	185
Кусамбаева Н.Ш.	95	Сиднев С.А.	48, 50
Кучумов А.А.	165, 172, 183	Симонян А.Г.	379, 381, 383, 385
Либеровский Н.Ю.	165, 172	Синева И.С.	329
Литвин С.А.	144	Смирнов Е.В.	261
Лобова Е.О.	168	Соколов С.А.	52
Логинов С.С.	244, 247	Соснин А.И.	187
Лонгинов И.А.	116	Сосновиков Г.К.	39
Люкина Е.В.	126	Сперанский В.С.	133, 84
Магсумов В.Р.	168	Спирина Е.А.	36
Мазепа Р.Б.	189	Сподобаев А.М.	179
Мазуренко Д.К.	64	Степанов М.С.	120
Макарова Н.Е.	66	Степанов С.Н.	120, 122
Максименко В.Н.	331, 355	Степанова А.Г.	191
Максимов С.П.	41	Стрельников И.В.	253, 263
Максимчук Д.Н.	357	Стрельцова В.А.	226
Манонина И.В.	68	Строганова Е.П.	86, 88
Мастяев М.А.	251	Терехов А.Н.	126, 156
Матвеев В.А.	33	Тихомиров А.В.	202
Махров С.С.	324	Тихонов В.Ю.	206
Миронов О.Ю.	70	Толмачев С.В.	253, 263
Митрофанов Е.М.	359	Триска Н.Р.	28
Михайлов В.Ю.	189	Трунов С.В.	163
Морозов Б.Н.	52	Тужилина К.А.	387
Насонов А.Ю.	81	Тучин А.Е.	124
Нестеров А.А.	234	Утепбергенов И.Т.	95
Нечаев И.А.	379	Уткина В.И.	158
Нижгородов А.О.	31	Ухин Д.А.	367
Новоженин Л.В.	381	Фармаковский М.А.	389
Новосельцев Е.О.	363	Фатхулин Т.Д.	43
Омельянчук Е.В.	202	Федоров В.Д.	138
Орехов Е.А.	118	Холюков Р.Г.	266
Орлов В.Г.	146	Хромой Б.П.	98, 100
Оситис А.П.	61, 338	Царенко В.А.	48
Панков К.Н.	365	Чебышев В.В.	270
Панкратов Д.Ю.	191	Чернышёва Т.В.	158
Петров А.С.	272	Чехов А.С.	385
Писчиков Д.А.	317	Чиков В.А.	272
Полянцева К.А.	314	Шаврин С.С.	63
Попов О.Б.	126, 144, 156	Шварц М.Л.	28
Портнов Э.Л.	78	Швырёва М.А.	66
Потапова Е.А.	156	Шевелёв С.В.	295, 312, 363
Поташников А.М.	149	Шелухин О.И.	391
Прилуцкий А.А.	272	Шестаков В.В.	68
Припутин В.С.	165, 168	Шинаков Ю.С.	206
Пронина Е.Д.	133	Шишова Н.А.	63
Разин К.О.	234	Шмаков Н.Д.	275
Рихтер С.Г.	151	Эрдниев Н.И.	41
Руднев А.Н.	304, 306, 308, 310, 353	Якоб М.И.	160
Русских Е.А.	383	Ястребцова О.И.	270, 280

**Перечень участников Международной конференции
«Технологии информационного общества 2018»**

Абдулвасае Мохаммед Омар Ахмед	Республика Йемен	Москва	МТУСИ (аспирант)
Абидовов Азамат Арсенович	РФ	Москва	МТУСИ
Абрамов Валентин Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Абрамов Степан Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Аброськин Иван Петрович	РФ	Москва	ООО «АРКОИРИС»
Авакян Самвел Тигранович	РФ	Москва	МТУСИ
Агафонов Павел Алексеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Аджемов Артем Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Аджемов Сергей Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Айрапетов Дмитрий Петрович	РФ	Москва	МТУСИ
Алешинцев Андрей Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Аминев Ольга	РФ	Москва	МТУСИ
Андержанова Гульназ	РФ	Москва	МТУСИ
Андреев Всеволод Владимирович	РФ	г. Чебоксары	Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Андроникова Екатерина Олеговна	РФ	Москва	МТУ «СТАНКИН»
Анохина Марина Егоровна	РФ	Москва	МТУСИ
Аношкина Елена Сергеевна	РФ	Москва	МТУСИ
Антипов Алексей Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Антонников Дмитрий Олегович	РФ	Москва	МТУСИ
Аринин Олег Вячеславович	РФ	Москва	МТУСИ
Аристархов Григорий Маркович	РФ	Москва	МТУСИ
Артамонова Ярославна Сергеевна	РФ	Москва	МТУСИ
Асташков Кирилл Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Афанасьев Вадим Владимирович	РФ	г. Казань	КНИТУ
Балашов Виталий Олегович	РФ	Москва	МТУСИ
Балобанов Андрей Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Балобанов Владимир Григорьевич	РФ	г. Самара	ПГУТИ
Барботько Илья Валерьевич	РФ	г. Долгопрудный	МФТИ
Барков Вячеслав Валерьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Барсук Игорь Вадимович	РФ	Москва	НИИПС – филиал ФГУП «ГЦСС»
Барсуков Дмитрий Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Бахтин Александр Александрович	РФ	Москва	МГУТ
Безруков Игорь Михайлович	РФ	Москва	МТУСИ
Безумнов Данил Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Белянский Владимир Борисович	РФ	Москва	МТУСИ
Белянчикова Мария Павловна	РФ	Москва	МТУСИ
Бирюков Николай Леонидович	Украина	г. Киев	ИТС КПИ им. Игоря Сикорского
Бирюкова Ольга Витальевна	РФ	Москва	НИУ «МЭИ»
Бова Юлия Игоревна	РФ	Москва	АНО ВО РосНОУ
Богданов Иван Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Бойченко Ирина Витальевна	РФ	Москва	МТУСИ
Болотов Артем Олегович	РФ	Москва	МТУСИ
Большаков Александр Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Борисов Андрей Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Борисова Ольга Алексеевна	РФ	Москва	МТУСИ
Бузуева Наталья Михайловна	РФ	Москва	МТУСИ
Буйдинов Евгений Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Булдин Илья Дмитриевич	РФ	Москва	МТУСИ
Бурдин Владимир Александрович	РФ	г. Самара	ПГУТИ
Быков Виктор Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Бычков Михаил Сергеевич	РФ	Москва	АО «НИИМА "Прогресс"»
Ванина Маргарита Федоровна	РФ	Москва	МТУСИ
Ванюшина Анна Вячеславовна	РФ	Москва	МТУСИ
Варламов Владимир Олегович	РФ	Москва	МТУСИ
Варламов Олег Витальевич	РФ	Москва	МТУСИ
Варнавский Вадим Сергеевич	РФ	г. Долгопрудный	МФТИ
Васильев Александр Протальонович	РФ	Москва	МТУСИ
Василюк Игорь Петрович	РФ	Москва	ГАОУ ВО МГПУ
Великовский Юрий Романович	РФ	Москва	МТУСИ
Ветров Евгений Алексеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Винтенкова Юлия Сергеевна	РФ	г. Казань	КНИТУ-КАИ
Власов Вячеслав Петрович	РФ	Москва	МТУСИ
Власюк Игорь Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Волков Алексей Станиславович	РФ	Москва	МГУТ
Волков Андрей Иванович	РФ	Москва	МТУСИ
Володин Владислав Евгеньевич	РФ	Москва	МТУСИ
Володина Елена Евгеньевна	РФ	Москва	МТУСИ
Волошина Татьяна Сергеевна	РФ	Москва	МТУСИ
Воробейчиков Леонид Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Воронков Александр Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Воронова Лилия Ивановна	РФ	Москва	МТУСИ
Воронцов Юрий Алексеевич	РФ	Москва	МТУСИ

Галасин Вадим Арнольдович	РФ	Москва	Испытательный центр программных средств «ИБ Транс»
Галасин Денис Вадимович	РФ	Москва	МТУСИ
Гайнутдинов Тимур Аншарович	РФ	Москва	МТУСИ
Ганиев Тимур Рамисович	РФ	Москва	МТУСИ
Гаранкина Наталья Ильинична	РФ	Москва	МТУСИ
Гераськов Виктор Васильевич	РФ	Москва	ЦНИИС
Гловацкая Алевтина Петровна	РФ	Москва	МТУСИ
Голубев Евгений Аркадьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Горбунов Артём Олегович	РФ	Москва	МТУСИ
Горгадзе Светлана Феликсовна	РФ	Москва	МТУСИ
Гордеев Дмитрий Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Городничев Михаил Геннадьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Григораш Кирилл Валерьевич	РФ	Москва	АО «ВНИИ «Эталон»
Григорьева Елена Дмитриевна	РФ	Москва	МТУСИ
Гришин Денис Валерьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Громова Лариса Евгеньевна	РФ	Москва	МТУСИ
Громорушкин Виктор Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Груничев Юрий Алексеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Грычкин Сергей Евгеньевич	РФ	Москва	МТУСИ
Грязев Андрей Николаевич	РФ	Москва	ЦНИИС
Гуксян Гурген Леонович	РФ	Москва	Институт востоковедения РАН
Гумбатов Рамиз Топуш оглы	Азербайджан	г. Баку	Институт систем управления НАНА
Гуриков Сергей Ростиславович	РФ	Москва	МТУСИ
Данилов Алексей Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Дао Фам Хунг Кыонг	РФ	Москва	МТУСИ
Дачев Николай Йорданович	РФ	Москва	МТУСИ
Деарт Владимир Юрьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Демин Дмитрий Борисович	РФ	Москва	МТУСИ
Демчук Юрий Иванович	Молдова	г. Кишинев	Г.П. Радиокоммуникаций, МД -2021
Денисов Владислав Юрьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Денисова Елена Николаевна	РФ	Москва	МТУСИ
Джалалов Ибрагим Камиллович	РФ	Москва	МТУСИ
Дингес Сергей Иванович	РФ	Москва	МТУСИ
Докучаев Владимир Анатольевич	РФ	Москва	МТУСИ
Долгова Наталья Дмитриевна	РФ	Москва	МТУСИ
Должик Дмитрий Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Долин Георгий Аркадьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Доможакова Виктория Викторовна	РФ	Москва	МТУСИ
Доржиев Жамсаран Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Дружинина Надежда Александровна	РФ	Москва	МТУСИ
Дуплищева Яна Вадимовна	РФ	Москва	МТУСИ
Духан Евгений Изович	РФ	г. Екатеринбург	УрФУ
Дьякова Галина Станиславовна	РФ	Москва	АНО ВО РосНОУ
Евстратов Павел Иванович	РФ	Москва	МТУСИ
Егоров Дмитрий Аркадьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Ермалович Александр Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Ерохин Андрей Густавович	РФ	Москва	МТУСИ
Ерохин Сергей Дмитриевич	РФ	Москва	МТУСИ
Ефимова Наталья Юрьевна	РФ	Москва	Международная академия связи (МАС)
Ефимушкин Владимир Александрович	РФ	Москва	ЦНИИС
Жаднов Валерий Владимирович	РФ	Москва	НИУ «Высшая школа экономики»
Жеребцова Екатерина Владимировна	РФ	Москва	МТУСИ
Жиличкин Алексей Геннадьевич	РФ	Москва	АО «Российские космические системы»
Жуков Герман Васильевич	РФ	Москва	МТУСИ
Журко Анна Михайловна	РФ	Москва	МТУСИ
Загвоздкин Владимир Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Загвоздкина Анна Викторовна	РФ	Москва	МТУСИ
Зайцев Виталий Сергеевич	РФ	Санкт-Петербург	СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
Зайченко Дмитрий Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Звездинский Станислав Сигизмундович	РФ	Москва	МТУСИ
Зенкин Евгений Игоревич	РФ	Москва	МТУСИ
Золотухин Павел Алексеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Зубилевич Александр Львович	РФ	Москва	МТУСИ
Зуев Максим Юрьевич	РФ	г. Казань	КНИТУ
Зуйкова Татьяна Николаевна	РФ	Москва	МТУСИ
Ибрагимов Байрам Ганимат оглы	Азербайджан	г. Баку	Азербайджанский Технический Университет (АзТУ)
Ибрагимов Руфат Фикрет оглы	Азербайджан	г. Баку	Институт систем управления НАНА
Иванов Сергей Иванович	РФ	Москва	МТУСИ
Иванченко Владислав Олегович	РФ	Москва	МТУСИ
Иванюшкин Роман Юрьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Инсаров Андрей Юрьевич	РФ	г. Казань	КНИТУ-КАИ
Исаев Ялчин Сабир оглы	Азербайджан	г. Баку	Военная Академия Республики Азербайджан
Исаков Тимофей Геннадьевич	РФ	г. Чебоксары	Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Каберова Асия Рашитовна	РФ	Москва	МТУСИ
Калашников Евгений Александрович	РФ	Москва	НИТУ «МИСиС»
Каравашкина Валентина Николаевна	РФ	Москва	МТУСИ

Карпова Ирина Владимировна	РФ	Москва	МНИИТ
Керимов Вусал Реван оглы	Азербайджан	г. Баку	Институт систем управления НАНА
Кириллов Игорь Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Киселева Татьяна Павловна	РФ	Москва	МТУСИ
Сладкова Александра Евгеньевна	РФ	Москва	МТУСИ
Клеев Андрей Игоревич	РФ	Москва	МТУСИ
Клесарева Елена Юрьевна	РФ	Москва	МТУСИ
Клинцов Олег Иванович	РФ	Москва	МТУСИ
Коваль Виктор Анатольевич	РФ	Москва	НТЦ «ОРИОН»
Ковба Михаил Валерьевич	РФ	Москва	ООО «Гейзер-Телеком»
Козадава Любовь Анатольевна	РФ	г. Екатеринбург	УрФУ
Козинец Артур Валерьевич	РФ	Москва	ЦНИИС
Козлов Сергей Витальевич	РФ	Москва	МТУСИ
Козлов Сергей Владимирович	РФ	Москва	ФНИЦ ИУ РАН
Козырев Виктор Борисович	РФ	г. Казань	КНИТУ-КАИ
Кокурин Лев Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Колесников Вячеслав Александрович	РФ	Москва	ООО «Телеформ-ИС»
Комолов Андрей Валерьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Кондыбаева Алмагуль Бауржановна	РФ	Москва	МТУСИ
Константинов Александр Сергеевич	РФ	Москва	НИТУ «МИСиС»
Корецкая Ирина Валерьевна	РФ	Москва	МТУСИ
Коринский Алексей Михайлович	РФ	Москва	НИУ «МЭИ»
Коркунов Иван Андреевич	РФ	Москва	МТУСИ
Корнюхин Владимир Ильич	РФ	Москва	МТУСИ
Королев Павел Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Коршунов Владимир Николаевич	РФ	Москва	НИУ «Высшая школа экономики»
Котов Даниил Валерьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Котова Мария Сергеевна	РФ	Москва	МТУСИ
Кочемасов Дмитрий Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Кочержевский Вадим Георгиевич	РФ	Москва	МТУСИ
Красикова Людмила Юрьевна	РФ	Москва	МТУСИ
Красикова Татьяна Витальевна	РФ	Москва	ООО «АЙ ЭМ ЭС Хэлс Технолоджи Солюшнс»
Кретов Максим Игоревич	РФ	Москва	МТУСИ
Кривов Денис Андреевич	РФ	Москва	МТУСИ
Кротов Артем Витальевич	РФ	Москва	МТУСИ
Крохин Ефим Александрович	РФ	г. Долгопрудный	МФТИ
Крысанов Дмитрий Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Крюковский Андрей Сергеевич	РФ	Москва	АНО ВО РосНОУ
Кубанков Александр Николаевич	РФ	Москва	ФНИЦ ИУ РАН
Кудашов Аркадий Вячеславович	РФ	г. Долгопрудный	МФТИ
Кудряшова Анастасия Юрьевна	РФ	Москва	МТУСИ
Кузовков Александр Дмитриевич	РФ	Москва	МТУСИ
Кузовков Дмитрий Валентинович	РФ	Москва	МТУСИ
Кузовкова Татьяна Алексеевна	РФ	Москва	МТУСИ
Куприянов Дмитрий Олегович	РФ	Москва	МТУСИ
Куракова Татьяна Петровна	РФ	г. Владимир	ВлГУ
Курахтенков Леонид Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Куропов Алексей Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Курский Владислав Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Кухаренко Александра Михайловна	РФ	Москва	МТУСИ
Кухаренко Елена Геннадьевна	РФ	Москва	МТУСИ
Кучук Максим Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Кучумов Андрей Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Кюркчан Александр Гаврилович	РФ	Москва	МТУСИ
Лапаев Лев Львович	РФ	Москва	МТУСИ
Ластович Борис Алексеевич	РФ	Москва	Международная академия связи (МАС)
Ледовских Татьяна Владимировна	РФ	Москва	ЦНИИС
Лернер Илья Михайлович	РФ	г. Казань	КНИТУ-КАИ
Либеровский Никита Юрьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Литвин Семен Анатольевич	РФ	Москва	МТУСИ
Лобова Елизавета Олеговна	РФ	Москва	МТУСИ
Логинов Сергей Сергеевич	РФ	г. Казань	КНИТУ
Лонгинов Илья Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Лукин Дмитрий Сергеевич	РФ	Москва	АНО ВО РосНОУ
Лью Минь Дык	РФ	Москва	МТУСИ
Люкина Елена Валерьевна	РФ	Москва	МТУСИ
Мавровский Евгений Андреевич	РФ	Москва	МТУСИ
Магомедова Дженет Исламудиновна	РФ	Москва	МТУСИ
Магсумов Виль Ренатович	РФ	Москва	МТУСИ
Мазена Роман Богданович	РФ	Москва	НИУ МАИ
Мазуренко Дмитрий Константинович	РФ	Москва	ЦНИИС
Майофис Лев Иосифович	РФ	Москва	МТУСИ
Макарова Наталья Евгеньевна	РФ	Москва	МТУСИ
Маклачкова Виктория Валентиновна	РФ	Москва	МТУСИ
Максименко Владимир Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Максимов Сергей Петрович	РФ	Москва	МТУСИ
Максимчук Даниил Николаевич	РФ	Москва	АО «ВНИИ «Эталон»
Мальцева Светлана Николаевна	РФ	Москва	МТУСИ

Маненков Сергей Александрович	РФ	Москва	МГУСИ
Манонина Ирина Владимировна	РФ	Москва	МГУСИ
Маркин Виталий Юрьевич	РФ	Москва	МГУСИ
Мастяев Михаил Александрович	РФ	Москва	МГУСИ
Матвеев Владимир Алексеевич	РФ	Москва	МГУСИ
Махров Станислав Станиславович	РФ	Москва	МГУСИ
Машкевич Андрей Георгиевич	РФ	Москва	МГУСИ
Машенская Тамара Николаевна	РФ	Москва	МГУСИ
Машканцев Евгений Владимирович	РФ	Москва	МГУСИ
Меккель Андрей Максимович	РФ	Москва	Центральная станция связи – филиал ОАО «РЖД»
Мельник Сергей Владиславович	РФ	Москва	ЦНИИС
Миронов Олег Юрьевич	РФ	г. Орел	Академия ФСО РФ
Митрофанов Егор Михайлович	РФ	Москва	МГУСИ
Михайлов Владимир Юрьевич	РФ	Москва	НИУ МИИ
Михалевич Игорь Феодосеевич	РФ	Москва	Институт проблем управления РАН
Моргунов Александр Игоревич	РФ	Москва	ГАОУ ВО МГПУ
Морозов Борис Николаевич	РФ	Москва	МГУСИ
Мосева Марина Сергеевна	РФ	Москва	МГУСИ
Москалева Анна Юрьевна	РФ	Москва	МГУСИ
Мурзаева Мария Александровна	РФ	Москва	МГУСИ
Мытенок Сергей Сергеевич	РФ	Москва	МГУСИ
Назаров Алексей Николаевич	РФ	Москва	Институт проблем управления РАН
Назаров Михаил Алексеевич	РФ	Москва	ООО «СмартТек»
Насонов Анатолий Юрьевич	РФ	Москва	МГУСИ
Неклесова Марина Дмитриевна	РФ	Москва	МГУСИ
Нестеров Антон Анатольевич	РФ	Москва	МГУСИ
Нетес Виктор Александрович	РФ	Москва	МГУСИ
Нечаев Иван Андреевич	РФ	Москва	МГУСИ
Ниязородов Антон Олегович	РФ	г. Самара	ИГУТИ
Никулина Татьяна Алексеевна	РФ	Москва	ЦНИИС
Новоженни Лев Викторович	РФ	Москва	МГУСИ
Новосельцев Евгений Олегович	РФ	Москва	МГУСИ
Объедков Никита Юрьевич	РФ	Москва	МГУСИ
Омельяничук Елена Владимировна	РФ	Москва	НИУ «МИЭТ»
Орехов Евгений Александрович	РФ	г. Долгопрудный	МФТИ
Орехова Елена Владимировна	РФ	Москва	ГАОУ ВО МГПУ
Орлов Владимир Георгиевич	РФ	Москва	МГУСИ
Орлов Михаил Александрович	РФ	Москва	МГУСИ
Орлова Елена Юрьевна	РФ	Москва	МГУСИ
Орчиков Александр Павлович	РФ	Москва	МГУСИ
Оситис Анастасия Петровна	РФ	Москва	НИТУ «МИСиС»
Пальдин Денис Анатольевич	РФ	Москва	Роскомнадзор
Панков Константин Николаевич	РФ	Москва	МГУСИ
Панкратов Денис Юрьевич	РФ	Москва	МГУСИ
Панов Владимир Валентинович	РФ	Москва	МГУСИ
Пантюхин Дмитрий Валерьевич	РФ	Москва	ЗАО МНИИИ
Пестряков Александр Валентинович	РФ	Москва	МГУСИ
Петров Александр Сергеевич	РФ	г. Химки	АО НПО им.С.А. Лавочкина
Петрова Елена Николаевна	РФ	Москва	ООО «НТЦ «КОМСЕТ»
Платунина Галина Петровна	РФ	Москва	МГУСИ
Полукарлова Зинаида Васильевна	РФ	Москва	МГУСИ
Пономарева Людмила Алексеевна	РФ	Москва	ГАОУ ВО МГПУ
Попов Олег Борисович	РФ	Москва	МГУСИ
Попова Нина Николаевна	РФ	Москва	МГУСИ
Портнов Матвей Олегович	РФ	г. Балашиха	ВА РВСН им. Петра Великого
Портнов Эдуард Львович	РФ	Москва	МГУСИ
Потапова Екатерина Алексеевна	РФ	Москва	МГУСИ
Потапников Алексей Михайлович	РФ	Москва	МГУСИ
Прилуцкий Андрей Алексеевич	РФ	г. Химки	АО НПО им.С.А. Лавочкина
Припутин Владимир Сергеевич	РФ	Москва	МГУСИ
Пронина Евгения Дмитриевна	РФ	Москва	МГУСИ
Птицын Герман Александрович	РФ	Москва	МГУСИ
Пугачев Денис Александрович	РФ	Москва	МГУСИ
Разин Кирилл Олегович	РФ	Москва	МГУСИ
Рихтер Сергей Георгиевич	РФ	Москва	МГУСИ
Романов Сергей Геннадьевич	РФ	Москва	МГУСИ
Ромашкова Оксана Николаевна	РФ	Москва	ГАОУ ВО МГПУ
Руднев Алексей Николаевич	РФ	Москва	МГУСИ
Русских Екатерина Александровна	РФ	Москва	МГУСИ
Рыбаков Алексей Игоревич	РФ	Санкт-Петербург	СПбГУТ им.М.А. Бонч-Бруевича
Рыблина Александра Александровна	РФ	Москва	МГУСИ
Рыжков Анатолий Васильевич	РФ	Москва	МГУСИ
Рыкова Татьяна Владимировна	Германия	г. Берлин	Fraunhofer Heinrich Hertz Institute
Рябинин Владимир Сергеевич	РФ	Москва	МГУСИ
Рябов Игорь Владимирович	РФ	г. Йошкар-Ола	ИГТУ
Рябовичева Оксана Викторовна	РФ	Москва	ГАОУ ВО МГПУ
Сабанов Алексей Геннадьевич	РФ	Москва	ИГТУ им. Н.Э.Баумана
Сак Александр Николаевич	РФ	Москва	МГУСИ

Салюткина Татьяна Юрьевна	РФ	Москва	МГУСИ
Самойлов Александр Георгиевич	РФ	г. Владимир	ВлГУ
Самойлов Вячеслав Евгеньевич	РФ	Москва	МИИТ
Самойлов Сергей Александрович	РФ	г. Владимир	ВлГУ
Санников Владимир Григорьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Седов Владимир Михайлович	РФ	Москва	МТУСИ
Седов Кирилл Дмитриевич	РФ	Москва	НИУ «Высшая школа экономики»
Семенов Андрей Борисович	РФ	Москва	МТУСИ
Семенова Анастасия Юрьевна	РФ	Москва	НИУ «МИЭТ»
Семенова Татьяна Игоревна	РФ	Москва	МТУСИ
Сердотецкая Лариса Константиновна	РФ	Москва	МТУСИ
Серебрякова Юлия Олеговна	РФ	Москва	НИУ «Высшая школа экономики»
Сивцов Павел Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Сиднев Сергей Анатольевич	РФ	Москва	МТУСИ
Симомян Айрапет Генрикович	РФ	Москва	МТУСИ
Симомян Арарат Сиреканович	РФ	Москва	МТУСИ
Синева Ирина Сергеевна	РФ	Москва	МТУСИ
Смирнов Евгений Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Смирнов Николай Исаакович	РФ	Москва	ЦНИИС
Смирнова Надежда Ивановна	РФ	Москва	МТУСИ
Смирнова Надежда Ивановна	РФ	Москва	МТУСИ
Смольская Анастасия Юрьевна	РФ	Москва	ЦНИИС
Соболев Олег Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Соснин Антон Ильич	РФ	Москва	НИУ «Высшая школа экономики»
Сосновиков Георгий Константинович	РФ	Москва	МТУСИ
Сперанский Валентин Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Спирина Елена Александровна	РФ	г. Казань	КНИТУ-КАИ
Сподобаев Александр Михайлович	РФ	Москва	МТУСИ
Статьев Вячеслав Юрьевич	РФ	Москва	НО Фонд «Транспортная безопасность»
Степанов Михаил Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Степанов Семён Васильевич	РФ	Москва	МТУСИ
Степанов Сергей Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Степанова Анастасия Георгиевна	РФ	Москва	МТУСИ
Стрельников Владимир Геннадьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Стрельников Игорь Витальевич	РФ	г. Йошкар-Ола	ПТГУ
Стрельцова Виктория Андреевна	РФ	Москва	МТУСИ
Строганова Елена Петровна	РФ	Москва	МТУСИ
Сычев Артём Константинович	РФ	Москва	МФТИ
Таташев Александр Геннадьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Тверецкий Михаил Серафимович	РФ	Москва	МТУСИ
Терехов Алексей Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Тихомиров Андрей Викторович	РФ	Москва	НИУ «МИЭТ»
Тихонов Вячеслав Юрьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Ткаченко Дмитрий Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Ткаченко Марк Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Толмачев Сергей Владимирович	РФ	г. Йошкар-Ола	ПТГУ
Триска Наталья Романовна	Украина	г. Киев	ИТС КПИ им. Игоря Сикорского
Трунов Артем Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Трунов Сергей Викторович	РФ	Москва	МТУСИ
Трухин Сергей Михайлович	РФ	Москва	ЦНИИС
Тужилина Ксения Александровна	РФ	Москва	МТУСИ
Тураева Татьяна Владимировна	РФ	Москва	МТУСИ
Турута Евгений Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Тучин Артем Евгеньевич	РФ	г. Долгопрудный	МФТИ
Углов Иван Валерьевич	РФ	Москва	ОАО «МТС»
Угроватов Александр Валерьевич	РФ	Москва	МИЭТ
Ульянов Вячеслав Алексеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Уманский Роман Юрьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Уткина Виктория Игоревна	РФ	Москва	МТУСИ
Ухин Дмитрий Андреевич	РФ	Москва	МТУСИ
Файзуллин Рашид Робертович	РФ	г. Казань	КНИТУ-КАИ
Фармаковский Максим Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Фатхулин Тимур Джалилевич	РФ	Москва	МТУСИ
Федоров Владимир Дмитриевич	РФ	Москва	МТУСИ
Фролова Елена Александровна	РФ	Москва	МТУСИ
Фуксман Филипп Робертович	РФ	Москва	ООО «ЦКСП»
Харб Диана Гассановна	РФ	Москва	МТУСИ
Хатунцева Елена Анатольевна	РФ	Москва	МТУСИ
Холоюков Роман Геннадьевич	РФ	Москва	МТУСИ
Хромой Борис Петрович	РФ	Москва	МТУСИ
Царенко Владимир Анатольевич	РФ	Москва	МТУСИ
Цогбадрах Ариунаа	Монголия	г. Улан-Батор	Монгольский Государственный Университет Науки и Технологии-ИИКТ
Цыкалова Мария Евгеньевна	РФ	Москва	МТУСИ
Цым Александр Юрьевич	РФ	Москва	ЦНИИС
Чебышев Вадим Васильевич	РФ	Москва	МТУСИ
Череповская Екатерина Романовна	РФ	Москва	МТУСИ
Чернова Ирина Владимировна	РФ	Москва	МТУСИ

Черномаз Арсений Павлович	РФ	Москва	ЦНИИС
Чернышева Татьяна Васильевна	РФ	Москва	МТУСИ
Чехов Алексей Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Чиков Вадим Александрович	РФ	г. Химки	АО НПО им.С.А. Лавочкина
Чискидов Сергей Васильевич	РФ	Москва	ГАОУ ВО МГПУ
Шаврин Сергей Сергеевич	РФ	Москва	МТУСИ
Шаймарданова Роза Ринаговна	РФ	Москва	МТУСИ
Шакин Виктор Николаевич	РФ	Москва	МТУСИ
Шалагинов Виктор Алексеевич	РФ	Москва	ПАО «Ростелеком»
Шаравова Ольга Ивановна	РФ	Москва	МТУСИ
Шарнин Михаил Михайлович	РФ	Москва	МТУСИ
Шварц Михаил Львович	РФ	Москва	МТУСИ
Шведов Андрей Вячеславович	РФ	Москва	МТУСИ
Швырёва Марина Александровна	РФ	Москва	МТУ им.Н.Э.Баумана
Швелёв Сергей Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Шелухин Олег Иванович	РФ	Москва	МТУСИ
Шестаков Владимир Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Шинаков Юрий Семенович	РФ	Москва	МТУСИ
Шинцова Надежда Альвиновна	РФ	Москва	МТУСИ
Шмаков Никита Дмитриевич	РФ	Москва	МТУСИ
Шобанов Николай Андреевич	РФ	Москва	МТУСИ
Щербакова Елена Николаевна	РФ	Москва	ЦНИИС
Эрдниев Наран Игоревич	РФ	Москва	МТУСИ
Юскова Ирина Борисовна	РФ	Москва	МТУСИ
Якоб Михаил Ильич	Молдова	г. Кишинев	Г.П. Радиокоммуникаций, МД-2021
Яковлев Вячеслав Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Яковлев Дмитрий Александрович	РФ	Москва	МТУСИ
Яковлева Марина Александровна	РФ	Москва	МНИТ
Янковский Алексей Владимирович	РФ	Москва	МТУСИ
Ястребцова Ольга Игоревна	РФ	Москва	МТУСИ
Яушев Сергей Тимурович	РФ	г. Казань	КНИТУ-КАИ
Яшина Марина Викторовна	РФ	Москва	МТУСИ
Яценко Юрий Алексеевич	РФ	Москва	МТУСИ