Заказ журналов:

• по каталогу **"Роспечать"** (индекс 80714)
• **в редакции** (t-comm@yandex.ru)

Региональные подписные агентства
http://www.media-publisher.ru/raspr.shtml

Периодичность выхода — 12 номеров в год

Стоимость одного экземпляра 500 руб.

Целевая аудитория по распространению

• Телекоммуникационные компании • Дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования и услуг • Разработчики и производители абонентского оборудования • Энергетические компании • Автотранспортные предприятия • Компании, занимающиеся железнодорожными, воздушными и морскими перевозками • Провайдеры охранно-поисковых услуг • Геодезические и картографические организации • Государственные ведомства и организации; • Строительные компании • Профильные учебные заведения

Тираж 3000 экз. + Интернет-версия

Адрес редакции

111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514
e-mail: t-comm@yandex.ru
Тел.: +7 (495) 957-77-43

РЕДАКЦИЯ

Издатель
Светлана Дымкова (ds@media-publisher.ru)

Директор отдела развития и рекламы
Ольга Дорошкевич (ovd@media-publisher.ru)

Отдел распространения и подписки
info@media-publisher.ru

Предпечатная подготовка
ООО "ИД Медиа Паблишер"

Поддержка Интернет-портала
Сергей Алексанян

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-27364.
Язык публикации: русский, английский.

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции.
За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет

Материалы, опубликованные в журнале — собственность ООО "ИД Медиа Паблишер". Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается

© ООО "ИД Медиа Паблишер", 2016

Издательство

ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПОДГОТОВКИ КНИГ, ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ И РЕКЛАМНОЙ ПРОДУКЦИИ – ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИЗАЙН

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ЛИТЕРАТУРНОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ ОФСЕТНАЯ И ЦИФРОВАЯ ПЕЧАТЬ В КРАТЧАЙШИЕ СРОКИ

ДОСТАВКА ГОТОВОГО ТИРАЖА

Индексирование журнала T-Comm

научно-технический журнал
T-Comm
Телекоммуникации и Транспорт

Ulrich's Periodicals Directory — ULRICHSWEB™ GLOBAL SERIALS DIRECTORY
Google Scholar — Google scholar
NEICON — NEICON
ВИНИТИ РАН — крупнейший российский и мировой информационный и аналитический центр
CyberLeninka (Open Science)
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU — НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА LIBRARY.RU
Bielefeld Academic Search Engine (BASE) — BASE
OCLC WorldCat — OCLC WorldCat
NORMA CS — NORMACS СИСТЕМА НОРМАТИВОВ
Registry of Open Access Repositories (ROAR)

ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online)

Подписной индекс Агентства "Роспечать" – 80714

T•Comm
Телекоммуникации и транспорт
ТОМ 10. №2-2016

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, рекомендуемый ВАК Минобразования России для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций.

Учредитель
ООО "Издательский дом Медиа Паблишер"

Главный редактор
Тихвинский Валерий Олегович

Издатель
Дымкова Светлана Сергеевна
ds@media-publisher.ru

Редакционная коллегия

Аджемов Артём Сергеевич
(д.т.н., профессор МТУСИ), Россия
Бугаев Александр Степанович
(академик РАН), Россия
Буслаев Александр Павлович
(д.ф-м.н., профессор МТУСИ), Россия
Вааль Альберт
(д.т.н., старший научный сотрудник Ганноверского университета им. Лейбница на кафедре коммуникационной техники), Германия
Головачев Юлиус
(управляющий консультант Detecon Intarnational GmBH), Германия
Дулкейтс Эрик
(д.т.н., старший исполнительный директор корпорации Detecon), Силиконовая долина, США
Елизаров Андрей Альбертович
(д.т.н., профессор МИЭМ, НИУ ВШЭ), Россия
Зубарев Юрий Борисович
(д.т.н., член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ), Россия
Кирхгесснер Юрий
(д.т.н., Директор IncotelogyLtd.), Великобритания
Корбетт Ровэлл
(д.т.н., директор по исследованиям в научно-исследовательском центре China Mobile Research Institute, профессор университета Назарбаева), Гон-Конг (Китай), США
Кузовкова Татьяна Алексеевна
(д.э.н., декан экономического факультета МТУСИ), Россия
Кюркчан Александр Гаврилович
(д.ф-м.н., профессор МТУСИ), Россия
Сеилов Шахмаран Журсинбекович
(д.э.н., Президент Казахской академии инфокоммуникаций), Казахстан
Сысоев Николай Николаевич
(д.ф-м.н., декан физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова), Россия
Шарп Майкл
(д.э.н., вице-президент европейского института стандартизации – ETSI), Великобритания
Яшина Марина Викторовна
(д.т.н., профессор, МТУСИ), Россия

www.media-publisher.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА

Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К., Васильев И.Ю.
Симулятор процесса буферизации при обмене данными в потоковой одноранговой сети 4

Миронов Ю.Б., Бужин И.Г., Гайдамака Ю.В.
Построение и анализ модели оптического коммутатора в сети с оптической коммутацией пачек при применении протокола резервирования Jet 12

СВЯЗЬ

Бирюков Н.Л., Триска Н.Р.
Анализ проскальзывания в плезиохронной сети 19

Степанова И.В.
Вопросы построения и проектирования систем беспроводного широкополосного доступа технологий WiFi и Mesh 25

Кузнецов И.В., Филатов П.Е.
Аспекты построения группового кодека с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией сигналов для многоканальных систем связи 34

Сухоруков А.С.
Оптимальный индикатор двоичных сигналов, пораженных помехами от многолучевости и межсимвольной интерференции 40

Лоскутова А.А., Белов А.С.
QNET. Система администрирования и мониторинга сети 48

МАТЕМАТИКА

Птицын Г.А.
Модели характеристик гибели сетей связи 53

Арутюнян Р.В.
Расчет температурного поля при воздействии излучения на полупрозрачные среды на основе энтальпийного метода 57

УПРАВЛЕНИЕ

Брицов Р.А.
Повышение качества информационного поиска за счет совершенствования ранжирования и использования особенностей поведения пользователей 63

ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Кубанков А.Н.
Классификация видов деятельности в инновационной отрасли информационной безопасности 68

Аджемов А.С., Хромой Б.П.
Электросвязь и оптика в историческом плане 71

CONTENT

COMPUTER SCIENCE

Gaidamaka Yu. V, Samuylov A.K., Vasiliev I.Yu.
Simulator of the buffering process while data exchange in streaming P2P networks 4

Mironov Yu.B., Buzhin I.G., Gaidamaka Yu.V.
Optical switch modelling in optical burst switching network with protocol Jet 12

COMMUNICATIONS

Biryukov N.L., Triska N.R.
The variation time of slips in the plesiochronous networks 19

Stepanova I.V.
Questions of construction and design of wireless broadband access technologies WiFi and Mesh 25

Kuznetsov I.V., Filatov P.E.
Aspects of creation of the group codec with differential pulse code modulation of signals for multichannel communication systems 34

Sukhorukov A.S.
The optimal indicator of binary signals distorted by multipath and intersymbol interference noise 40

Loskutova A.A., Belov A.S.
QNET. Network management system 48

MATHEMATICS

Ptitsyn G.A.
Models of communication networks destruction characteristics 53

Harutyunyan R.V.
Calculation of the temperature field in the effects of radiation on a translucent media based on enthalpy method 57

MANAGEMENT

Britsov R.A.
Improvement of quality of the information search based on ranking rationalization and users' behavioristic characteristics 63

PUBLICATIONS IN ENGLISH

Kubankov A.N.
Classification of activities in innovative industry of information security 68

Adzhemov A.S., Khromoy B.P.
Telecommunications and optics in historical aspect 71

T•Comm
Telecommunications and transport
Volum 10. №2-2016

The journal is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses.

Founder
"Media Publisher", Ltd.

Publisher
Dymkova Svetlana Sergeevna
ds@media-publisher.ru

Editor in Chief
Dr. Valery Tikhvinskiy

Editorial board

Adzhemov Artem S.
Doctor of sciences., Professor MTUCI, Russia

Bugaev Alexander S.
Academician of the RAS, Russia

Buslaev Alexander P.
Doctor of sciences., Professor MTUCI, Russia

Corbett Rowell
Full Professor: Electronic & Electrical Engineering Nazarbayev University, Hong Kong (China), USA

Golovachyov Julius
Managing Consultant Detecon Intarnational GmBH, Germany

Dulkeyts Eric
Ph.D., chief executive officer of the corporation Detecon, USA

Kirhgessner Yuri
Ph.D., Director IncotelogyLtd., United Kingdom

Kuzovkova Tatyana A.
PhD, Dean of the Faculty of Economics MTUCI, Russia

Kyurkchan Alexander G.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Seilov Shakhmaran Zh.
PhD, President of the Kazakh Academy of Infocomm, Kazakhstan

Sharpe Michael
PhD, vice-president of the European Standards Institute – ETSI, United Kingdom

Sysoev Nikolai N.
Doctor of sciences., Dean of the Faculty of Physics of Moscow State University. Lomonosov, Russia

Waal Albert
Ph.D., Senior Research Fellow University of Hanover. Leibniz at the Department of Communications Technology, Germany

Yashina Marina V.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Yelizarov Andrey A.
Doctor of sciences., Professor MIEM, HSE, Russia

Zubarev Yuri B.
Ph.D., corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of Russia, Russia

All artocles and illustrations are copyryght. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock Company

© "Media Publisher", 2016

www.media-publisher.ru

СИМУЛЯТОР ПРОЦЕССА БУФЕРИЗАЦИИ ПРИ ОБМЕНЕ ДАННЫМИ В ПОТОКОВОЙ ОДНОРАНГОВОЙ СЕТИ

Гайдамака Юлия Васильевна,
к.ф.-м.н., Доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей,, РУДН, Москва, Россия,
ygaidamaka@mail.ru

Самуйлов Андрей Константинович,
Аспирант кафедры прикладной информатики и теории вероятностей,, РУДН, Москва, Россия,
aksamuylov@gmail.com

Васильев Иван Юрьевич,
Магистр кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, РУДН, Москва, Россия,
iuvasiliev@gmail.com

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-07-00090, 15-07-03051, 15-05-03608.

Ключевые слова: *потоковая одноранговая сеть, симулятор, скорости загрузки, скорости отдачи, коллизии, задержки передачи данных от сервера.*

Появившись в начале XXI века, одноранговые сети быстро завоевали популярность благодаря таким преимуществам, как минимальная нагрузка на сервер-источник данных, эффективное использование ресурсов пользователей сети, масштабируемость и высокая устойчивость сети. В современных сетях по технологии P2P (peer-to-peer) пользователи не только обмениваются файлами конечного размера, но и успешно передают потоковое видео. Востребованной оказалась технология P2P и для беспроводных сетей с трафиком межмашинного взаимодействия, в которых одноранговая сеть строится на основе устройств, обменивающихся данными напрямую – D2D (device-to-device communications). Это стало возможным благодаря применению механизма буферизации, который в потоковых одноранговых сетях играет ключевую роль. Представлена имитационная модель (симулятор) процесса обмена данными между пользователями в потоковой одноранговой сети, основанная на математической модели процесса обмена данными в виде цепи Маркова. Симулятор представляет собою программное средство, моделирующее поведение системы для разного числа пользователей, размера буфера, скоростей загрузки и отдачи видеоданных и длительности задержки передачи данных от сервера и между пользователями, а также стратегия загрузки, применяемая в сети. Симулятор позволяет рассчитывать основные показатели качества предоставления услуги потокового видео, такие как вероятность непрерывного воспроизведения и задержку начала воспроизведения. При моделировании учитываются коллизии, возникающие в случае, когда скорости отдачи пользователя не достаточно для того, чтобы отправить данные всем запросившим их у него пользователям. Представлены функциональные требования к симулятору, описан интерфейс для операционных систем Windows и Mac OS X. Собраны и обработаны статистические данные для анализа вероятностно-временных характеристик, основными из которых являются вероятность непрерывности воспроизведения потока и задержка начала воспроизведения, на основе которых построены графики зависимости этих показателей качества предоставления услуги потокового видео от структурных параметров системы.

Для цитирования:
Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К., Васильев И.Ю. Симулятор процесса буферизации при обмене данными в потоковой одноранговой сети // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 4-11.

For citation:
Gaidamaka Yu. V, Samuylov A.K., Vasiliev I.Yu. Simulator of the buffering process while data exchange in streaming P2P networks. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 4-11. (*in Russian*)

Введение

P2P-технологии являются альтернативным способом организации современных сетей доставки контента, для которых традиционной является централизованная архитектура типа «клиент-сервер». Некоторые недостатки потокового P2P-вещания, например, низкий уровень безопасности, в том числе проблемы с конфиденциальностью, задержка данных, не мешают поставщикам услуг реализовывать новые коммерческие решения и уникальные предложения с использованием P2P-технологии. Распределенная структура одноранговых сетей в отличие от сетей клиент-серверного типа позволяет значительно снизить затраты на серверное оборудование, уменьшить нагрузку на сеть, повысить отказоустойчивость сети, а также поддерживать обслуживание неограниченного количества пользователей P2P-сети - пиров (англ. peer) - с заданным уровнем качества предоставления услуг. Успешно работают коммерческие проекты, такие как PPLive, PPStream, востребованы P2P-трекеры, различные приложения, в частности, на мобильные устройства под платформы Android и iOS, которые можно найти в сети в открытом доступе.

Основным показателем качества предоставления услуг потокового вещания является непрерывность воспроизведения потока и задержка начала воспроизведения. Известны научные исследования, которые позволяют проводить анализ этих характеристик как с помощью математических моделей [1, 2], так и с помощью имитационного моделирования [3, 4]. В [1] изложен вероятностный подход к моделированию процесса буферизации при предоставлении услуги потокового видео P2P- сети, а в [2] это подход применен для сети с задержками передачи данных от сервера и между пользователями сети. В [5-7] построена дискретная математическая модель обмена данными между пользователями потоковой P2P-сети в виде цепи Маркова, а в [8] получен метод расчета матрицы переходных вероятностей для этой цепи.

В этих работах отмечено, что расчет основных вероятностно-временных характеристик модели по полученным формулам в случае сетей большого размера требует разработки специальных вычислительных алгоритмов, поэтому исследования были продолжены с помощью имитационного моделирования [9], где имитационная модель построена в соответствии с математической моделью [5, 6] и учитывает задержки передачи данных от сервера и между пользователями сети, а также коллизии, возникающие из-за недостатка ресурса у пользователей, отдающих данные. При разработке симулятора «P2P Streaming Network Simulator», представленного в данной статье, эта имитационная модель была расширена, в частности, в симуляторе учтены три типа стратегий обмена данными в P2P-сети, сформулированные в [10].

Статья организована следующим образом. В первом разделе изложены особенности механизма буферизации при обмене данными в потоковой P2P-сети, которые далее учтены при построении математической модели сети согласно [5, 6], и определены показатели модели, соответствующие показателям качества предоставления услуги видео в потоковой P2P-сети. Во втором разделе содержится аналитический обзор имеющихся в открытом доступе симуляторов процесса обмена данными в P2P-сетях и описание разработанного авторами симулятора процесса буферизации при обмене данными в потоковой P2P-сети. Там же приведен алгоритм имитационного моделирования, описан графический интерфейс пользователя и для иллюстрации работы симулятора приведены численные результаты моделирования работы сети. В заключении определены задачи дальнейших исследований.

Особенности моделирования механизма буферизации

Рассмотрена модель P2P-сети с одним сервером-источником видеоданных и конечным числом разнородных пользователей. Количество присутствующих в сети пользователей постоянно на протяжении всего функционирования P2P-сети, т.е. новые пользователи в сеть не приходят, а уже подключенные не уходят из сети.

При построении математической и имитационной моделей сети детально учтен механизм буферизации видеопотока на стороне пользователей, который обеспечивает непрерывность просмотра потокового видео пользователем сети. В оборудовании каждого пользователя имеется буфер для загрузки и хранения порций данных (англ. chunk). Принцип заполнения буфера таков, что порцию данных от сервера пользователь может загружать только на нулевое место буфера, а остальные позиции буфера предназначены для загрузки порций данных от других пользователей. Таким образом, самая свежая порция данных, имеющаяся в сети, находится в начале буфера, а самый старый фрагмент видео, готовый к немедленному воспроизведению – на последней позиции буфера. Данные в буфер могут загружаться напрямую не от любого пользователя сети, а только от пользователей из т.н. «списка соседей» (англ. neighbors). Это ограничивает объем служебной информации, которой пользователи обмениваются друг с другом перед загрузкой данных [9, 12]. Разнородность пользователей означает, что они отличаются друг от друга скоростями загрузки (англ. download speed) и отдачи (англ. upload speed) данных, величиной задержки передачи данных от сервера (англ. lag) и набором соседей (англ. neighbors). Механизм буферизации видеопотока включает в себя также заранее определенные стратегии загрузки данных. В [10] определены три типа стратегий - стратегия составления списка соседей (англ. neighbors selection strategy), стратегия выбора целевого пользователя из списка соседей (англ. peer selection strategy) и стратегия выбора порции данных для загрузки (англ. chunk selection strategy или download strategy).

От описанных параметров сети зависят вероятностно-временные характеристики моделей, которые исследуются в работе: вероятность непрерывного воспроизведения видео (англ. probability of playback continuity), задержка начала воспроизведения (англ. start-up latency), вероятность наличия и вероятность загрузки порции данных на позициях буфера (англ. probabilities of availability and downloading a chunk), а так же вероятность возникновения коллизии (англ. probability of collisions) – ситуации, когда

запрашивающий пользователь не сможет закачать порцию данных из-за того, что у отдающего пользователя не хватает пропускной способности сети [2, 7].

Анализ эффективности функционирования сети предлагается проводить с помощью следующей модели сети [12], которая учитывает перечисленные выше параметры:

$$Z = \langle N, M, lag, d, u, \delta_{CSS} \rangle.$$

Здесь N – число пользователей в сети; M – размер буфера каждого из пользователей (рис. 1а); $lag = (lag(1), \ldots, lag(N))$ – вектор задержек передачи данных от сервера-источника; $d = (d(1), \ldots, d(N))$ и $u = (u(1), \ldots, u(N))$ – векторы скоростей загрузки и отдачи пользователей соответственно; δ_{CSS} - стратегия выбора порции данных для загрузки (chunk selection strategy).

Для каждого пользователя сети (*n*-пользователя, $n = \overline{1, N}$) определим вектор $\mathbf{x}(n) = (x_0(n), x_1(n), \ldots, x_M(n)), n = \overline{1, N}$, который отражает состояние буфера *n*-пользователя, где $x_m(n) = 0$, если *m*-позиция буфера *n*-пользователя пуста, и $x_m(n) = 1$ в противном случае (рис. 1б). Тогда состояние сети описывает матрица $\mathbf{X} = (\mathbf{x}(n))_{n=1,\ldots,N}$, а все возможные состояния сети образуют пространство состояний X.

Обозначим $M^{(i)}(n) = \{m : x_m(n) = i, m = 1, \ldots, M\}, i = \{0, 1\}$, где $M^{(0)}(n)$ и $M^{(1)}(n)$ – множества пустых и занятых позиций буфера *n*-пользователя соответственно. Вследствие задержек буферы *n*- и *h*-пользователей будут смещены друг относительно друга на $|lag(n) - lag(h)|$ позиций. Множество номеров позиций буфера *n*-пользователя, доступных для обмена данными с *h*-пользователем, можно записать в следующем виде:

$$M^{(n,h)} = \begin{cases} \{0, \ldots, M - lag(n) + lag(h)\}, \text{if } lag(n) \geq lag(h), \\ \{lag(h) - lag(n), \ldots, M\}, \text{if } lag(n) < lag(h). \end{cases}$$

В [5] построена модель обмена данными между буферами пользователей в виде цепи Маркова (ЦМ) $\{\mathbf{X}^l, l \geq 0\}$ над пространством состояний X, где шаг ЦМ соответствует временному такту, определяемому механизмом буферизации. На рисунке 2 показано изменение состояния ЦМ на шаге *l* за счет сдвига буфера *n*-пользователя, который имитирует воспроизведение порции данных *n*-пользователем в конце каждого временного такта.

Здесь $S\mathbf{x}(n)$ - операция сдвига, причем $S\mathbf{x}(n) = (0, x_0(n), x_1(n), \ldots, x_{M-1}(n))$ в момент времени $t_l + 0$, если $\mathbf{x}(n) = (x_0(n), x_1(n), \ldots, x_M(n))$ в момент времени $t_l - 0$.

Распределение $\pi^l(\mathbf{X})$ вероятностей ЦМ $\{\mathbf{X}^l, l \geq 0\}$ на шаге *l*, $l \geq 0$, может быть найдено из уравнений Колмогорова-Чэпмена, как это показано в [5], причем метод расчета матрицы переходных вероятностей для этой цепи получен в [6].

Обозначим через

$$q(n, m, \mathbf{X}, \delta_{CSS}) = \sum_{h=1,\ h \neq n}^{N} I\{m(n, h, \mathbf{X}, \delta_{CSS}) = m\}$$

количество пользователей, от которых *n*-пользователь может загрузить порцию данных на *m*-позицию буфера в соответствии с стратегией δ_{CSS} выбора порции данных для загрузки, когда система находится в состоянии $\mathbf{X} \in X$.

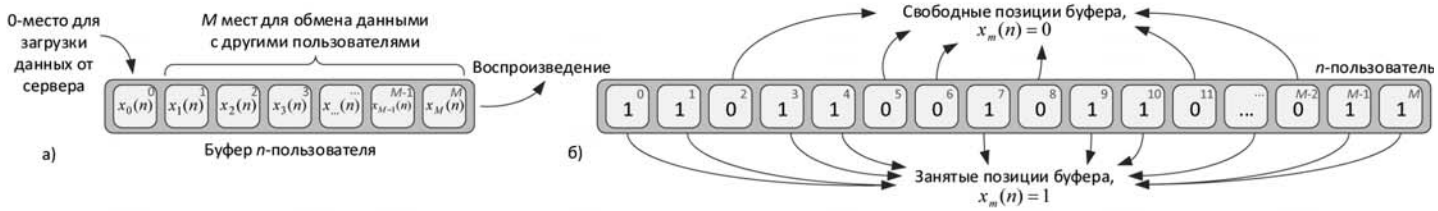


Рис. 1. а) буфер *n*-пользователя; б) буферная карта *n*-пользователя

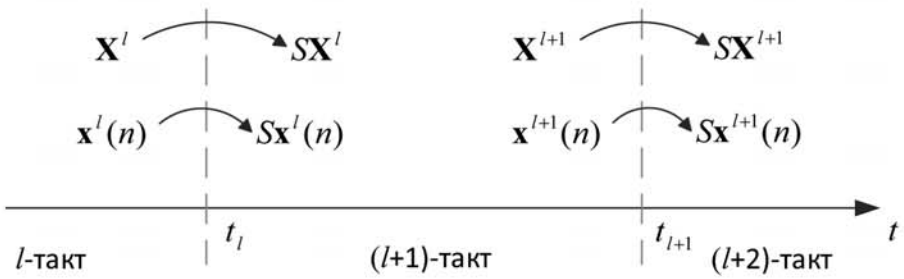


Рис. 2. Изменение состояний ЦМ на шаге *l*, $l \geq 0$

Здесь $m(n,h,\mathbf{X},\delta_{CSS})$ - номер места буфера n-пользователя для загрузки порции данных от h-пользователя в соответствии с стратегией δ_{CSS}, а $I\{\cdot\}$ - индикаторная функция. Вероятность $Q^l(n,m,\delta_{CSS})$ того, что n-пользователь, $n=1,...,N$, загрузит порцию данных на m-позицию своего буфера в течение l-такта, $l\geq 0$, вычисляется по формуле

$$Q^l(n,m,\delta_{CSS})=\begin{cases}\sum_{\mathbf{X}\in X}\frac{q(n,m,\mathbf{X},\delta_{CSS})}{\mathrm{N}(\mathbf{X})-1}\cdot\pi^l(\mathbf{X}), & m=\overline{1,\mathrm{M}},\\ 0, & m=0.\end{cases}$$

Обозначим $p^l(n,m)$ вероятности того, что m-позиция буфера n-пользователя на l-такте заполнена. Заметим, что непрерывное воспроизведение потока будет обеспечено, если на каждом шаге l последняя позиция буфера будет заполнена. Таким образом, одна из основных характеристик функционирования потоковых P2P-сетей, вероятность непрерывного воспроизведения видео, для n-пользователя в стационарном режиме может быть оценена следующим образом:

$$PV(n)=\lim_{l\to+\infty}p^l(n,M)\cdot$$

Вероятность коллизии $PC(h)$ для h-пользователя в стационарном режиме может быть оценена следующим образом:

$$PC(h)=\lim_{l\to\infty}P\{C^l(h)>u(h)\},$$

где $C^l(h)$ - количество пользователей, запросивших порцию данных у h-пользователя на l-такте [9].

Симулятор функционирования одноранговых сетей

В настоящее время в свободном доступе есть ряд симуляторов, позволяющих моделировать функционирование P2P-сети, например, P2PSim, PlanetLab, PeerSim, GPS, PlanetSim, RealPeer и PeerThing. Большая часть из них написана на языке программирования Java и распространяется под лицензией GPL/LGPL, поэтому любой желающий может воспользоваться ими бесплатно и без ограничений. Все они в качестве основы используют дискретно-событийную архитектуру для моделирования как структурированных, так и для неструктурированных сетей.

Симуляторы P2PSim, GPS и PeerThing не обладают достаточной масштабируемостью: они не могут использоваться для моделирования больших сетей, число узлов которых превышает 3000, тогда как PeerSim, PlanetSim и RealPeer могут поддерживать более 10^6 узлов. Симулятор PeerThing является практически нерасширяемым и позволяет моделировать только ограниченный встроенный набор топологий сетей. Симулятор GPS на протяжении нескольких последних лет перестал поддерживаться разработчиками, и по этой причине его невозможно использовать для моделирования современных сетей и протоколов.

Все представленные симуляторы, за исключением PeerSim и RealPeer, имеют графический интерфейс пользователя (Graphical User Interface, GUI), а симуляторы PeerSim и RealPeer пользователи могут использовать только в режиме консоли, прибегая к помощи сторонних программ для обработки результатов моделирования. К недостаткам обозначенных выше программных продуктов можно также отнести отсутствие в PlanetSim какого-либо механизма для сбора статистики, недостаточный набор статистических данных в RealPeer и отсутствие инструментов отладки в PeerSim и RealPeer.

Как видно из приведенного обзора, каждый симулятор имеет свои слабые стороны. К тому же, рассмотренные симуляторы позволяют рассчитывать не все характеристики функционирования сети, необходимые для качественного анализа производительности потоковых P2P-сетей. Также они не способны обрабатывать входные данные, которые принято считать ключевыми для моделирования современных P2P-сетей, например, задержку передачи данных от сервера-источника и задержки обмена данными между пользователями сети, применяемые в сети стратегий загрузки данных - стратегию составления списка соседей, стратегию выбора пользователя для загрузки из списка соседей, стратегию выбора порции данных для загрузки. Именно по этим причинам нами был разработан симулятор, который был бы лишен перечисленных выше недостатков.

Симулятор «P2P Streaming Network Simulator», предложенный в данной статье, имеет собственный GUI и возможность представления результатов как в текстовом, так и в графическом форматах. Он является открытым программным обеспечением и основан на математической модели, представленной выше.

Наш симулятор позволяет получить набор статистических данных, таких как вероятность наличия порций данных на позициях буферов пользователей, вероятность загрузки порций данных на определенную позицию буфера, вероятность возникновения коллизии, вероятность непрерывного воспроизведения, задержку начала воспроизведения и др. Разработанный симулятор обладает хорошей масштабируемостью и способен поддерживать до 10^6 узлов в моделируемой сети, а также предоставляет пользователю возможность задать конфигурацию этой сети, распределив пользователей на три группы в зависимости от значений задержек передачи данных от сервера.

Помимо этого, пользователь может задавать различные сценарии поведения пользователей в сети, выбрав один из двух способов составления списков соседей: в соответствии со стратегией 1 или со стратегией 2, подробно представленными на рис. 3.6. Также ключевой особенностью нашего симулятора является возможность выбора одной из пяти стратегий загрузки, которые описаны в [7, 9].

Алгоритм предложенной в статье имитационной модели представлен на рис. 3. Тело алгоритма изображено на рис. 3а, два правила составления списка соседей представлены на рис. 3б, а оператор сдвига буфера представлен на рис. 3в.

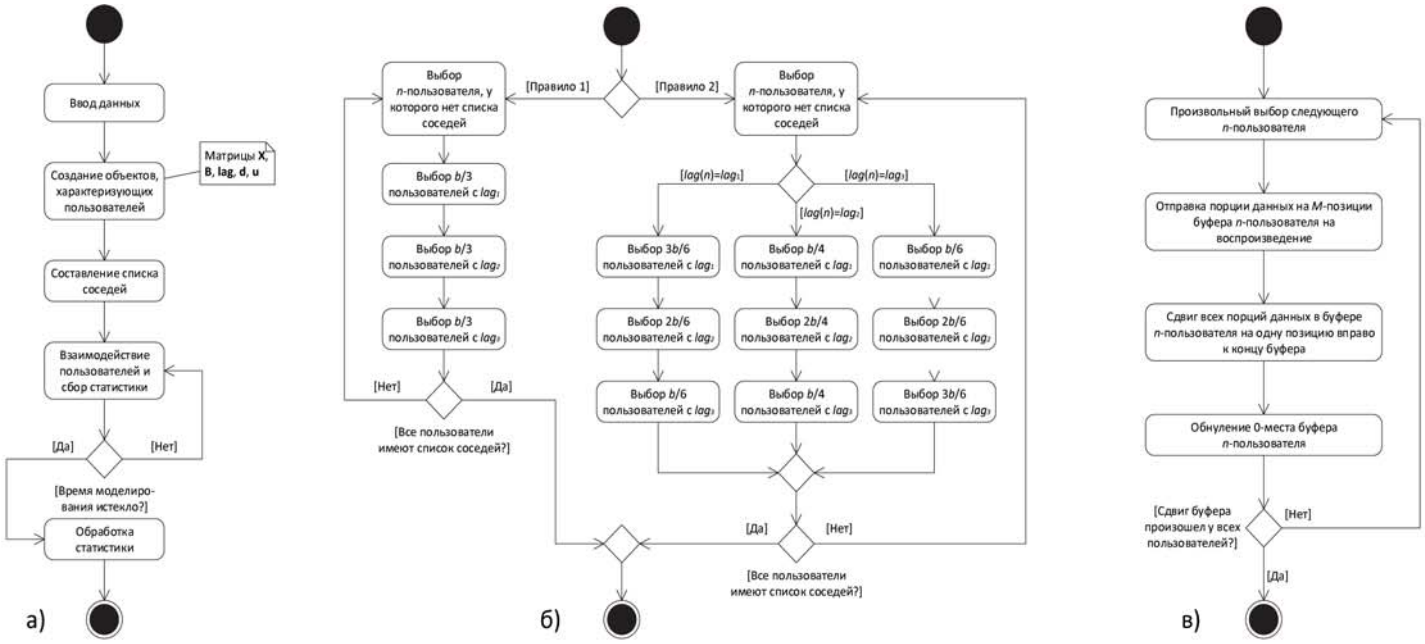


Рис. 3. Алгоритм процесса буферизации при обмене данными в потоковой P2P-сети

Четвертый блок диаграммы рисунка 3а отвечает за взаимодействие пользователей. В этом блоке происходит буферизации данных, работают стратегии выбора целевого пользователя и выбора порции данных для загрузки от целевого пользователя. Ниже представлен алгоритм загрузки порций данных на каждом такте.

Шаг 1. Сервер случайным образом выбирает *s*-пользователя, которому на 0-позицию буфера будет загружена новая порция данных;

Шаг 2. Каждый *n*-пользователь, которого не выбрал сервер (*n s*, *n*=1,..,N), случайным образом выбирает целевого *h*-пользователя из списка своих соседей, и пытется загрузить от него такую порцию данных, что у *n*-пользователя ее нет, у *h*-пользователя она имеется, и именно эту порцию данных следует загружать в соответствии со стратегией загрузки;

Шаг 3. Сдвиг буферов пользователей в соответствии с принципами из [6, 9].

Шаг 4. Завершение загрузки данных и сбор статистики по такту.

Симулятор «P2P Streaming Network Simulator» разработан на языке C++ при помощи Microsoft Visual Studio 2010 Express. Симулятор поддерживается на всех устройствах, операционной системой которого является: Windows 7, 8, 8.1, 10 x64, x86 или MAC OS X 10.0 – 10.10. Русскоязычный вариант графического интерфейса пользователя представлен на рис. 4.

Ниже перечислены исходные данные для моделирования, которые должны быть заданы пользователем симулятора «P2P Streaming Network Simulator»:

1) количество пользователей в сети, *N*;

2) количество серверов, *Srv* (для математической модели, описанной выше, *Srv*=1);

3) размер буфера сети, *M*;

4) значение задержек для трех типов пользователей lag_1, lag_2, lag_3 и их распределение среди пользователей n_1, n_2, n_3, причем $0 = lag_1 < lag_2 < lag_3 < M - 1$ и $n_1 + n_2 + n_3 = N$;

5) скорости загрузки и отдачи видеоданных, *d*(*n*) и *u*(*n*);

6) стратегия загрузки, δ;

7) количество соседей, *b*, и стратегию формирования списка соседей, Стратегия 1, Стратегия 2;

8) количество тактов (общее время функционирования сети), T;

9) такт начала сбора статистики, $Ts : 0 < Ts < T$.

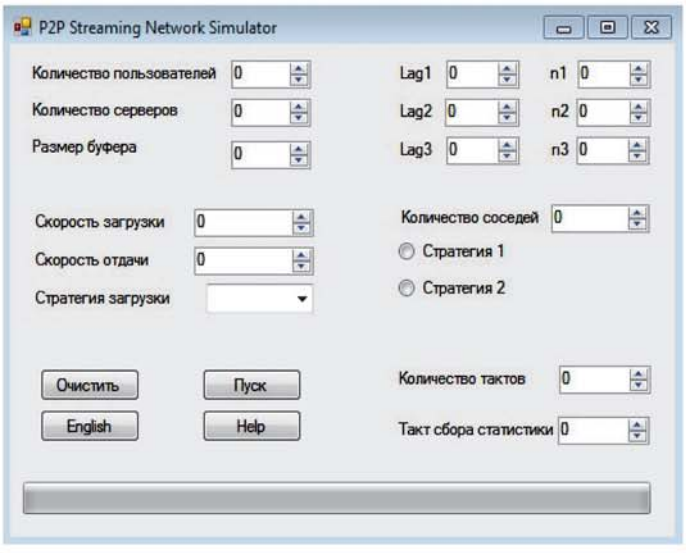


Рис. 4. Графический интерфейс пользователя симулятора «P2P Streaming Network Simulator»

Элементами графического интерфейса являются следующие кнопки:

- «Очистить» сбрасывает значения всех полей;
- «English» переключает язык интерфейса на английский;
- «Пуск» запускает процесс моделирования;
- «Help» вызывает окно справки;

а также полоса – индикатор хода моделирования.

Для иллюстрации работы симулятора «P2P Streaming Network Simulator» ниже приведены результаты обработки статистики, собранной при моделировании для следующих исходных данных [3, 4]: $N = 300$, $M = 40$, $b = 60$. Пользователи разбиты на три группы в зависимости от значения задержки передачи данных от сервера: группа ближайших с задержкой $lag_1 = 0$, группа средне удаленных пользователей с задержкой $lag_2 = 15$, и группа удаленных пользователей с задержкой $lag_3 = 30$. Размеры групп одинаковы: $n_1 = n_2 = n_3 = 100$. Время моделирования составило $T = 10^6$, сбор статистики проводился с такта $Ts = 5 \cdot 10^5$. В сети использовалась стратегия загрузки Primary First, при которой минимизируется задержка начала воспроизведения в сети. Согласно этой стратегии для загрузки выбирается наиболее «старая» в сети, ближайшая к концу буфера порция данных [9].

Целью численного анализа в приведенном примере являлось сравнение двух стратегий формирования групп соседей. Согласно Стратегии 1 (Rule 1) для любого пользователя вне зависимости от задержки передачи данных от сервера список соседей составляют в равных пропорциях пользователи каждой из трех групп, выбранные внутри своей группы случайным образом. Согласно Стратегии 2 (Rule 2) правило составления списка соседей пользователя зависит от значения задержки передачи данных от сервера этого пользователя. Пропорции соседей, принадлежащих разным группам, для Стратегии 2 показаны на рис. 5. Такой подход к формированию списка соседей приводит к увеличению числа позиций-пересечений в буферах пользователей, обменивающихся данными.

На рисунке 6 для случайно выбранного n-пользователя каждой из трех групп приведены графики вероятности $p(n,m)$ наличия и вероятности $Q(n,m)$ загрузки порции данных на m-позиции буфера в зависимости от стратегии формирования списка соседей.

Графики показывают, что для пользователей группы 1 с задержкой $lag_1 = 0$ стратегия формирования списка соседей не оказывает существенного влияния на исследуемые характеристики, в то время как для пользователей групп 2 и 3 значения обеих характеристик при разных стратегиях формирования списка соседей различаются. Отметим, что самую низкую вероятность непрерывного воспроизведения имеют пользователи группы 1. Это объясняется тем, что они в основном обмениваются порциями данных только внутри своей группы. Однако для пользователя любой группы вероятность непрерывного воспроизведения выше при Стратегии 2 формирования списка соседей.

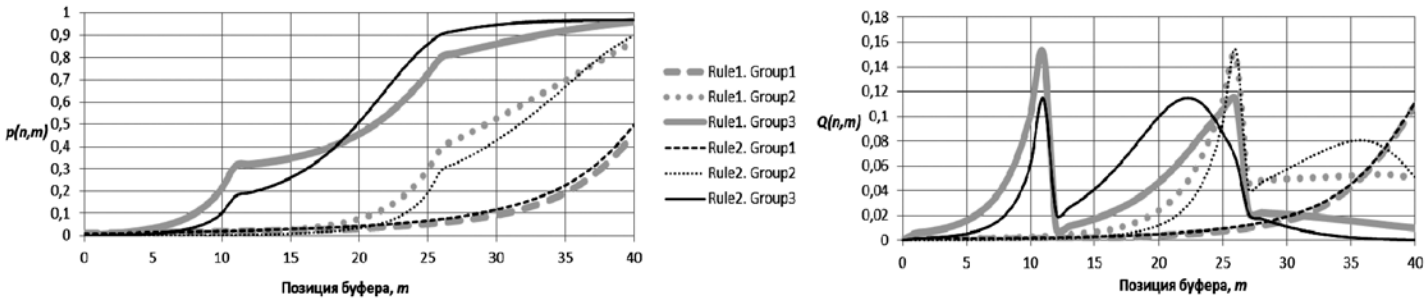


Рис. 6. Вероятность наличия $p(n,m)$ и вероятность загрузки $Q(n,m)$ порции данных на m-позиции буфера n-пользователя

Рис. 5. Пропорции соседей, принадлежащих разным группам, для Стратегии 2 формирования списка соседей

Перегибы на графиках объясняются выбором значений задержек передачи данных от сервера. При выбранных значениях задержек $lag_2 = 15$ и $lag_3 = 30$ позиции m=15 и m=30 соответствуют границам областей пересечения буферов пользователей из соседних групп. Согласно стратегии загрузки Primary First попытки загрузить порцию данных будут производиться на места областей пересечения буферов, начиная с крайней правой позиции. На графиках вероятности загрузки $Q(n,m)$ порции данных локальные максимумы приходятся на позиции m=12 для группы 2 и m=27 для группы 3, поскольку порции данных на позициях 13-15 и 28-30 ещё не достаточно распространены в сети. На графиках вероятности наличия $p(n,m)$ порции данных перегибы отмечены при тех же значениях m.

Необходимо отметить, что эти выводы подтверждаются анализом результатов моделирования для стратегии Latest First выбора порции данных для загрузки, при которой для загрузки из всех доступных выбирается наиболее свежая порция данных в сети, а также при других значениях задержек передачи данных от сервера для обеих стратегий выбора порции данных.

Заключение

Исследования показали, что основные показатели производительности потоковых P2P-сети, такие как вероятность непрерывного воспроизведения и задержка начала воспроизведения, существенно зависит от трех стратегий: стратегии составления списка соседей, стратегии выбора целевого пользователя из списка соседей и стратегии выбора порции данных для загрузки, определенных в [12]. Разработанные для потоковых P2P-сетей математические модели либо не принимают во внимание эти параметры [12] [5, 6, 11], либо позволяют проводить анализ только для небольших сетей из-за высокой вычислительной сложности задачи [8, 11, 12]. Таким образом, дальнейшие исследования будут посвящены формализации многокритериальной оптимизационной задачи с целью максимизации вероятности непрерывного воспроизведения и минимизации задержки начала воспроизведения с учетом ограничений на лаги и скорости загрузки и отдачи пользователей. Также планируется модификация разработанного симулятора «P2P Streaming Network Simulator» для решения поставленной задачи оптимизации и перевод интерфейса симулятора на основные европейские языки - французский, немецкий, испанский и итальянский.

Литература

1. *Zhou, Y, Chiu, DM, Lui,* JCS 2007 'A simple model for analyzing P2P streaming protocols' Proc. of IEEE International Conference on IN Network Protocols (ICNP 2007), pp. 226-235.

2. *Zhao, Y, and Shen, H*, 2011 'A simple analysis on P2P streaming with peer playback lags' Proc. of the 3rd International Conference on Communication Software and Networks (IEEE ICCSN 2011), pp. 396-400.

3. *Naicken, S, Livingston, B, Basu, A, Rodhetbhai, S, Wakeman, I, Chalmers, D* 2007 'The state of peer-to-peer network simulators and simulations' ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 37, no. 2, pp. 95-98.

4. *Basu, A, Fleming, S, Stanier, J, Naicken, S, Wakeman, I, Gurbani, VK* 2013. 'The State of peer-to-peer network simulators' ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 45, no. 4, pp. 46.

5. *Адаму, А., Гайдамака, Ю.В., Самуйлов А.К.* 2011 К анализу состояния буфера пользователя одноранговой сети с потоковым трафиком // T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт, №7. С. 8-12.

6. *Adamu, A, Gaidamaka, Yu, Samuylov, A* 2011 'Discrete Markov chain model for analyzing probability measures of P2P streaming network', Lecture notes in computer science, vol. 6869, pp. 428-439.

7. *Gaidamaka, Yu, Samuylov, A* 2013 'Analytical modeling of playback continuity in P2P streaming network with latest first download strategy', Lecture notes in computer science, vol. 8121, pp. 363-370.

8. *Gaidamaka, Yu, Samuylov, A, Samouylov, K* 2013 'Mathematical modeling and performance analysis of P2P streaming networks', In Proc. of the Int. Conf. INTHITEN, pp. 69-81.

9. *Gaidamaka, Yu, Vasiliev, I, Samuylov, A, Samuylov, K, Shorgin, S* 2014, 'Simulation of buffering mechanism for peer-to-peer live streaming network with collisions and playback lags', In Proc. of the 13th International Conference on Networks (ICN 2014), pp. 86-91.

10. *Romero, P, Bertinat, M, Padula, D, Rodrэguez-Bocca, P, Robledo, F* 2012 'A cooperative model for multi-class peer-to-peer streaming networks', In Proc. of the International Conference (ICORES 2012), pp. 274-282.

11. *Гайдамака Ю., Самуйлов А.* 2013 'Анализ стратегий заполнения буфера оборудования пользователя при предоставлении услуги потокового видео в одноранговой сети // T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт, №11. С. 30-32.

12. *Gaidamaka, Yu* 2013 'On mathematical modeling of P2P streaming networks', Distributed computer and communication networks: control, computation, communications, JSC "TECHNOSPHERA", pp. 188-190.

SIMULATOR OF THE BUFFERING PROCESS WHILE DATA EXCHANGE IN STREAMING P2P NETWORKS

Gaidamaka Yuliya,
Peoples' Friendship University of Russia, Department of applied probability and informatics, associate professor, Moscow, Russia,
ygaidamaka@mail.ru

Samuylov Andrey,
Peoples' Friendship University of Russia, Department of applied probability and informatics, PhD student, Moscow, Russia,
aksamuylov@gmail.com

Vasiliev Ivan,
Peoples' Friendship University of Russia, Department of applied probability and informatics, master student, Moscow, Russia,
iuvasiliev@gmail.com

Abstract
P2P networks have gained ground due to its advantages like minimal traffic load on server that is original source of video data, efficient users' resource utilization, scalability, and high stability of the net. Modern users use peer-to-peer technology not only to share finite files, but to transfer video streams. It is now possible as a result of buffering mechanism that plays the key role in modern P2P networks. In this paper, a simulation of data exchange process in peer-to-peer networks is presented. It is based on mathematical model of data exchange process in terms of the Markov chain. The simulator is a programming tool that allows calculating quality indicators of video stream service for a net with finite number of users. It is necessary to take collisions into account that take place when uploading peer has not enough upload speed to send requestor user info. In this paper, function objectives of the simulator are presented; graphical user interface is described for Windows and Mac OS X operation systems. The P2P streaming network simulator gives a chance to see changes in system behavior while the number of users, the buffer size, upload and download speeds, and lags are varying. Statistics are collected to analyze time-probabilistic characteristics that are taken advantage of graphics of correlation between quality indicators of video stream service and networks structural parameters.

Keywords: *P2P streaming network, simulator, download speed, upload speed, collisions, time lag.*

References

1. *Zhou, Y, Chiu, DM, Lui,* JCS 2007 'A simple model for analyzing P2P streaming protocols' Proc. of IEEE International Conference on IN Network Protocols (ICNP 2007), pp. 226-235.
2. *Zhao, Y, and Shen, H,* 2011 'A simple analysis on P2P streaming with peer playback lags' Proc. of the 3rd International Conference on Communication Software and Networks (IEEE ICCSN 2011), pp. 396-400.
3. *Naicken, S, Livingston, B, Basu, A, Rodhetbhai, S, Wakeman, I, Chalmers, D* 2007 'The state of peer-to-peer network simulators and simulations' ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 37, no. 2, pp. 95-98.
4. *Basu, A, Fleming, S, Stanier, J, Naicken, S, Wakeman, I, Gurbani, VK* 2013. 'The State of peer to peer network simulators' ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 45, no. 4, pp. 46.
5. *Adamu, A, Gaidamaka, Yu, Samuylov, A* 2011 'On analysis of user's buffer state in peer to peer streaming network' T-Comm, no.7, pp.8-12. (*in Russian*)
6. *Adamu, A, Gaidamaka, Yu, Samuylov, A* 2011 'Discrete Markov chain model for analyzing probability measures of P2P streaming network', Lecture notes in computer science, vol. 6869, pp. 428-439.
7. *Gaidamaka, Yu, Samuylov, A* 2013 'Analytical modeling of playback continuity in P2P streaming network with latest first download strategy', Lecture notes in computer science, vol. 8121, pp. 363-370.
8. *Gaidamaka, Yu, Samuylov, A, Samouylov, K* 2013 'Mathematical modeling and performance analysis of P2P streaming networks', In Proc. of the Int. Conf. INTHITEN, pp. 69-81.
9. *Gaidamaka, Yu, Vasiliev, I, Samuylov, A, Samuylov, K, Shorgin, S* 2014, 'Simulation of buffering mechanism for peer-to-peer live streaming network with collisions and playback lags', In Proc. of the 13th International Conference on Networks (ICN 2014), pp. 86-91.
10. *Romero, P, Bertinat, M, Padula, D, Rodriguez-Bocca, P, Robledo, F* 2012 'A cooperative model for multi-class peer-to-peer streaming networks', In Proc. of the International Conference (ICORES 2012), pp. 274-282.
11. *Gaidamaka, Yu, Samuylov, A* 2013 'Analysis of download strategies in peer to peer video streaming network' T-Comm, no.11, pp. 30-32. (*in Russian*)
12. *Gaidamaka, Yu* 2013 'On mathematical modeling of P2P streaming networks', Distributed computer and communication networks: control, computation, communications, JSC "TECHNOSPHERA", pp. 188-190.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА В СЕТИ С ОПТИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИЕЙ ПАЧЕК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОТОКОЛА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ JET

Миронов Юрий Борисович,
к.т.н., в/ч 33965, Москва, Россия,
mistiam@gmail.com

Бужин Игорь Геннадьевич,
к.т.н., в/ч 33965, Москва, Россия,
bigvrn93@mail.ru

Гайдамака Юлия Васильевна,
к.ф.-м.н., Доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей,, РУДН, Москва, Россия,
ygaidamaka@mail.ru

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-07-03051, 15-07-03608.

Ключевые слова: *сети оптической пакетной коммутации, Optical Packet Switching (OPS), оптическая коммутация блоков, оптическая коммутация пачек, Optical Burst Switching (OBS), протокол резервирования длин волн с отложенным резервированием, Just Enough Time (JET).*

Сети оптической пакетной коммутации (Optical Packet Switching, OPS) сочетают в себе преимущества оптических сетей с маршрутизацией по длине волны и сетей с коммутацией пакетов. Применение принципа оптической коммутации блоков или оптической коммутации пачек (Optical Burst Switching, OBS) потребовало разработки специализированных протоколов сигнализации, одним из которых является протокол резервирования длины волны JET (Just Enough Time, отложенное резервирование). Согласно протоколу JET резервирование длины волны в оптическом коммутаторе происходит не с момента поступления заголовка пачки, т.н. "контрольного пакета" (burst header packet, BHP), а лишь с момента поступления т.н. "информационной пачки" (data burst, DB). Поскольку в этом случае резервирование происходит только на время передачи информационной пачки, протокол JET обеспечивает меньшую длительность занятия длины волны, чем при других известных подходах, например, схеме JIT (Just In Time, мгновенное резервирование) и схеме Horizon. Построена математическая модель оптического коммутатора, позволяющая проводить анализ вероятности блокировки пачки, которая является одной из основных характеристик функционирования сети оптической коммутации. На первом этапе построена математическая модель передачи пачек оптическим коммутатором для одной длины волны в виде марковской цепи с двумя состояниями. В предположении о геометрическом распределении длины пачки получена матрица вероятностей переходов между состояниями цепи Маркова, зависящая от интенсивности поступления пачек в оптический коммутатор. На втором этапе модель обобщена на случай конечного числа длин волн и для обобщенной модели получена формула для расчета вероятности блокировки пачки оптическим коммутатором при применении в сети оптической коммутации пачек протокола JET. Также разработана имитационная модель протокола в системе моделирования общего назначения (General Purpose Simulation System, GPSS). Представлены результаты численного анализа, иллюстрирующие зависимость вероятности блокировки от задержки резервирования длины волны и от длины пачки.

Для цитирования:
Миронов Ю.Б., Бужин И.Г., Гайдамака Ю.В. Построение и анализ модели оптического коммутатора в сети с оптической коммутацией пачек при применении протокола резервирования // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 12-18.

For citation:
Mironov Yu.B., Buzhin I.G., Gaidamaka Yu.V. Optical switch modelling in optical burst switching network with protocol Jet. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 12-18. (*in Russian*)

Введение

В настоящее время известны два общепризнанных принципа коммутации информационных сигналов в высокоскоростных оптических сетях: волновая маршрутизация (Wavelength Routing, WR) и оптическая коммутация пакетов (Optical Packet Switching, OPS) [1-9]. В сетях с волновой маршрутизацией не требуется производить оптико-электрических преобразований, однако рабочий диапазон длин волн используется не так эффективно, как в сетях с оптической коммутацией пакетов. В последних частотный диапазон используется более полно, но появляется необходимость преобразований «оптика-электроника» в узлах коммутации, где буферизация, обеспечивающая задержку, реализуется, например, с помощью волоконно-оптических линий задержки (Fiber Delay Line, FDL) [10]. Новый комбинированный принцип коммутации Optical Burst Switching (OBS), получивший название оптической коммутации блоков [11] или оптической коммутации пачек [12], успешно сочетает преимущества двух технологий оптической коммутации. В данной технологии нет буферизации и электронной обработки данных в промежуточных узлах, а оптический канал между узлами коммутации резервируется на ограниченное время. На сегодняшний день разработано несколько протоколов сигнализации для сетей с оптической коммутацией пачек, однако полностью оптического оборудования для таких сетей ещё не создано. В статье исследуется протокол резервирования длины волны JET (Just Enough Time, отложенное резервирование) [9], при котором длина волны резервируется только на время передачи информационной части пачки, что повышает пропускную способность оптического канала по сравнению с другими известными подходами, например, со схемой JIT (Just In Time, мгновенное резервирование) и схемой Horizon [13, 14].

Статья организована следующим образом. В первом разделе описываются принципы работы протокола сигнализации JET. Во втором разделе построена математическая модель протокола на основе марковской цепи. В третьем разделе приводится листинг программы имитационного моделирования данного протокола в системе моделирования общего назначения GPSS (General Purpose Simulation System). В четвертом разделе выполнен численный анализ результатов имитационного моделирования, проведено сравнение расчетов вероятности блокировки на основе математической модели марковской цепи, с использованием приближенного метода первой формулы Эрланга и моделирования работы протокола в GPSS.

1. Протокол сигнализации JET

Пачкой (burst) в сетях оптической пакетной коммутации называется несколько пакетов одного уровня обслуживания, которые передаются вместе от одного узла-источника (ingress node) к одному и тому же узлу назначения (egress node), причем при коммутации в транзитных узлах сети (core nodes) состав пачки не изменяется. Пачка состоит из заголовка (burst header packet) - так называемый «контрольный пакет» (КП), и информационной части (data burst) - «информационная пачка» (ИП). При исследовании работы оптического коммутатора (optical switch) анализируются потери пачек из-за нехватки ресурсов в исходящем оптическом канале, для которого далее детально описана процедура резервирования длин волн и передачи информационных пачек.

Контрольный пакет поступает в оптический коммутатор по каналу управления и содержит адрес назначения, длительность интервала времени, через который должна поступить информационная пачка, называемого задержкой (offset time), и данные о длине информационной пачки. В момент поступления КП по адресу назначения пачки выбирается исходящий оптический канал, на котором согласно протоколу JET резервируется одна из длин волн на время, необходимое для передачи информационной пачки соответствующей длины. Длина волны резервируется не с момента поступления КП, как в протоколе JIT (Just In Time, мгновенное резервирование), а через время задержки, которое иногда является постоянной величиной. Поиск свободной длины волны в оптическом канале по направлению передачи пачки осуществляется последовательным перебором длин волн – от максимальной длины волны к минимальной. Если свободная длина волны найдена, то на время передачи ИП она резервируется с момента начала передачи, отстоящего от момента поступления КП на время задержки. Если обнаруживается, что все длины волн на момент начала передачи уже зарезервированы поступившими ранее контрольными пакетами, то происходит отмена выполненного ранее резервирования для ИП на максимальной длине волны, и эта длина волны резервируется для информационной пачки, соответствующей вновь поступившему контрольному пакету. В этом случае вытесненная информационная пачка в момент поступления будет заблокирована.

На рисунках 1-3 изображен пример, иллюстрирующий работу протокола JET в дискретном времени. Полагаем, что задержка и длины информационных пачек кратны длине слота, поэтому интервал задержки начинается в момент начала временного слота, следующего за слотом поступления КП. В примере время a задержки постоянно и равно 5 временным слотам, а длины L_i информационных пачек, $i \geq 1$, случайны. В оптическом канале для передачи ИП доступны три длины волны – w1, w2, w3. Границы ИП, для которых выполнено резервирование длины волны, изображены на рисунках пунктирным контуром, а границы ИП, для которых выполняется передача на зарезервированной длине волны, изображены сплошным контуром.

Предполагается, что в момент t_0 все длины волн в оптическом канале свободны. В рассмотренном примере в первый временной слот $[t_0, t_1]$ поступают два контрольных пакета – КП 1 и КП 2 (рис. 1). Согласно принципу LIFO (Last In First Out) КП 1 резервирует длину волны w3 на интервал $[t_0 + a, t_0 + a + L_1] = [t_6, t_{14}]$ для передачи своей информационной пачки ИП 1, которая имеет длину $L_1 = 8$ слотов и поступит в коммутатор через a=5 слотов. Аналогично, КП 2 резервирует длину волны w2 на интер-

вал $[t_0 + a,\ t_0 + a + L_2] = [t_6,\ t_{12}]$ для передачи ИП 2, которая имеет длину $L_2 = 6$ слотов.

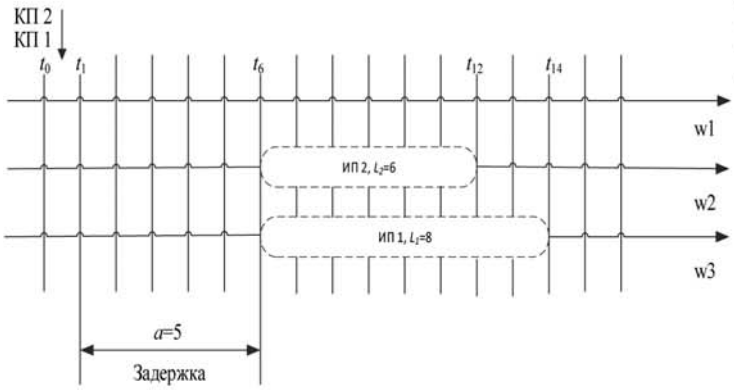


Рис. 1. Резервирование длин волн при поступлении КП 1 и КП 2 в слоте $[t_0,\ t_1]$

Далее во втором временном слоте $[t_1,\ t_2]$ поступают три КП – КП 3, КП 4 и КП 5 (рис. 2). При переборе длин волн от w3 к w1 на момент $t_2 + a = t_7$, соответствующий моменту поступления ИП 3, имеется свободная длина волны w1, которая резервируется для передачи ИП 3 длиной $L_3 = 8$ слотов на интервале $[t_7,\ t_{15}]$. Для ИП 4 и ИП 5 на момент t_7 их поступления свободных длин волн не будет. В этом случае по протоколу JET отменяется резервирование длин волн, выполненное ранее для ИП 1 и ИП 2, а высвободившиеся длины волн резервируются для передачи ИП 4 и ИП 5 согласно принципу LIFO: длина волны w1 резервируется для передачи ИП 4 длиной $L_4 = 9$ слотов на интервале $[t_7,\ t_{16}]$, а длина волны w2 - для передачи ИП 5 длиной $L_5 = 7$ слотов на интервале $[t_7,\ t_{14}]$. Таким образом, ИП 1 и ИП 2 в момент t_6 своего поступления в коммутатор будут заблокированы.

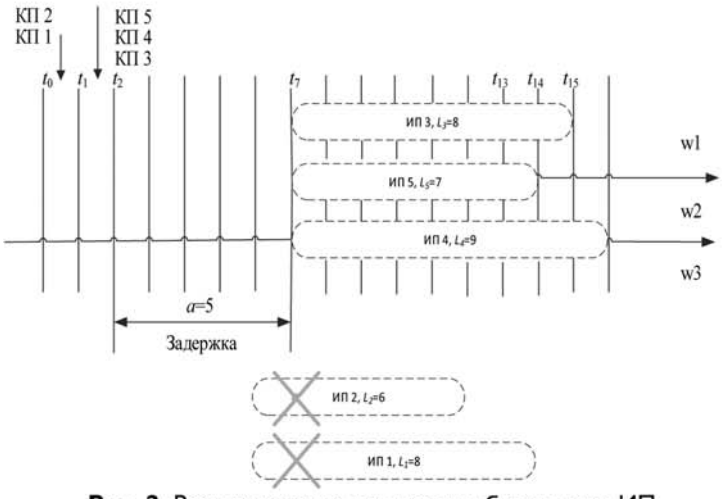


Рис. 2. Резервирование длин волн и блокировки ИП при поступлении КП 3 – КП 5 в слоте $[t_1,\ t_2]$

На рис. 3 показано, что поступление КП 6 в слоте $[t_7,\ t_8]$, когда на момент t_8 на всех длинах волн будет вестись начавшаяся до момента поступления КП 6 передача информационных пачек, не окажет влияния на передачу ИП 3-ИП 5, а ИП 6 длиной $L_6 = 4$ слота в момент t_{13} своего поступления в коммутатор будет заблокирована.

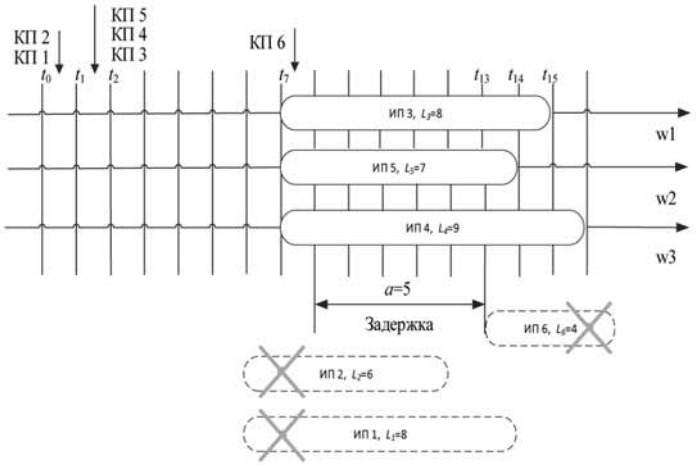


Рис. 3. Резервирование длин волн и блокировки ИП при поступлении КП 6 в слоте $[t_7,\ t_8]$

В следующем разделе построена математическая модель оптического коммутатора, позволяющая проводить анализ вероятности блокировки информационной пачки, которая является одной из основных характеристик функционирования сети оптической коммутации.

2. Математическая модель протокола JET на основе марковской цепи

Для анализа вероятности блокировки информационной пачки в случае занятости всех длин волн построим математическую модель процесса передачи пачек по оптическому каналу в соответствии с протоколом JET в дискретном времени [16]. Положим время задержки и длительности передачи информационных пачек кратными длине временного слота. Положим также, что контрольные пакеты поступают в систему в соответствии с пуассоновским законом интенсивности λ, где λ – среднее количество КП, поступающих в один временной слот. Пусть для передачи ИП система имеет w длин волн, тогда $\overline{\lambda} = \lambda / w$ – интенсивность поступающего потока КП на одну длину волны.

Обозначим ξ случайную величину (СВ) времени задержки, имеющую закон распределения $P\{\xi < a\} = f(a)$, $a \geq 0$. Тогда для каждого КП выражение $\sum_{a=0}^{n-1} f(a)$ определяет вероятность того, что СВ задержки не превысит $(n-1)$ слотов, а дополнительная вероятность $\left(1 - \sum_{a=0}^{n-1} f(a)\right)$ соответствует тому, что спустя $(n-1)$ слот после поступления контрольного пакета соответствующая

информационная пачка ещё не пришла. Среднее число ИП, которые поступят в n-й слот после поступления КП, равно $n\lambda f(n)$.

Тогда интенсивность потока ИП, иными словами, среднее число $\lambda_{(n)}$ информационных пачек, поступающих за слот, определяется следующей формулой:

$$\lambda_{(n)} = \lambda\left(1-\sum_{a=0}^{n-1} f(a)\right). \quad (1)$$

Обозначим η СВ длины информационной пачки с законом распределения $P\{\eta < l\} = g(l)$, $l \geq 0$. Предположим, что длина ИП имеет геометрический закон распределения с заданным средним L, т.е. $g(l) = q(1-q)^{l-1}$, где $q = 1/L$.

Рассмотрим систему с одной длиной волны: $w = 1$. Обозначим $S^{(n)}$ состояние длины волны на слоте n, причем $S^{(n)} = 1$, если на слоте n длина волны занята передачей информационной пачки, $S^{(n)} = 0$ в противном случае. Последовательность $\left\{S^{(n)},\, n \geq 0\right\}$ образует неоднородную цепь Маркова (ЦМ), $S^{(n)} \in \{0,1\}$. Матрица $D^{(n)}$ переходных вероятностей ЦМ $\left\{S^{(n)},\, n \geq 0\right\}$ на шаге n имеет следующий вид:

$$D^{(n)} = \begin{pmatrix} p_{0,0}^{(n)} & p_{0,1}^{(n)} \\ p_{1,0}^{(n)} & p_{1,1}^{(n)} \end{pmatrix},$$

где переходные вероятности $p_{i,j}^{(n)} = P\left\{S^{(n+1)} = j \middle| S^{(n)} = i\right\}$ на шаге n определяются формулой

$$p_{i,j}^{(n)} = \begin{cases} e^{-\bar{\lambda}_{(n+1)}}, & i = j = 0; \\ 1 - e^{-\bar{\lambda}_{(n+1)}}, & i = 0,\ j = 1; \\ qe^{-\bar{\lambda}_{(n+1)}}, & i = 1,\ j = 0; \\ 1 - qe^{-\bar{\lambda}_{(n+1)}}, & i = j = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $\bar{\lambda}_{(n+1)}$ - интенсивность поступающего потока ИП на одну длину волны на шаге $(n+1)$. Для случая $w = 1$ интенсивность $\bar{\lambda}_{(n+1)}$ равна $\lambda_{(n+1)}$.

Для общего случая системы с w длинами волн, где $w \geq 1$, обозначим $Z^{(n)}$ число занятых длин волн на слоте n. Как и в случае $w = 1$, последовательность $\left\{Z^{(n)},\, n \geq 0\right\}$ образует неоднородную ЦМ, $Z^{(n)} \in \{0,1,\ldots w\}$. Матрица $R^{(n)}$ переходных вероятностей ЦМ $\left\{Z^{(n)},\, n \geq 0\right\}$ на шаге n имеет следующий вид:

$$R^{(n)} = \begin{bmatrix} r_{0,0}^{(n)} & \cdots & r_{0,w}^{(n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{w,0}^{(n)} & \cdots & r_{w,w}^{(n)} \end{bmatrix},$$

где переходные вероятности $r_{i,j}^{(n)} = P\left\{Z^{(n+1)} = j \middle| Z^{(n)} = i\right\}$ а шаге n определяются формулой

$$r_{i,j}^{(n)} = \begin{cases} \sum_{z=0}^{i} \binom{i}{z} q^z (1-q)^{i-z} e^{-\lambda_{(n+1)}} \frac{\lambda_{(n+1)}^{j-i+z}}{(j-i+z)!}, & j \leq w-1, i \leq j; \\ \sum_{z=0}^{j} \binom{i}{(i-j+z)} q^{i-j+z} (1-q)^{j-z} e^{-\lambda_{(n+1)}} \frac{\lambda_{(n+1)}^{z}}{z!}, & j \leq w-1, i \geq j; \\ 1 - \sum_{z=0}^{w-1} r_{i,j}^{(n)}, & j = w. \end{cases} \quad (3)$$

Начальное распределение вероятностей $\Pi = (\pi_i),\ 0 \leq i \leq w$, ЦМ $\left\{Z^{(n)},\, n \geq 0\right\}$ на шаге $n = 0$ может быть получено в результате решения системы уравнений равновесия

$$\pi_j = \sum_{i=0}^{w} \pi_i r_{i,j}^{(0)},\ ,\ 0 \leq j \leq w, \quad (4)$$

с условием нормировки $\sum_{i=0}^{w} \pi_i = 1$.

Зная начальное распределение Π и матрицу переходных вероятностей $R^{(n)}$ на каждом шаге, можно определить вероятности $v_i^{(n)} = P\left\{Z^{(n)} = i\right\}$, $0 \leq i \leq w$, $n > 0$:

$$v_j^{(n)} = \sum_{i, m_1, m_2, \ldots, m_{n-1} = 0}^{w} \pi_i r_{i,m_1}^{(0)} r_{m_1,m_2}^{(1)} \ldots r_{m_{n-1},j}^{(n-1)},\ ,\ 0 \leq j \leq w, \quad (5)$$

Заметим, что информационная пачка, соответствующая поступившему на шаге $n = 0$ контрольному пакету, будет вытеснена с зарезервированной длины волны, если на любом из шагов $n \in \{a, a+1, \ldots, a+L-1\}$ цепь Маркова $\left\{Z^{(n)},\, n \geq 0\right\}$ перейдет в состояние, когда заняты все длины волн.

В [16] вероятность $T_0(a,L)$ того, что длина волны была свободна на шаге $n = a$ и оставалась свободной после этого в течение $(L-1)$ такта, предлагается оценить с помощью ЦМ $\left\{S^{(n)},\, n \geq 0\right\}$ с учетом (2) по следующей формуле:

$$T_0(a,L) = p_{0,0}^{(a)} p_{0,0}^{(a+1)} \ldots p_{0,0}^{(a+L-2)} = e^{-\bar{\lambda}_{a+1}} e^{-\bar{\lambda}_{a+2}} \ldots e^{-\bar{\lambda}_{a+L-1}}. \quad (6)$$

Там же показано, что из (1) и (6) для случая равномерного распределения СВ ξ задержки на интервале $[0, t_{max}]$ следует окончательное выражение для вероятности $T_0(a,L)$:

$$T_0(a,L)=e^{-\bar{\lambda}(L-1)\left[1-k\left(a+\frac{L}{2}\right)\right]},\quad k=\frac{1}{1+t_{max}}. \qquad (7)$$

Тогда вероятность $B(a,L)$ блокировки информационной пачки случайной длины, имеющей геометрическое распределение со средним L, поступившей с случайной задержкой a, определяется по формуле

$$B(a,L)=1-T_0(a,L)\sum_{z=0}^{w-1}v_z^{(a)}, \qquad (8)$$

где $v_z^{(a)}$, $0\le z\le w$, можно найти из (5), а $T_0(a,L)$ определяется формулой (7).

Алгоритм расчета по формулам математической модели представлен ниже.

Шаг 1. Задание исходных данных: λ, w, L, t_{max}.

Шаг 2. Расчет начального распределения вероятностей $\Pi=(\pi_i)$, $0\le i\le w$, по формулам (3)-(4).

Шаг 3. Расчет распределения вероятностей $\left\{ v_i^{(n)}, 0\le i\le w\right\}$ для $0\le n\le t_{max}$ по формуле (5).

Шаг 4. Расчет вероятности $T_0(a,L)$ того, что длина волны была свободна на шаге $n=a$, $0\le a\le t_{max}$, по формуле (7).

Шаг 5. Расчет вероятности $B(a,L)$ блокировки информационной пачки по формуле (8).

3. Имитационная модель протокола JET.

Для анализа вероятности блокировки информационной пачки в зависимости от задержки a и средней длины информационной пачки L была разработана программа имитационного моделирования в системе моделирования общего назначения (General Purpose Simulation System, GPSS).

Имитационная модель представляет собою разомкнутую сеть массового обслуживания, состоящую из двух узлов. Из внешней среды в узел 1 поступает простейший поток заявок заданной интенсивности. Длительность обслуживания в первом узле - равномерно распределенная случайная величина, моделирующая задержку между моментами поступления КП и ИП. После обслуживания в первом узле заявки с вероятностью $P=1$ переходят на обслуживание в узел 2. Длительность обслуживания во втором узле соответствует времени передачи информационной пачки, которая имеет случайную длину с геометрическим распределением. Моделирование резервирования длины волны осуществляется при помощи блока ADVANCE, дисциплина выбора LIFO – при помощи оператора UNLINK. На рис. 4 представлен листинг программы имитационного моделирования.

```
Uz_1 STORAGE 2; задания число приборов в узле
GENERATE (Exponential(1,0,1800)); формирование детерминированного потока заявок
TEST L Q$ch_2,1,Otkaz; проверка длины очереди ch_2
Met_1 QUEUE ch_1; отметка момента поступления заявки в очередь ch_1
UNLINK B Met_1; очередность очереди ch_1
ENTER Uz_1; попытка занять один из приборов устройства Uz_1
DEPART ch_1; регистрация момента покидания заявки очереди ch_1
ADVANCE (Uniform(25,1,180)); формирование задержки, распределнной по равномерному закону
LEAVE Uz_1; освобождение одного прибора многоканального устройства Uz_1
TRANSFER ,Met_2; безусловная (с вероятностью 1) передача заявки в узел 2
Met_2 QUEUE ch_2;
SEIZE uzel1;
DEPART ch_2;
ADVANCE (Exponential(1,0,1800));
RELEASE uzel1;
TERMINATE 1;
Otkaz TERMINATE 1
```

Рис. 4. Программа моделирования работы протокола резервирования JET в GPSS

4. Пример численного анализа

Ниже приведены результаты расчета вероятности блокировки информационной пачки в зависимости от задержки a (рис. 5) и средней длины информационной пачки L (рис. 6). Вероятность блокировки была рассчитана тремя способами – с помощью математической модели (график «марковская модель»), имитационной модели (график «моделирование»), а также с помощью приближенного метода оценки по формуле вероятности блокировки для модели Эрланга с явными потерями [16] (график «формула Эрланга»):

$$B=\frac{(\lambda L)^w/w!}{\sum_{z=0}^{w}(\lambda L)^z/z!}. \qquad (9)$$

Расчёты приводились для случая $w=3$ при двух значениях задержки $a=36$ слотов и $a=90$ слотов, а также при двух значениях средней длины информационной пачки $L=20500$ слотов и $L=122000$ слотов. Заметим, что на практике число длин волн в оптическом канале измеряется тысячами – напр., используется 2048 длин волн.

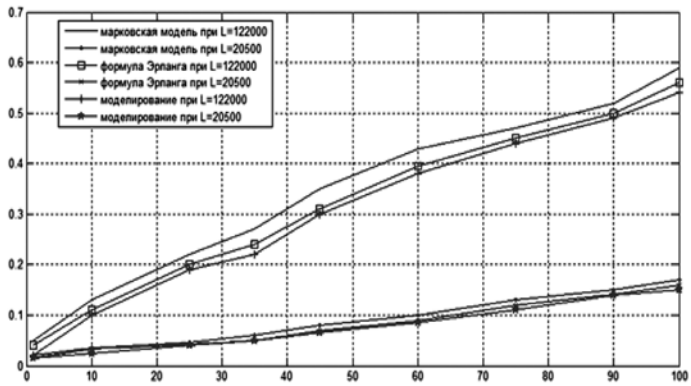


Рис. 5. Зависимость вероятности блокировки ИП от задержки a

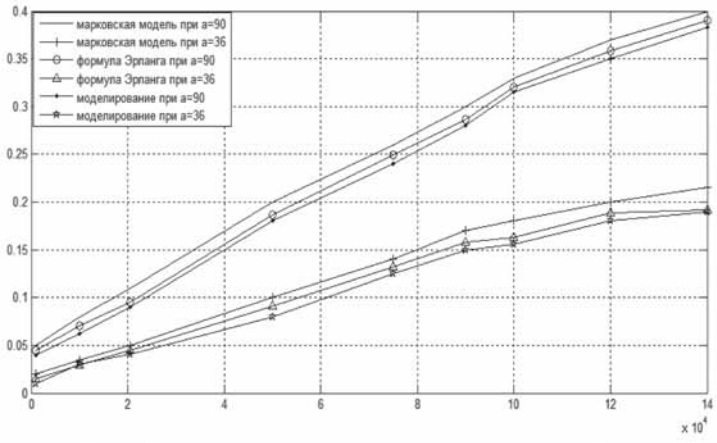


Рис. 6. Зависимость вероятности блокировки ИП от средней длины ИП L

Графики рис. 5 показывают, что при средней длине ИП 20 500 тактов значения вероятностей блокировок ИП, вычисленные различными способами, близки – относительная погрешность не превышает 5%. Следовательно, для упрощения расчетов можно рекомендовать использовать формулу Эрланга.

При средней длине ИП 122 000 тактов марковская модель дает оценку сверху для вероятностей блокировок ИП. Эта же закономерность видна на графиках рис. 6, где для обоих значений задержки $a = 36$ слотов и $a = 90$ слотов наблюдается отличие вероятностей блокировки, полученных путем математического моделирования, от других методов, при этом формула (8) дает оценку сверху для вероятности блокировок ИП. На рис. 6 этот эффект становится выраженным при росте от средней длины информационной пачки до $L = 10^5$ временных слотов, что также говорит в пользу расчетов по формуле (8) при проектировании сети оптической коммутации.

5. Заключение

Сети оптической пакетной коммутации с оптической коммутацией пачек обладают возможностями для удовлетворения самых высоких требований по пропускной способности таких приложений, как распределенные вычисления (grid computing), IP-телевидение и облачные хранение и обработка данных (cloud computing). К сожалению, технология оптической коммутации пачек пока не вышла на коммерческий рынок, что отчасти объясняется недостаточными усилиями по стандартизации соответствующих протоколов и сетевой архитектуры. Однако, научно-исследовательская работа в этой области ведется активно, в частности, разрабатываются схемы урегулирования коллизий, когда пришедшие по разным входящим оптическим каналам пачки одновременно требуют одну длину волны в исходящем канале. При урегулировании коллизий могут применяться такие методы, как оптическая буферизация на основе волоконно-оптических линий задержки, различные преобразования длины волны (с полной, ограниченной фиксированной или частичной конверсией), альтернативная маршрутизация, фрагментация пачки. Задачей дальнейших исследований является моделирование передачи пачек по цепочке оптических коммутаторов для анализа вероятности блокировки пачки как в отсутствии коллизий, так и с их учетом.

Литература

1. *Алексеев Е.Б.* Основы проектирования и технической эксплуатации транспортных сетей на базе ЦСП и ВОСП, М.: Брис-М, 2012. 250 с.

2. *Алексеев Е.Б., Булавкин И.А., Попов А.Г., Попов В.И.* Пассивные волоконно-оптические сети. Проектирование, оптимизация и обнаружение несанкционированного доступа. М.: ООО «Издательский дом Медиа Паблишер», 2014. 206 с.

3. *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. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 424 с.: ил.

4. *Андреев В.А., Бурдин А.В., Кочановский Л.Н.* Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х томах, Том 2 – Проектирование, строительство и техническая эксплуатация. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 424 с.: ил.

5. *Безруков В.Н., Балобанов В.Г.* Системы цифрового вещательного и прикладного телевидения. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 608 с.: ил.

6. *Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В., Моченов А.Д., Шарафутдинов Р.М.* Оптические телекоммуникационные системы. М.: Горячая линия – телеком, 2011. 368 с.: ил.

7. *Гринфилд, Д.* Оптические сети. К.: ООО «ТИД «ДС», 2002. 256 с.

8. *Портнов Э.Л.* Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 544 с.: ил.

9. *Venkatesh, T, Siva Ram Murthy, C* An Analytical Approach to Optical Burst Switched Networks. Springer, USA, 2009, 262 p.

10. *Башарин Г.П., Гудкова И.А., Шибаева Е.С.* Математическая модель функционирования коммутатора в OBS сети с FDL и маршрутизацией с отклонением // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2013. №11. С. 33.

11. *Голышко А.В., Лескова Н.А.* Оптическая коммутация блоков // Сети и системы связи, 2001, № 8, [Электронный ресурс] / Режим доступа: свободный (дата обращения 12.02.2015) http://www.ccc.ru/magazine/depot/01_08/read.html?0302.htm.

12. *Ершова Э.Б., Вакс Э.М.* К вопросу построения оптических сетей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2009. Спецвыпуск. С. 14-17.

13. *Kirci, P, Zaim, AH* 2006, 'Comparison of OBS protocols', In Proc. of International Symposium on Computer Networks, Istanbul, Turkey, pp. 158-161.

14. *Pinar Kirci, Halim Zaim, A* 2006, 'Just-in-time, just-enough-time and horizon signalling protocols on optical burst switches', Int. J. Optica Applicata, Wroclaw, Poland, Vol.36, No.1, pp. 111-123.

15. Система имитационного моделирования общего назначения General Purpose Simulation System [Электронный ресурс] / Режим доступа: свободный (дата обращения 12.02.2015) http://www.gpss.ru.

16. *Kaheel, A, Alnuweiri, H, Gebali, F* 2004, 'Analytical evaluation of blocking probability in optical burst switching networks', In Proc. of IEEE International Conference on Communications, Paris, France, Vol. 3, pp. 1548-1553.

OPTICAL SWITCH MODELLING IN OPTICAL BURST SWITCHING NETWORK WITH PROTOCOL JET

Mironov Yury, *Moscow, Russia,* **mistiam@gmail.com**

Buzhin Igor, *Moscow, Russia,* **bigvrn93@mail.ru**

Gaidamaka Yuliya,
Peoples' Friendship University of Russia, Department of applied probability and informatics, associate professor, Moscow, Russia,
ygaidamaka@mail.ru

Abstract
Optical packet switching (OPS) combines the advantages of optical networks with wavelength routing and packet-switched networks. Applying the principle of optical burst switching (OBS) required the development of specialized signaling protocols, one of which is the wavelength reservation protocol JET (Just-Enough-Time) with delayed reservation. JET and Just-In-Time (JIT) are the two of main TAG (Tell-And-Go) signaling protocols. In JET, first the burst header packet (BHP) arrives at the optical switch on the control wavelength. After the BHP is processed, the wavelength on which the data burst is due to arrive is scheduled for use only after the offset time for the duration of the data burst. This mechanism increases the utilization of the wavelength in comparison with other signaling schemes such as JIT and Horizon. In this paper the mathematical model of the optical switch in optical burst switching network with JET protocol is investigated. The model has the form of in-homogeneous Markov chain with transition matrix depending on the intensity of BHP arrivals, offset time distribution and the data burst duration distribution. The formula for calculating the blocking probability of data burst for the uniform offset time distribution and the geometric distribution of data burst duration is proposed. In addition, the simulation model of JET protocol in the General Purpose Simulation System (GPSS) is developed. The paper presents the results of numerical analysis both for mathematical modelling and simulation.

Keywords: *Optical Packet Switching (OPS), Optical Burst Switching (OBS), Just Enough Time (JET).*

References

1. *Alekseev, EB* 2012, 'Bases of design and technical operation of transport networks on the basis of digital transmission systems and fibre optical transmission systems'. Moscow: Bris-M, 250 p., 26 il., bibl. 128.
2. *Alekseev, EB, Bulavkin, IA, Popov, AG, Popov, VI* 2014, 'Passive fiber-optical networks. Design, optimization and detection of unauthorized access'. Moscow: " Media Publisher ", 206 p.
3. *Andreev, VA, Portnov, EL, Konchanovskiy, LN* 2009, 'The directing systems in telecommunications: the textbook for high school. Vol.1 – Theory of transfer and influence. Moscow: Goryachaya liniya – Telecom, 424 p.
4. *Andreev, VA, Burdin, AV, Konchanovskiy, LN* 2009, 'The directing systems in telecommunications: the textbook for high school. Vol.2 – Design, construction and technical operation, M.: Goryachaya liniya – Telecom, 424 p.
5. *Bezrukov, VN, Balobanov, VG* 2011, 'Systems of digital broadcasting and applied television. Manual for high school, M.: Goryachaya liniya – Telecom, 608 p.
6. *Gordienko, VN, Krukhmalev, VV, Mochenov, AD, Sharaphutdinov, RM* 2011, 'Optical telecommunication systems'. Moscow: Goryachaya liniya – Telecom, 368 p.
7. *Greenfield, D* 2001, 'The Essential Guide to Optical Networks', Pearson Education; 1st edition, 256 p.
8. *Portnov, EL* 2009, 'Principles of primary networks construction and fiber optic links. Manual for high school'. Moscow: Goryachaya liniya – Telecom, 544 p.
9. Venkatesh, T, Siva Ram Murthy, C 2009, 'An Analytical Approach to Optical Burst Switched Networks', Springer, USA, 262 p. (*in Russian*)
10. *Basharin, GP, Gudkova, IA, Shibaeva, ES* 2013, 'A mathematical model of switch working in OBS network with FDL and deflection routing', T-Comm, No.11, p. 33. (*in Russian*)
11. *Golyshko, AV, Leskova, NA* 2001, Optical packet switching. Networks and communication systems', No.8, (viewed 12.02.2015) Available at: http://www.ccc.ru/magazine/depot/01_08/read.html?0302.htm.
12. *Ershova, EB, Vaks, EM* 2009, About creation of optical networks', T-Comm, special issue, pp. 14-17.
13. *Kirci, P, Zaim, AH* 2006, 'Comparison of OBS protocols', In Proc. of International Symposium on Computer Networks, Istanbul, Turkey, pp. 158-161.(*in Russian*)
14. *Pinar Kirci, Halim Zaim, A* 2006, 'Just-in-time, just-enough-time and horizon signalling protocols on optical burst switches', Int. J. Optica Applicata, Wroclaw, Poland, Vol.36, No.1, pp. 111-123. (*in Russian*)
15. 'General Purpose Simulation System' (viewed 12.02.2015) Available at: http://www.gpss.ru. (*in Russian*)
16. *Kaheel, A, Alnuweiri, H, Gebali, F* 2004, 'Analytical evaluation of blocking probability in optical burst switching networks', In Proc. of IEEE International Conference on Communications, Paris, France, Vol. 3, pp. 1548-1553. (*in Russian*)

АНАЛИЗ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ В ПЛЕЗИОХРОННОЙ СЕТИ

Бирюков Николай Леонидович,
к.т.н., с.н.с., научный консультант Института телекоммуникационных систем (ИТС) Национального технического университета "КПИ", Киев, Украина,
nlbir@mail.ru

Триска Наталья Романовна,
к.т.н., с.н.с., начальник лаборатории Украинского научно-исследовательского института связи (ГП "УНИИС"), Киев, Украина,
ntriska@ukr.net

Ключевые слова: *плезиохронная сеть, пакетная передача, синхронизация, проскальзывание, эластичная память, частота записи, частота считывания, рассогласование, распределение.*

В условиях перехода к телекоммуникационным сетям следующего (NGN – Next Generation Network) и будущего FN (Future Network) поколений, определяющим фактором остается доведение основных качественных показателей транспортной сети до уровня, способного обеспечить требуемое качество обслуживания (так называемый "уровень сетей операторского класса"). Это касается, в частности, временного и частотного обеспечения телекоммуникационных сетей, поскольку качество синхронизации по тактовой частоте и/или времени прямо или косвенно оказывает влияние на многие важные качественные показатели сети.

Современные транспортные сети используют асинхронные пакетные технологии передачи и коммутации (Ethernet, IP/MPLS), ориентированные на работу в плезиохронном режиме (когда генераторное оборудование элементов сети работает независимо друг от друга, без жесткой системы тактовой сетевой синхронизации – ТСС). Однако опыт построения и эксплуатации сетей NGN 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. Поэтому практический интерес представляет количественная оценка качества передачи пакетов в условиях плезиохронной сети (ПС). Сформулированы основные условия передачи в ПС, предложены базовые модели и получены соответствующие числовые соотношения.

Для оценки длительности интервала проскальзывания при передаче в условиях ПС проведен вероятностный анализ расхождения частот записи и считывания в типовом элементе цифрового тракта при синхронном способе передачи в реальном масштабе времени. Предложенный метод позволяет точнее оценить фазовые искажения (джиттер) в традиционных ЦСП с синхронным способом передачи (ПЦИ, СЦИ). Намечены направления дальнейшей работы с целью поиска и обоснования оптимальных соотношений между параметрами передачи и синхронизации и качественными показателями пакетных сетей, в частности, с точки зрения снижения дисперсии задержек пакетов в сетях с асинхронной передачей (ATM, Ethernet).

Для цитирования:
Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Анализ проскальзывания в плезиохронной сети // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 19-24.

For citation:
Biryukov N.L., Triska N.R. The variation time of slips in the plesiochronous networks. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 19-24. (*in Russian*)

Введение

С учетом концептуальных изменений структуры современных сетей NGN/FN, появляются новые подходы к решению задач синхронизации [1-3]. С одной стороны, переход к сетям NGN характеризуется широким внедрением пакетных технологий с асинхронным способом передачи АСП (ATM, Frame Relay, Ethernet, IP/MPLS и т.д.), которые все больше вытесняют традиционные сети с синхронным способом передачи ССП (ПЦИ, СЦИ). В общем случае передача пакетами не предполагает наличия жесткой системы ТСС, то есть позволяет работать в условиях плезиохронной сети (ПС) без дорогостоящих мероприятий по организации ТСС. Однако имеющийся опыт эксплуатации пакетных сетей нового поколения показал необходимость обеспечения точной синхронизации по частоте и времени во многих приложениях современных сетей. Актуальность данного вопроса подтверждает и исследовательская активность в рамках МСЭ-Т, где ведущие производители оборудования и операторы телекоммуникаций активно занимаются разработкой и стандартизацией методов частотной и временной синхронизации для пакетных сетей, плезиохронных по своей природе [2, 3]. В этом контексте представляет интерес количественная оценка качества передачи в плезиохронной сети и его зависимости от параметров синхронизации.

Анализ режимов работы и постановка задачи

Основные особенности передачи в условиях ПС не предполагают наличия инфраструктуры ТСС, что следует из определения плезиохронного режима [4, 5], и заключаются в следующем:

– все устройства синхронизации работают независимо друг от друга в пределах допусков на отклонение $\pm\Delta f$ от номинального значения частоты $f_н$, то есть, значащие моменты следуют с одинаковой номинальной скоростью с отклонениями в установленных границах;

– отличие тактовых частот на стыках между устройствами, ведомыми разными генераторами, приводит к сбоям процесса записи и считывания;

– последствия рассогласования скоростей записи и считывания проявляются в виде *проскальзывания* – повторной записи или потери какого-либо фрагмента передаваемой информации – бита, байта, пакета или цикла.

В настоящее время, на физическом уровне, решение задачи приема импульсных сигналов в ПС надежно обеспечивается выделением несущей или тактовой частоты, синхронизацией символов и структур данных (циклов, пакетов, ячеек и т.д.). Но, как и прежде, в сетевых устройствах в условиях ПС остается актуальной задача обеспечения "определенного и неизменного соотношения фаз между регистрирующими импульсами", формируемыми местным генератором, и принимаемыми импульсами [6].

Запись цифрового потока (ЦП) в промежуточную буферную, эластичную память (ЕМ – Elastic Memory) обусловлена необходимостью его дальнейшей обработки, так как в условиях ПС не предполагается наличие инфраструктуры ТСС, и все задающие генераторы сети работают независимо друг от друга. Поэтому разность фаз "…между импульсами, формируемыми на приеме и непрерывно работающим местным генератором, и принимаемыми импульсами должна поддерживаться с точностью до нескольких процентов от длительности элементарного импульса в течение весьма длительной, часто круглосуточной работы системы" [6]. В противном случае из-за расхождения фаз записи и считывания возникают проскальзывания бит, байт или циклов. Типичный пример представляют проскальзывания при записи и считывании в буферную память на входе цифровой АТС (ЦАТС) " рабочих" потоков Е12 (2048 кбит/с), поступающих от других ЦАТС. Число бит между проскальзыванием, а, следовательно, и частота проскальзывания, полностью определяется степенью расхождения частот записи и считывания в буферной памяти.

На рис. 1 показана базовая ячейка (типичный элемент тракта передачи) одного направления передачи ПС в реальном масштабе времени транспортной системы с ССП. На рис. 2 для наглядности представлена логическая схема работы буферной памяти (ЕМ). Если, например, частоты записи и считывания $f_{G1} > f_{G2}$, т.е. тактовая частота генератора G_1 больше частоты генератора G_2, то темп записи превышает темп считывания, и "стрелка" записи будет "догонять" "стрелку" считывания, что приведет к проскальзыванию.

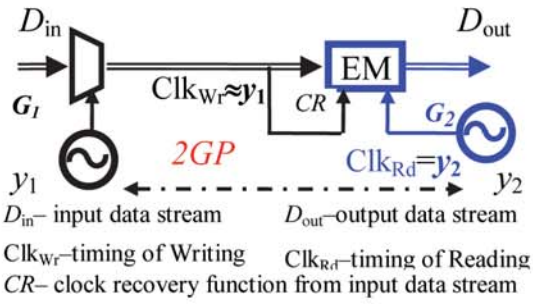


Рис. 1. Базовый элемент в структуре цифрового тракта в условиях плезиохронной передачи

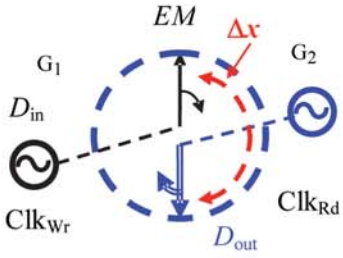


Рис. 2. Логическая модель буферной памяти

Во избежание проскальзывания длительность непрерывной передачи ограничивают исходя из того, какой способ передачи используется на канальном уровне – синхронный или асинхронный. При синхронной передаче (ССП) блоков информации в реальном масштабе времени проводится прямое и обратное согласование ЦП в практически непрерывном потоке (примерами могут служить

процедуры согласования скоростей компонентных потоков в ЦСП ПЦИ и СЦИ).

В случае асинхронного способа передачи (АСП) ЦП 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.

В работе [7] на основании моделирования показано, что расхождение частот задающих генераторов в ПС приводит к девиации интервалов времени согласования ЦП, а полученная функция распределения интервалов согласования (в частности, интервалов проскальзывания) по форме аналогична типичным распределениям задержек пакетов (пример моделирования распределения задержек в пакетной сети приведен на рис. 3). Это позволяет предположить, что поддержание точности может уменьшить девиацию пакетов в системах с АСП. В случае ССП (например, в мультиплексорах СЦИ) данное утверждение, очевидно, так как при отслеживании сигнала синхронизации высшего качества от сети ТСС джиттер согласования компонентных потоков с отличающимися скоростями снижается до значений погрешности ФАПЧ, а частота "отработки" указателей снижается в соответствии с порядком точности ведущего сетевого генератора – ПЭГ.

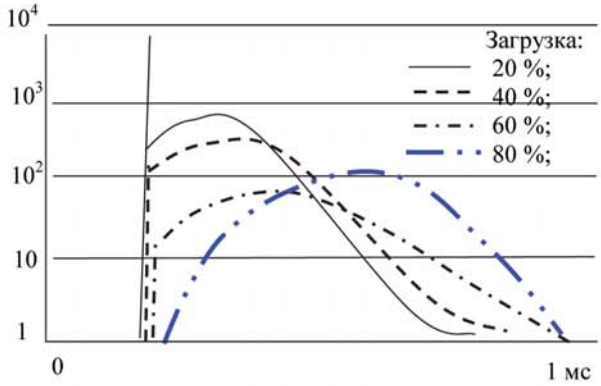


Рис. 3. Пример моделирования распределения задержек пакетов в сети из 10 последовательно включенных коммутаторов при различной степени загрузки тракта

На практике важны также оценки рассогласования при передаче пакетов в условиях ПС и их сравнение с показателями ЦСП ПЦИ по длительности и дисперсии задержки в зависимости от точности и стабильности тактовой частоты, а также от скорости передачи.

Анализ основных количественных соотношений ПС

Как при ССП, так и при АСП для работы в реальном масштабе времени интервал между проскальзыванием T_{sl} при заданном допустимом расхождении фаз сигналов записи и считывания $x_{доп}$ определяется из соблюдения неравенства:

$$x_{доп} > |y| \cdot T_{sl}, \quad (1)$$

где $y = \pm\Delta f/f_0$ – нормированное отклонение текущего значения частоты f от ее номинального значения f_0. Величина $x_{доп}$ при ССП принимается обычно равной части единичного интервала (ЕИ) или длительности цикла – T, то есть $x_{доп} = \alpha T$, где $\alpha < 1$ и обычно $\alpha \approx 0{,}25\ldots0{,}5\ T$.

Оценку времени проскальзывания проводят обычно исходя из худших условий, предполагая, что частоты f_{G1} и f_{G2} (или нормированные частоты записи $y_з$ и считывания $y_{сч}$) расположены на противоположных равноудаленных от номинального значения частоты границах допустимого интервала, то есть $\Delta y_0 = \Delta y_{max} = 2y_0$, поэтому:

$$T_{sl} = x_{доп}/2y_0. \quad (2)$$

Выражение (2) дает нижнюю оценку длительности интервала проскальзывания. В общем случае нормированные частоты $y_з$ и $y_{сч}$ могут принимать любые значения в пределах допустимого интервала. Это позволяет предположить, что реальные соотношения для оценивания периода проскальзывания могут существенно отличаться в большую сторону [7]. Для получения количественных показателей проведен вероятностный анализ ПС.

Ясно, что с увеличением скорости передачи B величина отклонения $x_{доп}$ и, соответственно, интервал T_{sl} убывают в обратной зависимости, как показано на рис. 4 сплошными линиями для трех значений $y \in 10^{-6}, 10^{-8}, 10^{-10}$. С другой стороны, при заданных величинах y и α число импульсов n, передаваемых на интервале времени T_{sl}, с увеличением скорости передачи B остается постоянным $n \sim B \cdot T_{sl} = \text{const}$, и возрастает на порядок с увеличением порядка точности y. Отсюда можно сделать вывод, что число бит, передаваемых между проскальзыванием, а, следовательно, и длина пакета в схеме рис. 1 с увеличением скорости передачи (записи или считывания) остаются постоянными, а с увеличением порядка точности y длина пакета без риска проскальзывания также может быть увеличена на порядок.

На рис. 4 пунктирными линиями показано время заполнения половины емкости памяти ЕМ при различных скоростях записи B, которое соответствует среднему времени задержки, вносимому ЕМ. При этом емкость S ЕМ принималась равной порядку точности. Например, при точности $y = 10^{-6}$ и скорости передачи 100 Мбит/с (10^5 бит/с) разность фаз, равная j ЕИ, наступает через 2,5 секунды. При этом S ЕМ, равная 1000 бит, будет заполнена через 10 мс, а это означает, что при заданных условиях через каждые 10 мс следует проводить согласование цифровых потоков или ограничить длительность непрерывной передачи пакетами размером, не превышающим 1000 бит. Заметим, что если S емкости ЕМ составляет 10^6 бит, то согласно рис. 4 ее заполнение произойдет через 10 секунд, и размер пакета может быть увеличен или частота согласований может быть снижена в 1000 раз, но соответственно и задержка только за счет прохождения ЕМ возрастает в 1000 раз, до 10 секунд.

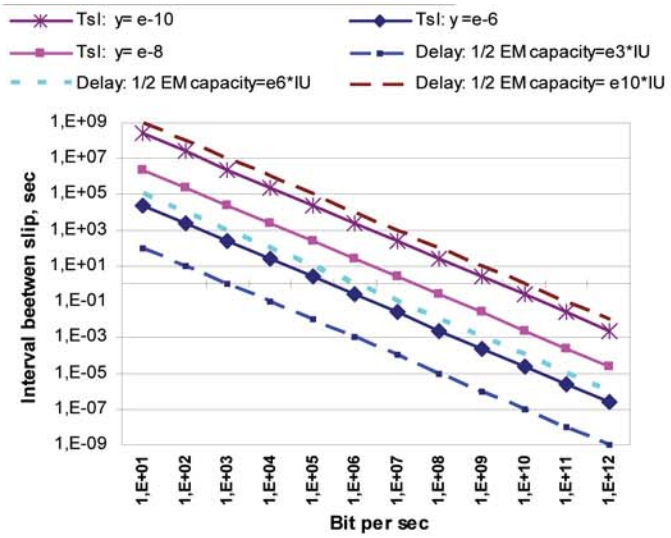


Рис. 4. Зависимость интервала времени между проскальзываниями от скорости передачи

Вероятностный анализ ПС

Как отмечено выше, выражение (2) для времени проскальзывания было получено в предположении, что нормированные частоты записи $y_з$ и считывания $y_{сч}$ максимально удалены на противоположные края интервала допустимого отклонения $\pm \Delta f$, т.е. $2\Delta f$ или $2y$ (оценка расхождения частот "сверху"). На практике рабочие частоты могут находиться в пределах допуска на любом месте. Перечисленные обстоятельства позволяют предположить, что полученные оценки могут быть представлены с учетом вероятностей расхождения частот записи $y_з$ и считывания $y_{сч}$ [7].

Обозначив текущие значения нормированных частот записи и считывания как $\xi_з$ и $\xi_{сч}$ соответственно, запишем: $\xi_з = y_з$ и $\xi_{сч} = y_{сч}$.

В режиме ПС отклонения от номинального значения не должны превышать допустимые нижнюю $y_н$ и верхнюю $y_в$ границы максимального отклонения. Полагая $y_н = -1$ и $y_в = 1$, представим нормированные частоты ξ записи и считывания как случайные величины, распределенные на интервале $\xi = [-1, 1]$.

Случайная величина $\delta_\xi \equiv \Delta y$ может принимать различные значения на этом интервале $[-1, 1]$, а отклонение нормированных частот тактовых сигналов записи и считывания по модулю распределено на интервале $\delta_\xi \in 0, 2$:

$$0 \le \delta_\xi = |\xi_з \pm \xi_{сч}| \le 2 \qquad (3)$$

Тогда длительность интервала между проскальзываниями T_{sl} можно записать в виде (4), где модуль разности δ_ξ принимает значения от 0 до 2:

$$T_{sl} = x_{доп} / \delta_\xi, \quad T_{sl} \in (+\infty, 2]. \qquad (4)$$

Последнее выражение полностью соответствует физическим представлениям, так как при совпадении частот записи и считывания $\xi_з = \xi_{сч}$ их разность δ_ξ равна 0, а проскальзывание отсутствует.

С точки зрения приложений проблем синхронизации в телекоммуникационных сетях, практический и теоретический интерес представляет изучение характера распределения с целью оценивания рисков проскальзывания информационных блоков в условиях ПС. Формально, данная задача сводится к оцениванию:

1) функций распределения частот генераторов;
2) композиции законов распределения в эластичной памяти (ЕМ);
3) вероятностей величин δ расхождения скоростей записи и считывания;
4) интервалов времени прохождения ЕМ информационным блоком;
5) интервалов времени контролируемого проскальзывания.

По результатам предварительного анализа функций распределения и их числовых характеристик (моментов и кумулянтов), для дальнейшего моделирования композиций случайных величин (СВ) в рассматриваемых условиях в качестве основных распределений были выбраны нормальное (гауссово) и равномерное распределения частот генераторов. При этом распределение Гаусса представляется наиболее соответствующим реальным условиям.

Композиция двух СВ $\xi_з$ и $\xi_{сч}$ на входах ЕМ представляет их разность (сумму):

$$\delta_\Sigma = \xi_з + \xi_{сч}, \quad \xi_з, \xi_{сч} \in [-1, 1]. \qquad (5)$$

Допустимое отклонение нормированных частот тактовых сигналов записи и считывания по модулю, согласно (3), распределено на интервале $\delta_\xi \in 0, 2$ и представляет нелинейное функциональное преобразование:

$$\eta_\Sigma = |\delta_\Sigma|. \qquad (6)$$

Для преобразования вида (6) получим плотность распределения в виде [8]:

$$p_\eta(\delta_\Sigma) = p_\delta(\delta_\Sigma) + p_\delta(-\delta_\Sigma). \qquad (7)$$

Для четных функций, например, распределения Гаусса, (7) приобретает вид:

$$p_\eta(\delta_\Sigma) = 2p_\delta(\delta_\Sigma). \qquad (8)$$

Таким образом, задача сводится к последовательному определению распределения суммы двух СВ – δ_Σ по (5), а затем распределения абсолютной величины δ_Σ по (6). В такой последовательности были получены аналитические выражения распределения однородных сумм вида (δ_Σ) и их абсолютных значений (η_Σ) при нормальном распределении (ND) и равномерном распределении (UD) слагаемых, а также для смешанных сумм: нормальное распределение + равномерное распределение (ND + UD).

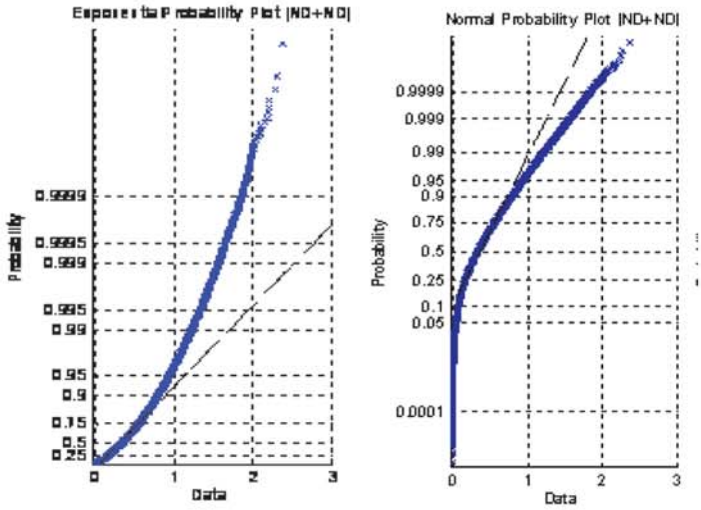
Для подтверждения корректности используемых методов и результатов исследования проведено статистическое моделирование; проведено сравнение расчетных и теоретических числовых характеристик, а также теоретических и модельных распределений и распределений, полученных в результате статистического моделирования.

В таблице 1 представлены пороговые значения β, которые превышаются $\delta_\xi \ge \beta$ при заданных квантилях α. На рис. 5 для примера приведена функция распределения модуля суммы двух нормально распределенных величин δ_ξ в комбинации |ND + ND|, построенная на сетках экспоненциального и нормального (гаусса) распределений (рис. 5а и 5б соответственно).

Таблица 1

Квантили α абсолютных значений $\eta_\Sigma \geq \beta$

α	$\delta_\xi \geq \beta$		
	|ND + ND|	|UD+ UD|	|ND+ UD|
0,5	**0,3185**	**0,59**	**0,511**
0,75	**0,5420**	1	0,809
0,9	**0,775**	1,367	1,072
0,950	0,925	1,55	1,224
0,99	1,23	**1,800**	**1,5**
0,999	1,550	1,936	**1,8**
0,9999	1,84	**1,980**	**1,976**
0,99999	2,05	1,9922	**2,17**



а) б)

Рис. 5. Функции распределения вероятностей модуля разности частот в ПС при гауссовом распределении исходных частот в допустимых значениях нормированных границ [–1, 1]:
а) масштаб сетки экспоненциального распределения;
б) нормального распределения

Полученные результаты показали, что при нормальном распределении значений частоты в допустимых границах, интервал времени между проскальзыванием возрастает в два раза с доверительной вероятностью 0,95. Например, при типовых значениях Δx = 125 мкс и $y_0 \approx 10^{-11}$, с 99 % вероятностью оценка интервала проскальзывания составляет почти 118 суток, тогда как оценка по максимально возможному расхождению частот, то есть на противоположных границах интервала равна примерно 72 суткам. Следует отметить, что если вероятность расхождения частот оценивать только по распределению в двух граничных точках допуска, то, при равновероятном распределении по концам допустимого интервала, вероятность совпадения частот или их удаления на противоположные границы равна S. Другими словами, экстремальное отклонение, равное величине всего допустимого интервала отклонения, достигается с вероятностью 0,5. С такой вероятностью, при равномерном распределении частоты в пределах допустимого интервала (худший случай распределения), оценка периода проскальзывания превышает половину года.

Аналитическим путем и при статистическом моделировании вычислялись моменты с 1 по 4, асимметрия и эксцесс распределений, максимальное и минимальное значения, полученные при моделировании.

Полученные распределения и числовые значения характеризуют среднюю величину длительности интервала рассогласования, а также вариацию времени в сети с ССП, например, в потоке на выходе коммутатора, объединяющем сигналы нескольких независимых источников. Это позволяет более точно оценить фазовые искажения (джиттер) в традиционных ЦСП с синхронным способом передачи (ПЦИ, СЦИ). Кроме того, предложенный подход может быть использован и для оценки джиттера пакетов (дисперсии задержек) в пакетных сетях с АСП.

Например, при среднем значении рассогласования частот записи и считывания в пределах от 0,4 до 0,66 и максимально допустимом отклонении частоты $y_{макс} = \pm 100$ ppm ожидаемое значение отклонения Δy равно примерно 40 ÷ 66 ppm. Стандартное отклонение, которое примерно в $2^{1/2}$ меньше среднего значения, в рассматриваемом примере составляет ~ 28 ÷ 47 ppm. На рис. 6 приведены гистограммы моделируемых разностей без задержки (1) и с задержкой (2, 3), которые позволяют предположить, что рассогласование частот или, другими словами, распределение неточности частот коммутаторов, может способствовать девиации – джиттеру как сигналов при ССП, так и пакетов при АСП.

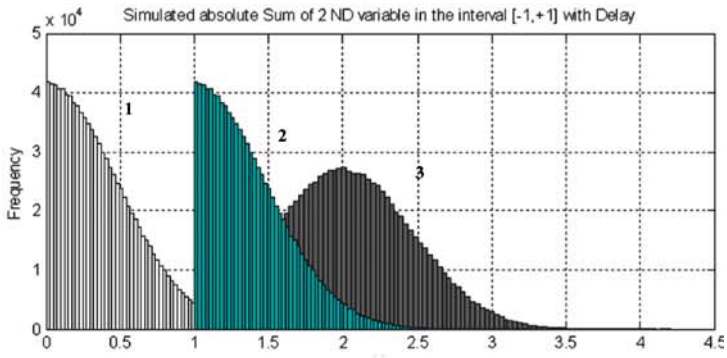


Рис. 6. Распределение модуля суммы двух нормально распределенных случайных величин без задержки – 1, с задержкой – 2, 3

Отметим, что в пользу гипотезы о влиянии разброса по точности при записи и считывании на соответствующий джиттер говорит и тот факт, что соотношения между средним и стандартным отклонением полученных распределений аналогичны соотношению между этими же параметрами в распределении Эрланга при параметре $c = 2$ (среднее значение для |ND + ND| ≈ 0,401, для |UD + UD| ≈ 0,666, а для |ND + UD| ≈ 0,521), что хорошо согласуется с результатами моделирования.

Также для уточнения выводов планируется проведение анализа показателей рассогласования в условиях неравно-

точных источников частоты, например, при переприеме по тактовой частоте, а также при последовательном соединении нескольких звеньев. Кроме того, представляет интерес выяснение влияния степени разброса частот на джиттер при передаче в условиях ССП и АСП.

Результатом проведенных исследований должна стать оптимизация соотношения между скоростью передачи, точностью задающих генераторов сетевых элементов, длительностью пакета и задержкой при заданной вероятности риска проскальзывания.

Выводы

1. Передача в условиях плезиохронной сети, благодаря их обобщенности, представляет особый интерес для анализа принципов передачи транспортной сети. Актуальность плезиохронного режима обусловлена переходом современных транспортных сетей на исключительно асинхронные пакетные технологии передачи и коммутации (Ethernet, IP/MPLS).

2. Анализ полученных числовых соотношений и, в частности, оценка риска проскальзывания по распределению вероятностей разности частот записи и считывания, позволяет оптимизировать соотношения между различными параметрами передачи и качества обслуживания в пакетной сети – скоростью передачи, точностью генераторного оборудования, длительностью пакета и задержкой при заданной вероятности риска проскальзывания, а также оценить влияние расхождения тактовой частоты на джиттер пакетов.

Литература

1. *Бирюков Н.Л.* Синхронизация транспортных технологий при переходе к NGN // Электросвязь. – 2009, № 10. – С.30-35.
2. *Бирюков Н.Л., Триска Н.Р., Худынцев Н.Н.* Обзор направлений исследований МСЭ в области частотно-временного обеспечения современных сетей связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2014. №2. – С.12-17.
3. J.-L. Ferrant, S. Ruffini Evolution of the standards for Packet Network Synchronization // IEEE Communication Magazine, February 2011, pp.
4. ITU-T Recommendation G.701 (03/93) Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms.
5. ITU-T Recommendation G.810 (08/96) Definitions and terminology for synchronization networks.
6. *Гуров В.С., Емельянов Г.А., Етрухин Н.Н., Базилевич Е.В.* Основы передачи данных по проводным каналам связи: М.: Связь, 1964 – 312 с.: ил.
7. *Бирюков Н.Л., Триска Н.Р.* Вероятностный анализ передачи информации в плезиохронной сети // Інфокомунікації – сучасність та майбутнє: матеріали четвертої міжнар. наук.-пр. конф. м. Одеса 30-31 жовт. 2014 р. – Ч.1. – Одеса: ОНАЗ, 2014. – 180 с. – С. 115-119.
8. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. 2-е издание переработанное и дополненное. – М.: Радио и связь, 1982. 624 с.

THE VARIATION TIME OF SLIPS IN THE PLESIOCHRONOUS NETWORKS

Nickolay Biryukov,
scientific consultant, The Institute of Telecommunication Systems (ITS) of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", PhD, Kyiv, Ukraine, **nlbir@mail.ru**

Nataliya Triska,
laboratory head, State Enterpreise "Ukrainian Sienntific and Research Institute of Communications", PhD, Ukraine, **ntriska@ukr.net**

Abstract
During the transition of telecommunication networks to the Next Generation Networks (NGN) and Future Networks (FN) the key goal is to provide such level of transport network performances that can ensure the required quality of service (so-called "carrier-class networks"). In this context, the time and frequency support of telecommunication networks should be considered because the quality level of frequency and/or time synchronization has the direct or indirect impact on many important network performances. The current transport networks use asynchronous way of packet transmission and switching technologies (Ethernet, IP/MPLS) oriented to the plesiochronous mode (when all network elements clocks work independently, without forced network synchronization). But the experience of deployment and maintenance of real NGN networks with fully or partially packet infrastructure had shown the difficulties in providing the required quality of service without strict requirements to the synchronization quality in packet networks. So it is interested to evaluate quantitatively the quality of packet transmission in plesiochronous network (PN). The article researches this problem by formulating the main conditions of transmission in PN, as well as basic models and numerical equations. The probabilistic analysis of the writing and reading frequencies mismatches in the typical network element was performed for the case of real-time synchronous transmission. The results of this analysis can be used for slip periods and delays estimation in PN mode. The observed distribution and the numerical values show the average value of the duration interval of the discrepancy and the time variation in the network with synchronous or asynchronous way of transport, for example, in the stream at the output of switch that combines the signals from several independent sources. This allows you to more accurately estimate the phase distortion (jitter) in typical TDM with synchronous way of transport (PDH, SDH). In addition, the proposed approach can be used to assess the jitter of packets (variance of delay) in packet-based networks with asynchronous way of transport (ATM, Ethernet and other).

Keywords: *plesiochronous network, packet transmission, synchronization, slip, elastic memory, writing frequency, reading frequency, discrepancy, distribution.*

References

1. *Biryukov, N,* 2009, Synchronization of transport technologies during transition to NGN, Elektrosviaz, no. 10, pp. 30-35. (*in Russian*)
2. *Biryukov, N, Triska, N, Khudyntsev, N,* 2014, ITU Research overview of communications networks frequency/time support, T-Comm, no. 2, pp. 12-17. (*in Russian*)
3. *Ferrant, J.-L, Ruffini, S,* 2011, Evolution of the standards for Packet Network Synchronization, IEEE Communication Magazine, no. 2, pp. 132-138.
4. ITU-T Recommendation G.701, 1993, Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms.
5. ITU-T Recommendation G.810, 1996, Definitions and terminology for synchronization networks.
6. *Gurov, V, Yemelianov, G, Yetruchin, N, Bazilevich, E,* 1964, The basis of data transmission on wire communication channels, Sviaz, 312 p. (*in Russian*)
7. *Biryukov, N, Triska, N,* 2014, The probabilistic analysis of data transmission in plesiochronous network, Proceedings of 4th international conference "Infocommunications – the present and future", Odessa, vol. 1, pp. 115-119. (*in Russian*)
8. *Tichonov, V,* 1982, The statistical radio engineering, 2nd ed., Radio i sviaz, 624 p. (*in Russian*)

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА ТЕХНОЛОГИЙ WIFI И MESH

Степанова Ирина Владимировна,
к.т.н., профессор МТУСИ, Москва, Россия,
W515iv@mail.ru

Ключевые слова: *беспроводный доступ, технология WiFi, технология Mesh, ячеистые сети, дальность связи, потери сигнала.*

Предметом исследования являются широкополосные беспроводные сети технологий WiFi и Mesh, особенности их организации и проектирования. Беспроводные сети, отличающиеся друг от друга поддерживаемыми скоростями соединения. Благодаря функции хендовера пользователи могут перемещаться между точками доступа по территории покрытия сети WiFi без разрыва соединения. Важнейшим фактором развития сетей WiFi является проблема выделения соответствующей полосы рабочих частот. Рассматриваются возможные варианты выделения частотных диапазонов для сетей WiFi в Российской Федерации. Недостатком технологии WiFi является ограниченная дальность действия точек доступа, которая традиционно рассчитывается для открытого пространства. Предлагается проводить коррекцию дальности действия точек доступа с учетом потери мощности сигнала WiFi после прохождения препятствий различного типа. В качестве эффективного средства выбора структуры сети на завершающем этапе проектирования предлагается использование программного обеспечения D-Link WiFi Planner PRO.

Рассматривается перспективное направление в развитии стандартов технологии WiFi, которое заключается в привлечении технических решений технологии Mesh. Использование технологии Mesh позволяет реализовать "бесшовную" ячеистую сеть на основе множества соединений "точка-точка" между узлами, позволяет развертывать сети беспроводного доступа на значительной территории. Этому способствует организация связи между абонентскими терминалами различных ячеек, осуществляемая путем ретрансляции через соответствующие точки доступа. С точки зрения других устройств и протоколов более высокого уровня mesh-сеть функционально эквивалентна широковещательной Ethernet-сети, все узлы которой непосредственно соединены на канальном уровне. Mesh-сети могут быть стационарными или мобильными. В последнем случае все или часть узлов со временем могут менять свое местоположение. Технология Mesh использована в версии стандарта IEEE 802.11s. Новые возможности позволяют сетям WiFi претендовать на предоставление потребителю ряда услуг, являющихся прерогативой сотовой связи. Имеется опыт успешного совместного использования оборудования стандартов LTE и WiFi.

Для цитирования:
Степанова И.В. Вопросы построения и проектирования систем беспроводного широкополосного доступа технологий WiFi и Mesh // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 25-33.

For citation:
Stepanova I.V. Questions of construction and design of wireless broadband access technologies WiFi and Mesh. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 25-33. (*in Russian*)

Беспроводные сети (БД) позволяют оперативно создавать телекоммуникационную инфраструктуру как на больших территориях с маленькой плотностью населения, так и на небольших территориях, обеспечивая мобильность пользователям данной сети. Главными достоинствами систем широкополосного БД являются: быстрое проектирование и развертывание; возможность динамического изменения сети при подключении, отключении и передвижении пользователей [1, 2].

Во всем мире широкое распространение получила технология WiFi (англ. Wireless Fidelity). Термин WiFi первоначально подразумевал обеспечение связи по стандарту IEEE 802.11b (скорость передачи информации – до 11 Мбит/с). Этот стандарт предусматривает использование не лицензируемого диапазона частот 2,4 ГГц. В последнее время термин WiFi используется для обозначения других технологий беспроводных локальных сетей. Таких как стандарты IEEE 802.11a и 802.11g (скорость передачи – до 54 Мбит/с, частотные диапазоны, соответственно, 5 ГГц и 2,4 ГГц). В сентябре 2009 был принят стандарт IEEE 802.11n (скорость передачи данных 600 Мбит/с на частотах 2,4, 2,5 или 5 ГГц).

Сети Wi-Fi обеспечивают беспроводную связь на относительно небольших расстояниях (как правило, десятки метров) при наличии прямой видимости между передатчиком и приемником. К основным элементам сетей Wi-Fi относятся абонентские терминалы (АТ) и оборудование точек доступа (ТД). Оборудование ТД включает в себя интерфейсные устройства и радиостанцию точки доступа, взаимодействующую с АТ сети. Между ТД возможет радиообмен внутри сети, либо может использоваться опорная сеть (см. рис.1). АТ могут заменяться беспроводными адаптерами (БА), встраиваемыми в персональные компьютеры пользователей или соединяемые с ними через USB-порт. При наличии в сети Wi-Fi нескольких ТД все АТ этой сети разделяются на ячейки, каждая из которых взаимодействует со своей ТД.

Стандарт IEEE 802.11 включает ряд вариантов, отличающихся, прежде всего, скоростью передачи двоичных символов и диапазоном рабочих частот. Из всех существующих стандартов беспроводной передачи данных IEEE 802.11, на практике наиболее часто используются всего три, определенных Инженерным институтом электротехники и радиоэлектроники (IEEE), это варианты стандарта 802.11b, 802.11g и 802.11a (табл. 1).

Постоянной тенденцией развития технических решений WiFi считается повышение скорости передачи информации. В связи с этим возникла необходимость использовать и другие диапазоны частот.

Юридический статус сетей WiFi различен в разных странах. Например, в США диапазон 2,5 ГГц разрешается использовать без лицензии, при условии, что мощность не превышает определённую величину, и такое использование не создаёт помех тем, кто имеет лицензию [3, 4, 5].

В России использование WiFi без разрешения на использование частот от Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) возможно для организации сети внутри зданий, закрытых складских помещений и производственных территорий. Для легального использования вне офисной беспроводной сети WiFi (например, реализация радиоканала между двумя соседними домами) необходимо получение разрешения на использование частот.

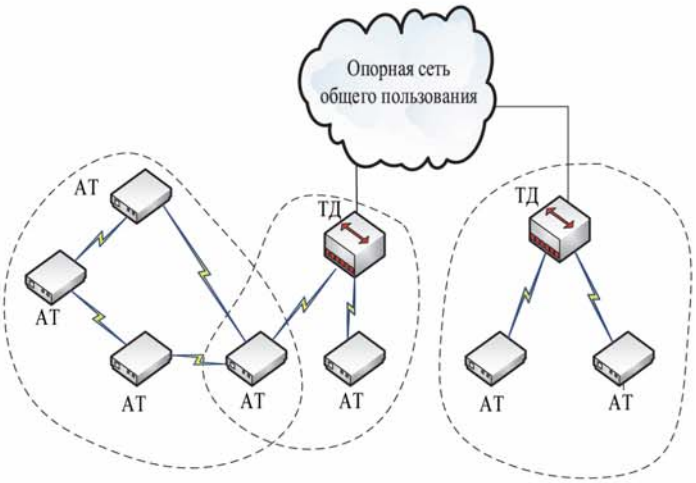


Рис. 1. Типовая структура сетей Wi-Fi

Таблица 1

Варианты стандарта IEEE 802.11

Варианты	802.11a	802.11b	802.11g
Скорость передачи, Мбит/с	54	11	54
Диапазон частот, МГЦ	5150-5350	2400-2483,5	2400-2483,5

Решением ГКРЧ Российской Федерации с декабря 2009 г. введена упрощенная и бесплатная процедура регистрации WiFi – устройств малого радиуса действия. Решению ГКРЧ удовлетворяют три класса точек доступа для использования в помещениях и на открытом пространстве (табл. 2 и 3):

в закрытых помещениях – устройства диапазона 2,4-2,483 ГГц (иначе, диапазон 2,4 ГГц) с эквивалентной изотропно излучаемой мощностью (ЭИИМ) менее 100 мВт;

вне помещений – устройства диапазона 2,4 ГГц при дополнительном ограничении на ЭИИМ до 1 мВт/МГц;

в закрытых помещениях – устройства диапазона 5,15-5,25 ГГц с ограничениями по ЭИИМ и ее плотности (соответственно, 200 мВт и 5 мВт/МГц).

Любая сертифицированная точка доступа WiFi 802.11b/g/n с ЭИИМ до 100 мВт не требует расчета электромагнитной совместимости и дополнительного согласования с гражданскими и военными службами. Для развертывания беспроводных сетей внутри помещения следует использовать частотный диапазон 2.4 ГГц и оборудование стандарта IEEE 802.11b или 802.11g.Для каждого сегмента рынка можно рекомендовать свой диапазон.

Таблица 2

Сравнение различных диапазонов внутри помещений

Диапазон, ГГц	Преимущества	Недостатки
2.4	1. Низкая стоимость оборудования. 2. Наибольшая зона покрытия. 3. Упрощенная процедура получения частот	802.11b – невысокая скорость 802.11g – меньшая зона покрытия, но скорость до 54 Мбит/с
5,15-5,25; 5,25-5,35	Высокая скорость передачи данных – до 54 Мбит/с	1. Значительно меньшая по сравнению с диапазоном 2,4 ГГц зона покрытия 2. Нет упрощенной процедуры для получения частот

Таблица 3

Сравнение различных диапазонов вне помещений

Диапазон	Преимущества	Недостатки
2,4 ГГц	1. Низкая стоимость оборудования 2. Максимальная дальность связи 3. Большой выбор оборудования	1. Диапазон занят в городах 2. Невысокая скорость передачи 3. деятельность «пиратов»
3,5 ГГц	1. Отсутствие «пиратских» сетей 2. Хорошая дальность связи 3. Первое поколение WiMAX-систем	1. Трудность получения частот 2. Высокая стоимость оборудования
5,15-5,25 и 5,25-5,35 ГГц	1. Высокая скорость передачи – до 54 Мбит/с	Меньшая дальность связи
5,725-5,850 ГГц	1. Богатый выбор поставщиков 2. Хорошая скорость – до 32 Мбит/с	В городах трудно получить частоты
5.9-6.4 ГГц	1. Свободный диапазон 2. Простота получения частот	Высокая стоимость частотных конверторов

1. Для операторов связи подходит диапазон частот 5,15-5,35 ГГц с его высокими скоростями и богатой функциональностью оборудования.

2. Для организации каналов «точка – точка» в городах, помимо диапазона 5,15-5,35 ГГц, хорошо подходит диапазон 5,725-5,850 ГГц.

3. Для беспроводных сетей в области и во всех крупных городах:

диапазон 2,4 ГГц – вне городов, он свободен от помех и обеспечивает максимальную дальность связи;

диапазон 5,725-5,850 ГГц обеспечивает хорошую дальность в режиме «точка – точка» и на более высоких скоростях.

Решением ГКРЧ от 20.11.2014 г №14-29-01 внесены изменения в Приложение №2 к Решению ГКРЧ от 07.05.2007 г «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия». Основные характеристики РЭС, работающих в полосе радиочастот 2400-2483,5 МГц, в соответствии с документами, указанными выше, приведены в таблице 4 [7].

Таблица 4

Основные технические характеристики и условия использования устройств малого радиуса действия в сетях беспроводной передачи данных

Полосы радиочастот	Технические характеристики			Дополнительные условия использования
	Наименование	Значение	Размерность	
Устройства с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ)				
2400-2483,5 МГц	Ширина канала	Не менее 1	МГц	
	Время пребывания (работы) на одной несущей, выбор которой осуществляется по псевдослучайному закону	Не более 0,4	с	нет
	Количество каналов ППРЧ	Не менее 15		
	Максимальная ЭИИМ	100	мВт	
Устройства с прямым расширением спектра и другими видами модуляции (обязательно одновременное выполнение условий, приведённых ниже)				
2400-2483,5 МГц	Максимальная спектральная плотность ЭИИМ	10	мВт/МГц	нет
	Максимальная ЭИИМ	100	мВт	

В Российской Федерации в диапазоне 2,4 ГГц разрешены к использованию 13 беспроводных каналов, три из которых являются непересекающимися (см. рис. 2):

- 1 канал с центральной частотой 2,412 ГГц;
- 6 канал с центральной частотой 2,437 ГГц;
- 11 канал с центральной частотой 2,462 ГГц.

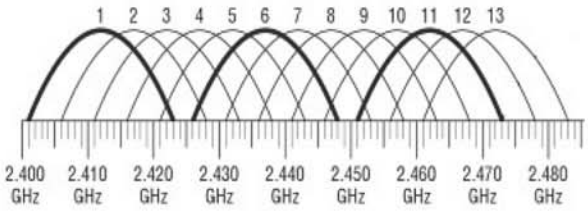


Рис. 2. Частотные каналы WiFi диапазона 2,4 ГГц

Для того что бы соседствующие точки доступа не создавали помех друг другу они должны работать в разных частотных каналах. Вариант частотного плана сети WiFi представлен на рис. 3.

Точки доступа, работающие на одном частотном канале, стараются размещать на углах равностороннего треугольника, тем самым максимально эффективно покрывая требуемое пространство.

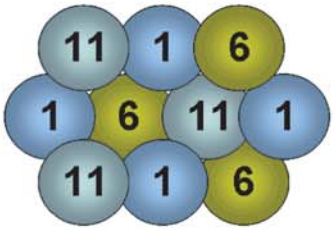


Рис. 3. Частотный план WiFi сети

Имеющиеся методики расчета дальности связи для точек доступа WiFi позволяют учесть множество факторов (включая особенности оборудования конкретных производителей и используемые частоты работы). Однако, как правило, они характеризуют дальность работы точек доступа в открытом пространстве. В таблице 5 представлены данные о потерях сигнала WiFi при прохождении через различные препятствия.

Таблица 5

Потери сигнала WiFi после прохождения препятствий

Препятствие	Дополнительные потери (dB)	Эффективный радиус действия после прохождения
Открытое пространство	0	100%
Окно без тонировки (отсутствует металлизированное покрытие)	3	70%
Пластиковая стенка (Офисная перегородка)	4	60%
Стена из гипсокартона	6	55%
Окно с тонировкой (металлизированное покрытие)	5-8	50%
Деревянная стена	10	30%
Межкомнатная стена (15 см)	15-20	15%
Несущая стена (30 см)	20-25	10%
Бетонный пол/потолок	15-25	10-15%
Монолитное железобетонное перекрытие	20-25	10-5%

При разработке схемы размещения точек доступа следует учитывать фактор влияния препятствий. С помощью программного обеспечения D-Link WiFi Planner PRO можно моделировать мощность сигнала в любой точке требуемой зоны покрытия с учётом препятствий в ней при заданном расположении точек доступа. Это упрощает радио обследование перед монтажом оборудования, позволяя заранее определить возможные слабые места проектируемой сети. Результатом работы программы является отчет, содержащий план помещения с наложенной на него примерной картой покрытия проектируемой сети. На рис. 4 представлен результат работы программного обеспечения применительно к конкретному варианту расположения точек доступа в двух павильонах выставочного комплекса. Связь с мобильными абонентами осуществляется через «точки доступа» подключенные к кабельной инфраструктуре компании, причем в радиусе действия каждой «точки доступа» может находиться до 20 абонентов, одновременно использующих ресурсы сети. Как видно из отчёта программы, предлагаемое расположение точек доступа обеспечит полное покрытие всей территории выставочных помещений в диапазоне 2.4 ГГц. Минимальный уровень сигнала на покрываемой площади равен -62 дБмВ, что обеспечивает приемлемый уровень связи для современного устройства технологии WiFi.

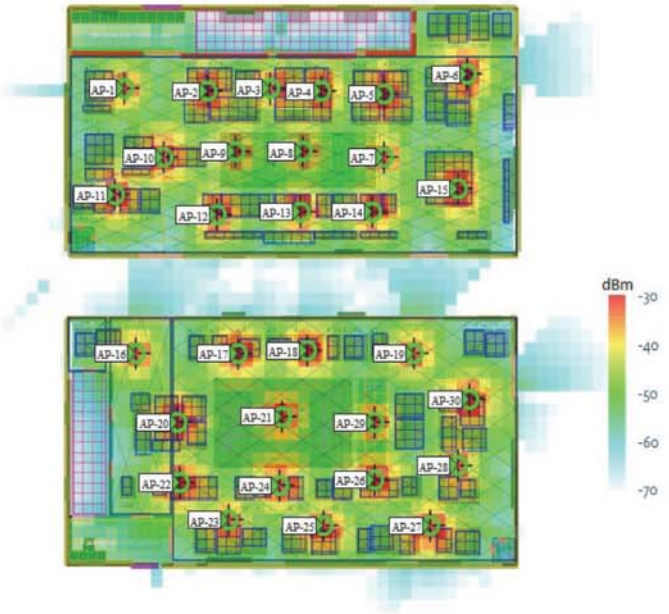


Рис. 4. Карта покрытия сети для диапазона частот 2,4 ГГц

Одним из основных моментов стандарта 802.11n является поддержка технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output, Многоканальный вход/выход). С помощью технологии MIMO реализована способность одновременного приема/передачи нескольких потоков данных через несколько антенн, вместо одной.

Стандарт 802.11n определяет различные антенные конфигурации "MxN", начиная с "1x1" до "4x4" (самые распространенные на сегодняшний день это конфигурации "3x3" или "2x3"). Первое число (M) определяет количество передающих антенн, а второе число (N) определяет количество приемных антенн. Например, точка доступа с двумя передающими и тремя приемными антеннами является "2x3" MIMO-устройством.

Чем больше устройство 802.11n использует антенн для одновременной работы передачи/приема, тем будет выше максимальная скорость передачи данных. Само по себе

использование нескольких антенн не увеличивает скорость передачи данных или расширение диапазона.

Основным в устройствах стандарта 802.11n является то, что в них реализован усовершенствованный метод обработки сигнала, который и определяет алгоритм работы MIMO-устройства при использовании нескольких антенн. Конфигурация "4x4" при использовании модуляции 64-QAM обеспечивает скорость до 600 Мбит/с, конфигурация "3x3" при использовании модуляции 64-QAM обеспечивает скорость до 450 Мбит/с, в то время как конфигурации "2x3" и "1x2" обеспечат скорость до 300 Мбит/с.

Существуют три режима работы точек доступа 802.11n: HT, Non-HT и HT Mixed. Режим High Throughput (HT) известен как "чистый" режим (Greenfield-режим), предполагает отсутствие в зоне покрытия работающих устройств 802.11b/g, использующих ту же полосу частот. В этом режиме смогут работать только клиенты 802.11n, что позволит воспользоваться преимуществами повышенной скорости и увеличенной дальностью передачи данных.

Точка доступа 802.11n в режиме Non-HT (наследуемый режим), отправляет все кадры в формате 802.11b/g, чтобы устаревшие станции смогли понять их. В этом режиме точка доступа должна использовать ширину каналов 20 МГц. Для обеспечения обратной совместимости все устройства должны поддерживать этот режим. При использовании этого режима передача данных осуществляется со скоростью, поддерживаемой самым медленным устройством.

Смешанный режим HT Mixed будет наиболее распространенным режимом для точек доступа 802.11n в ближайшие несколько лет. Режим HT Mixed обеспечит обратную совместимость устройств. В этом режиме точка доступа 802.11n распознает наличие старых клиентов и будет использовать более низкую скорость передачи данных, пока старое устройство осуществляет прием-передачу данных.

Таким образом, при практическом применении улучшений стандарта 802.11n, преимущества могут быть достигнуты в полной мере только при условии, что клиенты 802.11b/g отсутствуют и беспроводная сеть работает в "чистом" режиме HT.

Принципиально новым решением в создании крупных сетей технологии WiFi является использование технологии Mesh Networks (на русский язык переводится как «ячеистые» или «решетчатые» сети). Понятие Mesh определяет принцип построения сети, отличительной особенностью которой является самоорганизующаяся архитектура, реализующая следующие возможности:

создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;

масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;

использование беспроводных транспортных каналов (backhaul) для связи точек доступа в режиме "каждый с каждым"

устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Точки доступа (MP, Mesh Points), работающие в Mesh-сетях, не только предоставляют услуги абонентского доступа, но и выполняют функции маршрутизаторов/ ретрансляторов для других точек доступа той же сети. Mesh-сети могут быть стационарными или мобильными. В последнем случае все или часть узлов со временем могут менять свое местоположение. Узлы mesh-сети, совмещенные с точками доступа, называются точками доступа mesh-сети (Mesh Access Point, MAP). Порталы mesh-сети (Mesh Point Portal, MPP), соединяют mesh-сеть с внешними сетями, в качестве которых могут выступать Mesh- сети, классические сети 802.11, новые сети типа 802.11n, узлы широкополосного доступа. Таким образом, mesh-сеть с точки зрения других устройств и протоколов более высокого уровня функционально эквивалентна широковещательной Ethernet-сети, все узлы которой непосредственно соединены на канальном уровне.

Технология ячеистых сетей не является специфичной для беспроводных сетей, но в беспроводных сетях она приобретает новые свойства. При использовании беспроводных узлов топология сети может легко перестраиваться перемещением узлов, удалением или добавлением узлов. Прокладка кабелей между узлами не требуется. Теоретически можно накрыть mesh-сетью любую необходимую территорию. Вопрос заключается только в количестве узлов и возможности обеспечить их электропитанием.

Беспроводные клиенты могут перемещаться в пределах зоны покрытия, узлы будут строить маршруты и обеспечивать прозрачный роуминг.

Mesh-сети в отличие от сетей сотовой связи имеют два вида связей: связь прямого доступа (Access Tier, AT); обходная связь (Backhaul Tier, BT).

Mesh-сеть проектируется таким образом, чтобы каждое устройство (база, абонент) «видело» два или более соседних. При этом обеспечивается хранение сведений о соседях на каждой АС в сети

Если один из узлов сети перестаёт функционировать, другие узлы продолжают работу, соединяясь между собой напрямую или через промежуточные узлы. Каждое устройство ячеистой сети должно обеспечивать функции динамической маршрутизации в реальном времени. При выходе любого узла такой сети из строя, сеть автоматически перенастраивается так, что все абоненты по-прежнему были на связи, только работать будут уже через другие узлы такой сети. Такой подход позволяет развертывать сети полного покрытия заданной территории с возможностью бесшовного роуминга абонентов и высокой надежностью.

Детерминированный доступ в mesh-сети (Mesh Deterministic Access – MDA) – это опциональный механизм, позволяющий получать доступ к среде в заранее зарезервированные временные интервалы. Это снижает конкуренцию доступа к среде передачи, что позволяет существенно увеличить вероятность своевременной доставки данных, чувствительных к задержкам (аудио- и видеопотоки, данные с высоким приоритетом).

MDA-соединение может быть установлено только между станциями, поддерживающими данный механизм. MDA-резервирование задает интервалы, в течение кото-

рых поддерживающие MDA станции не пытаются передавать пакеты, чтобы не мешать передаче данных по зарезервированному каналу. Создание MDA-соединения инициируется узлом-источником, а принимается или отклоняется узлом-адресатом данных. Для установления MDA-соединения устройство выбирает интервалы времени, не занятые другими MDA-соединениями, о которых ему известно. Если резервирование нового соединения вызывает превышение допустимого числа MDA-соединений для соседей данного узла, то устройство отказывается от создания соединения. При установлении MDA-соединения узел направляет соответствующий запрос узлу-адресату, указав, в какие моменты времени и какой длины интервалы он хочет использовать. Получатель запроса выполняет аналогичные проверки о допустимости создания соединения с запрошенными параметрами и шлет ответ – положительный или отрицательный. Если выбранные узлом-источником временные интервалы пересекаются с другими MDA-соединениями, о которых известно получателю, он может в ответе предложить альтернативные интервалы времени. Для разрыва MDA-соединения получатель или отправитель могут послать специальный информационный элемент. Все устройства, которые знают о существовании MDA-резервирований, обязаны периодически сообщать о них своим соседям посредством специальных информационных элементов, либо используя специальные служебные кадры. Даже при зарезервированном MDA-интервале доступ к среде передачи происходит на конкурентной основе. При этом учитывается категория трафика, который пытается передать станция, для чего используется механизм доступа к каналу с поддержкой дифференцированного качества обслуживания (Enhanced Distributed Channel Access, EDCA).

Стандарт 802.11s разработан для реализации полносвязных сетей (Wireless Mesh), где любое устройство может служить как маршрутизатором, так и точкой доступа.

Если ближайшая точка доступа перегружена, данные перенаправляются к ближайшему незагруженному узлу. При этом пакет данных передается от одного узла к другому, пока не достигнет конечного места назначения.

В данном стандарте введены новые протоколы на уровнях MAC и PHY, которые поддерживают широковещательную и многоадресную передачу, а также одноадресную поставку по системе точек доступа Wi-Fi. С этой целью в стандарте введен четырехадресный формат кадра.

Наиболее значимая для Mesh-технологий спецификация 802.11s призвана стандартизировать организацию сетей подобной топологии. Дополнение IEEE 802.11s к стандарту IEEE 802.11 содержит такое определение:

«Mesh-сеть – это IEEE 802LAN, включающая звенья и контрольные элементы WLAN IEEE 802 для переадресации кадров клиентам сети».

Таким образом, функционирование mesh-сетей предполагает использование режима маршрутизации сетей Ethernet. Одной из основных сегодняшних проблем при организации Mesh-сетей считается совместимость оборудования внутри сети, поскольку абонентский доступ организуется в соответствии со стандартами 802.11, а транспортные каналы, как правило, с использованием частных (proprietary) протоколов и алгоритмов организации сети. Основой для спецификации 802.11s является компромиссное соглашение между двумя подходами, предложенными SEEMesh (Intel и Cisco) и Wi-Mesh Alliance (Philips, Nortel и Swisscom Innovations). Создание крупных сетей 802.11s позволит устранить ныне существующую проблему перехода между сетями WiFi, развернутыми в различных городах.

Совместимость устройств от разных производителей в одной сети обеспечивает концепция профилей. Профиль содержит собственно идентификатор профиля, идентификатор протокола маршрутизации и идентификатор метрики протокола маршрутизации. Устройство может поддерживать несколько профилей работы, но лишь один из них может быть активным. Обязательный для всех устройств стандарта 802.11s профиль использует гибридный беспроводной mesh-протокол маршрутизации (HWMP, Hybrid Wireless Mesh Protocol) и метрику времени передачи в канале (Airtime Link Metric). Механизм установки соединений основан на периодической посылке стандартного сообщения "открыть соединение". В ответ на него может быть получено сообщение "подтверждение соединения" или "закрытие соединения". Соединение между двумя соседними MP считается установленным тогда и только тогда, когда оба MP послали друг другу команды "открыть соединение" и ответили подтверждением соединения (в любой последовательности). Для каждого установленного соединения предусмотрено время жизни, в течение которого оно должно быть использовано, либо подтверждено.

На рис. 5 в качестве примера представлен вариант реализации доступа в Интернет в школьном городке - в одном главном здании и в двух общежитиях, разработанный фирмой AirTies[5].

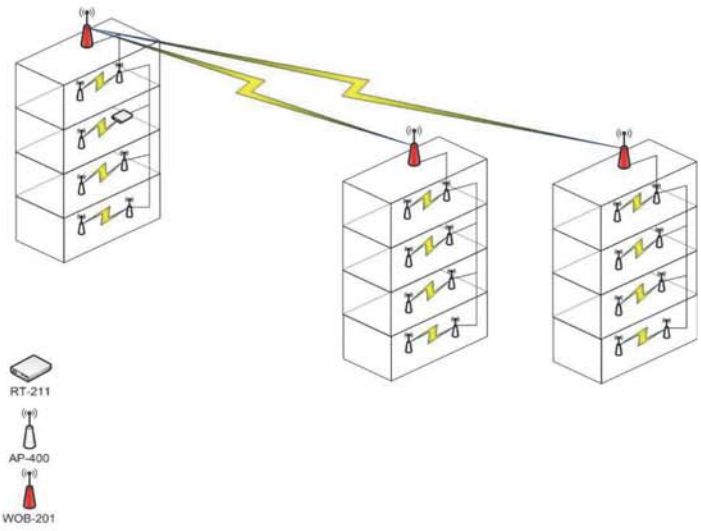


Рис. 5. Вариант реализации mesh-сети в школьном городке (разработка фирмы AirTies)

Следует подчеркнуть, что в качестве проблемы разработчики указали значительное ухудшение силы сигнала за счет стен зданий. Для уменьшения влияния стен на сигнал

все устройства, которые соединялись с устройствами на других этажах, были соединены с помощью кабелей. Между точками доступа, находящимися на одном этаже, организуется соединение mesh.

Расстояние между главным зданием и общежитиями составляло 50 м и 75 м. В этом проекте были использованы: три наружных точки доступа WOB-201; один беспроводной маршрутизатор RT-211(на третьем этаже главного здания); 23 беспроводных точки доступа AP-400. По одной точке доступа WOB-201 было установлено на крыше главного здания и общежитий. Устройства WOB-201 на крышах общежитий направлены в сторону школьного здания.

Наибольшую эффективность следует ожидать при реализации Mesh-сетей масштаба города (MAN). Особенности организации и использования подобных сетей определяются социальной и коммерческой целесообразностью, при этом сети могут либо строиться только как корпоративные (муниципальные) или абонентские, либо решать обе задачи одновременно.

С точки зрения абонентского сервиса подобные сети уже сегодня обеспечивают полный спектр IP-приложений – Ethernet, VoIP, real time video.

Главной задачей абонентских сетей является обеспечение доступа пользователей (стационарных и мобильных) к ресурсам Интернета и организация Wi-Fi-телефонии. Особенностью таких сетей является, как правило, высокая плотность установки точек доступа (порядка 10 точек/км^2). Этот параметр определяется в значительной степени низкой выходной мощностью клиентских устройств (Wi-Fi-адаптеры, телефоны), высокой плотностью размещения абонентов (и, следовательно, необходимостью обеспечивать высокую емкость абонентского трафика), а также характеристиками чувствительности точек доступа. Развертывание подобных сетей становится выгодным при достаточно большом числе пользователей и на сегодняшний день определяется не техническими, а экономическими аспектами.

Mesh-топология позволяет реализовать уникальные по своим возможностям сети муниципального назначения, ориентированные на службы оперативного реагирования (милиция, "Скорая помощь", МЧС).

В качестве примера mesh-сети рассмотрим систему диспетчеризации горно-транспортного оборудования «Карьер», построенную с использованием технологии Mesh компанией ВИСТ-Групп на Рудногорском руднике Коршуновского ГОКа в Иркутской области. Опыт использования оборудования WiFi показал, что оно не надежно в работе в условиях горных работ. Сложность для данной технологии заключается в том, что часть объектов инфраструктуры отключается от питания, оборудование работает в условиях значительных радиопомех, возникающих при работе электрических машин. В этих условиях надежно работает система технология Motorola Mesh, которая состоит из:

оборудования мобильных объектов – контроллеры, датчики, средства передачи данных, устанавливаемые на самосвалы, экскаваторы, бульдозеры;

серверного оборудования и программного обеспечения;

рабочих мест пользователей системы (диспетчеры, маркшейдеры, ремонтные и технические службы);

подсистемы передачи данных по радиоканалу.

Работа данной системы включает весь цикл управления горным производством от планирования до управления и анализа работы.Применение технологии Motorola Mesh в качестве диспетчерской системы передачи данных решило как проблему оперативности доставки сообщений, так и позволяет практически без ограничений передавать данные диагностики работы машин и механизмов. Для обеспечения проекта понадобились:

одна точка доступа; пять роутеров на расширение площади покрытия; 23 автомобильных модема; инфраструктура управления (Маршутизатор Cisco + ПО Mesh Manager). Общая схема проекта представлена на рис.6.

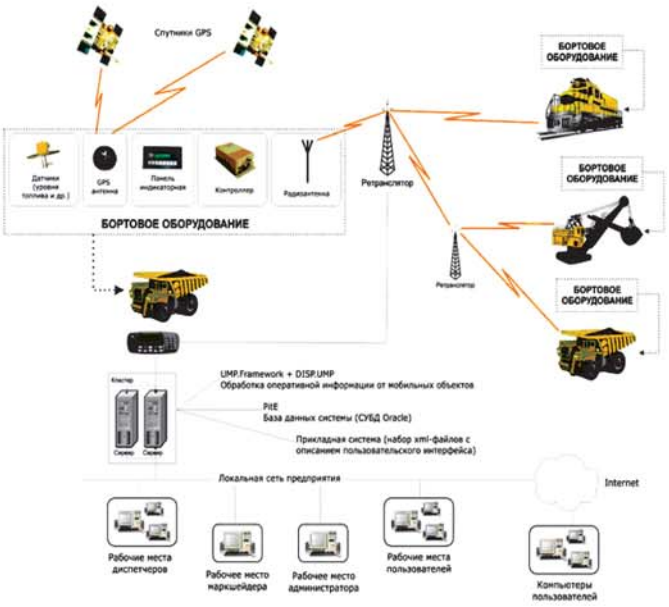


Рис. 6. Схема проекта на базе оборудования Motorola Mesh

В качестве примера одного из успешных Mesh-решений для условий города можно привести муниципальную сеть города Люксембург – HotCity (см. рис. 7). Данная сеть позволяет жителям и гостям города быстро и бесплатно получить следующие сервисы: информация о местоположении (сеть выполняет определение местоположения абонента и выводит его на карте); расписание автобусов; поиск свободного парковочного места; местная погода; аренда муниципальных велосипедов; отели; покупки; экстренные вызовы [6].

При наличии HotCity-аккаунта, пользователь получает доступ к дополнительным бесплатным и платным услугам, в которые входит и доступ в интернет при оплате с кредитной карты или при наличии подписки на услугу одного из местных провайдеров. Количество сервисов постоянно увеличивается, как и количество точек доступа к HotCity.

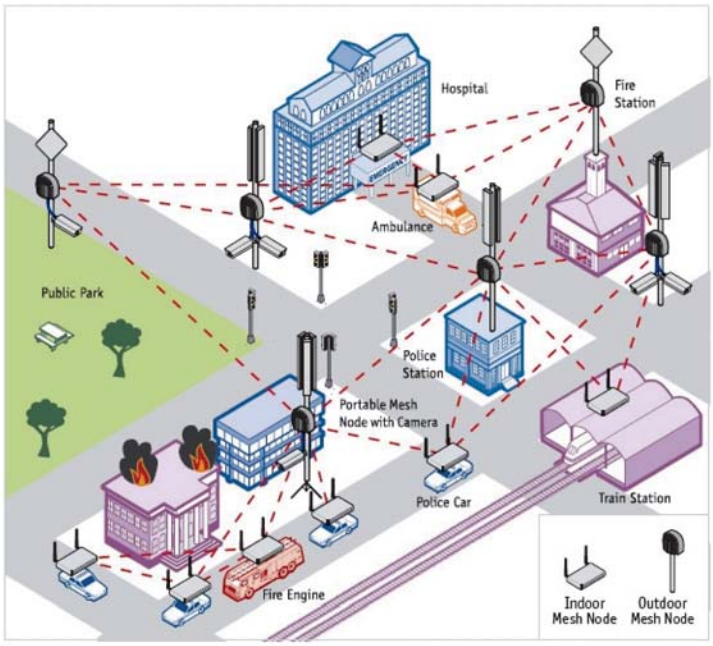


Рис. 7. Использование технологии Wireless Mesh в населенных пунктах

В России для развития сетей мобильной связи поколения 4G используется оборудование стандарта LTE. Имеется информация об успешном совместном использовании оборудования стандартов LTE и Wi-Fi.

Выводы

1. В настоящее время многие мировые компании используют WiFi в повседневной работе, а также предоставляют услуги по беспроводному доступу по этой технологии своим абонентам, производством и продажей устройств с поддержкой WiFi (телефон, КПК, ноутбук). Наибольшее распространение получили беспроводные сети стандарта IEEE 802.11b/g/n.

2. Важнейшим фактором развития сетей Wi-Fi является проблема выделения соответствующей полосы рабочих частот. В Российской Федерации безлицензионное использование диапазона 2,4 ГГц разрешено для сетей, замыкающихся внутри офисов, складских помещений и производственных территорий. В ряде случаев может быть установлен упрощенный порядок лицензирования.

3. Перспективным направлением в развитии стандартов технологии Wi-Fi является привлечение технических решений технологии Mesh, позволяющих развертывать сети БД на значительной территории. Предусматривается возможность работы отдельных абонентских терминалов одновременно в нескольких ячейках, что позволяет сетям WiFi претендовать на предоставление потребителю ряда услуг, являющихся прерогативой сотовой связи.

4. При проектировании конкретных систем беспроводного доступа и выборе мест установки точек доступа необходимо учитывать степень влияния различных препятствий на прохождение радиосигнала. Рекомендуется проводить проверку качества проектирования при помощи специализированных программных средств.

Литература

1. *Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е.* Сети связи пост-NGN. СПб, БХВ-Петербург, 2014. 160с.

2. *Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г.* Сети связи: учебник для вузов. СПб.:БХВ-Петербург, 2011. 400 с.

3. *Педжман Рошан, Джонатан Лиэри.* Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Руководство Cisco. И.Д. «Вильямс», 2004. 296 с.

4. *Росс Д.* Wi-Fi. Беспроводная сеть. И.Д. «НТ Пресс», 2007. 320 с.

5. http://www.wi-life.ru/texnologii/wi-fi/wi-fi-2 - Сценарии проектирования и развертывания сети стандарта Wi-Fi.

6. http://www.wi-life.ru/treningi/wi-fi-3/opyt-primeneniya/gorodskaya-set-wi-fi-meshluxembourg-hot-city - Городская сеть WiFi Mesh–Luxembourg Hot City.

QUESTIONS OF CONSTRUCTION AND DESIGN OF WIRELESS BROADBAND ACCESS TECHNOLOGIES WIFI AND MESH

Irina Stepanova,
Professor of the Moscow Technical University Communications and Informatics, Moscow, Russia, **W515iv@mail.ru**

Abstract
The subject of research are wireless broadband network technologies WiFi and Mesh, especially their organization and design. Wireless networks are different from each other supported connection speed. Thanks to the handover, users can move between access points on the coverage area WiFi network without interrupting the connection. The most important factor in the development of WiFi networks is the issue of the allocation of appropriate operating frequency band. The article discusses possible options for allocation of frequency bands for Wi-Fi networks in the Russian Federation.
The disadvantage of Wi-Fi technology is the limited range of the access point, which is traditionally calculated for open space. The article proposes to carry out the correction range of the access points based on the power loss WiFi signal after passing obstacles of various types. As an effective means of selecting the network structure in the final stage of design are invited to use the software D-Link WiFi Planner PRO.
The article discusses the promising trend in the development of technology standards WiFi, which aims to bring technical solutions technology Mesh. Using Mesh networking allows for "seamless" cellular network based on multiple connections "point-point" between nodes allows you to deploy wireless access over a large territory. This contributes to the organization of communication between user terminals of different cells, carried out by relaying through an access point. From the point of view of other devices and higher level protocols mesh-network is functionally equivalent to a broadcast Ethernet-network, all nodes which are directly connected at the link layer. Mesh-network may be stationary or mobile. In the latter case, all or part of the units over time, can change their location. Mesh networking is used in a version of the standard IEEE 802.11s.
New features allow Wi-Fi networks claim to provide the customer with a range of services, which are the prerogative of cellular communication. There is experience of the successful sharing of standards LTE and WiFi.

Keywords: *wireless access, WiFi technology, mesh networking, the cellular network, the communication range, loss of signal.*

References

1. *Goldshteyn BS, Curly AE* Communication networks post-NGN. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2014. 160 p.
2. *Goldstein BS, Sokolov NA, Janowski GG* Communication networks: a textbook for high schools. SPb.: BHV-Petersburg, 2011. 400 p.
3. *Pedzhman Roshan, Jonathan Lieri.* "Fundamentals of Wireless LANs 802.11. Guide Cisco "ID "Williams", 2004. – 296 p.
4. *Ross D.* "Wi-Fi. Wireless network". ID "HT Press", 2007. 320 p.
5. http: //www.wi-life.ru/texnologii/wi-fi/wi-fi-2 – Scenarios for the design and network deployment of the standard Wi-Fi.
6. http://www.wi-life.ru/treningi/wi-fi-3/opyt-primeneniya/gorodskaya-set-wi-fi-meshluxembourg-hot-city – Urban Network WiFi Mesh-Luxembourg Hot City.

АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ГРУППОВОГО КОДЕКА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИМПУЛЬСНО-КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛОВ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Кузнецов Игорь Васильевич,
д.т.н., доцент, профессор кафедры телекоммуникационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета, Республика Башкортостан, г. Уфа, Россия,
tks@ugatu.ac.ru

Филатов Павел Евгеньевич,
старший преподаватель кафедры телекоммуникационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета, Республика Башкортостан, г. Уфа, Россия,
filatovpe@gmail.com

Ключевые слова: *дифференциально-импульсный кодек, многоканальная система передачи, спектральная плотность мощности, оптимальная линейная система, дисперсия, статическая точность.*

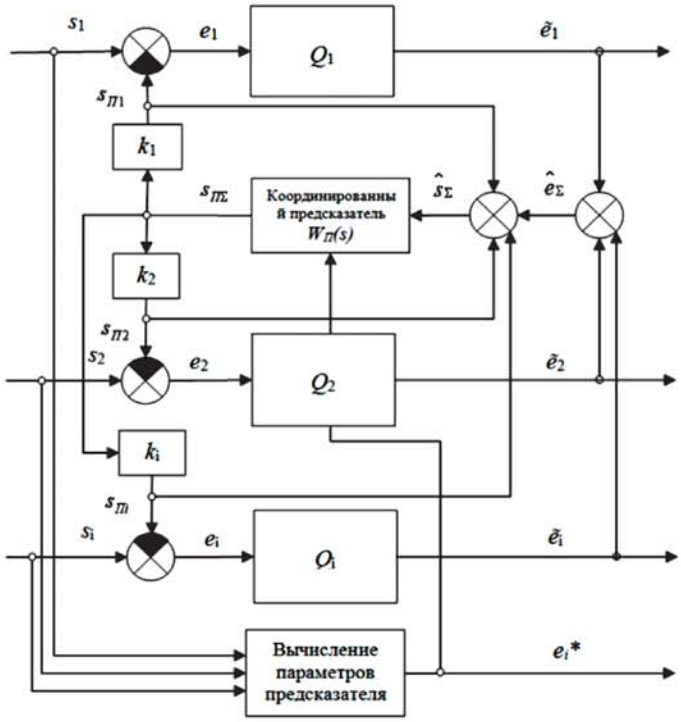
Исследуется групповой дифференциально-импульсный кодек. Отличительной особенностью группового кодека от известных является использование общего координированного предсказателя по нескольким (всем) каналам передачи многоканальной системы. Координированный предсказатель проводит экстраполяцию характеристик сигналов для всех каналов многоканальной системы интегрально, а не для каждого канала в отдельности. Во многих исследованиях изучаются одноканальные ДИКМ-кодеки, позволяющие повысить их динамический диапазон с учетом спектральных свойств входных данных, адаптации к различным технологиям передачи данных. Следовательно, возникает необходимость в создании и разработке новых способов оцифровки данных, применяемых для многоканальных энергодефицитных спутниковых систем связи, а также в автономных системах мониторинга. Это обуславливает актуальность статьи. Рассматривается синтез группового ДИКМ-кодека применительно для многоканальных энергодефицитных систем связи. Для этого предложена математическая модель группового (двухканального) ДИКМ преобразователя. В качестве моделей сигналов рассматриваются стационарные центрированные случайные сигналы с известными авто-, и взаимными спектральными плотностями мощности. В качестве модели помехи выбирается квазибелый шум с известными параметрами.

На основе решения оптимизационной задачи в классе устойчивых систем получены аналитические выражения для вычисления передаточной функции координированного предсказателя. Приведены графические результаты численного моделирования группового ДИКМ преобразователя. Получены потенциальные условия достижения минимума совокупной дисперсии разностных сигналов, которые определяются степенью коррелируемости (информационной связности) измеряемых сигналов. Это условие даёт рекомендацию по снижению скорости передачи данных, при сохранении общего количества передаваемой информации. Алгоритм оценки статической точности разностных сигналов по каждому каналу в отдельности, позволяет оценить динамический диапазон разностных сигналов по каждому сепаратному каналу группового кодека с ДИКМ путём подачи на его вход пробных (тестовых) сигналов, описываемых в классе элементарных детерминированных функций. Предлагаемое структурное решение позволяет понизить вычислительную мощность процессоров предварительной обработки сигналов, повысить пропускную способность многоканальных систем передачи, а также снизить энергопотребление системы передачи в целом.

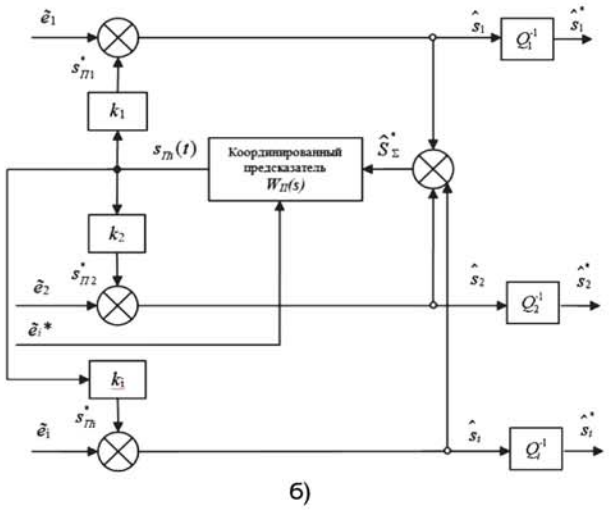
Для цитирования:
Кузнецов И.В., Филатов П.Е. Аспекты построения группового кодека с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией сигналов для многоканальных систем связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 34-39.

For citation:
Kuznetsov I.V., Filatov P.E. Aspects of creation of the group codec with differential pulse code modulation of signals for multichannel communication systems. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 34-39. (*in Russian*)

В настоящее время широкое распространение получают энергодефицитные многоканальные системы передачи данных, а именно спутниковые системы дистанционного зондирования Земли, беспилотные летательные аппараты, предназначенные для аэрофотосъёмки поверхности Земли с последующей передачей информации на земную станцию по радиоканалу. Одними из основополагающих требований к характеристикам передачи сообщений в этих системах являются обеспечение многоканальности и уменьшение скорости передачи данных. Для эффективной организации многоканальной передачи данных в этих системах предлагается использование групповых кодеков с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией (ДИКМ) сигналов.



а)



б)

Рис. 1. Групповой ДИКМ кодек (а – кодер, б – декодер)

Структурная схема n-канального группового ДИКМ кодека, построенного по схеме анализ-синтез, представлена на рис. 1 (а – ДИКМ кодера, б – декодера) [1]. На вход схемы кодера поступают измеряемые сигналы $s_i(t)$ $(i=\overline{1,n})$. Линейный ИКМ (Q_i) i-го канала осуществляет цифровое преобразование разностного сигнала $e_i(t)$ ($e_i(t)=s_i(t) - s_{ni}(t)$, где $s_{ni}(t)$ – предсказанное значение i-го сигнала). Отличительной особенностью группового кодека ДИКМ является использование координированного предсказателя, по отношению ко всем n каналам многоканальной системы, позволяющим уменьшить вычислительную мощность бортового вычислительного комплекса.

Аспектами синтеза группового кодека с ДИКМ для многоканальных систем связи являются: построение его математической модели, синтез передаточной функции (ПФ) координированного предсказателя, решение поставленной задачи (определение ПФ координированного предсказателя).

Математическая модель кодера. На рис. 2 расположена эквивалентная двухканальная модель группового ДИКМ кодера, где $W_{эi}(s)$ – передаточные функции экстраполяторов соответствующих каналов.

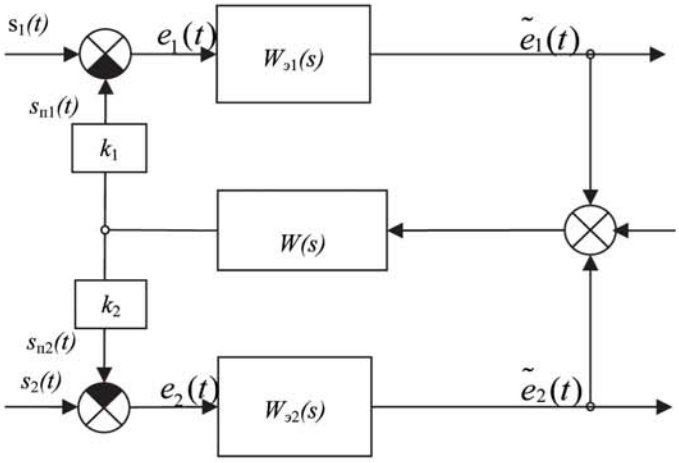


Рис. 2. Математическая модель двухканального ДИКМ кодера

На входы каналов подаются стационарные центрированные случайные сигналы $s_i(t)$ с известными авто-, и взаимными спектральными плотностями мощности (СПМ)

$$\Phi_{ij}(s)=\lim_{T\to\infty} M\left(\frac{E_j(s)E_i(-s)}{T}\right) \quad (i,j=\overline{1,2}),$$

$E_j(s), E_i(-s)$ – соответствующие изображения по Лапласу сигналов s_i; s-комплексная переменная Лапласа.

Если считать, что сумма коэффициентов k_1+k_2 подчиняются условиям нормировки, т.е. $k_1+k_2=1$, то передаточную функцию $W_n(s)$ координированного предсказателя можно представить в виде эквивалентной модели с передаточной функцией $W(s)=\dfrac{W_П(s)}{1-W_П(s)}$ (рис. 2), подлежащий дальнейшему определению. На рис. 2, $n(t)$ – помеха, обуслов-

ленная ошибками дискретизации и квантования сигналов, в качестве модели которой принимаем квазибелый шум. Если энергетические характеристики (мощности) входных сигналов $s_i(t)$ совпадают, то коэффициенты k_1 и k_2 можно положить равными, т.е. $k_1=k_2=\frac{1}{2}$. В противном случае коэффициенты k_1 и k_2 можно считать неизвестными и требуется их дополнительная подстройка. Отметим, что модель предсказателя разбивается на динамическую $W(s)$, и статическую k_1, k_2 составляющие, что позволяет уменьшить число дополнительно передаваемых данных – параметров предсказателя.

Синтез координированного предсказателя. Задача синтеза ПФ координированного предсказателя сводится к определению $W(s)$ из условия минимума функционала вида

$$J(W(s))=\frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{+j\infty}Q(s)ds=\frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{+j\infty}\left[\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}M\left(\left(S_1(s)-S_{n1}(s)\right)\left(S_1^-(s)-\right.\right.\right.$$
$$\left.\left.\left.-S_{n1}^-(s)\right)+\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}M\left(\left(S_2(s)-S_{n2}(s)\right)\left(S_2^-(s)-S_{n2}^-(s)\right)\right)\right]ds=\sigma_1^2+\sigma_2^2 \quad (1)$$

где σ_1^2,σ_2^2 – дисперсии разностных сигналов e_1 и e_2.

Синтез ПФ координированного предсказателя осуществляется для стационарных сигналов на основе задачи оптимальной фильтрации Винера-Хопфа [2].

Получена формула для ПФ координированного предсказателя
где

$$W(s)=\frac{M(s)}{1-(k_1A(s)W_{э1}(s)+k_2A(s)W_{э2}(s))}, \quad (2)$$

$$M=\frac{1}{\left[(k_1k_1^-+k_2k_2^-)(\Phi_{11}W_{э1}W_{э1}^-+\Phi_{12}W_{э1}W_{э2}^-+\Phi_{21}W_{э2}W_{э1}^-+\Phi_{22}W_{э2}W_{э2}^-+\Phi_N)\right]_+}\times$$
$$\times\left[\frac{-\Phi_{11}k_1^-W_{э1}^--\Phi_{12}k_1^-W_{э2}^--\Phi_{22}k_2^-W_{э2}^--\Phi_{21}k_2^-W_{э1}^-}{\left[(k_1k_1^-+k_2k_2^-)(\Phi_{11}W_{э1}W_{э1}^-+\Phi_{12}W_{э1}W_{э2}^-+\Phi_{21}W_{э2}W_{э1}^-+\Phi_{22}W_{э2}W_{э2}^-+\Phi_N)\right]_-}\right]_+, \quad (3)$$

где $[\bullet]_+$ – сумма элементарных дробей, на которое раскладывается заключенное в квадратные скобки выражение, полюсы которых находятся в левой полуплоскости; $[\bullet]_-$ – остальных элементарных дробей, полюсы которых находятся в правой полуплоскости; $W_{эi}(s)$ – передаточные функции экстраполяторов соответствующих каналов. В выражении (3) комплексная переменная Лапласа s не приводится.

Частное решение. Получены частные решения задачи. Так если СПМ первого, второго канала соответственно имеют вид $\Phi_{11}(s)=\frac{\alpha_1^2}{1-\beta^2s^2};\Phi_{22}(s)=\frac{\alpha_2^2}{1-\beta^2s^2}$, при этом входные сигналы некоррелированные между собой. СПМ помехи, обусловленной дискретизацией разностных сигналов, имеет вид $\Phi_N(s)=N^2$. Тогда передаточная функция W(s) (см. рис. 2) представлена следующей формулой

$$W(s)=\frac{\frac{(k_1\alpha_1^2+k_2\alpha_2^2)\cdot e^{-T(1+\beta S)}}{(B+N)(1+S)\left(k_1^2+k_2^2\right)\cdot\sqrt{\alpha_1^2+\alpha_2^2+N^2}+\beta NS}}{1-(k_1\frac{(k_1\alpha_1^2+k_2\alpha_2^2)\cdot e^{-T(1+\beta S)}}{(B+N)(1+S)\left(k_1^2+k_2^2\right)\cdot\sqrt{\alpha_1^2+\alpha_2^2+N^2}+\beta NS}e^{ST_1}+k_2\frac{(k_1\alpha_1^2+k_2\alpha_2^2)\cdot e^{-T(1+\beta S)}}{(B+N)(1+S)\left(k_1^2+k_2^2\right)\cdot\sqrt{\alpha_1^2+\alpha_2^2+N^2}+\beta NS}e^{ST_2})} \quad (4)$$

Оценка точности. Под точностью группового кодека сигналов с ДИКМ будет пониматься оценка дисперсии σ_1^2,σ_2^2 сигналов $e_1(t)$, $e_2(t)$ либо их динамический диапазон. Поэтому с точки зрения аспектов построения группового кодека, возникает необходимость в оценке его точности, включающая задачи:

1. Определение условия достижения минимума совокупной дисперсии разностных сигналов группового тракта.
2. Определение статической точности разностных сигналов по каждому каналу в отдельности.

Для группового ДИКМ с оптимальным предсказателем (2, 3) функционал (1), определяющий совокупной дисперсию разностных сигналов, принимает вид

$$J=\frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{-j\infty}\left[(\Phi_{11}+\Phi_{22})-(k_1k_1^-+k_2k_2^-)(\Phi_{11}W_{э1}W_{э1}^-+\Phi_{22}W_{э2}W_{э2}^-+\Phi_N)\right]AA^-ds-$$
$$-\frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{-j\infty}\left[\Phi_{12}W_{э1}W_{э2}^-+\Phi_{21}W_{э2}W_{э1}^-\right]AA^-ds. \quad (5)$$

В полученном выражении, подынтегральная функция во втором слагаемом (в квадрантных скобках) является четной. На самом деле

$$\Phi_{12}(-s)W_{э1}(-s)W_{э2}^-(-s)+\Phi_{21}(-s)W_{э1}^-(-s)W_{э2}(-s)=$$
$$=\Phi_{21}(s)W_{э1}^-(s)W_{э2}(s)+\Phi_{12}(s)W_{э1}(s)W_{э2}^-(s)$$

Следовательно, подынтегральное выражение функционала (5) выражается четными функциями. В случае, если входные сигналы $s_1(t)$, $s_2(t)$ некоррелированные (т.е. $\Phi_{12}(s)=\Phi_{21}(s)=0$) функционал (1) может определяться следующей формулой

$$J_H=\sigma_1^2+\sigma_2^2=\frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{-j\infty}\left[(\Phi_{11}+\Phi_{22})-(k_1k_1^-+k_2k_2^-)(\Phi_{11}W_{э1}W_{э1}^-+\right. \quad (6)$$
$$\left.+\Phi_{22}W_{э2}W_{э2}^-+\Phi_N)\right]AA^-ds.$$

Так как подынтегральное выражение во втором слагаемом (5) является чётной функцией, то оно удовлетворяет свойству

$$\frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{-j\infty}\left[\Phi_{12}W_{э1}W_{э2}^-+\Phi_{21}W_{э2}W_{э1}^-\right]AA^-ds\geq 0. \quad (7)$$

Следовательно, условия (6 и 7) позволяет сформулировать следующее утверждение.

Утверждение: величина совокупной дисперсии разностных сигналов предсказания группового кодека с ДИКМ для коррелированных входных процессов не превосходит величину дисперсии для некоррелированных процессов, т.е. $J\leq J_H$.

Следствием этого утверждения является то, что в случае коррелируемости (информационной связности) входных сигналов канальная скорость передачи данных потенциально меньше, чем для некоррелированных.

Однако пользоваться формулой (5) для определения точности функционирования группового ДИКМ на практике крайне неудобно. Поэтому для оценки статической точности разностных сигналов для каждого канала (оценки динамического диапазона) в системах передачи можно воспользоваться методами системного анализа, изложенного [3].

Эквивалентная математическая модель группового кодера в векторно-матричной форме, показана на рис. 3, где обозначены: $\bar{s}(t)=\left[s_1(t),s_2(t)\right]^T$ – вектор стационарных центрированных случайных сигналов, $\bar{\tilde{e}}(t)=\left[\tilde{e}_1(t),\tilde{e}_2(t)\right]^T$ – вектор экстраполированных значений оцифрованных сигналов, $\bar{s}_n(t)=\left[s_{n1}(t),s_{n2}(t)\right]^T$ – вектор предсказанных значений, $\bar{e}(t)=\left[e_1(t),e_2(t)\right]^T$ – вектор разностных сигналов, $W_э(s)=\begin{bmatrix} W_{э1}(s) & 0 \\ 0 & W_{э2}(s)\end{bmatrix}$ – передаточная матричная функция экстраполяторов, $W(s)$ – передаточная функция координированного предсказателя, преобразующие матрицы $G=[1\quad 1]$, $L=\left[k_1,k_2\right]^T$; *T*-индекс транспонирования. $s=\dfrac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования.

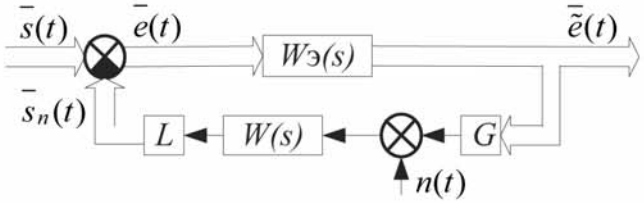


Рис. 3. Векторно-матричная модель группового кодека

В результате тождественных преобразований уравнение связи между ошибкой предсказания и входными сигналами имеет вид

$$\bar{e}(t)=\Phi_e(s)\bar{s}(t), \qquad (8)$$

где $\Phi_e(s)=I-\dfrac{1}{d(s)}Q(s)A(s)$ – матричный оператор системы по разностному сигналу, $d(s)=d_0+d_1s+\ldots+d_ms^m$ – характеристический полином координированного предсказателя; *I* – единичная матрица размерности 2×2; $A(s)=\|A_{ij}\|_{2\times 2}$ – полиномиальная матрица. В выражении (8) $Q(s)$ некоторая матрица равная $Q(s)=GW(s)L=\dfrac{1}{g(s)}\theta(s)$, где $g(s)=g_0+g_1s+\ldots+g_ns^n$, $\theta(s)=\theta_0+\theta_1s+\ldots\theta_ns^n$ – полиномиальная матица, где $\theta_0,\theta_1,\ldots,\theta_h$ – матрицы постоянных коэффициентов.

Следуя рассуждениям, рассмотренным в [4] для систем координированного управления, аналогично представим вектор установившихся эквивалентных ошибок координированного предсказателя ДИКМ в виде

$$\bar{e}_{уст}(t)=\bar{e}(t)\big|_{t\to\infty}=[C_0+sC_1+\ldots+s^lC_l+\ldots]\bar{s}(t), \qquad (9)$$

где $C_0,C_1,\ldots,C_q,\ldots$ – матрицы коэффициентов разностных сигналов (в общем случае размерности $n\times n$). Для вычисления $C_0,C_1,\ldots,C_q,\ldots$ будем рассматривать вектор $\bar{e}_{уст}(t)$ как частное решение дифференциального уравнения (8) при $t\to\infty$.

В результате соответствующих подстановок, уравнение (8) примет окончательный вид

$$d(s)\left[C_0+sC_1+\ldots+s^qC_q+\ldots\right]\bar{s}(t)=$$

или

$$=\left[d(s)I-\frac{1}{g(s)}\theta(s)\left(A_0+sA_1+\ldots+s^mA_m\right)\right]s(t)$$

$$\left(g_0+g_1s+\ldots+g_hs^h\right)\left(d_0+d_1s+\ldots+d_ms^m\right)\left[C_0+sC_1+\ldots+s^qC_q+\ldots\right]=$$

$$=\left(g_0+g_1s+\ldots+g_hs^h\right)\left(d_0I+d_1sI+\ldots+d_ms^mI\right)-\left(\theta_0+s\theta_1+\ldots+s^h\theta_h\right)\times$$

$$\times\left(A_0+sA_1+\ldots+s^mA_m\right) \qquad (10)$$

Для определенности положим, что максимальный порядок отличной от нуля производной по времени $\bar{s}(t)$ равен μ (в частности, это справедливо для случая, когда элементы $s_i(t)$ – полиномиальные функции времени), т.е.

$$s_i(t)=s_{i0}+s_{i1}t^2+\ldots+s_{i\mu}t^{\mu} \qquad (11)$$

Приравнивая матрицы при одинаковых степенях *s* в левой и правой частях уравнения (10), и с учетом $m-\mu<0$ (при $m-\mu=r\geq 0$ в системе следует оставить $m-r+1$ первых неравенств), получаем следующие формулы для определения матрицы коэффициентов эквивалентных ошибок $g_0\left(d_1C_{\mu-1}+\ldots+d_mC_{\mu-m}\right)$

$$C_0=I-\frac{1}{g_0d_0}\theta_0A_0,\ C_1=\frac{g_0d_1+g_1d_0}{g_0d_0}(I-C_0)-\frac{1}{g_0d_0}\left[\theta_0A_1+\theta_1A_0\right],$$

$$\ldots C_m=\frac{1}{g_0d_0}\left[-g_0\left(d_1C_{m-1}+\ldots+d_mC_0\right)-g_1\left(d_0C_{m-1}+\ldots+d_{m-1}C_0\right)-\ldots-\right.$$

$$-g_h\left(d_0C_{m-h}+\ldots+d_{m-h}C_0\right)+\left(g_0d_m+g_1d_{m-1}+\ldots+g_hd_{m-h}\right)I-$$

$$\left.-\theta_0A_m-\theta_1A_{m-1}-\theta_hA_{m-h}\right],\ \ldots C_\mu=-\frac{1}{g_0d_0}\left[\ g_0\left(d_1C_{\mu-1}+\ldots+d_mC_{\mu-m}\right)+\right.$$

$$\left.+g_1\left(d_0C_{\mu-1}+\ldots+d_mC_{\mu-m-1}\right)+\ldots+g_h\left(d_0C_{\mu-h}+d_1C_{\mu-h-1}+\ldots+d_mC_{\mu-m-h}\right)\ \right]. \qquad (12)$$

Из выражения (9) следует, что C_q характеризует величину составляющей $\bar{e}_{q\ уст}(t)$ вектора разностных сигналов $\bar{e}_{уст}(t)$, пропорциональной *q*-й производной задающего воздействия $\bar{s}(t)$. Элемент $c_{q,ij}$ матрицы C_q характеризует составляющую установившегося разностного сигнала $e_{i\ уст}$ *i*-го канала координированного предсказателя, пропорциональную *j*-й производной задающего воздействия $s_j(t)$ *j*-го канала.

Тогда, учитывая (9) и (11), составляющая $e_{ij}(t)$ разностного сигнала *i*-го канала, вызванная задающим воздействием $s_j(t)$ *j*-го канала, определяется как

$$e_{ij\,\text{уст}}(t) = c_{0,ij}e_j(t) + c_{1,ij}e_j^{(1)}(t) + \ldots + c_{\mu,ij}e_j^{(\mu)}(t). \quad (13)$$

Элементы $e_{ij\,\text{уст}}(t)$ образуют матрицу установившихся разностных сигналов $E_{\text{уст}}(t) = \| e_{ij\,\text{уст}}(t) \|_{n\times n}$, являющейся достаточно информативной характеристикой установившихся режимов работы координированного предсказателя. Полный установившаяся разностный сигнал $e_{i\,\text{уст}}(t)$ *i*-го канала равен сумме элементов *i*-й строки $E_{\text{уст}}(t)$

$$e_{i\,\text{уст}}(t) = \sum_{j=1}^{n} e_{ij\,\text{уст}}(t). \quad (14)$$

Следовательно, алгоритм оценки статической точности разностных сигналов координированного преобразователя состоит из следующих шагов:

1. Подаются входные воздействия, описываемые степенным рядом (11);

2. Вычисляются матричные коэффициенты связей между воздействиями сепаратных каналов C_i (матрица ошибок по *i* производной) (12);

3. Согласно (9) оценивается величина разностных сигналов $\bar{e}_{\text{уст}}(t)$, обуславливающие точность группового кодека .

Таким образом, для повышения точности работы группового ДИКМ желательно подавать коррелированные входные сигналы, а для оценки статической точности сигналов предсказания можно использовать детерминированные сигналы относительно простой природы.

Пример. Для оценки работоспособности и точности группового ДИКМ преобразования использовались гармонические сигналы с одной частотой, но со смещенными постоянными составляющей. На (рис. 4, а) обозначены: S_1 – сигнал первого канала; S_2 – сигнал второго канала. В соответствии со схемой (рис. 4, б) представлен декодированный сигнал: R_1 – сигнал первого восстановленного канала; R_2 – сигнал второго восстановленного канала;

Эффективность использования группового ДИКМ кодека (с точки зрения времени на обработку информации на предсказании) определяется количеством передаваемых каналов [5]. В частности, для двух канального кодека эффективность интегрально оценивалась увеличением динамического диапазона и уменьшением времени предсказания и временем на обработку сигнала, по сравнению с одноканальным ДИКМ преобразованием сигналов эффективность составил более чем 1,15 раз.

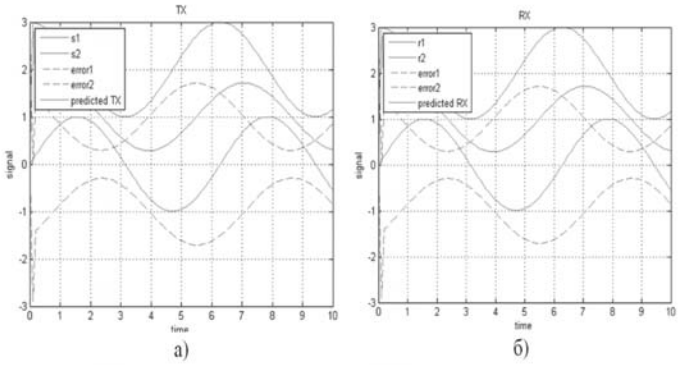


Рис. 4. Преобразования сигналов
(*а* – сигналы на передатчике, *б* – сигналы на приёмнике)

Для повышения точности работы группового ДИКМ желательно подавать коррелированные входные сигналы, а для оценки статической точности сигналов предсказания можно использовать детерминированные сигналы относительно простой природы.

Литература

1. *Кузнецов И.В., Филатов П.Е.* Разработка группового кодека с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией сигналов для многоканальных энергодефицитных систем передачи данных [Текст] / Ю.В. Гуляев // Радиотехника. – 2015. – № 2. – С. 87-91.

2. *Кузнецов И.В., Филатов П.Е.* Разработка группового ДИКМ кодека для спутниковых систем зондирования Земли [Текст] / Проблемы техники и технологий телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях. XIV международная научно-техническая конференция. – Самара. – 2013. – С. 387-389.

3. *Кузнецов И.В., Султанов А.Х.* Координированное управление динамическими объектами в сложных технических системах [Текст] / Монография; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2012. – 207 с.

4. *Смирнова, Е.А.* Анализ и синтез систем координированного управления динамическими объектами по показателям качества сепаратных подсистем [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в промышленности) / Е.А. Смирнова ; ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет ; науч. рук. И.В. Кузнецов. – Защищена 03.12.10; Утверждена 08.04.11. – Уфа, 2010. – 184 с.

5. *Цейтлин Я.М.* Проектирование оптимальных линейных систем [Текст] / Л.: «Машиностроение», 1973. – 240 с.

ASPECTS OF CREATION OF THE GROUP CODEC WITH DIFFERENTIAL PULSE CODE MODULATION OF SIGNALS FOR MULTICHANNEL COMMUNICATION SYSTEMS

Igor Kuznetsov,
Associate Professor of Ufa State Aviation Technical University, Professor, Ph.D., Ufa, Russia, **tks@ugatu.ac.ru**

Pavel Filatov,
Senior Lecturer of Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia, **filatovpe@gmail.com**

Abstract
In article the group differential and pulse codec (DIKM) is investigated. Distinctive feature of the group codec from known is use of the general coordinate predictor on several (all) channels of transfer of multichannel system. The coordinate predictor carries out extrapolation of characteristics of signals for all channels of multichannel system integrally, but not for each channel separately. Accuracy of the clustered codec of signals with DPCM is understood as an assessment of dispersion of the difference signals or their dynamic range in channels of analog digital conversion of signals. Valuation methods of measuring accuracy of signals in relation to single-channel DPCM-codecs are rather well-known. However there are unresolved questions of research of measuring accuracy of signals in clustered codecs with DPCM for multi-channel transmission systems, both taking into account spectral properties of signals, and taking into account their adaptation to different technologies of data transfer. It causes relevance of article. The concept of clustered DPCM-codec synthesis for power-short communication systems is also considered. The idea suggests mathematical representation of a clustered (double-channel) DPCM converter. Static centred random signal with well-known auto- and inter power spectrum density is taken as a signal sample. Quasi-white noise with predetermined parameters is taken as a noise signal sample.
For improvement purposes in a class of stable systems analytical equations for transmitting functions of coordinating prediction calculus are determined with numerical modelling graph results of the clustered DPCM converter. Graphic results of numerical modeling of group DIKM of the converter are given. Potential conditions of achievement of a minimum of cumulative dispersion of differential signals which are defined by correlatability degree (information connectivity) of the measured signals are received. This condition makes the recommendation about reduction in the rate of data transmission, at preservation of total of the transmitted data. The algorithm of an assessment of static accuracy of differential signals on each channel separately, allows to estimate the dynamic range of differential signals on each separate channel of the group codec with DIKM by giving on its entrance of the trial (test) signals described in a class of the elementary determined functions. The proposed structural solution allows to lower the computing power of processors of preliminary processing of signals, to increase the capacity of multichannel systems of transfer, and also to reduce energy consumption of system of transfer in general.

Keywords: *differential pulse code modulation codec, multichannel transmitting system, coordinating prediction, power spectrum density, optimum-scale linear system, dispersion, static accuracy.*

References

1. *Kuznetsov I.V., Filatov P.E.* Development of the group codec with differential pulse code modulation of signals for multichannel power scarce systems of data transmission [Text] / Yu. V. Gulyaev//the Radiotekhnika Magazine. 2015. No. 2. Pp. 87-91. (*In Russian*)
2. *Kuznetsov I.V., Filatov P.E.* Development of group DPCM of the codec for satellite systems of sounding of Earth of the [Text] / Problem of equipment and technologies of telecommunications. Optical technologies in telecommunications – the XIV international scientific and technical conference. Samara. 2013. Pp.387-389. (*In Russian*)
3. *Kuznetsov I.V., Sultanov A.Kh.* Coordinate management of dynamic objects in difficult technical systems the [Text] / Monograph; Ufimsk. the state. Aviation. Techn. un-t. Ufa: UGATU, 2012. 207 p. (*In Russian*)
4. *Smirnova, E.A.* The analysis and synthesis of systems of coordinate management of dynamic objects on indicators of quality of separate subsystems [Text]: the thesis on competition of an academic degree of Candidate of Technical Sciences: specialty 05.13.01 – the System analysis, management and information processing (in the industry) / E.A. Smirnova; Public Educational Institution of Higher Professional Training Ufimsky state aviation technical university; науч. hands. I.V. Kuznetsov. It is protected 03.12.10; It is approved 08.04.11. Ufa, 2010. 184 p. (*In Russian*)
5. T*seitlin YA.M.* Design of optimum linear systems [Text] / l.: "Mechanical engineering", 1973. 240 p. (*In Russian*)

ОПТИМАЛЬНЫЙ ИНДИКАТОР ДВОИЧНЫХ СИГНАЛОВ, ПОРАЖЕННЫХ ПОМЕХАМИ ОТ МНОГОЛУЧЕВОСТИ И МЕЖСИМВОЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Сухоруков Александр Сергеевич,
к.т.н., доцент кафедры общей теории связи, МТУСИ, Москва, Россия,
suhas@yandex.ru

Ключевые слова: *оптимальный приемник, оптимальный индикатор, множество, линейный оператор, линейный функционал, ортогональность, норма, ряд, производная, полином Эрмита, межсимвольная интерференция, многолучевость.*

Рассматриваются возможности повышения помехоустойчивости приема двоичных сигналов, пораженных межсимвольной интерференцией и помехами от многолучевости. Для канала с постоянными параметрами о сигнале и некоторых типах помех (межсимвольная интерференция, помехи от многолучевости) мы располагаем априорной информацией. Известны форма сигнальных импульсов и время их прихода, форма импульсов от многолучевости. В совокупности помехи от многолучевости и межсимвольной интерференции хорошо описываются нормальным распределением. Априорная информация о них может быть использована для уменьшения вероятности ошибки. Принимаемый процесс z рассматривается как результат прохождения сигнала и помех через одни и те же, либо различные фильтры. Предполагается, что процессы на выходе фильтров (на входе блока оптимальной обработки) ограничены по мощности и дифференцируемы. Для решения задачи оптимального приема сигнала s введены множество ограниченных линейных операторов $F_m(*)$ и множество линейных индикаторных функционалов $I_s(*)$. Индикаторный функционал $I_s(*)$ – определён на множестве L2 и указывает, принадлежит процесс подмножеству S или нет. Процесс z – случайный, но в каждом конкретном случае оптимальный индикатор анализирует конкретную реализацию этого процесса и выносит решение о ее принадлежности к тому или иному подмножеству.

Доказаны следующие положения:

– для любой реализации случайной помехи $x \in X$ в L2 существуют линейный ограниченный нормированный оператор $F_m(*)$ и соответствующий линейный ограниченный индикатор сигнала $I_s(s) \neq 0$;

– для любой реализации $z \in Z$ аддитивной смеси случайной помехи и сигнала, существуют линейный ограниченный нормированный оператор $F_m(*)$ и соответствующий нормированный оптимальный индикатор $I_s(z)$ такие, что $I_s(z) = 1$; при $z = x + s$; и $I_s(z) = 0$; при $z = x$.

Предложена структурная схема оптимального индикатора. Рассмотрены возможности оптимального индикатора для нескольких моделей аддитивных помех в канале с детерминированными параметрами: межсимвольная интерференция, помехи от многолучевости, гармоническая помеха. Для этих помех оптимальный индикатор обеспечивает сколь угодно малую вероятность ошибки. Результаты компьютерного эксперимента показывают, что при достаточном количестве дифференцирующих устройств оптимальный индикатор восстанавливает форму информационного сигнала.

Для цитирования:
Сухоруков А.С. Оптимальный индикатор двоичных сигналов, пораженных помехами от многолучевости и межсимвольной интерференции // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 40-47.

For citation:
Sukhorukov A.S. The optimal indicator of binary signals distorted by multipath and intersymbol interference noise. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 40-47. (*in Russian*)

1. Введение

Приемник информации осуществляет, в самом общем смысле, идентификацию принимаемого объекта. В теории электрической связи эту задачу наилучшим образом решает оптимальный (идеальный) приемник, минимизирующий в дискретном канале вероятность ошибки, либо определенные тем или иным способом потери информации [1]. Оптимальный приемник сравнивает принимаемый процесс, являющийся суммой реализации аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) и передаваемого двоичного сигнала с образцами сигналов $s_k(t)$, k=1,2, хранящимися в памяти приемника. Потенциальная помехоустойчивость оптимального приемника двоичных сигналов для канала с постоянными параметрами определяется отношением энергии разности сигналов к спектральной плотности энергии шума G_0 [1]:

$$h_0^2 = \int_0^T \frac{[s_1(t) - s_2(t)]^2 dt}{G_0}; \qquad (1)$$

В соответствии с (1) оптимальный приемник является энергетическим и форма посылок, соответствующая передаче разных сигналов, не влияет на помехоустойчивость приема.

Однако, для канала с постоянными параметрами не только о сигнале, но и некоторых типах помех мы располагаем априорной информацией: известна форма импульсов сигнала, известна форма предыдущих и последующих информационных импульсов, вызывающих межсимвольную интерференцию (МСИ), известна форма импульсов, приходящих на вход приемника по другим путям распространения и вызывающих помехи от многолучевого распространения (МЛР). Хотя в совокупности эти помехи хорошо описываются нормальным распределением [3], априорная информация может быть использована для уменьшения вероятности ошибки.

Принимаемый процесс z рассматривается как результат прохождения сигнала и помех через одни и те же, либо различные фильтры. Предполагается, что процессы на выходе фильтров (на входе блока оптимальной обработки) ограничены по мощности и дифференцируемы.

Для решения задачи оптимального приема двоичного сигнала, пораженного помехами от МСИ и МЛР, воспользуемся известным из теории функций инструментом «индикатор», который позволяет определить принадлежность конкретной принятой реализации процесса к некоторому подмножеству.

2. Алгоритм работы оптимального индикатора

Мы ограничимся здесь рассмотрением функционального нормированного пространства L2 в соответствии с методикой [2]. Пусть задано некоторое обобщенное время $t \in T$, где T – некоторое произвольное множество, на котором заданы S, X и Z, причем $S \cap X = \varnothing$. Множества X, S, Z линейные, ограниченные, замкнутые относительно операций сложения функций и умножения функций на число.

Применительно к задаче оптимального приема, множество S – множество информационных сигналов, множество X есть множество помех, множество Z представляет собой аддитивную смесь сигналов s(t) и помех x(t) и предъявляется для анализа индикатору. Оптимальный индикатор подвергает принимаемый процесс некоторому функциональному преобразованию [2]. Ограничимся рассмотрением линейных преобразований.

Введем множество $F_m(*)$ ограниченных линейных операторов, $\mathbf{F}_m(*) \in L2$. Если для произвольного $y \in L2$ обозначить через $F_1(y) \ldots F_m(y)$ некоторые линейные функции от y, то $F_m(y)$ представляет некую совокупность этих линейных преобразований:

$$\mathbf{F}_m(y) = [F_1(y) \ldots F_m(y)] \qquad (2)$$

Введем линейный индикаторный функционал в общем виде [2]:

$$I_s(y) = \int_{\mu} \sum_{k=0}^{m} F_k(y) F_k(s) d\mu; \qquad (3)$$

Назовем его индикатором информационного сигнала, если $s \in S$ – заданная индикаторная функция (сигнал).

Индикаторный функционал множества S должен удовлетворяет условию:

$$I_s(y) = \begin{cases} 0 \; при \; y \notin S; \\ A > 0 \; при \; y \in S; \end{cases} \qquad (4)$$

Линейное множество индикаторных функционалов $I_s(*)$ также принадлежат нормированному пространству L2.

Определим условия, при которых оптимальный индикатор позволяет отличить сигнал от помехи.

** Для каждого элемента x,s,z из X, S, Z, для каждого оператора $F_m(*)$, для каждого функционала $I_s(*)$определены:*

– вещественное число, называемое его нормой и обозначаемое $||x||$, нормы всех элементов в совокупности ограничены;

– расстояние в нормированном пространстве L_2 для любых x,y:

$r(x,y) = ||x - y||$;

– сходимость по норме: $x_m \to x$, $||x_m - x|| \to 0$;

– непрерывность нормы $||x_m|| \to ||x||$ при $x_m \to x$;

– фундаментальная последовательность $\{x_m\}$ в нормированном пространстве в соответствии с условием: $||x_m - x_p|| \to 0$ при $m,p \to \infty$.

Лемма 1. Пусть заданы не пустые, не пересекающиеся подмножества сигналов $S \subset L2$, и случайных помех $X \subset L2$, $X \cap S = \theta$. Тогда для любой реализации случайной помехи $x \in X$ в L2 существуют линейный ограниченный нормированный оператор $F_m(*)$ и соответствующий линейный ограниченный индикатор сигнала $I_s(s)=A\ 0$ такие, что отношение:

$$\frac{|I_s(x)|}{|I_s(s)|} < \varepsilon; \qquad (5)$$

где $\varepsilon > 0$ – сколь угодно малая величина.

Доказательство.

Положим, что множество $\{F_k(s)\}$ ограниченных линейных операторов (2) представляет собой совокупность ортонормированных операторов:

$$\int_{\mu} F_n(s)F_k(s)d\mu=\begin{cases}1, & k=n;\\ 0, & k\neq n;\end{cases} \quad (6)$$

При разложении в ряд по совокупности ортогональных функций при m, понятия базисности и замкнутости совпадают, разложение является единственным, сходимость разложения в ряд легко проверяется.

Тогда индикаторный функционал (3) множества S равен:

$$I_s(s)=\int_{\mu}\sum_{k=0}^{m}F_k(s)F_k(s)d\mu=m;$$

Покажем, что при выполнении условия (6) реализуется требование (4).

Рассмотрим индикатор $I_s(x)$:

$$I_s(x)=\int_{\mu}\sum_{k=0}^{m}F_k(x)F_k(s)d\mu; \quad (7)$$

Этот ряд – сумма коэффициентов абстрактных разложений. Однако, полученные коэффициенты C_{kk} не есть коэффициенты разложения некоторой функции, так как на $F_k(s)$ мы умножаем каждый раз другую функцию $F_k(x)$.

Каждое из слагаемых вида:

$$C_{kk}=\int_{\mu}F_k(x)F_k(s)d\mu;$$

есть один из коэффициентов разложения функции $F_k(x)$ по ортонормированным функциям $F_k(s)$. Иными словами, можно представить функцию $F_0(x)$ в виде ряда:

$$F_0(x) = C_{00}F_0(s) + C_{01}F_1(s) + \ldots + C_{0m}F_m(s);$$

где

$$C_{0k}=\int_{\mu}F_0(x)F_k(s)d\mu;$$

Следовательно, C_{00} есть первое слагаемое в выражении (7) для $I_s(x)$.

Аналогично, функция $F_1(x)$ может быть разложена в ряд:

$$F_1(x) = C_{10}F_0(s) + C_{11}F_1(s) + \ldots + C_{1m}F_m(s);$$

где

$$C_{1k}=\int_{\mu}F_1(x)F_k(s)d\mu;$$

Следовательно, C_{11} есть второе слагаемое в выражении (7).

Тогда индикатор принимает вид:

$$I_s(x)=C_{00}+C_{11}+\ldots+C_{mm};$$

При $m\to\infty$ ортонормированная система функций $\{F_k(s)\}$ становится полной.

Так как все функции $F_k(x)$ принадлежат к L2, то ряды для $F_0(x)$, $F_1(x)$,…. $F_m(x)$ сходятся и, в соответствии с уравнением замкнутости, имеем:

$$\int_{\mu}F_k^2(x)d\mu=\sum_{n=0}^{\infty}C_{kn}^2=L_k<\infty;$$

Следовательно, для любого *конечного* m конечна и сумма:

$$\sum_{k=0}^{m}\int_{\mu}F_k^2(x)d\mu=\sum_{k=0}^{m}\sum_{n=0}^{\infty}C_{kn}^2=\sum_{k=0}^{m}L_k<\infty;$$

так как это сумма сходящихся рядов и, значит, ограничена.

Соответственно, сумма:

$$\sum_{k=0}^{m}C_{kk}^2<\sum_{k=0}^{m}L_k<\infty;$$

так как C_{kk}^2 это только одно слагаемое из L_k.

Но если сходится числовой ряд для C_{kk}^2, то через конечную сумму:

$$p_j=\sum_{n=0}^{j}C_{nn}$$

можно записать разность для i>j:

$$p_i-p_j=\sum_{n=j+1}^{i}C_{nn}$$

По теореме Пифагора имеем [2]:

$$\|p_i-p_j\|^2=\sum_{n=j+1}^{i}\|C_{nn}\|^2$$

В этом случае разность $\|p_i-p_j\|\to 0$ при $i,j\to\infty$, и, следовательно, последовательность $\{p_j\}$ фундаментальная. Так как пространство L2 полное, то существует предел $\lim p_j$.

Следовательно, ряд $I_s(x)$ сходится и ограничен:

$$|I_s(x)|=|C_{00}+C_{11}+\ldots+C_{mm}+\ldots|=A<;$$

В результате всегда можно указать m, при котором выполняется неравенство (5):

$$\frac{|I_s(x)|}{|I_s(s)|}=\frac{A}{m}<\varepsilon;$$

Лемма 2. Если при выполнении условий (6) леммы 2 совокупность операторов $\{F_k(s)\}$ есть полная совокупность ортонормированных функций, то нормированный оптимальный индикатор реализует следующее соотношение:

$$\lim_{m\to\infty}I_s(x)=\begin{cases}1 \text{ при } x\in S;\\ 0 \text{ при } x\notin S;\end{cases} \quad (8)$$

Доказательство.

Введем нормированный оптимальный индикатор в виде:

$$I_s(x)=\frac{|I_s(x)|}{I_s(s)} \quad (9)$$

Из предыдущей леммы, если совокупность операторов $\{F_k(s)\}$ образует систему ортонормированных функций (6), следует:

$$|I_s(x)|=A<\infty;\ I_s(s)=m;$$

При $m\to\infty$ система ортонормированных функций становится полной, а нормированный индикатор (9) принимает значения:

$$I_s(s)=\lim_{m\to\infty}\frac{|I_s(s)|}{I_s(s)}=1\ при\ x\in S$$

$$I_s(x)=\lim_{m\to\infty}\frac{|I_s(x)|}{I_s(s)}=\lim_{m\to\infty}\frac{A}{m}=0\ при\ x\notin S;$$

что соответствует выражению (8).

Теорема.

Пусть заданы не пустые, не пересекающиеся подмножества сигналов $S\subset L2$, и случайных помех $X\subset L2$, $X\cap S=\theta$. Тогда для любой реализации z аддитивной смеси случайной помехи и сигнала $z\in Z$, $Z=X\cup S$, существуют линейный ограниченный нормированный оператор $F_m(*)$ и соответствующий нормированный оптимальный индикатор такие, что:

$$\lim_{m\to\infty}I_s(z)=\begin{cases}1\ при\ z=x+s;\\0\ при\ z=x;\end{cases}\qquad(10)$$

Доказательство.

Так как множество Z является объединением множеств X и S, то любая сумма реализации случайной помехи x и сигнала s также принадлежит Z. Следовательно, произвольная реализация z может быть двух типов: либо z=x, либо z=s+x. Нормированный оптимальный индикатор (9) для этих двух вариантов принимает следующий вид. Если z=x, то:

$$I_s(z=x)=\lim_{m\to\infty}\frac{I_s(x)}{I_s(s)}=\lim_{m\to\infty}\frac{\pm A}{m}=0;$$

Если z=s+x, то:

$$I_s(z=s+x)=\lim_{m\to\infty}\frac{I_s(s)+I_s(x)}{I_s(s)}=\lim_{m\to\infty}\frac{m\pm A}{m}=1;$$

Это соответствует выражению (10).

3. Технические приложения

На вход оптимального индикатора поступает аддитивная смесь сигнала и помехи. Зная неинформационные параметры сигнала, следует выбрать соответствующую совокупность операторов $\{F_k(s)\}$.

Так как операторы $\{F_k(s)\}$ должны представлять совокупность ортонормированных функций, то они могут быть сформированы на базе ортогональных полиномов. Пусть принимаемый сигнал имеет вид:

$$s(t,t_s)=e^{-\frac{(t-t_s)^2}{2}};\qquad(11)$$

Эта функция является производящей функцией для полиномов Эрмита $H_k(t)$ [1]:

$$H_k(t)=(-1)^k e^{\frac{t^2}{2}}\frac{d^k}{dt^k}e^{-\frac{t^2}{2}};$$

В простейшем случае оператор $F_k(s)$ формирует от сигнала (11) k-ю производную [5]:

$$F_k(s)=\frac{d^k}{dt^k}e^{-\frac{(t-t_s)^2}{2}};\qquad(12)$$

Для $F_k(s)$ выполняется условие ортонормированности:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi k!n!}}\int_{-\infty}^{\infty}(-1)^{k+n}e^{\frac{t^2}{2}}F_n(s)F_k(s)dt=$$

$$=\frac{1}{\sqrt{2\pi k!n!}}\int_{-\infty}^{\infty}(-1)^{k+n}e^{\frac{t^2}{2}}\frac{d^n}{dt^n}e^{-\frac{t^2}{2}}\frac{d^k}{dt^k}e^{-\frac{t^2}{2}}dt=\begin{cases}1,k=n;\\0,k\neq n;\end{cases}$$

Таким образом функция $\exp(-x^2/2)$ и ее производные удовлетворяют условию ортогональности и взаимной связи. Они ортонормированны и $F_{k+1}(s)$ образуется из $F_k(s)$ в результате линейной операции [4, 5].

Элементы s, принадлежащие множеству S, должны иметь общие для всех элементов s параметры, чтобы их можно было идентифицировать, как элементы, принадлежащие множеству S. В данном случае случайный процесс:

$$x(t)\in S,\ если\ x(t)=const*e^{-\frac{(t-t_s)^2}{2}};$$

$$x(t)\notin S,\ если\ x(t)\neq const*e^{-\frac{(t-t_s)^2}{2}};\qquad(13)$$

Тогда оптимальный индикатор (3) в соответствии с (11), (12) может быть записан в виде:

$$I_s(x)=\int_{-\infty}^{\infty}\left[x(t)e^{-\frac{(t-t_s)^2}{2}}+\frac{dx}{dt}\frac{d}{dt}e^{-\frac{(t-t_s)^2}{2}}+\ldots+\frac{d^mx}{dt^m}\frac{d^m}{dt^m}e^{-\frac{(t-t_s)^2}{2}}\right]dt;$$

В соответствии с этим выражением структурная схема оптимального индикатора (ОИ) сигнала $s(t,t_s)$ принимает вид, показанный на рис. 1, где обозначены: $\Gamma[s(t^*)$ – генератор опорного сигнала $s(t,t_s)$, прм – перемножители; d/dt – дифференцирующие устройства, ИНТ – интегратор, РУ – решающее устройство.

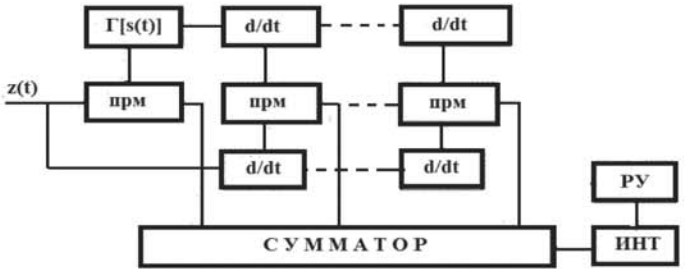


Рис. 1. Структурная схема оптимального индикатора

Рассмотрим помехоустойчивость предложенного способа обработки по отношению к нормальной помехе, образованной совокупностью импульсов от МСИ и МЛР. Пусть на входе оптимального индикатора имеем процесс z (t)=s(t,t_s)+x(t). В этом случае индикатор I_s (z) есть нормальная случайная величина со средним значением I_s [s(t,t_s)] и дисперсией $\overline{I_s(x)^2}$. Для случая передачи противоположных двоичных сигналов s и -s индикатор принимает значения $\pm I_s(s)$ и вероятность ошибки p(1/-1) есть вероятность выполнения неравенства:

$$I_s(s)+I_s(x)<0;$$

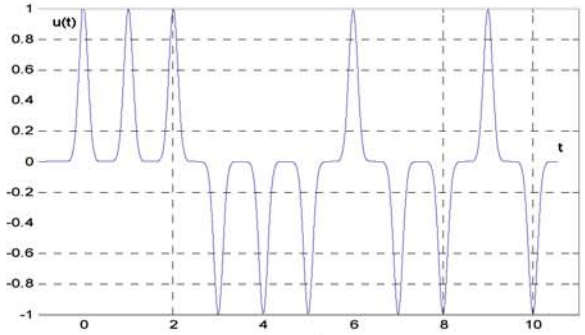
Средняя вероятность ошибки может быть выражена через интеграл вероятности с точностью до некоторой константы *a*:

$$p=0.5\left\{1-\Phi\left[\frac{aI_s(s)}{\sqrt{\overline{I_s(x)^2}}}\right]\right\}; \qquad (14)$$

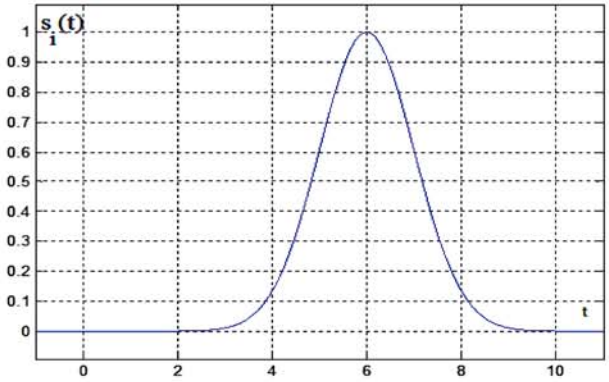
Так как при $m\to\infty$ индикатор $I_s(s)=m\to\infty, I_s(x)\to 0$, то оптимальный индикатор в пределе обеспечивает сколь угодно малую вероятность ошибки при фиксированной мощности информационного сигнала для помех от МСИ и МЛР.

а) Модель помехи: межсимвольная интерференция.

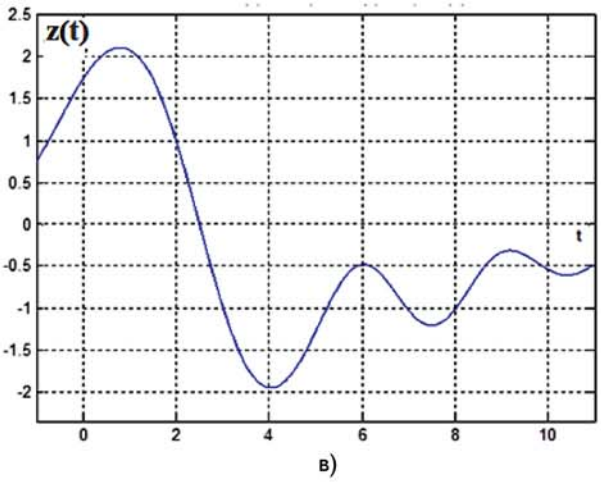
При сильной МСИ, помехи от соседних импульсов, вызванные узкой полосой пропускания канала связи, близки по своим параметрам к нормальному шуму. В качестве модели переданного информационного сигнала возьмем 11-значный код Баркера (рис. 2а): v(t)=[1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1].



а)



б)



в)

Рис. 2. Временные диаграммы переданного сигнала (а), одиночного импульса на входе ОИ (б), принятого сигнала на входе ОИ (в)

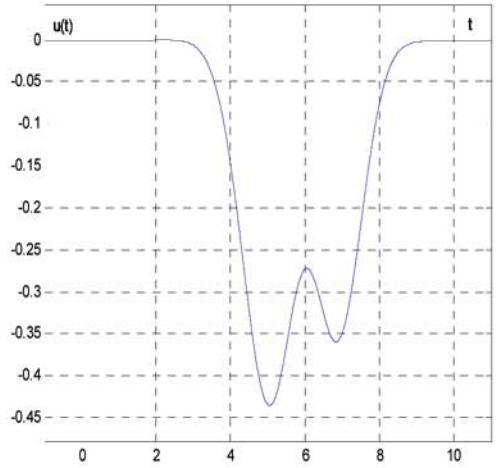
Первый импульс имеет максимум при t=0, одиннадцатый при t=10T (на графике T=1). Огибающая импульсов – гауссовская в соответствии с (12), (13), ширина полосы частот передающего тракта – относительно широкая, МСИ практически отсутствует.

Предполагаем, что результирующая передаточная функция канала связи также гауссовская, но полоса частот существенно меньше. В результате на входе ОИ каждый из переданных импульсов "расплывается" и имеет вид (рис. 2б):

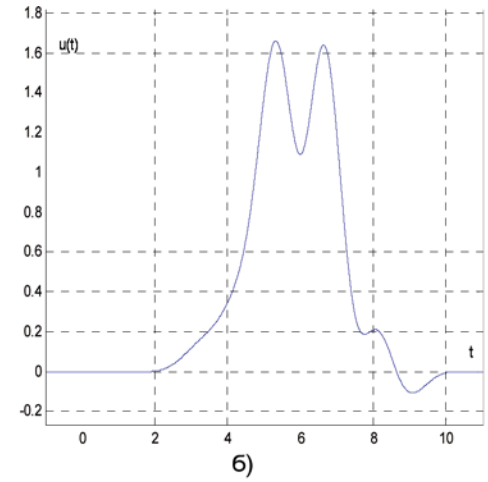
$$s_k(t)=\exp[-(t-kT+T)^2/2].$$

Так как T=1, то импульсы взаимно перекрываются и принимаемый сигнал –код Баркера, поражен сильной МСИ (рис. 2в).

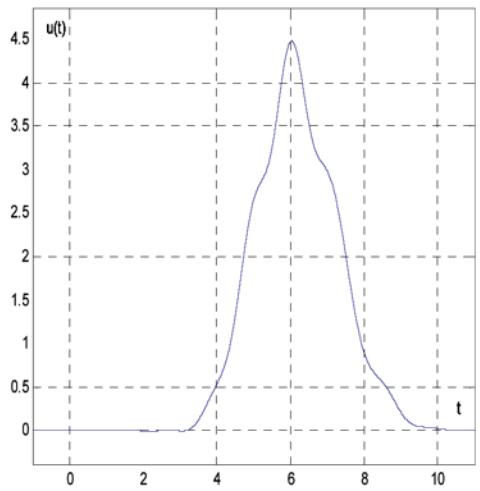
Видно, что в тактовые моменты времени 7-я (при t=6T) и 9-я (при t=8T) положительные посылки будут приняты неверно, так как в эти моменты z(t) принимает отрицательные значения.



а)



б)



в)

Рис. 3. Напряжение на выходе сумматора ОИ для числа перемножителей m=1,4,7, соответственно

Для 7-ой посылки в соответствии с (11), (13) сигнал принимает вид $s_7(t)=\exp[-(t-6T)^2/2]$, то есть $t_s=6T$. Использование стандартного алгоритма оптимального приема не исправляет ситуацию. На рис. 3а показан результат перемножения z(t) на опорное напряжение $s_7(t)$, соответствующее 7-ой посылке. Напряжение при t=6T остается отрицательным. На рис. 3б, 3в показаны временные диаграммы напряжений на выходе сумматора ОИ для числа слагаемых ОИ m = 4, 7, соответственно. С ростом m формируется сигнал по форме и знаку совпадающий с переданным.

б) Модель помехи: помехи от МЛР.

Напряжение помехи имеет вид:

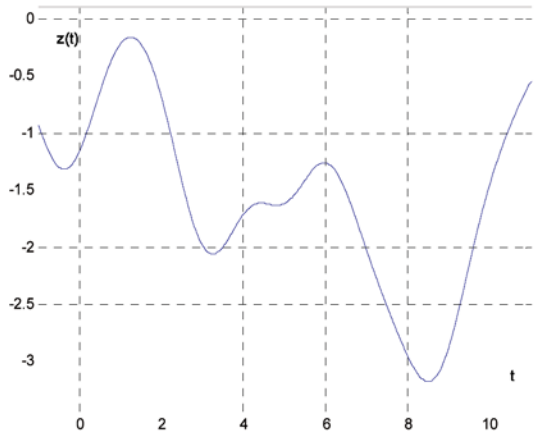
$$x(t)=\sum_i x_i e^{-\frac{(t-t_i)^2}{2}}; \qquad (15)$$

x_i, t_i – нормальные случайные величины.

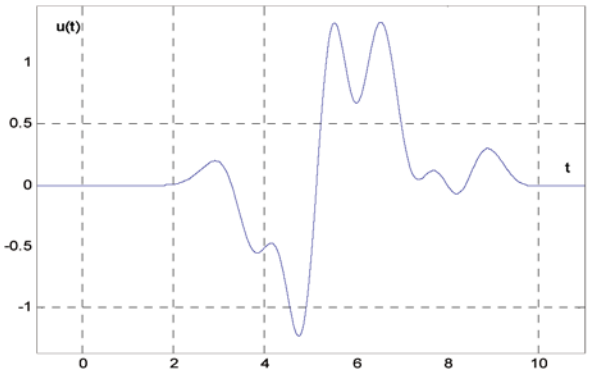
Интервал между импульсами случайная величина и потому импульсы (15) накладываются друг на друга и на входе РУ имеем нормальный аддитивный шум. Рассмотрим прием одиночного импульса $s_7(t)=\exp[-(t-6T)^2/2]$ в сумме с шумом (15) (рис. 4а):

$z(t)=x(t)+s_7(t)$;

Процесс z(t) меньше 0 на всем интервале наблюдения, хотя переданный сигнал $s_7(t)>0$. Сигнал $s_7(t)$ будет принят неверно. На выходе сумматора ОИ (m=4) получаем напряжение по форме близкое к сигналу (рис.4б). Ошибка исправлена.



а)



б)

Рис. 4. Напряжение на выходе сумматора ОИ для помехи в виде последовательности импульсов при МЛР(m=1 и m=4)

в) Модель помехи: гармоническое колебание.

Помеха на выходе избирательного тракта приемника имеет вид: $x(t)=U_m\cos\omega t$ Для такой помехи n-ое слагаемое индикатора имеет вид:

$$C_n = aU_m \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^n \cos\omega t}{dt^n} \frac{d^n e^{-\frac{(t-t_i)^2}{2}}}{dt^n} dt;$$

Пренебрегая сомножителями, слабо влияющими на поведение слагаемого при $n\to\infty$, можно оценить этот интеграл в виде дроби:

$$C_n \sim \frac{const^n}{n^{0.5n}};$$

стремящейся к 0 с ростом n. Ряд знакопеременный, сходящийся, сумма его конечна и условие $\lim I_m(U_m\cos\omega t)=0$ – выполняется.

На рис. 5а показан процесс $z(t)= U_m\cos\omega t + s_7(t)$. Обычный оптимальный прием, т.е. умножение на $s_7(t)$ и интегрирование дает -0,93 – сигнал будет принят неверно.

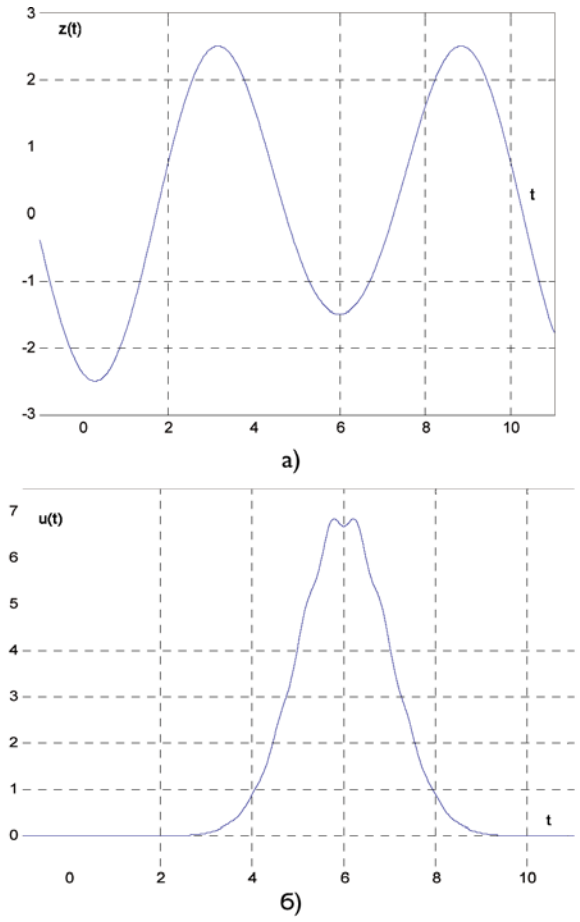


Рис. 5. Напряжение на входе ОИ (а) и выходе сумматора ОИ (б) для помехи в виде гармонического колебания

Индикатор устраняет ошибку и при m>20 полностью восстанавливает полезный сигнал $s_7(t)$, что видно из рис. 5б.

Выводы

1. Оптимальный индикатор реагирует на форму анализируемого процесса, т.е. помехоустойчивость приема зависит от формы сигнала.

2.Сигнал должен совпадать с производящей функцией для семейства ортогональных полиномов.

3. Оптимальный индикатор определяет наличие сигнала в аддитивной смеси сигнала и помех от многолучевости и межсимвольной интерференции при $m \to \infty$ со сколь угодно малой вероятностью ошибки.

Литература

1. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – М.:Радио и связь, 1989. – 656 с.

2. *Вулих Б.З.* Краткий курс теории функций вещественной переменной. Введение в теорию интеграла. – М.: Наука. 1973. – 352 с.

3. *Прокис Дж.* Цифровая связь / Пер. с анг. под ред. Кловского Д.Д. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.

4. *Сухоруков А.С.* Введение в теорию многомерной связи. – М.: Медиа Паблишер, 2011. – 274 с.

5. *Сухоруков А.С.* Разделение лучей в многолучевом канале при использовании узкополосных сигналов с дифференцированием на приеме // Радиотехника, 1986. №2. С. 55-57.

THE OPTIMAL INDICATOR OF BINARY SIGNALS DISTORTED BY MULTIPATH AND INTERSYMBOL INTERFERENCE NOISE

Sukhorukov Alexander,
Cand.tech.Sci., Associate Professor of Faculty of the general theory of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia, **suhas@yandex.ru**

Abstract
This article discusses the opportunities to increase noise immunity of reception of binary signals affected by intersymbol interference and multipath interference from. We have a priori information on signal and some types of interference (intersymbol interference and multipath interference) for the channel with constant parameters. Known form of signal pulses and the time of their arrival, the form of multipath. Interference from multipath and intersymbol interference are described well by the normal distribution. Apriori information about them can be used to reduce the probability of error. The received process z is seen as the result of signal and noise through the same or different filters. Assumes that processes the output filter (at the entrance the optimal indicator) are finite energy and differentiable.
Considered the optimal reception of signal s. There are a set of the limited linear operators $F_m(*)$ and set of the linear indicator functionals $l_s(*)$ introduced. The indicator functionals $l_s(*)$ is on the set of L2 defined.
Process z-random, but in each case the optimal indicator analyzes specific implementation of this process. He said belongs z to the subset S or not.
Proved the following:
– for any implementation of random interference $x \in X$, there is a bounded linear normalized operator Fm(*) and the bounded linear indicator;
– for any implementation of an additive mixture $z \in Z$ of random interference and signal, there is a bounded linear normalized operator $F_m(*)$ and the corresponding normalized linear optimal indicator $l_s(z)$.
Proposed structural scheme of the optimal indicator. Considered the optimal indicator for several models of additive noise in the channel with deterministic parameters: intersymbol interference, multipath interference, harmonics.
For these noises the optimal indicator provides an arbitrarily small probability of error. Computer experiment showed that if a sufficient number of differentiating devices optimal indicator recovers form the information signal.

Keywords: *optimal receiver, optimal indicator, set, linear operator, linear functional, orthogonality, norm, series, derivative, Hermite polynomial, intersymbol interference, multipath interference.*

References

1. *Levin B.R.* Theoretical bases of statistical radio engineering. Moscow: Radio i svyaz'. 1989. 656 p. (*in Russian*).
2. *Wulich B.* A short course of theory of functions of a real variable. Introduction to the theory of integral. Moscow: Nauka. 1973. 352. p. (*in Russian*).
3. *Proakis J.G.* Digital Communications: Per. s angl. / pod red. Klovskogo D.D. Moscow: Radio i svyaz'. 2000. 800 p. (*in Russian*).
4. *Sukhorukov A.S.* Introduction to the theory of multi-dimensional communication. Moscow: Media Pablisher. 2011. 274 p. (*in Russian*).
5. *Sukhorukov A.S.* Division of rays in the multipath channel using narrowband signals with differentiation at the reception / Radiotekhnika, 1986. No 2. Pp. 55-57. (*in Russian*).

QNET. СИСТЕМА АДМИНИСТРИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СЕТИ

Лоскутова Анастасия Александровна,
СПБГУТ им.проф. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, Россия,
finthehuman9@gmail.com

Белов Антон Сергеевич,
магистр 2 курса СПБГУТ им.проф. Бонч-Бруевича,
инженер НОЦ ИКТ, web-программист
ОАО НТЦ СОТСБИ, Санкт-Петербург, Россия,
gcerberus.ab@gmail.com

Ключевые слова: *сетевое администрирование,удаленный доступ, мониторинг сетевого трафика, моделирование компьютерной сети, сетевые технологии и протоколы, силовой математический алгоритм.*

Идеей системы администрирования и мониторинга является своеобразное объединение научно-исследовательской составляющей эмуляторов и работы с реальным оборудованием. Разрабатываемая программа должна выполнять целый ряд задач, начиная от построения схемы сети и заканчивая возможностью интерактивной работы с конструктором. Для построения схемы сети используется силовой алгоритм Камада и Каваи, но это не исключает возможности решения данной задачи с помощью другого алгоритма. Схема сети формируется исходя из информации о доступности каждого элемента и таблицах маршрутизации. Поддерживаемые протоколы доступа к оборудованию разных производителей различаются, поэтому принятие решения о том, как будет проходить процесс настройки удаленного подключения осуществляется после получения описания оборудования из базы данных. Для каждого устройства, с учетом его программного обеспечения, производителя и других характеристик, есть готовые списки быстрых команд. Проведение исследовательских работ базируется на использовании генератора научного трафика Squitch, способного создавать нагрузку в виде потока данных с настраиваемыми характеристиками такими, как длина посылаемых пакетов, задержка, закон распределения, приоритезация, используемые протоколы маршрутизации и др. Поэтому модуль управления также выполняет функцию мониторинга трафика, организуя фоновую работу программ, предназначенных для сбора нужной статистики и отображение информации пользователю. В Qnet предусмотрен такой инструмент, как веб-консоль, которая настраивается под сеанс с выбранным элементом сети и предоставляет удаленный доступ напрямую. На данный момент в качестве примера имеется построение сети Quagga, на основе пакета свободного программного обеспечения, поддерживающий протоколы динамической маршрутизации IP.

Для цитирования:
Лоскутова А.А., Белов А.С. QNET. Система администрирования и мониторинга сети // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 48-52.

For citation:
Loskutova A.A., Belov A.S. QNET. Network management system. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 48-52. (*in Russian*)

Несмотря на наличие всевозможных программных продуктов в сфере сетевого администрирования, все они преследуют определенные цели. С помощью эмуляторов стало возможным проводить исследования поведения сети в зависимости от топологии или вида трафика. Системы управления и мониторинга для реально существующего оборудования позволяют администратору следить за физическим состоянием сегментов сети, выполнять установку ПО, запуск программ со своего рабочего места. Казалось бы, в решение этого вопроса нельзя привнести что-то новое. Однако, если соединить научно-исследовательскую составляющую эмуляторов и работу с реальным оборудованием, получим удобную среду с бульшими возможностями.

Сетевое администрирование по сути является управлением компьютерной сетью, что подразумевает выполнение множества функций необходимых для контроля, планирования, выделения, внедрения, координации и мониторинга ресурсов компьютерной сети [1-3]. На данный момент уже существуют программные продукты, преследующие эти цели. Однако разработанные приложения подразделяются на несколько видов, в зависимости от выбранной решаемой задачи. Есть приложение, которое позволяет интерактивно работать со схемой сети. При этом акцент делается на физическом состоянии оборудования, предполагается наличие сигнализации и сообщений об ошибках и неполадках в сети. Имеются утилиты удаленного управления которые отличаются друг от друга графическим интерфейсом и используемыми протоколами (Radmin, DameWare, PuTTy, VNC, Hamachi, TeamViewer, Remote Manipulator System, Ammyy Admin).

Еще один вид программ – симуляторы и эмуляторы сети, которые полностью или частично имитируют наличие на компьютере какого-либо аппаратного устройства. В этой сфере наиболее известные разработки принадлежат компании Cisco. Cisco Packet Tracer, GNS3(графический интерфейс для эмулятора dynamips), eNSP (не менее хороший аналог Cisco Packet Tracer, разработан компанией Huawei) – все эти программы являются хорошими инструментами для построения и тестирования сети, но у всех есть свои ограничения такие, как установленный список команд, отсутствие возможности эмуляции сложных устройств и направленность на тестирование оборудования одного производителя. Сейчас лидирующие позиции занимает компания Cisco, но в будущем все может изменится, поэтому актуальна разработка приложений ориентированных на работу с устройствами разных компаний.

Не секрет, что сейчас пока сложно произвести точную эмуляцию некоторых элементов сети, поэтому в Qnet материалом для построения схемы сети служит отображение виртуальных серверов, используемых для создания опытных зон моделирования сетей. Основной идеей проекта, являющегося собственной разработкой авторов, является упрощенное администрирование, которое подразумевает построение сети и ее интерактивную визуализацию, отслеживание состояния элементов и сети в целом, удаленное управление узлами, мониторинг проходящего трафика и конструирование своей сети. Последняя функция является приоритетом разработки. Конструктор позволит реализовывать собственные схемы, используя список реального оборудования.

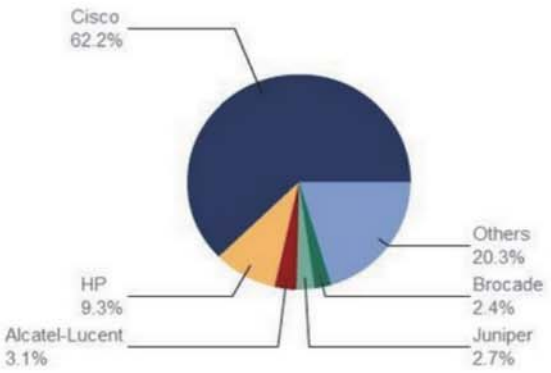


Рис. 1. Доля на рынке компаний сетевого оборудования на 2014 г.

Разрабатываемое приложение имеет ряд отличий от ранее рассмотренных программ. Прежде всего, оно рассчитано на проведение экспериментов в научно-исследовательских лабораториях, занимающихся изучением сетевых технологий и протоколов. В соответствии с этим выбирается определенный набор функций, необходимый для администрирования, определяется механизмы конструирования сети и мониторинг трафика. Кроме того, Qnet обладает универсальностью, он рассчитан на работу с оборудованием разных производителей и установленным на них программным обеспечением.

Логика работы приложения, интерфейсы взаимодействия заложены в клиент-серверной архитектуре, основная идея которой заключается в том, что существует два самостоятельных процесса, выполняющихся на разных машинах, которые обмениваются данными по сети. В Qnet данная архитектура реализована следующими элементами: клиент, сервер, база данных и целевые машины. Клиент передает пользовательские запросы на обработку серверу с помощью технологии Ajax, по сути, это рабочее место администратора. Сервер выполняет существенную часть прикладной логики, обрабатывает http-запросы, и также состоит из нескольких компонентов, например, LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP). Сервер подразумевает работу с большим количеством информации, поэтому необходимые данные для корректной работы приложения структурированы в базу данных, обращение к которой осуществляется с помощью SQL-запросов. Целевые машины представляют собой исследуемую сеть, для управления оборудованием в ней настраивается удаленное подключение через протокол SSH. Данный протокол выбран исходя из нескольких причин: доступ по SSH легко настроить, это единственный из сетевых протоколов, предоставляющий доступ и на чтение, и на запись, и SSH шифрует весь трафик и предполагает аутентификацию [4].

В процессе разработки учитывается реализация трех основных функций – управление, мониторинг и моделирование. Чтобы пользователь мог начать работу с инструментарием программы, требуется подготовить графическую схему сети.

Построение осуществляется после получения конфигурационных файлов от каждого узла сети. Схема сети строится только из активных элементов, поэтому сначала производится поочередная проверка доступности узлов с помощью команды "ping". Следующий этап – получение информации о состояниях сетевых интерфейсов и данных таблиц маршрутизации. Далее происходит выявление связей и построение матрицы связности с учетом особенностей сети и прочих настроек.

Перед непосредственно графическим представлением схемы необходимо определить расположение узлов относительно друг друга. Для определения координат на плоскости в случае небольшого количества используется радиальное представление – сетевые элементы составляют внутренний круг, а конечное оборудование занимает внешний круг. Когда же необходимо размещать больше элементов и топология сети усложняется, здесь не обойтись без более интеллектуального алгоритма.

В случае визуализации нескольких связанных между собой элементов наиболее удобно воспользоваться математической теорией графов. Таким образом задача сводится к поиску оптимальной раскладки на плоскости вершин неориентированного графа [5-6]. Вершинами графа будут узлы сети, а ребрами – связи между ними.

Важно учесть, что компьютерные сети могут быть различных топологий, поэтому подобранный алгоритм должен быть универсальным, чтобы раскладывать инфраструктуру сети разной степени сложности. Чтобы сформированная схема была разборчива и удобна для восприятия, нужно найти баланс между такими характеристиками графа, как равномерное распределение его вершин и минимизация количества пересечений.

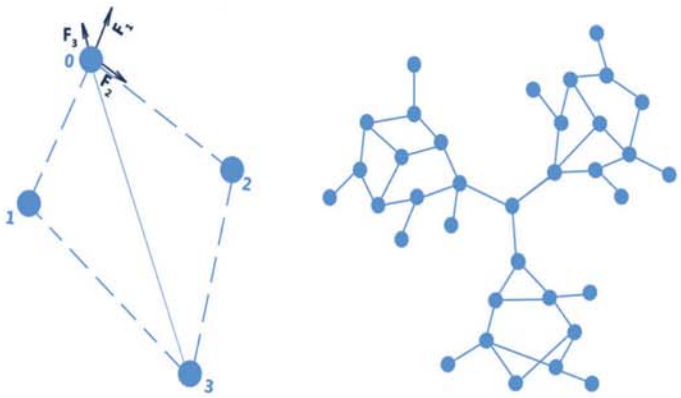


Рис. 2. Силовой алгоритм Камада и Каваи

Наиболее гибкие алгоритмы расчета раскладки вершин общих неориентированных графов принадлежат к классу силовых алгоритмов. Они основаны на физическом представлении системы, где минимизируя энергию, действующую на отдельный элемент, тот сдвигается, тем самым располагаясь симметрично и достаточно близко к смежным узлам. Ребра графа представляют собой пружины, а вершины - электрические заряды. Чтобы достичь наиболее оптимального результата используется многоуровневый подход. Для начального расположения узлов используется математический алгоритм Камада и Каваи [9], затем для улучшения представления и настройки отступов между элементами применяется алгоритм Фрюхтермана-Рейнгольда.

После завершения построения схемы сети пользователю, в зависимости от настроек оборудования и привилегий, предоставляется доступ к элементам схемы и фильтрам отображаемой информации. Соответственно фильтры определяет список отслеживаемых параметров.

Последним шагом запускаются механизмы автоматического опроса элементов отображаемой сети на наличие изменений в отслеживаемых параметрах. Изменения параметров будут отображаться на схеме в реальном времени: смена состояния элемента сети, изменение конфигурации узла сети, потеря связи между узлами, начало генерации трафика на узле с предустановленным генератором, обновление части схемы сети или всей схемы целиком. Для полноценного мониторинга необходимо разработать механизм автоматического (с подтверждением со стороны пользователя) принятия решений с формированием и отправкой соответствующих инструкций на целевой узел или контроллер в случае регистрирования той или иной известной системе ситуации.

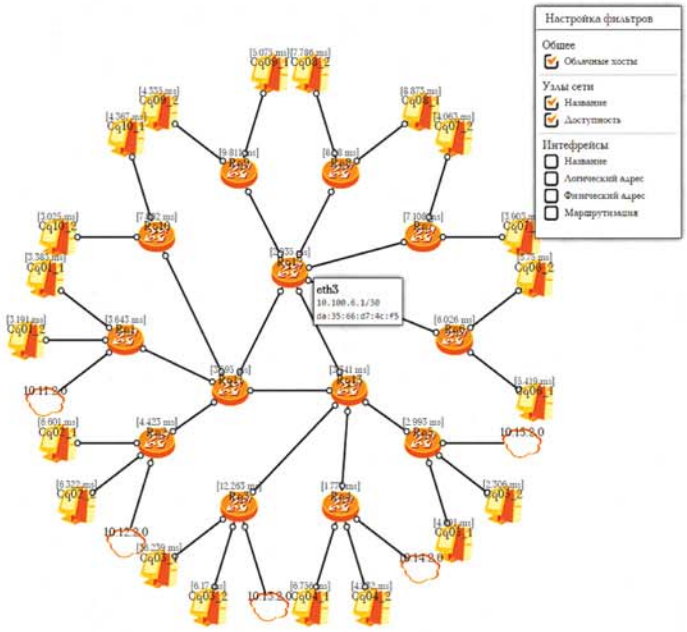


Рис. 3. Визуализация сети в Qnet

Учитывая такие факторы, как наличие на данный момент оборудования различных производителей и тенденция усложнения топологии компьютерных сетей, Qnet предполагает реализацию идеи интеллектуального доступа к сетевому оборудованию. Цель механизма интеллектуального доступа – максимально абстрагировать процесс управления оборудованием от его реализации, сводя процесс управления от использования терминала к простой отправке нужной команды на понятийном уровне. Это достигается посредством следующих трех аспектов: сокрытие от пользователя механизма удаленного доступа и обеспечения сеанса связи с ним; использование псевдони-

мов часто требуемых на выполнение команд и вызываемых процедур; контроль безопасности и проверка прав доступа при работе с эмулятором терминала удаленного оборудования.

Выбор протокола удаленного доступа, установка сеанса связи с оборудованием и его дальнейшая поддержка, использование параметров аутентификации должны выполняться автоматически без участия пользователя.

Использование псевдонимов команд и процедур вместо их прямого текста на выполнение оправдывается сразу несколькими вещами. Во-первых, это сокрытие реализации той или иной процедуры. Во-вторых, и это главное, оборудование различных производителей с различным программным обеспечением имеет широкий спектр однотипных по принципу действия и назначению команд и процедур, но разных по тексту выполнения. Например, команды «ifconfig –a» для Linux Server и «ipconfig /all» для Windows Server имеют один смысл и разное написание. Использование псевдонима команды с автоматической подстановкой в зависимости от реквизитов оборудования исходного текста соответствующей команды сокроет от пользователя это обилие различного синтаксиса специфичного к конкретному производителю или операционной системе. В-третьих, использование псевдонимов для типовых команд упростит их классификацию в случае возникновения подобной задачи. В-четвертых, в случае достаточно большого для восприятия текста команды, использование короткого псевдонима с возможными параметрами, несколько работу с ней.

В случае использования пока неизвестных системе команд, то есть явного указания текста команды, необходимо проверять права доступа этого пользователя к запрашиваемому функционалу и обеспечивать безопасность выполняемых команд. Под безопасностью тут понимается предотвращение выполнения на удаленном оборудовании потенциально опасных и необдуманных действий. Здесь также речь идет о семантическом анализе текста запрашиваемой команды.

Для каждого устройства, с учетом его программного обеспечения, производителя и других характеристик, есть готовые списки быстрых команд по трем категориям: общие настройки, анализ распределения пакетов и исследование изменения характеристик QoS (Quality of Service) [7]. Команды, принадлежащие к общим настройкам, предназначены для получения информации о конфигурации оборудования, таблиц маршрутизации и т.д. Анализ изменений распределения пакетов в сети и характеристик QoS осуществляется путем наблюдения за параметрами сети при варьировании значений внешних факторов таких, как размер буфера сетевого адаптера, приоритезации трафика, используемых протоколов маршрутизации и др. Таким образом, реализована функция мониторинга трафика.

В перспективе разработки приложения предполагается написание необходимых плагинов для отображения нужной информации о полученных характеристиках трафика в результате проведенных экспериментов.

Так как разработка приложения ведется на базе научно-исследовательской лаборатории СОТСБИ, занимающейся изучением инфокоммуникационных технологий и протоколов [8], в приложении является первичным тестирование с помощью искусственно создаваемого трафика. При проведении всевозможных испытаний в состав сети интегрирован трафик-генератор. Он создает нагрузку на сеть, генерируя пакеты данных с заданными параметрами и по определенному закону. Поэтому чтобы следить за работой трафик-генератора в проекте предусмотрен мониторинг и анализ трафика, описанные выше. Предполагается, что эти функции будут отображены на схеме графически и будет отдельная область, показывающая результаты эксперимента.

Классический вариант конструирования сети в эмуляторе сводится к расположению пользователем сетевого оборудования, отображении соединительных связей и дальнейшей настройкой устройств. Qnet в процессе создания инструмента моделирования будет ориентироваться на идею автоматической настройки элемента при добавлении в схему. В качестве материала для конструктора будет использоваться уже существующее оборудование, описание которого есть в базе данных.

На данный момент в качестве примера имеется построение сети Quagga, на основе пакета свободного программного обеспечения, поддерживающий протоколы динамической маршрутизации IP. Приоритетом разработки является реализация конструктора и расширение набора методов для мониторинга трафика.

Литература

1. *Томас А. Лимончелли, Кристина Хоган, Страта Чейлап.* Системное и сетевое администрирование. Практическое руководство. – СПб., 2009. – 944 с.

2. *Крейг Хант.* TCP/IP. Сетевое администрирование. – СПб., 2004. – 816 с.

3. *Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г.* Сети связи. – СПб., 2010. – 400 с.

4. *Дэниэл Дж. Барретт, Ричард Э. Силверман.* SSH, Secure Shell: Полное руководство. – СПб., 2005. – 560 с.

5. *Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В.* Дискретная математика: Графы, матроиды, алгоритмы: Учебное пособие. – СПб., 2010. – 368 с.

6. *Новиков Ф.А.* Дискретная математика для программистов. – СПб., 2007. – 368 с.

7. *Шринивас Вегешна.* Качество обслуживания в сетях IP. – М., 2003. – 368 с.

8. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб., 2014. – 958 с.

9. *Яковлев В.В.* Анализ использования алгоритма Камада и Каваи для визуализации при моделировании систем связи, "Информационные технологии и телекоммуникации", 9, 2014. – С.10-14.

QNET. NETWORK MANAGEMENT SYSTEM

Loskutova Anastasia,
4th year student SUT prof. Bonch- Bruevich, Saint-Petersburg, Russia, **finthehuman9@gmail.com**

Belov Anton,
master 2 course SUT prof. Bonch- Bruevich, engineer, Saint-Petersburg, Russia, **gcerberus.ab@gmail.com**

Abstract
The idea of the system administration and monitoring is a kind of union of the research component of emulators and works with real equipment. The developed program must perform a variety of tasks, ranging from building a network diagram and ending with the possibility of interactive work with the designer. To build a network diagram using the power algorithm Kamada and Kawai, but this does not exclude the possibility of solving this problem by using a different algorithm. The circuit network is formed on the basis of information on the availability of each item and the routing tables. Supported protocols access to the equipment of different manufacturers vary, so the decision on how to take the process of configuring a remote connection is made after a description of the equipment from the database. For each device, based on its software products, and other characteristics, have a ready list of fastest teams in three main categories: common settings, analysis of the distribution of packages and study changes in the characteristics of QoS (Quality of Service). Research on the generator based on the use of the scientific traffic Squitch, capable of creating a strain as a data stream with configurable features such as the length of packets sent, the delay distribution law prioritization used routing protocols and others. Therefore, the control unit also performs the function of monitoring traffic, arranging the background of the program, designed to collect the necessary statistics and display information to the user. The Qnet provides a tool such as the Web console, which is customized for the session with the selected network element and provides remote access directly. At the moment, as an example of the construction of the network has Quagga, based on the package of free software that supports dynamic routing protocols IP.

Keywords: *network management, remote access, network traffic monitoring, modeling of computer networks, network technologies and protocols, power mathematical algorithm.*

References

1. *Tomas A. limoncello, Christine Hogan,* Strata Cheylap system and network administration. A Practical Guide. Saint Petersburg, 2009. 944 p.
2. Craig Hunt TCP / IP. Network Administration. Saint Petersburg, 2004. 816 p.
3. *Goldstein BS, Sokolov NA, Janowski GG* Network communication/ Saint Petersburg, 2010. 400 p.
4. *Barrett DJ, Silverman RE* SSH, Secure Shell: The Definitive Guide. Saint Petersburg, 2005. 560 p.
5. *Asanov MO, Baranskii VA, VV Racine* Discrete mathematics: Graphs, matroids, algorithms: Textbook. Saint Petersburg, 2010. 368 p.
6. *Novikov FA* Discrete mathematics for computer programmers. Saint Petersburg, 2007. 368 p.
7. *Srinivas Vegeshna* Quality of service in the networks IP. Moscow, 2003. 368 p.
8. *Olifer VG, Olifer NA* Computer networks. Principles, technologies, protocols. Saint Petersburg, 2014. 958 p.
9. *Yakovlev VV* Analysis of Kamada and Kawai algorithm to visualize the simulation of communication systems , " Information Technology and Telecommunications", 9, 2014. Pp. 10-14.

МОДЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБЕЛИ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Птицын Герман Александрович,
к.т.н., профессор, МТУСИ, каф. ИБиА, Москва, Россия,
ovd@media-pablisher.ru

Ключевые слова: *сеть связи, атака на дуги, узлы сети, математические модели гибели сетей, детерминированный и вероятностный подходы, модели структурной живучести сетей.*

Введены понятия и дана оценка атак на сети, определены ее последствия. Атака может быть представлена детерминировано числом и долей пораженных дуг или узлов. При этом последствия могут быть различны, например, если в звезде атакован центр, то гибнет вся сеть. А если в линейной разомкнутой сети атака направлена на дуги через одну, то в этом случае сеть распадается на фрагменты размером два узла или более каждый. По условию они продолжают действовать, погибших узлов нет. Получены математические модели гибели сетей типовых структур. Атака может быть представлена вероятностно. Тогда при любом значении вероятности атаки может наблюдаться практически весь спектр последствий. Установлено, что математическая модель гибели сетей любой структуры и размера является отображением топологии сетей: её размера, распределения связности узлов, числа дуг сети, что позволяет численно определить структурную живучесть, как разность между исходным (до атаки) размером сети и математическим ожиданием числа погибших узлов после атаки. Показано, что в равнопрочных сетях доля погибших узлов не зависит от размера сети и равна вероятности атаки на дуги сети в степени равной связности узлов. Структурная живучесть сети при атаке на узлы в 1-q раз меньше, чем при атаке на дуги. Показаны свойства и недостатки метода.

В отличие от вероятности связности сети [1÷5] при разработке моделей гибели сетей при-нято, что сеть продолжает действовать после атаки на дуги или узлы, если в ней остался хотя бы один связный фрагмент размером два узла или более [6]. При этом структурная живучесть будет более нуля. Исследование структурной живучести ведется при условии, что известна вероятность выживания (гибели) структурного элемента (дуги и узла), одинаковая для каждого из них, $p^i = p, q^i = q, p^i + q^i = 1$.

Допускаем, что каждый узел сети имеет независимое управление и питание. Анализ чрезвычайных ситуаций и боевых дей-ствий подтверждает реальность такого подхода.

Для цитирования:
Птицын Г.А. Модели характеристик гибели сетей связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 53-56.

For citation:
Ptitsyn G.A. Models of communication networks destruction characteristics. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 53-56. (*in Russian*)

Показатели гибели сетей. При заданном числе *m* атакованных элементов анализ гибели сети размером *n* узлов, связанных *r* дугами ведется по следующим показателям:

Исходные данные: *n* – число узлов сети, *n-1 r* число дуг, соединяющих узлы. Дуги, узлы – бинарные элементы.

Атака на сеть: *0 m n, r* – число атакованных элементов (целые числа); *m/n, m/r* – доля атакованных элементов; $W = C_n^m, C_r^m$ – число вариантов атаки *m* элементов сети.

Последствия атаки: S_i – число погибших узлов для *i*-го варианта атаки на *m* элементов сети (погибшим считается узел, оставшийся в одиночестве или атакованный); U_i – число выживших узлов для *i*-го варианта поражения *m* элементов, очевидно, что $S_i + U_i = n$;

$\sum_{i=1}^{W} s_i$ – общая сумма погибших узлов для W вариантов атаки на *m* элементов сети (дуг, узлов);

$\sum_{i=1}^{W} U_i$ – общая сумма выживших узлов для W вариантов атаки на *m* элементов сети (дуг, узлов);

$\overline{U_p}$, $U_i = \sum \frac{U_i}{W}$ – среднее число выживших узлов при поражении *m* элементов сети при атаке на дуги, узлы;

$\overline{S_p}, S_y = \sum \frac{S_i}{W}$ – среднее число погибших узлов при поражении *m* элементов сети при атаке на дуги, узлы;

dS_p – средняя доля потерянных узлов при атаке на дуги (ребра), узлы;

$dU_p, dU_y = \frac{\overline{U_p}}{r}, \frac{\overline{U_y}}{n}$ – средняя доля выживших узлов при атаке на дуги (ребра), узлы;

Средняя доля погибших, выживших узлов должна удовлетворять следующим условиям:

Если *m = 0*, то *d(S) = 0, d(U) = 1*.

Если *m = r,n*, то *d(S) = 0, d(U) = 1*.

$d(S) = [0,1], d(U) = [1,0]$ при *0 m n, r*.

Детерминированный подход предполагает, что число *m* атакованных узлов на дуги сети задается заранее, причем это число последовательно принимает целочисленные значения 0, 1, 2,….. *n(r)* при различных вариантах размещения на сети.

Звездообразная сеть. Атака на дугу означает гибель смежного с ней узла, по число узлов на единицу больше числа дуг, поэтому зависимость $dU_p = dU_{np}$ имеет излом.

$$dU_p = \frac{n-m}{n} = 1 - d_{np}\frac{n-1}{n}; dS_p = d_{np}\frac{n-1}{n}.$$

С увеличением *n* доля погибших узлов возрастает, но не более, чем $\frac{m}{n} 0 \le m \le n$. При атаке на m узлов средняя доля выживших узлов принимает вид: $dU_y = \frac{n-m^2}{n^2}$.

Средняя доля погибших узлов

$$dS_y = 1 - dU_y = \frac{2n \cdot m - m^2}{n^2} = 2d_{ny} - d_{np}^2.$$

Если при атаке на дуги доля погибших узлов практически прямолинейно зависит от доли поражения, то при атаке на узлы доля погибших узлов возрастает по квадратичной зависимости (рис. 2).

Линейная (разомкнутая) сеть. При атаке на дуги погибшим считается узел, смежные дуги которого разорваны. Выжившими считаются узлы (два и более), содержащие связывающие их дуги. Поэтому в линейной сети весьма вероятны случаи, когда число разорванных дуг *m*=1, 2, 3,…, а общая сумма выживших фрагментов остается равной *n*.

$$dS_p = \frac{m(m+1)}{(n(n-1))}; dU_p = 1 - dS_p$$

При атаке на *m* узлов средняя доля выживших узлов равна

$dU_y = dU_p \frac{n-m}{n}$. Графические зависимости dU_p, dU_y для линейной сети *n* = 3, 4, 6, 8 представлены на рис. 1.

Кольцевая сеть. Удаление одной избыточной дуги оставляет долю выживших узлов равную единице. График $d(U_y) = f(d_{np})$ начинается не с нуля, а с точки $d_{np} = (r-1)^{-1}$, поэтому с увеличением *r* значение функции $d(U_y) = 1$ приближается к оси dU.

При атаке на дуги $dU_p = 1 - \frac{m(m-1)}{n(n-1)}$.

При атаке на узлы $dU_y = \left(\frac{n-m}{n}\right)\left(1 - \frac{m(m-1)}{(n-1)(n-2)}\right)$.

Графические зависимости $dU = f(d_n)$ для кольца *n*= 8 представлены на рис. 3.

$$dU_y = \left(\frac{(4-2)}{4}\right)\left(1 - \frac{2(2-1)}{((4-1)(4-2))}\right) = \frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3} = \frac{1}{3}.$$

Однако получить аналитические зависимости $dU = f(d_n)$ для других структур оказалось затруднительным. Более широкие возможности открывает вероятностный подход.

Вероятностные модели гибели сетей связи. Характеристики гибели сетей. Вредные воздействия на сеть представлены стохастично через вероятность атаки на элементы сети (*0 q 1*). При любом значении *q* в сети возможен весь спектр повреждений дуг, узлов сети.

Исходные данные: n-число узлов сети; *n-1 r* число дуг; *q* – вероятность атаки на дуги, узлы, *p+q=1*.

Последствия атаки: $M(S_p) = \sum A_i q_i$.

$M(S_p), M(S_y)$ – математическое ожидание числа погибших узлов при атаке на дуги, узлы;

A_i – число узлов в группе, имеющих одинаковую связность *i* дуг;

q_i – вероятность потери узла, имеющего связность *i* дуг;

$M(U_p), M(U_y)$ – математическое ожидание числа выживших узлов при атаке на дуги, узлы.

Очевидно, что $M(S_p)+M(U_p)=n$.Для сравнения последствий атаки на сети разного размера удобнее пользоваться относительными показателями.

$d(S_p)=\frac{M(S_p)}{n}, d(U_p)=\frac{M(U_p)}{n}$ – средние доли погибших, выживших узлов.

$d(S_p)+d(U_p)=1; d(S_y)+d(S_y)=1$

Средние доли погибших, выживших узлов должны удовлетворять следующим условиям.

1. Если $q=0$, то $d(S) = 0, d(U) = 1$.
2. Если $q=1$, то $d(S) = 1, d(U) = 0$.
3. $d(S)=[0,1], d(U)=[1,0]$ при $(0\ q\ n, r)$.

Математическое ожидание числа погибших, выживших узлов $M(U_p)$ при атаке на дуги можно выразить через p или q.

Вид сети	$M(U_p)=f(q)$	$M(U_p)=f(p)$
Линейная	$n-(2q+(n-2)q^2$	$2(n+1)p-(n-2)p^2$
Звезда	$n-((n-1)q+q^{n-1})$	$(1+(n-1)p)-(1-p)^{n-1})$
Кольцо	$N(1-q)^2$	$np(2-p)$

В отличие от вероятности связности сети [ ] при разработке моделей гибели сетей принято, что сеть продолжает действовать после атаки на дуги или узлы, если в ней остался хотя бы один связный фрагмент размером два узла или более. При этом структурная живучесть будет более нуля. Исследование структурной живучести ведется при условии, что известна вероятность выживания (гибели) структурного элемента (дуги и узла), одинаковая для каждого из них, $p_i=p, q_i=q, p_i+q_i=1$. Допускаем, что каждый узел сети имеет независимое управление и питание. Анализ чрезвычайных ситуаций и боевых действий подтверждает реальность такого подхода.

Сравнение детерминированной и вероятностной моделей распада сетей

Приведенные в таблице модели выживших частей при атаке на дуги, выраженные через q, более интересны, информативны, чем через p. Они состоят из двух частей: первая – это размер сети в исходном (до атаки) состоянии, вторая – это число погибших узлов, равная сумме произведений коэффициента A_i на вероятность q^i атаки на дуги в степени равной i-связности одного из группы узлов. В линейной (разомкнутой) сети два оконечных (висячих) узла имеют связность равную единице и n-2 узла имеют связность, равную двум дугам. В звезде число висячих узлов равно n-1 со степенью связности равной единице $(n-1)q$ и один узел (центр) имеет связность равную $(n-1)$ дуг, т.е. q^{n-1}. В кольце все узлы имеют связность равную двум дугам, поэтому $M(S_p)=nq^2$.

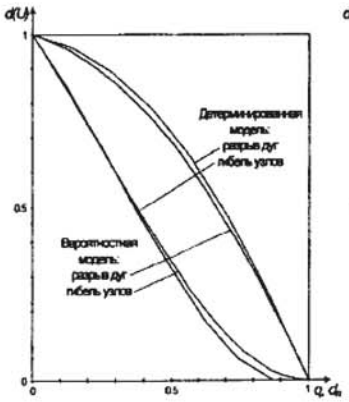


Рис. 1. Линейная сеть

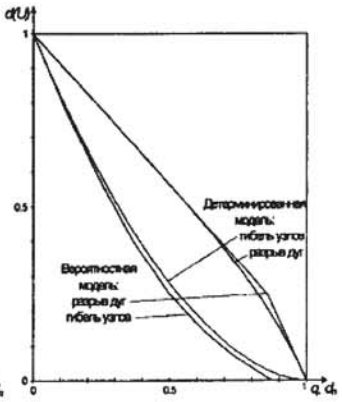


Рис. 2. Звездообразная сеть

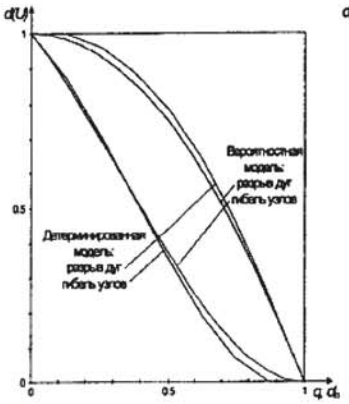


Рис. 3. Кольцевая сеть

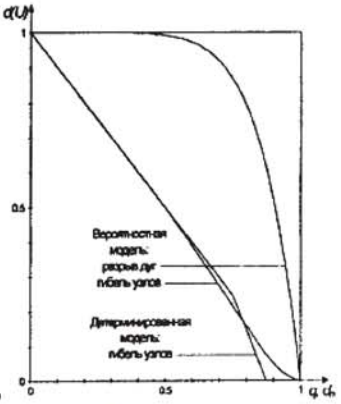


Рис. 4. Полносвязная сеть

Выводы

– модель гибели сети связи (математическое ожидание числа погибших узлов) имеет вид суммы произведений $\sum A_i q^i$. Число слагаемых характеризует число групп узлов, каждая имеющая одинаковую связность. Если все узлы сети имеют одинаковую связность, например, два для кольца, то выражение имеет одно слагаемое. Коэффициент A_i характеризует число узлов в группе, имеющих одинаковую связность. Степень i при q характеризует связность (число смежных с узлом дуг) каждого из узлов в группе.

– максимальная степень полинома соответствует максимальной связности одного з группы узлов в сети. Если в сети имеются висячие узлы со степенью связности одна дуга, то минимальная степень полинома равна единице. Степени при q принимают только целочисленные значения для сети с ненаправленными дугами.

– если q=0, то полином гибели обращается в ноль, если q=1, то полином гибели по сумме коэффициентов характеризует размер (число узлов) сети. В диапазоне от 0 до 1 функция непрерывна.

– в качестве полинома гибели сети при атаке на дуги нельзя рассматривать долго погибших узлов, равную $d(S_p)=\frac{M(S_p)}{n}$, так как в случае равнопрочной сети, на-

пример, в кольце доля погибших узлов не зависит от *n*-размера сети и равна $d(S_p) = q^c$, для равнопрочной сети со связностью С каждого из узлов не зависит от n-размера сети и равно $d(S_p) = q^c$.

– половина суммы произведений коэффициентов при *q* на степени при *q* дают длину сети по числу дуг.

– модель гибели сети при атаке на дуги дает детальную информацию о топологии сети: о размере (числе узлов) сети, числе групп узлов, имеющих одинаковую связность, числе узлов в группе, распределении связности узлов, длине сети.

Но этот метод не позволяет судить о потерях информации при повреждениях. Например, в линейной сети размером шесть узлов при атаке на две дуги через одну остаются три фрагмента размером по два узла, что означает ноль погибших узлов. Тогда доля выживших узлов равна единице. Но в этом случае объем передаваемой информации снижается в пять раз. Более полное и точное представление о потерях информации дает доля выживших соединений (межузловых потоков) или функциональная живучесть.

- эквивалентом *q* является отношение *m*/*n*, поэтому графические зависимости $d(U), d(S)$ для вероятностного и детерминированного подходов при атаке на дуги или узлы, дают малое отклонение друг от друга.

Литература

1. *Tutte W.T.* A Contribution to the Theory of Chromatic Polinomials /W.T.Tutte// Canadian Journal of Mathematics. – 1945. №6. – p.80-91

2. Надежность и живучесть систем связи // Под ред. Дудника Б.Я. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.

3. *Воробьев В.И., Мешковский К.А.* Способ определения живучести связи // Электросвязь. – 1988, №12. С. 12-14.

4. *Громов Ю.Ю., Драчев В.О., Набатов К.А., Иванова О.Г.* Синтез и анализ живучести сетевых систем. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 152 с.

5. *Птицын Г.А.* Поиск способов уменьшения активного транзита // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2015. – №5. – С. 74-78.

6. *Стекольников Ю.И.* Живучесть систем. – СП6.: Политехника, 2002. – 156 с.

7. *Птицын Г.А.* Живучесть динамических сетей связи. Учебное пособие / Под редакцией проф. Петракова А.В. – М.: МТУСИ, 2008. – 96 с.

MODELS OF COMMUNICATION NETWORKS DESTRUCTION CHARACTERISTICS

Ptitsyn G.A., *professor, Moscow technical university of telecommu-nications and informatics, Moscow, Russia*

Abstract

Defined the concept and the evaluation of the communication networks attacks. The attack can be represented as determined number and proportion of affected arcs or nodes.Thus the effects may be different, for example, if the star center attacked then killed all network. If a linear open network attack is directed to an arc through one, in this case, the network breaks down into fragments of two or more nodes. Obtained mathematical model of the death of typical network structures. The attack can be represented probabilistically. Then, for any value of the probability of an attack may experience a whole range of consequences. It was found that the mathematical model of the death of networks of any size and structure is a reflection of network topologies: size, distribution connectivity nodes, the number of arcs of the network, which allows to numeri-cally define the structural robustness, as the difference between the initial size of the network and the expected number of dead nodes after the attack. It is shown that the proportion of victims of equally network nodes does not depend on the size of the network and is equal to the probability of an attack on an arc equal to the power of network connectivity components.

Keywords: *communication network, network attacks, mathematical modes, deterministic and probabilistic models, survivability models.*

References

1. *Tutte W.T.* A Contribution to the Theory of Chromatic Polinomials // Canadian Journal of Mathematics. 1945. No.6. Pp. 80-91.

2. Reliability and survivability of communications systems / Editor Dudnik B.Y. Moscow: Radio and Communication. 216 p. (*in Russian*)

3. *Vorobyev VI, Meshkovsky KA.* The method of determining the survivability of communications / Telecommunications, 1998, N12. Pp. 12-14. (*in Russian*)

4. *Gromov YY, Drachev VO, Nabatov KA, Ivanova OG.* Synthesis and analysis of survivability network systems. Moscow: Ed. "Mashinostroenie - 1", 2007. 152 p. (*in Russian*)

5. *Ptitsyn GA.* Research in active transit reducing. T-Comm. 2015. No. 5. Pp. 74-78. (*in Russian*)

6. Strekolnikov YI. Systems survivability. SPb.: Politechnika, 2002. 156 p. (*in Russian*)

7. *Ptitsyn GA.* Survivability of dynamic networks, Tutorial / Editor Petrakov A.V. Moscow: MTUCI, 2008. 96 p. (*in Russian*)

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛУПРОЗРАЧНЫЕ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ЭНТАЛЬПИЙНОГО МЕТОДА

Арутюнян Роберт Владимирович,
МТУСИ, Москва, Россия,
Rob57@mail.ru

Ключевые слова: *лазерный нагрев, полупрозрачные среды, температурное поле, моделирование, влияние теплофизических параметров.*

Исследовано влияние нелинейностей теплофизических параметров и фазовых переходов плавления и испарения на тепловые процессы при лазерном нагреве полупрозрачных сред на примере двухслойной системы кварц-железо. Целью работы является выяснение характера влияния нелинейностей теплофизических параметров, фазовых переходов плавления и испарения. В предлагаемой статье результаты известных исследований лазерного нагрева конденсированных сред развиваются на основе учета нелинейности теплофизических характеристик материала, фазовых переходов (плавления, испарения), радиационного и конвективного охлаждения поверхности материала для случая полупрозрачных и двухслойных сред типа кварц-металл. Для решения поставленной задачи сформулирована математическая модель, а также разработаны конечно-разностный метод и программы для ЭВМ, позволяющие эффективно осуществлять компьютерное моделирование тепло- и электрофизических процессов при воздействии лазерного излучения как на полупрозрачные, так и на непрозрачные среды. Решение задачи Стефана находится при помощи сквозного "энтальпийного" метода. Расчет электрического поля осуществляется итерационным методом Зейделя. Вычислительная погрешность контролируется при помощи теплового баланса и сравнения с результатами решения модельных задач. В исследуемой двухслойной системе подложкой является металл, в конкретном расчете – железо. В результате исследований установлено значительное влияние нелинейностей теплофизических параметров, фазовых переходов плавления и испарения, вида краевых условий и геометрических размеров системы на значения температурного поля, тогда как влияние потерь на радиационное излучение и конвективное охлаждение пренебрежимо. Рассмотрены два типа диапазона излучений: оптический диапазон излучения, для которого кварц является полупрозрачным, а металл – непрозрачным, а также инфракрасный диапазон излучения, в котором кварц, как и металл, является непрозрачным. Исследование выявило потребность в совершенствовании конечно-разностного энтальпийного метода для решения задачи Стефана с целью повышения его точности, в частности при расчете фронта фазового перехода. Представляет интерес дальнейший детальный анализ тепло- и электрофизических процессов в области температуры кипения, выяснение степени адекватности модели спокойного испарения, дополнительный учет газо-, гидро- и электродинамических факторов.

Для цитирования:
Арутюнян Роберт Владимирович. Расчет температурного поля при воздействии излучения на полупрозрачные среды на основе энтальпийного метода // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 57-62.

For citation:
Harutyunyan R.V. Calculation of the temperature field in the effects of radiation on a translucent media based on enthalpy method. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 57-62. (*in Russian*).

Введение

Когерентное излучение является эффективным инструментом многих передовых технологий и используется для получения новых материалов, при обработке материалов, сварке и т.д. [1-7]. Теоретические основы тепловых процессов, имеющих место при взаимодействии излучения с конденсированными веществами, и соответствующие современные модели лазерной обработки материалов анализируются в работах [1-7]. Среди них можно отметить диссертационную работу [7], направленную на теоретическое исследование воздействия лазерного излучения на конденсированные вещества с целью разработки физических основ лазерной технологии получения материалов с определенными свойствами.

В [5] построена трехмерная модель теплофизических процессов при лазерной сварке металлов и сплавов. В ней теплоперенос в пластинах описывается уравнением теплопроводности с конвективными членами. В модели учитывается наличие парогазового канала в зоне воздействия лазерного луча на металл. При численном решении краевой задачи для трехмерного уравнения теплопроводности используется консервативный метод коллокаций и наименьших квадратов. Расчеты проведены на нерегулярных сетках, сгущающихся в окрестности парового канала. Сравнением с экспериментом показано, что предложенная модель адекватно описывает теплофизические процессы, протекающие в области сварки.

В статье [6] рассматривается математическая модель нагрева системы пленка-подложка лазерным импульсом наносекундной длительности. Модель учитывает влияние фазовых переходов плавления и испарения материалов системы на развитие температурных полей в ней и вынос массы легирующего вещества из зоны облучения. Приводятся результаты расчетов для случая лазерного нагрева системы Au(100 нм)-Ni в вакууме и под прозрачным слоем. Полученные данные используются для анализа экспериментальных результатов по наносекундному лазерному легированию поверхностного слоя никеля атомами золота.

В работе [1] изучалось температурное поле, созданное при лазерном воздействии на вещества с различным характером поглощения излучения. Отмечено, что ряд вопросов вышел за рамки исследования, так как неясными остается влияние таких факторов, как нелинейность теплофизических свойств материалов, влияние охлаждения поверхности.

В предлагаемой статье результаты отмеченного исследования развиваются на основе учета нелинейности теплофизических характеристик материала, фазовых переходов (плавления, испарения), радиационного и конвективного охлаждения поверхности материала для случая полупрозрачных сред.

Математическая модель

Предполагается, что поглощение лазерного излучения в веществе происходит по закону Бугера-Ламберта: $I(x) = I_0 e^{-bx}$, где $I(x)$ – интенсивность излучения, x – координата рассматриваемой точки тела (расстояние от его поверхности), I_0 – граничная интенсивность лазерного излучения, b – характерная длина поглощения излучения веществом.

При относительно малых длительностях импульса согласно данным [1] теплофизические процессы в веществе приемлемо моделировать на основе одномерной модели теплопроводности.

При математическом моделировании рассматриваются три этапа теплового процесса:

1) Нагрев материала до температуры плавления (твердая фаза);

2) Нагрев расплава и дальнейшее проплавление твердой части материала (жидкая фаза).

3) Нагрев расплава, проплавление твердой части и начало интенсивного испарения и кипения материала (фаза испарения и кипения).

Рассматривается двухслойная система, образованная полупрозрачным слоем, нанесенным на слой металла. Соответствующим примером является система пленка-подложка используемая при лазерном легировании [6].

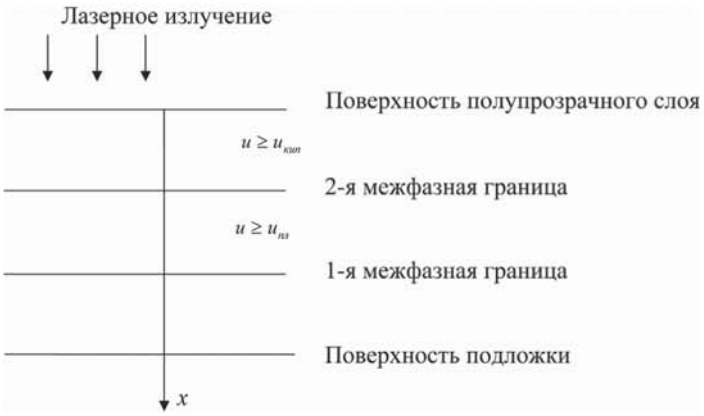


Рис. 1. Схема процессов при лазерном нагреве двухслойной среды

На первом этапе температура тела на поверхности изменяется от начальных значений порядка 300 К до температуры плавления (порядка 1500 К) и появления межфазной границы (фронта плавления). На этом первом этапе решается обычное уравнение теплопроводности для двухслойной среды:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_1^{(1)} c_1^{(1)} u_1^{(1)}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_1^{(1)} \frac{\partial u_1^{(1)}}{\partial x}\right) + q_1^{(1)}(x,t),$$

$$t > 0, \quad 0 < x < L_1, \qquad (1а)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_1^{(2)} c_1^{(2)} u_1^{(2)}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_1^{(2)} \frac{\partial u_1^{(2)}}{\partial x}\right) + q_1^{(2)}(x,t),$$

$$t > 0, \quad L_1 < x < L_1 + L_2, \qquad (1б)$$

с начальным условием:

$$u_1^{(i)}(x) = u_0, i = 1,2; \text{ при } t = 0, \quad 0 < x < L_1 + L_2, \qquad (2)$$

и граничными условиями:

$$-\lambda_1^{(1)} \frac{\partial u_1^{(1)}}{\partial x} = \sigma\left[(u_1^{(1)})^4 - u_0^4\right] + k_1^{(1)}(u_1^{(1)} - u_0) + q_{исп}^{(1)}\left(u_1^{(1)}\right),$$

$$x = 0, \qquad (3а)$$

$$\lambda_1^{(2)}\frac{\partial u_1^{(2)}}{\partial x}=\sigma\left[(u_1^{(2)})^4-u_0^4\right]+k_1^{(2)}(u_1^{(2)}-u_0)+q_{исп}^{(2)}\left(u_1^{(2)}\right),$$
$$x=L_1+L_2, \qquad (3б)$$

где индекс внизу относится к номеру фазы (1- твердая, 2 – жидкая), а индекс вверху – к номеру слоя (1 – полупрозрачный слой, 2 – металл); прочие обозначения (индексы для краткости опущены): c – удельная теплоемкость, ρ – плотность, λ – теплопроводность, u – температура материала; t – время, x – координата (абсцисса) точки, σ - постоянная Стефана-Больцмана, k – коэффициент конвективного теплообмена, q – удельная мощность лазерного нагрева.

Считается, что отражение от верхнего слоя отсутствует, а от подложки отражается r-тая часть излучения. Соответствующие плотности тепловыделения для верхнего слоя равны:

$$q_j^{(1)}(x,t)=A_0\left(e^{b_j^{(1)}x}+re^{b_j^{(1)}L_1}e^{b_j^{(1)}(L_1-x)}\right), j=1,2;\ A_0=W_0b_j^{(1)}/(S_0t_F),$$

где r – коэффициент отражения излучения, W_0 – энергия, а t_F – время импульса, S_0 – площадь основания луча; соответственно для нижнего слоя (подложки):

$$q_j^{(2)}(x,t)=A_0(1-r)e^{-b_j^{(1)}L_1-b_j^{(2)}(x-L_1)}, j=1,2;$$

На втором и третьем этапах решается система уравнений теплопроводности с учетом плавления и испарения (то есть многофазная задача Стефана) вида:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_1^{(1)}c_1^{(1)}u_1^{(1)}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_1^{(1)}\frac{\partial u_1^{(1)}}{\partial x}\right)+q_1^{(1)}(x,t),$$
$$t>0,\quad 0<x<x_{пл}^{(1)}(t), \qquad (4а)$$
$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_2^{(1)}c_2^{(1)}u_2^{(1)}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_2^{(1)}\frac{\partial u_2^{(1)}}{\partial x}\right)+q_2^{(1)}(x,t),$$
$$t>0,\quad x_{пл}^{(1)}(t)<x<L_1, \qquad (4б)$$

Для области подложки при отсутствии плавления справедливо уравнение (1б), а при наличии плавления имеет место система:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_2^{(2)}c_2^{(2)}u_2^{(2)}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_2^{(2)}\frac{\partial u_2^{(2)}}{\partial x}\right)+q_2^{(2)}(x,t),$$
$$t>0,\quad 0<x<x_{пл}^{(2)}(t), \qquad (4в)$$
$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_1^{(2)}c_1^{(2)}u_1^{(2)}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_1^{(2)}\frac{\partial u_1^{(2)}}{\partial x}\right)+q_1^{(2)}(x,t),$$
$$t>0,\quad x_{пл}^{(2)}(t)<x<L_1+L_2, \qquad (4г)$$

с начальными условиями $u_2=u_{пл}, u_1=u_0$, условиями на внешних границах двухслойной системы:

$$-\lambda_2^{(1)}\frac{\partial u_2^{(1)}}{\partial x}=\sigma\left[(u_2^{(1)})^4-u_0^4\right]+k_2^{(1)}(u_2^{(1)}-u_0)+q_{исп}^{(1)}\left(u_2^{(1)}\right),$$
$$x=0, \qquad (5а)$$
$$\lambda_1^{(2)}\frac{\partial u_1^{(2)}}{\partial x}=\sigma\left[(u_1^{(2)})^4-u_0^4\right]+k_1^{(2)}(u_1^{(2)}-u_0)+q_{исп}^{(2)}\left(u_1^{(2)}\right),$$
$$x=L_1+L_2, \qquad (5б)$$

условиями Стефана:

$$\lambda_1^{(i)}\frac{\partial u_1^{(i)}}{\partial x}-\lambda_2^{(i)}\frac{\partial u_2^{(i)}}{\partial x}=\rho_1^{(i)}r_{пл}^{(i)}\frac{dx_{пл}^{(i)}(t)}{dt},\ u_1^{(i)}=u_2^{(i)}=u_{пл}^{(i)},$$
$$x=x_{пл}^{(i)}(t), i=1,2; \qquad (5в)$$

и условиями сопряжения на границе слоев (нижние индексы i и j соответствуют имеющим место в рассматриваемый момент времени фазам):

$$\lambda_i^{(1)}\frac{\partial u_i^{(1)}}{\partial x}=\lambda_j^{(2)}\frac{\partial u_j^{(2)}}{\partial x},\ u_i^{(1)}=u_j^{(2)},\ x=L_1, \qquad (5г)$$

где априорно неизвестные функции $x=x_{пл}^{(i)}(t), i=1,2$ определяют положение границы плавления и находятся в процессе решения системы дифференциальных уравнений; $r_{пл}$ – скрытая теплота плавления; $q_{исп}$ – удельные потери на испарение с поверхности материала: $q_{исп}=\rho_2 r_{исп}v_{исп}$, где $r_{исп}$ – скрытая теплота испарения, $v_{исп}$ – скорость фронта испарения в вакуум, определялась уравнением Герца-Кнудсена:

$$v_{исп}=\sqrt{\frac{M}{2\pi Ru_S}}\frac{p_н(u_S)}{\rho_2},$$

где $p_н$ – давление насыщенного пара, соответствующее температуре поверхности $u_s = u(0,t)$, M – масса моля и R – газовая постоянная. Давление насыщенного пара получено из уравнения Клаузиуса-Клапейрона, которое интегрировалось в предположении независимости теплоты испарения $q_{исп}$ от температуры: $p_н(u_S)=p_0\exp\left(\frac{Mr_{исп}}{Ru_{кип}}-\frac{Mr_{исп}}{Ru_S}\right)$,

где p_0 – давление газа окружающей тело среды, $u_{кип}$ – температура кипения при давлении p_0. Толщина испаренного слоя $x_{исп}(t)$ определяется как интеграл: $x_{исп}(t)=\int_0^t v_{исп}dt$.

Метод решения

Для целей компьютерного моделирования применялся метод сквозного счета [9,10], основанный на преобразовании системы (4)-(5) к энтальпийному виду с сосредоточенной теплоемкостью:

$$\frac{\partial Q^{(i)}}{\partial t}=\frac{\partial^2\Lambda^{(i)}}{\partial x^2}+q^{(i)}(x,t), i=1,2;$$

где Q – энтальпия:

$$Q(u)=\int_{u_0}^{u}\rho(v)c(v)dv+\rho_1(u_{пл})r_{пл}1(u-u_{пл}),$$

$1(u)$ – единичная функция Хевисайда,

Λ – тепловой потенциал, $\Lambda(u)=\int_{u_0}^{u}\lambda(v)dv$,

при такой системе обозначений: $\lambda u_x=\Lambda_x$,

$$q(x,t)=\begin{cases}q_1(x,t), u\le u_{пл},\\ q_2(x,t), u>u_{пл}.\end{cases}$$

Конечно-разностный метод

Дифференциальные соотношения рассматриваемой краевой задачи приближенно заменяются системой конечно-разностных уравнений вида:

$$\frac{Q\left(u_i^{p+1}\right)-Q\left(u_i^{p}\right)}{\tau}=\frac{\Lambda\left(u_{i+1}^{p}\right)-2\Lambda\left(u_i^{p}\right)+\Lambda\left(u_{i-1}^{p}\right)}{h^2}+q\left(x_i,t_p\right), i=1,\dots,n-1; p=0,1,\dots;$$

где h – шаг по пространственной координате, $x_i = ih$; τ – шаг по времени, $t_p = p\tau$; p – номер временного слоя, i – номер узла сетки пространственной координаты; u_i^p – сеточная функция, $u_i^p \approx u(x_i, t_p), i = 0, \ldots, n; p = 0,1, \ldots$

Начальное условие запишется в виде:

$$u_i^0 = u_0, i = 0, \ldots, n.$$

Краевое условие на поверхности тела:

$$\frac{\Lambda(u_1^{p+1}) - \Lambda(u_0^{p+1})}{h} = \sigma\left((u_0^{p+1})^4 - (u_0)^4\right) + k(u_0^{p+1} - u_0) - q_{исп}(u_0^{p+1}), p = 0,1, \ldots; x_0 = 0.$$

По этому же принципу выписываются конечно-разностные аналоги условий сопряжения на границе слоев.

Необходимости формулировать в конечно-разностном виде краевые условия Стефана нет необходимости – в этом преимущество сквозного энтальпийного метода.

Значения шагов интегрирования выбираются исходя из требований точности конечно-разностного решения.

Конечно-разностный метод является явным и условно устойчивым. Устойчивость контролировалась при помощи известных условий для явных схем.

Для каждого внутреннего узла сетки система решалась методом Ньютона относительно сеточного значения энтальпии:

$$u_i^p = Q^{-1}(Q_i^p), i = 1, \ldots, n-1; p = 0,1, \ldots;$$

где Q^{-1} – функция, обратная к функции $Q(u)$, вычислялась методом Ньютона как решение нелинейного уравнения относительно y вида: $Q(y) = z$.

Контроль погрешности численного решения осуществлялся на основе сравнения с аналитическим решением для модельной задачи, а в остальных случаях по значениям теплового баланса (погрешности порядка 5%).

Результаты моделирования

В качестве конкретного примера рассматривалась система, в которой верхний слой состоял из кварца, а материалом подложки служило железо. Характерная длина поглощения энергии оптического диапазона для кварца равна около 50 $м^{-1}$, при температуропроводности $3 \ldots 6 \cdot 10^{-6}$ $м^2/с$; отражение от поверхности кварца считается равным нулю, а от подложки отражается 90% излучения, плотность излучения порядка 100 $дж/см^{-2}$ и выше. Температура окружающей систему среды равна 300 К.

Основные теплофизические параметры кварца, учитываемые в расчетах: плотность (при н. у.) – 2651 кг/мі температура плавления – 1610 К (в литературе есть данные около 1700 К); температура кипения – 2950 К; удельная теплота плавления – 142 кДж/кг; удельная теплота испарения – 11630 кДж/кг; теплоемкость при н.у. – 836 Дж/(кг·К); теплопроводность – (при 300 К) 7,2 Вт/(м·К); молярная масса – 60 г/моль, коэффициент внешнего теплообмена 10 Вт/($м^2$·К).

В качестве основного материала подложки рассмотрено железо. Материалы на основе железа – стали, являются наиболее употребительными из металлов как в промышленности в целом, так и в области лазерных технологий (например, сварка стальных пластин и т.п.). При этом железо характеризуется сильной нелинейностью теплофизических характеристик.

Основные теплофизические параметры железа, учитываемые в расчетах: плотность (при н. у.) – 7874 кг/мі; температура плавления – 1812 К (1538,85 °С); температура кипения – 3134 К; удельная теплота плавления – 247,1 кДж/кг; удельная теплота испарения - 6088 кДж/кг; теплоемкость при н.у. – 444 Дж/(кг·К); теплопроводность – (300 К) 80,4 Вт/(м·К); молярная масса – 55,847 г/моль, коэффициент внешнего теплообмена 50 Вт/($м^2$·К).

Удельная теплоемкость железа, как и любого другого элемента, определяется его структурой и изменяется в зависимости от температуры; среднее значение теплоемкости железа при 0-1000°С равно 640,57 Дж/(кг·К).

Зависимость теплоемкости железа от температуры характеризуется выраженной нелинейностью (http://steelcast.ru/iron_heat_capacity).

Таблица 1

Значения теплоемкости железа для различных интервалов температур

T, К	*T*, °С	Тип решетки	*C*, *кДж/(кг моль град)*	*C*, *кДж/(кг град)*
273...1033	0...760	б	17,50082 + 24,78586 10^{-3} T	0,31335 + 0,4438 10^{-3} T
1033...1181	760...908	в	37,6812	0,6747
1181...1674	908...1401	г	7,70371 + 19,51049 10^{-3} T	0,1397 + 0,3493 10^{-3} T
1674...1810	1401...1537	д	43,96140	0,7870
1810...1873	1537...1600	Жидкость	41,868	0,7495

На рис. 2 представлены в относительных единицах основные теплофизические параметры железа (*c* – теплоемкость, *Q* – энтальпия, *L* – тепловой потенциал, *l* – теплопроводность, *a* – температуропроводность).

В области фазового перехода характеристики железа претерпевают скачки. Плотность расплава железа при температуре 1535°С равна 6900 кг/мі, т.е. на 12% ниже, чем при н.у. Вблизи температуры плавления имеют место следующие скачки параметров железа: теплоемкость – от 450 до 710 Дж/(кг·К), теплопроводность – от 17 до 29 Вт/(м·К), температуропроводность примерно от $3 \cdot 10^{-6}$ до $8 \cdot 10^{-6}$ мі/с [8].

Характерный размер расчетной области, длительность и мощность излучения:

$$L_1 = 2 \text{ мм}; L_2 = 1 \text{ см}; \; W_0 = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}; t_F = 0{,}3 \text{ с}; b_1 = 50 \text{ м}^{-1}; b_2 = 10^6 \text{м}^{-1}.$$

Параметры конечно-разностного метода выбирались в соответствии с требованиями точности на основе сравнения с аналитическим решением и учета теплового баланса: n = 20-1000, $\tau = 10^{-4}$.

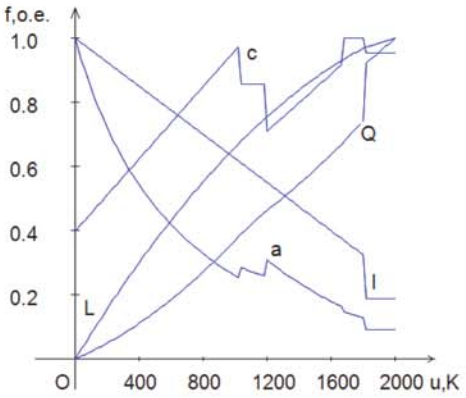


Рис. 2. Теплофизические параметры железа (в относительных единицах)

На рис. 3 представлены серии графиков температурного поля в зависимости от пространственной координаты (точнее от номера узла сетки) и выше записанных условий.

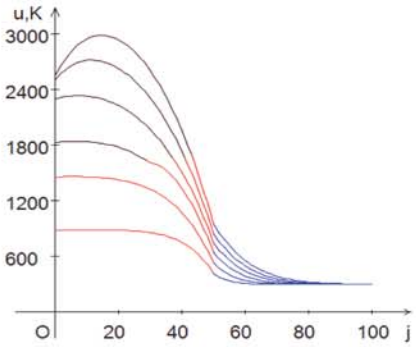


Рис. 3. Графики температурного поля (шаг по времени 0,05 с; n=50, $\tau = 10^{-4}$)

На рис. 4 представлены нормированные графики наибольшего значения температуры в слое кварца $u_{max}(t)$, значения температуры на поверхности этого слоя (исходные данные те же, что и для рис. 3): $u(0,t)$; координаты фронтов плавления $x_{пл1}(t)$ и испарения $x_{исп1}(t)$. Ступенчатый характер графика №3 связан со стефановской нелинейностью и погрешностью дискретизации. Наибольшие значения координат плавления и испарения: $x_{пл1}(t_F)$ = 1,7 мм; $x_{исп1}(t)$ = 0,02 мм. Графики $u_{max}(t)$, $x_{пл1}(t)$, $x_{исп1}(t)$ нормированы на единицу, а для графика $u(0,t)$ масштабом является наибольшее значение $u_{max}(t)$ при $t<t_F$.

Для случая инфракрасного диапазона кварц поглощает энергию излучения значительно больше, подобно металлам. На рис. 5 представлены аналогичные серии графиков температурного поля в зависимости от пространственной координаты (от номера узла сетки) для случая сильного поглощения (при тех же прочих исходных данных).

На рис. 6 представлены графики фронтов фазовых переходов для случая сильного поглощения. Наибольшие значения координат плавления и испарения: $x_{пл1}(t_F)$ = 1,9 мм; $x_{исп1}(t)$ = 1,7 мм.

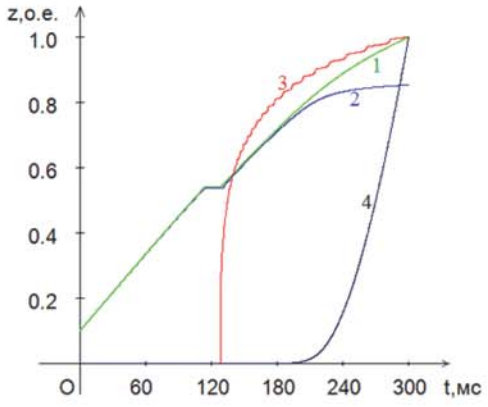


Рис. 4. Нормированные графики функций: 1 – $u_{max}(t)$, 2 - $u(0,t)$, 3 – $x_{пл1}(t)$, 4 - $x_{исп1}(t)$

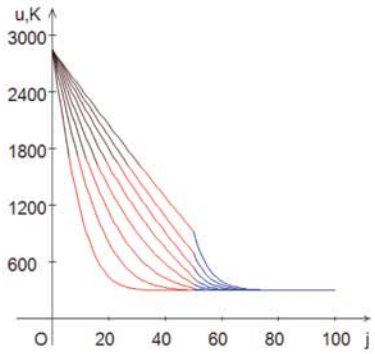


Рис. 5. Графики температурного поля в случае сильного поглощения (шаг по времени 0,025 с; n=50, $\tau = 5 \cdot 10^{-6}$ с)

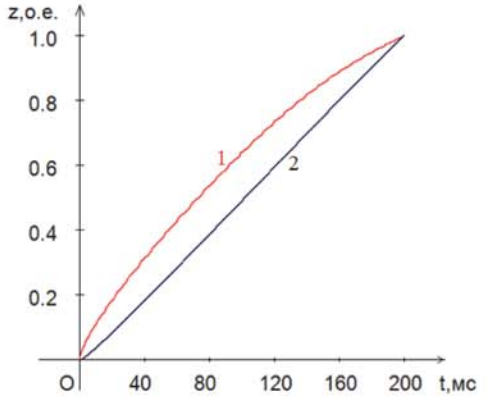


Рис. 6. Нормированные графики функций $x_{пл1}(t)$ (№1) и $x_{исп1}(t)$ (№2) в случае сильного поглощения

В общей доле потерь на охлаждение: потери на испарение составляют – от 0,1% (при температурах порядка 300-500 К) до 85% при более высоких температурах, для радиационного охлаждения - около 10-15%, потери для конвективного охлаждения составляют менее 1% и являются пренебрежимыми. По отношению к мощности нагрева потери на испарение составляют от 0,1% до 30%, для радиационного охлаждения – около 5%, относительный вклад конвективного охлаждения незначительный.

Выводы

Разработаны математическая модель, конечно-разностный метод и программы для ЭВМ, позволяющие эффективно осуществлять компьютерное моделирование теплофизических процессов при лазерном нагреве двухслойных систем.

Осуществлена серия расчетов для информативного случая слоев из кварца и железа, являющегося основой наиболее употребительного металла – стали. Исследовано влияние нелинейностей теплофизических параметров и фазовых переходов плавления и испарения на значения температурного поля при лазерном нагреве данной двухслойной системы.

Литература

1. *Руденко В.Н.* Изменение температуры среды под действием лазерного импульса // Оптика и спектроскопия, том 20, 1965. – С. 370-371.

2. *Слепцов С.Д.* Однофазная задача Стефана в слое полупрозрачной среды: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск. 2006. – 89 с.

3. *Кондратенко В.С., Борисовский В.Е.* Лазерная обработка кварцевого стекла. – М.: Изд. МГУПИ, 2011. – 157 с.

4. Лазерная резка стекла [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Справочно-информационный интернет-портал proceramic.ru, 2007. – Режим доступа: http://proceramic.ru/full/4699/laz ernaya_rezka_stekla, свободный. – Загл. с экрана.

5. *Шапеев В.П.* и др. Численное моделирование лазерной сварки стальных пластин // Физическая мезомеханика, № 2, т.14, 2011. – С. 107-114.

6. *Гусаров А.В., Марценюк Н.О., Смирнов А.Л., Фоминский В.Ю.* Моделирование температурных полей в металлах при наносекундном лазерном легировании // Сб. науч. статей «Научная сессия МИФИ-2002», т.4, 2002. – С. 172-173.

7. *Гусаров А.В.* Физические модели воздействия лазерного излучения на конденсированные вещества в лазерной технологии получения материалов: Автореф. дис. … доктора физ.-мат. наук. М., 2011. – 44 с.

8. Теплофизические свойства расплавов [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Справочно-информационный интернет-портал ebibl/umkd/Mamina, 2009. – Режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/Mamina/u_lectures.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

9. *Самарский А.А., Моисеенко Б.Д.* Экономичные разностные схемы решения задачи Стефана // Журнал вычислительной математики и математической физики, №6, т. 5, 1965. – С. 11-19.

10. *Будак Б.М., Соловьева Е.Н., Успенский А.Б.* Разностный метод со сглаживанием коэффициентов для решения задачи Стефана // Журнал вычислительной математики и математической физики, №5, т. 5, 1965. – С. 828-840.

CALCULATION OF THE TEMPERATURE FIELD IN THE EFFECTS OF RADIATION ON A TRANSLUCENT MEDIA BASED ON ENTHALPY METHOD

Robert V. Harutyunyan,

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Department of "Mathematical Analysis", Moscow, Russia, **Rob57@mail.ru**

Abstract. The paper studied the effect of nonlinearities and thermal parameters of the phase transitions of melting and evaporation, thermal processes during laser heating of translucent media on the example of a two-layer system of quartz-iron. The aim is to clarify the nature of the influence of nonlinear thermal parameters of phase transitions of melting and evaporation. In this article the results of research known laser heating of condensed matter developed by taking into account the nonlinearity of thermal characteristics of the material, phase transitions (melting, evaporation), radiative and convective cooling of the surface of the material in the case of translucent and dual-layer media such as Quartz metal. To solve the problem formulated a mathematical model, and developed finite-difference method and a computer program to effectively carry out computer simulations of thermal and electrical processes during laser irradiation as translucent and opaque on the environment. The solution of the Stefan problem is using through "enthalpy" method. Calculation of the electric field is carried out by Seidel iteration. Computer error is monitored by the heat balance and comparing the results of model problems. In the studied system, the two-layer substrate is a metal, in particular based – iron. As a result of studies found a significant effect of nonlinearities thermal parameters of phase transitions of melting and evaporation, the type of boundary conditions and geometry of the system to the values of the temperature field, while the impact of the loss to radiation and convection cooling is negligible. Two types of radiation range: the range of the optical radiation, for which quartz is translucent and metal – non-transparent and infrared radiation, in which quartz, as the metal is opaque. The study revealed the need to improve the enthalpy finite difference method for solving the Stefan problem in order to improve its accuracy, in particular in the calculation of the phase transition front. Of interest is a further detailed analysis of the thermal and electrical processes in the boiling point, determination of the degree of adequacy of model of quiet evaporation, additional accounting gas, hydro and electro factors.

Keywords: *laser heating, translucent medium temperature field simulation, the effect of thermal parameters.*

References

1. *Rudenko VN* Changing the temperature of the medium under the influence of the laser pulse // Optics and Spectroscopy, Volume 20, 1965. Pp. 370-371.
2. *SD Sleptsov* Phase Stefan problem in a layer of semitransparent medium: Dis. ... Cand. Sci. Sciences. Novosibirsk. 2006 - 89.
3. *Kondratenko VS, VE Borisov* Laser treatment of quartz glass. Moscow: Publishing House. MGUPI, 2011. 157 p.
4. Laser cutting glass [electronic resource] Electron. dan. Reference and information portal proceramic.ru, 2007. Access: http://proceramic.ru/full/4699/laz ernaya_rezka_stekla / free. Caps. from the screen.
5. *Shapeev VP* et al. Numerical simulation of laser-welded steel plates / Fiz, number 2, t.14, 2011. Pp. 107-114.
6. *AV Gusarov, Martsenyuk NO, AL Smirnov, VY Fominsk* Modelling of temperature fields in metals with a nanosecond laser alloying / Coll. scientific. articles "Scientific session of the MiFi 2002", v.4, 2002. Pp. 172-173.
7. *AV Gusarov* Physical models of laser irradiation on condensed matter in the laser technology of materials: Author. Dis. ... Dr. Sci. Sciences. Moscow, 2011. 44 p.
8. Thermal properties of melts [electronic resource] Electron. dan. Reference and information portal ebibl / umkd / Mamina, 2009. Access: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/Mamina/u_lectures.pdf, free. Caps. from the screen.
9. *Samara AA, BD Moiseenko* Efficient difference schemes for solving the problem of Stefan / Zh. Mat. and Math. nat., №6, v.5, 1965. Pp. 11-19.
10. *BM Budak, Soloviev EN, Assumption, AB* A difference method with smoothing coefficients for solving the Stefan problem // Journal calculated. Mathematics and Math. Physics, №5, v.5, 1965. Pp. 828-840.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАНЖИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Брицов Роман Алексеевич,
Российский университет дружбы народов, инженерный факультет, кафедра Инженерного бизнеса и управления предприятием, аспирант, Москва, Россия,
britsov@live.com

Ключевые слова: *рейтинговая система, рейтингование, ранжирование информации, система управления базами данных.*

Рассмотрены проблемы обработки информации, в частности, организации процедуры ранжирования с учетом поведенческого фактора пользователей. Изучение современных научных публикаций по вопросам, связанным с информационными технологиями, свидетельствует, что ключевой проблемой в данной сфере является необходимость организации высокоэффективного информационного поиска и ранжирования информации (Information Retrieval). Эти действия сопряжены с разработкой механизмов поиска данных в объемных информационных массивах, с обнаружением закономерностей для их структурирования, с построением алгоритмов ранжирования.

Предметом настоящей статьи является процедура ранжирования информационных данных с учетом поведенческого фактора пользователей. Ее цель заключается в анализе и совершенствовании теории компьютерных сетей посредством модернизации технологий ранжирования.

В процессе исследования были получены следующие результаты, имеющие научную новизну:
– модернизирован математический аппарат, предназначенный для ранжирования информационных данных с учетом предпочтений пользователей, имеющих схожие интересы;
– усовершенствованы процедуры поиска информационных данных в Интернете.

В процессе выполнения работы применялись элементы теории многокритериальной оптимизации, линейного математического программирования, дискретного программирования, теории вероятностей, комбинаторики.

Практическая ценность данной работы заключается в создании технологий, нацеленных на:
– разработку алгоритмов для обеспечения эффективного ранжирования;
– наращивание эффективности применения web-ресурсов в качестве рыночных инструментов;
– уменьшение издержек на конкурентную разведку у компаний, пользующихся Интернетом;
– улучшение качественных параметров поисковых процедур, за счет учета пользовательских предпочтений;
– повышение скорости информационного поиска с учетом пользовательского поведения;
– содействие поиску эффективных площадок для конкурентной разведки и рыночного продвижения;
– снижение трудоемкости поисковых операций и обработки первичных данных.

Для цитирования:
Брицов Р.А. Повышение качества информационного поиска за счет совершенствования ранжирования и использования особенностей поведения пользователей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 63-66.

For citation:
Britsov R.A. Improvement of quality of the information search based on ranking rationalization and users' behavioristic characteristics. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 63-66. (*in Russian*)

Современная глобальная сеть отличается повышенной информационная насыщенностью, что делает инструменты, отвечающие за обеспечение автоматизированного и качественного поиска информации, наиболее важными и незаменимыми. Разумеется, данный довод в большей мере касается крупных дата-центров, предназначенных для решения проблем информационного поиска и ранжирования информации на глобальных уровнях. Стремительное развитие Всемирной паутины, сопряженное с увеличением количества пользователей, нуждающихся в получении наиболее релевантной информации и постоянно растущими массивами данных, привело к тому, что поисковые задачи стали рассматриваться экспертами в качестве самостоятельной проблемной области. Можно даже сказать, что автоматизированный поиск информации – это основа информационного развития.

Информация, содержащаяся в хранилищах Интернета, имеет ценность только тогда, когда является легкодоступной для целевого пользователя и может интерпретироваться как форма знаний. Кроме того, качественная информация должна отвечать следующему ряду требований (табл. 1).

Таблица 1

Комплекс принципиальных требований к высококачественному информационному обеспечению

Принципиальные требования	Особенности реализации принципов
Полнота информации	Формирование исследовательских планов, уточнение сути явлений, их места в иерархической структуре
Актуальность информационных данных	Обеспечение представления достоверных данных в определенный момент времени
Цельность информационных данных	Обеспечение соответствия информационных сведений ключевой цели исследования
Достоверность информационных данных	Соответствие информационных данных научным принципам сбора, обработки и интерпретации
Информационное единство данных	Подчинение процессов сбора, обработки и интерпретации данных к единым правилам с целью выделения единого информационного пространства
Релевантность информационных данных	Получение сведений согласно заданному запросу
Полезность информационных данных	Получение информационных данных согласно культурным, образовательным, социальным, научным, рабочим и т.д. принципам

Поиск информации, отвечающей всему комплексу перечисленных требований, в настоящее время отличается высокой трудоемкостью, кроме того, он не всегда эффективен. Вместе с тем, формирование хранилищ информационных данных, которые характеризуются крупными габаритами, общедоступностью, постоянным обновлением, неоднородностью структуры, обусловило необходимость решения комплекса задач:

– совершенствования машин для поиска данных и навигации в Интернете (Google, Yandex, Yahoo, Bing, Rambler, Mail);

– разработки механизмов для быстрого и качественного поиска данных;

– выявления взаимосвязей между отдельными единицами информации.

Научные исследования в области обработки информации, и, в частности, в сфере организации процедуры ранжирования, по мнению многих авторов [3, 6, 8], способны обеспечить совершенствование компьютерных сетей и, как следствие, повышение эффективности информационного поиска и рейтингования. Возрастающий интерес к этой проблемной области определен тотальной информационной глобализацией.

Если отсутствует эффективное ранжирование информации, то утрачивается смысл результатов поиска, поскольку они могут содержать в таком случае тысячи неупорядоченных позиций. В настоящее время в качестве признаков, оказывающих воздействие на результаты рейтингования, следует выделить: статистическую величину, которая характеризует частоту отдельных ключевых слов (фраз), а также элементы, отражающие историю и географию запросов, ссылочную структуру сети Интернет, особенности пользовательского поведения.

Внедрение средств контентной аналитики и разработка эффективных алгоритмов, позволяющих точно и высококачественно ранжировать информацию различной направленности, сдерживаются, ввиду несоответствия теоретической проработки этой проблемы стремительно изменяющимся поисковым пользовательским потребностям, а также вследствие весьма низкого уровня применения математических механизмов. Ввиду наличия огромных объемов неупорядоченной информации в сети Интернет, ранжирование следует признать актуальной проблемой, очень трудоемкой в реализации.

Традиционно применяемые в области информационного поиска показатели, отражающие его полноту и достоверность (например, отношение количества релевантных данных в поисковых результатах к количеству релевантных (найденных) данных), субъективны. Это объясняется тем, что общее понятие «релевантность» нельзя признать строгим: степень релевантности определяется в соответствии с субъективной экспертной оценкой.

По этой причине качественное рейтингование требует поиска объективных количественных оценок эффективности применяемых методов информационного поиска и ранжирования. Данный подход соответствует общему тренду коммерциализации сети Интернет, проявляющемуся в исследованиях рынков, конкурентной разведке, сборе сведений о потребительских предпочтениях, распространении технической и маркетинговой информации.

При таких обстоятельствах сложно переоценить значение специального инструмента, который бы, помимо сохранения характеристик полноты и достоверности поисковой технологии, гарантировал учет опыта определенно-

го множества пользователей, имеющих интересы, схожие с интересами искателя. Наличие подобного инструмента позволило бы обеспечить качественное рейтингование информации, нарастить эффективность применения web-ресурсов в технологических и бизнес-процессах, уменьшить издержки компаний, пользующихся Интернетом, для целей конкурентной разведки.

Описание имеющейся проблемы. В популярных поисковых системах решение задачи учета опыта пользователей осуществляется посредством алгоритмов типа PageRank – метода определения веса web-страницы при помощи установления важности ссылок на нее. Однако использование данного алгоритма лишь в небольшой мере улучшает качество поисковых операций в сравнении с применением общепринятых критериев релевантности. Обозначим недостатки алгоритма типа PageRank:

– при осуществлении информационного поиска люди со схожими интересами, как правило, просто открывают документацию, имеющую высокий уровень «обычной» релевантности (выдаваемую в начальной части поисковых результатов), что не позволяет учесть наличие специального опыта;

– алгоритм PageRank отличается усреднением оценки соответствия поисковых итогов запросам;

– при запросе уникальных данных алгоритм PageRank снижает качественные показатели поисковых операций;

– имеет место вывод новых документов, не представленных значительным количеством гиперссылок, из зоны внимания искателей.

Ввиду наличия недостатков у существующих рейтинговых систем в части учета предпочтений пользователей со схожими интересами, требуется обеспечить их модернизацию.

Постановка рабочей задачи. Для целей исследования обозначим пользователей с интересами, схожими с интересами искателя и задающими в качестве поисковых запросов аналогичные ключевые фразы, термином «партнеры». Схожесть поисковых запросов «партнеров» позволяет предположить тождественность их культурных, образовательных, социальных, научных, рабочих и т.д. потенциалов с потенциалом искателя.

В настоящее время практическая реализация такого проекта, как рейтинговая система с учетом предпочтений «партнеров», не отличается эффективностью. По мнению ряда авторов [1, 7], причины подобного положения дел состоят:

– в наличии огромного количества источников информации в сети Интернет (объемы данных, применяемых в аналитической деятельности, достигают сотен терабайт);

– в предельной динамичности массива информации;

– в отсутствии профессиональных навыков информационных поисков у большинства пользователей;

– в отсутствии действенного инструмента, способного обеспечить учет предпочтений «партнеров» в процессе поиска информации.

Решение поставленной задачи. Качество математического инструмента, предназначенного для ранжирования информации с учетом предпочтений «партнеров», можно значительно улучшить за счет применения следующего наблюдения: все пользователи поисковых систем, обнаружив документацию, соответствующую их требованиям, прекращают поисковую операцию.

Как известно, предпочтения «партнеров» могут быть оценены посредством определения вероятности того, что по фразам из запроса конкретного искателя, его «партнеры» выбирают необходимую им информацию. Для установления величины этой вероятности осуществляется сбор статистики обращений к информационным сведениям. Ссылки на эти сведения присутствуют в итогах поиска. Просмотрев определенный объем информации, как правило, пользователи возвращаются к ссылкам на наиболее релевантные документы. Небольшая часть пользователей, при этом, оставляет открытыми окна с просмотренными документами. Данное наблюдение обуславливает возможность следующей коррекции.

Определение оценки релевантности «О» выполняется с учетом позиции открываемой пользователем документации в период поисковой операции (усреднение «У»), низкочастотной фильтрации (усреднение «Ф»), а также степени релевантности (в форме усреднения в течение временного периода «В», равного количеству периодов, в которых набирается число сессий «С»). При этом уменьшается степень зависимости релевантности от поведенческих особенностей пользователей.

Таким образом, коррекция выглядит следующим образом:

$$O = н_д / (Н_т * В) \Sigma (1 / С) \Sigma (м_{дс} / М_с), \quad (1)$$

где $н_д$ – число обращений к документации «д»; Д – общий объем документации, содержащий термин «т»; Т – общий объем терминов; $Н_т$ – общее число обращений к документации с запросами, включающими термин «т»; $М_с$ – число единиц документации, открытых в период сессии «с»; $м_{дс}$ – позиция открытого документа «д» с начала поисковой операции «с».

На рисунке 1 изображена иерархия элементов, составляющих разработанный критерий релевантности.

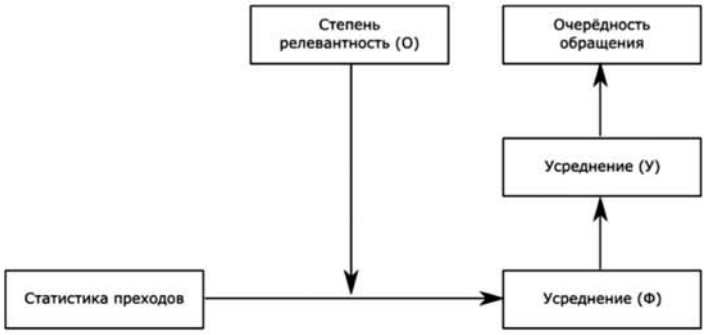


Рис. 1. Иерархия элементов, составляющих критерий релевантности, который учитывает статистику переходов и пользовательское поведение

Предлагаемое решение, подлежащее применению на практике, обеспечивает:

– сглаживание недостатков традиционных методов, снижающих эффективность ранжирования информации;

– отображение с высокой степенью достоверности предпочтений «партнеров», как среди результатов выдачи, так и среди подмножеств просмотренных «партнерами» документов;

– улучшение качественных показателей поисковых операций в сети Интернет, за счет усиления их индивидуализации (настраивания на пользовательские предпочтения);

– формирование серьезного базиса для повышения точности и оперативности информационного поиска с учетом статистики переходов и пользовательского поведения;

– содействие поиску эффективных площадок для конкурентной разведки и рыночного продвижения;

– снижение трудоемкости поисковых операций и, как следствие, сокращение расходов организаций, пользующихся Интернетом;

– рост эффективности использования web-ресурсов как рыночных инструментов.

В данном исследовании был модернизирован инструмент, предназначенный для ранжирования информации с учетом предпочтений «партнеров», выявлены преимущества усовершенствованного инструмента.

В результате проведенной работы был сделан вывод о возможности его использования на практике для построения эффективной системы управления базами данных.

Литература

1. *Адамович И.М., Заикин М.Ю., Земсков Д.В., Пешков А.Н.* Поиск информации в WEB. Сравнительная оценка поисковых машин. Системы и средства информатики. 2003, №13.
2. *Балдин К.В., Уткин В.Б.* Информационные системы в экономике: Учебник, – М.: Дашков и Ко, 2008. – 395 с.
3. *Браславский П., Колычев И.* eXtragon: экспериментальная система для автоматического реферирования веб-документов //Труды РОМИП-2005. СПб., 2005. С. 40-53.
4. *Брицов Р.А.* Ранжирование информации на основе оценок и поведения пользователей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №1. – С. 62-66.
5. *Заикин Д.А.* Построение словарей терминов для предметных областей // Труды Казанской школы по компьютерной и когнитивной лингвистике TEL-2009. – Казань: Отечество, 2010. – С. 71-76.
6. *Зорина Т.Ю., Чернышева Т.Ю.* Проблемы, возникающие при выборе информационных систем и методы их решения // Математика в естественнонаучных исследованиях: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 9-10 Октября 2014. – Томск: ТПУ, 2014. – С. 224-227.
7. *Касумов В.А.* Методы информационного поиска в Internet на основе нечётких отношений предпочтений. Автоматика и вычислительная техника. 2003, №4. с. 71-78
8. *Gantz, J and Reinsel, R* 2013. 'The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East', IDC Country Brief.

IMPROVEMENT OF QUALITY OF THE INFORMATION SEARCH BASED ON RANKING RATIONALIZATION AND USERS' BEHAVIORISTIC CHARACTERISTICS

Roman Britsov,

aspirant, Department of Department of Engineering Business and Enterprise Management, Engineering faculty, People's Friendship University of Russia, Moscow, Russia, **britsov@live.com**

Abstract. The article considers the problem of information processing, in particular, the organization of ranking procedure based on behavioral factor of users. The study of modern scientific publications on issues related to information technology indicates that the key problem in this area is the need to organize a highly efficient information retrieval and ranking of information. These actions are associated with the development of data retrieval mechanisms in the volume of information arrays with the discovery of regularities for their structuring and with the construction of the ranking algorithms. The subject of this article is a ranking information procedure based on the behavioral factor of users. Its purpose is to analyze and improve the theory of computer networks by upgrading the ranking technologies. The study has the following results having scientific novelty: upgraded mathematical tool designed to rank information data based on users' preferences with similar interests; improved data retrieval procedures on the Internet.

During the research, we applied the elements of multi-criteria optimization theory, linear mathematical programming, discrete programming, probability theory, and combinatorics. The practical value of this work is to create technologies aimed at: development of algorithms for the effective ranking; enhancing the efficiency of web-resources as market-based instruments; reduction in costs for competitive intelligence of companies that use the Internet; improving the quality parameters of the search procedures by taking into account the user preferences; increasing the speed of information retrieval based on user behavior; facilitating the search for effective platforms for competitive intelligence and market promotion; decreasing the complexity of search operations and processing of primary data.

Keywords: *rating system, data ranking, data management, database management system.*

References

1. *Adamovich I.M., Zaikin M.Y., Zemskov D.V., Peshkov A.N.* "Web Search", Search Engines Comparative Evaluation. Systems and Means of Informatics, 2003, № 13. (*in Russian*)
2. *Baldin K.V., Utkin V.B.* "Economics & Information Systems. Manual", Moscow: Dashkov & Co., 2008, 395 p. (*in Russian*)
3. *Britsov R.A.* Ranking Data Based on Users' Marks and Behavior. T-Comm. 2016. Vol 10. No.1, pp. 62-66. (*in Russian*)
4. *Braslavski P., Kolychev I.* eXtragon: Experimental System for Machine Abstracting of Web Documents //Writing of ROMIP-2005. SPb., 2005. pp. 40-53. (*in Russian*)
5. *Zaikin D.Y.* "Building Dictionary of Terms for the Given Domain", Writing of Kazan School of Computer and Cognitive Linguistics TEL-2009, Kazan: Otechestvo, 2010, pp. 71-76. (in Russian)
6. Solution", Mathematic in Natural Sciences Research: The All-Russian Scientific-Practical Conference of Young Scientists, Candidates and Students, Yurga, Tomsk: TPU, 2014, pp. 224-227. (in Russian)
7. *Kasumov V.A.*, Internet Search Methods based on Fuzzy Preference Relations. Automatics and Computers, 2003, №4, pp. 71-78. (*in Russian*)
8. *Gantz, J and Reinsel, R* 2013. 'The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East', IDC Country Brief.

СТЛ

Системы транспорта и логистики

10–13 мая 2016

ТПП РФ

ufi Approved Event

22-я международная выставка транспортных технологий, логистических решений, сервиса и складских систем

12+

www.stl-expo.ru

Организатор:

ЭКСПОЦЕНТР МОСКВА

При поддержке:
· Министерства транспорта РФ
· Министерства промышленности и торговли РФ
Под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ

123100, Россия, Москва, Краснопресненская наб., 14, ЦВК «Экспоцентр»
www.expocentr.ru

CLASSIFICATION OF ACTIVITIES IN INNOVATIVE INDUSTRY OF INFORMATION SECURITY

Alexander Kubankov,
Honoured Communications Worker of the Russian Federation?
Doctor of Military Science, Professor,
Moscow Technical University of Communication and Informatics,
Moscow, Russia,
kan1999@rambler.ru

Keywords: *innovative industry, info-communications, information security, classification of activities, industry regulation.*

At the early 21st century, the mankind has been developing new activity, rather special, although connected to other activities; that has been upgraded to the innovative industry of delivering information security (InfoSec). There are plenty of studies on various aspects of the InfoSec industry [e.g. 1, 2, 3].
However, the complex of kinds and species of activities, that this industry consists of, has not been generally-accepted described. At the moment, the National Classification [4] does not describe activities in new industry. Meanwhile, it is essential for each study on each industry to outline general activities that specify and distinguish such industry.
The article presents classification of activities in innovative industry of information security. It's proposed to distinguish activities on core business, on regulation of the industry and on support for industry. 29 activities are classified. This classification allows to describe the functional aspects of the information security industry.

Для цитирования:
Кубанков А.Н. Классификация видов деятельности в инновационной отрасли информационной безопасности // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 68-70.

For citation:
Kubankov A.N. Classification of activities in innovative industry of information security. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 68-70. (*in Russian*)

The purpose of this article is to determine basic activities in the InfoSec industry and to classify ones.

Generally, activities can be subdivided into activities on core business, on industry regulation and on support for industry. (Fig. 1).

In the InfoSec industry the core business includes analytic work, production of means of information protection and current operational activity on delivering InfoSec. Analytical work is clearly differentiated to the study on information security threats and research on vulnerabilities in protected information complexes. Since threats can be originated both by foreign intelligence and by criminal structures, research of treaties is special for each possible case. Further details are presented in the chart below.

Chart 1

Classification of InfoSec activities

I. Core Business		
1. Analytic work		
	1.1. Research on InfoSec treaties	1.1.1. Study on sights and capabilities of foreign intelligence services in information warfare 1.1.1.1. Analysis of the doctrinal sights of foreign secret services on informational warfare 1.1.1.2. Research on practices of foreign intelligence services in informational warfare 1.1.1.3. Analysis of the technical capabilities of foreign intelligence services to conduct informational warfare
		1.1.2. Research on criminality 1.1.2.1. Analysis of criminal business in illegal access, theft, sale, usage and other manipulations with information in the InfoSec industry 1.1.2.2. Research on technical means of delivering criminal business 1.1.2.3. Criminological analysis (type of crime, typical criminal, typical methods of crime, etc.)
	1.2. Research on information vulnerabilities in information complexes	1.2.1. Analysis of the value of the protected information assets and systems 1.2.2. Testing InfoSec for vulnerabilities. Risk and possible damage assessment. 1.2.3. Substantiating recommendations on eliminating vulnerabilities in InfoSec
2. Production of the means of information protection		
	2.1. Production of measuring instruments and analyzers (to support identification of vulnerabilities, undeclared capabilities and QA of InfoSec protection)	2.1.1. Tools for identification of undeclared capabilities 2.1.2. Tools for testing infocommunications on identifying vulnerabilities 2.1.3. Tools for risk assessment and risk management
	2.2. Production of standard means of information protection, built in protected system	
	2.3. Production of standalone means of information protection	
3. Current operational activity on delivery of InfoSec		
	3.1. Rendering services on delivery of InfoSec	3.1.1. InfoSec audit 3.1.2. Design of organizational and technical systems (solutions) for InfoSec delivery 3.1.3. Mount, testing and commissioning of systems (means) of information protection
	3.2. Maintaining systems of InfoSec delivery	3.2.1. Testing and setting up the systems 3.2.2. Applying systems on practice 3.2.3. Work with claims
II. Regulation of the InfoSec Industry		
4. Legislation		
	4.1. Development of legislation in InfoSec	
	4.2. Standartization in information security	4.2.1. Aligning international, federal and industry-specific technical laws 4.2.2. Forming ideal-satisfying image of the product (service)
	4.3. Law enforcement in the InfoSec field	
5. Permitting		
	5.1. Cerification in the InfoSec field	
	5.2. Licensing in the InfoSec field	
	5.3. Supervisory and control activities in the InfoSec field	
III. Support for the Industry		
6. Economical support		
	6.1. Maintaining of InfoSec delivery market	
	6.2. Appraisal activity in terms of: Value of protected item—risk—Secure—Price of protection.	
7. Industry-specific education		
	7.1. Organizing educational programs	
	7.2. Methodological work	

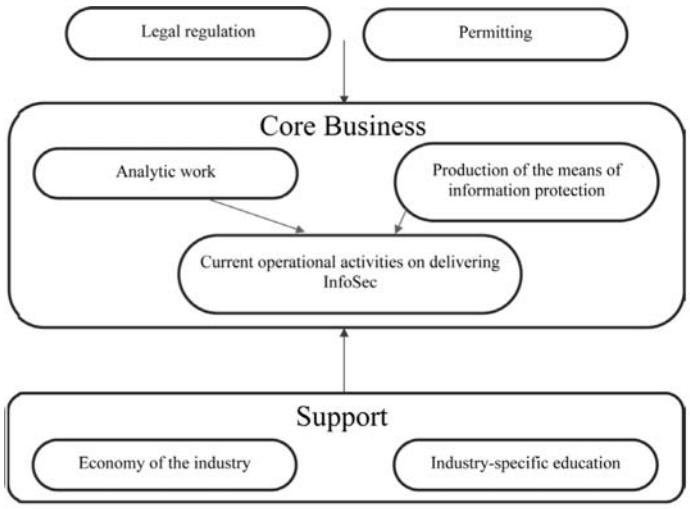


Fig. 1. Activities in the InfoSec Industry

Production of means of InfoSec can be divided into production of production of measuring instruments and analyzers (to support identification of vulnerabilities, undeclared capabilities and QA of InfoSec protection); production of standard means of information protection, built in protected system; production of standalone means of information protection [e.g. 5,6,7]. Current operational activity on delivering InfoSec includes rendering services on delivery of InfoSec and maintaining systems of InfoSec delivery.

Regulation of the InfoSec industry includes legislation and permitting.

Support for the industry includes economical educational support.

This classification of activities in the InfoSec industry is an attempt to structure the InfoSec industry. It allows to precise the scope of new activity that includes legislation, services, application, private business, public-private partnership in delivering information security of infocommunication.

References

1. *Matveev V.A., Zirlov V.L.* Status and prospectives of development of the industry of information security in the Russian Federation in 2014 .// *Voprosy Cyberbezopasnosti* [Cypersecurity Issues]. - 2013, № 1. – p. 61-53.

2. *Khairetdinov R.* Trends of information security market in 2015. // *Zashchita bezopasnosti. Inside.* [Information Security. Inside]. - 2015, № 2. – Pp. 76-77.

3. *Tsukanova O.A., Smirnov S.B.* Economics of information security, Textbook. – St Petersburg, ITMO, 2014. – p. 79.

4. National Classification of Economic Activities NACE-2. rev. as of 05.26.2015.

5. *Gazov E.V., Kubankov A.N., Tikhonov S.S.* Platforms for the creation of new automated systems for measuring parameters of radio communications with advanced features // *Specialnaya technika* [Special equipment]. - 2009, № 6. – Pp. 26-30.

6. *Nikolaev D.B., Martynov A.P., Fomchenko V.N.* Technical means and methods of information security: Textbook. – Sarov: RFNC, 2015.

7. *Sidorova M., Rodygin E.* The problem of selecting means of information protection for virtualized infrastructures. – St. Petersburg: RISSPA, 2013. http://www.risspa.ru/sites/g/files/g771341/f/files/RISSPA_Проблема%20выбора%20СЗИ%20для%20виртуализированных%20инфраструктур.pdf (rus)

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ИННОВАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кубанков Александр Николаевич,
заслуженный работник связи Российской Федерации, доктор военных наук, профессор, Московский технический университет связи и информатики, Российская академия ракетно-артиллерийских наук, Москва, Россия, **kan1999@rambler.ru**

Аннотация
Выполнена классификация видов деятельности в инновационной отрасли информационной безопасности. Предложено разделять виды деятельности на сферу основной деятельности, сферу регулирования отрасли и сферу обеспечения отрасли. Классифицированы 29 видов деятельности. Классификация позволяет описать функциональные аспекты отрасли информационной безопасности.

Ключевые слова. *Инновационная отрасль, инфокоммуникации, информационная безопасность, классификация деятельности. Регулирование отрасли.*

Литература

1. *Матвеев В.А., Цирлов В.Л.* Состояние и перспективы развития индустрии информационной безопасности Российской Федерации в 2014 г. // Вопросы кибербезопасности. 2013, № 1. С. 61-53.
2. *Хайретдинов Р.* Тенденции рынка информационной безопасности в 2015 году // Защита информации. Инсайд. 2015, № 2. С. 76-77.
3. *Цуканова О.А., Смирнов С.Б.* Экономика защиты информации: учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2014. – 79 с.
4. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности ОКВЭД-2. Ред. от 26.05.2015.
5. *Газов Е.В., Кубанков А.Н., Тихонов С.С.* Платформы для создания новых автоматизированных систем измерения параметров средств радиосвязи с расширенными возможностями // Специальная техника. 2009, № 6. С. 26-30.
6. *Николаев Д.Б., Мартынов А.П., Фомченко В.Н.* Технические средства и методы обеспечения безопасности информации: учеб. пособие. Саров: РФЯЦ, 2015.
7. *Сидорова М., Родыгин Е.* Проблема выбора средств защиты информации для виртуализированных инфраструктур. СПб: RISSPA, 2013. http://www.risspa.ru/sites/g/files/g771341/f/files/RISSPA_Проблема%20выбора%20СЗИ%20для%20виртуализированных%20инфраструктур.pdf.

TELECOMMUNICATIONS AND OPTICS IN HISTORICAL ASPECT

Adzhemov Artem Sergeevich,
Ph.D., Professor, Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia,
mtuci@mtuci.ru

Khromoy Boris Petrovich,
Ph.D., Professor, Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia

Keywords: *fiber-optic, history of telecommunications,*

Wide application of fiber-optic communication systems is considered a major achievement of science and technology over the past decade. The same time it is believed that the historical aspect is a natural process of development of communication, because for a century mankind has mastered all of the higher frequency band of radio waves, and finally mastered the optical range. In fact, the history of communication covers a much larger period of time, and its beginning is connected with the optical range.
Development of television equipment gave impetus to the development of electron optics. Electron optics – the branch of physics that studies the laws of propagation of beams of charged particles – electrons and ions – in magnetic and electric fields and issues of focus, tilt, and imaging. The development of electron optics began with the study of cathode rays by means of which was obtained shadow image of the object, indicate that the nature of their distribution is similar to the propagation of light beams in geometrical optics. Image shift caused by a magnetic field showed that the cathode rays are a stream of charged particles
Electron optics together with the use of an electric field also uses the magnetic field. Widely used device which bears the name of the magnetic lens. The magnetic lens is typically a solenoid with a strong magnetic field, coaxial with the electron beam. In order to concentrate the magnetic field on the axis of symmetry, the solenoid is placed in a steel casing with a narrow inner annular slit. If a divergent beam of charged particles falls in a uniform magnetic field, directed along the beam axis, the velocity of each particle can be decomposed into two components: the transverse and longitudinal. In summary, it can be concluded that the combination of scientific advances optical communications and has revolutionized the modern system of information communications.

Для цитирования:
Аджемов А.С., Хромой Б.П. Электросвязь и оптика в историческом плане // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №2. – С. 71-79.

For citation:
Adzhemov A.S., Khromoy B.P. Telecommunications and optics in historical aspect. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.2, pp. 71-79. (*in Russian*).

The oldest and most common mode of transmission of information to almost the first half of the XIX century was the way, based on the use of light signals. Also used special devices with moving parts, the different relative positions of which were symbols. But the symbols were perceived at a distance the human eye and, therefore, transferred to the light range.

In accordance with the modern terminology these ancient devices can be called "optical telegraph". The ancient optical telegraph – it fires, torches, semaphores. One of the oldest types of such means of communication describes the ancient Greek military commander and scientist Polybius (201-120 gg. BC.E.), in his "General History". The ancient Greek poet Aeschylus (525-456 gg. BC. E.) in his tragedy "Agamemnon" describes how many centuries BC, with the help of the fires through a series of waypoints it was transferred to the news from Asia Minor in the Mycenaean castle of the capture of the Greeks of the legendary Troy. In Russia, in the ancient times it was also used to signal fires, which are reported, for example, about the invasion of the enemy.

In the historical literature suggests that the Tower of Babel could be used for optical telegraphy. The Chinese for the same purpose were lit bright lights on towers located along the Great Wall of China. This method of transmission of news through the lights, and later used in the majority of savage peoples, especially in Africa.

Much later it becomes more perfect telegraphs where symbols are not transmitted by means of light sources and beams, sent from one place to another and through special arrangements with moving parts in the form of lines or circles that are visible from a distance. The first inventor of the optical telegraph of this kind is considered to be a well-known English scientist Robert Hooke, who not only invented, but also built a signaling device, which was demonstrated in their 1684. Then the Frenchman G. Amontons in 1702 arranged for the optical telegraph with movable slats, which he showed in action at the court.

In the XVIII century, the optical telegraph used very intensively. In 1778, to establish communications between the Paris and Greenwich Observatory was arranged optical telegraph that used lights. A variation of the optical telegraph in XIX appeared "helio", which was widely used in the military. The main part of the heliograph was a mirror through which light beams were directed to a place where there was another such mirror. Symbols formed a short turn mirrors into one or the other side. Under favorable weather conditions such signs could be transmitted to a distance of 65 km. At night, in the moonlight, this distance is reduced to 15 km, and the illuminated lamps up to 5 km.

The simplicity of the device and installation, lightness, cheapness heliographs mirror, made their use feasible for military purposes. Is used in the army, mainly in the military courts, and more sophisticated signaling devices with strong electric lights – spotlights. To direct rays voltaic arc parallel beam used in them and spherical or parabolic mirrors and a variety of glass lenses. The improvement spotlights attended S. Mangin, P. Lemone, V.N.Chikolev, V. Siemens and particularly J. Schuckert.

Optichesky Telegraph - as the fastest means of communication even at the end of the XIX century, was invented in 1780 in France, Claude Chappe. But in 1792, the instrument was improved K. Sharpe and his brother, and was presented to the National Convention they called semaphore (vector characters).

The first line of the system was built in 1794 and connecting Paris and Lille. The first notice on it has been received on September 1 of the capture of the French on the same day in the morning city Conde Austrians. Over 225 km were built 22 stations. For transmission of one sign thus required 2 minutes. Soon there were others built the line, and the system Chappe brothers wide use. His military victories Napoleon I obliged many optical telegraph, by which he was able to quickly transfer their orders for long distances.

Despite the shortcomings of optical telegraphy, which consist mainly in its dependence on the weather, it is actively used almost to the middle of the XIX century in Russia – before the start of the 1860s.

In Spain, the first in the line of optical telegraph was built in 1798 the Spaniard A. Betancourt. She has joined Cadiz and Madrid. Betancourt has used its own system of optical communication, later recognized the best in Europe. Later A. Betancourt moved to Russia and was a prominent Russian statesman and scholar, lieutenant-general in the Russian service, an architect, a builder, a mechanical engineer and organizer of the transport system of the Russian Empire.

In the Russian Empire I.P. Kulibin in 1794 was invented and built «dalneizveschayuschaya Machine" is an optical semaphore in which he, in addition to mirrors, used a lantern they invented a reflecting mirror. This allows you to build intermediate stations at greater distances and use the telegraph, and day and night, even in a small fog. Frame semaphore Kulibin was used T-French, but it was invented by an ingenious drive mechanism to move the frame, and a new simplified code. Kulibin code tabulated by which accelerated the transfer and decoding of signals. Kulibin invention had the effect, but the money for the construction of telegraph lines in the Academy of Sciences has not been. After the demonstration, the machine Kulibin was deposited in a museum.

In 1824, it was built Russia's first line of optical telegraph between St. Petersburg and Shlisselburg on which transmitted information on the navigation on the Neva River and Lake Ladoga. It was based system A. Betancourt, received by the time the big distribution.

The development of optical communication in St. Petersburg was very slow: only in 1833 was opened on the second line of Petersburg – Kronstadt, which went through Strelna and Oranienbaum. By 1835 this line were added two more: St. Petersburg – Tsarskoye Selo and St. Petersburg – Gatchina. Nicholas I could without of his working cabinet, to give orders to the fleet using the telegraph, which he put into action. This is described in detail in the book of Custine "Russia in 1839".

In the reign of Nicholas I, it was created by a special committee in the Ministry of War to consider the proposed for use in the Russian optical telegraph. From 1827 to 1833

The Committee considered a number of projects of Russian and foreign inventors: Captain – Lieutenant Chistyakov, merchant Schegorina, General Karbonera, Ferrier, Leroux, Tonel, Chateau, Ganon, and others. For buildings in Russia have chosen the optical telegraph, developed by a former employee Karl Shappo engineer Jacques Chateau. In Russia, he was called Peter. The design of its telegraph was much simpler than that of C. Chappe.

Chateau has developed not only the construction of the telegraph, and the codebook for the compilation of messages, as well as the "Regulation on the Kronstadt telegraphic lines", "Charter telegraphic Signalist." The Charter was published in St. Petersburg in the military printing house in 1835.

The world's longest line optical telegraph Petersburg (Winter Palace) – Warsaw was built in the years 1835-1838 and was inaugurated December 20, 1839. The nearest station of the Winter Palace was the place of modern metro station "Institute of Technology". The length of the lines was 1200 km, it served 1904 man. To transmit signals used by 149 towers built by "His Majesty the approved" pattern and having a height of 21.5 m. The message from the Winter Palace in Warsaw came to an average of 20 minutes. To prepare telegraph serving line optical telegraph in 1840 opened a "constant signal school."

Original station in St. Petersburg, located in a small hexagonal turret topped with gilded ball and situated on the western fasade of the Winter Palace. The tower was built by the architect LI Charlemagne in 1835 and was intended to contain the optical (semaphore) telegraph.

Prior to her almost at the same place, but at the corner of the palace, overlooking the Neva River, was a wooden "telegraphic house" with a gable roof, where he worked first optical telegraph in 1833. From this "house" ran a telegraph line connecting St. Petersburg to Kronstadt.

Optical telegraph could use ordinary citizens. You could send a "optical" telegram to Gatchina or Vilna – they took in the "telegraphic house" in the tower of the City Council. But as soon as it is quite expensive, and the popularity of the townspeople this type of communication is not received. In addition, it is strongly dependent on the weather.

In the library of the Central Museum of Communications Popov, founded as a telegraph museum in 1872 at the initiative of the director of the Telegraph Department Charles Luders are telegraphic Signalist Charter, Writer Peter Chateau and Concise Dictionary for Kronstadt telegraphic line 1837. These documents can form a complete picture of how to create and extend the telegraph line of message. At intermediate towers – stations in a special "Signalist" recorded all received and transmitted signals further with the time of transmission and its family. The contents of the message he did not know. It should be noted that the Central Museum of Communications Popov – one of the oldest science and technology museums in the world.

The optical telegraph quickly gained popularity. In the first quarter of the XIX century there were semaphore telegraph line in many European countries and in America, Algeria, Egypt and India. It is a vivid description of the optical telegraph left us in the novel by Alexandre Dumas' The Count of Monte Cristo. "

Optical Telegraph lost its relevance in the early 1850s, with the introduction of the electric telegraph. In Russia in 1852, it was built by the electric telegraph line between St. Petersburg and Moscow, while the optical telegraph line Petersburg – Warsaw for some time continued to operate. In 1854, the Russian optical telegraph ceased to exist.

Despite the introduction of the electric telegraph, optical telegraph remained popular in the Navy. Optical semaphore Navy was one of the most basic forms of communication between ships. At the end of the XIX and early XX century, with the advent of autonomous power in the optical telegraph began to use electric lights, which made it possible to develop a light alphabet.

Optical semaphore at the end of the XIX century and has been applied on the railway. Railway semaphore alphabet at first was not very complicated, but over the years the need for it grew and led to the development of its own system of light signals.

Saving optical methods for transmitting signals in the fleet and rail due to the fact that in these areas there was no opportunity to transmit electrical signals through the wires.

It should be noted another important property of optical method of information transfer – the ability to receive the signal visually. It is in some cases is important, even if the original information is transmitted over the wire. With the development of road transport there was a kind of simplified optical semaphore – a traffic light.

The loss of relevance of the optical telegraph in 1854 in Russia had a good reason. In 1800, an Italian scientist, physicist, chemist and physiologist Alessandro Volta created the world's first chemical current source "Voltaic pile." Starting from 1800, it became possible to produce electricity through chemical reactions. This invention has had a tremendous impact not only on the development of the science of electricity, but also in the entire history of human civilization.

After the invention of the electrochemical A. Volta took only two years and in 1802 Vasily Vladimirovich Petrov (1761-1834) – Russian experimental physicist, electrical engineer, academician of the Petersburg Academy of Sciences created a current source "Voltaic pile" with electromotive force of about 1700 V. In 1803, Vladimir Petrov published the book "Proceedings of Galvani – volt experiments ...", which describes a method for the manufacture of the voltaic pile, the phenomenon of the electric arc and the possibility of its application to lighting, electric welding and electric brazing metal.

It is obvious that the invention of the electrochemical cell was of paramount importance. Until then studied fixed electric charges, i.e. there was only electrostatics. With the receipt of the current began to develop electrodynamics. In the experiment, Oersted accidentally discovered the effect of the current flowing through the metal wire in the position of a magnetic compass. Before that, it was believed that the electrical and magnetic phenomena are completely independent.

The phenomenon discovered by Oersted interested in the English scientist Michael Faraday. Having started work in

this direction in 1822, it is only in 1831, found a solution to the problem, discovering electromagnetic induction. Already in 1832, for the discovery of Faraday induction was awarded the Copley Medal. In 1845 Michael Faraday introduced the concept of "electromagnetic field".

Scientific achievements Faraday aroused great interest in the scientific world. Already in 1831, the American scientist Joseph Henry established for Yale College large electromagnet with a pull of 1,000 kg (at the present time it is stored in the Smithsonian Institution in Washington, DC).The properties of the electromagnet, as a mechanical Executive the device, led to the idea of constructing the electromagnetic telegraph.

At December 14, 1846 a young German scientist Ernst Werner von Siemens (1816-1892) in a letter informs the relatives: "I am now almost decided to elect a permanent career in the Telegraph ... Telegraphy become self-important an industry equipment, and I feel called upon to play a role organizer ".

October 1, 1847, Siemens together with the mechanic Halske founded by telegraph – construction firm Telegraphenbauanstalt Siemens & Halske (S & H). In 1849 the firm S & H built the first telegraph line in Germany Berlin – Frankfurt-on-Main.

Siemens also improved Telegraph arrow Wheatstone-Cooke, for which the First International Industrial Exhibition in England (1851) was awarded one of the highest awards.

Since 1853 the Firm S & H perform construction of several telegraph lines in Russia, connect Saint-Petersburg to Kronstadt, Helsingfors, Warsaw, Riga, Revel, and took over their maintenance.

It should be noted that on build the constructing the electromagnetic telegraph worked successfully in Russia B.S. Jacobi. In 1839 he invented the electromagnetic telegraph transmission with the fixation of the text, in 1842 invented the electromagnetic telegraph an arrow, in 1850 the world's first direct-printing the electromagnetic telegraph. In 1843 BS Jacobi built a telegraph line length of 25 km between St. Petersburg and Tsarskoye Selo.

The rapid development of a new type of telegraphy was caused by the significant advantages of the electric telegraph to the optical. These include high-speed signal transmission, no intermediate stations served by the ability to record and transmit information.There was also another reason for the intensive construction of the electric telegraph lines. Important task in those days, was navigation and mapping. The solution of these problems with a high accuracy provide the safety and efficiency of Maritime navigation, as well as the efficiency of the extended building of long roads and canals. The main problem in this case was the problem of determining longitude certain point of the Earth's surface.

As is known, the coordinates of the earth's surface is determined by the latitude (parallels) and the longitude (meridian). The measurement of latitude was carried out using a "sextant". This high-precision measuring instrument used to measure the angle of the sun above the horizon at solar noon. Knowing the date of measurement and the angle can be calculated latitude. The sextant is an optical device, designed as a result of years of work of dozens of scientists and inventors working in different countries. Among them, Jean Picard, Tycho Brahe, Edmunt Halley, Robert Hooke and others.

Not so with the measurement of longitude location. Longitude – angle between the plane of the meridian passing through a given point, and the plane of the initial zero meridian from which counting is carried out longitude. Selection of the zero meridian is arbitrary and depends on the agreement.Currently, the prime meridian is the Greenwich meridian that runs through Greenwich Observatory in south-east London. As previously chosen the zero meridian observatories of Paris, Cadiz, Pulkovo.

To determine the longitude is necessary to determine the time of sunrise in the area compared to the same time at the prime meridian. This required precision clock (chronometer), with a daily error less than 0.5 seconds. Creator of the first accurate clocks are considered to be the two great scientists – Galileo Galilei and Christiaan Huygens. However, that pendulum clocks were not suitable for marine navigation because of the pitching. In 1674 Huygens refused the use of the pendulum clock to sea, and proposed as a regulator of clock oscillating system balance-spiral. And only in 1759 the sea is very high precision clock (chronometer) created the English master John Harrison.

Later, it was started the production of chronometers and their installation on marine vessels. However, a very serious problem remained the initial installation time according to the time of the Greenwich meridian. This problem was solved with the help of telegraph lines in which time signals transmitted to the seaports. At some point, shots were fired from a gun and ships chronometers corrected readings. Traditionally and currently in St. Petersburg takes a shot from a gun in 12 hours. Thus, the electric telegraph, unlike optical, performed a very important function.

By these reasons, the electric telegraph in the mid XVIII century replaced the optic telegraph and the end of the century communications and optics existed separately. However, at the end of the XVIII century the situation changed. In the period from 1885 to 1889 H. Herz performed his famous experiments on the propagation of electrical power, to prove the reality of electromagnetic waves.

In 1887, he published the first article of the experiments "On very rapid electric vibrations," and in 1888 - even more fundamental work "On electrodynamic waves in the air and their reflection. "The main conclusions of Hertz: You can transfer energy to the electric and magnetic fields without wires, fair Maxwell's theory Maxwell's theory is valid, that the speed of propagation of radio waves is equal to the speed of light. Hertz managed not only detect the wave, including, and standing, but also to investigate the speed of their propagation, reflection, refraction, and even polarization.

It should also be noted that in the years 1886-87 Hertz first observed and gave a description of the external photoelectric effect. Thus, the discovery of electromagnetic waves by Hertz served as the basis for the realization of radio and

external photoelectric effect for the implementation of television.

Later, however, in the implementation of a radio played an important role Tesla. He originated the idea of a transition from DC to change to address energy problems. Tesla experimented not only with high voltage electricity, but gradually increases its frequency.

In 1891, Tesla during a public lecture described and illustrated the principles of radio communication, and in 1893 created a mast antenna for wireless radio. In 1893 Tesla constructed the world's first wave radio transmitter (the primacy of Tesla in the invention of radio has been proven and recognized in 1943 by the US Supreme Court).

In Russia, the radio was invented independently by A. Popov. 18 December 1897 he transmitted by means of telegraph apparatus, connected with the his device, the words "Heinrich Hertz", which are among the first passed by radio. This was expressed in respect of Russian scientist to the scientific achievements of the great scientist. In addition it should be noted the emergence of wireless.

Among the inventors of radio is often called the Italian Marconi. His leadership in the invention of radio is often disputed, but one of his discovery is of interest. In 1901 he organized the transfer of a radio signal from Europe to America, which experts predict was to give a negative result, since electromagnetic waves travel in straight lines. However, the result was positive. Thus, it was experimentally proved that the "long" electromagnetic waves bend around the Earth's surface and, consequently, there is a phenomenon analogous to the well-known in optics, called diffraction.

While the relationship between the laws of propagation of electromagnetic waves and the laws of optics was not all clear. When mastered a range of short waves, it is allocated to radio amateurs because the experts considered that he was not promising, since short waves travel in straight lines and will go beyond the earth's atmosphere. However, the experience of radio amateurs showed that the waves under certain conditions, have the ability, reflected from the ionosphere to return to Earth, i.e. there is a well-known phenomenon in the optical reflection. Also appeared in demand optical term "refraction."

If we look at the terminology used in the theory of propagation of radio waves and compare it with the terminology used in optics it is possible to identify a lot in common. Thus, for example, uses the principle of Huygens - Fresnel - the basic postulate of the wave theory, which describes and explains the mechanism of propagation of radio waves and light. The principle of Huygens – Fresnel formulated as follows: each element of the wavefront can be considered as the center of the secondary disturbance that generates the secondary spherical waves, and the resulting light field in every point in space is determined by the interference of these waves.

Uses the term Diffraction - bending of waves of obstacles encountered in their way; dispersion - the dependence of the velocity of propagation of monochromatic radiation in the environment, the frequency of this radiation; interference, coherence and other. The coincidence of the above terms shows that the rapid development of radio engineering in the twentieth century in the theory of propagation of electromagnetic waves great importance have had scientific achievements in the field of optics accumulated in the seventeenth and eighteenth centuries.

In the future the impact of scientific advances in optics on the development of communication technology is clearly evident in the development of color television. To solve this problem, use the scientific results obtained by D. Maxwell. Color theory originates in the work of Isaac Newton, who adhered to the idea of the seven basic colors. Maxwell acted as the continuer of the theory of Thomas Young, proposed the idea of the three primary colors and associate them with the physiological processes in the human body. Important information contained testimonies of patients color blindness, or color blindness. In experiments on color mixing, largely independently repeat the experience of Hermann Helmholtz, Maxwell applied the "top color" drive which was divided into differently colored sectors, as well as the "color box" - to develop his own optical system.

For a graphical representation of colors, the Maxwell, following Jung, used the triangle, inside which the point represent the result of mixing primary colors located at the vertices of the shape. Full mathematical theory of the color of the body created by the Soviet scientist N.D. Nyberg and partly by the German scientist R. Luther. Nyberg book "Theoretical Foundations of color reproduction," published in 1948 became fundamental to the theory and practice of color reproduction. In the international literature there is the term "body color Luther - Nyberg." Thus, the beginning of the development of color television equipment have been developed the scientific foundations of colorimetry.

Development of television equipment gave impetus to the development of electron optics. Electron optics – the branch of physics that studies the laws of propagation of beams of charged particles – electrons and ions – in magnetic and electric fields and issues of focus, tilt, and imaging. The development of electron optics began with the study of cathode rays by means of which was obtained shadow image of the object, indicate that the nature of their distribution is similar to the propagation of light beams in geometrical optics. Image shift caused by a magnetic field showed that the cathode rays are a stream of charged particles

Experiments on the deflection of charged particles combined electric and magnetic fields in 1897 led to the discovery of the electron (J. J. Thompson). One of the first cathode ray tube became oscillographic electron-tube (CRT), invented by Karl F. Brown in 1897. In the improvement of improving the CRT has been carried out focusing the electron beam by a magnetic field coil with current. Theoretical and experimental studies of the motion of electrons in an axisymmetric magnetic field coil current shown that it is suitable for the formation of the electron-optical imaging and, consequently, is an electronic lens.

The relationship of light and electron optics confirms Fig.1, which is considered the principle of focusing the electron beam by means of a system consisting of two anodes.

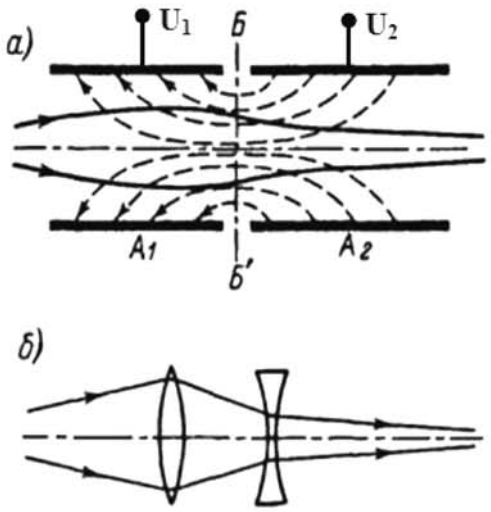


Fig.1

Bb' line (Fig. 1) divides the field between the anodes into two parts. The left side of the field enters a divergent electron beam that is focused and in the right part of the field is the dispersion of the flow. The scattering effect is weaker than a focusing because the speed of the electrons in the right part of the field is higher than the left. All field like an optical system consisting of collecting and diffusing lens (1b). Because for several decades black-and-white and color kinescopes were the only devices imaging in TV, they produced tens of millions of units per year.

Electron optics together with the use of an electric field also uses the magnetic field. Widely used device which bears the name of the magnetic lens. The magnetic lens is typically a solenoid with a strong magnetic field, coaxial with the electron beam. In order to concentrate the magnetic field on the axis of symmetry, the solenoid is placed in a steel casing with a narrow inner annular slit. If a divergent beam of charged particles falls in a uniform magnetic field, directed along the beam axis, the velocity of each particle can be decomposed into two components: the transverse and longitudinal.

The first of these creates a uniform circular motion in a plane perpendicular to the field direction, the second - uniform linear motion along the field. For electrons emitted at different angles, the normal component of the velocity will be different, i.e., will be different and they describe the radius of the spirals. The resulting motion of the particle will occur on the spiral, the axis of which coincides with the field direction. However, the ratio of the velocity components normal to the radii of the spirals for the period of rotation will be for all electrons equally; therefore, after one revolution all the electrons will focus at the same point on the axis of the magnetic lens. Thus, with respect to the magnetic field in the electron optics also used the terms "lens" and "axis".

It follows from the above, in communication to the middle of the twentieth century, widely used theoretical foundations of optics. The introduction of television led to the practical use of optics and contributed to the development of a new section – electron optics. But for more than a century, from about 1850, when most countries ceased to exist optical telegraph, until 1970, the light energy is not used to transmit information in communication networks.

The turning point in the history of communication occurred as a result of the invention of the laser. The word "laser" is made up of the initial letters of the phrase in the English Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. The invention of the laser associated with the works of Russian scientists Basov and Prokhorov, who in 1958 invented the laser, for which he received the Nobel Prize in 1964, together with the American Townes, whose works are used in the development of Prokhorov. But the Americans have made the first ruby laser and establish serial production, so they are often called the inventor of the first laser. The world's first working laser was constructed by Theodore Maiman in 1960. Maiman used ruby rod with pulsed pumping, which gave a red light with a wavelength of 694 nanometers. In 1962 it was created by a semiconductor laser and a photodiode, i.e. It was created compact source and destination of the optical signal.

Creating a small source and receiver optical signal made it possible to use optical fiber for the construction of fiber optic communication lines (FOCL). However, the widespread transition to fiber-optic technology interfere with high attenuation in the optical fiber, so the competition with copper lines was impossible.

Only in 1970 the company Corning Glass (USA), specializing in product development of optical physics of specialized glass over a hundred sixty years, managed to establish commercial production of fiber with low attenuation – 20 dB/km (wavelength 0,85mk) a couple of years –- to 4 dB/km. Multimode fiber is passed through it, and several modes of light. By 1983, he mastered the production of single-mode fibers, which passed one mode.

Almost at the same time, Russia and the United States have developed principles of semiconductor lasers based on heterostructures with satisfactory characteristics for the creation of FOCLS. In 1970, on the basis of these developments it was created the first layout of fiber-optic line that can transmit data at a speed of 2 Mbit/s at a distance of 3 km.

In Russia, the first model capable fiber-optic transmit information at speeds hundreds of Mbit/s was established in 1977. In 1981, on the basis of a single-mode optical fiber with losses of less than 1 DB/km fiber optic link was created layout that provides information transfer at speeds of up to 2 GB/s a distance of 40 km. During these years, it mastered the production of fiber-optic cable on the market when the respective optical sources, photodetectors, and other elements of the light guide technology.

Currently, fiber-optic communication is central to the world of telecommunications.

Already all continents of the world interconnected fiber-optic communication lines. In 2000, the world was laid 90 million kilometers of optical fiber and this number is increasing.

Speed of information transmission over a single fiber is achieved in recent years to 1000 Gb/s. Without modern fiber optic connection it is currently unable to work the Internet. Thus, after almost 150 years of optical communication was again!

It is interesting technical features fiber-optic components, which determine the possibility of an optical network. Of course, the main component is an optical fiber. The invention of the optical fiber and its improvement, led to the creation of a new branch of optics called "fiber optics". Theory of fiber optics developed sequentially, due to the gradual improvement of the optical fiber, reduction of the diameter and production of multimode and singlemode fibers.

The outer diameter of all optical fibers of the optical fibers used in the fiber-optic line, standardized and is not protective and strengthening membrane (125 ± 1) mm. The diameter of the light-guiding core multimode fiber is 50 microns in European standards and 62,5mkm in the North American and Japanese standards. The diameter of the light-guiding core single mode fibers depending on the type of fiber may be in the range (7-10) mkm. Due to the small diameter of the core of the optical radiation propagates through the fiber in the same (basic, fundamental) mode and as a result, there is no intermode dispersion. Due to the large core diameter multimode fiber propagates a few radiation modes – each at a different angle, and pulse of light feels dispersion distortion.

Multimode fibers are divided into step and gradient. In step refractive index of the fiber cladding to the core changes abruptly. The gradient fibers this change occurs differently – refraction index of the core gradually increases from the edges to the center. This leads to the phenomenon of refraction in the core, thereby reducing the effect of dispersion on distortion of an optical pulse. Gradient refractive index profile of the fiber can be parabolic, triangular, broken and so on.

The gradual improvement of optical communication systems was based on scientific research, the measurement of various parameters and characteristics. This led to the development of a number of new instruments and improvement of the standard base. As an example, such features as the chromatic and polarization – mode dispersion

Chromatic dispersion is the sum of material and waveguide dispersion. Chromatic dispersion occurs due to the fact that the propagation velocity varies with the wavelength. In a homogeneous medium wave propagation velocity can be changed only because of the dependence of the refractive index of the medium wavelength, which leads to the appearance of the material dispersion. The fiber wave propagates in two environments – partially in the core and in part - of the quartz envelope and it takes a certain refractive index average value between the value of the refractive index of the core and quartz sheath .

This average refractive index can be changed for two reasons. Firstly, due to the fact that the refractive indices of the core and silica cladding depends on the wavelength (approximately equal). This dependence leads to material dispersion. Secondly, because when the wavelength varies the depth of penetration of the field into the quartz sheath and accordingly varies the average value of the refractive index. This is purely a waveguide effect, and therefore there is because it is called the waveguide dispersion.

To date, a number of leading international metrology institutes (METAS – Switzerland, NIST – the US, NPL – UK, CSIC – Spain, HUT – Finland) created a reference apparatus for measuring CD, developed international standards on the measurement of the magnitude and conducted international comparisons.

In Russia, developed and approved by the State primary special standard unit of chromatic dispersion in the optical fiber GET 184-2010, provides playback, storage and transmission unit of the chromatic dispersion. This standard has allowed to provide traceability of the chromatic dispersion in the country in the wavelength 1260 ч 1650 nm. The range of measurement of the chromatic dispersion of -400 ч + 400 ps / nm with an accuracy of 0.36%.

Another important characteristic of the optical fiber is a polarization mode dispersion (PMD). Under PMD understood averaged in the working spectral range of the differential group delay between orthogonally polarized modes propagating along the fiber cable, and arising from the breach of the concentricity of the core of the optical fiber, the internal and external stresses, inhomogeneity of the material, etc. The occurrence of this delay causes a broadening of the optical pulse is transmitted through the optical fiber, which in turn leads to an increase in the number of bit errors and reduced data rate. Education PMD in an optical fiber is illustrated in Fig. 2 a and b.

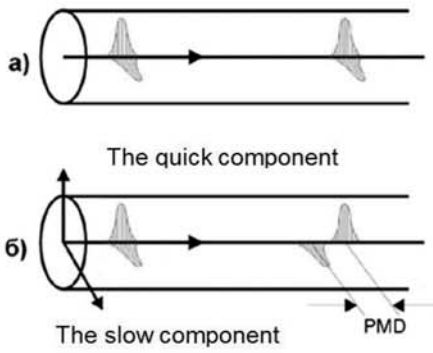


Fig.2

In an ideal form of fibers (2a) orthogonally polarized waves travel at the same speed. At a deviation from the ideal form of fibers (Fig. 2b) a timing offset indicated as PMD.

Limit allowed in PMD link determines the data rate. It is believed that the maximum possible PMD line should not exceed 10% of the bit time – the time allotted to transmit one bit of data. For example, the network STM-4 data transfer speed 1244.16 Mb/s bit time 803.76 ps and the PMD limit is 80 ps, and the network STM-256 baud rate 39.813 Gbit / s and bit time 25.12 ps and time limit PMD of 10 ps.

It follows that the importance of measuring the PMD increases in accordance with increase in transmission speed. Since the transmission speed is the current trend, there was the task of ensuring metrological maintenance PMD measurement. For the efficient operation of instruments measuring PMD in the Russian Federation was established State primary special standard (GPSE) units of PMD in optical fiber GET 185-2010. This standard provides reproduction of PMD in the 1310, 1550 nm, the amount of PMD in the range of 5-120 ps with an accuracy of 0.005 ps

In this way, the problem to be solved in communication technology, are currently the driving force behind the development of certain areas of optics, both in theory and practice. On the other hand it is of interest to evaluate the progress made in the communications technology development by the optical range.

Fiber-optic lines have a number of advantages over the wire (copper) and radio relay link:

– Low signal attenuation (in some types of fibers of 0.15 dB / km) makes it possible to transmit information at a much greater distance without using amplifiers. Amplifiers can be placed in a fiber optic link 40, 80 and 120 kilometers, depending on the class of terminal equipment;

– High-bandwidth optical fiber can transmit information at high speed, unattainable for other communication systems;

– High reliability of the optical medium: optical fibers do not oxidize, do not get wet, they are not subject to electromagnetic interference;

– Information security – information on the optical fiber is passed "from point to point." Connect to the fiber and read the transmitted information without damaging it is almost impossible;

– Highly protected from interfiber influences – the level of radiation shielding more than 100 dB. Radiation of a single fiber does not affect the signal in the adjacent fibers;

– Small size and weight.

Comparative evaluation of fiber-optic lines may be formed by Fig. 3, which shows graphs depicting baud rate (bits/s) at different times in telephone lines, coaxial lines and advanced in a fiber-optic wavelength division multiplexing.

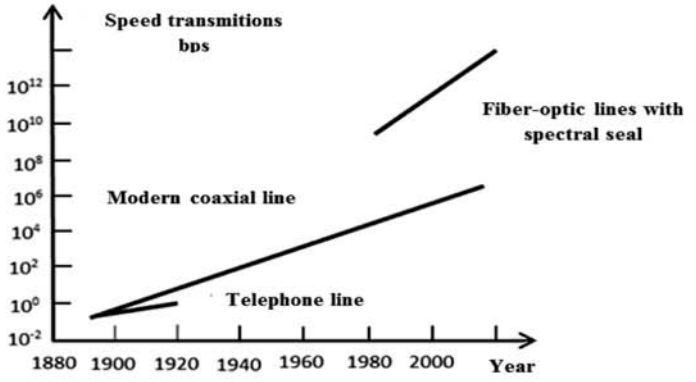


Fig. 3

From Fig. 3 shows that in 90 years the performance communication lines increased by five orders of magnitude, from the first telephone lines, data transfer rate which was 1 bit/s. Approximately the same growth was recorded, and in the last 20 years – the rate reached about 1.6 Tbit/s. The scale of the development of fiber-optic communication is really striking. World production of optical fibers currently stands at 60 million. Km / year, i.e. every minute in communication systems are laid over 100 km of optical cables. All the continents are linked by underwater fiber-optic cables.

The rapid growth rate information associated with the fiber-optic wavelength division multiplexing. Based on this technology was laid in 1958, before the advent of the fiber optics. But it took about 20 years before it created the first system components, called multiplex.

Originally, they were designed for laboratory research, and only in 1980, the technology WDM (Wavelength Division Multiplexing, WDM) has been proposed for telecommunications. And in five years, the research center of the company AT & T has implemented technology of dense wavelength division multiplexing (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM), when it was possible to create a single optical fiber 10 channels at 2 Gb / c.

Frequency plan for DWDM systems is determined by the standard of the International Telecommunication Union (International Telecommunication Union, abbreviated as ITU) – ITU G.694.1. According to ITU in DWDM systems use "C" (1525...1565nm) and "L" (1565...1625nm) fiber transparency window. In each band fall to 80 channels with a pitch 0.8nm (100 GHz). Normally only "C" range, since the number of channels that can be arranged in this range so lacking in abundance, besides attenuation of G.652 standard C-band somewhat lower than in the L-band.

To coordinate operation of the various sections of the telecommunications network it becomes necessary to convert the frequency of the transmitted signals, as the various parts may be transmitted at different wavelengths. All components of DWDM-systems running on standardized frequencies of the frequency plan of ITU-T. To convert an optical input signal into DWDM – the system at the desired ITU-frequency-use DWDM transmitters. To convert the respective optical signal (prior to entering a DWDM-system, its frequency is not included in the frequency grid ITU-T) is used DWDM-transponders (or frequency adapters).

Finally, if in DWDM-system frequency one-DWDM devices do not coincide with the frequencies of the other (in this case all the frequencies included in the keeper ITU-T), for harmonization of these devices using wave converters.

In table 1 shows the parameters of the three channels in a grid-DWDM channel in accordance with ITU C-band with 100 GHz increments.

Table 1

Channel	Frequency THz	Wavelength nm	Channel	Frequency THz	Wavelength nm
17	191,7	1563,86	40	194,0	1545,32
18	191,8	1563,05	41	194,1	1544,53
19	191,9	1562,23	42	194,2	1543,73

Widespread use of DWDM systems has been made possible thanks to the development and production of a large number of various optical devices. Among them are the four main piece of equipment DWDM:

– optical terminal multiplexer (OTM-multiplexer);
– regenerator;
– optical amplifier;
– optical add / drop multiplexer (OADM-multiplexer).

The main components are the optical terminal multiplexer optical multiplexer (OM) and an optical demultiplexer (OD). In the transmit direction OM multiplexes (combines) the signals with fixed wavelengths in the baseband signal, which is transmitted via an optical cable. At the reception OD demultiplexes (separates) the baseband signal to signals with fixed wavelengths.

Optical regenerator is used to reshape the baseband signal and improve the signal / noise ratio. To this end, the baseband signal at the input of the regenerator is converted into an electrical form, the reduction is carried waveform, and further it is converted back to optical form.

The optical amplifier amplifies a baseband signal without recovering its shape. When transmitting data over long distances, amplifiers equipped with the equalizer function - power leveling optical channels. In urban environments equalizer function is not used, and this reduces the cost of the amplifier. The optical amplifier is the cheapest piece of equipment DWDM (compared to the OTM-multiplexer and a regenerator).

In addition to the main components for optical communication systems at high technological level produced optical couplers (splitters), optical attenuators, optical connectors and other devices. Adjustment, repair and control equipment is carried out by a large number of measuring instruments, using modern computer technology.

In summary, it can be concluded that the combination of scientific advances optical communications and has revolutionized the modern system of information communications.

References

1. *Custine A.* Russia in 1839. Ed. House: "Zakharov" 2007.
2. *Kalinin Al* Propagation and operation of radio. M.: Svyaz'izdat, 1971).
3. *Nyberg N.D.* Theoretical basis of the color reproduction. M.: Soviet science, 1948.

ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ И ОПТИКА В ИСТОРИЧЕСКОМ ПЛАНЕ

Аджемов А.С., Хромой Б.П., *МТУСИ, Москва, Россия*

Аннотация

Широкое применение волоконно-оптических систем связи считается важным достижением науки и техники за последние десятилетия. При этом существует мнение, что в историческом аспекте это естественный процесс развития связи, поскольку на протяжении целого столетия человечество осваивало все более высокие частотные диапазоны радиоволн и, наконец, освоило оптический диапазон. В действительности история связи охватывает существенно больший промежуток времени и её начало связано с использованием оптического диапазона. Объединение научных достижений оптики и связи произвело революцию в современной системе инфокоммуникаций.

В настоящее время волоконно-оптическая связь фактически становится определяющей в мире телекоммуникаций. Уже все континенты в мире связаны между собой волоконно-оптическими линиями связи. Без современной волоконно оптической связи в настоящее время не могла бы работать сеть интернет. Таким образом, спустя практически 150 лет связь снова стала оптической.

Представляет интерес технические характеристики компонентов ВОЛС, которые определяют возможности оптической сети. Безусловно, главным компонентом является оптическое волокно. Изобретение оптического волокна и его совершенствование, привело к созданию нового раздела оптики, называемым "волоконной оптикой".

Литература

1. *Кюстин А.* Россия в 1839 году Изд. дом: "Захаров", 2007.
2. *Калинин А.И.* Распространение радиоволн и работа радиолиний. М.: Связьиздат, 1971.
3. *Нюберг Н.Д.* Теоретические основы цветовой репродукции. М.: Советская наука, 1948.

ИНФОФОРУМ-2016

4-5 февраля 2016 г. в здании Правительства Москвы состоялся 18-й Национальный форум информационной безопасности "Инфофорум-2016". Соорганизаторами Инфофорума выступили: Комитет Государственной Думы ФС РФ по безопасности и противодействию коррупции, Аппарат Совета Безопасности РФ, НП Инфофорум при поддержке ФСБ России, МВД России, Генерального штаба ВС РФ, ФСО России, ФСТЭК России и ряда других органов государственной власти, а также Секретариата ОДКБ и Исполкома СНГ.

Инфофорум-2016 посетило более 1300 специалистов из 60 регионов РФ. Делегации многих субъектов возглавляли вице-губернаторы, заместители председателей правительств регионов, министры и председатели профильных комитетов администраций и законодательных собраний. Форум объединил на одной дискуссионной площадке государственных регуляторов отрасли информационной безопасности, представителей различных органов федеральной, региональной и муниципальной власти, специалистов-практиков, разработчиков решений по безопасности, системных интеграторов, потребителей, представителей учреждений науки и образования.

В работе Инфофорума приняли участие представители Государственной Думы РФ, Совета Федерации РФ, Аппарата Совета Безопасности РФ, Генерального штаба ВС РФ, ФСО России, Министерства связи и массовых коммуникаций РФ, МИД России, МВД России, МЧС России, Министерства образования и науки РФ, Министерства юстиции РФ, Россвязи, Роскомнадзора, других министерств и ведомств. Инфофорум также посетили делегации иностранных государств: Армении, Белоруссии, Венесуэлы, Германии, Израиля, Казахстана, Киргизии, Таджикистана.

Инфофорум-2016 был посвящен решению вопросов эффективного обеспечения информационной безопасности Российской Федерации в изменившихся политических и экономических условиях. Проведение Инфофорума в этом году имело особое значение еще и потому, что мероприятие проводилось в преддверии утверждения обновленной редакции Доктрины информационной безопасности РФ. Основное внимание участников форума было направлено на обсуждение стратегических задач государственной политики в области обеспечения информационной безопасности в Российской Федерации, развитию международного сотрудничества в области международной информационной безопасности, вопросам противодействия современным вызовам и угрозам в информационной среде.

Форум открылся пленарным заседанием "Информационная безопасность России в условиях глобального информационного общества". Открыл Пленарное заседание первый заместитель председателя Комитета Государственной Думы ФС РФ по безопасности и противодействию коррупции Магомед Вахаев. Всего в ходе Инфофорума-2016 состоялось более 100 выступлений и презентаций, посвященных актуальным вопросам обеспечения информационной безопасности в различных сферах – национальной безопасности, экономике, финансово-кредитной сфере, интернете, госуправлении, образовании.

В рамках Инфофорума состоялось награждение лауреатов ежегодной Профессиональной премии в области информационной безопасности "Серебряный кинжал" и лауреатов Всероссийского Конкурса студентов, молодых специалистов и образовательных центров "Инфофорум – Новое поколение".

Генеральными партнерами Инфофорума-2016 выступили компании Huawei и Hewlett Packard Enterprise. Постоянным партнером форума стал Microsoft Россия.

Работу форума освещали ведущие российские и иностранные СМИ (всего аккредитовались представители более трехсот средств массовой информации).

Пресс-служба Инфофорума
По материалам: ИА ТАСС, МИА Россия сегодня, ПЛАС, Ведомости