REDS
2020

№3

СОДЕРЖАНИЕ

Головкин И.В., Толкачев М.М.
ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ЗАКРЫТОЙ ЗАГОРИЗОНТНОЙ РАДИОЛИНИИ И ОСОБЕННОСТИ КАНАЛА **3**

Кириллов И.Н., Аристархов Г.М., Медведева В.С., Шигонцев А.Г.
МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА СОНАПРАВЛЕННЫХ ШПИЛЕЧНЫХ РЕЗОНАТОРАХ С РАСЩЕПЛЕННЫМИ ПОЛЮСАМИ РАБОЧЕГО ЗАТУХАНИЯ **14**

Шелухин О.И., Барков В.В., Секретарёв С.А.
АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДРЕЙФА КОНЦЕПТА ПРИ ПОТОКОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАФИКА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ **19**

Крысанов Д.В., Кюркчан А.Г., Маненков С.А.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОДОЛЖЕННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА РАССЕИВАТЕЛЯХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ОДНОРОДНОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛА **28**

Сак А.Н.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЕСТЕССТВЕННОГО ЯЗЫКА ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ **35**

Михалевич И.Ф.
ПРОБЛЕМА ЦИФРОВОГО НЕРАВЕНСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОРПОРАТИВНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ **43**

Воронин Е.А., Козлов С.В.
МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ЗАДАННОЙ ПЛАТФОРМЕ **48**

Комаров С.Н., Семенов О.А., Фуников И.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЗОНТИЧНОЙ АНТЕННЫ ДИАПАЗОНА 200 МЕТРОВ **56**

Золотухин П.А.
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ВИРТУАЛИЗИРОВАННОЙ СЕТИ ЦОД **65**

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ЗАКРЫТОЙ ЗАГОРИЗОНТНОЙ РАДИОЛИНИИ И ОСОБЕННОСТИ КАНАЛА

Головкин Илья Владимирович
МТУСИ НИЧ заведующий лабораторией, к.т.н., Москва, Россия
golovkin@srd.mtuci.ru

Толкачев Максим Михайлович
МТУСИ, аспирант, Москва, Россия
tmatom@yandex.ru

Аннотация

Представлены две методики расчета потерь для тропосферной загоризонтной радиолинии: описанных в отечественной литературе учеными Серовым В.В. и Шломы В.И. и их сравнения с расчетами международной рекомендации ITU. Представленные расчеты справедливы для трасс распространения радиосигнала с частотами от 30 МГц и для расстояний до 700 км. Рассмотрены основные механизмы передачи сигнала через тропосферу как в пределах прямой видимости, так за горизонт.

Ключевые слова

Модель канала, потери распространения, дифракция, тропосферное рассеивание, загоризонтная линия связи.

Введение

Задача расчета загоризонтных радиолиний, использующих типовые станции дальней тропосферной радиосвязи (ДТР) состоит в том, чтобы по известным энергетическим параметрам аппаратуры определить дальность связи, при которой будет обеспечена заданная надежность связи [1].

ДТР имеет ряд преимуществ. Габариты приемных антенн намного меньше антенн, использующих КВ диапазон, следовательно, появляется возможность легкой транспортировки и быстрого монтажа/демонтажа оборудования. Использования узконаправленных лучей позволяет оставаться более защищённой от встраивания в связь. Важными характеристиками, определяющие возможности радиостанции, является дальность и надежность. Они неразрывно связаны между собой. Требования к дальности и надежности связи являются противоречивыми. Можно получить большие дальности при низкой надежности связи и, наоборот, можно обеспечить очень высокую надежность связи при небольшой дальности.

В СССР исследования тропосферного распространения радиоволны начались с целью создания аппаратуры связи в послевоенные годы (в середине 1950 годов). Эмпирические данные для методов расчета энергетики загоризонтных радиолинии стали появляться уже 1960 годов. Не малый вклад внесли ученые и инженеры СССР Калинин А.И. [2], Введенский Б.А., Колосов М.А., Калинин А.И., Шифрин Я.С. [3], Давыденко Ю.И. [4], Гусятинский И.А., Немировский А.С., Соколов А.В., Троицкий В.Н. [5], Калинин А.И., Черенкова Е.Л. [6], Шур А.А. [7], Долуханов М.П. [8], а позже и России – Клиот Е.И., Козлов Д.Г. [9], Серов В.В., Сеченых А.М. [10], Серов В.В. [11, 12, 13, 14], Борисенко Т.М., Мацков А.А., Муха Р.Н., Серов В.В., Цодикова М.И. [15], Сандулов Н.В., В.И. Шлома, Д.А. Кожурякин, Макаров С.В. [1]. В связи с тем, что параметры трасс (профиль рельефа, высотность трассы над уровнем моря и т. д.) имеют большое разнообразие, а среда распространения радиоволн имеет случайные параметры, основой расчета являются статистические характеристики, полученные эмпирическим путем.

В Международном союзе электросвязи (МСЭ) так же выпускались рекомендации, среди которых можно выделить 617 к расчету загоризонтной радиолинии с 1992 г. (на данный момент действующая ITU-R 617-5 2019 г.).

Расчету энергетических характеристик посвящено ряд работ зарубежных авторов, например, [16-18]. Имеются рекомендации Международный союз электросвязи (МСЭ) (ITU – International Telecommunications Union) [16-20]. Сопоставление этих методов с методами из отечественной литературы показывает, что в последних более точно учтены параметры условий распространения радиоволн на территории Российской Федерации [3].

Зарубежные первые работы по механизму тропосферного распространения появились примерно в 1950х годах. После этого в течение приблизительно 15 лет проводилось большое количество теоретических исследований и происходило много научных обсуждений. Превосходство одной или другой теории никогда не признавалось. Однако был признан главный механизм турбулентного рассеяния и неодно-

родности слоя рефракции [Friis и др. 1957 г.]. Соответствующие процессы обоих явлений могут вести себя, в основном в зависимости от климатических характеристик рассматриваемого географического района.

В своих работах [1, 4, 10, 11] авторы указывают что, существует множество разработанных математических моделей, описывающие потери при тропосферном рассеянии, основанные на таких параметрах, как масштаб турбулентности и размер слоя. Однако из-за трудности в получении этих параметров из метеорологических измерений, эти модели не использовались на практике. Поэтому для практического применения использовались методы расчета, использующие эмпирическую или полуэмпирическую модели для вычисления потерь при передаче.

Основная часть

В настоящее время прогнозирование тропосферного рассеяния на трассах основано на эмпирических или полуэмпирических методах. Два метода были опубликованы в 1965 г. и использовались как справочные материалы для исследований ITU-R в течение более 20 лет. Один из них соответствует упрощенной версии метода Национального бюро стандартов Соединенных Штатов (НБС), впервые опубликованного в мае 1965 г.

Методы расчета линий связи прямой видимости на открытых и закрытых трассах и тропосферных линий хорошо известны [1-15]. Таким образом, расчеты энергетических характеристик линий загоризонтной связи дают на определенной трассе в определенный момент времени приближенной оценкой ожидаемых характеристик связи. Однако, учет характеристик (погоды, рельефа, сезона), которые имели на момент проведения опытов, существенно повышают точность расчетов.

В частности, в [1] дан перечень статистических параметров градиентов диэлектрической проницаемости в различных районах СНГ, метод учета погодных условий и высотности трассы, так же определена зависимость дифракционного параметра от частоты, дополнительное тропосферное затухание рассчитано по результатам измерений, произведенных в СССР и России. Приведен так же ряд уточняющих формул для расчета отдельных составляющих расчета величины потерь усиления для несимметричных антенн величины среднего значения дополнительного тропосферного затухания по медианному значению и т.д.

Процесс тропосферного распространения происходит над трассами, продолжающимися за пределами нормального радиогоризонта. Существует только два постоянных механизма распространения при процессе осуществления связи на частотах выше 30 МГц на расстояниях до 700 км: дифракция и тропосферное рассеяние.

Характерной особенностью тропосферного распространения является многолучёвость сигнала. Искажения, создаваемые задержками многолучёвости, создают интермодуляционный шум в аналоговых линиях н межсимвольные искажения в цифровых линиях.

Параметры модели тропосферного канала варьируются от механизма передачи: прямая видимость или с учетом дифракции радиоволны (один луч), загоризонтное тропосферное распространение (множество лучей, отраженных от рассеивающих частиц в тропосфере – в объеме рассеивания, см. рис. 1).

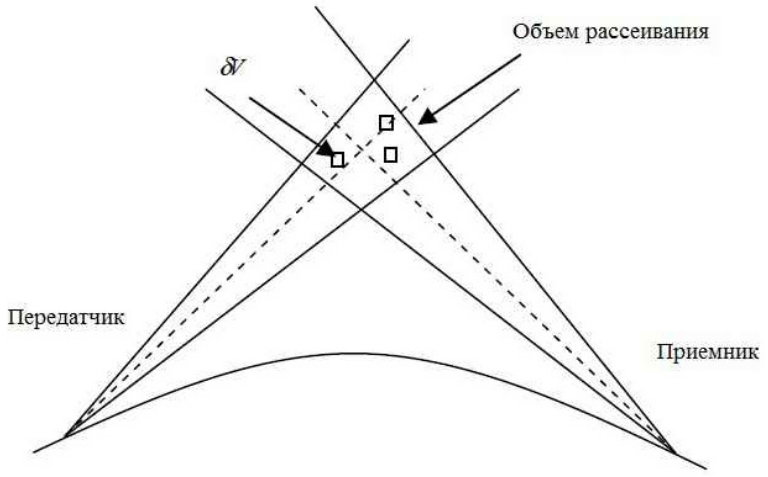


Рис. 1. Объем рассеивания

В отечественной, так и зарубежной литературе описывается и используется только многолучевое распространение сигнала в тропосферном канале, наличие дисперсионных искажений для полосы сигнала менее 100 МГц в литературе не освещаются.

В иностранных статьях [26] и [27] для моделирования канала применяется аддитивный белый гауссовский шум и профили лучей для северного Китая указанные в табл. 1. В отечественных источниках интервал корреляции процесса замираний обычно превышает величину 40 мс [28] или меньше 25 Гц по доплеровскому разбросу для трасс от 150 до 400 км.

Таблица 1

Профиль лучей тропосферной связи для 300 км расстояния в северном Китае

Луч	Задержка (мкс)	Мощность	Нормируемая мощность	Доплеровский разброс (Гц)
1	0	0,2772	0,05	100
2	0,1	0,413	0,08	120
3	0,2	0,7077	0,15	110
4	0,3	0,8518	0,18	100
5	0,4	0,8184	0,17	80
6	0,5	0,6713	0,14	90
7	0,6	0,4813	0,10	85
8	0,7	0,3055	0,06	105
9	0,8	0,173	0,04	86

Существует много случайных неоднородностей движения в объеме рассеяния (рис. 1). Каждая неоднородность характеризует свои внесения изменения в амплитуду и фазу радиоволны. Поскольку электромагнитная энергия различных источников от рассеивателей не связана, они достигают точки приема с различной амплитудой и фазой.

В статье [26-27] результат сложения различных компонент сигнала в точке приема имеет характер быстрого замирания. Это обусловлено различными расстояниями, которые должны пройти электромагнитные волны (компоненты сигнала). Поэтому фаза волны на момент прибытия в приемник у каждой компоненты разная. Возможны ситуации, когда компоненты могут складываться в фазе – такое явление называется когерентным усилением. В результате сложения помех между различными компонентами сигнала напряженность поля точки приемника имеет характеристики быстрого замирания. Поскольку волны распространяются по разным траекториям, траектории распространения имеют разное расстояние от точки передачи до точки приема, отраженные волны каждой траектории прибывают в разное время. Поэтому фаза у каждой компоненты разная. Несколько сигналов разной фазы складываются в приемнике, возникает когерентное усиление или ослабление принимаемого сигнала. Например, при передаче импульсного сигнала, принятый сигнал не только содержит импульс, но также включает в себя все сигналы, задержанные во времени, таким образом, результат является нечетким или увеличивает длительность сигнала. Увеличение длительности импульса принятого сигнала с помощью эффектов многолучевого распространения называется разбросом задержки. Распределением вероятности временной задержки чаще является экспоненциальное распределение, реже равномерное распределение.

Таким образом, амплитуда и фаза принимаемого сигнала изменяется случайным образом, что вызывает замирание. И это замирание вызвано многолучевым распространением, которое называется многолучевым замиранием.

Метод расчета В.В.Серова.

Перейдем к обзору расчета потерь за счет распространения. Метод расчета радиолинии Серова. В.В. охватывает, как на дифракционном участке слабо пересеченной местности, так и тропосферном участке: диапазон расстояний от границы тени (горизонт прямой видимости) до 700 км диапазон частот от 0,4 до 15 ГГц. Учитывается затухание в атмосферных газах и в дожде с интенсивностью до 150 мм/час и климатические погодные характеристики при температурах от -5° до 30°С. Расчет методики сравнивался с результатами натурного испытания станции «Ладья» [15]. Ниже приведены основные положения методики расчета изложенной в работе [12].

Уровень мощности сигнала в точке приема в линии загоризонтной связи тропосферной радиолинии определяется известным выражением

$$P_c = \frac{P_{прд} \cdot G_{прд} \cdot G_{прм}}{L_{св} \cdot L_{доп} \cdot L_д \cdot L_{атм} \cdot L_{фпрд} \cdot L_{фпрм}} \quad (1)$$

где $P_{прд}$ – мощность передатчика; $G_{прд} \cdot G_{прм}$ – коэффициенты направленного действия антенн на стороне передачи и приема, определяемые по формулам

$$G_{прд} = k_{исп}\left(\frac{\pi \cdot D_{прд}}{\lambda}\right)^2; G_{прм} = k_{исп}\left(\frac{\pi \cdot D_{прм}}{\lambda}\right)^2;$$

Где $k_{исп}$ – коэффициент использования зеркала антенны; D – диаметр антенны; λ – длина волны; $L_{доп}$ – дополнительное затухание в загоризонтной линии связи; $L_{д}$ – затухание радиосигнала в дожде; $L_{атм} = L_{O2} + L_{H2O}$ – затухание радиосигнала в дожде; $L_{фпрд}, L_{фпрм}$ – затухание в фидерном тракте передачи, приема.

Порядок расчета величин $L_{доп}, L_{д}, L_{атм}$ приведен ниже. Уравнение

(2)

выраженное в децибелах:

$$P_{с[дБ]} = P_{прд[дБ]} + G_{с[дБ]} + G_{с[дБ]} + 10\log(n) - L_{св[дБ]} - L_{доп[дБ]} - \\ -L_{д[дБ]} - L_{атм[дБ]} - L_{фпрд[дБ]} - L_{фпрм[дБ]} \quad (3)$$

где $L_{св}$ – затухание сигнала в свободном пространстве в дБ, определяемое по формуле

$$L_{св} = \left(\frac{\pi \cdot r}{\lambda}\right)^2$$

в результате расчета определяется отношение принятого сигнала к пороговому сигналу (запас уровня сигнала) в разах или децибелах соответственно

$$\Delta P = \frac{P_с}{P_{со}} \Leftrightarrow \Delta P_{[дБ]} = P_{с[дБ]} - P_{со[дБ]}$$

Величина ΔP – определяет выполнимость требования по качеству связи линии.

В линии загоризонтной связи могут сосуществовать два типа распространения радиоволн: дифракционное и тропосферное, которые определяют дополнительное тропосферное затухание. Если обозначить $L_{диф}$ – ослабление сигнала за счет дифракции, $L_{троп}$ – ослабление сигнала за счет тропосферного рассеивания, то дополнительное затухание $L_{доп}$ будет равно

$$L_{доп} = \frac{L_{диф} \cdot L_{троп}}{L_{диф} + L_{троп}}$$

Расчет ослабления сигнала за счет дифракции

Зависимости величины затухания сигнала $L_{диф}$ от величины относительного просвета и рабочей частоты на закрытой трассе в среднепересеченной местности могут быть аппроксимированы следующей формулой

$$L_{диф} = 15 \cdot exp\left(-\frac{\log(2,7 \cdot f) + \frac{1}{1,8 \cdot f^{-1}}}{1,5}\right)[p(g) - 1]$$

где $p(g)$ – относительный просвет на трассе при заданном значении g, определяемый по формуле

$$p(g) = \frac{\frac{r^2}{8 \cdot \frac{a}{1 + \frac{g \cdot a}{2}}} - \frac{H1 + H2}{2}}{\sqrt{\frac{r \cdot \lambda \cdot k \cdot (k-1)}{3}}};$$

где $H1$ и $H2$ – высота подъема антенны; a = 6370 км – геометрический радиус земли; g – вертикальный градиент диэлектрической проницаемости воздуха, который является случайной величиной, распределенной по нормальному закону.

Ослабление сигнала за счет тропосферного рассеяния

Принято, что величина тропосферной составляющей затухания распределена по нормально-

логарифмическому закону с дисперсией σ_T^2 сложным образом, зависящим от расстояния и диаметра антенн. Кроме того, эта величина существенно зависит от погодных и климатических условий, и рельефа местности на концевых участках.

$$L_{T[\partial Б]} = L_{T0[\partial Б]} + k_\gamma \cdot \sigma^2_{T[\partial Б]} + L_{K[\partial Б]} + \Delta G_{[\partial Б]} \quad (4)$$

где $L_{T0[дБ]}$ – среднее значение затухания за счет тропосферного рассеяния; k_γ – квантиль нормального распределения с нулевым средним и дисперсией равной 1. Для вероятностей γ=0.9, $k_{0.9}$=1.29, γ=0.95, $k_{0.95}$=1.65, γ=0.99, $k_{0.99}$= 2.33, γ=0.999, $k_{0.999}$= 3.1; $\sigma^2_{T[\partial Б]}$ – дисперсия медленных замираний; $L_{K[\partial Б]}$ – климатическая поправка; $\Delta G_{[\partial Б]}$– потери усиления антенн, определяемые по следующему выражению (4).

$$\Delta G_{[\partial Б]} = 0.07 e^{\left[0.055\left(G_{прд[\partial Б]} + G_{прм[\partial Б]}\right)\right]} \quad (5)$$

Среднее значение затухания за счет тропосферного рассеяния

В качестве эмпирических данных приводятся медианные значения тропосферного затухания. Для релеевского канала среднее и медианное значения связаны следующим соотношением

$$L_{T0[\partial Б]} = L_{TM_0[\partial Б]} - 1.6 \quad (6)$$

Величина тропосферной составляющей затухания медленных замираний распределена по нормально-логарифмическому закону с дисперсией σ_T^2 сложным образом, зависящим от расстояния, диаметра и усиления антенн $G_{[дБ]}$. На рисунке 1 приведены эмпирические зависимости (точки) и зависимости, построенные по следующей аппроксимирующей формуле

(7)

(сплошные кривые)

$$\sigma^2_{T[\partial Б]} = 5.7 \cdot \left[1 + 0.0017 \cdot (G_{[\partial Б]} - 30)\right] \cdot \left(\frac{r_{э[км]}}{100}\right)^{1.29} \cdot e^{-\frac{r_{э[км]}}{205}} \quad (8)$$

Из рисунка 2 зависимости, построенные по формуле

(9)

наблюдается несущественные различия при разных усилениях антенн.

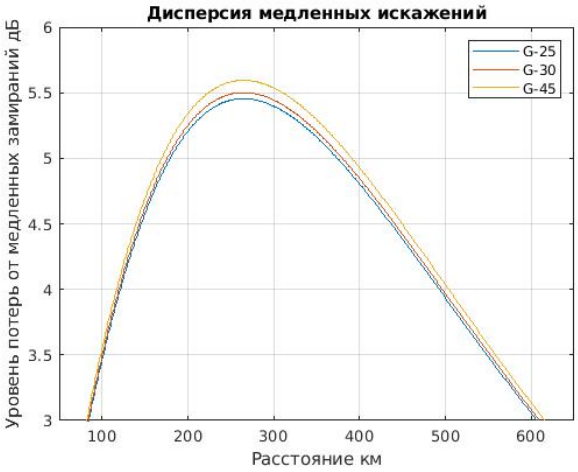


Рис. 2. Зависимость дисперсии медленных замираний от эквивалентной протяженности интервала при различных коэффициентах усиления антенн

При расчетах тропосферного затухания используется эквивалентная протяженность интервала. Значения затухания $L_{TM_0[\partial Б]}$ приведенные на рис. справедливы для трасс на гладкой Земле с нулевыми углами закрытия и расположенными на высоте менее 200 м над уровнем моря. Реальная трасса характеризуется неровностями рельефа и высотой местности над уровнем моря, которая может превышать 200 м. Рассмотрим рис. 3 [2],on на котором нанесен условный профиль тропосферной трассы.

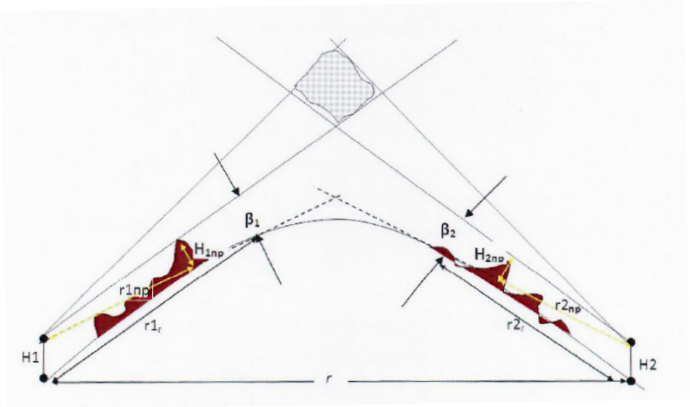


Рис. 3. К определению понятия – эквивалентная протяжённость интервала

Наличие антенных опор с высотой установки антенн H1 и H2 на гладкой Земле сокращает тропосферный участок трассы на величину r1+r2, т.е. сумму расстояний от антенн корреспондентов до горизонта. На трассе имеются углы закрытия

$$\beta_1^0 = \left(\frac{H1_{пр}}{r1_{пр}}\right)\cdot\frac{180^\circ}{\pi}, \beta_2^0 = \left(\frac{H2_{пр}}{r2_{пр}}\right)\cdot\frac{180^\circ}{\pi}$$

где $r1_{пр}$ – расстояние до препятствия от 1 станции; $H1_{пр}$ – высота препятствия перед 1 станцией; $r2_{пр}$ – расстояние до препятствия от 2 станции; $H2_{пр}$ – высота препятствия перед 2 станцией.

Выражение для эквивалентного расстояния, учитывающего только углы закрытия и высоту подъема антенн можно записать следующим образом

$$r_{оэ[км]} = r_{[км]} + 148\cdot\left(\beta_1^o + \beta_2^o\right) - \sqrt{\frac{12.71}{1+\frac{g}{2}\cdot 6370}}\left(\sqrt{H1_{[км]}} + \sqrt{H2_{[км]}}\right)$$

Вводится корректирующий коэффициент высотности, с учетом которого получаем окончательное выражение для эквивалентного расстояния, если $H_{B[км]} > 0.2$

$$r_{э[км]} = r_{оэ[км]}\cdot\sqrt{1+8\cdot\frac{6370}{1+\frac{g}{2}\cdot 6370}\cdot\frac{\left(H_{B[км]}-0.2\right)}{r1_{э[км]^2}}}$$

если $H_{B[км]} \le 0.2$

$$r_{э[км]} = r_{оэ[км]}$$

Зависимость уровня дополнительного тропосферного затухания от погодных условий производится путем введения климатической поправки. В методике учитывается климатическая поправка в виде следующего выражения:

$$L_{K[дБ]} = M\left(Nз_1 - Nз_2\right) \qquad (10)$$

где M – коэффициент соответствия, зависящий от расстояния r (8); Nз1 – приземное значение коэффициента преломления в 1-м районе с известным значением величины среднего уровня дополнительного тропосферного затухания; Nз2 – приземное значение коэффициента преломления в 2-м районе, где необходимо определить средний уровень сигнала.

Для расчета M можно аппроксимировать следующим выражением

$$M = \left[0.019\cdot\left(\frac{r_{[км]}}{100}-1\right)^2 - 0.21\left(\frac{r_{[км]}}{100}-1\right) + 0.08\right] \qquad (11)$$

В расчетах, привязанных к среднеевропейской территории РФ в зимний месяц, для которой значение $L_{T[дБ]}$ определяется формулой (9) принято считать $N1 = 310$. Величину $N2$ для различных географических районов земного шара можно определить по картам, которые приводятся в документах Международного Союза Электросвязи (МСЭ или ITU).

При тропосферном распространении имеют место потери сигнала за счет искривления фазового

фронта волны на поверхности зеркала приемной антенны, вызванного особенностями тропосферного распространения. Эти потери зависят от размера антенн. Экспериментальная зависимость величины потерь усиления от величин усиления антенн вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta G[\partial Б] = 5 \cdot \lg\left[1+\left(\frac{\theta_B}{\alpha_1}\right)^2\right] + 5 \cdot \lg\left[1+\left(\frac{\theta_\Gamma}{\alpha_{r\min}}\right)^2\right] + 5 \cdot \lg\left[1+\left(\frac{\theta_B}{\alpha_2}\right)^2\right] \quad (12)$$

где $\theta_B = 1.7^\circ$ – угловой размер объема переизлучения в вертикальной плоскости; $\theta_\Gamma = 1^\circ$ – угловой размер объема переизлучения в горизонтальной плоскости; α_1 – угол диаграммы направленности по половиной мощности антенны станции 1 в вертикальной плоскости; α_2 – угол диаграммы направленности по половиной мощности антенны станции 2 в вертикальной плоскости;

$$a_1 = 70\frac{\lambda}{D_1}; a_2 = 70\frac{\lambda}{D_2};$$

$\alpha_{r\min}$ минимальный угол в горизонтальной плоскости на одной из 2-х станций.

Затухание на трассе за счет дождя и атмосферных газов

Затухание на трассе за счет дождя определяется выражением

$$L_\partial = l_э \cdot \gamma_\partial \quad (13)$$

где, $l_э$ – эквивалентная длина трассы распространения сигнала в дожде; γ_∂ – удельное затухание в дожде в дБ/км.

Международный союз электросвязи предлагает формулу для определения эквивалентной длины трассы, которое зависит от расстояния и интенсивности дождя, выраженного в мм/час, определяется выражением

$$l_э(r) = \frac{r}{1+\frac{r}{35 \cdot e^{-0.015 \cdot I_\partial}}} \quad (14)$$

где r – протяженность интервала связи.

На рисунке 4 приведены зависимости удельного затухания радиосигналов от частоты при различной интенсивности дождя (точки), построенные по данным табл. 2.

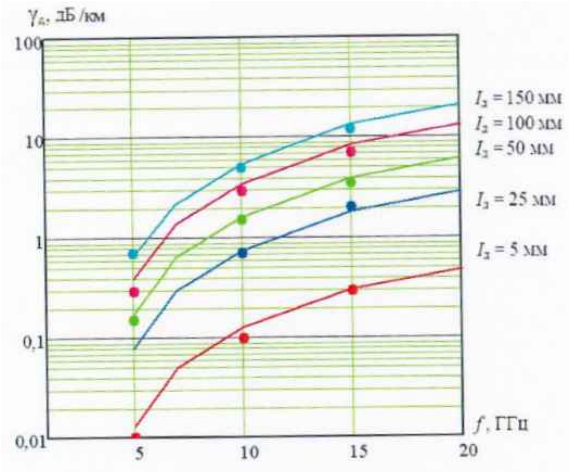


Рис. 4. Зависимость удельного затухания сигнала в дожде от частоты

На рисунке 4 заимствованного из [2] приведена также зависимость удельного затухания радиосигнала в дожде, построенная по аппроксимирующей формуле (15)

$$\gamma_\partial = 2 \cdot I_\partial^{1.1} \cdot \lg\left(0.995 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot I_\partial + 3 \cdot 10^{-4} \cdot f_{[ГГц]}^2\right) \quad (15)$$

Наряду с потерями мощности сигнала в дожде учитывают также потери сигнала в атмосферных газах и парах воды. Удельное затухание в кислороде и парах воды, выраженные в дБ/км, приведены в табл. 2.

$$\gamma_{атм} = \gamma_{O_2} + \gamma_{H_2O}$$

По данным таблицы 2 и была выведена формула, зависимая от частоты.

$$\gamma_{атм} = 1.44 \cdot 10^{-6} \cdot f^4 \quad (16)$$

На трассе потери возникают по всей длине трассы. Поэтому

$$L_{атм} = \gamma_{атм} \cdot r \quad (17)$$

Таблица 2

Эмпирические данные о затухании в атмосферных газах

Удельное затухание радиосигнала в дожде и атмосферных газах, дБ/км							
Диапазон частот, ГГц	Интенсивность дождя, мм/час					Поглощение в атмосфере	
	5	25	50	100	150	O2	H2O
5	0,01	0,05	0,15	0,3	0,7	0,001	0,0003
10	0,1	0,7	1,5	3	5	0,015	0 004
15	0,3	2	3,5	7	13	0,035	0 035
20	1	5	10	20	30	0,02	0,2

Метод расчета В.И. Шломы

Далее приведены основные положения методики Шломы В.И. [1]. Расчеты метода основываются на данных полученных из книги Давыденко [4], но имеющих некоторые модификации. Вычисление потери зависит от следующих составляющих, приведенных в формуле (15).

$$L_{доп[дБ]} = L_{мед[дБ]} - L_{h[дБ]} - L_{р[дБ]} - L_{к[дБ]} - L_{а[дБ]} - L_{з[дБ]} \quad (18)$$

где $L_{мед[дБ]}$ – медианные потери; $L_{з[дБ]}$ – потери от замираний; $L_{р[дБ]}$ – потери, обусловленные влиянием неровностей рельефа местности; $L_{h[дБ]}$ – потери, обусловленные влиянием земной поверхности при малых величинах отношения h/A; $L_{а[дБ]}$ – потери усиления антенн; $L_{к[дБ]}$ – климатические потери.

$$L_{мед[дБ]} = 62.92 * e^{-\left(\frac{\lambda+18.19}{174}\right)^2} + \left(0.07608 * \lambda_{[см]}^{-0.4984} + 0.06596\right) * r_{[км]}$$

В случае необходимости определения медианных потерь для других длин волн можно приближенно считать, что значения медианных потерь обратно пропорциональны длине волны. Если потребуется оценить потери для летнего или другого времени года, то следует учесть сезонный ход потерь, который можно в среднем принять равным 12 дБ. Таким образом, для летних месяцев нужно значения уменьшить на 12 дБ, а в осенние и весенние месяцы – на 6 дБ.

$$L_з = L_{мз} + L_{бз}$$

Общие потери от замираний складываются из потерь от быстрых (с квазипериодом $0.1 \div 10$ с), и от медленных замираний (с квазипериодом от десятков минут до нескольких часов),

$$L_{бз[дБ]} = -20 * \lg\left(0.8414 * \sqrt{-2 * \ln\left(\frac{T\%}{100}\right)}\right)$$

Значение σ находим по формуле для вычисления. При нахождении значений для весны и осени будем считать, что это средние значения между значениями для зимы и для лета.

$$\sigma_{лето[дБ]} = 4.676 * e^{-\left(\frac{r-124.9}{332.4}\right)^2} + 3.165 * e^{-\left(\frac{r-382.8}{508.3}\right)^2}$$

$$\sigma_{зима[дБ]} = 5.116 * e^{-\left(\frac{r-205.7}{577.5}\right)^2}$$

$$\sigma_{вио[дБ]} = 6.181 * e^{-\left(\frac{r-156.6}{547.8}\right)^2}$$ для весны и осени

$$L_{з[дБ]} = L_{з[дБ]}(\sigma_{цел}) + \sigma_{др}\left(L_{з[дБ]}(\sigma_{цел}+1) - L_{з[дБ]}(\sigma_{цел})\right),$$

где $\sigma_{цел}$ – целая часть значения σ; $\sigma_{др}$ – дробная часть значения σ.

Потери, обусловленные влиянием неровностей рельефа местности.

Определяем значение Δ для трассы.

$$\Delta = \theta_{сум} + 0.056\sqrt{h_a}$$

где θсум= θпер + θпр – углы горизонта со стороны передатчика и приемника: Δ и θ – в градусах; h_a – высота подъема передающей и приемной антенн в метрах.

Зависимость потерь, обусловленных влиянием неровностей рельефа, от суммарного угла закрытия можно выразить следующей формулой:

$$L_{p[\partial Б]} = ae^{b\Delta} + ce^{d\Delta}$$

где *a, b, c, d* – коэффициенты, зависящие от дальности связи *R*, приведены в 3.

Таблица 3

Коэффициенты аппроксимации при неровностях

R(km)	A	b	c	d
100	10.09	0,2266	-10,33	-1.994
150	9,399	0.1913	-9.604	-1,576
200	7.04	0,2457	-7,011	-1.612
250	7,808	0.1683	-7,757	-1.013
300	7,073	0,2235	-7,159	-1.404

Расчет $L_{p[\partial Б]}$ следует проводить для ближайшего значения *R* имеющегося в табл. 3. Потери $L_{h,}$ от отношения высоты антенны к длине волны для различных расстояний обусловленные влиянием земной поверхности при малых величинах отношения h/λ рекомендуется находить по формуле.

$$L_{p[\partial Б]} = a1 * e^{-\left(\frac{x-b1}{c1}\right)^2} + a2 * e^{-\left(\frac{x-b2}{c2}\right)^2}$$

где $x = \frac{h}{\lambda}$; *a*1, *b*1, *c*1, *a*2, *b*2, *c*2 – коэффициенты, зависящие от дальности связи *R* приведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты аппроксимации

R(км)	a1	b1	c1	a2	b2	c2
100	1,983e15	-54,05	9,514	18,74	-6,452	11,95
150	1,661e15	-45,48	8,023	14,88	-3,284	8,104
200	1,439e9	-52,15	12,28	3,78	3,267	3,428
300	7835	-4,066	3,974	-7425	-3,92	3,917
400	8,829e13	-47,8	9,207	-4457	-6,454	3,497

Климатические потери, связанные с отличием климатических особенностей района размещения станций от климатических условий центральной части, можно оценить на основе установленной связи между потерями и значением коэффициента преломления у земной поверхности N_3.

Пример расчета методик

Таблица 5

Исходные параметры для расчета

Наименование параметра	Значение
Высота подъема антенн	2 м
Частота несущей	4.5 ГГц
Радиус Земли	6370 км
Температура	17 град Цельсия
Кратность разнесения	1
Надежность связи	99,9 %
Углы закрытия антенн	0 град
Приземное значение коэффициента преломления	310
Квантиль нормального распределения для вероятности 99,9 %	2.33
Коэффициент усиления антенн	30 дБ
EbN0	8 дБ

При расчете потерь не использовались значения мощности передатчика температура приемника, полоса пропускания приемника, шумы приемника. Энергетические характеристики приемника и передатчика с учетом необходимого уровня ОСШ рассчитаны отдельно и нанесены в виде ограничивающей линии на рис. 5. В точках пересечения линии с графиками мы гарантированно получаем требуемый уровень ОСШ.

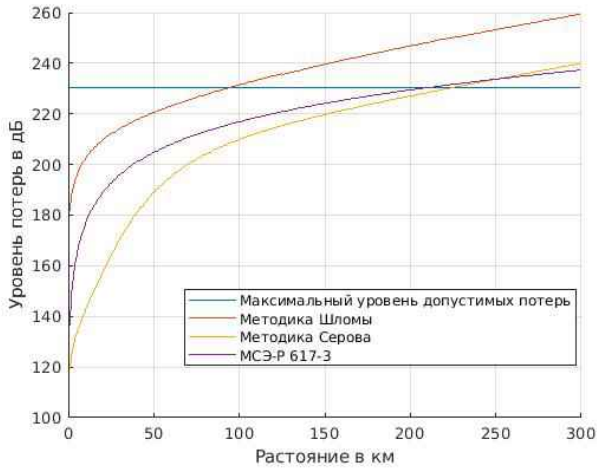


Рис. 5. Вносимые потери при тропосферном распространении радиосигнала от дальности трассы

Все методики расчета, представленные в данной главе, основываются на эмпирических данных. Методики имеют одинаковый характер поведения. При расчете потерь в методике В.В. Серова учитываются потери, вносимые за счет ослабления на трассе с дождем интенсивностью 15 мм/час (далее расчет может быть приведен для трасс без дождя).

При распространении радиосигнала на расстоянии до 100 км вносятся потери из-за дифракции. При трассе длиной более 100 км учитываются механизмы как дифракции, так и тропосферного рассеяния. На рисунке 6 можно заметить, что учет потерь по расчетам В.И.Шломы является более жесткой по оценки дальности (учитываются потери как от быстрых, так и от медленных замираний для различных сезонов проведения связи), чем метод Серова и стандартная методика ITU R-617-3. На рисунке 5 синей линией отмечен уровень допустимых помех при сигнале в 600 Вт, в полосе сигнала 64 кбит/с, при температуре приемника 17 градусов Цельсия, коэффициенте усиления антенн 44 дБ, коэффициента шума приемника 3.5 дБ. При максимально допустимом уровне потерь за счет распространения мы получаем дальности в 93.3, 223, и 208 км. Методика В.В.Серова и ITU были проверены на результатах публикаций авторов [15,16,17,18,24,25].

Заключение

В данной статье собраны основные методы расчета, которые помогут получить общую картину вносимых потерь за счет дифракции и тропосферного рассеяния загоризонтной тропосферной радиолинии для частот свыше 30 МГц. Каждая методика опирается на свой набор параметров необходимых для грубой оценки сигнала в точке приема. Было проведено сравнение расчетов для определенного уровня сигнала и определено, на какое расстояние возможна передача сигнала. Отсутствие открытой модели канала для распространения загоризонтной радиолинии в литературе требует рассмотрения вопроса в полной мере. В литературе так же встречается некоторое упоминание о модели канала Северного Китая, представляющая некоторые сведения о параметрах канала в целом. Отметим, что интерес исследователей всего мира к дальней загоризонтной линии радиосвязи не угасает и производится финансирование.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06055.

Литература

1. *Сандулов Н.В., Шлома В.И., Кожурякин Д.А., Макаров С.В.* Методика энергетического расчета канала дальней тропосферной радиосвязи, адаптированная для вычислений на ПЭВМ // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2017. Т. 7. № 4. С. 446-453.
2. *Калинин А.И.* Расчет трасс радиорелейных линий. М.: Связь, 1964.
3. Дальнее тропосферное распространение ультракоротких радиоволн. Под ред. Введенского Б.А., Колосова М.А., Калинина А.И., Шифрина Я.С. М.: Советское радио, 1965.
4. *Давыденко Ю.И.* Дальняя тропосферная связь. М.: Воениздат, 1968.
5. *Гусятинский И.А, Немировский А.С, Соколов А.В., Троицкий В.Н.* Дальняя тропосферная радиосвязью М.: Связь, 1968.
6. *Калинин А.И., Черенкова Е.Л.* Распространение радиоволн и работа радиолиний. М.: Связь. 1971.
7. *Шур А.А.* Характеристики сигнала на тропосферных радиолиниях. М.: Связь, 1972.
8. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М., Связь, 1972.
9. *Клиот Е.И., Козлов Д.Г.* Исследование помехоустойчивости тропосферной радиолинии с адаптацией

частоты // Радиотехника. 1994. № 11. С. 62-68.

10. *Серов В.В., Сеченых А.М*. Развитие тропосферной связи в МНИРТИ. История и перспективы применения // «ИНФОРМОСТ» − «Радиоэлектроника и Телекоммуникации». № 4 (46). 2006 . С. 37-39.

11. *Серов В.В*. Система связи с адаптацией ветвей разнесения сигналов на передаче // Электросвязь. 2008. № 7. С. 26-29.

12. *Серов В.В*. Особенности распространения радиоволн в загоризонтных системах радиосвязи // Электросвязь. 2009. № 1. С. 38-42.

13. *Серов В.В*. Адаптивная система передачи высокоскоростных сигналов в многолучевом канале с замираниями // Электросвязь. 2010. № 5. С. 26-29.

14. *Серов В.В*. Тропосферная связь. История и перспективы // Технологии ЭМС. 2012. №2 (41). С. 55-60.

15. Отсчет о полевых испытаниях станции загоризонтной радиосвязи // База данных с познавательными материалами URL: http://lib.convdocs.org/docs/index-44719.html (дата обращения: 05.10.2019).

16. *Annavajjala R., Zagami J.* Design and Performance Evaluation of High-Capacity Mobile Troposcatter Links under Mobility, Frequency Selectivity, and Antenna Pointing Errors // Milcom. 2018. 15.09. Ст. 4.

17. *Sharat Chandra Bhardwaj, Eisha Madhwal, B.S. Jassal.* Characterization and Performance Evaluation of a Typical Troposcatter Channel // Second International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering. 2015. №15.

18. *Ergin Dinc, Ozgur B. Akan*- More Than the Eye Can See: Coherence Time and Coherence Bandwidth of Troposcatter Links for Mobile Receivers // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2015. 2 июня. Ст. 10.

19. Military Handbook. Facility design for tropospheric scatter, (Transhorizon microwave system design). MIL-HDBK-417, 25 ноября 1977.

20. Recommendation ITU-R P.526-11 Propagation by diffraction.

21. Recommendation ITU-R P.452-14 Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz-

22. Recommendation ITU-R P.617 Propagation predication techniques and date required for the design of trans-horizon radio relay systems.

23. Сравнение Recommendation ITU-R P.617 и Recommendation ITU-R P.452, www.stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/annex6.pdf. (дата обращения: 16.10.2019).

24. *Bastos L., Wietgrefe H*. Highly-deployable Troposcatter Systems in Support of NATO Expeditionary Operations // Military Communications Conference. 2011 Ст. 5 Communications and Network Systems.

25. *Анисимов В.Г., Мырова Л.О*. Обоснование оптимальных способов построения перспективных тропосферных станций // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. №5. С. 21-28.

26. *Hu Maokai, Chen Xihong, Shu Tao, Dong Shaoqiang.* New generation Troposcatter Communication OFDM Modulation ICEMI'2009.

27. *Amit Garg, Suvra Shekhar.* Das Design of Troposcatter Broadband Link based on SCFDE.

28. *Борисенко Т.М., Мацков А.А., Муха Р.Н. Серов В.В., Цодикова М.И*. МНИРТИ Принципы построения линии загоризонтной связи с выбором оптимальной частоты.

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА СОНАПРАВЛЕННЫХ ШПИЛЕЧНЫХ РЕЗОНАТОРАХ С РАСЩЕПЛЕННЫМИ ПОЛЮСАМИ РАБОЧЕГО ЗАТУХАНИЯ

Кириллов Игорь Николаевич
МТУСИ, аспирант кафедры «Электроника», Москва, Россия

Аристархов Григорий Маркович
МТУСИ, д.т.н., профессор, зав. кафедры «Электроника», Москва, Россия

Медведева Варвара Сергеевна
МТУСИ, Москва, Россия

Шигонцев Алексей Германович
МТУСИ, Москва, Россия
g.aristarkhov2010@yandex.ru

Аннотация

Исследуются потенциальные селективные возможности различных структур микрополосковых фильтров с ограниченным числом полуволновых сонаправленных шпилечных резонаторов. Показано, что в данных структурах возможна реализация значительного числа полюсов рабочего затухания на конечных частотах. Исследованы механизмы формирования, расщепления и смыкания полюсов затухания с целью обеспечения требуемого уровня затухания в заданных полосах заграждения.

Ключевые слова

Микрополосковый фильтр, сонаправленные шпилечные резонаторы, решетчатая секция, гальваническое примыкание, электромагнитное взаимодействие, полюсы рабочего затухания.

Введение

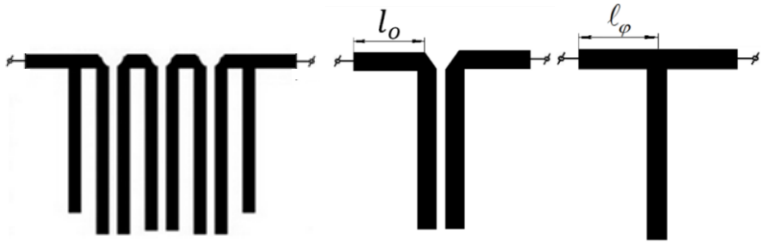
Микрополосковые фильтры (МПФ) на полуволновых резонаторах находят широкое применение в СВЧ-технике, так как они являются наиболее технологичными, поскольку не содержат короткозамкнутых на экран элементов [1, 2]. Это обеспечивает возможность применения этих МПФ в широком диапазоне частот, включая и миллиметровый диапазон длин волн. Повышение частотной избирательности этих структур достигается формированием в них полюсов рабочего затухания на конечных частотах. Известно множество подходов к решению этой задачи, среди которых необходимо выделить структуры, в которых формируется значительное число полюсов затухания без введения дополнительных режекторных звеньев. К ним в первую очередь следует отнести структуры на полуволновых шпилечных резонаторах с дополнительной кросс-связью между несмежными резонаторами [3, 4] и структуры на сонаправленных шпилечных резонаторах, принцип действия которых основан на эффекте неравенства фазовых скоростей нормальных волн в системах связанных микрополосковых линий (МПЛ) [5]. Как показано в [6], в этих структурах возможно формирование при том же числе резонаторов большего числа полюсов рабочего затухания.

Целью данной работы является исследование потенциальных селективных возможностей структур с ограниченным числом сонаправленных шпилечных резонаторов при различном распределении полюсов рабочего затухания на конечных частотах.

Четырехрезонаторные структуры МПФ

Четырехрезонаторные структуры (рис. 1а) представляют собой в первом приближении каскадное соединение трех четвертьволновых решетчатых секций (рис. 1б) и двух Т-сочленений (рис. 1в). Каждый из этих уединенных базовых элементов формирует свой полюс затухания. В полосно-пропускающей решетчатой секции в зависимости от того, какая связь между микрополосковыми линиями (МПЛ) является преобладающей (магнитная или электрическая), может формироваться полюс затухания или в области нижних, или в области верхних частот соответственно [5, 6]. Т-сочленения выполняют функцию трансформаторов сопротивлений и одновременно являются полосно-заграждающими звеньями. Таким образом, в рассматриваемых полосно-пропускающих структурах потенциально возможно формирование не менее пяти полюсов рабочего затухания ($P \geq N+1$).

Однако электромагнитное взаимодействие между этими базовыми звеньями может обусловливать или расщепление, или совмещение, или перемежение их полюсов затухания. При совмещении и перемежении отдельных полюсов затухания они вырождаются, что приводит к существенному ухудшению частотной избирательности МПФ.



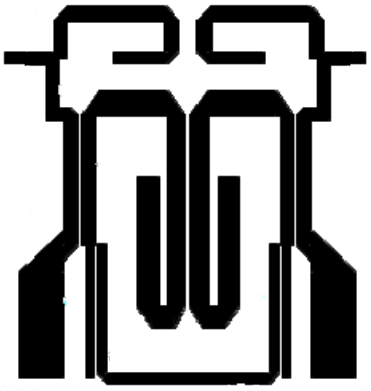
а) б) в)

Рис. 1. Четырехрезонаторный МПФ и его базовые элементы

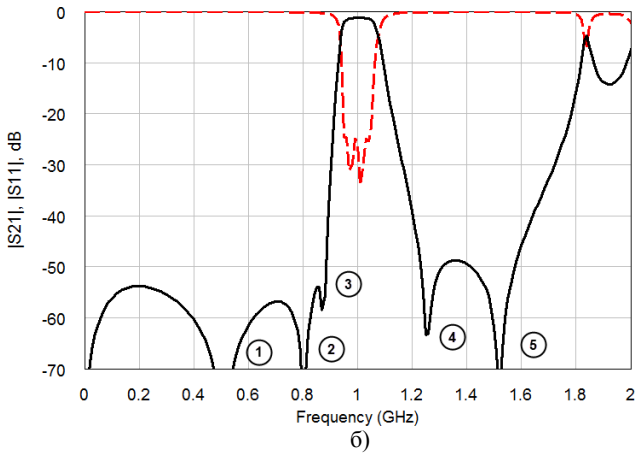
Исследуем условия, при которых полюсы затухания не вырождаются при различном их распределении на частотной оси.

Для определенности будут рассмотрены структуры, реализованные на подложке толщиной H=1 мм и с относительной диэлектрической проницаемостью ε_r=10.

На рисунке 2а представлена симметричная структура, у которой все три решетчатые секции формируют полюсы затухания в области нижних частот (рис. 2б).



а)

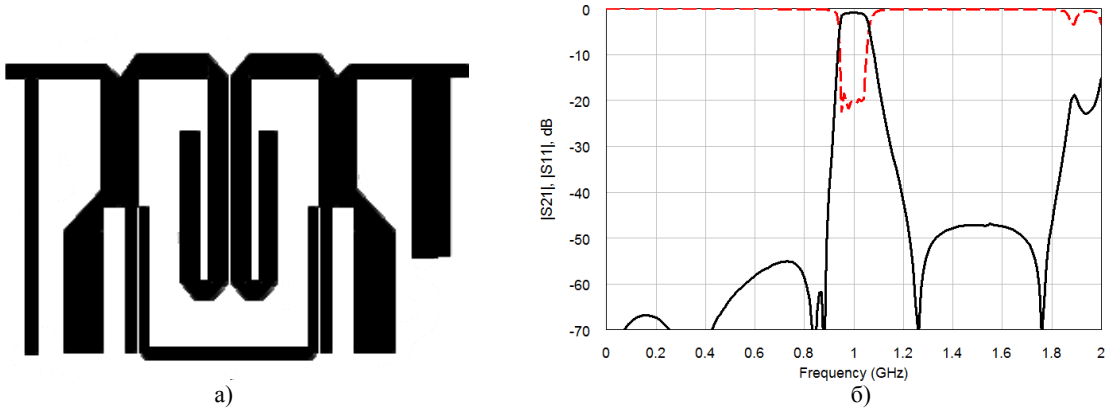


б)

Рис. 2. Четырехрезонаторный МПФ с преобладающей магнитной связью в решетчатых секциях

Такое распределение полюсов затухания достигается тем, что во всех решетчатых секциях реализовано условие преобладающей магнитной связи между МПЛ. Центральная решетчатая секция формирует близлежащий к полосе пропускания полюс затухания №3, обеспечивая высокую крутизну рабочего затухания в его переходной области. Одинаковые крайние решетчатые секции формируют расщепленные полюсы затухания №1 и №2. Чрезмерное их расщепление за счет преобладающего магнитного взаимодействия между секциями частично скомпенсировано дополнительной электрической связью между ними, которая реализуется посредством перемычки (нижний участок топологии на рис. 2а). При отсутствии этой связи полюсы затухания №2 и №3 перемежаются и оба вырождаются. Одинаковые Т-сочленения формируют полюсы затухания в области верхних частот. Их расщепление достигается введением незначительной электрической связи между шлейфами Т-сочленений (верхний участок топологии). В рассматриваемой структуре МПФ минимальная ширина зазора между связанными МПЛ составляет $S_{min}/H=0.15$. Площадь подложки, занимаемая топологией структуры, равна A×B=29×32 мм^2, т.е. $0.069\lambda^2$, где λ – длина волны на центральной частоте полосы пропускания МПФ.

Рассмотрим второй вариант несимметричной структуры МПФ (рис. 3), в которой расщепление полюсов затухания, формируемых Т-сочленениями, достигается выбором различных электрических длин шлейфов Т-сочленений.

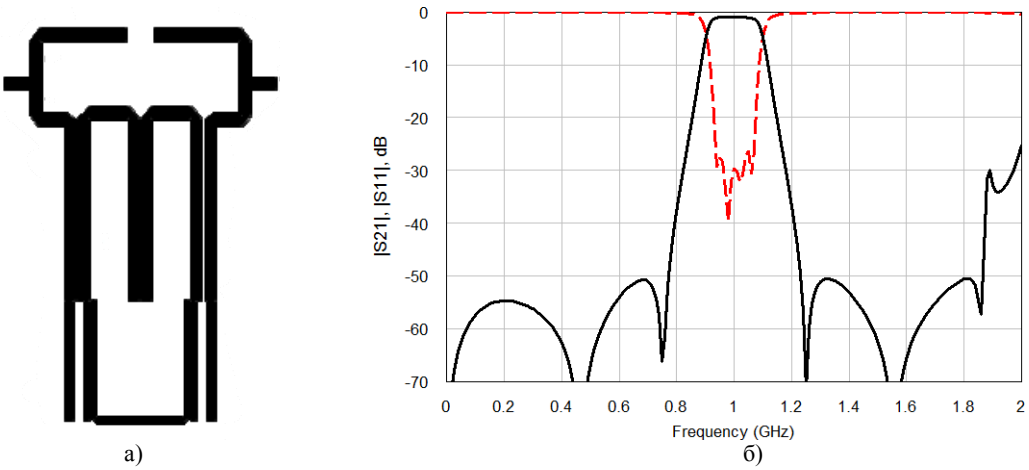


а) б)

Рис. 3. Несимметричная структура четырехрезонаторного МПФ с преобладающей магнитной связью в решетчатых секциях

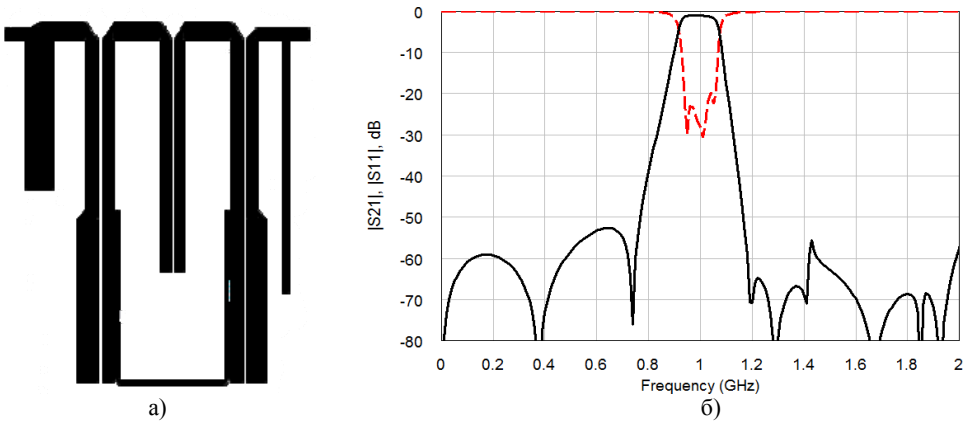
В этом случае площадь подложки, занимаемая топологией МПФ, составляет A×B=33×25 мм^2, т.е. 0.061λ^2. В этой структуре обеспечивается формирование дополнительных полюсов затухания. Достигнутое при этом сужение топологии структуры способствует предотвращению возбуждения в ней волн высших типов.

На рисунках 4 и 5 представлены аналогичные структуры, в которых центральная решетчатая секция формирует полюс рабочего затухания в области верхних частот вблизи полосы пропускания. Это достигается за счет того, что в этих секциях преобладающей связью между МПЛ является электрическая связь. Ширина зазора между МПЛ в этой секции составляет S_{min}/H=0.07. Повышение крутизны рабочего затухания в области верхних частот может быть достигнуто только усилением этой связи (S_{min}/H<0.05), что предъявляет более жесткие требования к технологии изготовления МПФ. Площадь подложки, занимаемая топологией МПФ (рис. 4а), составляет A×B=24×42 мм^2, т.е. 0.075λ^2. А площадь подложки, занимаемая топологией МПФ (рис. 5а), составляет A×B=24×33 мм^2, т.е. 0.059λ^2.



а) б)

Рис. 4. Симметричная структура МПФ с преобладающей электрической связью в центральной решетчатой секции

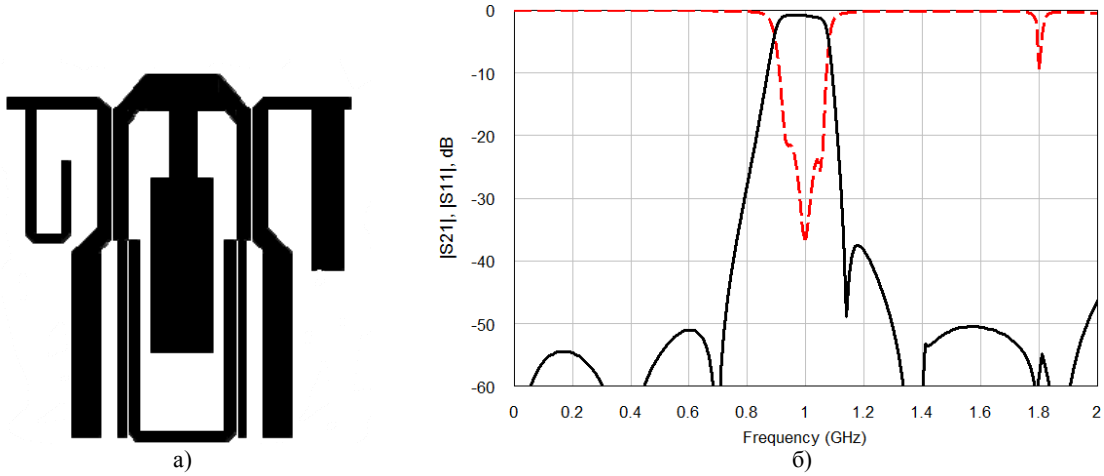


а) б)

Рис. 5. Несимметричная структура МПФ с преобладающей электрической связью в центральной решетчатой секции

Прием гальванического примыкания двухрезонаторных секций

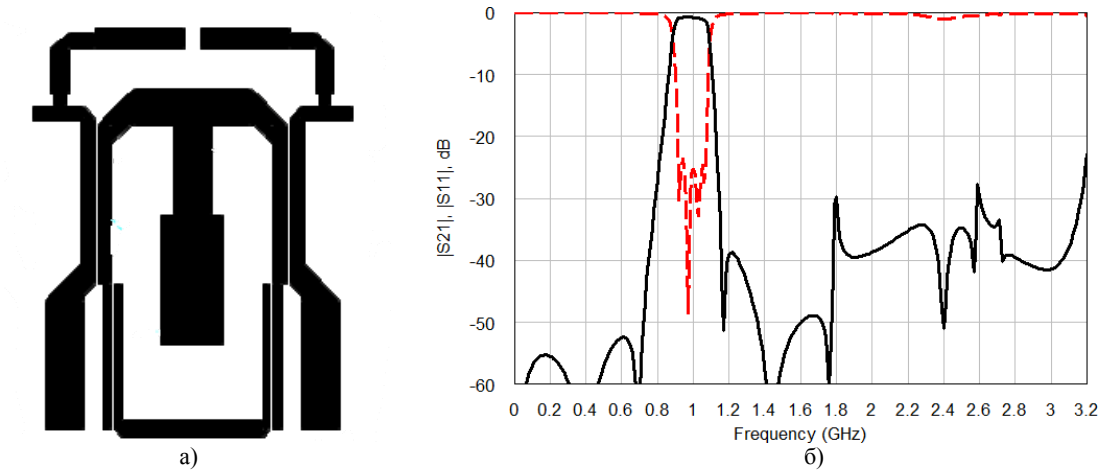
При гальваническом примыкании двухрезонаторных секций в четырехрезонаторной структуре центральная решетчатая секция (рис. 5) становится шлейфом (рис. 6). При такой реализации МПФ снимаются технологические ограничения в возможности близкого расположения полюса затухания относительно полосы пропускания в области верхних частот. Площадь подложки, занимаемая топологией МПФ, составляет A×B=27×31 мм^2, т.е. 0.062λ^2.



а) б)

Рис. 6. Несимметричная структура МПФ на основе гальванического примыкания двухрезонаторных секций

На рисунке 7 приведена симметричная структура МПФ с гальванической связью двухрезонаторных секций. Расщепление полюсов затухания, формируемых входным и выходным Т-сочленениями, достигается введением электрической связи между шлейфами. Этот МПФ наряду с повышенной крутизной рабочего затухания в области верхних частот обеспечивает разрядку спектра паразитных полос пропускания. Это достигается за счет смещения вторичных полюсов затухания решетчатых секций в область второй гармоники. Минимальный зазор между связанными МПЛ для этой структуры равен S_{min}/H=0.4, а площадь подложки, занимаемая топологией МПФ, составляет A×B=26×36 мм^2, т.е. 0.07λ^2.



а) б)

Рис. 7. Симметричная структура МПФ с разрядкой спектра паразитных полос пропускания

Заключение

В МПФ на полуволновых шпилечных резонаторах возможно формирование значительного числа полюсов рабочего затухания. Распределение полюсов затухания относительно полосы пропускания достигается применением схемотехнических приемов их формирования, расщепления и смыкания. В основе этих приемов лежит реализация необходимого соотношения в структурах степени электромагнитного взаимодействия как между смежными так и несмежными резонаторами.

Приведенные в данной работе различные варианты топологий МПФ служат наглядными примерами, иллюстрирующими возможности применяемых способов управления расположением полюсов затухания на конечных частотах.

Литература

1. *Маттей Д.Л., Янг Л., Джон Е.М.Т.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. М.: Связь, 1971, 1972. Т.1,2. 451 с., 494 с.

2. *Мазепова О.И., Мещанов В.П., Прохорова Н.И.* и др.Справочник по элементам полосковой техники / Под ред. А.Л. Фельдштейна. М.: Связь, 1979. 336 с.

3. *M. I. Lancaster and J. S. Hong*, "Theory and experiment of novel microstrip slow-wave open-loop resonator filters," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. MTT-45, pp. 2358-2365, Dec. 1997.

4. *J. G. Hong and M. J. Lancaster*, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications. New York: Wiley, 2001.

5. *Аристархов Г.М., Чернышев В.П*. Косвенный синтез микрополосковых фильтров на сонаправленных шпилечных резонаторах с полюсами затухания на конечных частотах // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32. №6. С. 1168-1175.

6. *G. M. Aristarkhov, A. Grebennikov and N. V. Zvezdinov*, "High-Selectivity Microstrip Filters Based on Structures With a Limited Number of Hairpin Resonators [Application Notes]," // IEEE Microwave Magazine, vol. 20, no. 11, pp. 22-31, Nov. 2019. doi: 10.1109/MMM.2019.2935362

АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДРЕЙФА КОНЦЕПТА ПРИ ПОТОКОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАФИКА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Шелухин Олег Иванович,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, профессор, д.т.н., Москва, Россия
sheluhin@mail.ru

Барков Вячеслав Валерьевич
Московский Технический Университет Связи и Информатики, ст. преподаватель, Москва, Россия
viacheslav.barkov@gmail.com

Секретарёв Сергей Александрович
Московский Технический Университет Связи и Информатики, магистрант, Москва, Россия
svoboda.vezde@gmail.com

Аннотация

Важным аспектом классификации приложений в условиях априорной неопределенности является работа алгоритмов в потоковом режиме, при непрерывном поступлении данных измерений. Отличительной особенностью классификации данных в потоковом режиме является смещение (дрейф) концепта. Смещение концепта происходит, когда исследуемое явление, о котором были собраны данные, изменяется с течением времени. В условиях нестационарных потоков данных классификация мобильных приложений должна осуществляться в паре с детектором смены концепта (ДСК). Предложен алгоритм обнаружения смены концепта в наблюдаемом потоке данных, базирующийся на статистических характеристиках атрибутов, анализируемых с помощью двух скользящих окон, контролирующих изменение текущих статистических характеристик атрибутов мобильных приложений. Особенностью предложенного алгоритма является учет эффекта «старения» данных в процессе обработки. Приведены зависимости, позволяющие оценить работоспособность предложенного алгоритма обнаружения дрейфа концепта. Показано, что применение ДСК позволяет снизить вероятность ошибки классификации при каждой смене концепта до 5%.

Ключевые слова

Машинное обучение, изменение концепта, скользящие окна, критерий Фишера, потоковый режим.

Введение

Современные алгоритмы интеллектуального анализа трафика мобильных приложений требуется адаптировать для работы в потоковом режиме из-за ресурсных ограничений по используемой памяти и быстродействию. Важными особенностями задач классификации потоков данных являются их большая длина и смещение (дрейф) концепта. Смещение концепта является общим свойством потоков данных, которое присутствует в случае изменения исследуемого трафика, например, при появлении новых приложений, при изменении интенсивности существующих атрибутов или при появлении в сети новых мобильных устройств.

Изменение свойств потока может приводить к утрате обученной моделью своей актуальности и падению качества выдаваемых прогнозов. Известно много методов для борьбы с дрейфом концепта [1]. Как правило, для обнаружения дрейфа анализируются показатели качества классификации, которые невозможно получить, не имея информации об истинных метках обрабатываемых объектов [1, 11, 12, 13]. Это стимулировало необходимость своевременно обнаруживать эти концептуальные дрейфы в потоках данных на основе статистических характеристик потоков в качестве входных данных [14-15, 25-26].

В работе анализируется возможность обнаружения дрейфа концепта без использования данной информации с помощью специального детектора смены концепта (ДСК).

В первом разделе анализируются известные методы обнаружения смены концепта. На примере трафика мобильных приложений, собранного с мобильных устройств под управлением операционной системы Android, предложен алгоритм обнаружения смены концепта, вызванного резким изменением статистических характеристик атрибутов трафика анализируемых приложений.

Во втором разделе анализируется структура алгоритма обнаружения изменения концепта с помощью теста Фишера.

В третьем разделе анализируется структура алгоритма ДСК с помощью теста Пейджа-Хинкли.

В четвертом разделе оценивается эффективность ДСК ФПХ алгоритмов обнаружения смены концепта, вызванного изменением интенсивности атрибутов анализируемых приложений на основе анализа текущих статистических характеристик трафика.

Анализ методов обнаружения «дрейфа концепта»

Термин "дрейф концепта" означает, что статистические свойства целевого концепта изменяются произвольно с течением времени [1, 12]. В результате ранее построенная модель становится менее точной и требует обновления или замены на новую [12, 13].

В зависимости от природы анализируемых процессов понятие дрейфа может происходить различными способами. Формально понятие дрейфа между моментом времени t_0 и моментом времени t_1 может быть определено, как $\exists X : p_{t_0}(X, y) \neq p_{t_1}(X, y)$, где p_{t_0} обозначает совместное распределение в момент времени t_0 между набором входных переменных X и целевой переменной y [4]. Другими словами, могут измениться: априорные вероятности классов $p(y)$; условные вероятности класса $p(X|y)$, а также могут изменяться в результате апостериорные вероятности классов $p(y|X)$, влияя на прогнозирование изменений.

Получили распространение несколько подходов, направленных на выявление дрейфа концепта. Так в работе [6] предложен метод обнаружения дрейфа (Drift Detection Method - DDM). Данный метод использует биноминальное распределение для описания поведения случайной величины, характеризующей количество ошибок классификации в выборке размера n. Для каждого элемента i в потоке DDM подсчитывает вероятность ошибки классификации p_i и её стандартное отклонение s_i. Если распределение примеров стационарно, величина p_i будет уменьшаться с увеличением размера выборки. Если вероятность ошибки обучаемого алгоритма значительно возрастает, алгоритм предполагает наличие изменений в распределении классов, что означает потерю текущей моделью своей актуальности, в результате чего начинается процесс ее обновления.

С этой целью DDM подсчитывает значения p_i для каждого экземпляра и в тот момент, когда значение $p_i + s_i$ достигается своего минимума, DDM запоминает p_{min} и s_{min}. Затем DDM проверяет два условия для принятия решения о том, достигнуты ли уровень предупреждения или смены концепта:

- Уровень предупреждения достигается, когда $p_i + s_i \geq p_{min} + 2s_{min}$. В данном состоянии DDM запоминает все наблюдения, чтобы использовать их для переобучения при смене концепта.
- Уровень смены концепта достигается, когда $p_i + s_i \geq p_{min} + 3s_{min}$. В этом случае DDM сбрасывает состояние p_{min} и s_{min}, а также состояние обученной модели. Затем происходит обучение новой модели на основе данных, накопленных с момента достижения уровня предупреждения.

DDM хорошо себя показывает при работе с постепенной сменой концепта (если она не является чересчур медленной), а также при работе с резкой сменой концепта. При этом, проблема DDM состоит в том, что, если смена концепта происходит слишком медленно, то количество накопленных наблюдений может превысить размер внутреннего хранилища [7].

В работе [7] предложен метод, называемый Early Drift Detection Method (EDDM) и являющийся модификацией DDM с целью улучшения способности к обнаружению постепенной смены концепта при сохранении хорошо качества обнаружения резких изменений. EDDM подсчитывает среднее расстояние между двумя ошибками классификации ($p_i^{'}$) и его стандартное отклонение $s_i^{'}$. Значения $p_{max}^{'}$ и $s_{max}^{'}$ подсчитываются, когда $p_i^{'} + 2s_i^{'}$ достигает своего максимума. EDDM работает с двумя пороговыми значениями:

- Уровень предупреждения. Данный уровень достигается, когда $\left(p_i^{'} + 2s_i^{'}\right) / \left(p_{max}^{'} + 2s_{max}^{'}\right) < \alpha$. С момента достижения данного уровня происходит сохранение наблюдений с целью переобучения модели в случае смены концепта.
- Уровень смены концепта. Данный уровень достигается, когда $\left(p_i^{'} + 2s_i^{'}\right) / \left(p_{max}^{'} + 2s_{max}^{'}\right) < \beta$. В момент достижения уровня EDDM производит обучение новой модели на основе наблюдений, сохраненных с момент достижения уровня предупреждения. Также

происходит сброс значений переменных p'_{max} и s'_{max} (Baena-Garcia, et al., 2006).

В [8, 9] представлен метод обнаружения смены концепта, использующий в качестве своей основы модифицированную версию метода Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) для отслеживания вероятности ошибки классификации. Метод EWMA изначально был предложен в [22] для обнаружения увеличения математического ожидания в последовательности случайных величин. Предположим, что мы наблюдаем независимые случайные величины $X_1,\ldots,X_n$ с общим математическим ожиданием μ_0 до смены концепта и μ_1 после смены. Отсюда можно получить оценку математического ожидания для момента времени t:

$$Z_0 = \mu_0 \tag{1}$$

$$Z_t = (1-\lambda)Z_{t-1} + \lambda X_t, t > 0, \tag{2}$$

где λ – это параметр, который контролирует, насколько большой вес назначается новым данным, по сравнению с собранными до этого. EWMA предполагает, что нам известны значения μ_0 и σ_x (стандартное отклонение потока). Метод оценивания EWMA – это способ получения новой оценки μ_t на основе более ранних данных. Автор подмечает, что если распределения переменных X_t независимы, то математическое ожидание и стандартное отклонение значения Z_t может быть подсчитано как:

$$\mu_{Z_t} = \mu_t, \sigma_{Z_t} = \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda-2}\left(1-(1-\lambda)^{2t}\right)}\sigma_x . \tag{3}$$

Перед тем, как произойдет изменение, величина μ_t считается равной μ_0 и предполагается, что значение Z будет колебаться вокруг него. После смены концепта величина μ_t изменится на μ_1 вслед за ним изменится и значение Z_t, сигнализируя о том, что произошло изменение. Изменение произошло, если $Z_t > \mu_0 + L\sigma_{Z_t}$, где L управляет пределом и показывает, на сколько значение Z_t должно отклониться от μ_0 перед фиксацией смены концепта.

Метод EWMA может быть использован для обнаружения изменений в потоке, учитывая, что ошибка может быть увидена как последовательность испытаний Бернулли, где p_t – это вероятность неправильной классификации примера в момент времени t. Повышение значения параметра p_t показывает, что происходит смена концепта. Детектор представленный в [23], предполагает, что p_t имеет 2 возможных значения: p_0 и p_1 (p_0 перед изменением и p_1 после изменения), а также предполагает, что значения p_0 и σ_x известны. Так как метод использует распределение Бернулли, величина σ_X зависит от p_t так, что любое изменение в p_t также приведет к изменению стандартного отклонения. Перед моментом смены концепта предполагается, что $\sigma_{X_t} = \sigma_0$ и $\sigma_{X_t} = \sigma_1$ после него. Метод оценивания EWMA определяется как:

$$\sigma_{Z_t} = \sqrt{p_0(1-p_0)\frac{\lambda}{2-\lambda}\left(1-(1-\lambda)^{2t}\right)} . \tag{4}$$

EWMA Chart DM улучшает последний подход, устраняя необходимость знать p_0 и вводя второй метод оценивания p_0, обозначаемый $\hat{p}_{0,t}$ и определяемый как:

$$\hat{p}_{0,t} = \frac{1}{t}\sum_{i=1}^{t} X_i = \frac{t-1}{t}\hat{p}_{0,t-1} + \frac{1}{t}X_t . \tag{5}$$

EWMA Chart DM фиксирует изменение, когда $Z_t > \hat{p}_{0,t} + L\sigma_{Z_t}$. Стандартное отклонение перед изменением может быть подсчитано как $\hat{\sigma}_{0,t} = \hat{p}_{0,t}\left(1-\hat{p}_{0,t}\right)$, а стандартное отклонение метода оценки EWMA может быть подсчитано как:

$$\sigma_{Z_t} = \sqrt{\hat{p}_{0,t}\left(1-\hat{p}_{0,t}\right)\frac{\lambda}{2-\lambda}\left(1-\left(1-\lambda\right)^{2t}\right)}. \quad (6)$$

Предлагается выбирать значение λ в интервале $\lambda \in [0,1;0,3]$.

В работе [10] описан метод, называемый Geometric Moving Average (GMA). В основе метода лежат два этапа: вычисление отношения правдоподобия и экспоненциальное взвешивание наблюдений. Отношение правдоподобия определяется как:

$$s\left(y\right) = \ln\frac{p\theta_1\left(y\right)}{p\theta_2\left(y\right)}. \quad (7)$$

Ключевое статистическое свойство данного критерия отражено в (8).

$$\begin{aligned} &E\theta_0\left(s\right) < 0 \\ &E\theta_1\left(s\right) > 0 \end{aligned} \quad (8)$$

где $E\theta_0$ и $E\theta_1$ – это ожидаемые значения случайных величин, подчиняющихся распределениям $p\theta_0$ и $p\theta_1$ соответственно. Используя данные сведения, можно определить детектор изменения, использующий расстояние Кульбака (9) для определения расхождения между двумя моделями (средние значения до и после возникновения изменения), как это показано в (10).

$$K\left(\theta_0,\theta_1\right) = E\theta_1\left(s\right); \quad (9)$$

$$E\theta_1\left(s\right) - E\theta_0\left(s\right) = K\left(\theta_1,\theta_0\right) + K\left(\theta_0,\theta_1\right) > 0. \quad (10)$$

Другая идея, лежащая в основе GMA, заключается в экспоненциальном взвешивании (γ_i) наблюдений. Это означает, что более высокие значения весовых коэффициентов назначаются более поздним наблюдениям, а более низкие значения весовых коэффициентов назначаются более ранним [22, 24]. Решающая функция определяется как:

$$g_k = \sum_{i=0}^{\infty}\gamma_i \ln\frac{p\theta_1\left(y_{k-i}\right)}{p\theta_0\left(y_{k-i}\right)} = \sum_{i=0}^{\infty}\gamma_i s_{k-i}, \quad (11)$$

где γ_i подсчитывается как $y_i = \alpha\left(1-\alpha\right)^i, 0 < \alpha \le 1$, а α – коэффициент забывания (α придает последним принятым данным более низкий или более высокий вес). Решающая функция может быть переписана как:

$$g_k = \left(1-\alpha\right)g_{k-1} + \alpha s_k \;; g_0 = 0. \quad (12)$$

Решение наличии смены концепта принимается на основе правила остановки $t_\alpha = \min\left\{k : g_k \ge h\right\}$, где h – пороговое значение, выбираемое опытным путем как компромисс между вероятностью пропуска и вероятностью ложной тревоги.

Алгоритм обнаружения изменения концепции с двумя скользящими окнами с учетом «старения» данных

Большинство современных способов обнаружения дрейфа концепции в режиме онлайн используют временное окно. В этом случае в некотором временном окне обрабатываются все образцы, и как бы «забывают» все «прошлое» этих образцов [11, 12, 13]. Все подходы, использующие временные окна, предполагают, что важны только самые последние образцы. Адаптивное обучение сводится к обновлению прогнозирующих моделей в режиме онлайн во время их работы, чтобы реагировать на дрейф концепта. Подобное определение статистики приложений помогает не только отслеживать состояние сети, выявлять сбои, но и при необходимости ограничивать доступ к сетевым ресурсам, которые с точки зрения информационной безопасности могут нанести вред пользователю.

В отличие от известных работ для обнаружения смены концепта в режиме реального времени с помощью двух смещающихся во времени окон, предлагается контролировать изменение текущих статистических характеристик атрибутов анализируемых приложений. В качестве базы данных анализировался трафик мобильных приложений, полученный с использованием разработанного программного комплекса в течение одного месяца [14, 15]. Был собран трафик 110 мобильных приложений, включающий 95 447 потоков и 7 119 169 пакетов. 71 667 потоков и 6 989 991 пакетов составляют 18 основных приложений

для трёх категорий: «С шифрованием трафика», «Без шифрования трафика», «С частичным шифрованием трафика».

Анализ статистических характеристик измеренного трафика показал, что наиболее важные из них, связанные с изменением объема трафика, имеют экспоненциальный вид. Анализ экспериментальных данных показывает, что наблюдаемые атрибуты достаточно хорошо описываются параметрическим Гамма-распределением

$$W(a)=\frac{1}{\beta\Gamma(\gamma)}\left(\frac{a}{\beta}\right)^{\gamma-1} exp\left(-\frac{a}{\beta}\right), \tag{13}$$

где $\boldsymbol{\Gamma}(\boldsymbol{u})$ – стандартная Гамма функция.

Параметрами случайной величины, имеющей гамма-распределение являются математическое ожидание $\mu=\alpha\beta$ и дисперсия $\sigma^2=\alpha\beta^2$.

При резком изменении параметров распределений атрибутов наблюдаемых приложений наблюдается смена концепции, которая может быть сформулирована в виде статистической гипотезы. В случае если статистика анализируемых последовательностей имеет распределение экспоненциального вида, для обнаружения аномальных изменений анализируемых атрибутов может быть использован критерий Фишера для выбросов средних значений [16]. Согласно данному критерию, в каждый момент времени (положение окон) t на масштабном уровне j выдвигаются две статистические гипотезы о равенстве средних значений двух выборок – нулевая – $H_0:\mu_{1,t,j}=\mu_{2,t,j}$ и альтернативная – $H_1:\mu_{1,t,j}\neq\mu_{2,t,j}$. Сама решающая статистика критерия записывается в виде

$$R_t=\frac{M_2}{M_1}>\lambda. \tag{14}$$

Нулевая гипотеза опровергается в пользу альтернативной, в случае если $M>F_p(\nu_1,\nu_2)$, где $F_p(\nu_1,\nu_2)$ – p – квантиль распределения Фишера с $\nu_1=2n$ и $\nu_2=2m$ степенями свободы.

Наиболее распространенный подход к работе с изменениями в данных, производимых процессами с неизвестной динамикой, забывает устаревшие наблюдения. Выбор механизма забывания зависит от ожиданий, которые мы имеем по отношению к изменениям в распределении данных и какой требуется компромисс между реактивностью и устойчивостью системы к шуму.

Постепенное забывание – это подход с полной памятью, что означает, что ни один из примеров не удаляется из памяти полностью. С каждым наблюдением ассоциируется вес, отражающий возраст данного наблюдения. Взвешивание примеров основано на простом предположении, согласно которому важность наблюдения в обучающем наборе должна уменьшаться с возрастом. Предположим, что в момент времени i сохраненная статистика равна S_{i-1} и на вход приходит элемент X_i. Предполагая, что функция агрегации равна $G(X,S)$, новая статистика считается как $S_i=G(X_i,\alpha S_{i-1})$, где коэффициент затухания $\alpha\in(0,1)$. Таким образом, старая информация становится менее значимой. Методы линейного затухания можно найти в [11], а метод экспоненциального затухания представлен в [12].

В последнем случае веса наблюдениям подбираются согласно их возрасту, используя экспоненциальную функцию затухания $\omega_\lambda(X)=\exp(-qj)$, где наблюдение X появлялось j шагов времени назад. Параметр q контролирует как быстро уменьшаются веса. Чем больше значение q, тем меньший вес присваивается старым наблюдениям. Если $q=0$, все наблюдения имеют одинаковый вес. С учетом вышеизложенного решающая статистика (3) с учетом коэффициентов затухания для каждого окна может быть модифицирована к виду:

$$R_t^J=\frac{M_{W_2}^J(t)}{M_{W_1}^J(t)}>\lambda, \tag{15}$$

где

$$M_{W_1}^J(t)=\frac{\frac{1}{K}\sum_{i=N_2}^{N_1+N_2-1}\sum_{j=1}^{K}\alpha_1^i y_{t-i,j}^J}{\sum_{i=0}^{N_1-1}\alpha_1^i} \tag{16}$$

$$M_{W_2}^J(t) = \frac{\frac{1}{K}\sum_{i=0}^{N_2-1}\sum_{j=1}^{K}\alpha_2^i y_{t-i,j}^J}{\sum_{i=0}^{N_2-1}\alpha_2^i}. \quad (17)$$

Здесь y_t – значение элементов наблюдаемого потока $Y = \{y_0, y_1, \ldots, y_{N-1}\}$ (приложений и атрибутов), измеренных в момент времени $t \in T = \{0,1,\ldots,N-1\}$; N – размер множества Y; a_1 и α_2 ($0 \ll \alpha_2 < \alpha_1 < 1$)– коэффициенты затухания, характеризующие «память» измеренных значений в первом W_1 и втором W_2 окне соответственно.

В результате окна анализа задаются не только размерами $N1$ и $N2$ но коэффициентами затухания a_1 и α_2, контролирующими скорость убывания степени значимости каждого элемента последовательности при вычислении средних значений (16) и (17). Проведенные исследования показали, что выбор значений коэффициентов затухания a_1 и α_2 и размеров окон W_1 и W_2 критичен и требует задания этих параметров пользователем. Проведенные исследования показали, что обнаружение дрейфа, основанное на коэффициентах затухания, происходит несколько быстрее, чем при использовании обычных скользящих окон.

Псевдокод вычисления $R(t)$ для метода обнаружения на основе затухающих коэффициентов приведен в алгоритме 1.

Алгоритм 1 – Псевдокод вычисления решающей статистики $R(t)$ для метода обнаружения на основе коэффициентов затухания

Function InsertElementFF($W, y_t, N_1, N_2, \alpha_1, \alpha_2$*)*

$W = W \cup \{\overline{y_t}\}$

If $|W| > N_1 + N_2$ *then*

$W = \{W_2, \ldots, W_{|W|}\}$

$M_{W_1} = \sum_{i=1}^{N_1} \alpha_1^{N_1-i} W_i / \sum_{i=0}^{N_1-1} \alpha_1^i$

$M_{W_1} = \sum_{i=N_1+1}^{|W|} \alpha_1^{|W|-i} W_i / \sum_{i=0}^{N_2-1} \alpha_2^i$

Return M_{W_2} / M_{W_1}

End If

Return 0

End Function

При получении экспериментальных зависимостей были использованы значения параметров:
$N_1 = 50000;\ N_2 = 10000; \alpha_1 = 0,999; \alpha_2 = 0,997$.

Оценка эффективности ДСК

Для оценки эффективности рассмотренного ДСК был проведен эксперимент, заключающийся в классификации специально подготовленного набора данных разработанным для этих целей классификатором, реализующим алгоритм K Nearest Neighbors [18]. В качестве множества экспериментальных данных был использован набор данных «CIRCLES» [19, 20]. Каждый элемент использованного набора данных характеризуется двумя признаками – координатами точки в двухмерном пространстве. Класс элемента характеризует, находится ли точка внутри круга или снаружи. Смена концепта происходит из-за изменения радиуса круга. В используемом в эксперименте наборе данных концепт меняется два раза – сначала происходит увеличение радиуса круга, а затем – уменьшение. В результате данного изменения некоторые точки меняют свой класс. Набор содержит 60000 элементов. Радиус круга до увеличения и после уменьшения равен 10. Радиус после увеличения равен 20.

Эксперимент осуществлялся в следующей последовательности. Пусть значение $y_{t,1}$ элемента y_t характеризует класс, к которому принадлежит элемент. При получении очередного элемента последовательности y_t последовательность значений признаков $\{y_{t,2}; y_{t,3}; \ldots; y_{t,K}\}$ используются классификатором для предсказания значения $y_{t,1}$. Пусть предсказанное классификатором значение обозначается как $\widehat{y_{t,1}}$. Если $y_{t,1} \neq \widehat{y_{t,1}}$, то происходит увеличение счетчика ошибок E на 1. На следующем этапе взятые по модулю значения признаков $\{|y_{t,2}|; |y_{t,3}|; \ldots; |y_{t,K}|\}$ используются детектором для обнаружения дрейфа концепта.

Если детектор фиксирует наличие дрейфа, то устанавливается флаг l, обозначающий активное состояние фазы обучения. После того как флаг l установлен, происходит накопление элементов y_t в массиве Y_L. При достижении массивом размера L его содержимое используется для обучения новой модели. Флаг l при этом сбрасывается, а массив Y_L очищается. Схожий принцип с применяется в алгоритме Adaptive Random Forest (ARF) [21].

Для использованных детекторов были заданы следующие параметры:

$N = 5000$; $N_2 = 1000$; $\lambda = 100$; $\delta = 0{,}1$.

На графике (рис. 1) представлены зависимости вероятности ошибок классификации от объема поступающих данных.

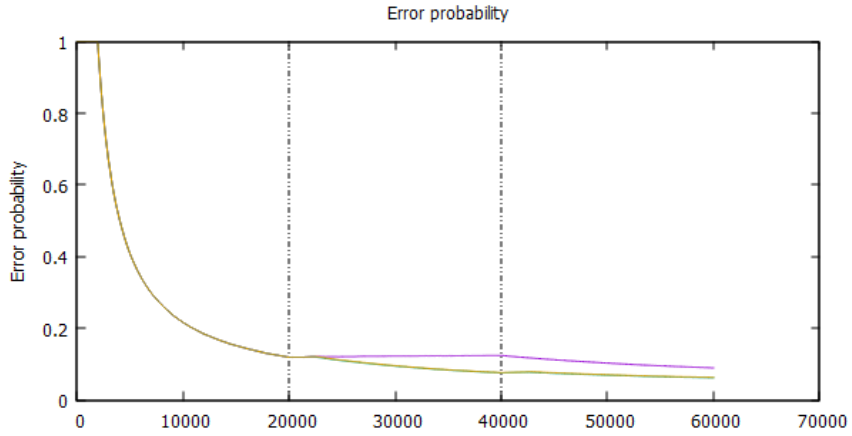


Рис. 1. Зависимость изменения вероятности ошибок классификации от объема поступающих данных при двух смещениях концепта

Две вертикальных линии (вблизи значений 20000 и 40000 по оси абсцисс) обозначают моменты смены концепта. Можно заметить, что на начальном участке вероятность ошибки находится на уровне единицы, что обусловлено необходимостью получить на этапе обучения классификатора 2000 элементов. Верхняя кривая характеризует эффективность классификации при отсутствии детектора дрейфа. Из представленных зависимостей можно видеть, что использование детектора смены концепта ДСК на основе алгоритма (15) позволяют снизить примерно на 5% вероятность ошибки классификации при каждой смене концепта.

На рисунках 2 и 3 эта область показана в более подробно. Как видно из графика, классификаторы, использующие для обнаружения смены концепта методы на основе коэффициентов затухания, начинают хуже справляться с классификацией сразу после смены концепта еще до переключения классификатора.

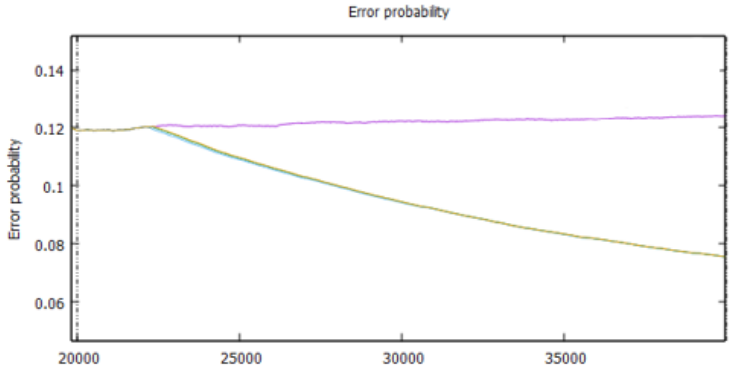


Рис. 2. График изменения вероятности ошибок. Зона после первой смены концепта

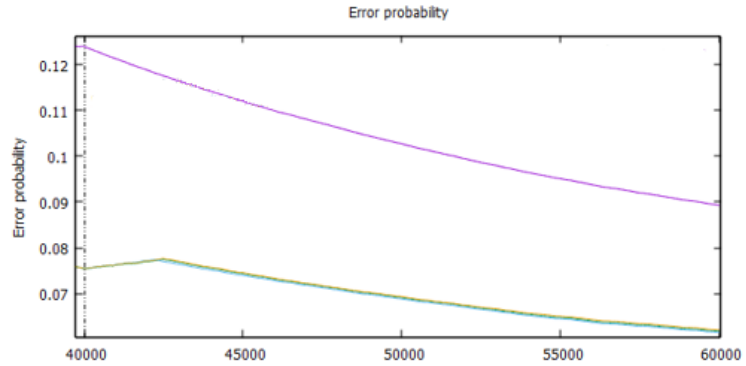


Рис. 3. График изменения вероятности ошибок. Зона после второй смены концепта

Заключение

В работе предложен алгоритм обнаружения смены концепта в наблюдаемом потоке данных, базирующийся на статистических характеристиках атрибутов трафика мобильных приложений с учетом «старения» данных Текущий анализ анализируемых приложений осуществляется с помощью двух скользящих окон, контролирующих изменение текущих статистических характеристик атрибутов мобильных приложений.

Показано, что классификаторы, не использующие ДСК, допускают примерно на 5% больше ошибок, чем классификаторы, использующие его. Проведенное исследование показывает возможность обнаружения изменений в потоковых данных без использования знания об истинных классах обрабатываемых объектов, а используя только значений признаков.

Литература

1. *D. Brzezinski, J. Stefanowski* (2014),"Reacting to Different Types of Concept Drift:The Accuracy Updated Ensemble Algorithm" IEEE Transactions On Neural Networks And Learning Systems, Vol. 25, pp. 81-94. https://doi.org/10.1109/TNNLS.2013.2251352.

2. *Wang, H., Yu, P., & Han, J.* Mining Concept-Drifting Data Streams. In O. Maimon, & L. Rokach (Eds.), Data Mining and Knowledge Discovery Handbook (pp. 789-802). Springer US. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-09823-4_40. 2010.

3. *Minku, L., & Yao, X.* DDD: A New Ensemble Approach for Dealing with Concept Drift. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 24(4), 619-633, 2012. DOI: 10.1109/TKDE.2011.58

4. *Dongre, P.B., & Malik, L.G.* Stream Data Classification and Adapting to Gradual Concept Drift. International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, 2 (3). 2014. Pp. 125-129. ISSN: 2321-7782 (Online)

5. *Gama, J., Zliobaite, I., Bifet, A., Pechenizkiy, M., & Bouchachia, A.A.* Survey on Concept Drift Adaptation.(ACM Computing Surveys, Vol. 1, No. 1, Article 1, January 2013. 35 p. DOI = 10.1145/0000000.0000000 http://doi.acm.org/10.1145/0000000.0

6. *Gama, J., Medas, P., Castillo, G., & Rodrigues, P.* Learning with Drift Detection. Advances in Artificial Intelligence – SBIA 2004. Vol. 3171 of Lecture Notes in Computer Science (Springer – Verlag), pp. 286-295, 2004.

7. *Baena-Garcia, M., Campo-Avila, J.D., Fidalgo, R., BIifet, A., Gavalda, R., & Morales-Bueno, R*. Early drift detection method. Fourth International Workshop on Knowledge Discovery from Data Streams. 2006.

8. *Ross, G.J., Adams, N.M., Tasoulis, D.K., & Hand, D.J.* Exponentially Weighted Moving Average Charts for Detecting Concept Drift. Pattern Recognition Letters, 33(2) 191-198, 2012. doi:10.1016/j.patrec.2011.08.019

9. *Raza, H., Prasad, G., and Li, Y.* (2015). Ewma model based shift-detection methods for detecting covariate shifts in non-stationary environments. Pattern Recognition, 48(3):659–669. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2014.07.028

10. *Sadhukha*. (2003). Change detection algorithms. From ttp://www.research.rutgers.edu/~sadhukha/file2.pdf, Retrieved marzo 14, 2016.

11. *Barddal, J.P., Gomes, H.M., Enembreck, F., Pfahringer, B., & Bifet, A*. (2016). On dynamic feature weighting for feature drifting data streams. In P. Frasconi, N. Landwehr, G. Manco, & J. Vreeken (Eds.), Proceedings of European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases (Vol. LNAI 9852, pp. 129–144). Cham, Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46227-1_9

12. *Yamini Kadwe*. Vaishali Suryawanshi. A Review on Concept Drift. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE). e-ISSN: 2278-0661,p-ISSN: 2278-8727, Volume 17, Issue 1, Ver. II (Jan – Feb. 2015), PP 20-26. DOI: 10.9790/0661-17122026

13. *Gomes, H. M., Barddal, J. P., Enembreck, F., and Bifet, A.* (2017). A survey on ensemble learning for data stream classification.ACM Computing Surveys,50(2):1–36. DOI: 10.1145/3054925

14. *Sheluhin O.I., Erokhin S.D., Osin A.V., Barkov V.V.* Experimental Studies of Network Traffic of Mobile Devices with Android OS. International Scientific Conference «2019 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications » (IEEE Conference # 46544) 20-21 March 2019 . DOI: 10.1109/SOSG.2019.8706824

15. *Sheluhin O.I., Barkov V.V., Sekretarev S.A.* (2019). The online classification of the mobile applications traffic using data mining techniques. T-Comm, vol. 13, no.10, pp. 60-67. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10317

16. *Basseville, M. and Nikiforov, I.V.* (1993) Detection of Abrupt Changes: Theory and Application. PTR Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. 469 p.

17. *Mouss, H., Mouss, D., Mouss, N., & Sefouhi, L.* (2004). Test of Page-Hinkley, an approach for fault detection in an agro-alimentary production system. In Proceedings of the Asian control conference (Vol. 2, pp. 815-818). DOI: 10.1109/ASCC.2004.184970

18. H. Witten and E. Frank. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2nd edition, 2005:560. ISBN 0-12-088407-0

19. *Minku L. L., White A. P., Yao X.* The impact of diversity on online ensemble learning in the presence of concept drift // IEEE Transactions on knowledge and Data Engineering. 2009. Т. 22. №. 5. С. 730-742. https://doi.org/10.1109/TKDE.2009.156

20. *Gama J.* et al. Learning with drift detection //Brazilian symposium on artificial intelligence. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. – С. 286-295. https://doi.org/10.1007/978-3-540-28645-5_29

21. *Heitor M. Gomes, Albert Bifet, Jesse Read, Jean Paul Barddal, Fabrício Enembreck, Bernhard Pfharinger, Geoff Holmes.* Adaptive random forests for evolving data stream classification. Machine Learning. October 2017. Vol. 106, Issue 9-10, pp. 1469-1495. DOI: 10.1007/s10994-017-5642-8

22. *Roberts S.W*. Control chart tests based on geometric moving averages // Technometrics. 2000. Т. 42. №. 1. С. 97-101. https://doi.org/10.1080/00401706.2000.10485986

23. *Yeh A.B*. et al. EWMA control charts for monitoring high-yield processes based on non-transformed observations // International Journal of Production Research. 2008. Т. 46. №. 20. С. 5679-5699. doi.org/10.1080/00207540601182252

24. *Basseville M*. et al. Detection of abrupt changes. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 2012.

25. *Костин Д.В., Шелухин О.И*. Сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения для проведения классификации сетевого зашифрованного трафика // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 9. С. 43-52.

26. *Шелухин О.И., Симонян А.Г., Ванюшина А.В.* Влияние структуры обучающей выборки на эффективность классификации приложений трафика методами машинного обучения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 2. С. 25-31.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОДОЛЖЕННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ВОЛН НА РАССЕИВАТЕЛЯХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ОДНОРОДНОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛА

Крысанов Дмитрий Владимирович,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
dimok1993@mail.ru

Кюркчан Александр Гаврилович,
Московский технический университет связи и информатики, зав. каф., д.ф.-м.н., Москва, Россия;
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино Московской обл.;
ФГУП Центральный научно-исследовательский институт связи, Москва, Россия

Маненков Сергей Александрович,
Московский технический университет связи и информатики, доц., к.ф.-м.н., Москва, Россия

Аннотация

На основе метода продолженных граничных условий предложена методика, позволяющая моделировать характеристики рассеяния тел произвольной геометрии. Рассмотрена двумерная задача дифракции плоской волны на диэлектрических телах, расположенных в однородном полупространстве из метаматериала. Корректность метода подтверждена путем сравнения с результатами расчетов, полученных модифицированным методом дискретных источников.

Ключевые слова

Дифракция и рассеяние волн, метод продолженных граничных условий, дифракция на телах, расположенных в плоскослоистой среде, метаматериалы.

Введение

В последние годы интенсивно развивается новое направление радиофизики – распространение электромагнитных волн в структурах из метаматериала. Как известно, метаматериалы являются искусственными магнитодиэлектриками (композитами) [1], у которых отрицательны одновременно диэлектрическая и магнитная проницаемости. Они имеют ряд необычных свойств (в первую очередь отрицательную рефракцию). При изготовлении композитов их характеристики можно менять в очень широких пределах, что позволяет создавать устройства с уникальными электродинамическими свойствами в оптическом и СВЧ-диапазонах [2, 3].

Несмотря на то, что на данный момент разработан ряд аналитических и численных методов решения задач дифракции на телах произвольной геометрии (наиболее распространенными из которых являются метод Т-матриц [4] и метод дискретных источников [5]), потребности в моделировании дифракционных процессов возрастают довольно быстро, в связи с чем, вопрос разработки более универсальных методов решения задач дифракции все еще остается актуальным.

В данной статье предлагается обобщение метода продолженных граничных условий (МПГУ) [6-10, 12] для решения двумерной задачи дифракции электромагнитных волн на диэлектрическом теле, расположенном в однородном полупространстве. Приведены формулы и результаты расчетов диаграммы рассеяния тел, расположенных в полупространстве из метаматериала. Исследована зависимость диаграммы рассеяния от расстояния между телом и границей раздела сред.

Вывод основных соотношений

Пусть на бесконечно длинный магнитодиэлектрический цилиндр с образующей, параллельной оси Oz, и с направляющей S падает первичное электромагнитное поле $\mathbf{E}^0, \mathbf{H}^0$. Предполагаем, что цилиндр расположен в однородном магнитодиэлектричеком полупространстве. Геометрия задачи изображена на рис. 1.

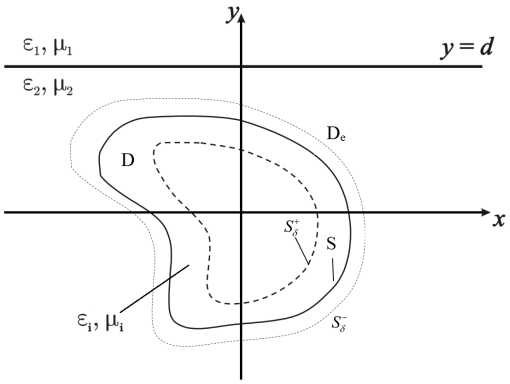


Рис. 1. Геометрия задачи

Рассмотрим случай *E*-поляризации, когда вектор напряженности электрического поля **E** имеет только одну составляющую E_z (ниже обозначаемую буквами U_1, U_-, U_+ и т.д.), параллельную образующей цилиндрического тела. Обозначим материальные параметры сред при $y > d$ и $y < d$ через ε_1, μ_1 и ε_2, μ_2 соответственно ($y = d$ – граница раздела сред). На границе раздела и на границе рассеивателя предполагаются выполненными условия сопряжения

$$U\big|_{y=d} = U_-\big|_{y=d}, \quad \frac{1}{\mu_1}\frac{\partial U_1}{\partial y}\bigg|_{y=d} = \frac{1}{\mu_2}\frac{\partial U_-}{\partial n}\bigg|_{y=d}, \tag{1}$$

$$U_+\big|_S = U_-\big|_S, \quad \frac{1}{\mu_i}\frac{\partial U_+}{\partial n}\bigg|_S = \frac{1}{\mu_2}\frac{\partial U_-}{\partial n}\bigg|_S, \tag{2}$$

где U_+ – поле внутри цилиндра, $U_- = U^0 + U^1$ – полное поле в нижнем полупространстве, причем U^0 - падающее, а U^1 – рассеянное (вторичное) поле, U_1 – полное поле в верхнем полупространстве, $\frac{\partial}{\partial n}$ – дифференцирование по направлению внешней к S нормали, μ_i – магнитная проницаемость среды внутри тела. Обозначим через $D_e = \mathbb{R}^2 \setminus \bar{D}$, $\bar{D} = D \cup S$, где D – область, ограниченная кривой S. На бесконечности предполагаются выполненными стандартные условия излучения для рассеянного поля [7].

Воспользуемся следующими представлениями для решения уравнения Гельмгольца в областях D_e и D соответственно [5]:

$$\begin{aligned} U_-(\mathbf{r}) &= U^0(\mathbf{r}) + \int_S \left\{ U_-(\mathbf{r}')\frac{\partial G_-(\mathbf{r};\mathbf{r}')}{\partial n'} - \frac{\partial U_-(\mathbf{r}')}{\partial n'} G_-(\mathbf{r};\mathbf{r}') \right\} ds', \\ U_+(\mathbf{r}) &= -\int_S \left\{ U_+(\mathbf{r}')\frac{\partial G_+(\mathbf{r};\mathbf{r}')}{\partial n'} - \frac{\partial U_+(\mathbf{r}')}{\partial n'} G_+(\mathbf{r};\mathbf{r}') \right\} ds', \end{aligned} \tag{3}$$

в которых

$$\begin{aligned} G_+(\mathbf{r};\mathbf{r}') &= -\frac{i}{4} H_0^{(2)}\left(k_+ \,|\, \mathbf{r} - \mathbf{r}' \,|\right), \\ G_-(\mathbf{r},\mathbf{r}') &= -\frac{i}{4} H_0^{(2)}(k_- \,|\, \mathbf{r} - \mathbf{r}' \,|) - \frac{i}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty} R(w)\exp\left(-i\gamma_-(2d - y - y') - iw(x - x')\right)\frac{dw}{\gamma_-} = \\ &= G_-^{\mathrm{I}}(\mathbf{r};\mathbf{r}') + G_-^{\mathrm{II}}(\mathbf{r};\mathbf{r}'), \end{aligned} \tag{4}$$

– это фундаментальные решения скалярного уравнения Гельмгольца в $\mathbb{R}^2$, $R(w) = \frac{\gamma_- - \mu_{21}\gamma}{\gamma_- + \mu_{21}\gamma}$, $\gamma_- = \sqrt{k_-^2 - w^2}$, $\gamma = \sqrt{k^2 - w^2}$. При этом знак корня выбирается так, чтобы его мнимая часть была не положительна. В приведенных формулах обозначено $k = \omega\sqrt{\varepsilon_1\mu_1}$, $k_- = \omega\sqrt{\varepsilon_2\mu_2}$, $k_+ = \omega\sqrt{\varepsilon_i\mu_i}$, $\mu_{12} = \mu_1 / \mu_2$, $\mu_{21} = \mu_2 / \mu_1$, ε_i – диэлектрическая проницаемость среды тела. В качестве падающего поля рассмотрим плоскую волну, падающую из верхнего полупространства $y > d$

$$\begin{aligned} U^0(\mathbf{r}) &= \frac{2k\cos\theta_0}{k\cos\theta_0 + \mu_{12}\sqrt{k_-^2 - k^2\sin^2\theta_0}} \times \exp\left(ikd\cos\theta_0 - id\sqrt{k_-^2 - k^2\sin^2\theta_0}\right) \times \\ &\times \exp\left(-ikx\sin\theta_0 + iy\sqrt{k_-^2 - k^2\sin^2\theta_0}\right), \end{aligned} \tag{5}$$

где θ_0 – угол падения плоской волны.

Потребовав в соответствии с МПГУ выполнения условий (2) на контуре S_δ^-, расположенном в $\mathbb{R}^2 \setminus \bar{D}$, и на контуре S_δ^+, расположенном внутри области D (см. рис.1) с использованием соотношений (3) получим следующие системы интегральных уравнений (СИУ) 2-го рода [9, 10]

$$
\begin{aligned}
&U(\mathbf{r}) = \frac{1}{2}U^0(\mathbf{r}_-) + \frac{1}{2}\int_S \left\{ U(\mathbf{r}')\left(\frac{\partial G_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n'} - \frac{\partial G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}')}{\partial n'} \right) - \right. \\
&\left. - \frac{\partial U(\mathbf{r}')}{\partial n'}\left(G_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}') - \kappa G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}') \right) \right\} ds', \\
&\frac{\partial U(\mathbf{r})}{\partial n} = \frac{1}{1+\kappa}\frac{\partial U^0(\mathbf{r}_-)}{\partial n} + \frac{1}{1+\kappa}\int_S \left\{ U(\mathbf{r}')\left(\frac{\partial^2 G_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n \partial n'} - \right. \right. \\
&\left. \left. - \frac{\partial^2 G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}')}{\partial n \partial n'} \right) - \frac{\partial U(\mathbf{r}')}{\partial n'}\left(\frac{\partial G_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n} - \kappa \frac{\partial G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}')}{\partial n} \right) \right\} ds',
\end{aligned}
\tag{6}
$$

где точки наблюдения $M(\mathbf{r}_\pm)$ принадлежат контурам $S_\delta^\pm$, а точка $M(\mathbf{r}) \in S$ и обозначено $U = U_-$, $\kappa = \mu_i / \mu_2$. Отметим, что чаще всего в качестве $S_\delta^\pm$ [5, 6] выбирают контуры, отстоящие от *S* на некоторое достаточно малое расстояние δ, то есть рассматривают эквидистантные контуры. Пусть уравнение границы *S* задано в параметрическом виде

$$
\begin{cases} x = x'(t), \\ y = y'(t), \quad t \in [0, t_{\max}]. \end{cases}
\tag{7}
$$

Тогда уравнения смещенных контуров $S_\delta^\mp$ записываются следующим образом:

$$
\begin{cases} x(t) = x'(t) \pm n_x(t)\delta, \\ y(t) = y'(t) \pm n_y(t)\delta, \end{cases}
\tag{8}
$$

где n_x и n_y – координаты нормали к границе тела *S*. Для решения системы (6) используем метод Крылова-Боголюбова. Для этого запишем системы уравнений (6) в виде

$$
\begin{aligned}
&I_1(t) + \int_0^{t_{\max}} \left(\tilde{K}_{11}(t,t')I_1(t') + \tilde{K}_{12}(t,t')I_2(t') \right) dt' = \tilde{b}_1(t), \\
&I_2(t) + \int_0^{t_{\max}} \left(\tilde{K}_{21}(t,t')I_1(t') + \tilde{K}_{22}(t,t')I_2(t') \right) dt' = \tilde{b}_2(t),
\end{aligned}
\tag{9}
$$

в которых:

$$
\begin{aligned}
&I_1(t') = U(\mathbf{r}'(t')),\ I_2(t') = \frac{\partial U(\mathbf{r}'(t'))}{\partial n'}, \\
&\tilde{b}_1(t) = \frac{1}{2}U^0(\mathbf{r}_-(t)),\ \tilde{b}_2(t) = \frac{1}{1+\kappa}\frac{\partial U^0(\mathbf{r}_-(t))}{\partial n}, \\
&\xi(t') = \sqrt{\dot{x}'(t')^2 + \dot{y}'(t')^2},\ \tilde{K}_{pq} = \tilde{K}^{\mathrm{I}}_{pq} + \tilde{K}^{\mathrm{II}}_{pq},\ p,q = 1,2, \\
&\tilde{K}^{\mathrm{I}}_{11} = -\frac{1}{2}\left(\frac{\partial G^{\mathrm{I}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n'} - \frac{\partial G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}')}{\partial n'} \right)\xi(t'), \\
&\tilde{K}^{\mathrm{I}}_{12} = \frac{1}{2}\left(G^{\mathrm{I}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}') - \kappa G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}') \right)\xi(t'), \\
&\tilde{K}^{\mathrm{I}}_{21} = -\frac{1}{1+\kappa}\left(\frac{\partial^2 G^{\mathrm{I}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n \partial n'} - \frac{\partial^2 G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}')}{\partial n \partial n'} \right)\xi(t'), \\
&\tilde{K}^{\mathrm{I}}_{22} = \frac{1}{1+\kappa}\left(\frac{\partial G^{\mathrm{I}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n} - \kappa \frac{\partial G_+(\mathbf{r}_+;\mathbf{r}')}{\partial n} \right)\xi(t'), \\
&\tilde{K}^{\mathrm{II}}_{11} = -\frac{1}{2}\frac{\partial G^{\mathrm{II}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n'}\xi(t'),\ \tilde{K}^{\mathrm{II}}_{21} = -\frac{1}{1+\kappa}\frac{\partial^2 G^{\mathrm{II}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n \partial n'}\xi(t'), \\
&\tilde{K}^{\mathrm{II}}_{12} = \frac{1}{2}G^{\mathrm{II}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')\xi(t'),\ \tilde{K}^{\mathrm{II}}_{22} = \frac{1}{1+\kappa}\frac{\partial G^{\mathrm{II}}_-(\mathbf{r}_-;\mathbf{r}')}{\partial n}\xi(t').
\end{aligned}
\tag{10}
$$

Точка в (10) означает производную по t. Представим далее неизвестные функции $I_{1,2}(t')$ в виде сумм

$$I_q(t') \cong \sum_{n=1}^{N} c_n^q \Phi_n(t'), \quad q = 1,2, \tag{11}$$

где $\Phi_n(t')$ – импульсные функции:

$$\Phi_n(t') = \begin{cases} 1, & t \in [t_n - \Delta/2, t_n + \Delta/2], \\ 0, & t \notin [t_n - \Delta/2, t_n + \Delta/2]. \end{cases} \tag{12}$$

Здесь $t_n = \frac{t_{\max}}{N}\left(n - \frac{1}{2}\right)$, $n = \overline{1,N}$, $\Delta = \frac{t_{\max}}{N}$ – шаг сетки, N – число базисных функций. Далее, подставив (12) в систему интегральных уравнений (9) и приравняв левую и правую части в точках коллокации с координатами $(x(t_n), y(t_n))$, выбранных на кривых $S_\delta^{\pm}$, получим следующую систему алгебраических уравнений относительно неизвестных величин c_n^q:

$$\begin{aligned} &c_m^1 + \sum_{n=1}^{N}\left(\tilde{K}_{mn}^{11} c_n^1 + \tilde{K}_{mn}^{12} c_n^2\right) = \tilde{b}_m^1, \\ &c_m^2 + \sum_{n=1}^{N}\left(\tilde{K}_{mn}^{21} c_n^1 + \tilde{K}_{mn}^{22} c_n^2\right) = \tilde{b}_m^2, \quad m = \overline{1,N}, \end{aligned} \tag{13}$$

где матричные элементы и правые части вычисляются по формулам

$$\tilde{K}_{mn}^{pq} \approx \int_{t_n - \Delta/2}^{t_n + \Delta/2} \tilde{K}_{pq}^{\mathrm{I}}(t_m, t)dt + \tilde{K}_{pq}^{\mathrm{II}}(t_m, t_n)\Delta, \; \tilde{b}_m^p = \tilde{b}_p(t_m), \; p,q = 1,2. \tag{14}$$

Здесь мы учли, что части ядер $\tilde{K}_{pq}^{\mathrm{I}}$ являются быстроменяющимися функциями параметра *t*, а оставшиеся части меняются медленно. Таким образом, можно применить к интегралам от добавочных частей $\tilde{K}_{pq}^{\mathrm{II}}$ ядер формулу прямоугольников.

Переходя к асимптотике рассеянного волнового поля при $|\mathbf{r}| \to \infty$ с учетом формул (3), (7), (11) и (12) получим следующее выражение для диаграммы рассеяния:

$$\begin{aligned} g(\varphi) = \frac{i\Delta}{4} \frac{2k\sin\varphi}{\mu_{21} k\sin\varphi + \sqrt{k_-^2 - k^2\cos^2\varphi}} \times \exp\left(ikd\sin\varphi - id\sqrt{k_-^2 - k^2\cos^2\varphi}\right) \times \\ \times \sum_{n=1}^{N}\left(c_n^2 - c_n^1\left(in_x'(t_n)k\cos\varphi + in_y'(t_n)\sqrt{k_-^2 - k^2\cos^2\varphi}\right)\right) \times \\ \times \exp\left(ikx'(t_n)\cos\varphi + iy'(t_n)\sqrt{k_-^2 - k^2\cos^2\varphi}\right)\xi(t_n). \end{aligned} \tag{14}$$

Формулы (13) – (15) дают численный алгоритм для решения сформулированной задачи дифракции.

Численные результаты

Рассмотрим результаты численного моделирования. В качестве примера рассмотрим сначала задачу дифракции на эллиптическом и круговом цилиндре, расположенных в полупространстве.

На рисунках 2 и 3 приведены угловые зависимости диаграммы рассеяния в верхнем полупространстве для соответствующих геометрий. Материальные параметры сред для верхнего и нижнего полупространств и цилиндрического тела имели следующие значения: $\mu_1 = 1, \varepsilon_1 = 1$, $\mu_2 = -\sqrt{2} - i\cdot 10^{-3}$, $\varepsilon_2 = -\sqrt{2} - i\cdot 10^{-3}$, $\mu_i = 1, \varepsilon_i = 6$. Величина *d* была выбрана так, что кратчайшее расстояние от границы всех тел до границы раздела сред составляло $kh = 1$. Параметр $k\delta = 10^{-4}$. Угол падения плоской волны $\theta_0 = 0$. Размеры тел имели следующие значения: полуоси эллипса $ka = 5$, $kb = 1$ (полуось *a* вытянута вдоль оси *x*) и радиус кругового цилиндра $kr_0 = 1$. Результаты сравнивались с диаграммами, построенными при помощи модифицированного метода дискретных источников (ММДИ) [5, 11].

В таблице 1 приведены абсолютные и относительные разности модуля диаграммы рассеяния для указанных геометрий, полученные двумя методами: при помощи ММДИ и МПГУ. Как видно из таблицы разность результатов, при увеличении числа используемых базисных функций, уменьшается, пока не достигает некоторого предела после которого увеличение числа точек коллокации не является целесообразным. Из таблицы следует, что относительная разность результатов, полученных при помощи МПГУ и ММДИ не превосходит 0,5%.

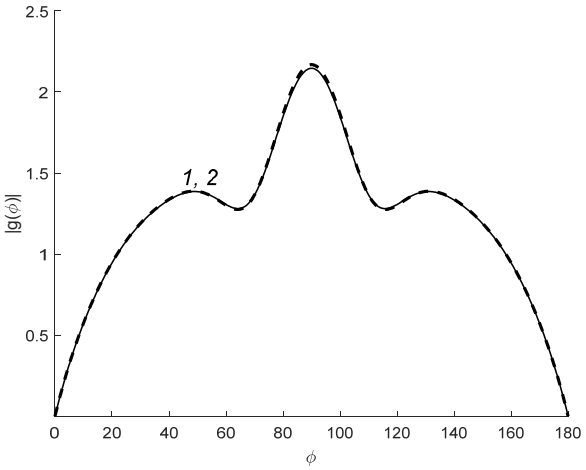


Рис. 2. Угловая зависимость диаграммы рассеяния эллиптического цилиндра. Кривая 1 – ММДИ, кривая 2 – МПГУ

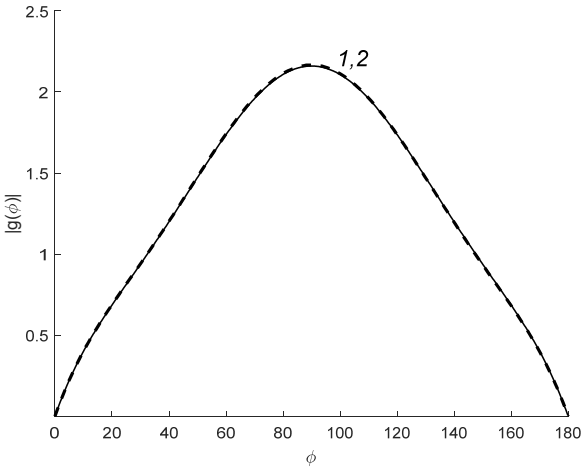


Рис. 3. Угловая зависимость диаграммы рассеяния кругового цилиндра. Кривая 1 – ММДИ, кривая 2 – МПГУ

Таблица 1

Сравнение результатов, полученных при помощи ММДИ и МПГУ

N	Эллиптический цилиндр		Круговой цилиндр	
	Абс. погрешность	Отн. Погрешность, %	Абс. погрешность	Отн. Погрешность, %
48	$8{,}384\cdot10^{-2}$	5,979	$5{,}221\cdot10^{-3}$	0,450
96	$4{,}038\cdot10^{-2}$	2,763	$2{,}232\cdot10^{-3}$	0,240
192	$1{,}356\cdot10^{-2}$	0,904	$3{,}132\cdot10^{-3}$	0,285
288	$7{,}438\cdot10^{-3}$	0,499	$3{,}319\cdot10^{-3}$	0,295

На рисунках 4-5 приведена зависимость значения модуля диаграммы рассеяния в направлении обратного рассеяния от расстояния *d* между "центром" сечения тела и границей раздела сред. Угол падения плоской волны $\theta_0 = 0$. Размеры тел остаются неизменными. Были исследованы два случая: полупространство из метаматериала, рассмотренное выше, и диэлектрическое полупространство с параметрами $\mu_2 = 1, \quad \varepsilon_2 = 2 - i\cdot10^{-3}$. В случае дифракции на теле, расположенном в полупространстве из метаматериала, имеются резкие скачки зависимости диаграммы при небольших значениях расстояния *d*, которые затухают, стремясь к некоторой постоянной, по мере удаления тела от границы раздела сред. Для диэлектрического полупространства соответствующая зависимость имеет вид гармонического колебания с медленно уменьшающейся амплитудой.

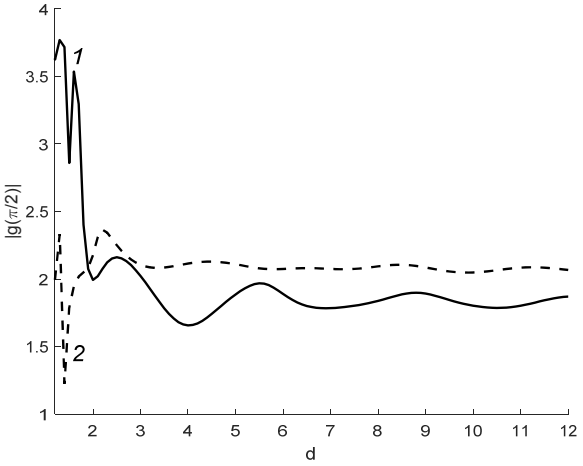


Рис. 4. Зависимость модуля диаграммы рассеяния от расстояния между телом и границей раздела сред. Кривая 1 – эллиптический цилиндр, кривая 2 – круговой цилиндр. Слой из метаматериала

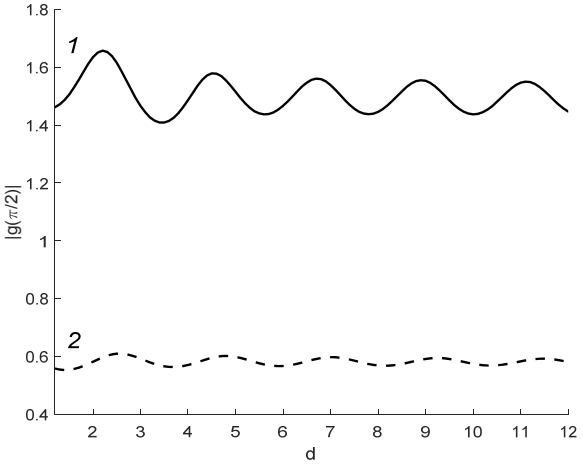


Рис. 5. Зависимость модуля диаграммы рассеяния от расстояния между телом и границей раздела сред. Кривая 1 – эллиптический цилиндр, кривая 2 – круговой цилиндр. Диэлектрический слой

Заключение

При помощи МПГУ разработан численный алгоритм, позволяющий рассчитывать характеристики рассеяния магнитодиэлектрических тел произвольной геометрии, расположенных в полупространстве из обычного диэлектрика и метаматериала. Проведено сравнение ММДИ и МПГУ для случая дифракции на цилиндрическом теле, расположенном в однородном полупространстве из метаматериала. Показано хорошее совпадение результатов расчета. Исследована зависимость диаграммы рассеяния от расстояния между телом и границей раздела сред для случая дифракции в диэлектрическом полупространстве и в полупространстве из метаматериала. Показано существенное отличие в поведении диаграммы рассеяния при дифракции в обычном диэлектрике и полупространстве из метаматериала. Предложенный подход можно обобщить на случай многослойных плоскослоистых сред.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 18-02-00961, 19-02-00654).

Литература

1. *Eleftheriades G.V., Balmain K.G.* Negative refraction metamaterials: fundamental principles and applications. John Wiley & Sons Inc., N. J. 2005.

2. *Вендик И.Б., Вендик О.Г.* Метаматериалы и их применение в технике сверхвысоких частот (Обзор) // Журнал технической физики. 2013. Т. 83. № 1. С. 3.

3. *Mishchenko M.I., Zakharova N.T., Khlebtsov N.G., Videen G., Wriedt T.* Comprehensive thematic T-matrix reference database: a 2015-2017 update // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2017. Vol. 202. P. 240.

4. *Waterman P.C.* Matrix formulation of electromagnetic scattering // Proc. IEEE. 1965. Vol. 53. P. 805.

5. *Кюркчан А.Г., Смирнова Н.И.* Математическое моделирование в теории дифракции с использованием априорной информации об аналитических свойствах решения. М.: ИД Медиа Паблишер, 2014.

6. *Кюркчан А.Г., Анютин А.П.* Метод продолженных граничных условий и вейвлеты // Докл. РАН. 2002. Т. 385. № 3. С. 309.

7. *Алероева Х.Т., Маненков С.А.* Дифракция моды планарного волновода из метаматериала на цилиндрическом экране, расположенном вблизи волновода // Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60. № 1. С. 23.

8. *Кюркчан А.Г., Смирнова Н.И.* Обобщение метода т-матриц на задачи рассеяния волн телами с неаналитической границей // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62. № 5. С. 476.

9. *Кюркчан А.Г., Маненков С.А., Смирнова Н.И.* Решение задач рассеяния волн телами, имеющими изломы границы, и фракталоподобными телами вращения // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 126. №. 5. С. 547.

10. *Kyurkchan A.G, Manenkov S.A., Smirnova N.I.* Solution of the diffraction problem on bodies of revolution with complex geometry using the method of continued boundary conditions // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2019. Vol. 237. 106617.

11. *Kyurkchan A.G, Manenkov S.A.* Application of different orthogonal coordinates using modified method of discrete sources for solving a problem of wave diffraction on a body of revolution // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2012. Vol. 113. P. 2368.

12. *Крысанов Д.В., Кюркчан А.Г., Смирнова Н.И.* Решение задачи дифракции волн на магнитодиэлектрических рассеивателях сложной геометрии методом продолженных граничных условий // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 9. С. 18-24.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЕСТЕССТВЕННОГО ЯЗЫКА ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

Сак Александр Николаевич
НИУ МГСУ, доцент кафедры иностранных языков и профессиональной коммуникации, кандидат филологических наук, Москва, Россия
sak_inter@mail.ru

Аннотация
Актуальность статьи определяется растущей потребностью в системах обработки естественного языка в таких областях как телекоммуникации и строительство, из-за огромного количества документов на иностранных языках, которые требуют качественного специализированного перевода. Цель автора - выработать подход к разработке системы машинного перевода на основе сравнения исходных предложений и примеров из онлайн-словарей. Применение теории графов, алгоритма синтаксического анализа, а также методов теории множеств, позволяет использовать онлайн-словари в качестве тезауруса для систем обработки естественного языка.

Ключевые слова
Теория графов, множества, онлайн-словари, синтаксический анализ, машинный перевод на основе примеров, литерал, фундаментальное произведение, полная нормальная форма.

Введение

При моделировании системы машинного перевода одной из ключевых задач является правильный перевод сказуемого[1], что позволит заполнить валентности при глаголе и адекватно передать смысл предложения на другом языке. После «статистической революции» 90-х годов было проведено большое количество исследований по обработке естественного языка в области машинного обучения [10], [11]. Принцип машинного перевода на основе примеров (EBMT) был предложен Макото Нагао в 1984 г. [12]. В его основе лежит идея аналогии. В этой статье мы представляем некоторые новые математические методы для сравнения исходного предложения и примеров из онлайн-словарей. Такие методы, как синтаксический анализ и преобразование компонентов предложений в фундаментальные произведения для их последующего сравнения, позволяют избежать создания сложных конструкций на основе правил. В статье рассматриваются алгоритмы, обрабатывающие словарные статьи, а также методы дискретной математики, оптимизирующие сравнительный анализ предложений.

Методы

Когда мы разрабатываем модель системы машинного перевода, основанную на сравнении исходного предложения и примеров, включенных в онлайн словарь, основным вопросом является отношение эквивалентности между этими предложениями. Установленное отношение эквивалентности между исходным предложением и словарным примером позволит получить представление о структуре данной фразы на русском языке и найти перевод глагола в зависимости от его валентностей. Если представить группу сказуемого предложения как непустое множество A={put, out, a fire}, которое фигурирует в онлайн словаре и посмотреть на непустое множество B={put, out, a candle}, которое встречается в примере.

Отношение эквивалентности

В первую очередь необходимо доказать отношение эквивалентности на множестве предложений со схожими лексико-грамматическими характеристиками. Отношение R между множествами A и B называется отношением эквивалентности, если R между соответствующими элементами A и B рефлексивно, симметрично и транзитивно.

1. Для каждого a∈A, a∈B, (a,a) ∈ R

Например, для множеств A и B, определяемых глаголом put, комбинация (put U out) ∈A и (*put* U *out*) ∈ B будет иметь одинаковое значение в силу рефлексивности элемента *a* (*out*).

2. Если (a,b) ∈ R, то (b,a) ∈ R.

Представим, что a ∈ A, b ∈ B, a R означает родо-видовое отношение *is_Part_ of*, которое часто применяется в семантических сетях. Если a и b являются видами какого-то родового понятия, то их связывает отношение R и соответственно (a,b) ∈ R, то (b,a) ∈ R, т.е. они симметричны и сохраняют единые

смысл выражения в обоих предложениях. Например, *a candle R a lantern*, где родовым словом будет *source of light*. Если же смысл выражения будет требовать условия a=b, в устойчивом выражении, например, *from the horse's mouth* такое отношение называется частично упорядоченным и антисимметричным. Если заменить слово horse на другое слово, то смысл выражения не сохранится. Несмотря на это, антисимметричность не отражается на эквивалентности множеств, и выражения остаются эквивалентными, т.к. отражают одно и то же значение.

3. Если (a,b) ∈ R и (b, c) ∈ R, тогда (a,c) ∈ R.

Отношение R на множествах A и B транзитивно, если для каждых пар (a,b) ∈ R и (b,c) ∈ R, т.е. имеются aRb, dRC. Отношение R не транзитивно, если существуют такие элементы a, b,c ∈ A, что (a,b) ∈ R и (b,c) ∈ R, но пара (a, c) ∉ R. В случае сравнения исходного предложения и примера из словаря, если a и b имеют один смысл и b и c, где c – смысл предложения в переводе на русский, то отношение эквивалентности будет сохраняться между a и c. Это можно передать на примере композиции отношений.

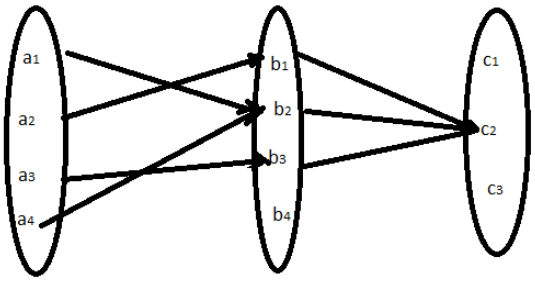


Рис. 1

На данной диаграмме стрелка из a1в b2, а затем из b2 в c2, указывая на «путь», который соединяет элемент a1∈ A с элементом c1 ∈ C, который также может быть выражен как a1(R°S)c1, ставит в соответствие смысловому компоненту множества A смысловой компонент множества C

Необязательно представлять предложения как отдельные множества. Если представить два предложения как подмножества одного множества S={put, down, a fire, a candle}, то отношение R на S также будет отношением эквивалентности, а значит, те же отношения рефлексивности, симметричности и транзитивности будут соответствовать отношению эквивалентности на данном множестве лексем.

Синтаксический анализ

Для того, чтобы подойти к объединению элементов предложения во множество, необходимо осуществить синтаксический анализ. Синтаксический анализ был разработан еще Хомским, тем не менее, он остается актуальным до сих пор. Например, рассмотрим предложение *I read a book at the university.*

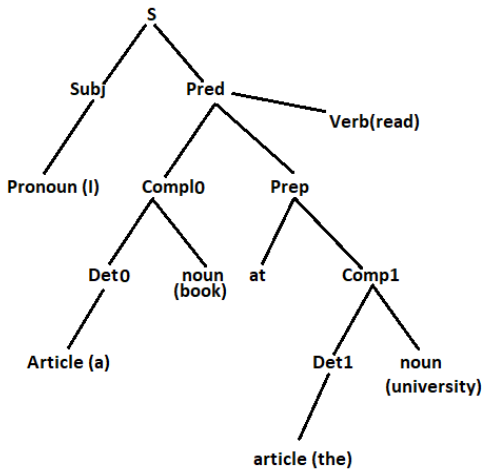


Рис. 2. Графическое представление структуры предложения, полученное с помощью алгоритма синтаксического анализа

Фундаментальные произведения

To read – глагол, имеющий множество смыслов, например *read about (to read information concerning someone), read as (to interpret someone or something as something), read something back (to read back some information to the person who has just given it), read between the lines (to understand more than is written or stated), to read from, to read for, to read of, to read to, to read up to*. Каждый набор предлогов и прямых дополнений (в соответствии с их принадлежностью классам) при глаголе to read будет иметь значение отличное от смысла другого набора предлогов и объектов при глаголе (т.е. другого множества). Понятно, что прямые дополнения при глаголе в исходной фразе и в примере будут разными. Сравнение их с точки зрения принадлежности к одному классу слов может быть решением данной проблемы. string[] keywords = { "state", "action", "activity", "process", "weight", "form", "variety", "event", "information", "composition", "piece", "exercise", "person", "task", "occupation", "position", "duty", "responsibility", "affair", "matter", "occurrence", "state of affairs", "requirement", "detail", "thing", "purpose", "scheme", "trick", "pattern", "effect", "reaction", "operation", "instrument", "machine", "tool", "vehicle", "body", "show", "area" }; Если прямое дополнение при глаголе в исходном предложении принадлежит одному или нескольким из этих классов, и к этому же классу или классам принадлежит и советующая лексема примера из словаря, то можно считать, что они принадлежат одному и тому же классу и очень повышают шансы на совпадение смысла в соответствующих предложениях. Как же формализовать для сравнения соответствующие элементы глагольного окружения? На помощь нам придет алгебра множеств и полные нормальные формы. Вообще смысл выражения и предложения в целом можно рассматривать как фундаментальное произведение, если оно состоит из n литералов при n переменных.

Имеем выражение *"put it away"*. Представим его как произведение: (put ∩ away ∩ it). Можно обратиться к толковому словарю для поиска всех значений произведения put ∩ away в зависимости от переменных, включенных в каждое употребление. Толковый словарь содержит следующее произведение с объяснением: (put ∩away ∩ something)=1) класть что-то на свое место; 2) спасать; (put ∩ away ∩ a person)=1) избавиться от кого-то; 2) посадить кого-то в тюрьму; (put ∩away ∩some ideas)=отказаться от идей. Следовательно, чтобы все значения выражения *put ∩ away∩...* были найдены, необходимо установить весь набор фундаментальных произведений, соответствующих его словарным употреблениям. Для этого устанавливаются семантические компоненты выражения, которые отличают одно употребление от другого. В произведениях данные компоненты представлены переменными или дополнениями переменных при несоответствии или отсутствии соответствующих компонентов. Если существует два толкования данного выражения, в которых соответствующими переменными выступают непересекающиеся, дополняющие друг друга множества, например, при употреблении местоимений *it, this, that* и т.д., то мы можем прибегнуть к искусственному приему, позволяющему ввести в произведение недостающее множество. $A \cap B^C = (A \cap B^C) \cap (CUC^C) = (A \cap B^C \cap C) \cup (A \cap B^C \cap C^C)$ т.к. $CUC^C = \mathbf{U}$, а $(A \cap B^C) \cap U = (A \cap B^C)$ по закону дистрибутивности. Этот прием позволяет выразить любое множество фундаментальным произведением. Однако лишь одно фундаментальное произведение должно быть выбрано из полной нормальной формы объединения пересечений.

Следовательно, необходимо привести переменную *it* в соответствие со словарными значениями. Предположим, что *it* имеет абстрактное значение, и не подразумевает связи *it – something*. Нужно рассмотреть все литералы данного множества. Представим данную переменную как объединение $(C \cup C^C)$, т.е. (a thing U a person), получая, таким образом, произведение E = (put ∩ away) ∩ (a thing U a person)=(put ∩ away ∩ a thing) U (put ∩ away ∩ a person). Данное фундаментальное произведение обеспечивает покрытие всех словарных значений, что позволяет привести исходное выражение к полной нормальной форме для дальнейшего сравнения. Местоимение *it* обычно выступает в роли указательного местоимения, соответствующего неодушевленному объекту, животному, событию или факту. Следовательно, наше выражение будет иметь вид E = (put ∩ away ∩ a thing), что соответствует произведению E_1 = (put ∩ away ∩ something).

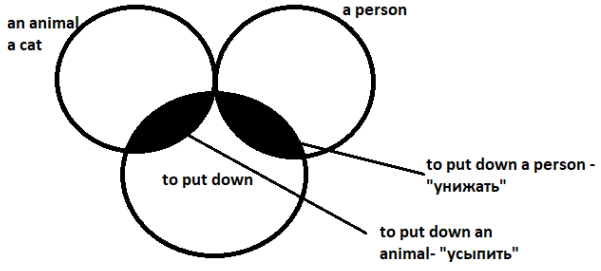


Рис. 3. Представление лексического значения модального глагола с помощью пересечения значений его составляющих

Семантическая структура предложения образована пересечением множеств, соответствующих его составляющим. В семантике это называется интенсионалом, в отличие от экстенсионала, где каждый элемент множества рассматривается во всей полноте значений. Сравним выражения: (put ∩ down ∩ an animal); (put ∩ down ∩ a person). Чтобы определить значение выражения в целом, можно использовать объединение пересечений: E=(put ∩ down ∩ an animal)U(put ∩ down∩ person)=(put ∩ down∩(a person U an animal)=(put ∩ down ∩ **u**), где (a person U a an animal)=**u**, т.к. если *an animal*=a, то a *person*= a^c, а a U a^c=**u.** Следовательно, одно понятие соответствует множеству, а другое-дополнению множества.

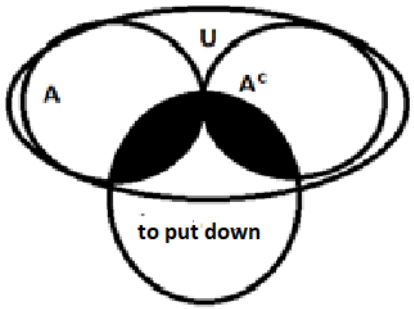


Рис. 4. Пересечение множества A и его дополнения A^C указывает на смысловое различие употреблений модального глагола в зависимости от значения дополнения

Таким образом, нашей целью при сравнении предложений является определение наиболее релевантных элементов с помощью семантического анализа и преобразование ключевых элементов лингвистического окружения сказуемого исходного предложения в литералы для их дальнейшего преобразования к фундаментальному произведению.

Мы можем прямому дополнению присвоить литерал A, предлогу присвоить B, косвенному дополнению C. Например, для следующего предложения *I read an interesting story in a thick book* можно определить следующее произведение E=story ∩ in ∩ book=A ∩ B ∩ C. Просматривая примеры в словаре, сравниваем соответствующие элементы, и, если они соответствуют литералам исходного предложения, присваиваем им значение переменной, если они не соответствуют – присваиваем им значение дополнения переменной. Существительные сравниваем с точки зрения их принадлежности к классу, а предлоги – их совпадения. Имеем примеры:

I read you as a quiet guy $E_1 = A^C \cap B^C \cap C^C$;
I can read between the lines $E_2 = A^C \cap B^C \cap C$;
Please read this manuscript for spelling errors $E_3 = A \cap B^C \cap C^C$;
I read an interesting article in today's newspaper $E_4 = A \cap B \cap C$;
I think I have read of you in the papers $E_5 = A^C \cap B \cap C$;

Поиск смежных вершин

Фундаментальные произведения, соответствующие предложениям, можно представить как многочлен в полной нормальной форме, которому должен соответствовать неориентированный двудольный граф. В нашем случае множество имеет единственную полную нормальную форму объединения пересечений, которому соответствует единственный граф, задаваемый полной нормальной формой объединения пересечений.

Два фундаментальных произведения P_i и P_j , состоящие из тех же самых переменных и различающиеся в одном литерале, называются смежными, Это означает, что есть какая-то переменная, которая в одно из этих фундаментальных произведений входит без дополнения, а в другое с дополнением. В частности, объединение двух смежных фундаментальных произведений представляет собой произведение, в котором на один литерал меньше. Представим соответствующий двудольный граф следующим образом. Вершины графа поставим в соответствие фундаментальным произведениям, а две вершины соединяются ребром, если соответствующие им фундаментальные произведения имеют различие ровно в одном литерале (т.е. являются смежными). Для единообразного изображения графов на диаграммах, множество вершин разбиваются на группы, которые размещаются в диаграмме слева направо. В самую левую группу помещается вершина, которой соответствует фундаментальное произведение, не содержащее переменных с дополнениями. Затем помещаются вершины, которым соответствуют фундаментальные произведения с одним дополнением, затем с двумя, с тремя и т.д. Последняя, правая группа должна включать вершину, соответствующую фундаментальному произведению, в котором все переменные выражены дополнениями. Данное расположение вершин удобно, т.к. ребра в графе будут располагаться между вершинами, находящимися в соседних группах, поскольку только они и являются смежными [6].

Имеем E= (A ∩ B ∩ C) U (A^C ∩ B^C ∩ C^C)U (A^C ∩ B^C ∩ C)U(A ∩ B^C ∩ C^C)U (A ∩ B ∩ C) U(A^C∩ B∩ C);
Мы видим, что первое и пятое фундаментальное произведение полностью совпадает, - очевидно смысл предложения можно передать именно этим произведением. Тем не менее, такое случается не всегда, и в нашем случае удаляем 5-ое произведение и посмотрим близость оставшихся произведений к исходному.

E= (A ∩ B ∩ C) U (A^C ∩ B^C ∩ C^C) U (A^C ∩ B^C ∩ C) U (A ∩ B^C ∩ C^C)U(A^C∩ B∩ C);

Многочлен содержит 5 фундаментальных произведений, поэтому в графе будет 5 вершин. Поскольку многочлен содержит n=3 переменных, то при разбиении вершин возможны n+1=4 группы.

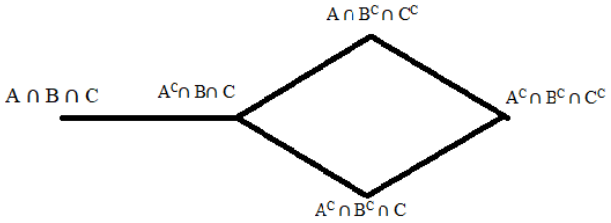


Рис. 5. Представление близости фундаментальных произведений с помощью графа

Кроме полного совпадения E и E_4 единственной смежной вершиной, отличающейся на один литерал является E_5, которая также подойдет при переводе.

Результаты

Приведем пример некоторых блоков кода синтаксического анализа повествовательного предложения. В следующем листинге представлена часть блока синтаксического анализа, ответственная за обработку определительного синтаксического отношения.

```
if (blant.Value.GetRel().IndexOf("Det") != -1)
        {
          k = 0;
          str100 = blant.Value.GetRel();
          str100 = str100.Replace("Det", "");
          Point10 = new Point("Det" + str100, null);
          s = 0;ss = 0;
          for (int f = 9; f >= 0; f--)
          {
            if (blant.Value.GetPoint(f) != null)
            {
              s++;
              if (k == 1)
              {structure1.AddFirst(new matrix(blant.Value.GetPoint(f).GetName(),
blant.Value.GetPoint(f).GetWord(), blant.Value.GetPoint(f).GetNode())); ss++; }
 if (blant.Value.GetPoint(f).GetNode().GetAdjective(0) != null || blant.Value.GetPoint(f).GetName() == "article" ||
blant.Value.GetPoint(f).GetName()=="adjective")
```

Данный блок обрабатывает артикли, прилагательные и причастия, стоящие при существительных.

```
                {
                  if (k == 0)
                  {
    if (blant.Value.GetPoint(f).GetName() != "article")
      Point2 = new Point("adjective", new matrix("adjective", blant.Value.GetPoint(f).GetWord(),
blant.Value.GetPoint(f).GetNode()));
                    else
  { Point2 = new Point("article", new matrix("article", blant.Value.GetPoint(f).GetWord(), null)); k = 1; }
                      rlinq.AddLast(new bigraph(Point10, Point2));
                  }

                }
                if (blant.Value.GetPoint(f).GetNode().GetAdverb(0) != null ||
blant.Value.GetPoint(f).GetNode().GetNoun(0) != null)
                { k = 1; ss++; }
              }
            }
            if (structure1.Count() > 0 && ss!=s)
            {
              mixture.AddLast(new list("Circ" + circ.ToString(), structure1));
```

Данная часть программы определяет обстоятельственные синтаксические отношения и слова, принадлежащие этому отношению.

```
                structure1.Clear();
               rlinq.AddLast(new bigraph(new Point(blant.Value.GetRel(),null), new Point("Circ" + circ.ToString(), null)));
                circ++;
              }
              k = 0;
              mixture.Remove(blant);
            }
```

Следующий блок программы синтаксического анализа отвечает за обстоятельственные синтаксические отношения.

```
    if (blant.Value.GetRel().IndexOf("Circ")!=-1)
            {
              k = 0;
              for(int i=9;i>=0;i--)
              {
                if (blant.Value.GetPoint(i) != null)
                {
                  if (k > 0)
             structure.AddLast(new Form1.matrix(blant.Value.GetPoint(i).GetName(),
blant.Value.GetPoint(i).GetWord(), blant.Value.GetPoint(i).GetNode()));
                  if (blant.Value.GetPoint(i).GetNode().GetAdverb(0) != null &&
blant.Value.GetPoint(i).GetNode().GetAdverb(1).Length > 5 && blant.Value.GetPoint(i).GetNode().GetAdverb(2).Length > 5)
```

При обработке данных из-за специфики содержания данных в онлайн словарях, приходится рассматривать каждый случай отдельно

```
                    k = 1;
                  else
                  if (blant.Value.GetPoint(i).GetNode().GetNoun(0) != null &&
blant.Value.GetPoint(i).GetNode().GetNoun(0).Length > 10 && blant.Value.GetPoint(i).GetNode().GetNoun(1).Length > 10)
                    k = 2;
                  if (k == 1)
                  { rlinq.AddLast(new bigraph(new Point(blant.Value.GetRel(), null), new Point("adverb", new ma-
trix("adverb", blant.Value.GetPoint(i).GetWord(), blant.Value.GetPoint(i).GetNode())));  }
                  if (k == 2)
                  { rlinq.AddLast(new bigraph(new Point(blant.Value.GetRel(), null), new Point("noun", new ma-
trix("noun", blant.Value.GetPoint(i).GetWord(), blant.Value.GetPoint(i).GetNode()))); k = 3; }
                    }
              }
              if (structure.Count() > 0)
              {
                mixture.AddLast(new list("Det" + det.ToString(), structure)); rlinq.AddLast(new bigraph(new
Point(blant.Value.GetRel(), null), new Point("Det" + det.ToString(), null))); structure.Clear();det++;
              }
              k = 0;
              mixture.Remove(blant);
            }
```

Эта часть программы отвечает за преобразование компонентов предложения после синтаксического анализа в литералы и фундаментальные произведения. Преимущество этого подхода состоит в том, что он позволяет обращаться даже к семантике соответствующих предложений, проверяя их компоненты на принадлежность к одному и тому же классу.

```
    while (current1 != null)
          {
            A = false; B = false; C = false; D = false;
            if (node1.Value.GetElement(0).GetPart() == "noun")
            {
              if (current1.Value.GetElement(0).GetPart() == "noun")
              {
                for (int i = 0; i < 10; i++)
                {
                  for (int j0 = 0; j0 < 10; j0++)
```

```
                    {
                        if (node1.Value.GetElement(0).GetNounFeat(i) != null &&
node1.Value.GetElement(0).GetNounFeat(i) == current1.Value.GetElement(0).GetNounFeat(j0))
                            A = true;
```

Здесь сравниваются признаки принадлежности к классу у литералов исходного предложения node1.Value.GetElement(0).GetNounFeat(i) и литералов-существительных примера current1.Value. GetElement(0).GetNounFeat(j0)и в случае совпадения A присваивается значение true

```
                    } } } }
                int j1 = 0;
                for (int i = 0; i < node1.Value.GetNumber(); i++)
                {
                   for (int j12 = 0; j12 < current1.Value.GetNumber(); j12++)
                   {
                    if (node1.Value.GetElement(i).GetPart() == "preposition")
                      {
                       if (current1.Value.GetElement(j12) != null)
                          {
                           if (current1.Value.GetElement(j12).GetPart() == "preposition")
                              {
        if (node1.Value.GetElement(i).GetWord() == current1.Value.GetElement(j12).GetWord())
                                {
                                   if (j1 == 0) { A = true; j1++; }
                                   else if (j1 == 1) { B = true; j1++; }
                                   else if (j1 == 2) { C = true; j1++; }
                                   else if (j1 == 3) { D = true; j1++; }
```

Если предлоги в исходном предложении и примере совпадают, соответствующий литерал получает значение true

```
    if (i < node1.Value.GetNumber() - 1 && j12 < current1.Value.GetNumber() - 1)
    {
    if (node1.Value.GetElement(i + 1).GetPart() == current1.Value.GetElement(j12 + 1).GetPart())
    {
    if (node1.Value.GetElement(i + 1).GetPart() == "noun")
    {
    for (int x = 0; x < 20; x++)
    for (int y = 0; y < 20; y++)
    if (node1.Value.GetElement(i + 1).GetNounFeat(x) != null && node1.Value.GetElement(i + 1).GetNounFeat(x) ==
current1.Value.GetElement(j12 + 1).GetNounFeat(y))
    if (j1 == 0) { B = true; j1++; }
    else if (j1 == 1) { C = true; j1++; }
    else if (j1 == 2) { D = true; j1++; }
```

А если после совпадения предлогов следующие за ними существительные также совпадают, это говорит об очень большой степени совпадения двух предложений.

```
                                } }}} } } } }    }
                if (current1.Value.GetElement(0) != null)
                {
                   for (int i = 0; i < 10; i++)
                      newnouns[i] = current1.Value.GetElement(0).GetNounFeat(i);
                   sak1.AddLast(new sentence(current1.Value.GetElement(0).GetWord(), current1.Value.GetElement(0).
GetPart(), "A", A, newnouns));
```

После определения значения литералов их значения записываются в коллекцию для последующего сравнения и анализа результатов.

```
        }
                if (current1.Value.GetElement(1) != null)
                {
                   for (int i = 0; i < 10; i++)
                      newnouns[i] = current1.Value.GetElement(1).GetNounFeat(i);
                   sak1.AddLast(new sentence(current1.Value.GetElement(1).GetWord(), current1.Value.GetElement(1).
GetPart(), "B", B, newnouns));
                }
```

```
                if (current1.Value.GetElement(2) != null)
                {
                  for (int i = 0; i < 10; i++)
                     newnouns[i] = current1.Value.GetElement(2).GetNounFeat(i);
                  sak1.AddLast(new sentence(current1.Value.GetElement(2).GetWord(), current1.Value.GetElement(1).
GetPart(), "B", B, newnouns));
                }
                if (current1.Value.GetElement(3) != null)
                {
                  for (int i = 0; i < 10; i++)
                     newnouns[i] = current1.Value.GetElement(3).GetNounFeat(i);
                  sak1.AddLast(new sentence(current1.Value.GetElement(3).GetWord(), cur-
rent1.Value.GetElement(1).GetPart(), "B", B, newnouns));
                }
                hello1.AddLast(new text(sak1, current1.Value.GetRussian(), sak1.Count()));
                sak1.Clear();
                current1 = current1.Next;
              }
```

Заключение

Представляя предложение в виде бинарного графа, алгоритмически анализируется лингвистическое окружение предиката, которое затем преобразуется во множества. Этот анализ основан на лингвистической информации, извлеченной из онлайн-словарей, а не на статистике, используемой в некоторых системах EBMT. Эквивалентность сравниваемых предложений основывается на рефлексивном, симметричном и транзитивном свойстве отношений. Множества, состоящие из прямых и косвенных дополнений и предлогов, представленных в качестве фундаментальных произведений, можно сравнить друг с другом, чтобы найти максимальное совпадение и осуществить перевод. Данный подход использования графов и множеств для превращения предикатов и соответствующих элементов их окружения в произведения представляется более надежным, чем метод, основанный исключительно на статистическом анализе. Такой подход можно распространить не только на проблему перевода, но и на широкий круг вопросов обработки естественного языка. Этот подход может быть применен в машинном обучении и нейронных сетях при разработке блока анализа предложений.

Литература

1. *Сак А.Н*. Идентификация членов предложения как частей речи как основная задача машинного перевода // Научное обозрение. 2015. Вып. 14.
2. *Alyoshintsev A.V. and Sak A.N.* 2019 *Analysis of natural language sentences by methods of the theory of graphs and the theory of sets* (Moscow: Proceedings of international conference FRUCT) p. 556.
3. *Noam Chomsky, George A*. Miller, Introduction to the Formal Analysis of Natural Languages ; Noam Chomsky, Formal properties of Grammars. Finitary Models of Language Users. J. Symbolic Logic 33 (1968), no. 2, pp. 299-300.
4. *Скиена С*. Алгоритмы. Руководство по разработке. 2-е изд.: Пер. с англ. СПб.: БВЧ-Петербург, 2011. 720 с.
5. *Падучева Е.В*. Статьи разных лет. Москва: Studia philologica, с. 20.
6. *Казанский А.А*. Дискретная математика. М.: Издатель И.В. Балабанов, 2008. 208 с.
7. *Алешинцев А.В., Бессонова Е.В., Сак А.Н*. Моделирование системы машинного перевода технических текстов в телекоммуникационной сфере с использованием объектно-ориентированного языка программирования C#. // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. Т. 11 № 10. 2017. С. 66-73.
8. *Winograd, Terry* 1971 Procedures as a Representation for Data in a Computer Program for Understanding Natural Language. (http://hci.stanford.edu/winograd/shrdlu/)
9. *Roger C. Schank and Robert P. Abelson* 1977. Scripts, plans, goals, and understanding: An inquiry into human knowledge structures (Psychology Press; 1 edition), p. 150.
10. *Philip Resnik* 2011. Four revolutions (Language Log, February 5).
11. *Mark Johnson* 2009. How the statistical revolution changes (computational) linguistics // Proceedings of the EACL Workshop on the Interaction between Linguistics and Computational Linguistics.
12. *Makoto Nagao. 1984* A framework of a mechanical translation between Japanese and English by analogy principle. Elsevier Science Publishers. B.V. A. Elithorn and R. Banerji editors.

ПРОБЛЕМА ЦИФРОВОГО НЕРАВЕНСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОРПОРАТИВНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Михалевич Игорь Феодосьевич
РУТ (МИИТ), с.н.с., к.т.н., Москва, Россия
mif-orel@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены первопричины цифрового неравенства автоматизированных систем корпоративного и технологического управления, порожденные, в том числе, унаследованными проблемами различной степени реализации мер обеспечения их информационной безопасности. Уделено внимание терминологии, как эффективному средству сближения взглядов специалистов из взаимозависимых, но по факту, слабовзаимодействующих областей знаний. При трансформации предложено вспомнить опыт «наложения» и «замещения» сетей.

Ключевые слова

Административное управление, автоматизированные системы, безопасность программного обеспечения, информационная безопасность, кибербезопасность, критическая информационная инфраструктура, корпоративное управление, технологическое управление, управление предприятием, управление технологическими процессами.

Введение

Реализация стратегии информационного общества и программы цифровой экономики РФ обострила проблему неравной готовности к цифровой трансформации двух укрупненных видов автоматизированных систем: корпоративного и технологического управления. Рассматривая вопросы приведения их состояния к требованиям информационного общества, следует вспомнить опыт цифровизации электросвязи, которая проводилась одновременно методами цифрового «наложения» и «замещения». В первом случае цифровые сети «накладывались» на существующую инфраструктуру. Если это было невозможно создавалась полностью новая, цифровая инфраструктура, которая замещала аналоговую. При цифровизации электросвязи в числе ключевых была проблема состояния инфраструктуры. Сегодня, на пути цифровизации экономики, к ключевым следует отнести неравенство состояния защищенности от киберугроз автоматизированных систем корпоративного и технологического управления. Ее эффективное разрешение видится в применении апробированных и зарекомендовавших себя методов «наложения» и «замещения».

1. Предпосылки возникновения цифрового неравенства автоматизированных систем корпоративного и технологического управления

К причинам возникновения цифрового неравенства можно отнести:

– отсутствие устоявшейся и непротиворечивой терминологии в области систем корпоративного и технологического управления;

– невключение в систему обязательных требований к ряду автоматизированных систем управления требований по информационной безопасности;

– необоснованную, в ряде случаев, свободу маневра операторов между системами корпоративного и технологического управления для уклонения от исполнения обязательных требований. Данное обстоятельство наиболее отчетливо проявилось в процессе категорирования объектов критической информационной инфраструктуры, на что обращает внимание ФСТЭК России [1-2].

В части уточнения терминологии имеет смысл обратиться к Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 гг., в соответствии с которой:

– информационное общество – общество, в котором информация и уровень ее применения и доступности кардинальным образом влияют на экономические и социокультурные условия жизни граждан;

– информационное пространство – совокупность информационных ресурсов, созданных субъектами информационной сферы, средств взаимодействия таких субъектов, их информационных систем и необходимой информационной инфраструктуры;

– цифровая экономика – хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа

которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг;

– экосистема цифровой экономики – партнерство организаций, обеспечивающее постоянное взаимодействие принадлежащих им технологических платформ, прикладных интернет-сервисов, аналитических систем, информационных систем органов государственной власти Российской Федерации, организаций и граждан.

Исходя из смысла приведенных определений, к автоматизированным системам корпоративного управления (далее – АСКУ) отнесем системы, в которых объектами конечного воздействия данных является человек, коллектив и порождаемые ими действия. К автоматизированным системам технологического управления (далее – АСТУ) соответственно отнесем системы, в которых объектами конечного воздействия данных является устройство или совокупность устройств, порождающих действия без участия человека.

Такое допущение позволяет представить объекты информационного общества, цифровой экономики, критической информационной инфраструктуры двумя видами систем:

– АСКУ, реализующих функции административного управления, управления предприятием, производством, запасами, ресурсами и т.п.;

– АСТУ, осуществляющих управление технологическими процессами производства продукции и оказания услуг, осуществления денежных операций, технического обслуживания, проведения экспериментов, функционирования IoT и т.п.

2. Неравенство в защищенности: информационная, кибербезопасность и другие

Исторически сложилось так, что функционирование АСКУ рассматривалось в неразрывной связи с безопасностью информации. Поэтому существуют развитая нормативно-методическая база и опыт обеспечения информационной безопасности АСКУ, их аттестации и поддержания заданного уровня функционального состояния.

Применительно к АСТУ такую базу и опыт можно выделить, пожалуй, только в сфере банковской деятельности [3, 4].

Неоспоримо, что в любой АСУ изменение состояния управляемого объекта происходит вследствие информационного воздействия. Но также неоспоримо, что и сама информация подвергается изменению в результате протекания функциональных процессов. Это позволяет представить общую архитектуру АСКУ и АСТУ в составе пяти уровней, как это показано на рис. 1. В представленной архитектуре АСКУ занимают третий и четвертый уровни, в то время как АСТУ могут охватывать уровни с нулевого до второго и далее вплоть до четвертого.

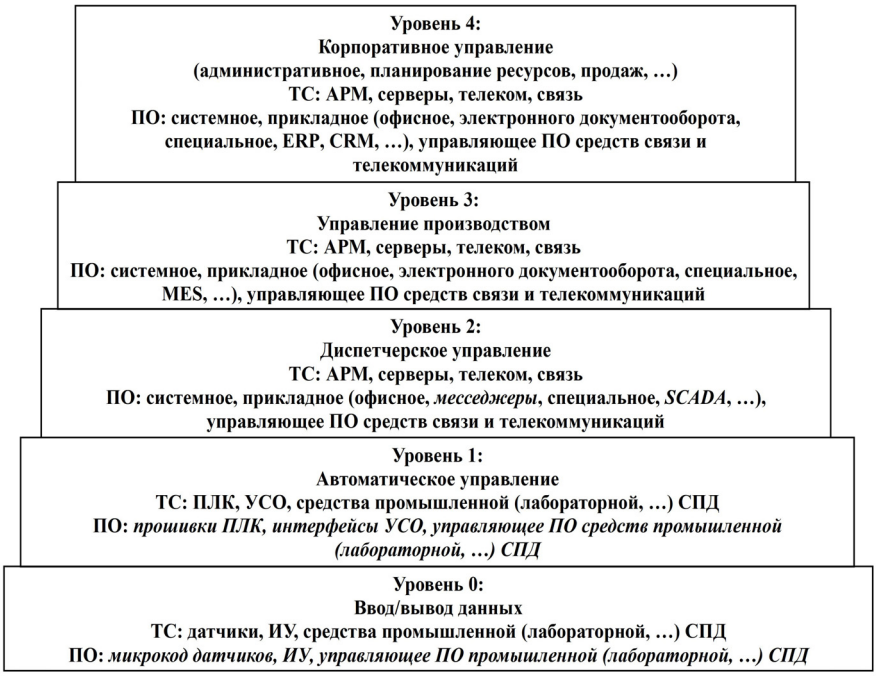


Рис. 1. Общая архитектура АСКУ и АСТУ

Однако в АСТУ длительное время не уделялось должного внимания вопросам информационной безопасности, что привело к ряду крупных инцидентов, например, в АСУ ТП контейнерного перевозчика Moller-Maersk.

Увеличение числа инцидентов в АСТУ повлекло повышение активности регуляторов во всем мире. В частности, с 2014 г., когда ФСТЭК России приказом № 31 утвердил «Требования к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды», стала активно развиваться нормативно-методическая база обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры РФ.

Федеральным законом от 26.07.2017 № 187-ФЗ определено, что безопасность критической информационной инфраструктуры это состояние защищенности, обеспечивающее ее устойчивое функционирование при проведении в отношении ее компьютерных атак.

То есть, функционирование объектов критической информационной инфраструктуры, включающей, согласно закону, информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, АСУ субъектов критической информационной инфраструктуры, а также сети электросвязи, используемые для организации взаимодействия таких объектов, зависит от компьютерной, а не от информационной безопасности? Или эти термины являются синонимами? И если да, то это полный перечень?

Как показано в [5], один и тот же смысл зачастую может вкладываться в термины компьютерная безопасность, информационная безопасность, безопасность информационных технологий, кибер безопасность и кибербезопасность, но на восприятие будет влиять тот контекст, который в данный момент более понятен простому пользователю. Это иллюстрирует (рис. 2), где показан всплеск в 2010 г. запросов по cybersecurity.

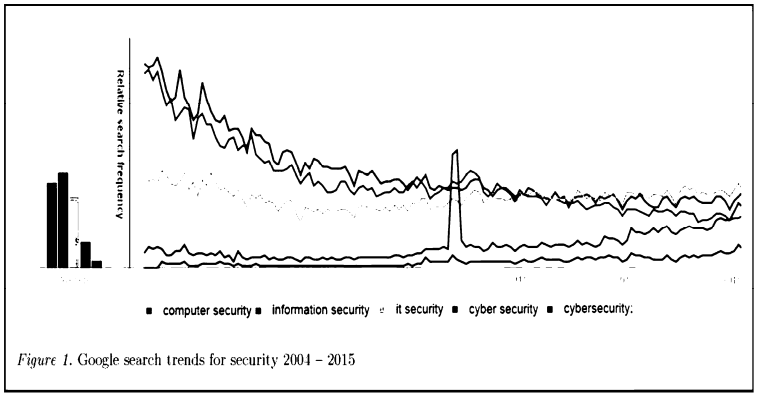


Рис. 2. Тенденции поиска в Google по безопасности

Такого рода терминологическая неопределенность неприемлема, так как создает дополнительные трудности и так в непростом общении специалистов в области функциональной безопасности, информационной безопасности к которым теперь добавляются «кибербезопасники».

Наряду с нормативной базой ФСТЭК России и ФСБ России, в ведомствах и других структурах развивается своя нормативная база, в которой присутствуют уже упомянутые термины.

Например, в [6] информационная безопасность (железнодорожной автоматики и телемеханики) - свойство аппаратно-программного средства железнодорожной автоматики, связанного с безопасностью движения поездов, выполнять требуемые функции безопасности в течение заданного периода времени с обеспечением защиты от несанкционированного доступа к управляющей и контрольной информации и отсутствием недекларированных возможностей программного обеспечения.

Согласно [7] киберзащищенность ПО АСУ ТП -устойчивое и безопасное состояние ПО, позволяющее выполнять предусмотренные задачи в условиях деструктивных воздействий с использованием инфраструктуры или элементов киберпространства, направленных на нарушение функционирования АСУ ТП, нарушение безопасности движения или причинения ущерба объектам, находящимся под контролем и управлением АСУ ТП. Примечание - Киберпространство - среда информационного взаимодействия и обмена данными, реализуемая в компьютерных сетях и сетях связи. Элементами киберпространства являются сервера, компьютеры, телекоммуникационное оборудование, каналы связи, информационные и телекоммуникационные сети.

В [8] терминологические границы установлены следующим образом:

Кибербезопасность: Состояние защищенности от физического, социального, духовного, финансового, политического, эмоционального, оккупационного, психологического, образовательного и других ти-

пов и последствий неудачи, повреждения, ошибки, происшествия, вреда и других событий в киберпространстве, которые признаны нежелательными.

Информационная безопасность, безопасность киберпространства: Сохранение конфиденциальности, целостности и доступности информации в киберпространстве.

Киберпространство: Комплексная среда, являющаяся результатом взаимодействия людей, ПО и услуг в Интернете посредством технологических устройств и сетей, к ним присоединенных, которая не существует в физической форме.

И одновременно интернет-безопасность - состояние защищенности от физического, социального, духовного, финансового, политического, эмоционального, оккупационного, психологического, образовательного и других типов и последствий неудачи, повреждения, ошибки, происшествия, вреда и других событий в киберпространстве, которые признаны нежелательными.

Интернет-безопасность - сохранение конфиденциальности, целостности и доступности информации в сети Интернет.

То есть, даже в одном документе даны идентичные определения терминам кибербезопасность и интернет-безопасность в одном случае, информационная безопасность и интернет-безопасность в другом. Стандарт объясняет новый термин направленным на улучшение состояния именно киберпространства за счет извлечения уникальных аспектов кибератичности и их зависимости от остальных областей безопасности, к которым отнесены, для примера, информационная, сетевая и интернет безопасность, а также защита ключевой информационной структуры. Кибербезопасность, в данном случае, выделяет проблемы безопасности, не покрытые существующей информационной, сетевой, интернет и информационно-коммуникационной технологиями из-за брешей между указанными областями, а также благодаря дефициту общения между организациями и поставщиками услуг в киберпространстве.

Говоря об улучшении киберпространства следует учитывать также неявно присутствующие в описанных областях сферы безопасности социальных сетей и инженерно-технических систем. Социальные сети представлены в киберпространстве миллиардами пользовательских устройств, являющихся полноценными средствами вычислительной техники и потенциальными участниками бот-сетей. Системы инженерно-технической защиты присутствуют в киберпространстве в виде датчиков, контролеров, исполнительных устройств систем контроля и управления доступом, охраны и сигнализации, видеокамерами систем видеонаблюдения и т.п.

Анализ текущего состояния нормативных документов приводит к выводу, что идет активный поиск базы, способной интегрировать, на первый взгляд, ортогональные системы требований. Однако, как уже упоминалось выше, в распределенных АСТУ все виды безопасности (функциональной, инженерно-технической и др.) коррелированы с информационной безопасностью, что требует четкого и непротиворечивого установления причинно-следственных связей функциональных и информационных процессов, разработки адекватных моделей угроз, формирования требований к системам защиты и их реализации. Кибербезопасность не может и не должна рассматриваться отдельно.

3. Преодоление цифрового неравенства: стратегия «наложения» или «замещения»?

Как известно, зачастую, новое, это хорошо забытое старое. Темпы цифровизации существенно опережают темпы предыдущих этапов индустриализации и информатизации общества. Но при использовании недостаточно проверенных решений высокие темпы несут дополнительные риски, не говоря о материальных затратах. В этой связи видится разумным еще раз обратиться к опыту цифровизации электросвязи, которая была завершена в разумные сроки, без избыточных затрат, с соблюдением требований комплексной безопасности за счет совместного применении апробированных и зарекомендовавших себя методов «наложения» и «замещения» сетей (систем).

Косвенно такая дискуссия ведется в научных кругах, скрываясь под близкими формулировками, такими, например, как «управление инновациями» [9] и т.п., но недостаточно активно и широко. Проблема цифровой трансформации сегодня не менее масштабна, чем она была при цифровой трансформации электросвязи, и требует более акцентированного внимания научных, производственных, административных и иных кругов.

Частично в этом вопросе можно опереться на успешный опыт разработки защищенных аппаратно-программных платформ для АСКУ, описанный, например, в [10], что позволяет сэкономить время, деньги и минимизировать риски последующего нарушения безопасности АСКУ и АСТУ.

Заключение

Цифровое неравенство АСКУ и АСТУ можно сравнить с неравенством, существовавшим в электросвязи конца XX в. между системами спутниковой (уже преимущественно цифровой) и других видов связи. Тогда трансформация затрагивала как инфраструктуру (магистральные линии, узлы связи, линии «по-

следней мили», …), так и оконечные устройства. Сегодня проблемы сконцентрированы в основном в АСТУ, которые развивались по своим узкоспециализированным правилам, что повлекло неполную готовность к взаимодействию с киберпространством, отличающимся от прежних пространств, создаваемых промышленными сетями передачи данных, ранее не учитываемыми угрозами. Цифровая трансформация обострила вопросы несогласованности действий по ее проведению, что объясняется, в том числе, неоднозначностью терминологии. Преодоление терминологической неопределенности, задание обязательных требований по информационной безопасности для АСКУ и АСТУ и совершенствование механизмов их соблюдения, совместное применение методов «наложения» и «замещения» сетей рассмотрены как средства обеспечения эффективности цифровой трансформации.

Литература

1. *Лютиков В*. Основные результаты в области информационной безопасности. Проблемные вопросы в сфере компетенции ФСТЭК России // Презентации докладов SOC-Форум 2019. https://ib-bank.ru/soc-forum/materials2019.

2. *Торбенко Е.* Реализация Федерального закона «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» // Презентации докладов SOC-Форум 2019. https://ib-bank.ru/soc-forum/materials2019.

3. Стандарт Банка России «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы РФ. Общие положения». СТО БР ИББС-1.0-2014.

4. Положение Банка России от 9 июня 2012 г. № 382-П. О требованиях к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств и о порядке осуществления Банком России контроля за соблюдением требований к обеспечению защиты информации при осуществлении переводов денежных средств.

5. *Schatz Daniel, Bashroush Rabih, and Wall Julie* (2017) "Towards a More Representative Definition of Cyber Security," Journal of Digital Forensics, Security and Law: Vol. 12. No. 2. Article 8.

6. СТО РЖД 08.021-2015. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. Порядок разработки, испытаний и постановки на производство.

7. СТО РЖД 08.021-2015. Автоматизированные системы управления технологическими процессами и техническими средствами железнодорожного транспорта. Требования к функциональной и информационной безопасности программного обеспечения. Порядок оценки соответствия.

8. ISO/IEC 27032:2012. Information technology – Security techniques – Guidelines for cybersecurity.

9. *Салыгин В.И., Гулиев И.А., Маркин А.С*. Цифровиза-ция нефтегазового комплекса: международный опыт и перспективы для России // Материалы 12-й Междуна-родной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2019), М.: ИПУ РАН 2019. С. 134-138. ISBN 978-5-91450-237-6

10. *Михалевич И.Ф*. Теоретические и практические аспекты создания отечественных защищенных аппаратно-программных платформ для критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. Том. 22. Вып. 3, 2018. С. 7-17.

МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ЗАДАННОЙ ПЛАТФОРМЕ

Воронин Евгений Алексеевич,
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,
ведущий научный сотрудник, д.т.н., Москва, Россия,
e.voronin1@gmail.com

Козлов Сергей Витальевич,
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,
руководитель отделения, к.т.н., Москва, Россия,
skozlov@ipiran.ru

Аннотация

Приводится математический подход с применением унифицированного показателя оценки экономической безопасности в сфере создания бортовых комплексов технических средств как полезной нагрузки для установки на заданной технической платформе, основанный на оценке вероятности различного рода угроз и вероятности их успешного отражения. Представлены различные методы оценки вероятностей, выявлены их возможности и области применения. Показано, что требованиям цифровой экономики наиболее соответствуют методы машинного обучения в сочетании с вероятностным программированием. Проведен анализ возможностей использования технологий машинного обучения и вероятностного программирования при оценке и прогнозировании экономической безопасности при формировании бортовых комплексов средств автоматизации на основе заданной платформы, представлен пример построения байесовской сети методами вероятностного программирования.

Ключевые слова

Комплексирование бортовых средств на платформе, сложный процесс, экономическая безопасность, анализ и моделирование случайных процессов, марковские цепи, байесовские сети, вероятностное программирование, байесовский анализ.

Введение

Задачи формирования бортовых комплексов средств автоматизации (КСА) на базе заданных платформ представляются многоаспектными, а их полное решение во многом зависит от целого ряда разнородных факторов, в перечне которых условия обеспечения экономической безопасности процесса формирования бортовых КСА на конкретных платформах являются весьма важными, поскольку требуется обеспечить единство организационных, организационно-технических и технико-технологических процессов в жизненном цикле создаваемых комплексов на надежной экономической основе.

Обеспечение экономической безопасности на протяжении жизненного цикла сложных технических систем является важной частью обеспечения успешной деятельности субъектов государственного заказа. Эта проблема многогранна и сложна как с теоретической, так и с практической точки зрения. При её осуществлении необходимо оперативно анализировать условия внешней среды для создаваемых систем, прогнозировать её состояние и принимать адекватные решения. Для этого существуют правила и методики, но нет единой методологии, отвечающей современным требованиям цифровой экономики [1-3].

Существуют правила и предписания её реализации, но нет определения службы экономической безопасности, как подразделения, его функциональных обязанностей и эффективных средств их реализации на базе информационных технологий.

В более адекватном состоянии находится теория рисков, но и она нуждается в современных средствах анализа и прогнозирования на базе информационных технологий и искусственного интеллекта [4-6].

Основой применяемой методологии оценки безопасности является индикативный подход [3], в соответствии с которым вычисляются индикаторы (экономические показатели) и оценивается их близость к критическим значениям.

Несмотря на сложность природы, их необходимо количественно оценить. Для этого можно использовать статистические, аналитические методы, метод анализа финансовой устойчивости, метод экспертных оценок.

1. На основе статистического метода рассчитываются вероятности возникновения потерь, анализируются все статистические данные, касающиеся результативности осуществления предприятием рассматриваемых операций.

2. С использованием экспертного метода решение принимается на основе субъективных суждений экспертов, в качестве которых выступают специалисты в данной области деятельности.

3. Анализ чувствительности позволяет оценить влияние изменений входных параметров проекта на его конечные результаты, где используется норма прибыли или текущая стоимость.

4. Анализ сценариев реализуется на основе методики оценки, которая рассматривает «плохие» и «хорошие» финансовые обстоятельства, которые возможны в ожидаемой ситуации.

5. Метод Монте-Карло позволяет посредством имитационного анализа оценивать вероятности и величины изменений параметров характеристик проекта при возможном наступлении неожиданных кризисных ситуаций.

6. В соответствии с методом аналогов при оценке степени развития определенного направления деятельности используются данные о развитии аналоговых направлений в прошлом.

Эти методы, зачастую, требуют слишком сложный математический аппарат (а некоторые и вовсе не формализованы) и не всегда дают точный результат. Моделирование экономических явлений чаще всего осуществляется с учетом трех видов возникающих условий (ситуаций): условий определенности – детерминированный подход, условий неопределенности – вероятностный подход и условий риска. Наиболее сложными для управления являются ситуации с неопределенностью и риском, однако в реальной экономике они чаще всего встречаются [2, 3].

Предложенные в [7] критерий и математический метод оценки экономической безопасности универсален относительно индикаторов и позволяет проводить их свертку в единый показатель безопасности. Для этого необходимо и достаточно вычислить вероятности угроз и вероятности адекватного их отражения. В современных условиях цифровизации экономики, наличия необходимых баз данных и информационных хранилищ естественным решением является применение методов машинного обучения [8-10] и вероятностного программирования [11- 13].

Общие положения

Машинное обучение – область науки, позволяющая решать задачи с большими массивами данных, которые неспособен обработать человеческий мозг. Эта область науки зародилась еще в первой половине XX столетия и развивается в настоящее время. Достаточно активным ее развитие пришлось на последние 20 лет. XXI век является веком цифровых технологий. Компьютеры стали доступны почти каждому. Поэтому это дало возможность специалистам более активно погрузиться в мир искусственного интеллекта. Кроме того, с ростом уровня цифровизации стали появляться большие массивы данных, которые можно использовать для различных целей, в том числе и для прогнозирования каких-либо показателей.

Методы машинного обучения являются подразделом искусственного интеллекта. Они реализуются математическими моделями и алгоритмами. В их основе лежат такие разделы математики, как теория вероятности, математическая статистика, методы оптимизации и другие классические математические дисциплины. Благодаря этому, методы позволяют решать достаточно широкий спектр задач в самых различных областях: науке, медицине, финансах, бизнесе, военном производстве, сельском хозяйстве и т.д..

Задачи, которые решает машинное обучение, можно разделить на три основных группы: регрессия, классификация, прогнозирование.

Для каждой группы характерны свои подходы, но стоит выделить несколько наиболее интересных: нейронные сети, байесовские сети, марковские сети и цепи, деревья решений.

Нейронные сети (НС) – цифровой аналог человеческого мозга, имеющий нейроны (значения) и синапсы (функции, по которым осуществляется расчет). Наглядно модель представлена на рис. 1.

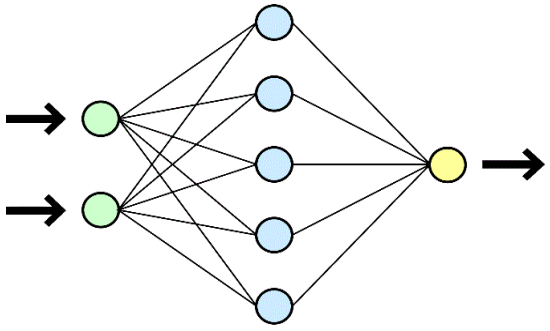


Рис. 1. Модель нейронной однослойной сети

Модель строится следующим образом: выбирается вид НС; подготавливаются обучающая и тестирующая выборки данных; по ним подбирается структура и параметры нейросети.

НС обучается, получая на вход и выход нормализованные данные, находит все взаимосвязи между ними. Обученная НС применяется для решения задач прогнозирования, распознавания образов, классификации, кластеризации и многих других.

В области безопасности она эффективна при оценке и прогнозировании состояния (финансового и т.д.) субъектов экономической деятельности и прогнозировании индикаторов безопасности.

Но для их реализации необходимо соблюдать ряд условий: необходимы очень большие объемы статистических данных, что зачастую получить весьма сложно; обучение сети занимает много времени, хотя это и можно компенсировать хорошими вычислительными мощностями; они не могут прогнозировать «всплески» (аномалии в данных), если в предоставленной статистике таких прецедентов не было и в случае возникновения такой ситуации, сеть необходимо заново обучать; существует эффект переобучения – при обучении сети, она дает хороший результат, а при подаче новых данных – плохой.

Байесовская сеть – направленный ациклический граф $G(E,N)$ с узлами, соответствующими множеству случайных величин 1,...,X_n, то есть $N=\{X_1...X_n\}$. Узлами графа являются факторы, которые заданы моделью байесовской сети, а рёбра – функция, описывающая влияние родительской вершины на дочернюю или соседнюю. Более наглядно это представлено на рис. 2.

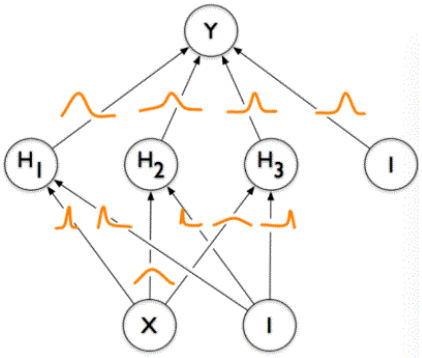


Рис. 2. Концепция байесовской сети

Использование байесовских сетей имеет ряд преимуществ: оценку можно получить, даже не имея статистики; критерии точности можно задавать самостоятельно; вероятностная оценка – случайная природа рисков весьма сложна, что по объективным причинам не позволяет дать точную оценку, хотя в эту неточность закладываются все возможные варианты, в том числе «всплески» в данных. Тем не менее, такая оценка может являться хорошим ориентиром или мерой уверенности в результате лицу, принимающему решение; по полученным результатам возможно сделать обратный вывод – получить вероятность события, которое могло привести к полученному результату; можно моделировать динамические системы.

Байесовская сеть позволяет получать вероятности состояний, что полностью соответствует предлагаемому в [7] методу оценки безопасности.

Байесовский подход, в настоящее время является основой построения систем искусственного интеллекта с подкреплением, т.е. адаптивных систем.

К недостаткам можно отнести математическую сложность и, в некоторых случаях, сложность построения корректной модели сети.

Марковские цепи – ориентированный граф, который рассчитывает вероятности перехода объекта из одного состояния в другое, причем один объект может попасть в начальное состояние спустя N итераций. Пример цепи представлен на рис. 3.

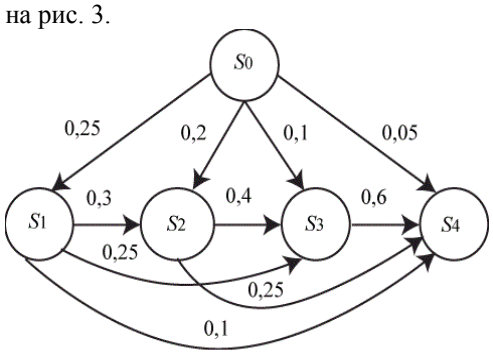


Рис. 3. Марковская цепь с 5 состояниями

Марковские цепи делятся на два вида: цепи с дискретным временем; и цепи с непрерывным временем. Последовательность дискретных случайных величин $\{X_n\} n \geq 0$ называется простой цепью Маркова (с дискретным временем), если

$$P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n, X_{n-1} = i_{n-1}, \ldots X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = i_{n+1} | X_n = i_n). \quad (1)$$

Таким образом, в простейшем случае условное распределение последующего состояния цепи Маркова зависит только от текущего состояния и не зависит от всех предыдущих состояний.

Область значений случайных величин $\{X_n\}$ называется пространством состояний цепи, а номер n – номером шага.

Семейство дискретных случайных величин $\{X_t\} t \geq 0$ называется цепью Маркова (с непрерывным временем), если

$$P(X_{t+h} = x_{t+h} | X_t = x_s, 0 < s < t) = P(X_{t+h} = x_{t+h} | X_t = x_t). \quad (2)$$

Марковские цепи очень часто применяются в задачах классификации, например, когда компания имеет три сегмента клиентов, и необходимо проанализировать динамику их (индивидуально каждого) изменения (перехода клиента из одного сегмента в другой), и сделать прогноз: какой клиент в каком сегменте окажется в определенный момент времени; или в лингвистике – самый простой пример это автокоррекция текста в смартфоне или в планшете.

Для экономической безопасности марковские сети удобны и эффективны в прогнозировании внешних угроз, которые имеют характер случайных процессов. При этом они представляют и могут прогнозировать состояния этих процессов.

Объединение марковских и байесовских сетей называют динамическими байесовскими сетями [12] полностью моделировать и идентифицировать процесс обеспечения экономической безопасности.

Деревья решений – средство, применяющееся для решения задачи поддержки принятия решений, опираясь на описанные правила, анализ данных и статистику. Структура представляет собой дерево, в котором расчет может прерваться, не дойдя до конца «ветки». Пример такого решения представлен на рис. 4.

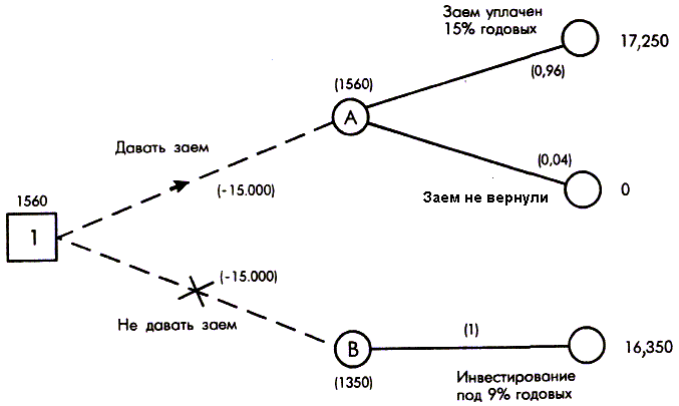


Рис. 4. Пример дерева решений для задачи определения возможности выдачи займа денежных средств

Метод позволяет выявлять критические сочетания факторов состояния экономических систем и выбирать объективные индикаторы состояния.

Обоснование выбора метода байесовской сети для оценки экономической безопасности комплексной отрасли производства

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что наиболее подходящим методом для решения задачи анализа и прогнозирования экономической безопасности подойдет байесовская сеть и марковские сети или их сочетание. Байесовская сеть имеет наилучший показатель в части соотношения преимущества - недостатки по сравнению с другими методами и имеет ряд возможностей, которые отсутствуют в других методах. Среди явных преимуществ надо выделить возможность расчета без статистики или с ее малыми объемами, объективная оценка делается в виде вероятности, закладывая в свой прогноз шумы, возможность делать обратный вывод и дообучаться в процессе эксплуатации. К тому же существует достаточно широкий спектр *open-source* инструментария, позволяющего решить задачу, например, язык программирования *Python* с библиотеками *pgmpy, numpy, scipy, pymc3* [11] и многими другими. Также задача может решаться и на других языках программирования, которые имеют библиотеки вероятностного рассуждения и статистического анализа.

Однако, стоит уделить внимание языку *Scala* с библиотекой *Figaro*:

– язык Scala является функциональным, что значительно упрощает написание кода программы и делает его более лаконичным. Он достаточно прост в освоении и мультиплатформенный, так как базируется на языке *Java. Scala* имеет компилятор *Java*, который является достаточно быстрым (значительно быстрее того же самого Python), а значит расчеты будут осуществляться быстро;

– библиотека *Figaro* имеет достаточно хорошо описанную документацию, множество полезных для расчета функций. Она имеет регулярные обновления исходного кода, а также прекрасную книгу [12], описывающую возможности *Figaro*.

Так же метод в основном работает только с одним выходным критерием – точностью (прогноза, результата), которая задается пользователем вручную, и его не нужно как-либо высчитывать.

Но также существуют ограничения: нельзя создать модель, которая будет давать решения абсолютно для любого вопроса. То есть для каждой цели должна быть своя модель.

Рассмотрим пример реализации байесовской сети на *Scala*. Она осуществляется на следующих этапах: подготовка данных, обучение, тестирование, корректировка параметров расчетного алгоритма.

Подготовка данных для байесовской сети.

1. Формируется массив данных (датасет), имеющий N параметров и X значений для каждого. Значения X нормируются и приводятся к виду 1 и 0. То есть $N_i = \{X_{i1}, \ldots X_{in}\}$, где $X \in \{0,1\}$. Нормирование происходит путём экспертной оценки, где 1 – положительный исход, 0 – отрицательный исход. На основе такого нормирования можно получить апостериорную вероятность наступления события. В качестве исходных данных может выступать разнотипная информация – статистика, качественные показатели и т.д..

2. Датасет немного «очищается» от шумов. Некоторые данные могут испортить результат расчетов из-за того, что они могут дать противоречивые выводы. Хотя в вероятностных моделях шум нужен в некотором объеме, так как это позволяет достичь некоторой устойчивости алгоритма - он будет моделировать даже противоречащие ситуации, которые заложатся в оценку результата. Для построения модели выбираются наиболее важные параметры (и их значения) для проекта, причем на небольших массивах, их значения не должны сильно различаться.

3. Датасет делится на две выборки: обучающую и тестовую в пропорции

Обучение байесовской сети.

1. Формируется алгоритм и математическая модель, по которым будут осуществляться расчеты.
2. На вход модели подаются обучающая выборка.
3. Запускается алгоритм расчета и получаются результаты.
4. Результаты сохраняются.

Тестирование байесовской сети.

1. На вход модели подается тестовая выборка.
2. Запускается алгоритм расчета и получаются результаты.
3. Результаты тестовой выборки сравниваются с результатами обучающей выборки: доля совпадений должна равняться значению заданного критерия точности.
4. Если в результате тестирования точность результатов не соответствует заданному, то параметры алгоритма не корректируются, и процесс повторяется заново до тех пор, пока не будет получена необходимая точность.

Корректировка расчетного алгоритма байесовской сети.

Если в результате тестирования точность результатов не соответствует заданному, то параметры алгоритма не корректируются, и процесс повторяется заново до тех пор, пока не будет получена необходимая точность.

В данной работе рассматривается решение задачи классификации на примере мясоперерабатывающего производства с помощью байесовской сети. Под классификацией подразумевается построение прогноза, выраженного в виде вероятности, отвечающей на вопрос «Да» или «Нет». Для решения такой задачи удобно использовать вероятностные рассуждения. Вероятностное рассуждение – это подход, в котором модель предметной области используется для принятия решений условиях неопределенности [12].

Система вероятностного рассуждения является гибким инструментом вероятностного моделирования, который позволяет проводить прогноз практически любым математическим методом, используя модель поведения состояний факторов.

Система, основанная на вероятностном рассуждении, может делать прогноз тремя способами:

– предсказывать будущее значение;

– выводить значения, приведшие к текущему результату;

– предсказывать будущие значения, обучаясь на прошлых событиях.

Она состоит из двух блоков: вероятностная модель и алгоритм вывода. В вероятностной модели описываются возможные состояния и связи между ними. То есть кодируются знания о поведении присущие анализируемой модели. В алгоритме вывода содержится расчетная часть системы, которая использует связи вероятностной модели, а также факты и запрос. Факты – имеющаяся информация о конкретной ситуации. Запрос – свойство ситуации, по которому нужно узнать вероятность. В такой системе в качестве вывода будет являться ответ на запрос при известных фактах, при расчете которого используется вероятностная модель.

Одним из ключевых преимуществ подхода является то, что он может предсказать вероятность «всплеска» по косвенным критериям: описываемые моделью процессы взаимосвязаны – прямо или косвенно. Они могут иметь разную степень влияния друг на друга. Каждый элемент системы в какой-то момент времени имеет изменение, и это изменение может быть небольшим, и в дальнейшем практически не изменяться. Но за некоторый промежуток времени таких изменений может быть много, и в результате их совокупность может привести к сильному возмущению какого-то элемента, что приведет к значительному изменению в системе.

Предлагаемая математическая модель:

$$p(H \mid \theta) = \frac{p(\theta \mid H)\, p(H)}{p(\theta)}\ , \tag{3}$$

где $p(H \mid \theta)$ – апостериорная вероятность, $p(\theta \mid H)$ – правдоподобие, $p(H)$ априорная вероятность $p(\theta)$ – полная вероятность наступления события θ.

Часто возникает ситуация, когда в имеющихся данных некоторые переменные присутствуют, а некоторые — отсутствуют, при этом имеются результаты сэмплирования распределения вероятностей с несколькими параметрами, из которых известны не все. Эти неизвестные параметры тоже расцениваются как случайные величины. Появляется необходимость найти наиболее вероятную гипотезу, то есть гипотезу *h*, которая максимизирует:

$$E[\ln P(D \mid h)] \tag{4}$$

Суть *Expectation Maximization* (EM-алгоритма) заключается в следующем: необходимо сгенерировать какую-нибудь гипотезу $h = (\mu 1, \mu 2)$. До тех пор, пока не найдем локальный максимум: вычисляется ожидание $E(z_{ij}))$ в предположении текущей гипотезы (Е–шаг). Затем вычисляется новая гипотеза $h = (\mu_1^*, \mu_2^*)$, предполагая, что z_{ij} принимают значения $E(z_{ij})$ (М–шаг). Решаемые задачи:

– использование вероятностного прогнозирования, реализованного на методах машинного обучения;

– прогнозирование и анализ инвестиционных рисков хозяйствующего субъекта;

– получение вероятностной оценки на поставленный сети вопрос с учетом влияния на него различных факторов.

– получение вероятностной оценки обратным выводом – вывод фактов, которые с наибольшей вероятностью привели к полученному результату. Этот механизм может быть включен в алгоритм корректировки параметров математической модели.

Принцип построения байесовской модели достаточно прост: формируется набор фактов, влияющих на результат, и формируются связи между ними – какой фактор (вершина) на что влияет. Связи могут оказывать влияние на соседнюю вершину или следующую к выходу по иерархии. Главное - не допускать замкнутости, иначе алгоритм может не закончить работу из-за цикла.

Опираясь на эмпирический опыт и теорию управления рисками, были выделены следующие факторы (и присвоены переменные), которые оказывают значительное влияние на уровень готовности КСА для его комплексирования на заданной платформе, готовности самой платформы, изменение требований по созданию бортовых КСА, уровень угроз и опасностей в области технологий комплексирования КСА на борту конкретных платформ, изменение технологий создания бортовых комплексов, конкурсный выбор исполнителей работ, формирование государственного заказа на создание бортовых комплексов на заданной платформе.

Эти факторы, как показано на рис.5, учтены на байесовской сети. После построения модели формируется матрица возможных состояний. Этот процесс называется обусловливанием. Это позволяет исключить все возможные меры, не согласующиеся с фактами [12]. Сама по себе матрица представляет вариацию всех возможных состояний и их вероятность, удовлетворяющих условиям:

$$0 \le P_i(H) \le 1, \sum_i P_i(H) = 1. \tag{5}$$

Эти вероятности будут являться априорными в математической модели.

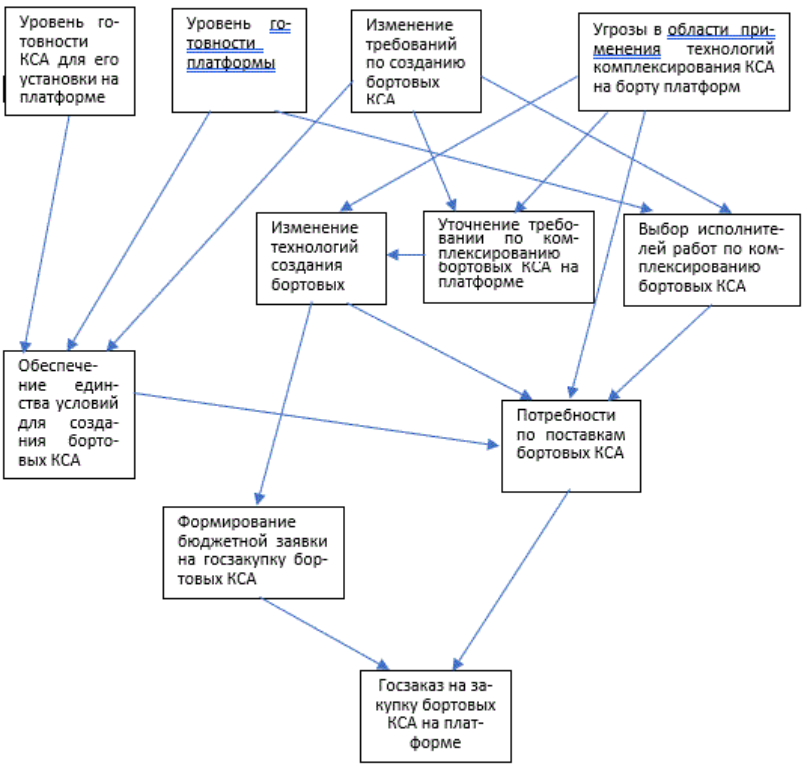


Рис. 5. Байесовская сеть анализа рисков комплексирования бортовых КСА на заданной платформе

Таким образом, получены априорные вероятности всех возможных исходов сформированной модели байесовской сети, которые будут использоваться при расчете в математической модели. Стоит заметить, что их сумма равна 1.

Совместное распределение вероятности для системы переменных задаётся выражением:

$$P(y) = \prod_{i=1}^{n} p(y_i \mid p_a). \quad (6)$$

Для расчета вероятности конечного состояния использовалась байесовская сеть, реализованная на функциональном языке *Scala* и библиотеке *Figaro*.

За счёт функционального программирования и библиотеки *Figaro* программный код оказался лаконичным и понятным.

На вопрос: «вероятность получения государственного заказа на закупку бортовых КСА на заданной платформе», получим следующий результат – 54%. И если сделать обратный вывод: «вероятность изменения технологий при создании КСА» – 14%. Расчет при этом производится в течение времени не более 10 секунд. Данный расчет был произведен без учета статистических данных.

При подаче статистики в математическую модель, мы получим уточнение результата, так как статистическая выборка сужает доверительный интервал распределения вероятности, что увеличивает точность прогноза.

Заключение

1. Для оценки и прогнозирования экономической безопасности в сфере организации комплексного производства сложных бортовых технических систем наиболее адекватны и эффективны методы машинного обучения, построенные на основе марковских цепей и байесовских сетей или их сочетания.

2. Наиболее удобными языками программирования в реализации методов машинного обучения в области экономической безопасности являются *Scala* с библиотекой *Figaro* и *Python* с библиотекой *PyMC3*.

3. Использование методов машинного обучения в совокупности с используемой методикой позволяет получать прогнозы с точностью до 93% с разнородными и даже неполными данными, при этом, за счет автоматизации расчетов с помощью функционального языка *Scala* и библиотеки *Figaro*, время получения результатов значительно сокращается. Точность результатов доказана проделанными опытами.

Статья подготовлена при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-29-03056.

Литература

1. Экономическая безопасность России: Общий курс: учебник / под ред. В.К. Сенчагова. 2-е издание. М.: ДЕЛО, 2005. 896 с.
2. *Карзаева Н.Н., Бабанская А.С.* Экономическая безопасность: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 216 с.
3. *Корнилов М.Я., Юшин И.В.* Экономическая безопасность: учебное пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Изд-во «Проспект», 2018. 363 с.
4. *Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я.* Математические основы теории риска. М.: Физматлит, 2011. 591 с. ISBN 978-5-9221-1267-3.
5. *Шапкин А.С., Шапкин В.А.* Теория риска и моделирование рисковых ситуаций: Учебник. 5-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. С. 28.
6. *Ширяев В.И.* Финансовые рынки: нейронные сети, хаос и нелинейная динамика. Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 232 с.
7. *Voronin E.A., Kozlov S.V., Kubankov Y.A.* Economic security assessment of onboard equipment production with possible realization in standard machine learning technologies. В сборнике: 2019 Systems of Signal Generation and Processing in the Field of on Board Communication. SOGS 2019/ С, 8706802.
8. *Чио К., Фримэн Д.* Машинное обучение и безопасность / пер. с англ. А.В. Сиастина. М.: ДМК Пресс 2020, 388 с.
9. *Hastie, T., Tibshirani R., Friedman J.* The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2nd ed. Springer-Verlag, 2009. ISBN 978-0-387-84857-0
10. *Флах П.* Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. М: ДМК Пресс. 2015. 400 с. ISBN 978-5-97060-273-7 (Flach P. Machine learning: the art and science of algorithms that make sense of data. Cambridge University Press, 2012)
11. *Девидсон-Пайлон Кэмерон*. Вероятностное программирование на Python: байесовский вывод и алгоритмы. СПб.: Питер, 2019. 256 с.
12. *Ави Пфеффер*. Вероятностное программирование на практике / Пер. с англ. Слинкин А.А. М.: ДМК – Пресс, 2017.
13. *Козлов С.В., Кубанков А.Н.* О направлениях интеграции информационных, управляющих и телекоммуникационных систем на процессной основе // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 9. С. 34-40.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЗОНТИЧНОЙ АНТЕННЫ ДИАПАЗОНА 200 МЕТРОВ

Комаров Сергей Николаевич,
Московский технический Университет связи и информатики, ст. преподаватель, радиоинженер, Москва, Россия

Семенов Олег Александрович,
Московский политехнический Университет, Москва, Россия

Фуников Илья Дмитриевич,
Московский политехнический Университет, Москва, Россия
komarov@radiostation.ru

Аннотация
Представлены результаты моделирования и измерений в полевых условиях мобильной передающей антенны зонтичного типа для маломощного радиовещания и радиосвязи. Помимо параметров антенны описаны схема измерения и приведены теоретические и экспериментальные графики зависимостей параметров от частоты. Приведены иные инженерные решения.

Ключевые слова
Зонтичная антенна, верхняя емкостная нагрузка, сопротивление излучения, диапазон 200 метров, индивидуальное радиовещание, радиопробег, радиокружок.

Введение

С 2019 года начались подготовительные работы по организации ежегодных туристических показательных акций радиотехнической направленности «радиопробег», направленных на привлечение молодёжи к радиотехнике, радиосвязи и радиовещанию, и организации в России сети технических радиокружков для подростков и молодёжи, и на этой базе создания радиовещательных станций с музыкально - радиотехнической концепцией вещания, и с принципиально самодельной передающей аппаратурой и самодельными антенными системами.

Разработанная специально для этих целей конструкция антенны может быть рекомендована для самостоятельного изготовления, сборки и установки в радиокружках при технических колледжах (техникумах), ВУЗах, центрах НТТМ, самодеятельных радиоклубах вещательной направленности, имеющих хорошую техническую базу и ориентированных на отечественные инженерные разработки и собственные научные исследования.

Проведённые исследования дают реальные характеристики антенны, самостоятельно построенной и испытанной в полевых условиях для учёта их как в дальнейших разработках, так и при эксплуатации передающих антенн в рамках федерального проекта Индивидуальное радиовещание.

Моделирование антенны.

Предварительно антенна была отмоделирована в нескольких вариантах в программе MMANA-GAL с целью выбора оптимальной высоты мачты и размеров емкостной нагрузки. С 15 по 29 июня 2019 г. проводилась итерационная доработка конструкции антенны. 30 июня антенна была установлена. Вариант антенны высотой 27,4 м, принятый за окончательный, показал четвертьволновый резонанс на частоте 1800 кГц, что соответствует середине заданного в ТЗ диапазона частот 1400-2200 кГц.

Резонансная частота 1800 кГц соответствует электрической длине антенны 75/1,8 = 41,67 м. Мачту такой высоты (это 14-ти этажный дом), даже с учётом коэффициента укорочения 41,67 х 0,95 = 39,58 м, в условиях радиокружка установить невозможно. Поэтому для антенны необходимо сильное укорочение, и для сохранения эффективности излучения, нужна не удлинительная катушка, а исключительно верхняя емкостная нагрузка. Показанная на рис. 1 справа, емкостная «звёздочка» даёт выигрыш по высоте в 14,2 м, сокращая при этом геометрическую высоту антенны до 27,4 м. Такую антенну, как показала практика, вполне можно изготовить и даже многократно переустанавливать силами небольшой команды с помощью простых подручных средств. Что и требуется для проведения показательных мероприятий радиопробега по городам страны. В стационарных условиях эта антенна также может с успехом применяться. Эта конструкция также пригодна для её изготовления и установки силами радиокружка при колледже или ВУЗе.

Рис. 1. Виртуальная электрическая модель антенны. Точные размеры были взяты уже не из расчётной, а из «живой» версии антенны, которая уверенно стоит под открытым небом. Окончательный вариант моделирования

При окончательном моделировании, антенна была представлена 193-мя элементами (рис. 2). Моделирование антенн в программе MMANA-GAL даёт вполне адекватные результаты, но она не может корректно учесть влияние реальной земли на вертикальные антенны, поле которых разворачивается между вибратором и землёй, представляя антенну, работающую над идеальной проводящей поверхностью. С этой особенностью программы было связано многократное проведение натурных измерений с использованием различных приборов, показания которых расходились с результатами моделирования.

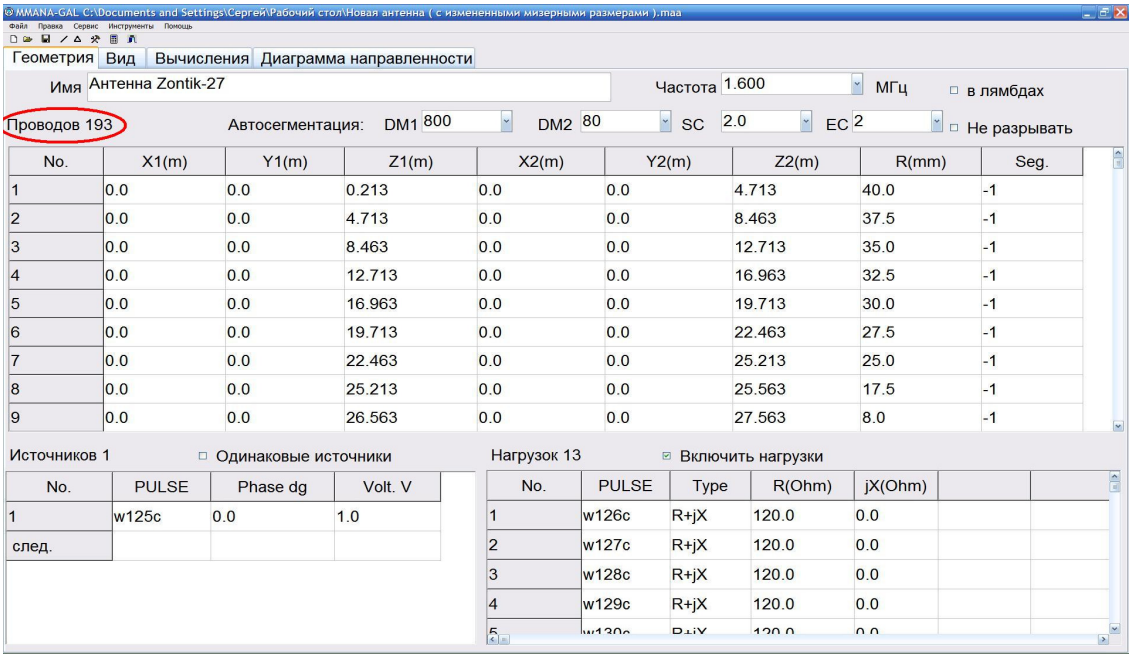


Рис. 2. Ввод геометрии антенны в программу MMANA

Главные параметры ненаправленной передающей антенны – активное и реактивное сопротивления. К примеру, на частоте 1,6 МГц Z = 19,75 – j63,47 Ома (рис. 3). Для моделирования вертикальной антенны над идеально проводящей «землёй», полное совпадение с теорией.

Расчёт диаграммы направленности, как и следовало ожидать, даёт идеальный круг в горизонтальной плоскости и продольную половинку бублика без дырки – в вертикальной (рис. 4). Всё, как по классике. В правом нижнем углу рисунка – параметры антенны для нижней половины диапазона 1400-1800 кГц.

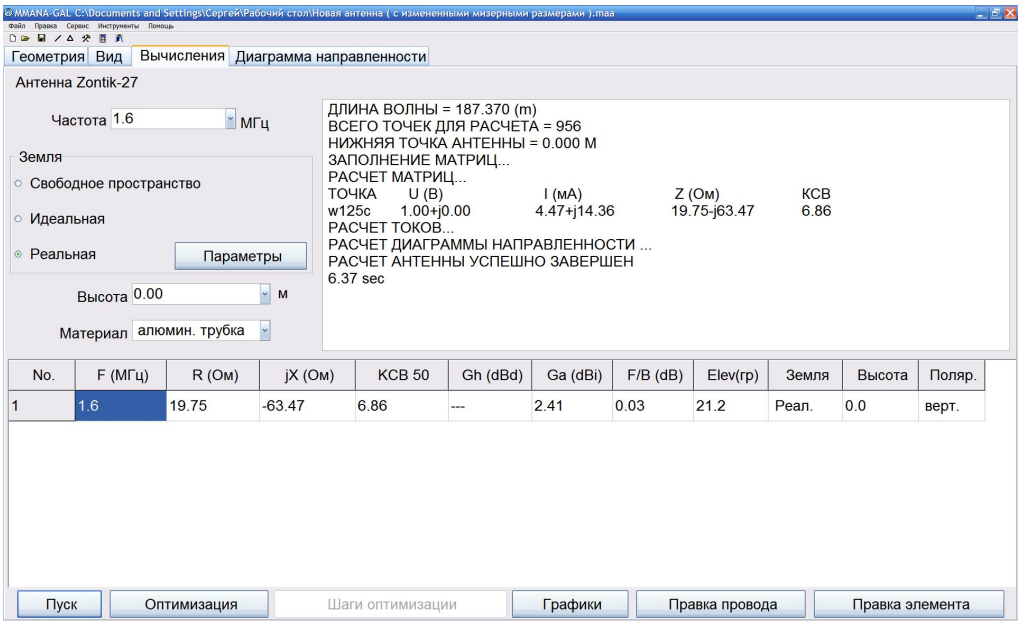


Рис. 3. Вычисление параметров программой MMANA

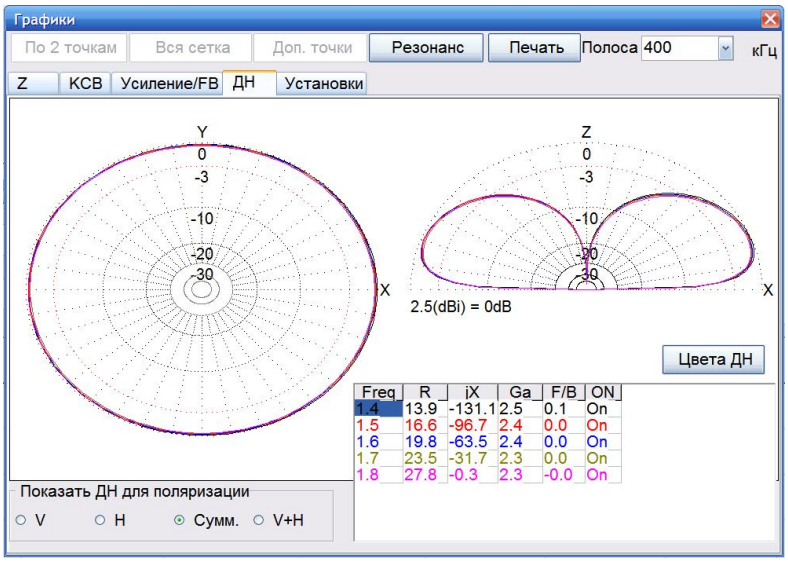


Рис. 4. Диаграмма направленности антенны

Реактивное сопротивление на частоте резонанса обращается в ноль, активная его часть – сопротивление излучения антенны R_A = 27,8 Ома. Укороченная емкостной нагрузкой антенна не может дотянуть до идеального сопротивления излучения R_A = 36,6 Ома – четвертьволнового штыря над идеально проводящей землёй. Всё, как положено в классической теории.

Активная и реактивная составляющие входного сопротивления антенны в выбранной полосе частот также ведут себя классически, что полностью совпадает с теорией из учебников по антеннам (рис. 5).

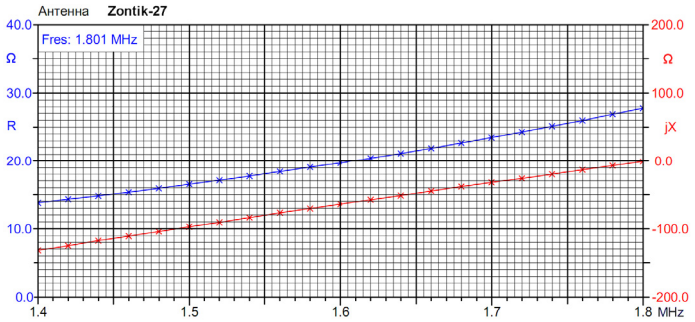


Рис. 5

Аналогичные картинки для верхней половины диапазона 1800-2200 кГц (рис. 6 и 7).

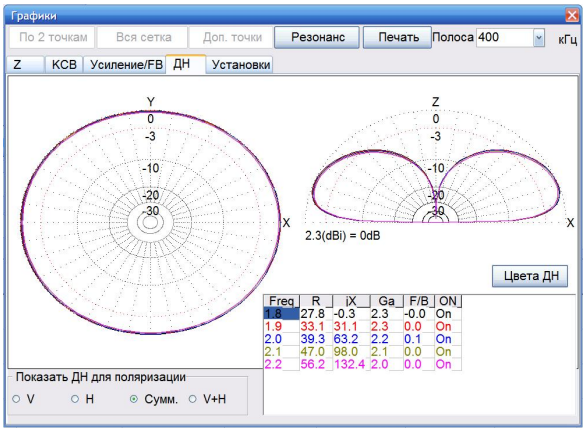


Рис. 6

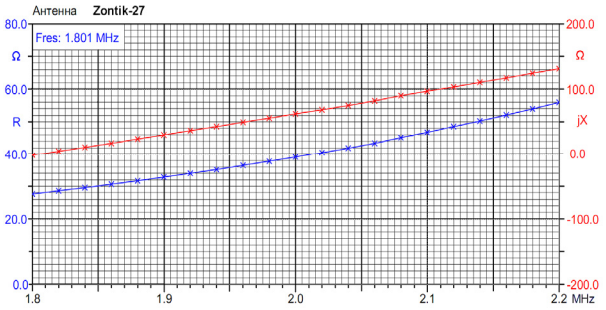


Рис. 7

Однако, когда отключение и подключение 13-и 120-омных нагрузок (представляющих собой стальные колья-заземлители, вбитые в землю – измерение сопротивления заземления также проводилось, но это большой практический материал для другой статьи), заземляющих искусственную «юбочку заземления» на идеальную «программную» землю, практически не меняют расчётные параметры антенны (изменение - десятые доли Ома), в голову начинают закрадываться смутные сомнения, что здесь, что-то не так.

Пробное включение антенны

Переходим к практическим исследованиям уже установленной антенны в точности такой же, как на рис. 1, но не в компьютерной модели, а в реальном «железе». И эта реальная антенна стоит на поляне, растянутая оттяжками на три стороны в четырёх ярусах, и уходящая ввысь на 27,4 м (рис. 8).

Рис. 8. Антенна на поляне

Для начала, подключаем к антенне маломощный генератор (10 Вт) со входом внешней АМ, устанавливаем разрешённую частоту 1584 кГц, настраиваем ВКС и антенну по индикатору 6Е1П («Зелёный глаз»), на модулирующий вход подключаем CD-плеер (рис. 9), включаем свои радиоприёмники и под любимую музыку начинаем обзванивать друзей и знакомых по всей Москве и ближайшим пригородам, чтобы послушали наш сигнал.

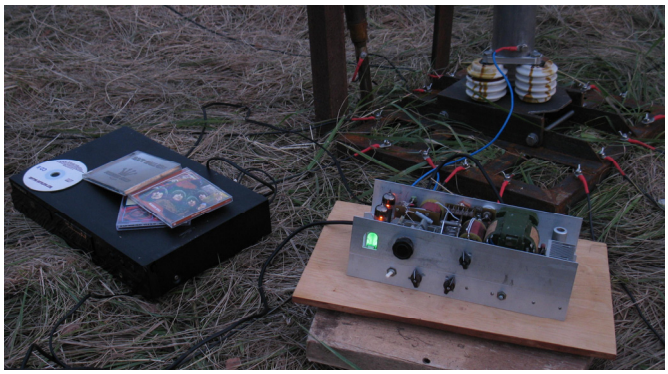


Рис. 9. Пробное включение антенны

Уверенный приём сигнала на вещательный приёмник наблюдается лишь в двух направлениях на расстоянии 6,5 км. Возможно, слышно и дальше, но для этого надо садиться в машину, включать автомобильный приёмник с диапазоном средних волн с соответствующей антенной, и ехать, куда глаза глядят, пока сигнал не начнёт пропадать.

Измерение параметров антенны

Компенсацию реактивной составляющей входного сопротивления [1] проведём с помощью удлинительной катушки L = 13,5 мкГ и включённой последовательно переключаемой гирлянды конденсаторов, ёмкостью 600 / 8200 пФ (рис. 9). Добротность катушки 165 на частоте 1584 кГц (собственные потери в катушке 0,8 Ома). В верхней части диапазона можно использовать эту же гирлянду без удлинительной катушки. Теоретически, надо было бы в нижней части диапазона применить катушку с 14-ю переключаемыми отводами, но зачищать литцендрат лишние 28 раз как-то не вдохновляет.

Измерения прибором АА-330м

Провели несколько десятков измерений, запомнили десятки графиков, отфотографировали дисплей прибора в каждом измерении, потом начали разбираться. Частоту резонанса антенны прибор показывает верно. А вот реактивная составляющая всегда положительная, при резонансе даёт провал, но знака не меняет и до нуля не спадает. Активное сопротивление не очень сильно отличается от моделирования (рис. 10). Большие сомнения. То ли измеряем не верно, то ли прибор неисправен, то ли настолько мощные наводки от соседних УКВ передатчиков, что непонятно, что прибор измеряет. Наводки влияют, в 150 метрах проходит ЛЭП-220 кВ.

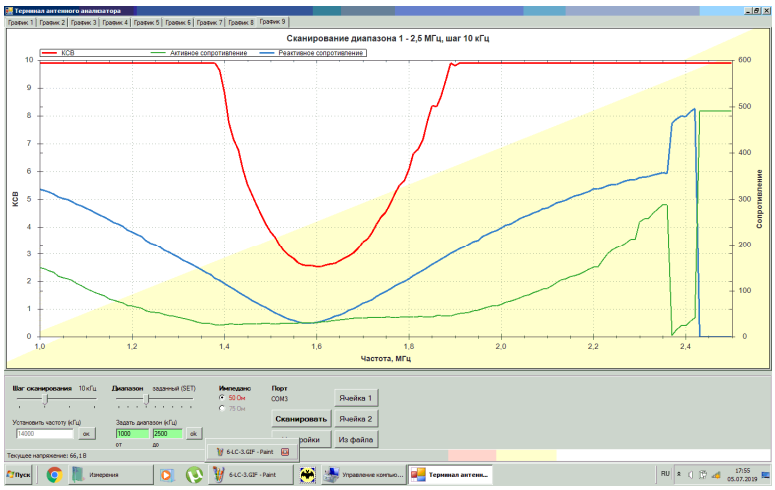


Рис. 10. Измерение антенны прибором АА-330м

Измерения прибором Nano VNA

Подключили – измерили. Картинок несколько десятков. Вот одна в положении переключателя емкостной гирлянды 8, с резонансом на частоте 1584 кГц (рис. 11).

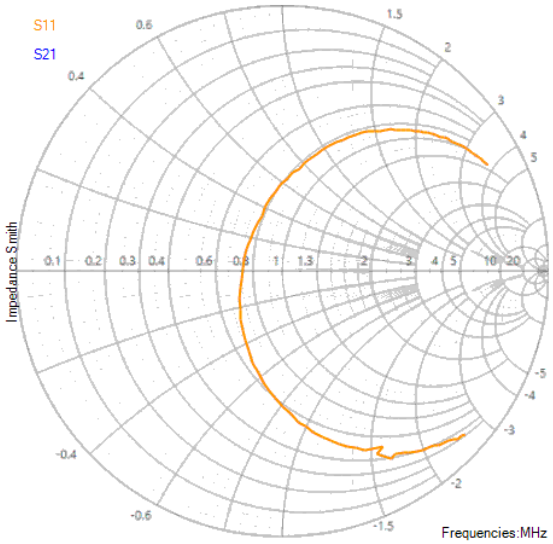


Рис. 11

При резонансе R_A = 37,5 Ома. Однако, при подключении непосредственно к антенне показывает её резонансную частоту не 1800, а 1730 кГц.

Измерение методом вольтметра – амперметра

Намучившись с «умными» цифровыми приборами и не получив адекватных совпадающих измерений, решили измерить антенну старым дедовским способом. Два аналоговых ВЧ вольтметра В3-38, один – напрямую к генератору (на 10 ватт едва ли помеха подействует), второй – к шунту 0,433 Ома (три резистора МЛТ-2 по 1,3 Ома в параллель) – на 0,4 Ома наводки тоже не будет. От статики антенну подшунтируем сопротивлением в 4 килоома (два резистора МТ-2 по 2 кОм) – внесённая погрешность не более 1%. Измерительный генератор имеет синтезатор, калиброванный по частоте, и обеспечивает вещательную сетку частот 1449-1800 кГц (рис. 12). Ну, вот тут уже измерения пошли вполне понятные.

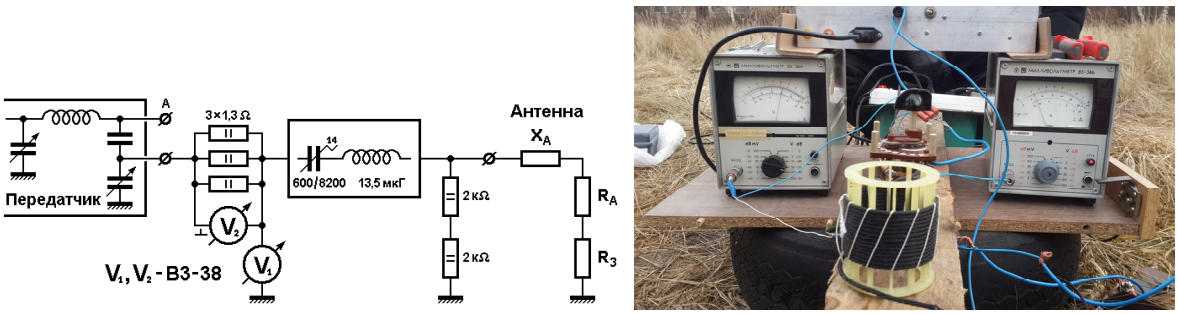


Рис. 12. Классический измерительный комплекс

На рисунке 13 переключатель гирлянды конденсаторов в положении 8. На частоте 1602 кГц входное сопротивление антенны чисто активное. |Z| = RA + Rз = 42 Ома.

Полоса по половинной мощности 80 кГц.

Полоса по 75% мощности 55 кГц.

Полоса по 90% мощности 36 кГц.

Шаг переключения гирлянды конденсаторов по перестройке частоты 23,4 кГц или по уровню 95% мощности. Плавная подстройка антенного контура не требуется.

Внимательно смотрим на левый «хвостик» графика. Он застыл на уровне 22 Ома и не зависит от частоты. Возможно это сопротивление заземления (рис. 13).

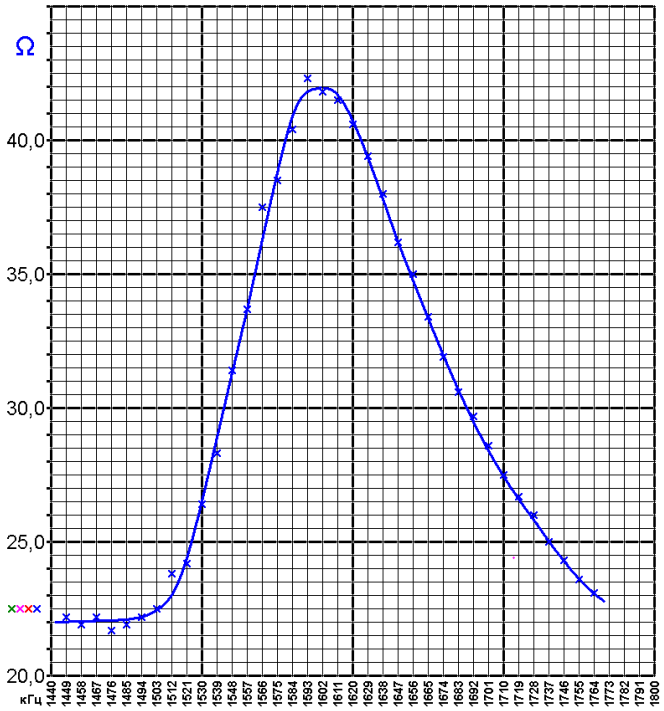


Рис. 13. АЧХ антенны вместе с антенным контуром

Повторим измерения по-другому. Поставим постоянную частоту, состроим на неё ВКС генератора и антенный контур. А потом пройдёмся по всем 15-и положениям переключателя емкостной гирлянды и посмотрим, как себя ведёт антенна (рис. 14).

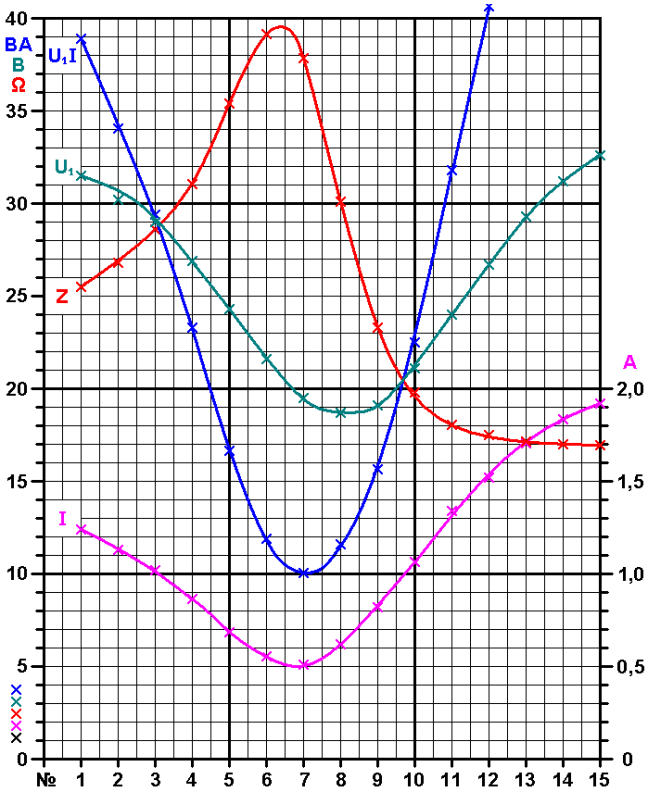


Рис. 14. Зависимости тока антенного контура, напряжения генератора, полной мощности и модуля входного сопротивления антенны от емкости конденсатора согласующего контура 600/8200 пФ (шаг Xc = 12,26 Ома)

Параметры измерительной схемы рис. 12 и 14: Частота генератора 1584 кГц. Мощность 10 Вт. Резистор для измерения тока 0,433 Ома. Удлинительная катушка L = 13,5 мкГ. XL = 134,36 Ома. Q = 165.

На рисунке 14 хорошо видно, что в положениях переключателя гирлянды конденсаторов 12-15 входное сопротивление антенны постоянно на уровне 17 Ом, что не характерно для резонансных систем. Вероятнее всего RA уже обратилось в ноль, а это сопротивление заземления. В положении переключателя № 7 наблюдается резонанс, – точная компенсация реактивности антенны и, как следствие, минимум полной мощности, совпадающей с мощностью генератора. А вот максимум Z = 39,5 Ома сдвинут от резонанса. В положении переключателя 7 входное сопротивление антенны ниже, чем при резонансе.

RA + Rз = 37,86 Ома – по графику. Примем, по графику, значение Rз = 17 Ом.

Тогда можно рассчитать КПД антенны: КПДА= (Z – Rз) / Z = (37,86 – 17) / 37,86 = 55,1%.

Не претендуя на научную фундаментальность, эти измерения вполне достаточны для практических целей использования данной антенны, дальнейших разработок и для улучшения конструкции антенны.

Выводы

1. За время полевого сезона 2019 г. собрана, установлена и успешно испытана мобильная передающая антенна для выездных мероприятий в рамках федерального проекта Индивидуальное радиовещание.
2. Детали антенны могут быть изготовлены в единичных экземплярах в механических мастерских при технических колледжах, ВУЗах или на шефствующих промышленных предприятиях, и не требуют специализированного оборудования. Проверено по факту.
3. В конструкции антенны используются детали и материалы исключительно отечественного производства.
4. Конструкция антенны удобна для оперативной установки, эксплуатации и демонтажа на неподготовленных грунтовых площадках командой из четырех человек, плюс руководитель подъёма, отвечающий за координацию.
5. Хорошо оттренированная команда может устанавливать и демонтировать антенну вчетвером без руководителя и такая команда сформирована.
6. Комплект деталей антенны удобен для транспортировки на автомобиле УАЗ 39625 «Буханка» с верхним багажником.
6. Механические и электрические параметры антенны в целом удовлетворяют изначальному техническому заданию.
7. Антенна хорошо согласуется с помощью последовательного антенного контура и может работать как со всеми передатчиками для Индивидуального радиовещания, удовлетворяющими техническим нормам [2], так и с промышленной и любительской связной приёмопередающей аппаратурой.

Заключение

По окончании полевого сезона, антенна была демонтирована и в полном комплекте подготовлена к установке в следующем сезоне. Из-за долгой осени с тёплой погодой летний сезон затянулся, и демонтаж антенны пришёлся на 7 декабря. Установили падающую стрелу и подъёмную лебёдку, натянули подъёмные оттяжки. Посадили самого тяжёлого участника команды на лежащую падающую стрелу и начали переносить оттяжки со штатного положения в подъёмное (со 120 градусов к 90 к направлению подъёма). Потом подтянули главную оттяжку (это обязательно) и начали отпускать трос лебёдки. Антенна помаленьку стала наклоняться (рис. 15). Всё прошло штатно. Под углом около 15 градусов к горизонту установили подпорки, на которые ляжет мачта (рис. 15). И затем антенну аккуратно положили. Дальше разборка на узлы и детали (рис. 16).

Рис. 15. Демонтаж антенны

Рис. 16. Комплект деталей и узлов антенны и команда (слева-направо):
Илья Фуников, Константин Гранковский, Сергей Комаров, Анатолий Талалыкин, Андрей Крючков, Олег Семенов

Литература

1. *Комаров С.Н.* Индивидуальное радиовещание. 1. Самодельные передающие антенны диапазона 200 метров. Практическое руководство для руководителей и членов конструкторских радиокружков и радиостанций Индивидуального радиовещания. М.: ООО «ИД Медиа Паблишер», 2017.

2. *Комаров С.Н.* Индивидуальное радиовещание. 2. Самодельные радиопередатчики и многофазные синтезаторы частот диапазона 200 метров. М.: ИД Медиа Паблишер, 2018.

3. *Комаров С.Н.* Индивидуальное радиовещание. 7. Цели, задачи и общая стратегия. Организация радиотехнических кружков. Вещательная концепция станций ИРВ. М.: ИД Медиа Паблишер, 2020.

4. *Сергей Комаров*. Самодельные ребристые каркасы для катушек передатчика // Радио. 2015. № 5. С. 32-33.

5. *Сергей Комаров*. Передвижная разборная передающая антенна «Зонтик-27» // Радиолюбитель. 2020. № 1.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ВИРТУАЛИЗИРОВАННОЙ СЕТИ ЦОД

Золотухин Павел Алексеевич
МТУСИ, Аспирант, Кафедра МСиУС, Москва, Россия,
Zolotuchin94@gmail.com

Аннотация

Общеизвестно, что интернет не является безопасным. Для обеспечения безопасности сетей центров обработки данных и предотвращения утечки данных различные поставщики и специалисты центров обработки данных предложили различные решения, некоторые из которых были рассмотрены в этой статье. По мере того как технология центров обработки данных развивалась, чтобы полностью адаптироваться к автоматизации через абстракцию программного обеспечения, виртуализация стала неотъемлемой ее частью. Предлагается концепция защиты данных в виртуализированных центрах обработки данных, основанная на усовершенствованном процессе аутентификации. Ее суть заключается в создании кода сообщения аутентификации, который передается вместе с зашифрованными данными в облаке. Этот блок будет иметь фиксированный размер данных и будет основан на зашифрованном 128-битном ключевом файле и файле лога пользователя. Он будет действовать как криптографическая контрольная сумма и использоваться для проверки гипервизора мастеров TDV при доступе к данным.

Ключевые слова

Дата-центр, информационная безопасность, категоризация данных, ЦОД, управление логами.

Введение

Стремительное развитие и популяризация информационных услуг требуют новых подходов к системам, обеспечивающим их функционирование. Увеличение аппаратной мощности, ускорение обработки и анализа служебной информации, эффективное использование пропускной способности каналов связи требуют от инженеров разработки новых методов и алгоритмов, отвечающих требованиям пользователей [1].

Казалось бы, современные технологии, такие как облачные вычисления, призваны удовлетворить доступ к большому количеству вычислительных мощностей, так как работают в условиях агрегации ресурсов и обеспечивают единый системный подход к их управлению. Облачные системы являются основой для реализации и обработки больших и сложных вычислений [2].

Использование облачных систем в крупномасштабных и сложных вычислительных средах требует надежных, безотказных и трудолюбивых центров обработки данных. С появлением больших потоков данных требуются не только новые подходы к совершенствованию, хранению и управлению, но и к анализу и обработке бизнес-данных, поскольку их объем увеличивается в геометрической прогрессии. Использование классических баз данных или коммерческих баз данных, как правило, не подходит для обработки чрезвычайно больших данных. Узким местом в этой классической архитектуре обработки данных является сервер баз данных, особенно в условиях пиковой нагрузки. Такой сервер обладает ограниченной масштабируемостью и аппаратными возможностями, которые даже в случае реализации программной виртуализации (NFV) создают дополнительные проблемы при обработке больших информационных потоков. Чрезмерное использование виртуальных серверов может еще больше усложнить задачу, так как это потребует добавления дополнительных ресурсов канала на уровнях связи администратора приложения – сервера обработки – сервера хранения. Не стоит забывать и о параллельности потоков данных ввода-вывода.

Современные системы управления в центрах обработки данных направлены на обеспечение эффективного использования программных, аппаратных и телекоммуникационных ресурсов. Однако функционирование подсистемы управления данными (сервисов или их компонентов) становится менее эффективным в условиях огромного притока данных, поскольку необходимо увеличить скорость их анализа, обработки и хранения. Именно поэтому необходимо разработать новые подходы к предварительному анализу данных. Существующие алгоритмы, работающие с потоками реального времени, отлично выполняют анализ, обработку и хранение только однородных данных. Неоднородность больших потоков данных приводит к узкому месту в функционировании подсистемы управления данными в центрах обработки данных.

Анализ текущих решений

Облачные вычисления обеспечивают среду для повышения производительности и предоставления услуг. Они объединяют в себе совокупность технологий доступа и систем, предназначенных для предоставления необходимых услуг конечным пользователям [3]. Все это стало возможным благодаря использованию технологии виртуализации. Как известно, существуют три основные модели облачных сервисов: инфраструктура как услуга (IaaS), платформа как услуга (PaaS) и программное обеспечение как услуга (SaaS). Именно эффективное функционирование этих моделей обеспечивает производительность обработки и большие массивы данных [4].

Эффективное решение этих задач и управление обработкой больших потоков данных было исследовано многими учеными. Ключевым аспектом в их работе является надежное и эффективное размещение данных, а также максимально быстрая их обработка. Например, авторами [6] разработан механизм функционирования распределенной и параллельной обработки, при котором однородные данные имеют доступ (по алгоритму) к существующим крупномасштабным хранилищам данных. Это позволит увеличить скорость их обработки, но неоднородность данных потоков реального времени не учитывалась. Авторы работы [7] предложили повысить достоверность данных при их анализе и обработке с помощью дополнительного кодирования. Однако затраты системных ресурсов на дополнительный этап кодирования не были учтены

Если говорить об эффективности обработки данных в дата-центрах, то и в этой области существует немало исследований. Авторы J. Cohen, B. Dolan [8] предложили свое видение гибкого и глубокого анализа данных с использованием параллелизма системы баз данных Greenplum. Для решения задач высокой сложности обработки данных с использованием процесса MapReduce авторами [9] предложен план совершенствования всех трех фаз процесса MapReduce, что позволяет повысить точность планирования, однако снизить эффективность работы системы. Принимая во внимание вышеизложенные результаты работы, предлагается подход к повышению эффективности работы подсистемы управления данными в базах данных дата-центра в условиях приема разнородных огромных потоков данных на основе анализа лог-информации.

КОНЦЕПЦИЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В ВИРТУАЛИЗИРОВАННЫХ ДАТА-ЦЕНТРАХ

Управление данными в сетях центров обработки данных

Как правило, обработка данных включает в себя проведение ряда относительно простых операций для большого объема данных. В Amazon Elastic MapReduce (EMR) каждая операция называется шагом, а последовательность шагов-потоком заданий [10]. Этапы работы EMR представлены в таблицы 1. Elastic MapReduce использует Hadoop для разделения работы между экземплярами в кластере, отслеживания состояния и объединения отдельных результатов в один вывод.

Несмотря на универсальность алгоритма MapReduce, он имеет ряд ограничений, препятствующих его эффективному использованию в системах обработки распределенных центров обработки данных. Hadoop MapReduce для параллельных вычислений имеет те же недостатки, что и другие типы параллелизма, и это следует учитывать при его использовании. Установлено, что наибольшие временные задержки возникают при копировании данных, и программа MapReduce, которая не была бы вынуждена это делать, не имела бы таких недостатков.

Таблица 1

Этапы работы EMR

Шаг 1	Расшифровка данных
Шаг 2	Обработка данных
Шаг 3	Шифрование данных
Шаг 4	Хранение данных

Единственная платформа с открытым исходным кодом, которая реализует алгоритмы обработки, как и в платформе MapReduce, - это Apache Hadoop (сама платформа MapReduce закрыта Google). Дальнейшие исследования будут основываться на этой структуре платформы. Основными ограничениями систем аналитической обработки, которые делают невозможным непосредственное использование данной платформы, являются:

1. Необходимость строгой конфиденциальности информации внутри сети (невозможность использования удаленной платформы Hadoop);
2. Нет необходимости копировать фазу карты алгоритма (данные будут частично упорядочены);
3. Наличие входных данных, причем не только в файле и базе данных, что требует предварительной выгрузки и хранения данных в файле.

Обработка больших данных

После сбора данных они фильтруются, т. е. удаляются нежелательные данные, исправляются неправильные данные и заполняются недостающие данные. Для фильтрации данных используется программный код. Это достигается путем нахождения критериев и работы с данными до тех пор, пока нет никаких отклонений. После очистки данных его можно упростить для анализа и визуализации. С помощью анализа данных можно выявить тенденции. Это часто приводит к новым запросам, которые еще не были реализованы.

Парадигма больших данных состоит в распределении информационных систем через горизонтально связанные независимые ресурсы для достижения масштабируемости, необходимой для эффективной обработки больших массивов данных. Горизонтальное масштабирование отличается от вертикального тем, что оно не пытается использовать дополнительную мощность или память существующих машин. Эти инфраструктуры позволяют многим пользователям получать доступ к данным одновременно и безопасно.

Управление логами и их анализ

Компьютеры, сети и другие информационные системы генерируют записи, которые представлены записями аудита или документами, содержащими деятельность системы. Лог-анализ или анализ логов – оценки записей, которые есть у организации для снижения рисков и соблюдения требований законодательства. Логи состоят из нескольких сообщений, которые хронологически упорядочены и хранятся на диске, в файлах или программах [11]. Аналитики должны обеспечить, чтобы логи состояли из полного набора сообщений и интерпретировались в соответствии с контекстом. Элементы логов должны быть нормализованы с использованием одной и той же терминологии, чтобы избежать путаницы и обеспечить целостность. Получение логов безопасности и их активное использование для мониторинга действий, связанных с безопасностью в сети, – это два различных понятия.

Логи безопасности полезны для защиты информационных ресурсов, они должны позволять отслеживать и анализировать атаки в реальном времени, чтобы соответствующие контрмеры могли быть развернуты в соответствии с требованиями законодательства. Это становится все более и более важным по мере того, как атаки и нападающие становятся все более изощрёнными. Без активного мониторинга и анализа логов безопасности недостатки в системах защиты информационных систем, скорее всего, останутся незамеченными, что в конечном итоге может привести к вторжению в систему и непоправимому ущербу. Логи могут существовать во многих формах. Некоторые системы и устройства генерируют логи в виде текстовых файлов, которые читает человек, в то время как другие системы генерируют логи в машиночитаемых файлах данных и хранят их в реляционных базах данных. Некоторые системы могут даже создавать логи в своих собственных форматах. Существует также недостаток согласованности в том, как информация о событиях хранится в файлах логов.

Предлагаемое решение

Предлагаем следующую концепцию защиты данных в виртуализированных центрах обработки данных.

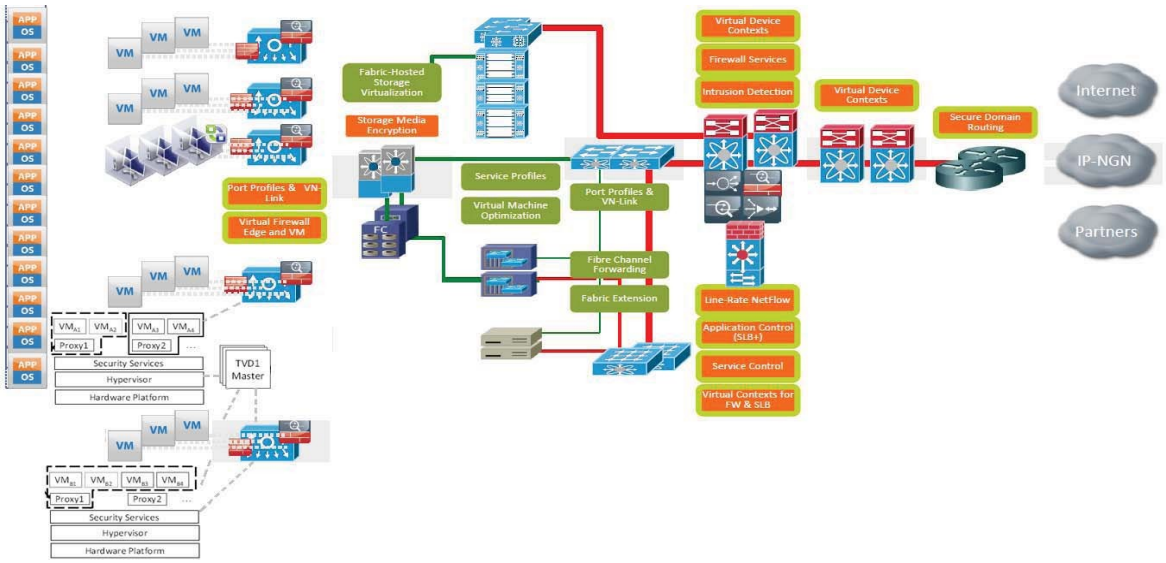


Рис. 1. Физические ресурсы объединены в доверенный виртуальный домен

Поскольку центры обработки данных предоставляют вычислительные и складские услуги нескольким арендаторам, различные проблемы возникают в многоквартирных домах из-за совместного использования ресурсов [12]. Для решения вопросов безопасности и обеспечения функционирования и настройки политик безопасности предлагается: на этапе загрузки данных клиент самостоятельно настраивает требования к защите данных по трем критериям: безопасность, целостность и доступность. В этом случае система генерирует лог-файл определенного размера со стороны пользователя.

Данные будут храниться в зашифрованном виде, и поиск зашифрованных данных является сложной задачей, поскольку необходимо создать индекс данных. Создание индекса обеспечивает более быструю загрузку файлов. Чтобы обеспечить дополнительную защиту от обнаружения любой информации в облаке, предлагается шифровать индекс.

Этот индекс будет в основном содержать список ключевых слов, причем каждое ключевое слово содержит список указателей на документы, в которых это ключевое слово появляется. Наилучшей практикой является создание четкого индекса документов и шифрование документов.

Шифрование-это процесс преобразования понятной информации в доступную только для чтения. С SSL-шифрованием (Secure Socket Layer Layer) также существует ключ, который позволяет авторизованному лицу расшифровать в целях изоляции клиентов модель логической клетки в центре обработки данных может быть создана с использованием доверенного виртуального домена.

Основная концепция этого метода заключается в создании логической модели клетки в центре обработки данных путем объединения различных виртуальных машин любого конкретного клиента, распределенных по нескольким физическим ресурсам, в доверенный виртуальный домен (TVD) или виртуальную зону как паказанно на рис. 1. Политика безопасности на основе домена в виртуализированном ЦОДе должна быть применена таким образом, чтобы обеспечить физическое разделение клиентов в ЦОД.[14] Этот метод направлен на логическое разделение сетей, хранилищ, виртуальных машин и пользователей и виртуальных устройств одного клиента от другого. Здесь изоляция домена достигается путем реализации политик безопасности внутри домена, независимо от другого домена, который может сосуществовать и совместно использовать ту же инфраструктуру. Ниже приведены компоненты, которые помогают применять эти сведения о политиках безопасности.

Эта модель использует 128-битное SSL-шифрование для шифрования данных, и индекс формируется на основе следующего выражения:

$$128 - bitSSL(F,k) \rightarrow F^* \quad (1)$$

Будем использовать любой ключ k для шифрования файла *F* и получим файл *F** (зашифрованный файл). Файл *F* можно расшифровать только с помощью того же ключа *k*. На рисунке 2 показана передача данных от владельца к облаку.

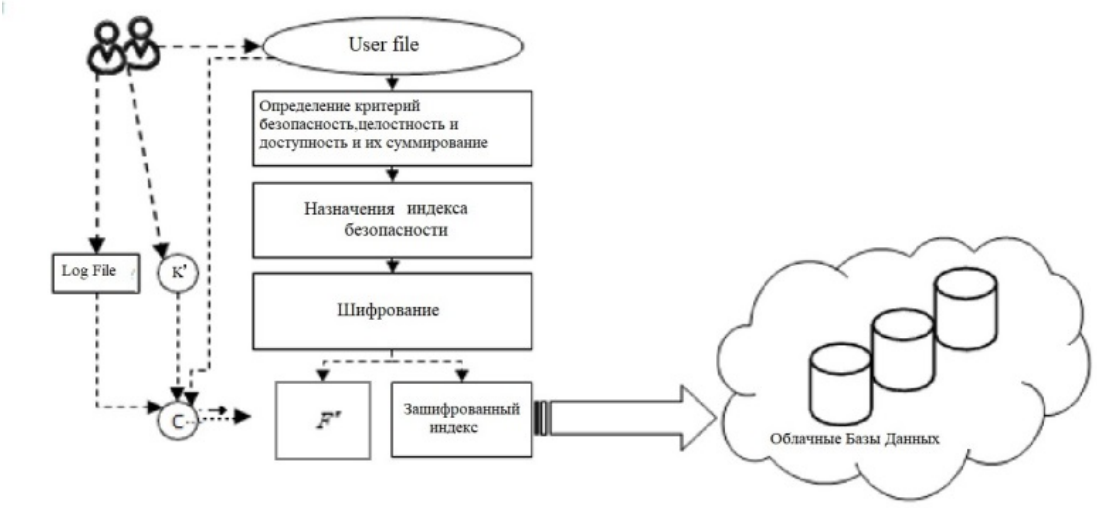


Рис. 2. Принцип шифрования пользовательских данных

После того, как данные зашифрованы, код аутентификации (KAP) генерируется и передаётся вместе с зашифрованными данными в облаке. KAP – это небольшой фиксированный блок данных, который генерируется на основе лога пользовательского файла фиксированной длины с использованием любого секретного ключа. Этот блок будет действовать как криптографическая контрольная сумма, и использоваться для проверки гипервизора мастера TDV. Будет проверяться, получен ли доступ к файлу авторизованным пользователем или несанкционированным злоумышленником.

Заключение

Использование облачных систем в крупномасштабных и сложных вычислительных средах требует наличия надежных, стабильных и высокопроизводительных центров обработки данных. С появлением больших потоков данных необходимы не только новые подходы к совершенствованию, хранению и управлению ими, но и к их анализу. При всех преимуществах облачных вычислений возникает много вопросов о безопасности и целостности данных. В этой статье предложена концепция защиты данных в виртуализированных центрах обработки данных, основанная на усовершенствованном процессе аутентификации. Его суть заключается в создании кода сообщения аутентификации, который передается вместе с зашифрованными данными в облаке. Этот блок имеет фиксированный размер данных и основан на зашифрованном 128-битном ключевом файле и файле логов пользователя. Он будет действовать как криптографическая контрольная сумма и использоваться для проверки гипервизора мастеров TDV при доступе к данным. Всегда будет проверяться, получен ли доступ к файлу авторизованным пользователем или запрашивается несанкционированный доступ. Предварительная проверка основана на анализе длины сгенерированного файла лога.

Ожидается, что этот метод повысит безопасность данных в среде, где используются большие объемы данных, учитывая высокую степень виртуализации в центрах обработки данных.

Литература

1. *Воробьев М.М., Докучаев В.А., Шведов А.В., Ермалович А.В., Кондратьев М.Г., Маклачкова В.В., Мытенков С.С.* Учебное пособие «Сетевая безопасность и ее планирование» для бакалавров по направлениям 11.03.02, 09.03.02, для магистров по направлениям 11.04.02, 09.04.02, для аспирантов по направлению 05.13.01. М.: МТУСИ, 2018.
2. *Гадасин Д.В., Докучаев В.А., Шведов А.В., Ермалович А.В., Кальфа А.А., Маклачкова В.В.* Учебное пособие «Архитектура центров обработки данных» для направлений: 05.13.01, 09.03.02, 09.04.02, 11.03.02, 11.04.02. М.: МТУСИ, 2018.
3. *Strykhalyuk B*. Service provisioning by using a structure stability algorithm in a virtualized data center based on cloud technology // B. Strykhalyuk, O. Shpur, A. Masiuk // Computational Problems of Electrical Engineering. 2014. Vol. 4. №1, pp. 81-87.
4. *Гадасин Д.В., Шведов А.В., Донских Я.Н.* Уязвимости и механизмы обеспечения безопасности системы маршрутизации в глобальной сети интернет // Труды международной научно-технической конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы – 2019». М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 464 с. ISBN 978-5-9912-0838-3.
5. *B. Hu, N. Carvalho, L. Laera, T. Matsutsuka*, "Towards big linked data: A large-scale distributed semantic data storage", Proc. 14th Int. Conf. Inf. Integr. Web Based Appl. Services, pp. 167-176, 2012.
6. *M. Sathiamoorthy* et al., "Xoring elephants: Novel erasure codes for big data", Proc. 39th Int. Conf. Very Large Data Bases, pp. 325-336, 2013.
7. *A.J. Cohen, B. Dolan, M. Dunlap, J. M. Hellerstein, C. Welton*, "Mad skills: New analysis practices for big data", *Proc. VLDB Endowment*, vol. 2, no. 2, pp. 1481-1492, 2009.
8. *Chen, M. Kodialam, T. V. Lakshman*, "Joint scheduling of processing and shuffle phases in mapreduce systems", *Proc. 29th Int. Conf. Comput. Commun.*, pp. 1143-1151, 2012.
9. *S. Kinney*. Trusted Platform Module Basics: Using TPM in Embedded Systems. Elsevier, Burlington, MA, USA, ISBN 13: 978- 0-7506-7960-2, 2006.
10. *Dhawale, P.S*. (2014). Virtualization security in Data Center & Cloud. International Journal of Scientific & Engineering Research, 5(1), 1299-1306.
11. *Fernandes, D.A., Soares, L.F., Gomes, J.V., Freire, M.M., & Inacio, P R*. (2014). Security Issues in cloud environments: a survey. International Journal of Information Security, 113-170.
12. *Hu, Z., Gnatyuk, S., Gnatyuk, V., & Bondarovets, S*. (2017). Anomaly Detection System in Secure Cloud Computing Environment. International Journal of Computer Network and Information Security , 10-21.
13. *Huang, W., Ganjali, A., Kim, B. H., Oh, S., & Lie, D*. (2015). The State of Public Infrastructureas- a-Service Cloud Security. ACM Computing Surveys, 47(4).
14. *Jin, Y., Wen, Y., Chen, Q., & Zhu, Z*. (2013). An Empirical Investigation of the Impact of Server Virtualization on Energy Efficiency for Green Data Center.
15. *Jones, P*. (2014, January 29). DataCenter Dynamics. Retrieved March 11, 2018, from Data Center Dynamics: http://www.datacenterdynamics.com/content-tracks/serversstorage/ ddos-attacks-against-data-centers-hit-peak/84778.fullarticle.
16. *Palmieri, F., Ricciardi, S., Fiore, U., Ficco, M., & Castiglione, A*. (2015). Energy-oriented denial of service attacks: an emerging menace for large cloud infrastructures. Journal of Supercomputing, 1620-1641.
17. Data center: infrastructure architectures SRND,URL:http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/netsol/ns304/c649/cdccont_0900aecd800e4d2e.pdf.