

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

№1-2020

(Дата издания: октябрь 2020 г.)

Орлов Владимир Георгиевич (*Главный редактор*)

к.т.н., начальник отдела организации научно-исследовательской работы студентов
Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ), начальник Центра
научной работы
и технического творчества молодежи МТУСИ, Москва, Россия

Андреев Владимир Александрович

д.т.н., профессор, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Самара, Россия

Зимин Игорь Викторович

Кыргызский государственный технический университет имени И.Раззакова.
Институт электроники и телекоммуникаций, Бишкек, Кыргызстан

Маркосян Мгер Вардкесович

к.т.н., доцент, Ереванский НИИ средств связи, Ереван, Армения

Самойлов Александр Георгиевич

д.т.н., профессор, заместитель директора института информационных технологий и
радиоэлектроники Владимирского государственного университета имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), Владимир, Россия

Рогачев Александр Александрович

д.т.н., в.н.с., Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель,
Республика Беларусь

Суржиков Анатолий Петрович

д.ф.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Россия

Титов Евгений Вадимович

к.т.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики, Москва,
Россия

УЧРЕДИТЕЛЬ:

**ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»
(МТУСИ)**

РЕДАКЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА:

**Отдел организации научно-исследовательской работы студентов
(ОНИРС МТУСИ)**

СОДЕРЖАНИЕ №1-2020

<i>Аринин О.В., Ивичев М.П.</i> ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ГРЕБЕНЧАТЫХ СТРУКТУР.....	4
<i>Иванникова В.П., Шелухин О.И.</i> БИНАРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК НА ПРИМЕРЕ БАЗЫ ДААННЫХ UNSW-NB15.....	10
<i>Калмыков Н.С., Докучаев В.А.</i> АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ РЕАЛИЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЮ ПРОГРАММНО- КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ.....	19
<i>Литвяков В.С. Орлов В.Г.</i> ЭВОЛЮЦИЯ И ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАДИОИНТЕРФЕЙСОВ В СЕТЯХ GERAN/UTRAN/E/UTRAN.....	26
<i>Манин А.А., Полякова М.В., Гладыщук С.В.</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОЙ КАЛМАНОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ НАБЛЮДАТЕЛЯ.....	33
<i>Орлов В.Г. Литвяков В.С.</i> СХЕМЫ И ПРОЦЕДУРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ УЗЛОВ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ РАЗНЫХ ПОКОЛЕНИЙ.....	42
<i>Пестряков А.В. Светашов А.К.</i> ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ ARGOS В АППАРАТНО-ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ВЕКТОР.....	51
<i>Салютин Т.Ю., Платунина Г.П., Белогубов В.И.</i> ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИИ.....	58
<i>Солонько М.К., Краснов К.А.</i> DOCKER-КОНТЕЙНЕРЫ.....	65
<i>Степанов М.С. Зюзин В.Д.</i> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭКСТРЕННЫХ ОПЕРАТИВНЫХ СЛУЖБ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ-112.....	70

ВЫСОКОИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ГРЕБЕНЧАТЫХ СТРУКТУР

Аринин Олег Вячеславович

*зав. лаборатории кафедры «Электроника» МТУСИ, Москва, Россия
bishounen99@gmail.com*

Ивичев Максим Павлович

*студент группы МРТ1901 кафедры «Электроника» МТУСИ, Москва, Россия
vlsmax@mail.ru*

Ключевые слова: микрополосковые фильтры, гребенчатая секция, многоступенчатые резонаторы, полюсы рабочего затухания, электромагнитные связи, кросс-связь

В данной работе исследуются механизмы формирования частотных характеристик высокоизбирательных четырехрезонаторных микрополосковых фильтров на основе многоступенчатых гребенчатых структур с дополнительной электромагнитной кросс-связью между несмежными резонаторами. Показано влияние скачков волновых сопротивлений на различных участках длины резонаторов на формирование полюсов рабочего затухания и их расположение на частотной оси. Продемонстрированы возможности различных способов управления степенью расщепления полюсов затухания и их расположения относительно полосы пропускания.

Введение

Одно из направлений развития современной электроники — это уменьшение ее габаритов. Аналоговые части приемо-передающих трактов плохо поддаются миниатюризации, а среди них фильтры являются одними из самых больших устройств. Таким образом, уменьшение размеров фильтров при все более жестких требованиях к их селективным свойствам является важной задачей. По сравнению с другими видами структур гребенчатые структуры обладают наименьшими размерами [1,2, 6-8 и при этом позволяют получить высокие уровни рабочего затухания в полосе заграждения. В данной работе показано, что использование различных способов для формирования дополнительных полюсов рабочего затухания позволит повысить крутизну амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в гребенчатых структурах при сохранении размеров фильтров.

Четырехрезонаторные фильтры с одним скачком волнового сопротивления

Исследуем условия формирования полюсов рабочего затухания при различном их расположении относительно полосы пропускания. На рис. 1,а представлен четырехрезонаторный микрополосковый фильтр (МПФ) на основе гребенчатой структуры с одним скачком волновых сопротивлений резонаторов. В этом четырехрезонаторном (N) МПФ, как показано в работе [3], возможно формирование двух полюсов рабочего затухания (P) в области верхних частот ((P=N-2) (рис.1,б)). Формирование полюсов рабочего затухания обеспечивается взаимодействием второго и третьего резонатора на всех участках длины. Коэффициент связи в нижней части структуры позволяет управлять степенью расщепления двух полюсов рабочего затухания, а в верхней части определяет ширину полосы пропускания фильтра. МПФ реализован на подложке толщиной H=1 мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=10$. Минимальная ширина зазора между связанными микрополосковыми линиями (МПЛ) составляет $S_{\min}/H=0,2$, а максимальная $S_{\max}/H=1,12$ и размер структуры $A \times B=24,9 \times 11,27$ мм.

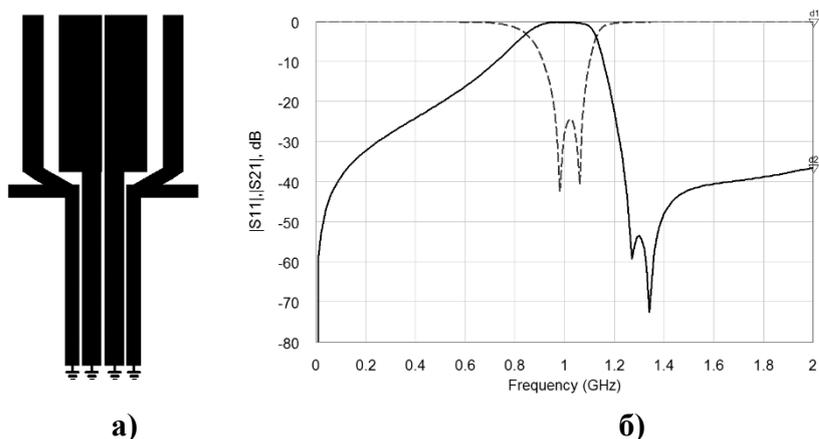


Рис.1. Структура МПФ с одним скачком волновых сопротивлений и ее частотная характеристика

На графике частотной зависимости полных сопротивлений при синфазном и противофазном возбуждении устройства (рис.2,а) видно преобладание магнитной связи – это следует из неравенства фазовых скоростей нормальных волн в микрополосковых линиях, что уже позволяет сформировать в гребенчатой секции полосно-пропускающую амплитудно-частотную характеристику. Однако формирование дополнительных полюсов рабочего затухания позволит повысить крутизну АЧХ фильтра. Это становится возможным при условии обеспечения разных коэффициентов связи на разных участках длин резонаторов или введении скачка их волновых сопротивлений.

На рис.2,б видно, что введение неоднородности баланса электромагнитных связей на разных участках длины резонаторов позволяет сформировать два полюса рабочего затухания в области верхних частот – на частотной оси в области 1,3 ГГц характеристика сопротивления связи эквивалентного четырехполюсника 2 раза пересекает ноль $Z_{12}(f)=0$. Таким образом, связь между входом и выходом четырехполюсника на этих частотах отсутствует.

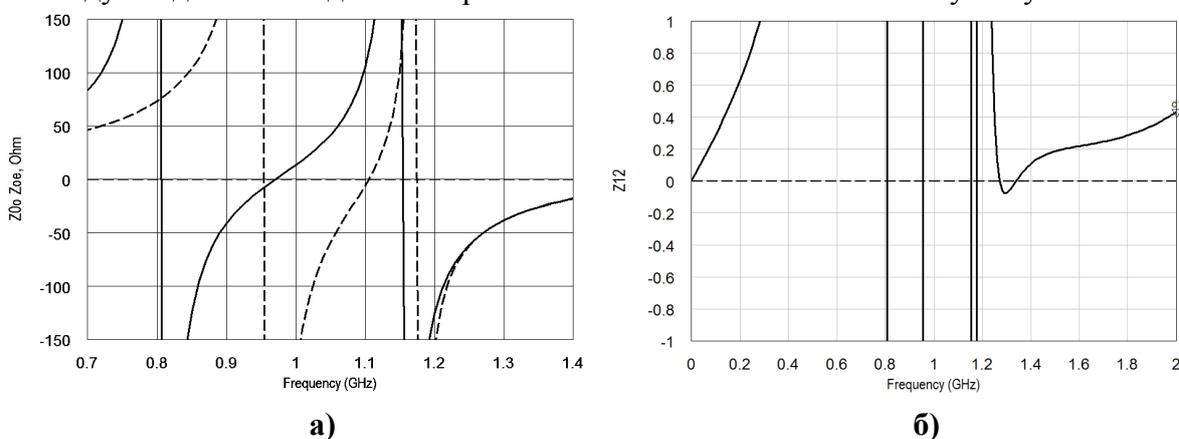


Рис. 2.а – Частотная зависимость полных сопротивлений при синфазном и противофазном возбуждении устройства; **б** – частотная зависимость сопротивления связи эквивалентного четырехполюсника с одним скачком волновых сопротивлений

Рассмотрим возможность иного расположения полюсов рабочего затухания на частотной оси. В представленной на рис.3,а структуре гребенчатого МПФ также формируется два полюса рабочего затухания ($P=N-2$). Один полюс в области нижних частот, другой в области верхних частот относительно полосы пропускания (рис.3,б). Такое их расположение достигается ослаблением магнитной связи между вторым и третьим резонатором и преобладанием емкостной связи между ними. Данный фильтр выполнен на подложке толщиной $H=1$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=10$. Минимальная ширина зазора между связанными микрополосковыми линиями составляет $S_{\min}/H=0,22$, а максимальная – $S_{\max}/H=2,88$. Размеры структуры $A \times B=26,4 \times 22,0$ мм

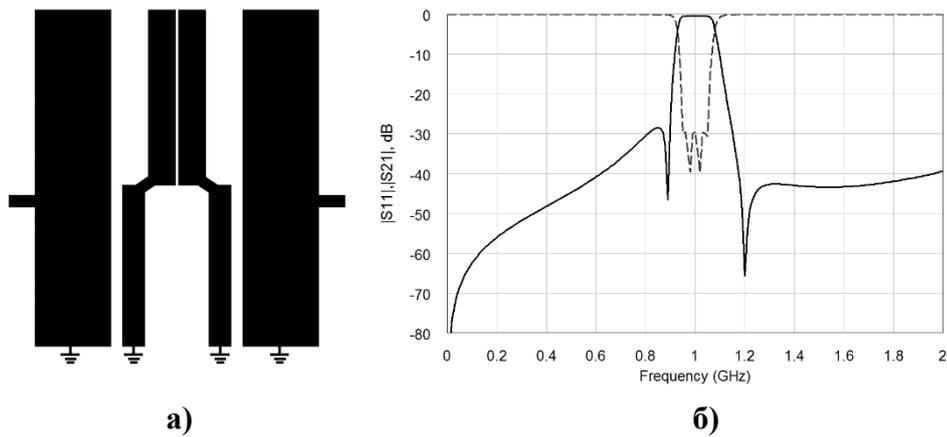


Рис. 3. Структура МПФ с квазисимметричной частотной характеристикой

На рис.4 видно, что характеристика Z_{12} пересекает частотную ось как в области нижних, так и в области верхних частот. Кроме того, в области верхних частот она имеет седловидную форму, близкую к нулю, что свидетельствует о возможности формирования в этой области частот еще двух полюсов рабочего затухания.

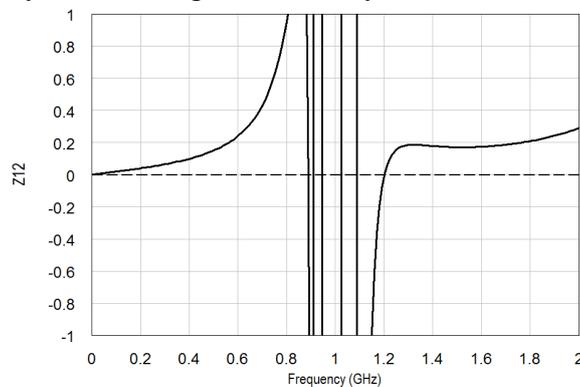


Рис. 4. Частотная зависимость сопротивления связи эквивалентного четырехполюсника фильтра с квазисимметричной АЧХ

Как показывают исследования добавление еще одного скачка волнового сопротивления резонаторов приводит к некоторому увеличению уровня затухания в области верхних частот, однако частотные характеристики существенно не изменяются и формирования дополнительных полюсов рабочего затухания не происходит. Это связано с тем, что неоднородность коэффициентов связи в данном случае является недостаточной для формирования дополнительных полюсов рабочего затухания.

Четырехрезонаторные фильтры с дополнительной связью

Введем дополнительную кросс-связь между несмежными резонаторами (рис.5,а, верхняя часть структуры). Это позволяет усилить электрическую связь и сформировать дополнительные полюсы рабочего затухания [4, 5], за счет расщепления четвертого и пятого полюсов в области верхних частот. В результате расширяется полоса заграждения до второй гармоники и повышается уровень затухания в ней (рис.5,б). Подобное расположение полюсов на частотной оси достигается за счет более четкого разделения областей, где каждая из связей - емкостная или магнитная является доминирующей, а также изменением коэффициентов связи в центральной секции структуры фильтра.

В представленной на рис.5,а четырехрезонаторной структуре между первым и вторым резонаторами, а также между третьим и четвертым преобладающей является электрическая связь, а между вторым и третьим – магнитная. В таком случае формируется пять ($P=N+1$) полюсов рабочего затухания, два из которых расположены в области слева от полосы

пропускания, обеспечивая высокую крутизну затухания в области нижних частот, и три справа – в области верхних частот.

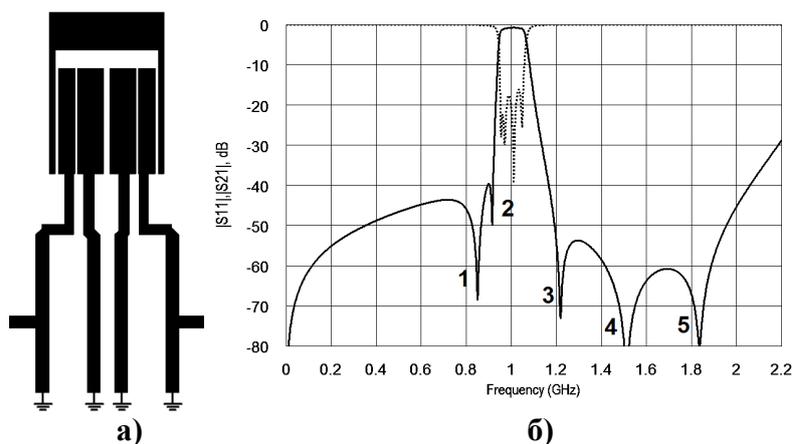


Рис. 5. Структура МПФ с дополнительной связью и ее частотная характеристика

Важно выбрать оптимальный уровень электрической связи между переключкой и верхней секцией резонаторов. На рис.6,а представлен пример частотной характеристики при недостаточной связи, т.е. когда расстояние между переключкой и резонаторами слишком велико. Видно, что при такой конфигурации микрополосковой структуры обеспечивается формирование только одного полюса рабочего затухания, а остальные полюсы вырождаются. В свою очередь чрезмерная связь приводит к тому, что два из трех полюсов в области верхних частот, образованных при оптимальной связи, вырождаются (рис.6,б). Стоит отметить, что МПФ реализован на подложке толщиной $H=1$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=10$. Минимальная ширина зазора между связанными МПЛ при оптимальной связи составляет $S_{\min}/H=0,17$, а размер структуры МПФ во всех случаях $A \times B=28,9 \times 10,8$ мм. При этом, недостаточная электрическая кросс-связь между несмежными резонаторами соответствует $S_{\min}/H > 0,28$, оптимальная связь – $S_{\min}/H=0,22$ и чрезмерная связь $S_{\min}/H < 0,18$.

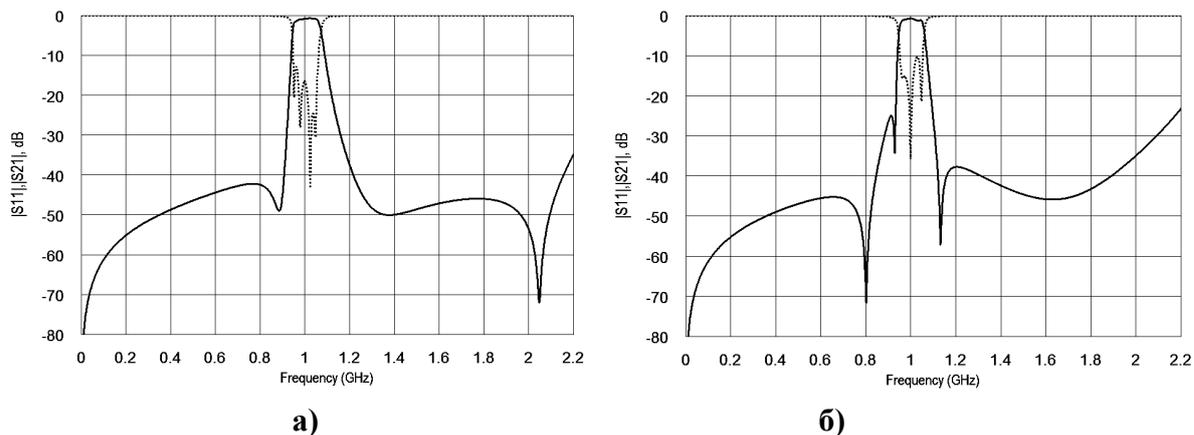


Рис. 6.а – АЧХ МПФ с недостаточной связью; **б** – АЧХ МПФ с чрезмерной связью

Более наглядно влияние связи между переключкой и резонаторами можно наблюдать на рис.7. Очевидно, что оптимально выбранное расстояние позволяет значительно улучшить избирательные свойства рассматриваемого микрополоскового фильтра, такие как уровень затухания в полосе заграждения или коэффициент прямоугольности рабочего затухания.

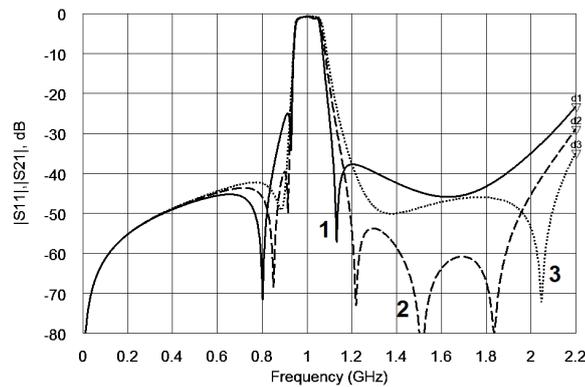


Рис. 7. Сравнительный график АЧХ фильтров с различной степенью дополнительной связи: 1 – чрезмерная связь; 2 – оптимальная связь; 3 – недостаточная связь

Заключение

В четырехрезонаторных гребенчатых структурах возможно формирование значительного числа полюсов рабочего затухания ($P=N+1$) при рациональном использовании нескольких способов управления электромагнитными связями. Формирование и грамотное расположение дополнительных полюсов рабочего затухания на частотной оси позволяет повысить уровни затухания в полосе заграждения и определяются выбором оптимальной связи на разных участках длины резонаторов.

Литература

1. *J. D. Rhodes*, "The stepped digital elliptic filter," *IEEE Trans. MTT*, 1969, Vol. MTT-17, №4, pp.178-184.
2. *M. Makimoto and S. Yamashita*, "Compact bandpass filters using stepped impedance resonators", *Proc. IEEE*, vol. 67, 1979, pp.16-19.
3. *G. M. Aristarkhov, O. V. Arinin and I. N. Kirillov*, "Compact highly-selective microstrip filters based on counter-comb structures," 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/SOSG.2018.8350569 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8350569>
4. *A.V. Zakharov, M.E. Il'chenko, I.V. Trubarov*, Planar three-resonator bandpass filters with cross coupling // *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2017. Т. 62. № 2. pp. 185-193.
5. *O. V. Arinin, G. M. Aristarkhov*, "Microwave filters with increased frequency selectivity based on quarter-wave hairpin resonators," // 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Minsk, Belarus, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8456934 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8456934>
6. *Аристархов Г.М., Аринин О.В., Кириллов И.Н.* Селективные свойства двух- и трехрезонаторных многоступенчатых гребенчатых структур и высокоизбирательные фильтры на их основе // *Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов*. 2019. Т. 10. № 4. С. 4-8.
7. *Аристархов Г.М., Аринин О.В., Кириллов И.Н.* Микрополосковые фильтры на основе встречно-гребенчатых структур с дополнительной гальванической связью // *Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов*. 2018. Т. 9. № 4. С. 8-12.
8. *Аристархов Г.М., Звездинов Н.В.* Высокоизбирательные микроволновые фильтры на основе структур с предельно минимальным числом резонаторов // *REDS: Телекоммуникационные устройства и системы*. 2016. Т. 6. № 1. С. 6-8.

HIGHLY SELECTIVE MICROSTRIP FILTERS BASED ON MULTI-STEP COMB STRUCTURES

Oleg V. Arinin

*Head of laboratory of Electronics department MTUCI, Moscow, Russia
bishounen99gmail.com*

Maksim P. Ivichev

*student of group MRT1901 Electronics department MTUCI, Moscow, Russia
vlsmax@mail.ru*

Key words: *microstrip filters, comb section, stepped impedance resonators, attenuation poles, electromagnetic coupling, cross-coupling*

In this paper, the authors investigate the frequency characteristics formation mechanisms of the highly-selective four-resonator microstrip filters based on multi-step comb structures with additional electromagnetic cross-coupling between non-adjacent resonators. It is shown the effect of steps in the wave impedances in different areas of the resonators' length on the formation of the working attenuation poles and their location on the frequency axis. The possibilities of various control methods of the attenuation poles splitting degree and their location relative to the passband are demonstrated.

БИНАРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК НА ПРИМЕРЕ БАЗЫ ДАННЫХ UNSW-NB15

Иванникова Валентина Павловна

студент группы М091901(71) МГУСИ, Москва, Россия
iv8post@gmail.com

Шелухин Олег Иванович

д.т.н., профессор кафедры ИБ МГУСИ, Москва, Россия
sheluhin@mail.ru

Ключевые слова: машинное обучение, алгоритмы машинного обучения, бинарная классификация, классификация трафика, сетевые атаки, база данных UNSW-NB1

В статье рассмотрена работа алгоритмов машинного обучения для бинарной классификации компьютерных атак. Представлены результаты оценки эффективности 24-х наиболее распространенных алгоритмов машинного обучения из шести групп: деревья решений, ансамбли, линейные и метрические классификаторы, метод опорных векторов и искусственные нейронные сети, на примере базы данных UNSW-NB15. Для классификации применялся сокращённый набор информативных признаков, из которых были исключены шумовые признаки, оказывающие незначительное влияние на итоговый результат. Показано, что наиболее эффективными алгоритмами для бинарной классификации сетевых атак являются деревья решений и их ансамбли, обеспечивающие точность классификации и значение ROC-AUC на уровне 0,99%. Эксперименты показали, что для линейных, метрических и нейросетевых классификаторов подбор гиперпараметров может дать ощутимый выигрыш по сравнению с параметрами «по умолчанию». Для алгоритмов на основе деревьев решений и ансамблевых алгоритмов подбор гиперпараметров незначительно повышает эффективность классификации.

Постановка задачи

Современные интеллектуальные информационные технологии находят широкое применение в сфере информационной безопасности, в частности для обнаружения и классификации сетевых компьютерных атак.

Бинарная классификация, как один из методов машинного обучения, направлена на решение следующей задачи.

Пусть дано множество X , в котором хранится описание атак o . Y – конечное множество классов возможных атак. Классификатором F является отображение X в множество Y , т.е. $F: X \rightarrow Y$. Признак (атрибут) f атаки o – это отображение $f: o \rightarrow D_f$, где D_f – множество допустимых значений признака f . Если задан набор признаков f_1, \dots, f_m для некоторой атаки o , то вектор признаков (атрибутов) x атаки $o \in X$ может быть определен как $x = f_1(o), \dots, f_m(o)$. Классификатор F должен быть способен классифицировать произвольную атаку $o \in X$.

Для обучения классификатора F используется обучающая выборка, заданная множеством $D = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$, $x_r \in Y = \{0; 1\}$, $r = \overline{1, n}$.

Оптимальным считается классификатор, который дает наименьшую вероятность ошибки $P(x)$ при всех допустимых значениях x . Критерием оптимальности будет соотношение вида $P(x) \rightarrow \min_{x \in X}$.

Решению подобной задачи посвящено большое количество работ. Так в [1, 6-16] приведено обширное описание различных методов обнаружения сетевых атак: поведенческих методов, методов на основе знаний, методов машинного обучения и вычислительного

интеллекта. Авторы указывают на преимущества и недостатки различных подходов без проведения экспериментальных исследований.

В [2] проведено экспериментальное исследование работы 11 алгоритмов, применяемых для решения задачи бинарной классификации. В данной работе алгоритмы машинного обучения показали высокие результаты качества классификации.

В [3, 4] приведены исследования обнаружения сетевых атак с использованием методов машинного обучения, но при этом в каждой работе классификация производится с применением ограниченного набора алгоритмов.

В отличие от указанных работ, в статье проведено исследование 24-х алгоритмов машинного обучения, что позволяет провести более комплексное сравнение различных алгоритмов.

Целью статьи является проведение сравнительного анализа эффективности широкого класса алгоритмов машинного обучения, используемых для бинарной классификации сетевых атак.

Описание набора данных

Исследование проводилось на наборе данных UNSW-NB15 [5], созданном в 2015 году и представляющим собой данные о сетевом трафике, содержащим как обычные соединения, так и атаки. Набор содержит записи о 2.5 миллионах сетевых потоков, которые характеризуются 49 информационными признаками, из которых 41 признак несет полезную информацию о соединении. В результате обработки экспериментальных данных с помощью статистического алгоритма SelectKBest с функцией chi2 из библиотеки scikit-learn пространство признаков было сокращено с 41 до 17. Результаты представлены в таблице 1, а сравнительная важность признаков на рисунке 1.

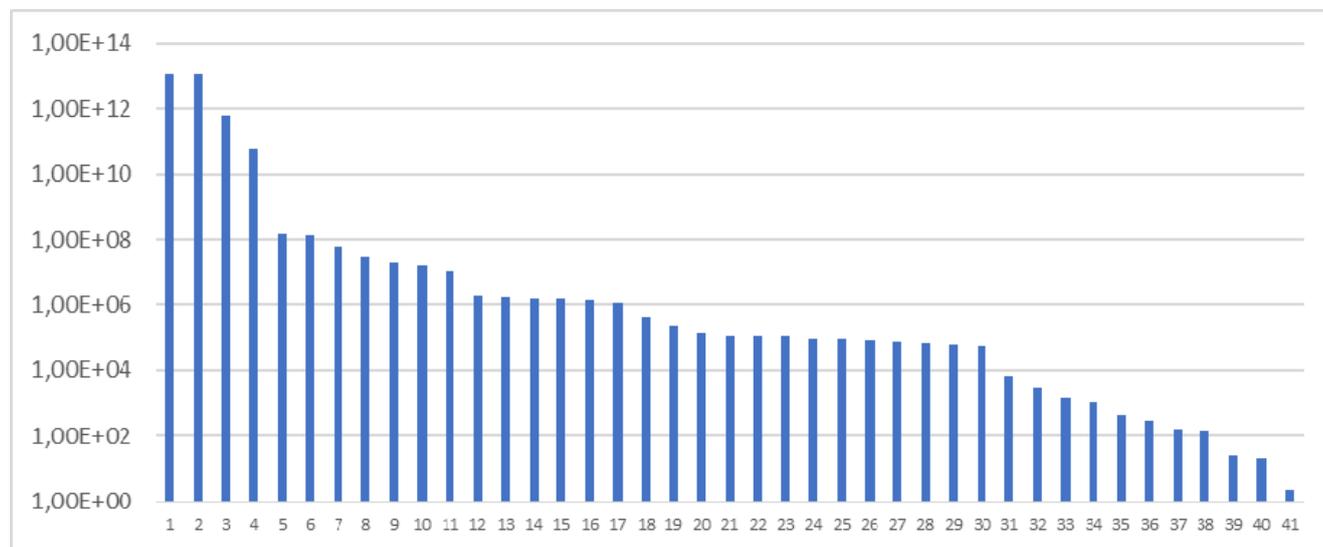


Рис. 1. Важность признаков, полученная алгоритмом SelectKBest с функцией chi2

Все сетевые потоки имеют метку, показывающую является ли этот поток нормальным сетевым трафиком, или содержит атаку.

Таблица 1.

Сокращенный набор используемых признаков базы данных UNSW-NB15

№	Признак	Описание	№	Признак	Описание
1	dtcpb	Начальный номер TCP-последовательности (назначение → источник)	10	state	Состояние потока и зависимый протокол
2	stcpb	Начальный номер TCP-последовательности (источник → назначение)	11	service	Используемая служба
3	sload	Бит в секунду (источник → назначение)	12	dmean	Средний размер пакетов (назначение → источник)
4	dload	Бит в секунду (назначение → источник)	13	swin	Размер TCP окна (источник → назначение)
5	dbytes	Количество байт (назначение → источник)	14	dinpkt	Межпакетный интервал, выраженный в мс (назначение → источник)
6	sbytes	Количество байт (источник → назначение)	15	djit	Джиттер (назначение → источник)
7	sinpkt	Межпакетный интервал, выраженный в мс (источник → назначение)	16	dwin	Размер TCP окна (назначение → источник)
8	sjit	Джиттер (источник → назначение)	17	sttl	Время жизни (источник → назначение)
9	response_body_len	Размер несжатого содержимого данных, передаваемых сервисом HTTP			

В UNSW-NB15 данные предоставляются в виде трёх выборок: обучающей (175 тыс. записей), тестовой (82 тыс. записей) и полного набора данных (2,5 млн. записей). Распределение нормального и вредоносного трафика в этих выборках представлено на рисунке 2. Как видно из рисунка, обучающая выборка не является сбалансированной, что может привести к ухудшению качества обучения. Для решения этой проблемы к обучающей выборке были добавлены 50 тысяч записей с меткой нормального трафика из полного набора данных.



Рис. 2. Распределение нормального и вредоносного трафика

Алгоритмы классификации

Исследование бинарной классификации компьютерных атак проводилось на 24-х алгоритмах машинного обучения, которые условно можно разделить на следующие группы:

- Алгоритмы на основе деревьев решений (Decision Tree, Extra Tree).
- Ансамблевые алгоритмы (AdaBoost, Bagging, Extra Trees, Gradient Boosting, Random Forest, LightGDM, XGBoost, Catboost).

- Линейные классификаторы (Naive Bayes, Logistic Regression, Ridge Classification, Stochastic Gradient Descent, Passive Aggressive Algorithms).
- Метрические классификаторы (K-nearest neighbors, Nearest Centroid).
- Метод опорных векторов (SVM).
- Искусственные нейронные сети (Perceptron, Multi-layer perceptron).

При исследовании работы алгоритмов данных алгоритмов производилось обучение моделей как с использованием гиперпараметров по умолчанию, так и с подбором гиперпараметров для модели, что позволяло увеличить точность работы итогового классификатора. Однако, поскольку проведение полного перебора всех гиперпараметров моделей не представляется возможным в связи с большим временем выполнения, при настройке моделей был использован «жадный» метод перебора параметров модели по алгоритму из таблицы 2.

Таблица 2.

Псевдокод алгоритма для перебора гиперпараметров

Обозначения:

trainX – признаки обучающей выборки; trainY – метки класса обучающей выборки; testX – признаки тестовой выборки; testY – метки класса тестовой выборки; model – модель машинного обучения; result – результат работы обученной модели; accuracy – значение метрики Accuracy для модели; auc – значение метрики ROC-AUC для модели; resModel – модель машинного обучения с подобранными гиперпараметрами; resP – список настроенных гиперпараметров модели; P – список всех гиперпараметров модели; P1, P2 – первый и второй, полностью рассматриваемые гиперпараметры модели; PN – гиперпараметры модели, рассматриваемые только в связке с предыдущими отобранными гиперпараметрами.

Алгоритм перебора гиперпараметров.

```
function HyperparameterSelection(trainX, trainY, testX, testY, model)
    model = ModelTrain(model, trainX, trainY)
    result = ModelPredict(model, testX)
    (accuracy, auc) = GetMetrics(testX, result)
    (resModel, resP) = (model, [])
    P = GetModelHyperparametersNames(model)
    P1 = next(P)
    P2 = next(P)
    for all p1 in GetValuesForHyperparameter(P1) do
        for all p2 in GetValuesForHyperparameter(P2) do
            model = ModelTrainWithHyperparameters(model, trainX, trainY, [p1, p2])
            result = ModelPredict(model, testX)
            (resultAccuracy, resultAuc) = GetMetrics(testX, result)
            if resultAuc > auc then
                (accuracy, auc, resP) = (resultAccuracy, resultAuc, [p1, p2])
            end if
        end for
    end for
    while HasNext(P) do
        PN = next(P)
        for all pN in GetValuesForHyperparameter(PN) do
            params = AppendHyperparameter(resP, Pn)
            model = ModelTrainWithHyperparameters(model, trainX, trainY, params)
            result = ModelPredict(model, testX)
            (resultAccuracy, resultAuc) = GetMetrics(testX, result)
            if resultAuc > auc then
                (accuracy, auc, resP) = (resultAccuracy, resultAuc, params)
            end if
        end for
    end while
end function
```

Следует отметить, что использование «жадного» перебора позволяет найти только локальный, а не глобальный максимум.

Метрики оценки алгоритмов классификации

При проведении классификации, как правило, используют типовые метрики:

- accuracy (верность) – доля правильно классифицированных объектов;
- recall (полнота) – доля верно классифицированных положительных ответов из всего множества положительных объектов;
- precision (точность) – доля верно классифицированных положительных ответов из всех ответов положительного класса;
- F-score (F-мера) – среднее гармоническое метрик precision и recall;
- ROC-AUC – площадь под ROC-кривой;
- TPR – доля верно классифицированных положительных ответов из всего множества положительных объектов;
- FPR – доля верно классифицированных отрицательных ответов из всего множества отрицательных объектов.

Наиболее показательной метрикой при оценке качества бинарной классификации является ROC-AUC.

Оценка алгоритмов классификации

Результаты бинарной классификации с помощью 24-х алгоритмов машинного обучения представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты бинарной классификации

№	Алгоритм	Гиперпараметры модели	Гиперпараметры по умолчанию		Подбор гиперпараметров	
			Acc.	ROC-AUC	Acc.	ROC-AUC
<i>Алгоритмы на основе деревьев решений</i>						
1	Decision Tree	criterion="entropy", splitter="best", max_features="6"	0.993	0.992	0.993	0.992
2	Extra Tree	criterion="entropy", splitter="best", max_features="6"	0.920	0.949	0.993	0.992
<i>Ансамблевые алгоритмы</i>						
3	AdaBoost	algorithm="SAMME.R", n_estimators="4000"	0.984	0.988	0.990	0.989
4	Extra Trees	criterion="entropy", n_estimators="500", max_features="11"	0.992	0.993	0.992	0.993
5	Random Forest	n_estimators="241", min_samples_split="3", max_features="14", max_depth="100"	0.993	0.993	0.993	0.993
6	Bagging	n_estimators="403", max_features="12"	0.993	0.992	0.993	0.993
7	Gradient Boosting	n_estimators="8500", min_samples_split="10", max_features="9"	0.988	0.991	0.993	0.992
8	Hist Gradient Boosting	loss="binary_crossentropy", max_iter="1694", max_leaf_nodes="85", max_bins="255"	0.990	0.990	0.992	0.993
9	CatBoost	custom_metric="BalancedAccuracy", loss_function="Logloss", depth="13",	0.991	0.991	0.993	0.993

		od_type="Iter", border_count="4096"				
10	LightGBM	num_leaves="320", n_estimators="206"	0.989	0.990	0.992	0.993
11	XGBoost	max_depth="128"	0.988	0.991	0.993	0.993
Линейные классификаторы						
12	Gaussian Naive Bayes	var_smoothing="1e-40"	0.718	0.823	0.838	0.887
13	Multinomial Naive Bayes	normalize, fit_prior="False"	0.826	0.823	0.885	0.848
14	Complement Naive Bayes	normalize, alpha="0", norm="True"	0.826	0.823	0.885	0.848
15	Bernoulli Naive Bayes	-	0.735	0.770	0.735	0.770
16	Ridge Classification	solver="auto", class_weight="balanced",	0.974	0.953	0.977	0.958
17	Stochastic Gradient Descent	loss="squared_epsilon_insensitive"	0.665	0.805	0.882	0.853
18	Logistic Regression	penalty="none", solver="saga"	0.701	0.822	0.824	0.887
19	Passive Aggressive Classifier	-	0.877	0.854	0.877	0.854
Метрические классификаторы						
20	K-nearest neighbors	algorithm="kd_tree", n_neighbors="2", weights="uniform", leaf_size="10", p="1", metric="minkowski"	0.855	0.907	0.898	0.915
21	Nearest Centroid	metric="mahalanobis", shrink_threshold="0.00001"	0.596	0.701	0.978	0.956
Метод опорных векторов						
22	SVM	kernel='poly', degree=7	0.469	0.667	0.606	0.754
Искусственные нейронные сети						
23	Perceptron	-	0.862	0.850	0.862	0.850
24	Multi-layer Perceptron	activation="tanh", solver="adam", hidden_layer_sizes="(38,)", batch_size="492", max_iter="25"	0.754	0.764	0.887	0.866

При бинарной классификации наилучшие результаты показали исследованные деревья решений и ансамблевые алгоритмы.

Так, в таблице 4 представлены результаты бинарной классификации, а на рисунке 3 матрица ошибок и ROC-кривая для алгоритма Decision Tree.

В таблице 5 представлены результаты бинарной классификации, а на рисунке 4 матрица ошибок и ROC-кривая для ансамблевого алгоритма Random Forest.

Таблица 4.

Результат работы алгоритма Decision Tree

Гиперпараметры	Accuracy	Precision	Recall	TPR	FPR	F-score	ROC-AUC
По умолчанию	0.993	0.958	0.990	0.991	0.006	0.975	0.992
С подбором	0.993	0.956	0.991	0.991	0.006	0.973	0.992

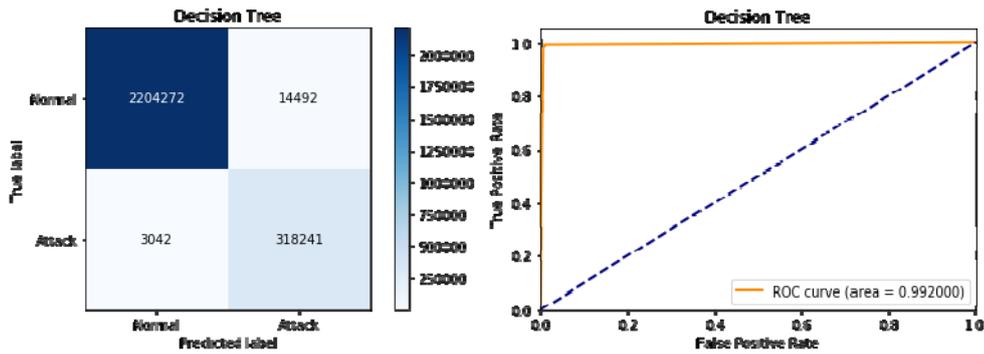


Рис. 3. Матрица ошибок и ROC-кривая для алгоритма Decision Tree

Таблица 5.

Результат работы алгоритма Random Forest

Гиперпараметры	Accuracy	Precision	Recall	TPR	FPR	F-score	ROC-AUC
По умолчанию	0.993	0.956	0.993	0.994	0.006	0.975	0.994
С подбором	0.993	0.955	0.993	0.994	0.006	0.974	0.994

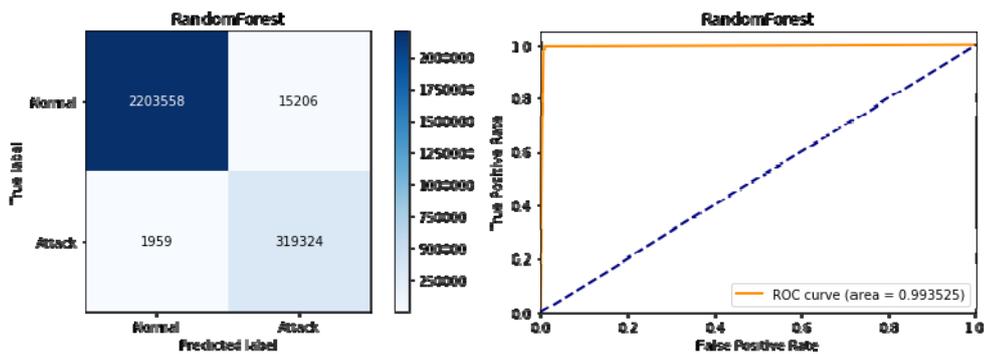


Рис. 4. Матрица ошибок и ROC-кривая для алгоритма Random Forest

Значения метрик Accuracy и ROC-AUC каждого из исследованных алгоритмов, входящих в эти группы превышают 0.99. Несколько худшую эффективность показали алгоритмы Ridge Classification и Nearest Centroid. Для этих алгоритмов значения метрики Accuracy превышают 0.975, а ROC-AUC превышают 0.95.

В таблице 3 приведены итоговые результаты классификации как для моделей использовавших гиперпараметры, установленные по умолчанию, так и с подобранными гиперпараметрами. Из представленных результатов видно, что подбор гиперпараметров позволяет, как правило, незначительно повысить эффективность классификации для алгоритмов на основе деревьев решений и ансамблевых алгоритмов.

Для линейных классификаторов подбор гиперпараметров может дать ощутимый выигрыш. Так, для алгоритма Logistic Regression выигрыш для метрики Accuracy может достигать 12%, а для ROC-AUC – до 6,5%.

Для метрических классификаторов, метода опорных векторов, искусственных нейронных сетей подбор гиперпараметров также имеет важное значение. Так для алгоритмов SVM и Multi-layer perceptron выигрыш для метрики Accuracy при правильном подборе гиперпараметров может достигать 13%, а для ROC-AUC – до 10%.

Графическое представление результатов работы 24-х рассмотренных моделей бинарных классификаторов представлено на рисунке 5.

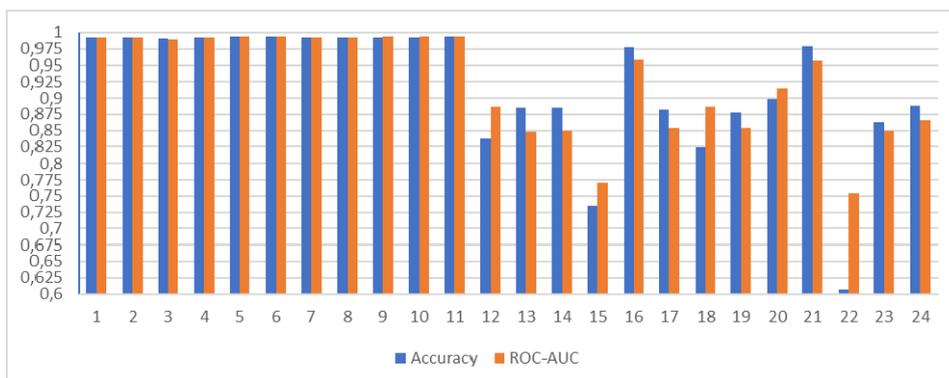


Рис. 5. Значения метрик Accuracy и ROC-AUC для различных алгоритмов классификации

Выводы

Проведённое исследование на примере базы данных UNSW-NB15 показало, что наиболее эффективными для задач бинарной классификации атак являются алгоритмы на основе деревьев решений (Decision Tree, Extra Tree), а также ансамблевые алгоритмы (AdaBoost, Bagging, Extra Trees, Gradient Boosting, Random Forest, LightGDM, XGBoost, Catboost). Значения метрик Accuracy и ROC-AUC каждого из исследованных алгоритмов входящих в эти группы превышают 0.99%.

Для линейных классификаторов подбор гиперпараметров может дать ощутимый выигрыш и может достигать 12% для метрики Accuracy, а для ROC-AUC – до 6,5% для алгоритма Logistic Regression.

Для метрических классификаторов, метода опорных векторов, искусственных нейронных сетей подбор гиперпараметров подбор гиперпараметров дает выигрыш для метрики Accuracy до 13%, а для ROC-AUC – до 10% . Для алгоритмов на основе деревьев решений и ансамблевых алгоритмов подбор гиперпараметров незначительно повышает эффективность классификации.

Литература

1. *Браницкий А. А., Котенко И. В.* Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак //Труды СПИИРАН. – 2016. – Т. 2. – №. 45. – С. 207-244.
2. *Клячкин В. Н., Кувайскова Ю. Е., Жуков Д. А.* Выбор метода бинарной классификации при технической диагностике с применением машинного обучения //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – №. 4-3.
3. *Пиховкин Н. Л. и др.* Детектирование сетевых распределенных атак на основе алгоритмов машинного обучения //Информация и космос. – 2018. – №. 4. – С. 73-80.
4. *Попов И. Ю., Заколдаев Д. А., Пшеничный К. А.* Детектирование сетевых распределенных атак типа "отказ в обслуживании" на основе алгоритма градиентного бустинга //Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – №. 2. – С. 89-92.
5. *Moustafa N., Slay J.* UNSW-NB15: a comprehensive data set for network intrusion detection systems (UNSW-NB15 network data set) //2015 military communications and information systems conference (MilCIS). – IEEE, 2015. – С. 1-6.
6. *Шелухин О.И., Филинова А.С., Васина А.В.* Обнаружение аномальных вторжений в компьютерные сети статистическими методами // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 10. С. 42-49.
7. *Sheluhin O.I., Sirukhi J.W., Pankrushin A.V.* Wavelet type selection in the problem of anomaly intrusions detection in computer networks using multifractal analysis methods // T-Comm. 2015. Т. 9. № 4. С. 88-92.
8. *Шелухин О.И., Смычѣк М.А., Симонян А.Г.* Фильтрация нежелательных приложений интернет-ресурсов в целях информационной безопасности // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 2. С. 87-98.

9. Костин Д.В., Шелухин О.И. Разработка защищенной системы обмена мгновенными сообщениями и медиа-файлами // Телекоммуникации и информационные технологии. 2015. Т. 2. № 2. С. 40-44.

10. Sheluhin O.I., Barkov V.V., Sekretarev S.A. The online classification of the mobile applications traffic using data mining techniques // T-Comm. 2019. Т. 13. № 10. С. 60-67.

11. Шелухин О.И., Неклесова М.Д. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов кластеризации нежелательных мобильных приложений методами машинного обучения // Телекоммуникации и информационные технологии. 2018. Т. 5. № 2. С. 126-133.

12. Груздев С.П., Шелухин О.И. Бинарная классификация компьютерных атак на информационные ресурсы при помощи нечёткой логики // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6. № 2. С. 115-122.

13. 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.

14. 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.

15. Шелухин О.И., Симонян А.Г., Ванюшина А.В. Формирование исходных данных и анализ программного обеспечения для классификации приложений трафика методом машинного обучения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 1. С. 67-72.

16. Шелухин О.И., Барков В.В. Влияние фонового трафика на эффективность классификации трафика мобильных приложений методами интеллектуального анализа данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 10. С. 52-57.

COMPUTER ATTACKS BINARY CLASSIFICATION ON THE UNSW-NB15 DATASET EXAMPLE

Valentina P. Ivannikova

student of the group M091901(71) MTUCI, Moscow, Russia

iv8post@gmail.com

Oleg I. Sheluhin

Doctor of Technical Sciences, Professor of Information Security department MTUCI,

Moscow, Russia

sheluhin@mail.ru

Key words: *machine learning, machine learning algorithms, binary classification, traffic classification, network attacks, UNSW-NB15 dataset.*

The article describes use of machine learning algorithms for computer attacks binary classification. The efficiency evaluation results of the 24 most common machine learning algorithms from six groups using UNSW-NB15 dataset are presented: decision trees, ensembles, linear and metric classifiers, support vector machine and artificial neural networks. The reduced set of informative features was used for the classification, from which features that have little effect on the result were removed. It has been shown that the most effective network attacks binary classification algorithms are based on decision trees and their ensembles, providing classification accuracy and ROC-AUC value at the level of 0.99%. The experiments have shown that for linear, metric and neural network classifiers hyperparameters fine tuning could give a significant resulting improvement over the use of "default" parameters. As for decision trees and ensemble-based algorithms, hyperparameters tuning increases classification efficiency insignificantly.

АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ РЕАЛИЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЮ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ

Калмыков Никита Сергеевич

студент группы М091901 (75) МТУСИ, Москва, Россия

nikitakalmi25@gmail.com

Докучаев Владимир Анатольевич

д.т.н., профессор, зав. кафедрой СИТус МТУСИ, Москва, Россия

v.a.dokuchaev@mtuci.ru

Ключевые слова: Программно-конфигурируемые сети, ПКС, виртуализация ЦОД, контроллер ПКС, протокол OpenFlow, протокол OpFlex, протокол OVSDB.

В данной статье рассмотрены основные протоколы, реализующие технологию программно-конфигурируемых сетей и применяемые для создания центров обработки данных. Приведены схемы, иллюстрирующие основные принципы работы протокола OpenFlow. Рассмотрены принципы маршрутизации и коммутации пакетов в ПКС с точки зрения сетевых приложений и оборудования под управлением протоколов реализующих ПКС. Описаны примеры использования протоколов, применяемых совместно с OpenFlow.

Введение

Сегодня, в связи с постоянным ростом объемов передаваемого в различных сетях трафика, будь то распределенные сети предприятий, или же сети провайдеров, требуется все больше ресурсов для удовлетворения растущих потребностей пользователя. Для обеспечения хранения данных, и различных видов удаленных вычислений создаются центры обработки данных (ЦОД, Data Center) [1, 2, 8, 9]. ЦОД проектируются и создаются специально для обработки и хранения огромных массивов информации. Зачастую ЦОД объединяются в сети для обеспечения минимальной задержки доступа к вычислительным ресурсам.

В последние несколько лет можно наблюдать такие тренды как: переход к виртуализованной среде ЦОД (VDC) или так называемый программно-конфигурируемый ЦОД (SDDC). Виртуализация ЦОД позволяет значительно снизить стоимость использования и обслуживания вычислительных мощностей для конечного клиента, так как отпадает необходимость закупать специализированное оборудование под конкретные задачи - его место занимает специальное ПО развернутое на серверных мощностях. Дополнительным преимуществом является гибкая топология, которая так же может быть переконфигурирована в кратчайшие сроки, так как нет необходимости переподключать оборудование физическими кабельными системами.

Такая концепция подразумевает централизацию управления всей сетью на кластере контроллеров программно-конфигурируемой сети (ПКС, SDN – Software Defined Network), которые так же могут быть реализованы исключительно программными средствами. Такой контроллер обеспечивает разделение уровней передачи данных и управления. В классической схеме построения сети функции маршрутизации лежали на соответствующих устройствах, что увеличивало нагрузку на каждое из них. Контроллер же ПКС берет управление потоками данных, политиками безопасности и сетевыми устройствами на себя. Взаимодействие контроллера и сетевых устройств осуществляется по специальному протоколу управления процессом обработки данных. Во многом, именно благодаря появлению таких протоколов стала возможна реализация концепции ПКС. Основным протоколом, реализующим технологию ПКС считается протокол OpenFlow.

Протокол OpenFlow

Протокол OpenFlow изначально разрабатывался как метод управления потоками в сети, поэтому его нельзя отнести ни к протоколам маршрутизации, ни к протоколам коммутации.

Разработкой и управлением протоколом OpenFlow занимается организация Open Networking Foundation (ONF), куда входят многие сетевые операторы и поставщики телекоммуникационного оборудования. Так же ONF активно занимается продвижением ПКС и с каждым годом запускает все больше проектов в партнерстве с крупными операторами связи.

Так, ONF заявляет OpenFlow как первый стандартный интерфейс, между плоскостями передачи данных и управления в ПКС. OpenFlow реализует прямой доступ и управление плоскостью передачи данных различных сетевых устройств, таких как коммутаторы и маршрутизаторы, причем как физических так и виртуальных. Важным достоинством протокола является возможность переместить функции управления из проприетарных сетевых устройств в ПО с открытым исходным кодом, стандартным интерфейсом и централизованным управлением [3].

Архитектура работы сетевого оборудования может быть описана в виде 3-х плоскостей: плоскость управления, плоскость администрирования, плоскость передачи данных. Такое схематичное изображение архитектуры приведено на рисунке 1.

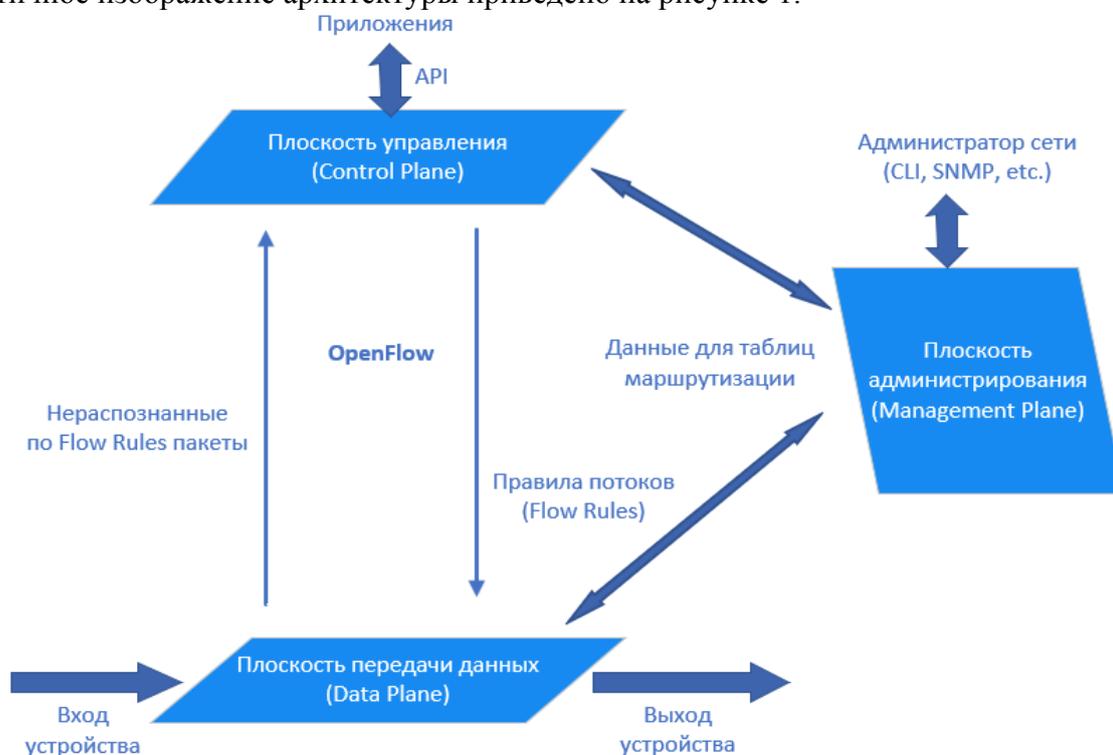


Рис. 1 - Архитектура сетевого оборудования с OpenFlow

Основные функции плоскости администрирования: обновление и модификация ПО сетевых устройств, выбор режимов работы, выполнение команд простого протокола администрирования сети (SNMP) и подобных от внешней системы администрирования. Также осуществляет выполнение команд от внешней конфигурации устройства или системного администратора через интерфейс командной строки (CLI).

В свою очередь плоскость передачи данных осуществляет передачу пакетов и кадров данных со входов устройств в сети на их выходы, согласно таблице передачи.

Плоскость управления осуществляет работу протоколов маршрутизации и коммутации. На данной плоскости используется таблица маршрутизации для составления таблицы передачи пакетов, которой в свою очередь руководствуется плоскость передачи данных. Таблицы передачи пакетов попадают на плоскость передачи данных посредством плоскости администрирования (см. рис.1), эта функция зачастую является частью ОС устройства. Затем

согласно таблице передачи пакеты со входных портов передаются плоскостью передачи данных на выходные порты.

Как уже было упомянуто, OpenFlow не следует относить ни к протоколам маршрутизации, ни к протоколам коммутации. OpenFlow заявлен как протокол управления потоками данных (flow). Под термином «поток» принято понимать набор пакетов, следующий через сетевые устройства, но принадлежащий к одному приложению при обмене клиентской части с серверной и наоборот. С точки зрения сетевых устройств происходит обмен кадрами и пакетами в соответствии с протоколами маршрутизации, а для приложений важен именно поток пакетов от отправителя к получателю.

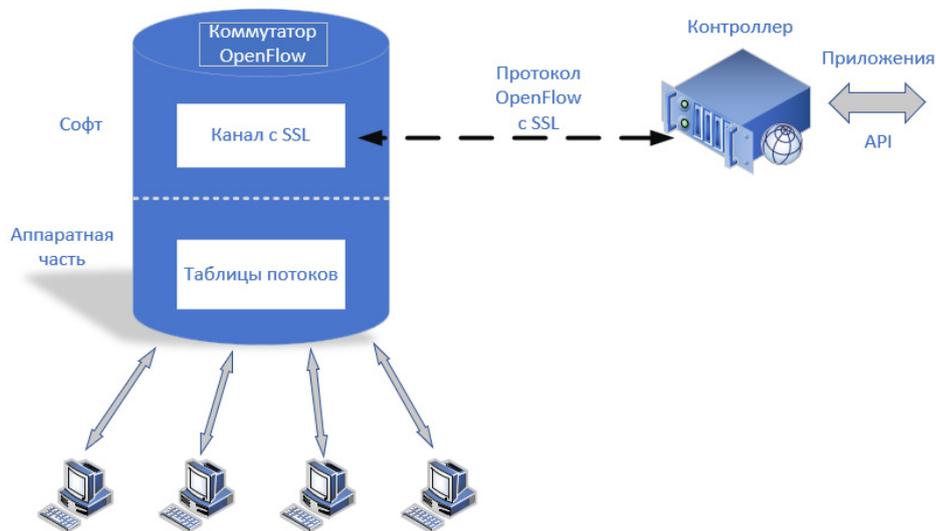


Рис. 2 Архитектура сети с использованием OpenFlow

На рисунке 2 представлено схематичное изображение архитектуры сети, построенной с использованием коммутатора, поддерживающего OpenFlow и контроллера сетевых устройств. Данная схема уточняет возможное физическое распределение устройств в сети и показывает аспекты защиты сети (использование SSL для соединения контроллера с коммутаторами) [4].

OpenFlow определяет правила потока для каждого сетевого устройства путем рассылки модифицированной таблицы передачи, таким образом, что плоскость управления может управлять плоскостью передачи данных. Правила потока могут содержать в себе различные установки для сетевых устройств, такие как:

- MAC – адреса устройств источника и назначения;
- IP-адреса устройств источника и назначения;
- параметры протокола TCP для устройств источника и назначения;
- данные о виртуальной (логической) локальной сети VLAN в общей инфраструктуре;
- различные метки и метрики, например QoS или метки MPLS;
- другую необходимую информацию для составлений правил потока.

Основная ценность OpenFlow заключается в том, что он реализуется автоматически через контроллер ПКС в сети, позволяет забрать на себя управление плоскостью передачи, значительно упрощает и ускоряет работу с настройкой сетевого оборудования, а также расширяет функциональные возможности сетевых устройств. Следует отметить, что значительным преимуществом протокола является его поддержка множеством разных производителей, что позволяет управлять мультивендорной сетью с такой же эффективностью, что и сетью из устройств от одного производителя. Отдельного упоминания стоит тот факт, что протокол является открытым, что расширяет возможности его применения для множества задач.

Недостатки и уязвимости протокола OpenFlow

Помимо упомянутых выше достоинств протокол имеет и ряд недостатков, которые частично проистекают из присущей ПКС концепции централизации. В числе таких недостатков централизации управления сетью можно выделить необходимость резервирования контроллера ПКС, ведь именно на нем лежит полная ответственность за нормальное функционирование сети, в отличие от классической схемы построения, где решения принимаются на уровне отдельных сетевых устройств. Еще одним немаловажным недостатком или уязвимостью, также следующей из концепции централизации, можно назвать возникновение «единственной точки» для атак в сети или для возникновения сбоев.

Также к числу важных уязвимостей следует отнести отсутствие реализованной на уровне протокола функции аутентификации контроллера и коммутатора на этапе «рукопожатия» [5]. Данная функция отсутствовала с момента релиза в 2011 году, и не была учтена разработчиками, так как для реализации атаки злоумышленник должен физически подключить настроенный коммутатор к целевой сети. Однако отсутствие физического доступа к сети уже становится трудно считать преградой для злоумышленников.

Протоколы, используемые совместно с OpenFlow в ПКС

В некоторых источниках отмечается, что OpenFlow является заменой многих протоколов в ПКС, например таких как: сетевой протокол конфигурации (Network Configuration Protocol, NETCONF), протокол граничного шлюза (Border Gateway Protocol, BGP), открытый протокол управления базами данных vSwitch (Open vSwitch Database Management Protocol, OVSDDB) и многопротокольная коммутация по меткам (Multiprotocol Label Switching, MPLS). На самом деле все данные протоколы используются совместно с OpenFlow.

Приведём несколько примеров совместного использования упомянутых протоколов:

- BGP - реализован как приложение OpenFlow в различных решениях, скорее в тестовых вариациях, а не как отдельный продукт. Однако ничего не мешает использовать протоколы совместно.
- OVSDDB – протокол функционирует совместно с OpenFlow в виртуальных коммутаторах Open vSwitch. OVSDDB реализует достаточно много операций, в числе которых: настройка набора контроллеров для соединения путей данных OpenFlow, создание и удаление таких путей данных, создание, управление и удаление очередей, настройку правил QoS (качество обслуживания), сбор статистики, и т.д. Однако протокол не выполняет никаких функций на уровне потоков, оставляя это OpenFlow.
- MPLS – у компании Juniper есть пример иллюстрирующий управление трафиком OpenFlow в сетях MPLS с помощью перекрестных соединений туннелей MPLS. Такой пример показывает возможность объединения нескольких ПКС под управлением OpenFlow с использованием внешней сети MPLS [6].

Таким образом, утверждение о том, что упомянутые выше протоколы являются альтернативой OpenFlow не верно. Некоторые моменты, безусловно, могут дублироваться, но задачи, принципы работы и подход к реализации во многом отличаются.

Протокол Cisco OpFlex

Компания Cisco представила собственный открытый протокол для реализации технологии ПКС. Протокол получил название OpFlex. По заявлению Cisco протокол был разработан совместно с такими компаниями как: Citrix Systems, IBM, Microsoft и Sungard Availability Services. Эти гиганты делают ставку на OpFlex как на отраслевой стандарт для ПКС [7]. В первую очередь протокол ориентирован на использование в рамках инициативы ACI - инфраструктура, ориентированная на приложение. Cisco позиционирует подход ACI как новую архитектуру построения сети передачи данных в ЦОД. Инициатива Application Centric

Infrastructure (ACI, инфраструктура ориентированная на приложение) предусматривает обновление линейки коммутаторов и новое ПО - контроллер инфраструктуры политики приложений (Application Policy Infrastructure Controller, APIC), которые должны помочь в объединении физической и виртуальной архитектуры ЦОД. Именно под эти задачи отлично подходит разработанный протокол OpFlex. Концепция протокола предполагает передачу интеллектуальным сетевым устройствам политик и конфигурационной информации сети. На основании известной политики сети, устройства в автоматическом режиме могут сконфигурировать себя в зависимости от требований приложений. В отличие от классической для OpenFlow и ПКС схемы с выделенным программным контроллером, который принимает все решения по управлению сетью, OpFlex предполагает наличие отвечающих за самих себя сетевых устройств. В Cisco сравнивают два типа контроллеров ПКС:

- Императивный – к данному типу контроллеров относится OpenFlow. Все решения о трафике в сети принимаются централизованно, все запросы, связанные с приложениями и настройкой инфраструктуры, обрабатывает один контроллер. Как следствие, он может стать «бутылочным горлышком» для всей сети.
- Декларативный – к данному типу Cisco относит OpFlex. Создается декларативный уровень управления. Все политики, касающиеся трафика, формулируются централизованно, но решения, каким образом их реализовывать, принимаются сетевыми устройствами самостоятельно.

Компания Cisco заявляет о том, что хочет сохранить OpFlex полностью открытым. Корпорация будет сотрудничать с проектом OpenDaylight для создания открытой модели политики, которая была бы совместима с Cisco ACI и архитектурой OpFlex, с тем, чтобы в последующих релизах платформы ПКС от проекта ODL появлялась такая модель. Так же Cisco заявила последующую поддержку OpFlex не только в новейших сериях коммутаторов, но и в других семействах более старых поколений. Важным преимуществом протокола OpFlex является поддержка как физических, так и виртуальных коммутаторов. Это важно для современных ЦОД, где гибкость и масштабируемость очень важны.

Стандартизация с помощью инженерной группы по развитию интернета (Internet Engineering Task Force, IETF) позволит Cisco получить большой охват рынка ПКС для ЦОД и внедрять полную экосистему ACI в сотрудничестве с другими крупными корпорациями на рынке ПКС. Постепенное внедрение OpFlex в большинство ПКС платформ (OpenDaylight или Open vSwitch) делает виртуальную инфраструктуру все доступнее конечному пользователю, а одновременно открытый исходный код и решения от конкретного вендора делают продукт привлекательнее. Достаточно важным продуктом помимо самого решения от производителя, становится программа поддержки и техническое сопровождение. Крупные представители рынка такие, как Cisco, Citrix, Juniper и т.д. могут предложить длительный период сопровождения.

Заключение

В результате анализа существующих протоколов для реализации ПКС можно утверждать, что, безусловно, самую большую долю рынка занимает протокол OpenFlow. Данный протокол существует уже достаточно длительное время и успел пройти проверку практикой по многим аспектам. Безусловно, у него имеется ряд недостатков, зачастую связанных с самой концепцией ПКС - любая централизация создает критические точки. Возможным решением данной проблемы может быть дополнительное резервирование и более внимательное отношение к вопросам безопасности как производителей оборудования, так и разработчиков ПО.

Ближайшим по идеологии и реализации к OpenFlow протоколом является OpFlex, разрабатываемый Cisco в рамках концепции ПКС, однако так же обладающий открытым исходным кодом, что является преимуществом, так как позволяет реализовать на основе протокола более гибкие решения под различные задачи.

Отличия в подходах к применению этих протоколов на сети не столь значительны на первый взгляд, однако каждый из протоколов призван решать свой круг задач, и под эти задачи каждый из них подходит лучше. Так, для реализации ЦОД с разнородной средой, особенно если вся или большая часть инфраструктуры построена на решениях Cisco, будет разумно использовать протокол OpFlex. Однако, учитывая объем решений, построенных на базе OpenFlow, для ряда задач компаниям будет проще использовать такое решение – это будет дешевле и проще, чем разрабатывать что-то новое на базе другого протокола.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- в настоящее время эволюция протоколов замедлилась, новые релизы выпускаются раз в несколько лет;
- протоколы используются в различных проектах, начиная от организации сети небольших компаний, до развертывания программно-конфигурируемых ЦОД гигантами рынка;
- протокол OpFlex развивается более активно и существует в составе экосистемы Cisco для ЦОД. Компания регулярно дополняет функционал и возможности протокола по интеграции с различными системами и сервисами;
- протокол OpenFlow продолжает использоваться в контроллерах ПКС многих производителей и занимает большую часть рынка.

Литература

1. *Докучаев В.А., Кальфа А.А., Мытенков С.С., Шведов А.В.* Анализ технических решений по организации современных центров обработки данных. Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №6. С. 16-24.

2. *Докучаев В.А., Кальфа А.А., Маклачкова В.В.* Архитектура центров обработки данных /Под ред. профессора В. А. Докучаева / М.: изд-во «Горячая линия-телеком», 2020.

3. OpenFlow Switch Specification Version 1.3.0: сайт. – URL: <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-spec-v1.3.0.pdf> (дата обращения: 08.07.2020). – Текст: электронный.

4. OpenFlow Switch: What Is It and How Does it Work?: сайт. – URL: <http://www.cablesolutions.com/whats-openflow-switch-how-it-works.html> (дата обращения: 02.08.2020). – Текст: электронный.

5. OpenFlow protocol has a switch authentication vulnerability: сайт. – URL: https://www.theregister.com/2018/05/10/openflow_switch_auth_vulnerability/ (дата обращения: 13.08.2020). – Текст: электронный.

6. Example: OpenFlow Traffic Steering Across MPLS Networks Using MPLS LSP Tunnel Cross-Connects:сайт. – URL: https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos/topics/example/junos-sdn-openflow-into-mpls-using-ccc-and-logical-tunnels-configuring.html (дата обращения: 19.08.2020). – Текст: электронный.

7. *Д. Берг.* Cisco представляет OpFlex как альтернативу OpenFlow: сайт. – URL: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=162220> (дата обращения: 19.08.2020). – Текст: электронный.

8. *Докучаев В.А., Ерёменко В.А., Маклачкова В.В., Мытенков С.С., Шевелёв С.В.* Профессиональные квалификации специалистов по контролю качества информационно-коммуникационных систем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 11. С. 62-67.

9. *Pavlov S.V., Dokuchaev V.A., Maklachkova V.V., Mytenkov S.S.* Features of supporting decision making in modern enterprise infocommunication systems // Т-Comm. 2019. Т. 13. № 3. С. 71-74.

PROTOCOLS IMPLEMENTING SOFTWARE-DEFINED NETWORKS ANALYSIS

Nikita S. Kalmykov

student of group M091901 (75) MTUCI, Moscow, Russia

nikitakalmi25@gmail.com

Vladimir A. Dokuchaev

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the NITaS Department MTUCI, Moscow,

Russia

v.a.dokuchaev@mtuci.ru

Key words: *Software-defined networks, SDN, DC virtualization, SDN controller, OpenFlow protocol, OpFlex protocol, OVSDB protocol.*

This article discusses the main protocols that implement the technology of software-defined networks and are used to create data centers. The diagrams illustrating the basic principles of the OpenFlow protocol are given. The principles of routing and switching of packets in SDN are considered from the point of view of network applications and equipment under the control of protocols implementing SDN. Examples of using protocols used in conjunction with OpenFlow are described.

ЭВОЛЮЦИЯ И ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАДИОИНТЕРФЕЙСОВ В СЕТЯХ GERAN/UTRAN/E/UTRAN

Литвяков Вячеслав Сергеевич
студент группы БРС1601 МТУСИ, Москва, Россия
slavalit32@mail.ru

Орлов Владимир Георгиевич
к.т.н., доцент кафедры «Телевидение и звуковое вещание» МТУСИ, Москва, Россия
v.g.orlov@mtuci.ru

Ключевые слова: сети мобильной связи, MIMO, OFDM, LTE, UMTS

Инфокоммуникационные технологии стремительно развивается, при этом один из драйверов их развития является мобильная связь. Это обусловлено увеличением объёма передаваемого трафика и расширением номенклатуры пользовательских услуг. В настоящее время широко используются множество стандартов и технологий мобильного радиодоступа, а также радиointерфейсы различных типов. В работе приведены ключевые особенности, функциональные характеристики и тенденции развития современных радиointерфейсов, используемых в системах мобильной связи/

В настоящее время сети связи отечественных операторов включают различные сети радиодоступа в зависимости от используемых стандартов мобильной связи: GSM — GERAN (GSM EDGE Radio Access Network), UMTS — UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) и LTE — E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). Обобщённая структурная схема современных сетей мобильной связи разных поколений приведена на рисунке 1 [5].

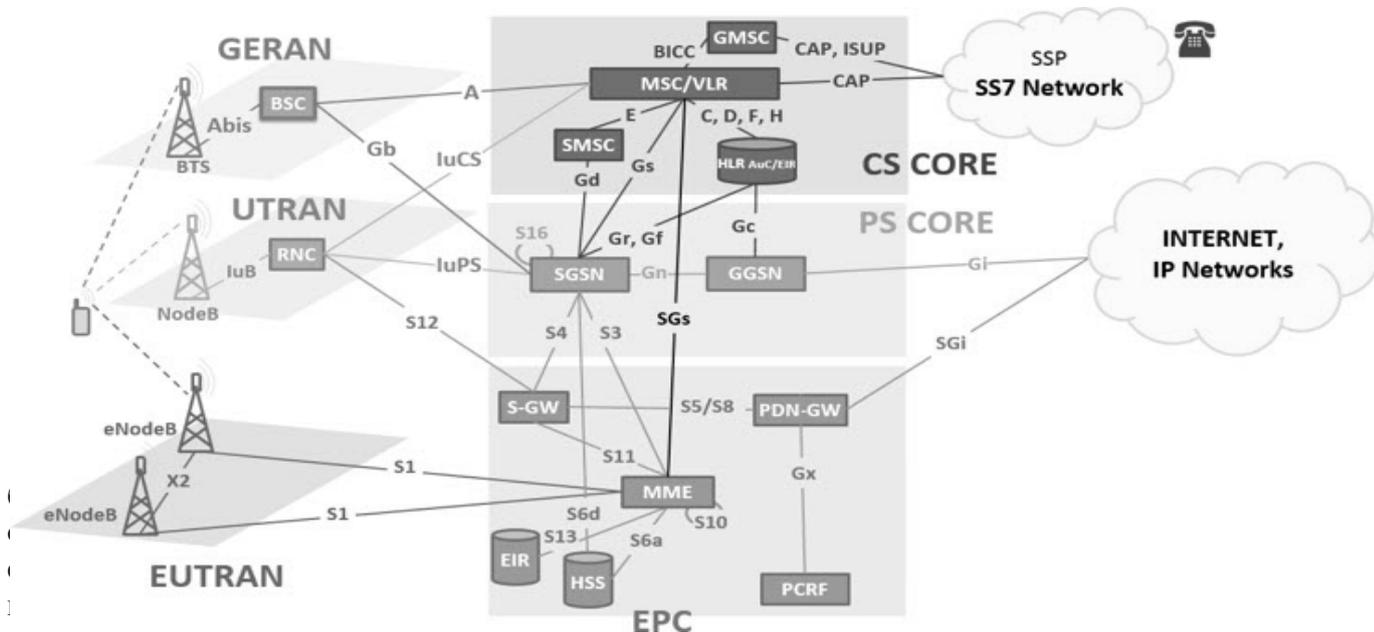


Рис. 1. Обобщённая структурная схема современных сетей мобильной связи

Так как речевой трафик GSM имеет симметричный характер, сеть радиодоступа строится на базе метода частотного дуплекса. Так как увеличивалось число пользователей этой системы ведущие вендоры коммуникационного оборудования стали использовать метод коммутации каналов CS (Circuit Switching) и протоколы SS7, отвечающие за сигнализацию. В дальнейшем, в связи с ростом потребностей пользователей к номенклатуре дополнительных

услуг связи стали востребованы асимметричные виды трафика, в частности потоковый, фоновый и в определённых условиях интерактивный.

Для протоколов радиointерфейса в модели системы OSI (Open Systems Interconnection) выделяют два важных уровня: физический и канальный. Данные уровни определяют характеристики канала связи (приёмник/демодулятор – линия связи – передатчик/модулятор).

Решение актуальной задачи улучшения характеристик радиоканала определило развитие и совершенствование следующих технологий: изменение видов модуляции; преобразование аналоговой (первичной) информации в цифровую (для данных процедур используют кодеры и вокодеры); управление приёмными и передающими антеннами и параметрами передаваемого сигнала; повышение помехоустойчивости и спектральной эффективности при расширении спектра сигнала; помехозащищённое кодирование.

Важными особенностями GSM являются: распределение радиоресурсов между абонентами в режиме TDM, применение узкополосного сигнала с модуляцией MSK, а также использование каскадного помехоустойчивого кодирования и осуществление связи через подсистемы коммутации с требованиями к TDM и с сигнализацией SS7.

Модуляция MSK происходит в полосе частот 200 кГц [3]. Особенностью этой технологии являются высокие корреляционные и спектральные характеристики.

В дальнейшем операторы связи увеличили пропускную способность и скорость передачи информации (используя технологию GPRS (General Packet Radio Service)) до 171 кбит/с. Технология GPRS стимулировала развитие элементной базы и устройств в сетях сотовой связи. Большая скорость позволила абонентам просматривать интернет-страницы с малым информационным объёмом и обмениваться небольшими файлами (0,1-1 МБ) в сети мобильной связи. Одной из особенностей данной технологии стала задержка в несколько секунд между посылкой запроса на сайт и получением клиентами запрашиваемых данных. Это обусловило дальнейшего развития технологий, обеспечивающих сокращения задержек при пакетной передаче данных.

Следующей в технологическом ряду более совершенных технологий мобильной связи стала технология EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution — «улучшенная технология передачи данных сетей стандарта GSM»). Её использование привело к увеличению скорости передачи данных по сравнению с GPRS в 2 раза, до 384 Кбит/с [2]. Такой результат в приросте скорости был достигнут благодаря использованию нового способа модуляции сигнала (8-PSK) на радиointерфейсе, что обеспечило повышение эффективности используемых в системе радиоресурсов. Однако отрицательной стороной использования данной технологии в сети радиодоступа стало снижение помехоустойчивости и чувствительности передаваемых сигналов в сети мобильной связи. Ещё одной отличительной особенностью EDGE является зависимость скорости передачи информации от качества канала связи. Это достигается за счёт использования избыточности кодов с целью адаптации под меняющиеся характеристики радио канала связи.

Таким образом, благодаря использованию технологии EDGE стало возможным, без существенных затрат значительно улучшить качество предоставляемых услуг (увеличение скорости и уменьшение задержки), что обусловило заинтересованность в этой технологии операторов мобильной связи. В частности, около 95% операторов, предоставляющих услуги Интернет - доступа в GERAN сетях, используют технологию EDGE.

Сеть радиодоступа UTRAN

Сеть UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) является сетью мобильной связи третьего поколения и была разработана с целью модификации сетей GSM. В состав UMTS входит сеть радиодоступа UTRAN, представляющая собой домен сетевого доступа с соответствующими техническими и программными средствами. Этот стандарт распространился помимо Европы также и в других регионах мира. Принципиальное отличие сетей третьего поколения заключается в расширении полосы частот сигнала (изначально 5 МГц) и в использовании сложной модуляции, а также в применении множественного доступа

с кодовым разделением каналов (CDMA), что позволило существенно увеличить скорость передачи данных.

Важной особенностью UTRAN является чувствительность к мощности принимаемых сигналов, поэтому в этой сети радиодоступа используется адаптивное регулирование мощности излучения радио сигнала. Повышение спектральной эффективности в UMTS было достигнуто путём создания частотной избыточности. Это обеспечило высокую помехозащищённость и устойчивость к многолучевому распространению. Следующими особенностями UMTS являются: введение транспортных каналов для увеличения использования физической среды; управление качеством услуг абонента (QoS); применение разнообразных речевых кодеков; оптимизация различного трафика в опорной сети (использование протокола IP и медиа шлюзов MGW и т.д).

Радиотехнология, используемая в сетях UMTS позволила повысить скорость передачи и минимизировать задержки информации за счёт применения более сложных вариантов модуляций (16 QAM и 64 QAM).

В целом, при переходе от GSM к UMTS полоса пропускания была увеличена в 50 раз (от 0,2 МГц до 10 МГц), что определило возрастание пропускной способности канала во столько же раз. В **таблице 1** приведены сравнительные характеристики стандартов и технологий, используемых в современных сетях мобильной связи [2].

Переход к использованию приведённых в **таблице 1** более совершенных и эффективных технологий радиодоступа позволил существенно снизить стоимость интернет трафика [1, 6 - 15].

Таблица 1

Скорости передачи информации в сетях мобильной связи различных технологий

Стандарт сети	Технология	Модуляция	Скорость передачи данных (макс.) к абоненту/от абонента	Полоса сигнала, МГц
GSM	GPRS	GMSK	20/20 кбит/с	0,2
	EDGE	8PSK	592/592 кбит/с	0,2
UMTS	R99 WCDMA	QPSK	384/384 кбит/с	5
	HSDPA	16QAMQPSK	14 4/5 76 Мбит/с	5
	HSPA+	64QAM16QAM	21/11 5 Мбит/с	5
	DC HSPA+	64QAM16QAM	42/23 Мбит/с	10
LTE	MIMO 2x2	64QAM	150/75 Мбит/с	20

Сеть радиодоступа E-UTRAN

Следующей стадией развития сетей мобильной связи стало использование стандарта четвёртого поколения LTE (Long Term Evolution). Стандарт 4G был разработан для предоставления абонентам доступа к мультимедийным сервисам с использованием протокола IP. Алгоритмы и механизмы, применяемые для передачи информации между базовой станцией (BS) и мобильным терминалом (UE) определяют эффективность функционирования любой радиосети.

Для осуществления передачи данных между BS и UE в технологии LTE обеспечивается поддержка двух вариантов дуплексной передачи данных между BS и UE: временной (TDD) и частотный (FDD). Для FDD определены 15 парных частотных диапазонов (от 0,8 ГГц до 3,5 ГГц), а для TDD - 8. Так же ширина радиоканала может принимать следующие значения: 1,4/3/5/10/15/20 МГц [3].

В радиосети E-UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) применяются системы множественного доступа OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) в Downlink и SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) в Uplink. Используемый в технологии OFDMA спектр подразделяется на ортогональные относительно друг друга поднесущие. При использовании каналов с различной шириной полосы пропускания количество поднесущих может варьироваться в рамках следующих значений: 72, 180, 300, 600, 900 или 1200. При этом для каждой из них возможно применение любого вида модуляции: QPSK, 16QAM, 64QAM [1].

Множественный доступ заключается в том, что разным абонентам базовой станцией могут выделяться разные поднесущие. Категории мобильных терминалов UE определяются в соответствии с документом 3GPP TS 36.306 [4]. В зависимости от категории, абонентам предоставляются максимальные скорости передачи в нисходящем и восходящем канале. В **таблице 2** приведены значения скорости передачи, а также тип модуляции с конфигурацией MIMO (Multiple Input Multiple Output) в зависимости от категорий абонентов.

Используя приведённые в **таблице 2** данные можно рассчитать максимальную скорость передачи для абонентов различных категорий. В частности, в нисходящем канале: 10, 50, 100, 150, 300 Мбит/с и 3 Гбит/с. В восходящем канале: 5, 25, 50, 75, 100 Мбит/с и 1,5 Гбит/с [2].

Мобильные терминалы всех категорий, используемые в сети E-UTRAN, поддерживаются при работе с каналом шириной до 20 МГц (кроме категории 0) и модуляцией 64QAM (кроме категории 0) в нисходящих каналах. Категория 0 используется только для устройств с очень низким энергопотреблением.

Ещё одной особенностью сетей четвёртого поколения использование технологии передачи MIMO, которая увеличивает и спектральную эффективность, и скорость передачи данных. Это достигается благодаря использованию на приёмной и передающей стороне нескольких антенн. Мобильные терминалы всех категорий, используемые в сети E-UTRAN, поддерживаются при работе с каналом шириной B максимально поддерживаемой в LTE схеме MIMO 4x4 предусматривается использование на BS и на UE четырех пар антенн. Теоретически скорость передачи при этом без учёта пилотных сигналов может увеличиться в 4 раза. При использовании сигналов в полосе частот шириной 20 МГц технология MIMO позволяет достигнуть скорости обмена данными до 300 Мбит/с в Downlink`е и 170 Мбит/с в Uplink`е [2].

Основное преимущество технологии OFDMA в сетях E-UTRAN заключается в том, что использование её позволяет подавить негативные эффекты, которые возникают при многолучевом распространении. В тоже время, данная технология имеет некоторые недостатки: значительный пик-фактор (PAPR, Peak to Average Ratio) OFDMA сигнала и высокая чувствительность к синхронизации по частоте. Высокая величина пик-фактора вызывает большие нелинейные искажения, создаваемые работающим усилителем мобильного терминала. Это приводит к росту энергопотребления UE и уменьшению ресурса его работы без подзарядки аккумуляторной батареи. С учётом этого в восходящем канале применяется технология множественного доступом SC-FDMA. Её основное отличие от технологии OFDMA заключается в дополнительном использовании метода быстрого преобразования Фурье для снижения PAPR.

В требованиях к E-UTRAN [4] указаны параметры спектральной эффективности: 5 бит/с/Гц для downlink канала и 2,5 бит/с/Гц для uplink канала. Эти параметры дают возможность обслуживания абонентских терминалов, которые перемещаются с скоростью свыше 300 км/ч.

Таблица 2

Распределение радиоресурсов в сетях E-UTRAN при использовании абонентских терминалов (UE) разных категорий с учетом режимов DL и UL.

UE Категория	Downlink		Uplink		
	Максимальное количество бит в ТТТ	Максимальное количество бит в транспортном блоке	MIMO	Поддержка 64QAM	Максимальное количество бит в транспортном блоке
0	1000	1000	-	-	1000
1	10296	10296	-	-	5160
2	51024	51024	2x2	-	25456
3	102048	75376	2x2	-	51024
4	150752	75376	2x2	-	51024
5	299552	149776	2x2 4x4	+	75376
6	301504	149776(4x4)	2x2	-	51024
		75376(2x2)	4x4		
7	301504	149776 (4x4)	2x2	-	102048
		75376(2x2)	4x4		
8	2998560	299856	8x8	+	1497760
9	452256	149776 (4x4)	2x2	-	51024
		75376 (2x2)	4x4		
10	452256	149776(4x4)	2x2	-	102048
		75376(2x2)	4x4		
11	603008	149776 (4x4.64QAM), 95816 (4x4, 256QAM), 75376 (2x2, 64QAM), 97896 (2x2. 256QAM)	2x2 4x4	-	51024
12	603008	149776 (4x4,64QAM), 95816 (4x4, 256QAM)	2x2 4x4	-	102048
		75376 (2x2, 64QAM), 97896 (2x2, 256QAM)			
13	391632	195816(4x4)	2x2	+	150752
		97896 (2x2)	4x4		
14	3916560	391656	8x8	+	1497760
15	749856-798800	149776 (4x4,64QAM), 95816 (4x4, 256QAM)	2x2 4x4	n/a	n/a
		75376 (2x2, 64QAM), 97896 (2x2. 256QAM)			
16	978960-1051360	149776 (4x4,64QAM), 95816 (4x4, 256QAM)	2x2 4x4	n/a	n/a
		97896 (2x2, 256QAM)			

Следующим этапом совершенствования сетей LTE стало создания сетей с технологией LTE Advanced (LTE-A). Ключевое отличие данных сетей заключается в агрегации частот и повышении эффективности работы антенн, в том числе MIMO. Помимо этого, в LTE-A предусматривается оптимизация работы гетерогенных сетей, в частности управление интерференциями и увеличение ёмкости сетей. Повышение скорости передачи данных достигается за счёт одновременного использования отдельных полос частот (агрегация частот). Абонентский терминал в режиме агрегации частот принимает и комбинирует до 5-ти

несущих шириной по 20 МГц каждая, формируя широкий канал с максимальной полосой до 100 МГц. Применение технологии MIMO позволяет увеличить скорость и спектральную эффективность передачи данных за счёт использования большого количества антенн и многопоточности передачи информации [2, 16 - 21].

Заключение

Развитие технологий мобильной связи неразрывно связано с развитием поколений сетей радиодоступа. При этом каждому следующему поколению свойственны принципиально новые технологические возможности, которые расширяют спектр услуг, скорость и объём передаваемой информации.

Литература

1. *Гепко, И.А.* Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития /И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко; Редактор В.Ф. Олейник. — 1-е изд. — Киев: "ЭКМО", 2010. — 672с.
2. *Тихвинский, В.О.* Сети мобильной связи LTE/LTE Advance технологии 4G, приложения и архитектура /В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, В.П. Высочин. — 1-е изд. — Москва: Media publisher, 2014. — 384с.
3. *Скрынников, В.Г.* Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика /В.Г. Скрынников. — Москва: Спорт и культура - 2000, 2012. — 864с.
4. [Электронный ресурс].URL: <https://www.3gpp.org/>
5. [Электронный ресурс].URL: <http://www.telecomhall.com>
6. *Гитлиц М.В., Орлов В.Г., Панарьин В.Д.* Устройство для цифровой записи-воспроизведения речевой информации // Авторское свидетельство SU 1272355 A1, 23.11.1986. Заявка № 3911920 от 14.06.1985.
7. *Мазуркевич Д.О., Орлов В.Г.* Эволюция систем безопасности сетей сотовой связи разных поколений // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 1. С. 38-40.
8. *Орлов В.Г., Мазуркевич Д.О.* Алгоритмы шифрования в публичных беспроводных сетях // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 10. С. 62-64.
9. *Пушкарев А.В., Орлов В.Г.* Эволюция технических средств формирования и доставки ТВЧ на мобильные терминалы пользователей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 1. С. 11-16.
10. *Орлов В.Г., Фадеев А.Н.* Протоколы маршрутизации в мобильных ad-hoc- сетях // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2012. Т. 12. № 6. С. 208-212.
11. *Орлов В.Г., Пушкарев А.В.* Перспективы развития мобильного видео // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 9. С. 115-117.
12. *Корионов И.П., Орлов В.Г.* Пользовательские аспекты безопасности в сетях LTE // Телекоммуникации и информационные технологии. 2017. Т. 4. № 2. С. 16-21.
13. *Гуров В.В., Орлов В.Г.* Обзор и сравнение протоколов MPTCP и SMT-SCTP // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2015. № 1. С. 115-119.
14. *Фадеев А.Н., Орлов В.Г.* Базовый стандарт для беспроводных сенсорных сетей // Телекоммуникации и информационные технологии. 2016. Т. 3. № 2. С. 65-68.
15. *Григорьев И.Д., Орлов В.Г.* Механизмы качества обслуживания в VDL MODE 4 // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2017. № 1. С. 129-133.

16. Тихвинский В.О. Пятый элемент мобильного мира: итоги MWC-17 // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 3. С. 4-11.
17. Крейнделин В.Б., Смирнов А.Э., Бен Режеб Т.Б.К. Эффективность методов обработки сигналов в системах MU-MIMO высоких порядков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 12. С. 24-30.
18. Крейнделин В.Б., Старовойтов М.Ю. Повышение помехоустойчивости системы связи MIMO с пространственным мультиплексированием методом додетекторного сложения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 4. С. 4-13.
19. Крейнделин В.Б., Усачев В.А. LTE-advanced pro как основа для новых сценариев M2M // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 3. С. 28-32.
20. Константинов А.С., Пестряков А.В. Анализ фундаментальных ограничений максимальной скорости передачи информации в сети LTE-advanced // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 12. С. 60-63.
21. Поборчая Н.Е., Пестряков А.В. Синтез и анализ алгоритмов оценки искажений сигнала в системе с MIMO в условиях априорной неопределенности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 10. С. 13-20.

EVOLUTION AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF RADIO INTERFACES ON GERAN / UTRAN / E - UTRAN NETWORKS

Vyacheslav S. Litvyakov

student BRS1601 MTUCI, Moscow, Russia

slavalit32@mail.ru

Vladimir G. Orlov

Ph.D. in Technology, associate Professor of «Television and sound broadcasting» MTUCI, Moscow,

Russia

v.g.orlov@mtuci.ru

Key words: *mobile communication networks, MIMO, OFDM, LTE, UMTS.*

Infocommunication technologies are developing rapidly, while one of the drivers for their development is mobile communications. This is due to an increase in the volume of transmitted traffic and the expansion of the range of user services. Currently, many standards and technologies for mobile radio access are widely used, as well as various types of radio interfaces. The paper presents key features, functional characteristics and development trends of modern radio interfaces used in mobile communication systems.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОЙ КАЛМАНОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ НАБЛЮДАТЕЛЯ

Манин Александр Анатольевич

*к.т.н., доцент, директор СКФ МТУСИ, г. Ростов-на-Дону, Россия
manin@skf-mtusi.ru*

Полякова Марианна Витальевна

*инженер СКФ МТУСИ, г. Ростов на Дону, Россия
poliakova.marianna@yandex.ru*

Гладышук Сергей Васильевич

*студент СКФ МТУСИ, г. Ростов на Дону, Россия
Saigonkim666@mail.ru*

Ключевые слова: фильтр Калмана, оценка вектора состояния, адаптивные методы оценивания, комплексированные измерительные системы.

Коррекция первичных измерений обычно производится, в основном, непосредственной заменой текущих оценок соответствующими их точными измерениями без изменения параметров алгоритма оценивания. Но такой подход не уменьшает рост ошибок оценивания на временном интервале, определенном моментом следующего точного измерения, а оценка ошибки определения параметров самого измерителя становится принципиально невозможной. В связи с этим в статье рассматривается возможность использования точных наблюдений, поступающих в комплексированную систему измерения (например, навигационную), для построения адаптивного алгоритма оценки реальных параметров измерителя вектора состояния наблюдаемой системы. В основу разработки данного алгоритма положена аналитическая зависимость вариации калмановской оценки от возмущений параметров измерителя, полученная с использованием математического аппарата исследования возмущенных многомерных динамических систем. Синтезированный алгоритм адаптивной оценки параметров измерителя, в свою очередь, позволяет на временных интервалах между точными наблюдениями существенно повысить точность и устойчивость процесса оценивания калмановским фильтром в целом, что иллюстрируется приведенным численным примером.

Введение.

Для определения ошибки измерения необходимо провести многократные измерения. Однако выполнение большого количества измерений бессмысленно в силу того, что точность результата напрямую зависит от точности используемого метода. Для получения объективных оценок необходимого числа измерений используются различные методы.

Среди известных на сегодняшний день методов обработки измерительной информации одним из наиболее эффективных является подход к оценке состояния стохастических систем на основе фильтра Калмана, обеспечивающего оптимальную в среднеквадратическом ошибку оценивания состояния системы [1]. Но при использовании фильтра Калмана строгая оптимальность может быть достигнута только при условии точного задания как параметров системы («объекта»), так и параметров измерителя («наблюдателя») вектора состояния системы. В то же время, в реальных условиях эксплуатации параметры измерителя зачастую известны неточно, что приводит к расходимости процесса оценивания. По существу, параметрическое возмущение стохастической модели наблюдателя вектора состояния объекта эквивалентно векторной мультипликативной помехе измерения, для борьбы с которой калмановская схема оценивания не приспособлена.

Подобное обстоятельство приводит к необходимости разработки специальных мер, обеспечивающих требуемую точность оценивания в условиях неопределенности параметров измерителя. В настоящее время решение этой проблемы осуществляется в следующих направлениях:

1. Использованием расширенного за счет неизвестных параметров фильтра Калмана [2] и его многоступенчатых модификаций [3] (расширенный фильтр Калмана использует модели перехода состояний и наблюдения, не обязательно являющиеся линейными функциями состояния, они могут быть дифференцируемыми функциями). Однако оптимальным расширенный фильтр Калмана может быть только в том случае, когда измерение и модель перехода состояний являются линейными, что делает его абсолютно идентичным обычному фильтру Калмана,

2. Разработкой схем наблюдателей, инвариантных к возмущениям параметров [2],

3. Применением алгоритмов нечеткой логики для подавления неопределенных возмущений [4],

4. Проектированием интервальных наблюдателей для систем с переменными неопределенными параметрами, вариации которых ограничены известными интервалами [5, 6],

5. Использованием дополнительного оценивающего наблюдателя, построенного на основе методов нелинейного программирования [7],

6. Масштабированием коэффициента усиления наблюдателя, обеспечивающим робастность процесса оценивания [8],

7. Применением интегрированных нейронных сетей, обеспечивающих нечувствительность фильтра Калмана к неопределенностям параметров измерителя [9] и др.

Применение каждого из перечисленных подходов дает эффект, как правило, для какой-либо конкретной технической системы, что вполне объяснимо их существенно нелинейным характером и сложностью динамики оцениваемых параметров состояния. Таким образом практика применения адаптивных методов оценивания показывает целесообразность их разработки для конкретного класса информационно-управляющих систем, среди которых можно выделить широко используемый на практике класс комплексированных измерительных систем.

Комплексирование навигационных измерителей – один из известных способов повышения точности и надежности навигационной информации. Комплексирование основано на избыточности информации об измеряемых навигационных параметрах, которую предоставляют системы и устройства, работающие на различных физических принципах. Наиболее эффективным считается комплексирование радиотехнических и нерадиотехнических измерителей, построенных на различных физических принципах. Это обусловлено тем, что ошибки этих измерителей обладают значительно отличающимися друг от друга статистическими характеристиками. Прежде всего к таким характеристикам следует отнести спектральную плотность погрешности измерений. Ошибки нерадиотехнических измерителей изменяются, как правило, медленно, в узком спектре низких частот. Ошибки радиотехнических измерителей, наоборот, изменяются быстро и характеризуются широким спектром высоких частот (в значительной степени). Характерной особенностью данных систем является обработка измерений на основе показаний как датчиков средней (или низкой) точности, формирующих текущие первичные измерения, так и высокоточных датчиков, показания которых лежат в основе коррекции первичных измерений. Коррекция при этом производится, как правило, через некоторые интервалы времени, превышающие такт первичных измерений и не всегда одинаковые (зачастую случайные). В качестве примера можно привести следующие системы:

– инерциально-спутниковые навигационные системы – в подобных системах происходит постоянное возрастание погрешности с течением времени, что приводит к необходимости коррекции измерений инерциальной навигационной системы по эталонным измерениям спутниковой навигационной системы [10–13];

– навигационные системы всевозможных роботов (в таких системах коррекция навигационных параметров робота, человека или подвижного объекта осуществляется в момент касания поверхности земли, а также необходимо учитывать нулевую скорость его ступни или нижней точки колеса) [14];

– информационно-измерительные системы различных транспортных систем (железнодорожных, морских и т.д.), где коррекция параметров ориентации и навигации осуществляется в моменты прохождения ими базовых (реперных) точек, в которых координатами известны наверняка (например, светофоры, радиочастотные метки, буи и др.) [15–20];

– комбинированные навигационные системы на базе инерциальных датчиков обеспечивающие навигацию внутри помещений и замкнутых пространств [21, 22] и т.д.

Рассмотрим более подробно инерциально-спутниковые навигационные системы. Основное преимущество спутниковой навигационной системы заключается в глобальности навигационного сервиса, так как любая другая система может быть только локальной. Спутники, излучая сверхвысокочастотный сигнал, за счет вынесения максимально возможной функциональной нагрузки на спутники и наземные станции управления делают более мобильным пользовательское оборудование. При этом мобильное приемное устройство должно лишь произвести окончательную обработку информации, подготовленной заранее. Спутниковые навигационные системы, в отличие от станций, находящихся на поверхности земли, позволяют определять высоту объекта с необходимой точностью. Преимуществами инерциальной системы (ИНС) перед другими навигационными системами являются ее полная независимость от внешних источников данных, повышенная защита от помех, высокая информативность и возможность передачи информации на высокой скорости. В качестве недостатков ИНС можно отметить высокую стоимость оборудования, входящего в их состав, а также ошибки в информации, получаемой от приборов, которые накапливаются с течением времени. Эти ошибки могут быть как методическими, так и связаны с неправильной первоначальной настройкой оборудования. Для коррекции подобных ошибок применяются интегрированные инерциально-спутниковые навигационные системы, в которых данные, получаемые ИНС, дополняются данными, поступающими со спутников.

Но на сегодняшний день подобная коррекция осуществляется, в большинстве случаев, с помощью непосредственной замены текущих оценок навигационных (или других) переменных точными измерениями, соответствующими им, без изменения параметров алгоритма оценивания. Очевидно, что при таком подходе, во-первых, не уменьшается рост ошибок оценивания на временном интервале, определенном моментом следующего точного измерения, (что и происходит в вышеупомянутых измерительных системах) [10–15], а во-вторых, принципиально невозможно оценить погрешности определения параметров самого измерителя.

В связи с изложенным, рассмотрим далее возможность использования точных наблюдений, поступающих в комплексированную систему измерения, для построения адаптивного алгоритма оценки реальных параметров измерителя вектора состояния наблюдаемого объекта. Что, в свою очередь, позволит на временных интервалах между точными наблюдениями существенно повысить точность и устойчивость процесса оценивания вектора состояния системы калмановским фильтром в целом [22].

Постановка задачи

Т.к. точные наблюдения производятся в дискретные моменты времени, то далее рассмотрим адаптацию процесса оценивания вектора состояния стохастической системы для дискретного случая

$$\xi_{i+1} = \Phi_{i+1/i} \cdot \xi_i + W_{i+1}, \quad \xi(0) = \xi_0, \quad (1)$$

где ξ_i – N -мерный вектор состояния в дискретный момент времени i ;

$\Phi_{i+1/i}$ – переходная матрица состояний размерности $N \times N$,

W_{i+1} – N -мерный вектор белых гауссовских центрированных шумов объекта с известной матрицей интенсивностей $G_{i+1} \cdot \delta_{i+1,j+1}$ ($\delta_{i,j}$ – дельта-функция Кронекера),
когда вектор выходных сигналов измерителя описывается уравнением

$$z_{i+1} = H_{i+1} \xi_{i+1} + V_{i+1}, \quad (2)$$

где z_{i+1} – M -мерный вектор измерений,

H_{i+1} – матрица измерений размерности $M \times N$,

V_{i+1} – M -мерный вектор белых гауссовских центрированных помех измерения с матрицей интенсивностей $R_{i+1} \cdot \delta_{i+1,j+1}$.

В этом случае оценка вектора состояния осуществляется оптимальным дискретным фильтром Калмана [1, 18, 22]:

$$\hat{\xi}_{i+1} = \Phi_{i+1/i} \hat{\xi}_i + K_{i+1} (z_{i+1} - H_{i+1} \Phi_{i+1/i} \hat{\xi}_i), \quad (3)$$

$$K_{i+1} = P_{i+1/i} \cdot H_{i+1}^T (H_{i+1} \cdot P_{i+1/i} H_{i+1}^T + R_{i+1})^{-1},$$

$$P_{i+1/i} = \Phi_{i+1/i} P_i \Phi_{i+1/i}^T + G_{i+1},$$

$$P_{i+1} = (E - K_{i+1} H_{i+1}) P_{i+1/i},$$

$$\hat{\xi}_0 = M(\xi_0), \quad P_0 = M \left\{ (\xi_0 - \hat{\xi}_0) (\xi_0 - \hat{\xi}_0)^T \right\}.$$

Как видно из уравнений (3), ошибка δH в определении матрицы измерений H_i существенно нелинейно влияет на погрешность формирования апостериорной ковариационной матрицы, а также, как следствие, на погрешность коэффициента усиления фильтра, и на ошибку определения невязки в уравнении оценки вектора состояния. По существу, поиск истинных значений матрицы измерений H_i по точным наблюдениям вектора состояния системы представляет собой решение обратной задачи динамики, которая в силу существенно нелинейной зависимости вектора калмановской оценки от матрицы измерения при использовании существующих итеративных процедур решения систем нелинейных уравнений приводит к вычислительным затратам, нереализуемым в реальном времени. Для возможности разработки эффективного вычислительного адаптивного алгоритма оценки состояния системы в условиях неопределенности матрицы измерения сделаем два допущения – полагаем, что на интервале между точными измерениями ошибка δH в определении матрицы измерений постоянна и ее вариациями второго порядка малости $\delta^{(2)} H$ можно пренебречь. Это позволяет использовать для дальнейших построений аппарат исследования возмущенных многомерных линейных систем, разработанный в [23] и дополненный в [24]. Перед началом решения определим также, следуя [23], для произвольной матрицы A размерности $m \times n$ вектор-столбец $A^{(v)}$, формируемый из ее элементов следующим образом:

$$A^{(v)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{m1} & a_{12} & a_{22} & \dots & a_{m2} & \dots & a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}^T.$$

Данное преобразование используем далее для соответствующей трансформации матриц, входящих в (3), с целью векторной записи ошибки оценки возмущенной системы.

Решение задачи.

На первом шаге запишем предварительно уравнение ошибки фильтра (3), вызванной возмущением δH . В общем виде уравнение возмущенного фильтра Калмана было получено ранее в [23, 24], поэтому трансформируем его для исследуемого случая с учетом только возмущения δH :

$$\delta \hat{\xi}_{i+1} = A_{(1)i+1} \delta \hat{\xi}_i + A_{(2)i+1} \delta H^{(v)} + A_{(3)i+1} \delta P_i^{(v)}, \quad (4)$$

где

$$A_{(1)i+1} = (E - K_{i+1} H_{i+1}) \Phi_{i+1/i};$$

$$\begin{aligned}
A_{(2)i+1} &= P_i \otimes r^T S^{-1} - \hat{\xi}_{i+1}^T \otimes K_{i+1} = P_i \otimes r^T S^{-1} - \left(\Phi_{i+1/i} \hat{\xi}_i + K_{i+1} r \right)^T \otimes K_{i+1}; \\
A_{(3)i+1} &= r^T S^{-1} H_{i+1} \Phi_{i+1/i} \otimes (E - K_{i+1} H_{i+1}) \Phi_{i+1/i}; \\
S &= H_{i+1} P_{i+1/i} H_{i+1}^T + R_{i+1}, \quad r = z_{i+1} - H_{i+1} \Phi_{i+1/i} \hat{\xi}_i,
\end{aligned}$$

\otimes – символ блочного произведения, E – единичная матрица.

Векторная случайная составляющая $\delta P_i^{(v)}$, входящая в правую часть (4), в свою очередь, также зависит от флуктуаций матрицы измерений, в связи с чем, опираясь на результаты, полученные в [24], запишем уравнение, описывающее вектор возмущения апостериорной ковариационной матрицы $\delta P_i^{(v)}$, для рассматриваемого случая (с учетом только возмущения матрицы измерений δH):

$$\delta P_i^{(v)} = B_{(1)i} \delta P_{i-1}^{(v)} + B_{(2)i} \delta H^{(v)}, \quad (5)$$

где $\delta P_0^{(v)}$ – вектор ошибок определения элементов матрицы априорной ковариации (равен 0);

$$B_{(1)i} = [(E - K_i H_i) \Phi_{i/i-1} E_{V1} \otimes (E - K_i H_i) \Phi_{i/i-1}] \hat{\otimes} E^{(v)};$$

$$B_{(2)i} = -(K_i E_{V2} \otimes P_i) \hat{\otimes} E^{(v)} - (P_i E_{V1} \otimes K_i) \hat{\otimes} E^{(v)};$$

$$E_{V1} = \left| E_n^{(1)} \otimes E_m^{(1)} \begin{array}{c} \vdots \\ E_n^{(2)} \otimes E_m^{(1)} \end{array} \begin{array}{c} \vdots \\ \dots \end{array} \begin{array}{c} \vdots \\ E_n^{(n)} \otimes E_m^{(m)} \end{array} \right|$$

$E_k^{(j)}$ – j -я строка единичной матрицы E размерности $k \times k$;

$E_{k(j)}$ – j -й столбец;

$$\begin{aligned}
E_{V2} &= \left| E_{n(1)} \otimes E_m^{(1)} \begin{array}{c} \vdots \\ E_{n(2)} \otimes E_m^{(1)} \end{array} \begin{array}{c} \vdots \\ \dots \end{array} \begin{array}{c} \vdots \\ E_{n(n)} \otimes E_m^{(1)} \end{array} \right| \\
&\quad \left| \begin{array}{c} \vdots \\ E_{n(1)} \otimes E_m^{(2)} \end{array} \begin{array}{c} \vdots \\ \dots \end{array} \begin{array}{c} \vdots \\ E_{n(n)} \otimes E_m^{(m)} \end{array} \right|.
\end{aligned}$$

Учитывая очевидные рекуррентные соотношения, которые вытекают из (5), выражения вектора возмущения апостериорной ковариационной матрицы $\delta P_i^{(v)}$ для каждого момента времени i , начиная с начального, можно записать как:

$$\begin{aligned}
\delta P_1^{(v)} &= B_{(1)1} \delta P_0^{(v)} + B_{(2)1} \delta H^{(v)} = B_{(2)1} \delta H^{(v)}; \\
\delta P_2^{(v)} &= B_{(1)2} \delta P_1^{(v)} + B_{(2)2} \delta H^{(v)} = B_{(1)2} B_{(2)1} \delta H^{(v)} + B_{(2)2} \delta H^{(v)}; \\
\delta P_3^{(v)} &= B_{(1)3} \delta P_2^{(v)} + B_{(2)3} \delta H^{(v)} = B_{(1)3} B_{(1)2} B_{(2)1} \delta H^{(v)} + B_{(1)3} B_{(2)2} \delta H^{(v)} + B_{(2)3} \delta H^{(v)}; \\
&\dots\dots\dots
\end{aligned} \quad (6)$$

$$\delta P_i^{(v)} = \sum_{j=1}^i \left(\prod_{k=j+1}^i B_{(1)k} \right) B_{(2)j} \cdot \delta H^{(v)} = B_{iH} \cdot \delta H^{(v)},$$

где $B_{iH} = \sum_{j=1}^i \left(\prod_{k=j+1}^i B_{(1)k} \right) B_{(2)j} \cdot$

Аналогично может быть представлено выражение текущего вектора возмущений оценки $\delta \hat{\xi}_{i+1}$, которое с учетом полученного выше выражения (6) предварительно может быть записано следующим образом:

$$\begin{aligned}
\delta \hat{\xi}_{i+1} &= A_{(1)i+1} \delta \hat{\xi}_i + A_{(2)i+1} \delta H^{(v)} + A_{(3)i+1} \delta P_i^{(v)} = A_{(1)i+1} \delta \hat{\xi}_i + A_{(2)i+1} \delta H^{(v)} + A_{(3)i+1} B_{iH} \delta H^{(v)} = \\
&= A_{(1)i+1} \delta \hat{\xi}_i + (A_{(2)i+1} + A_{(3)i+1} B_{iH}) \delta H^{(v)}.
\end{aligned} \quad (7)$$

Представление (7) позволяет, опираясь на приведенные ниже рекуррентные соотношения, из него вытекающие:

$$\begin{aligned}
\delta\hat{\xi}_1 &= A_{(1)1}\delta\hat{\xi}_0 + (A_{(2)1} + A_{(3)1}B_{0H})\delta H^{(v)} = A_{(2)1} \cdot \delta H^{(v)}; \\
\delta\hat{\xi}_2 &= A_{(1)2}\delta\hat{\xi}_1 + (A_{(2)2} + A_{(3)2}B_{1H})\delta H^{(v)} = A_{(1)2}A_{(2)1} \cdot \delta H^{(v)} + (A_{(2)2} + A_{(3)2}B_{1H})\delta H^{(v)} = \\
&= (A_{(1)2}A_{(2)1} + A_{(2)2} + A_{(3)2}B_{1H})\delta H^{(v)}; \\
\delta\hat{\xi}_3 &= A_{(1)3}\delta\hat{\xi}_2 + (A_{(2)3} + A_{(3)3}B_{2H})\delta H^{(v)} = A_{(1)3}(A_{(1)2}A_{(2)1} + A_{(2)2} + A_{(3)2}B_{1H})\delta H^{(v)} + \\
&+ (A_{(2)3} + A_{(3)3}B_{2H})\delta H^{(v)} = (A_{(1)3}(A_{(1)2}A_{(2)1} + A_{(2)2} + A_{(3)2}B_{1H}) + A_{(2)3} + A_{(3)3}B_{2H})\delta H^{(v)};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\delta\hat{\xi}_i &= \sum_{j=1}^i \left(\prod_{k=j+1}^i A_{(1)k} \right) A_{2j} \cdot \delta H^{(v)} + \sum_{j=1}^{i-1} \left(\prod_{k=j+2}^i A_{(1)k} \right) A_{3(j+1)} \cdot B_{jH} \delta H^{(v)} = \\
&= \left(\sum_{j=1}^i \left(\prod_{k=j+1}^i A_{(1)k} \right) A_{2j} + \sum_{j=1}^{i-1} \left(\prod_{k=j+2}^i A_{(1)k} \right) A_{3(j+1)} \cdot B_{jH} \right) \delta H^{(v)},
\end{aligned}$$

выразить по индукции текущее значение искомого вектора ошибки оценки $\delta\hat{\xi}_{i+1}$:

$$\delta\hat{\xi}_{i+1} = \left(\sum_{j=1}^{i+1} \left(\prod_{k=j+1}^{i+1} A_{(1)k} \right) A_{2j} + \sum_{j=1}^i \left(\prod_{k=j+2}^{i+1} A_{(1)k} \right) A_{3(j+1)} \cdot B_{jH} \right) \delta H^{(v)} = A_{(i+1)H} \delta H^{(v)}, \quad (8)$$

где $A_{(i+1)H} = \sum_{j=1}^{i+1} \left(\prod_{k=j+1}^{i+1} A_{(1)k} \right) A_{2j} + \sum_{j=1}^i \left(\prod_{k=j+2}^{i+1} A_{(1)k} \right) A_{3(j+1)} \cdot B_{jH}$.

Полученная связь ошибки (возмущения) оценки с породившими ее флуктуациями матрицы измерений

$$\delta\hat{\xi}_{i+1} = A_{(i+1)H} \delta H^{(v)} \quad (9)$$

является линейной, что позволяет после получения точного измерения вектора состояния ξ_{i+1} с учетом равенства $\delta\hat{\xi}_{i+1} = \xi_{i+1} - \hat{\xi}_{i+1}$ легко найти вектор ошибок определения (вариаций) компонентов матрицы измерений $\delta H^{(v)}$ с использованием стандартной процедуры обращения матриц. Но здесь следует иметь в виду, что для возможности корректного применения данной процедуры размерности векторов $\delta\hat{\xi}_{i+1}, \delta H^{(v)}$ должны совпадать, что при наличии единичного точного измерения вектора состояния возможно только в случае скалярного наблюдателя (2) – когда матрица измерений имеет размерность $1 \times N$. В этом случае вектор $\delta H^{(v)}$ определяется непосредственно из (9):

$$\delta H^{(v)} = A_{(i+1)H}^{-1} (\xi_{i+1} - \hat{\xi}_{i+1}).$$

В более общем случае, когда матрица измерений имеет размерность $M \times N$, число точных измерений должно быть увеличено до M – в общем случае в случайные моменты времени: $i+1+s_1, i+1+s_2, i+1+s_3, \dots, i+1+s_M$, где s_i – случайные интервалы времени. Тогда система уравнений (9) трансформируется к виду:

$$\begin{vmatrix} \delta\hat{\xi}_{i+1+s_1} \\ \delta\hat{\xi}_{i+1+s_2} \\ \delta\hat{\xi}_{i+1+s_3} \\ \vdots \\ \delta\hat{\xi}_{i+1+s_M} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{(i+1+s_1)H} \\ A_{(i+1+s_2)H} \\ A_{(i+1+s_3)H} \\ \vdots \\ A_{(i+1+s_M)H} \end{vmatrix} \delta H^{(v)},$$

который уже для матрицы измерений общего вида позволяет корректно применить процедуру обращения матриц:

$$\delta H^{(v)} = \begin{pmatrix} A_{(i+1+s_1)H} \\ A_{(i+1+s_2)H} \\ A_{(i+1+s_3)H} \\ \vdots \\ A_{(i+1+s_M)H} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \delta \hat{\xi}_{i+1+s_1} \\ \delta \hat{\xi}_{i+1+s_2} \\ \delta \hat{\xi}_{i+1+s_3} \\ \vdots \\ \delta \hat{\xi}_{i+1+s_M} \end{pmatrix},$$

окончательно решив поставленную задачу в общем случае.

Полученное таким образом значение вектора возмущений матрицы измерений $\delta H^{(v)}$ позволяет скорректировать матрицу измерений, что, в свою очередь, повышает точность и устойчивость процесса оценивания калмановским фильтром (3) в целом.

Резюмируя изложенное, следует заметить, что несмотря на некоторую громоздкость итоговых формул (6) и (8), при последовательном выполнении приведенных в них рекуррентных соотношений – на каждом шаге измерения, алгоритмы вычисления как матрицы $A_{(i+1)H}$, так и матрицы B_{iH} , требуют всего лишь двух матричных умножений и двух сложений матриц, что для современных вычислителей (в том числе, и бортовых) никаких трудностей не представляет.

Заключение.

Таким образом, найдено аналитическое решение проблемы адаптации калмановского фильтра к параметрическим возмущениям модели стохастического наблюдателя вектора состояния объекта на основе использования точных измерений, осуществляемых в нерегулярные (в общем случае вероятностные) моменты времени. Преимуществом предложенного подхода является его простота и возможность эффективной вычислительной реализации, недостатком – вынужденная необходимость пренебрежения нелинейной составляющей вектора параметрического возмущения модели наблюдателя (при учете последней резко возрастает объем вычислительных затрат, обусловленный необходимостью решения нелинейной системы уравнений с размерностью, равной размерности наблюдателя). Тем не менее, в проведенных вычислительных экспериментах для оценки точности предложенного подхода при его использовании в инерциально-спутниковых навигационных системах, пренебрежение нелинейной составляющей параметрического возмущения вектора наблюдения существенного влияния на общую точность полученных результатов не оказывало.

В целом, простота и точность предложенного алгоритма обеспечивают возможность его эффективного применения для самого широкого класса информационно-измерительных систем.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-07-00126.

Литературы

1. *Синицын И.Н.* Фильтры Калмана и Пугачева. М.: Логос, 2006. 640 с.
2. *Hartley, R., Ghaffari, M., Eustice, R.M., Grizzle, J.W.* Contact-aided invariant extended Kalman filtering for robot state estimation // International Journal of Robotics Research. – 2020, doi: 10.1177/0278364919894385.
3. *Zhong, Y., Zhang, W., Zhang, Y., Zuo, J., Zhan, H.* Sensor fault detection and diagnosis for an unmanned quadrotor helicopter // Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications. – 2019, 96(3-4), p. 555-572, doi: 10.1007/s10846-019-01002-4.
4. *Oveisi, A., Nestorović, T.* Mixed Kalman-fuzzy sliding mode state observer in disturbance rejection control of a vibrating smart structure // International Journal of Acoustics and Vibrations. – 2019, 24(4), p. 677-686, doi: 10.20855/ijav.2019.24.41365.

5. *Li, J., Wang, Z., Zhang, W., Raïssi, T., Shen, Y.* Interval observer design for continuous-time linear parameter-varying systems // *Systems and Control Letters*. – 2019, 134,104541, doi: 10.1016/j.sysconle.2019.104541.
6. *Tan, J., Xu, F., Wang, X., Yang, J., Liang, B.* Invariant set-based robust fault detection and optimal fault estimation for discrete-time LPV systems with bounded uncertainties // *International Journal of Systems Science*. – 2019, 50(16), p. 2962-2978, doi: 10.1080/00207721.2019.1691283.
7. *Wan, Y., Keviczky, T.* Real-time nonlinear moving horizon observer with pre-estimation for aircraft sensor fault detection and estimation // *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. – 2019, 29(16), p. 5394-5411, doi: 10.1002/rnc.4011.
8. *Minowa, A., Toda, M.* A high-gain observer-based approach to robust motion control of towed underwater vehicles // *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. – 2019, 44(4),8436001, p. 997-1010, doi: 10.1109/JOE.2018.2859458.
9. *Novi, T., Capitani, R., Annicchiarico, C.* An integrated artificial neural network–unscented Kalman filter vehicle sideslip angle estimation based on inertial measurement unit measurements // *Journal of Automobile Engineering*. – 2019, 233(7), p. 1864-1878, doi: 10.1177/0954407018790646.
10. *Sasiadek J.Z., Wang Q.* Low cost automation using INS/GPS data fusion for accurate positioning // *Robotica*. – 2003, vol. 21-3, p. 255-260.
11. *Hide C., Moore T., Smith M.* Adaptive Kalman filtering algorithms for integrating GPS and low cost INS // *Symposium of Position Location and Navigation PLANS*, 2004, p. 227-233.
12. *Pulido Herrera E., Kaufmann H.* Adaptive Methods of Kalman Filtering for Personal Positioning Systems // *23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Portland, OR, September 21-24, 2010*. p.584-589.
13. *Mohamed A.H., Schwarz K.P.* Adaptive Kalman Filtering for INS/GPS // *Journal of Geodesy*. – 1999, vol. 73-4, p. 193-203.
14. *Луни М.* Оптимизация навигационных характеристик мобильного робота // *Компоненты и технологии* – 2012, № 1, с. 48-50.
15. *Литвин А.М., Малюгина А.А., Миллер А.Б., Степанов А.Н., Чиркин Д.Е.* Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации // *Информационные процессы*. – 2014, Т. 14, № 4, с. 326-339.
16. *Hu C., Chen W., Chen Y., Liu D.* Adaptive Kalman filtering for vehicle navigation // *Journal of Global Positioning Systems*. – 2003, vol. 2-1, p. 42-47.
17. *Резниченко В.И., Малеев П.И., Смирнов М.Ю.* Спутниковая коррекция параметров ориентации морских объектов // *Навигация и гидрография*. – 2008, Т. 27, с. 25-32.
18. *Цыплаков А.А.* Введение в моделирование в пространстве состояний // *Квантиль*. – 2011, № 9, с. 1-24.
19. *Mehra R.K.* On the identification of variances and adaptive Kalman filtering // *IEEE Trans. Automat. Contr.* – 1970, vol. AC-15, 2, p. 175-184.
20. *Великанова Е.П., Ворошилин Е.П.* Адаптивная фильтрация координат маневрирующего объекта при изменениях условий передачи в радиолокационном канале // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2012, № 2 (26), Ч. 1, с. 29-35.
21. *Шилина В.А.* Система инерциальных датчиков для навигации внутри помещений // *Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал*, 2015, № 4. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/778220.html>.
22. *Sokolov S.V., Polyakova M.V., Kucherenko P.A.* Analytic synthesis of a Kalman adaptive filter on the basis of irregular precise measurements // *Measurement Techniques* – 2018, vol. 61, issue 3, p. 232-237.
23. *Чернов А.А., Ястребов В.Д.* Возмущения процесса калмановской фильтрации // *Космические исследования*. – 1984, Т. 22, № 4.
24. *Соколов С.В., Ковалев С.М., Кучеренко П.А., Смирнов Ю.А.* Методы идентификации нечетких и стохастических систем. М.: Физматлит, 2018. – 432 с.

SOLUTION OF THE PROBLEM OF STABLE KALMAN FILTERING FOR UNDEFINED PERTURBATIONS OF THE OBSERVER PARAMETERS

Manin A. Alexander

The Director of the NCB of MTUCI, Ph.D. in Technology, associate Professor, Rostov-on-Don, Russia

manin@skf-mtusi.ru

Polyakova V. Marianna

engineer of the NCB of MTUCI

poliakova.marianna@yandex.ru

Gladyschuk V. Sergey

student of the NCB of MTUCI

Saigonkim666@mail.ru

Key words: *Kalman filter, state vector estimation, adaptive estimation methods, integrated measurement systems.*

Correction of primary measurements is usually performed mainly by directly replacing current estimates with their corresponding exact measurements without changing the parameters of the estimation algorithm. However, this approach does not reduce the growth of estimation errors in the time interval determined by the moment of the next accurate measurement, and the estimation of the error in determining the parameters of the meter itself becomes fundamentally impossible. In this regard, the article considers the possibility of using accurate observations received in a complex measurement system (for example, navigation) to build an adaptive algorithm for evaluating the real parameters of the state vector meter of the observed system. The development of this algorithm is based on the analytical dependence of the Kalman estimate variation on perturbations of the meter parameters, obtained using the mathematical apparatus for studying perturbed multidimensional dynamical systems. The synthesized algorithm for adaptive estimation of the meter parameters, in turn, makes it possible to significantly increase the accuracy and stability of the Kalman filter estimation process as a whole in the time intervals between accurate observations, which is illustrated by the numerical example given.

СХЕМЫ И ПРОЦЕДУРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ УЗЛОВ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ РАЗНЫХ ПОКОЛЕНИЙ

Орлов Владимир Георгиевич

*к.т.н., доцент кафедры «Телевидение и звуковое вещание» МТУСИ, Москва, Россия
v.g.orlov@mtuci.ru*

Литвяков Вячеслав Сергеевич

*студент группы БРС1601 МТУСИ, Москва, Россия
slavalit32@mail.ru*

Ключевые слова: сети мобильной связи, LTE, UMTS, GSM, интерфейсы межсетевого взаимодействия, гостевая и домашняя сеть.

Рассмотрены процедуры и механизмы межсетевого взаимодействия сетей мобильной связи разных поколений. Приведены характеристики и назначение интерфейсов, обеспечивающих межсетевой обмен данными и предоставление заявленных услуг в условиях динамической миграции абонентов в сетях разных поколений. Приведены схемы и описание взаимодействия структурных узлов сетей мобильной связи разных поколений в условиях роуминга и межсетевого мобильности абонентов

Сети мобильной связи на протяжении последнего десятилетия динамично развиваются, обеспечивая абонентам постоянное повышение качества связи по передаче голосовой информации и данных, а также расширение номенклатуры предоставляемых сервисных услуг. Это достигается за счет разработки и внедрения новых технологий, оборудования и стандартов, используемых в системах мобильной связи. В настоящее время в эксплуатации отечественных операторов находятся сети разных поколений с различными технологиями и стандартами мобильной связи. Так по данным GSM Association (GSMA) во II квартале 2019 года в России из общего количества 261,6 млн. соединений в мобильных сетях, число соединений в сетях поколений 2G/3G/4G распределилось соответственно 135,2/ 91,9/ 34,5 млн. [7]. На рисунке 1 приведено соотношение пользователей сетями разных поколений в России и в странах с развитой структурой мобильных услуг связи, включая широкополосный доступ в Интернет (сети 3 и 4 G). Из рисунка 1 следует, что покрытие сетями 4G в РФ на основании относительного количества сессий в общем числе сессий мобильной связи в РФ составляет около 14%. При этом уровень проникновения мобильной связи в нашей стране является одним из самых высоких в мире и составляет на начало 2020 г. 178 %, [7].

Прогресс технологий обусловил плавный характер эволюции сетей, характерной особенностью которой стало появление сетей переходных поколений, использующих базовую инфраструктуру сетей полноценных поколений и характеризующихся более высокими относительными показателями скорости обмена данными и подвижности абонентов: 2G/GSM; 2,5G/ GPRS; 2,75G/ EDGE; 3G/UMTS; 3,5G/HSDPA, HSUPA; 4G/LTE, LTE-Advanced [10 - 21].

Эволюция и стандарты поколений современных сетей мобильной связи связаны с появлением новых радиотехнологий, обеспечивающих более эффективное использование канального ресурса и создания комфортной среды для взаимодействия с Интернет.

Обширное покрытие регионов РФ сетями мобильной связи ранних поколений (2 и 3 G) при интенсивном развёртывании новых сетей с высокоскоростным мобильным доступом (4G, а в дальнейшем 5 G), а также огромная абонентская база пользователей телекоммуникационными услугами мобильной связи, определяют актуальность решения задач обеспечения межсетевого трафика в сетях разных поколений и стандартов.

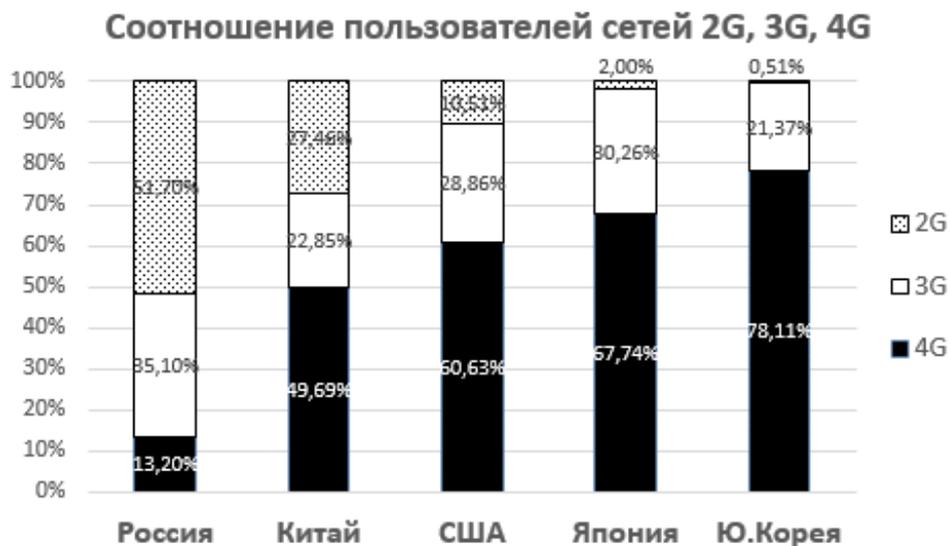


Рис. 1. Соотношение пользователей сетями мобильной связи 2G, 3G и 4G

Структура конвергентной сети, использующей стандарты мобильной связи разных поколений

Базовыми структурными элементами, конвергентной сети **Рис. 2** [9], обеспечивающей взаимодействие и обмен сетевым и сигнальным трафиком между сетями мобильной связи разных поколений являются, [1,6]:

Сеть радиодоступа:

- в GSM (2G) сеть радиодоступа представлена GERAN (GSM EDGE Radio Access Network):

- в UMTS (3G) - это UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network);

- в LTE (4G) сеть радиодоступа это E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network).

Опорная сеть:

- опорная сеть является ядром всех сетей сотовой связи. В GSM (2G) это ядро называют сетью коммутации, в UMTS — Core Network. Данная сеть делится на две части: CS CORE отвечает за голосовой трафик - все CS (Circuit Switch) соединения; PS CORE отвечает за пакетный трафик - PS (Packet Switch) соединения;

- ядро сети LTE (4G) именуется Evolved Packet Core (EPC) или усовершенствованное пакетное ядро. В LTE используется IP-протокол, обеспечивающий глобальное взаимодействие сетей разных стандартов.

MSC/VLR

MSC (Mobile Switching Center) - это центр коммутации абонентов, а VLR (Visitor Location Register) – совмещённый с ним регистр гостей абонентов. VLR хранит данные только тех абонентов, которые находятся в данный момент в зоне действия соответствующего MSC. MSC выполняет функции коммутатора, обеспечивая для исходящих соединений определение их дальнейшего переключения в опорной сети, а для входящих – выбор и определение BSC на которую необходимо перенаправить соединение. Помимо этого, в MSC собираются и формируются данные для биллинга.

HLR/HSS (Home Location Register, HSS – усовершенствованная версия HLR).

Представляет собой базу данных, с хранящейся в ней информацией о территориальном положении всех домашних абонентов. Так же там хранится информация об услугах (разрешения на использование) доступных подключенным абонентам, в том числе: на совершение исходящих вызовов, отправление/приём SMS, использование конференц-связи и др. Помимо этого в HLR хранится идентификатор MSC, который обслуживает мобильного абонентом.

GMSC (Gateway MSC) - шлюзовой коммутатор, использующийся для входящих вызовов и передачи голосового трафика.

GGSN (Gateway GPRS Support Node) - шлюзовой узел поддержки сетей GPRS. Основная функция GGSN - это контроль за безошибочной доставкой пакетов.

SGSN (Serving GPRS Support Node) - обслуживающий узел поддержки сетей GPRS. Определяет и обеспечивает предоставление услуг, на основе запрошенных данных APN (Access Point Name, точки доступа), а также собирает данные для биллинга трафика.

P-GW (Packet Data Network Gateway) - пакетный шлюз сети LTE, создающий точку доступа абонентов (UE) к внешним пакетным сетям. В состав шлюза входит узел PCEF (Policy and Charging Enforcement Function), который обеспечивает QoS предоставляемой абонентам услуги на внешнем сетевом соединении используя интерфейс SGi, а также отвечает за фильтрацию пакетов данных. В случае нахождения абонента в домашнем регионе шлюзы P-GW и S-GW являются единым устройством. Туннельное соединение между ними обеспечивается по интерфейсу S5. В случае нахождения абонента в роуминге, S-GW гостевой сети связывается с P-GW домашней сети по интерфейсу S8.

S-GW (Serving Gateway) – обслуживающий шлюз в сети LTE. Является якорной точкой (точка объединения трафика) для хендверов как внутри собственной, так и между сетями доступа стандартов LTE/UMTS и LTE/GSM. Осуществляет только пакетную коммутацию, буферизирует пакеты, взаимодействующих с ним UE и предоставляет учетные данные для тарификации и биллинга трафика. Помимо этого, *S-GW* обеспечивает поддержание качества предоставляемых услуг (QoS) у связанных с ним абонентов сети.

PCRF (Policy and Charging Resource Function) - управляющий сервер, обеспечивающий централизованное управление ресурсами сети, а также учет и тарификацию предоставляемых услуг.

MME (Mobility Management Entity) - управляющий блок функционально отвечает за выполнение процедур, входящих в протокол Mobility Management. При этом обеспечивается безопасность UE при подключении к сети и выбор соответствующих S-GW и P-GW. MME связан с HSS с помощью интерфейса S6a. Для соединения различных MME используется интерфейс S10, отвечающий за обслуживание UE при перемещениях абонентов, в том числе и в роуминге.

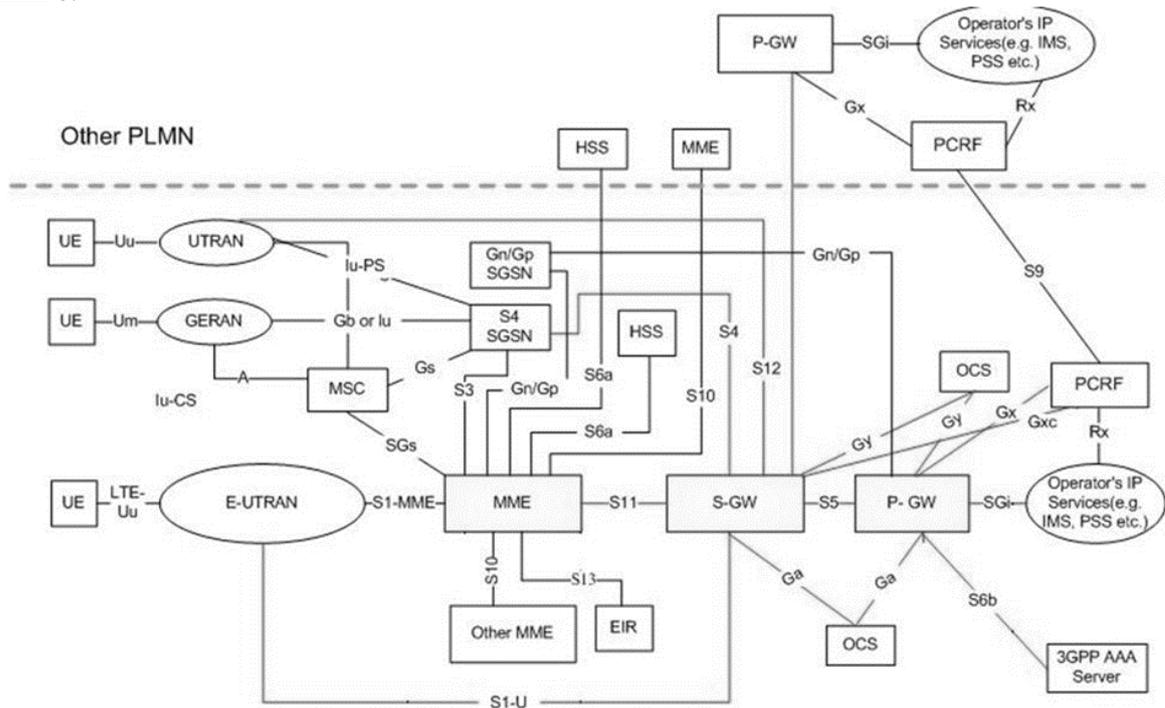


Рис.2 Обобщенная структура конвергентной сети, обеспечивающей взаимодействие мобильных сетей разных поколений

В таблице 1 приведено назначение и функциональные характеристики интерфейсов, используемых для обмена информационным и сигнальным трафиком между структурными элементами конвергентной сети.

Таблица 1

Интерфейсы, используемые в межсетевом взаимодействии и обмене данными между сетями мобильной связи поколений 2/3/4G

Интерфейс	Назначение и функциональные характеристики
S3	Необходим для взаимодействия и передачи данных управления между SGSN и MME с целью обеспечения мобильности абонентов между сетью LTE и сетями прошлых поколений.
S4	Интерфейс для взаимодействия S-GW и SGSN, необходим для обеспечения мобильности абонентов между сетью четвертого и сетями прошлых поколений, осуществляет передачу данных пользователя
S5	Интерфейс между S-GW и P-GW. Обеспечивает сигнальный обмен и передачу данных пользователей с использованием туннелей на основе протоколов GTP или GRE
S6a	Обеспечивает взаимодействия HSS и MME для передачи данных профиля абонента, необходимых для проведения процедур аутентификации в сети 4G.
S8	Служит для взаимодействия P-GW и S-GW с целью передачи, данных пользователя, находящегося в гостевой сети на рисунке 4
S9	Интерфейс между H-PCRF и V-PCRF. PCRF необходим для отправки служебных данных (политик) управления качеством передачи данных. В гостевой сети посредством интерфейса S9 передаются данные о правилах тарификации.
S10	Обеспечивает взаимодействие разных MME для обслуживании UE при его перемещениях
S11	Интерфейс между MME и S-GW в сети стандарта LTE (4G). Используется для передачи служебных данных абонента, участвует в процедуре хендвера и др.
S12	Осуществляет взаимодействие между S-GW и MSC/VRL путём передачи данных пользователей. Необходим для обеспечения мобильности абонентов между сетью LTE и сетями предшествующих поколений.
Gx	Предназначен для отправки служебной информации (политик) управления качеством передачи данных и тарификации от PCRF к PCEF, конструктивно совмещённых с P-GW.
Gxc	Интерфейс между S-GW и PCRF, необходим для отправки служебных данных (политик) управления качеством передачи данных от модуля PCRF к S-GW
SGi	Интерфейс между P-GW и сетями передачи данных, например, сетью Интернет, корпоративной сетью передачи данных и др. С помощью интерфейса SGi сеть LTE взаимодействует с IMS платформой.
Rx	Обеспечивает взаимодействие сервисных платформ оператора (IMS) с PCRF. Используется для передачи информации о требуемых сервису ресурсах.

Особенности взаимодействия сети стандарта LTE (4G) с сетями предшествующих поколений (2G/3G)

Одной из основных проблем, возникающих при взаимодействии сети 4G с сетями более ранних поколений (стандартов) является необходимость поддержки обеспечения мобильности UE при перемещении абонента между зонами обслуживания разных сетей [1].

Существуют два типа алгоритмов используемых при взаимодействии сетей LTE (4G) с сетями 2G/3G:

- алгоритмы, обеспечивающие дискретную мобильность (роуминг);
- алгоритмы, обеспечивающие непрерывную мобильность (хэндовер).

Обобщённая схема взаимодействия сети LTE с Packet Switch (PS-доменом) сетей 2G/3G согласно технической спецификации 2G/3G TS 23.401 приведена на **рисунке 3** [9]. При этом, изображённые на рисунке сетевые элементы SGSN, S-GW и P-GW могут быть конструктивно совмещены. Основное взаимодействие сетей LTE с сетями GSM/UMTS осуществляется с использованием интерфейсов S12, S3 и S4. При этом S3 и S4 отвечают за взаимодействие MME и S-GW в сети LTE с узлом SGSN сетей 2G/3G с помощью протокола GTP (GPRS Tunnelling Protocol), [8]. Для опорной сети 4G (EPC) разработан протокол GTPv2. Упомянутый интерфейс S12 по своей функции аналогичен интерфейсу Gn, связывающему между собой SGSN и GGSN, **Рис. 2**. Особенностью протокола GTP является то, что он содержит две составляющие: составляющую плоскости управления (GTP-C) и составляющую плоскости пользователя (GTP-U) для передачи данных. Протокол GTPv2-C (техническая спецификация 2G/3G TS 29.274) применяется на интерфейсах S4 и S3 для осуществления поддержки мобильности UE в сетях второго, третьего и четвёртого поколений. Протокол GTPv1-U (3GPP TS 29.281) применяется на интерфейсах S12 и S4 для туннельной передачи данных пользователя.

При взаимодействии с сетью GSM/UMTS (2G/3G) узел S-GW сети 4G выполняет следующие функции:

- поддержка мобильности терминала UE путём взаимодействия с SGSN;
- маршрутизация и передача и трафика между пользователем (UE) и узлом SGSN.

Узел MME сети LTE при взаимодействии с сетью 2G/3G обеспечивает выполнение следующих процедур:

- взаимодействие с узлом SGSN с целью поддержки мобильности терминала;
- авторизация и аутентификация UE. [3]

При взаимодействии с сетью LTE сервисный узел SGSN Рис. 3 сети GSM/UMTS выполняет следующие функции:

- подбор соответствующего MME и взаимодействие с ним для поддержки UE (регистрация в сети GSM /UMTS и т.д.)
- выполнение процедур RAU (Routing Area Update), а также хэндовера со сменой SGSN и S-GW или со сменой технологии и доступа (Inter-RAT Handover)
- выбор S-GW и P-GW для поддержки UE и передача данных пользователей (выполнение функций MME).[2]

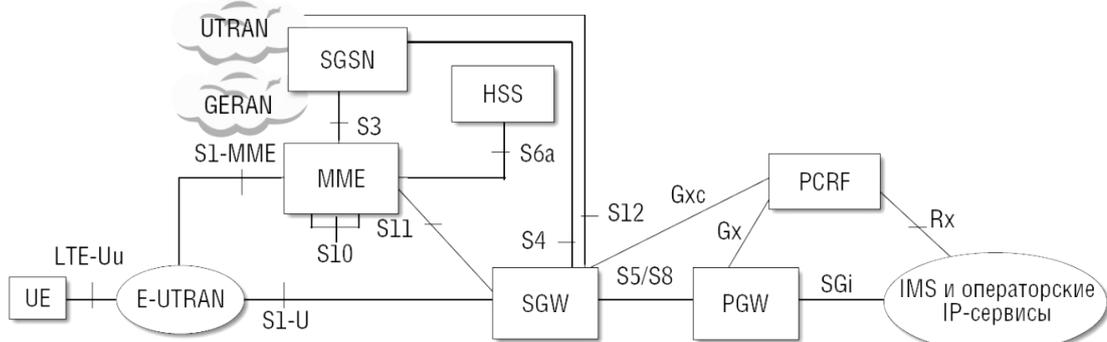


Рис. 3. Схема взаимодействия сети LTE с PS-доменом сетей 2G/3G

На рисунке 4 приведена упрощённая схема, поясняющая взаимодействие сети LTE с PS-доменом сетей 2G/3G при роуминге. Как показано на рисунке, в условиях роуминга

шлюзы S-GW и P-GW взаимодействуют друг с другом по интерфейсу S8, а не по S5 как в схеме на рисунке 3.

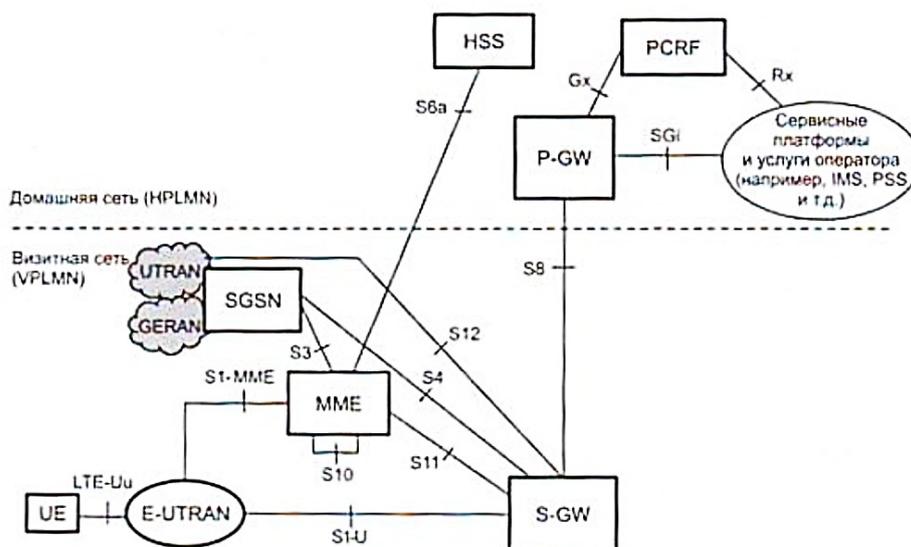


Рис.4. Схема взаимодействия сети LTE(4G) с PS-доменом сетей 2G/3G в условиях роуминга

На рисунке 5 [9] приведена схема перенаправления трафика абонента, находящегося в роуминге в домашнюю сеть с использованием интерфейса SGi.

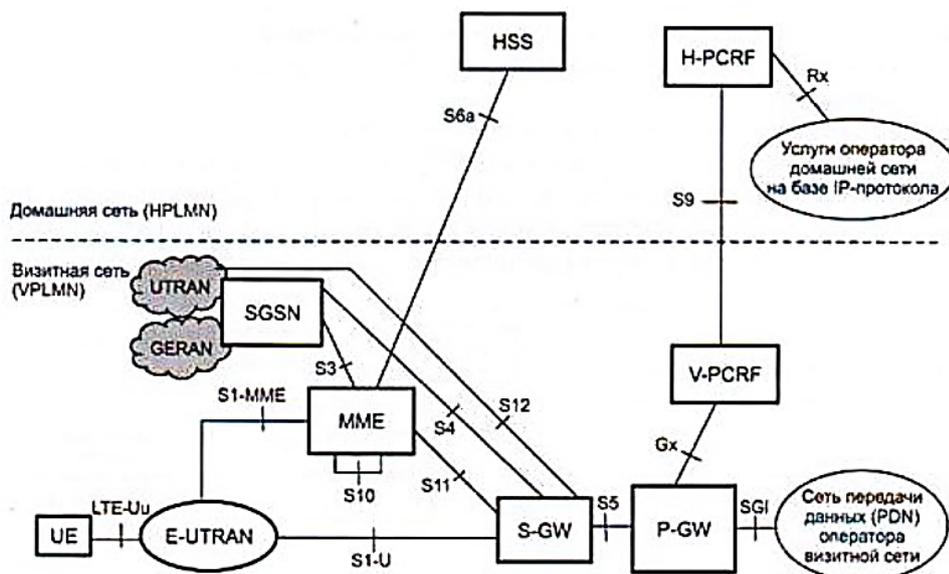


Рис. 5 Схема взаимодействия сети LTE с PS-доменом сетей 2G/3G в условиях роуминга и нахождения абонента в гостевой сети

На рисунке 6 [9] представлена схема взаимодействие абонента сети 4G, находящегося в роуминге в сети того же поколения, с сервисными платформами оператора гостевой сети, например, подсистемой IMS. Для маршрутизации пользовательских данных абонента, находящегося в роуминге, используется шлюз P-GW гостевой сети. При этом управление доступом к услугам и их тарификация осуществляются согласно «политикам», хранящимся в модуле V-PCRF гостевой сети, который взаимодействует с аналогичным модулем H-PCRF домашней сети по интерфейсу S9 при использовании IMS платформ операторов домашней и гостевой сетей, [3].

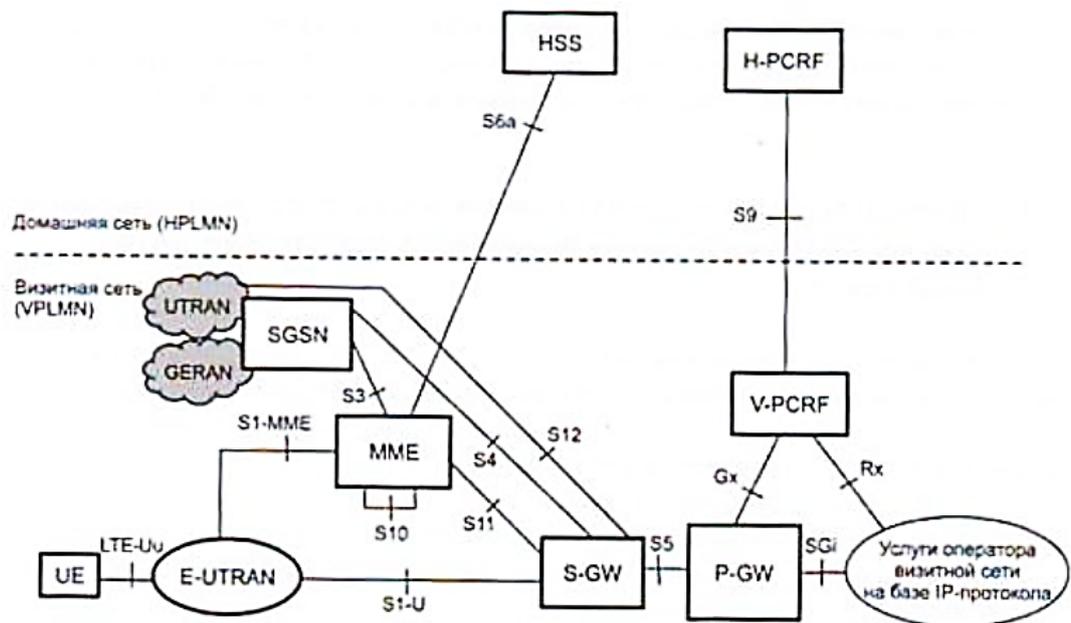


Рис.6. Схема взаимодействия абонента сети 4G, находящегося в роуминге в сети того же поколения с сервисными платформами оператора гостевой сети (например, подсистемой IMS)

Взаимодействие сетей 4G с сетями 3G и 2G для оказания услуг по оказанию голосовых вызовов выполняется в соответствии со схемой организации SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity), представленной в технической спецификации 2G/3G TS 23.216 Рис. 7 [9]. В соответствии с данной схемой голосовые вызовы могут осуществляться с помощью как с использованием технологии коммутации каналов, так с помощью IMS платформы мобильного оператора. [4, 5]



Рис. 7. Схема взаимодействия сети LTE(4G) с PS-доменом сетей 2G/3G в условиях роуминга, терминирования трафика и использования сервисной платформы в гостевой сети 4(4G)

При голосовом вызове взаимодействие MME с сервером MSC происходит при выполнении процедуры хэндовера из сети 4G в CS-домен другой сети 2G/3G с помощью интерфейса SGs, показанной в технической спецификации 3GPP TS 29.280. Взаимодействие

логического элемента MME с узлом SGSN при осуществлении хэндовера голосовых вызовов из сети 4G в PS-домен сети 2G или 3G выполняется с помощью интерфейса S3 [2,3].

Заключение

Интенсивное введение в строй сетей мобильной связи новых поколений (4G, а в дальнейшем 5G) в условиях наличия преобладающего количества в РФ пользователей сетей предыдущих поколений и стандартов (2G и 3G более 80%) определяет актуальность решения задач сохранения качества услуг для мультисетевых пользователей мобильной связью. Механизмы межсетевого обмена трафика и сигнальной информацией при взаимодействии сетей 2G/3G с сетями четвертого поколения основаны на использовании базовых интерфейсов S4, S3, S12 и туннелей между узлами S-GW, MME, SGSN и MSC. В свою очередь для взаимодействия сетей поколения 4G с сетями предыдущих поколений может использоваться мультимедийная платформа IMS.

Литература

1. М.С. Лохвицкий, Н.С. Мардер. Сотовая связь: от поколения к поколению. – М.: Издательство ИКАР, 2014. – 236 с.: ил.
2. Тихвинский, В.О. Сети мобильной связи LTE/LTE Advance технологии 4G, приложения и архитектура /В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, В.П. Высочин. — 1-е изд. — Москва: Media publisher, 2014. — 384с.
3. Скрынников, В.Г. Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика /В.Г. Скрынников. — Москва: Спорт и культура - 2000, 2012. — 864с.
4. 3GPP TS 24.301 v10.0.0; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3.
5. Гепко, И.А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития /И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко; Редактор В.Ф. Олейник. — 1-е изд. — Киев: "ЭКМО", 2010. — 672с.
6. [Электронный ресурс].URL: <https://www.3gpp.org/>
7. [Электронный ресурс].URL: <https://www.gsma.com/>
8. 3. 3GPP TS 36.321 v9.3.0; Medium Access Control (MAC) protocol specification.
9. [Электронный ресурс].URL: [https:// http://1234g.ru](https://http://1234g.ru)
10. Пушкарев А.В., Орлов В.Г. Эволюция технических средств формирования и доставки ТВЧ на мобильные терминалы пользователей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 1. С. 11-16.
11. Орлов В.Г., Пушкарев А.В. Перспективы развития мобильного видео // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 9. С. 115-117.
12. Корионов И.П., Орлов В.Г. Пользовательские аспекты безопасности в сетях LTE // Телекоммуникации и информационные технологии. 2017. Т. 4. № 2. С. 16-21.
13. Гуров В.В., Орлов В.Г. Обзор и сравнение протоколов MPTCP и SMT-SCTP // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2015. № 1. С. 115-119.
14. Фадеев А.Н., Орлов В.Г. Базовый стандарт для беспроводных сенсорных сетей // Телекоммуникации и информационные технологии. 2016. Т. 3. № 2. С. 65-68.
15. Григорьев И.Д., Орлов В.Г. Механизмы качества обслуживания в VDL MODE 4 // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2017. № 1. С. 129-133.

16. *Тихвинский В.О.* Пятый элемент мобильного мира: итоги MWC-17 // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 3. С. 4-11.

17. *Крейнделин В.Б., Смирнов А.Э., Бен Режеб Т.Б.К.* Эффективность методов обработки сигналов в системах MU-MIMO высоких порядков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 12. С. 24-30.

18. *Крейнделин В.Б., Старовойтов М.Ю.* Повышение помехоустойчивости системы связи MIMO с пространственным мультиплексированием методом додетекторного сложения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 4. С. 4-13.

19. *Крейнделин В.Б., Усачев В.А.* LTE-advanced pro как основа для новых сценариев M2M // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 3. С. 28-32.

20. *Константинов А.С., Пестряков А.В.* Анализ фундаментальных ограничений максимальной скорости передачи информации в сети LTE-advanced // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 12. С. 60-63.

21. *Поборчая Н.Е., Пестряков А.В.* Синтез и анализ алгоритмов оценки искажений сигнала в системе с MIMO в условиях априорной неопределенности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 10. С. 13-20.

MECHANISMS OF INTERACTION OF INTERNET NETWORK TRAFFIC IN MOBILE COMMUNICATIONS NETWORKS OF DIFFERENT STANDARDS

Vladimir G. Orlov

Ph.D. in Technology, associate Professor of «Television and sound broadcasting» MTUCI, Moscow, Russia

v.g.orlov@mtuci.ru

Vyacheslav S. Litvyakov

student BRS1601, MTUCI, Moscow, Russia

slavalit32@mail.ru

Key words: *mobile communication networks, LTE, UMTS, GSM, internetworking interfaces, guest and home network.*

The procedures and mechanisms of interconnection of mobile communication networks of different generations are considered. The characteristics and purpose of the interfaces providing the internetwork data exchange and the provision of the claimed services in the conditions of dynamic migration of subscribers in networks of different generations are given. Schemes and a description of the interaction of structural nodes of mobile communication networks of different generations in the conditions of roaming and interconnect mobility of subscribers are given.

ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ ARGOS В АППАРАТНО-ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ VECTOR

Пестряков Александр Валентинович
, д.т.н. профессор кафедры РОС МТУСИ, Москва, Россия
a.v.pestryakov@mail.ru

Светашов Александр Константинович
студент группы МИТ1901, МТУСИ, Москва, Россия
mr.uoriner@mail.ru

Ключевые слова: сигналы космической связи и навигации, Argos, векторный анализ, спектральный анализ

В данной статье представлены возможности формирования и анализа сигнала, используемого в системах Argos и COSPAS-Sarsat - системах космического мониторинга и сбора данных о местоположении различных объектов при помощи аппаратно-программного комплекса Vector.

Введение

Cospas-Sarsat - международная спутниковая поисково-спасательная система, занимающаяся оповещением об аварийных ситуациях на судах при помощи радиобудёв, установленных на борту. [1]

Система образована в 1977 году при сотрудничестве СССР (КОСПАС), а также США, Канады и Франции (Sarsat). Работа началась в 1982г. с запуска советского спутника «Космос-1383» (Коспас-1).

Первый практический случай спасения людей произошёл осенью 1982г., когда советский спутник ретранслировал сигнал бедствия с разбившегося в горах Канады самолёта, в последствие принятый канадской наземной спасательной станцией.

В спутниковую группировку системы входят 6 низкоорбитальных спутников, расположенных на околополярной орбите, а также 9 геостационарных. Функционирование спутников ведётся на частоте 406,0 - 406,1 МГц.

Постановка задачи

Для актуализации использования аппаратно-программного комплекса Vector, а так же с целью постановки лабораторной работы в учебно-методических целях смоделирован сигнал, используемый в системах космической связи и навигации Argos и Cospas-Sarsat.

Система Argos, по своей сути, являющаяся уникальной системой сбора данных и трекинга, покрывает весь земной шар. На данный момент система даёт учёным по всему миру возможность следить за климатическими изменениями, отслеживать положение судов, мониторить движение морских и сухопутных животных и т.п.

Созданная в 1978 году совместно с CNES (French Space Agency) Франция; NASA, США и NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) США, система функционирует по сей день и расширяет свои возможности .

В настоящее время система ARGOS сотрудничает со многими международными космическими агентствами т.к. NASDA (National Space Development Agency, Япония), Eumesat (European Organisation of the Exploration of Meteorological Satellites), а с 2011 года и ISRO (Indian Space Research Organization).

Современная система Argos-3 имеет ряд усовершенствованных технических возможностей, по отношению к её прошлым версиям. Так например, новое поколение получило возможность обеспечивать сигнал вверх и вниз, при скорости в 4,8 кбит/с обеспечивая передачу данных в 10 раз больше, чем в системе Argos-2. Также пользователи получили возможность отправлять короткие сообщения (свыше 128 бит) через DMMS

(Downlink Messaging Managment Center), необходимые для включения или выключения передатчика, изменения даты или времени конфигурации радиобуя. Сравнительный анализ системы Argos представлен в статье [2], а также в монографии Е. М. Коэльо де Магальянша [3].

Таблица 1.

Сравнение характеристик системы Argos (по [2, 3]).

Center Frequency: 401.65 MHz	Argos-1	Argos-2	Argos-3
Bandwidth range	24 kHz	80 kHz	110 kHz
Processing units	4	8	9 low data rate + 3 high data rate
Uplink data rate	400 bps	400 bps	400 bps (low) + 4800 bps (high)
Downlink	NO	NO	YES
Downlink data rate	—	—	400 bps (nominal) or 200 bps
Satellites	< NOAA K	NOAA K,L,M,N	MetOp A, B, C, NOAA N'
Data transmitted per satellite pass	500 bits	500 bits	Up to 30 kbits

Так же в нынешней версии системы Argos-3 было введено использование технологии многопользовательского детектирования радиобуев (MUD - multi-user detection), реализованной на основе CDMA, что позволило избавиться от многопользовательской интерференции (MAI - multiple access interference) с ростом количества пользователей системы [4, 8]. Приемники с использованием технологии MUD так же позволили повысить синхронизацию передаваемых данных радиобуя, что несомненно повысило качество передачи, а также позволило использовать систему автоматической идентификации (AIS - automatic identification system).

В статье Бенуа Эскрига, Мари-Лузе Бушерета и др.[4] показано использование различных приемников для радиобуев как для синхронной (например детектор максимального правдоподобия, ML - maximum likelihood detector) , так и для асинхронной работы системы Argos , к примеру SIC-приемники (от successive interference cancellation - последовательное подавление помех) .

Моделирование сигнала

Сигналы, формируемые в радиобуе можно представить в аналитическом виде [7]:

$$S_1(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(\omega_0 t + \varphi + 1,1) \quad (1)$$

$$S_2(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(\omega_0 t + \varphi - 1,1) \quad (2)$$

Где:

E – энергия передаваемого символа;

T – время передачи символа;

ω_0 – частота несущей;

φ – начальная фаза;

$\pm 1,1$ рад – значения смещения фазы модулированного сигнала $S_i(t)$

В векторном виде данные сигналы отображаются следующим образом:

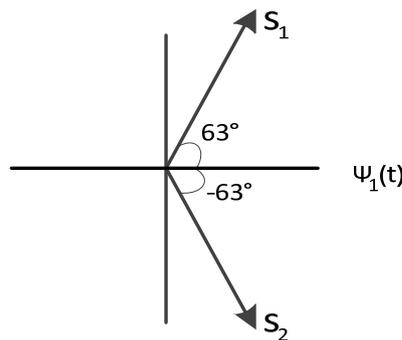


Рис.1 – Векторный вид сигналов, используемых в системе Argos

Далее было проведено моделирование сигнала при помощи аппаратно-программного комплекса (далее АПК) Vector.

АПК Vector, разработанный на кафедре «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ [9 - 12], состоит из двух программных модулей: векторного генератора - VSG, предназначенного для формирования сигналов систем связи, тестирования отдельных узлов, а также радиочастотных блоков; а также векторного анализатора - VSA, позволяющего производить комплексный анализ сигналов, вычисляя их отдельные параметры и характеристики, сгенерированные через VSG. Для анализа характеристик сигналов в модулях VSA и VSG предусмотрены следующие возможности :

- отображение квадратурных компонент (I и Q) вектора,
- построение векторной диаграммы,
- отображение сигнального созвездия,
- отображение спектральных характеристик и др. [5, 6].

В качестве примера ниже приведены скриншоты программы VSG, отображающие временные, фазовые и спектральные характеристики сигнала космической навигации Argos, сформирован исходный идеализированный сигнал, являющийся разновидностью BPSK модуляции.

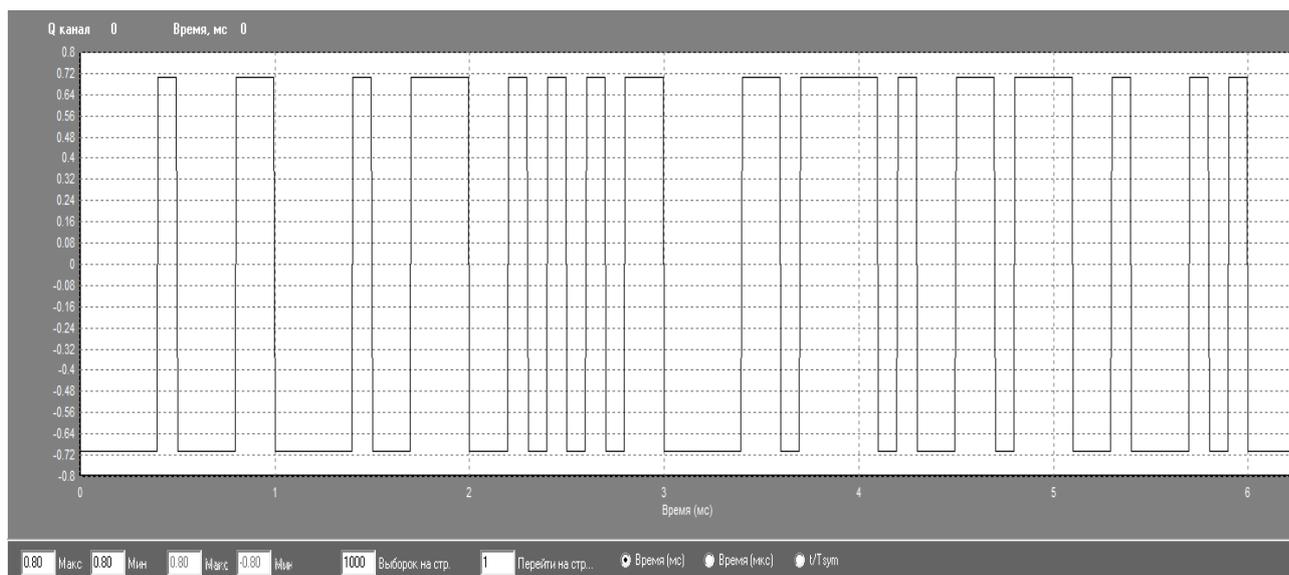


Рис2. Квадратурная составляющая, сформированного сигнала

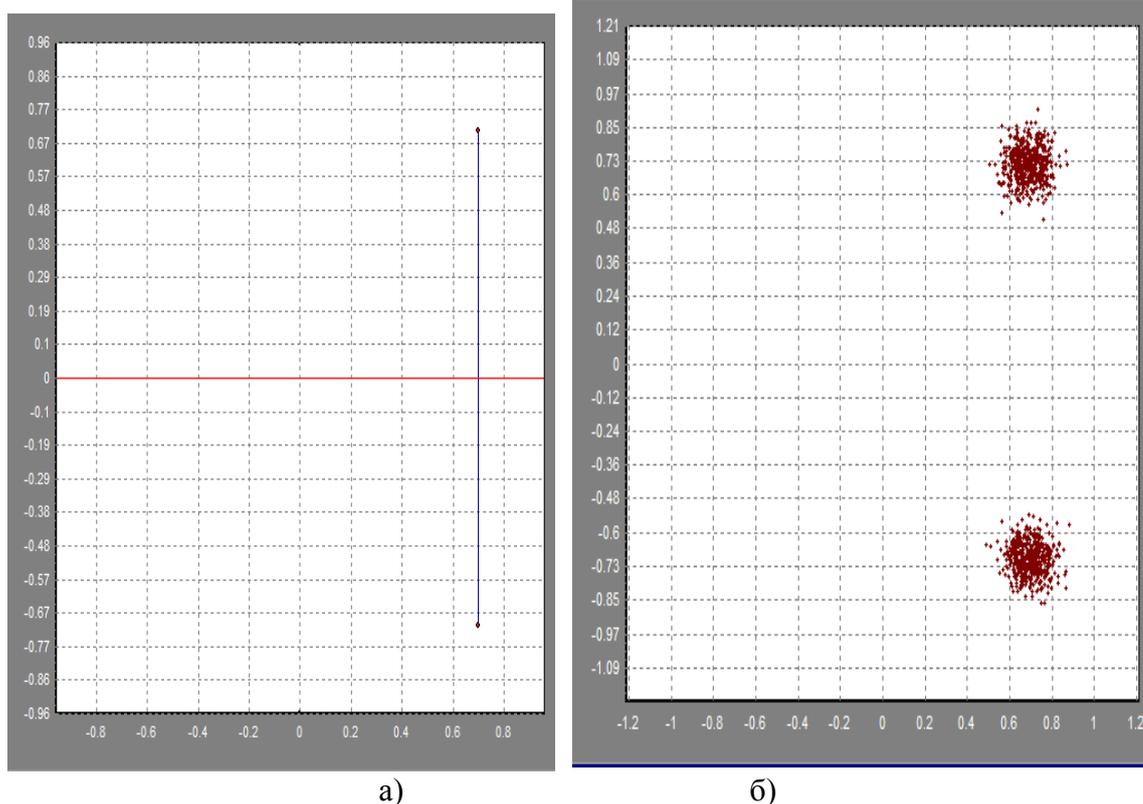


Рис.3 Векторная диаграмма, сформированного сигнала без шумов (а), с аддитивным шумом (б)

АПК Vector также может быть использован для спектрального анализа сигнала. Воспользовавшись программой VSA, получим график отображения спектра (Рис.3) сформированного сигнала, соответствующей временной диаграмме (Рис.4).

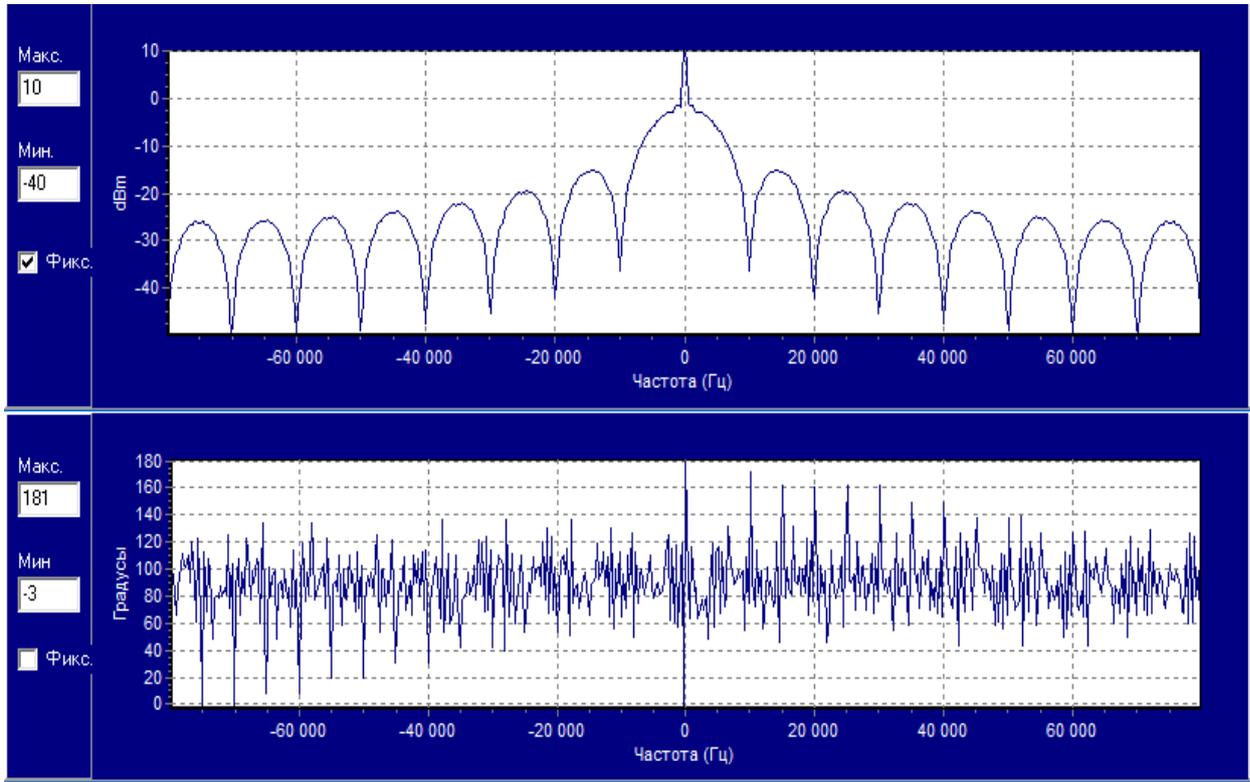


Рис.4 Графики частотного и фазового спектров сигнала.

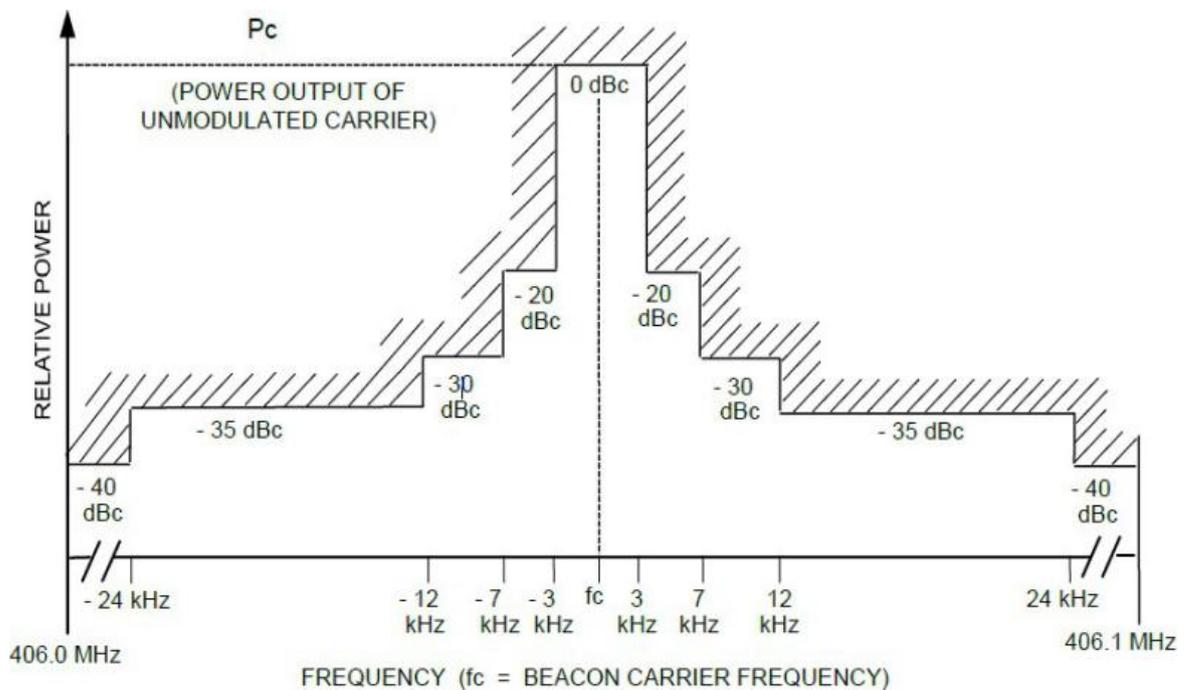


Рис.5 Спектральная маска сигнала

Вывод

После проведения моделирования были получены графики сформированного сигнала на основании которых можно отметить, что спектр в некоторых областях не удовлетворяет спектральной маске, указанной в стандарте (Рис.5) [7]. Для обеспечения данных требований в спектральной области, в реальных устройствах применяют различные методы сглаживания временных фронтов временной диаграммы. Для этого стандартом предусмотрена соответствующая временная маска, соответствующая формуле:

$$\frac{|\tau_1 - \tau_2|}{\tau_1 + \tau_2} \leq 0.05$$

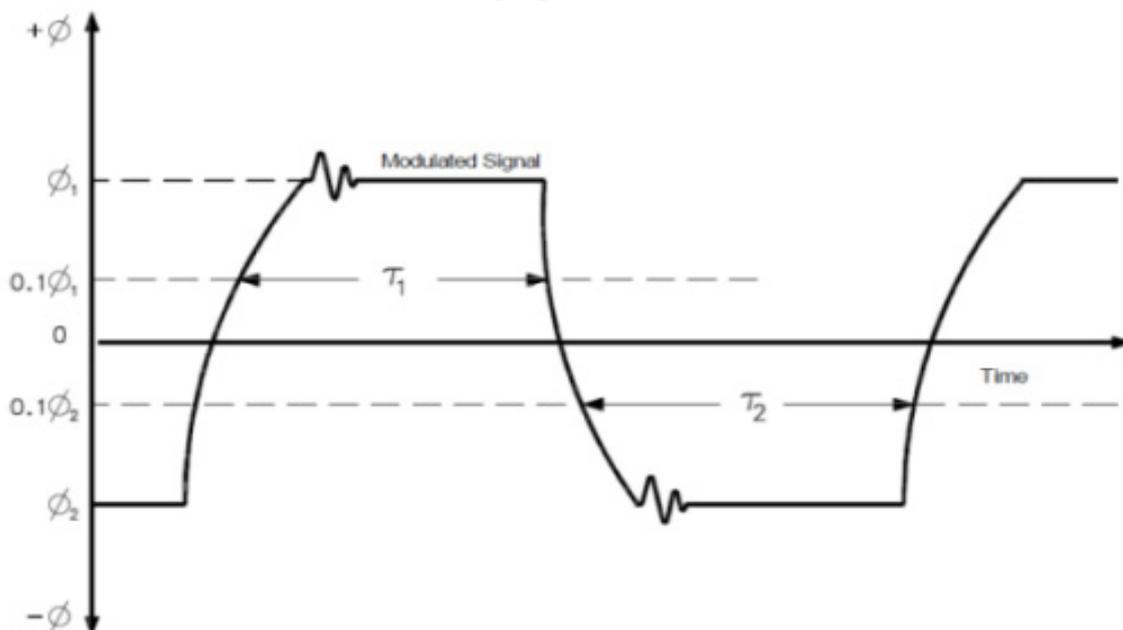


Рис.6. Временная маска сигнала

Литература

1. Коспас - Сарсат. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Коспас-Сарсат>
2. Козлов А.В., Пестряков А.В. Развитие спутниковой системы позиционирования и сбора данных ARGOS. «Т- Сомм – Телекоммуникации и транспорт», 2012, №2. М.: Медиа Паблицер, 2012.
3. Coelho de Magalhães E. M. Development of an Argos beacon for VorSat satellite. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
4. B. Escrig, F. Fares, M.-L. Boucheret, T. Calmettes, H. Guillon. Multi-user detection for the ARGOS satellite system. International Journal of Satellite Communications and Networking, vol.33 (№1). pp. 1-18
5. Программа векторного анализа сигналов Вектор - VSA. Краткое техническое описание, М.: МТУСИ, 2015
6. Программа векторного формирования сигналов Вектор - VSG. Краткое техническое описание, М.: МТУСИ, 2016
7. Specification for Cospas-Sarsat 406 MHz distress beacons. C/S T.001 Issue 4 - Revision 4, 2019.
8. Ионов В.В., Пестряков А.В. Современное состояние систем космического мониторинга за подвижными объектами на территории России // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6. № 1. С. 24-27.
9. Дингес С.И., Пестряков А.В., Хасьянова Е.Р. Введение и компенсация искажений

модулированных сигналов в программном комплексе векторного формирования и анализа "Вектор" // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2017. Т. 8. № 4. С. 76-78.

10. Дингес С.И., Пестряков А.В., Соловьев Д.А. Программа "Вектор- MIMO" версии 2.0 моделирования системы с технологией MIMO // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2016. Т. 7. № 2. С. 17-19.

11. Дингес С.И., Пестряков А.В., Соловьев Д.А. Программный комплекс векторного формирования и анализа сигналов цифровых систем связи "Вектор" версии 6.MIMO // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2015. Т. 6. № 2. С. 90-92.

12. Дингес С.И., Пестряков А.В. Программный комплекс формирования и анализа сигналов современных и перспективных телекоммуникационных систем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 3. С. 62-65.

MODELING CAPABILITIES OF NAVIGATION AND COMMUNICATION ARGOS SIGNAL IN THE VECTOR SOFTWARE PACKAGE.

Alexander V. Pestryakov

professor of REC department MTUCI, Moscow, Russia

a.v.pestryakov@mail.ru

Alexander K. Svetashov,

student of MIT1901 group, MTUCI, Moscow, Russia

mr.uoriner@mail.ru

Key words: *signals of communication and navigation, Argos, vector signal analyse, spectral analyse of signal.*

In this work presents the formation and analysis of signals used in Argos and COSPAS-Sarsat systems – the systems of monitoring and collecting data about the location of various objects, using Vector APC.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПОТЕНЦИАЛА РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИИ

Салютинa Татьяна Юрьевна

*д.э.н., профессор кафедры ЦЭУиБТ МГУСИ, Москва, Россия
t.i.saliutina@mtuci.ru*

Платунина Галина Петровна

*старший преподаватель кафедры ЦЭУиБТ МГУСИ, Москва, Россия
g.p.platunina@mtuci.ru*

Белозубов Владислав Игоревич

*студент группы МЭЭ1901 МГУСИ, Москва, Россия
n1ce_doc@mail.ru*

Ключевые слова: инфокоммуникационная инфраструктура, интегральный метод, оценка состояния и потенциала развития, агрегация параметров.

В условиях возрастающих требований цифровой экономики к параметрам инфокоммуникаций необходим методический аппарат комплексного измерения состояния и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры (РИКИ). Представляются основные положения методики интегральной оценки состояния и потенциала РИКИ и разработанный перечень частных и обобщающих показателей на текущем уровне развития цифровой экономики. Получен вывод о практической значимости предлагаемого подхода и полученных результатов в качестве доказательной базы принятия конкретных управленческих решений по обеспечению сбалансированности регионального развития инфокоммуникаций на основе данного исследования.

Введение

В условиях цифрового развития и динамично развивающегося мирового рынка инфокоммуникационных услуг и технологий, отличающегося высокой скоростью научно-технического прогресса, значительными структурными сдвигами на рыночном пространстве производителей услуг, оборудования, сетей, региональной экспансией, активностью появления новых трансграничных участников рынка с последующими слияниями и поглощениями, необходим методический аппарат комплексного измерения не только состояния, но и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры. В таком контексте он становится действенным механизмом управления развитием цифровой экономики в отдельных странах и регионах мира и выработки регуляторных воздействий по созданию единого мирового информационного пространства посредством выявления и устранения региональных диспропорций, корректировке национальной или международной политики по цифровизации экономики и общества.

Применяемые в международной практике подходы к оценке движения к информационному обществу и развития цифровой экономики основаны на композитных индексах и рейтингах, позволяющих определить текущий рейтинг стран, а сопоставление – судить об успехах или отставании стран по информатизации и цифровизации. Однако перечисленные способы не позволяют выявлять резервы и количественно оценивать потенциал развития стран (регионов). Для этого требуются интегральные показатели и более адекватные статистические модели и методы сбора, обработки и анализа данных.

Предлагаемый подход состоит в представлении развития инфокоммуникационной инфраструктуры как «многопараметрического и многофакторного процесса изменения экономики и социума на основе целенаправленного применения инфокоммуникационных технологий, сетей и средств в различных областях социально-экономической жизнедеятельности, способствующего переходу к более совершенному состоянию

инфокоммуникационной инфраструктуры и формированию информационного общества» [1, С. 216].

Комплексное исследование всех объектов изучения согласно данной концепции индивидуальных, обобщающих также накопленных характеристик дает возможность определить существующие запасы (потенциал) и возможности по ускорению развития и формирования инфокоммуникационной инфраструктуры в различных областях. Итоги расчетов исследуемого показателя возможности формирования инфокоммуникационной инфраструктуры в связи со степенями обобщающих, а также индивидуальных характеристик раскрывают причины полученных итогов, численно измерены все возможности развития потенциала согласно любому предмету изучения.

Для развития инфокоммуникационной инфраструктуры также характерна эволюция показателей, обусловленных как НТП, процессами цифровизации и трансформации моделей бизнеса в инфокоммуникационных компаниях, поэтому целесообразно при формировании системы показателей состояния и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры учитывать эволюцию целевых критериев по этапам цифрового развития, влияние цифровой структурной трансформации на отраслевые и национальные конечные результаты [2, 5].

Методика интегральной оценки состояния и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры

В аналитической практике для получения сравнительной оценки региональной сбалансированности и снижения вариативности частных показателей по регионам наиболее часто используют статистические методы нормированных отклонений или нормализованных (стандартизованных) величин [1], а также используется система показателей развития инфокоммуникационной инфраструктуры (РИКИ) [2, 3]. Использование для расчетов не фактических значений показателей, отличающихся единицами измерения, вариацией во времени и пространстве, а их отклонений от минимальной (максимальной) величины, позволяет обеспечить объективность аналитических результатов как в региональных, так и международных сопоставлениях.

По данной методике используются нормализованные величины, которые целесообразно использовать в комплексной системе показателей развития инфокоммуникационной инфраструктуры по регионам, отличающиеся значительным размахом вариации, многомерностью параметров, а также динамикой их изменения. Достоинством нормализованных величин является не только снижение вариации исследуемой совокупности частных показателей, но и простота определения обобщающих коэффициентов развития инфокоммуникационной инфраструктуры, по которому легко устанавливается рейтинг исследуемых объектов.

Для получения интегральной оценки потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры (РИКИ) целесообразно использовать понятие категории «потенциал развития» как возможность достижения более высоких значений параметров развития, которые уже достигнуты в других странах или регионах страны [1-2]. Главная цель реализации потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры состоит в снижении уровня ее неравномерности по секторам экономики и непропорциональности развития сетей по территориям. Поэтому научно обоснованным средством определения потенциала РИКИ является подход, основанный на выявлении индивидуальной разницы между фактическими величинами параметров и лучшими по совокупности объектов исследования: регионов страны, группе стран мира. При этом для регионов экономики с наиболее высокими параметрами РИКИ целесообразно применять наилучшие показатели по странам высокого уровня развития инфокоммуникаций (например, развитым странам мира) [2, С. 94-95].

Для точного определения интегрального коэффициента развития инфокоммуникационной инфраструктуры следует определить основные обобщающие коэффициенты состояния и потенциала развития данной инфраструктуры по разработанной методике.

Базовым методичным подходом в методологии измерения состояния и потенциала РИКИ является общедоступный принцип выявления признаков, которые взаимодействуют с процессами и этапами цифровизации и информативного общества. Прямая детализация административных заключений после определения итоговых показателей и величин учитывает рейтинги федеральных округов по индексам возможности (потенциала) и представляются в сравнительном анализе рангов состояния РИКИ, что объясняется экономической сущностью признаков состояния и потенциала развития технологий инфокоммуникационной инфраструктуры.

Интегральная система показателей развития инфокоммуникационной инфраструктуры на текущем уровне цифрового развития Российской Федерации представлена на рис. 1.



Рис. 1. Общая характеристика состояния интегрального коэффициента и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры в экономическом аспекте

Анализ состояния и потенциала РИКИ проводится в соответствии с разработанным алгоритмом решения задачи, предусматривающим последовательность выполнения определенных этапов и процедур:

- обработка и анализ статистических данных, которое в свою очередь обобщают все важные для исследования РИКИ интегральные показатели (более подробно рассматривается срез по регионам страны);

- оценка состояния и потенциальных возможностей РИКИ, ранжирование и установление рейтингов объектов исследования в региональном разрезе;

- определение узких мест в достигнутой позиции и запасы резервов для повышения доступности, безопасности, прогрессивного развития информационных инфраструктур и эффективности использования ИКТ в экономике и обществе, определяя направления и меры по обеспечению регионального баланса сетей связи как технологическая основа цифровой экономики;

Разработанная система показателей состояния и потенциала РИКИ может служить информационно-аналитической базой мониторинга развития инфокоммуникационной инфраструктуры цифровой экономики и сможет полноценно оценивать текущее состояние потенциала. [4].

Комплексная характеристика текущего состояния и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры

Регионы России характеризуются значительным разнообразием социально-экономических факторов, это обусловлено большим разбросом показателей, характеризующих развитие инфокоммуникационная инфраструктура (вариация). Размер диапазона в индикаторах общедоступности информационной инфраструктуры и интенсивности использования ИКТ организациями и населением по регионам указывает на разные темпы и масштабы цифровизации, из-за разницы в социально-экономическом уровне развития субъектов Российской Федерации, а также степени готовности регионального сообщества к жизни в цифровом пространстве. Наличие значимых диспропорций в развитии региональной экономики и инфокоммуникационной инфраструктуры выдвигает на первый план аналитики РИКИ региональный разрез. Поэтому нами была проведена интегральная оценка текущего состояния и потенциала РИКИ в соответствии с разработанной системой обобщающих и частных показателей по официальным данным региональной статистики.

В табл. 1-2 приведены результаты комплексной оценки текущего состояния (по нормированным значениям) и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры (по реальным и лучшим значениям регионов) по обобщающим показателям: общедоступность и развитие инфокоммуникационной инфраструктуры, интенсивность использования ИКТ организациями и населением, в разрезе федеральных округов и установления их рейтингов на основе методики интегральной оценки цифрового развития [2, С. 94-95].

Результаты интегральной оценки текущего состояния и потенциала РИКИ в Российской Федерации свидетельствуют о достаточной близости обобщающих коэффициентов состояния РИКИ по доступности и прогрессивности инфокоммуникационной инфраструктуры и использования ИКТ организациями и населением, т.е. компонентов интегральной характеристики, при значительной вариации интегральных коэффициентов по федеральным округам, вызванной вариацией социально-экономического и инфокоммуникационного развития регионов. В дальнейших исследованиях во внимание берутся все показатели и их обобщающие характеристики. Методический подход позволяет оценить и обеспечить полноту данного исследования за счет базовых показателей состояния и индексов потенциала РИКИ.

Таблица 1.

Интегральные показатели текущего состояния инфокоммуникационной инфраструктуры по федеральным округам России

Федеральные округа	Базовые показатели (коэффициенты) состояния				Индекс развития (интегральный индекс) РИКИ	Рейтинг по интегральному коэффициенту состояния РИКИ
	общедоступность ИКИ	развития ИКИ	интенсивности использования ИКТ организациями	интенсивности использования ИКТ населением		
Центральный	0,96	0,99	1,00	0,97	0,98	1
Северо-Западный	0,93	0,81	0,71	0,66	0,78	2
Южный	0,56	0,07	0,28	0,66	0,39	5
Северо-Кавказский	0,00	0,08	0,11	0,31	0,13	8
Приволжский	0,69	0,38	0,38	0,56	0,50	3
Уральский	0,76	0,29	0,35	0,39	0,45	4
Сибирский	0,48	0,34	0,22	0,30	0,33	6
Дальневосточный	0,49	0,36	0,16	0,32	0,33	7
Российская Федерация	0,61	0,42	0,40	0,52	0,49	-

Таблица 2.

Интегральные показатели потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры по федеральным округам России

Федеральные округа	Индексы возможности (потенциала)				Индекс развития (интегральный индекс) РИКИ	Рейтинг по индексу возможности (потенциала) РИКИ
	общедоступность ИКИ	развития ИКИ	интенсивности использования ИКТ организациями	интенсивности использования ИКТ населением		
Центральный	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	8
Северо-Западный	0,03	0,36	0,18	0,08	0,17	7
Южный	0,14	1,48	0,73	0,19	0,63	2
Северо-Кавказский	0,00	0,00	0,84	0,29	0,28	6
Приволжский	0,11	0,51	0,51	0,32	0,36	5
Уральский	0,06	0,91	0,92	0,25	0,54	3
Сибирский	0,16	0,94	0,69	0,22	0,50	4
Дальневосточный	0,19	1,43	0,78	0,23	0,66	1
Российская Федерация	0,07	0,71	0,58	0,20	0,39	-

При достаточно высоком уровне интегрального коэффициента состояния РИКИ Центрального округа (0,98) Северо-Кавказский округ имеет в 7,5 раза более низкий уровень (0,13), особенно в части доступности и прогрессивности ИКИ, а также использования ИКТ организациями. Величина интегрального показателя текущего состояния РИКИ, равного 0,49, по его компонентам определяется достаточно равномерным влиянием обобщающих показателей, находящихся в пределах 0,4-0,61, при высоком различии параметров в региональном разрезе.

Интегральный индекс потенциала РИКИ в России составил 0,39, что определяется наличием значительного потенциала в области прогрессивности ИКИ (0,71) и использования ИКТ организациями (0,58). В тоже время размеры потенциала РИКИ в региональном аспекте имеют более широкие рамки и для половины анализируемых федеральных округов колеблются в пределах 50-66%. Самый большой и возможный потенциал цифрового развития наблюдается в Южном и Дальневосточном округах (соответственно 63% и 66%) особенно по параметрам развития инфокоммуникационной инфраструктуры, объемов передачи информации (соответственно 1,48 и 1,43) и интенсивности использования ИКТ организациями (соответственно 0,73 и 0,78).

Заключение

Комплексная обработка и анализ статистических данных, которые в свою очередь обобщают все важные для исследования РИКИ интегральные показатели, является неотъемлемой частью данной методики.

В условиях развития цифровой экономики возрос интерес к определению методического аппарата комплексного измерения состояния и потенциала развития инфокоммуникационной инфраструктуры (РИКИ). Полученные результаты расчетов обобщающих коэффициентов состояния и индексов развития (потенциала) РИКИ по доступности, прогрессивности инфраструктуры, интенсивности использования ИКТ организациями и населением по федеральным округам России полноценно раскрывают данную методику и ее практическую ценность, значимость в качестве базовых управленческих решений по обеспечению сбалансированности регионального развития инфокоммуникаций.

Объединение различных показателей в единое целое позволило сгенерировать информацию о текущей ситуации и возможностях развития в региональном масштабе в пространственно-временных векторах на основе разработанного методического инструментария. Общая оценка потенциала развития RICI по регионам обеспечивает доказательную базу для инновационной, ценовой (тарифной), институциональной политики, которая ведет к сбалансированному региональному развитию.

Литература

1. Зоря Н.Е., Кузовкова Т.А. Методология и практика мониторинга инфокоммуникаций: Монография. М.: ООО «Медиа Паблишер», 2012. 260 с.
2. Кузовкова Т.А., Кухаренко Е.Г., Салютин Т.Ю. Методы и способы комплексного измерения эффективности цифрового развития и применения цифровых технологий: Монография. – М.: ООО «ИД Медиа Паблишер», 2019. - 171 с.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели. Стат. сб / Росстат. М., 2019. 1204 с.
4. Салютин Т.Ю., Володина Е.Е., Кухаренко Е.Г. Экономические основы функционирования инфокоммуникационной компании // Экономика и качество систем связи. 2017, № 4 (6). С. 8-10
5. Салютин Т.Ю., Кузовкова Т.А., Кухаренко Е.Г. Обоснование эволюции критериев цифрового развития экономики и общества // Экономика и качество систем связи. 2019, № 2 (12). С. 13-20

INTEGRATED ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT POTENTIAL OF THE INFOCOMMUNICATION INFRASTRUCTURE IN RUSSIA

Tatyana Yu. Salutina

doctor of Economics, head of the Department of Digital economy, management and business technologies MTUCI, Moscow, Russia

t.i.salutina@mtuci.ru

Vladislav I. Belogubov

student of group MEE1901 MTUCI, Moscow, Russia

n1ce_doc@mail.ru

Galina P. Platunina

senior lecturer Dep. Digital economy, management and business technologies MTUCI, Moscow, Russia

g.p.platunina@mtuci.ru

Key words: *infocommunication infrastructure, integral method, assessment of the state and potential of development, aggregation of parameters.*

In the context of increasing requirements of the digital economy to the parameters of Infocommunications, a methodological apparatus for complex measurement of the state and development potential of infocommunication infrastructure (DICI) is needed. Basic provisions of methodology of integrated assessment of status and potential of DICI and a list of private and General indicators on the current level of development of the digital economy. Here are given the results of calculations of generalizing coefficients of the state and DICI potential indices on accessibility, progressiveness of infrastructure, the intensity of the use of ICT by organizations and the population in the federal districts of the Russian Federation. The conclusion is made about the practical significance of the proposed approach and the results obtained as an evidence base for making specific management decisions to ensure the balance of regional development of Infocommunications.

DOCKER-КОНТЕЙНЕРЫ

Солонько Максим Константинович

студент группы М091801(72) МТУСИ, Москва, Россия

m.k.solonko@mtuci.ru

Краснов Кирилл Александрович

студент группы М111801(74) МТУСИ, Москва, Россия

k.a.krasnov@mtuci.ru

Ключевые слова: Docker, dockerfile, операционная система, виртуальная машина, платформа, программное обеспечение, контейнер, образ, виртуализация, приложение, облачное хранилище, консольные команды, библиотеки, изолированная среда

В данной статье рассматривается программная платформа виртуализации под названием Docker. Она позволяет разрабатывать и запускать различные приложения в контейнерах, что обеспечивает работу с ними в изолированной среде. Проведено сравнение с виртуальными машинами и целесообразность применения контейнеров, созданных на платформе Docker, для решения различных задач. Рассмотрен процесс создания и запуска контейнера на конкретном примере. Сделан вывод, что пользователям привычнее работать с виртуальными машинами, а платформа Docker удобна разработчикам.

В Интернете много статей, сайтов и форумов, рассматривающих вопросы виртуализации [1,2]. В них рассматриваются не только виртуальные машины, но и так называемые докеры. Что же такое докер?

Docker – это программное обеспечение, разрабатываемое одноименной компанией Docker [3]. Это открытая платформа для разработки, запуска и возможности публикации приложений. Ее можно установить как на Linux, так и на Windows. Изначально Docker был выпущен для Linux в 2013 году. Эта система является основной для работы с Docker, так как используются особенности ядра операционной системы Linux. Для использования Docker на Windows, система должна быть не ниже 7 версии и обязательно 64-х разрядная.

Программная платформа Docker работает с контейнерами. С ее помощью разрабатывают, упаковывают и запускают приложения в контейнерах. Их использование позволяет развернуть программное обеспечение вместе со всеми необходимыми библиотеками и другими зависимостями в изолированной среде. Изоляция позволяет запускать сразу несколько контейнеров на одном компьютере. При этом они ведут себя одинаково в различной программной среде. Приложение будет работать на любом компьютере, независимо от любых настроек на нем. При этом не нужно полноценно эмулировать операционную систему.

Docker-контейнер можно сравнить с простым пластиковым контейнером. В нем можно что-то хранить. Его можно перемещать со всем содержимым, то есть можно пользоваться на разных компьютерах. У пластикового контейнера есть крышка, которая позволяет разделить содержимое контейнера и внешнюю среду и обеспечить их взаимодействие. Docker-контейнер аналогично пластиковому изолирован в программной среде, но имеет механизмы для взаимодействия с внешним миром: работа через консоль.

Чтобы запустить Docker-контейнер с необходимым программным обеспечением, изначально необходимо создать его образ. Образ представляет собой набор файлов. В состав образа входит все необходимое для запуска и работы приложения. Образ состоит из упорядоченных слоев. Каждый слой — это набор изменений файловой системы, отличный от

предыдущего слоя. Другими словами, каждый Docker-слой это файл с изменением предыдущего слоя. Каждый слой Docker-образа доступен только для чтения. В каждом Docker-образе содержится файл, который называется Dockerfile. Этот файл не имеет расширения и содержит набор инструкций. Следуя им, программа Docker будет собирать образ контейнера из слоев. Начальный слой называется базовым или родительским. Это может быть Ubuntu или Fedora. В Dockerfile находится описание базового образа. Он представляет исходный первый слой образа. Далее в Dockerfile находится описание дополнительных слоев. Согласно этому описанию, сверху базового слоя добавляются дополнительные слои. Это различные библиотеки. Сверху всех остальных слоев в образе Docker находится слой, который содержит код программы, которую нужно запустить.

При запуске Docker – образа, формируется верхний слой, который впоследствии можно будет изменить. То есть, если образ запущен и есть необходимость произвести изменения, последний слой образа копируется на верхний слой и в нем уже происходит редактирование. Образ можно собрать с нуля или загрузить уже созданные образы и, впоследствии обновить их.

Много различных созданных образов Docker хранится в Docker-реестре, который называется Docker Hub. Он представляет собой облачное хранилище. Docker Hub открыт для всех, и любой пользователь может подготовить собственный образ и опубликовать его. После этого, также любой пользователь его может скачать и установить на любой компьютер. На Docker Hub опубликованы десятки тысяч образов.

Контейнер – это исполняемый экземпляр образа. Используя консольные команды, можно запускать, останавливать и удалять контейнер.

Применение контейнеров целесообразно в следующих ситуациях:

1. Необходимость использования изолированной среды для тестирования разрабатываемого приложения.

2. Чтобы приложение можно было за короткое время установить на любом количестве компьютеров, то есть, чтобы оно было портативным.

3. Необходимость, чтобы разрабатываемое приложение без проблем запускалось на любом компьютере, вне зависимости от какого – либо конкретного оборудования.

Контейнеры имеют сходство с виртуальными машинами. Это проявляется в том, что они обеспечивают безопасность работы путем одновременного запуска отдельных экземпляров операционных систем без взаимодействия друг с другом. Но виртуальные машины требуют установки полнофункциональной операционной системы, выделения части ресурсов компьютера, а контейнеры совместно используют ядро одной операционной системы, сохраняя при этом изоляцию по отношению к другим контейнерам. Результат будет один, если использовать виртуальную машину или контейнер. Важно, чтобы приложению «казалось», что оно одно на данном компьютере. И при этом приложению не обязательно выделять виртуальную машину. Достаточно изолировать приложение, чтобы оно не знало, что у него есть соседи. Контейнер работает как отдельный запущенный процесс. Для наглядности и понимания сходства и различий виртуальных машин и контейнеров на рис.1 представлена типовая архитектура виртуальной машины и docker-контейнера.



Рис. 1. Архитектура виртуальных машин и контейнеров

Контейнер запускается, если соблюдены следующие условия:

1. Создан образ контейнера
2. Среда, в которой установлена программа Docker, понимает команды, необходимые для запуска контейнера.

На компьютер с операционной системой Windows 10 установим операционную систему Ubuntu, но используя не виртуальную машину, а платформу Docker.

Для этого на официальном сайте скачаем, а затем установим на компьютер программное обеспечение Docker Desktop for Windows. Это программное обеспечение для работы с платформой Docker. При первом запуске программа запросила войти в учетную запись, а при ее отсутствии зарегистрироваться на Docker Hub, где хранятся опубликованные образы. После входа в учетную запись программа отобразила предупреждение, что виртуализация в системе выключена и предложила ее активировать. После активации в диспетчере задач, на вкладке «Производительность», видим, что виртуализация включена. В облачном хранилище Docker, используя пункт меню Explore или строку поиска, находим нужный образ. К каждому образу есть инструкция с описанием работы с ним. Находим образ Ubuntu. В описании отображена информация о наличии образов Ubuntu различных версий, описание самой операционной системы, что входит в данный образ и как его запустить. Установим Ubuntu 18.04. Для этого открываем консоль PowerShell. Если платформа Docker запущена, то PowerShell сразу воспринимает его команды. Скачиваем образ Ubuntu 18.04 с Docker Hub. Для этого в консоли запускаем команду `docker pull Ubuntu:18.04`. Скачивание образа заняло всего несколько минут. Для запуска Ubuntu используется команда `docker run -it ubuntu`. При этом из образа создается контейнер. Ubuntu запущена и изолирована от основной операционной системы Windows. После запуска получаем доступ к ядру Ubuntu и можем через консоль работать в системе, например, установить обновления.

После установки обновлений можно сохранить изменения и создать новый образ с обновленной Ubuntu. Его можно выгрузить в личное облачное хранилище, загрузить на

другом компьютере с системой Linux Mint, запустить и продолжить работать с обновленной операционной системой Ubuntu 18.04.

В процессе знакомства с платформой Docker возникли определенные сложности. Образ Ubuntu 18.04 был скачан, запущен, а что делать дальше было непонятно. Помог сайт www.digitalOcean.com. На нем размещена инструкция, как работать в режиме консоли с данной операционной системой. При запуске необходимо добавлять параметр «-it». Он позволяет получить доступ к командному процессору контейнера и дает доступ к ядру Ubuntu. После этого в консоли можно писать команды и работать в запущенной системе.

Заключение

И Docker-контейнеры, и виртуальные машины предназначены для решения одной задачи: работа с комплексом программ в изолированной среде. Для простых пользователей использование Docker бесполезно, так как он работает только в консольном режиме. Для них удобней будет работать с виртуальной машиной, так как имеется возможность видеть интерфейс и работать с полноценной операционной системой. Платформа Docker будет удобна разработчикам. Загрузка Docker – образа занимает мало времени по сравнению с установкой виртуальной машины. Образ можно быстро перенести и запустить с одной машины на другую, доработать программное обеспечение, сохранить измененный образ и передать другому разработчику для дальнейшей работы с ним.

Литература

1. Блог компании RUVDS.com [Электронный ресурс]: Изучаем Docker URL: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/438796/> (дата обращения 11.03.2020).
2. Библиотека программиста [Электронный ресурс]: Что такое Docker, и как его использовать? URL: <https://proglib.io/p/docker> (дата обращения 11.03.2020).
3. Журнал «Молодой учёный» [Электронный ресурс]: Введение в контейнеры, виртуальные машины и докеры URL: <https://moluch.ru/archive/123/33873/> (дата обращения 11.03.2020).

DOCKER- CONTAINERS

Maksim K. Solonko

student of group M091801(72), MTUCI, Moscow, Russia

m.k.solonko@mtuci.ru

Kirill A. Krasnov

student of group M111801(74), MTUCI, Moscow, Russia

k.a.krasnov@mtuci.ru

Key words: *Docker, dockerfile, operating system, virtual machine, platform, software, container, image, virtualization, application, cloud storage, console commands, libraries, isolated environment.*

This article discusses a virtualization software platform called Docker. It allows you to develop and run various applications in containers, which ensures work with them in an isolated environment. A comparison is made with virtual machines and the appropriateness of using containers created on the Docker platform to solve various problems. The process of creating and running a container on a specific example is considered. It is concluded that users are more familiar with working with virtual machines, and the Docker platform is convenient for developers.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭКСТРЕННЫХ ОПЕРАТИВНЫХ СЛУЖБ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ-112

Степанов Михаил Сергеевич

*к.т.н., доцент кафедры ССисК МГУСИ, Москва, Россия
mihstep@yandex.ru*

Зюзин Владислав Дмитриевич

*студент группы М61902, МГУСИ, Москва, Россия
v.d.zyuzin@gmail.com*

Ключевые слова: экстренная оперативная служба, принцип «одного окна», облачные вычисления, узел связи, масштабирование, трафик, вызовы.

В данной статье рассматриваются технические решения для организации экстренных оперативных служб, а также для модернизации существующих технических решений в данной области. Рассмотрены и проанализированы различные схемы развёртывания экстренной оперативной службы 112, выявлены уязвимые места, предложена функциональная модель Системы-112 и дано направление для дальнейших исследований.

Введение

Непрекращающийся технический прогресс и сдвиги парадигмы в области организации телекоммуникационных сетей не могут не найти свое отражение в таком критическом для современного общества явлении как экстренные оперативные службы (далее – ЭОС). Каждый человек, ставший свидетелем, участником или жертвой чрезвычайных ситуаций и происшествий, представляющих угрозу жизни и здоровью, должен иметь возможность проинформировать об этом соответствующие службы. Таким образом, для соответствия требованиям нового времени необходимо преобразование действующих технических решений, применяемых для организации ЭОС. Для эффективного решения поставленной задачи процессы организации и управления ЭОС должны быть полностью или частично модернизированы. [4]

Назначение и принцип работы системы 112

Система-112 является программным комплексом средств, которые необходимы для автоматизированной обработки экстренных вызовов, поступающих от граждан по всероссийскому номеру 112. Данный номер также служит для обеспечения своевременной информацией диспетчерских служб муниципальных образований. Главными целями организации Системы-112 в Российской Федерации являются:

Применение принципа «одного окна» путем обеспечения возможности вызова разных экстренных служб по одному номеру, что позволяет минимизировать время реагирования и упростить взаимодействие с населением;

· гармонизация способов вызова экстренной службы в Российской Федерации с законодательством Европейского союза. [9]

Система-112 охватывает всю территорию субъекта Российской Федерации, так как является территориально-распределенной и полностью автоматической.

Все эти преимущества позволяют согласовать органы различной помощи населению, системы предупреждения и системы ликвидации чрезвычайных ситуаций. Так же в этот список входят системы ЕДДС и ЭОС:

- службы пожарной охраны;
- службы реагирования в чрезвычайных ситуациях;
- службы полиции;
- службы скорой медицинской помощи;

- аварийной службы газовой сети;
- службы «Антитеррор».

Нормативно-правовая база Системы 112

С самого начала система предоставления вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в Российской Федерации создавалась на региональном и муниципальном уровнях. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», предусматривает, что органы правительственной власти субъектов Российской Федерации реализуют создание системы обеспечения вызова экстренных служб по единому номеру «112», ее эксплуатацию и развитие, а органы местного самоуправления участвуют в создании и развитии системы обеспечения. Указанные полномочия были внесены Федеральным законом от 11 февраля 2013 года № 9-ФЗ «О внесении изменений в статью 11 Федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и статью 22 Федерального закона «О пожарной безопасности».

Вопросы создания Системы-112 также определяются несколькими нормативными правовыми актами. [1],[2]

Основы правового режима системы-112 и полномочия органов исполнительной власти Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, предусмотрены актами Президента Российской Федерации и подзаконными актами Правительства Российской Федерации. [3,4]

Технические требования по развёртыванию Системы-112

Для Системы-112 существует два типа сетевой инфраструктуры. В первом, традиционном случае, субъекту принадлежат и оборудование, и сети передачи данных (Рис. 1). Важно отметить большие затраты на начальном этапе закупки оборудования, также эксплуатации оборудования.

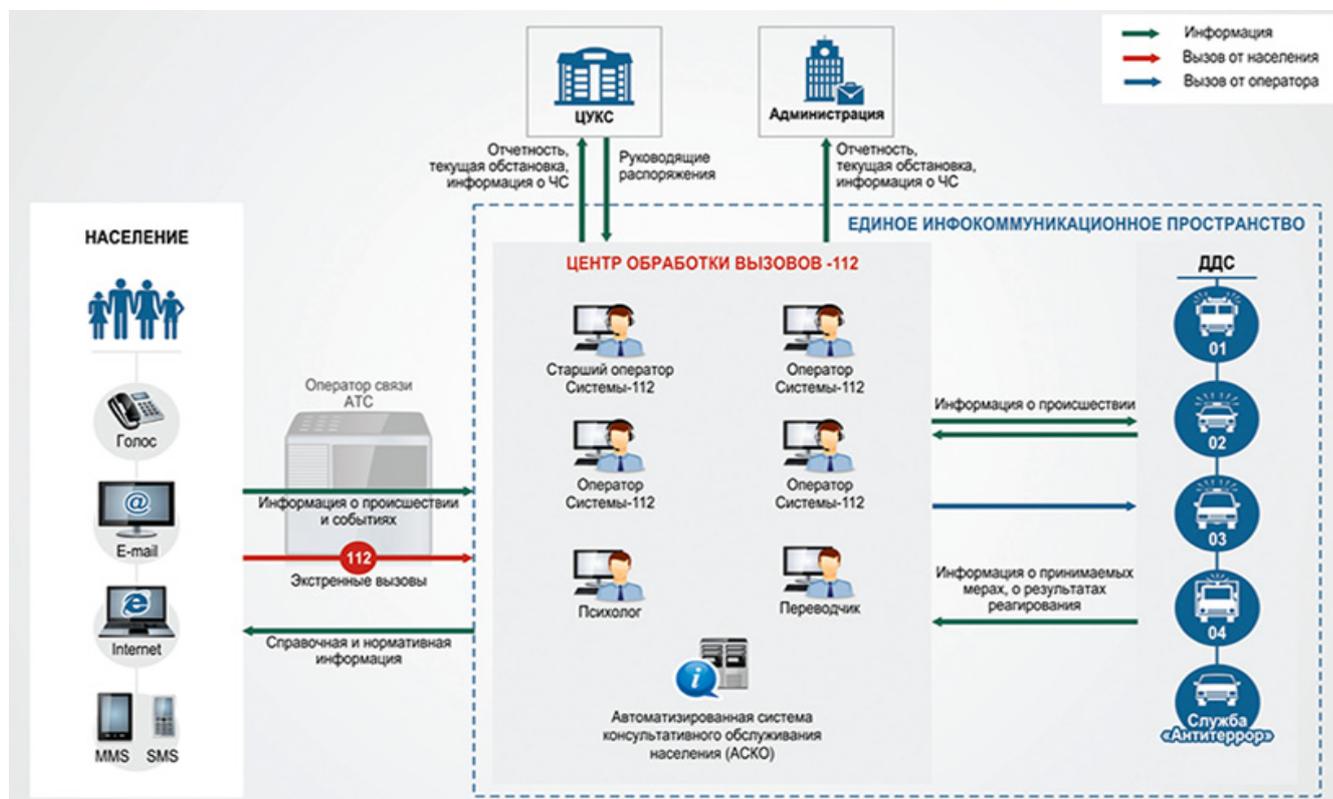


Рис. 1. Традиционная архитектура создания системы «112»

Второй подход основан на использовании так называемых «облачных вычислений» (cloud computing) (Рис. 2). Облачные решения позволяют передать часть функций системы «112» другим участникам рынка. [5]

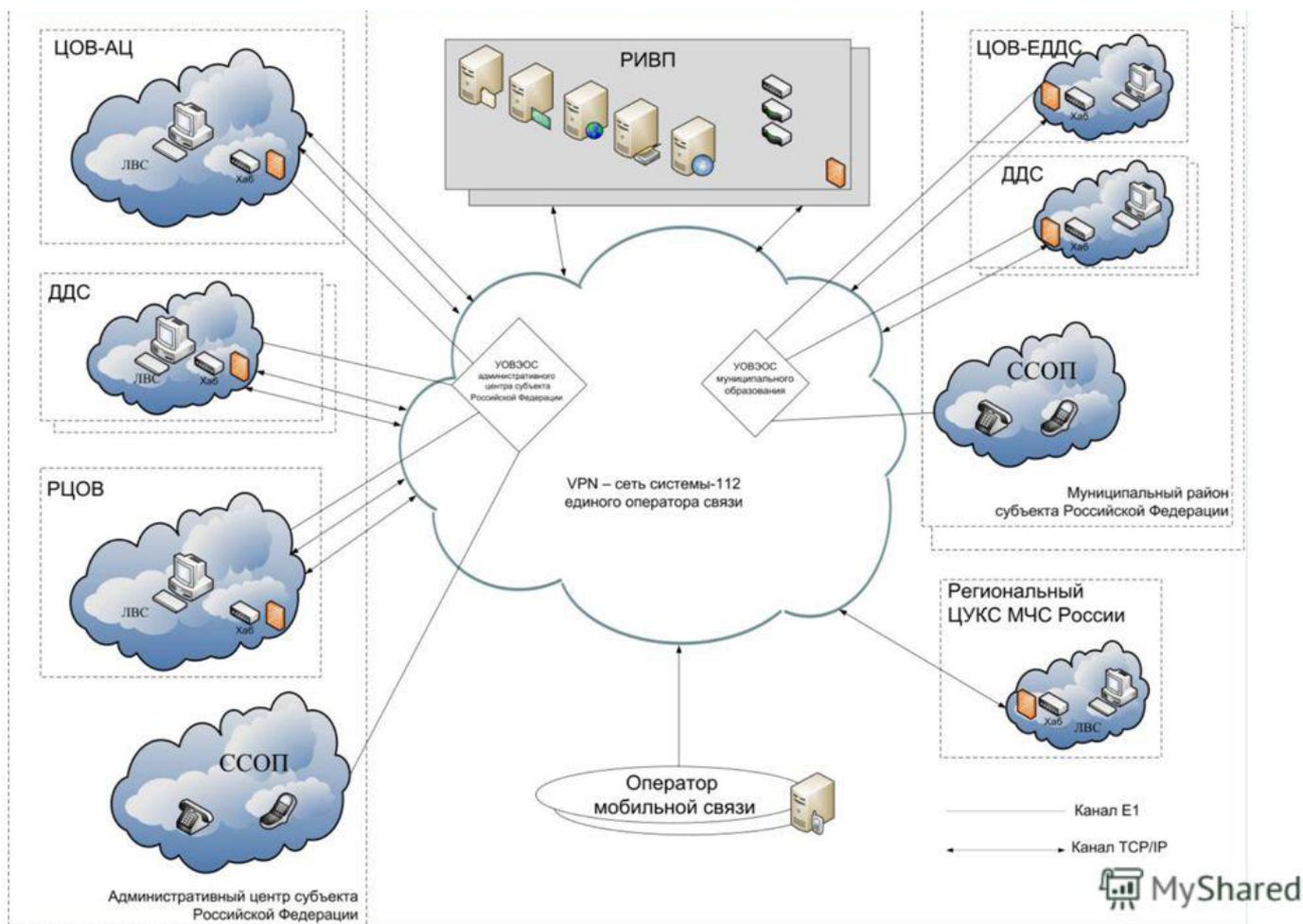


Рис. 2. Архитектура создания системы «112» при помощи облачных вычислений

Для реализации модели требуются следующие средства:

а) централизованной модели приема и обработки вызовов (автоматические рабочие места (АРМ) операторов, реализовывающих прием вызовов, концентрируются в ЦОВ-АЦ и РЦОВ, в ЕДДС магистратских образований и ДДС ЭОС располагаются только АРМ диспетчерского персонала);

б) децентрализованной (распределенной) модели приема и обработки вызовов (АРМ операторов, реализовывающих прием вызовов, концентрируются как в ЦОВ-АЦ и РЦОВ, так и в ЦОВ-ЕДДС городских образований, а АРМ диспетчерского персонала находятся в ЕДДС магистратских образований и ДДС ЭОС). [6]

К положительным сторонам централизованной структуры можно отнести физическую лёгкость обслуживания системы, возможность быстрого обновления и ощутимую рентабельность для небольших систем.

Основным минусом данной структуры является зависимость всей системы от центрального узла связи. При нарушении работоспособности последнего, вся система связи на определённое время теряет связь с внешним миром. Во-вторых, в условиях централизованной структуры реализуемо только вертикальное масштабирование. Запрос в экстренную службу должен пройти ряд этапов, прежде чем его получат структуры, ответственные за предоставление помощи. При переходе между этапами, в случае значительных скачков трафика, возможно образование «узких мест» (bottleneck в английской терминологии). При

данной ситуации пропускная способность сети будет определяться пропускной способностью компонента с самой низкой производительностью. Компоненты которые влияют на пропускную способность сети:

- коммутатор, концентратор, сервер;
- программное обеспечение;
- различные параметры настройки технического оснащения или программного обеспечения. [7].

В децентрализованной схеме выход из строя одного из сетевых элементов не является настолько критичным событием. В этом случае система не выходит из строя полностью, уменьшается лишь ее производительность. Независимость основных узлов приводит к более “гибкой” системе связи. Возможность вертикального масштабирования в данном случае обуславливает развитие системы путем повышения производительности при наращивании ресурсов отдельных узлов. [8]

Другим положительным аспектом данной структуры является снижение вероятности появления «узких» мест. Высокий уровень доступности и значительная автономность составляющих системы приводит к увеличению контроля над ресурсами.

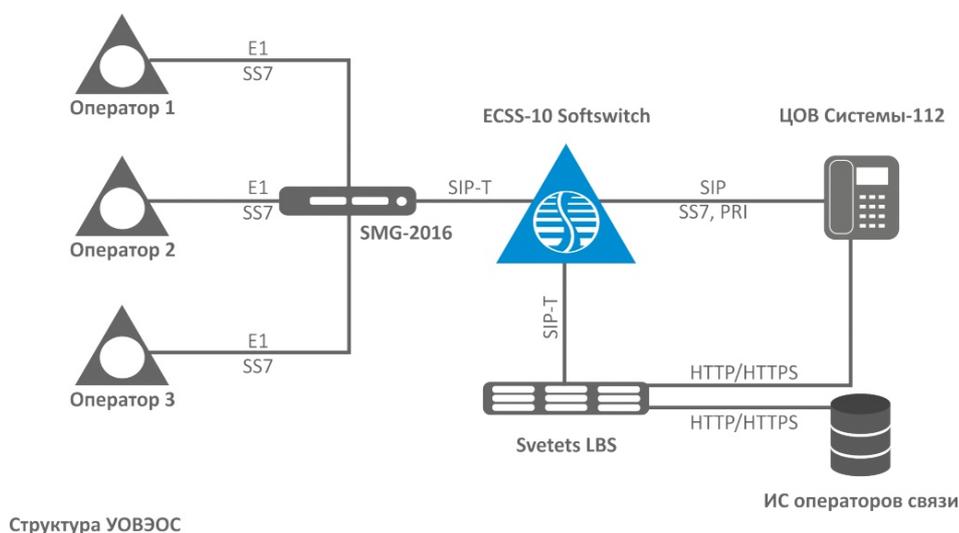
Состояние перегрузки в экстренных службах

Экстренные службы могут столкнуться с состоянием перегрузки в случае крупномасштабных чрезвычайных ситуаций таких, как, например, серьезные климатические катаклизмы. Другими аналогичными происшествиями, которые могут многократно повысить риск потока обращений от населения, являются землетрясения, террористические атаки, дорожные инциденты с большим количеством участников. Происходит это по причине того, что большое число людей, наблюдающих или

оказавшихся в зоне действия инцидента, могут сообщать об этом в экстренные службы одновременно.

Данное состояние опасно тем, что оно может не позволить людям, которые находятся в ситуациях, представляющих угрозу жизни, связаться с экстренной службой и вызвать помощь. Фактически, это вопрос жизни и смерти для того, кто попал в беду.

В настоящее время связь населения и экстренных служб по-прежнему осуществляется посредством телефона. По этой причине доступность мобильных и фиксированных телефонных сетей играет важную роль. Функциональная модель экстренной оперативной службы 112 представлена на рисунке 3. [10,11 - 15]



ECSS-10 Softswitch – программный коммутатор 4 класса
 SMG-2016 – транковый шлюз для сопряжения сигнальных протоколов TDM и VoIP сетей
 Svetets LBS – сервер определения местоположения
 IC операторов связи – информационные системы операторов связи
 ЦОВ Системы-112 – центр обработки вызовов Системы-112

Рис. 3. Функциональная модель экстренной оперативной службы 112

Экстренные звонки маршрутизируются через одну или несколько взаимосвязанных телефонных сетей общего пользования. На всех сетевых участках (относящихся как к коммутации, так и передачи данных) может произойти перегрузка, которая приведет к блокировке вызовов. Экстренные службы в большинстве случаев соединены с телефонными сетями общего пользования через абонентские линии, которые, в свою очередь, могут обеспечить ограниченное число голосовых каналов. Недостаток свободных абонентских линий вызывает состояние перегрузки. Таким образом, для того, чтобы у населения всегда была возможность связаться с экстренной службой и сообщить об инциденте, который может представлять опасность жизни и здоровью людей, число абонентских линий (а, следовательно, и голосовых каналов) должно значительно превышать число потенциальных одновременных запросов. С другой стороны, расходы на инфраструктуру и заработную плату операторов составляет большую часть операционных затрат любого контакт-центра. Это означает, что чрезмерной избыточности каналов и операторов тоже следует избегать.

Таким образом, разработка методик оценки оптимального числа ресурса для обслуживания поступающих запросов от населения при выполнении всех необходимых нормативных показателей является актуальной задачей. Ее решение невозможно без построения математической модели экстренной службы и разработки методик оценки ее характеристик, что является основной целью дальнейших исследований.

Литература

1. Федеральный закон "О связи" от 07.07.2003 № 126 // Российская газета. с изм. и допол. в ред. от 06.06.2019 г.
2. Федеральный закон "О Государственной автоматизированной информационной системе "ЭРА-ГЛОНАСС"" от 28.12.2013 № 395 // Российская газета.
3. Указ Президента Российской Федерации "О совершенствовании системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб на территории Российской Федерации" от 28.12.2010 № 1632 // Российская газета. с изм. и допол. в ред. от 13.11.2018 г.
4. Постановление Правительства Российской Федерации "О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций" от 30.12.2003 № 794 // Российская газета. с изм. и допол. в ред. от 02.04.2020 г.
5. *Агеев С.В., Чухров И.П., Хайновский А.С.* Основные принципы создания и функционирования автоматизированных средств поддержки принятия решения в «системе-112» // Технологии гражданской безопасности. 2010. Т. 7. № 1—2. С. 47—54.
6. *Акимов В.А., Качанов С.А., Нехорошев С.Н., Юдин С.А.* Основные требования к программно-техническим решениям создания «системы-112» с учетом отечественного и зарубежного опыта // Технологии гражданской безопасности. 2010. Т. 7. № 1—2.
7. *Зубков В.Н., Агеев С.В., Денисов О.В., Тыминский В.В., Акульшин С.Б.* Проблемы организации информационного взаимодействия дежурно-диспетчерских служб экстренных оперативных служб в процессе создания «системы-112» // Технологии гражданской безопасности. 2010. Т. 7. № 1—2. С. 60—64.
8. *Качанов С.А., Агеев С.В., Ковтун О.Б., Виноградов А.В.* Применение комплексного планирования мероприятий в целях совершенствования системы вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в субъекте Российской Федерации // Технологии гражданской безопасности. 2012. Т. 9. № 2. С. 4—10.
9. Система 112 в России - режим доступа: URL: http://system112.ru/?page_id=400 (дата обращения: 25.04.2020).
10. *Дудина В.А., Журко А.М., Степанов М.С.* Модель контакт-центра с учетом навыков операторов и нетерпеливости абонентов // Т-Comm. – Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Том 11. - №12. – С.43-48.

11. *Stepanov S.N., Shishkin M.O., Sosnovikov G.K., Stepanov M.S., Vorobeychikov L.A., Zhurko H.M.* The Analysis of Call Center Model in Case of Overload // T-Comm, 2019, vol. 13, no.11, pp. 68-76.

12. *Степанов М.С.* Определение и свойства входных параметров обобщенной модели контактцентра // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 7. С. 25-30.

13. *Пшеничников А.П., Степанов М.С.* Моделирование процесса обслуживания вызовов в современных контакт-центрах // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2015. № 1. С. 271-273.

14. *Степанов М.С., Степанов С.Н., Журко А.М.* Построение математической модели контакт-центра с учетом системы IVR // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2017. Т. 7. № 2. С. 253-255.

15. *Денисова М.А., Степанов М.С.* Оценка числа устройств IVR и операторов в контакт-центре с использованием метода декомпозиции // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6. № 1. С. 49-54.

PRINCIPLES OF BUILDING MODERN EMERGENCY SERVICES ON THE EXAMPLE OF THE 112 SYSTEM

Mikhail S. Stepanov

*Ph.D. in Technology, associate professor of SSiSK department MTUCI, Moscow, Russia
mihstep@yandex.ru*

Vladislav D. Zuzin

*student of group M61902, MTUCI, Moscow, Russia
v.d.zyuzin@gmail.com*

Key words: *emergency operational service, "one window" principle, cloud computing, communication node, scaling, traffic, calls.*

This article discusses technical solutions for the organization of emergency operational services, as well as for the modernization of existing technical solutions in this area. Various schemes of deployment of the emergency operational service 112 are considered and analyzed, the functional model of 112 system is proposed, the direction for the future research is given.