

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

научное рецензируемое издание
электронный научный журнал

выпуск 2(10) - 2015

TELECOM IT

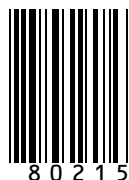
electronic scientific journal

vol. 2(10)(2015)

ISSN 2307-1303



9 772307 130308



8 0215 >



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

электронный научный журнал

научное рецензируемое издание

TELECOM IT

electronic scientific journal

Учредитель и издатель федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)

Адрес учредителя, издателя и редакции: С.-Петербург, пр. Большевиков д.22, корп.1, 193232

Электронное представительство журнала
www.itt.sut.ru, e-mail: itt@spbgt.ru

Размещение журнала в РИНЦ (elibrary.ru) осуществляется по договору от 20 февраля 2013 года № 59-02/2013

Рукописи проходят редакционно-издательскую подготовку

Электронное издание. Цена свободная

Редакционная коллегия

Баскин Л. М., д-р ф.-м. наук, профессор, СПбГУТ, Россия
Кучерявый Е. А., канд. техн. наук, PhD, senior member IEEE, профессор департамента электроники и коммуникаций, Технологический университет Тампере, Финляндия
Буйневич М. В., д-р техн. наук, профессор, СПбГУТ, Россия
Макаров В. В., д-р экон. наук, профессор, СПбГУТ, Россия
Машков Г. М., д-р техн. наук, профессор, СПбГУТ, Россия

Редакция

Бачевский С. В., главный редактор, д-р техн. наук, профессор
Кучерявый Е. А., заместитель главного редактора, д-р техн. наук, профессор
Владыко А. Г., заместитель главного редактора, канд. техн. наук, member IEEE
Минаков Л. М., ответственный секретарь, IT журнала
Аникевич Е. А., литературный редактор, канд. техн. наук
Аникевич Е. М., корректура, верстка

Неисключительные права на все материалы, опубликованные в настоящем журнале принадлежат СПбГУТ. Воспроизведение, копирование, распространение возможно при наличии письменного разрешения от СПбГУТ. По вопросам приобретения неисключительных прав и использования журнала обращайтесь по тел. (812) 326-31-63, доб. 1388 или itt@spbgt.ru. Ссылка на первоисточник обязательна.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Settler and publisher The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications

Address of the Settler and Publisher, Editorial Office: 193232, Russia, St-Petersburg, Prospekt Bolshevikov 22-1

Electronic representative of the Journal
www.itt.sut.ru, e-mail: itt@spbgt.ru

The Journal is included in Russian Science Citation Index (www.elibrary.ru RINTS or Science index)

The electronic scientific journal has review institute
Free price

International Edition

Chilamkurti N., PhD, Senior Member of IEEE, La Trobe University, Australia

Giambene G., PhD, Senior Member of IEEE, University of Siena, Italy

Hosek J., PhD, Brno University of Technology, Czech Republic

Pignaton de Freitas E., PhD, The Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil

Seilov Sh., Dr. Of Science, (Economics), president of Academy of infocommunications, Kazakhstan

Sudheer S. K., PhD, University of Kerala, India

Editorial Office

Bachevsky S., editor-In-chief, Dr. Of Science, (Eng-ing), professor
Koucheryavy A., deputy editor-In-chief, Dr. Of Science, (Eng-ing), professor

Vladyko A., CEO & Science Editor, Cand. Of Science, (Eng-ing)

Minakov L., COO & CIO

Anikevich E., literary editing, Cand. Of Science, (Eng-ing)

Anikevich E., proofreading, page proofs

Минимальные системные требования для просмотра издания: тип компьютера, процессор, сопроцессор, частота: Pentium IV и выше или аналогичное; оперативная память (RAM): 256 Мб и выше; необходимо на винчестере: не менее 64 Мб; ОС MacOS, Windows (XP, Vista, 7) или аналогичное; видеосистема: встроенная; дополнительное ПО: Adobe Reader версия от 7.X или аналогичное. Защита от незаконного распространения: реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat.

В оформлении обложки была использована иллюстрация, расположенная по адресу <https://www.colourbox.com/image/optical-fibers-lights-speeding-on-dark-background-around-the-digital-earth-globe-image-1765062>

Подписано в печать 01.06.2015.
Опубликовано на www.itt.sut.ru 30.06.2015.
Заказ № 017-ИТТ-2015. www.itt.sut.ru

© СПбГУТ
© Л. М. Минаков, оформление

СОДЕРЖАНИЕ

4 ПРЕДИСЛОВИЕ ВЫПУСКАЮЩЕГО РЕДАКТОРА

СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

- 5 Пирмагомедов Р. Я., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е.
Бактериальные наносети
- 11 Киричек Р. В., Маколкина М. А., Шаньгина Д. А., Шолохов А. А.
Перспективы развития видеослужб с распознаванием эмоций
- 20 Владыко А. Г., Киричек Р. В., Великоречин М. А., Думин Д. И.
Комплексная методика тестирования фрагмента
программно-конфигурируемой сети
- 30 Бондарев А. Н., Киричек Р. В.
Разработка программного обеспечения
для сервера беспроводной сенсорной сети
- 44 Гимадинов Р. Ф., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е.
Кластеризация в мобильных сетях 5G. Случай частичной мобильности
- 53 Костык И. Н., Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В.
Сравнение эффективности позиционирования для сетей Bluetooth,
WiFi и ZigBee
- 62 Гимранов Р. Р., Киричек Р. В., Шпаков М. Н.
Технология межмашинного взаимодействия LORA

РАДИОТЕХНИКА, В ТОМ ЧИСЛЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕВИДЕНИЯ

- 74 Биккенин Р. Р., Андрюков А. А., Бескин Д. А.
Автокорреляционная обработка сигналов с расширенным спектром
и относительной фазовой модуляцией на удлинённом интервале
в условиях помех, похожих на сигнал
- 86 Бучатский А. Н., Куликов С. П.
Программная модель передающей части системы
цифрового эфирного телевидения DVB-T2

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

- 93 Динь Ч. З., Киричек Р. В., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е.
Имитационная модель инсталляции сенсоров с квадрокоптера
на заданной территории
- 101 Алексеева Д. Д., Маколкина М. А.
Обзор технологии дополненной реальности
- 111 Хлызов А. И., Суродеева Е. В., Киричек Р. В.
Программное обеспечение для интеллектуальной обработки данных
от беспроводных сенсорных сетей
- 120 Шолохов А. А., Толочный Н. В., Кучерявый А. Е.
Анализ стандартов в сфере электронного здравоохранения

ЭКОНОМИКА В ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

- 129 Макаров В. В., Гусев В. И., Сеница С. А.
Концептуальные подходы к оценке интеллектуальной собственности
на информационные ресурсы

ПРЕДИСЛОВИЕ ВЫПУСКАЮЩЕГО РЕДАКТОРА

Вашему вниманию предлагается десятый номер журнала «Информационные технологии и телекоммуникации». Маленький юбилей журнал встречает публикацией результатов новейших исследований в области сетей и систем связи, радиотехники, системного анализа и экономики в инфотелекоммуникациях. Как уже устоялось в последнее время, в центре внимания авторов – Интернет Вещей IoT (Internet of Things) и его приложения. Это и не удивительно, поскольку концепция Интернета Вещей общепризнанно является ключевой в развитии сетей и систем связи. Подтверждением сказанному является создание весной 2015 года новой Исследовательской Комиссии (ИК) номер 20 Сектора Стандартизации Телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т). В центре внимания этой ИК20 – функциональная архитектура IoT, приложения и услуги, сигнализация и протоколы, совместимость различных сетей и услуг при внедрении концепции IoT, Интернет Вещей для умных городов и сообществ.

Все эти вопросы в той или иной мере отражены в статьях для таких приложений IoT как сенсорные сети, летающие сенсорные сети, электронное здравоохранение, бактериальные наносети. Как видим, это все новые исследовательские вопросы, что и объясняет наличие большого числа молодых авторов. Интернет Вещей – это будущее сетей и систем связи, и молодым авторам, в первую очередь, его создавать и повсеместно внедрять.

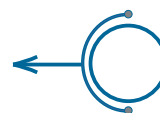
В номере отражены и другие направления развития сетей и систем связи, в том числе неизвестные ранее методы оценки предоставления видеоуслуг на основе распознавания эмоций, технологии дополненной реальности, программно-конфигурируемые сети.

В части исследований по радиотехнике представлены статьи по автокорреляционной обработке сигналов с расширенным спектром и программной модели для системы цифрового эфирного телевидения, расширяющие имеющиеся научные достижения в данных областях знаний. В экономике инфотелекоммуникаций авторы сосредоточили свое внимание на концептуальных подходах к оценке интеллектуальной собственности.

Читайте, расширяйте свой кругозор и присылайте статьи в редакцию.

Заместитель главного редактора,
д.т.н., профессор

А.Е. Кучерявый



СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 004.738

Р. Я. Пирмагомедов

R. Y. Pirmagomedov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

Р. В. Киричек

R. V. Kirichek

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

А. Е. Кучерявый

A. E. Koucheryavy

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ НАНОСЕТИ

BACTERIAL NANONETWORKS

Все больший интерес исследователей вызывают возможности, которые открываются благодаря синергии биологии и техники. Одним из примеров этого служит концепция «Интернета биологических нановещей», ставящая своей целью объединение в телекоммуникационную сеть живых микроорганизмов. В данном докладе рассматриваются некоторые аспекты и возможности телекоммуникационных сетей, базирующихся на использовании бактерий.

Increases interest to opportunities that gives us the synergy of biology and technology. One example of this, is the concept of the "Internet of biological nano things" whose aim is the integration of living organisms into telecommunications network. In this report are considered some aspects and possibilities of telecommunication networks based on the use of bacteria.

бактериальные сети, интернет нановещей, наносети, Интернет Вещей, молекулярные сети.

bacterial networks, internet of nano things, nano networks, internet of things, molecular networks.

Развитие концепции интернета вещей и нанотехнологий привело к их симбиозу и появлению нового термина – «Интернет нановещей» [1, 2]. Идея интернета нановещей лежит в русле концепции создания глобального, всепроникающего информационного пространства и предполагает объединение в телекоммуникационную сеть наномашин. Наномшины – это

устройства, основанные на использовании уникальных свойств наноматериалов и наночастиц для определения и измерения характеристик процессов, протекающих в наномире.

Экспериментальное получение графена и его уникальные свойства послужили мощным импульсом для совершенствования электронных компонентов в результате которого появилась возможность создавать миниатюрные электронные устройства (наномашин) обладающие при этом существенными вычислительными способностями. В работах I. Akyildiz предложена модель электронной наномашинной основанной на использовании инновационных наноматериалов (рис. 1), обладающей несмотря на миниатюрные размеры встроенным электрогенератором, процессором, памятью, радиоинтерфейсом и набором сенсоров и актуаторов.

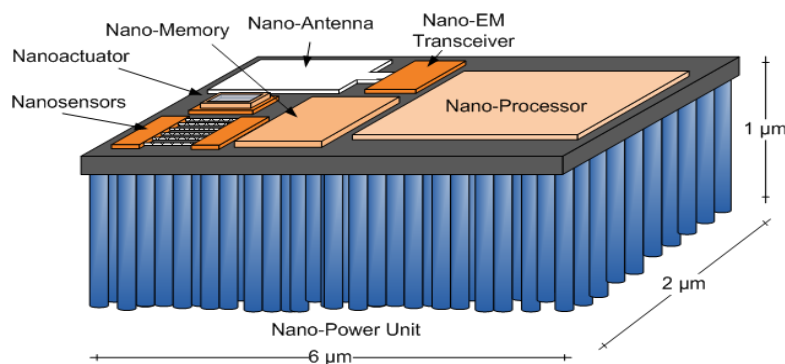


Рис. 1. Пример электромагнитной наномашинной

Конструирование наномашин не ограничено только лишь использованием электронных компонентов. Активно исследуются возможности использования живых микроорганизмов, для организации сети передачи данных.

Из [3] следует, что в структуре микроорганизмов можно выделить элементы схожие по функциональным особенностям с компонентами электронных наномашин. Для примера, в таблице 1, приведены аналогии между некоторыми элементами клетки и компонентами наномашинной построенной на электронных компонентах.

ТАБЛИЦА 1. Элементы биологической клетки и компоненты электронных наномашин

Элементы биологической клетки	Компоненты электронной наномашинной
Ядро	Память
Рибосомы	Процессор
Митохондрия	Источник электропитания
Щелевые каналы в оболочке клетки	Трансивер
Химические рецепторы	Сенсоры

Из чего можно сделать вывод, что биологическая клетка также является своеобразной наномашинкой и может с некоторыми оговорками выступать в качестве узла телекоммуникационной сети.

Из известных научных источников следует, что для передачи информации может быть использован достаточно обширный спектр биологических структур. В [4] предлагается использовать молекулярные моторы для передачи молекул с закодированным сообщением. Этот вид коммуникации требует наличия направляющих нитей между передатчиком и приемником, вдоль которых осуществляется движение молекулярного мотора. По некоторым оценкам, расстояние передачи для такого способа ограничивается микрометрами. В [5, 6] рассмотрены вопросы использования для передачи данных, процессов молекулярного обмена между клетками посредством щелевых каналов. Этот способ наравне с молекулярными роторами позволяет передавать информацию на небольшие расстояния нанометры/микрометры, однако в отличие молекулярных моторов не требует наличия направляющих линий.

Отдельно стоит отметить исследования, посвященные использованию бактерий для передачи данных. Сети передачи данных с использованием бактерий иногда называют – бактериальные сети. Вопросы организации и функционирования бактериальных сетей рассматриваются в [3], [4], [7]. Предложенные модели бактериальных сетей используют бактерии в качестве переносчика информации, сама информация кодируется в небольшие молекулы ДНК (Дезоксирибонуклеиновая кислота), физически отдельные от геномных хромосом – плазмиды (рис. 2).

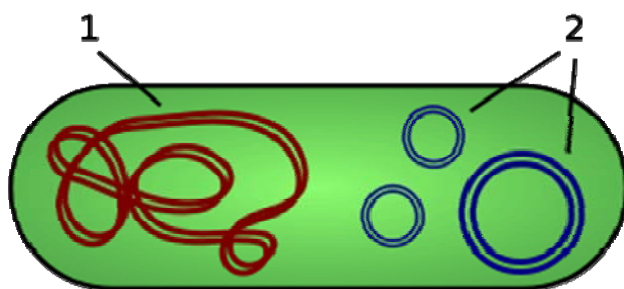


Рис. 2. Молекулы ДНК в бактерии (1) – геномные хромосомы, (2) – плазмиды

Информация в плазмиде кодируется при помощи последовательности нуклеотидов. По некоторым оценкам в один плазмид можно закодировать до 600 Кбайт данных. Следующим этапом является вставка плазмиды с закодированным сообщением в бактерию. Для решения этой задачи рассматриваются два возможных способа, первый – процесс трансформации, который заключается в поглощении бактерией свободной молекулы ДНК из внешней среды, второй – процесс конъюгации, который представляет собой однонаправленный перенос плазмиды при непосредственном контак-

те двух бактериальных клеток (рис. 3). Для осуществления передачи плазмиды при помощи конъюгации необходимо, чтобы между взаимодействующими субъектами было установлено соединение при помощи специальных каналов (piliconnection). При помощи процесса конъюгации можно также и изъять из бактерии плазмид с сообщением.

После того как плазмид с сообщением помещен в бактерию, возникает вопрос, каким образом обеспечить доставку этого сообщения к приемнику? Для решения этой задачи, необходимо создать стимул для бактерии перемещаться в сторону приемника. В качестве стимула могут быть использованы различные типы воздействий, тип и характер которых зависит от разновидности бактерий. В качестве подобных стимулов, могут выступать химические воздействия, магнитное поле, световое излучение и т. д.

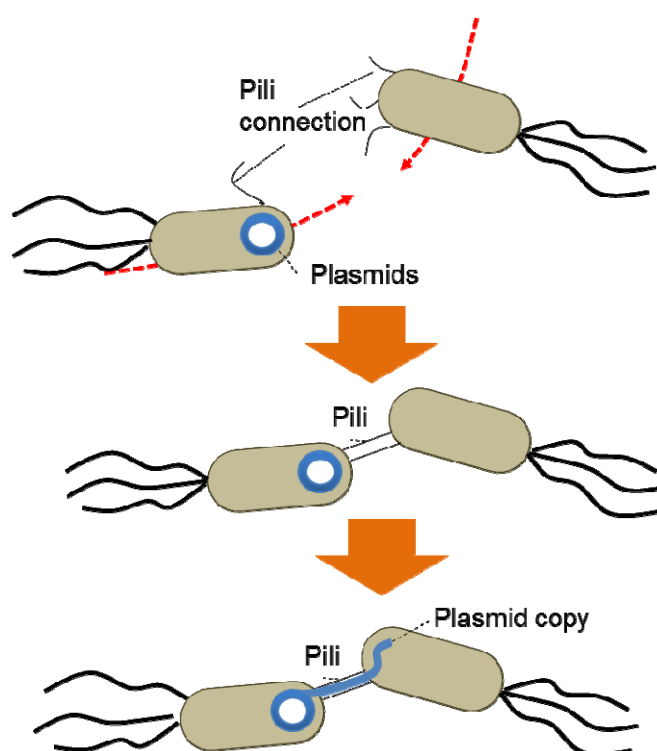


Рис. 3. Процесс конъюгации между бактериями

После того как плазмид с сообщением помещен в бактерию, возникает вопрос, каким образом обеспечить доставку этого сообщения к приемнику? Для решения этой задачи, необходимо создать стимул для бактерии перемещаться в сторону приемника. В качестве стимула могут быть использованы различные типы воздействий, тип и характер которых зависит от разновидности бактерий. В качестве подобных стимулов, могут выступать химические воздействия, магнитное поле, световое излучение и т. д.

В [7] приведены численные оценки характеристик передачи сообщения при помощи бактерий, с использованием процесса конъюгации. Симуляция проводилась для двух типов канала (рис. 4).

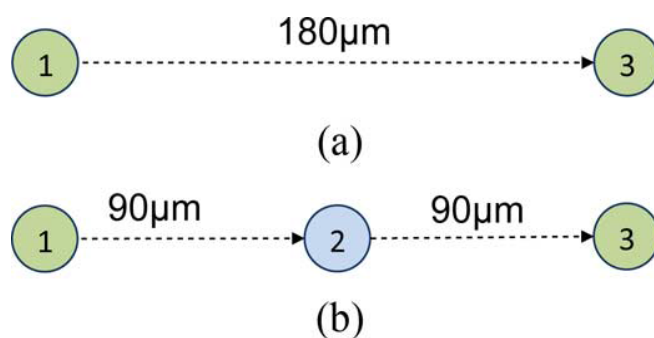


Рис. 4. Однопролетный (a) и двухпролетный (b) каналы

Некоторые характеристики передачи, рассчитанные в процессе симуляции, приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Характеристики передачи сообщений при помощи бактерий

Тип канала	Среднее количество сообщений, достигших приемника	Среднее время передачи сообщения (сек)
Однопролетный	0,02	299,96
Двухпролетный	0,21	34621,5

Как видно из таблицы, параметры передачи, не позволяют на данном этапе, рассматривать использование подобных сетей для передачи трафика не толерантного к задержкам и потерям. Для внедрения рассмотренных моделей в практику, необходимо решить ряд ключевых задач:

- повысить среднее время передачи сообщения и снизить количество потерь до уровня сопоставимого с традиционными сетями связи;
- разработать автономные устройства (шлюзы) для сопряжения биологических сетей с традиционными сетями связи;
- разработать механизмы маршрутизации;
- разработать механизмы кодирования и фильтрации информации.

Решению этих задач будут посвящены дальнейшие исследования в данной области.

Библиографический список

1. **Кучерявый А. Е.** Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с.
2. **Кучерявый Е. А.** Интернет нановещей и наносети / Е. А. Кучерявый, С. Баласубраманиям // Электросвязь. – 2014. – № 4. – С. 24–26.
3. **Akyildiz I. F.** The internet of nanothings / I. F. Akyildiz, M. Pierobon, S. Balasubramaniam, Y. Koucheryavy // IEEE Communications Magazine – Communications Standards Supplement, 2015, March.
4. **Gregori Maria** A New NanoNetwork Architecture Using Flagellated Bacteria and Catalytic Nanomotors / Maria Gregori, Ian F. Akyildiz // IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 28, No. 4, May 2010. – PP. 612–619.

5. **Baris Atakan** Body Area NanoNetworks with Molecular Communications in Nanomedicine / Baris Atakan, Ozgur B. Akan, SasitharanBalasubramaniam // IEEE Communications Magazine, 2012, January. – PP. 28–34.

6. **Mehmet S. Ükrü Kuran** Calcium signaling overview and research directions of a molecular communication paradigm / Mehmet S. Ükrü Kuran, Tuna Tugcu, Özerman Edis // IEEE Wireless Communications, 2012, October. – PP. 20–27.

7. **Balasubramaniam Sasitharan** Multi-Hop Conjugation Based Bacteria Nanonetworks / Sasitharan Balasubramaniam, Pietro Lio // IEEE Transactions on nanobioscience, Vol. 12, No. 1, 2013, March. – PP. 47–59.

References

1. **Kucherjavyj A. E.** Samoorganizujushhiesja seti / A. E. Kucherjavyj, A. V. Prokop'ev, E. A. Kucherjavyj. – SPb. : Ljubavich, 2011. – 312 s.

2. **Kucherjavyj E. A.** Internet nanoveshhej i nanoseti / E. A. Kucherjavyj, S. Balasubramaniam // Electrosvyaz. – 2014. – № 4. – S. 24–26.

3. **Akyildiz I. F.** The internet of nanothings / I. F. Akyildiz, M. Pierobon, S. Balasubramaniam, Y. Koucheryavy // IEEE Communications Magazine – Communications Standards Supplement, 2015, March.

4. **Gregori Maria** A New NanoNetwork Architecture Using Flagellated Bacteria and Catalytic Nanomotors / Maria Gregori, Ian F. Akyildiz // IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 28, No. 4, May 2010. – PP. 612–619.

5. **Baris Atakan** Body Area NanoNetworks with Molecular Communications in Nanomedicine / Baris Atakan, Ozgur B. Akan, SasitharanBalasubramaniam // IEEE Communications Magazine, 2012, January. – PP. 28–34.

6. **Mehmet S. Ükrü Kuran** Calcium signaling overview and research directions of a molecular communication paradigm / Mehmet S. Ükrü Kuran, Tuna Tugcu, Özerman Edis // IEEE Wireless Communications, 2012, October. – PP. 20–27.

7. **Balasubramaniam Sasitharan** Multi-Hop Conjugation Based Bacteria Nanonetworks / Sasitharan Balasubramaniam, Pietro Lio // IEEE Transactions on nanobioscience, Vol. 12, No. 1, 2013, March. – PP. 47–59.

Пирмагомедов Рустам Ярахмедович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», lts.pto@yandex.ru

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», akouch@mail.ru

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», kirichek@sut.ru

УДК 004.93**Р. В. Киричек**

R. V. Kirichek

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**М. А. Маколкина**

M. A. Makolkina

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**Д. А. Шаньгина**

D. A. Shangina

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**А. А. Шолохов**

A. A. Sholokhov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИДЕОУСЛУГ
С РАСПОЗНАВАНИЕМ ЭМОЦИЙ****DEVELOPMENT PERSPECTIVES OF VIDEO SERVICES
WITH EMOTION RECOGNITION**

Объем видеотрафика в современных сетях настолько велик, что уже нельзя отрицать его влияние на общую структуру трафика. По этой причине необходимо пересмотреть подходы к построению сетей связи и оценки качества предоставляемых услуг. Качество восприятия предлагает набор факторов, включающих в себя как объективные показатели, так и влияние особенностей человека, например, культурного фона, настроения, эмоций. В данном исследовании предлагается метод оценки качества восприятия с применением распознавания эмоций. Также показаны результаты начального этапа тестирования данного метода и определения зависимости между показателем Хёрста и субъективной оценкой качества. Результаты исследования расширяют знания в области оценки качества восприятия.

The amount of video traffic in modern networks is huge enough to influence to the whole structure of network traffic, thus approaches to networks designing and to quality of service assessment should be rethought. Quality of experience suggests an approach which uses a number of factors, such as impersonal, objective parameters and subjective parameters of personality, i. e., cultural background, mood, emotions. This paper suggests an approach for estimating quality of experience through emotion recognition. Also the results of initial testing and determining of relations between Hurst exponent and subjective quality assessment are shown. The results expand knowledge in the field of quality of experience assessment.

QoE, *IPTV*, эмоции, субъективные параметры оценки качества обслуживания, камера *Real Sense*, параметр Хёрста.

QoE, *IPTV*, emotions, subjective parameters of quality of service assessment, *RealSense* camera, Hurst exponent.

Введение

В наше время в сфере предоставления мультимедийных услуг растёт важность субъективной оценки качества. Очевидно, что конечным звеном потребления является не терминальное устройство, а непосредственно пользователь, потребитель, а значит, необходимо оценивать не только технические характеристики, не только объективные параметры при оценке качества предоставляемых услуг, но и субъективное отношение, впечатления пользователя при потреблении контента. Необходимо также учитывать, что требования пользователя к качеству контента непрерывно растут, а значит, уже существующих методов оценки качества услуг недостаточно, нужно находить индивидуальный подход к каждому пользователю. Таким образом, идея качества обслуживания в наши дни расширяется от обеспечения оптимальных технических характеристик (задержек, джиттера, потерь, полосы пропускания) в направлении обеспечения высокого качества восприятия для конкретного пользователя услуг. Иначе говоря, пришло время расширить список оцениваемых параметров качества такими пунктами как внимание, соответствие ожиданиям пользователя, эмоции и т. п.

Общие понятия

В последнее время большую популярность получил показатель *QoE* (*Quality of Experience*) [12] или качество восприятия услуги пользователем. *QoE* является более широким показателем, чем *QoS* (*Quality of Service*), потому что определяется не только параметрами сети или качеством предоставляемого контента, но и учитывает удобство использования системы, содержание контента и ожидания пользователя. Определение качества восприятия *QoE* представляется в [9] как общий показатель качества приложения или услуги, воспринимаемый субъективно конечным пользователем, т. е. он оценивает степень удовлетворенности пользователя услугой. *QoE* – уровень положительных/ отрицательных эмоций (восторга/раздражения) пользователя приложения или услуги. Зависит от того, оправданы ли ожидания пользователя в отношении полезности/развлекательного характера контента в зависимости от личности и текущего состояния пользователя [13].

Оценку качество восприятия можно разделить на три уровня [14]:

1. Чувственная оценка (т. е. оценка органами чувств) – насколько пользователя устраивают такие характеристики контента (видео) как резкость, яркость, натуральность, отсутствие артефактов (дефектов) в видеоизображении и так далее, то есть внешние, аудиовизуальные характеристики контента.

2. Оценка восприятия (как воспринимается содержимое контента, осознание и осмысление увиденного) – насколько пользователя устраивает то, что он получает от контента, например, объем знаний, их новизна, степень

познавательности, количество полезной информации, её доступности, отвечает ли контент целям пользователя.

3. Эмоциональная оценка (какие чувства испытывает пользователь) – какие эмоции вызывает предоставляемый контент, какова интенсивность этих эмоций. Очевидно, что контент неудачно представлен, неправильно позиционирован, если вместо того, чтобы вызывать счастье и улыбку, он вызывает у пользователя печаль или злость.

Качество восприятия складывается из этих трёх частей, при этом может иметь место вариант, при котором, скажем, чувственная оценка была высокой, то есть видео было высокого качества, приятно глазу, однако содержание его не отвечает ожиданиям пользователя. Таким образом, необходимо стремиться к разностороннему учёту всех характеристик, так или иначе связанных с восприятием и его оценкой пользователем.

Проблематика

Способы повышения качества восприятия различны, например, добавление подходящего музыкального сопровождения к видео или адаптация цветовой гаммы изображения с целью производить более холодный или более тёплый эффект. Также, учитывая эмоциональную составляющую пользовательской оценки качества контента, мы можем освободить полосу пропускания, передавая подробно только часть изображения, на которой в данный момент заострено внимание пользователя, скажем, волнительный разговор героев фильма или момент попадания футбольного мяча в ворота (в таких ситуациях мы можем передавать второстепенные части изображения с меньшей детализацией, практически не теряя в пользовательской оценке качества – потребитель не обратит внимания на предметы второго плана, не относящиеся непосредственно к происходящему на экране).

Проблемой на данном этапе является нахождение способов оценки субъективных параметров. Одним из вариантов является метод экспертной оценки, при котором пользователи тестируют контент на предмет эмоций, которые он вызывает, общего впечатления во время и после просмотра и так далее. Предполагается, что если человек испытывает положительные эмоции (например, футбольная команда, за которую он болеет, выигрывает), то, при прочих равных, его оценка качества восприятия будет выше. Таким образом, если контент насыщен яркими положительными событиями, если на них грамотно сделан акцент – даже при некотором ухудшении характеристик контента общая субъективная оценка будет высокой. Большого эффекта можно добиться, связав объективные и субъективные параметры качества обслуживания. Исследованием в этом направлении мы в ближайшее время планируем заниматься.

Выбранный способ решения задачи

Для исследования взаимосвязи объективных показателей QoS и субъективных QoE , а также их взаимосвязи с параметром Хёрста был проведен эксперимент. Во время эксперимента передаваемое видео оценивалось субъек-

тивным методом, согласно Рекомендации МСЭ-Т ВТ-500-13 [10], по пятибалльной шкале, и параллельно проводился расчет параметра Хёрста, характеризующего степень самоподобия трафика и определялась эмоция.

Для оценки субъективных параметров, на данном этапе – эмоций, мы будем использовать новую камеру от Intel – *RealSense 3D Camera*.

Камера *Intel RealSense 3D* включает в себя модуль 3D- и 2D-камеры и позволяет цифровому устройству «смотреть» в глубину так же, как это делает человеческий глаз. Камера *RealSense 3D Camera* представлена на рис. 1. Она обладает лучшим в своем классе датчиком глубины сцены и сенсором с разрешением 1080p, способна сканировать предметы и получать их трехмерное изображение, различать передний и задний планы, распознавать сложные жесты вплоть до движения пальцев, мимику и черты лица для «расшифровки» эмоций.

Камера оснащена тремя линзами: обычной камеры, инфракрасной камеры и инфракрасного лазерного проектора.



Вместе эти три линзы позволяют устройству определять пространственные параметры посредством отслеживания отражения инфракрасного излучения от объектов, находящихся перед устройством.

Эти визуальные данные в сочетании с ПО *Intel® RealSense™* для отслеживания движения создают бесконтактный интерфейс, который реагирует на движения пальцев, рук и головы, а также на изменение выражения лица.

Возможности камеры:

- Отслеживание 22 точек на руках и пальцах с определением трехмерных позиций, которые могут быть задействованы для управления приложением.
- Определение присутствия лица человека в диапазоне работы видеокамеры.
- Распознавание 78 элементов мимики лица для повышения степени точности.
- Распознавание и синтез речи (при помощи встроенного микрофона).
- Фоновая сегментация. Окружающая обстановка может быть изменена простой заменой заднего фона.

С помощью этой камеры можно определять, какую эмоцию в данный момент выражает лицо – радость, грусть, страх, злость и т. д. Таким образом, мы планируем захватывать эмоции пользователя при просмотре контента с заданными объективными характеристиками, а затем провести анализ и попытаться связать эмоции, зафиксированные при помощи указанной камеры и *Software Developer Kit* для неё, оценку пользователем своих ощущений и объ-

ективные параметры видеопотока, передававшегося в данный момент (кодек, потери, задержки и т. д.).

Структура стенда

Чтобы иметь возможность однозначно соотнести текущие объективные характеристики трафика с эмоциями пользователя, качество видеопотока мы должны настраивать сами. Пользователю показывается один и тот же видеоряд с разными показателями задержек, джиттера, разными кодеками. Задержки и потери вносятся эмулятором ухудшения сетевых характеристик *NetDisturb*, имеющимся в нашей лаборатории. Таким образом, на некотором сервере запускается передача видео с определённым кодеком через *NetDisturb* на пользовательское устройство. Схема лабораторного стенда представлена на [рис. 2](#). В результате мы можем сравнить объективные и субъективные результаты оценки качества предоставления мультимедиа услуг.

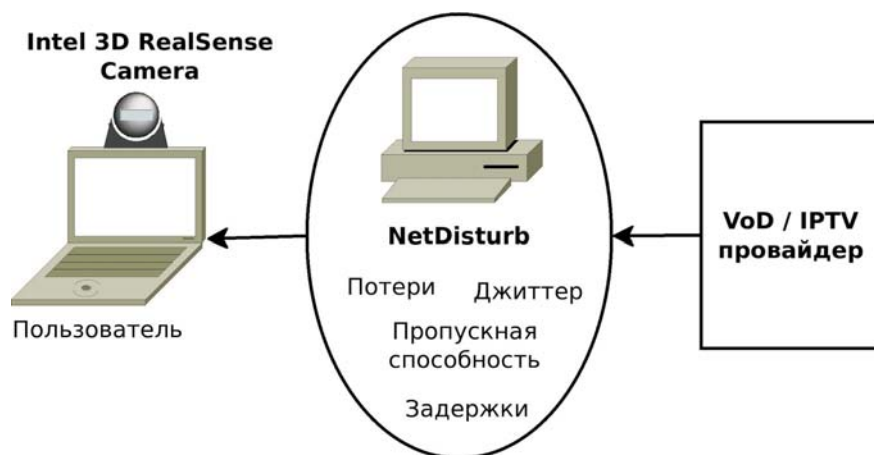


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

Интерфейс программы для анализа субъективных и объективных параметров оценки, написанной на языке программирования *C#*, как на одном из поддерживаемых *RealSense SDK* языков (помимо *C#*, поддерживаются также *C++* и *Java*, но для последнего на данный момент не реализована поддержка распознавания эмоций), показан на [рис. 3](#). В верхней части окна расположен мультимедийный плеер, в котором воспроизводится транслируемая с сервера видеопоследовательность с заданными параметрами качества обслуживания. Это основная часть пользовательского интерфейса программы. В левой нижней части находится таблица соответствий субъективной оценки эксперта, его эмоций и объективного показателя – в нашем случае показателя Хёрста – индикатора степени самоподобия сетевого трафика. Исследования показывают, что видео трафик для большинства видов услуг является самоподобным. При этом известно, что показатели сети, в частности задержки и потери, изменяются с увеличением степени самоподобия. Учет самоподобных свойств видео трафика может предоставить возможность более точной оценки и воспроизведения видеопоследовательности, что в свою очередь позволит улучшить

методы оценки качества передачи видео и получить показатели QoE , близкие к реально наблюдаемым [11].

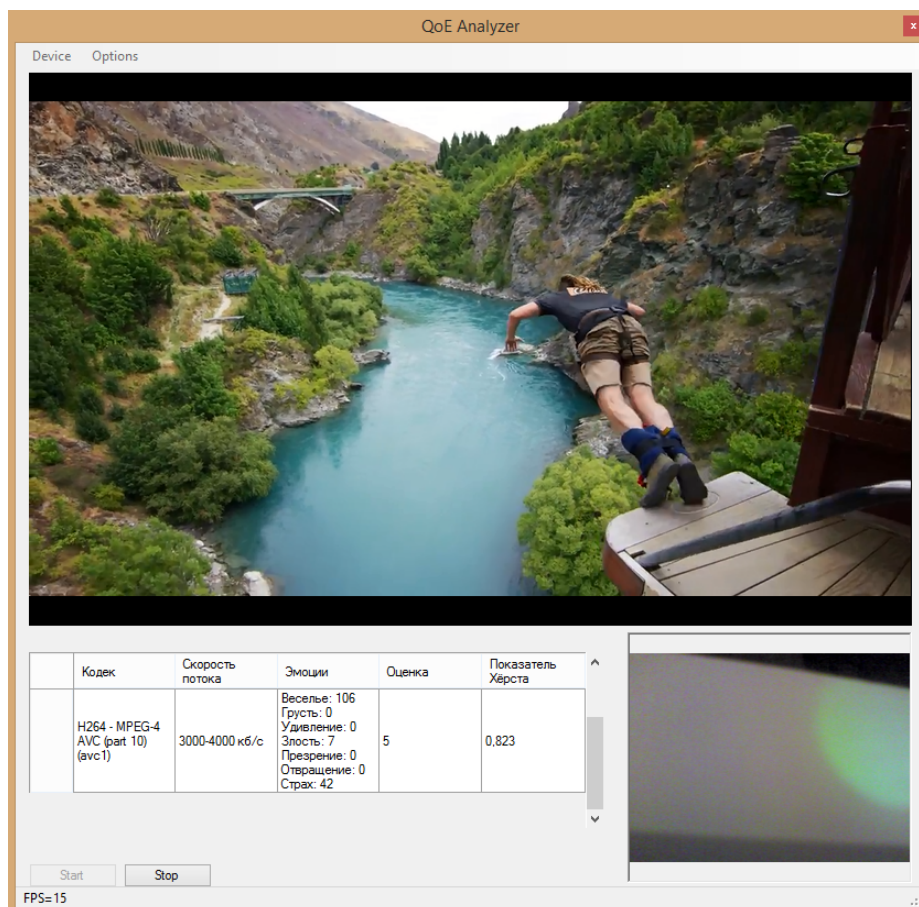


Рис. 3. Интерфейс программы

Также будут учитываться сетевые характеристики, эмулируемые с помощью *NetDisturb*. В правом нижнем углу окна во время просмотра тестовой последовательности отображается видео с камеры *Intel RealSense*, а также указываются эмоции, которые в данный момент выявлены у пользователя. Также в данной версии программы предоставлена возможность выбрать заранее подготовленное видео с известными характеристиками, чтобы обеспечить работоспособность и непрерывность тестирования в случае возникновения неполадок с каким-либо из серверов.

На данном этапе реализована возможность просмотреть полную видеопоследовательность с установленными объективными характеристиками, такими как кодек и скорость потока, однако планируется также добавить возможность динамически менять такие характеристики внутри одной и той же (по крайней мере, визуально, для эксперта) видеопоследовательности для того, чтобы отслеживать изменения эмоций, исключая погрешность из-за скуки и заранее сформированных ожиданий эксперта вследствие повторного просмотра тестового контента.

Графа «Оценка» в таблице, представленной на рис. 4, отображает оценку, поставленную пользователем самостоятельно после просмотра тестового видеоряда. Данный метод – метод экспертной оценки – добавлен для более пол-

ного охвата всех параметров качества услуги, а также позволяет в некоторой мере проверить собранную статистику по эмоциональному состоянию потребителя во время просмотра.

Кодек	Скорость потока	Эмоции	Оценка	Показатель Хёрста	Помехи
H264 - MPEG-4 AVC (part 10) (avc1)	3000-4000 кб/с	Веселье: 89% Грусть: 0% Удивление: 9% Злость: 0% Презрение: 0% Отвращение: 0% Страх: 0%	5	0,823	Потери: – Джиттер: – Задержки: 100 мс Полоса пропускания –

Рис. 4. Таблица результатов

По окончании просмотра видео эксперту предлагается выставить свою оценку просмотренному контенту по пятибалльной шкале на основе собственных ощущений от просмотра:

- 5 – помех не было замечено, качество контента отличное;
- 4 – было замечено небольшое количество помех, не повлиявших существенно на качество восприятия контента, не вызвавших раздражения и других негативных эмоций во время просмотра;
- 3 – помехи появлялись регулярно и оказывали слабый отрицательный эффект на качество видео и уровень комфорта пользователя;
- 2 – качество видео было ниже среднего, помехи раздражали;
- 1 – качество было очень плохим, смотреть видео было практически невозможно, просмотр вызвал сильное раздражение.

По завершении разработки необходимого ПО было проведено тестирование на группе людей, не имеющих отношения к оценке качества восприятия, и не участвовавших ранее в подобных экспериментах. Тестируемым было продемонстрировано 5 видеопоследовательностей одинакового содержания, но с различным уровнем внесённых помех. Результаты показали, что чем выше был показатель Хёрста, тем выше был процент положительных эмоций и итоговая пользовательская оценка видео. Безусловно, некоторые искажения в результаты тестирования вносит факт того, что зрителям предлагается к просмотру одно и то же видео несколько раз, и на третьем-четвёртом просмотре оно уже не вызывает ярко выраженных эмоций. К тому же необходимо провести тестирование контента с различным содержанием: образование, драма, триллер, юмор, дикая природа, реклама и т. п. Очевидно, что если провести достаточно большое количество экспериментов, можно будет оперировать статистическими данными как достоверными в приемлемой степени. Данное исследование планируется продолжать с целью сбора необходимого количества данных и дальнейшего их анализа.

Заключение

В данной статье был проведён обзор развивающегося в настоящее время направления оценки качества обслуживания, именуемого сегодня как качество восприятия. Указанное направление востребовано в сфере предоставления IP-телевидения, так как наблюдается повышение интереса к данным технологиям в результате конкурентной борьбы за потребителя, повышаются требования потребителей к качеству, интуитивности и интерактивности контента. Таким образом, операторы вынуждены искать новые методы дополнительной оценки качества предоставляемых ими услуг и повышения этого качества в как можно более сжатые сроки.

Динамическая оценка качества восприятия, оценка в реальном времени раскрывает новые эффективные способы достижения этой цели. Из этого можно сделать вывод, что своевременное определение субъективных параметров качества для каждого пользователя и их правильный анализ являются перспективными направлениями исследований.

Библиографический список

1. **Требования** к качеству восприятия для IPTV: Рекомендация ITU-T G.1080. – 2008.
2. **Боронин П. Н.** Интернет Вещей как новая концепция развития сетей связи / П. Н. Боронин, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 7–30.
3. **Методика** субъективной оценки качества телевизионных изображений: Рекомендация ITU-R BT.500-13. – 01/2012.
4. **Маколкина М. А.** Взаимосвязь субъективных оценок качества восприятия видео и значений параметра Херста / М. А. Маколкина // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 1.1 (55). – С. 169–172.
5. **Гольдштейн Б. С.** Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
6. **Ометов А. Я.** О роли беспроводных технологий связи в развитии Интернета Вещей / А. Я. Ометов, Е. А. Кучерявый, С. Д. Андреев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 31–40.
7. **Кучерявый А. Е.** Интернет Вещей / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
8. **Кучерявый А. Е.** Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей / А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 29–41.
9. **Кучерявый А. Е.** Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый.. – М. : Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 296 с.
10. **Кучерявый А. Е.** Летающие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый, А. Г. Владыко, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, И. А. Богданов, А. А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2014. – № 9. – С. 2–5.
11. **Кучерявый А. Е.** Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с.
12. **Recommendation G.1011.** Reference Guide to Quality of Experience Assessment Methodologies. ITU-T, Geneva, May 2013.
13. **Patrick Le Callet**, Sebastian Möller, and Andrew Perks (eds). Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience, 2012.

14. **Pereira F., Burnett I.** "Universal multimedia experiences for tomorrow", IEEE Signal Proc. Mag., Special Issue on Universal Multimedia Access, vol.20, n° 2, PP. 63–73, March 2003.

Referencis

1. **Requirements** to quality of perception for IPTV: Recommendation of ITU-T G.1080. – 2008.
2. **Boronin P. N.** Internet of Things as new concept of development of communication networks / P. N. Boronin, A. E. Kucheryavy // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 7–30.
3. **Technique of** subjective appraisal of quality of television pictures: Recommendation of ITU-R BT.500-13. – 01/2012.
4. **Makolkina M. A.** Correlation of subjective appraisals of quality of perception of video and parameter values of Hurst / M. A. Makolkina // Management systems and information technologies. – 2014. – № 1.1 (55). – PP. 169–172.
5. **Goldstein B. S.** Post-NGN communication networks / B. S. Goldstein, A. E. Kucheryavy. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2013. – 160 p.
6. **Ometov A. Ya.** About a role of wireless technologies of communication in development of the Internet of Things / A. Ya. Ometov, E. A. Kucheryavy, S. D. Andreyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 31–40.
7. **Kucheryavy A. E.** Internet of Things / A. E. Kucheryavy // Electrosvyaz.. – 2013. – No. 1. – PP. 7–30.
8. **Kucheryavy A. E.** Evolution of researches in the field of wireless sensor networks / A. E. Kucheryavy, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 4. – PP. 29–41.
9. **Kucheryavy A. E.** Communication networks public. Tendencies of development and methods of calculation / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, E. A. Kucheryavy. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 296 p.
10. **Kucheryavy A. E.** The flying sensor networks / A. E. Kucheryavy, A. G. Vladko, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev, I. A. Bogdanov, A. A. Dort-Golts // Electrosvyaz. – 2014. – No. 9. – PP. 2–5.
11. **Kucheryavy A. E.** The self-organizing networks / A. E. Kucheryavy, A. V. Prokopyev, E. A. Kucheryavy. – St. Petersburg: Lyubavich, 2011.
12. **Recommendation G.1011.** Reference Guide to Quality of Experience Assessment Methodologies. ITU-T, Geneva, May 2013.
13. **Patrick Le Callet**, Sebastian Möller, and Andrew Perks (eds). Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience, 2012.
14. **Pereira F., Burnett I.**, "Universal multimedia experiences for tomorrow", IEEE Signal Proc. Mag., Special Issue on Universal Multimedia Access, vol.20, nz 2, PP. 63–73, March 2003.

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», kirichek@sut.ru

Маколкина Мария Александровна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», makolkina@list.ru

Шаньгина Дарья Александровна – студентка факультета ИКСС Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», darya.shangina@gmail.com

Шолохов Артем Андреевич – студент факультета ИКСС Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», sholokhov.aa@gmail.com

УДК 621.391

А. Г. Владыко

A. G. Vladyko

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

Р. В. Киричек

R. V. Kirichek

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

М. А. Великоречин

M. A. Velikorechin

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

Д. И. Думин

D. I. Dumin

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ФРАГМЕНТА ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ

BENCHMARKING METHODOLOGY
OF SOFTWARE-DEFINED NETWORKS

В работе рассматривается комплексная методика тестирования модельной программно-конфигурируемой сети, включающая в себя тестирование по всем уровням модели *TCP/IP* и верификацию *OpenFlow*-коммутаторов.

This paper describes a benchmarking methodology for software-defined networks. Includes testing at all levels of *TCP/IP* model and verification of *OpenFlow* switches.

Методика тестирования, *SDN*, протокол *OpenFlow*, *Floodlight*-контроллер, *OpenFlow*-коммутатор.

Benchmarking methodology, *SDN*, *OpenFlow*, *Floodlight* controller, Open vSwitch.

Введение

Как известно [1–3], *SDN* – это идеология построения сетей, в которой весь интеллект сети вынесен на отдельную аппаратно-программную платформу, а все управление трафиком происходит на основе специальных протоколов, которые оперируют понятием «поток (*flow*)» и могут совер-

шать активные действия с ним. Фактически, *SDN*-контроллер определяет политику управления сетью на основе заданных правил, а также работу специализированных приложений (например, эмуляцию работы STP или протоколов маршрутизации). Результат работы такой системы управления передается на коммутаторы по протоколу *OpenFlow* в виде *flow*-таблиц, содержащих информацию о том, куда, как и какой трафик передавать.

С одной стороны, такой подход дает большую гибкость в управлении сетью и существенно упрощает администрирование. С другой стороны, появление новых технологий управления сетью сопровождается отсутствием методик их системного тестирования. В результате потенциальные потребители таких технологий не всегда могут оценить заявленные разработчиками технологические возможности.

Рекомендации международных организаций

Разработкой стандартов и спецификаций *SDN* занимаются большое число международных организаций [4], среди которых:

- *Open Networking Foundation (ONF)*;
- *Internet Engineering Task Force (ETF)*;
- *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*;
- *ITU-T* и др.

В рамках данного исследования наибольший интерес вызывают следующие документы, разработанные представленными выше организациями:

1) Спецификация тестов *ONF* на соответствие *OpenFlow*-коммутаторов – «*Conformance Test Specification for OpenFlow Switch Specification 1.0.1*» (06/2013); «*Conformance Test Specification for OpenFlow Switch Specification v. 1.3.4 – Basic Single Table Conformance Test Profile*» (ver. 1.0, 04/2015).

2) Методология тестирования *SDN*-контроллера, разработанная *IETF* – *Benchmarking Methodology for SDN Controller Performance* (ver. 01, 05/2015), позволяющая определить производительность, масштабируемость и отказоустойчивость контроллера.

Рынок программного обеспечения

Рынок коммерческого программного обеспечения, соответствующего отмеченным стандартам и спецификациям по тестированию *SDN*, представлен следующими продуктами:

- *Twister OpenFlow® test automation framework (Luxoft Holding, Inc.)*;
 - *IxNetwork (Ixia, Inc.)*;
 - *Veryx PktBlaster SDN Controller Test (Veryx Technologies, Pvt Ltd.)*
- и др.

Альтернативой для коммерческих решений является программное обеспечение с открытым кодом. Так, в рамках данной работы была реализована методика тестирования фрагмента *SDN* посредством *opensource*-решения *OFTest* (*Big Switch Networks, Inc.*).

Сценарий тестирования

Сценарий тестирования фрагмента *SDN* наследовал классические подходы, представленные в [5] и содержал следующие эпизоды:

- 1) тестирование элементов *SDN*-сети¹:
 - 1.1) тестирование коммутатора;
 - 1.2) тестирование контроллера².
- 2) тестирование сети из конца в конец на различных уровнях модели *TCP/IP*:
 - 2.1) тестирование на канальном уровне;
 - 2.2) тестирование на сетевом уровне;
 - 2.3) тестирование на транспортном уровне;
 - 2.4) тестирование на прикладном уровне.

Следует отметить, что в данной работе не проводилось тестирование безопасности *SDN*-сети. Данный вопрос, в силу своего объема, требует отдельного рассмотрения и может быть исследован, например, с использованием методики, представленной в [6].

Тестирование элементов сети

Тест 1. Тестирование *OpenFlow*-коммутаторов на соответствие.

Для теста использовалась программа *OFTest*, соответствующая стандарту тестирования на соответствие *OpenFlow*-коммутатора. Результаты тестирования для 4-х коммутаторов представлены в [таблице 1](#).

ТАБЛИЦА 1. Результаты тестирования *OpenFlow*-коммутаторов

Номер коммутатора	Число успешных тестов	Число отрицательных тестов
<i>swt1</i>	196	35
<i>swt2</i>	196	35
<i>swt3</i>	205	26
<i>swt4</i>	196	35

¹ тестирование элементов *SDN*-сети является необходимым при использовании нелицензированных средств типа *opensource*, установленных на имеющееся аппаратное обеспечение.

² тестирование контроллера было исключено из-за малых масштабов сети и типа выбранного контроллера (*Floodlight*).

Полученные в результате тестирования отрицательные тесты относятся к двум группам – тесты на поддержку стандарта *OpenFlow* 1.4 и тесты группы *bundlemessages* (последовательности запросов с контроллера, которые воспринимаются как одна операция). Отсутствие таких функций у коммутатора можно считать некритичной ошибкой.

Тестирование на канальном уровне

Тест 2. Оценка производительности сети *Ethernet* в соответствии с рекомендациями *ITU-T Y.1564* [7].

Рекомендации *Y.1564* опубликованы в 2011 году и ориентированы на тестирования мультисервисных сетей. Тестирование заключается в одновременной проверке всех сервисов. Все потоки запускаются одновременно, каждый на своей полной скорости. Тест продолжается в течение заданного периода времени (от нескольких минут до нескольких дней в зависимости от конкретных условий), при этом ведется одновременный индивидуальный мониторинг каждого сервиса. Тест считается успешным в случае, если за весь период тестирования всех сервисов при гарантированной скорости каждого, соответствует уровню *SLA*.

Оценим следующие параметры производительности сети:

- полосу пропускания – *IR*;
- потерю кадров – *FL*;
- задержку распространения кадров – *FTD*;
- отклонение *FTD* – *FDV*;
- доступность канала – *AVAIL*.

Параметры теста задавались исходя из ожидаемой производительности сети. Для теста использовались тестеры-анализаторы *MAKС-EM* и *MAKС-EMB*.

Схема подключения для тестирования сети представлена на [рисунке 1](#). Результаты тестирования ([табл. 2](#)) показывают, что производительность сети соответствует ожидаемым параметрам *SLA*.

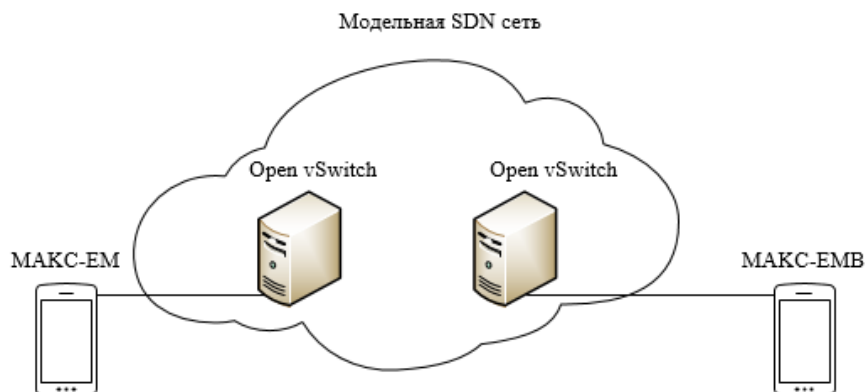


Рис. 1. Схема подключения для тестирования сети на канальном уровне

ТАБЛИЦА 2. Результаты тестирования по *ITU-T Y.1564*

№ потока	Параметр											
	<i>IR</i> , Мбит/с			<i>FTD</i> , мкс			<i>FDV</i> , мкс			<i>FL</i> , %	<i>AVAIL</i> , %	Прошел/Отказ
	Мин.	Ср.	Макс.	Мин.	Ср.	Макс.	Мин.	Ср.	Макс.			
1	196,773	199,867	199,985	119	185	304	-142	-0,674	22,9	0	100	Прошел
2	196,761	199,867	199,997	119	189	304	-142	0	22,9	0	100	Прошел
3	196,773	199,867	199,985	119	193	304	-142	-0,007	22,9	0	100	Прошел
4	188,557	189,948	190,006	120	193	304	-131	1,49	46,9	0	100	Прошел

Тестирование на сетевом уровне

Тест 3. Соответствие требованиям Приказа Министерства информационных технологий и связи РФ № 113 от 27.09.2007 (Пр. 113) [8].

Для генерации трафика и измерения параметров канала использовалась программа *PROLan-Администратор*. Схема подключения для тестирования сети представлена на [рисунке 2](#).

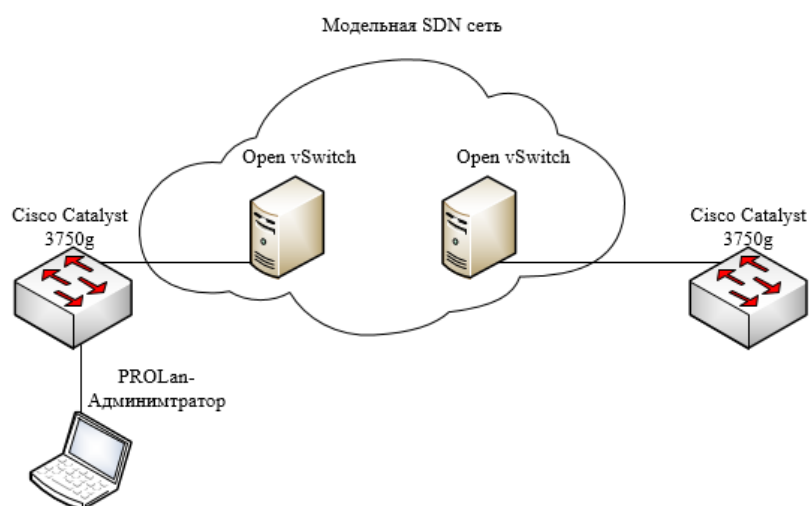


Рис. 2. Схема подключения для тестирования сети на сетевом уровне

Результаты тестирования ([табл. 3](#)) показывают, что тестируемая сеть соответствует требованиям к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования.

ТАБЛИЦА 3. Результаты теста на соответствие требованиям нормам Пр. 113

Параметр	Тип трафика			
	Передача данных	Интер-активный	Сигнальный	Потоковый
Доступность устройств по SNMP, %	100	100	100	100

Параметр	Тип трафика			
	Передача данных	Интер-активный	Сигнальный	Потоковый
Задержка, мкс	3 026	2 913	2 378	2 626
Потери пакетов, %	0,1	0	0	0
Джиттер, мкс	--	1 099,6	--	1 522,9

Тестирование на транспортном уровне

Тест 4. Определение пропускной способности сети при варьируемом значении числа транспортных потоков.

Генерация трафика протоколов *TCP* и *UDP* производилась с помощью утилиты *iperf*. Схема подключения для тестирования сети представлена на [рисунке 3](#). Результаты тестирования представлены на [рисунках 4 и 5](#).

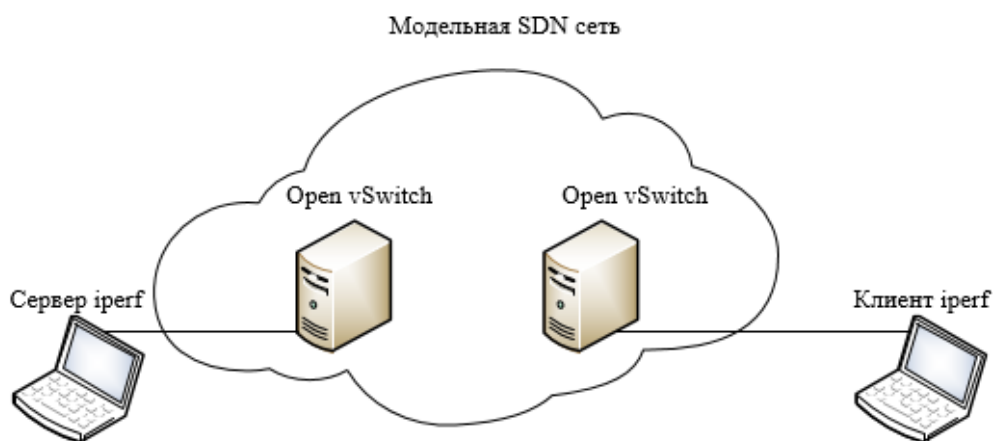


Рис. 3. Схема подключения для тестирования сети на транспортном уровне

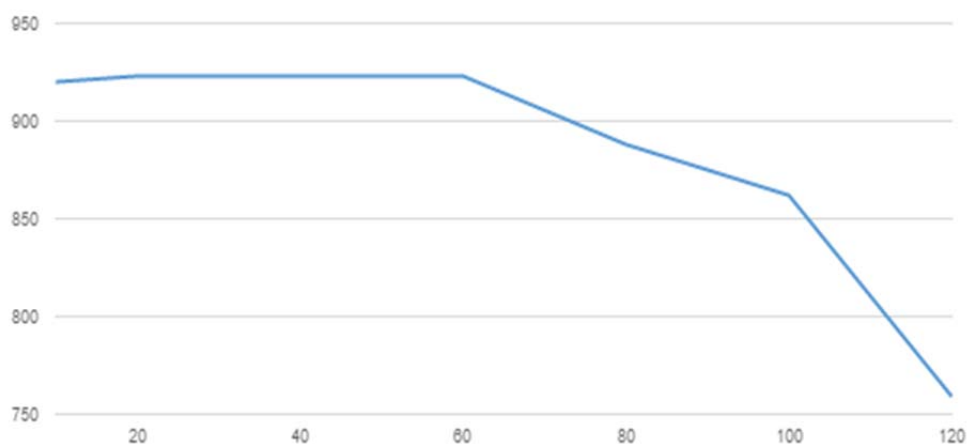


Рис. 4. Зависимость пропускной способности (Мбит/с) от числа потоков *TCP*

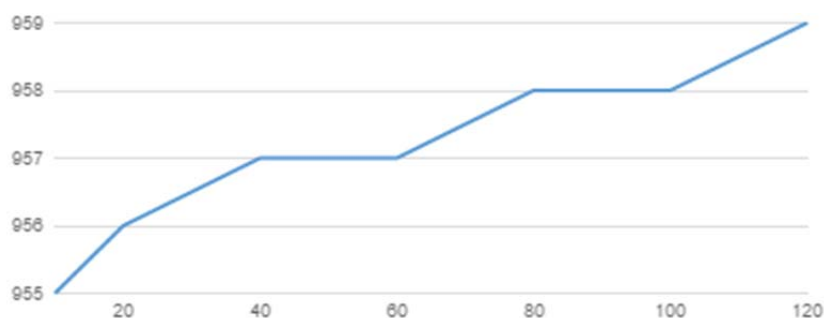


Рис. 5. Зависимость пропускной способности (Мбит/с) от числа потоков *UDP*

Результаты тестирования показывают, что сеть поддерживает пропускную способность порядка 850–950 Мбит/с при заданных параметрах тестирования.

Тестирование на прикладном уровне

Тест 5. Определение пропускной способности сети при различных типах трафика прикладного уровня.

Исследования проводились для протоколов *FTP*, *HTTP* и *BitTorrent*. Для тестирования использовалась программа *IxChariot*. Схема подключения для тестирования сети представлена на [рисунке 6](#). Результаты тестирования представлены на [рисунках 7–11](#).

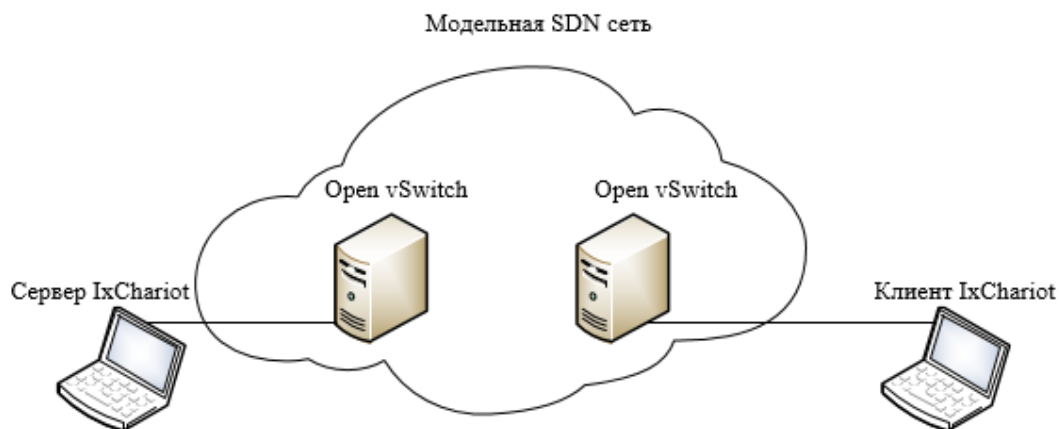


Рис. 6. Схема подключения для тестирования сети на прикладном уровне

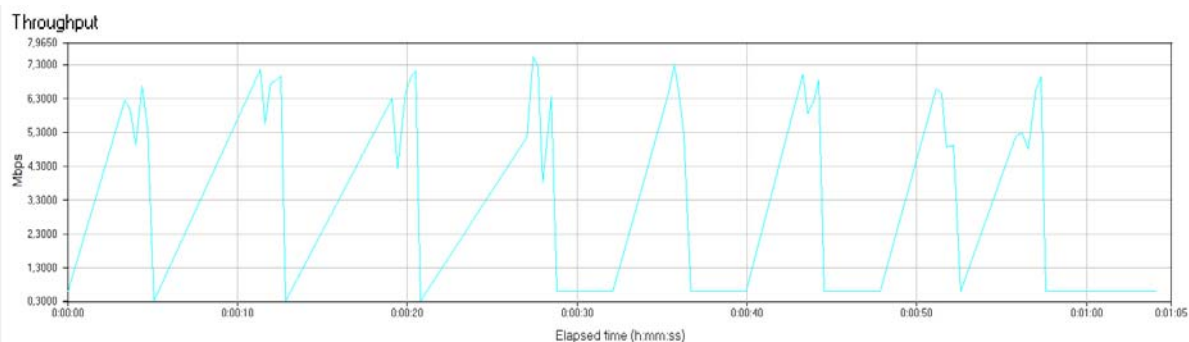
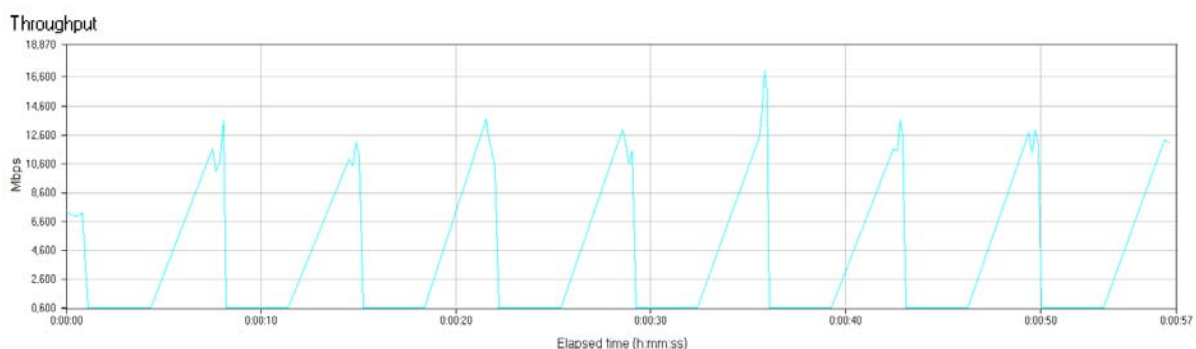
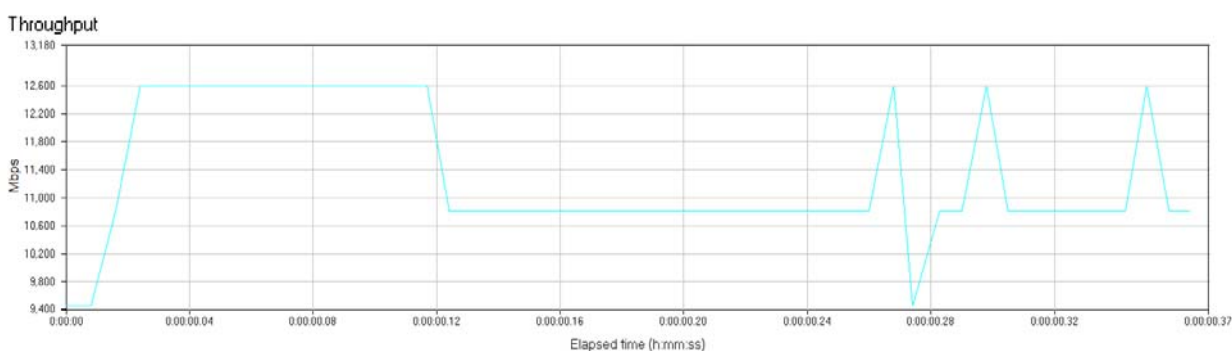
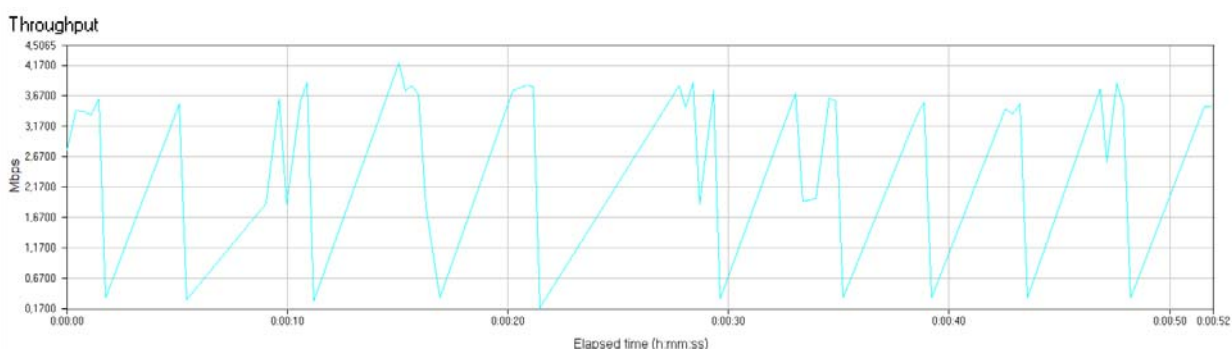
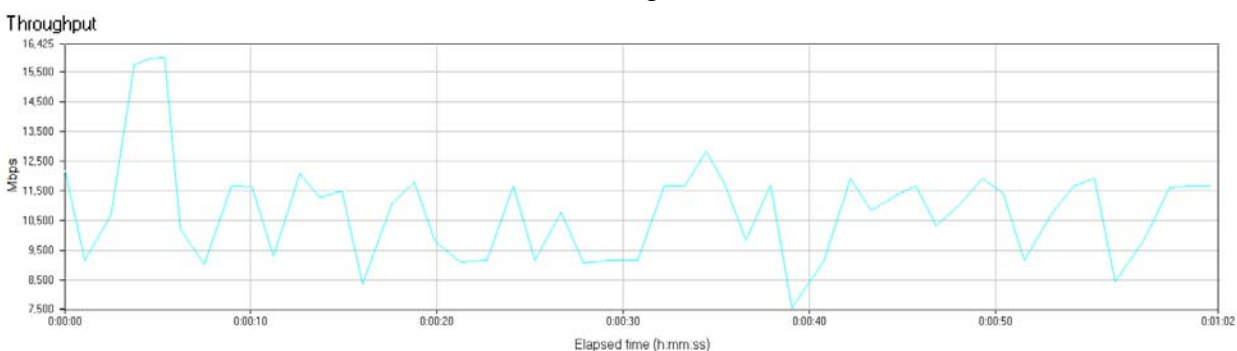


Рис. 7. Скачивание файла по *FTP*

Рис. 8. Загрузка файла по *FTP*Рис. 9. Загрузка текстовой страницы по *HTTP*Рис. 10. Защищенная передача по *HTTPS*Рис. 11. Загрузка файла по протоколу *BitTorrent*

Результаты тестирования показывают, что скорость передачи трафика по протоколам *FTP* и *HTTP* имеет скачкообразный характер, что является нетипичным для аналогичных тестов для *Ethernet*-сети. В целом, следует

отметить, что пропускная способность тестовой сети оказалась значительно меньше ожидаемой.

Выводы

Экспериментальные исследования, проведенные в соответствии с предлагаемой методикой, показали, что развернутая сеть достаточно пригодна для передачи трафика, хотя и имеет ряд недостатков: отсутствуют некоторые возможности протокола *OpenFlow*, пропускная способность на прикладном уровне резко снижается. Также в ходе эксперимента были выявлены проблемы, не относящиеся непосредственно к сетевой архитектуре, но значительно влияющие на работу сети. К ним относятся, в частности, тип запоминающего устройства, версия операционной системы, совместимость программных компонентов.

В целом, представленная методика может быть адаптирована для всестороннего тестирования программно-конфигурируемой сети, в том числе и на базе коммерческих решений.

Библиографический список

1. **Kreutz D.** Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey / D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. Esteves Verissimo, C. Esteve Rothenberg, S. Azodolmolky, S. Uhlig // Proceedings of the IEEE, 2015, Vol. 103, Iss. 1. – PP. 14–76.
2. **Wenfeng Xia** A Survey on Software-Defined Networking / Xia Wenfeng, Wen Yonggang, Chuan Heng Foh, D. Niyato, Xie Haiyong // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015, Vol. 17, Iss. 1. – PP. 27–51.
3. **Nunes B. A. A.** A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks / B. A. A. Nunes, M. Mendonca, Xuan-Nam Nguyen, K. Obraczka, T. Turletti // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, Vol. 16, Iss. 3. – PP. 1617–1634.
4. **Ефимушкин В. А.** Международная стандартизация программно-конфигурируемых сетей / В. А. Ефимушкин, Т. В. Ледовских, Д. М. Корабельников, Д. Н. Языков // Электросвязь. – 2014. – № 8. – С. 3–9.
5. **Васильев А. Б.** Тестирование сетей связи следующего поколения / А. Б. Васильев, Д. В. Тарасов, Д. В. Андреев, А. Е. Кучерявый. – М.: Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 140 с.
6. **Dotsenko S.** A fuzzy logic-based information security management for software-defined networks / S. Dotsenko, A. Vladyko, I. Letenko // 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), IEEE, 2014. – PP. 167–171.
7. **Recommendation ITU-T Y.1564. – 03/2011.** Ethernet service activation test methodology.
8. **Приказ** Министерства информационных технологий и связи РФ № 113 от 27.09.2007 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования».

References

1. **Kreutz D.** Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey / D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. Esteves Verissimo, C. Esteve Rothenberg, S. Azodolmolky, S. Uhlig // *Proceedings of the IEEE*, 2015, Vol. 103, Iss. 1. – PP. 14–76.
2. **Wenfeng Xia** A Survey on Software-Defined Networking / Xia Wenfeng, Wen Yonggang, Chuan Heng Foh, D. Niyato, Xie Haiyong // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015, Vol. 17, Iss. 1. – PP. 27–51.
3. **Nunes B. A. A.** A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks / B. A. A. Nunes, M. Mendonca, Xuan-Nam Nguyen, K. Obraczka, T. Turletti // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014, Vol. 16, Iss. 3. – PP. 1617–1634.
4. **Efimushkin V. A.** Mezhdunarodnaja standartizacija programmno-konfiguriruemyh setej / V. A. Efimushkin, T. V. Ledovskih, D. M. Korabel'nikov, D. N. Jazykov // *Electrosvyaz*. – 2014. – № 8. – S. 3–9.
5. **Vasil'ev A. B.** Testirovanie setej svyazi sledujushhego pokolenija / A. B. Vasil'ev, D. V. Tarasov, D. V. Andreev, A. E. Kucherjavj. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 140 s.
6. **Dotsenko S.** A fuzzy logic-based information security management for software-defined networks / S. Dotsenko, A. Vladyko, I. Letenko // 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), IEEE, 2014. – PP. 167–171.
7. **Recommendation ITU-T Y.1564. – 03/2011.** Ethernet service activation test methodology.
8. **Prikaz** Ministerstva informacionnyh tehnologij i svyazi RF № 113 ot 27.09.2007 «Ob utverzhdenii Trebovanij k organizacionno-tehnicheskomu obespecheniju ustojchivogo funkcionirovanija seti svyazi obshhego pol'zovanija».

Владыко Андрей Геннадьевич – кандидат технических наук, начальник Управления организации научной работы и подготовки научных кадров Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», vladyko@bk.ru

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», kirichek@sut.ru

Великоречин М. А. – студент Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича».

Думин Дмитрий Игоревич – студент Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», dumin@spbgut.ru

УДК 004.738

А. Н. Бондарев

A. N. Bondarev

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**Р. В. Киричек**

R. V. Kirichek

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ СЕРВЕРА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ****SOFTWARE DEVELOPMENT FOR SERVERS
WIRELESS SENSOR NETWORKS**

В настоящее время концепция «Интернета Вещей» является одним из перспективных направлений для исследований в области информационных технологий, поэтому число инноваций и разработок в области Интернета Вещей непрерывно растёт, что и говорит об её активном развитии и актуальности. Одна из основных проблем – это наличие доступного общественного сервиса, организующего прием, обработку и визуализацию данных. В процессе создания сервиса *sencon.ru* было реализовано программное обеспечение для приема и обработки информации, а также реализован сервис в *web*-интерфейсе. Также было проведено натурное тестирования *web*-приложения с помощью организации беспроводной сенсорной сети, которая включала в себя различные датчики и устройства. В результате тестирования всех блоков реализованного *web*-приложения, все проведенные операции прошли успешно.

Nowadays the concept of "Internet of Things" is one of the promising directions for research in the field of information technology, therefore, the number of innovations and developments in the field of the Internet of Things is growing steadily, and that speaks of its active development and relevance. One of the main problems is the availability of affordable public service, which organizing the reception, processing and visualization of data. In the process of creating service *sencon.ru* software for receiving and processing information was created, as well as the service was implemented in the web interface. It was also conducted full-scale testing of a web application using a wireless sensor network, which includes various sensors and devices. As a result of testing all blocks of the implemented web application, all transactions were successful.

Интернет Вещей, *web*-приложение, сервер, тестирование, интерфейс.Internet of Things, *web*-application, server, testing, interface.

Введение

В настоящее время концепция «Интернета Вещей» является одним из перспективных направлений для исследований в области информационных технологий. «Интернет Вещей» – это сеть датчиков, физических объектов или «вещей», встраиваемых в общую зону взаимодействия посредством любых доступных каналов связи. С помощью электротехнического оборудования и различного программного обеспечения, используя различные протоколы взаимодействия, устройства получают доступ в глобальную сеть, в роли которой, на данный момент, является сеть Интернет. Каждая вещь является уникально-идентифицируемым объектом и способна взаимодействовать в рамках существующей сетевой инфраструктуры [1–10].

Переход к Интернету Вещей, согласно исследованию *Cisco*, состоялся примерно в 2008–2009 годах. С этих пор количество устройств, подключённых к глобальной сети Интернет, превысило численность населения Земли, а в будущем, это число может увеличиться в 3–4 раза. По прогнозам аналитиков, к 2020 году общее количество устройств, подключённых к Сети, составит от 12 до 50 миллиардов единиц [11]. Поэтому число инноваций и разработок в области Интернета Вещей непрерывно растёт, что и говорит об её активном развитии и актуальности.

Разнообразие устройств, например, таких как приборы, по измерению различных параметров окружающей среды, пульсометры, сердечные мониторы, биочипы, автомобили со встроенными датчиками, смартфоны и многое другое – способно стать источником полезной информации. Данные сведения могут быть востребованы не только для людей, которые интересуются сбором и анализом данных с конкретного физического места, но и для людей, которые заняты в сфере деятельности по предотвращению чрезвычайных ситуаций, здравоохранения, безопасности. Накопленная информация, географическое позиционирование места ее сбора, предоставление данных для общего пользования – всё это, способно произвести актуальную информатизацию заинтересованных лиц или каких-либо организаций. Поэтому одна из основных проблем – это наличие доступного общественного сервиса, организующего прием, обработку и визуализацию данных. Такой сервис должен обладать не только графическими и интерактивными частями, но и обладать для пользователя возможностью, при отсутствии интересующих источников информирования, создать собственную сеть по сбору и предоставлению данных.

Концепция построения сервиса

Проанализировав существующие облачные платформы (*ThingWorx*, *GO+*, *2lemetry*, *Narodmon*, *tinkermode*, *thethings*, *temboo*), представляется возможным сделать вывод о том, что в сервисе, который реализует кон-

цепцию Интернета Вещей и, который нацелен на качественное обслуживание полученной информации, удобство использования системы и привязанных к ней объектов, необходимо воплощение следующих аспектов:

1. Доступность, отсутствие платы за использование сервиса.
2. Минимальная сложность реализации взаимодействия устройства и сервера, принимающего данные.
3. Продуманный интерфейс.
4. Адаптивность сервиса под различные устройства для корректного отображения информации.
5. Независимость сервиса от типа подключенного устройства.
6. При организации сенсорной сети, использование смартфона, как массив полезных датчиков.

Первый аспект является одним из ключевых пунктов в организации сервиса. Доступность заключается в возможности каждого пользователя сети Интернет проанализировать интересующую его зону или какой-либо объект на определенные показатели. При отсутствии информаторов на необходимом для мониторинга участке пространства предоставлять возможность организовать собственную сеть, чтобы обеспечить сведениями не только себя и других пользователей, но и соответствующие государственные структуры, которые заняты в сфере безопасности и здравоохранения.

Второй аспект относится к реализации приложения для необходимого устройства, с целью отправки какой-либо информации на сервер. С учетом сложности архитектуры некоторых систем и правил по доступу к хранилищу данных, реализация данной программы может осложниться вычислением необходимого и оптимального маршрута взаимодействия устройств, что может сыграть негативную роль в скорости получения данных сервером и использованием сервиса в целом. Также некоторые сервисы требуют дополнительных знаний *API* системы (интерфейс программирования приложений), что в свою очередь может усложнить задачу по организации собственной сенсорной сети.

Третий аспект является ключевым свойством во взаимодействии с клиентом-пользователем. Согласно международному стандарту *ISO 9241-11* (Международная организация по стандартизации) «удобство использования» или «юзабилити» определяется следующим образом: степень, с которой продукт может быть использован определёнными пользователями при определённом контексте использования для достижения определённых целей с должной эффективностью, продуктивностью и удовлетворенностью [12]. Удобство расположения необходимых блоков с информацией, навигация по web-приложению, наглядность представления данных, внешнее оформление – всё это позволяет пользователю быстро получить необходимую информацию, с интересующего устройства и, следовательно, продолжить использование сервиса, тем самым расширяя общую сеть «вещей» и банк полезных сведений. Также удобство использова-

ния может быть тесно связано с объемом блоков и виджетов в видимой части клиентского приложения. Загруженность окна выводимой информацией может внести непонимание в использование сервиса, а также излишнюю загруженность графического процессора, если для визуализации объектов использовались мощные графические инструменты.

Четвертый аспект является следствием третьего. Пользователь не всегда имеет доступ к сервису с компьютера, с высокими техническими или графическими характеристиками. Чаще для быстрого мониторинга используется мобильная версия на смартфонах. Чтобы не совершать излишние нагрузки на процессор и оперативную память карманного устройства, ведь он также может быть звеном в общей сети устройств и часть ресурсов могут быть отведены на отправку каких-либо данных, должна использоваться «облегченная» версия сервиса с отображаемыми только необходимыми виджетами и объектами взаимодействия с сервисом. При наличии свободных ресурсов необходимо предоставлять пользователю выбор отображения *web*-приложения.

Пятый аспект описывает независимость системы от подключенных к ней «вещей». Система имеет клиент-серверную архитектуру и в роли клиентов могут выступать не только отдельные датчики, но и платы, компьютеры, смартфоны и иные устройства, имеющие как напрямую, так и через косвенное оборудование доступ в сеть Интернет.

Шестой аспект заключается в наличии смартфонов уже имеющихся сенсоров. Согласно мировой статистике, опубликованной Международным союзом электросвязи (*ITU*), уже шесть миллиардов человек имеют мобильные телефоны [13]. А согласно сведениям, которые предоставляет сервис международной статистики *NationMaster*, по состоянию на 2012 год Российская Федерация занимает 8 место среди государств наиболее обеспеченными мобильными телефонами, где на 100 граждан приходится 183 мобильных телефона [14]. Также следует принять во внимание, что некий процент устройств не имеет выход в сеть Интернет и не имеет какие-либо датчики. Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что некоторый процент людей имеет не один мобильный телефон в использовании, а несколько. Поэтому такое количество устройств способно организовать масштабную сеть Интернета Вещей и обмениваться полезными или нужными данными, без необходимости приобретения дополнительных датчиков или сенсоров. Массив датчиков в мобильном устройстве может содержать в себе следующие сенсоры: гироскоп, акселерометр, пульсометр, датчики температуры, датчики освещенности и др. Гироскоп – это датчик, определяющий угол изменения устройства относительно инерциальной системы отсчета, а акселерометр – это сенсор определяющий проекцию разности между ускорением устройства относительно некой точки отсчета в пространстве и ускорением гравитационным.

Данные аспекты и заложили идею реализации в web-интерфейсе сервиса для мониторинга реализованной сенсорной сети и контролю над подключенными к платформе объектами, а также для возможности получать сведения с устройств других пользователей в рамках настроек приватности. Сервису было присвоено название – *Sensor Connection*, и символическое имя, служащее для идентификации областей – доменное имя – *sencon.ru*, в национальной доменной зоне верхнего уровня *.ru*.

Реализация сервиса *sencon.ru*

Архитектурная составляющая является основой взаимодействия устройств в сенсорной сети, сервиса и клиента-пользователя. На рис. 1 представлена общая схема работы системы.

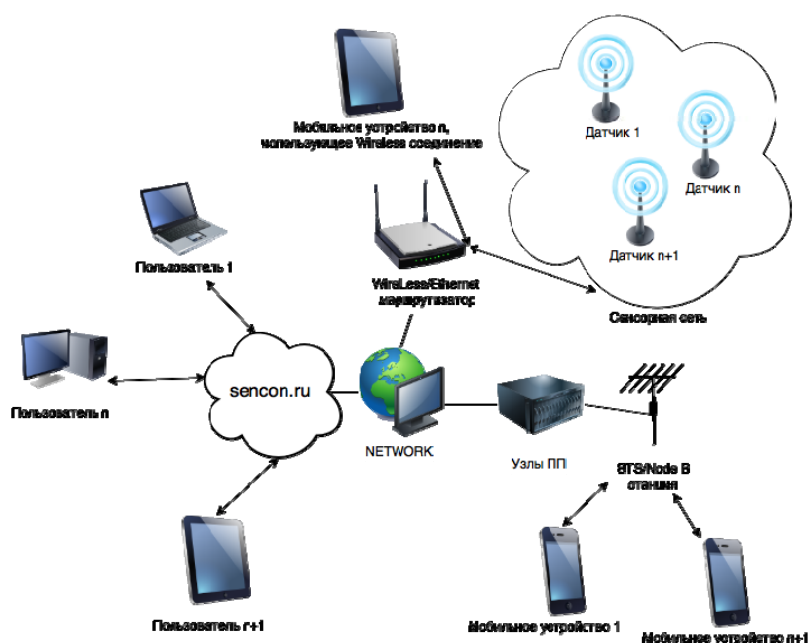


Рис. 1. Общая схема взаимодействия устройств, интернет-облака и пользователей

Объект в виде датчика, который получает сведения определенного характера, образуя общую сенсорную сеть, организует пакетную передачу данных через *Wireless* или *Ethernet* соединение и посылает информацию в облачный сервис. Мобильные устройства, использующие *GERAN* или *UTRAN* технологии передачи данных, через базовые станции *BTS* или *Node B*, выбор использования которых зависит от вида используемой технологии, получая необходимую информацию с задействованных сенсоров, также отправляют данные в облачный сервис. Пользователь через устройство, имеющее доступ в сеть Интернет, получает доступ к сервису *sencon.ru* и производит мониторинг необходимой информации.

Были разработаны поэтапно следующие блоки:

- база данных для хранения информации о пользователях, пользовательских датчиках, устройствах, сенсорах и информации, переданной с представленных объектов. За основу для хранения всех сведений и информации была выбрана реляционная система управления базами данных – *MySQL* версии 5.5;

- сервер, который обеспечивает соединение с передающим сведения клиентом, обрабатывает полученные сообщения и сохраняет необходимую информацию в банк данных. Для реализации серверной части был выбран объектно-ориентированный язык программирования – *C++*;

- *web*-приложение, которое с помощью реализованного интерфейса, визуализирует необходимую информацию пользователю. Так как сервис *sencon.ru* расположен на удаленном серверном оборудовании для реализации визуализации данных со стороны приложения использовалась технология *PHP*. Для отображения на стороне клиентского оборудования использовались технологии, предназначенные для выполнения в веб-браузерах, такие как: *HTML*, *CSS (CSS3)*, *JavaScript (jQuery)*, *AJAX*, *API* Яндекс Карты.

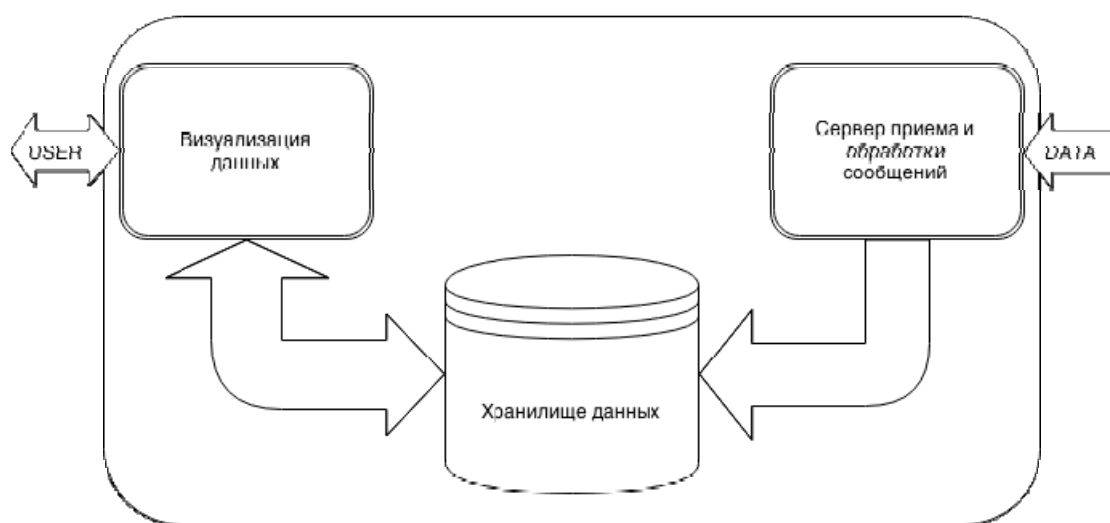


Рис. 2. Общая схема взаимодействия блоков в сервисе *sencon*

Основная задача серверной части – это прием и обработка сообщений от различных устройств по *TCP* протоколу на определенный порт (необходимая информация для начала работы и способу соединения предоставлена на странице *sencon.ru* в разделе справка, которая доступна после регистрации). Так как перед передачей данных на сервер необходимо шифровать сообщения методом *XOR*, обработка заключается в дешифровании и создании запросов на добавление полученных сведений в базу данных.

Интерфейс сервиса

Личная страница пользователя реализованного сервиса изображена на [рис. 3](#) (изображена страница тестируемого профиля с именем «test» и фамилией «test») и имеет пять основных элементов:

1) Блок-меню управления устройствами. Данный блок позволяет регистрировать новое устройство, удалять его из базы данных, определять, в виде широты и долготы, координаты необходимого места на карте, для регистрации нового объекта. Содержит кнопку «выход» из «личного кабинета». Добавление и удаление устройства происходит с помощью асинхронного взаимодействия с сервером, с использованием технологии *AJAX*. Это позволяет при совершении подобных действий не обновлять страницу. Для добавления на карту необходимых меток и прикрепленных к ним «бабунов» с информацией, использовались технологии *API* Яндекс Карты совместно с *JavaScript* и *PHP*.

2) Блок информации о последнем соединении. Данный блок отображает информацию о последнем соединении между подконтрольным пользователем устройством и серверным приложением сервиса. Выводит логин-имя датчика, отправленные им данные, тип устройства и время приема информации. Последнее соединение определяется среди всех зарегистрированных данным профилем объектами, если таковых не имеется, то в блок выводится – «Значений нет». Данный блок реализован с помощью совместного использования технологий *PHP* и *MySQL*.

3) Блок общей информации. В данном блоке отображается информация о профиле (имя, фамилия, *ip*-адрес пользовательского оборудования, версия браузера). Для определения *ip*-адреса и версии браузера пользователя использовался язык программирования *PHP*.

4) Блок мировой карты, с отображением позиционирования пользователя и его подключенных объектов. По умолчанию браузер запросит разрешение пользователя для возможности определить его местоположение, при положительном ответе местоположение будет отображено на карте, а также сообщено с какой точностью в метрах оно будет определено. В противном случае появится соответствующее сообщение о не доступности проведения данной операции. Данный блок реализован с помощью таких технологий, как *JavaScript*, *JQuery*, *API* Яндекс Карты, *PHP*.

5) Блок дополнительного меню, которое активируется с помощью кнопки «меню». Данный блок предоставляет возможность пользователю перейти на страницы: диаграммы, данные, общая карта, где отображаются все устройства всех пользователей с настройкой приватности – «Публичный», справка, настройки.

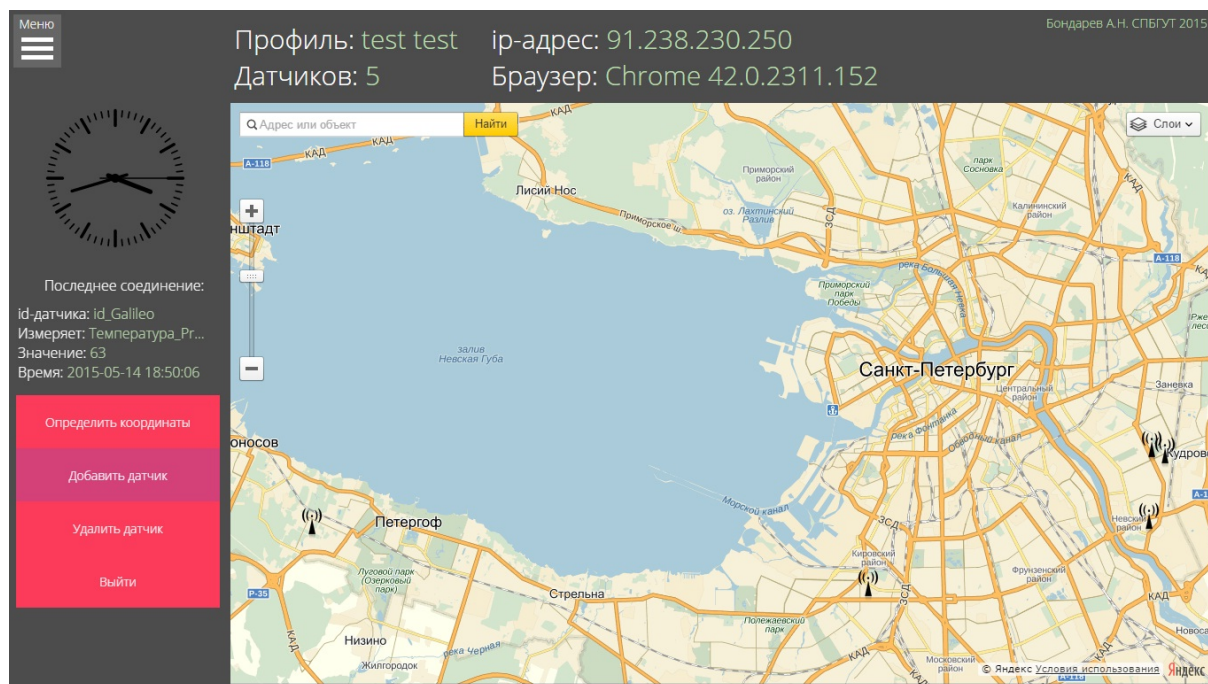


Рис. 3. Страница «личного кабинета» пользователя

Страница «Диаграммы» представляет собой графическое представление полученных данных, которое реализовано с помощью технологии *JavaScript* (рис. 4). На данной странице можно проанализировать динамику развития событий на том или ином устройстве. Также имеется страница «Данные», которая представляет собой отображение всех данных в обратном хронологическом порядке, с определенного устройства в виде таблицы. При создании данной страницы использовались технологии *JavaScript* и *AJAX*. Выбор необходимого устройства происходит с помощью «выпадающего» меню. Страница при выборе не обновляется, благодаря технологии асинхронного взаимодействия с сервером – *AJAX*, отображаемая таблица заменяется на необходимую.

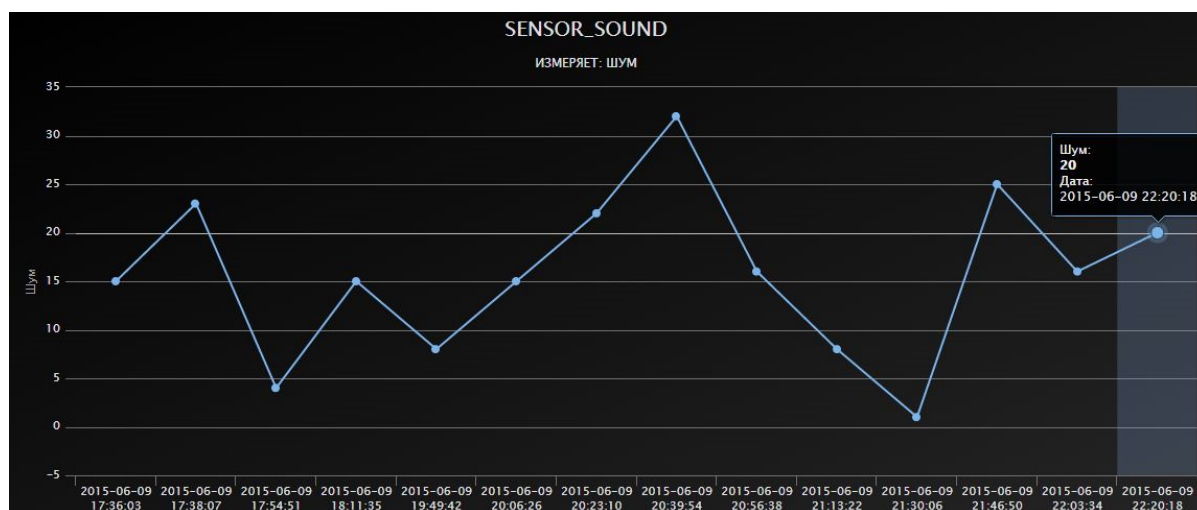


Рис. 4. Страница «Диаграммы»

Для отображения на экранах мобильных устройств, которые имеют ширину дисплея меньше 479 пикселей, использовалась «мобильная версия» визуализации сервиса (рис. 5). В данной версии отсутствует блок мировой карты, для обеспечения меньшего сетевого трафика, а также для уменьшенного потребления ресурсов процессора и графической части. Блок дополнительного меню отображается вместе с блоком управления устройствами. При необходимости стандартного отображения (отображение всех скрытых блоков), пользователь может изменить ориентацию устройства с вертикальной на горизонтальную (функция доступна на всех современных смартфонах). Данный подход к реализации интерфейса был выбран по следующим причинам:

- меньшая нагрузка графическими элементами пользовательского окна,
- быстрый доступ ко всем основным функциям сервиса.

Данный подход был реализован с помощью технологии *CSS3*, а именно с помощью использования медиа-запросов. Задействовав подобные запросы, можно выявить различные характеристики дисплея, например такие как: наличие монохромного экрана, ориентации (портретная или альбомная) и др. Все характеристики комбинируются, поэтому допустимо задать стиль только для определенного типа устройств. Для оптимизации интерфейса, а также для динамического определения изменения размеров окна браузера использовалась технология *JQuery*.

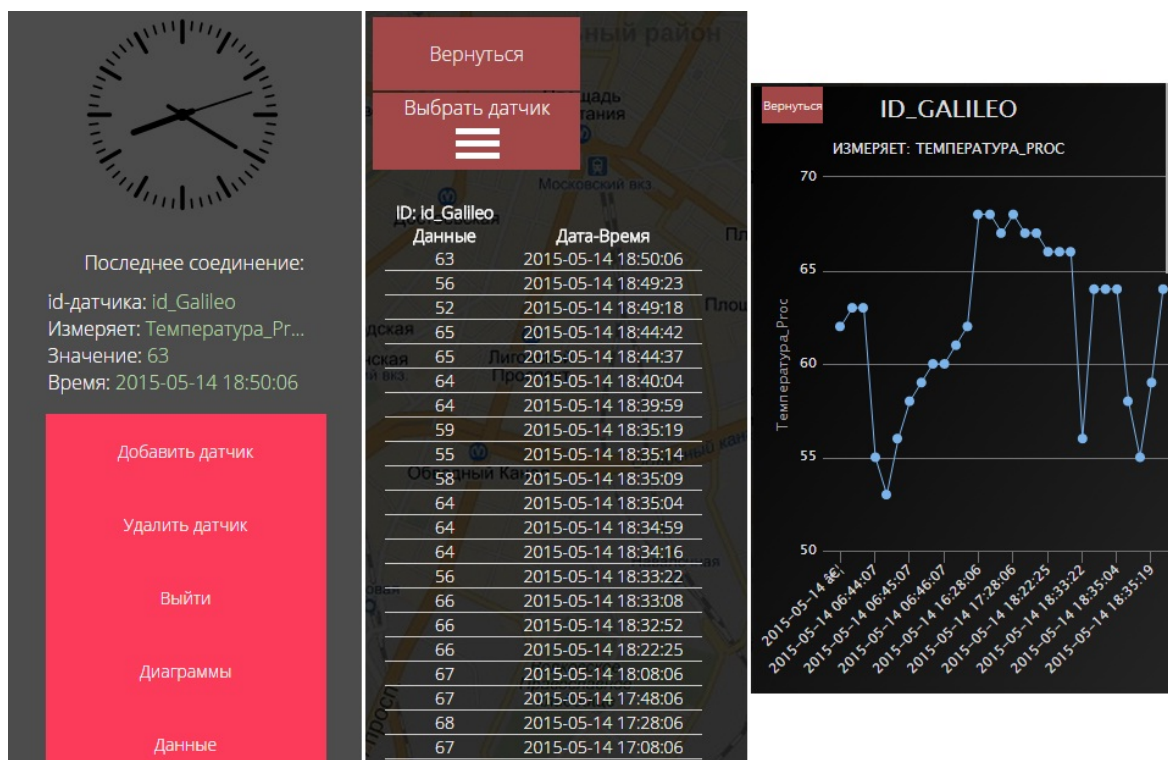


Рис. 5. Мобильная версия *sencon.ru*

Натурное тестирование сервиса

Натурное тестирование представляло собой создание сенсорной сети, реализованной на базе микрокомпьютера *Intel Galileo Generation 2* (рис. 6), регистрацию объектов в сервисе *sencon.ru*, проверку работы всех основных функций по визуализации данных.

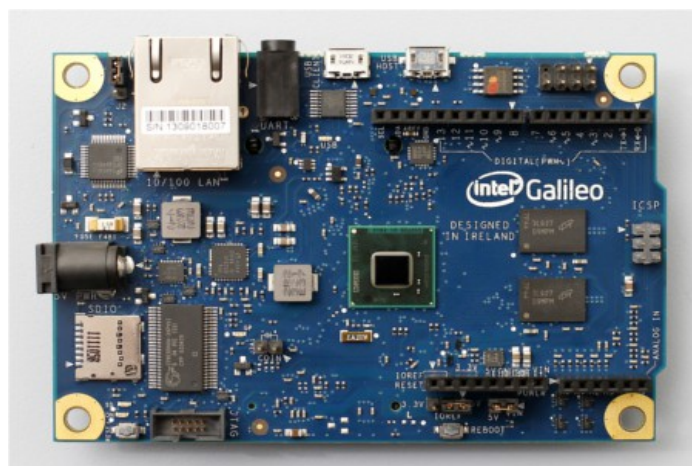
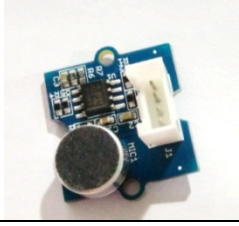



Рис. 6. Микрокомпьютер *Intel Galileo 2 Generation*

Микрокомпьютер *Intel Galileo 2*-го поколения представляет собой программируемую плату для разработчиков разной направленности. Данное устройство имеет 32-х битный процессор Intel Pentium на базе *Intel Soc X1000* с частотой 400 MHz, 256 Мб оперативной памяти *DDR3*, полноразмерный 10/100 Mbps Ethernet с RJ45 портом и поддержкой *PoE*, *Micro-SD* слот, *USB 2.0 Host* порт, а также *USB 2.0 Client* порт. Также, по заявлению производителей, обеспечивается совместимость с *Arduino*-устройствами [15]. На данном устройстве используется операционная система *Yocto Linux*. *Yocto Project* – это открытый проект разработки шаблонов, инструментария и методов для создания специальных дистрибутивов *Linux* для встраиваемых систем на базе различных аппаратных архитектур.

ТАБЛИЦА. Датчики, которые использовались для тестирования системы

Датчики	Изображение
датчик шума (<i>Sound sensor LM358</i>)	

Датчики	Изображение
датчик освещенности (<i>Light sensor LDR</i>)	
датчик температуры (<i>Grove temperature sensor</i>)	

Для начала работы с устройством необходимо подать на него питание от *AC-DC* адаптера на 5В, после чего подключить к микрокомпьютеру. Подключение происходит к одному из 6 аналоговых входов, соединенных с аналогово-цифровым преобразователем *AD7298*. Каждый из 6 аналоговых входов (пронумерованных от *A0* до *A5*) позволяет преобразовывать импульс в 12-битное число (4096 различных значений) [15]. Клиент, который получает данные и отправляет их в необходимом формате на сервер приложения *sencon*, реализован на языке программирования *C++*. Программный доступ к аналоговым выходам осуществляется с помощью библиотеки *limbraa* (*mraa.h*). Ниже представлен фрагмент функции *dataGet()*. Данная функция предназначена для получения данных с аналогового выхода под номером 1:

```

1  int dataGet()
2  {
3      int adc_value=0;
4      mraa::Aio* a1;
5      a1 = new mraa::Aio(1);
6      if (a1 == NULL) {
7          return 0;
8      }
9      adc_value = a1->read();
10     return adc_value;
11 }
```

Инициализация чтения происходит с 4 по 8 строку. Данные записываются в переменную *adc_value* посредством использования библиотечной функции *read()* (строка 9).

Для тестирования была создана «личная-страница» в сервисе *sencon.ru* с именем «*test*» и фамилией «*test*», а также произведена регистрация представленных объектов. Датчики были расположены в различных точках города Санкт-Петербурга. Тесты для всех основных функций сервиса прошли успешно и результаты взаимодействия можно просмотреть на [рис. 7](#)

(изображены «балуны» – информационные сообщения меток на Яндекс Картах).

ID: Sensor_Sound ×	ID: Sensor_Light_test ×	ID: Id_temp_bonch ×
Тип: Шум	Тип: Освещенность	Тип: Температура_Лаб
Показатель:	Показатель:	Показатель:
Значение: 20	Значение: 687	Значение: 26
Время: 2015-06-09 22:20:18	Время: 2015-06-09 22:20:21	Время: 2015-06-09 20:22:41
Координаты:	Координаты:	Координаты:
Широта: 59.8754	Широта: 59.8513	Широта: 59.9032
Долгота: 29.8280	Долгота: 30.2590	Долгота: 30.4894
Приватность: Публичный	Приватность: Публичный	Приватность: Публичный
Статус: Активен	Статус: Активен	Статус: Активен

Рис. 7. Изображены «балуны» устройств

Заключение

Подводя итог, хотелось бы сказать, что с внедрением всё большего количества высокотехнологичных устройств разного уровня в повседневную жизнь людей, требуется и внедрение различного рода управляющих и анализирующих программных средств. На данный момент, существует не так много платформ и сервисов для Интернета Вещей, и спустя 5–10 лет, с увеличением устройств, подключенных к всемирной Сети, отставание в данной области может пагубно сказаться на общем развитии и благосостоянии информационного общества в целом. Поэтому, необходимо искать различные решения не только на архитектурном уровне, но и на уровне взаимодействия «вещей» и пользователей.

При реализации сервиса *sencon* определились и перспективы его развития – это расширение списка поддерживаемых серверной частью протоколов взаимодействия Интернета Вещей, расширение программных средств для упрощенного взаимодействия сервиса и устройства, реализация функционала для возможности организации людей в социальные группы, то есть добавление профиля в «друзья» к другому профилю или в «группу» по интересующим устройствам, реализация подписки на тот или иной датчик с возможностью рассылки сведений (*SMS*, *Mail* и др.) об обновлении данных на устройстве, добавление функционала для возможности изменения блока мировой карты, на блок с собственной реализованной картографической информацией (план комнаты, здания, территории и др.), добавление функционала для возможности дистанционного управления тем или иным устройством, внедрение функционала для возможности автоматического определения близлежащих к пользователю устройств, а также реализация системы раннего оповещения

Библиографический список

1. **Боронин П. Н.** Интернет Вещей как новая концепция развития сетей связи / П. Н. Боронин, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 7–30.
2. **Кузнецов М. В.** PHP 5/6 / М. В. Кузнецов, И. В. Симдянов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 1024 с.
3. **Бьерн Страуструп** Язык программирования C++ (специальное издание) / Бьерн Страуструп. – СПб. : Невский Диалект, 2001. – 1099 с.
4. **Гольдштейн Б. С.** Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
5. **Ометов А. Я.** О роли беспроводных технологий связи в развитии Интернета Вещей / А. Я. Ометов, Е. А. Кучерявый, С. Д. Андреев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 31–40.
6. **Кучерявый А. Е.** Интернет Вещей / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
7. **Кучерявый А. Е.** Летающие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый, А. Г. Владыко, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, И. А. Богданов, А. А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2014. – № 9. – С. 2–5.
8. **Кучерявый А. Е.** Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с.
9. **Кучерявый А. Е.** Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей / А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 29–41.
10. **Кучерявый А. Е.** Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый.. – М. : Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 296 с.
11. **Inter Com**, Мобильные телекоммуникации [Электронный ресурс] / URL:http://www.mobilecomm.ru/wpcontent/uploads/pdf/magazine/2011/mtk_07-2011.pdf (Дата обращения 16.03.2015).
12. **ISO DIS 9241-11**, эргономические требования к офисной работе с визуальными дисплейными терминалами [Электронный ресурс] / URL: <http://www.it-gost.ru/content/view/18/44> (Дата обращения 18.03.2015).
13. **ITU Statistics**, Mobile-cellular telephone subscriptions [Электронный ресурс] / URL: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> (Дата обращения 18.03.2015).
14. **NationMaster**, mobile cellular subscriptions, Countries Compared [Электронный ресурс] / URL: <http://www.nationmaster.com/country-info/stats/Media/Telecoms/Mobile-cellular-subscriptions/Per-100-people> (Дата обращения 24.03.2015).
15. **Intel Galileo 2 generation**, Get Starting [Электронный ресурс] / URL: <http://www.intel.com/content/www/us/en/do-it-yourself/galileo-maker-quark-board.html> (Дата обращения 03.04.2015).

References

1. **Boronin P. N.** Internet of Things as new concept of development of communication networks / P. N. Boronin, A. E. Kucheryavy // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 7–30.
2. **Smiths M. V.** PHP 5/6 / M. V. Kuznetsov, I. V. Simdyanov. – SPb. : BHV-St. Petersburg, 2010. – 1024 p.
3. **Bjorn Strastrup** Programming language C ++ (special issuing) / Bjørn Strastrup. – SPb. : Nevsky Dialect, 2001. – 1099 p.

4. **Goldstein B. S.** Post-NGN communication networks / B. S. Goldstein, A. E. Kucheryavy. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2013. – 160 p.
5. **Ometov A. Ya.** About a role of wireless technologies of communication in development of the Internet of Things / A. Ya. Ometov, E. A. Kucheryavy, S. D. Andreyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 31–40.
6. **Kucheryavy A. E.** Internet of Things / A. E. Kucheryavy // Electric communication. – 2013. – No. 1. – PP. 7–30.
7. **Kucheryavy A. E.** The flying sensor networks / A. E. Kucheryavy, A. G. Vladko, R. V. Kirichuk, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev, I. A. Bogdanov, A. A. Dort-Golts // Electric communication. – 2014. – No. 9. – PP. 2–5.
8. **Kucheryavy A. E.** The self-organizing networks / A. E. Kucheryavy, A. V. Prokopyev, E. A. Kucheryavy. – St. Petersburg: Lyubavich, 2011.
9. **Kucheryavy A. E.** Evolution of researches in the field of wireless sensor networks / A. E. Kucheryavy, R. V. Kirichuk, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 4. – PP. 29–41.
10. **Kucheryavy A. E.** Communication networks public. Tendencies of development and methods of calculation / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, E. A. Kucheryavy. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 296 p.
11. **Inter Com**, Mobile telecommunications [Electronic resource] / URL: http://www.mobilecomm.ru/wpcontent/uploads/pdf.magazine/2011/mtk_07-2011.pdf (Date of the address 16.03.2015)
12. **ISO DIS 9241-11**, ergonomic requirements to office operation with visual display terminals [Electronic resource] / URL: <http://www.it-gost.ru/content/view/18/44/> (Date of the address 18.03.2015)
13. **ITU Statistics**, Mobile-cellular telephone subscriptions [Electronic resource] / URL: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx> (Date of the address 18.03.2015)
14. **NationMaster**, mobile cellular subscriptions, Countries Compared [Electronic resource] / URL: <http://www.nationmaster.com/country-info/stats/Media/Telecoms/Mobile-cellular-subscriptions/Per-100-people> (Date of the address 24.03.2015)
15. **Intel Galileo 2 generation**, Get Starting [Electronic resource] / URL: <http://www.intel.com/content/www/us/en/do-it-yourself/galileo-maker-quark-board.html> (Date of the address 3.04.2015)

Бондарев Алексей Николаевич – студент группы СП-12 Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», lexuse93@inbox.ru

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», ki-richek@sut.ru

УДК 621.391**Р. Ф. Гимадинов**

R. F. Gimadinov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**А. С. Мутханна**

A. S. Muthanna

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**А. Е. Кучерявый**

A. E. Koucheryavy

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**КЛАСТЕРИЗАЦИЯ В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ 5G.
СЛУЧАЙ ЧАСТИЧНОЙ МОБИЛЬНОСТИ****CLUSTERING IN MOBILE NETWORK 5G BASED
ON PARTIAL MOBILITY**

Коммуникации машина-машина (*M2M*) являются одним из ключевых компонентов Интернета Вещей. Миллиарды устройств, как ожидается, будут развернуты в ближайшем будущем для новых приложений *M2M*, требующих всепроникающий доступ и подключение к глобальной сети. Для того чтобы справиться с большим числом устройств, понадобятся новые методы, способные координировать доступ и выделять ресурсы. Кластеризация представляет собой эффективный способ предотвращения перегрузки сети. В статье мы сосредоточимся на вопрос сценарий для *M2M* в системах *5G*. На базе полученных результатов кластеризации в случае частичной мобильности узлов, мы представляем некоторые улучшения, чтобы избежать или хотя бы минимизировать перегрузку базовой станции в сетях *5G*. Так же в работе было доказано то, что количество кластеров линейно увеличивается в зависимости от процента мобильности.

Machine-to-machine communication (*M2M*) is one of the key components of the Internet of Things. Billions of devices are expected to be deployed in the near future for new applications *M2M*, requiring pervasive access and global connectivity. In order to cope with a large number of devices need new methods that can coordinate the access and resources. Clustering is an effective way to prevent network congestion. In this paper we will focus on the scenarios for *M2M* in *5G* systems. Results of clustering in case of partial mobility of nodes, we present some improvement to avoid or at least minimize the overload of the base station in the networks *5G*. Also has been proved that the number of clusters linearly increases depending of the percentage of mobility.

Мобильные сети 5G, M2M, кластеризация, мобильные узлы.

Mobile Networks 5G, M2M Communication, Clustering, Mobile nodes.

Введение

Всепроницающие беспроводные технологии рассматриваются как неотъемлемая часть современного образа жизни. Количество мобильных устройств в последние годы по-прежнему растет, поэтому нет ничего удивительного в том, что все внимание телекоммуникационных операторов посвящено исследованию и разработке беспроводных технологий. В настоящее время, существующие мобильные сети 3G успешно заменены сетями 4G (LTE) с перспективой преимуществ для клиентов. В настоящее время разрабатывается сеть 5G, которая завершается в 2020. Мобильные сети 5G в 1000 раз большей пропускной способности и в 10 раз большей спектральной эффективности чем в 4G, также пиковая скорость передачи данных возрастет до 10 Гбит/с для терминалов с низкой мобильностью и до 1 Гбит/с для терминалов с высокой мобильностью, то есть сети 5G должны быть в состоянии поддерживать связь при некоторых специальных сценариях в отличие от сетей 4G. Самая серьезная проблема для операторов заключается в росте числа мобильных устройств, имеющих доступ к сети и могут вызывать перегрузку этих сетей. В соответствии с прогнозами на 2018 году [1, 2] подключенные мобильные устройства будут более 10 млрд. В последние годы основной процент (мобильного) трафика данных был получен от устройств, контролируемых человеком [1]. Методы самоорганизации [3, 4] используются для функционирования таких огромных сетей. Самоорганизующиеся беспроводные сенсорные сети [5, 6], автомобильные сети [7] функционируют на тех же территориях, что и сети мобильной связи. В настоящее время, Интернет вещей (IoT) представляет новую парадигму для устройств, которые становятся подключенными к Интернету и способны общаться друг с другом без вмешательства человека, эти устройства используются в различных областях связи, как умные счетчики, интеллектуальные транспортные системы и электронное здоровье [10]. Датчики, развернутые в современных измерительных системах, в большинстве случаев способны общаться друг с другом или с центральным узлом (шлюз или сервер) по сети. Такая архитектура связи включает в себя сенсоры, приводы и коммуникационные технологии как машина-машина (M2M) или MTC (Machine Type Communication). M2M будут широко развернуты в ближайшем будущем [11]. Кроме того, ожидается использование 5G [12] в качестве основной технологии для обеспечения M2M услуги. В 2020 году общее число подключенных устройств будет примерно около 50 млрд [9], почти в два раза по сравнению с сегодняшним числом. Значительная часть увеличения будет восприниматься в связи с типом машины коммуникаций. Естественно, развитие технологий 5G должны при-

нять это ключевой фактор во внимание, помимо улучшений предлагаемых в настоящее время для систем LTE-A. Международный союз электросвязи сектор стандартов радиосвязи (МСЭ-Р) готовит свою точку зрения для общих целей систем после 2020 года [15], и на основе рынка, трафика и будущих потребностей в спектре работу, M2M-коммуникация считается ключевым элементом в будущих системах. В связи с разнообразным набором прецедентов и сценариев МТС, две разных особенности должны быть исследованы в будущей конструкции системы 5G: низкая стоимость/низкое энергопотребление МТС (т. е. низкий категория/массовое МТС), и критически важных МТС (т. е. высокая категория/ультра-надежный МТС), где задержка и надежность являются ключевыми элементами для рассмотрения.

Кластеризация [13, 14] позволяет повысить эффективность использования технологий и избежать перегрузку базовой станции. В [8] шла речь о кластеризации в мобильных сетях пятого поколения. Рассматривался ограниченный случай стационарного размещения узлов на исследуемой территории. Данная работа является логическим продолжением предыдущей и включает в рассмотрение случай частичной мобильности узлов.

Модель исследуемой сети

Моделирование осуществляется на языке C++. В качестве модели сети используется поле размером $1000 \times 1000 \text{ м}^2$, в котором расположены статичные и мобильные узлы. Размещение узлов с координатами (x, y) производится случайным образом в соответствии с равномерным распределением (в качестве генератора псевдослучайной последовательности используется стандартная библиотека C++). Небольшая часть узлов являются мобильными, местоположение которых изменяется случайным образом. Сначала моделирование осуществляется для случая стационарного размещения и определяется $C_{\text{ст}}$, потом часть узлов меняют свое местоположение. На третьем этапе моделирования кластеры, полученные на предыдущих этапах корректируются и находится параметр $C_{\text{кор}}$, а невошедшие узлы формируют новые кластеры – $C_{\text{ост}}$. Параметр $C_{\text{кор}}$ непосредственно влияет на быстродействие алгоритма, так как кластер корректируется намного быстрее, нежели сформировать его полностью заново. В данной модели рассматриваются случаи частичной мобильности от 10 до 50 %. Плотность размещения характеризуется количеством узлов (N) в заданном квадрате. Рассмотрено 4 случая плотности при $N = 400 - 1000$ с шагом 200. Радиус кластера принят постоянным и равен 50 м.

Пример модели изображен на рис. 1. На рис. 1 а изображен начальный случай разбиения на кластеры для стационарного размещения. На рис. 1 б – случай, при котором 30 % узлов изменили свое местоположение, при этом черным цветом показаны фиксированные узлы, а красным – мобильные. На рис. 1 в – расчет кластеров для второго случая.

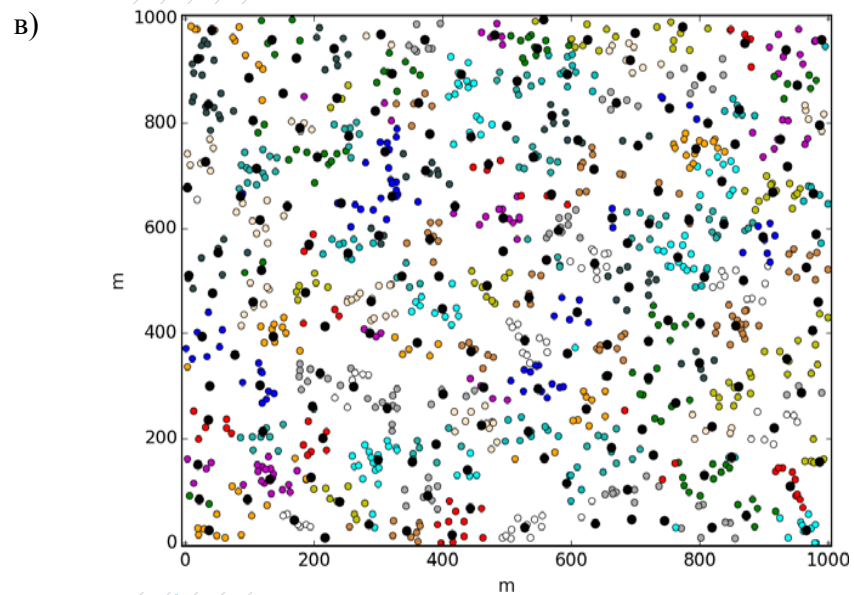
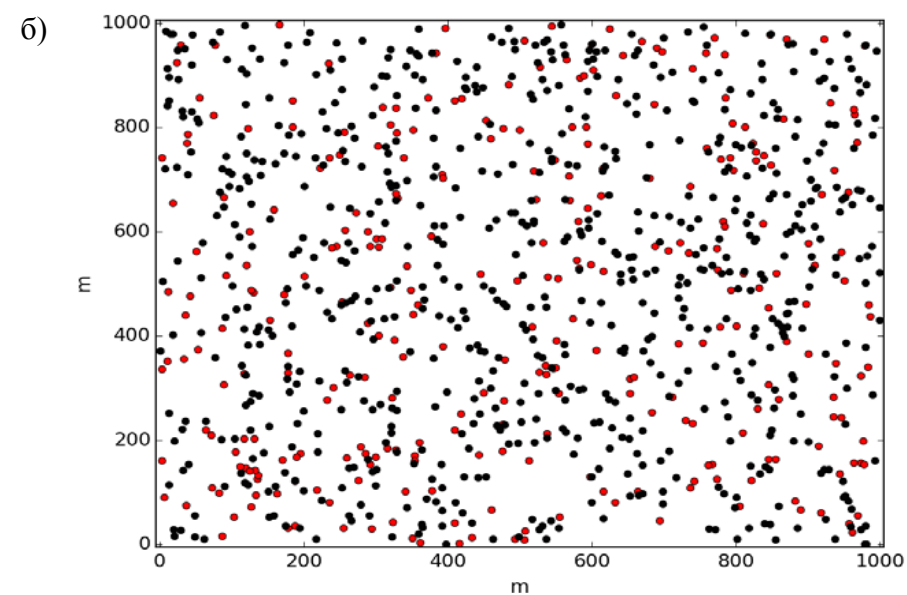
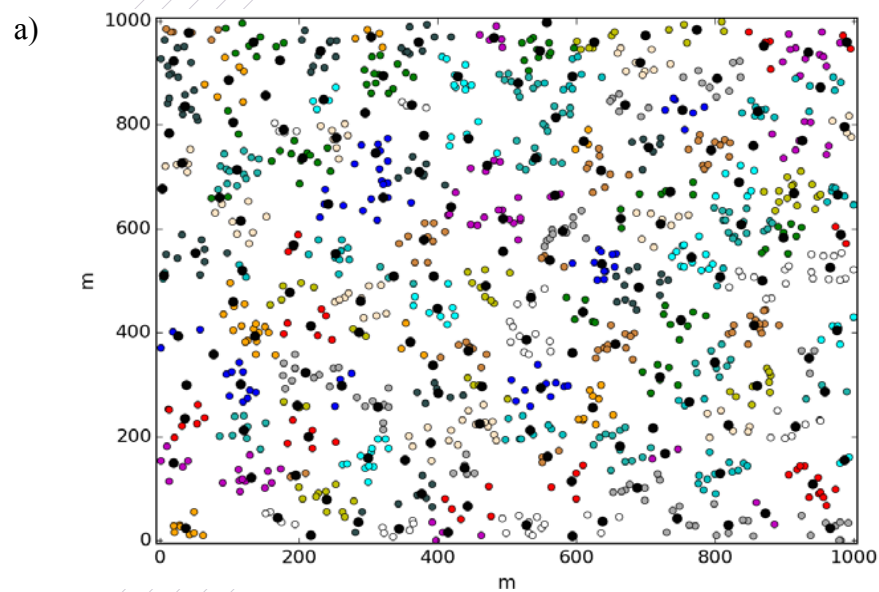


Рис. 1. Модель исследуемой сети для $Rcl = 50$ м,
 $N = 1000$ узлов:
 а) кластеризация при стационарном размещении;
 б) мобильное размещение;
 в) кластеризация при мобильном размещении

Результаты моделирования

Так как количество кластеров при мобильном размещении величина переменная и зависит от нового местоположения узлов, для каждого случая моделирование было проведено 10 раз. Среднее арифметическое количества кластеров для каждого случая сведено в таблицы. Таблица 1 показывает общее количество кластеров – $C_{\text{пол}} = C_{\text{кор}} + C_{\text{ост}}$, а таблица 2 – $C_{\text{кор}}$.

ТАБЛИЦА 1. Общее количество кластеров ($C_{\text{пол}}$).

	$N = 1000$	$N = 800$	$N = 600$	$N = 400$
0 % ($C_{\text{ст}}$)	163	153	146	128
10 %	168	159	150	135
20 %	171	165	155	140
30 %	176	170	158	145
40 %	179	174	163	149
50 %	182	181	169	150

ТАБЛИЦА 2. Количество откорректированных кластеров ($C_{\text{кор}}$).

	$N = 1000$	$N = 800$	$N = 600$	$N = 400$
0 % ($C_{\text{ст}}$)	163	153	146	128
10 %	160	151	144	126
20 %	160	150	142	125
30 %	157	149	139	123
40 %	155	147	137	123
50 %	154	147	139	119

По данным таблиц построены графики (рис. 2–5) для случаев плотности размещения $N = 400, 600, 800, 1000$. Синяя линия показывает тенденцию общего количества кластеров ($C_{\text{пол}}$), а красная – откорректированных кластеров ($C_{\text{кор}}$).

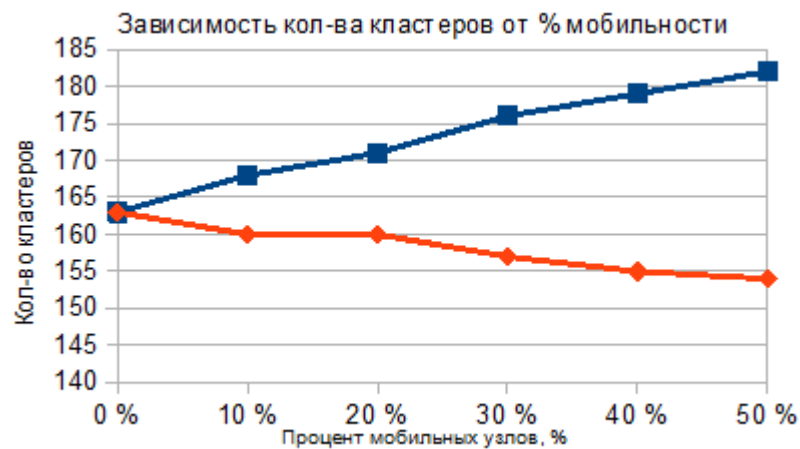


Рис. 2. Количество кластеров при плотности $N = 1000$

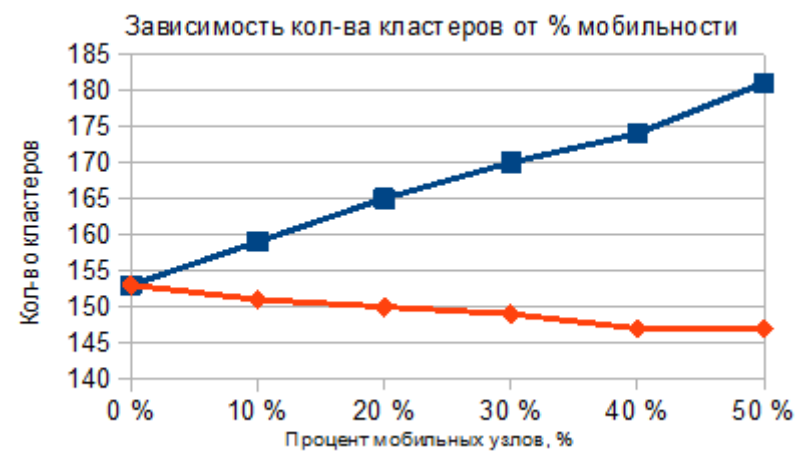


Рис. 3. Количество кластеров при плотности $N = 800$

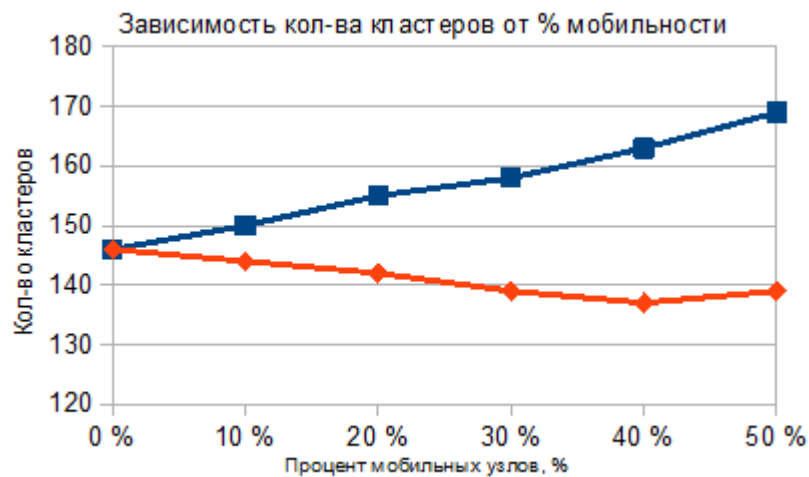


Рис. 4. Количество кластеров при плотности $N = 600$

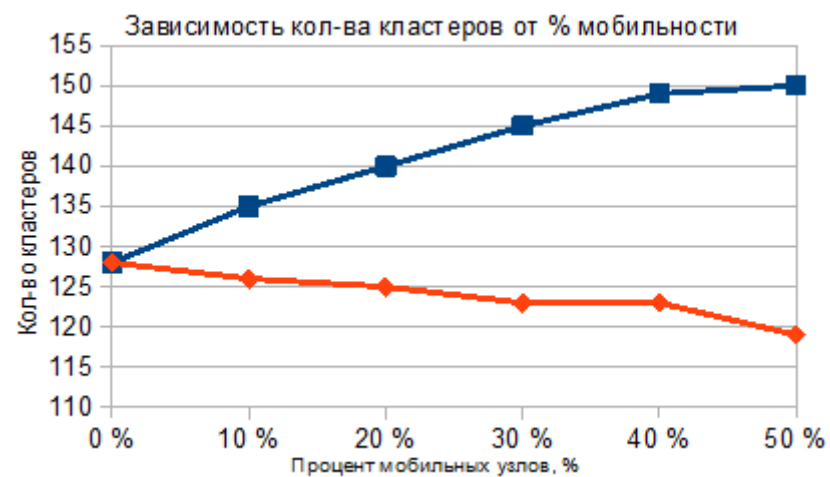


Рис. 5. Количество кластеров при плотности $N = 400$

Выводы

Исходя из вышеприведенных графиков, можно сделать вывод, что количество кластеров линейно увеличивается в зависимости от процента мобильности, а вот параметр на плотности узлов (N), напротив, незначительно влияет на тенденцию направленности исследуемой величины. Величина $C_{кор}$ также линейно зависит от процента мобильности, что влияет на скорость расчета кластеров, что также является важным параметром, так как с введением мобильности приходится периодически производить пересчет кластеров.

Библиографический список

1. Cisco, "Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013 2018," p. 40, 2014. [Online]. Available: <http://goo.gl/KQ9cxi>
2. "Data, data everywhere," 2010. [Online]. Available: <http://www.economist.com/node/15557443>
3. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с.
4. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети и новые услуги / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2009. – № 1. – С. 19–23.
5. Кучерявый А. Е. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый. – М. : Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 296 с.
6. Кучерявый А. Е. От е-России к и-России: тенденции развития электросвязи / А. Е. Кучерявый, Е. А. Кучерявый // Электросвязь. – 2005. – № 5. – С. 10–12.
7. Koucheryavy Y., Jakubiak J. Research Challenges in Vehicular Ad hoc Networks. Proceedings, IEEE CCNC 2008, January 10–12, 2008. Las Vegas, USA.
8. Гимадинов Р. Ф. Кластеризация в сетях 5G / Р. Ф. Гимадинов, А. С. Мутханна, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1. – С. 35–41.
9. Osseiran A., Boccardi F., Braun V., Kusume K., Marsch P., Maternia M., Queseth O., Schellmann M., Schotten H., Taoka H., Tullberg H., Uusitalo M.A., Timus B., and Fallgren M., "Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project," IEEE Communications Magazine, vol.52, no.5, pp.26-35, May 2014.
10. Wu G., Talwar S., Johnsson K., Himayat N., and Johnson K. D., "M2M: From mobile to embedded internet," Communications Magazine, IEEE, vol. 49, no. 4, PP. 36–43, 2011.
11. Ericsson, "More than 50 billion connected devices taking connected devices to mass market and profitability," 2011
12. Мутханна А. С. D2D-коммуникации в сетях мобильной связи пятого поколения 5G / А. С. Мутханна, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 51–63.
13. Koucheryavy A., Salim A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks. Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2009. ICACT 2009. Phoenix Park, Korea.
14. Koucheryavy A., Salim A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks. Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2010. ICACT 2010. Phoenix Park, Korea.

15. **ITU-R M. [IMT.VISION]**, “IMT Vision – Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond,” ITU Working Document 5D/TEMP/224-E, July 2013.

References

1. **Cisco**, “Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013 2018,” p. 40, 2014. [Online]. Available: <http://goo.gl/KQ9cxi>
2. “**Data, data everywhere**,” 2010. [Online]. Available: <http://www.economist.com/node/15557443>
3. **Kucheryavy A. E.** The self-organizing networks / A. E. Kucheryavy, A. V. Prokopyev, E. A. Kucheryavy. – St. Petersburg: Lyubavich, 2011.
4. **Kucheryavy A. E.** The self-organized networks and new services / A. E. Kucheryavy // *Electrosvyaz*. – 2009. – № 1. – PP. 19–23.
5. **Kucheryavy A. E.** Communication networks public. Tendencies of development and methods of calculation / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, E. A. Kucheryavy. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 296 p.
6. **Kucheryavy A. E.** From Russia to the e-u-Russian tendencies of development of telecommunications / A. E. Kucheryavy, E. A. Kucheryavy // *Electrosvyaz*. – 2005. – № 5. – PP. 10–12.
7. **Koucheryavy Y.**, Jakubiak J. Research Challenges in Vehicular Ad hoc Networks. Proceedings, IEEE CCNC 2008, January 10–12, 2008. Las Vegas, USA.
8. **Gimadinov R. F.** Clustering in 5G networks / R. F. Gimadinov, A. S. Muthanna, A. E. Koucheryavy // *Information technologies and telecommunications*. – 2015. – No. 1. – PP. 35–41.
9. **Osseiran A.**, Boccardi F., Braun V., Kusume K., Marsch P., Maternia M., Queseth O., Schellmann M., Schotten H., Taoka H., Tullberg H., Uusitalo M.A., Timus B., and Fallgren M., “Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project,” *IEEE Communications Magazine*, vol.52, no.5, pp.26-35, May 2014.
10. **Wu G.**, Talwar S., Johnsson K., Himayat N., and Johnson K. D., “M2M: From mobile to embedded internet,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 49, no. 4, PP. 36–43, 2011.
11. **Ericsson**, “More than 50 billion connected devices taking connected devices to mass market and profitability,” 2011
12. **Kucheryavy A. E.** D2D – communication in the 5G mobile networks / A. E. Koucheryavy, A. S. Muthanna // *Information technologies and telecommunications*. – 2014. – No. 4. – PP. 51–63.
13. **Koucheryavy A.**, Salim A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks. Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2009. ICACT 2009. Phoenix Park, Korea.
14. **Koucheryavy A.**, Salim A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks. Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2010. ICACT 2010. Phoenix Park, Korea.
15. **ITU-R M. [IMT.VISION]**, “IMT Vision – Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond,” ITU Working Document 5D/TEMP/224-E, July 2013.

Гимадинов Ринат Фаритович – магистр кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», renny0gi@gmail.com

Мутханна Аммар Салех Али – аспирант кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», ammarexpress@gmail.com

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», akouch@mail.ru

УДК 004.75

И. Н. Костык

I. N. Kostyk

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

А. Е. Кучерявый

A. E. Koucheryavy

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

А. В. Прокопьев

A. V. Prokopiev

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ СЕТЕЙ *BLUETOOTH*, *WIFI* И *ZIGBEE*

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF POSITIONING
FOR *BLUETOOTH*, *WIFI* AND *ZIGBEE* NETWORKS

Совершенствование беспроводных технологий открывает новые возможности в позиционировании объектов. Каждая используемая технология обладает своими особенностями и, тем самым, влияет на эффективность позиционирования. В данной статье предлагается использовать существующие решения на базе *ZigBee*, *WiFi* и *Bluetooth* для анализа и сравнения эффективности их использования.

Improving wireless technology opens new opportunities for the positioning of objects. Each used technology has its own characteristics and affect the efficiency of positioning. In this paper we propose to use the existing solutions based on *ZigBee*, *WiFi* and *Bluetooth* to analyze and compare the effectiveness of their use.

позиционирование, беспроводные сети, *WiFi*, *ZigBee*, *Bluetooth*.

positioning, wireless networks, *WiFi*, *ZigBee*, *Bluetooth*.

Введение

За последнее десятилетие беспроводные сети получили широчайшее распространение. Их использование открывает новые горизонты во многих областях и одно из них – позиционирование. Отказываясь от проводных технологий, мы увеличиваем мобильность узлов, ускоряем развертывание сети, а также можем использовать датчики в труднодоступных районах.

За последние несколько лет проделана большая работа по увеличению срока службы датчиков, путем уменьшения его энергопотребления. В данной работе будут использоваться сети *ZigBee*, *WiFi* и *Bluetooth* для позиционирования объекта внутри помещения [4, 6].

ZigBee был разработан альянсом компаний *ZigBee* [11]. Последовательная ретрансляция пакетов от узла источника до узла адресата. Существует несколько альтернативных алгоритмов маршрутизации и их автоматический выбор. *ZigBee* дает возможность использования каналов в нескольких частотных диапазонах. Максимальная скорость передачи и лучшая помехозащищенность достигаются в диапазоне от 2,4 до 2,48 ГГц (предусмотрено 16 каналов по 5 МГц).

Сети *ZigBee* строятся из трех основных типов базовых станций: координаторов, маршрутизаторов и конечных устройств.

1. Координатор запускает сеть и управляет ею. Он формирует сеть, выполняет функции центра управления сетью и доверительного центра – устанавливает политику безопасности.

2. Маршрутизатор транслирует пакеты, осуществляет динамическую маршрутизацию, восстанавливает маршруты при перегрузках в сети или отказе какого-либо устройства. Маршрутизаторы работают в непрерывном режиме, имеют стационарное питание и могут обслуживать до 32 спящих устройств.

3. Конечное устройство может принимать и отправлять пакеты, но не занимается их трансляцией и маршрутизацией. Конечные устройства могут переводиться в спящий режим для экономии заряда аккумуляторов.

WiFi разработан *NCR Corporation/AT&T* [14]. Сеть содержит не менее одной точки доступа и одного клиента. Возможно подключение 2 клиентов в режиме точка-точка (точка доступа не используется, и пользователи соединяются «напрямую»). Точка доступа передает свой идентификатор сети с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Зная *SSID* сети, клиент может выяснить возможность подключения к данной точке доступа.

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

1. Автономные точки доступа.
2. Точки доступа, работающие под управлением контроллера.
3. Бесконтроллерные, но не автономные.

По способу организации и управления радиоканалами можно выделить:

1. Со статическими настройками радиоканалов.
2. С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов.
3. Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов.

Bluetooth разработан компаниями *Toshiba, Nokia, Intel, IBM* и *Ericsson*. Организован в виде "пикосетей", в которых одно ведущее устройство осуществляет взаимодействие не более чем с семью ведомыми [15]. Ведомые устройства могут взаимодействовать друг с другом только через ведущее. Каждое устройство может быть членом четырех пикосетей одновременно, но главным может быть только в одной из них. Это устройство выполняет роль моста между пикосетями. Несколько взаимодействующих пикосетей образуют так называемую *scatternet* ("разбросанную сеть").

Трафик в сети организован с временным разделением каналов и дуплексной передачей. Временное разделение осуществляется интервалами (временными слотами) длиной в 625 мкс. Ведущие устройства могут начинать передачу только в течение интервалов с нечетными номерами, ведомые отвечать в течение четных интервалов. В течение каждого интервала можно передать 366 бит.

В *Bluetooth* используется широкополосная модуляция типа *FHSS*. Переход с одной частоты на другую выполняется по случайному закону, который устанавливается для каждого соединения индивидуально. Это повышает степень защиты информации. Несущая частота изменяется 1600 раз в секунду.

Выбор программного продукта

Для позиционирования в сетях *IEEE 802.11* был выбран *Ekhaui* [15]. Работает с *802.11b/g WLAN*. Тэги осуществляют передачу информации как и другие *WiFi* клиенты, а *AP WLAN* работают в режиме прослушивания. Последние оценивают уровень сигнала тэгов. Контроллер передает полученные данные приложению, которое проводит расчеты и выводит результат на экран. Перед началом работы, необходима калибровка. Мы получаем подробную статистику прохождения сигнала в текущем помещении (рис. 1). Для использования достаточно иметь *WiFi* сеть и наш тэг.

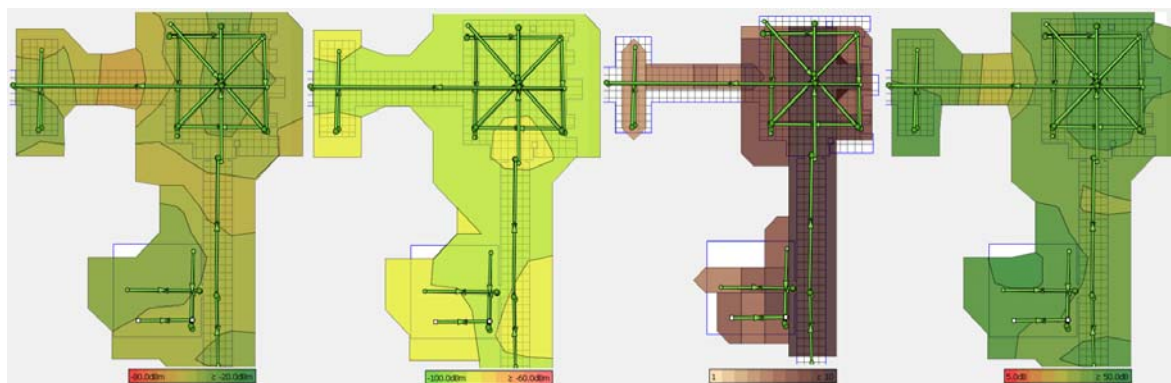


Рис. 1. Характеристики прохождения сигнала в помещении

NanoPAN 5375 Development Kit [12] работает с *IEEE 802.15.4a*. В комплект входит 4 анкера, 1 метка и 1 база (рис. 2). Анкеры размещаются

в точках с известными координатами. Метка, координаты которой требуется найти, свободно перемещается в помещении. Информация о силе сигнала между меткой и каждым анкором передается через базу – приложение. Результат можно корректировать, используя фильтры.

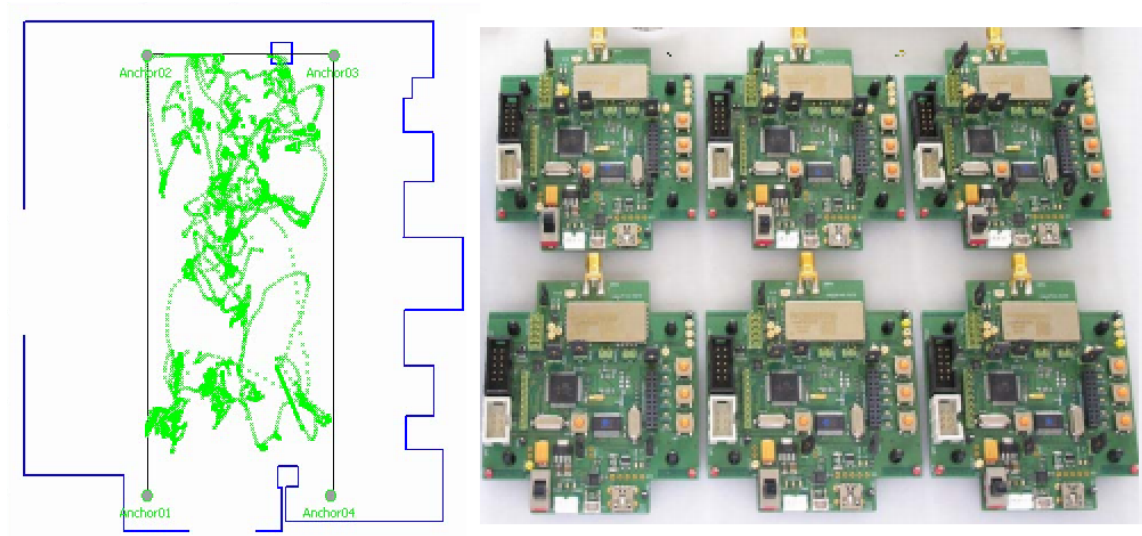


Рис. 2. Комплект *NanoPAN 5375 Development Kit* (справа) и трэкинг (слева)

Locate Beacon Mobile App [13] использовался с *IEEE 802.15.1*. Это приложение разработано компанией *Radius Networks*. Модуль *Bluetooth* является меткой и перемещается по помещению, в то время как мобильный телефон с установленным приложением будет поочередно находиться на месте анкоров. На экране будет отображаться расстояние между устройствами. После чего рассчитываются координаты устройства.

Выбор помещения

Для исследования, необходимо выбрать помещение, отвечающее целому списку требований:

1. Наличие открытых участков. Это зоны, свободные от различных преград, которые способны изменить силу сигнала или же время его прохождения. Это самые «легкие» участки для позиционирования внутри помещений.

2. Наличие участков с преградами. Сложность заключается в том, что сигнал, проходя через препятствие, будет меняться. Возможно изменения силы сигнала (как усиление, так и ослабление), направления (изменяется угол приходящего сигнала), и полная его потеря.

3. Возможность изолировать помещение от внешних факторов. Воздействие человека на показания приборов, другого оборудования, сигналов и т. п.

4. Создание большого количества внешних факторов. Проверка эффективности позиционирования в сложных повседневных ситуациях.

5. Разнородность границ помещения позволят оценить изменение качества позиционирования вблизи различных предметов.

Был выбран коридор 5-го этажа СПбГУТ на Дыбенко, 22 (рис. 2). Это помещение максимально возможно подходило всем условиям:

1. В центре помещения большая часть «открыта».

2. Наличие двух столбов и стены между анкерами будут влиять на эффективность позиционирования.

3. Проведение экспериментов в вечернее, внеурочное время позволяет исключить появление людей и минимизирует влияние посторонних помех. Тем не менее, полностью исключить электромагнитные помехи невозможно.

4. Проведение эксперимента в обеденный перерыв сильно ухудшает качество позиционирования. Повышается количество людей, проходящих мимо метки, пользующихся услугами связи.

5. Два проема без дверей, три лифта, окна, металлические сидения, металлические перила, сложный рельеф стен.

6. Простота измерения расстояний. Пол помещения покрыт плиткой 60х60 см.

Эксперименты

Область помещения, где происходило позиционирование, поделено на квадратные сектора со стороной 1,2 метра (2 плитки). Метка поочередно помещается в эти точки и определяются координаты с помощью программных средств. Истинные координаты высчитываются относительно анкоров. Таблицы истинных и полученных значений сравниваются и оцениваются.

$$Q = \sqrt[2]{(x_i - x_p) * (x_i - x_p) + (y_i - y_p) * (y_i - y_p)},$$

где Q – отклонение от истинного значения;

x_i, y_i – истинные координаты;

x_p, y_p – полученные координаты.

В каждой области необходимо провести 4 измерения. Происходить имитация поворота искомого объекта вокруг своей оси. Полученные координаты будут соответствовать метке, повернутой на 0, 90, 180 и 270 градусов. Истинные значения координат для этого сектора остаются неизменными, ведь объект не перемещался. В результате получается 5 таблиц (1 с истинными координатами и 4 с разными положениями объекта). Таблицы поворотов сравниваются с таблицей истинных значений так же, как и в первом случае (табл.).

лицы поворотов сравниваются с таблицей истинных значений так же, как и в первом случае (табл.).

Задерживаясь на каждом участке, можно определить постоянство показаний. Получаемые координаты будут изменяться с течением времени и необходимо рассчитать границы этих перепадов (рис. 3).

Определение координат движущегося объекта будет проводиться в следующем опыте. Используется два маршрута: «змейкой» и по диагонали. В первом случае равномерное движение между точками и остановкой в них на 30 секунд. Во втором случае равномерное движение по диагоналям помещения без остановок.

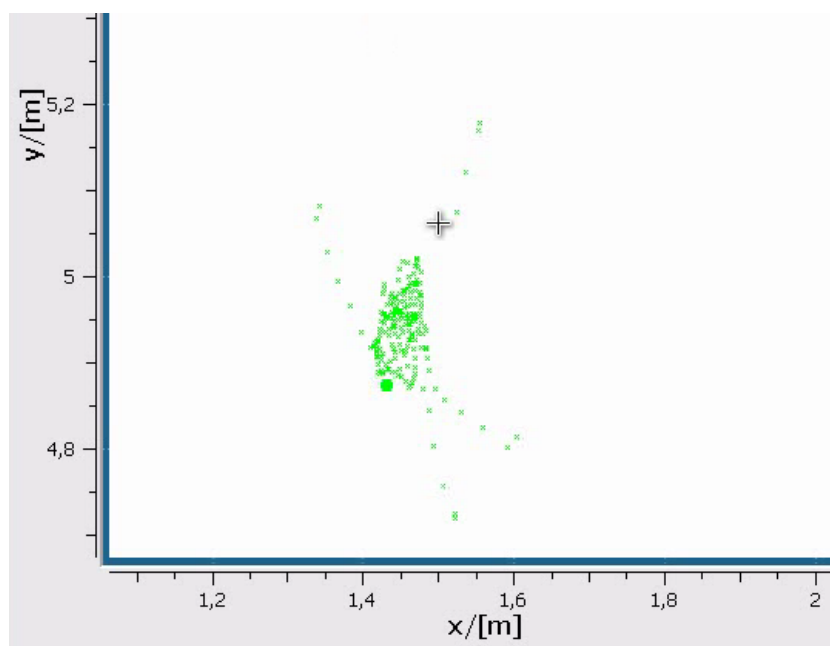


Рис. 3. Разброс полученных координат метки, находящейся на месте

Все опыты проводятся в двух режимах и в разное время. В первом режиме необходимо максимально минимизировать внешние воздействия. Во втором необходимо поочередно воздействовать на анкоры, метку, базу, и все вместе.

ТАБЛИЦА. Результаты проведенных экспериментов

	<i>IEEE 802.11</i>	<i>IEEE 802.15.4a</i>	<i>IEEE 802.15.1</i>
ср. ошибка, м	1,26	1,07	2,11
min ошибка, м	0,3	0,22	0,2
max ошибка, м	2,4	2,26	4,9
ср. разброс, м	0,07	0,13	0,28
min разброс, м	0	0,07	0,04

	<i>IEEE 802.11</i>	<i>IEEE 802.15.4a</i>	<i>IEEE 802.15.1</i>
max разброс, м	0,32	0,2	0,57
повороты, м	0,77	0,52	0,6
лучшие зоны	рельеф	центр	центр
внешнее влияние, м	0,2	1,2	0,7

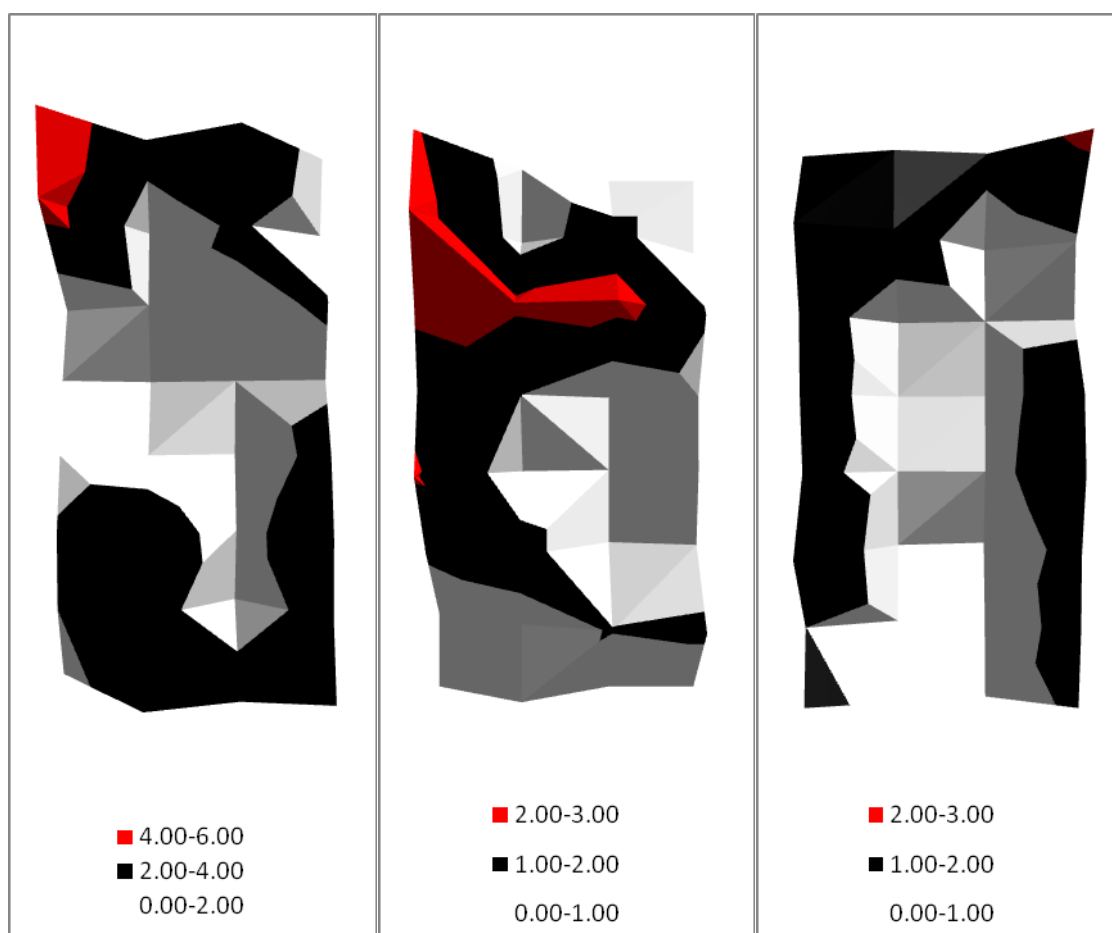


Рис. 4. Результат позиционирования в помещении по областям.
IEEE 802.11 (слева), *IEEE 802.15.4a* (центр), *IEEE 802.15.1* (право)

Выводы

Анализируя полученные данные о точности позиционирования трех систем (табл.), приходим к выводу, что:

1. Вблизи стен, столбов, лифтов и прочих препятствий, лучше всего себя показал *WiFi*.
2. На открытых областях выигрывает *ZigBee*.
3. Стабильнее всего результаты у *ZigBee*.

5. *WiFi* устойчив к внешним факторам.

Теоретически, чтобы получить еще более точную и универсальную систему, необходимо объединить *WiFi* и *ZigBee*. В таком случае влияние препятствий будет усредняться и в результате получится равномерная по точности область позиционирования.

Библиографический список

1. **Боронин П. Н.** Интернет Вещей как новая концепция развития сетей связи / П. Н. Боронин, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 7–30.
2. **Гольдштейн Б. С.** Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
3. **Ометов А. Я.** О роли беспроводных технологий связи в развитии Интернета Вещей / А. Я. Ометов, Е. А. Кучерявый, С. Д. Андреев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 31–40.
4. **Кучерявый А. Е.** Интернет Вещей / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
5. **Кучерявый А. Е.** Летающие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый, А. Г. Владыко, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, И. А. Богданов, А. А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2014. – № 9. – С. 2–5.
6. **Кучерявый А. Е.** Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с.
7. **Кучерявый А. Е.** Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей / А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 29–41.
8. **Кучерявый А. Е.** Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый.. – М. : Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 296 с.
9. **Скворцов А. В.** Триангуляция Делоне и её применение / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
10. **WiFi Alliance** / URL: <http://www.wi-fi.org/> (дата обращения 01.06.15).
11. **The ZigBee Alliance** / URL: <http://www.zigbee.org/> (дата обращения 01.06.15).
12. **Nanotron Technologies GmbH** – Transceivers / URL: http://nanotron.com/EN/PR_ic_modules.php#08 (дата обращения 01.06.15).
13. **Locate Beacon Mobile App** _ BLE AltBeacon and iBeacon Proximity Beacons, Developer Kit, and Accessories _ Radius Networks Store / URL: <http://store.radiusnetworks.com/products/locate-ibeacon-app> (дата обращения 01.06.15).
14. **Ekahau Wi-Fi RTLS**, Active RFID Tracking Solutions, and Wi-Fi Site Survey, WLAN Planning Tools / URL: <http://www.ekahau.com/> (дата обращения 01.06.15).
15. **Bluetooth Technology Special Interest Group** / URL: <https://www.bluetooth.org/> (дата обращения 01.06.15).

References

1. **Boronin P. N.** Internet of Things as new concept of development of communication networks / P. N. Boronin, A. E. Kucheryavy // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 7–30.
2. **Goldstein B. S.** Post-NGN communication networks / B. S. Goldstein, A.E. Kucheryavy. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2013. – 160 p.

2. **Goldstein B. S.** Post-NGN communication networks / B. S. Goldstein, A.E. Kucheryavy. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2013. – 160 p.
3. **Ometov A. Ya.** About a role of wireless technologies of communication in development of the Internet of Things / A. Ya. Ometov, E. A. Kucheryavy, S. D. Andreyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 31–40.
4. **Kucheryavy A. E.** Internet of Things / A. E. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2013. – No. 1. – PP. 7–30.
7. **Kucheryavy A. E.** Evolution of researches in the field of wireless sensor networks / A. E. Kucheryavy, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 4. – PP. 29–41.
8. **Kucheryavy A. E.** Communication networks public. Tendencies of development and methods of calculation / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, E. A. Kucheryavy. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 296 p.
5. **Kucheryavy A. E.** The flying sensor networks / A. E. Kucheryavy, A. G. Vladiko, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev, I. A. Bogdanov, A. A. Dort-Golts // Electrosvyaz. – 2014. – No. 9. – PP. 2–5.
6. **Kucheryavy A. E.** The self-organizing networks / A. E. Kucheryavy, A. V. Prokopyev, E. A. Kucheryavy. – St. Petersburg: Lyubavich, 2011. – 312 p.
- Kucheryavy A. E.** From Russia to the e-u-Russian tendencies of development of telecommunications / A. E. Kucheryavy, E. A. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2005. – № 5. – PP. 10–12.
- Kucheryavy A. E.** The self-organized networks and new services / A. E. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2009. – № 1. – PP. 19–23.
9. **Skvortsov A. V.** Delaunay triangulation and its application / A. V. Starlings. – Tomsk : Publishing house Tom. Univ., 2002. – 128 p.
10. **WiFi Alliance** / URL: <http://www.wi-fi.org/> (date of the address 01.06.15).
11. **The ZigBee Alliance** / URL: <http://www.zigbee.org/> (date of the address 01.06.15).
12. **Nanotron Technologies GmbH** – Transceivers / URL: http://nanotron.com/EN/PR_ic_modules.php#08 (date of the address 01.06.15).
13. **Locate Beacon Mobile App** _ BLE AltBeacon and iBeacon Proximity Beacons, Developer Kit, and Accessories _ Radius Networks Store / URL: <http://store.radiusnetworks.com/products/locate-ibeacon-app> (date of the address 01.06.15).
14. **EkaHau Wi-Fi RTLS**, Active RFID Tracking Solutions, and Wi-Fi Site Survey, WLAN Planning Tools / URL: <http://www.ekahau.com/> (date of the address 01.06.15).
15. **Bluetooth Technology Special Interest Group** / URL: <https://www.bluetooth.org/> (date of the address 01.06.15).

Костык Иван Николаевич – студент магистратуры Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», kostyk.in@gmail.com

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», akouch@mail.ru

Прокопьев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича».

УДК 004.057.4

Р. Р. Гимранов

R. R. Gimranov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**Р. В. Киричек**

R. V. Kirichek

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**М. Н. Шпаков**

M. N. Shpakov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

ТЕХНОЛОГИЯ МЕЖМАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ *LoRa*

THE *LoRa* M2M TECHNOLOGY

На сегодняшний день во всём мире активно развивается концепция взаимодействия между собой различных датчиков и сенсоров на основе беспроводной связи, а в исследованиях в этой области вовлечены многие крупные мировые *IT*-компании. Однако долгое время не было технологии, которая могла бы позволить реализовать потенциал, заложенный в Интернет Вещей. Такое положение вещей сложилось из-за различных технических причин, но теперь можно сказать, что решение найдено – это технология *LoRa*. В данном исследовании, во-первых, была описана технология *LoRa*, приведены общие сведения и ключевые особенности данной технологии, принцип её работы, построение сети на её основе, во-вторых, представлено сравнение *LoRa* с другими современными беспроводными технологиями, в-третьих, показаны существующие технические решения для этой технологии и проекты, которые либо уже были реализованы с помощью *LoRa*, либо будут реализованы в самое ближайшее время.

Nowadays the concept of interaction between a variety of sensors and devices based on wireless communications are developing actively all over the world and many large international *IT*-companies are involved. However for a long time there was no technology that could allow realizing the potential of the Internet of Things. This situation has developed due to various technical reasons, but now we can say that a solution is found – the *LoRa* technology. In this paper, firstly, the *LoRa* technology has been described, including an overview and key features of this technology, the principle of its work and building a network based on it, secondly, a comparison with other modern wireless technologies was made, and thirdly, an existing technical solutions for this technology and projects, that either have already been implemented by *LoRa*, or will be implemented in the near future were showed.

Интернет Вещей, *M2M*, коммуникации, *LoRa*.

Internet of Things, *M2M*, communication, *LoRa*.

Введение

Сегодня, в России и во всём мире активно развивается относительно новая концепция организации сетей *M2M* (*Machine-to-Machine*) [1–3]. В основе этой концепции заложено общение всевозможных датчиков, сенсоров и любых других устройств на основе беспроводной связи. Если рассматривать в целом, то в сферу *M2M* попадает любая техника, которая не предназначена для звонка другу или смс-сообщений, то есть не предназначена для общения между людьми. Это могут быть системы охраны, банкоматы, датчики «умного дома» и т. д. Все эти вещи принадлежат к так называемому «Интернету Вещей». На прилавках магазинов часто можно увидеть товары с приставкой «смарт» и это один из признаков того, что эта вещь принадлежит «Интернету Вещей». Таких вещей с каждым днём становится всё больше и в связи с этим на сцену выходит новый тип пользователя сети – машина. И появляются новые проблемы, связанные с этим видом взаимодействия, которые только предстоит решить.

В течение нескольких лет огромный потенциал Интернета вещей, который заключается в сборе и анализе данных пользовательских устройств с целью дальнейшего принятия решений, не был раскрыт в следствие таких технических причин, как недолговечность аккумуляторов, передача информации на короткие расстояния, высокие затраты и недостаток необходимых стандартов [2, 3].

Однако, 23 марта 2015 года исследовательский центр *IBM Research* и компания *Semtech* представили новую энергоэффективную сетевую технологию на базе *WAN*, которая предлагает значительные преимущества перед сотовыми сетями и *WiFi* благодаря возможности развертывания межмашинных (*M2M*) коммуникаций.

Тема этой работы, беспроводная технология передачи данных *LoRa*, технология, которая может помочь реализовать весь этот огромный потенциал «Интернета Вещей» и *M2M* коммуникаций.

Ключевые особенности

Используя новые спецификации и протокол для энергосберегающих *WAN*-сетей, который задействует нелицензированный спектр беспроводного доступа, технология может соединять сенсоры, расположенные на большом расстоянии друг от друга, при этом предлагая оптимальный срок жизни аккумулятора и не требуя больших инфраструктурных возможностей [3]. Все это позволяет обеспечить усовершенствованную мобильность, безопасность, двунаправленность, локализацию и позиционирование, а также снижение стоимости.

Кратко перечислим ключевые особенности технологии *LoRa*:

– Широкий диапазон работы: до 15–20 км на открытой местности и до 2–5 км в условиях плотной городской застройки;

- Возможность подключения миллионов узлов. Каждая базовая станция *LoRa* может обслуживать несколько тысяч узлов;
- Длительный срок службы батареи (АА): свыше десяти лет;
- Скорость обмена данными: от 300 бит/с до 100 Кбит/с [4].

Технические параметры

Беспроводная технология *LoRa* имеет радиочастотный интерфейс, который позволяет ей поддерживать связь на больших расстояниях при использовании малой мощности. *LoRa* использует нелицензированные (*ISM*) диапазоны частот, которые доступны по всему миру:

- 868 МГц для Европы;
- 915 МГц для Северной Америки;
- 433 МГц для Азии.

Использование более низких частот, чем 2,4 или 5,8 ГГц в *ISM* диапазонах, обеспечивает очень хорошее покрытие и качество сигнала. Что особенно важно, высокое качество передачи сигнала, для узлов расположенных в зданиях или под землёй, чего не может обеспечить обычное широкополосное соединение.

В данной технологии используется собственный вид модуляции с расширенным спектром и техника прямой коррекции ошибок. Это позволяет системам *LoRa* демодулировать сигналы, которые на 20 дБ ниже уровня шума, что также немаловажно для качества передачи.

Использование технологии с расширенным спектром ЛЧМ позволяет соединениям с различными скоростями передачи данных не мешать друг другу. В этом случае создаётся набор «виртуальных» каналов, что увеличивает пропускную способность шлюза.

Для *LoRa* доступны разнообразные полосы пропускания: 7,8; 10,4; 15,6; 20,8; 31,2; 41,7; 62,5; 125; 250; 500 кГц, а уровень мощности, который используются при передачи данных на физическом уровне является адаптивным. Выбор этих параметров производится автоматически и зависит от необходимой скорости передачи данных (от 300 бит/сек до 100 кбит/сек), состояния линии связи и т. д. Уровень мощности определяется как немного меньший максимального для поддержания высокой скорости передачи данных. Это позволяет эффективно использовать пропускную способность сети и максимально продлить время работы батареи [5].

Составные части сети *LoRa*

Поскольку технология *LoRa* способна обеспечить большую область покрытия, она часто упоминается как *LoRaWAN*.

Сеть *LoRa* состоит из нескольких элементов (рис. 1):

- Конечные точки: элементы сети *LoRa*, которые содержат в себе сенсоры и актуаторы. Как правило, расположены дистанционно.

– Базовая станция (или шлюз): шлюз получает сообщения от конечных точек и затем передает их в транзитную систему. Эта часть сети *LoRa* может быть сетью *Ethernet*, сотовой или любой другой телекоммуникационной проводной или беспроводной сетью. Шлюзы подключены к сетевому серверу с использованием стандартных соединений *IP*. На этом участке для передачи данных используется стандартный протокол, но данные могут быть подключены и передаваться в любой сети телекоммуникаций, государственной или частной. В связи со схожестью, базовые станции сети *LoRa* могут быть совмещены с сотовой базовой станцией. Таким образом, они имеют возможность использовать свободные мощности сотовой транзитной сети.

– Сервер: в сети *LoRa* сетью управляет сервер. Сетевой сервер устраняет дубликаты пакетов, управляет расписанием передачи, и адаптирует скорость передачи данных. Исходя из того, как он может быть развернут и подключен, создание сети *LoRa* представляется очень простой задачей.

– Удаленный компьютер: удаленный компьютер может контролировать действия конечных точек или собирать данных с них – сеть Лора является прозрачной для пользователя.

В сети *LoRa* узлы, как правило, составлены в топологии звезда-в-звезде и формируют с базовой станцией прозрачный мост. Сообщения с конечных точек ретранслируются в сети пока не доходят до сервера. Топология «звезда» протоколов *LoRaWAN* более простая и экономичная в реализации, нежели «*mesh*».

Связь с каждой конечной точкой, как правило, поддерживается отдельно и является двунаправленной, но также возможна многоадресная рассылка, и это важно, например, в случае необходимости обновления программного обеспечения [6].

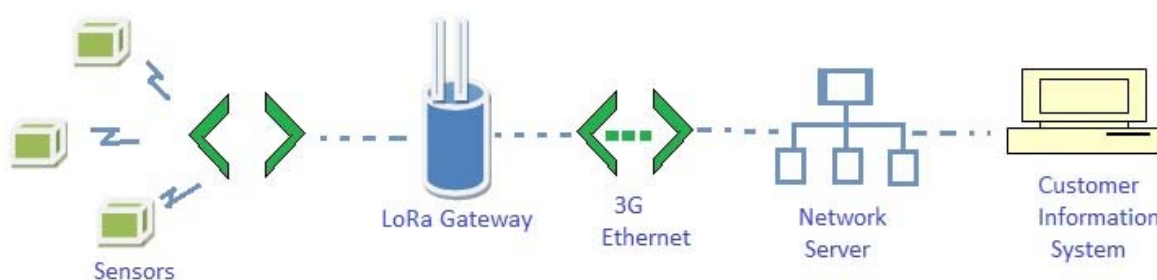


Рис. 1. Топология сети *LoRa*

Классы конечных точек

Технология *LoRa* предлагает решения для различных задач, соответственно *LoRaWAN* поддерживает три класса конечных точек:

- Устройства с двунаправленной передачей данных (*class A*): связь устанавливается с помощью двух служебных сообщений от конечной точки к серверу. Отправка данных ведётся по расписанию с отклонением от точного времени на случайную величину, чтобы избежать перегрузки канала. Попытка соединения сервера с конечной точкой в любое другое время, отличное от расписания, будет отклонена. *Class A* является самым низкоэнергозатратным.

- Устройства с двунаправленной передачей данных и запланированным дополнительным временем приёма данных (*Class B*): отличие от *Class A* состоит в том, что функциональность этих устройств дополнена возможностью получать данные от сервера не только в момент передачи данных от конечной точки, но и в другое время, установленное по расписанию. Конечная точка получает данные о времени синхронизации от шлюза с помощью радиомаячка. Это позволяет серверу точно знать, когда устройство готово к приёму данных.

- Устройства с двунаправленной передачей данных и максимальным временем приёма (*Class C*): устройства этого класса обеспечивают почти непрерывную возможность получать данные от сервера. Возможность отсутствует только в момент передачи данных от конечной точки. Этот тип конечной точки подходит в тех случаях, когда есть необходимость в приёме больших объёмов данных, а не в их передаче. *Class C* является самым энергозатратным из представленных [6].

Безопасность сети *LoRa*

Вопросы сетевой безопасности становятся всё более важными в последнее время, поэтому сети, построенные по технологии *LoRa*, требуют высокого уровня защиты.

Для достижения этой цели были использованы несколько уровней шифрования:

- 64-битный расширенный уникальный идентификатор сети (*EUI64*) обеспечивает безопасность на сетевом уровне.

- 64-битный расширенный уникальный идентификатор приложения (*EUI64*) обеспечивает безопасность на уровне приложений.

- Каждое устройство обладает собственным уникальным идентификатором (*EUI128*).

Учитывая всё это, можно сказать, что взлом и прослушивание сети *LoRa* становится почти невозможной задачей, но работа в этом направлении продолжает вестись и совершенствовать систему защиты [6].

Области применения

Области применения сетей *LoRa* прежде всего является Интернет Вещей во всех возможных его проявлениях.

- Умный город: смарт-парковка, управление дорожным движением, управление уличным освещением, контроль бытовых отходов (мусорных баков), управление рекламными щитами.

- Окружающая среда: обнаружение пожаров, загрязнения воздуха, измерение уровня выпавшего снега, мониторинг лавин, наводнений и засух, обнаружение землетрясений.

- Контроль воды: мониторинг питьевой воды, контроль морской воды, приливов, обнаружение утечек.

- Умный дом: счётчики газа, воды, электричества, обнаружение вторжения, удалённое управление, обнаружение дыма.

- Отслеживание: логистика, автомобили, велосипеды, ценные предметы, контроль местонахождения питомцев или миграции представителей фауны.

- Производственный мониторинг: мониторинг состояния оборудования, качества воздуха и температуры в рабочих помещениях.

- Сельское хозяйство: мониторинг теплиц и виноградников, управление орошением, отслеживание животных.

- Здоровоохранение: контроль за состоянием здоровья, мониторинг во время занятий спортом, удалённое наблюдение за пациентами.

- Спасательные службы: анализ присутствия в опасных/запрещённых зонах, обнаружение взрывоопасных веществ в местах общего пользования.

- Торговля: контроль цепочки поставок, мобильных платежей, умный шопинг, обслуживание вендинговых аппаратов.

Генеральный директор *FastNet*, крупнейшей телекоммуникационной сети Южной Африки, о возможном применении сети *LoRa* сказал следующее: *«Мы видим перспективные возможности развития LoRaWAN в Южной Африке, особенно в сфере управления энергетикой. Есть множество областей применения этой технологии, начиная от медицинских решений и заканчивая сельскохозяйственными системами. И это еще один пример того, как Африка задействует инновации с целью развития новых высокотехнологичных рынков».*

Сравнение *LoRa* с другими беспроводными сетями

ТАБЛИЦА. Сравнение различных беспроводных сетей

	<i>LoRa</i>	<i>Bluetooth</i> [4]	<i>Wi-Fi</i> [4]	<i>ZigBee</i> [4]	<i>3G</i> [4]	<i>GSM/GPRS/EDGE</i> [4]	<i>LTE</i>
Диапазон частот	868 МГц (Европа) 915 МГц (СА) 433 МГц (Азия)	2.4 ГГц	2.4/5 ГГц	868 МГц (Европа) 900-928 МГц (СА), 2,4 ГГц (в мире)	2100 МГц	900	2500-2700 МГц
Скорость передачи данных	до 100 кбит/сек	до 1 Мбит/с	до 1 Гбит/с	до 250 кбит/с	до 2048 Кбит/с	14.4/171/473 Кбит/с	до 326,4 Мбит/с
Дальность работы	до 20 км	до 100 м	до 100 м	до 200 м	в зоне покрытия	В зоне покрытия	В зоне покрытия
Топология	Звезда-в-звезде	Точка-точка, звезда, сеть	Точка-точка, сеть	Точка-точка, звезда, сеть	Сотовая сеть	Сотовая сеть	Сотовая сеть
Безопасность	64 и 128 битное шифрование	64 и 128 битное шифрование	-	<i>AES128</i> и прикладной уровень безопасности	-	-	-
Количество подключаемых устройств	До нескольких тысяч устройств на сеть	8 устройств на одну пикосеть, максимум 8 пикосетей	До 128 устройств на сеть	Около 65 000 устройств на сеть	Не ограничено	Не ограничено	Не ограничено
Типичные области применения	<i>M2M</i> коммуникации, Интернет Вещей	Беспроводное соединение носимых устройств	Беспроводная ЛВС, широкополосного доступа в Интернет	<i>M2M</i> коммуникации, Интернет Вещей	Абонентская связь	Абонентская связь	Абонентская связь

Доступные решения для *LoRa*

На данный момент на рынке представлены всего несколько продуктов, поддерживающих технологию *LoRa*. Одними из них являются продукты компании *Semtech SX1276* и *SX1272* (конечные точки) и *SX1301* (шлюз).

Модуль *SX1276* (рис. 2) представляет собой конечную точку, обладающую следующими характеристиками:

- частотный диапазон: 137–1020 МГц;
- максимальная скорость передачи до 300 кбит;
- энергопотребление 9,9 мА;
- максимальная чувствительность до 148 ДбмВт;
- встроенный датчик температуры и индикатор низкого заряда батареи;
- встроенный синхронизатор для восстановления тактовой частоты [8].



Рис. 2. Модуль *SX1276*

Модуль *SX1272* (рис. 3) также представляет собой конечную точку, обладающую следующими характеристиками:

- частотный диапазон: 860–1020 МГц;
- максимальная скорость передачи до 300 кбит;
- энергопотребление 10 мА;
- максимальная чувствительность до 137 ДбмВт;
- встроенный датчик температуры и индикатор низкого заряда батареи;
- встроенный синхронизатор для восстановления тактовой частоты [9].



Рис. 3. Модуль *SX1272*

Модуль *SX1301* (рис. 4) представляет собой шлюз, обладающий следующими характеристиками:

- максимальная чувствительность до 142,5 ДбмВт;
- возможность работать при отрицательном *CCR* (отношение сигнал/шум);
- 10 программируемых параллельных каналов демодуляции;
- два фронтальных интерфейса *TX* и *RX*;
- динамически адаптируемая скорость передачи данных;
- одновременная работа в двух частотных диапазонах [10].

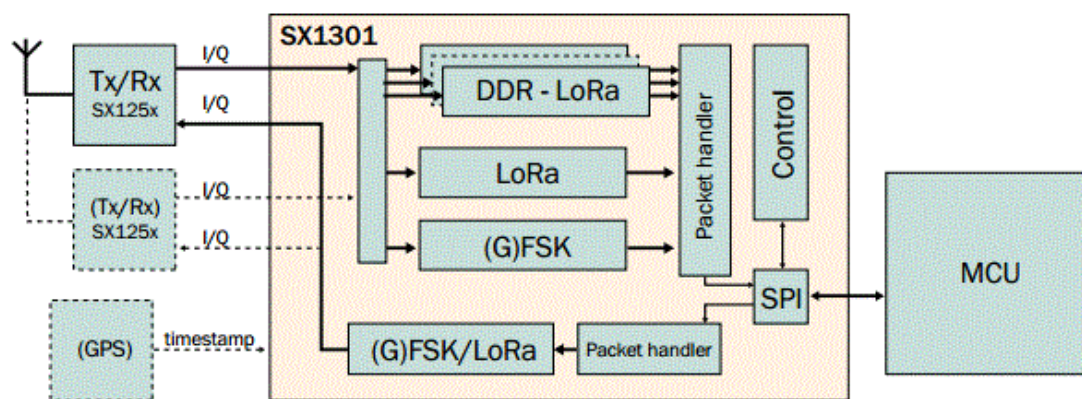


Рис. 4. Устройство шлюза SX1301

LoRa Альянс

Для того чтобы развивать и продвигать беспроводную технологию *LoRa*, был создан *LoRa* Альянс. Он является открытой и некоммерческой ассоциацией, которая была официально представлена на *Mobile World Congress* в 2015 году.

Хотя *LoRa* и была разработана *Semtech*, продвижение этой технологии в открытом виде в качестве отраслевого стандарта позволит этой технологии вырасти и заполучить значительную долю рынка. Есть основания полагать, что в ближайшее время соединение миллиардов устройств, от сенсоров и отдельных механизмов до мониторов и носимой электроники, станет такой же простой задачей, как отправка *SMS*-сообщений через обычного провайдера связи.

В члены-учредители альянса вошли такие компании, как: *Actility*, *Cisco*, *Eolane*, *IBM*, *Kerlink*, *IMST*, *MultiTech*, *SagemCom*, *Semtech* и *Microchip Technology*, а также операторы связи: *Bouygues Telecom* (Франция), *KPN* (Нидерланды), *SingTel* (Сингапур), *Proximus* (Бельгия), *Swisscom* (Швейцария) и *FastNet* (часть компании *Telkom* Южной Африки) [4].

Стоит сказать, что компания *IBM* выложил в открытый доступ софт для микроконтроллеров и передатчиков, поддерживающих технологию *LoRa*. Используя его и *IBM IoT Foundation* сервер, мы получаем бесплатное решение по организации в облаке *IBM* мониторинга своей сети распределённых по городу датчиков в обход *Wi-Fi*, *GSM*, *3G*, *WiMAX*.

Проекты, реализованные по технологии *LoRa*

— Для демонстрации возможностей беспроводной технологии *LoRa*, компания *Semtech* создала сеть в Мюнхене на время проведения там выставки *Electronica 2014*, используя всего 6 базовых станций, им удалось добиться покрытия большей части восточного Мюнхена и стабильной работы всей сети.

– Телекоммуникационная компания из Нидерланд *KPN* объявила о планах развернуть сети *LoRa* в своей стране для удовлетворения интереса пользователей к Интернету Вещей.

– Французская компания *Bouygues Telecom* объявила о запуске в июне 2015 года первой сети во Франции предназначенной для межмашинного взаимодействия и построенной на технологии *LoRa*.

– *FastNet*, ведущий оператор *M2M* и часть *Telkom SA Group*, в ноябре 2014 года объявила о своем намерении развернуть сеть, разработанную специально для Интернета вещей в Южной Африке. В её основу ляжет технология *LoRa*.

– В настоящее время *Senet*, *M2M*-оператор и поставщик сетей в качестве сервиса, внедряет 20000 *LoRa*-сенсоров от *Semtech* с программным обеспечением *IBM LRSC*, чтобы отслеживать уровень топлива в пропановых и масляных баках, находящихся на территории жилых зданий и предприятий на западном и восточном побережьях США [8].

Заключение

В заключении хотелось бы сказать, что Интернет вещей сейчас даёт большие возможности для развития и таит в себе огромный потенциал. Однако на данном этапе своего развития существует слишком много нерешённых вопросов, но технологии не стоят на месте, и каждая проблема со временем найдёт своё решение. Технология *LoRa* и является одним из таких решений, которое уже сегодня позволит более эффективно использовать преимущества, предлагаемые нам различными «умными» устройствами. Она является технологией, которая призвана заполнить пустоту между технологиями малой дальности (*WiFi*, *ZigBee*) и мобильными технологиями (*3G*, *LTE*). Закончить хотелось бы словами Торстена Крампа (*Thorsten Kramp*), являющегося *Master Investor IBM Research*: «Интернет Вещей уже сейчас меняет мир вокруг нас, помогая улучшить регулирование движения на дорогах, повысить эффективность использования энергии в зданиях и на производственных предприятиях, а также снизить уровень уличной преступности в городах, – сказал Торстен Крамп (*Thorsten Kramp*), *Master Investor IBM Research*. – Такие технологии как *LoRaWAN* помогают значительно увеличить степень проникновения, дальность действия и долговечность сенсоров, которые составляют основу интеллектуального мира».

Библиографический список

1. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
2. Боронин П. Н. Интернет Вещей как новая концепция развития сетей связи / П. Н. Боронин, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 7–30.

3. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с.
4. **LoRa Wireless for M2M & IoT** [Электронный ресурс] / Ian Poole // 2014 / URL: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/basics-tutorial.php>.
5. **LoRa Physical Layer & RF Interface** [Электронный ресурс] / Ian Poole // 2014 / URL: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/rf-interface-physical-layer.php>.
6. **LoRa Network: LoRaWAN** [Электронный ресурс] / Ian Poole // 2014 / URL: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/lorawan-network-architecture.php>.
7. Колыбельников А. И. Обзор технологий беспроводных сетей // ТРУДЫ МФТИ. 2012. Том 4, № 2 [Электронный ресурс] / URL: https://mip.ru/upload/6b4/f_g7c9-arphcx11tgs.pdf.
8. **Semtech SX1276 Module Integration** [Электронный ресурс] / URL: <http://info.link-labs.com/sx1276>.
9. **Semtech SX1272 Module Integration** [Электронный ресурс] / URL: <http://info.link-labs.com/sx1272>.
10. **Semtech SX1301** [Электронный ресурс] / URL: <http://www.semtech.com/wireless-rf/rf-transceivers/sx1301/>.
11. **LoRa™ Alliance** / In The News [Электронный ресурс] / URL: <http://loralliance.org/News-Events/In-The-News>.

References

1. Boronin P. N. Internet of Things as new concept of development of communication networks / P. N. Boronin, A. E. Kucheryavy // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 7–30.
2. Kucheryavy A. E. Internet of Things / A. E. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2013. – No. 1. – PP. 7–30.
3. Kucheryavy A. E. The self-organizing networks / A. E. Kucheryavy, A. V. Prokopyev, E. A. Kucheryavy. – St. Petersburg: Lyubavich, 2011. – 312 p.
4. **LoRa Wireless for M2M & IoT** [Electronic resource] / Ian Poole // 2014 / URL: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/basics-tutorial.php>.
5. **LoRa Physical Layer & RF Interface** [Electronic resource] / Ian Poole // 2014 / URL: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/rf-interface-physical-layer.php>.
6. **LoRa Network: LoRaWAN** [Electronic resource] / Ian Poole // 2014 / URL: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/lorawan-network-architecture.php>.
7. Kolybelnikov A. I. Technology Overview wireless networks // Proceedings of MIPT. 2012 Volume 4, № 2 [Electronic resource] / URL: https://mipt.ru/upload/6b4/f_g7c9-arphcx11tgs.pdf.
8. **Semtech SX1276 Module Integration** [Electronic resource] / URL: <http://info.link-labs.com/sx1276>.
9. **Semtech SX1272 Module Integration** [Electronic resource] / URL: <http://info.link-labs.com/sx1272>.
10. **Semtech SX1301** [Electronic resource] / URL: <http://www.semtech.com/wireless-rf/rf-transceivers/sx1301/>.
11. **LoRa™ Alliance** / In The News [Electronic resource] / URL: <http://loralliance.org/News-Events/In-The-News>.

Гимранов Р. Р. – студент группы РК-11 Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича».

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», ki-richek@sut.ru

Шпаков М. Н. – студент группы ИКТ-309 Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича».

РАДИОТЕХНИКА, В ТОМ ЧИСЛЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.391.8

Р. Р. Биккенин

R. R. Bikkenin

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

А. А. Андрюков

A. A. Andrukov

Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова

N. G. Kuznetsov Naval Academy

Д. А. Бескин

D. A. Beskin

Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова

N. G. Kuznetsov Naval Academy

АВТОКОРРЕЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НА УДЛИНЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ, ПОХОЖИХ НА СИГНАЛ

AUTOCORRELATION SIGNAL PROCESSING
A SPREAD SPECTRUM AND THE RELATIVE PHASE MODULATION
ON THE ELONGATED INTERVAL IN INTERFERENCE CONDITIONS,
WHICH ARE SIMILAR A SIGNAL

В настоящей работе рассмотрена процедура автокорреляционной обработки сигналов с расширенным спектром, в которых реализована относительная фазовая модуляция.

In this work the procedure for autocorrelation processing spread spectrum signals in which the relative phase modulation is implemented.

демодулятор, ошибки, сигналы, помеха.

demodulator, error, signals, interference.

Введение

В настоящее время считается, что системы с расширенным спектром, в которых применяются псевдослучайные или шумоподобные сигналы являются эффективным средством передачи дискретной информации в усло-

виях организованных помех, похожих на сигналы [1–3]. Различные аспекты анализа их эффективности и практические приложения рассмотрены в [4–6]. В большинстве из названных работ рассмотрены методы расширения спектра на основе дискретной фазовой модуляции и процедуры их взаимокорреляционной обработки. Вместе с тем, во многих реальных каналах телекоммуникаций не всегда удастся обеспечить постоянство фазы сигналов, применяя сложные системы для ее подстройки. Поэтому целесообразнее переходить к использованию сигналов с относительной фазовой модуляцией (ОФМ) [7], называемой также дифференциальной фазовой модуляцией (*differential phase shift keying* – *DPSK*) [2].

ОФМ-сигналы при практическом применении снимают проблему неоднозначности фазы и проще в реализации, правда, теоретически несколько проигрывают в помехоустойчивости системам с дискретной фазовой модуляцией. С целью частичной компенсации этих потерь при демодуляции ОФМ-сигналов возможно увеличение энергии наблюдаемого колебания при принятии решения о переданном символе на приеме. Это достигается путем анализа совокупности из трех или большего числа подряд следующих посылок в отличие от известного метода [7] сравнения двух соседних посылок.

В настоящей работе рассмотрена процедура автокорреляционной обработки сигналов с расширенным спектром, в которых реализована относительная фазовая модуляция. Предполагается, что такие сигналы формируются посредством псевдослучайной последовательности (ПСП). В ряде источников это именуется расширением спектра методом прямой последовательности (*direct sequence spread spectrum* – *DSSS*). При анализе помехоустойчивости считается, что помехи имеют структуру, подобную передаваемым сигналам, но имеет над ними энергетическое превосходство. Иными словами, для мощностей сигнала и помехи справедливо условие $P_c/P_n \leq 1$, при этом также предполагается, что собственные шумы приемника пренебрежимо малы.

Модели сигнала, помехи и процедуры обработки сигналов

Предполагается, что источник сообщений формирует двоичные информационные символы $x \in \{0,1\}$, $(P\{x_i = 0\} = P\{x_i = 1\} = 1/2)$, $i = 1, 2, \dots$, которые определены на интервале $t \in [0, T_0]$. Далее они посредством псевдослучайной последовательности γ ($\gamma_k \in \{0,1\}, k = \overline{1, n}$, – элементы ПСП длительности $T = T_0 / n$) преобразуются в сигналы вида

$$S_i(t) = U_c \sum_{k=1}^n \pi_k(t) \text{rect}(t - (k-1)T) \sin(\omega t + \varphi_c), \quad (1)$$

где $\text{rect}(t - (k-1)T)$ – единичный импульс фиксированной длительности $T = T_0 / n$, который определяет временной интервал субэлемента псевдослучайного ОФМ-сигнала,

$$\pi_k(t) = \begin{cases} -1^{\varepsilon_k}, & t \in [(k-1)T, kT], k = \overline{1, n}, \\ 0, & t \in [(k-1)T, kT], \end{cases}$$

где $\varepsilon_k \in \{0, 1\}$ – дискретная величина, связанная с k -м элементом ПСП на основании правила перекодирования ОФМ $\varepsilon_k = \varepsilon_{k-1} + \gamma_k$ (здесь знак «+» означает сложение по модулю два);

T_0 – длительность псевдослучайного ОФМ-сигнала.

Соотношение (1), описывает сигнал, соответствующий информационной посылке «нуль» ($x_i = 0$). В случае формирования источником сообщения посылки «единица» ($x_i = 1$) сигнал вырабатывается с помощью инвертированных элементов ПСП, $1 - \gamma_k$. Начальную фазу сигнала φ_c считаем случайной и равномерно распределенной на интервале от 0 до 2π с плотностью вероятностей $\omega(\varphi_c) = 1 / 2\pi$.

Пусть на входе устройства обработки (демодулятора) действует специально организованная помеха, по структуре совпадающая с сигналом (сигналоподобная), но имеющая над ним существенное энергетическое превосходство. В этих условиях можно пренебречь мешающим действием естественного шума канала связи и внутренними шумами приемника. Иными словами, помеху полагаем также колебанием с дискретной фазовой модуляцией.

$$I(t) = U_n \sum_{k=1}^n (-1)^{\delta_k} \sin(\omega t + \varphi_n), \quad (2)$$

где U_n – амплитуда;

ω – частота, совпадающая с частотой передаваемого сигнала;

φ_n – случайная фаза, равномерно распределенная на интервале от 0 до 2π , но не зависящая от фазы сигнала φ_c , $\delta_k \in \{0, 1\}$ – величины, определяющие помеху, которые формируются постановщиком помех специальным датчиком.

Считаем также, что посылки помехи имеют длительность T , и моменты смены информационных фаз сигнала и помехи совпадают. В этом случае такая помеха является оптимальной для воздействия на сигналы с дискретной фазовой (относительно фазовой) модуляцией [8]. Ясно, что имеются определенные трудности при формировании таких помех, но принципиально такую возможность исключить нельзя.

Для обработки сигналов (1) при воздействии помехи вида (2) можно использовать модификацию автокорреляционного демодулятора [7], в котором процедура принятия решения о переданной посылке представим соотношением [9]

$$\varepsilon_2 = \text{rect} \left(\sum_{k=1}^n (-1)^{\lambda_k} X_k \right), \quad (3)$$

где

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 0, \\ 1, & x < 0, \end{cases}$$

$$X_k = \int_{(k-1)T}^{kT} u_k(t) u_{k-1}(t) dt,$$

$u_k(t)$, $u_{k-1}(t)$ – текущая и задержанная на длительность T одного субэлемента аддитивная смесь сигнала и помехи.

Данная процедура, примененная к псевдослучайным сигналам, по сути, реализует классический подход к обработке ОФМ-сигналов, когда для принятия решения сопоставляются две посылки – текущая и ей предшествующая, и в зависимости от знака их произведения получают окончательный результат в виде нулевого или единичного символа. В этом случае учитывается энергия двух сопоставляемых посылок.

Для повышения эффективности обработки, что очень важно в условиях действия помехи, энергетически превосходящей сигнал, можно удлинить интервал обработки, сопоставляя уже не две соседние посылки, а три, и это даст возможность увеличить энергетичность сигнала. В этом случае демодуляторе можно сформировать величины V_{ik} , $i = \overline{1,4}$, $k = \overline{1,n}$, которые с учетом применения ПСП имеют вид [9]:

$$\begin{aligned} V_{1k} &= (-1)^{\gamma_k} X_k + (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k + (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}, \\ V_{2k} &= -(-1)^{\gamma_k} X_k + (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k - (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}, \\ V_{3k} &= (-1)^{\gamma_k} X_k - (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k - (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}, \\ V_{4k} &= -(-1)^{\gamma_k} X_k - (-1)^{\gamma_k + \gamma_{k-1}} X'_k + (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $X_k = \int_0^T u_k(t) u_{k-1}(t) dt$, $X'_k = \int_0^T u_k(t) u_{k-2}(t) dt$, $X_{k-1} = \int_0^T u_{k-1}(t) u_{k-2}(t) dt$;

$u_{k-2}(t)$ – задержанная на длительность двух субэлементов аддитивная смесь сигнала и помехи.

Видно, что в (4) с учетом правила формирования сигнала с относительной фазовой модуляцией информационным параметром, который определяется $(k-1)$ -м и k -м субэлементами в V_{1k} и V_{3k} является «0», а в V_{2k} и V_{4k} – «1». В первом случае знак при переходе от второго слагаемого к третьему сохраняется, в другом случае он меняется на противоположный.

Для принятия решения относительно переданного бита информации в автокорреляционном демодуляторе при обработке на интервале трех посылок вначале определяется максимальная из величин V_{ik} . Затем после «снятия» наложенной на передаче псевдослучайной последовательности и накопления энергии, исходя из знака выходной статистики ε_3 , на длительности всего сложного сигнала выносится окончательное решение о переданном сигнале:

$$\varepsilon_3 = \text{rect} \left(\sum_{k=1}^n \max V_{ik} \right), \quad i = \overline{1, 4}, \quad (5)$$

где $\text{rect}(x)$ – определено в (3).

Если в (5) $\varepsilon_3 > 0$, то считаем переданным информационным символом «0», в противном случае регистрируется «1».

Необходимо отметить, что при практической реализации демодуляторов с процедурами обработки (3) и (5) особые требования предъявляются к элементам памяти (задержки на длительность субэлемента T). В них должно укладываться строго целое число периодов колебаний частоты ω , то есть $\omega T = 2\pi k$, $k = 1, 2, \dots$. Только в этом случае форма текущего субэлемента будет повторять предыдущий, что является необходимым условием работоспособности автокорреляционного демодулятора. Отклонения от условия $\omega T = 2\pi k$ вследствие нестабильности частоты $\Delta\omega$ либо задержки ΔT приводят к понижению помехоустойчивости и даже к потере его работоспособности. Поэтому допустимый паразитный фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ между соседними субэлементами, вызванный указанными причинами, должен быть незначительным и удовлетворять условию $\Delta\varphi \leq (0,05 \dots 0,1)\pi$ [7]. Здесь π – величина скачка фазы при ОФМ. В этом случае не будет наблюдаться ощутимых потерь помехоустойчивости.

Расчетные соотношения для оценки помехозащищенности

При передаче информационной посылки «нуль» вероятность ошибки в демодуляторе, в котором решение принимается в соответствии с (5), имеет вид:

$$P_3 = 0,5P\left(\sum_{k=1}^n V_{1k} - V_{2k} < 0\right) + 0,5P\left(\sum_{k=1}^n V_{1k} - V_{4k} < 0\right). \quad (6)$$

Здесь каждое из слагаемых имеет коэффициент 0,5, что соответствует ошибочному определению информационного параметра сигнала между $(k-1)$ -м и k -м субэлементами, при этом вероятности, являющиеся слагаемыми в (6) равны. Заметим также, что если $\sum_{k=1}^n (V_{1k} - V_{3k}) < 0$, то ошибки нет, правда, в этом случае принимается другой вариант сигнала. Таким образом,

$$P_3 = P\left(\sum_{k=1}^n V_{1k} - V_{2k} < 0\right)$$

или после постановки V_{1k} и V_{2k} из (4)

$$P_3 = P\left(\sum_{k=1}^n (-1)^{\gamma_k} X_k + (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1}\right).$$

Раскрывая значения X_k и X_{k-1} с учетом (1) и (2), получим:

$$\begin{aligned} P_3 = P\left(\sum_{k=1}^n \lambda_k\right) = P\left\{\sum_{k=1}^n 2q \cos \Delta\varphi + \sqrt{q} \cos(\theta + \Delta\varphi) \left[(-1)^{\varepsilon_{k-1} + \delta_{k-1}} + \right. \right. \\ \left. \left. + (-1)^{\varepsilon_{k-2} + \delta_{k-2}}\right] + \sqrt{q} \cos(\theta - \Delta\varphi) \left[(-1)^{\varepsilon_k + \delta_k} + (-1)^{\varepsilon_{k-1} + \delta_{k-1}}\right] + \right. \\ \left. + \cos \Delta\varphi \left[(-1)^{\varepsilon_k + \delta_k + \varepsilon_{k-1} + \delta_{k-1}} + (-1)^{\varepsilon_{k-1} + \delta_{k-1} + \varepsilon_{k-2} + \delta_{k-2}}\right]\right\}, \quad (7) \end{aligned}$$

где $q = P_n/P_d$ – отношение мощностей сигнала и помехи;

$\theta = \varphi_c - \varphi_n$ – разность фаз сигнала и помехи;

$\Delta\varphi$ – паразитный набег фазы между соседними субэлементами псевдослучайного ОФМ-сигнала.

Введем обозначения:

$$a_k = (-1)^{\varepsilon_{k-1} + \delta_{k-1}}, \quad b_k = (-1)^{\varepsilon_k + \delta_k}, \quad c_k = (-1)^{\varepsilon_{k-2} + \delta_{k-2}}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \lambda_k = 2q \cos \Delta\varphi + \sqrt{q} \cos(\theta + \Delta\varphi)(a_k + b_k) + \\ + \sqrt{q} \cos(\theta - \Delta\varphi)(a_k + b_k) + \cos \Delta\varphi(a_k b_k + a_k c_k). \end{aligned}$$

Поскольку $\varepsilon_k \in \{0,1\}$ и $\delta_k \in \{0,1\}$, $k = \overline{1,n}$, то

$$\lambda_k = \begin{cases} 2q \cos \Delta\varphi + 2\sqrt{q} \cos(\theta + \Delta\varphi) + 2\sqrt{q} \cos(\theta - \Delta\varphi) + 2 \cos \Delta\varphi, & p = 1/8 \\ 2q \cos \Delta\varphi - 2\sqrt{q} \cos(\theta + \Delta\varphi) - 2\sqrt{q} \cos(\theta - \Delta\varphi) + 2 \cos \Delta\varphi, & p = 1/8 \\ 2q \cos \Delta\varphi - 2 \cos \Delta\varphi, & p = 1/4 \\ 2q \cos \Delta\varphi - 2\sqrt{q} \cos(\theta - \Delta\varphi), & p = 1/8 \\ 2q \cos \Delta\varphi - 2\sqrt{q} \cos(\theta + \Delta\varphi), & p = 1/8 \\ 2q \cos \Delta\varphi + 2\sqrt{q} \cos(\theta - \Delta\varphi), & p = 1/8 \\ 2q \cos \Delta\varphi + 2\sqrt{q} \cos(\theta + \Delta\varphi), & p = 1/8 \end{cases}$$

Отсюда несложно определить числовые характеристики величины λ , являющейся суммой в фигурных скобках в (7)

$$M\{\lambda\} = 2nq \cos \Delta\varphi,$$

$$D\{\lambda\} = 2n \left(q \cos^2(\theta + \Delta\varphi) + q \cos^2(\theta - \Delta\varphi) + \right. \\ \left. + q \cos(\theta + \Delta\varphi) \cos(\theta - \Delta\varphi) + \cos^2 \Delta\varphi \right).$$

Предполагая гауссовский характер распределения выходной выборки демодулятора вследствие псевдослучайных преобразований при приеме сигнала, получим соотношение для вероятности ошибки при обработке в соответствии с (5) на интервале трех посылок

$$P_3 \approx 1 - F \left(\frac{2nq^2 \cos^2 \Delta\varphi}{q \cos^2(\theta + \Delta\varphi) + q \cos^2(\theta - \Delta\varphi) + q \cos(\theta + \Delta\varphi) \cos(\theta - \Delta\varphi) + \cos^2 \Delta\varphi} \right), \quad (8)$$

где $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$ – интеграл вероятностей.

В частном случае, когда разность фаз сигнала и помехи $\theta = 0$, что, впрочем, не влияет на общность результатов:

$$P_3 \approx 1 - F \left(\sqrt{\frac{2nq^2 \cos^2 \Delta\varphi}{\cos^2 \Delta\varphi + 3q}} \right), \quad (9)$$

где $F(x)$ – определено в (8).

Удлиним интервал обработки до четырех посылок. В этом случае можно рассчитывать на увеличение помехозащищенности за счет дополнительного энергетического вклада в процесс принятия решения о сигнале еще одной посылки. Тогда в демодуляторе могут быть сформированы величины:

$$\begin{aligned}
 V_{1k} &= (-1)^{\gamma_{k-2}} X_{k-2} + (-1)^{\gamma_{k-1}+\gamma_{k-2}} \tilde{X}'_k + (-1)^{\gamma_k+\gamma_{k-1}+\gamma_{k-2}} \tilde{X}_k + \\
 &\quad + (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1} + (-1)^{\gamma_k+\gamma_{k-1}} X'_k + (-1)^{\gamma_k} X_k \\
 &\quad \dots \\
 V_{8k} &= -(-1)^{\gamma_{k-2}} X_{k-2} - (-1)^{\gamma_{k-1}+\gamma_{k-2}} \tilde{X}'_k + (-1)^{\gamma_k+\gamma_{k-1}+\gamma_{k-2}} \tilde{X}_k + \\
 &\quad + (-1)^{\gamma_{k-1}} X_{k-1} - (-1)^{\gamma_k+\gamma_{k-1}} X'_k - (-1)^{\gamma_k} X_k,
 \end{aligned}$$

где $X_{k-2} = \int_0^T u_{k-2}(t)u_{k-3}(t)dt$, $\tilde{X}_k = \int_0^T u_k(t)u_{k-3}(t)dt$, $\tilde{X}'_k = \int_0^T u_{k-1}(t)u_{k-3}(t)dt$, X_k , X'_k , X_{k-1} – определены ранее в (4).

Применив технику вычислений, аналогичную той, которая использовалась при выводе соотношения (9), получим выражение для вероятности ошибки псевдослучайного ОФМ-сигнала при удлинении интервала анализа до четырех посылок

$$P_4 \approx \frac{2}{3} \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{4nq^2 \cos^2 \Delta\varphi}{\cos^2 \Delta\varphi + 4q}} \right) \right] + \frac{2}{3} \left[1 - F \left(\sqrt{\frac{3nq^2 \cos^2 \Delta\varphi}{\cos^2 \Delta\varphi + 4q}} \right) \right], \quad (10)$$

где $F(x)$ – определено в (8).

В случае, когда реализуется процедура обработки (3) на основе сопоставления двух соседних посылок, оценка для вероятности ошибки принимает вид

$$P_2 \approx 1 - F \left(\sqrt{\frac{nq^2 \cos^2 \Delta\varphi}{\cos^2 \Delta\varphi + 2q}} \right), \quad (11)$$

где $F(x)$ – интеграл вероятностей, остальные параметры определены в (7).

Обсуждение результатов

В качестве примера на рис. 1 представлены результаты вычислений вероятностей ошибок $P_2 \dots P_4$ по (9)–(11) в виде графических зависимостей от отношения сигнал/помеха $q = P_c / P_n$. Для расчетов была выбрана

база псевдослучайного ОФМ-сигнала $n = 50$, а также предполагалось, что паразитный набег фазы между соседними субэлементами сигнала $\Delta\varphi = 0$.

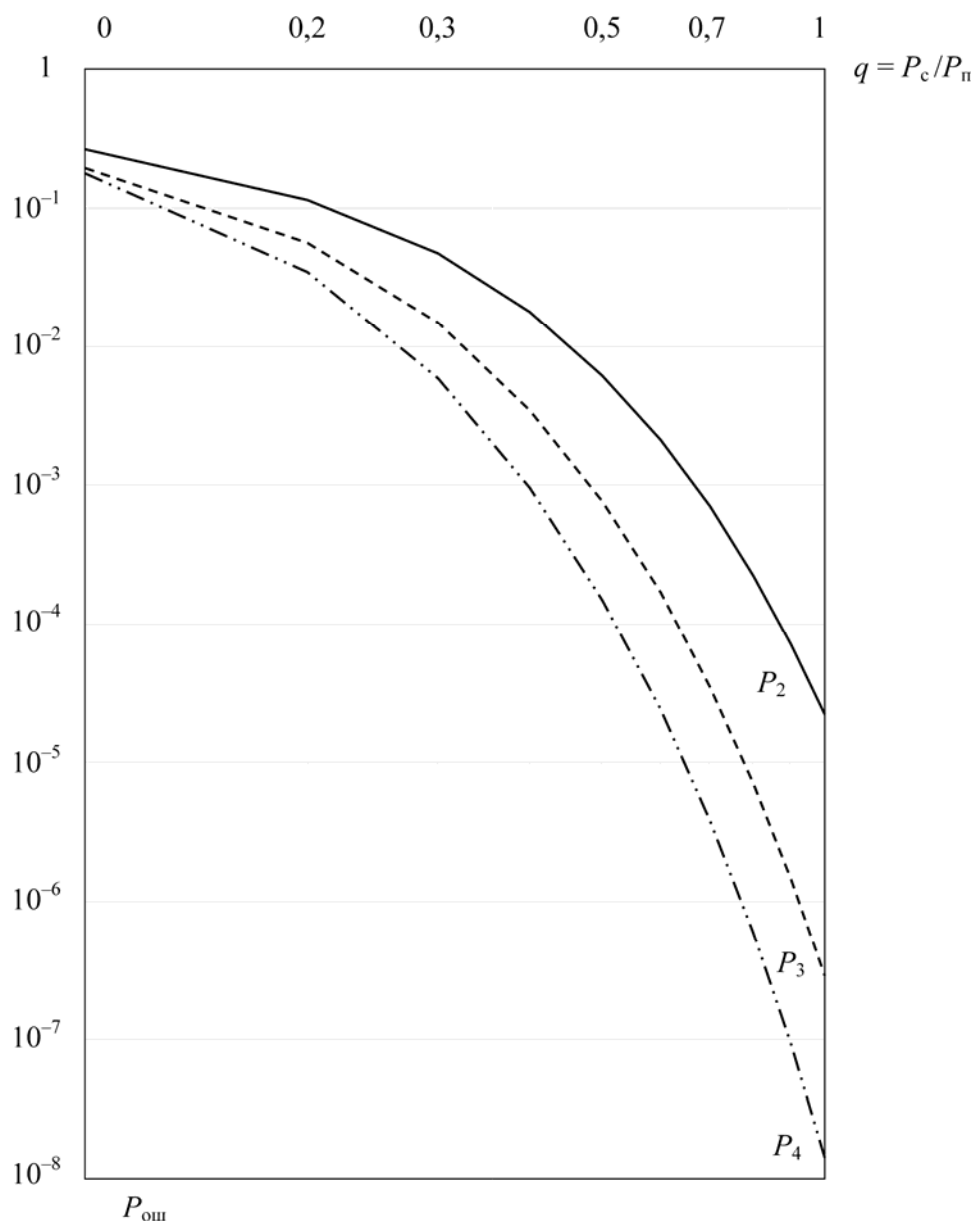


Рис. 1. Графические зависимости вероятностей ошибок P_2 , P_3 , P_4 от отношения сигнал/помеха $q = P_c/P_n$ при базе сигнала $n = 50$ и паразитном набеге фазы $\Delta\varphi = 0$

Видно, что удлинение интервала обработки от двух до трех и четырех субэлементов приводит к определенному выигрышу в помехоустойчивости приема в условиях воздействия помех, похожих на сигнал, но со значительным энергетическим превосходством над ним. По-видимому, в пределе, если число элементов, участвующих в обработке увеличивать до бесконечности можно достичь потенциальной помехоустойчивости, которая ре-

ализуется при когерентном приеме, но ценой значительного усложнения оборудования, что на практике вряд ли будет целесообразным.

Видно также, что наибольший выигрыш при удлинении интервала анализа достигается при переходе от двух сравниваемых субэлементов, что соответствует общепринятому методу относительной фазовой модуляции, к трем субэлементам. Далее, при удлинении интервала анализа до четырех субэлементов выигрыш уменьшается. Так, если при базе сигнала $n = 50$ и вероятности ошибки $P = 10^{-4}$ в первом случае он равен 1,3 дБ, то во втором случае выигрыш составляет 0,7 дБ. Заметим также, что с увеличением базы псевдослучайного сигнала n и повышением отношения сигнал/помеха q выигрыш от удлинения интервала обработки также несколько возрастает.

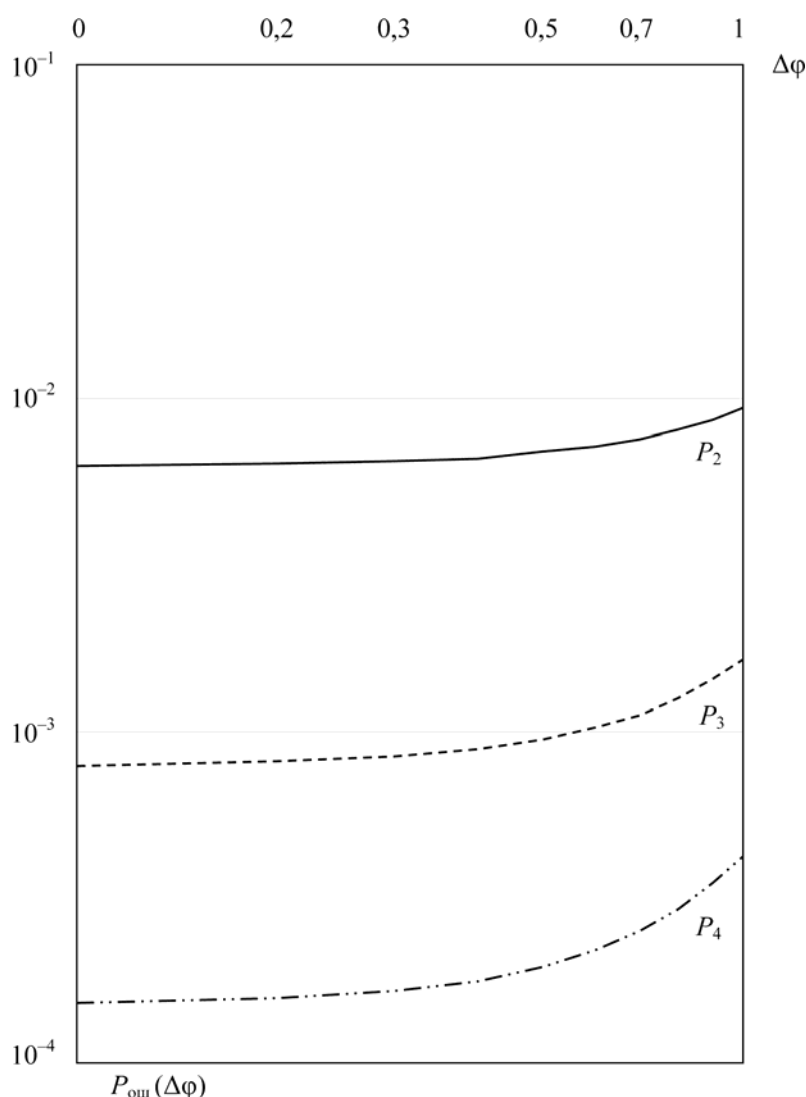


Рис. 2. Графические зависимости вероятностей ошибок P_2, P_3, P_4 от паразитного набега фазы $\Delta\varphi$ при базе сигнала $n = 50$ и отношении сигнал/помеха $q = 0,5$

На рис. 2 представлены зависимости вероятностей ошибок $P_2 \dots P_4$, рассчитанные по (9)–(10), как функции от паразитного набега фазы $\Delta\varphi$.

В качестве примера для вычислений выбраны $q = 0,5$ и значения базы псевдослучайного сигнала $n = 50$. Видно, что параметр $\Delta\varphi$ существенно влияет на эффективность автокорреляционного приема псевдослучайного ОФМ-сигнала. При небольших изменениях $\Delta\varphi$ в пределах от 0 до $0,2\pi$, где π – величина скачка фазы при ОФМ, степень снижения помехоустойчивости практически не заметна. В дальнейшем с увеличением $\Delta\varphi$ качество приема существенно ухудшается, что видно по монотонному возрастанию вероятности ошибки. При этом, характер зависимостей вероятностей ошибок от параметра $\Delta\varphi$ сохраняется при переходе от обработки по двум соседним субэлементам к удлинненному интервалу на трех и четырех субэлементах сигнала. Отсюда следует, что при практической реализации такого демодулятора необходимо жестко контролировать величину паразитного набега фазы.

Таким образом, в сложных помеховых ситуациях, когда помеха имеет энергетическое превосходство над сигналом и по виду похожа на него, путем реализации процедуры приема с удлинением интервала обработки при небольшом усложнении оборудования по сравнению с общепринятой обработкой на основе двух посылок можно обеспечить передачу дискретных сообщений псевдослучайными сигналами с необходимой на практике помехоустойчивостью приема.

Библиографический список

1. **Борисов В. И.** Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев, Н. П. Мухин, Г. С. Нахмансон; под ред. В. И. Борисова. – М. : Радио и связь, 2003. – 640 с.
2. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с.
3. **Ипатов В. П.** Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – М. : Техносфера, 2007. – 486 с.
4. **Феер К.** Беспроводная цифровая связь : пер. с англ. / К. Феер; под ред. В. И. Журавлева. – М. : Радио и связь, 2000. – 520 с.
5. **Голдсмит А.** Беспроводные коммуникации. Основы теории и технологии беспроводной связи / А. Голдсмит. – М. : Техносфера, 2011. – 904 с.
6. **Лосев В. В.** Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов / В. В. Лосев, Е. Б. Бродская, В. И. Коржик. – М. : Радио и связь, 1988. – 224 с.
7. **Окунев Ю. Б.** Цифровая передача информации фазоманипулированными сигналами / Ю. Б. Окунев. – М. : Радио и связь. 1991. – 296 с.
8. **Овчаренко Л. А.** Помехоустойчивость приема фазоманипулированных сигналов на фоне наиболее неблагоприятных помех / Л. А. Овчаренко, В. Н. Поддубный // Радиотехника. – 1992. – № 7–8. – С. 13–19.
9. **Биккенин Р. Р.** Помехоустойчивость автокорреляционного приема псевдослучайных сигналов с относительной фазовой манипуляцией в условиях помех, похожих на сигнал / Р. Р. Биккенин // Радиотехника и электроника. – 1996. – Т. 41. – № 8. – С. 715–719.

References

1. **Borisov V. I.** Pomehozashhishhennost' sistem radiosvjazi s rasshireniem spektra signalov moduljaciej nesushhej psevdosluchajnoj posledovatel'nost'ju / V. I. Borisov, V. M. Zinchuk, A. E. Limarev, N. P. Muhin, G. S. Nahmanson; pod red. V. I. Borisova. – M. : Radio i svjaz', 2003. – 640 c.
2. **Skljar B.** Cifrovaja svjaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie / B. Skljar. – M. : Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2007. – 1104 s.
3. **Ipatov V. P.** Shirokopolosnye sistemy i kodovoe razdelenie signalov. Principy i prilozhenija / V. P. Ipatov. – M. : Tehnosfera, 2007. – 486 s.
4. **Feer K.** Besprovodnaja cifrovaja svjaz' : per. s angl. / K. Feer; pod red. V. I. Zhuravleva. – M. : Radio i svjaz', 2000. – 520 s.
5. **Goldsmi A.** Besprovodnye kommunikacii. Osnovy teorii i tehnologii besprovodnoj svjaz' / A. Goldsmi. – M. : Tehnosfera, 2011. – 904 s.
6. **Losev V. V.** Poisk i dekodirovanie slozhnyh diskretnyh signalov / V. V. Losev, E. B. Brodskaja, V. I. Korzhik. – M. : Radio i svjaz', 1988. – 224 s.
7. **Okunev Ju. B.** Cifrovaja peredacha informacii fazomanipulirovannymi signalami / Ju. B. Okunev. – M. : Radio i svjaz'. 1991. – 296 s.
8. **Ovcharenko L. A.** Pomehoustojchivost' priema fazomanipulirovannyh signalov na fone naibolee neblagoprijatnyh pomeh / L. A. Ovcharenko, V. N. Poddubnyj // Radiotekhnika. – 1992. – № 7–8. – S. 13–19.
9. **Bikkenin R. R.** Pomehoustojchivost' avtokorreljacionnogo priema psevdosluchajnyh signalov s odnositel'noj fazovoj manipulaciej v uslovijah pomeh, pohozhih na signal / R. R. Bikkenin // Radiotekhnika i jelektronika. – 1996. – T. 41. – № 8. – S. 715–719.

Биккенин Рафаэль Рифгатович – доктор технических наук, профессор кафедры «Теория электрических цепей и связи» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», tosir@sut.ru

Андрюков Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Боевое применение средств связи» ВИ ДПО ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова», nanobes@mail.ru

Бескин Дмитрий Александрович – преподаватель кафедры «Радиолокационные и оптико-электронные средства ВМФ» ВМПИ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова», aaa260977@yandex.ru

УДК 621.397.13

А. Н. Бучатский

A. N. Buchatsky

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

С. П. Куликов

S. P. Kulikov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ЭФИРНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ *DVB-T2*

PROGRAM MODEL OF THE TRANSFERRING PART
OF SYSTEM DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION *DVB-T2*

Рассмотрена программная модель передающей части системы *DVB-T2*, реализованная в *MatLab*. В результате моделирования системы на выходе передающей части получаем *IQ*-вектор.

The program model of the transferring part of *DVB-T2* system realized in *MatLab* is considered. As a result of simulation of system on an output of the transferring part we receive an *IQ* vector.

DVB-T, DVB-T2, MatLab, кадр T2, программная модель.

DVB-T, DVB-T2, MatLab, T2 Frame, program model.

DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial Second Generation) – это второе поколение европейского стандарта цифрового эфирного телевидения. Он так же определен как стандарт наземного цифрового эфирного телевидения в рамках Федеральной целевой программы «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009–2015 годы». Согласно распоряжению правительства РФ № 287-р от 3 марта 2012 г., плану перехода на стандарт цифрового телевизионного вещания *DVB-T2*, утвержденному Министром связи и массовых коммуникаций РФ, и решению Государственной комиссии по радиочастотам от 16 марта 2012 г. переход на стандарт *DVB-T2* перенесен с 2015 на 2012 год.

Особенности *DVB-T2* по отношению к *DVB-T*

- Используется оригинальный способ увеличения помехоустойчивости системы в условиях сильных замираний сигнала и импульсных помех путем поворота созвездия и *Q*-сдвига. В результате этого выигрыш в отношении $C/N = 4...10$ дБ.

- Применено эффективное каскадное $BCH + LDPC$ кодирование, что дает выигрыш в отношении $C/N = 3 \dots 5$ дБ по сравнению с кодированием применяемым в $DVB-T$.
- Расширен набор режимов модуляции (добавлен режим $256QAM$), что позволяет на 33 % увеличить пропускную способность канала связи.
- Расширен набор размеров FFT (добавлены 1к, 16к, 32к), что позволяет размещать несущие ближе к стандартной спектральной маске. Такое расширение позволяет передать от 1,7 % (16к) до 2,1 % (32к) дополнительных данных по сравнению с режимом 2к.
- Введены дополнительные защитные интервалы 19/256, 19/128, 1/128. Использование последнего повышает пропускную способность канала для работы $DVB-T2$. Однако, использование такого интервала возможно только в многочастотных сетях и для трасс, слабо подверженных многолучевому распространению.
- Снижена доля пилот-сигналов в общем битрейте передаваемого сигнала.
- Для доставки пользователям различных сервисов обеспечена возможность передачи каждого из них в соответствующем отдельном физическом канале со своим значением скорости передачи и уровнем помехозащищенности.
- Обеспечена возможность передачи не только транспортного потока (TS), но и обобщенных инкапсулированных потоков (GSE) и обобщенных непрерывных потоков (GCS).
- Применена концепция построения модулятора, распределенного в пространстве по передатчикам синхронной сети, на основе использования интерфейса модулятора $T2-MI$.

Архитектура системы $DVB-T2$

Структурная схема системы показана на [рис. 1](#).

Условно в этой схеме можно выделить несколько основных блоков:

- блок адаптации входного режима – в этом блоке входные данные собираются в группы, называемые немодулированными (BB) кадрами.
- блок кодирования и модуляции с битовым перемежением ($BCIM$) – в нем BB -кадры преобразуются в FEC -кадры путем добавления данных о четности. Нормальные FEC -кадры содержат 64 800 бит, в то время как короткие кадры содержат 16 200 бит.
- блок формирователя кадров – FEC -кадры преобразуются в суперкадры, которые состоят из кадров $DVB-T2$ (до 255) и частей кадра FEF .

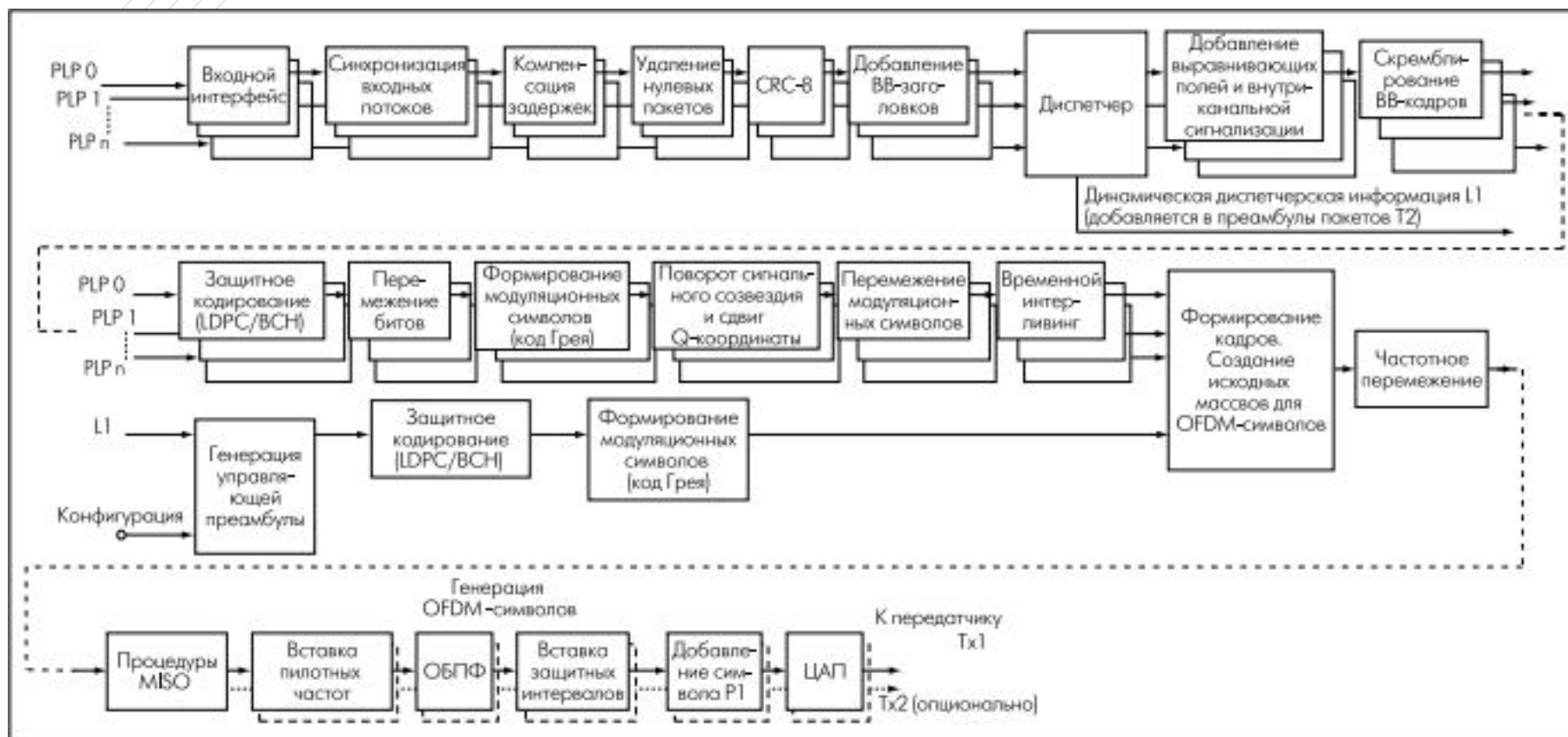


Рис. 1. Структурная схема системы передающей части DVB-T2

- блок формирования *OFDM* – в этом блоке образуется аналоговый сигнал, который затем принимается абонентской приставкой.
- На [рис. 2](#) представлена структура кадра *T2*.

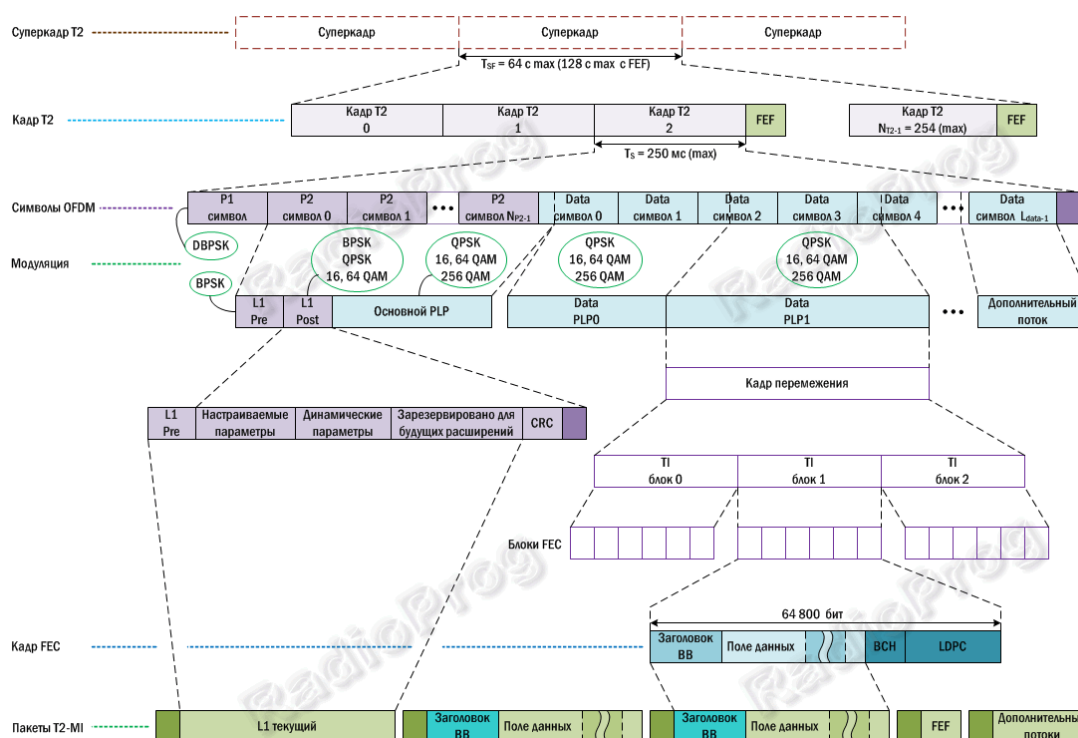


Рис. 2. Структура кадра *T2*

Программная модель

Программная модель системы *DVB-T2* реализована на динамических библиотеках языка *MatLab*, поэтому для запуска этой модели необходимо сначала скомпилировать *mex*-файл. Интерфейс программы и результат компиляции показан на [рис. 3](#).

Далее для того чтобы выполнить моделирование системы *DVB-T2* необходимо ввести команду:

```
run('dvbt2bl_basic','work','stdout',{'DVBT2.STRICT=0'})
```

После ввода команды начнется моделирование передающей, приемной части системы, а также канала передачи. В первую очередь генерируется блок входных данных. В зависимости от выбора генератора, это может быть:

1. Набор случайных чисел, генерируемых программой.
2. Транспортный поток, состоящий из псевдослучайных последовательностей, описанных в рекомендации *ITU-T O.151*.
3. Транспортный поток с добавлением таблиц сервисной информации и нулевыми пакетами.
4. Данные могут быть считаны из внешнего *T2-MI* файла.

По умолчанию для команды, приведенной выше, выбирается первый вариант, что позволяет произвести моделирование системы за несколько минут. Далее эти сгенерированные данные проходят все блоки, отмеченные на рис. 2, кроме блока вставки пилот-сигналов.

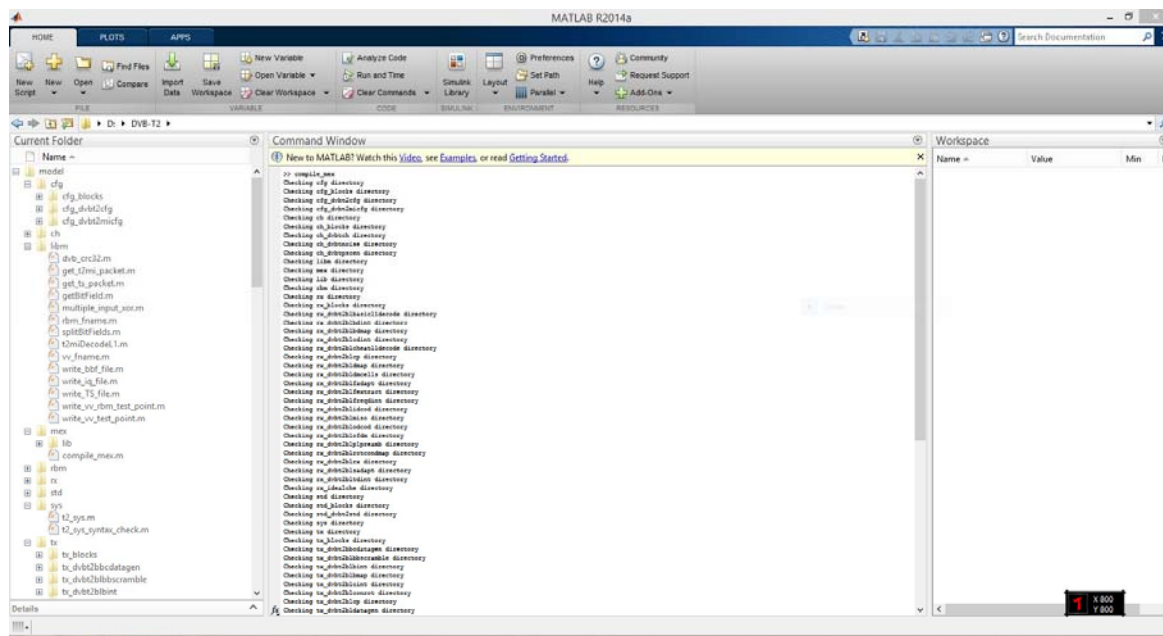


Рис. 3. Результат компиляции *tex*-файла

Результатом моделирования (рис. 4) будет формирование выходного потока без пилот-сигналов, подсчет количества ошибочно принятых бит и вывод диаграммы созвездия на входе приемной части системы. Параметры моделирования можно менять при открытии соответствующих функций (рис. 5).

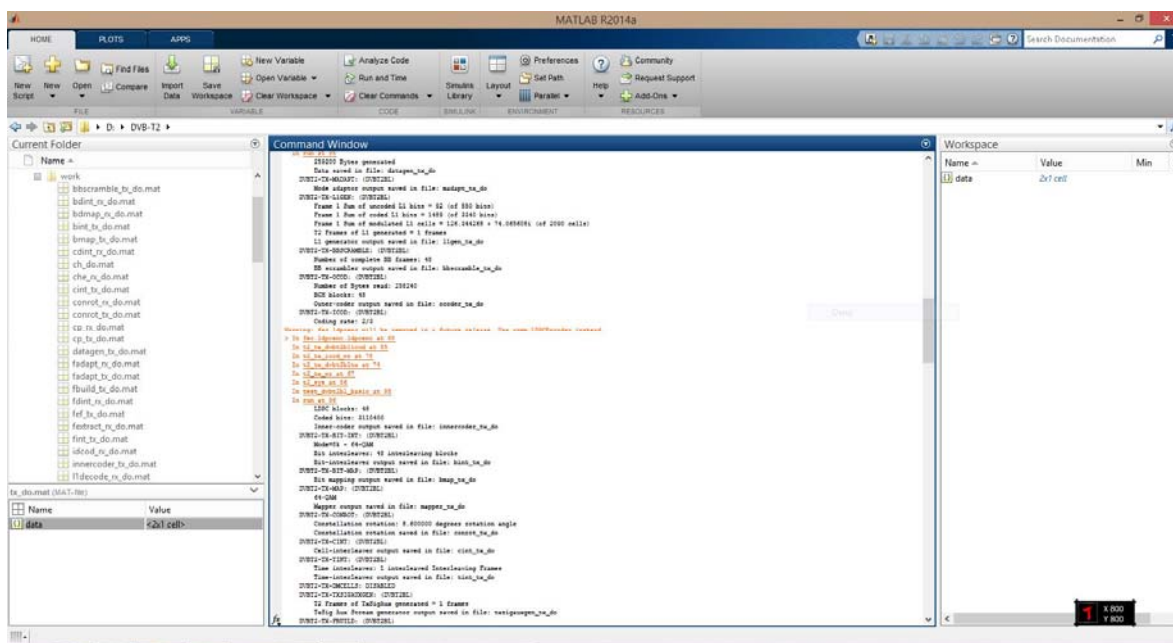


Рис. 4. Результат моделирования системы

```

t2_cfg_dvbt2blcfg.m  t2_tx_dvbt2blbmap.m  +
49  % Specification version
50  DVBT2.SPEC_VERSION = '1.1.1'; % 1.0.1 is the original blue book, 1.1.1 is with
51
52  DVBT2.PROFILE      = 'T2-BASE'; % Profile: T2-BASE or T2-LITE
53
54  % Overall parameters
55  DVBT2.MODE         = '8k'; % Mode
56  DVBT2.EXTENDED     = 1; % Extended carrier mode: 1=extended 0=normal
57  DVBT2.GI_FRACTION  = 1/8;
58  DVBT2.SP_PATTERN   = 'PP2'; % Scattered pilot pattern
59  DVBT2.L_DATA       = 88; % Data symbols per T2-frame
60  DVBT2.N_T2         = 2; % Frames per superframe
61  DVBT2.MISO_ENABLED = 0; % 1=MISO enabled 0=MISO disabled
62  DVBT2.MISO_GROUP   = 1; % MISO group = 1 or 2
63  DVBT2.TR_ENABLED   = 0; % 1=Tone Reservation used, 0=not used
64  %DVBT2.MIXED       = 0; % mixed frame types
65  DVBT2.NUM_SLICES   = 1; % sublices per frame
66  DVBT2.BW           = 8; % Bandwidth in MHz (8, 7, 6 or 5)
67
68  DVBT2.L1_CONSTELLATION = '64-QAM'; % Constellation for L1-post
69
70  DVBT2.L1_EXT_PADDING_LEN = 0;
71  DVBT2.L1_REPETITION_FLAG = 0;
72
73  DVBT2.L1_PRE_SCRAMBLED = 0;
74  DVBT2.L1_POST_SCRAMBLED = 0;
75  DVBT2.L1_T2_BASE_LITE = 0;
76  DVBT2.L1_SCRAMBLING_TYPE = 'RSIG_ONLY';
77
78  DVBT2.NETWORK_ID    = 12421; % 0x3085
79  DVBT2.T2_SYSTEM_ID  = 32769; % 0x8001
80  DVBT2.FREQUENCY     = 729833333; % Channel 53, negative offset
81

```

Рис. 5. Функция конфигурирования параметров передающей части *DVB-T2*

Для того чтобы сформировать полноценный выходной поток системы *DVB-T2* необходимо использовать команду:

```

run('dvbt2bl_VV', 'work', 'stdout', {'DVBT2.SIM.VV_CONFIG_NAME="VV007-
16KFFT"', 'DVBT2.SIM.SIMDIR="D:/DVB-
T2"', 'DVBT2.CH.ENABLE=1', 'DVBT2.RX.ENABLE=1'})

```

Данная команда позволяет оперировать с реальными входными потоками. Примеры таких потоков опубликованы на сайте www.dvb.org. В этом режиме моделирования можно изменять характеристики канала передачи данных: задать отношение сигнал/шум на входе приемника, выбирать тип канала передачи, менять доплеровский сдвиг частоты, добавлять эхосигналы и менять их задержки. Результатом выполнения данной команды будет следующее:

- на выходе передающей части системы будет сформирован *IQ*-вектор, который можно подавать на векторный генератор и далее принимать этот поток абонентской приставкой *DVB-T2*;
- на выходе блока моделирования канала будет получен зашумленный *IQ*-вектор;
- на выходе приемной части системы будет декодирован выходной поток.

Также на вход данной системы можно подавать собственные *T2MI* потоки. Например, при помощи данной программной модели в лаборатории базовой кафедры «Цифровое телевизионное и радиовещание» были обработаны реальные потоки данных *DVB-T2*. В частности, поток из 5 *PLP* со скоростью 47,4 *Mbit/s* длительностью 74 секунды программа обрабатывала

34 минуты, что не позволяет использовать систему обработки в «реальном времени».

Библиографический список

1. **Маковеев Д. А.** Исследование пропускной способности стандарта цифрового наземного телевидения второго поколения DVB-T2 / Д. А. Маковеев, М. Хусейн // Цифровые технологии. – 2009. – № 6. – С. 27–29.

2. **Шахнович И.** DVB-T2 – Новый стандарт цифрового телевизионного вещания / И. Шахнович // Электроника: НТБ. – 2009. – № 6. – С. 30–35.

3. **Frame structure** channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04).

4. **Modulator Interface** (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI TS 102 773 V1.1.1 (2009-09).

5. **DVB-T2:** The Common Simulation Platform / O. Haffenden. – UK : BBC, 2011. – 25 с.

References

1. **Makoveenko D. A.** Issledovanie propusknoj sposobnosti standarta cifrovo-go nazem-nogo teledenija vtorogo pokolenija DVB-T2 / D. A. Makoveenko, M. Husejn // Cifrovye tehnologii. – 2009. – № 6. – S. 27–29.

2. **Shahnovich I.** DVB-T2 – Novyj standart cifrovogo televizionnogo veshhanija / I. Shahnovich // Jelektronika: NTB. – 2009. – № 6. – S. 30–35.

3. **Frame structure** channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04).

4. **Modulator Interface** (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI TS 102 773 V1.1.1 (2009-09).

5. **DVB-T2:** The Common Simulation Platform / O. Haffenden. – UK : BBC, 2011. – 25 p.

Бучатский Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, начальник научно-образовательного центра «Медиацентр» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», alexanderbuchatsky@yandex.ru

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 621.396

Ч. З. Динь

Ch. Z. Dinh

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

Р. В. Киричек

R. V. Kirichek

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

А. И. Парамонов

A. I. Paramonov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

А. Е. Кучерявый

A. E. Koucheryavy

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИНСТАЛЛЯЦИИ СЕНСОРОВ С КВАДРОКОПТЕРА НА ЗАДАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

SIMULATION MODELS INSTALLATION SENSOR
WITH QUADROCOPTERS IN A GIVEN AREA

Задача покрытия – это ключевой вопрос для любой беспроводной сенсорной сети. Покрытие может быть рассмотрено как одно из измерений качества обслуживания сети. В статье рассматриваются алгоритмы решения задач, а так же как моделирование проблемы в пакете *Anylogic*.

Covering problem - is a key issue for any wireless sensor network. The coating may be considered as one of the network service quality measurements. The article discusses the algorithms for solving problems, as well as modeling of the problem in the package *Anylogic*.

беспроводная сенсорная сеть, сенсорные узлы, модель инсталляции, БПЛА, квадрокоптер, задача покрытия, *Anylogic*.

wireless sensor network, sensor nodes, a model installation UAV quadcopter task coverage, *Anylogic*.

В настоящее время развитие сетей связи осуществляется на основе концепции Интернета Вещей [1–3]. Технологической базой для реализации концепции Интернета Вещей являются беспроводные сенсорные сети (БСС) [4, 5] и сети *LLN* [6]. Сети данного рода представляют собой самоорганизующиеся сети и состоят из множества распределенных в пространстве беспроводных сенсорных узлов, предназначенных для мониторинга характеристик окружающей среды или объектов, расположенных в ней [7]. Каждый сенсорный узел оборудован ограниченным источником энергии и в большинстве случаев, невозможно пополнить его ресурсы. Поэтому основное ограничение жизненного цикла БСС и сетей *LLN* – потребление энергии. Оптимизация энергосбережений – это основная проблема при использовании данного рода сетей. Для решения этой проблемы, один из способов это решить задачу покрытия.

Задача покрытия – это ключевой вопрос для любой беспроводной сети и покрытие может быть рассмотрено как одно из измерений качества обслуживания сети. Большинство сенсорных сетей имеет высокую плотность узлов и ограничение питания. Поэтому цель задачи покрытия заключается в следующем:

- минимизировать потребление энергии и продлить работоспособность узлов;
- для эффективного покрытия необходимо обеспечить максимальное покрытие территории минимальным числом узлов.

В последние годы исследования и тестирования [8] в области всепроникающей сенсорной сети постепенно переходят от изучения характеристик на плоскости к моделям в трехмерном пространстве – это летающие сенсорные сети. При этом в качестве летающих узлов используются общедоступные беспилотные летающие аппараты (БПЛА) – Квадрокоптер [9]. Использование БПЛА для развертывания сенсорной сети, обусловливается их способностью быстро перемещаться по пересеченной местности, а также могут выступать в качестве мобильных шлюзов с сетью связи общего пользования.

Летающая сенсорная сеть предполагается два сегмента: наземный и летающий (рис. 1). Предполагается, что квадрокоптеру необходимо инсталлировать сенсоры на местности (наземный сегмент) для наилучшего покрытия территории и оптимального сбора информации (рис. 2).

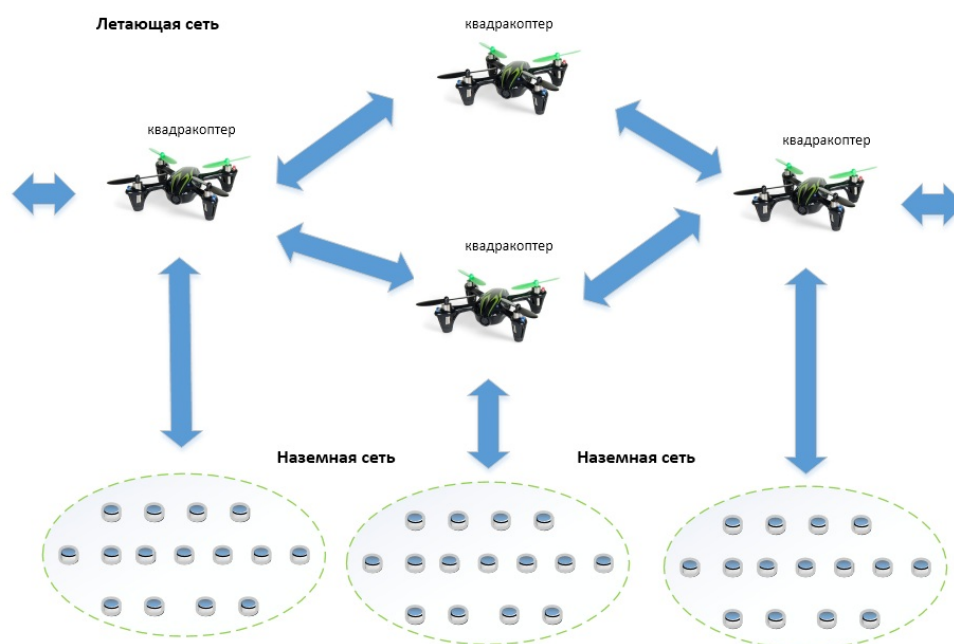


Рис. 1. Типовая структура летающей сенсорной сети

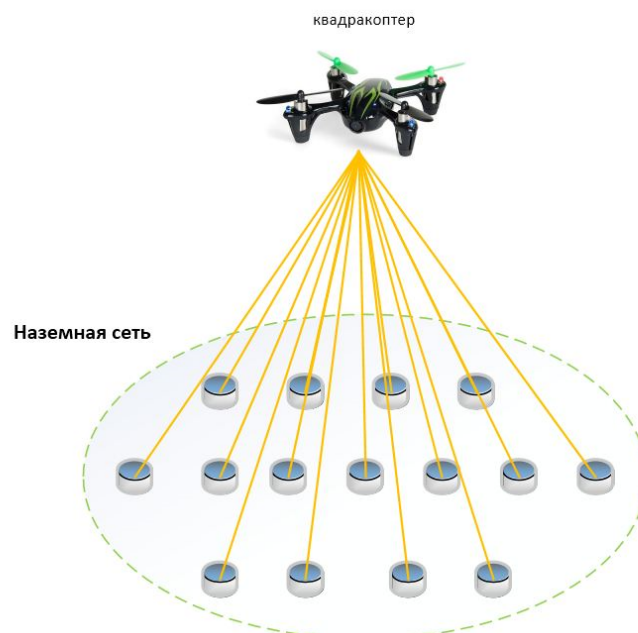


Рис. 2. Квадрокоптер устанавливает сенсоры, образуя наземный сегмент сети

Существует два способа инсталляции узлов в беспроводной сенсорной сети: Случайное и детерминированное размещение.

Опытным путем при инсталляции сенсорных узлов, был сделан вывод о том, что для их размещения наиболее оптимально использовать детерминированный подход, который позволяет достичь наибольшего покрытия при наименьшем количестве узлов [10].

Для оценки эффективности моделей покрытия, мы используем правильные многоугольники – плитки, которые покрывают целую контрольную область без перекрывания (рис. 3).

Модель А: плитка это треугольник: $A_1A_2A_3$.

Модель Б: плитка это квадрат: $B_1B_2B_3B_4$.

Так как в реальном случае контролирующая область более крупная, чем датчики, мы можем проигнорировать эффект края во время оценки эффективности освещения и предположить, что все плитки покрыты таким же образом. Тогда для данного покрытия, мы определяем плотность покрытия D , отношение общей площади S_f частей кругов (радиусы сенсорных узлов) в плитке делится на S_p площади плитки. Очевидно, что минимальное возможное значение D только одно. Меньшая ценность D соответствует лучшему покрытию.

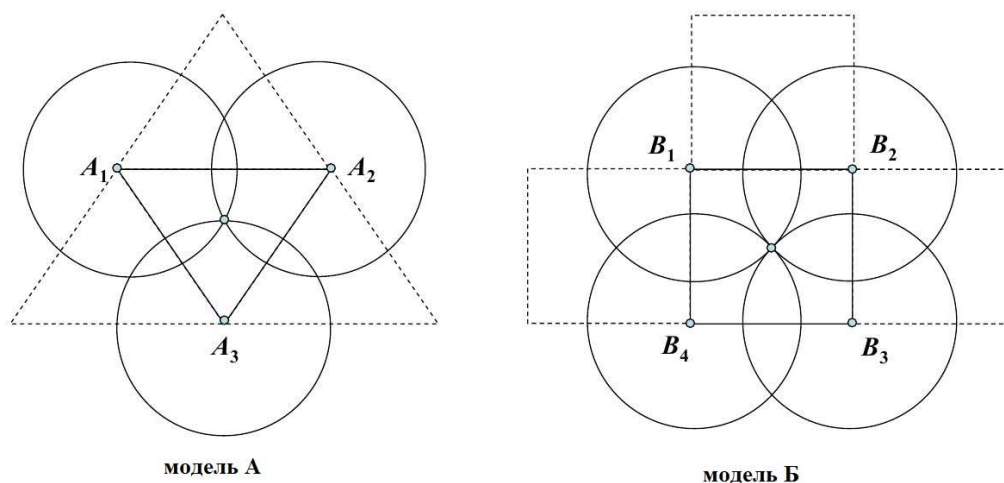


Рис. 3. Описание модели

$$D = \frac{S_f}{S_p}$$

где Sf – общая площадь частей кругов (радиусы сенсорных узлов) в плитке;
 S_p – площадь плитки.

Для модели А соответствующие области и плотность покрытия:

$$Sf_A = \frac{\pi R^2}{2}, \quad Sp_A = \frac{3R^2\sqrt{3}}{4},$$

$$D_A = \frac{Sf_A}{Sp_A} = \frac{2\pi^2}{3\sqrt{3}} \approx 1.2091.$$

Для модели Б соответствующие области и плотность покрытия:

$$Sf_B = \pi R^2, \quad Sp_B = 2R^2$$

$$D_B = \frac{Sf_B}{Sp_B} = \frac{\pi}{2} \approx 1.5708.$$

Результат показывает, что $D_A < D_B$ ($1.2091 < 1.5708$) тогда лучше выбрать модель А [11].

Итак, после рассмотрения алгоритмов размещения сенсорных узлов, мы использовали имитационное моделирование метода для их проверки, а также рассмотрены проблемы, возникающие при использовании квадрокоптеров для того, чтобы размещать сенсорные узлы.

Основная задача сводится к тому, чтобы построить имитационную модель инсталляции сенсоров с квадрокоптера на некоторой территории.

Для этого мы задали:

- Области с определённым размером – квадрат (500 x 500 м) и круг (радиус $r = 500$ м).
- Сенсорный радиус узлов: постоянные – $R = 50$ м.
- Средняя скорость квадрокоптера: постоянная – $v \approx 5$ м/с.
- Процент покрытия: 100 %.

И выбрали способ решения:

- Используем пакет *Anylogic*, чтобы разработать модель.
- Рассмотрим подход детерминированное размещение.
- Используем алгоритмы: размещать сенсорные узлы в вершинах равносторонних треугольников (модель А) и в вершинах равносторонних квадратов (модель Б) и сравнить их.

Результаты исследования представлены на табл. 1, 2 и на рис. 4, 5:

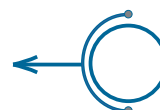
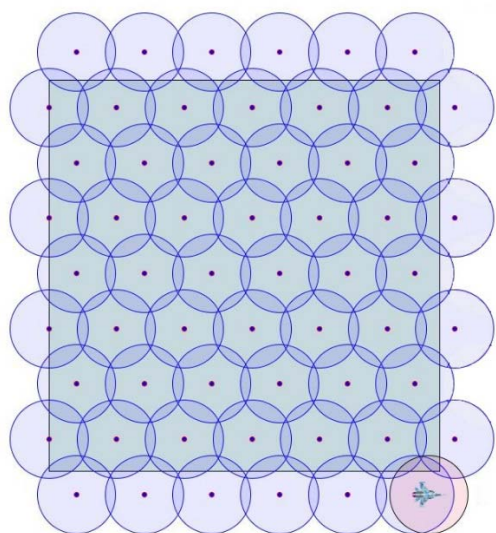
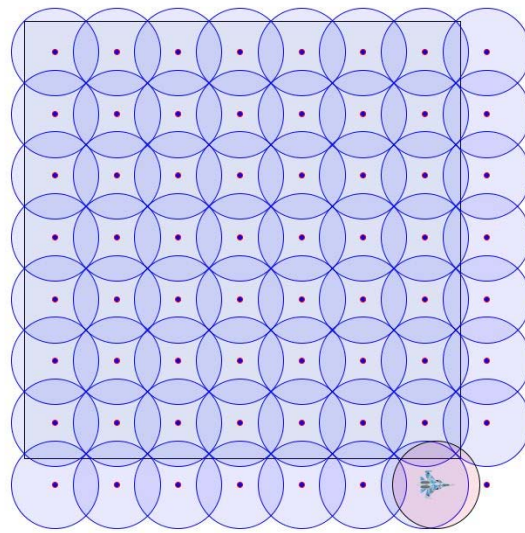


ТАБЛИЦА 1. Результаты исследования для области - квадрат

	Модель А	Модель Б
Количество узлов	58	64
Время размещения (с)	≈ 5800	≈ 6400

ТАБЛИЦА 2. Результаты исследования для области – круг

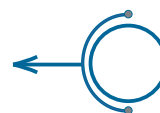
	Модель А	Модель Б
Количество узлов	46	47
Время размещения (с)	≈ 4600	≈ 4700

Рис. 4. Модель А в виде 2D
для области квадратРис. 5. Модель В в виде 2D
для области квадрат

Таким образом, основанный на результатах испытаний был выбран алгоритм размещения сенсорных узлов, и рассмотрены модели, разработанные в пакете Anylogic, и проанализированы первоначальные результаты. Для дальнейшего исследования, необходимо рассмотреть иные области: прямоугольник, овал, и т. д., рассмотреть другие алгоритмы размещения сенсорных узлов и сравнить их, также необходимо оценить качество покрытия с учетом ошибки размещения узлов сети с квадрокоптера.

Библиографический список

1. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.



2. Гольдштейн Б. С. Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
3. Ометов А. Я. О роли беспроводных технологий связи в развитии Интернета Вещей / А. Я. Ометов, Е. А. Кучерявый, С. Д. Андреев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 31–40.
4. Кучерявый А. Е. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый. – М. : Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 296 с.
5. Кучерявый А. Е. От е-России к и-России: тенденции развития электросвязи / А. Е. Кучерявый, Е. А. Кучерявый // Электросвязь. – 2005. – № 5. – С. 10–12.
6. Киричек Р. В. Оценка параметров качества передачи изображения и речи поверх протокола *ZigBee* в режиме прозрачного канала / Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый, М. А. Маколкина, Ж. В. Сене, В. И. Тахтуев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1. – С. 71–82.
7. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб. : Любавич, 2011. – 312 с.
8. Кулик В. А. Методы исследования беспроводных каналов связи Интернета Вещей в условиях совместной работы / В. А. Кулик, Р. В. Киричек, А. Бондарев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1. – С. 106–114.
9. Кучерявый А. Е. Летающие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый, А. Г. Владыко, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, И. А. Богданов, А. А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2014. – № 9. – С. 2–5.
10. Динь Ч. З. Обзор методов инсталляции сенсорных узлов с квадрокоптера / Ч. З. Динь, Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1. – С. 50–61.
11. Zalyubovskiy V. Energy-efficient Area Coverage by Sensors with Adjustable Ranges / Vyacheslav Zalyubovskiy, Adil Erzin, Sergey Astrakov, Hyunseung Choo // Sensors 2009, 9, 2446–2460.

References

1. Kucheryavy A. E. Internet of Things / A. E. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2013. – No. 1. – PP. 7–30.
2. Goldstein B. S. Post-NGN communication networks / B. S. Goldstein, A. E. Kucheryavy. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2013. – 160 p.
3. Ometov A. Ya. About a role of wireless technologies of communication in development of the Internet of Things / A. Ya. Ometov, E. A. Kucheryavy, S. D. Andreyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 31–40.
4. Kucheryavy A. E. Communication networks public. Tendencies of development and methods of calculation / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, E. A. Kucheryavy. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 296 p.
5. Kucheryavy A. E. From Russia to the e-u-Russian tendencies of development of telecommunications / A. E. Kucheryavy, E. A. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2005. – № 5. – PP. 10–12.
6. Kirichek R. V. Parameter estimation quality image transmission and voice over ZigBee protocol-transparent channel / R. V. Kirichek, A. E. Kucheryavy, M. A. Makolkina, J. V. Sene, V. I. Takhtuev // Information technology and telecommunications. – 2015. – No. 1. – PP. 71–82.
7. Kucheryavy A. E. The self-organizing networks / A. E. Kucheryavy, A. V. Prokopyev, E. A. Kucheryavy. – St. Petersburg: Lyubavich, 2011. – 312 p.

8. **Kulik V. A.** Research methods of wireless communication channels of the Internet of Things in a collaborative / V. A. Kulik, R. V. Kirichek, A. Bondarev // Information technology and telecommunications. – 2015. – No. 1. – PP. 106–114.

9. **Kucheryavy A. E.** The flying sensor networks / A. E. Kucheryavy, A. G. Vladyko, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev, I. A. Bogdanov, A. A. Dort-Golts // Electrosvyaz. – 2014. – No. 9. – PP. 2–5.

10. **Dinh Ch. Z.** Review of the methods of installation of sensor nodes with quadcopters / Ch. Z. Ding, R. V. Kirichek, A. E. Kucheryavy // Information technologies and telecommunications. – 2015. – № 1. – PP. 50–61.

11. **Zalyubovskiy V.** Energy-efficient Area Coverage by Sensors with Adjustable Ranges / Vyacheslav Zalyubovskiy, Adil Erzin, Sergey Astrakov, Hyunseung Choo // Sensors 2009, 9, 2446–2460.

Динь Чон Зуи – студент магистратуры кафедры «Сети связи и передачи данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», duydtthiph@gmail.com

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», kirichek@sut.ru

Парамонов Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», alex-in-spb@yandex.ru

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», akouch@mail.ru

УДК 621.391

Д. Д. Алексеева

D. D. Alekseeva

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of TelecommunicationsМ. А. Маколкина

M. A. Makolkina

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

A SURVEY OF AUGMENTED REALITY

Дополненная Реальность – один из самых перспективных направлений в сфере IT-разработок. По оценкам различных экспертов, в настоящее время технология Дополненная Реальность – главный технологический тренд. Дополненная Реальность меняет представление об окружающем мире, насыщая его виртуальными объектами, хорошо ориентирующимися в настоящей жизни. В данной работе приводится ёмкое понятие Дополненная Реальность. Производится анализ различия Дополненной Реальности с виртуальной. Также рассматриваются три ведущих технологии дополненной реальности: *Microsoft Kinect*, *Intel RealSense* и нейро-гарнитура.

Augmented Reality is one of the most promising field in IT-development. Today the Augmented Reality technology is the main technological trend. Augmented Reality changes the view of the world around us saturated it with virtual objects. This work contain the definition of Augmented Reality and analysis the difference between the augmented and virtual reality. There is also a review of the three directions of the Augmented Reality: *Microsoft Kinect*, *Intel RealSense* and neuroheadset.

Дополненная Реальность, современные технологии, *Microsoft Kinect*, *Intel RealSense*, нейро-гарнитура.

Augmented Reality, modern technologies, *Microsoft Kinect*, *Intel RealSense*, *Neuroheadset*.

Введение

Сегодня, в эпоху современных технологий, высокоинтеллектуальные разработки открывают человечеству массу новых возможностей. То, что раньше можно было увидеть в фантастических фильмах на экранах телевизора, сейчас потихоньку внедряется в нашу с вами обыденность. Современные устройства уже могут многое: они умеют распознавать лица людей, их голоса, мимику, жесты, угадывать настроение и мысли. Пока всё это является в большей степени экспериментально – развлекательной ча-

стью жизни человека, но, по прогнозам экспертов, совсем скоро все эти новшества приобретут другой характер – будут доступны более широкому кругу лиц и как результат станут неотъемлемой частью существования.

Особый интерес вызывает Дополненная Реальность (ДР). Она меняет представление об окружающем мире, насыщая его виртуальными объектами, хорошо ориентирующимися в настоящей жизни. Инженеры упорно трудятся над основной задачей ДР – как можно правдоподобнее передать реальный мир на призму цифровых очков, зеркал и любых других вещей, как можно больше упростить жизнь, сделать её более компьютеризированной и умной, за счет интеграции этой технологии в различные сферы жизни человека, начиная от управления БПЛА [1] и заканчивая интеграцией с беспроводными сенсорными сетями [2]. Более того проводятся исследования в области взаимодействия Дополненной Реальности с концепцией Интернета Вещей [3].

Главная функция ДР – дополнять мир виртуальными объектами. Для этого необходимо иметь компьютер с камерой, скаченное приложение и доступ в Интернет. Камера делает виртуальное изображение, отправляет на экран компьютера, а заранее установленное на нём приложение обрабатывает и дополняет нашу реальность эффектами.

В данной работе приводится ёмкое понятие дополненной реальности. Производится анализ различия дополненной реальности с виртуальной. Также рассматриваются три ведущих технологии в мире дополненной реальности: *Microsoft Kinect*, *Intel RealSense* и нейро-гарнитура.

Обзор дополненной реальности

Стремительное развитие интерактивных мультимедийных установок требует появления новых интерфейсов взаимодействия. Дополненная реальность – один из самых перспективных направлений в сфере ИТ-разработок. По оценкам экспертов, в настоящее время технология ДР – главный технологический тренд. Рынок этой технологии оценивается как один из самых быстрорастущих и продолжит расти ещё 8–10 лет [4].

Широко цитируемое определение дополненной реальности как системы Рональда Азума гласит, что она имеет три следующие особенности: 1) она совмещает реальное и виртуальное; 2) она интерактивна в реальном времени; 3) она функционирует в 3D. Основное отличие ДР от виртуальной заключается во взаимодействии компьютерных устройств с объектами реального мира. Она достигается путём наложения слоёв с контекстными объектами посредством компьютерного устройства на изображение реальной среды. Такие приложения рассчитаны в основном на мотивированную публику и носят вспомогательно-информативный характер.

ДР можно классифицировать по четырём типам [5]. По типу представления информации ДР бывает визуальной, где главным источником является изображение; аудио, где информация представляется в виде зву-

ка; и аудиовизуальной, которая соединяет и первый, и второй вид, а также считается самым лучшим видом из данных трёх.

Классификация ДР по типу устройств, от которых система ДР получает информацию об окружающем мире, содержит два вида технологий: геопозиционную (основывается на сигналах позиционирования *GPS* и ГЛОНАСС) и оптическую (в роли источника выступает изображение, полученное с камеры).

По степени мобильности ДР бывает стационарной и мобильной. В качестве примера можно рассмотреть управление беспилотным аппаратом с помощью очков дополненной реальности, который, в свою очередь, связывается с устройствами через сети класса *LLN* и передает изображение в реальном времени [6].

По степени взаимодействия с пользователем ДР делится на автономную, основная задача которой заключается в предоставлении пользователю нужной информации, и интерактивную, ведущую активное взаимодействие с пользователем, который на свои действия получает ответ от системы.

Основными достоинствами ДР являются интерактивность, реалистичность и инновационность. ДР позволяет создавать 3D модели мгновенно. Всё, что для этого требуется – это планшет, или компьютер, доступ в Интернет и скаченное приложение. Обработанное приложением изображение путем компьютерного устройства накладывается на настоящую реальность, в результате чего появляется реальность уже дополненная.



Рис. 1. «Театр погружения»

Интерес к ДР у учёных появился ещё в середине прошлого века. В то время Мортон Хейлинг, известен как «отец виртуальной реальности», начал вести исследования в области виртуальных технологий и уже в 1962 году запатентовал первый симулятор *Sensorama*, по-другому называемый «театром погружения» (рис. 1). «Сегодня постоянно растёт спрос

на методы обучения и тренировки людей таким образом, чтобы исключить риски и опасность реальных ситуаций», – говорится в его патенте. В 1968 году Айван Сазерленд, профессор Гарвардского Университета, совместно со студентом Бобом Спрауллом презентовал новое устройство, названное «Дамоклов меч», представляющее собой первую в мире систему ДР на основе головного дисплея, который надевался на голову и транслировал изображение с экрана компьютера.

Последующие шаги в развитие ДР были совершены в 1990-х годах. Тогда впервые и появилось понятие ДР, предложенное ученым Томом Коделлом. К концу 20-го века, в 1997 году Рональд Азума опубликовал статью «Обзор Дополненной Реальности» [7], в которой были приведены исследования различных способов использования ДР в медицине, производстве, науке, промышленности и развлечении, а также связанные с этим проблемы.

Впервые объединил виртуальную графику с реальной жизнью Хироказу Като, профессор японского Института наук и технологий Кара [4]. Он создал библиотеку программного обеспечения *ARToolKit*, в которой использовалась система распознавания, позволяющая накладывать компьютерную графику на изображение с камеры.

Как уже было отмечено ранее, интерес к ДР не иссякает по сей день. Рынок ежедневно пополняется новинками. На некоторых из них мне бы хотелось остановиться.

Технология *Kinect*

1 июня 2009 года на выставке *E3* компанией *Microsoft* был представлен бесконтактный сенсорный игровой контроллер, названный проектом «*Natal*» (в 2010 году переименован в *Kinect*), первоначально предназначенный для игровой приставки *X-Box*.

Технология *Kinect* является аудиовизуальным оптическим стационарным интерактивным устройством ДР. *Kinect* позволяет пользователю взаимодействовать с ней без помощи контактного игрового контроллера через устные команды, позы тела и показываемые объекты или рисунки. Состоит из двух сенсоров глубины, цветной видеокамеры и микрофонной решетки. Проприетарное программное обеспечение осуществляет полное трёхмерное распознавание движений тела, мимики лица и голоса. Микрофонная решетка позволяет *Xbox 360* (рис. 2) производить локализацию источника звука и подавление шумов, что дает возможность говорить без наушников и микрофона *Xbox Live*.

Kinect позволяет расширить границы виртуального игрового мира, полностью погружая пользователя в реалистичное изображение.



Рис. 2. Устройство Xbox 360

Kinect является качественным приложением для видеоигр. Опытные игроки найдут массу положительных характеристик данного устройства. К ним относятся: совершенно новое взаимодействие игрока с системой, достаточно реалистичное погружение в игровую реальность.

Kinect-игры рекомендуют, а временами и требуют, чтобы игроки находились на расстоянии в 2–2,5 метра и между ними и консолью не было никаких препятствий, т. е. требуют достаточно большого свободного пространства. Это главный минус данного устройства. К недостаткам относится также визуальная часть, то что сразу бросается в глаза при первом рассмотрении – *Kinect* выполнен из глянцевого пластика. Такая игровая консоль обойдется пользователю минимум в 11 тыс. рублей.

Судя по недавнему патенту *Microsoft*, *Kinect* будет способен распознавать язык жестов. Пока патент касается только *ASL*, но, возможно, другие языки будут добавлены позже. Ожидается, что это расширит аудиторию пользователей и поможет обучать немых языку жестов. Однако, согласно официальному комментарию, эта особенность не будет включена в первую версию *Kinect* из-за сниженного в угоду цене разрешения камер. С другой стороны, *Microsoft* не отказывается от использования патента – но будет ли это улучшенная версия *Kinect* или отдельный продукт, пока неизвестно.

Технология *RealSense*

RealSense – это аудиовизуальная оптическая мобильная интерактивная технология ДР, представляющая собой набор приложений для компьютерного устройства, максимум расширяющее грани возможного. Она состоит из:

- системы распознавания жестов «Контроль», предназначенный для взаимодействия с компьютером, который сможет понимать движения рук и головы, а также выражение лица;
- 3D сканирования дома, в котором стало возможным сканировать реальные предметы (например любимую книгу, игрушку, даже собственное лицо) и создавать цифровую версию в формате 3D;
- технологии *Intel RealSense Snapshot*, позволяющем менять фокус на фотографии после того, как сделан снимок (эффект добивается при помощи использования 3 разных линз, поэтому можно будет сначала сфотографировать, а затем подобрать понравившуюся перспективу);

- камеры, которая производит измерения любых вещей по всем параметрам: высоту, длину, ширину (достаточно просто сделать снимок на планшете и измерить прямо на экране);

- другие приложения, упрощающие обмен идеями в чате и открывающие новые возможности общения.

На сегодняшний день производители компьютеров, ноутбуков и планшетов широко используют технологию *Intel RealSense*. Такие девайсы с изначально установленной 3D камерой вы можете встретить на полках ведущих магазинов. Например, это ноутбуки *Asus N551JQ*, *HP Envy15t Touch RealSense*, *Dell Inspiron155548*, *Acer AspireV17Nitro*, *Lenovo ThinkPad Yoga15*, моноблоки *LenovoB5030*, *Dell Inspiron23"7000*, *HP Sprout* и многие другие. В них уже заложены готовые приложения. Также на сайте можно скачать несколько бесплатных версий для тестирования некоторых приложений из *RealSense*.

Возможности *Intel RealSense* потрясающие. Она отслеживает 22 точки на руках и пальцах с определением трёхмерных позиций, которые могут быть задействованы для управления приложением; определяет присутствие лица человека в диапазоне работы видеокамеры, может распознать 78 элементов мимики лица для повышения степени точности, выполнить аккуратную трёхмерную идентификацию положения лица с учётом наклонов, поворотов и кивков головы; заменяет окружающую обстановку простой заменой заднего фона; позволяет управлять приложениями с помощью голосовых команд. а также переводит надиктованную речь на различные языки. Всё это можно отнести к положительным характеристикам данной технологии.

Устройство с технологией *Intel* обойдется пользователю в сумму от 30 тыс. рублей. Такая технология будет очень полезна дизайнерам, архитекторам, строителям, а также будет интересна в обучении. Например, это намного улучшит качество образования и развития воображения у детей, состоящих на домашнем обучении. Преподавателю будет гораздо проще объяснить геометрию, физику, и ряд других дисциплин, требующих наглядного представления.

В рассмотрение предлагаю внедрить технологию *RealSense 3D* в театры. Она поможет декораторам сцены в выборе украшений: сначала на камеру снимается постановка (репетиция), затем можно будет менять фон, пробовать разные световые оттенки, играть тенями и т. д., и только после конструировать и смотреть, как оно выглядит вживую.

Вдобавок данная технология позволит расширить сферу услуг операторов связи, за счет сбора информации о реакции человека (считывание эмоций) на тот или иной контент и изменение предоставляемых услуг на основании этой информации [8].

Нейро-гарнитура

Нейро-гарнитура (рис. 3) помогает развивать ряд способностей человека (таких как концентрация внимания, память, стрессоустойчивость), а также позволяет лучше понять, как работает и функционирует наш мозг [9].

Относится совсем к другой категории ДР, чем рассмотренные ранее технологии *Kinect* и *RealSense*. Данные устройства представляют из себя комплектацию к компьютеру или планшету в виде специальных эластичных нейро-обручей с установленными специальными датчиками. Такие устройства крепятся на голове и производят сканирование мозговой активности человека в его лобных долях, тем самым измеряя уровень концентрации или спокойствия пользователя. Производитель уверен, что данная машина особенно пригодится тем, кому по роду занятий необходимо быть предельно внимательными, в частности, школьникам и студентам.

Нейро-гарнитура относится к визуальным оптическим мобильным автономным видам ДР.

Какую пользу может принести данный вид гарнитуры? Во-первых, при использовании Нейро технологии происходит развитие ментальных способностей человека, что позволяет выйти на качественно новый уровень при решении сложных задач даже в стрессовых ситуациях. Гарнитура развивает способность четко понимать свои внутренние граничные состояния – от абсолютной концентрации до полной релаксации. Во-вторых, повышается уровень самоконтроля, самоорганизации и, соответственно, значительное улучшение работоспособности. Гарнитура помогает развивать память, скорость мышления. В-третьих, разработчики анонсируют управление программами силой мысли. Электрические сигналы мозга Нейро-гарнитура превращает в цифровые сигналы для компьютера. Также изобретатели уверяют, что использование такого вида технологии абсолютно безопасно для здоровья – биосенсоры Нейро-гарнитуры работают в пассивном режиме.

Одним из недостатков является то, что Нейро-гарнитура - это интегрированное приложение к устройству, и она не предполагает работу отдельно от установленного приложения. Беспроводные устройства работают от батарейки или съемного аккумулятора, которые требуют периодической подзарядки. И несмотря на то, что на сегодняшний день существует огромное количество модификаций обруча к данному устройству, работа с любым из них требует предварительного приготовления. Хотя в защиту



Рис. 3. Нейро-гарнитура

можно сказать, что обруч достаточно легкий, и его вес достигает менее 90 грамм.

Заключение

Потенциал рынка программ и устройств ввода ДР огромен. Как и жизнь человека, любое явление имеет три стадии развития: появление, расцвет и закат. Сейчас технология ДР находится на первом этапе. За рубежом ДР используется уже десять лет. Европа, Америка, Япония и некоторые другие страны стоят на пороге второго этапа развития, а рынки стран СНГ пока еще в самом начале пути. Однако интерес к новым разработкам в этой области имеется, есть и специалисты, которые готовы создавать программы, много и креативных идей – а это самое главное [10].

Каждая рассмотренная ранее технология имеет свои недостатки. Несовершенство продукта пока не подразумевают совершенно точное его использование, несмотря на ошеломляющие перспективы.

Если наше поколение сегодня выступает в роли изобретателя, то следующие – будут потребителями. А потребитель, зачастую, вслепую использует предложенный продукт. Получится, что человечество пойдет вспять, каждый замкнется на своей виртуальной реальности. Как тогда поведет себя человек в экстренной ситуации, сможет ли он думать без компьютерной помощи? На сегодняшний день водителю необязательно знать город, за него всё найдет навигатор. И многие, оставшись без него, например, по рассеянности забыв навигатор дома, впадают в панику и не знают что делать.

Ответить на главный вопрос, а именно: «Что такое дополненная реальность?», может только время. Многие компании ставят перед собой не верные цели, тем самым оказывая медвежью услугу человечеству. Целевая аудитория, для гаджетов и приложений к ним, должна быть мотивированной. Ведь не стоит забывать, что дополненная реальность должна дополнять, а не заменять нашу жизнь.

Библиографический список

1. **Кучерявый А. Е.** Летающие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый, А. Г. Владыко, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, И. А. Богданов, А. А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2014. – № 9. – С. 2–5.
2. **Кучерявый А. Е.** Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей / А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 29–41.
3. **Боронин П. Н.** Интернет Вещей как новая концепция развития сетей связи / П. Н. Боронин, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 7–30.
4. **Кириякиди С.** Дополненная реальность и перспективы её применения в строительной отрасли [Электронный ресурс] / С. Кириякиди // 2014. – URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16724

5. **Бойченко И. В.** Дополненная реальность: состояние, проблемы и пути решения / И. В. Бойченко, А. В. Лежанкин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1 (21), часть 2. – С. 161–165.

6. **Киричек Р. В.** Оценка параметров качества передачи изображения и речи поверх протокола *ZigBee* в режиме прозрачного канала / Р. В. Киричек, А. Е. Кучерявый, М. А. Маколкина, Ж. В. Сене, В. И. Тахтуев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1. – С. 71–82.

7. **Azuma R. T.** A Survey of Augmented Reality / R. T. Azuma // In Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1997. – № 6 (4). – PP. 355–385.

8. **Кучерявый А. Е.** Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый.. – М. : Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 296 с.

9. **Kato H.** Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System / H. Kato, M. Billinghurst. // Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality. – 1999. – PP. 85–94.

10. **Дополненная реальность – что это такое?** [Электронный ресурс] / УК «Альянс» // 2010. – URL: <http://venture-biz.ru/informatsionnye-tekhnologii/173-dopolnennaya-realnost>

References

1. **Kucheryavy A. E.** The flying sensor networks / A. E. Kucheryavy, A. G. Vladyko, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev, I. A. Bogdanov, A. A. Dort-Golts // *Electrosvyaz*. – 2014. – No. 9. – PP. 2–5.

2. **Kucheryavy A. E.** Evolution of researches in the field of wireless sensor networks / A. E. Kucheryavy, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev // *Information technologies and telecommunications*. – 2014. – No. 4. – PP. 29–41.

3. **Boronin P. N.** Internet of Things as new concept of development of communication networks / P. N. Boronin, A. E. Kucheryavy // *Information technologies and telecommunications*. – 2014. – No. 3. – PP. 7–30.

4. **Kiryakidi S.** Augmented reality and prospects of its application in the construction industry [Electronic resource] / S. Kiryakidi // 2014. – URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16724

5. **Boychenko I. V.** Augmented reality: the state, problems and solutions / I. V. Boychenko, A. V. Lezhankin // Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics. – 2010. – No. 1 (21), part 2. – PP. 161–165.

6. **Kirichek R. V.** Parameter estimation quality image transmission and voice over ZigBee protocol-transparent channel / R. V. Kirichek, A. E. Kucheryavy, M. A. Makolkina, J. V. Sene, V. I. Takhtuev // *Information technology and telecommunications*. – 2015. – No. 1. – PP. 71–82.

7. **Azuma R. T.** A Survey of Augmented Reality / R. T. Azuma // In Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1997. – No. 6 (4). – PP. 355–385.

8. **Kucheryavy A. E.** Communication networks public. Tendencies of development and methods of calculation / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, E. A. Kucheryavy. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 296 p.

9. **Kato H.** Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System / H. Kato, M. Billinghurst. // Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality. – 1999. – PP. 85–94.

10. **Augmented Reality – what is it?** [Electronic resource] / MC "Alliance" // 2010. – URL: <http://venture-biz.ru/informatsionnye-tekhnologii/173-dopolnennaya-realnost>

Алексеева Дарья Д. – студентка факультета ИКСС Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича».

Маколкина Мария Александровна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», makolkina@list.ru

УДК 654.739

А. И. Хлызов

A. I. Khlyzov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

Е. В. Суродеева

E. V. Surodeeva

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

Р. В. Киричек

R. V. Kirichek

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОТ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

SOFTWARE FOR THE INTELLIGENT PROCESSING
OF DATA FROM WIRELESS SENSOR NETWORKS

Обработка больших объемов данных, извлечение из этих данных полезной и не очевидной на первый взгляд информации приобретает все большее значение с каждым годом. Через пять лет больше всего информации будут генерировать «умные вещи» и беспроводные сенсорные сети, средства интеллектуальной обработки данных, поступающих именно от них будут достаточно важное значение в перспективе.

Processing large amounts of data, extract from these data are not useful and clear information is becoming increasingly important every year. Five years later, most of the information will generate by the "smart thing" and wireless sensor networks, data mining tools, coming from them will be quite important in the long term

Data Mining, Интернет Вещей, обработка данных, беспроводные сенсорные сети.

Data Mining, Internet of things, data processing, wireless sensor networks.

Количество «умных вещей» увеличивается с каждым годом на порядок. По прогнозам аналитиков к 2020 году количество устройств, подключенных к интернету, превысит количество смартфонов и персональных компьютеров вместе взятых. Объемы трафика, который будут генерировать эти устройства, колоссальны. Это же относится и к данным, получаемым от устройств.

Рассмотрим летающую сенсорную сеть [5] для сельскохозяйственного предприятия. Допустим, 100 квадрокоптеров собирают данные с находящихся на земле тысячи датчиков температуры, влажности, освещенности, которые, в свою очередь, сохраняют показания раз в полчаса.

Перед нами стоит задача обработать данные, накопленные за несколько лет, например, чтобы прогнозировать лучшее время полива и сбора урожая. Для такой небольшой беспроводной сенсорной сети [7] объем собранных данных составит несколько гигабайт. Возникает закономерный вопрос: как обработать такой объем информации? Стандартные методы статистического анализа довольно сложно применить к огромным массивам данных, поэтому они не очень хорошо подходят для данной цели.

Задачу извлечения полезных знаний из огромного объема информации решает, о нем подробнее. Существует два определения:

1) *Data Mining* – процесс извлечения знаний из различных источников данных, таких, как базы данных, текст, картинки, видео и т. д. Полученные знания должны быть **достоверными, полезными и интерпретируемыми**.

2) *Data Mining* – процесс построения модели, хорошо описывающей закономерности, которые порождают данные.

Подходы к построению моделей:

- статистический,
- на основании машинного обучения,
- вычислительный.

Область *Data Mining* началась с семинара, проведенного Григорием Пятецким-Шапиро в 1989 году.

Первоначально задача ставится следующим образом:

- имеется достаточно крупная база данных,
- предполагается, что в базе данных находятся некие «скрытые знания».

Необходимо разработать методы обнаружения знаний, скрытых в больших объемах исходных «сырых» данных. В текущих условиях глобальной конкуренции именно найденные закономерности (знания) могут быть источником дополнительного конкурентного преимущества.

Что означает «скрытые знания»? Это должны быть обязательно ранее неизвестные знания, то есть:

- новые (а не подтверждающие какие-то ранее полученные сведения);
- нетривиальные (т. е. такие, которые нельзя просто так увидеть при непосредственном визуальном анализе данных или при вычислении простых статистических характеристик);
- практически полезные (т. е., представляющие ценность для исследователя или потребителя);

– доступные для интерпретации (т. е. такие знания, которые можно представить в наглядной для пользователя форме и легко объяснить в терминах предметной области).

Эти требования во многом определяют суть методов *Data mining* и то, в каком виде и в каком соотношении в технологии *Data mining* используются системы управления базами данных, статистические методы анализа и методы искусственного интеллекта.

***Data mining* и базы данных**

Методы *Data mining* имеет смысл применять только для достаточно больших баз данных.

Развитие технологий баз данных сначала привело к созданию специализированного языка – языка запросов к базам данных. Для реляционных баз данных – это язык *SQL*, который предоставил широкие возможности для создания, изменения и извлечения хранимых данных. Затем возникла необходимость в получении аналитической информации (например, информации о деятельности предприятия за определённый период), и тут оказалось, что традиционные реляционные базы данных, хорошо приспособленные, например, для ведения оперативного учёта на предприятии, плохо приспособлены для проведения анализа. Это привело, в свою очередь, к созданию т. н. «хранилищ данных», сама структура которых наилучшим способом соответствует проведению всестороннего математического анализа.

Итак, методы *Data Mining* используются для обнаружения нетривиальных зависимостей в огромном объеме данных, собираемых сенсорной сетью. На основании этих зависимостей строятся экспертные таблицы, из которых человек может сделать выводы об общей логике работы системы, получить прогнозы.

Ниже представлена таблица 1 с программными решениями для *Data Mining*. Каждое из этих решений применимо для обработки данных от беспроводных сенсорных сетей. Стоит заметить, что данные могут быть представлены не только в виде таблиц, хотя в большинстве случаев это так, но и быть в виде изображений, видео.

ТАБЛИЦА 1. Программные решения для *Data Mining*

Название	Краткое описание	Программирование
<i>RapidMiner</i>	<i>OpenSource</i> , условно – бесплатная, богатый функционал	Визуальное
<i>numpy scipy pybrain pandas</i>	Набор библиотек для <i>Python</i>	<i>Python</i>

Название	Краткое описание	Программирование
<i>R and data mining</i>	<i>R</i> – функциональный язык программирования разработанный для <i>DM</i>	<i>R</i>
<i>Apache spark</i>	<i>OpenSource</i> , быстрые вычисления за счет <i>RAM</i>	<i>Scala, Python</i> и <i>Java</i>
<i>Azure Machine Learning</i>	Быстрые вычисления в облаке, платное решение	Визуальное

Один из наиболее часто используемых алгоритмов работы следующий: данные подготавливаются с помощью языка программирования *Python* и подключаемой библиотеки *NumPy*, которая отвечает за работу с огромными массивами, математику. Далее нужным образом разбитые данные передаются на вход в визуальный продукт.

Для примера рассмотрим *RapidMiner*. Он пригоден для решения таких привычных задач, как:

- **Анализ транзакций.** Например, банковских, для противодействия мошенничеству;

- **Клиентская аналитика.** Для рынка телекоммуникаций это зачастую анализ на тему: может ли клиент «уйти»;

- **Персональные рекомендации.** Для розничной торговли – что кому предложить. Клиент только купил детское питание, а уже известно, что через несколько месяцев ему нужно дать предложение о скидке на детский велосипед;

- **Прогнозирование поставок и продаж.** При том, что есть готовые пакеты для этого, *RapidMiner* можно использовать бесплатно;

- **Текстовая аналитика – о чём люди пишут.** Например, анализ эмоционального оттенка отзывов или комментариев в автоматическом режиме. Это «50 жаловались на связь в Волгограде по улице Победы», «20 похвалили сервис», «Основная причина недовольства абонентов – частые разрывы соединения» и так далее;

- **Создание готовой интеграции на уровне базы и веб-сервисов.** Можно обрабатывать определенной моделью данные от датчиков «на лету», не храня результаты, и передавать их дальше в веб-сервис, например в *Amazon*;

- **Сборный анализ, прогнозирование.** То, что чаще всего необходимо применять к данным от беспроводных сенсорных сетей. Есть данные с датчиков в офисе: температура, влажность, освещенность, работа кондиционера, открыты ли окна. Можно вывести самые комфортные условия пребывания людей в этом помещении и в дальнейшем поддерживать их постоянно в автоматическом режиме.

Перейдем к решению практической задачи: исследованию температурного режима в офисе одной из российских компаний и выведения коэффициента комфортности погоды для этого помещения. Имеются следующие данные:

1. Показания датчика температуры с декабря 2014 по апрель 2015 года, вида Дата (месяц-день-час-минута) – Температура;
2. Показания датчика влажности в этом помещении с декабря 2014 по апрель 2015 года, вида Дата (месяц-день-час-минута) – Влажность;
3. Показатели скорости ветра снимались каждую минуту с кондиционера, установленного в помещении.

Использовался датчик *DHT11*, показания снимались каждую минуту, итого получилось две таблицы по 80 209 записей в каждой. Для алгоритмов *Data Mining* 160 тысяч записей – совсем небольшая цифра, их возможно обрабатывать в режиме реального времени с задержкой 1,54 с. Именно столько понадобилось ПО *RapidMiner* для расчета параметров оптимальных климатических условий внутри помещения.

Одной из наиболее широко используемых формул аналитического определения оптимальной (т. н. эффективной) температуры является выражение Миссенарда:

$$ET = t - 0,4(t - 10) * (1 - f / 100),$$

где t – температура сухого термостата (в нашем случае датчик температуры *DHT11*), °C;

f – относительная влажность, %.

Ценность ET , как биоклиматического показателя состоит в том, что его можно использовать как для теплого, так и для холодного сезонов года. Это ощущаемая человеком температура, которая вычисляется по формуле зависимости реальной температуры и влажности.

Второй параметр – коэффициент Бодмана, вычисляется по формуле:

$$S = (1 - 0,04Ta) * (1 + 0,27v),$$

v – скорость ветра, м\с.

Из формулы Бодмана следует, что при $Ta = -24$ °C и $v = 0$ увеличение скорости ветра на 1 м/с эквивалентно понижению температуры на 2,8 °C. А при $Ta = -24,0$ °C и $v = 10$ м/с увеличение скорости ветра на 1 м/с равнозначно понижению температуры на 3,4 °C. Жесткость погоды, определенная по формуле Бодмана, так же характеризует климат по восприятию его человеком.

За оптимальный климатический режим примем максимальное количество измерений по выражению Миссенарда и формуле Бодмана, т. е. какие

из значений коэффициентов сохранялись на одном уровне самый большой период времени за все измерения.

Решение задачи можно разделить на три этапа: подготовка данных, подбор оптимального алгоритма и реализация модели в *RapidMiner*.

Подготовка данных

При первом взгляде на таблицы с собранными данными становится понятно, что они не всегда совпадают с действительным состоянием погоды на данный период. Это можно списать на сбор данных в период тестирования, сбой датчиков и т. д. [6].

На первом этапе необходимо провести нормализацию и/или очистку исходных данных от таких показаний, для того чтобы избежать неправдоподобных результатов.

Так же в понятие нормализации входит приведение данных к одной величине. Так как показатели температуры представлены в градусах, влажность в процентах, а скорость ветра – в метрах в секунду, то сравнивать их напрямую нельзя, необходимо привести эти значения в диапазон от 0 до 1. Для этого использовалась библиотека для *Python NumPy*. Встроенный алгоритм *normalize* исключил из выборки все неправдоподобные данные, затем перевел все значения во втором столбце в диапазон от 0 до 1. В первом столбце находится время измерения, оно неизменно во всех трех таблицах с исходными данными и в преобразовании не нуждается (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Приведение данных к одной величине при алгоритма *normalize*

Исходные данные		Преобразованные данные	
Date	Temp	Date	Temp
28.04.2015 18:28	25,5	28.04.2015 18:28	0.255
28.04.2015 18:27	11,4	28.04.2015 18:26	0.255
28.04.2015 18:26	25,5	28.04.2015 18:25	0.254
28.04.2015 18:25	25,4		
Date	Humidity	Date	Humidity
13.03.2015 14:33	21,7	13.03.2015 14:33	0.217
13.03.2015 14:32	21,8	13.03.2015 14:32	0.218
13.03.2015 14:31	22	13.03.2015 14:31	0.22
13.03.2015 14:30	22,1	13.03.2015 14:30	0.221
Date	Wind	Date	Wind
13.01.2015 14:03	0.22	13.01.2015 14:03	0.22
13.01.2015 14:14	0.22	13.01.2015 14:14	0.22
13.01.2015 14:24	0.22	13.01.2015 14:24	0.22
13.01.2015 14:34	0.23	13.01.2015 14:34	0.23

Так же из итоговой выборки были удалены показатели, собранные в нерабочее для офиса время (с 20:00 до 08:00), т. к. не должны сказаться на итоговом результате.

Подбор алгоритма

Первым шагом потребуется высчитать коэффициенты Миссенарда и Бодмана. Затем к двум полученным таблицам вида Дата – коэф. Миссенарда и Дата – коэф. Бодмана применим простой статистический метод: «Встречается чаще, чем другие». Возможно использование и более сложного алгоритма - принципа Бонферрони: вычислить количество предполагаемых событий при предположении их полной случайности. Если это количество намного превосходит количество событий, о которых идет речь в задаче, то такой результат не является достоверным.

Реализация модели в ПО *RapidMiner*

На вход подаются три таблицы с подготовленными исходными данными, затем в первом и втором модуле высчитываются коэффициенты (формулы записаны с помощью языка *R*), а в третьем модуле (рис.) выполняется статистический подсчет наиболее часто встречаемых коэффициентов, в результирующих таблицах допуская погрешность в 0,01. Результат выдается в виде: коэффициент – сколько раз встретился.

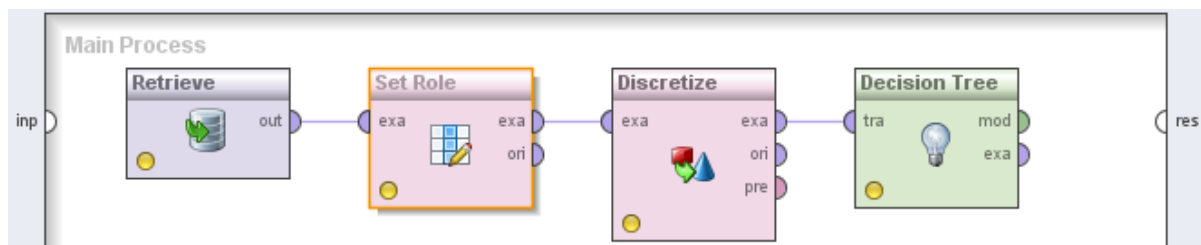


Рисунок. Моделирование статистического метода в ПО *Rapid Miner*

Полученные результаты оказались предсказуемыми. Самый часто встречающийся коэффициент Миссенарда равнялся 20,2 (это эквивалентно 21 градусу Цельсия при влажности 25 %). Встретился он 24 587 раз, то есть при такой температуре сотрудники офиса провели 14 рабочих дней из собранных показаний за четыре месяца. Полученный коэффициент Бодмана равнялся 0,125, встретился он 14 028 раз. Полученные показатели идеально соответствуют комфортным условиям пребывания человека в помещении.

Так как понятие «оптимальная погода» является субъективным, то полученные показания соответствуют тому, как сотрудники офиса самостоятельно контролировали погодные условия в помещении. Следовательно, данные можно использовать по отношению к конкретному офису, например, для автоматизированного контроля климата, с помощью удаленного управления кондиционером или же открытием створок окон.

Применений для инструментов и алгоритмов *Data Mining* огромное количество. В статье был представлен краткий обзор современных инструментов для работы с большими данными и только одной из возможных ситуаций, как и когда эти инструменты будут задействованы.

Библиографический список

1. **Журавлев Ю. И.** Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю. И. Журавлев, В. В. Рязанов, О. В. Сенько. – М. : Фазис, 2006. – 176 с.
2. **Witten Ian H.** Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques / Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall. – 3rd Edition. – Morgan Kaufmann, 2011. – P. 664.
3. **Кулик В.** Методы исследования беспроводных каналов связи Интернета Вещей в условиях совместной работы / В. Кулик, Р. В. Киричек, А. Бондарев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1. – С. 106–114.
4. **Кучерявый А. Е.** Обеспечение связности беспроводных сенсорных узлов гетерогенной сети / А. Е. Кучерявый, И. Н. Нуриллов, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1. – С. 115–122.
5. **Боронин П. Н.** Интернет Вещей как новая концепция развития сетей связи / П. Н. Боронин, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 3. – С. 7–30.
6. **Кучерявый А. Е.** Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей / А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 29–41.
7. **Кучерявый А. Е.** Летающие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый, А. Г. Владыко, Р. В. Киричек, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, И. А. Богданов, А. А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2014. – № 9. – С. 2–5.
8. **Кучерявый А. Е.** Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый.. – М. : Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2008. – 296 с.

References

1. **Zhuravlev Y. I.** Recognition. Mathematical methods. Software system. Practical applications / Y. I. Zhuravlev, V. V. Ryazanov, O. V. Senko. – M. : Phasis, 2006. – 176 p.
2. **Witten Ian H.** Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques / Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall. – 3rd Edition. – Morgan Kaufmann, 2011. – P. 664.
3. **Kulik V.** Methods of wireless communication channels of the Internet of Things in a joint work / V. Kulik, P. V. Kirichek, A. Bondarev // Information technologies and telecommunications. – 2015. – No. 1. – PP. 106–114.
4. **Kucheryavy A. E.** Provision of connectivity of wireless sensor nodes heterogeneous network / A. E. Kucheryavy, I. N. Nurilloev, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev // Information technologies and telecommunications. – 2015. – No. 1. – PP. 115–122.
5. **Boronin P. N.** Internet of Things as new concept of development of communication networks / P. N. Boronin, A. E. Kucheryavy // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 3. – PP. 7–30.
6. **Kucheryavy A. E.** Evolution of researches in the field of wireless sensor networks / A. E. Kucheryavy, R. V. Kirichek, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev // Information technologies and telecommunications. – 2014. – No. 4. – PP. 29–41.

7. **Kucheryavy A. E.** The flying sensor networks / A. E. Kucheryavy, A. G. Vladyko, R. V. Kirichек, A. I. Paramonov, A. V. Prokopyev, I. A. Bogdanov, A. A. Dort-Golts // *Electrosvyaz*. – 2014. – No. 9. – PP. 2–5.

8. **Kucheryavy A. E.** Communication networks public. Tendencies of development and methods of calculation / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, E. A. Kucheryavy. – Moskva: Federal State Unitary Enterprise TSNIIS, 2008. – 296 p.

Хлызов Алексей Иванович – студент Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», alex.khlizov@gmail.com

Суродеева Елизавета Владимировна – студентка Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», elisaveta.surodeeva@gmail.com

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», ki-richek@sut.ru

УДК 621.395

А. А. Шолохов

A. A. Sholokhov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**Н. В. Толочный**

N. V. Tolochniy

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**А. Е. Кучерявый**

A. E. Koucheryavy

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-БруевичаBonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications**АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ В СФЕРЕ
ЭЛЕКТРОННОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**

ANALYSIS OF STANDARDS IN E-HEALTH

В современном, динамично развивающемся мире все еще остается актуален вопрос здравоохранения, так как от этого напрямую зависят жизни людей. Возможность заранее прогнозировать заболевания, иметь достоверную и полную историю болезни, наблюдать за изменением жизненно важных показателей в реальном времени, экстренно и грамотно реагировать на их отклонения от нормы - существенно увеличивает шансы на успешное выздоровление. На основании прошлых историй болезней с полным набором характеристик становится возможным ставить диагноз практически со 100 % уверенностью. Благодаря появлению и развитию Интернета и технологий, а в частности – Интернета Вещей, сегодня это стало частью жизни.

In our days, dynamic world it is still relevant health issue, since this depends directly on the lives of people. The ability to predict the advance of the disease, to have accurate and complete medical history, to observe the changes in vital signs in real time, urgently and competently respond to their deviation from the norm - significantly increases the chances of a successful recovery. Based on past medical history with a complete set of features it is possible to diagnose with almost 100 % certainty. The emergence and development of the Internet and technology, in particular – the Internet of Things, today it has become a part of life.

e-health, электронное здоровье, здравоохранение, обзор, стандарты.

e-health, medicine, sensor networks, low-latency networks, standards.

Введение

До недавнего времени в истории человечества для того, чтобы получить квалифицированную медицинскую помощь, существовала острая необходимость в физическом взаимодействии пациента и доктора. Многие из пациентов, нуждающихся в помощи, в силу ограничивающих обстоятельств (место проживания, отсутствие необходимых специалистов, люди с ограниченными возможностями, и другие причины) не имели возможности обратиться за помощью к квалифицированному специалисту.

Благодаря развитию технологий Интернета Вещей (*IoT*) данные проблемы будут оставаться в прошлом, преодолевая существующие технические ограничения [5]. Системы электронного здравоохранения (*e-health*) позволят получать актуальную информацию о жизненно важных показателях здоровья человека, не требуя при этом его физического присутствия в медицинском учреждении. При отклонении параметров от нормы появится возможность экстренно реагировать и назначать грамотное лечение в короткие сроки, что позволит повысить качество медицинского обслуживания и сократить количество летальных исходов [3].

В *e-health* используются различные датчики по отслеживанию состояния здоровья пациента с применением самоорганизующейся сети, где число узлов является случайной величиной во времени и может изменяться от нуля до некоторого максимального значения [6].

В данной статье рассматриваются основные стандарты, которые специфицируют аспекты электронного здравоохранения на международном уровне и дают возможность понять, в каком направлении движется индустрия.

Рекомендация ITU-T Y.2065.

Требования по обслуживанию и производительности для услуг *e-health* мониторинга

Первая глава данной рекомендации рассматривает классификацию услуг в сфере мониторинга здоровья с помощью электронных устройств (*e-health monitoring services*). Целью такой классификации является определение требований к самим устройствам, а также сети передачи данных в зависимости от типа услуги и класса мониторинга [1].

Рекомендация выделяет четыре основных состояния здоровья человека:

- полностью здоров,
- процесс реабилитации после операции или болезни,
- наблюдаются проблемы со здоровьем,
- стадия заболевания.

На основании обозначенных состояний здоровья выделяются три класса мониторинга (рис. 1):

- профилактика (*healthcare*),
- реабилитация (*rehabilitation*),
- лечение (*treatment*).

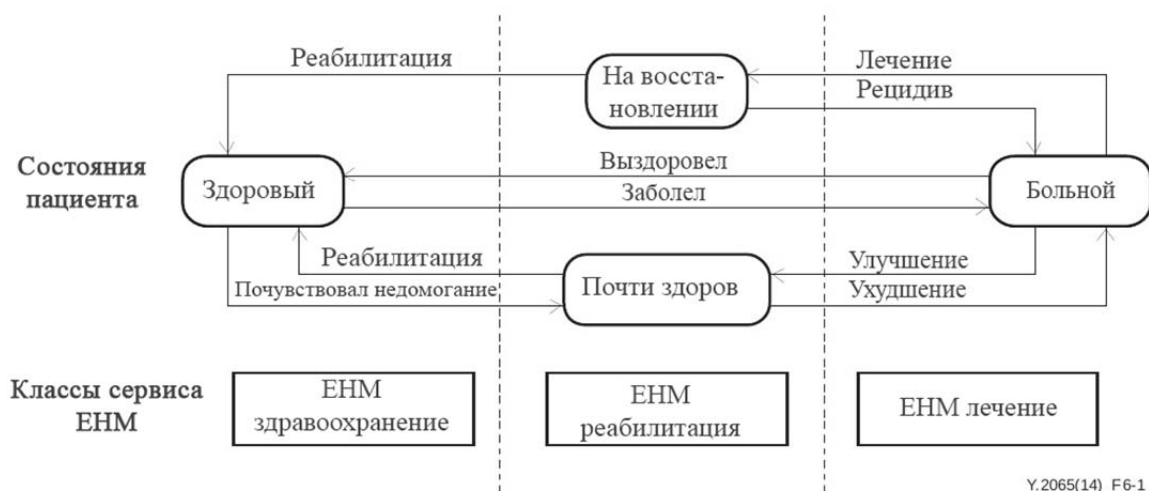


Рис. 1. Состояния здоровья человека и соответствующие им классы услуг мониторинга в электронном здравоохранении

Каждый из классов имеет свой набор требований и определяет для себя различную аудиторию потребителей услуг, а также области применения и другие требования.

Следующей важной темой является описание характеристик ЕНМ услуг, включающая в себя процессы сбора и обработки данных с мониторов, взаимодействие нескольких мониторов в пределах одного пользователя, передачи результатов в соответствии со спецификациями Интернета вещей (*IoT*), учет юридических законов о персональных данных [1].

Следующая тема, рассматриваемая в спецификации – вопрос требований к производительности для *e-health* устройств в соответствии с рекомендацией *ITU-T Y.2060* – «Обзор Интернета Вещей». Предоставляются требования к качеству обслуживания (*QoS*), учёта предоставленных услуг, сети электросвязи, безопасности, а также к производительности самих устройств (обработка и передача данных).

В заключении приведен набор сценариев, возможных при использовании *e-health* устройств. На рис. 2 приведен сценарий использования услуг мониторинга здоровья в домашних условиях [1].

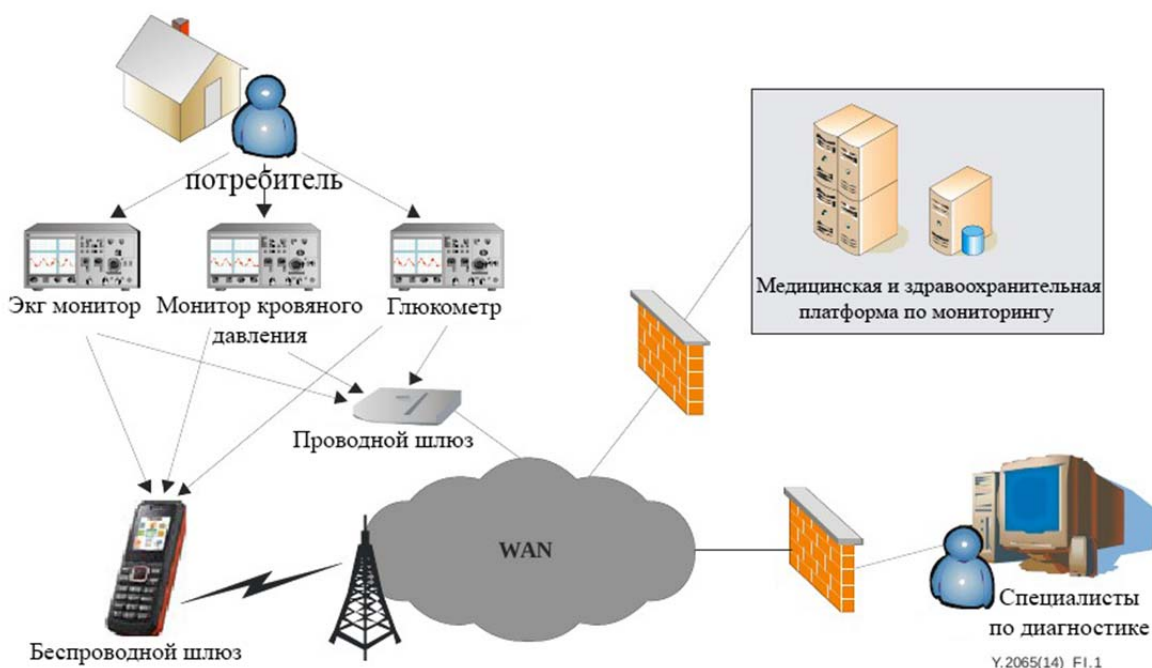


Рис. 2. Сценарий использования устройств *e-health* в домашних условиях

Рекомендация Н.810.

Руководящие указания по планированию функциональной совместимости для систем персонального медицинского обслуживания

В рекомендации МСЭ-Т Н.810 определяются руководящие указания по проектированию, разработанные консорциумом *Continua Health Alliance* и содержащие спецификации для обеспечения функциональной совместимости устройств, которые используются в приложениях, осуществляющих индивидуальный контроль состояния здоровья.

Данная Рекомендация также содержит дополнительные руководящие указания по планированию функциональной совместимости, уточняющие эти спецификации [2].

Руководящие указания в основном посвящены следующим интерфейсам:

- *TAN-IF* – интерфейс между медицинскими устройствами в сети непосредственного контакта и устройствами хостинга приложений;
- *PAN-IF* – интерфейс между медицинскими устройствами в персональной сети и устройствами хостинга приложений;
- *LAN-IF* – интерфейс между медицинскими устройствами в локальной сети и устройствами хостинга приложений;
- *WAN-IF* – интерфейс между устройствами хостинга приложений и медицинскими устройствами в территориально-распределенной сети;

- *HRN-IF* – интерфейс между медицинскими устройствами в территориально-распределенной сети и медицинскими устройствами в сети электронных персональных медицинских записей.

Для каждого из перечисленных интерфейсов приведен обзор, сфера возможных применений, классы сертифицированных устройств, способы передачи данных между устройствами, политики и рекомендации по безопасности, доступные протоколы обмена и прочее [2].

В приложении приведена дополнительная информация о сетях *ZigBee* и способах их построения, а также примеры реализации и технологии обмена сообщениями.

Рекомендация МСЭ-Т Н.860.

Сервисы мультимедийного обмена данными электронного здравоохранения: схема данных и вспомогательные услуги

Рекомендация МСЭ-Т Н.860:

- определяет общие схемы, применимые к различным системам здравоохранения – клиническим и оздоровительным;
- описывает вспомогательные услуги и архитектуры систем для обмена данными о здоровье пациента. Это позволяет обмениваться мультимедийными данными о здоровье пациента между поставщиком данных, обработчиком данных и пациентом;
- описывает заботу о пациенте, как со стороны врачей, так и со стороны персональных услуг здравоохранения [4].

Для обмена данными о здоровье пациента рекомендация описывает:

- общие данные о работоспособности схемы, чтобы сформировать общий язык для всех участников системы здравоохранения для обмена медицинской информацией;
- форматы и механизмы для обмена медицинской информацией.

В рекомендации приводится обзор действующей проблемы в области электронного здравоохранения – отсутствие глобальных стандартов взаимодействия для электронного здравоохранения и технических барьеров в области инфраструктуры. Для решения этих технологических препятствий *ITU-T* предлагает дополнительный глобальный стандарт совместимости для электронного здравоохранения.

Используя реализации электронного здравоохранения на различных рынках здоровья, *ITU-T* разработала модель обмена данным, основанную на определенном наборе актеров (пациенты, врачи, страховщики) и набором взаимодействия данных между этими субъектами. Они назвали этот обмен данными – *Health Data Transactions*. Этот подход добавляет дополнительную стандартизацию «*Open integration*», где все участники в системах здравоохранения договариваются о том, какую медицинскую проблему

нужно решить, а затем определяют, какие транзакции и данные элементов потребуются, чтобы решить данные проблемы со здоровьем. Таким образом, достигается функциональный уровень взаимодействия.

Использование стандарта *H.860* позволит на рынках здоровья развешивать системы данных о состоянии здоровья более быстрыми темпами, по более низкой цене, с доступом к мобильным и персональным устройствам здравоохранения с возможностью постепенного повышения функциональности.

Стандартизация между рынками здравоохранения создает потенциал для совместной практики и приложений, создавая следующие преимущества:

- для пациентов – возможность доступа к личным медицинским данным, собранным из различных источников через медицинский портал;
- для врачей – возможность обмена структурированными данными с другими врачами и данными о пациенте из различных источников (с согласия пациента, где это применимо);
- для аналитиков – возможность по анонимным данным пациентов со всей популяции быстро оценить бремя болезни и эффективность мероприятий;
- для аудиторов – возможность получить доступ к данным на уровне пациента, чтобы оценить эффективность медицинских работников;
- для страховщиков – возможность произвести оценки рисков на основе данных о здоровье пациентов [4].

ITU-T H.860 состоит из четырех компонентов:

1. Начальный набор *Health Data Transactions*, необходимый для определенной системы здравоохранения.
2. Первоначальная схема данных электронного здравоохранения, способная содействовать с *Health Data Transactions*, необходимая для определенной системы здравоохранения.
3. Основные элементы архитектуры для предоставления *Health Data Transactions*.
4. Модель управления на уровне системы здравоохранения, называемая процессом совместной разработки.

Health Data Exchange

Структура *Health Data Exchange* иллюстрирует следующие компоненты архитектуры (рис. 3):

- участников системы здравоохранения – пациенты, органы контроля, системы здравоохранения;
- типы транзакций – заявления, рекомендации, регистрация;
- передачу, которая базируется на *XML* и передается через *https*;

- аутентификацию и хранение - проверка подлинности (пароль, сертификат), шифрование данных, юридические аспекты;
- сбор статистики и идей;
- создание органа управления, который просматривает стандарты, дает рекомендации, управляет доступом, поддерживает технические стандарты.

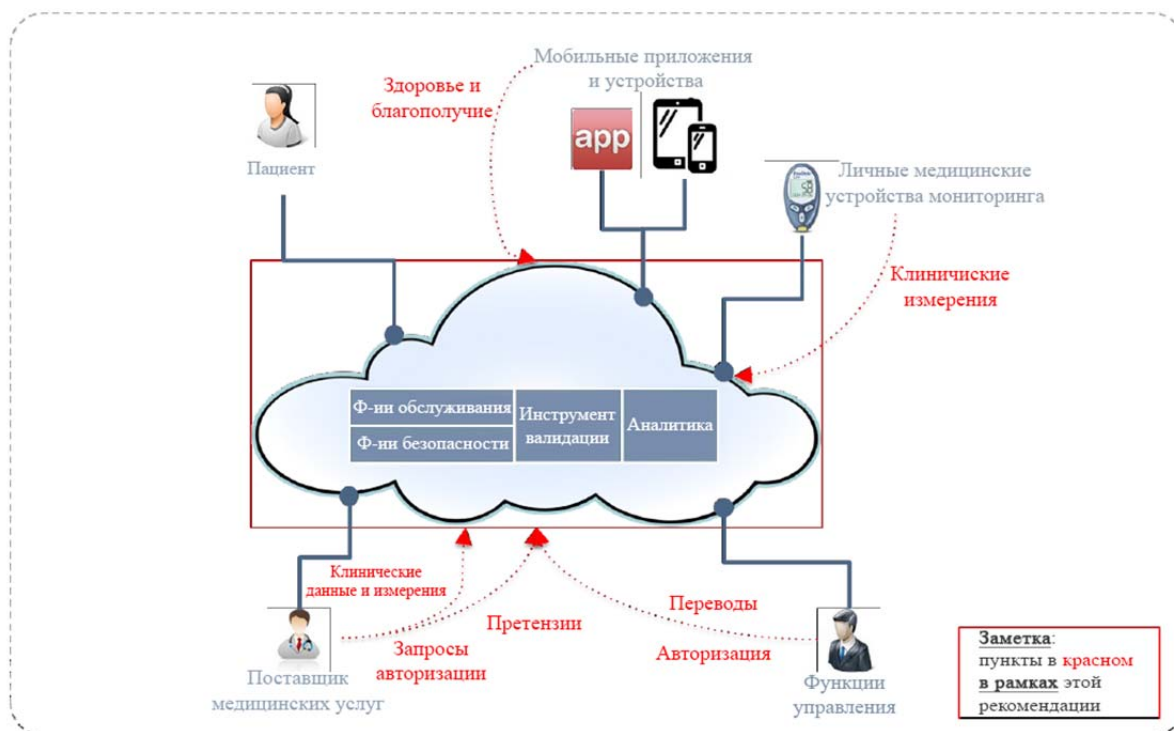


Рис. 3. Структура *Health Data Schema*

Common Health Data Schema

Common Health Data Schema является основой для обмена данными о здоровье. *Common Health Data Schema* формирует общий язык, который позволяет всем участникам системы здравоохранения обмениваться соответствующей информацией в области здравоохранения. Она описывает взаимодействия между органами системы здравоохранения: претензии, клинические исследования, поступления пациента и т. д.

Interaction Diagram

Диаграмма взаимодействия описывает различные взаимодействия, например:

UploadTransaction – используется для загрузки файлов транзакций, позволяющих обмениваться данными о здоровье.

DownloadTransactionFile – используется для загрузки файлов транзакций.

GetNewTransactions – используется для определения, является ли файл транзакции доступным для скачивания.

Заключение

Рассмотренные в работе стандарты уже сейчас позволяют создавать и связывать между собой персональные устройства здравоохранения от различных производителей оборудования, создать общий формат представления данных о здоровье. Благодаря таким системам становится возможным повысить качество предоставляемых медицинских услуг, собирать и использовать в научных исследованиях статистику, разрабатывать новые способы лечения и профилактики заболеваний.

Однако необходимо отметить, что для систем электронного здоровья предъявляются очень жёсткие требования к параметрам трафика. В таких системах задержки и потери должны быть минимальны, так как от этого напрямую зависит жизнь человека. Таким образом, для успешного создания и развития e-health необходимо использовать новый класс сетей – сети с малыми задержками [7].

Библиографический список

1. **Recommendation ITU-T Y.2065.** Service and capability requirements for e-health monitoring services. ITU-T, March 2014.
2. **Recommendation ITU-T H.810.** Interoperability design guidelines for personal health systems. ITU-T, December 2013.
3. **ITU-T Technology Watch Report.** E-health Standarts and Interoperabiliry. ITU-T, April 2012.
4. **Recommendation ITU-T H.860.** Multimedia e-health data exchange services: Data schema and supporting services. ITU-T, April 2014.
5. **Кучерявый А. Е.** Интернет Вещей / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
6. **Кучерявый А. Е.** Самоорганизующиеся сети и новые услуги / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2009. – № 1. – С. 19–23.
7. **Кучерявый А. Е.** Сети связи с малыми задержками / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Я. М. Аль-Наггар // Электросвязь. – 2013. – № 12. – С. 15–19.

References

1. **Recommendation ITU-T Y.2065.** Service and capability requirements for e-health monitoring services. ITU-T, March 2014.
2. **Recommendation ITU-T H.810.** Interoperability design guidelines for personal health systems. ITU-T, December 2013.
3. **ITU-T Technology Watch Report.** E-health Standarts and Interoperabiliry. ITU-T, April 2012.
4. **Recommendation ITU-T H.860.** Multimedia e-health data exchange services: Data schema and supporting services. ITU-T, April 2014.
5. **Kucheryavy A. E.** Internet of Things / A. E. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2013. – No. 1. – PP. 7–30.
6. **Kucheryavy A. E.** The self-organized networks and new services / A. E. Kucheryavy // Electrosvyaz. – 2009. – № 1. – PP. 19–23.

7. **Kucheryavy A. E.** Communication networks with small delays / A. E. Kucheryavy, A. I. Paramonov, M. Al-Naggar // *Electrosvyaz*. – 2013. – No. 12. – PP. 15–19.

Шолохов Артем Андреевич – студент факультета ИКСС Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», sholokhov.aa@gmail.com

Толочный Николай Владимирович – студент магистратуры Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», nikola-tolochny@mail.ru

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и передача данных» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», akouch@mail.ru

ЭКОНОМИКА В ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

УДК 330.34

В. В. Макаров

V. V. Makarov

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

В. И. Гусев

V. I. Gusev

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

С. А. Сеница

S. A. Sinitsa

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University
of Telecommunications

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ НА ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

CONCEPTUAL APPROACHES TO EVALUATION
OF INTELLECTUAL PROPERTY FOR INFORMATION RESOURCES

В данной статье рассмотрены концептуальные подходы к оценке интеллектуальной собственности на информационные ресурсы.

This article describes the conceptual approaches to the evaluation of intellectual property information resources.

интеллектуальная собственность, информационные ресурсы, информатизация общества, Интернет, субъекты права, информационный континуум, телекоммуникационные сети.

intellectual property, information resources, information society, the Internet, the subjects of law, information continuum, telecommunication networks.

Экономические интересы субъектов при формировании и использовании информационных ресурсов и удовлетворении информационных потребностей защищены существующими международными и внутренними правовыми актами, законодательно обеспечивающими защиту интеллекту-

альной собственности правообладателей и условия использования информационных ресурсов потребителями [1].

Государственная политика РФ при использовании телекоммуникационного пространства направлена на укрепление позиций страны в мировой и национальной рыночной экономике, на инновационные пути развития страны в общемировом экономическом пространстве и способствует развитию приоритетных технологий при использовании коммуникативно-информационных ресурсов в различных сферах жизни общества.

В соответствии с Законом РФ «Об информации, информатизации и защите информации» субъектами правоотношений являются:

– «пользователь (потребитель) информации, обращающийся к информационной системе или посреднику за получением необходимой ему информации и пользующийся ею» (ст. 2);

– «собственник информационных ресурсов, наполняющий информацией базы данных, входящих в сеть Интернет информационных систем, технологий и средств их обеспечения – субъект, в полном объёме реализующий полномочия владения, пользования, распоряжения указанными объектами».

Но, необходимо отметить, что субъектами правоотношений являются также юридические и физические лица, на определённых условиях предоставляющие информацию из этих ресурсов потребителям и/или предоставляющие возможность потребителям подключиться к Интернет и пользоваться его возможностями самостоятельно, обеспечивающие функционирование информационно-телекоммуникационных (инфокоммуникационных), сетей распространяющих информацию в сети Интернет. Таким образом, весь информационный рынок можно разделить на 4 субъектные группы, представляющие собой участников экономических взаимоотношений:

1. Правообладатели (авторы, производители, изготовители, наследники и т. д.) информации.
2. Потребители информации.
3. Сетевые посредники (организаторы, программисты, провайдеры и иные обеспечители информационного обмена).
4. Авторы и разработчики технических и технологических средств.

В этом случае совокупность правоотношений в сети Интернет дискурсивно совпадает с международным законодательством и законодательством РФ и создаёт правовое поле для обеспечения защиты авторских, смежных и патентных прав, а схема правовых взаимозависимостей представлена на рис. 1.

Представленные на рисунке терминология, классификация и ранжирование функциональных элементов обеспечения функционирования и обслуживания всей системы, составляющей в целом глобальную коммуникативно-информационную сеть (включая Интернет), является предметом научной дискуссии, результатом которой возможно концептуальное реше-

ние научной проблемы в определении статуса **Информологии** в научной классификации как социальной науки.

В этом формате **Информатика** определяется как прикладная техническая (формальная) наука, **Инфонетика** – как способы организационного и технологического обеспечения, **Инфосемантика** – как комбинаторная комплексная система источников человеческого познания в информационном континууме, объединяющая различные виды объектов правоотношений и иных источников информации.



Рисунок. Субъекты права в сети Интернет

При этом будем полагать, что *информационный континуум* (от лат. *continuuus* – непрерывное, сплошное – непрерывная совокупность), представляет собой всю совокупность источников информации, возникающих при физическом (электромагнитном, волновом и акустическом) или химическом взаимодействии с субъектами (живым организмом), а также техническое обеспечение – компьютеры, накопители, серверы, технологические устройства, датчики и т. д. для обеспечения этого взаимодействия – алгоритмы и программное обеспечение, используемые для поиска, получения, обработки, сжатия, хранения, передачи, использования, уничтожения, распространения и перераспределения информации.

Интернет является Частью глобальной концепции развития инфокоммуникационных сетей с возможностью машинной обработки данных, доступных всем одновременно в виде семантической паутины (англ. *Semantic Web*). Основной акцент концепции семантической паутины делается на работе с метаданными (данные о данных), описывающими характеристики объектов – носителей источников информации и способствующими идентификации, обнаружению, оценке и управлению этими объектами, вместо используемого в настоящее время текстового анализа документов.

Надо учесть, что доступность информации в сети Интернет как объект правоотношений понимается производителями, распространителями и потребителями информации не совсем адекватно с точки зрения правовой защищённости объектов информационного континуума.

Естественнонаучное математическое мышление констатирует связь всего происходящего (духовного и материального) с информационным континуумом, который существует не только с философской точки зрения, но и может быть постижим как объект исследования формальной (абстрактной) науки.

Информация как самостоятельная нематериальная сущность, существует по своим законам, никак не зависящим от законов материального мира, хотя её носителем является тот или иной материальный носитель или функциональное декодирующее устройство.

«*World Wide Web (WWW)* во многом создана из материального оборудования, но киберпространство как виртуальная область нематериально. Индивидуальный web-сайт также нематериален, но каждую его *HTML*-страницу можно распечатать и таким образом он обретет материальную форму» [2].

Интернет с помощью инфокоммуникационных сетей предоставляет неограниченные возможности для увеличения и развития общедоступного банка информационных ресурсов, и этот ресурс постоянно увеличивается с усилением правовой защиты прав собственности на информационные ресурсы в Интернет-пространстве.

В связи с происходящей информатизацией общества возникла потребность в изменении трактовки понятия обмена информацией. Оно было расширено и зафиксировало взаимодействие не только между человеком и человеком, но также между человеком и автоматом, автоматом и автоматом, обмен сигналами в животном и растительном мире, передачу кодовой информации от клетки к клетке.

Закон РФ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ определяет информацию как «сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления» (ст. 2 Закона), а информационные ресурсы (ст. 3, п. 2.) как отдельные документы и отдельные массивы документов, документы и массивы документов в информационных системах (библиотеках, архивах, фондах, бан-

ках данных, других информационных системах). В этом же законе информационные сети определены расширенно, как «информационно-телекоммуникационная сеть – технологическая система, предназначенная для передачи по линиям связи информации, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники», а информационные технологии определены как «процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов».

Не отвергая законодательно закреплённое определение информации, необходимо расширить толкование информационного континуума как обезличенного массива информации в целом, которое может состоять из самых различных информационных объектов. Ещё в конце прошлого века доктор юридических наук, профессор В. А. Дозорцев справедливо заметил, что «информационные отношения представляют собой новый, притом самостоятельный вид исключительных прав» [3].

Дескриптивный подход к информации как к сведениям (визуальным, звуковым, цифровым, текстовым и т. д.) не позволяет адекватно интерпретировать информационные процессы в таких объектах как системы искусственного интеллекта, программное обеспечение, алгоритмические методы, информационные технологии, функционирование компьютерных сетей, кибернетические устройства и в некоторых других системах информации. В вышеперечисленных системах информационного обмена процессы получения, преобразования и передачи информации могут проходить без этапа осмысления их человеком и, в связи с этим, при антропоцентрическом подходе к эволюции, например, невозможно найти адекватного научного понимания генетической информации живой природы.

Информация – это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему наших чувств. Процесс получения и использования информации является процессом нашего приспособления к случайностям внешней среды и нашей жизнедеятельности в этой среде. Действенно жить – это значит жить, располагая правильной информацией. Именно поэтому, по мнению Норберта Винера, информация и управление точно так же связаны с самой сущностью человеческого существования как и с жизнью человека в обществе [4].

Информационность общества понимается как «атрибут социальной организации, в которой благодаря новым технологическим условиям, возникающим в данный исторический период, генерирование, обработка и передача информации стали фундаментальными источниками производительности и власти» [5]. Информация в современной экономике приобрела статус товара и сравнялась по значимости для общества с другими материальными ресурсами.

Роль информации в экономике возрастает, и как экономическое благо информация материализуется в экономике как товар или услуга (в виде

информационных продуктов), а также как ресурс, используемый в процессе хозяйственной деятельности. К информационным товарам и услугам относятся программное обеспечение, базы данных, образовательные услуги, инженерно-технические услуги, консультирование, результаты НИОКР, разработанные технологии и ноу-хау, прочие результаты интеллектуальной деятельности.

Информационные продукты активно используются на информационном рынке и имеют большое количество особенностей, как на стадиях разработки и производства, так и на этапе обращения. Самыми ценными информационными ресурсами являются преимущественно продукты научных исследований, технические и технологические услуги – патенты, лицензии, различного рода прикладная текущая научно-техническая информация (ноу-хау, авторские свидетельства и т. д.), – содержащие описания новых технических достижений и технологических решений.

Учитывая прикладное применение различной информации, функционирующей в телекоммуникационных сетях, можно обоснованно утверждать, что она становится нематериальным ресурсным активом, используемым в самой разнообразной деятельности различных государственных, общественных, коммерческих и иных структур. Таким образом, появляется необходимость оценки этого ресурса, т. е. определение его потенциала и фактической стоимости в общем объёме активов, используемых в экономической и (или) коммерческой деятельности.

Информация как товар может реализовываться в экономических взаимоотношениях в двух основных формах: а) продажа права собственности на защищённую авторским, смежным или патентным правом информацию; б) лицензионная продажа права пользования на защищённую законодательно информацию.

По расчётам профессоров Стокгольмской школы экономики Кьелла А. Нордстрема и Йонаса Риддерстрале приблизительно 70 % стоимости нового автомобиля приходится на его нематериальную интеллектуальную часть [6], что коррелируется с мнением академика РАН С. Ю. Глазьева, который утверждает, что до 70 % цены на современные товары составляет интеллектуальная рента, а объём мировой интеллектуальной ренты в целом составляет \$ 2,2–3,1 трлн. В том числе объём интеллектуальной ренты США составляет \$ 365,9–512,3 млрд, Японии – \$ 297,2–416,1 млрд, Германии – \$ 152,4–212,8 млрд, Франции – \$ 63,1–88,27 млрд, Великобритании – \$ 55,5–72,2 млрд, Италии – \$ 42,1–58,9 млрд, Кореи – \$ 35,7–49,9 млрд, России – \$ 25,3–35,4 млрд [7], что для России составляет ~ 0,9 %, а для США ~ 16,5 % от общего объёма мировой интеллектуальной ренты.

Количество производителей интеллектуального продукта в информационном обществе (учёных, инженеров, авторов, разработчиков компьютерных и сетевых программ и т. д.) постоянно растёт, что приводит к увеличению доли результатов деятельности отдельной интеллектуальной

личности в конечном рыночном продукте как фактора материального производства [8].

Соответственно, при определении стоимости востребованного объёма информации часто возникают противоречия между собственниками интеллектуального продукта, производителями и потребителями информации, использующими данную информацию для материализации конечного продукта (в том числе, например, определение издержек на содержание каналов связи, стоимости создания, переработки, транспортировки информации и т. д.), хотя все субъекты правоотношений понимают, что любой товар, реализуемый на рынке, включает в себя информационную основу, которая имеет бóльшую или мёньшую экономическую оценку в общей стоимости товара.

Стоимость затрат на производство всех видов продукции и услуг таким образом, должна включать в себя затраты на используемую информацию (авторские отчисления, лицензирование технологий, программного обеспечения и т. п.) и затраты на материализацию информации (услуги посредников, используемые материальные и людские ресурсы, энергоресурсы), которые, как правило, включаются в себестоимость конечной продукции.

Формы использования информации в экономике разнообразны — на производстве она материализуется в различных продуктах, в неовеществлённой форме становится интеллектуальным капиталом, в том числе в виде информационных продуктов и услуг, уникальных знаний и умений людей [1, 8].

Овеществлённые информация и знания выступают в качестве объекта собственности, в то время как знания, накопленные предыдущими поколениями, относятся к общедоступным благам, общественная значимость которых является залогом дальнейшего научно-технического развития мирового сообщества.

Информация как экономический ресурс в общественном потреблении и на производстве используется различными способами, результатом чего является многообразие форм её использования и, соответственно, расчётов стоимости в конечном продукте или услуге. Среди основных видов использования информации в экономике следует выделить следующие:

- а) капитализация информации в товарах, услугах, в новых технологиях производства, управления и т. д.;
- б) рыночные потребности и ожидания экономических субъектов путём создания информационного уровня продукта, имиджа компании;
- в) интеллектуальная рента в сфере непосредственного производства и информационного обмена в виде того вида информации, которая выступает как фактор производства по цене намного ниже затрат на производство данной информации;

г) фактор процессного подхода в сфере маркетинга и управления для ускорения сроков реализации производимой продукции и (или) услуг;

д) способ унификации (стандартизации) информационного обслуживания и документооборота в управленческой деятельности.

Использование какого-либо изобретения, технологии или авторской разработки при производстве продукции, рыночные отношения с использованием данных коммуникативно-информационных ресурсов – это прямая коммерциализация информации в экономических отношениях.

При создании информационных продуктов основным средством производства нематериальных ресурсов выступает человеческий интеллект, представляющий собой уникальную способность человека, переосмысливая существующие знания, создавать новые знания, выстраивать логические умозаключения в виде новых идей, открытий, изобретений, технологий и т. п., что позволяет производителю таких интеллектуальных продуктов становиться участником экономических отношений на-равных с обладателями материальных ресурсов. Поэтому такой продукт целесообразнее назвать не просто информационным, а коммуникативно-информационным. Таким образом, характерной особенностью процесса коммуникативно-информационного производства является его субъективность и отсутствие прямой зависимости между материальными затратами и оценкой конечной стоимости результатов производства новой информации и нематериальных ресурсов.

Уникальность подобного вида ресурсов заключается в том, что в результате интеллектуальной деятельности создается некоторый продукт, изначально обладающий неизвестной потенциальной ценностью, но который способен приносить неограниченный доход его создателю в процессе применения и в общественном потреблении (при использовании, тиражировании, продаже) или овеществлении в товарах, средствах производства, технологиях.

Следует обратить внимание, что при использовании существующего информационного пространства прослеживается достаточно чёткое подразделение использования информационных ресурсов на коммерческие и некоммерческие цели:

1. Коммерческие информационные ресурсы используются участниками рыночной деятельности (производители продукта, потребители, посредники, авторы и т. д.) и предназначены для получения дохода в том или ином виде за счёт коммерциализации тех или иных результатов интеллектуальной деятельности с возможностью выхода на рынок потребителей предлагаемого ресурса. В этом случае все коммуникативные связи ориентированы на экономически активных участников, заинтересованных в развитии определённого направления коммерческой деятельности с получением той или иной выгоды за счёт заинтересованной целевой аудитории.

2. Некоммерческие информационные ресурсы содержат информацию для посетителей об общественных и деловых событиях, формируют благоприятную общественную и деловую среду, способствующую социальной активности населения, размещают различную бизнес-информацию, стимулирующую коммуникативное взаимодействие с органами власти и с представителями бизнеса, что тем или иным образом ориентирует посетителей к участию в коммерческих коммуникационных сетях.

Применение информационных ресурсов в производстве первоначально отражается лишь на себестоимости продукции и других финансовых показателях отдельных предприятий, применяющих данную информацию. Но по мере распространения нововведений, овеществляющих новую научно-техническую информацию, её использование снижает общественную стоимость производимых продуктов, а это означает экономию общественного (а не только частного) труда и характеризует переход информации из состояния информационного ресурса в состояние общественно значимого нововведения (нововведения-продукты или нововведения-процессы) [9]. Потребительская стоимость отражает эффект, полученный от использования этой информации.

Имеет значение то, произведена данная информация с целью реализации в общественном производстве, или данная информация не является предметом реализации на производительном рынке. Особое значение имеет информация, имеющая непреходящее культурное или историческое значение в виде общедоступных фактов и документов или произведений искусства (например, произведения фантастов, опередивших в своём воображении время, в котором они жили), или необъяснимая наукой информация о неидентифицируемых наукой явлениях природы, космоса и т. п.

Следует подчеркнуть некоторые существенные отличия информационных ресурсов от традиционных нематериальных ресурсов:

а) для производства такого вида ресурсов часто не требуются исходные материалы в виде информации и ранее существовавших знаний;

б) как экономический объект учёта и оценки такой ресурс отличается от факторов производственной деятельности – природных ресурсов, затрат труда, финансового капитала, нематериальных активов;

в) как общественное благо такие ресурсы в процессе интенсивного потребления возрастают в цене, снижая в то же время стоимость произведённых продуктов;

г) отсутствует прямая зависимость между ценностью ранее существовавших ресурсов и рыночным потенциалом нового созданного ресурса;

д) такие ресурсы без потери актуальности отличает высокая мобильность в мировом масштабе при применении в разных сферах общественной жизни.

В заключение можно особо отметить, что существование глобального информационного пространства послужило базовой основой к появлению и распространению новых форм организации бизнеса, изменило традиционные бизнес-процессы, привело к развитию прогрессивных технологий сбора, обработки, накопления и распространения информации, стимулировало развитие научных изысканий по научному и законодательному обеспечению новых направлений мирового экономического развития, предопределило решение общих и частных вопросов обеспечения правовой защиты интеллектуальной собственности в общемировом масштабе.

Библиографический список

1. **Макаров В. В.** Интеллектуальный капитал. Материализация интеллектуальных ресурсов в глобальной экономике : монография / В. В. Макаров, М. В. Семёнова, А. С. Ястребов; под ред. В. В. Макарова. – СПб. : Политехника, 2012. – 688 с.
2. **О'Хара Майкл Дж.** Интеллектуальная собственность / Майкл Дж. О'Хара, Дэниел А. Пик // В сб. «Информационные технологии в бизнесе» / Под ред. М. Желены. – СПб. : Питер, 2002. – 1120 с.
3. **Дозорцев В. А.** Информация как объект исключительного права / В. А. Дозорцев // Дело и право. – 1996. – № 4. – С. 27–35.
4. **Винер Норберт.** Человек управляющий / Норберт Винер. – СПб. : Питер, 2001. – 288 с.
5. **Кастельс М.** Информационная эпоха: экономика, общество, культура : пер. с англ / Кастельс М.; под науч. ред. О. И. Шкаратана. – М. : CEU, 2000. – 606 с.
6. **Нордстрем Кьелл А.** Бизнес в стиле фанк. Капитал пляшет под дудку таланта / Кьелл А. Нордстрем, Йонас Риддерстрале. – СПб. : Стокгольмская школа экономики, 2005. – 280 с.
7. **Глазьев С. Ю.** Экономическая безопасность в условиях кризиса мировой финансовой системы / С. Ю. Глазьев // Доклады научно-практической конференции «Российские элиты на рубеже двух веков» (социальные технологии нового элитаризма). – СПб., 2000. – С. 19.
8. **Макаров В. В.** Методологическая парадигма исследования интеллектуального капитала в условиях информационного общества / В. В. Макаров, В. И. Гусев, А. Г. Воронин // Российский гуманитарный журнал. – 2012. – Т. 1. – № 1. – С. 78–83.
9. **Нижегородцев Р. М.** Информационная экономика. Книга 2. Управление беспорядком / Р. М. Нижегородцев. – Москва – Кострома: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. Центр общественных наук; Костромской государственный университет им. Н. А. Некрасова, 2002. – 173 с.

References

1. **Makarov V. V.** Intellektual'nyj kapital. Materializacija intellektual'nyh resursov v global'noj jekonomike : monografija / V. V. Makarov, M. V. Semjonova, A. S. Jastrebov; pod red. V. V. Makarova. – SPb. : Politehnika, 2012. – 688 s.
2. **O'Hara Majkl Dzh.** Intellektual'naja sobstvennost' / Majkl Dzh. O'Hara, Djeniel A. Pik // V sb. «Informacionnye tehnologii v biznese» / Pod red. M. Zheleny. – SPb. : Piter, 2002. – 1120 s.
3. **Dozorcev V. A.** Informacija kak ob'ekt iskljuchitel'nogo prava / V. A. Dozorcev // Delo i pravo. – 1996. – № 4. – S. 27–35.
4. **Viner Norbert.** Chelovek upravljajushhij / Norbert Viner. – SPb. : Piter, 2001. – 288 s.

5. **Kastel's M.** Informacionnaja jepoha: jekonomika, obshhestvo, kul'tura : per. S angl / Kastel's M.; pod nauch. red. O. I. Shkaratana. – M. : CEU, 2000. – 606 s.
6. **Nordstrem K'ell A.** Biznes v stile fank. Kapital pljashet pod dudku talanta / K'ell A. Nordstrem, Jonas Ridderstrale. – SPb. : Stokgol'mskaja shkola jekonomiki, 2005. – 280 s.
7. **Glaz'ev S. Ju.** Jekonomicheskaja bezopasnost' v uslovijah krizisa mirovoj finansovoj sistemy / S. Ju. Glaz'ev // Doklady nauchno-prakticheskoy konferencii «Rossijskie jelity na rubezhe dvuh vekov» (social'nye tehnologii novogo jelitarizma). – SPb., 2000. – S. 19.
8. **Makarov V. V.** Metodologicheskaja paradigma issledovanija intellektual'nogo kapitala v uslovijah informacionnogo obshhestva / V. V. Makarov, V. I. Gusev, A. G. Voronin // Rossijskij gumanitarnyj zhurnal. – 2012. – T. 1. – № 1. – S. 78–83.
9. **Nizhegorodcev R. M.** Informacionnaja jekonomika. Kniga 2. Upravlenie besporjadkom / R. M. Nizhegorodcev. – Moskva – Kostroma: Moskovskij gosudarstvennyj universitet im. M. V. Lomonosova. Centr obshhestvennyh nauk; Kostromskoj gosudarstvennyj universitet im. N. A. Nekrasova, 2002. – 173 s.

Макаров Владимир Васильевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и управление в связи» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», ekon_up@sut.ru

Гусев Василий Игоревич – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление в связи» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», ekon_up@sut.ru

Синица Сергей Александрович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление в связи» Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», ekon_up@sut.ru