

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ АНТИКОЛЛИЗИИ ДЛЯ RFID СИСТЕМ

Н. А. Верзун¹, Д. М. Воробьева^{2*}, А. М. Колбанёв³, М. О. Колбанёв¹

¹ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация

² СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

³ АО «ЭР-Телеком Холдинг», Санкт-Петербург, 194352, Российская Федерация

* Адрес для переписки: vorobyeva.dm@spbgut.ru

Аннотация

Предмет исследования. В статье анализируются возможности случайных, детерминированных, пространственных и коллизионных алгоритмов антиколлизии и развивается коллизионный подход применительно к меткам на ПАВ. Строится классификация антиколлизионных алгоритмов, пригодных для использования в метках на чипах и метках, которые используют технологии поверхностных акустических волн. Рассматриваются случайные, детерминированные и пространственные алгоритмы, пригодные только для RFID меток с чипом. Определяется область применения корреляционных алгоритмом, основанных на процедурах вычисления взаимно и авто корреляционных функций излучаемых сигналов. **Метод.** В основе исследования лежат методы множественного доступа в инфокоммуникационных сетях и теория сигналов. **Основной результат.** Представлен подход получения групп кодов с заданными корреляционными свойствами. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют создавать RFID системы с необходимым для практического использования количеством меток.

Ключевые слова

Множественный доступ, идентификация объектов, RFID система, антиколлизионные алгоритмы.

Информация о статье

УДК 004.087

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 05.02.18, принята к печати 28.02.18.

Ссылка для цитирования: Верзун Н. А., Воробьева Д. М., Колбанёв А. М., Колбанёв М. О. Корреляционные алгоритмы антиколлизии для RFID систем // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 1. С. 82–91.

CORRELATION ALGORITHMS OF ANTI-COLLISION FOR RFID SYSTEMS

N. Verzun¹, D. Vorobeva^{2*}, A. Kolbanev³, M. Kolbanev¹

¹ SPbSETU "LETI", St. Petersburg, 197376, Russian Federation

² SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

³ ER-Telecom Holding JSC, St. Petersburg, 194352, Russian Federation

* Corresponding author: vorobyeva.dm@spbgut.ru

Abstract—Research subject. The possibility of random, deterministic, spatial and collision algorithms of anticollision is analyzed in the article and the collision approach is applied to the SAW tags. A classification is made of anticollision algorithms suitable for use in tags on chips and labels that use surface acoustic wave technologies. We consider random, deterministic and spatial algorithms suitable only for RFID tags with a chip. The area of application of the correlation algorithms based on the procedures for calculating the mutual and auto-correlation functions of the emitted signals is determined. **Method.** The research is based on the methods of multiple access in infocommunication networks and the theory of signals. **Core results.** The approach of obtaining groups of codes with given correlation properties is presented. **Practical relevance.** The obtained results allow creating RFID systems with the number of tags necessary for practical use.

Keywords—Multiple access, object identification, RFID system, anticollision algorithms.

Article info

Article in Russian.

Received 05.02.18, accepted 28.02.18.

For citation: Verzun N., Vorobeva D., Kolbanev A., Kolbanev M.: Correlation algorithms of anti-collision for RFID systems // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 1. pp. 82–91 (in Russian).

Как правило, при создании RFID систем несколько меток оказываются в зоне действия одного считывателя и выработанный им импульс опроса вызывает одновременный отклик целой группы меток [1]. Если не предпринять специальных мер, такая ситуация приводит к коллизии (конфликту) меток [2].

Коллизия – это событие, которое заключается в таком наложении друг на друга ответных сигналов нескольких меток, которое приводит к искажению данных, принимаемых считывателем [2].

Коллизии лишают RFID систему ее самого важного свойства – способности дистанционного считывания уникальных идентификаторов меток.

Алгоритмы, которые позволяют считывать данные с одной определенной метки, находящейся в непосредственном соседстве с другими метками, называются антиколлизионными алгоритмами. Они во многом схожи с алгоритмами множественного доступа, которые широко используются в сетях связи [3, 4].

Построение алгоритмов антиколлизий в RFID системе существенно зависит от:

- функциональных возможностей меток. Выделение метки с чипом может быть организовано путем ее диалога со считывателем по определенному протоколу, в то время, как метки без чипа – только на основе излучаемых ею уникальных данных;
- предварительных знаний о свойствах меток, расположенных в зоне действия считывателя, таких как серийные номера, расстояние до считывателя, место расположения и т. п.

Классификация алгоритмов приведена на рис. 1.

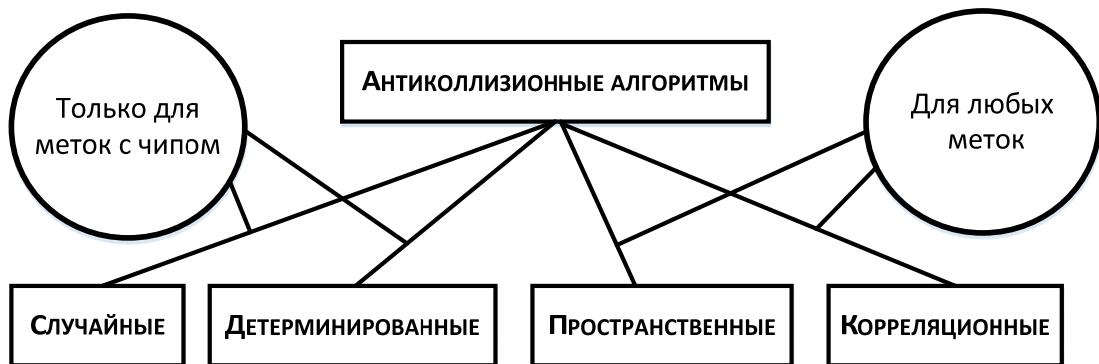


Рис. 1. Классификация антиколлизионных алгоритмов

Многие случайные алгоритмы, разработанные для меток с чипом, так или иначе являются модификацией алгоритма АЛОХА, который предполагает, что метки способны:

- зафиксировать факт коллизии и
- повторно выдать данные через некоторое случайное время задержки.

Поскольку задержки вырабатываются метками независимо, то всегда наступает момент времени, при котором излучает только одна метка.

Стандарт ISO 15693¹ вводит антиколлизионный алгоритм синхронная АЛОХА, в соответствии с которым передача данных осуществляется метками в начале временных интервалов, задаваемых считывателем, а в случае коллизии ими вычисляется случайное число интервалов задержки повторной передачи.

Дальнейшее развитие этого алгоритма использует способность метки выполнить команду считывателя, направленную именно к ней. В этом случае считыватель может:

- принудительно задержать передачу данных от некоторых меток,
- запретить вещание уже идентифицированным меткам.

Такие команды сокращают общее время идентификации всех совокупности меток, поскольку количество активных меток в зоне опроса все время уменьшается.

Известны и другие модификации алгоритма АЛОХА, уменьшающие вероятность коллизий и сокращающие время опроса.

¹ Радиочастотная идентификация. Технологии, стандарты, компоненты. URL: http://www.vitalic.com/files/Catalog_RFID_light.pdf

В стандарте Gen2^{2,3} используется случайный алгоритм выбора метки с чипом, в котором метки из зоны опроса выделяются без использования их идентификаторов. В основе такого алгоритма лежит следующая процедура.

В начале считыватель тем или иным образом выбирает некоторое число Q . Затем:

Шаг 1. Считыватель просит все метки из зоны опроса сгенерировать два случайных числа в диапазонах, которые задает Q :

- первое число q_1 в диапазоне от 0 до $n = 2^Q - 1$, например, если $Q = 5$, то $q_1 = \{0, 1, \dots, 31\}$;
- второе число q_2 в диапазоне от 0 до $2^{n+1} - 1$, например, если $Q = 5$, $q_2 = \{0, 1, \dots, 4294967295\}$.

Шаг 2. Считыватель просит ответить ему только те метки, которые выбрали первое число $q_1 = 0$. Возможны 3 случая:

- если ответило несколько меток, то считыватель увеличивает значение Q , тем самым уменьшая вероятность генерации одинаковых чисел разными метками, и возвращается к шагу 1;
- если нет ответа ни от одной из меток, считыватель уменьшает значение Q , тем самым увеличивая вероятность генерации числа 0 одной из меток, и возвращается к шагу 1;
- если отвечает одна метка, то переходит к шагу 3.

Шаг 3. Считыватель запрашивает у ответившей (выбранной) метки второе случайное число q_2 и далее использует его как временный идентификатор метки.

Шаг 4. Считыватель просит оставшиеся метки вычесть 1 из первого случайного числа q_1 и переходит к шагу 2.

И так до тех пор, пока не будут определены все метки.

Алгоритм позволяет по сравнению с алгоритмом АЛОХА повысить:

- скорость поиска меток (до 1 500 меток/сек) и записи в них данных (до 16 меток/сек);
- кибербезопасность RFID системы, т. к. не требуется передавать через эфир уникальные идентификаторы меток.

Работа детерминированных алгоритмов не связана с выработкой каких-либо случайных величин. Определить номер произвольной метки (x_1, x_2, \dots, x_n) , $x_i = (0,1)$, находящейся в зоне опроса, позволяет бинарный алгоритм или его модификации:

Шаг 1. Сначала предположим, что среди меток, расположенных в зоне опроса, есть метка номер которой начинается с цифры «0». Если это предположение подтвердилось, то продолжим работать с соответствующей половиной номеров, если нет – то с другой половиной.

Шаг 2. Затем предположим, что вторая цифра – «0». И так далее.

Реализация такого алгоритма в RFID системе возможна при соблюдении следующих условий:

- идентификационные коды каждой метки представляют собой числа, которые заранее не известны считывателю;

² Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz Version 1.0.9. URL: http://www.keytex.ru/files/Class_1_Generation_2_UHF_Air_Interface_Protocol_Standard_Version_1.0.9.pdf

³ TI UHF Gen2 Protocol Reference Guide. URL: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/Gen2_Protocol_Standard.pdf

- метка содержит чип и взаимодействует со считывателем в соответствии с некоторым стандартизованным протоколом;
- программное обеспечение метки по команде считывателя определяет совпадение или не совпадение некоторой цифры идентификатора с предыдущей цифрой и сообщает результат считывателю;
- для кодирования сигналов, излучаемых метками, используется линейный код, который позволяет считывателю принимать одновременно выработанные сигналы нескольких меток, если это одинаковые сигналы.

Недостатки такого подхода сводятся к следующему:

- алгоритм не работает, если в зоне опроса появляются новые метки.
- время поиска зависит здесь от сочетания кодов конкретных меток.

Следующий детерминированный побитовый алгоритм поиска двоичного идентификатора $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, $x_i = (0,1)$ произвольной метки, находящийся в зоне опроса считывателя, используется в Gen1:

Шаг 1. Считыватель устанавливает счетчики разрядов во всех метках в состояние 1. Пусть в начальном «нулевом» разряде хранится $x_0 = 0$.

Для всех разрядов идентификатора в порядке возрастания $i = 1, 2, \dots, n-1$ выполнить:

Шаг i . Определение цифры x_i . В соответствии с протоколом в ответ на сообщение считывателя: «Есть метки с $x_i = x_{i-1}$?» отвечают только метки, у которых это условие выполняется.

Если ответ получен, тогда:

- считыватель сохраняет найденную цифру x_i ;
- метки, у которых $x_i = x_{i-1}$, устанавливают счетчик разрядов в положение $i + 1$;
- метки, у которых $x_i \neq x_{i-1}$, не меняют состояние счетчика и блокируют вещание.

Если ответ не получен, тогда:

- считыватель сохраняет найденную цифру $x_i = 1 - x_{i-1}$;
- метки, у которых $x_i \neq x_{i-1}$, устанавливают счетчик разрядов в положение $i + 1$;
- метки, у которых $x_i = x_{i-1}$, не меняют состояние счетчика и блокируют вещание.

Шаг n . Определение цифры x_n . На сообщение считывателя: «Есть метки с $x_n = x_{n-1}$?» отвечают только те метки, у которых это условие выполняется.

Если ответ получен, тогда $x_n = x_{n-1}$, если не получен, тогда $x_n = 1 - x_{n-1}$.

Считыватель нашел значение кода (x_1, x_2, \dots, x_n) одной из меток и блокирует дальнейшее взаимодействие с ней.

Затем аналогично определяются номера остальных меток из зоны опроса.

Главная идея пространственных алгоритмов антисептизии заключается в выборе такого взаимного положения считывателя и группы меток в пространстве, которое позволит направить импульс опроса только к одной определенной метке и не инициировать считывание данных с других меток этой группы.

Дополнительными управляемыми параметрами при этом являются мощность и направленность импульса считывания, их настройка на локализацию определенной метки.

Достигнуть нужного результата можно в тех случаях, когда есть возможность измерять расстояния до каждой из меток, находящихся в зоне опроса.

Это дает возможность организовать последовательное чтение разных меток, однако задача усложняется по мере увеличения числа меток и уменьшения расстояния между соседними метками.

На практике пространственные алгоритмы работают если:

- считыватель имеет низкую мощность и считывает данные, находясь на малом расстоянии от метки;
- группа меток является статической системой, в которой точно известно положение каждой метки, так что можно заранее определить зону опроса при каждом положении считывателя.

В большинстве случаев достигнуть высоких антиколлизионных свойств пространственных алгоритмов удается при их сочетании с другими алгоритмами антиколлизии.

Одной из перспективных технологий построения RFID систем является создание меток на поверхностно-акустических волнах (ПАВ) [5]. В основе лежат физические процессы прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта:

- прямой пьезоэлектрический эффект – это возникновение поляризации диэлектрика под механическими воздействиями. Такой диэлектрик называется пьезоэлектриком;
- обратный пьезоэлектрический эффект – это возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

По сути, пьезоэлектрик позволяет преобразовывать механическую энергию в электрическую и электрическую в механическую.

Поверхностные акустические волны (ПАВ) – это упругие волны, распространяющиеся вдоль поверхности твердого тела. В пьезоэлектрике их можно инициировать электрическим импульсом.

На рис. 2 поясняется принцип действия метки с электродами. Приложение излучателем импульса тока к пьезоэлектрической подложке преобразует электрическую энергию в механическую и генерирует ПАВ. Двигаясь по подложке механическая волна преобразуется в электрический сигнал на каждом из 5-ти электродов и в шине приемника возникает импульсный сигнал. Параметры сигнала на каждом электроде зависят от способа их подключения. Здесь в эфир будет выдан сигнал 00101.

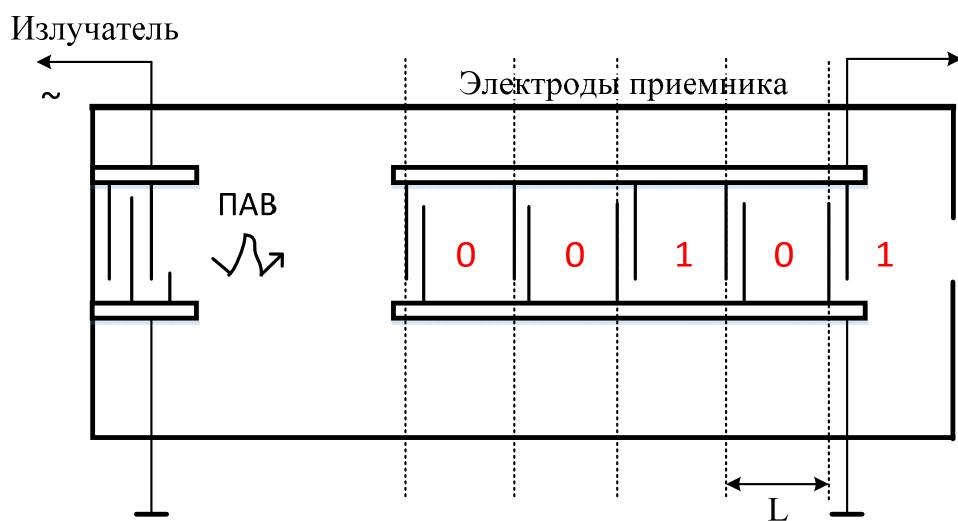


Рис. 2. Метка на ПАВ с электродами

RFID метка на ПАВ с отражающими элементами (рис. 3) содержит:

- дипольную antennу, подключенную к встречно-штыревому преобразователю (ВШП), которая принимает сигнал опроса от считывателя и излучает ответный сигнал метки;
- встречно-штыревой преобразователь (ВШП) – это 2 электрода, нанесенные на подложку методом фотолитографии. Он располагается вначале подложки и сначала преобразует электрические сигналы, поступающие от антенны, в ПАВ, а, затем, ПАВ, отраженную рефлекторами, – в электрические, передаваемые antennе. Длина электродов W в 100 и более раз больше его ширины.
- рефлекторы, также создаваемые с помощью фотолитографии, расположены по длине подложки и моделируют акустическую волну, отражая некоторую часть ПАВ обратно по направлению к ВШП. Оставшаяся часть поверхностной волны продолжает двигаться к концу подложки и там гасится.

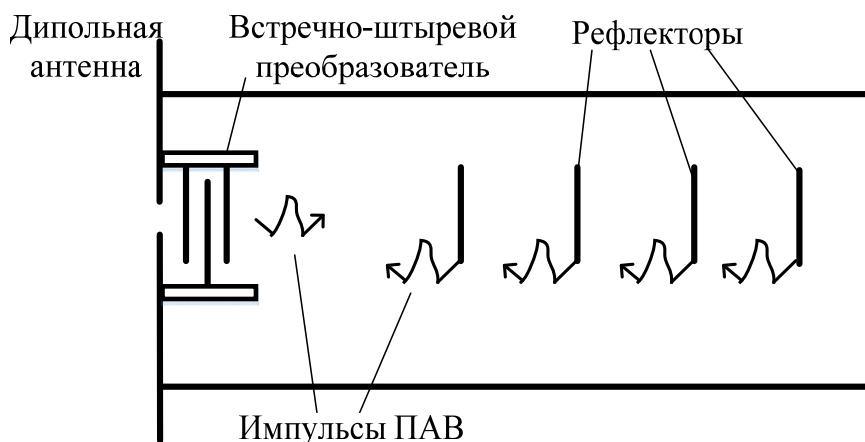


Рис. 3. Метка с рефлекторами

Электрический сигнал, выработанный ВШП из отраженной волны, преобразуется antennой метки в высокочастотную последовательность электромагнитных импульсов, излучаемых в эфир, и может быть принята antennой считывателя.

Обратный импульс каждого рефлектора отражает особенности этого рефлектора и имеет определенные фазу, временную позицию и амплитуду, несущие информацию.

Считываемый код закладывается при изготовлении метки.

Кодирование основано на свойствах физического процесса распространения ПАВ:

- объем данных метки и скорость их передачи зависят от числа рефлекторов, т. е. от размера подложки и минимального допустимого расстояния между рефлекторами;
- скорость распространения ПАВ примерно в 10^5 раз меньше, чем скорость света, с которой распространяются радиоволны, поэтому все отражения от предметов, окружающих считыватель, успевают затухнуть до момента выработки меткой первого импульса;
- физический процесс формирования ответного сигнала характеризуется постоянными значениями фазы импульсов, отраженных от рефлекторов, и вре-

мени между импульсами, отраженными разными рефлекторами (интервал времени между импульсами линейно зависит от расстояния между соответствующими рефлекторами).

Определение идентификаторов меток без чипов, таких как метки на ПАВ, возможно только на основе излучаемых ею сигналов.

Сигнал – это физический процесс, который образуется в результате электромагнитного взаимодействия считывателя и метки. Его параметры:

- энергия электромагнитной волны (можно посчитать по формуле Фрича [6]);
- частота f (измеряется в Гц – количество периодических изменений энергии за 1 с.);
- длина волны $\lambda = \nu/f$, где ν – скорость распространения энергии в пространстве.

Сигнал переносит данные благодаря модуляции того или иного его параметра передатчиком. Зависимость мгновенной мощности сигнала электросвязи от времени обозначим $s(t)$.

Корреляция сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ – это результат их энергетического взаимодействия. В результате возникает новый сигнал, который описывается взаимнокорреляционной функцией (ВКФ) и характеризует степень связи между сигналами, сдвинутыми на время жизни сигнала τ :

$$U_{s_1 s_2}(\tau) = \int_0^{\tau} s_1(t)s_2(t+\tau)dt.$$

Если сигналы синхронны, то ВКФ вырождается в число: $U_{s_1 s_2} = \int_0^{\tau_0} s_1(t)s_2(t)dt$.

Если сигналы независимы, то их ВКФ $U_{s_1 s_2} = 0$.

При корреляционном анализе вычисляют автокорреляционную функцию (АКФ). В синхронном случае – это энергия сигнала: $E = \int_0^{\tau_0} s(t)^2 dt$.

В основе корреляционных антиколлизионных алгоритмов лежат процедуры вычисления ВКФ и АКФ сигналов, излучаемых метками на ПАВ. Это позволяет выделить из эфира один определенный искомый сигнал или убедиться, что соответствующей метки нет в зоне опроса. Очевидно, что код искомого сигнала должен быть известен заранее.

Одно из свойств меток на ПАВ заключается в следующем. Если сигнал опроса построить как зеркальную последовательность кода метки, образованного рефлекторами, то за счет корреляции отраженный импульс метки, будет импульсом значительной амплитуды. Уменьшение ВКФ опросной последовательности с кодом метки приводит к уменьшению амплитуды отклика.

Это свойство дает возможность создать RFID систему на маркерах без чипа, выбрав такие коды для меток, которые попарно имеют достаточно маленькую ВКФ.

Наилучший вариант системы кодов должен состоять только из ортогональных кодов, то есть таких, для которых ВКФ любой пары кодов равна $U_{AB} = 0$.

Ортогональные коды можно получить при помощи функции Уолша, образуемых матрицей Адамара. Это группа из 2^n функций, которая формируется рекуррентно по следующей общей схеме:

$$H_{2^n} = \begin{bmatrix} H_{2^{n-1}} & H_{2^{n-1}} \\ H_{2^{n-1}} & -H_{2^{n-1}} \end{bmatrix}:$$

Свойства кодов сохраняются только при отсутствии временного сдвига. Их можно использовать только в синхронных системах, когда есть возможность определить момент времени начала вычисления ВКФ.

Коды по строкам и по столбцам ортогональны. Корреляция строки с самой собой дает 2^n , с другой – 0.

Количество кодов, которое может быть получено при таком подходе, не позволяет создать RFID систему с востребованным на практике числом меток. Разработанный авторами алгоритм формирования групп меток с заданными корреляционными свойствами, решает эту задачу.

Литература

1. Верзун Н. А., Колбанёв М. О., Омельян А. В. RFID-технологии для эффективности и безопасности документооборота // Технологии информационно-экономической безопасности. СПб.: СПбГЭУ. 2016. С. 44–51.
2. Шарфельд Т. Системы RFID низкой стоимости. М., 2006. 197 с.
3. Верзун Н. А., Колбанёв М. О., Коршунов И. Л., Микадзе С. Ю. Основы моделирования информационных систем множественного доступа. СПб.: СПбГЭУ. 2015. 138 с.
4. Верзун Н. А., Колбанёв М. О., Омельян А. В. Регулируемый множественный доступ в беспроводной сети умных вещей // Омский научный вестник. Серия: Информатика, вычислительная техника и управление. 2016. № 4 (148). С. 147–151.
5. Дмитриев В. Ф. и др. Исследование корреляционного метода для решения задачи антиколлизии для систем радиочастотной идентификации на ПАВ // Информационно-управляющие системы. 2009. № 5. С. 48–53.
6. Верзун Н. А., Колбанёв М. О., Шамин А. А. Энергетическая эффективность взаимодействия в беспроводных сенсорных сетях // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 1. С. 88–96.

References

1. Verzun N., Kolbanyov M., Omelyan A. RFID Technology for Effectiveness and Safety of Document Turnover // Information and Economic Security Technologies. 2016. pp. 44–51.
2. Scharfeld T. Low Cost RFID Systems. M., 2006. 197 p.
3. Verzun N., Kolbanyov M., Korshunov I., Mikadze S. Fundamentals of Modeling Multiple-Access Information Systems. SPb.: SPbGEU. 2015. 138 p.
4. Verzun N., Kolbanyov M., Omelyan A. Controlled Multiple Access in Wireless Network of Smart Things // Omskiy nauchnyi vestnik. Seriya: Informatika, vychislitel'naya tekhnika I upravlenie. 2016. Vol. 4 (148). pp. 147–151.
5. Dmitriev V. et al. Investigation of Correlation Approach to Solution Anti-collision Problem for FID Systems on SAW // Informatsionno-upravlyayuschie sistemy. 2009. No. 5. pp. 48–53.
6. Verzun N., Kolbanev M., Shamin A.: The Energy Efficiency of Cooperation in Wireless Sensor Networks // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 1. pp. 88–96 (in Russian).

Верзун Наталья Аркадьевна

– кандидат технических наук, доцент,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197376,
Российская Федерация, verzun.n@unecon.ru

Воробьева Дарья Михайловна

– преподаватель, колледж телекоммуникаций
СПбГУТ, Санкт-Петербург, 199053, Российская
Федерация, vorobyeva.dm@spbgut.ru

Колбанев Алексей Михайлович

– руководитель отдела по техническому
сопровождению клиентов, АО «ЭР-Телеком
Холдинг», Санкт-Петербург, 194352,
Российская Федерация,
kolbanev@gmail.com

Колбанев Михаил Олегович

– доктор технических наук, профессор,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, 197376,
Российская Федерация, mokolbanev@mail.ru

Verzun Natalia

– Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor, SPbSETU "LETI", St. Petersburg, 197376,
Russian Federation, verzun.n@unecon.ru

Vorobeva Darya

– Lecturer, College of telecommunications SPbSUT,
St. Petersburg, 199053, Russian Federation,
vorobyeva.dm@spbgut.ru

Kolbanev Alexey

– Head of customer support department, ER-Telecom
Holding JSC, St. Petersburg, 194352,
Russian Federation, kolbanev@gmail.com

Kolbanev Mikhail

– Doctor of Engineering Sciences, Full Professor,
SPbSETU "LETI", St. Petersburg, 197376,
Russian Federation, mokolbanev@mail.ru