



Модель архитектуры программно-конфигурируемой сети и когнитивный метод управления для организации множественного доступа в сетях Интернета вещей

Н. В. Евглевская¹, А. И. Парамонов², П. И. Смирнов¹, Р. В. Шапилова³

¹ АО «НИИ “Масштаб”», Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

В исследовании рассмотрены метод случайного множественного беспроводного доступа в сетях Интернета вещей и архитектура управления, аналогичная архитектуре программно-конфигурируемой сети. Анализируются модели описания коллизий, выбора сетевых параметров и их начальных значений, которые обеспечивают целевые значения вероятности доставки в рассматриваемых сетях. В работе предлагается метод, новизна которого заключается в использовании когнитивного управления параметрами сети с учетом неоднородности условий для различных пользователей с заданной вероятностью доставки данных. Предлагаемый метод и модель случайного множественного доступа с когнитивным выбором параметров сети актуальны и могут быть применимы при построении уровня доступа Интернета вещей в сетях с допустимыми потерями при организации управления большим объемом разнородного трафика и при обеспечении требуемого качества обслуживания.

Ключевые слова: множественный случайный доступ, вероятность коллизий, Интернет вещей, беспроводный доступ, вероятность доставки, когнитивное управление

Для цитирования:

Модель архитектуры программно-конфигурируемой сети и когнитивный метод управления для организации множественного доступа в сетях Интернета вещей / Н. В. Евглевская, А. И. Парамонов, П. И. Смирнов, Р. В. Шапилова // Радиопромышленность. 2018. Т. 28, № 4. С. 68–75. DOI: 10.21778/2413-9599-2018-28-4-68-75

© Евглевская Н. В., Парамонов А. И., Смирнов П. И., Шапилова Р. В., 2018



Software Defined Network architecture model and cognitive control method for organizing multiple access in the Internet of Things

N. V. Evglevskaya¹, A. I. Paramonov², P. I. Smirnov¹, R. V. Shamilova³

¹ Mashtab Scientific and Research Institute JSC, Saint-Petersburg, Russia

² The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Saint-Petersburg, Russia

³ Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia

The study has the method of random multiple wireless access in the networks of the Internet of Things and the control architecture, similar to a software-configured network, examined. The models of collision description, network parameters selection and their initial values, which provide target values for the probability of the delivery in the considered networks, are analyzed. The paper proposes a method the novelty of which lies in the usage of cognitive control of network parameters, taking into account the heterogeneity of conditions for different users with a given probability of data delivery. The proposed method and model of random multiple access and cognitive selection of network parameters are relevant and can be applied when building the access level of the Internet of Things in networks with allowable losses when managing large volumes of heterogeneous traffic and ensuring the required quality of service.

Keywords: multiple random access, collision probability, Internet of Things, wireless access, delivery probability, cognitive control

For citation:

Evglevskaya N. V., Paramonov A. I., Smirnov P. I., Shamilova R. V. Software Defined Network architecture model and cognitive control method for organizing multiple access in the Internet of Things. Radiopromyshlennost, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 68–75. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2018-28-4-68-75

Введение

Сегодня сети связи являются основой инфокоммуникационной системы, которая стала неотъемлемой частью современного общества. Очевидно, что эволюция данной системы влияет на все сферы жизни человека: социальную, экономическую, политическую, духовную и т.д. Это воздействие изменяет наши подходы ко многим вопросам, проблемам и задачам, с которыми мы разбираемся повседневно или эпизодически. Эволюция инфокоммуникационной системы изменяет не только наши деятельность, быт, но и образ мышления. Такой процесс получил свое отражение в планах развития как развитие «цифровой экономики».

Можно отметить три основных направления эволюции инфокоммуникационной системы:

1. Развитие средств получения информации и ее актуализации.
2. Развитие средств обработки.
3. Развитие средств доставки.

В сетях прежних поколений наиболее массово используют такие средства получения и актуализации информации, как абонентские терминалы (телефонные аппараты, компьютеры, смартфоны

и другие абонентские устройства). С учетом тенденций развития Интернета вещей терминал сети может иметь различные области применения и назначения. В настоящее время это разнообразные устройства сбора телеметрической информации или актуаторы для управления устройствами и механизмами. Масштабы и назначение сетей таких устройств могут быть совершенно различны. Однако, согласно большинству ожиданий и прогнозов, масштабы этих сетей многократно выше, чем у современных сетей.

Такое количественное изменение непременно ведет к необходимости переосмысления методов построения сетей, обслуживания трафика и обеспечения качества обслуживания [1].

Современные сети являются гетерогенными, т.е. построенными с использованием средств, реализующих различные технологии на разных сетевых уровнях. Развитие Интернета вещей в настоящее время в наибольшей степени затрагивает сети доступа. Это обусловлено интенсивным развитием класса беспроводных сенсорных сетей. При построении сетей сбора данных (мониторинга) достаточно часто бывает удобно использовать простые в реализации и достаточно дешевые решения, которые не обеспечивают гарантированной доставки

данных, но вероятность их доставки достаточно высока для данной прикладной задачи. Они, как правило, создаются с применением стандартов беспроводного доступа (IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, LoRaWAN, LPWAN).

Во многих случаях производители оборудования, реализующего канальный уровень, оставляют на выбор разработчика исполнение доступа к среде и алгоритмов (протоколов) обмена данными. Это относится в основном к сетям, использующим технологии LoRaWAN, LPWAN [2–5]. В ряде приложений эти технологии оказываются весьма привлекательными, т.к. потенциально должны обеспечивать связь на значительных расстояниях при малом расходе энергии.

В данной работе представлены модель архитектуры, аналогичной той, что у программно-конфигурируемой сети, и метод управления множественным доступом в сетях Интернета вещей с элементами когнитивного выбора параметров.

Модель сети с допустимыми потерями

Рассмотрим сеть сбора данных, построенную с использованием одной из технологий беспроводной связи, в которой уровень доступа к среде не имеет механизма предотвращения коллизий. Сеть имеет структуру «звезда», в центре которой расположен узел, выполняющий роль шлюза (рис. 1).

В общем случае таких шлюзов может быть несколько – m . К каждому шлюзу подключено некоторое количество пользователей (абонентов), их количество равно n . В сети имеется узел (контроллер), выполняющий функции управления элементами сети доступа. Данная архитектура фактически является архитектурой программно-конфигурируемой сети [6]. Контроллер предназначен для решения задач управления. Полагаем, что он может

взаимодействовать с несколькими шлюзами и узлами, подключенными к ним.

Рассмотрим сеть, образованную элементами, включенными в один шлюз. Пусть в канале между пользователем и шлюзом передаются кадры, размер которых равен L . Канал имеет множественный случайный доступ, т.е. каждый из пользователей может занять канал передачи кадра данных. Трафик создается группой из n -пользователей, суммарная интенсивность трафика составляет a , кадров в секунду, причем каждый из пользователей генерирует трафик интенсивностью a_i , кадров в секунду:

$$a = \sum_{i=1}^n a_i.$$

Если два или более пользователей одновременно передают в канале данные (кадры), то полагаем, что происходит коллизия, т.е. искажение всех одновременно передаваемых кадров, независимо от того, насколько пересеклись интервалы времени их передачи, лишь бы это пересечение было больше нуля (рис. 2). Стоит отметить, что так происходит не всегда, поскольку условия прохождения сигналов различных пользователей в реальной сети могут изменяться случайным образом, и не всегда «наложение» этих сигналов приведет к потере всех кадров, один из них все же может быть принят [2, 7].

В общем случае вероятность коллизии $p_c = p_c(T, \theta)$ зависит от свойств трафика T и индивидуальных условий θ для каждого из пользователей.

Естественно, что в такой сети вероятность того, что кадр не будет доставлен, больше нуля. В качестве основной характеристики качества обслуживания [7] в данном случае рассмотрим вероятность доставки данных (кадра) p_D . Отметим, что в общем случае кадр может быть потерян (искажен) не только по причине коллизии, т.е. реальная вероятность потери кадра $\hat{p}_c \geq p_c$. В качестве инструмента

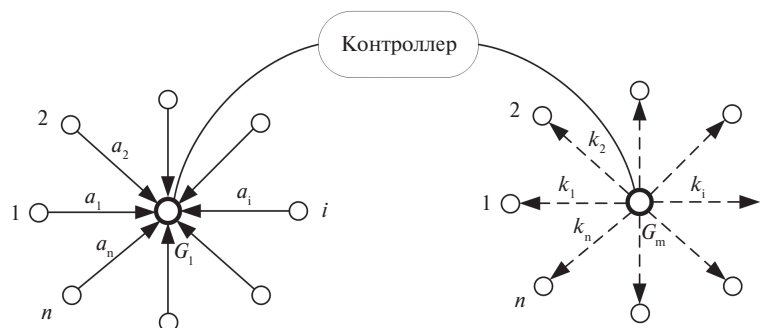


Рисунок 1. Структура сети сбора данных: n – количество пользователей; a_i – интенсивность трафика, создаваемого i -м пользователем; k_i – количество передач одного кадра, инициализируемых i -м пользователем; m – количество шлюзов G (от 1 до m) в сети

Figure 1. The structure of the data collection network: n is the number of users; a_i is the traffic generated by the i user; k_i is the number of transmissions of one frame initialized by the i user; m is the number of gateways G (from 1 to m) in the network

управления вероятностью доставки рассмотрим многократную передачу кадра (k -кратную).

Многократная передача кадра приводит к изменению трафика в сети:

$$a = \sum_{i=1}^n k_i a_i^{(0)}, \quad (1)$$

где k_i – количество повторений кадра i -м пользователем; $a_i^{(0)}$ – исходная интенсивность кадров i -го пользователя, кадров в секунду.

Модель управления параметрами трафика предполагает оценку значений k_i для каждого из пользователей (см. рис. 1) на основе эмпирических данных, получаемых во время функционирования сети. Допустим, что данные о значении k_i для каждого из пользователей могут быть доставлены на соответствующие устройства. Реализация процесса доставки может быть различна. В случае симплексного канала этот процесс может реализовываться в процессе эксплуатации и обслуживания сети. При использовании дуплексного канала эти данные могут быть переданы непосредственно через узел шлюза.

Для реализации данного алгоритма необходимо:

- получить начальные значения параметров сети;
- организовать цикл сбора данных о ее функционировании;
- оценить значения параметров и передать их в клиентские устройства (см. рис. 2).

Метод оценки начальных значений параметров

Допустим, что вероятность доставки кадра (успешного приема) зависит только от вероятности коллизий. Так, при однократной передаче кадра вероятность доставки p_D равна

$$p_D = 1 - p_c, \quad (2)$$

где p_c – вероятность коллизии.

При многократной передаче кадра вероятность доставки будет определяться как

$$p_D(k) = 1 - (1 - p_D)^k = 1 - p_c^k, \quad (3)$$

где k – количество повторных передач кадра.

Допустим, что среднее время передачи одного кадра равно \bar{t} , а интенсивность передачи кадров – a , кадров в секунду. Предположим, что время передачи однозначно определяется размером кадра и скоростью передачи данных в канале:

$$\bar{t} = \frac{L}{b} + \tau, \quad (4)$$

где L – размер кадра, бит; b – скорость передачи данных, бит/с; τ – длительность передачи служебной части кадра (преамбулы и т.п.), с.

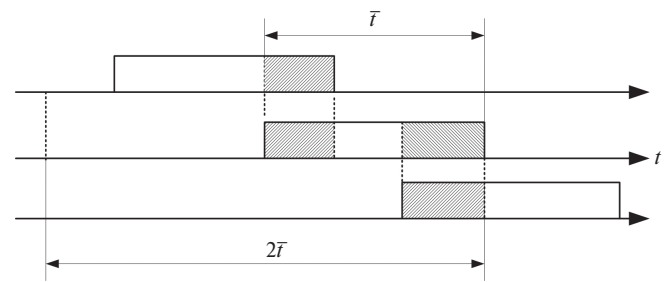


Рисунок 2. Иллюстрация процесса коллизий: \bar{t} – среднее время передачи одного кадра, с
Figure 2. Illustration of the collision process: \bar{t} is the average transmission time of one frame, in seconds

В общем случае вероятность коллизии определяется вероятностью того, что произойдет наложение нескольких кадров во времени, что в общем случае зависит от распределения времени передачи кадров и использования канала.

Таким образом, увеличение количества повторных передач, согласно (3), повышает вероятность доставки, но рост интенсивности трафика при этом приводит к обратному эффекту. Поэтому целесообразно выбирать оптимальное или достаточное количество передач, при котором вероятность доставки является максимальной или удовлетворяет определенным требованиям.

Оценим вероятность повреждения кадров при ряде допущений. Предположим, что размеры кадров и скорость передачи постоянны. Это характерно для многих реализаций сетей мониторинга, использующих упомянутые выше технологии организации канала. Допустим, что искажение кадров происходит всегда, когда за время текущей передачи будет начата или закончена передача хотя бы еще одного кадра. Последнее не всегда справедливо, т.к. условия передачи для разных пользователей могут быть различны, и отношение мощностей сигналов на входе приемника может быть таким, что один из кадров будет принят. Однако если при построении сети ее физическая конфигурация выбрана таким образом, что мощности сигналов от всех клиентов на входе приемника достаточно велики, то такое упрощение вполне допустимо. Иллюстрация событий, определяющих коллизии, приведена на рис. 2.

Из приведенных рассуждений очевидно: для того, чтобы произошли коллизии двух и более кадров, достаточно, чтобы моменты начала передачи этих кадров находились в интервале, равном $2\bar{t}$. Таким образом, все кадры, передача которых была начата за интервал времени $2\bar{t}$, будут искажены. Время передачи кадра определяется размером кадра и скоростью его передачи. Если допустить, что

длины кадров различны, то это время случайно. При этом скорость передачи является фиксированной.

Таким образом, вероятность коллизии p_c равна вероятности начала одной или более передач кадров $p_{\geq 1}$ за интервал времени $2\bar{T}$:

$$p_c = p_{\geq 1}(2\bar{T}) = 1 - p_0(2\bar{T}), \quad (5)$$

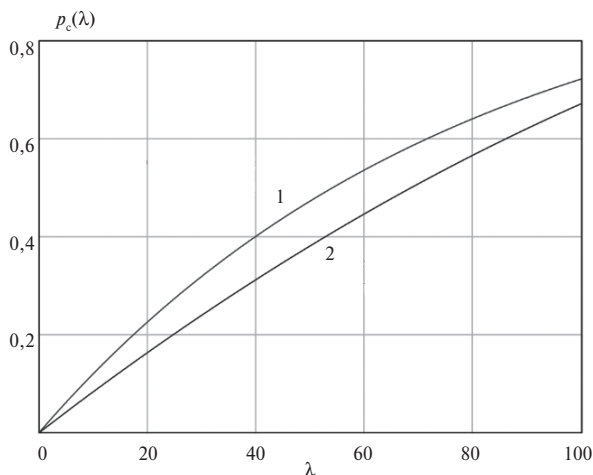


Рисунок 3. Зависимость вероятности коллизии $p_c(\lambda)$ от трафика λ : 1 – при экспоненциальном распределении вероятности; 2 – при треугольном распределении
Figure 3. The dependence of the collision probability $p_c(\lambda)$ on the traffic λ : 1 – with an exponential distribution of probability; 2 – with a triangular distribution

где $p_0(2\bar{T})$ – вероятность того, что на интервале $2\bar{T}$ не начнется передача ни одного кадра.

Для оценки вероятности p_0 необходимо знать распределение интервалов времени между кадрами, т.е. свойства потока. Одним из возможных решений является рассмотрение модели простейшего потока, тогда вероятность коллизии может быть представлена выражением

$$p_c = p(T < 2\bar{T}) = F(2\bar{T}) = 1 - e^{-a2\bar{T}}, \quad (6)$$

где T – интервал времени передачи кадра, s ; F – вероятность коллизий в модели простейшего потока; a – интенсивность потока, кадров в секунду.

Тогда для простейшего потока

$$p_D(k) = 1 - (1 - e^{-ka2\bar{T}})^k. \quad (7)$$

Из выражения (7) можно найти оптимальное число повторов k_0 , при которых достигается максимальная вероятность доставки

$$k_0 = \arg \max_k p_D^{(k)}. \quad (8)$$

Аналогично можно оценить вероятность коллизии, используя другие модели распределений интервала между кадрами. Для сравнения было выбрано треугольное распределение вероятности [8].

Пример для $a = 20$ кадров в секунду при длине кадра $L = 200$ байт и скорости передачи $b = 20$ кбит/с для экспоненциального и треугольного распределений приведен на рис. 3.

Для этого примера на рис. 4 приведена зависимость вероятности доставки от количества передач повторных кадров.

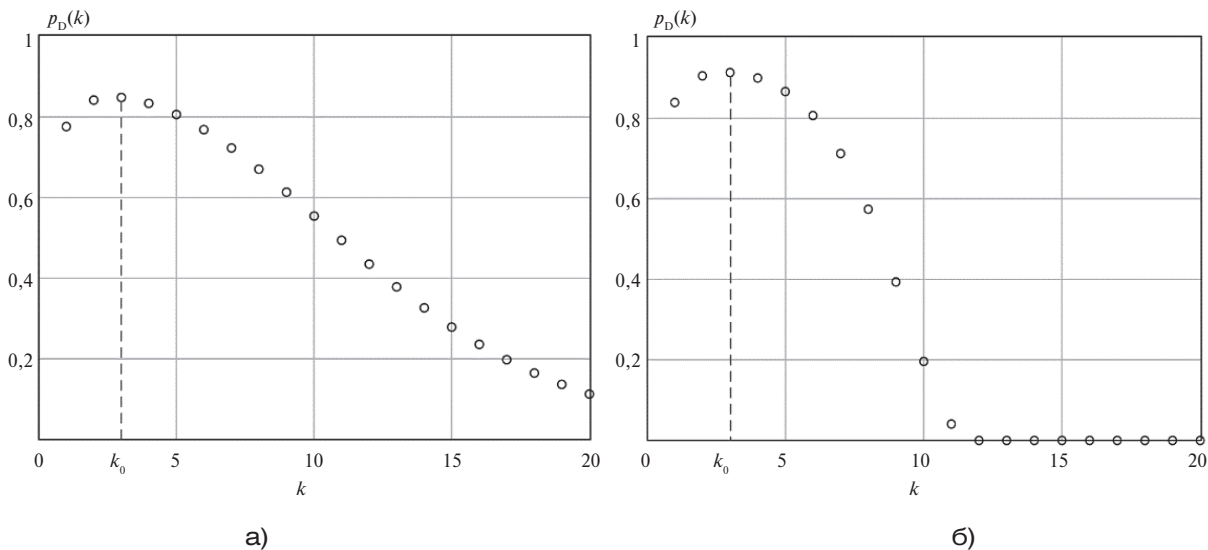


Рисунок 4. Зависимость вероятности доставки $p_D(k)$ от количества передач k : а – при экспоненциальном распределении вероятности; б – при треугольном распределении вероятности; k_0 – оптимальное количество передач кадра
Figure 4. The dependence of probability of delivering $p_D(k)$ on the number of transmissions: а – with an exponential distribution of probability, б – with a triangular distribution of probability, k_0 – the optimal number of frame transmissions

В данном примере заметно отличие вероятности доставки от количества передач, однако k_0 осталось прежним.

Если задана целевая величина вероятности доставки p_0 , то ее следует учитывать при определении оптимального количества передач:

$$k_0 = \begin{cases} \arg \max_k p_D(k) & p_D(k) \leq p_0; \\ \arg \min_k |p_D(k) - p_0| & p_D(k) > p_0. \end{cases} \quad (9)$$

Если сеть не предполагает управления, то полученные с помощью (9) значения могут быть приняты как параметры для настройки сети. При наличии системы управления значения k_0 являются начальными величинами, устанавливаемыми в качестве параметров управления.

Когнитивный метод управления параметрами

Предлагаемый метод основан на сборе статистики, которая и представляет собой процесс пополнения знаний в петле когнитивного управления; общая схема алгоритма приведена на рис. 5.

Будем полагать, что при функционировании сети доступа производится подсчет количества принятых кадров n_i от каждого пользователя (устройства) $i = 1 \dots n$ за определенный (достаточно продолжительный) интервал времени T . На основе полученных данных можно определить долю успешно доставленных кадров $\hat{p}_D^{(i)}$ для каждого из абонентских устройств:

$$\hat{p}_D^{(i)} = \frac{n_i}{k_i n_i^{(0)}}, \quad (10)$$

где k_i – текущее значение количества повторов кадра; $n_i^{(0)} = a_i^{(0)} T$ – количество «первичных» кадров.

Результаты могут отличаться от целевого значения вероятности доставки p_0 как в меньшую, так и в большую сторону.

Вероятность потери кадра для каждого абонента может быть оценена как

$$\hat{p}_c = \sqrt[k]{1 - \hat{p}_D^{(i)}}. \quad (11)$$

Тогда требуемую величину \hat{k}_i можно получить решением

$$1 - \hat{p}_c^{\hat{k}_i} = p_0 \quad (12)$$

как

$$\hat{k}_i = \left\lceil \frac{\ln(1 - p_0)}{\ln \hat{p}_c} \right\rceil. \quad (13)$$

Вычисленные таким образом значения \hat{k}_i могут быть слишком велики. В таком случае величина производимого трафика окажется выше той, на которую была рассчитана сеть. Для предотвращения такой ситуации необходимо проверять выполнение условия

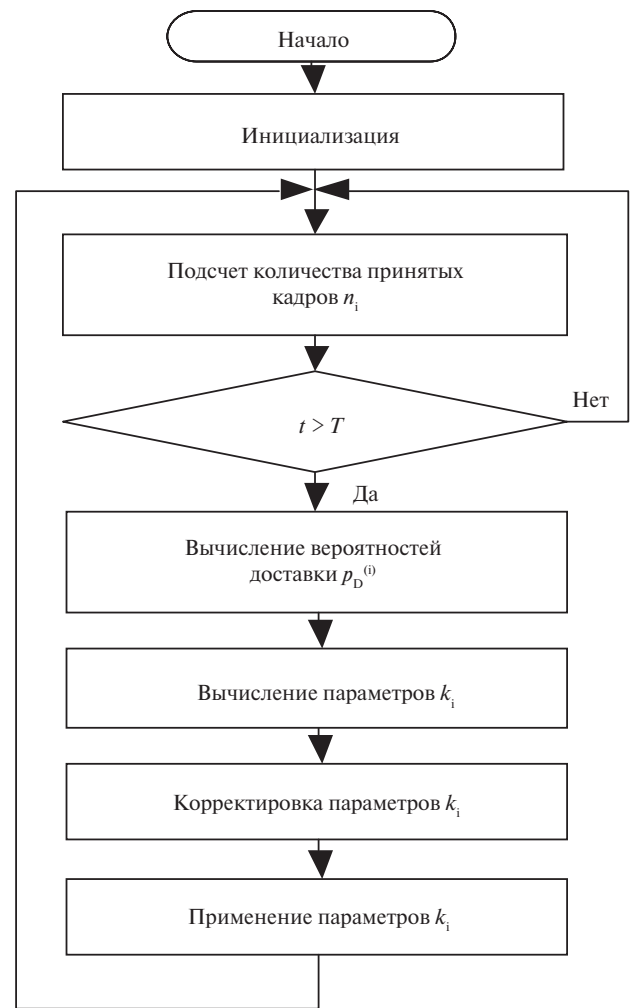


Рисунок 5. Схема алгоритма пополнения знаний в петле когнитивного управления параметрами

Figure 5. The scheme of the knowledge replenishment algorithm for the loop of cognitive parameter control

$$\sum_{i=1}^n \hat{k}_i a_i^{(0)} \leq a. \quad (14)$$

При невыполнении данного условия величины \hat{k}_i должны быть скорректированы. Очевидно, что в таком случае корректировка может привести к нарушению равенства (12) для ряда абонентов. Одним из вариантов решения данной задачи может быть использование метода динамического программирования для оптимизации O выражения

$$O = \min_{\hat{k}_i} \sum_{i=1}^n \left(\hat{p}_D^{(i)} - p_0 \right)^2 \text{ при } \sum_{i=1}^n \hat{k}_i a_i^{(0)} \leq a.$$

В этом случае необходимо получить значения \hat{k}_i , обеспечивающие близость к целевому значению вероятности доставки при минимальном ее разбросе для различных абонентов и выполнении ограничения по нагрузке.

Полученные значения параметров \hat{k}_i доставляются на устройства пользователей (абонентские устройства). Следует отметить, что наличие цикла управления в данном случае обеспечивает возможность как дифференцированного (для каждого из пользователей) обеспечения качества, так и адаптации сети к изменяющимся внешним условиям.

Выводы

1. В работе предложена модель множественного случайного доступа, подходящая для описания ряда технологий беспроводной связи, нашедших применение в построении беспроводных сенсорных сетей. Модель может быть использована для

потоков с различными свойствами при учете соответствующих функций распределения.

2. Разработан метод оптимизации параметров сети доступа с учетом упомянутой выше модели. Данный метод позволяет выбрать оптимальный режим работы абонентских устройств для обеспечения целевой вероятности доставки данных.

3. Разработан метод когнитивного управления параметрами сети доступа в процессе эксплуатации, учитывающий индивидуальные особенности связи с отдельными абонентами. Данный метод позволяет поддерживать требуемые значения параметров сети при изменении условий ее функционирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Парамонов А.И., Махмуд О.А.* Анализ трафика интернет вещей. Подходы к моделированию // Интернет вещей и 5G (INTHITEN 2017): 3-я Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / под ред. А.Е. Кучерявого. СПб., 2017. С. 74–79.
2. *Sornin N., Luis M., Eirich T., Kramp T., Hersent O.* LoRaWAN™ Specification. LoRa Alliance, Inc., V1.0, 2015.
3. *LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup.* LoRaWAN Regional Parameters. LoRa Alliance, Inc., V1.0, 2015.
4. *AN1200.22.* LoRa™ modulation basics. Semtech Corporation, 2015.
5. *SX1272/73.* 860 MHz to 1020 MHz low power long range transceiver, datasheet. Semtech Corporation, 2015.
6. *Bera S., Misra S., Vasilakos A.V.* Software-Defined Networking for Internet of Things: a survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, vol. 4, no. 6, pp. 1994–2008.
7. *Paramonov A., Koucheryavy A.* M2M traffic models and flow types in case of mass event detection. *Lecture Notes in Computer Science*, 2014, vol. 8638, pp. 294–300.
8. *Вадзинский Р.Н.* Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: Наука, 2001. 296 с.

REFERENCES

1. *Paramonov A.I., Mahmud O.A.* Analiztrafika internet veshchei. Podkhody k modelirovaniyu. In: A.E. Kucheryavyi, ed. *Internet veshchei 5G (INTHITEN 2017) 3-ya Mezhdunarodnayanaychno-tekhnicheskayakonferentsiyastudentov, aspirantovimolodykhuchenikh* [The Internet of Things and 5G (INTHITEN2017): 3rd International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists]. St. Petersburg, 2017, pp. 74–79. (In Russian).
2. *Sornin N., Luis M., Eirich T., Kramp T., Hersent O.* *LoRaWAN™ Specification*. LoRa Alliance, Inc., V1.0, 2015.
3. *LoRa Alliance Technical Committee Regional Parameters Workgroup.* *LoRaWAN Regional Parameters*. LoRa Alliance, Inc., V1.0, 2015.
4. *AN1200.22.* *LoRa™ modulation basics*. Semtech Corporation, 2015.
5. *SX1272/73.* *860 MHz to 1020 MHz low power long range transceiver, datasheet*. Semtech Corporation, 2015.
6. *Bera S., Misra S., Vasilakos A.V.* Software-Defined Networking for Internet of Things: a survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, vol. 4, no. 6, pp. 1994–2008.
7. *Paramonov A., Koucheryavy A.* M2M traffic models and flow types in case of mass event detection. *Lecture Notes in Computer Science*, 2014, vol. 8638, pp. 294–300.
8. *Vadzinskii R.N.* *Spravochnik po veroyatnostnym raspredeleniyam* [Handbook of probability distributions]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2001, 296 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Евглевская Наталья Валерьевна, к.т.н., главный конструктор по информационной безопасности, АО «НИИ «Масштаб»», 194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 5, лит. А, тел.: +7 (906) 277-12-89, e-mail: n.evglevskaya@gmail.com.

Парамонов Александр Иванович, д.т.н., профессор кафедры ССиПД, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 193232, Санкт-Петербург, просп. Большевиков, д. 22, корп. 1, тел.: +7 (812) 305-12-65, e-mail: seti_sviasi@bk.ru.

Смирнов Павел Игоревич, к.т.н., генеральный директор, АО «НИИ «Масштаб»», 194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 5, лит. А, тел.: +7 (812) 309-03-21 доб. 201, e-mail: p.smirnov@mashtab.org.

Шамилова Регина Вадимовна, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский просп., д. 49, e-mail: regina-shamilova@mail.ru.

AUTHORS

Natalya V. Evglevskaya, Ph.D. (Engineering), main constructor of information security, Mashtab Scientific and Research Institute JSC, 5, lit. A, ulitsa Kantemirovskaya, Saint-Petersburg, 194100, Russia, tel.: +7 (906) 277-12-89, e-mail: n.evglevskaya@gmail.com.

Alexander I. Paramonov, Dr.Sci. (Engineering), professor of the Department of CN and DT, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 22, korpus 1, prospekt Bolshevikov, Saint-Petersburg, 193232, Russia, tel.: +7 (812) 305-12-65, e-mail: seti_sviasi@bk.ru.

Pavel I. Smirnov, Ph.D. (Engineering), CEO, Mashtab Scientific and Research Institute JSC, 5, lit. A, ulitsa Kantemirovskaya, Saint-Petersburg, 194100, Russia, tel.: +7 (812) 309-03-21, add. 201, e-mail: p.smirnov@mashtab.org.

Regina V. Shamilova, postgraduate student, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49, Kronverksky prospekt, Saint-Petersburg, 197101, Russia, e-mail: regina-shamilova@mail.ru.

Поступила 28.09.2018; принята к публикации 16.10.2018; опубликована онлайн 23.11.2018.
Submitted 28.09.2018; revised 16.10.2018; published online 23.11.2018.