

Количество устройств, обменивающихся информацией по LTE, быстро растет, и разрабатываются алгоритмы для снижения нагрузки на коммуникационные сети путем упрощения взаимодействия между пользовательскими устройствами и сетью. В статье исследуется процедура установления соединения между устройством и базовой станцией LTE. Вопрос передачи малых данных, образуемых межмашинными соединениями (M2M, Machine-To-Machine) может быть решен с помощью использования радиоканала случайного доступа RACH (Random Access Channel) для установления соединения. Такое решение было предложено в техническом отчете TR 37.868 консорциума 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Предлагается процедура измерения характеристик радиоканала со случайным доступом, таких как время установления соединения, вероятность успешного установления соединения, вероятность коллизий и количество преамбул при успешном установлении соединения.



Радмир Зарипов



Радмир Зарипов закончил Российский Университет Дружбы Народов по специальности "Прикладная математика и информатика" со степенью бакалавра. Разработал и продолжает разрабатывать эффективные математические инструменты и алгоритмы для в управления трафиком, процедур установления связи по радиоканалу случайного доступа и при межсетевом хэндовере.

Теоретические основы телекоммуникации

Телекоммуникации: анализ сетей и основы цифровых коммуникаций



Радмир Зарипов

Теоретические основы телекоммуникации

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

Радмир Зарипов

Теоретические основы телекоммуникации

**Телекоммуникации: анализ сетей и основы
цифровых коммуникаций**

FOR AUTHOR USE ONLY

LAP LAMBERT Academic Publishing RU

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

LAP LAMBERT Academic Publishing

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom

Str. Armeneasca 28/1, office 1, Chisinau MD-2012, Republic of Moldova,
Europe

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-6-15776-2

Copyright © Радмир Зарипов

Copyright © 2023 Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L
publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

Содержание

Modeling of load balancing algorithm for Mobility Management Entity overload control	2
Процедура установления соединения по радиоканалу случайного доступа	10
К анализу времени выполнения бизнес-процесса телекоммуникационной компании.....	22
Об аналитической модели времени установления соединения по радиоканалу случайного доступа.....	25
Об оценке среднего времени фильтрации мультимедийного трафика в межсетевом экране.....	32
О задаче перенаправления информации при обнаружении перегрузки техногенного характера.....	35
Модель обмена сигнальными сообщениями при инициализации абонентского оборудования в сети беспроводного широкополосного доступа.....	42

FOR AUTHOR USE ONLY

Modeling of load balancing algorithm for Mobility Management Entity overload control

Abstract: Aiming to improve his comfort a human surrounds himself with various technical devices which timely ensure safety and provide awareness. Examples of such appliances connected to Internet are all sorts of sensors and meters exchanging information in the automatic mode without human input, for instance in public health, automation of city services, supervision etc. This plenty of appliances connected to Internet and exchanging information forms the actively developing segment of Internet of Things. European Telecommunications Standards Institute (ETSI) uses the term “Machine-to-Machine” (M2M) for such type of communication. In the event of emergency and the instantaneous triggering of large number of sensors an explosive growth of the incoming traffic is expected and the overload can emerge in different network elements. Handling of Machine-to-Machine traffic starts at the eNodeB (Evolved RAN (Radio Access Network)) connected to the Mobility Management Entities (MME). Mobility management entities are in charge of signaling between the network core and the user devices and participate in activation/deactivation of network resources. In case when an overload of the Mobility Management Entities is detected it is necessary to timely balance and redirect traffic to other MMEs thus unloading the corresponding network elements. This work suggests an algorithm of the optimal traffic distribution among the Mobility Management Entities in case when a base station is connected to more than a single MME. Algorithm of the optimal M2M traffic distribution was applied to the simplified model of a network segment managing M2M traffic, and the traffic management in case of the network elements overload was demonstrated. Balancing of load is carried out by the probabilistic routing of traffic from each eNodeB connected to several MMEs. Determination of the correction time and the overload threshold indicating occupancy of a Mobility Management Entity is also an important optimization task.

Keywords: Machine Type Communication; Machine-to-Machine; Internet of Things; load balancing algorithm; threshold management; routing traffic

Introduction

Intensively developing segment of Internet of Things assumes the multitude of wireless technical appliances intended to ensure human comfort and safety which can exchange information without human input. M2M devices exchange information in the scheduled time intervals or in case of emergencies which may cause overload in the communication network. According to statistical data of Cisco at the end of 2017

number of M2M connections reached 495 million and the forecast for 2022 promises almost sevenfold increase of connections up to 3.2 billion [1]. Besides the increase of M2M device connections Cisco also forecasts increase of the monthly traffic volume from one M2M device from 70 Mb at the end of 2017 to 366 Mb in 2022.

In case of the eNodeB overload in Long-Term Evolution (LTE) network it is possible to use local mechanisms of the overload control. When one or more base stations in one area are heavily used the overload is possible in the subsequent network elements where the Machine-to-Machine traffic goes. These are the Mobility Management Entities in charge of activation/deactivation of the network elements. Due to importance of the current data received from M2M devices it is necessary to handle Machine-to-Machine traffic on the same level as other types of traffic. In order to ensure the appropriate quality of the data transmission over all elements of the communication network it is necessary to develop algorithm of the internodal traffic management. This work suggests the dynamic algorithm for the optimal distribution of M2M traffic coming from eNodeBs of LTE network to the Mobility Management Entities as the algorithm of hop-by-hop overload control. Concepts of local, end-to-end and hop-by-hop overload control algorithm in the telecommunication network on example of the signal load control in the server-based network of the session initiation protocol are defined in [2]. Methods of the local overload control which may be used at eNodeBs or at MMEs handling the load are described in [3-4]. This article pursues the studies aimed to optimize the traffic management in communication nodes described in [3-4] and the methods suggested in [5-8] where the task is to develop a dynamic algorithm of the load balancing between eNodeBs and Mobility Management Entities. Based on the suggested dynamic algorithm for the optimal control of traffic coming from eNodeBs to MMEs the simulation modeling of traffic distribution was performed in a segment of the communication network which demonstrated advantage of the load management in the internodal communications.

Problem Statement of Research

Description of the mathematical model

Machine-to-Machine traffic (M2M-traffic) handled at the eNodeB comes to one of the connected MMEs. In order to demonstrate the algorithm we examine a segment of LTE network with J eNodeBs and K Mobility Management Entities. We enter two sets for the model description: a set of eNodeBs $J = \{eNB_1, \dots, eNB_j, \dots, eNB_J\}$ and a set of mobile management entities $\mathcal{K} = \{MME_1, \dots, MME_k, \dots, MME_K\}$. Define complementary sets: J_k - a set of eNodeBs sending traffic to MME_k , $k=1, \dots, K$ and \mathcal{K}_j - a set of Mobility

Management Entities receiving traffic from eNB_j , $j=1,\dots,J$. Control optimization of traffic coming from the eNodeBs to the Mobility Management Entities is only possible when a eNodeB has more than a single Mobility Management Entity, i.e. $|\mathcal{K}_j| \geq 2$. Distribution of traffic coming from the eNodeBs to the Mobility Management Entities is performed according to the probabilistic strategy. Each MME measures its load rate and sends this data to all the eNodeBs from set \mathcal{J}_k , $k=1,\dots,K$. Each eNB_j receiving M2M-traffic about the Mobility Management Entities from set \mathcal{K}_j , $j=1,\dots,J$ redistributes the traffic flows coming to the subsequent handling to one of entities of set \mathcal{K}_j . Impact of time intervals for the network M2M-traffic correction is still of necessary. In order to pre-evaluate characteristics and possibilities of the algorithm let's examine a simplified case when MME_k receives the Poisson flow of M2M-messages from eNB_j with rate λ_{jk} , and the service time at MME_k is exponentially distributed with parameter μ_k , fig. 1.

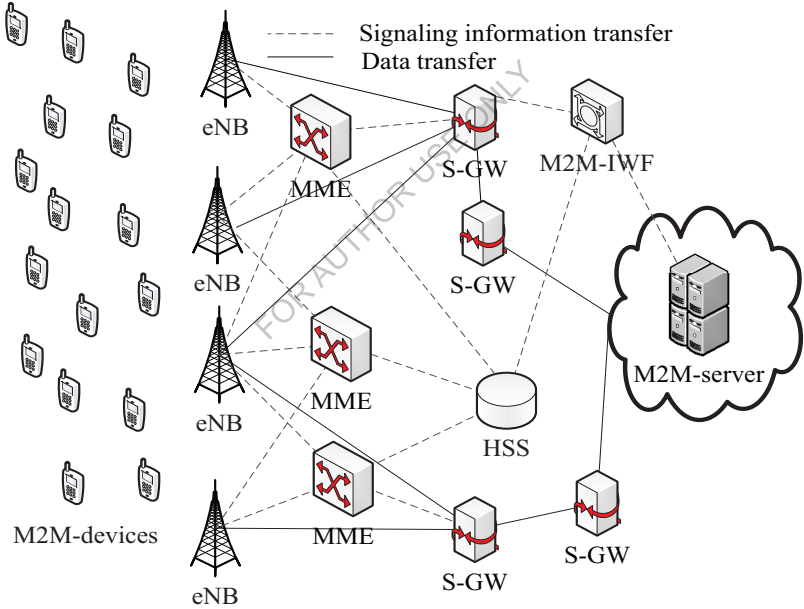


Fig.1 Architecture of a network segment with three Mobility Management Entities

Overload probability $P_{Cong}[k]$ for MME_k can be found using methods of the mathematical teletraffic theory. Handling customers coming to MME_k is examined as Queuing system (QS) $M|M|1|R,H$, where $R < \infty$, H is the threshold value in buffer. We

assume that $X(t)$ is the stochastic process (SP) numbers of customers at time t , $t \geq 0$. State space \mathcal{X} of SP $X(t)$ is given by $\mathcal{X} = \{0, \dots, R+1\}$, $R < \infty$. Stochastic process $\{X(t), t \geq 0\}$ is the Markov process (MP). We assume that at moment t QS has n customers, $n \in \mathcal{X}$ and p_n is probability that the system has n even customers, $n \in \mathcal{X}$, offered load on MME_k is $\rho = \lambda_{*k} / \mu_k$, λ_{*k} is the flow rate at MME_k , (1).

$$p_n = \begin{cases} \frac{\rho^n (1-\rho)}{1-\rho^{R+2}}, & \rho \neq 1, \\ \frac{1}{R+2}, & \rho = 1. \end{cases} \quad (1)$$

We assume that all MMEs are identical and define congestion probability $P_{Cong}[k]$ of MME_k by (2), where H is the overload detection threshold.

$$P_{Cong}[k] = P\{n \geq H\} = \sum_{n=H}^{R+1} p_n, \quad 1 \leq H \leq R \quad (2)$$

Using (1) and (2) we obtain the congestion probability as in (3).

$$P_{Cong}[k] = \begin{cases} \frac{\rho^H (1-\rho^{R-H+2})}{1-\rho^{R+2}}, & \rho \neq 1, \\ \frac{R+2-H}{R+2}, & \rho = 1, \end{cases} \quad (3)$$

We define congestion probability $P_{Cong}[j,k]$ of MME_k by the load received only from eNB_j , $j=1, \dots, J$, $k=1, \dots, K$.

$$P_{Cong}[j,k] = \begin{cases} \frac{\rho^H (1-\rho^{R-H+2})}{1-\rho^{R+2}}, & \rho \neq 1, \\ \frac{R+2-H}{R+2}, & \rho = 1, \end{cases} \quad (4)$$

where $\rho = \frac{\lambda_{jk}}{\mu_k}$ accounts only the load coming from eNB_j , $j=1, \dots, J$.

Overload of the Mobility Management Entity MME_k is defined by condition (5) comparing the overload probability with the preset threshold value $P_{Cong_Threshold}$.

$$P_{Cong}[k] \geq P_{Cong_Threshold} \quad (5)$$

Algorithm of optimal M2M traffic balancing

Step 1. Each eNodeB eNB_j sends a query about load of MMEs in set K_j , $j=1,\dots,J$, when $|K_j| \geq 2$, go to step 2, otherwise for eNodeB eNB_j optimization of the traffic flows is impossible, go to the next eNodeB.

Step 2. ENodeB eNB_j receives data about load of each MME in set K_j , $j=1,\dots,J$.

Step 3. Redistribution of traffic sent from eNodeB eNB_j to Mobility Management Entities of set K_j , $j=1,\dots,J$, according to proportional probability

$$P_{Prop}[j,k] = \frac{1 - P_{Cong}[j,k]}{\sum_{\forall j \in K_j} (1 - P_{Cong}[j,k])}, \text{ i.e. from eNodeB } eNB_j \text{ to MME}_k \text{ before the next correction}$$

time the M2M traffic will be sent at rate $\lambda_j \times P_{Prop}[j,k]$, where λ_j is the rate of M2M traffic coming out of eNodeB eNB_j .

Step 4. If all entities of set K_j , $j=1,\dots,J$ are overloaded then find the maximal value $Max(P_{Cong}[j,k])$ to determine the most loaded MME_k. For the most loaded MME_k detect the most overloaded line between eNodeB from set J_k and MME_k according to probability $P_{Cong}[j,k]$, $j \in J_k$. Select maximal value $Max(P_{Cong}[j,k])$ and send a message about traffic reception failure withing the current time interval until the next load redistribution to the eNodeB eNB_j .

End of algorithm.

Numerical experiment

Algorithm of the optimal load distribution was applied to a simplified network model handling Machine-to-Machine traffic and consisting of four eNodeBs and three Mobility Management Entities. Simulation modeling was performed in the object oriented programming language Java for a segment of telecommunication network, calculation of the lost demands was made, and loading of the Mobility Management Entities was estimated. Additional search of the optimal time interval in which the network parameters shall be updated and the traffic redistributed between MMEs was made. Correction time parameter for demonstration of the algorithm was set to 10 s.

Numerical analysis used the following data: MMEs are represented as QS $M|M|1|R,H$, where $R=100$, $H=50$, $P_{Cong_Threshold}=0,5$, and eNodeBs are the sources generating load in the form of Machine-to-Machine traffic. Rate of demand generation by the eNodeB eNB_j $\lambda_j=1$ customers/s, average service time $\mu_k^{-1}=1$, $T=10$ s is the correction time.

Numerical experiment demonstrating the algorithm action was carried out for the loading data causing the overload regime, Fig. 2.

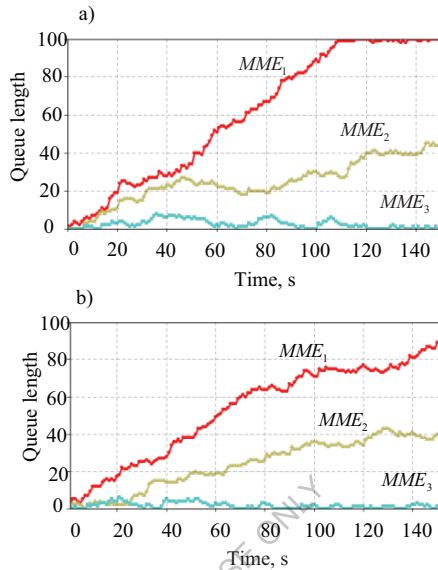


Fig.2 Queue length of MMEs a) at the uniform load distribution, b) for algorithm of the optimal M2M traffic distribution

Estimate the simulation results in the most loaded MME₁. During first 150 s of the numerical experiment in a model with the uniform load distribution there was 279 customers sent to MME₁, including 29 lost customers, 150 successfully handled customers, and 100 customers in the waiting queue. In a model with algorithm of the optimal M2M traffic distribution there was 239 customers distributed to MME₁, including 150 successfully handled customers, 89 customers in the waiting queue and none lost.

Conclusion and Outlook

This research handling of Machine-to-Machine traffic on example of a network segment consisting of four eNodeB and three Mobility Management Entities. Analysis of such performance factors like the queue length and the number of lost customers demonstrated advantage of the dynamic algorithm of the optimal M2M traffic distribution comparing to algorithm of the uniform distribution of traffic coming from the eNodeB to all connected Mobility Management Entities.

This work examined management of the Machine-to-Machine traffic of the constant temporal behavior. Subsequent research aim to compare algorithms of the load

distribution in the explosive behavior conditions which occur, for instance, in emergencies. Data acquired after application of the algorithm has to be compared with the data for the uniform load distribution model where traffic is distributed over all Mobility Management Entities leaving out of account the entity loads. A further optimization task is selection of the parameter correction time when the number of successfully handled customers is maximal.

FOR AUTHOR USE ONLY

References

- [1] Cisco Visual Networking Index: global mobile data traffic forecast update, pp. 1-42.
- [2] V. Hilt, E. Noel, C. Shen, A. Abdelal, “Design considerations for session initiation protocol (SIP) overload control,” RFC6357, 2011.
- [3] K. Samouylov, E. Zaripova, “Modelling local overload control mechanism of SIP server,” T-Comm – Telecommunication and Transport, No. 7, 2012, pp. 185-187.
- [4] Y. Gaidamaka, E. Zaripova, O. Vikhrova, “An application of polling system with exhaustive service discipline for a Sip-server analysis,” T-Comm – Telecommunication and Transport, No. 11, 2013, pp. 73-76.
- [5] D. Bouallouche, “Congestion control in the context of machine type communication in Long Term Evolution networks: a dynamic load balancing approach,” Networking and Internet Architecture, 2012, pp. 1-46.
- [6] E. R. Zaripova, S. I. Salpagarov, L. M. Goncharov, A. S. Pankratov “Vectorial problem on combinations on hypergraphs,” CEUR Workshop Proceedings, 8, Moscow, 2018. – P. 60-66.
- [7] D. A. Aminev, D. V. Kozyrev, A. P. Zhurkov, A. Y. Romanov and I. I. Romanova, “Method of automated control of distributed radio direction finding system,” Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), Omsk, Russia, 2017, pp. 1-9. DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239426
- [8] Y. N. Orlov, E. R. Zaripova, A. V. Chukarin, “Numerical aspects of statistical pattern recognition”, CEUR Workshop Proceedings : 1, Moscow, 2018. – P. 40-49.

Процедура установления соединения по радиоканалу случайного доступа

Аннотация: В настоящее время наблюдается стремительный рост числа устройств, обменивающихся между собой информацией в сети связи LTE (Long-Term Evolution), а также увеличение объема передаваемых данных. Актуальной является задача уменьшения нагрузки, как сигнальной, так и пользовательской, которую обслуживают сети связи. Для этого разрабатывают и внедряют алгоритмы упрощенного взаимодействия между пользовательскими устройствами и сетью с целью минимизации затраченных ресурсов сети. В статье исследуется процедура установления соединения между устройством и базовой станцией LTE. Вопрос передачи малых данных, образуемых межмашинными соединениями (M2M, Machine-To-Machine) может быть решен с помощью использования радиоканала случайного доступа RACH (Random Access Channel) для установления соединения. Такое решение было предложено в техническом отчете TR 37.868 консорциума 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Для процедуры установления соединения по радиоканалу случайного доступа необходимо оценить предварительные вероятностно-временные характеристики, такие как время установления соединения, вероятность успешного установления соединения, вероятность коллизии, статистика по числу преамбул при успешном установлении соединения. В данной статье приведены формулы для расчета необходимых характеристик.

Ключевые слова: Межмашинные соединения, канал произвольного доступа (RACH), вероятность коллизий, математическая модель, среднее время установления соединения.

Введение

Всевозможные технологические устройства, в том числе отвечающие за безопасность жизнедеятельности человека, работают в автономном режиме без участия человека и поддерживают передачу малых данных. Традиционные технологии беспроводной связи, в том числе сети 3GPP LTE, не позволяют эффективно M2M-соединения для большого числа одновременно взаимодействующих устройств. Сложность в обслуживании таких устройств базовыми станциями сети связи пятого поколения 5G заключается не только в большом количестве M2M-устройств, но и в необходимости частой передачи данных. Как и для всех новых технологий, анализ особенностей M2M-трафика требует предварительного анализа характеристик в зависимости от числа M2M-

устройств. Одно из возможных решений этой проблемы основано на использовании процедуры случайного доступа [1, 2, 3].

M2M-устройства, такие как пожарные датчики периодически отправляют малые объемы данных при работе в нормальном режиме. Тем не менее, в случае возникновения чрезвычайной ситуации, M2M-устройства генерируют трафик взрывного характера, который может привести к перегрузке. Передающиеся в большом объеме сообщения о нештатной ситуации создают коллапс на базовых станциях, откуда перегрузка перераспределяется на все близлежащие узлы сети связи. В случае сетевого коллапса возникают задержки доступа, что влечет кардинальное значение при аварийных и чрезвычайных ситуациях. Целью данной работы является аналитическая модель процедуры установления соединения между оборудованием пользователя и базовой станцией. В соответствии с [2] опорная схема процедуры состоит из четырех сообщений между пользовательскими устройствами (UE, User Equipment) и базовой станцией (BS, Base Station).

Разработчиками ведутся исследования, посвященные моделированию процедуры установления соединения по радиоканалу случайного доступа, например, найдено среднее время установления соединения с помощью имитационного моделирования [4, 5], некоторые характеристики в аналитических моделях [6, 7, 8], обзор известных работ по данному вопросу представлен в [9]. В отличие от известных результатов, цель данного исследования заключается в получении решения, которое зависит от минимального числа параметров процедуры установления соединения. Данная статья является продолжением работ [4, 6], где был предложен подход к аналитическому моделированию с использованием Марковской цепи.

В техническом отчете 3GPP [2] перечислены характеристики, рекомендуемые к исследованиям для M2M-соединений:

1. Вероятность коллизии, определяемая как отношение числа неудачных попыток, когда два или более M2M-устройства в один момент времени выбирают одну и ту же преамбулу, к общему числу возможных попыток установления соединения.
2. Вероятность успешного установления соединения, определяемая как вероятность успешного завершения соединения в пределах максимального числа разрешенных попыток отправки преамбул.
3. Статистика по количеству преамбул, необходимых для успешного установления соединения.

4. Статистика по времени установления соединения для процедуры установления соединения между первой попыткой отправки преамбулы до успешного соединения M2M-устройства с базовой станцией.

В текущей работе предлагаются вероятностно-временные характеристики, предлагаемые к исследованию в TR 37.868. Статья организована следующим образом. В разделе 2 кратко описана процедура из четырех сообщений по радиоканалу случайного доступа и основные упрощающие предположения. В разделе 3 представлены формулы для расчета ключевых показателей в замкнутой форме. В разделе 4 представлены численные примеры вероятностно-временных характеристик и перечислены задачи дальнейших исследований.

Процедура установления соединения

Широко известна процедура установления соединения между пользователем и базовой станцией с использованием четырех сообщений по радиоканалу случайного доступа [2, 4-9]. Процедура начинается с передачи преамбулы от оборудования пользователя к базовой станции (Msg1). После отправки преамбулы оборудование пользователя ожидает от базовой станции ответ в виде Msg2 (RAR, Random-Access Response). Если время ожидания Msg2 истекло и сообщение не получено, значит, произошла коллизия из-за наличия нескольких устройств, отправляющих одну и ту же преамбулу в один момент времени. В случае коллизии оборудование пользователя повторяет попытку передачи преамбулы после заранее заданного интервала ожидания. При превышении порога попыток передачи преамбулы процедура установления соединения по радиоканалу RACH признается неудачной. В случае успешной передачи преамбулы в виде Msg1 и получения ответа Msg 2, оборудование пользователя и базовая станция обмениваются сообщениями Msg3 и Msg4. Сообщение HARQ (Hybrid Automatic Repeat request) в виде сообщения Msg3 передается по радиоканалу PUSCH (Physical Uplink Shared Channel).

Ответное сообщение Msg4 является последним в процедуре установления соединения. Считается, что ответные сообщения Msg2 и Msg4 всегда гарантированно передаются. При превышении порога попыток передачи сообщений Msg3/Msg4 [2] необходимо заново передавать преамбулу и последующие сообщения.

Введем ряд упрощающих предположений для процедуры установления соединения и построим математическую модель для этой процедуры в виде дискретной Марковской цепи в соответствии с [6]. Введем обозначения для интервалов времени, необходимых на отправку и обработку сообщений. Время

установления соединения может быть рассчитано путем суммирования соответствующих временных интервалов, введенных ниже:

Δ_1^1 - время ожидания для синхронизации до передачи Msg1;

Δ_1^2 - время передачи Msg1;

Δ_1^3 - время обработки Msg1 на базовой станции;

Δ_1^4 - время ожидания ответа Msg2;

$\Delta_1 := \Delta_1^1 + \Delta_1^2 + \Delta_1^3 + \Delta_1^4$ - время от начала процедуры до отправки сообщения Msg 3 или повторной передачи преамбулы;

Δ_2 - время ожидания для повторной передачи Msg1;

Δ_3 - временной интервал после успешной передачи Msg1 и Msg 2 до отправки сообщения HARQ (Msg 3)

Δ_4 - время для передачи сообщения Msg3, ожидания ответного сообщения Msg4 и обработки успешно полученного Msg 4.

Введенные обозначения показаны на диаграмме последовательностей сообщений для случая успешного установления соединения без коллизий на рис. 1 и для случая с коллизиями на рис. 2.

При успешном соединении время установления равно сумме временных интервалов. При возникновении коллизии или при превышении порога на число попыток передачи сообщений Msg3 необходимы повторные попытки отправки преамбулы, что увеличивает время установления соединения. В настоящее время даны рекомендации для ограничения повторных передач для Msg1 и для Msg3 числами $N=9$ и $M=4$ [2] соответственно. Обозначим через p и g вероятность коллизий сообщений Msg1 и Msg2.

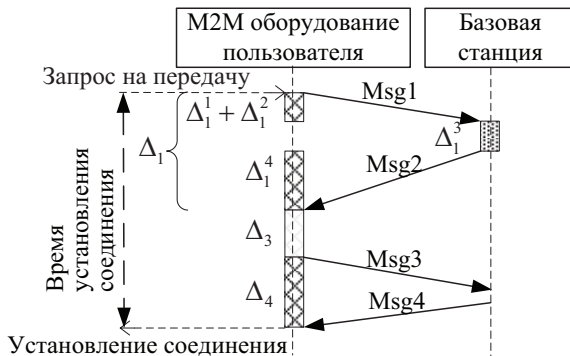


Рис. 1. Диаграмма последовательности сообщений без коллизий

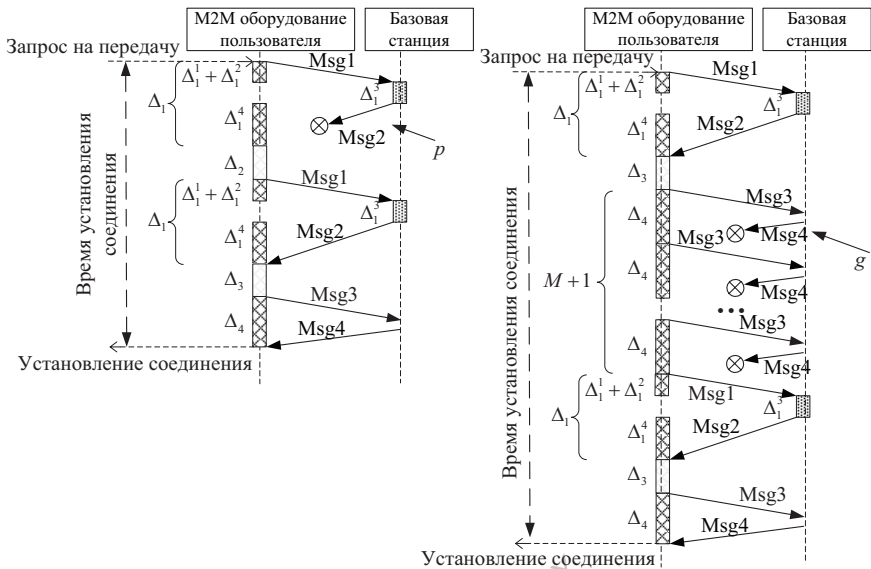


Рис. 2. Диаграммы последовательностей сообщений с коллизиями (а) коллизии преамбулы, (б) превышение порога на число попыток при отправке сообщений Msg3.

Математическая модель процедуры установления соединения

Опишем Марковскую цепь с дискретным временем $\{\xi_i, i=0, \dots, (N+1)(M+1)+1\}$ с пространством состояний $X = \{(n, m, k), n=0, \dots, N, m=0, \dots, M, k=0, \dots, n\} \cup \{\omega, \nu\}$, с начальным состоянием $(0, 0, 0)$, двумя поглощающими состояниями ω и ν . Начальное состояние представляет начало процедуры, после которой будет следовать первая попытка передачи преамбулы, поглощающее состояние ω , которое означает успешное установление соединения, и поглощающее состояние ν , означающее отказ в установлении соединения. Другие состояния обозначены (n, m, k) , где n - число ретрансляций Msg1, m - число ретрансляций Msg3 после последнего успешно переданного сообщения Msg1, и k - число успешно переданных сообщений Msg1, после которого все $M+1$ последующие передачи сообщений Msg3 не были переданы в результате коллизий. На рис. 3 изображен один из возможных путей от состояния $(0, 0, 0)$ до состояния (n, m, k) при успешном установлении соединения.

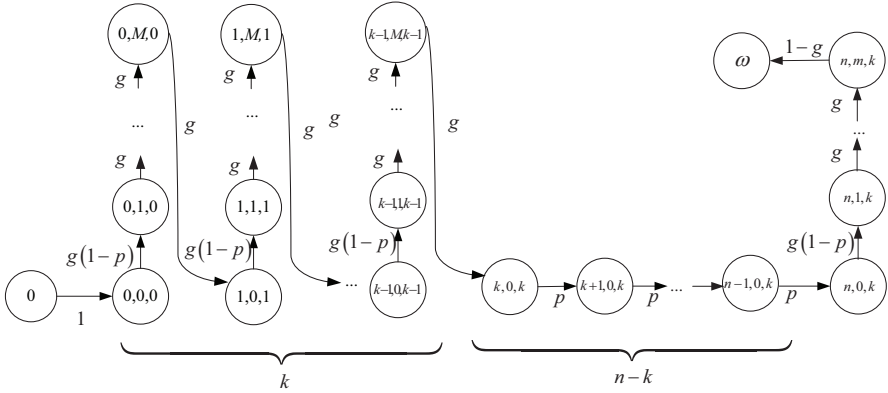


Рис. 3. Пример успешной процедуры с повторными передачами Msg1 и Msg3

Отметим, что время установления соединения в процедуре установления соединения по радиоканалу случайного доступа определяется как интервал времени от момента попытки первой передачи преамбулы до момента окончания обработки успешно полученного Msg4. Отметим, что в статье не различаются два разных пути, имеющие одинаковое время установление соединения в одном и том же состоянии (n, m, k) , после которого соединение будет установлено.

В этих предположениях вероятность $P(n, m, k)$ попадания в состояние (n, m, k) из состояния $(0, 0, 0)$ в цепи Маркова $\{\xi_i\}$ определяется по формуле

$$P(n, m, k) = p^{n-k} C_n^k \left((1-p)g^{M+1} \right)^k (1-p)g^m, \quad (n, m, k) \in X \quad (1)$$

Первый множитель p^{n-k} означает $n-k$ коллизий Msg1, множитель $\left((1-p)g^{M+1} \right)^k$ - k успешных передач Msg1, после каждой из которых следует $M+1$ ретрансляций Msg3, множитель $(1-p)g^m$ соответствует последней успешной передаче Msg1 с m ретрансляциями Msg3, биномиальный коэффициент C_n^k отражает число возможных путей, соответствующих такой процедуре.

Вероятность успешного установления соединения и вероятность отказа представлены формулами (2) и (3).

$$P(\omega) = \sum_{(n,m,k) \in X} P(n, m, k) \cdot (1-g) = 1 - \left(p + (1-p)g^{M+1} \right)^{N+1} \quad (2)$$

$$P(\nu) = 1 - P(\omega) = \left(p + (1-p)g^{M+1} \right)^{N+1} \quad (3)$$

Время $D(n, m, k)$ установления соединения из состояния (n, m, k) соответствует сумме временных интервалов, участвующих в процедуре и может быть описано формулой (4):

$$D(n, m, k) = (n - k)(\Delta_1 + \Delta_2) + k(\Delta_1 + \Delta_3 + M\Delta_4) + \Delta_1 + \Delta_3 + (m + l)\Delta_4 = (\Delta_1 + \Delta_2) \cdot n + \Delta_4 \cdot m + (\Delta_3 + M\Delta_4 - \Delta_2) \cdot k + \Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4. \quad (4)$$

Обозначим через $Q(n, m, k)$ вероятность того, что процедура установления соединения будет завершена сразу после состояния (n, m, k) . Из определения вероятности $Q(n, m, k)$ получим формулу (5):

$$Q(n, m, k) = \frac{P(n, m, k) \cdot (1 - g)}{P(\omega)} \quad (5)$$

Среднее время установления соединения D определяется по формуле

$$D = \sum_{(n, m, k) \in X} Q(n, m, k) D(n, m, k), \quad (6)$$

среднее время установления соединения может быть вычислено в явном виде по формуле (7):

$$D = (\Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4) + \Delta_4 \cdot \frac{g - (M + 1)g^{M+1} + Mg^{M+2}}{(1 - g)(1 - g^{M+1})} + (\Delta_1 + \Delta_2) \cdot \frac{\beta(1 - (N + 1)\beta^N + N\beta^{N+1})}{(1 - p)(1 - g^{M+1})(1 - \beta^{N+1})} + (\Delta_3 + M\Delta_4 - \Delta_2) \cdot \frac{g^{M+1}(1 - (N + 1)\beta^N + N\beta^{N+1})}{(1 - g^{M+1})(1 - \beta^{N+1})}. \quad (7)$$

где $\beta = p + g^{M+1}(1 - p)$ - суммарная вероятность ретрансляции преамбулы.

Функция распределения (ФР) времени установления соединения представлена формулой (8),

$$F_d(x) = \sum_{(n, m, k) \in X} \frac{P(n, m, k) \cdot (1 - g) \cdot u(x - D(n, m, k))}{P(\omega)}, \quad (8)$$

где $u(x)$ - функция Хевисайда.

Вероятность P_l , ФР $F_l(y)$ и преобразование Лапласа-Стилтьеса (ПЛС) $\alpha(s)$ того, что для установления соединения будет необходимо l преамбул, представлены формулами (9), (10) и (11):

$$P_l = \sum_{\substack{n=l-1 \\ (n, m, k) \in X}} \frac{P(n, m, k) \cdot (1 - g)}{P(\omega)} = \frac{(1 - p)(1 - g^{M+1})\beta^{l-1}}{1 - \beta^{N+1}}, \quad l = \overline{1, N + 1}, \quad (9)$$

$$F_i(y) = \sum_{1 \leq l \leq \lfloor y \rfloor} P_l = \frac{1 - \beta^{\lfloor y \rfloor}}{1 - \beta^{N+1}}, \quad (10)$$

$$\alpha(s) = \sum_{1 \leq l \leq N+1} P_l e^{-ls} = \frac{1 - \beta}{1 - \beta^{N+1}} \cdot \frac{1 - (\beta e^{-s})^{N+1}}{e^s - \beta}. \quad (11)$$

Для статистических данных можно использовать среднее число преамбул A , необходимых для успешного установления соединения (12) и δ -квантиль любого уровня $F_i(y_\delta) = \delta$ (13).

$$A = -\alpha'(s) \Big|_{s=0} = \frac{1 - (N+2)\beta^{N+1} + (N+1)\beta^{N+2}}{(1 - \beta^{N+1})(1 - \beta)}. \quad (12)$$

$$y_\alpha = \log_\beta(1 - \alpha + \alpha \cdot \beta^{N+1}). \quad (13)$$

Отметим, что для вероятности коллизий p при отправке преамбулы предлагаются различные решения. Например, в [2] предложена формула (14), а в [8] формула (15). Формула (15) не учитывает попытки доступа, которые в тот момент времени не нуждались в установлении соединения.

$$p = 1 - e^{-\gamma/L}, \quad (14)$$

$$p = 1 - e^{-\gamma/L} - \frac{\gamma}{L} e^{-\gamma/L}, \quad (15)$$

где γ - реальная интенсивность попыток доступа, а L - общее число возможных попыток доступа в секунду.

В текущей работе проведено сравнение (14) и (15) и использовалась для численного эксперимента формула (14), предложенная в [2].

Численный эксперимент

Для анализа вероятностно-временных характеристик рассмотрим одну соту сети LTE, поддерживающую обслуживание M2M-устройств, для данных, перечисленных в таблице 1 [2, 4, 5, 6, 9].

Таблица 1. Исходные параметры

Параметры	Обозначение	Значение
Количество возможных попыток доступа (индекс конфигурации физического канала случайного доступа 6)	L	200
Максимальное число ретрансляций преамбул (Msg1)	N	9
Максимальное число ретрансляций сообщений HARQ (Msg3)	M	4
Число преамбул в слоте для передачи Msg1	N_{pr}	54

Параметры	Обозначение	Значение
Вероятность коллизии преамбулы (Msg1)	p	$[0;1]$
Вероятность коллизии HARQ (Msg3)	g	0,02; 0,5; 0,8; 0,95
Время от начала процедуры до отправки сообщения Msg 3 или повторной передачи преамбулы	Δ_1	10,5 мс
Время отклика (Backoff window)	Δ_2	20 мс
Временной интервал после успешной передачи Msg2 до отправки Msg3	Δ_3	5 мс
Временной интервал для отправки Msg3, ожидания и обработки Msg4	Δ_4	6 мс

Для эксперимента выбрана следующая схема генерируемого M2M-трафика: M2M-устройства генерируют запросы базовой станции равномерно, 90% M2M-устройств, находящихся в соте нуждаются в корректировке местоположения с периодичностью 10 с.

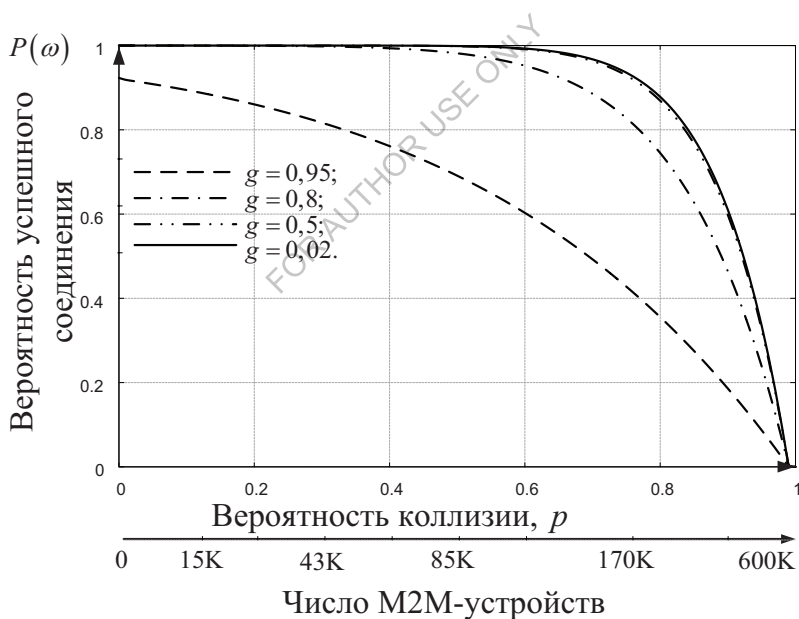


Рис. 4. Вероятность успешного установления соединения

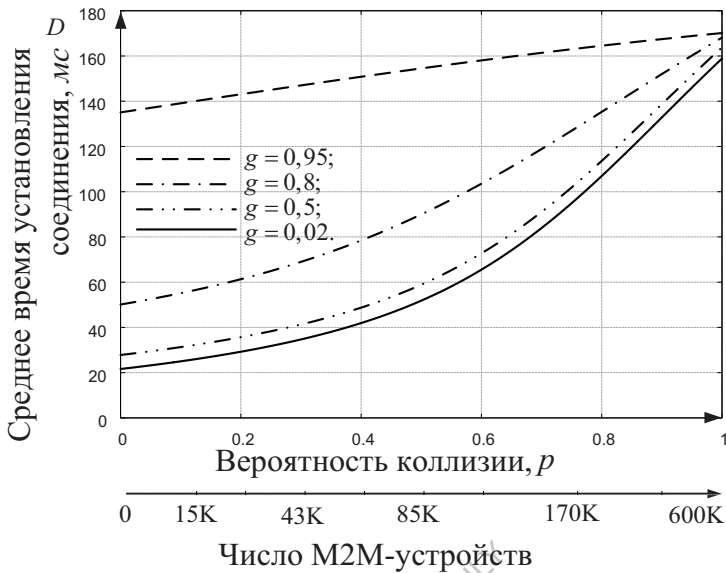


Рис. 5. Среднее время установления соединения

На рис. 4. и 5 показана зависимость вероятности успешного соединения и среднего времени установления соединения от вероятности коллизии и числа M2M-устройств в сети и различных вероятностях повторной передачи HARQ g . Графики показывают, что при $g \leq 0,5$ даже при вероятности коллизий $p = 0,6$ вероятность успешного доступа близка к 1. Среднее время установления соединения зависит от изменения вероятности коллизии p и g , и может достигать 170 мс из-за значительного количества повторных передач преамбулы и HARQ-сообщений.

Полученные в данной статье результаты в части вероятности успешного установления соединения могут быть применены, например, в службах управления парком такси при аэропортах. Среднее время при установлении соединения крайне важно в области мониторинга землетрясений, поскольку даже десятки миллисекунд важны при реагировании экстренными службами. Все перечисленные [2] характеристики для сетей LTE выражены в явном виде и могут быть использованы для предварительного анализа.

Интересной задачей для дальнейших исследований является построение на основе данной математической модели процедуры установления соединений с использованием схемы I-RA (Improved Random Access) с D2D-RA-устройствами (Device-to-Device), агрегирующими информацию для передачи на базовую

станцию от всех близлежащих M2M-устройств. Другой задачей является применение процедуры запрета классов вызовов ACB (Access Class Baring) на основе процедуры установления соединения по радиоканалу случайного доступа, исследованной в данной работе.

FOR AUTHOR USE ONLY

Список использованных источников

- [1] 3GPP LTE Release 10 & beyond (LTE-Advanced), MTC Enhancements.
- [2] 3GPP TR 37.868 – Study on RAN Improvements for Machine-type Communications. Release 11. Sept. 2011 (2011)
- [3] 3GPP TR 37.869 - Study on Enhancements to Machine-Type Communications and other Mobile Data Applications; RAN Aspects. Release 12. Sept. 2013 (2013)
- [4] Wei, C.-H., Bianchi, G., Cheng, R.-G.: Modelling and analysis of random access channels with bursty arrivals in OFDMA wireless networks. IEEE Trans. on Wireless Commun. 14 (4), 1940-1953 (2015)
- [5] Ray-Guang Cheng, Chia-Hung Wei, Shiao-Li Tsao, and Fang-Ching Ren. RACH collision probability for Machine-Type Communications. Proc. IEEE 75th Veh. Technol. Conf., May 2012, pp. 1-5 (2012)
- [6] M. Condoluci, G. Araniti, M. Dohler, A. Iera, and A. Molinaro, “Virtual code resource allocation for energy-aware MTC access over 5G systems,” Ad Hoc Networks, vol. 43, pp. 3–15, Jun. 2016

FOR AUTHOR USE ONLY

К анализу времени выполнения бизнес-процесса телекоммуникационной компании

Первостепенной задачей любой компании является повышение рентабельности и конкурентоспособности в нынешних нестабильных условиях рынка. Для достижения этих целей необходимо своевременно анализировать качество и время выполнения бизнес-процессов компании [1].

В работе предложен подход к анализу времени выполнения процесса хорошо зарекомендовавшими себя методами теории массового обслуживания. Для оценки времени выполнения процесса был выбран сквозной эталонный бизнес-процесс «Запрос-Решение» в рамках концепции eTOM (англ., enhanced Telecom Operations Map) [2]. Подпроцессы процесса «Запрос-Решение» при исследовании были разделены по смыслу на 5 крупных блоков, каждый из которых был в дальнейшем реализован в виде отдельного узла в процессной модели обслуживания клиента.

Модель исследуемого бизнес-процесса может быть представлена в виде открытой неоднородной экспоненциальной сети массового обслуживания $\langle M, \Theta_0, \lambda_0; \mu_i, i \in M \rangle$ с узлами двух типов – однолинейный узел с бесконечной очередью $M|M|1|_{\infty}$ и бесконечнолинейный узел типа $M|M|_{\infty}$, $|M| = 5$. Заявка в такой сети соответствует запросу клиента, а узел сети – процессу или группе процессов.

Для узлов типа $M|M|1|_{\infty}$ среднее время пребывания заявки в узле имеет вид

$$Mv_i = \frac{1}{\mu_i - \lambda_i}, \quad i \in \{1, 5\}, \quad (1)$$

а для узлов типа $M|M|_{\infty}$ среднее время пребывания заявки в узле определяется формулой

$$Mv_i = \mu_i^{-1}, \quad i \in \{2, 3, 4\}. \quad (2)$$

Тогда среднее время пребывания заявки в СеМО может быть рассчитано по формуле

$$Mv = \frac{1}{\lambda_0} \left[\sum_{i \in \{1, 5\}} \frac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i} + \sum_{i \in \{2, 3, 4\}} \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right].$$

Приведем пример численного расчета. После оценки среднего времени выполнения процесса можно сравнить его среднее значение Mv при максимально возможной входящей интенсивности запросов клиентов $\lambda_0^{\max} = 1$

запрос в минуту с пороговыми значениями. Средние длительности выполнения подпроцессов процесса «Запрос-Решение» составляют $\mu_1^{-1}=5$ мин., $\mu_2^{-1}=80$ с, $\mu_3^{-1}=10$ с, $\mu_4^{-1}=1$ с, $\mu_5^{-1}=1$ мин.

Среднее время выполнения бизнес-процесса $MV = 3,6$ мин. сравнивается с двумя пороговыми значениями $T_1^{\max} = 3$ мин. и $T_2^{\max} = 6$ мин.

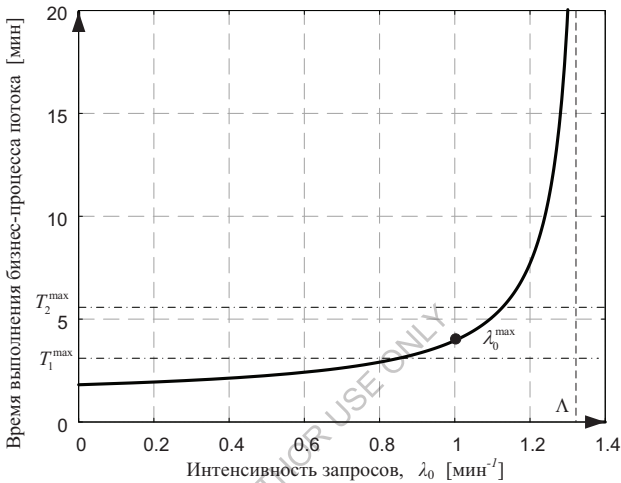


Рис. 1. Время выполнения бизнес-процесса «Запрос-Решение»

При заданном пороге $T_1^{\max} = 3$ мин. среднее время выполнения бизнес-процесса превышает допустимые значения, и процесс «Запрос-Решение» нуждается в увеличении скоростей обслуживания в каждом подпроцессе. При втором пороговом значении $T_2^{\max} = 6$ мин. корректировка скоростей подпроцессов не требуется.

В дальнейшем планируется ввести систему штрафов, которая будет учитывать стоимость ожидания для некоторых типов запросов в процессах телекоммуникационной компании.

Список использованных источников

[1] *Чукарин А.В., Самуйлов К.Е., Яркина Н.В.* Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении телекоммуникационными компаниями. Монография. – М.: Альпина Паблишерз. 2016. – 619 с.: ил.

[2] TeleManagement Forum. Enhanced Telecom Operations Map (eTOM) The Business Process Framework. [Электр. ресурс] // URL: www.tmforum.org (дата обращения: 01.10.2016)

[3] *Чукарин А.В., Заринова Э.Р., Смирнова Н.М., Гайдамака А.А.* Оптимизация времени выполнения бизнес-процесса в телекоммуникационной компании. X Международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии Информационного Общества»: сборник трудов. Стр. 80-81. 16-17 марта 2016. Изд-во: ООО «Издательский дом Медиа Паблишер» (Москва) Организатор: Московский технический университет связи и информатики.

FOR AUTHOR USE ONLY

Об аналитической модели времени установления соединения по радиоканалу случайного доступа

Введение

Сети LTE (Long-Term Evolution) предлагают пользователям увеличенную пропускную способность при передаче данных, чем предыдущие поколения. Сети связи обслуживают полезную и обслуживаемую ее сигнальную нагрузку. Актуальной является задача уменьшения нагрузки, обслуживаемой сетью связи, а также предложение и последующее внедрение новых алгоритмов передачи данных и их предварительная оценка. Одной из самых распространенных процедур в сетях связи является процедура установления соединения. В данной работе исследуется вопрос передачи малых данных, образуемых межмашинными соединениями (M2M, Machine-To-Machine). В настоящее время процедура установления соединения предполагает обслуживание 17 сигнальных сообщений до момента установления соединения. Одним из возможных способов оптимизации процедуры установления соединения для M2M-соединений является уменьшение числа сообщений в процедуре до 4 и передача сообщений по радиоканалу случайного доступа RACH (Radio Access Channel). Такое решение было предложено в стандарте TR 37.868 консорциума 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [1]. Для предложенного решения актуальными остаются вопросы нахождения вероятностно-временных характеристик, две из которых предлагаются в данной работе: среднее время установления соединения и вероятность успешного установления соединения. Приведен численный эксперимент для данных, близких к реальным.

Процедура установления соединения

В настоящее время наблюдается рост числа устройств, подключенных к сети Интернет, которые передают данные. К таким устройствам относятся различные датчики и счетчики, передающие данные при малейших изменениях. Большинство таких устройств предназначено для обеспечения безопасности человеческой жизнедеятельности, поэтому своевременная передача, этот аспект активно исследуется разработчиками [1, 2, 3]. В настоящей работе приведена оценка вероятности установления соединения и среднего времени установления соединения. Эти характеристики являются важными вероятностно-временными характеристиками и рекомендованы к исследованию в стандарте [1, раздел 6.3.1].

Для синхронизации M2M-устройств с базовой станцией и дальнейшей передачи данных используется процедура установления соединений

по радиоканалу случайного доступа RACH, состоящая из передачи четырех последовательных сообщений. При передаче первого сообщения, направленного на выделение преамбулы (Msg 1), возможны коллизии в случае, если два или более M2M-устройств передают одинаковые преамбулы на базовую станцию. При успешной передаче преамбулы базовой станцией транслируется ответ типа RAR (Random Access Response, Msg 2). При возникновении коллизии не отправляется ответ в виде Msg 2, в этом случае M2M-устройство ожидает определенный период времени и пытается отправить преамбулу повторно. Количество повторно отправленных преамбул, переданных одним M2M-устройством в рамках процедуры установления соединения ограничено числом M [1]. При превышении числа возможных ретрансляций M преамбулы соединение не является установленным.

После успешного обслуживания сообщений Msg 1 и Msg 2 следует еще одна пара сообщений (Msg 3 и Msg 4) между M2M-устройством и базовой станцией. Сообщение HARQ (Hybrid Automatic Repeat request) в виде сообщения Msg 3 передается по радиоканалу PUSCH (Physical Uplink Shared Channel). Сообщение Msg 3 не будет передано в случае отсутствия свободных радиоресурсов. Ответное сообщение Msg 4 является последним в процедуре установления соединения. Считается, что ответные сообщения Msg 2 и Msg 4 всегда гарантированно передаются. Количество ретрансляций сообщения Msg 3 ограничено числом N [1]. При превышении числа возможных ретрансляций N необходимо заново ретранслировать преамбулу (Msg 1).

В работе [3] предложена цепь Маркова, описывающая процедуру установления соединения, проведено имитационное моделирование, приведены оценки временных характеристик. В текущей работе продолжены исследования [3], получены характеристики для аналитической модели, результаты представлены в явном виде через формулы. Время установления соединения рассчитывается как сумма временных интервалов между первой отправкой сообщения Msg 1 и сообщением Msg 4.

Расчет времени установления соединения

На рис. 1 изображен пример установления соединения в виде последовательной отправки сообщений между M2M-устройством и базовой станцией без коллизий и повторных передач.

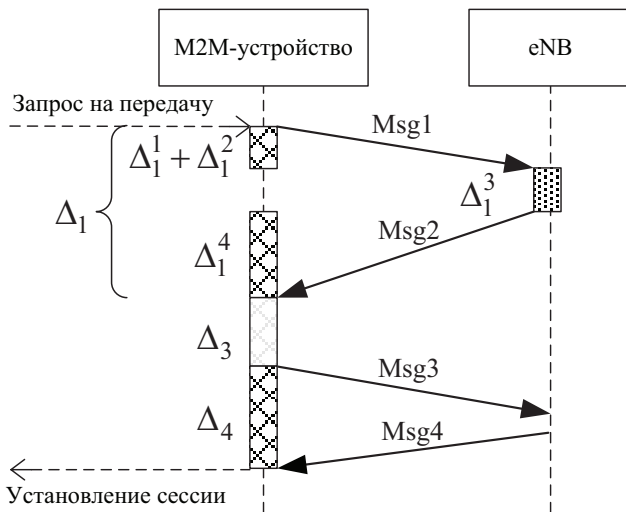


Рис. 1. Установление соединения по радиоканалу случайного доступа RACH без коллизий и повторных передач

Минимальное время установления соединения представлено формулой (1).

$$D_{\min} = \underbrace{\Delta_1^1 + \Delta_1^2 + \Delta_1^3 + \Delta_1^4}_{\Delta_1} + \Delta_3 + \Delta_4 \quad (1)$$

Описание временных интервалов процедуры доступа к каналу RACH приведено в таблице 1.

Таблица 1. Временные интервалы процедуры установления сессии по радиоканалу случайного доступа RACH

Интервал	Описание
Δ_1	временной интервал, предназначенный на отправку Msg 1 и ответ в виде Msg 2 в случае успеха, или включающий период времени ожидания в случае неуспеха $\Delta_1 := \Delta_1^1 + \Delta_1^2 + \Delta_1^3 + \Delta_1^4$
Δ_2	временной интервал для ретрансляции преамбулы (Msg 1)
Δ_3	временной интервал после успешной передачи преамбулы и сообщения Msg 2 до отправки сообщения HARQ (Msg 3)
Δ_4	временной интервал, предназначенный для передачи и обслуживания Msg 3 и отправки ответа в виде Msg 4

Каждая дополнительная попытка передачи преамбулы добавляет ко времени установления сессии интервал $(\Delta_1 + \Delta_2)$, каждый повторный запрос на передачу сообщения HARQ добавляет ко времени установления сессии интервал Δ_4 (рис. 1). Пусть n - общее число переданных преамбул, m - число сообщений HARQ после последней успешно переданной преамбулы, k - число успешно переданных преамбул, после которых все последующие сообщения HARQ были переданы неуспешно.

Время установления соединения с учетом возможных коллизий и повторных передач находится по формуле (2).

$$D(n, m, k) = (n - k)(\Delta_1 + \Delta_2) + k(\Delta_1 + \Delta_3 + M\Delta_4) + \Delta_1 + \Delta_3 + (m + 1)\Delta_4 = (2) \\ = (\Delta_1 + \Delta_2) \cdot n + \Delta_4 \cdot m + (\Delta_3 + M\Delta_4 - \Delta_2) \cdot k + \Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4.$$

Опишем процедуру установления соединения в виде цепи Маркова с дискретным временем $\{\xi_i, i = 0, \dots, (N + 1)(M + 1) + 1\}$ с пространством состояний $\mathbf{X} = \{(n, m, k), k = 0, \dots, n, n = 0, \dots, N, m = 0, \dots, M\} \cup \{\omega, \upsilon\}$, где два последних состояния являются поглощающими. Пусть p - вероятность коллизии при передаче преамбулы, а g - вероятность ретрансляции сообщения HARQ.

Цепь Маркова $\{\xi_i\}$ попадет в состояние (n, m, k) из состояния $(0, 0, 0)$ с вероятностью

$$P(n, m, k) = p^{n-k} C_n^k \left((1-p)g^{M+1} \right)^k (1-p)g^m, (n, m, k) \in \mathbf{X}. \quad (3)$$

Вероятность успешного установления соединения $P(\omega)$ находится по формуле (4).

$$P(\omega) = \sum_{(n, m, k) \in \mathbf{X}} P(n, m, k) \cdot (1-g) = 1 - \left(p + (1-p)g^{M+1} \right)^{N+1}. \quad (4)$$

Вероятность установления соединения из состояния (n, m, k) при условии, что соединение было установлено, выражается формулой (5).

$$Q(n, m, k) = \frac{P(n, m, k) \cdot (1-g)}{P(\omega)}. \quad (5)$$

Среднее время установления соединения находится по формуле (6).

$$\begin{aligned}
 D = & \sum_{(n,m,k) \in X} Q(n,m,k)D(n,m,k) = (\Delta_1 + \Delta_3 + \Delta_4)(1 - C^{N+1}) + \\
 & + \Delta_4 \frac{g - (M+1)g^{M+1} + Mg^{M+2}}{(1-g)} \frac{1 - C^{N+1}}{(1 - g^{M+1})} + \\
 & + (\Delta_1 + \Delta_2) \frac{C - (N+1)C^{N+1} + NC^{N+2}}{(1-p)(1 - g^{M+1})} + \\
 & + (\Delta_3 + M\Delta_4 - \Delta_2) \frac{g^{M+1}}{(1 - g^{M+1})} (1 - (N+1)C^N + NC^{N+1}), \\
 C = & p + g^{M+1}(1-p).
 \end{aligned} \tag{6}$$

Численный эксперимент

На рис. 2 и 3 показаны исследуемые характеристики, такие как вероятность успешного установления соединения $P(\omega)$ и среднее время установления соединения D для четырех значений вероятностей повторных передач $g = 0,02$, $g = 0,5$, $g = 0,8$ и $g = 0,95$.

Графики, полученные по формулам (4) и (6), имеют одинаковый характер. При увеличении вероятности коллизий p уменьшается вероятность успешного установления соединения и увеличивается среднее время установления соединения из-за увеличения количества ретрансляций преамбулы. Аналогично ведут себя графики при увеличении вероятности g (вероятности ретрансляции сообщения HARQ) вследствие увеличения количества ретрансляций сообщения HARQ.

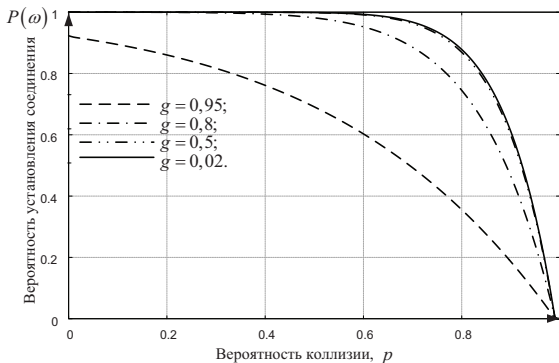


Рис. 2 Вероятность успешного установления соединения

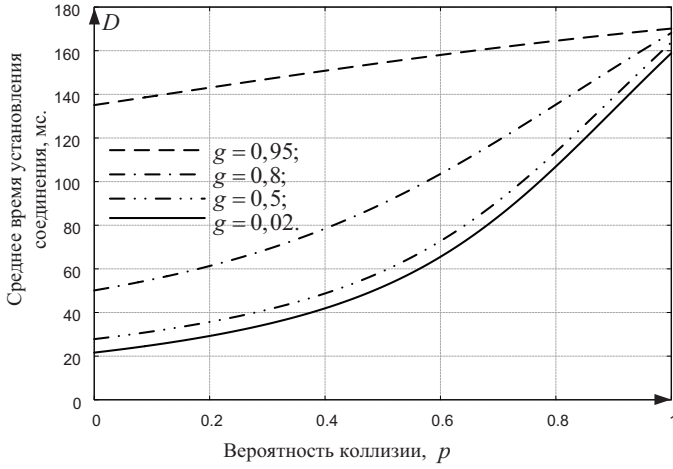


Рис. 3 Среднее время установления соединения

Авторы планируют продолжить исследования вероятностно-временных характеристик для процедуры установления соединения по каналу радиодоступа, привести вывод функции распределения времени установления соединения.

Список использованных источников

- [1] 3GPP TR 37.868 – Study on RAN Improvements for Machine-type Communications. (Release 11). 2011.
- [2] M. Gerasimenko, V. Petrov, O. Galinina, S. Andreev, and Y. Koucheryavy. Impact of M2M

FOR AUTHOR USE ONLY

Об оценке среднего времени фильтрации мультимедийного трафика в межсетевом экране

Для предоставления мультимедийных услуг в телекоммуникационных сетях связи необходимо обеспечивать возможность непрерывного функционирования сети и безопасность передачи данных. Учитывая распределённую архитектуру сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN), при которой атаки могут совершаться в различных точках на границах сети, возникают технические сложности в обеспечении безопасности таких систем. Одним из способов защиты сетей NGN могут служить межсетевые экраны (МЭ).

Исследование влияния МЭ на общее время процедуры установления сессии, оценка среднего времени и доля времени фильтрации трафика в МЭ, приведенные в статье [1] показывают, что участие МЭ в сети увеличивает время передачи данных, но при этом обеспечивает фильтрацию и контроль проходящих через него сетевых сообщений. Эффективность фильтрации зависит от правил, по которым МЭ пропускает или удаляет пакеты.

Процедура фильтрации трафика, рассматриваемая на примере меж сетевого экрана Cisco ASA, происходит поэтапно, при участии таких блоков внутри МЭ, как буфер входного и выходного интерфейса, кольцевой принимающий и передающий буфер памяти контроллера, центральное процессорное устройство (ЦПУ), оперативная память (ОП) [2].

В данной работе построена функциональная схема обработки пакета данных в межсетевом экране на примере модели Cisco ASA 5500 с обслуживающим модулем SSP-10 и приведена математическая модель обслуживания заявок в МЭ с помощью математической теории телетрафика (МТТ) и методов теории массового обслуживания (ТМО). МЭ здесь представлен как сеть массового обслуживания (СеМО), которая состоит из трех систем массового обслуживания (СМО). Первые две СМО обслуживают заявки двух типов с относительным приоритетом в буфере входного интерфейса и в кольцевом принимающем буфере, а третья СМО – обслуживает заявки, выходящие после успешного обслуживания в первой или второй СМО, осуществляя фильтрацию пакетов по правилам.

Для анализа среднего времени пребывания заявки на узлах СеМО сначала рассматриваются узлы 1 и 2, которые по классификации Башарина-Кендалла

соответствуют СМО $M | M | 1 | R_i, i \in \{1; 2\}$. Вероятность потери π_i в узлах 1 и 2,

где $\rho_i = \frac{\lambda_{0i}}{\mu_{ii}}$ – нагрузка, рассчитываются по формуле (1)

$$\pi_i = \begin{cases} \frac{\rho_i^{1+R_i}(1-\rho_i)}{1-\rho_i^{2+R_i}}, & \rho_i \neq 1, \\ \frac{\rho_i^{1+R_i}}{2+R_i}, & \rho_i = 1, \quad i=1, 2. \end{cases} \quad (1)$$

Среднее время пребывания i -го потока в i -й СМО v_{ii} по формуле (2).

$$v_{ii} = \omega_{ii} + \frac{1}{\mu_{ii}} = \begin{cases} \frac{\rho_i^{2+R_i}(R_i\rho_i - R_i - 2 + \rho_i) + \rho_i}{\lambda_{0i}(1-\rho_i)(1-\rho_i^{1+R_i})}, & \rho_i \neq 1, \\ \frac{R_i + 2}{2\mu_{ii}}, & \rho_i = 1, \quad i=1; 2. \end{cases} \quad (2)$$

Среднее время ожидания начала обслуживания для заявок в третьем узле находится по формуле (3) для приоритетных заявок типа 1, и по формуле (4) для неприоритетных заявок типа 2 [3].

$$v_{31} = \omega_{31} + \frac{1}{\mu_{31}} = \frac{\rho_{13} + \rho_{23}}{1 - \rho_{13}} + \frac{1}{\mu_{31}} \quad (3)$$

$$v_{32} = \omega_{32} + \frac{1}{\mu_{32}} = \frac{(\rho_{13} + \rho_{23})^2}{(\lambda_{13} + \lambda_{23})(1 - \rho_{13})(1 - \rho_{13} - \rho_{23})} + \frac{1}{\mu_{32}} \quad (4)$$

Среднее время пребывания в СеМО приоритетных и неприоритетных заявок вычисляется по формуле (5).

$$v_i = v_{ii} + v_{3i}, \quad i=1, 2. \quad (5)$$

Конечная формула позволяет оценить среднее время обслуживания заявок разного типа в МЭ, который представлен в виде модели СеМО с тремя узлами СМО.

Список использованных источников

[1] *Самуйлов К.Е., Ботвинко А.Ю., Зарипова Э.Р.* Оценка времени установления сессии между пользователями при наличии межсетевых экранов // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». – М.: Изд-во РУДН. – 2016. – №1. – Стр. 59-66.

[2] *Ботвинко А.Ю., Самуйлов К.Е.* Математическая модель работы межсетевых экранов для мультимедийного трафика // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №12. – С. 56-60.

[3] *Соколов А.Н., Соколов Н.А.* Однолинейные системы массового обслуживания: учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Теледом» ГОУВПО СПбГУТ, 2010.- 112 с.

FOR AUTHOR USE ONLY

О задаче перенаправления информации при обнаружении перегрузки техногенного характера

Аннотация. В статье ставится проблема потери передаваемой информации в случае перегрузки отдельных сегментов сети связи, например, в случае взрывного характера трафика. Приведены актуальные прогнозы по увеличению количества мобильных устройств до 2023 года, выделена быстрорастущая категория устройств, исследован наиболее уязвимый сегмент сети связи. Предложен подход межузлового управления на примере взаимодействия базовых станций и узлов управления мобильностью с использованием пороговых значений загруженности. Приведено сравнение результатов алгоритма Round Robin с алгоритмом оптимального распределения трафика. Даны рекомендации применения подхода при взрывном характере трафика, описаны возможные области применения перераспределения информации/задач в зависимости от загруженности последующих элементов.

Ключевые слова. межмашинные соединения, перегрузка, алгоритм кругового обслуживания, алгоритм оптимального распределения трафика, вероятность.

Актуальность исследования

К концу 2023 года по прогнозам Cisco [1] до 70 процентов населения земного шара будут иметь доступ в Интернет, причем число пользователей Интернета составит 5,3 миллиарда человек. Число устройств, подключенных к IP-сетям, более чем в три раза превысит численность населения планеты, и на душу населения будет приходиться по 3,6 сетевых устройств. Речь идет не только о личных телефонах, но и других датчиках и счетчиках, подключенных к сети Интернет, которые могут передавать информацию друг другу в автоматическом режиме без участия человека. Для обозначения такого рода устройств используется термин «межмашинные соединения» (M2M, Machine-to-Machine). К 2023 году количество M2M соединений может достигнуть до половины от всех подключенных соединений, т.е. около 14,7 миллиарда подключений. M2M подключения используются для передачи данных по геолокации, температуре окружающей среды, для передачи визуального восприятия и фиксации значимых для решения задач оперативно-розыскной деятельности явлений, деяний, событий и процессов. Данные могут быть переданы по периодам раз в несколько минут или при наступлении каких-либо

событий. Объектами наблюдения могут быть лица, в отношении которых имеется информация о подготовке или совершении преступлений, их родственники или знакомые, места хранения орудий преступлений, места возможного совершения преступлений, места расположения значимых техногенных объектов. Самой быстрорастущей категорией мобильных устройств на сегодня признано M2M, а второе по росту количества устройств в мире место занимают смартфоны. По прогнозам Cisco количество M2M устройств продолжит расти до 30 процентов ежегодно. К 2023 году наибольшую долю будут занимать подключенные домашние приложения (около 48% всех подключенных M2M устройств), а самым быстрорастущим типом приложений будет «подключенный автомобиль» (прогнозируется прирост подключений до 30% ежегодно), количество таких устройств будет расти в среднем на 7% ежегодно. В связи с исследованием прогноза по увеличению количества устройств, подключенных к сети Интернет, в том числе большой рост M2M устройств, включающих всевозможные счетчики и датчики, можно сделать вывод об увеличении нагрузки на элементы сети связи, передающие данные от M2M устройств, такие как базовые станции (eNodeB в сети LTE), узлы управления мобильностью (Mobility Management Entity, MME) и последующие элементы сети. Кроме того, в ближайшем будущем прогнозируется не только увеличение количества M2M устройств, но также и кратное увеличение передаваемых данных от одного устройства. Актуальной остается задача балансировки входящего трафика на базовые станции и последующие элементы сети. Этой проблематике посвящены методы межузловое управления трафиком в телекоммуникационных сетях, локального управления (внутри одного элемента сети) и сквозного управления (с помощью маршрутизации) [2]. Необходимо заметить, что передаваемый трафик может делиться на передачу данных (непосредственно передаваемые другим абонентам или M2M устройствам сети связи) и сигнальную информацию (так называемая служебная информация о доступности каналов связи и выделении ресурсов под последующую передачу данных, о местоположении мобильного устройства, о завершении сеанса связи).

Постановка задачи исследования

Базовая станция eNodeB обслуживает все M2M устройства, которые находятся в ее зоне обслуживания. Межмашинные устройства могут находиться на границе нескольких зон обслуживания базовых станций, в этом случае

применяется пороговый или гистерезисный подход для выбора базовой станции и последующей передачи информации.

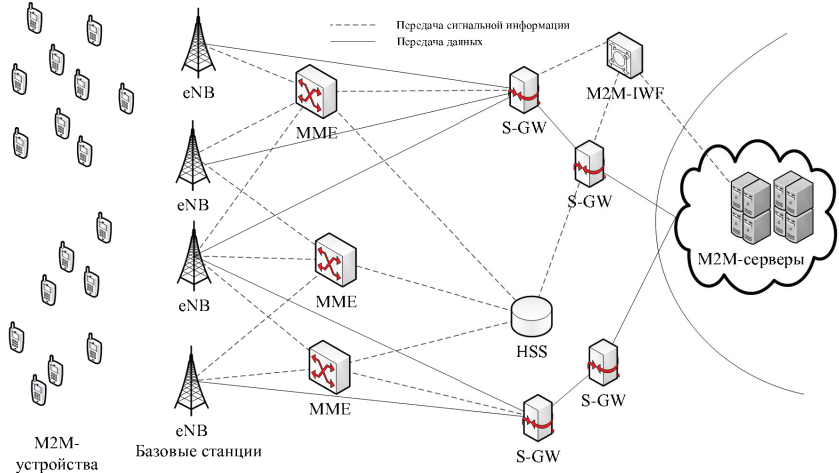


Рис.1. Пример передачи сигнальной информации и передачи данных в сегменте сети с 4 базовыми станциями (eNodeB) и 3 узлами управления мобильностью (MME).

После поступления данных на базовую станцию определяется маршрут следования информации по дальнейшей цепочке, выбирается один из узлов управления мобильностью, далее сервер абонентских данных HSS (Home Subscriber Server) и обслуживающий шлюз S-GW (Serving Gateway), функциональный модуль M2M-IWF (M2M Inter Working Function), отвечающий за межсетевой обмен данными [3].

Информация от M2M устройства поступает на базовую станцию. В случае, если она перегружена, идет отказ в обслуживании, и информация может быть передана через соседнюю базовую станцию. Отказ работы базовой станции из-за перегрузки решается локальными методами управления перегрузкой, а в данной работе рассматривается пример межузловое управление на примере взаимодействия базовых станций и узлов управления мобильностью.

Отметим, что описание функционирования сегмента сети связи при нарастающей нагрузке проводится в рамках определения случайной вероятности, введенной Колмогоровым А.Н. [4], с использованием терминов теории массового обслуживания [5] и математической теории телеграфика [6]. Перегрузка оказывает значительное влияние на QoS показатели системы, такие

как вероятность прохождения данных между двумя точками сети, джиттер, а также и QoS показатели, такие как время ожидания абонентом запрашиваемых данных, непрерывность предоставляемых услуг от начала до конца, особенно это касается видеоконтента [7-11].

Базовые станции по своим структурным характеристикам могут быть разными, их загрузка зависит от количества абонентов в обслуживаемой зоне. В местах скопления людей или M2M устройств спрос на качественные услуги без прерывания связи возрастает.

В данной работе ставится задача исследовать два варианта передачи данных от базовых станций к узлам управления мобильности: 1) по алгоритму Round Robin (последовательное распределение информации по круговому циклу) без учета загруженности последующих узлов управления мобильностью и 2) с обратной связью от загруженных узлов управления мобильностью и последующим перераспределением нагрузки от базовых станций. Вторым вариантом может быть «включен» по сигналу от самого узла ММЕ, при достижении порогового значения загруженности, например, $P_{Cong_Threshold} = 0,5$. В этом случае, базовые станции, направляющие данные на этот узел управления мобильностью, начнут перераспределять большую часть данных по другим узлам ММЕ, балансируя таким образом нагрузку. Алгоритм оптимального распределения M2M трафика [3] может быть применен не только после обнаружения загруженного узла управления мобильностью, но также по периодам времени, например, в ЧНН (часы наибольшей нагрузки).

Рассмотрим пример из трех узлов ММЕ, трафик данных (полезной и сигнальной нагрузки) перераспределяется от четырех базовых станций. Каждый узел ММЕ будет получать «долю» нагрузки от базовой станции $\lambda_j \times P_{Prop}[k]$, которую он сможет обслужить, где λ_j - интенсивность M2M трафика, выходящего из j -той базовой станции, $j=1, \dots, 4$. $\lambda_j P_{Prop}[j, k]$ - «доля» трафика, направляемая от j -той базовой станции в k -тый узел управления мобильностью, $k=1, \dots, 3$. $P_{Cong}[k]$ - вероятность загруженности узла управления мобильностью. Пропорциональную вероятность для каждого узла можно вычислить по формуле (1):

$$P_{Prop}[j, k] = \frac{1 - P_{Cong}[k]}{\sum_{\forall j \in \{1, 2, 3\}} (1 - P_{Cong}[k])} \quad (1)$$

Численный эксперимент

Для моделирования были использованы следующие исходные данные: интенсивность генерации сообщений от базовых станций в узлы ММЕ $\lambda_j = 1$ сообщ./с, среднее время обслуживания $\mu_k^{-1} = 1$. Время моделирования – 100 с. Каждые 10 с был проведен пересчет нагрузочных параметров и нагрузка перенаправлена на более свободный узел ММЕ.

Таблица 1. Сравнение результатов алгоритма Round Robin и алгоритма оптимального распределения трафика.

Исследуемые характеристики	Алгоритм Round Robin	Алгоритм оптимального распределения трафика
Количество отправленных сообщений	400	400
Количество потерянных сообщений	14	0
Количество сообщений, ожидающих обслуживания	98	84
Максимальная загруженность узлов ММЕ, %	100/62/12	79/46/12

В примере первый узел ММЕ был самым загруженным, на него шла нагрузка от трех базовых станций, и в первом эксперименте были потеряны 14 заявок, в ожидании обслуживания находились 98 заявок в конце эксперимента. Во втором эксперименте удалось избежать потерянных заявок и сохранить передаваемую информацию, в ожидании обслуживания находилось 84 заявки. Результаты работы алгоритмов показаны в таблице 1.

Выводы и задачи дальнейших исследований

Расчеты по алгоритму оптимального распределения трафика, который учитывает загруженность последующих элементов сети, превосходят расчеты по алгоритму Round Robin. Заметим, что учет загруженности последующих элементов позволяет сохранить информацию, перераспределяя на более свободные элементы сети связи.

Исследуемый алгоритм оптимального распределения трафика может быть применен в других сферах, например, при распределении обязанностей между

подчиненными, при вычислениях на случайных деревьях, а также в потоковых транспортных задачах. При взрывном характере трафика необходимо уменьшить время коррекции для пересчета нагрузочных параметров.

В качестве задачи дальнейших исследований планируется сравнить полученные результаты с другими известными алгоритмами распределения трафика (полезных данных), таких как исчерпывающая и шлюзовая дисциплины обслуживания при поступлении данных из нескольких источников, а также применить гистерезисный двухпороговый метод управления данными и последующим перераспределением их на другие узлы связи.

FOR AUTHOR USE ONLY

Список использованных источников

- [1] Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper. Updated: March 9, 2020. Pp. 1-35. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- [2] Bouallouche D. 2012, «Congestion control in the context of machine type communication in Long Term Evolution networks: a dynamic load balancing approach» Networking and Internet Architecture, pp. 1-46.
- [3] Чукарин А.В., Абаев П.О., Зарипова Э.Р., Сеницын И.Э. Оптимизация управления перегрузками в сети LTE с трафиком межмашинного взаимодействия // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №9. – С. 35-39.
- [4] Kolmogoroff A.N., Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin: Springer-Verlag, 1933. DOI:10.1007/978-3-642-49888-6
- [5] Бочаров П.П., Печинкин А.В. «Теория массового обслуживания» М.: Изд-во РУДН, 1995 г. 529 стр.
- [6] Башарин Г.П. «Лекции по математической теории телетрафика» М.: РУДН. - 2004с. - 193с.
- [7] Ибрагимов Б. Г. Исследование пропускной способности сетей NGN/IMS при установлении мультимедийной сессии / Б. Г. Ибрагимов, М. Ф. Биннатов, Я. С. Исаев // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12. – № 3. – С. 9-12. – DOI 10.24411/2072-8735-2018-10047.
- [8] Гайдамака Ю.В., Зарипова Э.Р., Орлов Ю.Н. «К анализу эффектов группового поступления сигнальных сообщений на время ожидания начала обслуживания». Информационные технологии и вычислительные системы. 2015. № 3. С. 74-80.
- [9] Ибрагимов Б. Г. Анализ эффективности передачи пакетов трафика систем и протоколов сигнализации сетей NGN / Б. Г. Ибрагимов, С. Р. Исмаилова // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т. 8. – № 6. – С. 21-24.
- [10] Gaidamaka Y.V., Zaripova E.R. «Session setup delay estimation methods for IMS-based IPTV services». Lecture Notes in Computer Science. 2014. Т. 8638 LNCS. С. 408-418.
- [11] Samouylov K.E., Gaidamaka Y.V., Gudkova I.A., Zaripova E.R., Shorgin S.Y. «Baseline analytical model for machine-type communications over 3gpp rach in lte-advanced networks». Communications in Computer and Information Science 2016. Т. 659. С. 203-213.

Модель обмена сигнальными сообщениями при инициализации абонентского оборудования в сети беспроводного широкополосного доступа

Аннотация: Современные стандарты беспроводного широкополосного доступа используют технологию когнитивного радио. Стандарт IEEE 802.22 основан на концепции зондирования и использовании временно свободного радиоканала в диапазоне ТВ частот от 54 МГц до 862 МГц. Архитектура IEEE 802.22 включает в себя децентрализованный сбор данных о доступности радиочастотного спектра в зависимости от времени с помощью абонентского оборудования. Процедура обмена сигнальными сообщениями влияет на время инициализации абонентского оборудования, поэтому время становится ключевым показателем для обеспечения непрерывного соединения. В статье разработана модель обмена сообщениями для установления сеанса связи с динамической поддержкой потоковых сервисов с учетом необходимости авторизации и обеспечения безопасной передачи трафика пользователей.

Ключевые слова: когнитивное радио, абонентское оборудование, время инициализации оборудования, IEEE 802.22.

Введение

Стандарт IEEE 802.22 – первый официально утвержденный стандарт беспроводной широкополосной связи [1,2,3], основанный на технологии и принципах предотвращения интерференции для сетей когнитивного радио (Cognitive Radio, CR). Этот стандарт помогает организовать сеть беспроводного доступа точка – много точек с использованием временно свободных каналов («белых пространств», white space) в полосе телевизионных (ТВ) частот от 54 МГц до 862 МГц [4]. Беспроводная сеть IEEE 802.22 является наиболее приемлемой сетью широкополосного доступа для сельских районов и для территорий с низкой плотностью населения. Сеть IEEE 802.22 может использоваться для когнитивного доступа в интеллектуальных транспортных системах [5], для связи в режиме реального времени в Smart Grid [6], для сетей автоматического обмена данными D2D [7]. Абонентским оборудованием являются смартфоны, планшетные компьютеры, Интернет-вещи, беспилотные транспортные средства с когнитивным радиоинтерфейсом. При инициализации этих устройств требуется времени для авторизации и установления соединения, особенно в случае вертикального хэндовера из сетей LTE, WiMAX, WiFi. В этой статье разрабатывается базовая модель сигнальных сообщений для

инициирования абонентского устройства (customer premise equipment, CPE) и аналитическую модель для оценки времени инициирования. Эта оценка может использоваться в качестве показателя эффективности CPE в контексте непрерывности соединения и IP-сеанса связи.

Модель обмена сигнальными сообщениями для инициализации абонентского оборудования

Абонентское оборудование CPE сканирует каналы в ТВ-диапазоне, чтобы найти свободные каналы. В то же время базовые станции (base station, BS) передают суперкадры физического уровня в свободных радиоканалах. CPE выбирает один из свободных каналов и обрабатывает управляющую информацию в суперкадре. Таким образом, CPE и сеть IEEE 802.22 могут работать без специального общего канала управления. BS соединена с сетью пакетных данных. После завершения сканирования выполняется процедура обмена сигнальными сообщениями между CPE, BS и выделенными узлами (серверами) авторизации, аутентификации и учета (AAA), домашних абонентов (Home Subscriber Service, HSS), динамической конфигурации хостов (Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP), обычной передачи файлов (Trivial File Transfer Protocol, TFTP). Далее рассматривается модель пошаговой процедуры инициирования на основе сообщений сигнализации IEEE 802.22. В отличие от [8], предлагаемая процедура будет включать этап IP-регистрации.

Первым сообщением будет запрос (1) уровня управления доступом к среде RNG-REQ, с помощью которого CPE определяет задержки в сети и запрашивает предельное значение эквивалентной изотропно излучаемой мощности (EIRP). Сообщение (2) RNG-CMD передается BS в ответ на принятый RNG-REQ с измеренным значением задержки и мощности. Далее CPE передает сообщение Basic Capabilities Requests (3) CBC-REQ с поддерживаемыми рабочими параметрами. CPE. Сообщение (4) CBC-RSP – это ответ на принятый CBC-REQ с указанием идентификатора базовой станции (station identifier, SID) и указанием допустимых значений параметров.

Далее осуществляется запуск расширяемого протокола аутентификации EAP. Начальным сообщением является запрос SCM-REQ (5) с информацией о начале работы по протоколу EAP (SCM EAP Start). Далее в виде сообщения (6) SCM-REQ [SCM EAP Transfer] сообщение Start EAP транслируется через BS на сервер AAA. Сообщение SCM-RSP (7) представляет собой ответ сервера AAA и передачу информации EAP для CPE. Сообщение (8) SCM-RSP с EAP Success является завершающим сообщением для успешной аутентификации. После того,

как получено (8) CPE имеет ключевую информацию MMP_KEY, которая может использоваться для подписи и(или) шифрования последующих сообщений. Следующий этап связан с необходимостью защиты потоков трафика услуг с помощью ключа шифрования трафика (ТЕК). С помощью (9) CPE отправляет сообщение BS Key-Request для запроса у BS нового ТЕК и связанных с ним параметров. Сообщение (10) SCM Key-Reply является ответом на сообщение (9) и содержит экземпляр ТЕК.

Сообщение (10) необходимо для начала процесса регистрации, т.е. процесса, посредством которого CPE проверяет свою конфигурацию с помощью BS. CPE отправляет сообщение (11) REG-REQ к BS со строкой местоположения CPE National Marine Electronics Association (NMEA), параметрами автоматического запроса повторения (ARQ) и параметрами Ethernet. В сообщении REG-RSP (12) BS устанавливает параметры CPE для настройки того, какие возможности обмена CPE будет использовать. С помощью сообщения (13) CPE запрашивает сервер DHCP в соответствии с IETF RFC 2131 с помощью отправки запроса на широковещательный адрес, поскольку CPE необходимо получить IP-адрес и другие данные для установления IP-сессии. С помощью сообщения (14) сервер DHCP проверяет MAC-адрес CPE. С помощью сообщения (15) CPE запрашивает конкретный DHCP-сервер и направляет DHCP-запрос для IP-адреса. В сообщении (22) CPE получает от DHCP IP-адрес и параметры настройки для формирования IP-сессии. После этого IP-сессия установлена.

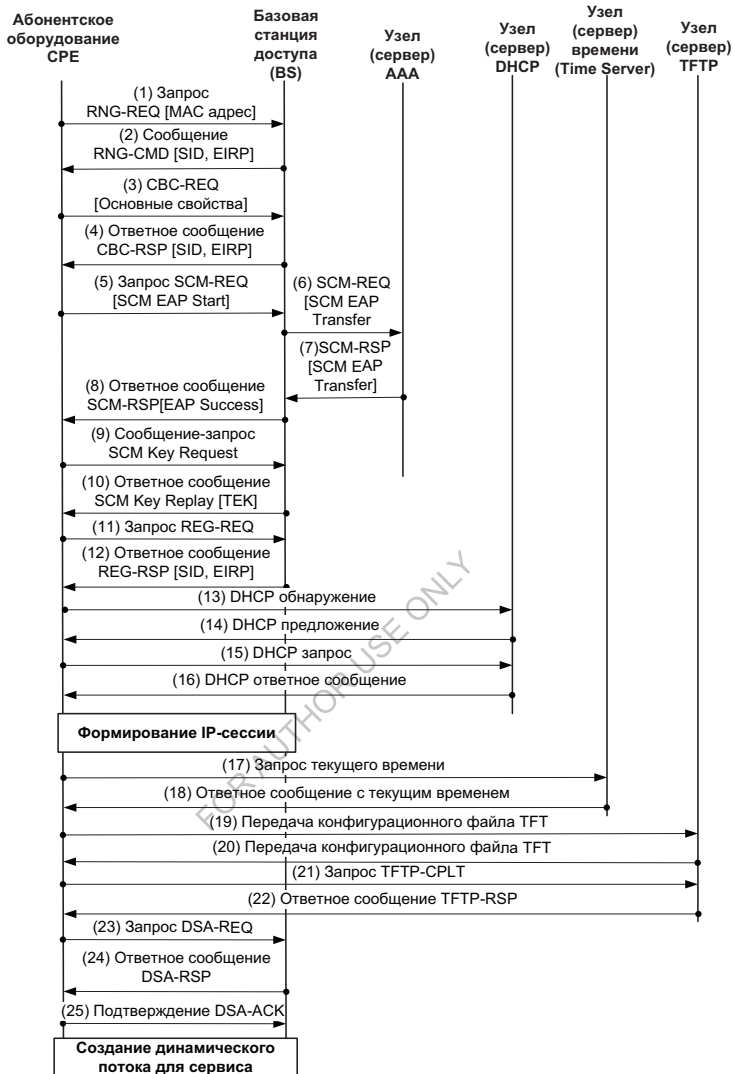


Рис. 1. Модель обмена сообщениями при инициализации абонентского оборудования

В рамках системы управления с помощью сообщения (17) CPE запускает процесс синхронизации даты и времени для регистрации событий. В сообщении (18) текущая дата и время получены CPE из локального или удаленного источника времени. С помощью сообщениями (19) - (20) CPE загружает

конфигурационный файл с использованием протокола TFTP в соответствии с IETF RFC 1123 и IETF RFC 2349. Если загрузка конфигурационного файла для CPE завершена успешно, CPE уведомляет BS путем передачи сообщения TFTP-CPLT (21). BS определенное время должна ожидать TFTP-CPLT, и в случае получения, передать CPE ответное сообщение TFTP-RSP (22), которое генерируется BS в ответ на сообщение TFTP-CPLT.

Запрос DSA-REQ (23) от CPE на динамическое добавления сервиса содержит набор параметров потока сервиса и его качества. Запрос нужен для проверки разрешено ли CPE обслуживать запрошенный сервис. BS отвечает сообщением DSA-RSP (24), где указывает параметры приема, которые связаны с восходящим / нисходящим потоком, и создает идентификатор потока службы (SFID) вместе с полной спецификацией потока услуг. Эти параметры подтверждаются сообщением (25) DSA-ACK, после чего динамическое создание потока сервиса завершено. Для создания нового потока сообщения (23)–(25) повторяются.

Заключение

Разработана модель обмена сигнальными сообщениями для инициализации абонентского оборудования в сети беспроводного широкополосного доступа стандарта IEEE 802.22 с поддержкой когнитивных технологий. Предложенная модель может использоваться для объективной оценки времени инициализации абонентского оборудования для обеспечения минимизации задержек, в том числе и при хендвере из другой сети.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Cognitive Radio Networks. Architectures, protocols, and Standards/ Ed. by Yan Zhang, Jun Zheng, Hsiao-Hwa Chen. – CRC Press, 2010.
- [2] Rao, K.R., Bojkovic, Z. S., Bakmaz B.M. Wireless Multimedia Communication Systems. Design, Analysis and Implementation. – CRC Press, 2014.
- [3] *IEEE std. 802.22-2011*. Telecommunications and information exchange between systems Wireless Regional Area Networks (WRAN) – Specific requirements. Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands. – IEEE Computer Society, 2011.
- [4] *Elmubark, M. A., Saeed, R.A., Elshikh, M. A., Mokhtar, R.A.* New Methods for TVWS Database Protocol. International Journal of Computer Science and Telecommunications (IJCST).– Vol. 6, Iss. 2. – P. 15–21, 2015.
- [5] *Dawood, M., Fuhrmann, W., Ghita, B.V.* Assay of White Space Technology Standards for Vehicular Cognitive Access // INC 2014 (Tenth International Network Conference) / Plymouth University.– P. 23–34.
- [6] *Dehalwar, V., Kalam, A., Kolhe, M. L., Zayegh A.* Review of IEEE 802.22 and IEC 61850 for real-time communication in Smart Grid // CoCoNet 2015 (International Conference Computing and Network Communications) / IEEE.– P. 571–575.
- [7] *Shi, H., Venkatesha P. R., Niemegeers I. G. M. M., Rahim, A.* Multi-Channel Management for D2D Communications in IEEE 802.22 WRANs // IEEE ICC 2014 (IEEE International Conference on Communications / IEEE. – P. 1514–1519.
- [8] *Wang, C., Ma, M., Zhao, Z.* An enhanced authentication protocol for WRANs in TV white space. Security and Communication Networks.– Vol. 8, Iss. 13.– P. 2267–2278, 2015.

FOR AUTHOR USE ONLY

**More
Books!**



yes
I want morebooks!

Buy your books fast and straightforward online - at one of world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.shop

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн – в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов! окружающей среде благодаря технологии Печати-на-Заказ.

Покупайте Ваши книги на
www.morebooks.shop



info@omniscryptum.com
www.omniscryptum.com

OMNIScriptum



FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY