

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА МЕДИЦИНСКИХ СЕТЕЙ В РЕЖИМЕ ПОНИЖЕННОЙ НАГРУЗКИ НА СЕТИ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

М. А. Блинников^{1*}, Р. Я. Пирмагомедов¹, А. С. А. Мутханна¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: michael2102@mail.ru

Аннотация

Последние достижения в сфере телекоммуникаций, в частности развитие концепции Интернета Вещей, подразумевают использование телекоммуникационных технологий в различных сферах жизни человека. Медицина – одна из таких многообещающих сфер. Использование сенсорных сетей для мониторинга состояния здоровья человека даёт возможность отслеживать показатели жизнедеятельности пациентов в режиме реального времени, а также предотвращать ситуации, несущие в себе угрозу для человеческой жизни. Такие сети обычно включают в себя большое количество устройств, практически одновременно передающих данные в пределах одной сети, что может отразиться на её работоспособности. **Предмет исследования.** Статья посвящена исследованию проблемы неэффективного использования сетевых ресурсов медицинскими приложениями наносетей, а именно исследованию трафика таких приложений, работающих в различных режимах. **Метод.** Проведена оценка существующих режимов работы нательного шлюза. Также разработана имитационная модель, позволяющая исследовать трафик, создаваемый медицинскими приложениями наносетей. **Основные результаты.** В результате исследования были получены уравнения, описывающие зависимость основных характеристик сети, работающей в режиме с предварительной обработкой, от таких переменных, как частота появления пакетов на нательном шлюзе, размер большого пакета и время, затрачиваемое на предварительную обработку. На основе полученных численных оценок, предложены рекомендации, позволяющие исключить возникновение некоторых видов потерь, обусловленных характеристиками нательного шлюза. **Практическая значимость.** При проектировании приложений полученные уравнения позволяют рассчитать требуемые параметры работы системы, обеспечивающие необходимые для корректной работы значения потерь, нагрузки на сети связи общего пользования и задержки.

Ключевые слова

медицинские сети, нательные сети, сенсоры, моделирование трафика, e-health, наносети.

Информация о статье

УДК 004.77

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 21.12.16, принята к печати 28.02.17.

Ссылка для цитирования: Блинников М. А., Пирмагомедов Р. Я., Мутханна А. С. А. Моделирование трафика приложений медицинских сетей с оптимизацией нагрузки на сети связи общего пользования // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 1. С. 15–23.

SIMULATION OF MEDICAL NETWORKS TRAFFIC OPERATING IN THE REDUCED LOAD MODE ON COMMUNICATION NETWORK

M. Blinnikov^{1*}, R. Pirmagomedov¹, A. Muthanna¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: michael2102@mail.ru

Abstract—Latest achievements in the field of telecommunications (developments of the concept of Internet Things in particular) mean the using of telecommunications technologies in various spheres of human life. Medicine is one of such promising spheres. Utilization of sensor networks for monitoring the health status enables to observe vital parameters of patients in real time, and it enables to prevent a situation carrying a threat to human life. Such networks typically include a large number of devices substantially simultaneously transmit data within the same network, which may affect its performance. **Research subject.** The article is devoted to the problem of inefficient network resources using by medical applications of nanonetworks, it researches the traffic of medical nanonetworks applications, which operates in different modes in particular. **Method.** The designed operating modes of the body control unit are evaluated. Also, an imitation model has been developed that allows to investigate the traffic of medical nanonetworks. **Core results.** As a result of the researching, equations were obtained, which describes the dependence of the main characteristics of the network operating in the preliminary mode on variables such as the frequency of the packets appearing in the gateway, the size of the large packet, and the delay of preliminary processing. On the basis of the numerical estimates recommendations is provided which excludes the occurrence of certain types of losses which depends on the device of the body control unit. **Practical relevance.** When designing applications, the resulting equations allow to calculate the required parameters of the system operation, providing the necessary values of losses, load on the public communication networks and delays.

Keywords—Medical networks, body area networks, sensors, traffic modeling, e-health, nanonetworks.

Article info

Article in Russian.

Received 21.12.16, accepted 28.02.17.

For citation: Blinnikov M., Pirmagomedov R., Muthanna A.: Optimization of the Load on the Public Telecommunications Network, the Traffic Caused Medical Nanonetwork Application // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 1. pp. 15–23 (in Russian).

Введение

На сегодняшний день достаточно большое внимание уделяется интеграции информационных технологий и медицины. Развитие концепции Интернета Вещей, а именно сенсорных сетей, а также исследования в области нанотехнологий позволили достичь немалых успехов и в сфере медицины, в частности в направлении мониторинга состояния здоровья пациента. Последние разработки позволяют создавать приложения, обеспечивающие возможность комплексной оценки значительного числа физиологических параметров организма [1, 2, 3, 4].

Интеграция областей здравоохранения и информационных технологий началась во второй половине XX века и получила название e-health (электронное здоровье). E-health охватывает широкий спектр услуг, среди которых можно выделить приложения телемедицины. Телемедицина – физическая и психологическая диагностика и лечение на расстоянии, включающая в себя телемониторинг, дистанционно предоставляющий медицинскому персоналу данные о результатах измерения показателей здоровья¹.

Приложения телемедицины, впрочем, как и большинство медицинских приложений, реализованы в основном беспроводными сенсорными сетями, разворачиваемыми в непосредственной близости от пациента, на поверхности его тела, а также имплантируемые прямо в его организм. Таким образом, осуществляется контроль над состоянием здоровья и над условиями внешней среды.

Основными элементами медицинских сетей являются: сенсорные узлы – измеряют требуемые показатели и передают их значения; актуаторные узлы – осуществляют воздействие на организм, самостоятельно или по команде, полученной от удаленного сервера; нательный шлюз (НШ) – собирает информацию от сенсоров, совершает предварительную обработку (если она требуется) и передачу данных на удаленный сервер; удаленный сервер – выполняет дальнейшую обработку информации и предоставляет доступ к ней пользователю (рис. 1).

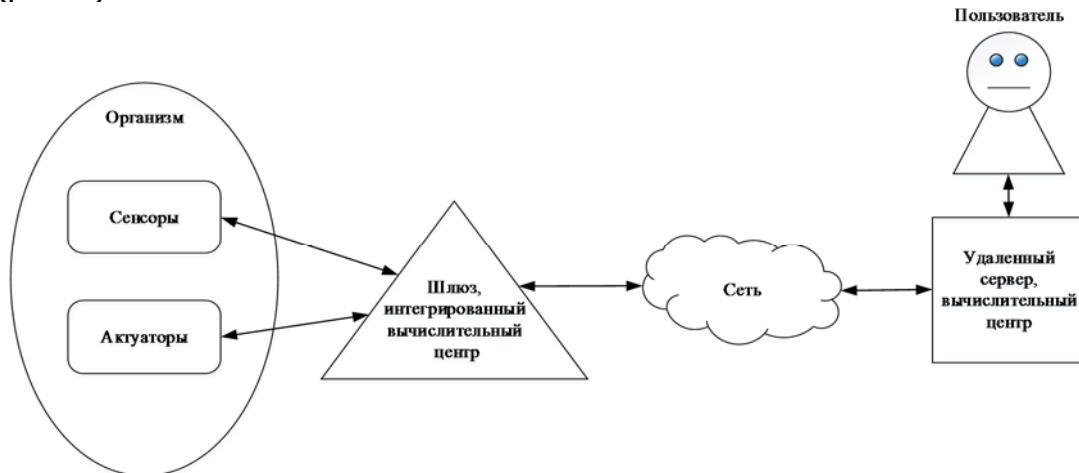


Рис. 1. Структурная схема приложения медицинской сети

Наглядная модель приложения телемедицины, реализованная с помощью применения технологии наносетей [5, 6, 7], представлена в статье [8].

Сенсорные наносети работают по принципу ведущий-ведомый, а сбор данных датчиками осуществляется в соответствии с заданными правилами. Трафик, генерируемый таким приложением, представляет собой детерминированный поток [9, 10], который состоит из запросов сервера и ответов самого приложения. Среди передаваемых данных преобладают данные, содержащие отчёты датчиков, пересылаемые с помощью мелких пакетов размером 12 байт: 4 байта – адрес датчика в сети, 4 байта – тип датчика, 4 байта – сами отчёты [9]. Можно заметить, что служебная информация, необходимая для передачи, составляет

¹ International Telecommunication Union. "Implementing e-Health in Developing Countries: Guidance and Principles". URL: http://www.itu.int/ITU-D/cyb/app/docs/e-Health_prefinal_15092008.PDF

значительную часть объема пакета. Отличительной чертой беспроводных нательных сетей, в том числе и медицинских наносетей, является то, что они включают в свой состав огромное количество датчиков (до нескольких сотен), передающих свои сообщения практически одновременно. Учитывая оба этих фактора, напрашивается вывод, что сетевые ресурсы используются неэффективно, что может привести к нарушению работоспособности сети в целом [11].

В этой статье мы рассмотрим проблематику оптимизации нагрузки, вызванной трафиком медицинских наносетей.

Оценка рабочих режимов медицинских приложений

Как уже было сказано, трафик приложений телемедицины в основном состоит из мелких пакетов, несущих в себе по большей части служебные данные, которые не предоставляют пользователю никакой полезной информации о состоянии здоровья пациента. Таким образом, очевидно, что для оптимизации нагрузки на сеть требуется либо изменить это соотношение в пользу полезной информации, либо уменьшить количество передаваемых сенсорных отчетов. Но при этом необходимо помнить о том, что пользователь должен получать полную, достоверную и актуальную информацию.

В статье [9] помимо рабочего режима приложения с непосредственной передачей отчетов на удаленный сервер, недостатки которого были описаны выше, говориться о режиме с предварительной обработкой данных, которая представляет собой накопление сенсорных отчетов, объединение их в пакет большего объема и дальнейшую пересылку пользователю. Работа в таком режиме предусматривает усложнение устройства НШ для обеспечения выполнения дополнительных функций, требующих большей производительности и памяти для хранения, полученных данных. Из представленных результатов видно, что такой режим действительно повышает эффективность использования сетевых ресурсов посредством уменьшения объема служебной информации. Существенным недостатком этого режима является высокая задержка, поскольку требуется некоторое время до того момента, пока прибудет достаточное количество пакетов от сенсоров. При формировании крупных пакетов необходимо учитывать время, затрачиваемое на его создание. Из чего следует, что система в большинстве случаев неспособна функционировать в режимах *real-time* и *hard real-time*, что является требованием для многих медицинских приложений, поскольку в критических ситуациях, когда здоровью или даже жизни пациента грозит опасность, излишняя задержка недопустима.

Далее в статье рассматривается имитационная модель, которая позволила описать трафик медицинских наносетей и провести ряд экспериментов, на основании которых были получены уравнения, использование которых может оказаться полезным при проектировании медицинского приложения с требуемыми характеристиками сети.

Моделирование

Для исследования работы медицинской наносети использовался программный комплекс AnyLogic, с помощью которого и была построена имитационная модель.

В качестве условий эксперимента были выбраны следующие параметры: задержка на передачу информации от НШ пользователю, $t_{\text{ср}} = 30$ мс; время, отведенное на проведение каждого опыта, $t_s = 60$ с; размер сенсорного пакета, $I_0 = 12$ байт (4 байта – тип сенсора, 4 байта – адрес сенсора в сети, 4 байта – результат измерения).

Изменяя такие переменные, как f_c – частота появления пакетов на НШ, I_b – объём большого пакета, количество сенсорных сообщений, которые необходимо накопить для отправления в режиме с предварительной обработкой; Δt – время, которое необходимо затратить на саму процедуру создания большого пакета; измерялись значения таких параметров, как D – общая задержка, отрезок времени с момента создания отчета сенсором до момента получения его пользователем; L – потери, количество пакетов, непринятых пользователем из-за несовершенства оборудования, в процентах; N – количество пакетов, отправленных на удаленный сервер. По этим параметрам и оценивались режимы работы.

В качестве интегрального показателя, характеризующего количество сенсоров и интенсивность отправления пакетов каждым датчиком в отдельности, был использован параметр – частота поступления пакетов на НШ.

В качестве результатов эксперимента были получены графики зависимостей исследуемых характеристик сети от указанных переменных (рис. 2, 3) и, как следствие, подобраны соответствующие им аппроксимирующие уравнения (1)–(4).

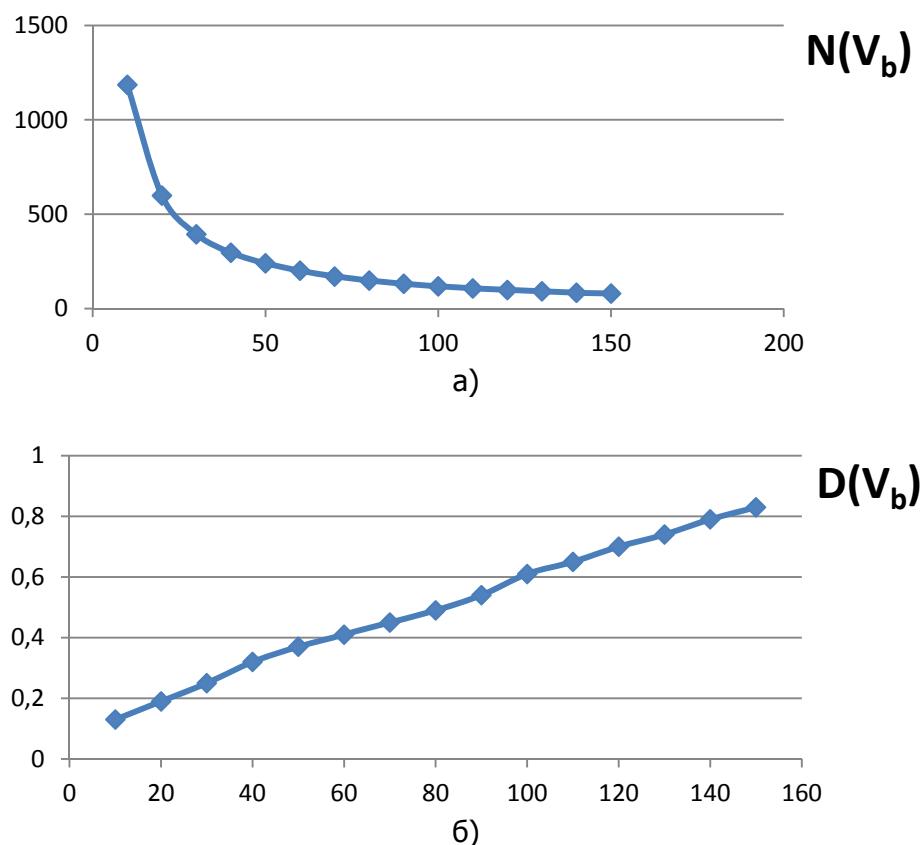


Рис. 2. Зависимость количества принятых пакетов, отправленных на сервер, от размера большого пакета (а); зависимость общей задержки от размера большого пакета (б)

$$N(V_b) = (59,8 \times f_c + 20)/V_b , \quad (1)$$

$$D(V_b) = 0,005 \times V_b + t_{\text{cp}} + t_{\text{обр}} . \quad (2)$$

Увеличение задержки с ростом величины объема большого пакета объясняется тем, что для отправки сообщения на удаленный сервер необходимо накопить достаточное количество мелких пакетов, получаемых с неизменной частотой поступления пакетов на НШ. Таким образом, при расчёте общей задержки следует учитывать время, затрачиваемое на накопление.

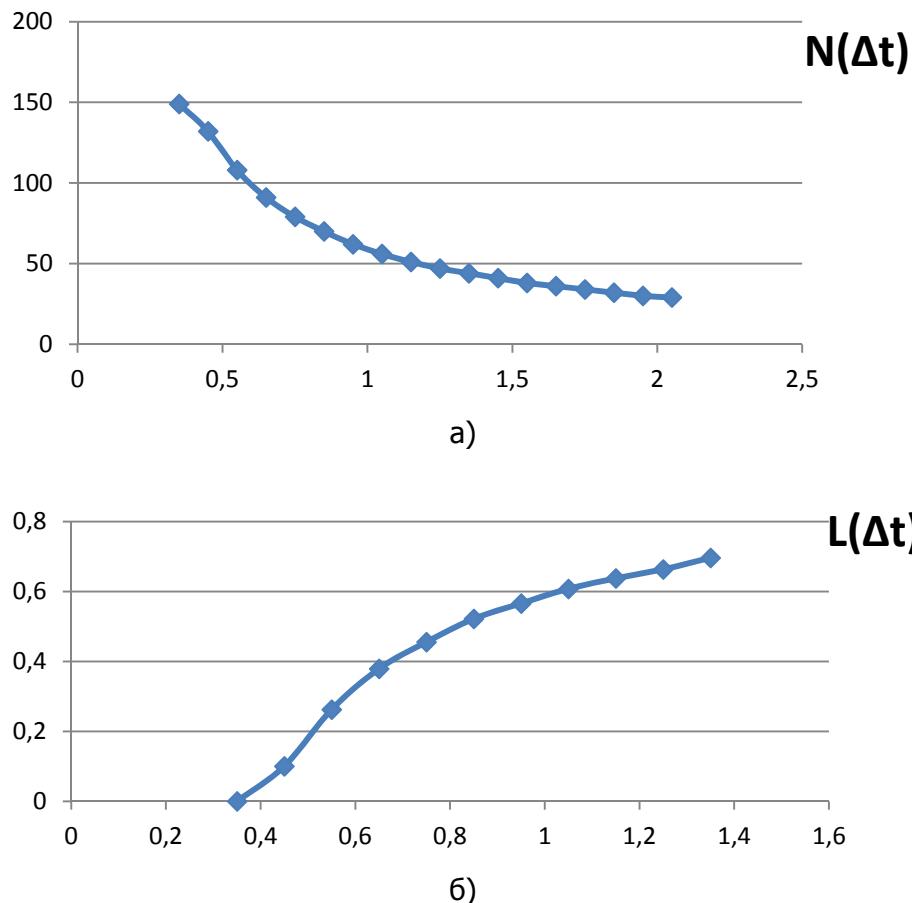


Рис. 3. Зависимость количества принятых пакетов, отправленных на сервер, от времени обработки (а); зависимость потерь от времени обработки (б)

$$N(\Delta t) = 58,6 \times \Delta t^{-0,97} , \quad (3)$$

$$L(\Delta t) = 0,53 \times \ln(\Delta t) + 0,57 . \quad (4)$$

При проведении второго эксперимента наблюдается возникновение потерь, которые вызваны недостаточной производительностью вычислительного устройства НШ. Во избежание появления данных потерь не обязательно увеличивать производительность вычислительного устройства, достаточно увеличить объем буферной памяти НШ. Таким образом, устройство НШ должно удовле-

творять условию (5), которое было получено вследствие анализа результатов эксперимента:

$$V_{buff} > V_0 \times (ceiling(f_c \times D)), \quad (5)$$

где V_{buff} – размер буфера, необходимый для работы приложения без потерь.

Заключение

В настоящее время медицинские приложения Интернета Вещей развиваются невероятно быстро и могут быть полезны не только для клинического мониторинга здоровья человека, но и для мониторинга вне помещения больницы, ежедневно помогая поддерживать здоровый образ жизни. Медицинские приложения наносетей занимают место на стыке нанотехнологий, медицины и телекоммуникаций создавая большое поле для новых разработок и открытий.

Кроме синергических проблем, существуют также и телекоммуникационные проблемы, в частности связанные с эффективным использованием ресурса сети, одна из них и была рассмотрена в данной статье. В качестве результатов проведенной работы стоит выделить: построение имитационной модели медицинской наносети, с помощью которой была проведена оценка двух режимов работы НШ; в ходе моделирования были получены уравнения, описывающие характеристики сети от таких параметров, как частота появления пакетов на НШ, размер большого пакета и время, затрачиваемое на предварительную обработку. При проектировании приложений с помощью полученных уравнений можно рассчитать требуемые параметры работы системы, обеспечивающие необходимые значения потерь, нагрузки на сети связи общего пользования и задержки.

В будущем планируется развитие темы, представленной в данной статье, в следующих направлениях: усовершенствование разработанной модели (в последствии предполагается дополнить модель вероятностными переменными, влияющими на параметры работы системы); разработка динамического алгоритма работы, при котором в зависимости от текущих условий будет выбираться более оптимальный режим работы НШ; Определение оптимальных характеристик устройства, способного работать в соответствии с разработанным алгоритмом; прототипирование и практическое опробование НШ, основанного на динамическом алгоритме работы.

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект №16-37-00215 "Биодрайвер".

Литература

1. Гольдштейн Б. С., Кучеряный А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург. 2014. 160 с. ISBN 978-5-9775-0900-8.
2. Кучеряный А. Е., Прокопьев А. В., Кучеряный Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич. 2011. 310 с. ISBN 978-5-86983-318-1.
3. Боронин П. Н., Кучеряный А. Е. Интернет Вещей как новая концепция развития сетей связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 3. С. 7–30. URL: <http://www.sut.ru/doc/nauka/review/3-14.pdf>
4. Pirmagomedov R, Hudoev I., Kirichek R., Koucheryavy A., Glushakov R. Analysis of Delays in Medical Application of Nanonetworks // 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunication and Control System and Workshops (ICUMT). pp. 80–86.

5. Кучерявый Е. А., Баласубраманиям С. Интернет нановещей и наносети // Электросвязь. 2014. № 4. С. 24–26.
6. Пирмагомедов Р. Я., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Бактериальные наносети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2. С. 5–10. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>
7. Josep Miquel Jornet, Ian F. Akyildiz. Graphene-based Plasmonic Nano-Antenna for Terahertz Band Communication in Nanonetworks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2013. Vol 31. Iss. 12. pp. 685–694. DOI: 10.1109/JSAC.2013.SUP2.1213001.
8. Пирмагомедов Р. Я., Кучерявый Е. А., Глушаков Р. И., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Живые организмы в киберпространстве – проект «Биодрайвер» // Электросвязь. 2016. № 1. С. 46–51.
9. Pirmagomedov R., Hudoev I., Shangina D. Simulation of Medical Sensor Nanonetwork Applications Traffic // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 431–443. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_38.
10. Борисова М. В., Парамонов А. И., Пирмагомедов Р. Я. Анализ свойств трафика машина-машина и его влияния на качество обслуживания // Девятнадцатая Международная научная конференция «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» (DCCN). 2016. Т. 1. С. 36–43.
11. Блинников М. А., Пирмагомедов Р. Я. Оптимизация нагрузки на сети связи общего пользования, вызванной трафиком медицинских наносетевых приложений // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 22–30. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/22-30.pdf>

References

1. Goldstein, B., Koucheryavy, A. Post-NGN Communication Networks. SPb.: BHV-Peterburg. 2014. 160 p. ISBN 978-5-9775-0900-8.
2. Koucheryavy, A., Prokopiev, A., Koucheryavy, E. Self-Organizing Networks. SPb.: Lubavich. 2011. 310 p. ISBN 978-5-86983-318-1.
3. Boronin, P., Koucheryavy, A. Internet of Things as a New Concept of the Telecommunication Networks Development // Telecom IT. 2014. Iss. 3. pp. 7–30. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-14.pdf>
4. Pirmagomedov, R, Hudoev, I., Kirichek, R., Koucheryavy, A., Glushakov, R. Analysis of Delays in Medical Application of Nanonetworks // 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunication and Control System and Workshops (ICUMT). pp. 80–86.
5. Koucheryavy, E., Balasubramaniam, S. The Internet of Nanothings and Nanonetworks // Electrosvyaz'. 2014. No. 4. pp. 24–26.
6. Pirmagomedov, R., Kirichek, R., Koucheryavy, A. Bacterial Nanonetworks // Telecom IT. 2015. Vol. 2 (10). pp. 5–10. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>
7. Josep Miquel Jornet, Ian F. Akyildiz. Graphene-based Plasmonic Nano-Antenna for Terahertz Band Communication in Nanonetworks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2013. Vol 31. Iss. 12. pp. 685–694. DOI: 10.1109/JSAC.2013.SUP2.1213001.
8. Pirmagomedov, R., Koucheryavy, E., Glushakov, R., Kirichek, R., Koucheryavy, A. Living Substance into Cyberspace – “Biodriver” Project // Electrosvyaz'. 2016. No. 1. pp. 47–52.
9. Pirmagomedov, R., Hudoev, I., Shangina, D. Simulation of Medical Sensor Nanonetwork Applications Traffic // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 431–443. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_38.
10. Borisova, M., Paramonov, A., Pirmagomedov, R. Machine-to-Machine Traffic Analysis and its Impact on Quality of Service // Nineteenth International Scientific Conference “Distributed Computer and Communication Networks” (DCCN). 2016. Vol. 1. pp. 36–43.
11. Blinnikov M., Pirmagomedov R.: Optimization of the Load on the Public Telecommunications Network, the Traffic Caused Medical Nanonetwork Application // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 3. pp. 22–30 (in Russian). URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/22-30.pdf>

**Пирмагомедов
Рустам Ярахмедович**

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
lts.pto@yandex.ru

Мутханна Аммар Салех Али

– кандидат технических наук, ассистент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
ammarexpress@gmail.com

Blinnikov Mikhail

– undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,
Russian Federation, michael2102@mail.ru

Pirmagomedov Rustam

– Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,
Russian Federation, lts.pto@yandex.ru

Muthanna Ammar Saleh

– Candidate of Engineering Sciences, Assistant,
SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian
Federation, ammarexpress@gmail.com