

ТАКТИЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ КАК ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ БУДУЩЕГО

А. А. А. Атея¹, А. С. А. Мутханна^{1*}, А. Е. Кучерявый¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: ammarexpress@gmail.com

Аннотация

Тактильный Интернет - это новая эра общения, которая обеспечивает взаимодействие между человеком и машиной в режиме реального времени. **Предмет исследования.** Статья посвящена описанию в концепции Тактильного Интернета, и рассматривается структура системы Тактильного интернета. **Метод.** В качестве метода исследования приводится анализ проблем реализации Тактильного Интернета, также основные домены в структуре системы Тактильного Интернета. **Основные результаты.** Приведено краткое описание некоторых проблем, связанные с реализацией концепции Тактильного Интернета, и предлагается использовать новые технологии для их решения. **Практическая значимость.** На основе данной архитектуры можно достичь требуемой задержки при реализации систем Тактильного Интернета.

Ключевые слова

Тактильный Интернет, 5G, структура.

Информация о статье

УДК 004.77

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 25.10.2018, принята к печати 03.12.19.

Ссылка для цитирования: Атея А. А., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е. Тактильный Интернет как телекоммуникационные системы будущего // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 4. С. 1–9.

TACTILE INTERNET: FUTURE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

A. A. Ateya¹, A. Muthanna^{1*}, A. Koucheryavy¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: ammarexpress@gmail.com

Abstract—Tactile Internet is a new era of communication that provides real-time interaction between man and machine. **Research subject.** The paper describes the concept of Tactile Internet, and discusses the structure of the Tactile Internet system. **Method.** As a method of research the analysis of problems of realization of the Tactile Internet, also the main domains in structure of system of the Tactile Internet is given. **Core results.** A brief description of some of the problems associated with the implementation of the concept of the Tactile Internet is given, and it is proposed to use new technologies to solve them. **Practical relevance.** On the basis of this architecture it is possible to achieve the required delay in the implementation of Tactile Internet systems.

Keywords—Tactile Internet, 5G, structure.

Article info

Article in Russian.

Received 25.10.2018, accepted 03.12.19.

For citation: Ateya A. A., Muthanna A., Koucheryavy A.: Tactile Internet: Future Telecommunication Systems // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 4. pp. 1–9 (in Russian).

Введение

Тактильный Интернет – это телекоммуникационная система будущего, которая позволяет передавать тактильные ощущения человека и роботов в режиме реального времени [1]. Традиционные сети связи ориентированы на передачу речи и данных с определенными характеристиками, заданными, например, в рекомендациях МСЭ-Т. В этих сетях, в основном, осуществляются взаимодействия человек–человек H2H (*Human-to-Human*) и машина–машина M2M (*Machine-to-Machine*) [2]. Тактильный Интернет создает интерактивную систему в реальном времени между человеком и машиной и привносит в сеть массовые взаимодействия человек–машина H2M (*Human-to-Machine*) [3].

Тактильный Интернет, можно сказать, представляет собой новую парадигму телекоммуникаций, поддерживающих при его внедрении передачу тактильных ощущений, что является основным приложением этой концепции [4]. Исследования в области передачи тактильных ощущений начались в начале 1998 года, когда исследовательские группы из Лаборатории хаптики (тактильности) и Лаборатории электроники в Массачусетском технологическом институте (MIT) провели первые эксперименты для обеспечения чувства единства восприятия двумя людьми, находящимися на большом расстоянии, одного и того же трехмерного объекта в виртуальной среде [5]. Эта тема стала вызывать в научном сообществе все больше и больше интереса, что увенчалось публикацией концепции Тактильного Интернета профессором G. P. Fettweis в 2014 году [6].

Тактильный Интернет является одной из основополагающих концепций наряду с интернетом вещей при создании сетей связи пятого поколения (5G/IMT2020), что анонсировано 3GPP и МСЭ¹². Тактильный Интернет позволяет передать через сеть физические навыки, что, возможно, приведет к преимущественному использованию в сети передачи навыков вместо передачи контента [7].

Это может привести к революции в области информационно-коммуникационных технологий с новыми приложениями во многих областях хозяйственной и иной деятельности человека, роботов и общества [8]. Еще раз отметим, что функционирование приложений Тактильного Интернета в сетях связи пятого поколения 5G/IMT2020 позволит передавать в режиме реального времени тактильные ощущения.

Структура системы Тактильного Интернета.

Структура системы Тактильного Интернета включает в себя следующие основные домены: базовый, сетевой и исполнительный [2]. На рис. 1 показана общая структура системы Тактильного Интернета.

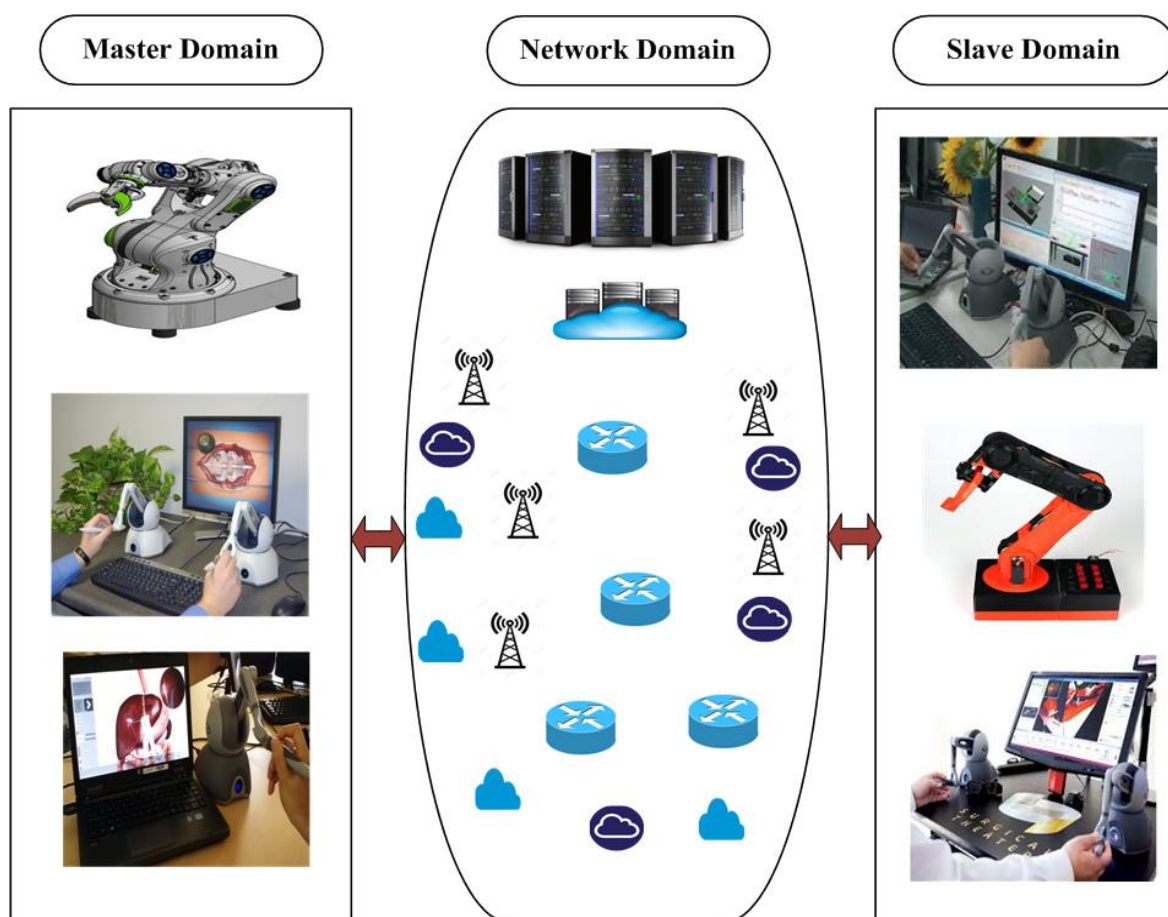


Рис. 1. Общая структура системы Тактильного Интернета

¹ ITU-T Technology Watch Report. The Tactile Internet, 2014.

² 3GPP TR 22.891. Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers. Ver. 14.2.0, 2016.

Базовый домен

Базовый домен включает в себя оператора, тактильное устройство (мастер-робот) и интерфейс приложения. В базовом домене может быть развернуто более одного тактильного устройства. С помощью методов кодирования главный робот может преобразовывать вводимые человеком данные в тактильные, а интерфейс приложения обеспечивает взаимодействие с удаленной стороной.

Это позволяет конечному пользователю прикасаться, чувствовать, манипулировать и контролировать объекты в удаленных средах. С помощью главного робота оператор может управлять исполнительным доменом и, следовательно, удаленными объектами.

Простейшим примером тактильного устройства является сенсорная панель в ноутбуках или сенсорные экраны в смартфонах. В этих устройствах пользователь использует касание пальцем в качестве команды для выполнения определенной операции. Однако такие устройства представляют собой однонаправленные тактильные устройства, которые отличаются от двунаправленных тактильных устройств, используемых в системе Тактильного Интернета.

Ведущее устройство в базовом домене поддерживает тактильное восприятие, которое связано с активным исследованием удаленной среды. Поэтому, тактильное устройство, используемое в базовом домене, способно получать обратную тактильную связь, что действует как подсказка для дальнейшего исследования, например, поверхности или геометрических свойств контактирующего объекта [9]. Для мониторинга и взаимодействия с удаленной средой базовый домен может получать не только тактильную обратную связь, но и визуальную обратную связь через интерфейс приложения. Интерфейс приложения – это, в основном, программное приложение, используемое также для моделирования удаленной среды.

Существует два основных типа тактильных устройств, основанных на тактильном восприятии: кинестетические и тактильные устройства. Кинестетические устройства могут определять приложение силы и местоположение этого приложения, что затем передается человеку-оператору [10]. Разнообразные существующие кинестетические устройства могут определять движение для разных диапазонов, начиная, например, с движения сустава пальца до полного движения руки. Тактильные устройства обеспечивают ощущение статического рисунка поверхности, шероховатости, температуры, которые невозможно обнаружить при отсутствии рецепторов на коже [11].

Главное тактильное устройство базового домена – это тактильное устройство с определенной степенью свободы DoF (*Degree of Freedom*). Набор тактильных ощущений и возможности взаимодействия тактильного устройства зависят, в основном, от степени свободы устройства DoF. Тактильные устройства определяют и отслеживают физические манипуляции конечного пользователя, которые поступают на входы устройства, и обеспечивают конечного пользователя реальными ощущениями касания в качестве выходных данных. В качестве входных параметров тактильных устройств могут использоваться местоположение и ориентация, а для формирования выходных параметров могут быть применены компоненты силы и крутящего момента. Все эти тактильные устройства могут отличаться с точки зрения степеней свободы DOF, механических характеристик, рабочего пространства, возможных входов и выходов, интерфейсов и максимального диапазона силы [12].

Исполнительный домен

Исполнительный домен является удаленно расположенным доменом, который включает исполнительное устройство или телеоператора, функционирующих в этой удаленной среде. В удаленной среде может использоваться множество исполнительных устройств, которые работают вместе или независимо друг от друга для решения общих или различных задач [13]. Ведомые устройства используют тактильные устройства с определенной степенью свободы, а взаимодействуют с ведущими устройствами базового домена.

Сетевой домен

Сетевой домен занимает центральное положение в структуре системы Тактильного Интернета. Он представляет собой среду для передачи данных в обоих направлениях. Сетевой домен обеспечивает инфраструктуру для передачи кинестетических и тактильных данных [14]. Кинестетические данные содержат информацию о силе и местоположении, в то время как тактильные данные содержат информацию от сенсоров и иных датчиков [15].

Для достижения очень высокой доступности и надежности системы, а также ультрамалой задержки, требуемой для приложений Тактильного Интернета, требования к составляющим системы очень высоки с точки зрения контекста, контента и мобильности [16]. Поэтому, должна быть выполнена соответствующая системная разработка для сети Тактильного Интернета, обеспечивающая установление соединений между базовым и исполнительным доменами с требуемыми параметрами. Основной проблемой при этом, как уже отмечалось выше, является круговая задержка величиной в 1 мс.

В статье это рассматривается как основная задача, которая должна быть решена с использованием современных и перспективных технологий телекоммуникаций. Эта задача должна быть решена также в условиях необходимости обеспечения передачи речи и данных, включая видео, в соответствии с заданными требованиями для сетей связи пятого поколения 5G и в условиях внедрения концепции Интернета Вещей, которое требует подключения очень большого числа устройств.

Для решения этих сложных задач предлагается, чтобы при построении сетевого домена были использованы новые технологии, такие как программно-конфигурируемые сети (SDN), виртуализация сетевых функций (NFV), мобильные граничные вычисления (MEC), взаимодействия устройство–устройство (D2D) и программно-конфигурируемое радио (SDR). Внедрение сети связи пятого поколения 5G может помочь в реализации сетевого домена системы Tactile Internet, если изначально учесть требование по круговой задержке величиной в 1 мс [17].

Систему Тактильного Интернета можно рассматривать как трехслойную систему, основанную на структуре сети 5G, предложенной NGMN³. Как показано на рис. 2, в этой структуре разделены аппаратное и программное обеспечение, а для совместимости услуг на уровне приложений используются интерфейсы прикладного программирования (API).

³ 5G White Paper. Next Generation Mobile Networks. NGMN Alliance, 2017.

Первый уровень – это уровень аппаратных ресурсов, который включает инфраструктуру сети с необходимыми граничными облаками. На втором уровне устанавливается программное обеспечение, здесь же размещаются библиотеки для всех функций, необходимых в сети. Эти библиотеки являются программными функциями и модулями, которые можно использовать в необходимом месте на сети. Кроме того, на этом же уровне размещаются параметры радиодоступа и другие параметры, необходимые для конфигурации сети. И, наконец, прикладной уровень, на котором определены сервисы и приложения, необходимые системным операторам сети.

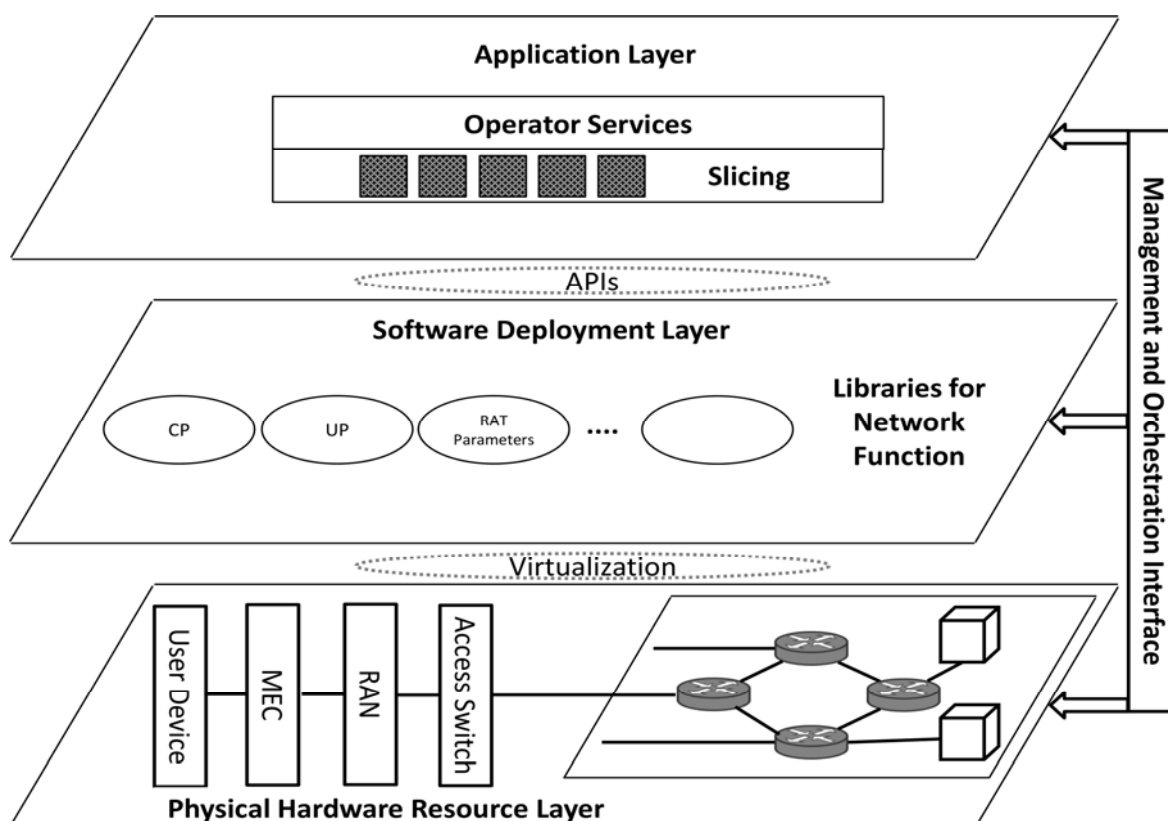


Рис. 2. Основные уровни системы Тактильного Интернета

Три уровня системы связаны через интерфейс управления системой и оркестровки. Этот интерфейс отвечает за управление работой первых двух уровней. Интерфейс управления и оркестровки подключен к первому уровню через API для выполнения задач, настройки системы и мониторинга состояния и производительности. Программное обеспечение и параметры второго уровня также могут быть выбраны в любое время управляющим интерфейсом через API. Взаимодействие между прикладным уровнем и интерфейсом управления и оркестровки позволяет интерфейсу выбирать соответствующий сетевой слайс для каждого приложения или сопоставлять его с существующим слайсом⁴.

⁴ Там же

Заключение

В статье был проведен обзор системы Тактильного интернета, рассмотрена основная проблема при реализации систем Тактильного интернета и предлагается использовать новые технологии для решения данной задачи в рамках сети пятого поколения.

Литература

1. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // *Электросвязь*. 2016. № 1. С. 44–46.
2. Maier, M., Chowdhury, M., Rimal, B. P., Van, D. P. The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges // *IEEE Communications Magazine*. 2016. Vol. 54. Iss. 5. pp. 138–145.
3. Aijaz, A. Towards 5G-Enabled Tactile Internet: Radio Resource Allocation for Haptic Communications // *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*. 2016.
4. Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J., Fettweis, G. The 5G-Enabled Tactile Internet: Applications, Requirements, and Architecture // *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*. 2016.
5. Ho, C., Basdogan, C., Slater, M., Durlach, N., Srinivasan, M. A. An Experiment on the Influence of Haptic Communication on the Sense of Being Together // *British Telecom Workshop on Presence in Shared Virtual Environments*. 1998. pp. 10–11.
6. Fettweis, G. The Tactile Internet: Applications and Challenges // *IEEE Vehicular Technology Magazine*. 2014. Vol. 9. Iss. 1. pp. 64–70.
7. Aijaz, A., Dohler, M., Aghvami, A. H., Friderikos, V., Frodigh, M. Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks // *IEEE Wireless Communications*. 2017. Vol. 24. Iss. 2. pp. 82–89.
8. Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J., Fettweis, G. 5G-Enabled Tactile Internet // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2016. Vol. 34. Iss. 3. pp. 460–473.
9. Caporusso, N., Biasi, L., Cinquepalmi, G., Trotta, G. F., Brunetti, A., Bevilacqua, V. Enabling Touch-Based Communication in Wearable Devices for People With Sensory and Multisensory Impairments // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. Vol. 608. pp. 149–159.
10. Liang, G., Mei, D., Wang, Y., Chen, Z. Modeling and Analysis of a Flexible Capacitive Tactile Sensor Array for Normal Force Measurement // *IEEE Sensors Journal*. 2014. Vol. 14. Iss. 11. pp. 4095–4103.
11. Büscher, G. H., Kõiva, R., Schürmann, C., Haschke, R., Ritter, H. J. Flexible and Stretchable Fabric-Based Tactile Sensor // *Robotics and Autonomous Systems*. 2015. Vol. 65. Pt. 3. pp. 244–252.
12. Chizeck, H. J., Ryden, F., Stewart, A. Methods and Systems for Six-Degree-of-Freedom Haptic Interaction with Streaming Point Data. U.S. Patent No. 9,753,542, 2017.
13. Chan, L., Naghdy, F., Stirling, D. Application of Adaptive Controllers in Teleoperation Systems: A Survey // *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 2014. Vol. 44. Iss. 3. pp. 337–352.
14. Nakamura, N., Fukui, Y., Sakai, M., Koda, N., Iizuka, Y. Haptic Information Presentation System and Method. U.S. Patent Application No. 15/285, 2017.
15. Steinbach, E., Strese, M., Eid, M., Liu, X., Bhardwaj, A., Liu, Q., Al-Ja'afreh, M., Mahmoodi, T., Hassen, R., El Saddik, A., Holland, O. Haptic Codecs for the Tactile Internet // *Proceedings of the IEEE*. 2019. Vol. 107. Iss. 2. pp. 447–470.
16. Aijaz, A., Simsek, M., Dohler, M., Fettweis, G. Shaping 5G for the Tactile Internet // *5G Mobile Communications*. 2017. pp. 677–691.
17. Ateya, A. A., Muthanna, A., Gudkova, I., Abuarqoub, A., Vybornova, A., Koucheryavy, A. Development of Intelligent Core Network for Tactile Internet and Future Smart Systems // *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2018. Vol. 7. Iss. 1.

References

1. Koucheryavy, A. E., Makolkina, M. A., Kirichek, R. V. Tactile Internet. Ultra-Low Latency Networks // *Elektrosvyaz'*. 2016. No. 1. pp. 44–46.

2. Maier, M., Chowdhury, M., Rimal, B. P., Van, D. P. The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54. Iss. 5. pp. 138–145.
3. Aijaz, A. Towards 5G-Enabled Tactile Internet: Radio Resource Allocation for Haptic Communications // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016.
4. Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J., Fettweis, G. The 5G-Enabled Tactile Internet: Applications, Requirements, and Architecture // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016.
5. Ho, C., Basdogan, C., Slater, M., Durlach, N., Srinivasan, M. A. An Experiment on the Influence of Haptic Communication on the Sense of Being Together // British Telecom Workshop on Presence in Shared Virtual Environments. 1998. pp. 10–11.
6. Fettweis, G. The Tactile Internet: Applications and Challenges // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2014. Vol. 9. Iss. 1. pp. 64–70.
7. Aijaz, A., Dohler, M., Aghvami, A. H., Friderikos, V., Frodigh, M. Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks // IEEE Wireless Communications. 2017. Vol. 24. Iss. 2. pp. 82–89.
8. Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J., Fettweis, G. 5G-Enabled Tactile Internet // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2016. Vol. 34. Iss. 3. pp. 460–473.
9. Caporusso, N., Biasi, L., Cinquepalmi, G., Trotta, G. F., Brunetti, A., Bevilacqua, V. Enabling Touch-Based Communication in Wearable Devices for People With Sensory and Multisensory Impairments // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 608. pp. 149–159.
10. Liang, G., Mei, D., Wang, Y., Chen, Z. Modeling and Analysis of a Flexible Capacitive Tactile Sensor Array for Normal Force Measurement // IEEE Sensors Journal. 2014. Vol. 14. Iss. 11. pp. 4095–4103.
11. Büscher, G. H., Kõiva, R., Schürmann, C., Haschke, R., Ritter, H. J. Flexible and Stretchable Fabric-Based Tactile Sensor // Robotics and Autonomous Systems. 2015. Vol. 65. Pt. 3. pp. 244–252.
12. Chizeck, H. J., Ryden, F., Stewart, A. Methods and Systems for Six-Degree-of-Freedom Haptic Interaction with Streaming Point Data. U.S. Patent No. 9,753,542, 2017.
13. Chan, L., Naghdy, F., Stirling, D. Application of Adaptive Controllers in Teleoperation Systems: A Survey // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2014. Vol. 44. Iss. 3. pp. 337–352.
14. Nakamura, N., Fukui, Y., Sakai, M., Koda, N., Iizuka, Y. Haptic Information Presentation System and Method. U.S. Patent Application No. 15/285, 2017.
15. Steinbach, E., Strese, M., Eid, M., Liu, X., Bhardwaj, A., Liu, Q., Al-Ja'afreh, M., Mahmoodi, T., Hassen, R., El Saddik, A., Holland, O. Haptic Codecs for the Tactile Internet // Proceedings of the IEEE. 2019. Vol. 107. Iss. 2. pp. 447–470.
16. Aijaz, A., Simsek, M., Dohler, M., Fettweis, G. Shaping 5G for the Tactile Internet // 5G Mobile Communications. 2017. pp. 677–691.
17. Ateya, A. A., Muthanna, A., Gudkova, I., Abuarqoub, A., Vybornova, A., Koucheryavy, A. Development of Intelligent Core Network for Tactile Internet and Future Smart Systems // Journal of Sensor and Actuator Networks. 2018. Vol. 7. Iss. 1.

**Атея Абдельмоталёб
Абдельхамид Ашраф**

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация,
eng.abdelhamied@hotmail.com

Мутханна Аммар Салех Али

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

Кучерявый Андрей Евгеньевич

– доктор технических наук, профессор, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
akouch@mail.ru

Ateya A. Abdelhamied

– Postgraduate student, SPbSUT, St. Petersburg,
193232, Russian Federation,
eng.abdelhamied@hotmail.com

Muthanna Ammar

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

Koucheryavy Andrey

- Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, akouch@mail.ru