



ИММЕРСИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ: ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ

А. И. Выборнова^{1*}

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: a.vybornova@gmail.com

Аннотация—В настоящее время наблюдается растущая потребность в технологиях, позволяющих расширять возможности удаленного взаимодействия между людьми. Имеющиеся в настоящий момент технологии уже не всегда могут удовлетворить потребности пользователей, в частности в вопросах обеспечения телеприсутствия, а также передачи кинестетических и тактильных данных. В статье предлагается введение нового термина – иммерсивные технологии в телекоммуникациях, а также обзор технологий и перспективных исследований, связанных с данным термином. **Предмет исследования:** иммерсивные технологии в телекоммуникациях **Методы исследования:** анализ литературы, посвященной предмету исследования **Основные результаты работы:** обзор технологий создания оконечных устройств и требований к сетям связи для иммерсивных технологий коммуникации **Практическая значимость работы** состоит в возможности использования полученных результатов для создания перспективных телекоммуникационных приложений

Ключевые слова—иммерсивные телекоммуникации, дополненная реальность, виртуальная реальность, 3D-объекты, тактильный интернет.

Информация о статье

УДК 004.732

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 29.11.2021, принята к печати 10.12.2021.

Ссылка для цитирования: Выборнова А. И. Иммерсивные технологии в телекоммуникациях: обзор и перспективы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 3. С. 1–10. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-3-1-10.



IMMERSIVE TELECOMMUNICATIONS: A SURVEY AND FUTURE DEVELOPMENT

A. Vybornova^{1*}

¹The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

*Corresponding author: a.vybornova@gmail.com

Abstract—Currently there is a growing need for technology to enhance the ability of people to interact remotely. The technologies available at the moment can always meet the needs of users, in particular in matters of providing telepresence, as well as the transmission of haptic data. The article proposes the introduction of a new term – immersive technologies in telecommunications, as well as an overview of technologies and future research related to this subject. **Research subject** is immersive telecommunication technologies. **Research method** is an analysis of the literature on the subject. **Core results are** analysis and survey of the immerse communications equipment and network requirements. **Practical relevance** of the work is that the results can be used for immerse communications applications design and development.

Keywords—immerse telecommunications, augmented reality, virtual reality, 3D objects, tactile internet.

Article info

Article in Russian.

Received 29.11.2021, accepted 10.12.2021.

For citation: Vybornova A.: Immersive Telecommunications: a Survey and Future Development // Telecom IT. 2021. Vol. 9. Iss. 3. pp. 1–10 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-3-1-10.



Введение

Скорость, с которой меняется окружающий нас мир, не может не поражать воображение. С началом пандемии COVID-19 как никогда востребованной оказалась возможность удаленного участия в различных мероприятиях, как рабочих, так и развлекательных. Безусловно, технологии телеприсутствия создаются и совершенствуются уже не первое десятилетие, но удивительным образом нынешняя пандемия дала развитию этих технологий новый импульс. С переводом многих предприятий и образовательных учреждений в дистанционный формат, а дружеских встреч в режим видеоконференций стало понятно, что удаленная передача только аудио- и видеoinформации катастрофически недостаточна для многих видов взаимодействия между людьми. Невозможно только при помощи видеообщения обучить студента-медика проведению хирургических операций, а студента консерватории – игре на музыкальном инструменте, врачу невозможно полноценно осмотреть пациента по видеосвязи, и онлайн-конференции не могут заменить живого общения. В общении человека с человеком есть множество нюансов, которые не передаются с помощью звука и двумерного изображения. Жесты, движения, тактильный отклик, запахи – все это пока невозможно передать на расстояние, однако события последних лет показывают, что спрос на передачу всех этих видов информации возникает непосредственно на наших глазах.

Иммерсивные технологии – это набор инструментов и методик погружения человека в окружающее пространство с использованием всех органов чувств [1, 2, 3]. Под иммерсивными технологиями в телекоммуникациях в данной статье будут пониматься технологии, вносящие в дистанционное общение людей дополнительные виды информации, позволяющие создавать эффект полного присутствия человека в удаленной от него на большое расстояние среде за счет создания трехмерных моделей людей и пространства, а также воздействия на все органы чувств людей, участвующих в дистанционном общении.

В данной статье представлен обзор существующих и перспективных технологий иммерсивных коммуникаций. В первой части описываются технологии дополненной и виртуальной реальности, позволяющие создавать трехмерные модели людей и пространства. Вторая часть посвящена передаче кинестетических и тактильных ощущений. В третьей части приведены выводы и перечислены перспективные пути развития иммерсивных технологий в телекоммуникациях.

Телеприсутствие, голографические коммуникации, дополненная и виртуальная реальность

Развитие визуальных дистанционных технологий происходит постоянно в течение многих лет. От передачи фотоизображений мы перешли к передаче видео, затем появились технологии виртуальной и дополненной реальности. В настоящее время в качестве следующего этапа можно рассматривать передачу по сетям связи голографических изображений (*Holographic-type communications*) [2]. При этом следует отметить, что на каждом из этапов требо-



вания к пропускной способности сетей связи неизбежно увеличиваются. Для расчета требуемой пропускной способности сети для передачи видеоизображений C_{video} может быть использована следующая формула:

$$C_{video} = (FPS \times PPF \times BPP) \times k,$$

где FPS – число кадров в секунду (*Frames per second*),

PPF – число пикселей в одном кадре (*Pixels per frame*), рассчитывается как длина кадра, умноженная на ширину кадра,

BPP – число битов в пикселе, глубина цвета (*Bits per pixel, colour depth*),

k – коэффициент сжатия, зависящий от используемого типа видекодека.

Таким образом, требуемая для видео полоса пропускания может меняться в большом диапазоне, однако в настоящее время наибольшей возможной на практике пропускной способностью можно считать передачу 60 кадров в секунду для кадров 4096×3072 пикселей с цветовой глубиной 64 бита на пиксель и без сжатия:

$$\begin{aligned} C_{video_{max}} &= (60 \text{ кадров/с} \times 12\,582\,912 \text{ пикселей/кадр} \times 64 \text{ бит/кадр}) \times 1 = \\ &= 48\,318\,382\,100 \text{ бит/с} \approx 48 \text{ Гбит/с}. \end{aligned}$$

Подсчет пропускной способности, требуемой для передачи 3D-видео (стереовидеоизображения) аналогичен передаче обычного видео, за исключением того, что в данном случае требуется в два раза большая пропускная способность, так как передается сразу два изображения, по одному для каждого из глаз:

$$C_{3D_video} = 2 \times (FPS \times PPF \times BPP) \times k.$$

Таким образом, максимальная требуемая полоса пропускания для стереовидео с учетом возможностей имеющегося в настоящий момент оборудования и без применения технологий сжатия информации составляет примерно 97 Гбит/с.

Для случая дополненной и виртуальной реальности (ДР и ВР) расчет требуемой пропускной способности во многом зависит от сценария взаимодействия с объектами ДР и ВР. Так, в некоторых случаях достаточно также передачи одного видеопотока или даже статичного изображения подходящего качества для воспроизведения на оконечных устройствах, однако чаще приложения ДР и ВР отличаются возможностью взаимодействовать с объектами с любых ракурсов. Таким образом, для приложений ДР и ВР максимальная требуемая пропускная способность зависит от числа камер, снимающих объект для представления в ДР или ВР:

$$C_{AR_VR_video} = N \times (FPS \times PPF \times BPP) \times k,$$

где N – число камер, одновременно снимающих объект с разных ракурсов.

В настоящий момент для получения стерео 3D, ДР и ВР видеоизображений могут использоваться как обычные камеры, получающие изображение в видимом диапазоне разного разрешения и цветовой глубины (RGB-камеры), так и камеры, которые помимо изображения в видимом диапазоне дополнительно измеряют его



глубину, то есть расстояние до объекта, при помощи испускания и фиксации отраженных электромагнитных волн инфракрасного спектра (RGB-D камеры). Использование информации о глубине изображения, может позволить уменьшить число камер, применяемых для создания сложного изображения. В частности, при создании 3D-изображения с одного ракурса можно вместо двух RGB-камер использовать одну RGB-D камеру, что позволит передавать по сети связи не два полноцветных изображения, а одно и данные о его глубине, что в свою очередь позволит уменьшить требуемую пропускную способность для передачи данных (данные о глубине изображения в настоящий момент могут быть представлены 2 битами на пиксель, как, например, в камерах Microsoft Kinect [2]). Однако следует отметить, что такой подход потребует использования более сложного оборудования на приеме, так как из цветного изображения и данных о глубине необходимо будет создать два цветных изображения для двух глаз [4]. Аналогично, при создании изображения для ДР и ВР можно сократить число видеокамер за счет использования RGB-D камер, однако такой подход требует создания как математической модели формирования 3D-объекта из данных нескольких RGB-D камер, так и соответствующего программного обеспечения.

Воспроизведение рассмотренных выше типов изображений возможно при помощи ряда технологий, как доступных уже много лет, так и появившихся в последние годы:

1. Разнообразные способы воспроизведения стереовидеоизображений включают в себя разделение изображений при помощи цветового разделения сигнала для глаз (красно-бирюзовые и др. 3D очки), временного разделения сигнала (активные 3D-очки), поляризации света для разделения сигналов (требуется специальное проекционное оборудование и специальное покрытие экрана).

2. Воспроизведение 3D-объектов при помощи специальных однопользовательских экранов без использования 3D очков, при помощи световых эффектов, например, при помощи технологии Wildfire 3D¹ и других.

3. Воспроизведение видеоизображений при помощи голографических вентиляторов, имитирующих создание истинно голографических изображений при помощи световых эффектов. Так как практическая реализация последних является сложной и дорогой, голографические вентиляторы представляют собой прекрасную альтернативу, которая может быть востребована в будущем.

4. Также воспроизведение трехмерных объектов возможно при помощи устройств ДР и ВР, например, смартфонов с поддержкой дополненной реальности, очков дополненной реальности, шлемов виртуальной реальности.

Передача тактильных и кинестетических данных

В последние годы в области телекоммуникаций достаточно активно идет обсуждение возможности создания приложений, позволяющих передавать по сетям связи тактильные и кинестетические данные. В частности, обсуждение требований к сетям связи в связи с появлением таких новых типов приложений обсуждаются в рамках концепции Тактильного интернета² [5].

¹ Magnetic 3D. URL: <https://www.magnetic3d.com/company/#companytechnology>

² The Tactile Internet. Technology Watch report. ITU-T, Geneva, 2014. 24 p.



Основная идея концепции Тактильного интернета заключается в том, что для реалистичной передачи кинестетических данных (движений оператора, см. рис. 1) и тактильной/кинестетической обратной связи (реакция среды в ведомом домене на движения оператора) требуется круговая задержка передачи данных по сети связи менее одной миллисекунды³ [5]. При этом объем передаваемых данных, и, следовательно, требуемая полоса пропускания может быть небольшой и исчисляться в килобитах в секунду [6, 7] в зависимости от подхода к кодированию информации [7].

Следует отметить, что отсутствие в настоящий момент большого количества приложений Тактильного интернета связано не только и не столько с неготовностью сетевой инфраструктуры к обеспечению таких низких задержек (хотя и это является достаточно сложной задачей), но также и со сложностями создания терминального оборудования. Так, в настоящий момент существует не очень большое количество работающих систем, которые могут фиксировать движения оператора, воспроизводить их в удаленной физической и виртуальной среде и предоставлять пользователю тактильную и/или кинестетическую обратную связь.

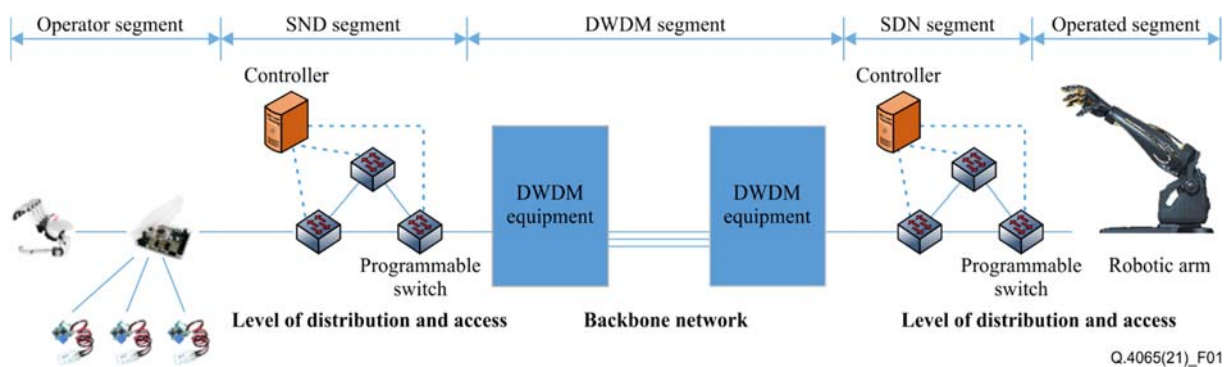


Рис. 1. Модельная сеть тактильного интернета⁴

Что касается фиксации, передачи по сетям связи и воспроизведения движений оператора, такие приложения существуют уже достаточно давно и во многих областях человеческой деятельности, например, в медицине при проведении эндоскопических операций, при осуществлении спасательных операций в опасной местности, а также в игровой индустрии. Для фиксации данных о движении оператора могут быть использованы следующие методы:

1. При помощи различных типов манипуляторов, как, в частности, это происходит в медицинской области и в компьютерных играх⁵.
2. При помощи RGB-D камер, которые позволяют фиксировать положение определенных точек на теле человека, либо определенных предметов в кадре.
3. При помощи различных датчиков движения, например:
 - а. датчика сгибания, фиксирующего сгибание пальцев или запястья;

³ The Tactile Internet. Technology Watch report. ITU-T, Geneva, 2014. 24 p.

⁴ Рекомендация ITU-T Q.4065 : Framework of model network for tactile Internet testing.

⁵ The Tactile Internet. Technology Watch report. ITU-T, Geneva, 2014. 24 p.



b. акселерометра, фиксирующего ускорение, включая ускорение свободного падения, что позволяет определить положение пальцев или рук относительно оси, направленной к центру земли;

c. магнитометра, позволяющего установить положение пальцев или рук относительно магнитных полюсов земли;

d. гироскопа, позволяющего зафиксировать угловую скорость при вращении рукой;

e. сочетания нескольких указанных выше датчиков.

Воспроизведение движений оператора возможно двумя различными способами:

1. При помощи движений роботов или роботизированных рук в физическом мире.

2. При помощи отрисовки движений объектов в виртуальном мире.

Оба этих способа в настоящий момент представлены большим количеством приложений. Приложения, воспроизводящие движения оператора в виртуальной среде, чаще всего встречаются в игровой индустрии, приложения, в физической среде – в медицине и других областях.

Более сложной задачей является сбор тактильной и кинестетической обратной связи. При воспроизведении движений оператора в реальном мире или виртуальной среде устройство, воспроизводящее движения, неизбежно взаимодействует с этой средой. Такое взаимодействие можно разделить на кинетическое (воспринимаемое рецепторами мышц, сухожилий и т. д., например, при столкновении устройства с объектом окружающей среды) и тактильное (воспринимаемое рецепторами кожи, например, температура среды, вибрация при перемещении устройства по объектам с выраженной текстурой). Если в виртуальной среде тактильная и кинестетическая обратная связь имитируется программными средствами, а не собирается, то в физической среде фиксация кинестетической и тактильной обратной связи может быть выполнена при помощи ряда датчиков, например:

1. Датчики нажатия, а также датчики движения для фиксации кинестетической обратной связи.

2. Датчики температуры для фиксации температуры объектов (тактильная обратная связь).

3. Датчики вибрации для фиксации различных типов вибрации, возникающих при взаимодействии со средой (тактильная обратная связь).

Воспроизведение тактильной и кинестетической обратной связи оператору представляется еще более сложной задачей. В настоящий момент можно выделить следующие подходы:

1. Использование различных механических устройств для воспроизведения кинестетической обратной связи.

2. Использование нагревающих/охлаждающих устройств для воспроизведения температуры среды.

3. Использование компактных низкочастотных динамиков для воспроизведения вибрационной тактильной обратной связи.



В рамках описания оконечных устройств нельзя не упомянуть прототип устройства, созданного компанией Meta⁶. Устройство представляет собой перчатку, оснащенную датчиками и механическими устройствами, фиксирующую движения оператора и воспроизводящую оператору тактильную и кинестетическую обратную связь (рис. 2). В качестве ведомого домена в данном случае выступает виртуальная среда. Аналогичные работы проводит последние несколько лет СПбГУТ, используя в качестве ведомого домена различные роботизированные руки, оснащенные датчиками.

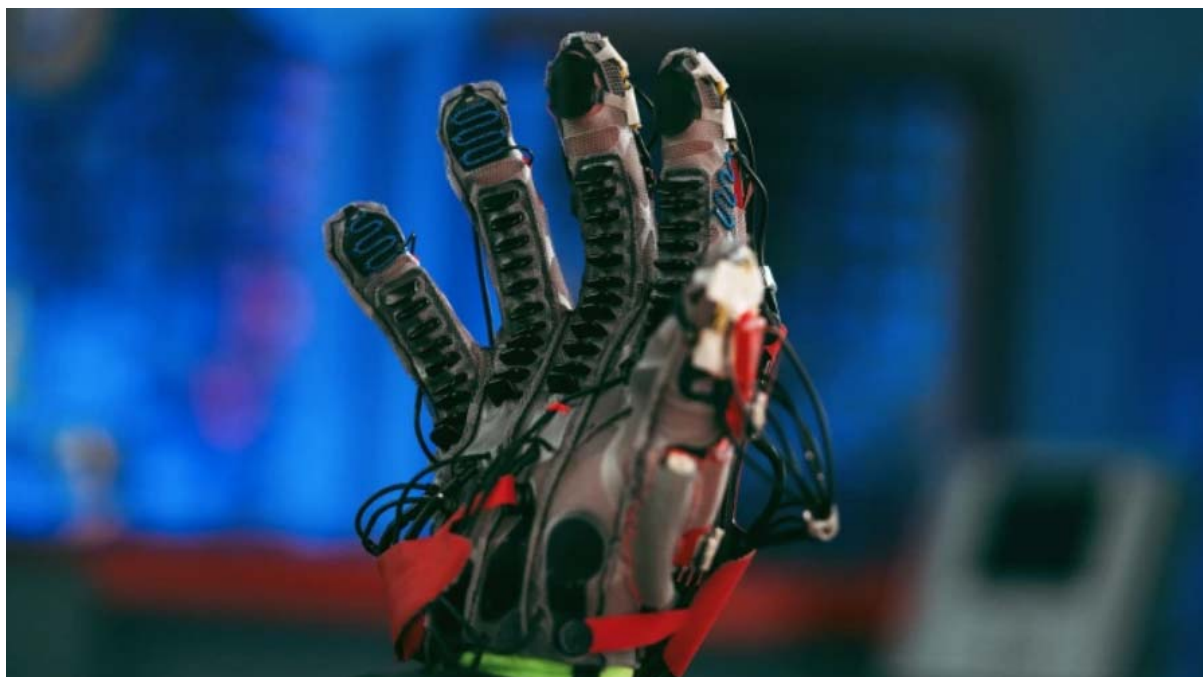


Рис. 2. Перчатка для взаимодействия с виртуальной реальностью от компании Meta (Facebook)⁷

Перспективные направления развития иммерсивных технологий в телекоммуникациях

Следует отметить, что несмотря на заметные успехи в данной области за последние годы, все еще остается ряд вопросов, которые требуют дальнейших исследований:

1. Возможно, самым насущным вопросом с точки зрения области телекоммуникаций является обеспечение требуемых сетевых параметров для синхронной передачи всех типов иммерсивных взаимодействий. Синхронность передачи представляется достаточно важной, так как при некотором временном расхождении между различными типами ощущений может возникнуть эффект нереали-

⁶ Inside Reality Labs Research: Meet the team that's working to bring touch to the digital world. URL: <https://tech.fb.com/inside-reality-labs-meet-the-team-thats-bringing-touch-to-the-digital-world/>

⁷ Там же.



стичности, которого хотелось бы избежать. В то же время разные типы информации предъявляют различные требования к сетям связи, так для визуальной информации важна большая пропускная способность, а для тактильной – сверхмалая задержка, таким образом для обеспечения эффекта присутствия требуется, чтобы сеть связи одновременно обеспечивала обе характеристики на требуемом уровне.

2. Другим важным вопросом является формирование требований к сетям связи для передачи других типов информации, которые можно отнести к иммерсивным, например, запахам или чувству равновесия и положения в пространстве.

3. Наконец, важным вопросом является создание оконечных устройств для иммерсивных технологий. В данный момент складывается ситуация, когда в одних областях оконечные устройства создаются и совершенствуются достаточно активно, в то время как в других прогресс заметен гораздо меньше. В частности, сложной инженерной задачей является воспроизведение оператору системы кинестетической и тактильной обратной связи из удаленного ведомого домена. Имеющиеся в настоящий момент устройства за счет необходимости использования большого количества механических и других элементов являются достаточно неудобными и дорогими. В то же время возможно в будущем появятся устройства, позволяющие воздействовать на рецепторы человека не механическим способом, а, например, при помощи слабых электрических сигналов, имитирующих работу самих рецепторов.

Исследование выполнено в рамках исполнения ПНИ по государственному заданию СПбГУТ на 2021 год.

Литература

1. Y. Altunbasak, J. Apostolopoulos, P. A. Chou and B. H. Juang, "Realizing the Vision of Immersive Communication [From the Guest Editors]," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 28, no. 1, pp. 18–19, Jan. 2011, doi: 10.1109/MSP.2010.939043.
2. A. Clemm, M. T. Vega, H. K. Ravuri, T. Wauters and F. D. Turck, "Toward Truly Immersive Holographic-Type Communication: Challenges and Solutions," in IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 1, pp. 93–99, January 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.1900272.
3. D. Roth, K. Waldow, M. E. Latoschik, A. Fuhrmann and G. Bente, "Socially immersive avatar-based communication," 2017 IEEE Virtual Reality (VR), 2017, pp. 259–260, doi: 10.1109/VR.2017.7892275.
4. W. Kehl, F. Tombari, S. Ilic and N. Navab, "Real-Time 3D Model Tracking in Color and Depth on a Single CPU Core," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, pp. 465–473, doi: 10.1109/CVPR.2017.57.
5. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. N 1. С. 44–46.
6. X. Liu, M. Dohler, T. Mahmoodi and H. Liu, "Challenges and opportunities for designing tactile codecs from audio codecs," European Conference on Networks and Communications, pp. 1–5, June 2017.
7. Выборнова А.И. Обзор подходов к созданию кодеков тактильной информации // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Т. 7. № 1. С. 31–40. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-1-31-40.



References

1. Y. Altunbasak, J. Apostolopoulos, P. A. Chou and B. H. Juang, "Realizing the Vision of Immersive Communication [From the Guest Editors]," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 28, no. 1, pp. 18–19, Jan. 2011, doi: 10.1109/MSP.2010.939043.
2. A. Clemm, M. T. Vega, H. K. Ravuri, T. Wauters and F. D. Turck, "Toward Truly Immersive Holographic-Type Communication: Challenges and Solutions," in IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 1, pp. 93–99, January 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.1900272.
3. D. Roth, K. Waldow, M. E. Latoschik, A. Fuhrmann and G. Bente, "Socially immersive avatar-based communication," 2017 IEEE Virtual Reality (VR), 2017, pp. 259–260, doi: 10.1109/VR.2017.7892275
4. W. Kehl, F. Tombari, S. Ilic and N. Navab, "Real-Time 3D Model Tracking in Color and Depth on a Single CPU Core," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, pp. 465–473, doi: 10.1109/CVPR.2017.57.
5. Koucheryavy A. E., Makolkina M. A., Kirichek R. V. Tactile internet. Ultra-low latency networks // Electrosvyaz. 2016. No. 1. pp. 44–46 (in Russian).
6. X. Liu, M. Dohler, T. Mahmoodi and H. Liu, "Challenges and opportunities for designing tactile codecs from audio codecs," European Conference on Networks and Communications, pp. 1–5, June 2017.
7. Vybornova A.: A Survey on Haptic Codec Design Approaches // Telecom IT. 2019. Vol. 7. Iss. 1. pp. 31–40 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-1-31-40.

Выборнова Анастасия Игоревна

кандидат технических наук, доцент кафедры
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, a.vybornova@spbsut.ru

Vybornova Anastasia I.

Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg
State University of Telecommunications,
a.vybornova@spbsut.ru