



АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТАКТИЛЬНОГО И КИНЕСТЕТИЧЕСКОГО КОДЕКА В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СЕТЯХ 2030

Е. С. Сапунова*, **А. И. Выборнова**

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

*Адрес для переписки: katerinochka-rinochka2010@yandex.ru

Аннотация—Актуальным направлением исследований в области телекоммуникаций является передача тактильной и кинестетической информации по перспективным высокоскоростным сетям связи 2030. **Предмет исследования.** Предметом исследования является анализ требований для передачи тактильной и кинестетической информации. **Метод.** Методом исследования является сбор и анализ имеющихся исследований по теме статьи. **Основные результаты.** Основными результатами работы являются обобщенные данные об имеющихся требованиях к сетям связи для передачи тактильных и кинестетических ощущений. **Практическая значимость.** Практическая значимость работы состоит в возможности применения полученных результатов при создании универсального кодека для передачи тактильной и кинестетической информации по сетям связи 2030.

Ключевые слова—тактильная информация, тактильный кодек, кинестетический кодек, требования к кодекам, сети связи 2030.

Информация о статье

УДК 004.71

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 02.06.2021, принята к печати 28.07.2021.

Ссылка для цитирования: Сапунова Е. С., Выборнова А. И. Анализ требований для разработки тактильного и кинестетического кодека в высокоскоростных сетях 2030 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 2. С. 55–63. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-55-63.



ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF A TACTILE AND KINESTHETIC CODEC FOR THE NETWORKS 2030

E. Sapunova*, **A. Vybornova**

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

*Corresponding author: katerinotchka-rinotchka2010@yandex.ru

Abstract—An important research area in the field of telecommunications is the transmission of tactile and kinesthetic information over communication networks, including Networks 2030. **The subject of the research** is the analysis of the requirements for the transmission of tactile and kinesthetic information. The research **method** is the collection and analysis of available research on the topic of the article. **Core results** of the work are generalized data on the existing requirements for communication networks for the transmission of haptic sensations. **Practical relevance** of the work lies in the possibility of using the obtained results to create a universal codec for transmitting tactile and kinesthetic information over the Networks 2030.

Keywords—tactile information, tactile codec, kinesthetic codec, codec requirements, networks 2030.

Article info

Article in Russian.

Received 02.06.2021, accepted 28.07.2021.

For citation: Sapunova E., Vybornova A.: Analysis of requirements for the development of a tactile and kinesthetic codec for the networks 2030 // Telecom IT. 2021. Vol. 9. Iss. 2. pp. 55–63 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-55-63.



Введение

Организация передачи тактильной информации по сетям связи, включая перспективные высокоскоростные сети связи 2030, является одним из перспективных направлений развития телекоммуникационной отрасли [1]. В концепции Интернета Навыков [2] телекоммуникационная инфраструктура рассматривается как способ передачи между людьми различных знаний и умений.

Одним из способов передачи и представления информации в удобной форме для работы человека или технического устройства является кодирование.

Существуют виды информации, для которых до сих пор нет единого подхода к способу их кодирования и хранения. К таким видам и относится тактильная и кинестетическая информация.

У различных исследовательских групп и компаний отличаются подходы к решению задач, однако в рамках работы над стандартом IEEE P1918.1.1 проделана значительная работа по созданию универсального подхода к работе с тактильными данными¹.

1 Стандарт кодирования IEEE P1918.1.1

Текущая деятельность по стандартизации IEEE P1918.1.1 (также известная как Целевая группа кодеков Haptic) определяет кодеки, которые обеспечивают взаимодействие различных тактильных интерфейсов (кинестетических и/или тактильных). Эти кодеки адресованы приложениям ТИ, где человек находится в цикле (сценарии телеоперации), а также приложениям, включающим дистанционное управление машиной [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Тактильные кодеки предназначены для поддержки сценариев с задержкой по времени и без задержки. Стандарт определяет механизмы и протоколы для обмена возможностями взаимодействующих тактильных интерфейсов (например, рабочее пространство, степени свободы, временное и пространственное разрешение и т. д.), чтобы обеспечить возможность тактильной связи «включай и работай».

2 Требования для разработки тактильного и кинестетического кодеков

В этой части представлены определенные требования в IEEE P1918.1.1 для разработки тактильного кодека. Эти требования охватывают варианты использования, определенные в IEEE P1918.1 (*Tactile Internet Working Group*), но не ограничиваются только этими вариантами использования.

В требования к Haptic Codec входят: кинестетические и тактильные кодеки; эталонное программное обеспечение и оборудование; показатели субъективной и объективной оценки качества; механизмы установления связи для тактильной связи «включай и работай»; гаптические системы мультиплексирования.

¹ IEEE P1918.1.1 Haptic Codecs for the Tactile Internet Task Group. (2018) Kinesthetic reference setup. URL: <https://cloud.lmt.ei.tum.de/s/8ol5mX6TCDBS8t4>



3 Требования к кинестетическому кодексу

Tactile Internet Working Group должна предоставить средства для кинестетической передачи данных. Спецификации для кодирования кинестетических данных приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Требования к кинестетическому кодексу

Требования и тип		Примеры
Необходимые	Схема управления (задержка настраиваемая/адаптируемая)	Должна быть определена одна схема управления или нет
	Скорость передачи пакетов	Низкое качество взаимодействия без потерь
	Возможность реального времени	Сложность кодера
	Минимальная алгоритмическая задержка	Не должно быть алгоритмической задержки, в идеале
Необязательные	Многоточечная поддержка	Сильная корреляция со сложными сценариями

4 Требования к тактильному кодексу

Tactile Internet Working Group должна так же предусматривать средства для тактильной передачи тактильных данных. Спецификации для кодирования тактильных данных приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Требования к тактильному кодексу

Требования и тип		Примеры
Необходимые	Максимальная алгоритмическая задержка (T_{max})	50 мс
	Поддержка одной точки/нескольких точек	Искусственная кожа, единственный датчик
	Возможность реального времени	Сложность кодера
	Битрейт контроль	Низкое качество взаимодействия без потерь

5 Требования к субъективной оценке качества

Субъективное тестирование использует эталонные настройки, предоставленные и поддерживаемые Целевой группой Haptic Codec. Эталонная установка для разработки тактильного кодера показана на рис. 1.

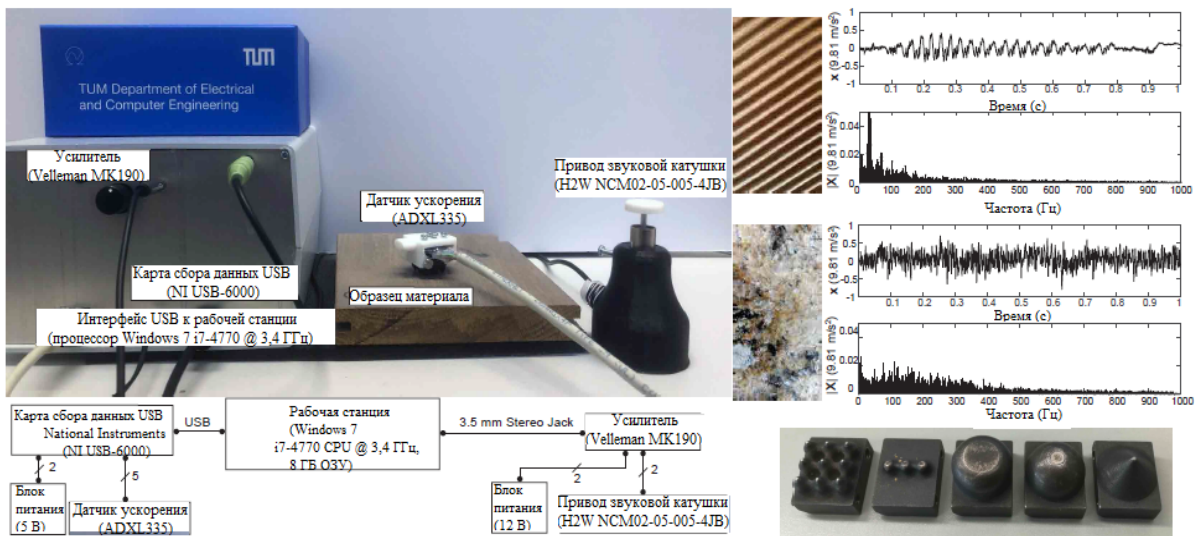


Рис. 1. Установка для сбора и отображения тактильных сигналов, которые могут быть воспроизведены с использованием общедоступного оборудования. Примерные сигналы (длиной 1 секунда) и соответствующие графики спектральной области показаны для двух разных материалов. Несколько наконечников инструмента из нержавеющей стали для сбора сигналов взаимодействия поверхности инструмента

Заинтересованным научным коллективам предлагается внести свой вклад в настройки. Каждое предложение, которое демонстрирует достаточные доказательства с точки зрения актуальности и эффективности, должно пройти этап перекрестной проверки, что означает, что второй группе необходимо повторно реализовать предложение и провести субъективные тесты для подтверждения представленных результатов.

6 Эталонная установка для разработки кинестетического кодека

[9] описывает пример аппаратной и программной настройки для оценки кинестетических кодеков. Установка реализует сценарий телеоперации в виртуальной среде с кинестетическим взаимодействием с обратной связью. Он реализован на основе широко используемой тактильной платформы разработки приложений Chai3d.

На рис. 2 показан снимок виртуальной среды, которая состоит из жесткого куба (подвижного), лежащего на жесткой плоской поверхности. В виртуальном пространстве тактильное устройство представлено маленьким шариком серого цвета (виртуальный инструмент), показанным на рисунке. Оператор управляет положением и скоростью виртуального инструмента с помощью кинестетического устройства Novint Falcon и получает обратную связь с тремя степенями свободы при каждом контакте виртуального инструмента с объектами в окружающей среде. Реализация этой настройки доступна в IEEE P1918.1.1².

² IEEE P1918.1.1 Haptic Codecs for the Tactile Internet Task Group. (2018) Kinesthetic reference setup. URL: <https://cloud.lmt.ei.tum.de/s/8ol5mX6TCDBS8t4>

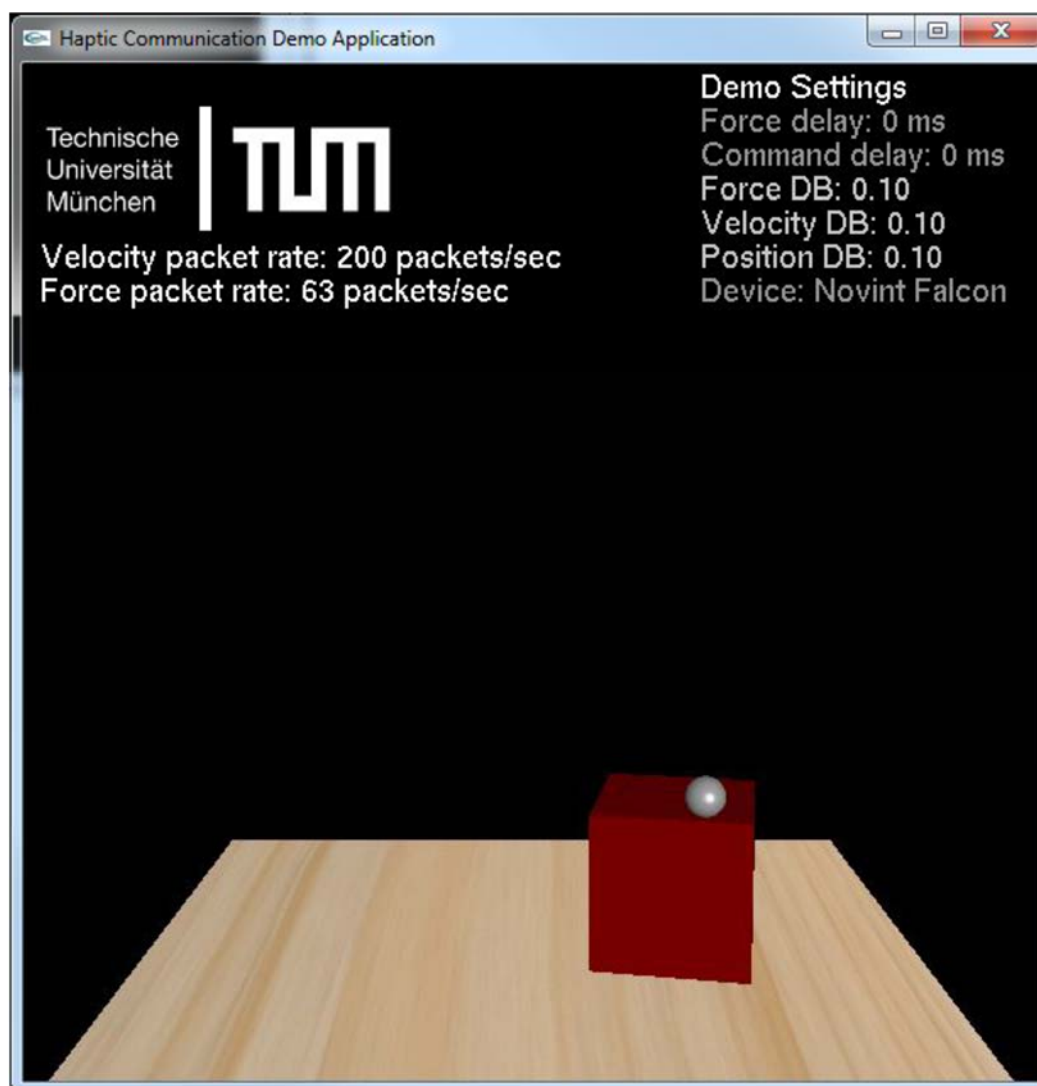


Рис. 2. Снимок экрана виртуальной среды, предназначенной для настройки разработки кинестетического кодека

Настройка не зависит от конструкции/структуры используемых кинестетических кодеков. Для иллюстрации принципа кинестетического кодека в установке [9] включает схему сокращения данных на основе воспринимаемой зоны нечувствительности.

На рис. 2 выбранные параметры воспринимаемого кодека на основе зоны нечувствительности показаны под демонстрационными настройками. Здесь Force DB и Velocity DB обозначают параметры зоны нечувствительности для сигналов силы и скорости соответственно. Кроме того, можно также увидеть скорость передачи пакетов (прямой канал) и принудительную скорость передачи пакетов (обратный канал), генерируемые кинестетическим кодеком на основе воспринимаемой зоны нечувствительности.

Установка также поставляется с необработанными данными трассировки (сигналы положения и скорости ведущего устройства, сигнал силы ведомого) как для статических взаимодействий с жесткой плоской поверхностью, так



и для динамических взаимодействий с подвижным кубом. Эти данные позволяют оценивать кинестетические кодеки даже без установки программы.

7 Особенности создания кодеков с учетом требования задержки 1 мс

С точки зрения частоты дискретизации и требуемого объема передачи данных различные виды тактильной информации заметно отличаются друг от друга.

В режиме реального времени может происходить взаимодействие тактильных ощущений, но только если задержка в сети будет меньше, чем соответствующая физиологическая константа времени. В примере, приведенном G. P. Fettweis в [10], приведено описание проблемы задержки. При перемещении объекта на сенсорном экране, незаметное смещение между человеческим пальцем и движущимся объектом достигается при максимальной задержке в 1 мс. Так как средняя скорость движения пальца человека на сенсорном экране равна 1 м/с, то 1 мс – это время перемещения человеческого пальца на максимальное незаметное расстояние между любыми двумя смещениями – 1 мм на сенсорном экране.

В таблице 3 указаны различные физиологические константы времени для разных ощущений человека [11].

Таблица 3.

Физиологические константы времени для различных ощущений человека

Константы времени t	Ощущение человека
1 мс	Тактильное
10 мс	Визуальное
100 мс	Слуховое
1 с	Мышечное

В гетерогенных сетях связи рассматриваются три основные задержки: задержка при управлении, задержка на уровне пользователя и задержка из конца в конец.

Задержка из конца в конец – это задержка от начала передачи пакета данных на прикладном уровне передатчика до приема данных на прикладном уровне приемника. В нее входят многие типы задержек, в том числе и задержка распространения – это задержка между передачей сигнала от ведущего устройства базового домена до приема его ведомым устройством исполнительного домена.

В основном, длительность времени передачи сигнала, зависит от среднего расстояния. К примеру свет может проходить за 1 мс примерно 200 км по оптоволоконным кабелям и только 300 км в вакууме. Исходя из этого, задержка в 1 мс в настоящий момент может быть достигнута только для взаимодействий на относительно короткие расстояния, поскольку помимо задержки распространения имеются и другие задержки.



Заключение

IEEE P1918.1.1 рассматривает кинестетический кодек для стандартизации. Недавно группа завершила эксперименты по перекрестной проверке предлагаемого кинестетического кодека. Большие ограничения на системно-сетевые решения по построению сетей связи накладывает требование по величине задержки в 1 мс. Но в настоящий момент достаточно активно ведутся исследования, посвященные созданию тактильного/кинестетического кодека в связи с перспективами практического применения технологий Тактильного Интернета.

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

Литература

1. Кучерявый А. Е., Бородин А. С., Киричек Р. В. Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56
2. Dohler M., Mahmoodi T., Lema M., Condoluci M., Sardis F., Antonakoglou K., Aghvami A. Internet of skills, where robotics meets AI, 5G and the Tactile Internet // 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC). IEEE, 2017. pp. 1–5.
3. Sapunova E., Leontiev S., Vybornova A.: Traffic analysis for a parametric tactile codec // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 2. pp. 67–76 (in Russian). doi 10.31854/2307-1303-2020-8-2-67-76.
4. Steinbach E. et al., Haptic Codecs for the Tactile Internet // Proceedings of the IEEE. 2018. Vol. 107. No. 2. pp. 447–470.
5. Кучерявый А. Е., Выборнова А. И. Тактильный Интернет // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. АПИНО-2016. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3-х т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 1. С. 6–11.
6. Атея А. А. А., Мутханна А. С. А., Кучерявый А. Е. Тактильный Интернет как телекоммуникационные системы будущего // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 4. С. 1–9.
7. Ястребова А. А., Выборнова А. И., Киричек Р. В. Обзор концепции тактильного интернета и технологий для его реализации // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. С. 89–96.
8. Кучерявый А. Е., Бородин А. С., Киричек Р. В. Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56.
9. Bhardwaj A. et al. A candidate hardware and software reference setup for kinesthetic codec standardization // 2017 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE). IEEE, 2017. pp. 1–6.
10. Fettweis G. P. The tactile internet: Applications and challenges // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2014. Vol. 9. No. 1. pp. 64–70.
11. Сапунова Е. С. Анализ методов передачи тактильной информации по сверхнадежным сетям с ультрамалыми задержками // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2020). Региональная научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей; сборник лучших докладов конф. / Сост. Н. Н. Иванов. СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 216–220.

References

1. Koucheryavy A. Eu., Borodin A. S., Kirichek R. V. Network 2030 // Electrosvyaz. 2018. No. 11. pp. 52–56 (in Russian).
2. Dohler, M.; Mahmoodi, T.; Lema, M.; Condoluci, M.; Sardis, F.; Antonakoglou, K.; Aghvami, A. Internet of skills, where robotics meets AI, 5G and the Tactile Internet // 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC). IEEE, 2017. pp. 1–5.
3. Sapunova E., Leontiev S., Vybornova A.: Traffic analysis for a parametric tactile codec // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 2. pp. 67–76 (in Russian). doi 10.31854/2307-1303-2020-8-2-67-76.



4. Steinbach, E. et al., Haptic Codecs for the Tactile Internet // Proceedings of the IEEE. 2018. Vol. 107. No. 2. pp. 447–470.
5. Koucheryavy A., Vybornova A. Tactile Internet // Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii. ICAIT-2016. V Mezhduna-rodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferenciya: sb. nauch. st. v 3-h t. SPb.: SPbGUT. Vol. 1. pp. 6-11 (in Russian).
6. Ateya A. A., Muthanna A., Koucheryavy A.: Tactile Internet: Future Telecommunication Systems // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 4. pp. 1–9 (in Russian).
7. Jastrebova A., Vybornova A., Kirichek R.: Review the concept of the tactile Internet and technology for its realization // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 4. pp. 89–96 (in Russian).
8. Koucheryavy A. Eu., Borodin A. S., Kirichek R. V. Network 2030 // Electrosvyaz. 2018. No. 11. pp. 52–56 (in Russian).
9. Bhardwaj, A. et al. A candidate hardware and software reference setup for kinesthetic codec standardization // 2017 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE). IEEE, 2017. pp. 1–6.
10. Fettweis, G. P. The tactile internet: Applications and challenges // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2014. Vol. 9. No. 1. pp. 64–70.
11. Sapunova E. Analysis of Methods for Transmitting Tactile Information on Ultra-Reliable Low-Latency Networks // Podgotovka professional'nyh kadrov v magistrature dlya cifrovoj ekonomiki (PKM-2020). Regional'naya nauchno-metodicheskaya konferenciya magistrantov i ih rukovoditelej; sbornik luchshih dokladov konf. / Sost. N. N. Ivanov. SPb.: SPbGUT, 2021. S. 216–220 (in Russian).

Сапунова Екатерина Сергеевна

студентка Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
katerinotchka-rinotchka2010@yandex.ru

Выборнова Анастасия Игоревна

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

Sapunova Ekaterina S.

Student, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
katerinotchka-rinotchka2010@yandex.ru

Vybornova Anastasia I.

Candidate of engineering sciences, associate professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
a.vybornova@gmail.com