

ОБЗОР КОНЦЕПЦИИ ТАКТИЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

А. А. Ястребова¹, А. И. Выборнова¹, Р. В. Киричек^{1*}

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

Аннотация

Задачей данной работы является обзор концепции Тактильного Интернета, его внедрение в существующие сети. Целями данного исследования являются: обзор архитектуры Тактильного Интернета, определение основных технических требований к сетевой инфраструктуре с целью его реализации и дальнейшего исследования; анализ и выводы по существующим технологиям сотовой связи для оценки состояния развития. Под техническими требованиями подразумеваются: оптимизация методов взаимодействия удаленных сегментов для обработки и передачи «тактильной» информации; безопасность и конфиденциальность сети; особые характеристики непрерывного времени задержки, а также высокая надежность и скорость подключения.

Ключевые слова

Тактильный Интернет, архитектура сети, технологии сотовой связи, сети будущего, минимальная задержка, высокие скорости передачи данных, инновации.

Информация о статье

УДК 004.716

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 26.10.16, принята к печати 25.11.16.

Ссылка для цитирования: 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.

REVIEW THE CONCEPT OF THE TACTILE INTERNET AND TECHNOLOGY FOR ITS REALIZATION

A. Jastrebova¹, A. Vybornova¹, R. Kirichek^{1*}

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: kirichek@sut.ru

Abstract—Objective of this work is to review the concepts of Tactile Internet, its integration into existing networks. The objectives of this study are: an overview of the architecture of the tactile Internet, defining the basic technical requirements for network infrastructure with a view to its implementation, and further research; analysis and conclusions on existing cellular technologies to evaluate the State of development. Under technical requirements means: optimization methods of interaction between remote segments for processing and transmission of the "tactile" information; network security and privacy; the special characteristics of continuous time delay and high reliability and speed of the connection.

Keywords—Tactile Internet, network architecture, technology, cellular communication network of the future, minimal latency, high speed data transfer, innovation.

Article info

Article in Russian.

Received 26.10.16, accepted 25.11.16.

For citation: 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).

Введение

Данная статья носит обзорный характер. Целью данной работы является обозрение концепции Тактильного Интернета и его приложений, установка основных требований к сетевой инфраструктуре для реализации Тактильного Интернета, а также краткий обзор по уже имеющимся исследованиям в мире по данной теме, что должно послужить материалом для дальнейших исследований по этой теме.

Определение Тактильного Интернета

В 2014 году в г. Женеве был выпущен отчет Сектора стандартизации Международного союза электросвязи ITU-T Technology Watch Report August 2014¹. Данный документ, описывал видение концепции Тактильного Интернета, а также регламентирующий требования к сетевой архитектуре. Technology Watch – это рекомендации по появляющимся информационным и телекоммуникационным технологиям, определяющие стандартизации и назначения, собранные сектором стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (МСЭ) (*International Telecommunication Union – Telecommunication sector, ITU-T*).

Согласно рекомендации² под Тактильным интернетом подразумевается – тактильное взаимодействие с обратной связью через Интернет, который предполагает тактильное взаимодействие с обратной связью, технические системы которого поддерживают не только аудиовизуальное взаимодействие, но и участие роботизированных систем, которые управляются с незаметным для пользователя временем задержки. Данное время задержки определяется как 1 мс.

Можно сказать, что предвестником появления инновационной идеи Тактильного Интернета стала концепция Интернета Вещей, где преимущественным является межмашинное взаимодействие. Тактильный интернет предполагает взаимодействие машины и человека, давая возможность передавать тактильную и нетактильную информацию на больших скоростях. Такая возможность воссоздаст

¹ ITU-T Technology Watch Report, August 2014.

² Там же

условия, при которых будут развиты новые инновационные услуги. Непременно, огромное влияние это окажет на такие сферы деятельности, как медицина, образование, область промышленной автоматизации, игровая индустрия. Также концепция Тактильного Интернета найдет применение совместно с технологиями виртуальной и дополненной реальности.

Основная идея концепции Тактильного Интернета заключается в том, что время, которое уходит на обработку одного пакета очень мало. Это даст возможность конечному пользователю полностью «погрузиться» в виртуальный мир. Среднее время задержки не должно превышать порядка 1 мс. Считается, что этого достаточно для реального «ощущения», так как время реакции человеческого организма к тактильному раздражению определяется как 0,15–0,8 с³.

Исследования активно ведутся по всему миру и на данную тему уже существует ряд работ [1, 2, 3]. К основным разработкам, которые можно назвать началом эры Тактильного Интернета можно отнести роботизированную руку от Geomagical and Sensable⁴, роботизированную перчатку Dexmo, дающую возможность «пощупать» виртуальную реальность [5], тактильный стул от компании Surround Haptic [6]. Автомобили марки Tesla с возможностью вождения в режиме автопилота также играют огромную роль. Данные разработки находятся на стадии развития и пока не могут полностью отвечать высоким требованиям к сети, которые будут описаны далее.

Архитектурные аспекты сети

В отличие от обычного Интернета, который предоставляет среду для передачи аудио- и видеоинформации и данных, Тактильный Интернет будет предоставлять среду для передачи тактильных ощущений в реальном времени, т. е. возможность тактильного и нетактильного контроля через Интернет. Ключевое различие между осязаемым и неосязаемым контролем заключается в том, что в первом случае существует «тактильная» обратная связь системы (кинетическая или вибро-тактильная), в дополнение к аудио- и визуальной обратной связи, образуя таким образом «глобальное управление»; в то время как в последнем случае обратная связь может быть только аудио или видео и, следовательно, не существует такого понятия как «глобальное управление». Следует отметить, что тактильный контроль присущ большинству «осязательных» приложений.

Как показано на рисунке, конечная архитектура Тактильного Интернета может быть разделена на три отдельных домена: главный домен, сетевой домен и ведомый⁵.

1. Главный (ведущий) домен.

Главный домен обычно состоит из человека (оператора) и человеко-интерпретируемого системного интерфейса. Системный интерфейс подразумевает относящееся к осязанию устройство, которое преобразует человеческие действия в тактильные посредством различных тактильных кодирующих манипуляций. Осязательное устройство позволяет пользователю «трогать» и манипулировать объектами в реальной и виртуальной среде, и прежде всего, контролировать операции управляемого домена.

³ Там же.

⁴ 3D SYSTEMS: Haptic Device English Web Letter. 2016.

⁵ ITU-T Technology Watch Report, August 2014.

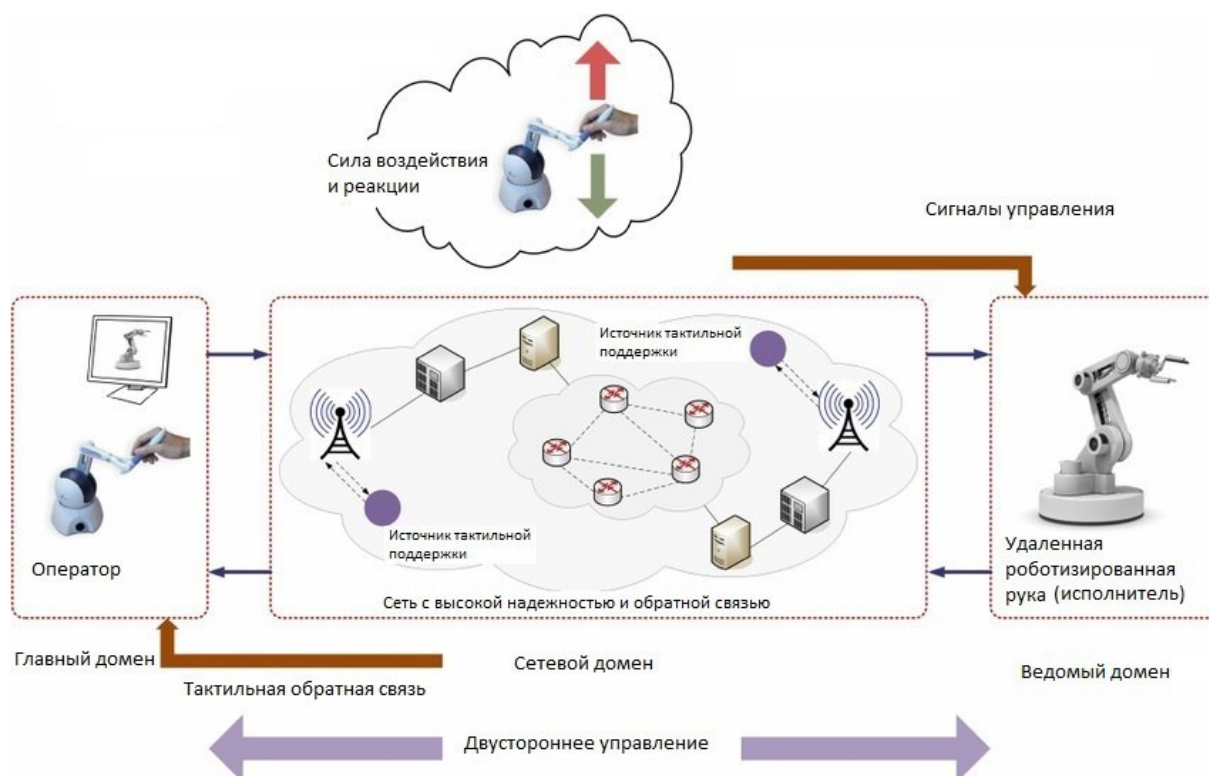


Рисунок. Реализация Тактильного Интернета (Image: Realizing The Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks Article in IEEE Wireless Communications December 2015)

2. Ведомый домен.

Ведомый домен состоит из дистанционного оператора (управляемого робота) и непосредственно управляется главным доменом через различные командные сигналы.

3. Сетевой домен.

Сетевой домен предоставляет среду для обмена данными между главным и контролируемым доменом, и, следовательно, связывает человека с удаленной средой. В идеале, оператор должен полностью погрузиться в удаленную среду.

Требования к сети

К данной сети предъявляются следующие требования:

1. Высокая скорость подключения.

Непрерывное время задержки для Тактильного Интернета должно составлять 1 мс. Если задержка будет выше указанной, пользователи Тактильного Интернета будут испытывать «кибер-болезнь», которая возникает в результате конфликта между зрительной, вестибулярной и проприоцептивной системой.

2. Высокая надежность соединения.

Под надежностью понимается гарантия необходимой производительности в заданных условиях в течении заданного времени. Конкретные требования к надежности отличаются у различных видов услуг и приложений.

3. Безопасность и конфиденциальность.

Безопасность и конфиденциальность являются также ключевыми требованиями для реализации Тактильного Интернета. Учитывая строгое ограничение

времени ожидания, средства безопасности должны поддерживаться на физическом уровне и иметь низкую вычислительную нагрузку. В частности, для целей идентификации пользователя могут быть использованы такие физические характеристики, как отпечатки пальцев, рисунок радужной оболочки глаза, модель поведения пользователя, которые невозможно или сложно клонировать.

4. Стандартизация

Тактильный интернет должен обрабатывать «тактильную» информацию также, как и обычную аудио/видео информацию. Отсюда следует, что стандарты кодеков должны быть схожими с современными аудио (ITU-T H.264) и видео ((ISO/IEC MPEG-4) кодеками, для облегчения передачи «тактильных» данных через сеть с пакетной коммутацией. В последнее время деятельностью по стандартизации Тактильного Интернета занимаются IEEE и ETSI⁶.

Обзор существующих технологий

Для реализации концепции Тактильного Интернета, ведущие компании в области ИКТ вкладывают очень большие усилия. Таким образом, для достижения больших скоростей и низких задержек в сети компания Huawei совсем недавно разработала технологии, такие как SCMA, F-OFDM и полярный код, каждая из которых будет далее рассматриваться в отдельности.

F-OFDM (*Filtered-OFDM*) – это модернизированная технология OFDM, в котором разбиение на поднесущие плоскости организовано таким образом, что под каждую задачу будет использоваться определенный набор параметров. Каждый параметр подлежит настройке, что делает обработку сигнала более точным и быстрым, а также менее энергоемким. Первые результаты планового тестирования показали, что F-OFDM увеличивает общую пропускную способность системы на 10 % благодаря использованию свободных защищенных полос в системе LTE⁷. F-OFDM также поддерживает асинхронную передачу данных от различных пользователей, благодаря чему пропускная способность системы увеличивается до 100 % в сравнении с системой LTE при передаче различного рода трафика.

Технология SCMA (*Sparse Code Multiple Access*) – это технология многостанционного доступа на основе разреженных кодов, которая позволяет комбинировать технологию OFDMA с CDMA кодом для того, чтобы обеспечить более широкий доступ для отдельных устройств. Эта неортогональная технология была разработана специально для возможного использования в сетях пятого поколения. Идея данной технологии заключена в улучшении спектральной эффективности беспроводного радиодоступа. Принцип работы таков, что поступающий поток данных преобразуется напрямую в кодовые слова, состоящие из различных многомерных шифровых символов; каждое кодовое слово представляет один из определенных уровней передачи (*transmission layer*). Кодовое слово выбирается из кодовых книг SCMA для конкретного уровня. Благодаря этому несколько потоков данных могут разделять одни и те же частотно-временные ресурсы OFDMA сигнала. Технология предоставляет более гибкий и эффективный адаптационный механизм, повышает пропускную способность, уменьшает задержки передачи,

⁶ ETSI IP6 work item on IPv6 Based Tactile Internet. 2016.

⁷ 5G: Full Spectrum Access, New Architecture, New Air Interface. URL: http://www.huawei.com/minisite/5g/en/technological-innovation.html?ic_source=fmwc17&ic_medium=hwdc

а также сохраняет электроэнергию. Результаты тестирования показали, что данная технология повышает пропускную способность для нисходящего канала на 80 %, увеличивает число подключенных устройств на 300 % [7].

Polar Code – код, который, как доказано, достигает Шенноновской емкости канала благодаря использованию кодеров и декодеров последовательного аннулирования [7]. Полярный код является одной из лучших технологий для кодирования кода с прямым исправлением ошибок. Результаты тестирований показали, что полярный код обеспечивал коэффициент усиления от 0,5 дБ до 2,0 дБ по сравнению с турбокодом, используемым в системе LTE. Также, при определенных условиях, была достигнута пиковая скорость в 27 Гбит/с в нисходящем режиме.

MUSA (*Multi-User Shared Access*) – решение множественного доступа, предложенная компанией ZTE на базе разряженных кодов, разрешающая множественный доступ в сетях с высокой нагрузкой без необходимости планирования сети. Позволяет значительно увеличить число подключенных устройств к системе, а также улучшить покрытие. В результате исследований продемонстрировала увеличение пропускной способности на 200 % по сравнению с сетями предыдущего поколения, также наблюдается увеличение предельной допустимой нагрузки до 3х раз⁸.

При реализации концепции Тактильного Интернета в домашней сети, можно упомянуть новый стандарт IEEE 802.11ad, работающий в диапазоне частот 5 ГГц и, на сегодняшний день, с максимальной скоростью передачи данных 7 Гбит/с.

Для передачи огромного количества данных на большие расстояния компания Cisco предложила платформу DWDM. Технология мультиплексирования с разделением по времени (TDM) увеличивает пропускную способность, деля время на малые интервалы так, что увеличивается количество переносимых битов с нескольких входов источника⁹.

На сегодняшний день удалось достичь рекордной скорости в 1 Тбит/с на 500 км в однопролетной линии, по данным российской компании «Т8» [8].

Выводы

Стоит отметить, что Тактильный Интернет рассматривается как одно из ключевых приложений в сетях 5G (IMT-2020). В настоящее время на кафедре Сетей связи и передачи данных, в лаборатории Интернета вещей ведутся работы по исследованию методов передачи тактильных ощущений через сеть¹⁰. В работах [///] представлены основные научные результаты по данному направлению.

Литература

1. Meryem S., Adnan A., Mischa D. The 5G-Enabled Tactile Internet: Applications, Requirements, and Architecture // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016. pp. 1–6.

2. Martin M., Mahfuzulhoq C., Bhaskar P., Dung P. The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54. pp. 138–145.

⁸ ZTE Technologies. 2017. Vol. 19. No. 1. Iss. 168. pp. 1-39. URL: <http://www.zte.com.cn/endata/magazine/ztetechnologies/2017/no1/201701/P020170109632044112527.pdf>

⁹ Introduction to DWDM Technology. URL: http://www.cisco.com/c/dam/global/de_at/assets/docs/dwdm.pdf

¹⁰ Correlation of nonlinear noises from different spans in 100 Gb/s multi-span fiber optic lines // Optics Communications. 2016. Vol. 381. pp. 352–359.

3. Changyang S., Chenyang Y. Energy Efficient Design for Tactile Internet // IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC). 2016. pp. 1–6.
4. Deschamps L., Rovira K., Lenay C., Gapenne O. The Conception Of A Tactile Internet: From Analysing The Use Of A Perceptual Supplementation Device (Tactos) To The Elaboration Of The Intertact Project // Conference & Workshop on Assistive Technologies for Vision & Hearing Impairments (CVHI). 2009. pp. 1–7.
5. Xiaochi G., Weize S., Yuanzhe B., Dao Z. Dexmo: An Inexpensive and Lightweight Mechanical Exoskeleton for Motion Capture and Force Feedback in VR // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2016. pp. 1991–1995.
6. Ali I., Seung-Chan K., Poupyrev I. Surround Haptics: Tactile Feedback for Immersive Gaming Experiences // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2012. pp. 1087–1090.
7. Soldani D. 5G Communications: Development and Prospects. URL: https://www.hs-osnabrueck.de/fileadmin/HSOS/Forschung/Recherche/Laboreinrichtungen_und_Versuchsbetriebe/Labor_fuer_Hochfrequenztechnik_und_Mobilkommunikation/Mobilkomtagung/2016/Vortraege/4_David_Soldani.pdf
8. Трещиков В., Марченко К. 8 Тбит/с DWDM сделали. 25 Тбит/с – в ближайших планах // Первая Миля. 2014. № 1. С. 4–18.
9. Konyshov V., Leonov A., Nanii O., Novikov A., Treschikov V., Ubaydullaev R. Correlation of Nonlinear Noises from Different Spans in 100 Gb/s Multi-Span Fiber Optic Lines // Optics Communications. 2016. Vol. 381. pp. 352–359.
10. Kirichek R., Koucheryavy A. Internet of Things laboratory test bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Т. 348. PP. 485–49, DOI: 10.1007/978-81-322-2580-5_44.
11. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р.В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
12. Кучерявый А. Е., Выборнова А. И. Тактильный Интернет // Сб. научных статей V Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО-2016. 2016. Т. 1. С. 6–11.
13. Маколкина М. А. Развитие услуг дополненной реальности в рамках концепции тактильного интернета // Электросвязь. 2017. № 2. С. 36–40.
14. Ateya A. A., Vybornova A., Kirichek R., Koucheryavy A. Multilevel Cloud Based Tactile Internet System // Proc. of 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) 2017. pp. 105–110.

References

1. Meryem, S., Adnan, A., Mischa, D. The 5G-Enabled Tactile Internet: Applications, Requirements, and Architecture // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016. pp. 1–6.
2. Martin, M., Mahfuzulhoq, C., Bhaskar, P., Dung, P. The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54. pp. 138–145.
3. Changyang, S., Chenyang, Y. Energy Efficient Design for Tactile Internet // IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC). 2016. pp. 1–6.
4. Deschamps, L., Rovira, K., Lenay, C., Gapenne, O. The Conception Of A Tactile Internet: From Analysing The Use Of A Perceptual Supplementation Device (Tactos) To The Elaboration Of The Intertact Project // Conference & Workshop on Assistive Technologies for Vision & Hearing Impairments (CVHI). 2009. pp. 1–7.
5. Xiaochi, G., Weize, S., Yuanzhe, B., Dao, Z., Dexmo: An Inexpensive and Lightweight Mechanical Exoskeleton for Motion Capture and Force Feedback in VR // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2016. pp. 1991–1995.
6. Ali, I., Seung-Chan, K., Poupyrev, I. Surround Haptics: Tactile Feedback for Immersive Gaming Experiences // CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2012. pp. 1087–1090.
7. Soldani, D. 5G Communications: Development and Prospects. URL: https://www.hs-osnabrueck.de/fileadmin/HSOS/Forschung/Recherche/Laboreinrichtungen_und_Versuchsbetriebe/Labor_fuer_Hochfrequenztechnik_und_Mobilkommunikation/Mobilkomtagung/2016/Vortraege/4_David_Soldani.pdf
8. Treschikov, V., Marchenko, K. 8 Tbit/s DWDM Made. 25 Tbit/s – in the Nearest Future // Last Mile. 2014. No. 1 pp. 4–18.

9. Konyshov, V., Leonov, A., Nanii, O., Novikov, A., Treschikov, V., Ubaydullaev, R. Correlation of Nonlinear Noises from Different Spans in 100 Gb/s Multi-Span Fiber Optic Lines // Optics Communications. 2016. Vol. 381. pp. 352–359.
10. Kirichek, R., Koucheryavy, A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Vol. 348. pp. 485–49. DOI: 10.1007/978-81-322-2580-5_44.
11. Koucheryavy, A., Makolkina, M., Kirichek, R. Tactile Internet. Ultra-Low Latency Networks // Electrosvyaz'. 2016. No. 1. pp. 44–46.
12. Koucheryavy, A., Vybornova, A. Tactile Internet // V International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference "Actual Problems of Education in Science and Education". 2016. Vol. 1. pp. 6–11.
13. Makolkina, M. Development of Augmented Reality Services within Tactile Internet Concept // Electrosvyaz'. 2017. No. 2. pp. 36–40.
14. Ateya, A. A., Vybornova, A., Kirichek, R., Koucheryavy, A. Multilevel Cloud Based Tactile Internet System // 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT). 2017. pp. 105–110.

- Ястребова Анастасия Андреевна*** – студентка, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, Anast.yastrebova@gmail.com
- Выборнова Анастасия Игоревна*** – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, a.vybornova@gmail.com
- Киричек Руслан Валентинович*** – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, kirichek@sut.ru
- Jastrebova Anastasia*** – student, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, Anast.yastrebova@gmail.com
- Vybornova Anastasia*** – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, a.vybornova@gmail.com
- Kirichek Ruslan*** – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, kirichek@sut.ru