

УДК 621.391

# ТАКТИЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ: УЛЬТРА МАЛЫЕ ЗАДЕРЖКИ И ХАПТИК ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

**А.А. Атея**

*СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*  
Россия, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д. 22, к. 1  
E-mail: [eng.abdelhamied@hotmail.com](mailto:eng.abdelhamied@hotmail.com)

**А.С. Мутханна**

*СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*  
Россия, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д. 22, к. 1  
E-mail: [ammarexpress@gmail.com](mailto:ammarexpress@gmail.com)

**А.Е. Кучерявый**

*СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*  
Россия, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д. 22, к. 1  
E-mail: [akouch@mail.ru](mailto:akouch@mail.ru)

**Ключевые слова:** Тактильный интернет, ультра малые задержки, хапстик, сети связи 5G,

**Аннотация:** Тактильный Интернет - это одна из основных технологий, определяющих необходимость создания сетей связи пятого поколения (5G/IMT2020), стандартизуемая в настоящее время 3GPP и МСЭ. Он представляет собой еще одну эволюцию Интернета, которая позволяет передавать тактильные ощущения в режиме реального времени так же, как ранее это было с передачей речи и видео. Ожидается, что Тактильный Интернет совершит революцию в отрасли связи, поскольку он оказывает принципиальное влияние на жизнедеятельность человека и общества, особенно с учетом стремительного развития робототехники. Это новая эра общения, которая обеспечивает взаимодействие между человеком и машиной в режиме реального времени. В статье анализируются причины появления требований по ультра малым задержкам и возможные взаимодействия в условиях внедрения услуг Тактильного Интернета.

## 1. Введение

Принципиальные изменения в архитектуре и характеристиках сетей связи, намечавшиеся при предстоящей реализации сетей связи пятого поколения, являются, в первую очередь, следствием внедрения концепций Интернета Вещей [1, 2] и Тактильного Интернета [3, 4]. При этом концепция Интернета Вещей делает сеть сверх плотной, а концепция Тактильного Интернета дополняет свойства сети ультра малыми задержками. Следует отметить, что на архитектуру сети наибольшее влияние оказывают именно ультра малые задержки: происходит децентрализация сети вследствие ограничений по расстояниям, на которых возможно оказывать услуги Тактильного Интернета. Это, в свою очередь, должно привести к децентрализации экономики и стиранию цифрового неравенства между территориями страны [5].

## 2. Требование по ультра малым задержкам

Взаимодействие тактильных ощущений может происходить в режиме реального времени, только если сеть обеспечит задержку меньше, чем соответствующая физиологическая константа времени [6]. В таблице 1 указаны различные физиологические константы времени для разных ощущений человека [7]. Для лучшего понимания проблемы задержки в 1 мс рассмотрим пример, приведенный G.P. Fettweis в [7]. Когда мы перемещаем объект на сенсорном экране, максимальная задержка, при которой достигается незаметное смещение между движущимся объектом и человеческим пальцем, составляет 1 мс. Это можно интерпретировать следующим образом: 1 мс – время, в течение которого человеческий палец может перемещаться на расстояние 1 мм на сенсорном экране, поскольку средняя скорость движения человеческого пальца на сенсорном экране составляет 1 м/с. 1 мм – это максимальное незаметное расстояние между любыми двумя смещениями, а большее смещение уже будет заметно.

**Таблица 2.** Физиологические константы времени для различных ощущений человека.

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

В гетерогенных сетях связи три основные задержки должны быть рассмотрены: задержка из конца в конец, задержка на уровне пользователя и задержка при управлении [8]. Задержка из конца в конец - это задержка от начала передачи пакета данных на прикладном уровне передатчика до приема данных на прикладном уровне приемника [9]. В нее входят все задержки, а именно: задержка в очереди, задержка обработки, задержка вычислений, задержка передачи, задержка распространения, задержка повторных передач и задержка приема. Круговая задержка включает в себя все предыдущие задержки, а также задержку обратной связи. Круговая задержка, в основном, зависит от расстояния и числа узлов сети, участвующих в процессе взаимодействия.

Задача выполнения требований по величине задержки в 1мс накладывает большие ограничения на системно-сетевые решения по построению сетей связи. Например, существующая структура сотовой сети не может быть использована, поскольку даже последняя версия сети 4G может обеспечивать взаимодействие с задержкой из конца в конец не менее, чем 20 мс [10]. Ожидается, что в сетях связи пятого поколения 5G за счет внедрения новых технологий телекоммуникаций, таких как программно-конфигурируемые сети (SDN), виртуализация сетевых функций (NFV) и мобильные граничные вычисления (MEC) возможно будет уменьшить круговую задержку, но все-таки не до 1 мс [11]. Большие надежды возлагаются на MEC, поскольку конечному пользователю предоставляется возможность обмениваться данными с облаком, расположенным на границе сотовой сети (на сети радиодоступа (RAN)) [12]. Это позволяет использовать все возможности облачных вычислений на расстоянии одного перехода от конечного пользователя и, таким образом, уменьшает круговую задержку. Преимущества и другие сценарии развертывания систем Тактильного Интернета и 5G на основе MEC можно найти в [13].

Задержка распространения – это задержка между передачей сигнала от ведущего устройства базового домена до приема его ведомым устройством исполнительного домена. Длительность этого времени, в основном, зависит от среднего расстояния. При

этом, например, свет может проходить за 1мс только 300 км в вакууме и примерно 200 км по оптоволоконным кабелям. Поскольку помимо задержки распространения имеются и другие задержки, задержка в 1мс может быть достигнута только для взаимодействий на относительно короткие расстояния.

### 3. Хаптик взаимодействия

Тактильный Интернет, как видим, будет поддерживать множество приложений в различных областях, однако собственно тактильные взаимодействия будут основными приложениями сетей с реализацией требований Тактильного Интернета [14]. В этом подразделе проведем анализ научно-исследовательских работ по хаптик (тактильным) взаимодействиям.

У человека есть пять основных чувств. При этом чувство осязания распространяется по всему телу человека [15]. Человеческая кожа может различать четыре основных ощущения: тепло, холод, осязание и боль. Другие ощущения (например, вибрация, шероховатость, мягкость и влажность) можно охарактеризовать как комбинацию двух или более модальностей из четырех определенных модальностей основного ощущения [16].

Человек может физически взаимодействовать с удаленной средой и управлять удаленным объектом посредством хаптик взаимодействия. Тактильные данные - это информация, представляющая человеческие ощущения или сенсорную информацию человека [17]. Тактильные данные состоят из двух основных типов: тактильных и кинестетических. Кожа человека использует механические рецепторы, которые производят тактильные воздействия, обеспечивающие тактильное восприятие поверхностей [18]. Мышцы, суставы и сухожилия человека используют механические рецепторы, которые генерируют кинестетическую информацию, представляющую движение и положение конечностей [19]. Эти два основных механических рецептора передают сенсорную информацию в центральную нервную систему человека в виде нервных сигналов. Поэтому, у человека есть общее восприятие, основанное на собранной информации от аудиовизуальных модальностей с нейронными сигналами [20]. Взаимодействие человека с другими или с окружающими объектами в окружающей среде происходит на основе использования тактильных и кинестетических ощущений.

Хаптик взаимодействия можно разделить на две основные категории в зависимости от типа взаимодействия человека с удаленной средой. Первая категория - это пассивные хаптик взаимодействия, которые относятся к сетям Тактильного Интернета, предназначенным только для исследования удаленных сред и распределенных объектов в этих средах [14]. Эта категория, в основном, рассматривает восприятие, а не манипулирование объектами или поверхностями в отдаленных средах.

Вторая категория - это активные хаптик взаимодействия, для которых в сетях поддерживаются приложения Тактильного Интернета, обеспечивающие восприятие и манипулирование объектами и поверхностями в удаленных средах. При этом в зависимости от приложения удаленная среда может быть реальной или виртуальной [21].

### 4. Заключение

Внедрение концепции Тактильного Интернета приведет к еще большим изменениям в сетях связи, чем внедрение концепции Интернета Вещей. Тактильный Интернет порождает сети связи с ультра малыми задержками, которые, как предполагается, будут играть основную роль при построении сетей связи в 2030 году.

## Список литературы

1. Кучерявый А.Е. Интернет Вещей. Электросвязь. 2013, № 1. С. 21-24.
2. Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011.
3. Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Киричек Р.В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44-46.
4. Атея А.А., Выборнова А.И., Кучерявый А.Е. Многоуровневая облачная архитектура для услуг Тактильного Интернета // Электросвязь. 2017. № 2. С. 26-30.
5. Бородин А.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики // Электросвязь. 2017. № 5. С. 45-49.
6. Pai D.K., Rothwell A., Wyder-Hodge P., Wick A., Fan Y., Larionov E., Harrison D., Neog D.R., Shing C. The human touch: measuring contact with real human soft tissues // ACM Transactions on Graphics (TOG). 2018. Vol. 37, No. 4. P. 58.
7. Fettweis G. The Tactile Internet: Applications and Challenges // IEEE Veh. Technol. Mag. 2014. Vol. 9, No. 1. P. 64-70.
8. 3GPP TS 28.554. Management and orchestration; 5G end to end Key Performance Indicators (KPI). Ver. 2.0.0, release 15, Sep. 2018.
9. 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, No. 1. P. 1.
10. Höyhty M., Apilo O., Lasanen M. Review of Latest Advances in 3GPP Standardization: D2D Communication in 5G Systems and Its Energy Consumption Models // Future Internet. 2018. Vol. 10, No. 1. P. 3.
11. Ateya A.A., Muthanna A., Gudkova I., Vybornova A., Koucheryavy A. Intelligent core network for Tactile Internet system // Proceedings of the International Conference on Future Networks and Distributed Systems, July 2017. ACM.
12. Satyanarayanan M. The Emergence of Edge Computing // Computer. 2017. Vol. 50. P. 30-39.
13. Ateya A.A., Vybornova A., Kirichek R., Koucheryavy A. Multilevel cloud based Tactile Internet system // Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). Bongpyeong, Korea, 19-22 February 2017. P. 105-110.
14. Stevens S.S. Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural and social prospects. 2017.
15. Foxlin X., Hayes T. Haptic communication device and system for transmitting haptic interaction. U.S. Patent Application No. 15/393,782. 2017.
16. Okamura A.M. Haptic Dimensions of Human-Robot Interaction // ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI). 2018. Vol. 7, No. 1. P. 6.
17. Suzuki A., Ohnishi K. Novel four-channel bilateral control design for haptic communication under time delay based on modal space analysis // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2013. Vol. 21, No. 3. P. 882-890.
18. You J., Reiter U., Hannuksela M.M., Gabbouj M., Perkis A. Perceptual-based quality assessment for audio-visual services: A survey // Signal Processing: Image Communication. 2010. Vol. 25, No. 7. P. 482-501.
19. Kinnebrew P.T., Kamuda N.F. Configured virtual environments. U.S. Patent No. 9,645,394. 2017. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
20. 5G PPP Architecture Working Group white paper, "View on 5G Architecture," July 2016.
21. Fettweis G., Alamouti S. 5G: Personal Mobile Internet Beyond what Cellular did to Telephony // IEEE Commun. Mag. 2014. Vol. 52, No. 2. P. 140-145.
22. Кучерявый А.Е., Бородин А.С., Киричек Р.В. Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52-56.