

УДК 004.71:621.396

КОНЦЕПЦИЯ ВНЕДРЕНИЯ ТАКТИЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА (H2M) НА СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Шепелев С.В., Бабин А.И.

АО «MTU Сатурн», Москва, e-mail: SSHepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru

За последние годы добывающая и обрабатывающая промышленности претерпели цифровую трансформацию, известную как «Индустрия 4.0», преобразовались здравоохранение (телемедицина), транспортная отрасль (беспилотные средства), появились «виртуальные облака», искусственный интеллект и машинное обучение, новые технологии подключения (5G, Wi-Fi 6E), интернет вещей и сенсорные технологии, цифровые двойники и робототехника. Все это способствует цифровой трансформации экономики страны. Концепция Тактильного Интернета тоже стала привычной для человечества. Ожидается, что Тактильный Интернет обладает потенциалом для создания множества новых возможностей и приложений, которые изменят нашу жизнь и экономику. Авторы рассмотрели структуру, кратко – требования Тактильного Интернета к мобильной сети и особенности его на сети 5G. Самая большая проблема для распознавания Тактильного Интернета – «задача в 1 миллисекунду» – остается неизменной, и это требует дополнительных исследований, предложены варианты технических решений. Необходима базовая сетевая инфраструктура для поддержки быстрой обработки контента и огромных объемов данных локально, таких как аудио-, видео- и тактильная информация с устройств и датчиков. Широкомасштабное внедрение услуг Тактильного Интернета следует ожидать после 2025 года, хотя к 2030 году их доступность в России может достичь почти 40%.

Ключевые слова: Тактильный Интернет, интернет вещей, ультрамалые задержки, тактильная обратная связь, H2M, IoT, TIoT

THE CONCEPT OF IMPLEMENTING THE TACTILE INTERNET (H2M) ON MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

Shepelev S.V., Babin A.I.

Joint-stock company «MTU Saturn», Moscow, e-mail: SSHepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru

In recent years, the mining and manufacturing industries have undergone a digital transformation known as «Industry 4.0», healthcare (telemedicine), the transport industry (unmanned vehicles) have been transformed, «virtual clouds», artificial intelligence and machine learning, new connectivity technologies (5G, Wi-Fi 6E), the Internet of Things and sensor technologies have appeared digital twins and robotics – all this contributes to the digital transformation of the country's economy. The concept of the tactile Internet has also become familiar to mankind. The tactile Internet is expected to have the potential to create many new features and applications that will change our lives and economies. The authors examined the structure, briefly, the requirements of the tactile Internet for a mobile network and its features on a 5G network. The biggest problem for recognition The tactile Internet – the «1 millisecond task» – remains unchanged, and this requires additional research, and technical solutions are proposed. A basic network infrastructure is needed to support fast processing of content and huge amounts of data locally, such as audio, video and tactile information from devices and sensors. Large-scale introduction of Tactile Internet services should be expected after 2025, although by 2030 their availability in Russia may reach almost 40%.

Keywords: Tactile Internet, Internet of Things, ultra-low latency, tactile feedback, H2M, IoT, TIoT

Международный союз электросвязи (ITU) определяет Тактильный Интернет (Tactile Internet, далее *TI*) как интернет-сеть, которая сочетает в себе сверхнизкую задержку, экстремальную широкополосность, безопасность, надежность и повышенную доступность высокоскоростного подключения к Интернету, чему способствует использование технологии сети связи пятого поколения (5G) [1]. Тактильный Интернет вещей (Tactile IoT, далее *TIoT*) считается преемником Интернета вещей, который благодаря огромным технологическим достижениям привел к развитию интернета вещей, по сути является продолжением современного мобильного Интернета, но с добавленной способностью передавать не только аудио- и визуальные данные, но и тактильные ощущения в режиме реального времени. Это означает, что пользователи смогут

чувствовать объекты и манипулировать ими удаленно, как если бы они присутствовали физически. *TI* создает интерактивную систему в реальном времени между человеком и машиной и привносит в мобильную сеть массовые взаимодействия «человек – машина» *H2M* (Human-to-Machine) [2]. Цель этой новаторской технологии – дать пользователям возможность воспринимать объекты в цифровом мире и манипулировать ими с таким же уровнем точности и оперативности, как и в физическом мире. Обладая потенциалом для преобразования отраслей промышленности, повышения общественной безопасности и улучшения нашей повседневной жизни, *TI* может стать краеугольным камнем цифровой эпохи.

Целью исследования являются анализ и построение Концепции внедрения *TI* на сетях мобильной связи. Рассмотрены

концепция внедрения, структура и требования к ТИ на сетях мобильной связи, протоколы тактильной системе передача данных. Даны краткие рекомендации по внедрению ТИ на сетях 5G/5G-Advanced.

Материалы и методы исследования

Применены методы исследования: теоретический (анализ, синтез, аналогия, обобщение), монографический, цифровой анализ с применением приемов сравнения, технико-экономические расчеты эффективности и др.

Коммуникационные системы следующего поколения нацелены на достижение высокой спектральной и энергетической эффективности, низкой задержки и массового подключения благодаря значительному росту числа устройств интернета вещей (IoT). Эти устройства IoT будут предоставлять передовые услуги, такие как интеллектуальный трафик, мониторинг и управление окружающей средой, виртуальная реальность (VR) / виртуальная навигация, телемедицина, цифровое зондирование, передача видео высокой четкости (HD) и Full HD с помощью подключенных дронов и роботов. В основе ТИ лежит концепция тактильной коммуникации, которая предполагает передачу сенсорных ощущений по сетям. Это выходит за рамки простых вибраций и силовой обратной связи, которые люди в настоящее время испытывают с нашими смартфонами и игровыми контроллерами. Вместо этого Тактильный Интернет даст возможность пользователям

ощущать текстуру, вес и форму объектов в режиме реального времени, позволяя им взаимодействовать с цифровой средой более естественным и интуитивно понятным способом [3].

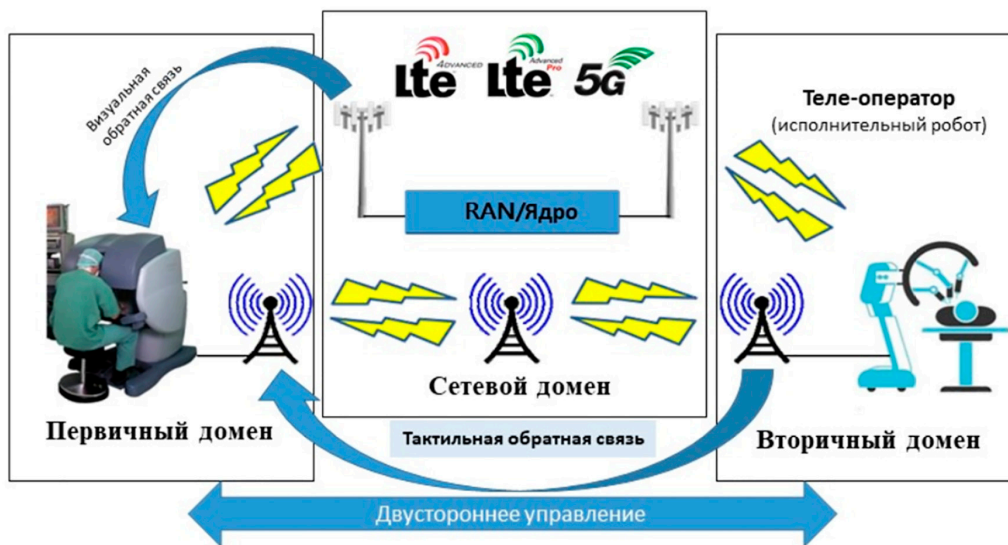
Для достижения такого уровня реалистичности Тактильный Интернет требует сверхнизкой задержки и высокой надежности передачи данных. Международный союз электросвязи (ITU) установил целевую задержку всего в *одну миллисекунду* для Тактильного Интернета по сравнению с 10–20 миллисекундами, которые обычно наблюдаются в современных сетях LTE/LTE-Advanced [4].

Мобильный Интернет позволяет подключать устройства и людей для обмена голосовыми и мультимедийными данными в любое время и в любом месте. IoT соединяет машины или предметы для повышения их эффективности за счет использования возможностей сетевого взаимодействия. Разница между обычным IoT и ТИ заметна и существенна. Первый является средством передачи аудио- и визуальных данных, тогда как ТИ передает ощущение человеческого прикосновения в режиме реального времени. Ключевое различие между тактильным и не-тактильным управлением заключается в том, что в первом случае от системы имеется аудио-, визуальная и тактильная обратная связь, тогда как во втором случае обратная связь может быть только аудио- и/или визуальной, при этом понятие контура управления отсутствует. В таблице 1 приводятся основные характеристики IoT и ТИ.

Таблица 1

Основные характеристики IoT и ТИ.

Характеристики	IoT	ТИ
Устройства	Устройства, датчики / исполнительные механизмы	Датчики, исполнительные механизмы, телеоператоры (человеческие, машинные)
Подключение	Не в режиме реального времени через сети Ethernet, WiFi, NB-IoT, LTE-M	В режиме реального времени (время реакции 1–10 мс), ограничивающие подключение к сетям 5G
Протокол обработки данных и передачи данных	Пакеты данных, которые можно агрегировать, обрабатывать и хранить	Постоянный поток данных в режиме реального времени
Облако	IaaS (инфраструктура как услуга) или PaaS (платформа как услуга)	Не поддерживается
Масштабируемость	Крупномасштабное внедрение	Масштабное развертывание в ближайшем будущем
Процесс управления	Автоматизированные	Интерактивные
Взаимодействие с человеком	Удаленный мониторинг и управление	Дистанционное управление (от человека к роботу)
Проблемы	Безопасность, масштабируемость, подключение и контроль доступа	Сверхнизкая задержка передачи пакетов данных туда и обратно, высокая надежность, доступность соединения, сохранность



Структура системы Тактильного Интернета (ТИ)

Таблица 2

Протоколы тактильной системе передача данных

Транспортные протоколы ПД ТИ	Функциональность протокола тактильной системе передача данных
Протокол управления передачей (TCP)	Прием пакетов; контроль перегрузки
Протокол пользовательских дейтаграмм (UDP)	Поддерживать постоянную скорость потока за счет минимизации джиттера
Транспортный протокол реального времени (RTP)	Передача интерактивной потоковой информации между двусторонними системами; обеспечение управления потоками и повторной передачи пакетов
Протокол управления в реальном времени (RTCP)	Оценка джиттера, информация о самом высоком порядковом номере; обеспечивает статистику RTP и контроль данных; оценка доли потерянных пакетов
Сетевой протокол реального времени (RTNP)	Устранение временных задержек, вызванных соответствующей многозадачной операционной системой; сокращение времени задержки в сети
Транспортный протокол синхронной совместной работы (SCTP)	Надежная пакетная доставка ключевых обновлений; использование масштабируемой и быстрой многоадресной IP-рассылки; обработка пакетов в соответствии с меткой времени
Алгоритм адаптивного управления сетевым потоком для Nartic (NAFCAN)	Регулирует чувствительность пользователя в соответствии с вариациями сетевого подключения к Интернету и значимыми тактильными событиями; поэтапно снижает скорость передачи данных и отслеживает перегрузку на основе измерений времени прохождения туда и обратно
Модуль динамической пакетизации (DPM)	Для приложений с телеадаптацией, работающих по общим сетям, включает сетевую буферизацию для быстрой очистки

В целом, технология ТИ воплощает антропоцентрическую модель, которая расширяет диапазон человеческих возможностей, включая помощь современных и автоматизированных устройств.

Для создания полностью функциональной сети для ТИ необходима сквозная связь, обеспечивающая надежность и безопасность прямых и эффективных коммуникаций, связанных с требуемыми операциями,

с помощью тактильных и не-тактильных средств управления. Базовая архитектура ТИ состоит из трех компонентов. Первичный домен, сетевой домен и вторичный домен обеспечивают взаимосвязь уровней на каждом этапе внутренней связи и передачи данных. Пример базовой архитектурной модели можно увидеть на рисунке.

Основная область включает интерфейс «человек – система» (HSI), тактильную ро-

ботизированную систему, которая позволяет пользователям отправлять и получать ощущения в режиме реального времени человеку-оператору. Входные ощущения принимаются и преобразуются в подходящее тактильное кодирование, которое затем направляет и контролирует операции вторичной области. Однако функциональность роботизированной системы ограничена. Для оптимизации сверхбыстрого отклика и сверхнадежности ТИ следует увеличить степень свободы (*DoF*).

Следующим компонентом архитектуры является сетевой домен, разработанный кинестетически для двусторонней связи между первичным и вторичным доменами. Для этого требуется сверхнадежное, сверхчувствительное и безопасное подключение для обмена данными в режиме реального времени, что достигается благодаря коммуникационной архитектуре 5G, основанной на облачной архитектуре и архитектуре на основе сервисов. Базовая сеть (CN) и сеть радиодоступа (RAN) являются основными компонентами архитектуры связи 5G, удовлетворяющими основным требованиям ТИ.

В тактильной системе передача данных подразделяется на три области. В основной области действия и движения человеческого тела создают и передают тактильные данные через интерфейс Human System Interface (*HSI*), в контролируемой области управление данными осуществляется телеоператором как форма телеприсутствия и телеактивации (*TPTA*). Весь этот процесс осуществляется в сетевой области мобильной сети LTE/5G. В таблице 2 перечислены соответствующие протоколы тактильной системе передачи данных, используемые в условиях реального времени.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Основные требования Тактильного Интернета к мобильной сети

Важнейшими аспектами сети 5G являются связь с низкой задержкой и управление устройствами в режиме реального времени. Эта будущая волна инноваций проложит путь к ТИ. Очень низкая задержка в сочетании со сверхвысокой надежностью, а также неизменным качеством и безопасностью будут характеризовать ТИ. ТИ основан на максимально возможном времени реакции, доступности, надежности и безопасности. Эти цели должны быть достигнуты с помощью архитектур распределенных платформ обслуживания. Требование очень низкой сквозной задержки приводит к тому, что тактильные приложения должны реализовываться

в локально доступных системах, рядом с клиентами. ТИ характеризуется следующими технологическими требованиями:

- сверхнизкая задержка; круговая задержка от 1 мс и ниже;
- сверхвысокая доступность; доступность 99,999%;
- сверхзащищенная сквозная связь (E2E);
- высокая пропускная способность мобильной сети (>1 Гбит/с);
- средняя скорость передачи тактильных данных составляет не менее 100 Мбит/с;
- пропускная способность сети: до 1 млн устройств на 1 кв. км;
- надежность: 99,999% надежности мобильной сети;
- мобильность: бесперебойная передача данных между радиоузлами со скоростью до 500 км/ч;
- время автономной работы: до десяти (10) лет автономной работы устройств с низким энергопотреблением (IoT, PoT и TIoT).

2. Внедрение ТИ на сетях 5G/5G-Advanced

Мобильная связь 5G предлагает ряд преимуществ, которые включают чрезвычайно низкую задержку, очень высокие скорости передачи данных, значительное увеличение числа пользователей, а также увеличение пропускной способности базовой станции и воспринимаемого качества обслуживания. Это может быть достигнуто за счет увеличения сложности приема за счет неортогонального доступа пользователей. Неортогональный множественный доступ (*NOMA*) является одним из способных претендентов на реализацию концепции беспроводной связи 5G. Поддержка большего числа пользователей, чем доступные ортогональные ресурсы, является ключевым принципом NOMA.

В таблице 3 перечислены преимущества и ограничения технологии ТИ на сети 5G.

Для решения этих задач потребуются использование следующих новых технологий телекоммуникаций [5, 6]:

- *MEC (Mobile Edge Computing)* – размещение граничных облаков ближе к конечному пользователю и снижение задержки;
- *NFV (Network Function Virtualization)* – виртуализация сетевых функций совместно с облачными вычислениями;
- *SDN (Software Defined Networks)* – большая гибкость и управляемость программно-конфигурированной сети, распределение ресурсов и приложений;
- *D2D (Device-to-Device communications)* – возможность обеспечения минимальной задержки в условиях огромного числа разнородных устройств.

Таблица 3

Особенности сети 5G для ТП

Преимущества сети 5G для ТП	Ограничения по сети 5G
Высокое разрешение	Проблемы с РЧС в России
Технологии сбора данных, все сети на одной платформе	Трудности с интеграцией мобильных сетей LTE/5G
Повышение эффективности	Безопасность и конфиденциальность
Способны передавать данные в широком диапазоне	Технология все еще исследуется и находится в стадии разработки
Поддержка разнородных сервисов (и частных сетей) на примере WiFi 6E + 5G	Гетерогенные сервисы, которые не могут поддерживаться устаревшими устройствами
Несколько одновременных сервисов	Высокая стоимость (новые устройства, развитие инфраструктуры)
Визуализация меговселенной и обнаружение стихийных бедствий	Дополнительные риски, связанные с разделением сетей и виртуализацией
Экстремальная широкополосность и большая пропускная способность	Отсутствие оборудования (покупки параллельным импортом)
Сверхвысокая связность	Высокая задержка и ограниченное доступное хранилище
Развитие креативности и воображения	Минимально доступные ресурсы

В июле 2018 года МСЭ учредил специализированную рабочую группу для изучения системных технологий для систем 5G/6G. Прогнозируется, что МСЭ завершит стандартизацию 6G (ITU-R IMT-2030) к концу 2030 года, тогда как 3GPP завершит стандартизацию 6G релизом R23 [7].

Заключение

ТП представляет собой новый рубеж в области подключения, который потенциально может революционизировать то, как люди взаимодействуют с технологиями и друг с другом. Однако существуют также проблемы, которые необходимо решить, такие как вопросы задержки сети, вопросы конфиденциальности и безопасности. Передача тактильных ощущений через Интернет требует высокого уровня передачи и обработки данных, что может сделать их уязвимыми для взлома и несанкционированного доступа. Кроме того, возможность удаленного манипулирования объектами поднимает этические вопросы о границах личного пространства и согласия. По мере дальнейшего развития сетей 5G/6G и развития тактильных технологий ожидается появление растущего числа приложений и вариантов использования этой захватывающей технологии, что в конечном итоге приведет

к более захватывающему и интерактивному цифровому будущему.

Список литературы

1. Тихола К.А., Вульгаридис К., Лагас Т. Схемы Tactile IoT и 5G & Beyond как ключевые технологии, способствующие развитию будущей метавселенной // Телекоммуникационные системы – Springer Link. 2023. № 84. С. 363-385.
2. Кузнецов К.А., Мутханна А.С.А., Кучерявый А.Е. Тактильный Интернет и его приложения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Т. 7. № 2. С. 12-20.
3. Хакимов, А.А. Разработка тестового стенда для комплекса граничных вычислений функцией миграции приложений // Электросвязь. 2022. № 3. С. 17-22.
4. Волков А.Н., Атея А.А., Мутханна А.С.А., Киричек Р.В. MEC и SDN/NFV как решение по обеспечению 1 мс в сетях связи 5G/IMT-2020 // 723-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная дню Радио (Санкт-Петербург, 20–28 апреля 2018 года). СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2018. С. 195-198.
5. 3GPP TS 23.288. Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services, version 16.12.0 Release 16. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/3579> (дата обращения: 02.01.2024).
6. 3GPP TS 38.413. NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP), version 16.3.0 Release 16. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/3411> (дата обращения: 02.01.2024).
7. Всемирная конференция радиосвязи 2023 (WRC-23) / Предварительные заключительные акты // ITU-Публикации. Дубай, 2023. 664 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/wrc-23/ru/documents.pdf> (дата обращения: 03.01.2024).