УДК 004.738.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ

В.А. КРАГЕЛЬ, М.В. РОМАНЮК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21 марта 2025

Аннотация. Рассматриваются ключевые аспекты развития Интернета вещей в контексте мобильных сетей нового поколения. Анализируются их преимущества, проблемы внедрения и возможные направления дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: интернет вещей, мобильные сети, передача данных, искусственный интеллект.

Введение

Современные технологии Интернета вещей (IoT) стремительно развиваются, находя применение в различных сферах деятельности. В промышленности сенсоры и контроллеры обеспечивают мониторинг оборудования и оптимизацию производственных процессов. В городской инфраструктуре решения IoT помогают управлять освещением, отслеживать движение общественного транспорта и предоставлять информацию о дорожной ситуации, а также контролировать экологическую обстановку. В медицине носимые устройства позволяют в реальном времени следить за жизненными показателями пациентов, а в повседневной жизни все большую популярность приобретают умные дома с голосовыми помощниками и автоматизированными системами безопасности [1].

Широкое распространение IoT требует эффективной передачи и обработки данных, что, в свою очередь, предъявляет высокие требования к сетевой инфраструктуре. Для обеспечения стабильной работы миллионов подключенных устройств необходимы технологии, обеспечивающие высокую скорость передачи информации, минимальные задержки и поддержку большого количества одновременных соединений. Именно поэтому развитие Интернета вещей неразрывно связано с эволюцией мобильных сетей, в частности, с внедрением пятого (5G) и перспективного шестого (6G) поколений, открывающих новые возможности для IoT. В связи с этим актуальным является изучение ключевых аспектов развития Интернета вещей в контексте мобильных сетей нового поколения, их преимуществ, проблем внедрения и возможных направлений совершенствования.

Обзор технологий Интернета вещей

Интернет вещей представляет собой концепцию, в рамках которой физические устройства, оснащенные датчиками, микроконтроллерами и средствами связи, взаимодействуют друг с другом и с облачными платформами. Основной принцип IoT заключается в сборе, передаче и анализе данных с целью автоматизации процессов и повышения эффективности работы различных систем. Сети IoT включают широкий спектр технологий, таких как LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, и сотовые сети, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения. Например, LPWAN отличается низким энергопотреблением и большой зоной покрытия, но имеет ограниченную пропускную способность, в то время как Wi-Fi обеспечивает высокую скорость передачи данных, но требуют значительных энергозатрат. Сравнение трех наиболее используемых технологий приведено в табл. 1.

Табл. 1. **Сравнение сетей Интернета вещей**

Параметр	LPWAN	Wi-Fi	Мобильная сеть
Диапазон	Очень широкий (до нескольких километров)	Ограниченный (до нескольких сотен метров)	Широкий (до десятков километров)
Скорость передачи данных	Низкая (до 100 Кбит/с для некоторых технологий)	Средняя (до 1–10 Гбит/с для последних стандартов)	Высокая (до 1 Гбит/с для 4G, до 10 Гбит/с для 5G)
Энергопотребление	Очень низкое (оптимизировано для длительной работы от батарей)	Среднее (необходима постоянная энергия для работы)	Среднее (в зависимости от технологии)
Количество устройств	Очень большое количество устройств на одной ячейке сети	Ограниченное количество устройств на точке доступа	Поддержка миллионов устройств (особенно 5G)
Задержка	Очень высокая (от 1 до 10 секунд)	Низкая (до нескольких миллисекунд)	Средняя (меньше для 5G, до нескольких миллисекунд)
Применение	Работа в удаленных местах	Домашняя и офисная сети	Мобильный интернет, автономные транспортные системы
Тип соединения	Не требует постоянного подключения, связь по мере необходимости	Постоянное соединение, высокоскоростная передача данных	Постоянное подключение, высокая мобильность
Стоимость	Обычно дешевле для устройств (низкая стоимость подключения)	Стоимость установки может быть высокой для крупных объектов	Высокая стоимость для пользователей (плата за мобильный трафик)

Главной целью Интернета вещей является повышение уровня автоматизации процессов, минимизация человеческого участия в рутинных задачах и оптимизация использования ресурсов. В промышленности (Industrial IoT) использование интеллектуальных датчиков и контроллеров позволяет отслеживать работу оборудования в реальном времени. Так, датчики вибрации на производственных линиях могут фиксировать аномалии в работе машин, предсказывая поломки до того, как они произойдут.

В сельском хозяйстве устройства Интернета вещей широко применяются для оптимизации процессов производства. Датчики, установленные в почве, могут измерять температуру, влажность, уровень питательных веществ, что позволяет автоматизировать полив и удобрение растений. Умные устройства для мониторинга состояния животных с помощью чипов и датчиков активности дают фермерам возможность отслеживать здоровье и поведение скота.

В здравоохранении используются умные браслеты и мониторы для наблюдения за сердечным ритмом, артериальным давлением и уровнем кислорода в крови. Эти устройства собирают данные в реальном времени и отправляют их медицинским специалистам для быстрого реагирования. Например, умные ингаляторы могут отслеживать использование лекарств астматиками и автоматически сообщать врачу о нарушениях в режиме их применения.

В транспорте технологии IoT находят применение для создания умных транспортных систем, включая оптимизацию движения и повышение безопасности на дорогах. Интеллектуальные системы управления трафиком собирают данные о плотности движения, прогнозируют пробки, позволяя перенаправлять транспорт в обход загруженных участков. Автономные транспортные средства используют датчики для мониторинга дорожной обстановки в реальном времени, а системы отслеживания грузов позволяют отслеживать местоположение и состояние товаров, что повышает эффективность логистики. Распространенный случай использования технологий IoT – отслеживание состояния шин и предупреждения водителей о необходимости технического обслуживания.

Одной из ключевых тенденций в развитии Интернета вещей является интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ). Благодаря машинному обучению и анализу больших данных такие устройства могут не только собирать информацию, но и прогнозировать будущие события, адаптироваться к изменяющимся условиям и принимать автономные решения. Например, в сфере безопасности камеры с ИИ могут распознавать потенциальные угрозы и реагировать на них без участия человека. В промышленности алгоритмы машинного

обучения анализируют данные с датчиков и позволяют оптимизировать производственные процессы, снижая затраты и повышая производительность.

Несмотря на очевидные преимущества IoT, существуют и определенные ограничения в его применении. Одной из главных проблем является безопасность данных, поскольку большое количество подключенных устройств увеличивает уязвимость сетей перед кибератаками [2]. Кроме того, высокая зависимость IoT от стабильного интернет-соединения делает необходимым развитие мощной инфраструктуры связи. Решение этих проблем требует использования современных методов защиты информации, таких как сквозное шифрование данных и аутентификация устройств. С учетом этих аспектов становится очевидным, что дальнейшее развитие IoT невозможно без совершенствования сетевых технологий, что делает мобильные сети нового поколения важным фактором его эволюции.

Мобильные сети нового поколения

Разница между 4G и 5G заключается в нескольких ключевых аспектах, касающихся скорости передачи данных, архитектуры сети, пропускной способности, времени отклика и способности работать с большим количеством устройств.

В 4G максимальная скорость передачи данных достигает около 1 Гбит/с для скачивания и 100 Мбит/с для загрузки. Эти скорости вполне достаточны для большинства современных приложений, таких как потоковая передача видео или загрузка веб-страниц, однако они не соответствуют требованиям задач, где требуется передача больших объемов данных или высокая пропускная способность. В 5G скорость передачи данных значительно выше, достигая 10 Гбит/с, что в значительной степени обеспечивается за счет применения технологий MIMO (Multiple Input, Multiple Output) и Massive MIMO [3].

MIMO – это технология, использующая несколько антенн на передающей и принимающей сторонах для увеличения производительности системы без использования дополнительных частотных ресурсов. С помощью этой технологии возможно одновременно передавать несколько независимых потоков данных, что значительно увеличивает общую пропускную способность канала. В четвертом поколении MIMO уже применяется, но ограничивается относительно небольшим количеством антенн, обычно до восьми. Massive MIMO, в свою очередь, является усовершенствованной версией MIMO, которая использует от восьми до нескольких сотен антенн, что схематично отображено на рис. 1.

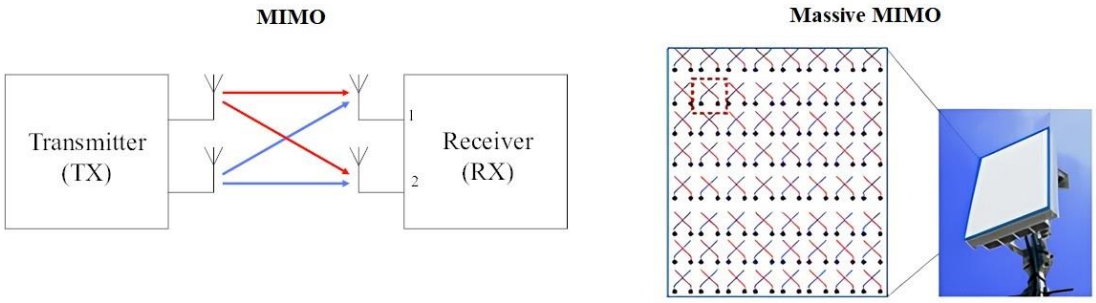

Рис. 1. Схема работы MIMO и Massive MIMO

Задержка в 4G составляет около 30–50 миллисекунд, что является приемлемым для большинства приложений, однако для некоторых критически важных технологий, таких как автономные автомобили или дистанционное управление роботами, требуется значительно меньшая задержка. В 5G задержка снижается до 1 миллисекунды или даже ниже, что обеспечивает практически мгновенный отклик, что крайне важно для приложений, где скорость реакции имеет решающее значение.

Пропускная способность и плотность подключений также значительно увеличиваются в 5G по сравнению с 4G. Сети четвертого поколения способны поддерживать несколько тысяч устройств на квадратный километр, в то время как 5G может обслуживать до 1 миллиона устройств на квадратный километр, что критично для сценариев массового подключения устройств. Кроме того, пятое поколение использует гораздо более широкий спектр частот, от 24

до 100 ГГц, что позволяет увеличить пропускную способность сети и оптимизировать работу в условиях высокой плотности устройств. В сравнении с 4G, которое использует частотные диапазоны от 700 МГц до 2,5 ГГц, 5G обеспечивает более высокие скорости передачи данных и показывает лучшую производительность в условиях густонаселенных городов.

Перспективы 6G связаны с улучшениями в тех же областях, что и предыдущие поколения. Ожидается, что сети 6G будут использовать терагерцевый и субтерагерцевый диапазоны частот, что позволит значительно расширить спектральные возможности и обеспечить более высокую пропускную способность по сравнению с 5G. Прогнозируется, что скорость передачи данных в сетях 6G будет варьироваться от 100 Гбит/с до 1 Тбит/с, что позволит передавать огромные объемы информации в реальном времени и поддерживать новые высокопроизводительные приложения.

Одной из ключевых задач для шестого поколения является достижение существенно меньшей задержки при передаче данных. Планируется, что уровень задержки сможет опускаться до микросекунд (около 0,1 мс), что значительно превосходит показатели сетей 5G и откроет новые возможности для критически важных систем связи, дистанционного управления и приложений, требующих мгновенного отклика.

Кроме того, обеспечение высокой энергоэффективности остаётся приоритетной задачей для 6G, особенно в условиях увеличения числа подключенных устройств и роста объемов передаваемых данных. Для эффективного управления сложной инфраструктурой сетей 6G предполагается использование систем искусственного интеллекта, способных оптимизировать распределение ресурсов, управлять трафиком и проводить предиктивное обслуживание сети.

Анализ развития Интернета вещей

Переход к мобильным сетям пятого поколения является важным этапом в развитии Интернета вещей, обеспечивая существенные преимущества в скорости передачи данных, надежности соединений и плотности подключений. В отличие от предыдущих поколений, 5G предлагает значительно меньшую задержку и высокую пропускную способность, что делает возможным мгновенный обмен данными между устройствами Интернета вещей, особенно в критически важных системах, таких как автономный транспорт и промышленная автоматизация.

Одним из преимуществ внедрения 5G в IoT является поддержка массовой связи между устройствами (Massive Machine-Type Communications, mMTC). Эта технология позволяет подключать миллионы датчиков и интеллектуальных устройств, что можно использовать в городской инфраструктуре, логистике и сельском хозяйстве. Например, в городах сети 5G могут обеспечить эффективное управление дорожным движением и интеллектуальное распределение энергоресурсов, что приведет к снижению затрат и повышению качества жизни [4]. В сфере логистики это способствует оптимизации цепочек поставок, обеспечивая точное отслеживание грузов в реальном времени, автоматизацию складских процессов и эффективное управление транспортными средствами, что снижает издержки и повышает скорость доставки.

Кроме влияния на инфокоммуникационные технологии, развитие IoT на базе 5G окажет воздействие на экономику и социальную сферу. Улучшение связи позволит расширить телемедицинские услуги, повысить качество дистанционного образования. В промышленности повышение скорости передачи данных и надежности соединений приведет к ускоренной цифровизации производств и внедрению концепции «умных фабрик», требующих применения IoT, искусственного интеллекта, автоматизированных систем управления и облачных технологий.

Однако переход к новым поколениям мобильных сетей сопряжен и с рядом проблем. Основной из них является необходимость значительных инвестиций в модернизацию сетевой инфраструктуры, включая установку новых базовых станций и разработку совместимых устройств. Кроме того, увеличение числа подключенных устройств создает дополнительные риски для кибербезопасности, требуя внедрения новых стандартов защиты данных. Высокие энергозатраты устройств, работающих в сетях 5G, также представляют проблему, особенно в случаях, когда требуется долговременная автономная работа датчиков и сенсоров.

Заключение

Мобильные сети пятого поколения оказывают значительное влияние на развитие Интернета вещей, предоставляя более эффективные и надежные механизмы передачи данных. Их внедрение позволяет значительно расширить функциональные возможности IoT-устройств, повышает уровень автоматизации процессов и обеспечивает мгновенный обмен информацией в реальном времени. Однако дальнейшее развитие этих технологий требует решения ряда технических и экономических проблем, включая модернизацию инфраструктуры, снижение энергопотребления и повышение уровня безопасности данных. В ближайшие годы ключевыми направлениями исследований станут разработка более энергоэффективных решений, усиление защиты сетевых соединений и интеграция Интернета вещей с искусственным интеллектом для создания более интеллектуальных и автономных систем.

THE PROSPECTS FOR NEXT-GENERATION CELLULAR NETWORKS IN THE INTERNET OF THINGS

V.A. KRAGEL, M.V. ROMANYUK

Abstract. Key aspects of the development of the Internet of Things in the context of next-generation mobile networks are explored. Their advantages, problems of implementation and possible directions of further improvement are analyzed.

Keywords: Internet of Things, mobile networks. data transmission, artificial intelligence.

Список литературы

1. Довгаль, В. А. Интернет Вещей: концепция, приложения и задачи / В. А. Довгаль, Д. В. Довгаль // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2018. – № 1. – С. 129–135.
2. Ли, П. Архитектура интернета вещей / пер. с анг. М. А. Райтмана. – М. : ДМК Пресс, 2019. – 454 с.
3. Кокорева, Е. В. Сравнительная характеристика систем мобильной связи четвертого и пятого поколения / Е. В. Кокорева // Экономика и качество систем связи. – 2022. – № 3. – С. 37–44.
4. Баланов, А. Н. IoT-решения: принципы, примеры, перспективы: учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 280 с.