

Кизин Дмитрий Владиславич,
студент гр. ЭН-22-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

Мазур Владимир Геннадьевич,
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: system-ntfs@mail.ru

Пудалов Алексей Дмитриевич,
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: puddim@yandex.ru

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Kizin D.V., Mazur V.G., Poudalov A.D.

OVERVIEW OF WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

Аннотация. Беспроводные технологии стали неотъемлемой частью повседневной жизни. Различные стандарты беспроводной связи обеспечивают комфорт и функциональность привычных устройств. Статья представляет собой обзор пяти ключевых технологий беспроводной передачи данных: NFC, Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee и Matter. В работе рассматриваются технические характеристики каждого стандарта, включая дальность действия, скорость передачи данных, энергопотребление и частотные диапазоны. Особое внимание уделяется практическим областям применения – от бесконтактных платёжных систем и носимой электроники до промышленной автоматизации и систем умного дома. Представленная информация поможет сориентироваться в многообразии современных беспроводных технологий и выбрать наиболее подходящее решение для конкретных задач.

Ключевые слова: беспроводная связь, передача информации, NFC, Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, Matter.

Abstract. Wireless technologies have become an integral part of everyday life. Various wireless communication standards provide comfort and functionality for familiar devices. This article provides an overview of five key wireless data transmission technologies: NFC, Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, and Matter. It explores the technical specifications of each standard, including range, data transfer speed, power consumption, and frequency bands. The article also focuses on practical applications, ranging from contactless payment systems and wearable electronics to industrial automation and smart home systems. The information provided will help you navigate the variety of modern wireless technologies and choose the most suitable solution for your specific needs.

Keywords: wireless communication, information transmission, NFC, Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, Matter.

Беспроводные технологии передачи данных за последние два десятилетия прошли путь от экзотических новинок до повсеместно распространённых решений. Сегодня сложно представить жизнь без смартфона, подключённого к Wi-Fi, беспроводных наушников или бесконтактной оплаты покупок. Однако за этим удобством стоит целый спектр различных технологий, каждая из которых была разработана для решения специфических задач [1-3].

Выбор подходящей технологии беспроводной связи зависит от множества факторов: требуемой дальности передачи, скорости обмена данными, энергопотребления, стоимости внедрения и специфики применения. Понимание особенностей каждого стандарта позволяет принимать обоснованные решения как при разработке новых продуктов, так и при выборе готовых решений.

Предлагается рассмотреть пять современных стандартов беспроводной связи.

1. NFC (Near Field Communication), или коммуникация ближнего поля, представляет собой технологию беспроводной передачи данных на коротких расстояниях. Разработанная на основе технологии RFID (радиочастотной идентификации), NFC работает на частоте 13,56 МГц и обеспечивает обмен данными на расстоянии до 10 сантиметров.

Ключевая особенность NFC – возможность работы в трёх режимах: режим чтения/записи (для взаимодействия с пассивными метками), режим эмуляции карты (когда устройство имитирует бесконтактную карту) и режим peer-to-peer (для обмена данными между двумя активными устройствами).

К основным техническим параметрам NFC можно отнести:

- скорость передачи данных составляет до 424 кбит/с. Это на несколько порядков меньше, чем у других современных беспроводных технологий, однако для задач, которые решает NFC, этого более чем достаточно. Небольшой радиус действия является преимуществом с точки зрения безопасности – для осуществления передачи данных устройства должны находиться в непосредственной близости,

- энергопотребление минимально по сравнению с другими стандартами беспроводной связи. Более того, пассивные NFC-метки не требуют собственного источника питания – они получают энергию от электромагнитного поля, создаваемого активным устройством. Это делает возможным создание недорогих и компактных устройств.

Наиболее широко известное применение NFC:

- бесконтактные платежи. Технологии MIP Pay, Apple Pay, Google Pay, Union Pay и др. Банковские бесконтактные карты используют именно NFC. Для совершения платежа достаточно поднести смартфон или карту к терминалу,

- системы контроля доступа и идентификации, такие как: электронные пропуска, билеты в общественном транспорте, гостиничные ключ-карты. В розничной торговле NFC-метки используются для защиты от краж и для предоставления покупателям дополнительной информации о товаре,

Простота использования сделала NFC популярным для быстрого сопряжения устройств. Например, можно подключить Bluetooth-наушники или колонку, считав их метку смартфоном – первичное установление соединения происходит через NFC, после чего устройства переключаются на Bluetooth для передачи аудиопотока.

2. Bluetooth – одна из самых распространённых технологий беспроводной связи, которая присутствует практически в каждом смартфоне, планшете, ноутбуке и множестве других устройств. Стандарт был разработан в конце 1990-х годов и с тех пор прошёл значительную эволюцию.

Технология работает в диапазоне частот 2,4 ГГц (так называемый ISM-диапазон, доступный без лицензирования) и использует метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты для минимизации помех.

Важнейшим дополнением к классическому Bluetooth стала технология Bluetooth Low Energy (BLE), также известная как Bluetooth Smart. Она была введена в версии 4.0 и оптимизирована для устройств с батарейным питанием, требующих минимального энергопотребления.

К основным техническим параметрам Bluetooth можно отнести:

- дальность действия, которая зависит от класса устройства и версии стандарта. Обеспечивает связь на расстоянии до 10 метров (класс 2, наиболее распространённый) до 100 метров (класс 1). Bluetooth 5.0 и более поздние версии могут работать на расстояниях до 240 метров в режиме увеличенной дальности, хотя при этом снижается скорость передачи данных,

- скорость передачи данных, которая составляет до 3 Мбит/с, что достаточно для передачи высококачественного аудио. BLE работает на меньших скоростях (до 2 Мбит/с в версии 5.0), но потребляет значительно меньше энергии. Существует также режим Bluetooth High Speed, который может достигать скоростей до 24 Мбит/с, используя Wi-Fi для передачи данных,

- энергопотребление сильно различается между классическим Bluetooth и BLE. В то время как классический Bluetooth потребляет относительно много энергии (что делает его неподходящим для устройств с батарейками-таблетками), устройства с BLE могут работать несколько лет от небольшой батарейки CR2032.

Наиболее массовая область применения Bluetooth:

- аудиоустройства. Беспроводные наушники, колонки, автомобильные аудиосистемы, гарнитуры используют классический Bluetooth с профилями A2DP (для высококачественного стерео) и HSP/HFP (для телефонных разговоров). Технология Bluetooth LE Audio, представленная недавно, позволяет улучшить качество звука при меньшем энергопотреблении,

- периферийные устройства компьютеров – клавиатуры, мыши, трекпады, стилусы, обеспечивают удобство беспроводного подключения,

- носимая электроника и фитнес-трекеры, умные часы, фитнес-браслеты, пульсометры, глюкометры и другие медицинские устройства передают данные на смартфон через BLE,

- в сфере интернета вещей (IoT) Bluetooth, особенно BLE, играет важную роль. Умные замки, датчики температуры и влажности, системы отслеживания (трекеры для поиска ключей и других предметов) используют эту технологию благодаря её доступности, низкому энергопотреблению и повсеместной поддержке в смартфонах.

Bluetooth Mesh, относительно новое расширение стандарта, позволяет создавать сетевые топологии, где устройства могут ретранслировать сигнал друг друга, значительно расширяя зону покрытия. Это открывает новые возможности для промышленной автоматизации и умных домов.

3. Wi-Fi – самая распространённая технология беспроводного доступа к интернету и локальным сетям. Название Wi-Fi является торговой маркой Wi-Fi

Alliance, а технически эти стандарты обозначаются как IEEE 802.11 с различными буквенными индексами (a, b, g, n, ac, ax и др.).

За более, чем двадцать лет существования, Wi-Fi прошёл путь от медленного стандарта 802.11b со скоростью 11 Мбит/с до современного Wi-Fi 6E (802.11ax), способного обеспечивать скорости более 9 Гбит/с. Параллельно развивались и другие характеристики: увеличивалась дальность, снижалось энергопотребление, улучшалась работа в условиях большого количества подключённых устройств.

Wi-Fi использует два основных частотных диапазона: 2,4 ГГц (доступен во всех версиях стандарта) и 5 ГГц (начиная с 802.11a). Новейший Wi-Fi 6E добавил диапазон 6 ГГц, что значительно расширило доступный спектр частот и уменьшило проблему перегруженности эфира.

К основным техническим параметрам Wi-Fi можно отнести:

- дальность действия зависит от множества факторов: используемой частоты, мощности передатчика, наличия препятствий и помех. В диапазоне 2,4 ГГц, который лучше проникает через стены, дальность в помещениях может достигать 50-100 метров, а на открытом пространстве — нескольких сотен метров. Диапазон 5 ГГц обеспечивает меньшую дальность (30-50 метров в помещении), но более высокие скорости и меньше подвержен помехам в городских условиях,

- скорость передачи данных: Wi-Fi 4 (802.11n) обеспечивает до 600 Мбит/с, Wi-Fi 5 (802.11ac) – до 3,5 Гбит/с, а Wi-Fi 6 (802.11ax) – до 9,6 Гбит/с. Реальные скорости обычно составляют 40-60 % от теоретического максимума из-за накладных расходов протокола и условий работы,

- энергопотребление Wi-Fi по сравнению с другими беспроводными технологиями, что ограничивало его применение в портативных и автономных устройствах. Однако Wi-Fi 6 ввёл технологию Target Wake Time, которая позволяет устройствам «просыпаться» только для передачи данных в заранее согласованное время, значительно снижая потребление энергии.

Наиболее массовое применение Wi-Fi:

- доступ в локальную сеть и сеть «Интернет». Домашние и офисные сети, публичные точки доступа в кафе, аэропортах, гостиницах, учебных заведениях обеспечивают большому количеству устройств беспроводной доступ.

- мультимедиа, стриминг видео, онлайн-игры, передача контента на умные телевизоры. Технологии Miracast, AirPlay, Chromecast используют Wi-Fi.

- умный дом, включающий взаимодействие с различным оборудованием: умные колонки, камеры видеонаблюдения, термостаты, умные розетки и выключатели,

- в промышленности, обеспечивая мониторинг состояния и управление оборудованием, специальные промышленные версии Wi-Fi обеспечивают надёжную работу в сложных условиях.

4. ZigBee – это стандарт беспроводной связи, специально разработанный для создания персональных сетевых областей (WPAN — Wireless Personal Area

Network) с низким энергопотреблением. Основанный на стандарте IEEE 802.15.4, ZigBee был ориентирован на приложения, требующие длительного времени автономной работы, надёжной передачи небольших объёмов данных и невысокой стоимости.

Ключевая особенность ZigBee — поддержка mesh-топологии (ячеистой сети), при которой устройства могут передавать данные друг через друга, значительно расширяя зону покрытия сети. В одной ZigBee-сети может работать до 65 000 устройств, что делает технологию подходящей для масштабных систем автоматизации.

ZigBee работает в нескольких частотных диапазонах: 2,4 ГГц (глобально доступный), 915 МГц (Америка) и 868 МГц (Европа). Наиболее распространён диапазон 2,4 ГГц благодаря его международной доступности.

К основным техническим параметрам ZigBee можно отнести:

- дальность действия составляет до 100 метров в зависимости от условий и мощности передатчика. Однако благодаря mesh-топологии эффективная дальность сети может быть значительно больше, так как каждое устройство может служить ретранслятором сигнала,

- скорость передачи данных в ZigBee относительно невелика: до 250 кбит/с в диапазоне 2,4 ГГц, 40 кбит/с в диапазоне 915 МГц и 20 кбит/с в диапазоне 868 МГц. Это значительно меньше, чем у Wi-Fi или Bluetooth, но достаточно для передачи команд управления и показаний датчиков,

- низкое энергопотребление. Устройства могут работать годами от батареек формата AA. Это достигается высокой энергоэффективностью, благодаря возможности находиться в спящем режиме большую часть времени.

Основная область применения ZigBee:

- домашняя автоматизация. Многие системы умного дома используют этот стандарт для подключения датчиков движения, температуры, влажности, дыма, умных лампочек, выключателей, замков и других устройств. Популярные платформы умного дома, такие как Яндекс, Philips Hue, Xiaomi Aqara, Samsung SmartThings, активно используют ZigBee,

- промышленная автоматизация, используемая для мониторинга и управления оборудованием, где требуется надёжная беспроводная связь при минимальном обслуживании, например, датчики на производственных линиях, системы учёта энергопотребления, мониторинг условий хранения,

- мониторинг медицинских показателей пациентов, медицинского оборудования. Низкое энергопотребление позволяет создавать компактные носимые датчики,

- сельское хозяйство, для мониторинга влажности почвы, погодных условий, состояния микроклимата теплиц. Mesh-топология позволяет покрыть большие площади.

- управление зданиями – системы освещения, климат-контроля, безопасности в коммерческих зданиях часто строятся на базе ZigBee благодаря надёжности, масштабируемости и низким эксплуатационным расходам.

5. Matter – это относительно новый стандарт для устройств умного дома, официально запущенный в 2022 году. В отличие от предыдущих технологий, Matter не является новым протоколом радиосвязи. Это протокол прикладного уровня (5-7 уровни OSI), который работает поверх существующих беспроводных технологий: Wi-Fi, Ethernet и Thread (последний основан на том же IEEE 802.15.4, что и ZigBee, и охватывает два нижних уровня модели OSI).

Matter был создан альянсом Connectivity Standards Alliance (CSA), в который входят крупнейшие технологические компании: Apple, Google, Amazon, Samsung, Яндекс и многие другие. Основная цель Matter – решить проблему фрагментации рынка умного дома, где устройства разных производителей часто несовместимы между собой.

Ключевая особенность Matter – обеспечение совместимости устройств разных производителей без необходимости в проприетарных концентраторах или облачных сервисах. Устройство с поддержкой Matter будет работать с экосистемами Apple HomeKit, Google Home, Amazon Alexa и другими платформами одновременно.

Поскольку Matter – это протокол прикладного уровня, его технические характеристики в значительной степени зависят от базовой транспортной технологии:

- при работе через Wi-Fi (наиболее распространённый вариант для устройств с постоянным питанием), Matter наследует все характеристики Wi-Fi: высокую скорость, хорошую дальность действия, но и повышенное энергопотребление,

- при использовании Thread, Matter получает низкое энергопотребление, mesh-топологию и характеристики, схожие с ZigBee. Thread работает в диапазоне 2,4 ГГц, обеспечивает скорость до 250 кбит/с и дальность в десятки метров,

- Matter поддерживает Bluetooth Low Energy для первоначального подключения и настройки устройств, что упрощает процесс добавления новых устройств в сеть.

Основная область применения Matter – домашняя автоматизация. Стандарт охватывает широкий спектр типов устройств: освещение, замки, термостаты, датчики, оконные жалюзи, бытовую технику, камеры и многое другое. Пользователь может купить умную лампочку одного бренда, датчик движения другого и термостат третьего, и все они будут работать вместе без проблем совместимости. Важная особенность Matter – локальное управление без облака. Устройства могут работать и взаимодействовать друг с другом через локальную сеть, не требуя постоянного подключения к интернету. Это повышает конфиденциальность, надёжность и скорость отклика системы.

Хотя Matter находится на ранней стадии развития, он уже получил широкую поддержку производителей. Ожидается, что в ближайшие годы большинство новых устройств умного дома будут поддерживать этот стандарт, что должно существенно упростить построение и использование систем домашней автоматизации.

В таблице 1 показан сравнительный анализ перечисленных выше технологий.

Таблица 1 – Сравнение ключевых характеристик

Характеристика	NFC	Bluetooth	Wi-Fi	ZigBee	Matter
Дальность	До 0,1 м	10-240 м	30-100 м	10-100 м	зависит от транспорта
Скорость	106-424 кбит/с	до 2-3 Мбит/с	до 9,6 Гбит/с	до 250 кбит/с	зависит от транспорта
Энергопотребление	минимальное	низкое (BLE) – среднее	высокое – среднее	очень низкое	зависит от транспорта
Частота	13,56 МГц	2,4 ГГц	2,4/5/6 ГГц	2,4/0,9/0,8 ГГц	зависит от транспорта
Топология	точка-точка	точка-точка, mesh	звезда	Mesh	Mesh (Thread)
Сложность	простая	средняя	высокая	средняя	высокая

Выбор технологии для различных задач:

- для быстрых транзакций и идентификации наиболее предпочтителен NFC. Например: бесконтактные платежи, электронные билеты, пропуска – везде, где нужна безопасная передача данных на очень короткой дистанции с минимальными задержками,

- для подключения персональных и аудио устройств лучший выбор – Bluetooth. Наушники, колонки, клавиатуры, мыши, фитнес-трекеры – все эти устройства традиционно используют Bluetooth благодаря балансу дальности, скорости и энергопотребления,

- для высокоскоростной передачи данных и интернет-доступа предпочтителен Wi-Fi. Например: стриминг видео, онлайн-игры, облачные сервисы, передача больших файлов,

- для энергоэффективных распределённых на значительных площадях устройств, предпочтителен ZigBee,

- для совместимых систем умного дома предпочтителен Matter. Если важна возможность использовать устройства разных производителей вместе, работать с разными платформами управления и обеспечить локальное управление без облака, Matter становится предпочтительным вариантом.

Важно понимать, что эти технологии не конкурируют напрямую, а скорее дополняют друг друга, каждая в своей нише. Более того, многие современные устройства поддерживают сразу несколько стандартов.

Например, смартфон часто имеет NFC для бесконтактных платежей, Bluetooth для подключения наушников и периферии, и Wi-Fi для доступа в интернет. Умная колонка может использовать Wi-Fi для воспроизведения музыки из

интернета, Bluetooth для прямого подключения телефона и Matter/ZigBee для управления устройствами умного дома.

Концентраторы умного дома часто выступают мостами между технологиями, позволяя, например, управлять ZigBee-устройствами через Wi-Fi-сеть или интегрировать Bluetooth-датчики в единую систему с Wi-Fi-камерами.

Каждая из рассмотренных технологий включает механизмы защиты, но уровень безопасности и уязвимости различаются:

- NFC защищён самой природой технологии — для перехвата данных нужно находиться в непосредственной близости от устройства. Платёжные приложения используют дополнительное шифрование и токенизацию для защиты финансовых данных,

- Bluetooth в ранних версиях имел серьёзные уязвимости, но современные версии (начиная с 4.2) включают надёжное шифрование. Основная опасность — атаки на этапе сопряжения устройств. Важно использовать сложные PIN-коды и обновлять прошивки устройств,

- Wi-Fi поддерживает различные протоколы шифрования. Устаревший WEP легко взламывается, WPA2 обеспечивает хорошую защиту при использовании сложных паролей, а новейший WPA3 добавляет дополнительные уровни защиты. Основные риски связаны с использованием слабых паролей и незащищённых публичных сетей,

- ZigBee включает шифрование AES-128, но в прошлом были обнаружены уязвимости в реализации. Важно обновлять прошивки устройств и менять стандартные ключи шифрования,

- Matter разработан с учётом современных требований безопасности и включает обязательное шифрование, безопасную процедуру добавления устройств.

Общие рекомендации для всех технологий: использовать сложные пароли, регулярно обновлять прошивки устройств, отключать ненужные функции и избегать публичных незащищённых сетей для передачи конфиденциальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мерритт, М., Поллино Дэвид.** Безопасность беспроводных сетей / Мерритт М., Поллино Д. (пер. с англ. Семенов А. В.) // ДМК Пресс, 2008. – 288 с.

2. **Авксентьев, А. А.** Сети и системы связи / Авксентьев А. А. // Инфра-Инженерия, 2024. – 336 с.

3. **Величко, В. В.** Основы инфокоммуникационных технологий / Величко В. В., Катунин Г. П., Шувалов В. П. // Горячая линия-Телеком, 2018. – 724 с.