

УДК 621.396

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Денега А.П.

студент,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА – Российский технологический университет",

Москва, Россия

Иванова И.А.

к.т.н., доцент,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА – Российский технологический университет",

Москва, Россия

Аннотация

В статье представлен обзор основных технологий беспроводной передачи данных, получивших распространение в современных телекоммуникационных системах. Рассмотрены стандарты Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, NB-IoT, 5G, а также перспективные направления, такие как Li-Fi и сверхширокополосная связь (UWB). Проведён сравнительный анализ по ключевым параметрам: дальность действия, скорость передачи, энергопотребление и область применения. Отдельное внимание уделено вопросам выбора технологии в зависимости от решаемых задач. Результаты работы могут быть полезны при проектировании систем Интернета

вещей (IoT), автоматизированных систем управления и инфраструктуры умных городов.

Ключевые слова: беспроводная передача данных, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, NB-IoT, 5G, Li-Fi, UWB, Интернет вещей.

REVIEW OF MODERN WIRELESS DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES

Denega A.P.

student,

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"MIREA – Russian Technological University",*

Moscow, Russia

Иванова И.А.

PhD, Associate Professor,

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"MIREA – Russian Technological University",*

Moscow, Russia

Abstract

The article provides an overview of the main wireless data transmission technologies widely used in modern telecommunication systems. Standards such as Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, NB-IoT, 5G, as well as promising directions like Li-Fi and Ultra-Wideband (UWB), are considered. A comparative analysis is conducted based on key parameters: range, data rate, power consumption, and application area. Special attention

is paid to the choice of technology depending on the tasks to be solved. The results can be useful in the design of Internet of Things (IoT) systems, automated control systems, and smart city infrastructure.

Keywords: wireless data transmission, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, NB-IoT, 5G, Li-Fi, UWB, Internet of Things.

Современный этап развития информационного общества характеризуется стремительным ростом числа беспроводных устройств и объёмов передаваемых данных. По данным аналитических агентств, к 2025 году количество подключённых устройств в сетях Интернета вещей (IoT) превысит 75 миллиардов [2]. Это обуславливает необходимость систематизации знаний о существующих технологиях беспроводной передачи данных, их возможностях и ограничениях. В настоящей работе рассматриваются наиболее востребованные стандарты, а также перспективные разработки, способные определить вектор развития телекоммуникаций в ближайшие годы.

К технологии малого радиуса действия относятся технологии, функционирующие на расстояниях от нескольких метров до сотен метров внутри зданий или на ограниченных территориях.

Wi-Fi (IEEE 802.11) остаётся доминирующим решением для построения локальных беспроводных сетей. Современные реализации (Wi-Fi 6, Wi-Fi 7) обеспечивают скорость до 30 Гбит/с и работают в диапазонах 2,4 ГГц, 5 ГГц и 6 ГГц [4]. Основная область применения – доступ в интернет, передача мультимедиа, корпоративные сети.

Bluetooth (включая Bluetooth Low Energy, BLE) ориентирован на создание персональных сетей (WPAN) с низким энергопотреблением. BLE нашёл широкое

применение в носимой электронике, медицинских датчиках, системах позиционирования [1].

ZigBee (IEEE 802.15.4) предназначен для промышленных и бытовых сетей сенсоров. Отличается низким энергопотреблением, поддержкой ячеистой топологии (mesh) и скоростью до 250 кбит/с. Используется в системах «умный дом», автоматизации зданий, промышленном мониторинге [7].

Для задач Интернета вещей, требующих передачи небольших объёмов данных на большие расстояния (до нескольких километров) с минимальным энергопотреблением, разработаны сети LPWAN (Low-Power Wide-Area Network).

LoRaWAN – открытый стандарт на основе модуляции LoRa, работающий в нелицензируемых диапазонах. Дальность связи в сельской местности достигает 15–20 км, скорость составляет от 0,3 до 50 кбит/с [6]. Используется в системах удалённого мониторинга, сельском хозяйстве, логистике.

NB-IoT (Narrow Band IoT) – сотовый стандарт, развёртываемый в лицензируемых диапазонах операторами связи. Обеспечивает более высокую надёжность и качество обслуживания по сравнению с LoRa, но требует абонентской платы. Применяется в интеллектуальных системах учёта ресурсов, городской инфраструктуре [9].

Эволюция сотовой связи привела к появлению стандарта 5G (IMT-2020), который поддерживает три основных класса применения:

- eMBB (Enhanced Mobile Broadband) – повышенная скорость (до 20 Гбит/с) для мобильного широкополосного доступа;
- URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications) – сверхнадёжная связь с низкой задержкой (менее 1 мс) для автономного транспорта, промышленной автоматизации;

- mMTC (Massive Machine Type Communications) – поддержка массового подключения устройств (до 1 млн на км²) для IoT [8].

5G интегрирует возможности предыдущих поколений и выступает универсальной платформой для широкого спектра сценариев.

Li-Fi (Light Fidelity) использует видимый свет (светодиоды) для передачи данных. Скорость в лабораторных условиях достигает нескольких гигабит в секунду, однако существенным ограничением является необходимость прямой видимости и короткая дальность [3].

Сверхширокополосная связь (UWB) обеспечивает высокоточное позиционирование (ошибка до 10 см) при низкой задержке. Технология активно внедряется в автомобильной промышленности для бесключевого доступа и в устройствах потребительской электроники [5].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики рассмотренных технологий.

Таблица 1 – Сравнение основных технологий беспроводной передачи данных

Технология	Дальность	Скорость передачи	Энергопотребление	Типичное применение
Wi-Fi 6	до 100 м	до 9,6 Гбит/с	среднее	локальные сети, мультимедиа
Bluetooth 5	до 200 м	до 2 Мбит/с	низкое	носимые устройства, периферия
ZigBee	до 100 м	до 250 кбит/с	очень низкое	сенсорные сети, умный дом
LoRaWAN	до 15 км	0,3–50 кбит/с	очень низкое	сельское хозяйство, логистика
NB-IoT	до 35 км	до 250 кбит/с	низкое	интеллектуальный учёт, город
5G (URLLC)	до 10 км	до 20 Гбит/с	среднее/высокое	автономные системы, промышленность
Li-Fi	до 10 м	до 10 Гбит/с	низкое	связь в помещениях, безопасные сети

Технология	Дальность	Скорость передачи	Энергопотребление	Типичное применение
UWB	до 50 м	до 27 Мбит/с	низкое	точное позиционирование, автомобили

Выбор конкретного стандарта беспроводной связи определяется совокупностью факторов: требуемой дальностью и скоростью передачи, допустимым энергопотреблением, количеством подключаемых устройств, условиями распространения радиоволн и экономической целесообразностью. Например, для систем мониторинга технологических параметров на промышленных объектах предпочтительны ZigBee или LoRaWAN, а для обеспечения высокоскоростного доступа в офисных зданиях – Wi-Fi 6. В городских средах с высокой плотностью устройств наиболее эффективны сотовые сети NB-IoT и 5G.

Проведённый обзор показывает, что современные технологии беспроводной передачи данных охватывают практически все возможные сценарии использования – от высокоскоростной связи на коротких расстояниях до энергоэффективной передачи сигналов на десятки километров. Дальнейшее развитие отрасли связано с конвергенцией существующих стандартов, появлением гибридных решений и широким внедрением искусственного интеллекта для управления радиоресурсами. Особую значимость приобретают вопросы безопасности, энергоэффективности и интеграции в экосистемы умных городов и промышленности 4.0.

Библиографический список:

1. Bluetooth Specification Version 5.2. – Bluetooth SIG, 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-amended-5-2/> (дата обращения: 29.04.2026).

2. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper. – Cisco Systems, 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html> (дата обращения: 15.03.2026).
3. Haas H., Yin L., Wang Y., Chen C. What is Li-Fi? – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pureportal.strath.ac.uk/en/publications/what-is-lifi> (дата обращения: 29.04.2026).
4. IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE Std 802.11-2020, 2021. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9363693> (дата обращения: 29.04.2026).
5. IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks – Amendment 1: Enhanced Ultra Wideband (UWB) Physical Layers. – IEEE Std 802.15.4z-2020, 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9179124> (дата обращения: 29.04.2026).
6. LoRaWAN™ Specification 1.0.4. – LoRa Alliance, 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://resources.lora-alliance.org/technical-specifications/ts001-1-0-4-lorawan-l2-1-0-4-specification> (дата обращения: 29.04.2026).
7. Simpler, more secure Zigbee released / IoT M2M Council, 2023. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iotm2mcouncil.org/iot-library/news/iot-newsdesk/simpler-more-secure-zigbee-released/> (дата обращения: 29.04.2026).
8. What are eMBB, URLLC, and mMTC in 5G? Use Cases Explained / TechTarget, 2025. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/What-are-eMBB-URLLC-and-mMTC-in-5G-Use-cases-explained> (дата обращения: 29.04.2026).

9. Стандарт NB-IoT Low-Power and Wide-Area, LPWA / Tadviser, 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Стандарт_NB-IoT_Low-Power_and_Wide-Area,_LPWAN_\(Энергоэффективная_сеть_дальнего_радиуса_действия\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Стандарт_NB-IoT_Low-Power_and_Wide-Area,_LPWAN_(Энергоэффективная_сеть_дальнего_радиуса_действия)) (дата обращения: 29.04.2026).