

УДК 004.735

**РАЗВИТИЕ БЕСПРОВОДНЫХ  
СЕТЕЙ КАК СРЕДСТВО  
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ  
УДАЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ***Закалюжный А. А.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[zakalzhnuy-95@yandex.ru](mailto:zakalzhnuy-95@yandex.ru)

Рассмотрены основные аспекты развития стандартов беспроводных сетей, определены принципы их организации и работы. Выделены основные отличия, преимущества и недостатки проводных и беспроводных технологий организации сетей. Дан краткий обзор и сравнительный анализ беспроводных сенсорных сетей ZigBee и LPWAN с прямыми конкурентами Wi-Fi и Bluetooth. Выделены основные характеристики и области применения каждой из приведенной выше технологий. На основе всестороннего анализа выработаны практические рекомендации по выбору той или иной беспроводной технологии в конкретном проекте разработчика.

**Ключевые слова:** LPWAN, ZigBee, беспроводная сеть, интернет вещей, сенсорная сеть, промышленность, Wi-Fi, Bluetooth, датчики, частотный диапазон, сравнительный анализ.

**Введение.** Современную жизнь невозможно вообразить без присутствия Интернета. Всемирная паутина представляет собой глобальный информационный ресурс, который предоставляет огромные возможности как для саморазвития человека во всех направлениях жизнедеятельности, так и для проведения досуга на любой вкус.

Интернет активно проникает во все сферы человеческой жизни. Буквально через несколько десятков лет практически все электронные устройства будут объединены в одну огромную сеть. Этот процесс уже начинается в четырех стенах отдельных квартир и постепенно распространится по всему городу. Одним из ключевых сподвижников в развитии сетей связи стала популярная концепция интернета вещей (IoT) [1]. Цели данной работы:

— рассмотреть перспективы использования беспроводных сетей для организации систем управления и контроля за технологическими процессами;

— провести сравнительный анализ существующих беспроводных сетей, раскрыть их основные преимущества и недостатки;

— на основе такого анализа сделать вывод об уместности использования того или иного протокола беспроводной передачи данных в решении конкретной задачи.

UDC 004.735

**DEVELOPMENT OF WIRELESS  
NETWORKS AS A MEANS OF REMOTE  
SYSTEMS CONTROL AND  
MANAGEMENT***Zakaluyzhnyy A. A.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[zakalzhnuy-95@yandex.ru](mailto:zakalzhnuy-95@yandex.ru)

The article considers the main aspects of wireless network standards development, the principles of organization and operation of networks are determined. The main differences, advantages and disadvantages of wired and wireless networking technologies are considered. A short review and the comparative analysis of wireless sensor networks ZigBee and LPWAN with direct competitors Wi-Fi and Bluetooth is made. The main characteristics and application areas of each of the above listed technologies are considered. On the basis of the analysis, practical recommendations are given for choosing a particular wireless technology in a specific project of a developer.

**Keywords:** LPWAN, ZigBee, wireless network, internet of things, sensor network, industry, Wi-Fi, Bluetooth, sensors, frequency range, comparative analysis

**Методология интернета вещей.** Предполагается, что в будущем «вещи» станут активными участниками бизнеса, информационных и социальных процессов, где они смогут взаимодействовать и общаться между собой, обмениваясь информацией об окружающей среде, реагируя и влияя на процессы, происходящие в окружающем мире, без вмешательства человека [2]. Планируется, что к 2025 году к Интернету будет подключено уже несколько миллиардов технических устройств. Однако существующих технологий, таких как WLAN и высокоскоростной LTE, пока недостаточно для того, чтобы обеспечить глобальное внедрение технических устройств в сеть. Чтобы выдержать такой наплыв устройств, нужны новые беспроводные сети. Для обеспечения масштабного внедрения промышленного интернета вещей в жизнь человечества должно появиться еще множество технических усовершенствований. К ним относятся снижение стоимости хранения данных, уменьшение потребления энергии на беспроводную передачу данных и повышение уровня доступности сети. Стандартизация протоколов беспроводной передачи данных также является необходимым условием развития промышленного интернета вещей.

**Организация сетей.** В большинстве случаев для организации доступа к глобальной сети Интернет используют проводные технологии. Однако проводной интернет имеет огромное количество недостатков: высокая стоимость создания сетей, сложность подключения нового рабочего места при использовании некоторых топологий (например, топологии «звезда»), необходимость четкой организации рабочих мест, очень плохая мобильность сетевых устройств и т.д.

Конечно, проводные сети имеют в то же время и огромное количество преимуществ, к которым можно отнести, например, высокую производительность (в настоящее время скорость проводного интернета достигает десятков Гбит/с), практически неограниченную расширяемость сети, высокую помехозащищенность и т.д. При использовании сетевых технологий в промышленности большая часть преимуществ проводного интернета не играет роли. Та же высокая скорость передачи для промышленности не столь важна, так как там нет передачи больших объемов данных. В то же время для производства важна мобильность, которую с полной уверенностью гарантируют беспроводные сети. Беспроводная сеть — сеть, основанная на беспроводном принципе, полностью соответствующая стандартам для обычных проводных сетей. В качестве носителя информации в таких сетях могут выступать радиоволны СВЧ-диапазона [3].

**Использование беспроводных сетей в промышленности.** В промышленности беспроводные сети передачи данных применяются уже более 30 лет. В прошлом они обычно представляли собой проприетарные технические решения в диапазоне ниже 1 ГГц. В них использовалась простая амплитудная или частотная модуляция. Радиотракты для таких видов модуляции легко собирались из пригоршни дискретных элементов. К недостаткам такого подхода относятся полное отсутствие защиты информации и ограниченная полоса.

За последние два десятилетия был разработан ряд стандартов надёжной беспроводной связи. Из последних большинство обеспечивает достаточную для широкого применения защиту информации. Кроме того, в 1980-х годах появилось несколько новых частотных диапазонов свободного использования, включая диапазоны 2,4 и 5 ГГц. На сегодняшний день внедрение стандартизованных решений радиосвязи стало экономически эффективным и безопасным средством для устройств мониторинга и управления, работающих в удалённых условиях или на промышленном предприятии. Возникает вопрос оптимального выбора стандарта беспроводной связи из множества доступных.

В последнее время в промышленности наибольшее распространение приобретают беспроводные сенсорные сети. Беспроводная сенсорная сеть представляет собой самоорганизующуюся сеть множества датчиков и устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Наиболее популярными протоколами беспроводных сенсорных сетей являются ZigBee и LPWAN [4].

**Беспроводная сенсорная сеть LPWAN.** Первые прототипы сетей LPWAN появились еще в далекие 1980–1990 гг. Однако эти сети уступили место более эффективным на тот момент времени технологиям. Современные же LPWAN могут составить конкуренцию даже разрабатываемым сетям 5G. Все дело в широком охвате, низкой стоимости оборудования и обслуживания. LPWAN-сервисы незаменимы в отслеживании активов, управлении зданиями, реализации концепции «умный город», «умном учете» ресурсов и в сельском хозяйстве [5].

В основе принципа передачи данных по технологии LPWAN на физическом уровне лежит свойство радиосистем: увеличение энергетика, а, значит, и дальности связи при уменьшении скорости передачи. Чем ниже битовая скорость передачи, тем больше энергии вкладывается в каждый бит и тем легче выделить его на фоне шумов в приёмной части системы. Таким образом, низкая скорость передачи данных позволяет добиться большей дальности распространения радиосигнала и, как следствие, увеличения радиуса действия принимающей станции.

Подход, используемый для построения LPWAN-сети, схож с принципом работы сетей мобильной связи. LPWAN-сеть использует топологию «звезда», где каждое устройство взаимодействует с базовой станцией напрямую. Сети городского или регионального масштаба строятся с использованием конфигурации «звезда из звезд».

Устройство или модем с LPWAN-модулем передает данные по радиоканалу на базовую станцию. Станция принимает сигналы от всех устройств в радиусе своего действия, оцифровывает и передаёт на удалённый сервер, используя доступный канал связи: Ethernet, сотовая связь, VSAT.

Полученные на сервере данные используются для отображения, анализа, построения отчетов и принятия решений.

Управление устройствами, обновление программного обеспечения происходит с использованием обратного канала связи.

Для передачи данных по радиоканалу, как правило, применяется не лицензируемый спектр частот, разрешенных к свободному использованию в регионе построения сети: 2,4 ГГц, 868/915 МГц, 433 МГц, 169 МГц, однако есть и исключения [6].

**Беспроводная сенсорная сеть ZigBee.** У истоков протокола ZigBee стоит организация ZigBee Alliance, отвечающая за его развитие и продвижение, а также за сертификацию оборудования. Впервые ZigBee был представлен публике в 2004 году. Через год спецификации первой версии протокола были утверждены, и он стал внедряться в конечные устройства [7].

ZigBee — протокол верхнего уровня, базирующийся на беспроводном стандарте IEEE 802.15.4, позволяющим настраивать поверх радиосигнала различные протоколы. ZigBee предназначался для сетей из распределенных по значительной площади маломощных датчиков. Данный протокол связи использует ячеистую сетевую структуру, которая обеспечивает надежную связь между узлами сети, криптографическую защиту данных, изолированные методы экономии энергии. Так, в протоколе ZigBee предусмотрено быстрое включение и выключение прибора. Устройства ZigBee компактны и имеют невысокую стоимость. Стандарт позволяет использовать каналы в не-

скольких частотных диапазонах. Наибольшая скорость передачи и наилучшая помехоустойчивость достигаются в диапазоне от 2,4 до 2,48 ГГц. В этом диапазоне предусмотрено 16 каналов по 5 МГц.

Однако, помимо перечисленных достоинств, у рассматриваемого протокола есть и существенные недостатки. Один из них — низкая скорость передачи данных. Средняя скорость передачи полезных данных в зависимости от загрузки сети и числа ретрансляций составляет от 5 до 40 кбит/с, хотя для работы с датчиками этой скорости вполне достаточно. Другим недостатком являются проблемы с совместимостью оборудования. Вызваны они целым рядом причин. Начнем с того, что стандарт пережил несколько обновлений — в 2006, 2007 и 2012 годах. Авторы новых спецификаций уделили внимание вопросам совместимости, однако практика показывает, что гаджеты разных стандартов в рамках одной сети лучше не использовать [8].

Прямыми конкурентами рассмотренных выше стандартов являются такие известные сети, как Bluetooth и Wi-Fi [9].

**Беспроводная сеть Wi-Fi.** Стандарт Wi-Fi, или IEEE 802.11a/b/g/n, является самым распространённым техническим решением организации беспроводной TCP/IP сети для пользовательских и промышленных устройств. Название Wi-Fi произошло от сокращения словосочетания Wireless Fidelity (точная беспроводная связь) и является стандартом связи устройств в беспроводной локальной вычислительной сети. Комитет, который координирует этот стандарт, ставил перед собой задачу создать наилучшую замену проводной сети TCP/IP. Среди прочих приоритетными были параметры безопасности и скорости передачи данных. В результате этого пропускная способность 802.11n больше, чем у любого иного стандарта беспроводной связи ближнего радиуса действия. К недостаткам относятся большая потребляемая мощность и необходимость в больших вычислительных ресурсах для эффективного обслуживания стека протоколов 802.11. В образовавшейся из-за этих недостатков свободной нише рынка возник ряд стандартов для устройств с малым расходом энергии.

**Беспроводная сеть Bluetooth.** Стандарт Bluetooth предназначен для организации персональной сети, которая окружает человека или интеллектуальное устройство и не требует значительного расхода энергии. Стандарт соответствует требованиям быстрого соединения, простоты человеко-машинного интерфейса и малого потребления энергии. В персональной сети допускается весьма близкое взаимное расположение множества передатчиков — в Bluetooth применяется синхронизация всех устройств во избежание наложения сигналов их передатчиков. При разработке Bluetooth также учитывалось обеспечение устойчивости к помехам от Wi-Fi устройств, с применением алгоритма скачкообразной перестройки частоты, чтобы сообщения Bluetooth устройств могли передаваться даже при одновременной активности в нескольких каналах Wi-Fi. Наконец, в силу очень малой мощности своего передатчика связь по Bluetooth меньше подвержена влиянию многолучевого распространения, по сравнению со связью по Wi-Fi. Благодаря этому для применения Bluetooth не требуется глубокого изучения и планирования радиообстановки в месте эксплуатации. Система весьма устойчива к воздействию посторонних и взаимных помех.

**Заключение.** По рассмотренным протоколам беспроводных сетей составим таблицу общей классификации основных стандартов беспроводной передачи данных (табл. 1) [10].

Общая классификация основных стандартов  
беспроводной передачи данных

Характеристика	LPWAN	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
Частотный диапазон, МГц	868	2400–2483	2400–2483	2412–2484
Скорость передачи данных, кбит/с	0,3–50	250	721	11000/54000
Дальность связи, м	45000	200	Класс 1 — 100 Класс 2 — 10 Класс 3 — 1	100
Потребление тока (active, sleep), мА/мкА	18/1	30/1	70/20	450
Модуляция, доступ к среде	DSSS	DSSS	FHSS	DSSS
Топология системы	«Звезда»	«Точка — точка», «звезда», сеть	«Точка — точка», «звезда», сеть	«Точка — точка», «звезда»

Проанализировав представленные данные, можно сделать вывод, что на практике разделение между всеми стандартами беспроводной связи носит условный характер. Стандарты перекрываются друг другом и могут конкурировать в одних и тех же проектах. Каждый из рассмотренных стандартов имеет свои преимущества. Однако они не столь серьезны, поэтому часто выбор той или иной технологии беспроводной связи зависит от субъективных предпочтений разработчика или определяется какими-либо внешними специфическими условиями:

— наличие развитой инфраструктуры. Например, известно, что во всех крупных городах в данный момент существует и активно развивается сеть точек доступа Wi-Fi. Понятно, что в данной ситуации разработчику наиболее целесообразно использовать в своей разработке модули стандарта Wi-Fi.

— наличие высокого уровня стандартизации и широкая поддержка стандарта множеством устройств различных производителей. В этом случае абсолютными лидерами будут являться стандарты Bluetooth и Wi-Fi;

— возможность покрытия беспроводной сетью обширных территорий при сохранении низкого энергопотребления. С этой точки зрения наиболее перспективными являются стандарты ZigBee и LPWAN.

Технология беспроводных сетей развивается довольно быстро. Эти сети удобны, в первую очередь, для подвижных средств, но находят применение и в других областях (динамичные сети фирм, больницы и т.д.). Наиболее перспективными представляются проекты IEEE 802.11 и IEEE 802.16, которые должны играть для радиосетей такую же интегрирующую роль, как 802.3 для сетей Ethernet. В системах передачи данных на основе мобильной телефонной связи наиболее перспективными направлениями являются стандарты 4G и 5G. Беспроводные сети и системы передачи данных на основе радиоканала не могут конкурировать по качеству услуг, производительности, помехозащищенности с системами передачи данных на основе оптоволокна в глобальных и региональных сетях, а могут лишь с сетями на основе витой пары в локальных сетях. Но они являются

незаменимыми в подвижных системах, в условиях труднодоступной местности и во временно раз-  
вертываемых сетевых фрагментах [10].

### Библиографический список

1. LPWAN: умная сеть будущего [Электронный ресурс] / Chip. — Режим доступа: <http://ichip.ru/lpwan-umnaaya-set-budushhego.html> (дата обращения: 10.03.18).
2. Интернет вещей — а что это? [Электронный ресурс] / Habr. — Режим доступа: <https://geektimes.ru/post/149593/> (дата обращения: 09.03.18).
3. Ватаманюк, А. Преимущества и недостатки проводной сети / А. Ватаманюк [Электронный ресурс] / На главную страницу. — Режим доступа: [http://programming-lang.com/ru/comp\\_osnet/vatamanyuk/0/j8.html](http://programming-lang.com/ru/comp_osnet/vatamanyuk/0/j8.html) (дата обращения: 11.03.18).
4. WiFi, Bluetooth или ZigBee — какой стандарт лучше? [Электронный ресурс] / Ua. Automation.com/ — Режим доступа: <http://ua.automation.com/content/wifi-bluetooth-ili-zigbee-kakoj-standart-luchshe> (дата обращения: 09.03.18).
5. Сети LPWAN: история и перспективы [Электронный ресурс] / IOT.ru. — Режим доступа: <https://iot.ru/promyshlennost/seti-lpwan-istoriya-i-perspektivy> (дата обращения: 08.03.18).
6. LPWAN [Электронный ресурс] / Википедия. — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/LPWAN#cite\\_ref-arxiv\\_2-1](https://ru.wikipedia.org/wiki/LPWAN#cite_ref-arxiv_2-1) (дата обращения: 08.03.18).
7. Протокол ZigBee: беспроводные технологии на службе «умного» дома [Электронный ресурс] / Ferra.ru. — Режим доступа: <https://www.ferra.ru/ru/digihome/review/SmartHome-ZigBee/> (дата обращения: 08.03.18).
8. Сети ZigBee. Зачем и почему? [Электронный ресурс]. — Habr. — Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/155037/> (дата обращения: 07.03.18).
9. Аникин, А. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц / А. Аникин [Электронный ресурс] / Беспроводные технологии. — Режим доступа: [http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2011\\_4\\_6.php](http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2011_4_6.php) (дата обращения: 09.03.18).
10. Марчуков, А. В. Беспроводные информационные сети / А. В. Марчуков. — Томск : Из-во Томского политехнического университета, 2009. — 84 с.