

УДК 004.738.5

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ LORAWAN И SIGFOX

*Клепцов Ю.В., Грищук А.А., Грибович А.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Хмелев А.Г. – д.э.н., профессор, кафедры ПОИТ*

**Аннотация.** Данная научная статья проводит сравнительный анализ двух популярных протоколов передачи данных для интернета вещей (IoT) – LoRaWAN и SigFox. В статье рассматриваются технические характеристики обоих протоколов, их преимущества и недостатки, а также возможности применения в различных сценариях. Исследование позволяет выявить основные отличия между LoRaWAN и SigFox, что поможет разработчикам и инженерам выбрать наиболее подходящий протокол для конкретного проекта IoT.

**Ключевые слова:** LoRaWAN, SigFox, протокол передачи данных, интернет вещей, сравнительный анализ

**Введение.** С развитием интернета вещей (IoT) становится все более актуальным вопрос выбора подходящего протокола передачи данных для обеспечения связи между устройствами. Два из наиболее популярных протоколов в этой области – LoRaWAN и SigFox – предлагают различные подходы к передаче данных и имеют свои особенности. В данной статье будет проведен сравнительный анализ этих двух протоколов с целью выявления их технических характеристик, преимуществ и недостатков.

**Основная часть.** По словам Донны Мур, председателя совета директоров LoRa Alliance, из всех приложений IoT около 75% приходится на сети с низким энергопотреблением и большим охватом (LPWAN), и только 25% требуют высокой пропускной способности и малой задержки сигнала. Ожидается, что в ближайшие годы рынок LPWAN будет быстро расти в результате резкого увеличения спроса на маломощные глобальные соединения для устройств Интернета вещей. Сегодня LPWAN используются в нескольких секторах: транспорт, логистика, энергетика, здравоохранение и сельское хозяйство. По состоянию на 2022 год более 90% мирового рынка LPWAN делят между собой три технологии: LoRaWAN, SigFox и NB-IoT. В рамках данной статьи будут рассмотрены первые две из них.

Общим в обеих технологиях является работа в нелицензируемом диапазоне частот ISM, схожая топология сети, крайне низкое энергопотребление конечных устройств, широкая зона покрытия (Таблица 1). Однако, если рассматривать обе технологии как радиоканал для передачи данных, имеются существенные различия.

LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks) – это MAC-протокол для высокочастотных сетей с большим радиусом действия и низким собственным потреблением мощности, который организация LoRa Alliance стандартизировала для маломощных глобальных радиальных сетей (Low Power Wide Area Networks, LPWAN) типа звезда. LoRa – это набор методов модуляции, запатентованных компанией Semtech. Модуляция LoRa является физическим уровнем. Это достаточно новый метод модуляции с расширением спектра посредством линейной частотной модуляции (CSS) и одноименная сетевая технология.

Протокол LoRaWAN оптимизирован для малобюджетных сенсоров с работой от батарей, представляет собой открытый протокол связи и включает в себя различные классы узлов. Тем самым обеспечивается компромисс между скоростью доставки информации и временем работы устройств, что особенно важно ввиду использования питания от батарей/аккумуляторов. Скорость передачи данных по протоколу LoRaWAN в системе LoRa находится в диапазоне 0,3-11 кбит/с. Протокол обеспечивает полную двустороннюю связь, а архитектура (посредством специальных методов шифрования) обеспечивает общую надежность и безопасность всей системы. Архитектура LoRaWAN в том числе была разработана с целью облегчить обнаружение мобильных объектов, что является одним из наиболее быстро растущих приложений на уровне Интернета вещей.

LoRaWAN-сеть включает конечное устройство, шлюзы, сетевой сервер и сервер приложений. Используется топология типа «звезда», где каждый модуль или счетчик передает данные по радиоканалу напрямую на базовую станцию без применения промежуточных ретрансляторов. Базовая станция принимает сигналы от всех устройств в радиусе своего действия, оцифровывает и передает на удаленный сервер, используя доступный канал связи, например Ethernet, WiFi, сотовую связь. LoRaWAN используется для передачи небольших по объему пакетов данных на дальние расстояния. Такая сеть была разработана специально для распределенных сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия (M2M) и Интернета вещей (IoT). Чтобы продлить срок службы батареи/аккумулятора в конечном устройстве и общую пропускную способность сети, сетевой сервер LoRaWAN управляет скоростью передачи данных и радиочастотным выходом каждого конечного устройства по отдельности. Управление осуществляется с помощью алгоритма адаптивной скорости передачи данных (Adaptive Data Rate, ADR).

Архитектура сети LoRaWAN обеспечивает полную конфиденциальность данных. Она сохраняется в процессе прохождения всей цепочки задействованных устройств. Содержимое пакета данных на всех стадиях процесса остается доступным только отправителю (конечному устройству) и получателю (приложению), которому оно предназначается.

К несомненным достоинствам технологии LoRaWAN можно отнести: безопасность сети и данных — как на уровне сети, так и на уровне приложений, широкий выбор и низкая стоимость конечных устройств и шлюзов, быстрота развертывания сети, высокая масштабируемость сети (до 5000 конечных узлов/км<sup>2</sup>), высокая помехозащищенность, большой радиус действия в плотной городской застройке и энергоэффективность, адаптивная скорость передачи данных (ADR). К недостаткам LoRaWAN относят сравнительно низкую пропускную способность, некоторую задержку передачи данных от датчика до конечного приложения, риски зашумленности спектра частот диапазона ISM, ограничение мощности сигнала.

22 декабря 2023 года Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации (Рcтандарт) утвердило национальный стандарт протокола LoRaWAN для интернета вещей (IoT). Ожидается, что это будет способствовать развитию экосистемы отечественных устройств, таких как умные счетчики и датчики, оборудование для транспорта, сферы ЖКХ, промышленных предприятий и пр.

Таблица 1

Технология	Технология	Пропускная способность	Дальность на открытой местности	Дальность в городской застройке	Энергопотребление	Частота, МГц	Время работы сенсоров
LoRaWAN	LoRa	От 0,3 до 50 кбит/сек	10-20 км	2-5 км	от 0,1 мкА до 120 мА	433, 470, 868, 915	До 10 лет на одной батарейке AA
SigFox	SigFo	В среднем 100 бит/сек	20-50 км	5-10 км	25 мкА во время передачи данных и около 1 мкА во время ожидания	868, 915	До 20 лет на двух батарейках AA

В Республике Беларусь технология LoRaWAN представлена целым рядом компаний, преимущественно занимающихся сбором и анализом данных приборов учета электроэнергии, газа,

воды и тепла. Некоторые из них, например, IOTANS, предлагают готовые решения, предоставляя широкий выбор оборудования от датчика до платформы для сбора и отображения данных, монтажа и сервисного обслуживания. Зона покрытия LoRaWAN-сетей индивидуальна и рассматривается в каждом конкретном проекте. Чаще всего это новые микрорайоны многоквартирной жилой застройки, где применяются поквартирные приборы учета воды и тепла.

SigFox — это односкачковая радиальная, звездообразная сеть со шлюзами, которые служат контроллерами этой сети. В некотором роде она похожа на LoRa, но использует иной способ достижения аналогичных целей. Система развернута с использованием возможностей современных сотовых сетей. Подобно LoRa, SigFox имеет большой диапазон покрытия и ей свойственно низкое энергопотребление. Используется технология Ultra Narrow Band (UNB), которая изначально предназначена для связи на низких скоростях передачи данных.

Протокол SigFox достаточно прост. Он не требует квитирования (обмена сигналами для установления связи, т. е. процедуры представления или взаимного опознавания партнеров по связи при установлении соединения) и передает пакеты всего по 12 байт (плюс дополнительные данные, такие как идентификатор радиосвязи и время). Как уже было сказано, передача ведется в очень узкой полосе частот, при этом используется D-BPSK-модуляция (дифференциальная двоичная фазовая манипуляция) со скоростью 100 или 600 бит/с со шестисекундными циклами передачи. Однако такая низкая скорость и узкий частотный спектр позволяют экономить энергию батарей и обеспечивают большой радиус покрытия технологии.

Sigfox использует дифференциальную двоичную фазовую манипуляцию (DBPSK) и гауссову частотную манипуляцию (GFSK) в нелегализуемом диапазоне ISM. Широкополосный сигнал свободно проходит через твердые объекты и требует небольшое количество энергии. SigFox-сеть имеет топологию «звезда» с одним переходом и требуется, чтобы оператор мобильной связи передавал генерируемый трафик. Сигнал также можно использовать для покрытия больших территорий и достижения подземных объектов.

Из-за узкой полосы пропускания приемники могут иметь очень низкий уровень собственного шума, т. е. высокую чувствительность, достигающую порядка  $-140$  дБм. Это означает, что при применении технологии SigFox без кодирования для «Интернета вещей», т. е. с помощью процессоров с небольшой вычислительной мощностью, при низкой мощности передатчика (14 дБм), низких скоростях передачи данных, коротких и нечастых, не более 140 сообщений в день, можно достичь большей зоны покрытия и более продолжительного времени автономной работы узла сети. Технология использует шифрование AES с HMACs с закрытым ключом, который встроен в прибор, плюс некоторый порядковый номер. Благодаря всем этим характеристикам SigFox может быть самым эффективным решением из всех технологий построения LPWAN в определенных обстоятельствах.

В настоящее время сеть Sigfox действует в 75 странах и регионах, охватывая 6 млн квадратных километров. В этой сети зарегистрировано более 11 млн активных устройств, которые передают свыше 80 млн сообщений в сутки. Широкое применение SigFox получила в сельском хозяйстве, логистике, системах «Умный город», энергетической отрасли, медицине и пр.

К достоинствам SigFox можно отнести большое покрытие, высокую проникающую способность в городской застройке (до 10 км), сверхнизкое потребление (до 20 лет работы сенсора от двух батарей AA), низкую стоимость сенсоров, совместимость протокола SigFox с существующими трансиверами. Среди недостатков выделяют низкую скорость передачи данных, зависимость от сотовой инфраструктуры, ограниченную помехоустойчивость. Данная система изначально спроектирована с участием централизованной базы данных для идентификации устройств, управляющей компанией Sigfox, что в некоторых случаях идет в разрез с законодательной базой в отдельных странах.

**Заключение.** Перспективы развития мирового рынка LPWAN позволяют спрогнозировать

рост капитализации с 14.31 млрд долларов США в 2023 году до 704.95 млрд долларов США к 2030 году при среднегодовом темпе роста 74.50 % в течение прогнозируемого периода. Значительную долю рынка (по состоянию на 2022 год около 59 %) занимают технологии LoRaWAN и SigFox. Сравнительный анализ протоколов передачи данных LoRaWAN и SigFox позволил выявить их основные отличия и может помочь пользователям и инженерам выбрать наиболее подходящий протокол для конкретного проекта IoT.

В результате проделанной работы удалось установить, что технология LoRaWAN является одной из наиболее перспективных беспроводных технологий на современном рынке IoT. По состоянию на середину 2020 года LoRaWAN со 105 млн. устройств де-факто самая распространённая технология LPWAN. Решения LoRa применяются в обслуживании систем HVAC и электронике, в учете электроэнергии и водоснабжении, контроле окружающей среды, управлении подачей электроэнергии, прогнозной очистке помещений. В LoRa Alliance уже входит свыше 500 компаний, среди которых производители программного обеспечения, микроэлектроники, операторы связи: IBM, Semtech, Cisco, Inmarsat, Swisscom и другие.

Во многом основные функции LoRaWAN сравнимы с SigFox, например, небольшой объем полезных данных, большая дальность передачи, высокий срок службы сенсоров. Тем не менее, LoRaWAN предлагает лучшую пропускную способность, а также значительно лучшую задержку.

К сожалению, несмотря на ряд преимуществ и широкое распространение в мире, протокол SigFox не получил распространение на территории Республики Беларусь и в Российской Федерации. Причиной этого в первую очередь можно назвать отсутствие стандартизации, в отличие от LoRaWAN.

### **Список литературы**

- 1 Официальный сайт SigFox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sigfox.com/what-is-sigfox/>
- 2 Официальный сайт LoRaWAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://loro-alliance.org/about-lorawan/>
- 3 Анализ рынка LPWAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://exactitudeconsultancy.com/ru/reports/32172/lpwan-market/>
- 4 Архив журнала Control Engineering Russia №3(75)2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://controlengrussia.com/magazine/>
- 5 Сравнительный анализ стандартов связи для сетей IoT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/msw/articles/720518/>
- 6 LoRaWAN: один из путей Интернета вещей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.connect-wit.ru/lorawan-odin-iz-putej-interneta-veshhej.html>
- 7 Википедия. SigFox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sigfox>

**UDC 004.738.5**

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA TRANSMISSION PROTOCOLS LORAWAN AND SIGFOX**

*Kleptsov Y.V., Hryshchuk A.A., Gribovich A.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Scientific supervisor: Khmelev A.G. – Doctor of Economics, Professor, Department of POIT*

**Annotation.** This scientific article provides a comparative analysis of two popular data transfer protocols for the Internet of Things (IoT) – LoRaWAN and SigFox. The article discusses the technical characteristics of both protocols, their advantages and disadvantages, as well as the possibilities of application in various scenarios. The study reveals the main differences between LoRaWAN and SigFox, which will help developers and engineers choose the most suitable protocol for a specific IoT project.

**Keywords:** LoRaWAN, SigFox, data transfer protocol, Internet of things, comparative analysis