

Особенности и тенденции развития технологии LoRaWAN

29 сентября 2016 г. в Москве состоялось долгожданное событие в мире инновационных технологий — масштабная международная выставка-конференция «Интернет вещей» (IoT), в рамках которой были затронуты самые разные аспекты, от потребительских товаров для «умного дома» до глобальных промышленных проектов. Прошедшее мероприятие стало свидетельством неподдельного интереса к данной тематике, ведущие иностранные и отечественные компании, работающие в IoT-индустрии, представили свое видение дальнейшего развития современных технологий «Интернета вещей». В данной статье приводится краткий обзор наиболее популярных из них. Основное внимание уделено перспективной технологии LoRaWAN, активно развивающейся в последнее время и нашедшей практическое применение во всем мире, в том числе и на территории России.

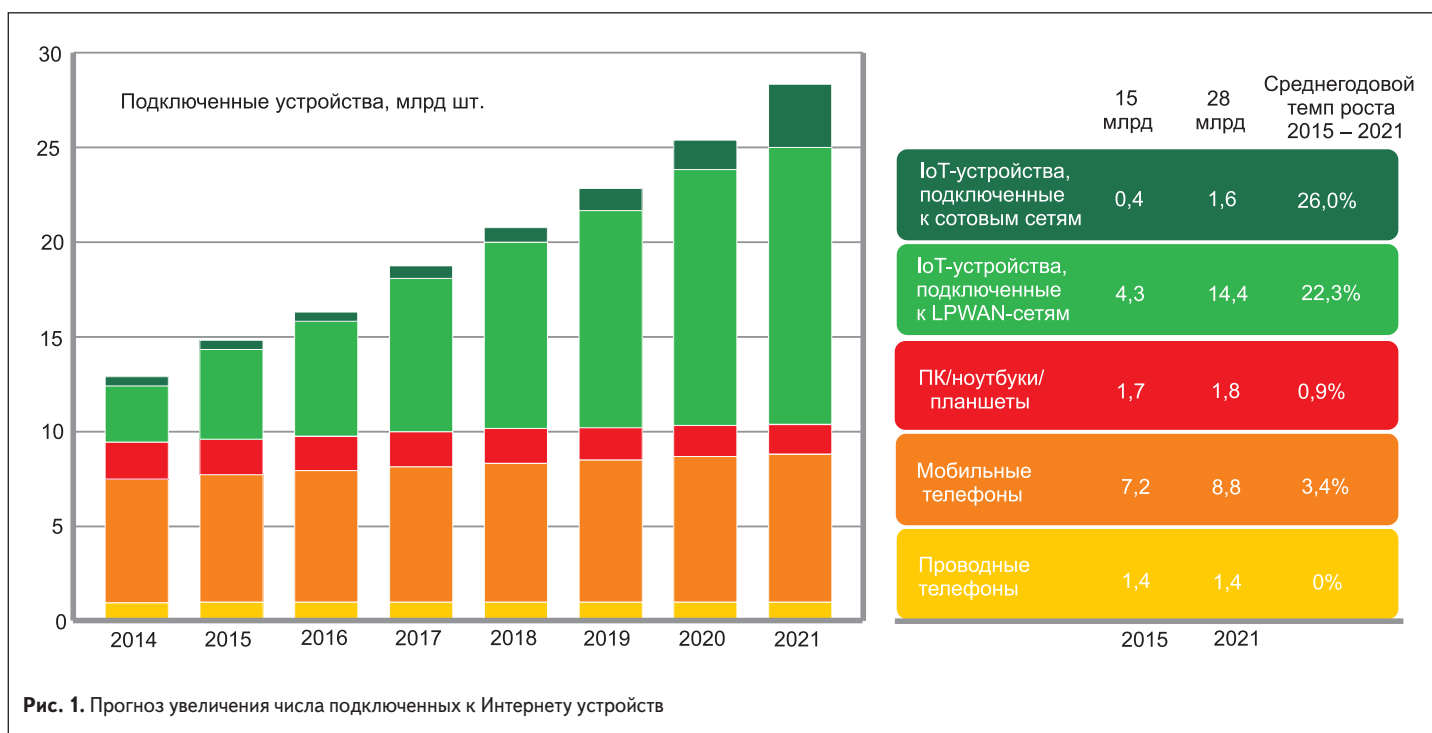
Константин Верхулевский
info@icquest.ru

Введение

«Интернет вещей» представляет собой совокупность разнообразных приборов, автономных датчиков и исполнительных устройств, объединенных в сеть посредством любых доступных каналов связи (проводных или беспроводных), использующих различные протоколы взаимодействия между собой, подключенных к глобальной сети — Интернету и выполняющих собственные или облачные приложения. Рынок IoT постоянно развивается,

это направление в настоящее время является одним из самых перспективных. Например, согласно данным компании Ericsson, число устройств, подключенных к Интернету, в 2015 г. составило 15 млрд, а к 2021 г. прогнозируемое количество достигнет 28 млрд шт., из них 16 млрд будут приходиться на IoT-устройства, а среднегодовые темпы прироста составят 23% (рис. 1).

Максимальный рост демонстрируют устройства, использующие сети CIoT



(Cellular Internet of Things — «Интернет вещей» в сетях сотовой связи), где количество подключенных «вещей» вырастет с 400 млн в 2015 г. до 1,6 млрд в 2021 г. В абсолютных же цифрах вне конкуренции сети с низким энергопотреблением LPWAN (Low Power Wide Area Networks). По оценкам специалистов, данная тенденция сохранится в течение ближайших лет. Дальнейшее развитие этих двух основных направлений ставит перед пользователями, желающими использовать IoT в бытовых или промышленных целях, непростую задачу выбора подходящей технологии.

Технологии, основанные на стандартах мобильной связи

Типовой элемент IoT является, как правило, компактным устройством с низкой скоростью передачи данных и малым собственным энергопотреблением. Одним из основных требований к нему является минимальная стоимость организации канала связи. Использование существующих сотовых сетей для целей IoT принято считать избыточным и дорогим, сложные протоколы и повышенная скорость обмена информацией приводят к чрезмерному энергопотреблению и быстрой разрядке батарей датчиков и других устройств. Поэтому для повышения эффективности работы IoT-приборов и одновременного уменьшения затрат консорциумом 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) было принято решение о модернизации стандартных мобильных сетей. К основным таким модернизированным сетям можно отнести: EC-GSM (также носит названия EC-GPRS, EC-GSM-IoT), eMTC (то же, что и LTE-M, LTE Cat.M1) и NB-IoT (табл. 1).

Технология EC-GSM предусматривает сравнительно небольшие изменения относительно базового GSM/GPRS/EDGE, что позволяет использовать подавляющее большинство установленных базовых станций (БС) этого стандарта без замены или модернизации аппаратной части [1]. В этом и заключается ключевое преимущество EC-GSM — сетевая инфраструктура существующей мобильной сети GSM, распространенной по всему миру, практически готова для внедрения IoT, во многих случаях требуется только обновить программное обеспечение (ПО) на узлах сети. Пакет расширенных программных функций позволяет увеличить бюджет канала связи и включает в себя следующие изменения:

- уменьшение периодичности обязательных сигнальных сообщений, оптимизацию интервалов приема и получения информации, поддержку длительных (до 52 мин) периодов «молчания», в течение которых устройство остается подключенным к сети, не передавая и не получая информацию;
- адаптацию канального уровня сети для улучшения покрытия на 20 дБ по сравнению с базовой системой;
- упрощение сетевой сигнализации (отказ от поддержки совместимости с WCDMA/LTE сетями), расширение механизмов аутентификации и безопасности соединения.

При помощи аналогичных программных изменений получена технология eMTC, являющаяся адаптацией сетей LTE для целей IoT. Этот стандарт также сфокусирован на достижении целевых показателей массового IoT (стоимость, покрытие, срок автономной работы) при одновременном обеспечении максимальной совместимости с имеющейся у мобильных операторов сетевой инфраструктурой. Технология eMTC призвана снизить стоимость конечных элементов сети за счет отказа от функциональности LTE, избыточной при массовом подключении устройств. При этом зачастую сети LTE и eMTC могут сосуществовать и динамически перераспределять используемые ресурсы (частотный спектр, вычислительную мощность базовой станции и др.) в зависимости от типа и количества подключенных устройств и создаваемого ими трафика. Важное отличие технологии eMTC — высокая пропускная способность, скорость передачи данных в исходном и входящем каналах составляет 1 Мбит/с, что востребовано при определенных сценариях.

NB-IoT (Narrowband IoT, узкополосный ИВ) — это относительно новое направление развития сетевых технологий. Несмотря на то, что его использование предусматривает тесное взаимодействие и интеграцию с LTE, речь все же идет о создании нового типа радиодоступа, характеристики которого имеют больше отличий, чем сходств с имеющимися технологиями. Ожидается, что существенная переработка протоколов канального уровня позволит снизить стоимость устройства NB-IoT по сравнению с eMTC на 90%. О поддержке технологии NB-IoT в своих продуктах уже заявили многие производители сетевого оборудования и абонентских модулей: Ericsson, Huawei,

Nokia, Intel, Qualcomm, а также ведущие операторы связи, среди которых можно отметить Vodafone, Deutsche Telekom и China Unicom. Сети NB-IoT предоставляют множество серьезных преимуществ, среди которых поддержка более 100 тыс. соединений на соту, десятилетняя гарантия срока службы аккумулятора, повышенная безопасность за счет двусторонней аутентификации и усиленного шифрования интерфейса.

Таким образом, с принятием финальных версий спецификаций EC-GSM, eMTC и NB-IoT участники рынка получают в свое распоряжение три эффективных инструмента развития сетей IoT. К преимуществам каждой из рассмотренных сетей можно отнести использование инфраструктуры существующих мобильных операторов, поддержку роуминга, высокие скорости передачи данных для мультимедийного оборудования и устройств, которым необходимо функционировать в режиме реального времени. Недостатки состоят в том, что для их функционирования необходим лицензируемый спектр, тарифы на передачу данных могут быть высокими для нетребовательного к скоростям оборудования, а стоимость устройств, работающих в этих сетях, все еще достаточно высока. Кроме того, остается открытым вопрос стандартизации, в настоящее время стандартизирована только технология NB-IoT, а EC-GSM и eMTC лишь ожидают ее.

Технологии LPWAN

Для окончательных устройств сети, обычно выполняющих функции сбора данных, не так важны скорость и объем передаваемой информации; определяющей характеристикой является длительность работы без дополнительного обслуживания и зарядки аккумуляторов (измеряемая месяцами и годами). Для соответствия данному требованию активно внедряются новые типы маломощных сетей LPWAN, отличающихся низким энергопотреблением и одновременно большим радиусом действия. К типовым элементам сетей данного типа относятся автономные счетчики потребления ресурсов (воды, газа, электричества), установленные в подвалах жилых домов, модули управления уличным освещением, датчики систем безопасности и т. д. В настоящее время существует несколько распространенных LPWAN-технологий для IoT, которые работают в нелицензируемых субгигагерцовых частотных диапазонах. Наибольшую популярность

Таблица 1. Отличительные характеристики технологий EC-GSM, eMTC и NB-IoT

Характеристики	EC-GSM	eMTC	NB-IoT
Используемый частотный спектр	Ширина канала 200 кГц в рамках полосы GSM (частотные диапазоны 900 и 1800 МГц)	Ширина канала 1,08 МГц в рамках полосы LTE. Любой из диапазонов, определенных для использования FDD и TDD LTE	Ширина канала 200 кГц в одном из трех вариантов размещения: 1) отдельно; 2) внутри полосы LTE; 3) внутри защитного интервала LTE. Любой из диапазонов, определенных для использования FDD LTE
Бюджет канала связи, дБ	154–164	155,7	до 164
Тип множественного доступа и модуляция (DownLink)	TDMA/FDMA, GMSK/8PSK	OFDMA, 16QAM	OFDMA
Тип множественного доступа и модуляция (UpLink)	TDMA/FDMA, GMSK/8PSK	SC-FDMA, 16QAM	SC-FDMA и FDMA/GMSK
Максимальная скорость передачи данных	При использовании 4 таймслотов (из 8, доступных в GSM): 70 кбит/с (GMSK) и 240 кбит/с (8PSK)	1 Мбит/с	до 250 кбит/с
Количество узлов сети	50 000 на одну БС	–	50 000 на одну БС

имеют конкурирующие технологии для сетей IoT большой дальности — Sigfox, LoRaWAN и «СТРИЖ», в таблице 2 приведены их основные отличительные особенности [2].

Компанией Sigfox (Франция) разработана одноименная технология сверхузкополосной (Ultra Narrow Band, UNB) беспроводной связи для передачи данных в диапазонах 868 и 902 МГц. Сеть развернута в 21 стране мира (во Франции, Италии, Великобритании, Испании, Бельгии, Ирландии, США и странах Латинской Америки), к концу 2016 г. компания планирует расширить свое присутствие до 30 стран. Количество устройств, подключенных к Sigfox, превышает 7 млн шт., решения разработаны для «умных городов», интеллектуальных зданий, дистанционного мониторинга, контроля и учета энергоресурсов и множества других приложений. В отличие от Sigfox, технологии «СТРИЖ» и LoRaWAN охватывают некоторые города в России, а первая из них, к тому же, является отечественной разработкой. Сеть «СТРИЖ», осуществляющая передачу данных с 2014 г., только разворачивается в России и странах СНГ, сейчас она насчитывает более 200 БС, расположенных на территории Москвы и Московской области Санкт-Петербурге, Уфе, Грозном, Ставрополе, Ростове-на-Дону и других крупных городах. Эта система реализуется компанией «СТРИЖ Телематика», для построения используется узкополосная модуляция и собственный протокол связи Marcato 2.0.

В основе сетей LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) лежит использование запатентованного компанией Semtech метода модуляции LoRa, реализуемого в «железе» и обеспечивающего рекордные показатели бюджета канала связи (до 168 дБ). Разработкой и стандартизацией LoRaWAN занимается некоммерческая организация LoRa Alliance [3]. Помимо основателей альянса, компаний IBM и Semtech, в это объединение входят известные производители электроники, такие как Cisco, Kerlink, IMST, Microchip Technology, а также лидирующие телекоммуникационные операторы (Bouygues Telecom, Inmarsat, SingTel, Proximus, Swisscom), при этом количество зарегистрированных членов постоянно увеличивается. Согласно данным альянса, по итогам I квартала 2016 г. сети LoRaWAN были запущены в эксплуатацию в 13 и тестировались примерно в 60 странах, крупнейшие из них развернуты в Нидерландах, Бельгии, Франции, Швейцарии,

Австралии, Финляндии, Италии, Германии, Дании и Чехии.

Общая черта всех перечисленных технологий в том, что они позволяют организовать низкоскоростную беспроводную передачу данных на дальностях в единицы или десятки километров, не выходя при этом за ограничения безлицензионных радиодиапазонов (как правило, такие системы работают на частотах 864–869 МГц с мощностью до 25 мВт). Однако в том, как именно происходит использование радиочастотного спектра, они достаточно существенно различаются: у широкополосных (UWB) LoRaWAN сетей один канал занимает полосу 125 или 250 кГц, в то время как у узкополосных Sigfox или «Стриж» его ширина составляет 100 Гц. У каждого из способов есть свои плюсы и минусы. В России для неспециализированных устройств официально доступны две полосы частот: 864,0–865,0 МГц с периодом активной работы не более 0,1% и запретом на работу вблизи аэропортов и 868,7–869,2 МГц без таких ограничений. То есть, по сути, имеется всего лишь 500 кГц доступной полосы частот, в которую теоретически уместятся всего три LoRaWAN-канала шириной 125 кГц и, с другой стороны, несколько тысяч каналов Sigfox или «СТРИЖ». Но при практической реализации это преимущество UNB-систем не столь очевидно.

В UNB-системах, использующих частотное разделение каналов, приемник БС в один момент времени может принимать данные только от одного узла сети. В сетях LoRaWAN используется не только частотное и временное, но и кодовое разделение каналов, БС способна разделять потоки данных от нескольких устройств, одновременно работающих с разными схемами модуляции на одном частотном канале. Кроме того, UNB-системы крайне чувствительны к точности установки частоты. Например, хороший кварцевый резонатор имеет погрешность 10 ppm (0,001%) при комнатной температуре, также можно добавить еще 15 ppm (0,0015%) сверху при изменении температуры в диапазоне –40...+85 °С. Даже такое малое изменение может значительно превысить номинальную ширину 100 Гц канала и выбросить рабочую частоту оконечного устройства за пределы заданной ему полосы. Частично эта проблема решается при помощи термостабилизированных генераторов (ТСХО), позволяющих уменьшить погрешность примерно в 10 раз, но стоимость узлов сети при этом значительно возрастает.

Более продвинутый вариант, применяемый в современных БС, подразумевает оцифровку, спектральный анализ радиоэфира и поиск абонентских устройств. Такая система действительно эффективна, но цифровая обработка сигналов в режиме реального времени является сложной вычислительной задачей, требующей от БС весьма серьезных аппаратных и программных ресурсов. Практическое следствие этого — трудность создания бюджетных станций, например, у компании Sigfox она стоит примерно €3000. К тому же реализовать такие же алгоритмы на уровне маленького, дешевого и экономичного оконечного устройства проблематично, поэтому двунаправленность связи в UNB-системах присутствует не всегда и не везде. В отличие от них, сеть LoRaWAN гарантирует симметричный канал связи. Благодаря полосе шириной в сотни килогерц, обеспечивается симметричная связь при уходе частоты на 25% от ширины канала (31,25 кГц при ширине 125 кГц), что в диапазоне 868 МГц означает допустимую погрешность резонатора в 35 ppm.

По скорости передачи данных преимущество также имеет LoRaWAN. UNB-системы работают на фиксированной низкой скорости, не превышающей 100 бит/с, на практике это приводит к довольно жестким ограничениям. Так, в Sigfox максимальный объем пользовательских данных составляет 12 байт, их передача занимает несколько секунд, а условия подключения к сети определяют, что один объект может отправлять не более 140 сообщений в сутки. Скорость передачи данных в сетях LoRaWAN — адаптивная, может меняться от 30 бит/с до 50 кбит/с. Из-за сложной системы модуляции длина сетевого пакета больше, чем у UNB-систем (длиннее преамбула), но это с лихвой компенсируется большей пропускной способностью.

Отдельного внимания заслуживает вопрос помехозащищенности, здесь в более выгодном положении находятся узкополосные системы, обладающие возможностью перестройки частоты на десятки килогерц в любую сторону. БС, анализирующая широкий диапазон, все равно поймает сигнал от абонентского устройства. С другой стороны, каждый узел сети может перед отправкой сообщения прослушать эфир и переключиться в другую полосу, если на его полосе слишком шумно. Устройства LoRaWAN достаточно чувствительны к помехам, но на практике избыточность кодирования позволяет им спокойно функционировать, например, по соседству с узкополосными системами.

Энергопотребление конечных устройств определяется технологическим совершенством чипов передатчиков и временем, в течение которого они находятся в активном режиме. Во всех перечисленных технологиях обеспечивается работа на одной батарее в течение 5 лет и более. UWB-сети имеют преимущество над UNB при работе на небольших дистанциях, когда их скорость может превышать 1 кбит/с, а время активности и энергопотребление передатчика значительно сокращаются вследствие быстрой передачи данных.

Дальность связи — примерно одинаковая и сильно зависит от условий на местности, в целом можно считать, что все перечисленные технологии обеспечивают радиус действия

Таблица 2. Отличительные особенности технологий Sigfox, LoRaWAN и «СТРИЖ»

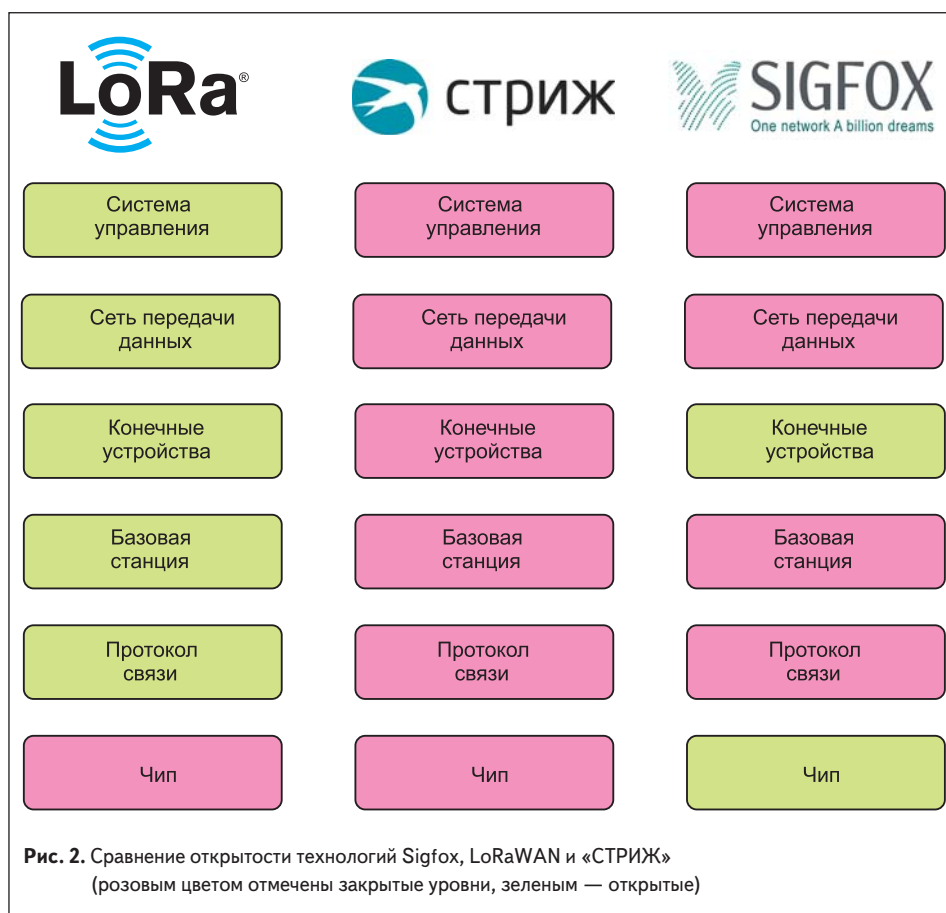
Характеристики	LoRaWAN	Sigfox	Стриж
Модуляция	Широкополосная LoRa	Узкополосная DPSK	Узкополосная
Ширина полосы	125 кГц*	100 Гц	100 Гц
Разделение каналов	CDMA, TDMA	FDMA	FDMA, TDMA
Симметричность канала	Полная	Ограниченная	Ограниченная
Классы оконечных узлов	А, В, С	А	А
Скорость передачи данных, бит/с	От 300 до 50 000	100	100
Сложность базовой станции	От низкой до средней	Высокая	Высокая
Помехоустойчивость	Средняя	Высокая	Высокая
Степень проприетарности	Низкая	Высокая	Абсолютная
Глобальные сети LPWAN	Да	Да	Да
Локальные сети масштаба объекта	Да	Нет	С ограничениями

* Значение, рекомендуемое для стандартной LoRaWAN-сети

1–3 км в городской застройке и 15–20 км на открытой местности. Некоторым преимуществом LoRaWAN является то, что на фоне конкурентов это довольно открытая технология, в мире есть много занимающихся ей компаний, а потому сравнительно нетрудно найти различные отзывы с указанием реально достигнутой дальности.

Отдельно стоит упомянуть об открытости сравниваемых систем, являющейся немаловажным фактором при выборе конкретной технологии IoT. Любая реализованная сеть содержит несколько типовых уровней, изображенных на рис. 2.

Как видно, Sigfox представляет собой довольно закрытую систему. Для ее использования необходимо приобрести у компании БС и заключить с ней договор на разворачивание сети, к которой будет предоставляться платный доступ сторонним абонентам. Серверы Sigfox с ПО верхнего уровня также принадлежат компании. Положительным моментом является доступность чипов и оконечных устройств, их производят компании Texas Instruments, SiLabs и ряд других изготовителей. Технология «СТРИЖ» отличается абсолютной закрытостью. Компания «СТРИЖ Телематика» сама производит и устанавливает БС и конечные устройства, предоставляет сервер сети и с каждого подключенного устройства взимает абонентскую плату. Чипы компания не выпускает, но разрабатывает прошивки для готовых трансиверов Semtech и Axsem, реализующие особенности технологии. Очевидно, что такой безальтернативный подход представляет серьезный риск для реализуемых проектов, так как пользователь по всем уровням оказывается привязан к единственному поставщику. Владелец технологии LoRaWAN, компания Semtech, зарабатывает только на полупроводниковых изделиях, а все детали технической реализации проекта отдает на полное усмотрение заказчика. Чипы LoRaWAN для конечных устройств присутствуют



в свободной продаже, документация на них открыта, делать устройства на них могут все желающие. Две библиотеки, представляющие собой программные реализации стека протокола LoRaWAN, — LoRaMAC от компании Semtech и LMIC (LoRaWAN in C) от IBM — также находятся в открытом доступе. Такой поход оправдывает себя: например, в Европе с появлением LoRaWAN экспансия Sigfox значительно замедлилась.

Архитектура сети LoRaWAN

Типичная сеть LoRaWAN имеет базовую топологию «звезда» и состоит из оконечных узлов, шлюзов, сетевого сервера и сервера приложений [4]. Принцип работы прост: БС (шлюзы) передают зашифрованные данные, полученные от оконечных устройств, на центральный сервер сети провайдера и далее — на сервер приложений сервис-провайдера, с которого информация поступает пользователям (рис. 3).

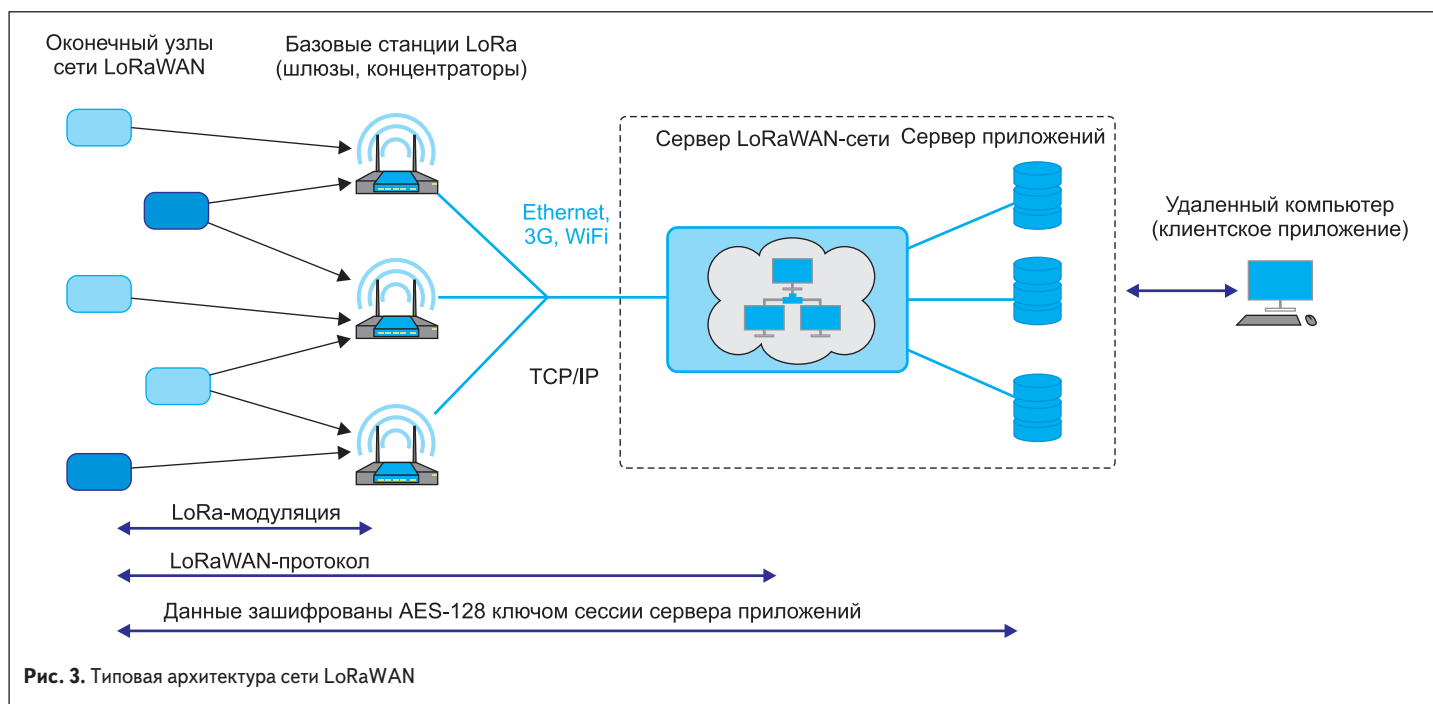


Таблица 3. Основные характеристики серийно выпускаемых модулей для сети LoRaWAN

Модули	Производитель	Особенности построения	Рабочие частоты, МГц	Чувствительность приемника (макс.), дБм	Выходная мощность (макс.), дБм	Интерфейс связи с хост-контроллером	Габаритные размеры, мм
RN2483	Microchip	Однокристальное решение	433/868	-148	14	UART	17,8×26,7×3,0
RN2903			915	-146	18,5	UART	
mdot	Multitech	STM32F411 + SX1272	860-1020	-137	14	UART	25,5×37,3
iM880A-L	IMST	STM32L151Cx + SX1272	868	-137	19	UART	20,0×25,0×2,0
MM002	Nemeus	STM32L151Cx + SX1272	868	-137	14	UART	14,4×26,4
LL-RLP-20	Link Labs	R5F51116ADNE + SX1276	868; 902-928	-137	18	UART	15,8×29,0
EMB-LR1272	Embit	SAMD20 + SX1272	868/915	-137	19	UART/I ² C/SPI	22,0×29,0
RFM95W	HopeRF	SX1276	868	-148	20	SPI	16,0×16,0×1,8

Центральный сервер LoRaWAN осуществляет общее управление сетью, в частности принимает решение о необходимости адаптации скорости передачи данных, изменения мощности передатчика, выборе канала передачи, начале сессии и продолжительности ее по времени, измеряет заряд батарей конечных узлов, т. е. полностью контролирует каждое абонентское устройство в отдельности. Каждый LoRaWAN пакет данных, отправляемых конечным узлом, имеет в своем составе уникальный идентификатор приложения, соответствующий определенному приложению на сервере провайдера и используемый для его дальнейшей маршрутизации. В лабораторных условиях сервер приложений, сетевой сервер и единственный шлюз (в виде одноканального трансивера) могут быть объединены для построения упрощенной модели сети.

Оконечные узлы сети

Оконечные устройства (конечные узлы, end-node) являются элементами, выполняющими функции измерения, управления и/или контроля, обмен данными двусторонний, как от конечных точек к серверу, так и обратно. Узлы сети осуществляют передачу не постоянно, а лишь через определенные промежутки времени согласно заданному графику. Остальное время их трансиверы находятся либо в неактивном состоянии (режиме сна), либо в состоянии приема для получения ответа от сервера, режим работы зависит от класса устройства (А, В или С):

- Устройства класса А имеют наименьшую мощность потребления энергии и поэтому наиболее распространены на практике. Инициатором обмена выступает сам конечный узел, как правило, не требующий подтверждения получения своего сообщения сервером (сообщения без квитирования). Обратная передача данных от сервера конечному узлу возможна только после выхода узла на связь, до этого момента сервер только накапливает сообщения для определенных адресатов.
- Основное отличие устройств класса В от класса А заключается в выделении дополнительного окна приема, которое узел сети открывает по расписанию. Для этого конечные устройства синхронизируют свое внутреннее время со временем сети при помощи специальных сигналов, которые они регулярно получают от БС. В заранее известный момент открытия приемного окна сервер может начать передачу сообщения.
- Устройства класса С характеризуются максимальным приемным окном, почти непрерывным, закрываемым только на период кратковременной передачи данных. Сервер может инициировать обмен в любое время и передать сообщения узлу с наименьшими задержками, по мере их появления. Этот тип конечных устройств подходит для задач, когда необходимо получать большие объемы данных, потребляет наибольшее количество энергии (по сравнению с классами А и В),

поэтому обычно не использует батарейное питание.

С распространением LoRaWAN растет и число производителей, предлагающих свои варианты модемов. Основные технические характеристики наиболее популярных версий промышленно выпускаемых модулей для узлов сети приведены в таблице 3, а внешний вид показан на рис. 4.

Оконечный узел сети LoRaWAN, как правило, представляет собой беспроводной модуль, объединяющий в своем составе приемопередатчик с необходимой для заданной частоты пассивной обвязкой и отдельный микроконтроллер для хранения стека протокола LoRaWAN [5, 6]. В большинстве случаев все преимущества модуляции LoRa реализуются при помощи трансиверов SX1272 или SX1276, выпускаемых компанией Semtech. Исключение составляют модули RN2483 и RN2903, разработанные компанией Microchip по лицензии Semtech. Как видно из таблицы, предлагаемые варианты имеют схожие параметры, поэтому при выборе подходящего решения стоит обратить внимание на дополнительные характеристики — конструктивные особенности, габаритные размеры, наличие необходимой периферии, дополнительных интерфейсов «на борту» и т. д.

Базовые станции LoRaWAN

БС (шлюзы, концентраторы) сети LoRaWAN формируют прозрачный мост ретрансляции сообщений между конечными устройствами и центральным сервером сети с помощью Ethernet, Wi-Fi, GSM или других телекоммуникационных каналов связи путем организации стандартного IP-соединения. В зависимости от желаемой канальной емкости и мест установки доступны разные версии шлюзов, они могут монтироваться как внутри помещений, так и на вышках или зданиях.

Большой плюс технологии LoRaWAN — дешевизна, простота и абсолютная симметричность решений для абонентских устройств и БС. В отличие от UNB-систем, одноканальную БС можно быстро изготовить самому из связки трансивера серии SX127x и управляющего контроллера с соответствующей прошивкой, и этого более чем достаточно для большинства задач мониторинга.

В сетях с высокой плотностью абонентских устройств в качестве шлюзов выступают специальные многоканальные концентраторы с несколькими аппаратными демодуляторами, принимающие данные от множества узлов одновременно. Для полноценных БС компания Semtech предлагает чип SX1301, содержащий 49 «виртуальных» демодуляторов. Под «вирту-



Рис. 4. Внешний вид некоторых беспроводных модулей для конечных узлов сети LoRaWAN

Таблица 4. Отличительные характеристики популярных базовых станций сети LoRaWAN

Наименование	Шина связи	Использование вне помещений	Частотные диапазоны, МГц			GPS	Интерфейсы		
			433	868	902-928		Ethernet	3G	Wi-Fi
Kerlink IoT Station	SPI	+	+	+	+	+	+	-	
Gemtek	2xUSB	+	-	-	+	+	+	+	
RisingHF RHF2S008	SPI	+	+	+	+	-	+	-	
Lorrier LR2	SPI	+	-	+	-	-	+	-	
Multitech Conduit + MultiTech mCard	USB	-	-	+	+	-	+	опция	
Raspberry Pi + IMST iC880A	SPI, USB	-	-	+	-	-	+	-	
Raspberry Pi + Semtech SX1301	SPI, USB	-	+	+	+	-	+	-	
Raspberry Pi + MultiTech mCard	USB	-	-	+	+	-	+	-	
OpenWrt + IMST iC880A	USB	-	-	+	-	-	+	+	
OpenWrt + Semtech SX1301	USB	-	+	+	+	-	+	+	
OpenWrt + MultiTech mCard	USB	-	-	+	+	-	+	+	
Link Labs LL-BST-8	USB	опция	-	+	+	-	+	опция	
Cisco IR910	USB	опция	-	+	+	-	+	опция	
Calao Toti-LoRa-pico	USB	-	-	+	-	-	+	опция	

альными» демодуляторами подразумевается сложная схема, в которой есть девять физических демодуляторов, при этом один работает с фиксированным SF (Spreading Factor), а каждый из остальных восьми — с любым полученным из эфира SF, да еще и на своей собственной частоте. ИС SX1301 требует сложной внешней обвязки (у него нет интегрированного радиотракта) и продается только напрямую самим производителем. Для радиочастотной части шлюза компанией рекомендуется трансивер SX1257. Эта связка обычно и используется в массово выпускаемых БС LoRaWAN-сети, в таблице 4 приведены их отличительные особенности, а на рис. 5 — внешний вид отдельных моделей.

Конфигурируемый шлюз MultiConnect Conduit компании Multitech представляет собой гибкое и масштабируемое решение, в котором путем установки дополнительных модулей из серии mCard организуется мост между 4G-LTE, 3G, 2G, Ethernet с одной стороны и Wi-Fi, GNSS, Bluetooth, RS-232, LoRaWAN с другой. БС LL-BST-8 компании Link Labs изготавливается на основе одноплатного компьютера со следующими параметрами: процессор AMD x64 с тактовой частотой 800 МГц, RAM размером 2 Гбайт, гигабитный Ethernet, встроенный SSD и модуль с ИС SX1301, подсоединенный к материнской плате через разъем mini-PCIe. Шлюз Toti-LoRa-pico от Calao Systems выполнен в анодированном металлическом корпусе, предназначенном для крепления на DIN-рейку. Диапазон рабочих температур -20...+70 °С. В основе управляющей части лежит Raspberry Pi. БС серии WirNet от компании Kerlink, отличающиеся возможностью эксплуатации вне помещений, рассчитаны на различные диапазоны частот. Производимые в водонепроницаемых корпусах с классом защиты IP67, они в основном устанавливаются на крышах высотных зданий и антенных вышках. В настоящее время предлагается четыре варианта шлюзов, протестированных в сетях крупных провайдеров Loriot, Orbiwise, Stream Technologies, The Things Network и сертифицированных на соответствие требованиям CE/FCC/IC/KC.

Перспективные области применения устройств LoRaWAN

Учитывая ключевые особенности сетей LoRaWAN, а именно — длительный срок эксплуатации узлов сети без обслуживания и большой радиус их действия, можно от-

метить наиболее привлекательные области внедрения. Прежде всего, это сфера ЖКХ. Применение интеллектуальных беспроводных счетчиков помогает легко организовать автоматизированный учет расходов энергоресурсов (воды, тепла, газа, электроэнергии) в масштабе крупного микрорайона, а также в режиме реального времени отслеживать состояние применяемого оборудования. В энергетике построение автоматизированных «умных» сетей электроснабжения позволяет повысить эффективность использования электроэнергии в зданиях и на производственных предприятиях. В промышленности уже функционируют сотни миллионов устройств, готовых к подключению. Среди них особый интерес представляют системы технического обслуживания и ремонта, управления технологическими процессами, «умные» насосы, компрессоры, клапаны и т. д. Также сеть LoRaWAN может быть полезна при осуществлении разнообразных функций коммуникации в транспортных системах, построении систем контроля загруженности автодорог, «умных» парковок, логистических систем, а также контроле безопасности на до-

рогах и беспроводного мониторинга состояния техники на крупных открытых площадках. Большую популярность в последнее время приобретает концепция «умного города», в рамках которой объединяются не зависящие ни от системы электропитания, ни от коммуникаций беспроводные устройства, выполняющие мониторинг механических, электрических и электронных систем, используемых в современных зданиях.

Несмотря на новизну стандарта LoRaWAN, на рынке сетевых приложений уже доступно множество примеров его практического применения, в том числе и на территории России. В мире несколько крупных операторов уже запустили сети LoRaWAN, в их числе Bouygues Telecom (Франция), KPN (Нидерланды) и Proximus (Бельгия), информация о внедрении появляется практически ежемесячно. Так, в июле 2016 г. LoRaWAN заработала в Южной Корее, в августе европейский оператор связи Orange приступил к развертыванию сети, состоящей из 15 тыс. базовых станций, для покрытия всей Франции, в сентябре компания Digital Catapult ввела в эксплуатацию 50 LoRa-концентраторов, расположенных по всему Лондону.

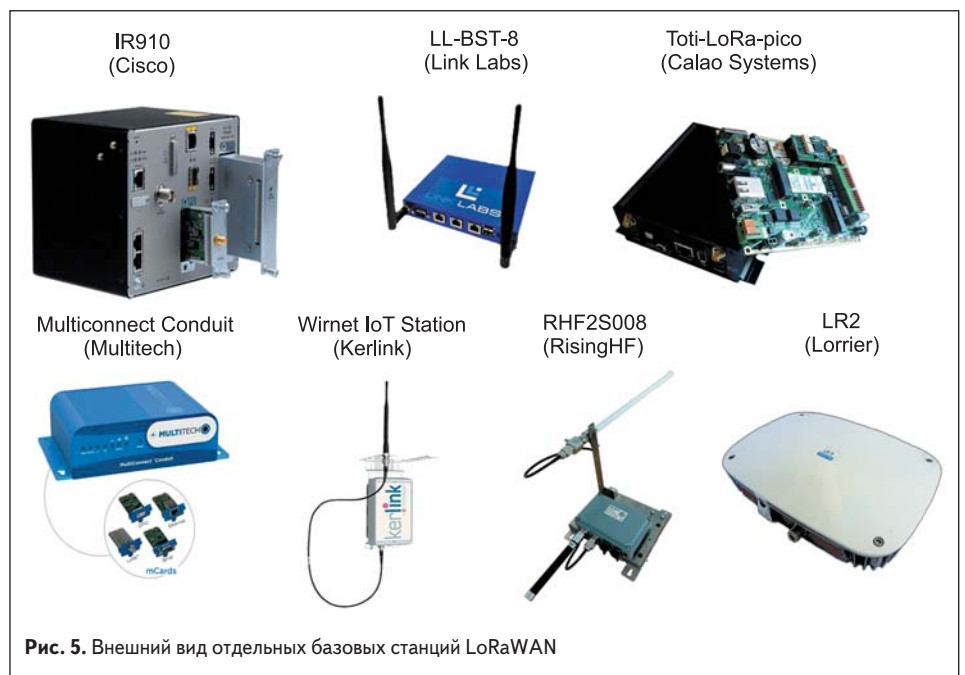


Рис. 5. Внешний вид отдельных базовых станций LoRaWAN

В России решения на базе LoRaWAN активно продвигают несколько провайдеров. Компания Lase, входящая в LoRa-альянс, работает на данный момент в 13 крупных городах (Москве, Санкт-Петербурге и т. д.). Например, в мае 2016 г. «сеть вещей» стандарта LoRaWAN в тестовом режиме заработала в Иннополисе — IT-городе в 40 км от Казани. С помощью технологии LoRaWAN была выполнена автоматизация практически всех внутригородских процессов, в том числе сбор данных со счетчиков ЖКУ, учет использования коммунальной техники, организация парковочных мест, уличного освещения и безопасности движения. Для оценки реальной дальности связи и возможности применения предлагаемых устройств в определенных проектах компания периодически проводит натурные испытания нового появившегося на рынке, LoRaWAN-оборудования [7]. Так, в начале 2016-го года Lase совместно с компанией AURORA Mobile Technologies провела опытное развертывание и тестирование системы мониторинга технологических параметров объектов тепло- и водоснабжения города Перми. Аппаратную часть эксперимента составили: БС собственного изготовления, построенная на основе ИС SX1301, беспроводные модули производства Adeunis RF и электросчетчики Санкт-Петербургского завода измерительных приборов с LoRa трансивером SX1272 «на борту». Результатам испытаний посвящена отдельная статья [8].

В январе 2016 г. о тестировании своей сети в Москве заявили представители компании SenLab Rus. Пилотный проект включает в себя базовые станции производства фирмы Kerlink,

специальное ПО от Actility, датчики температуры и счетчики потребления воды компании Sensing Labs для использования внутри зданий и наружного применения. Одновременно с развертыванием БС компания ведет работу по локализации выпуска датчиков, работающих в сетях LoRaWAN, с целью уменьшения стоимости конечного оборудования для российских клиентов.

Еще один представитель отечественного рынка IoT — компания «Сеть868», являющаяся членом LoRa-альянса. Коммерческий старт проекта состоялся в середине июня 2016 г. на юге страны, сеть была развернута в Краснодаре, Ростове-на-Дону и Самаре. На этапе становления компания объединила в себе функции оператора сети, разработчика, системного интегратора и производителя оконечных устройств. С ростом покрытия часть этих функций постепенно перейдет партнерам и другим заинтересованным лицам в соответствии с их компетенциями. В компании производят все необходимое для развития сети: и операторское оборудование (БС), и клиентские устройства (универсальные модемы, датчики, счетчики, трекеры, различные приборы со встроенными радиомодулями для работы в сети LoRaWAN). Собственная инфраструктура (серверы сети и серверы приложений) находится в России. Также разработано облачное приложение для безопасного и быстрого сбора и удобного анализа данных от конечных узлов.

Заключение

Дальнейшее развитие рынка «Интернета вещей» идет по двум основным направлениям: первое

связано с адаптацией существующих сотовых сетей для целей IoT, второе — с применением специализированных LPWAN-устройств. Среди технологий LPWAN в настоящее время наиболее популярны конкурирующие сети Sigfox, LoRaWAN и «СТРИЖ», и хотя во многих случаях они применимы в равной степени, существуют заметные отличия, которые могут сыграть в пользу того или иного решения. На узкополосных Sigfox и «СТРИЖ» может быть реализована быстрая перестройка рабочей частоты устройств для ухода от коллизий и помех. Широкополосная сеть LoRaWAN обладает существенно большей гибкостью параметров, обеспечивает высокие скорости передачи данных, симметричную двунаправленную связь, менее чувствительна к перепадам температур. При выборе подходящего решения также стоит учитывать доступность устройств, их конструктивные особенности, наличие покрытия сети в заданном районе и т. д. ■

Литература

1. https://habrahabr.ru/company/ericsson_ru/blog/301494/
2. <https://geektimes.ru/company/unwds/blog/279462/>
3. www.lora-alliance.org/
4. <http://lorawan.lace.io/lorawan-networks/>
5. <http://lo-ra.ru/forum/resources/>
6. www.loriot.io/lora-end-nodes.html
7. <http://lorawan.lace.io/lora-range-test/>
8. Гусев, О. Эксперимент по созданию системы мониторинга хозяйственных объектов с использованием LoRaWAN // Беспроводные технологии. 2016. № 2.