

LoRaWAN: один из путей Интернета вещей



Александр ГОЛЫШКО,
независимый эксперт, к. т. н.

Девятый вал IoT-устройств

Прогрессивному человечеству вскоре придется столкнуться как минимум с десятками миллиардов подключенных устройств из пула IoT и информационным обменом с огромным количеством датчиков (например, систем ЖКХ), в том числе датчиков, внедренных в производственные процессы различных «киберфизических систем», рассредоточенных по значительной площади.

Разумеется, существующие сети сотовой (мобильной) связи могут обслужить IoT/IIoT, но одно дело, когда речь идет о десятках тысяч устройств M2M (Machine-to-Machine), другое – когда о десятках миллиардов (как свидетельствуют многочисленные прогнозы). Так, если

Все только начинается... Интернет вещей (IoT/IIoT – Internet of Things/Industrial Internet of Things), связывающий различные устройства для взаимодействия друг с другом, – очередная Big Thing нашего времени, без которой трудно представить будущее цивилизации. Эти устройства подключаются к сети Интернет не затем, чтобы сидеть в социальных сетях, а чтобы оперировать данными, генерируемыми быстро растущим цифровым миром.

на один жилой дом из 300 квартир приходится 1500 счетчиков ЖКХ (электричество, газ, тепло и два на воду) с крайне дешевым трафиком от низкоскоростной телематики, то это может полностью забрать ресурс пропускной способности ближайшей базовой станции (например, LTE), ничего не оставив людям.

Другая существенная проблема – энергопотребление. Многие терминальные устройства будут вынуждены работать от батареек, но технические характеристики сетей сотовой связи не позволяют делать это дольше нескольких дней. Низкое энергопотребление вообще является критическим условием для 80% случаев использования IoT в «умных» счетчиках, носимой электронике, смарт-парковках и т. п. Кроме того, стоит отметить, что простота установки и небольшой размер потери в случае кражи – тоже немаловажные факторы для массовой технологии.

Ну а если обратиться к стоимости услуг мобильной связи, то для хоть и надежной, но низкоскоростной передачи данных она также будет великовата. В целом же канал связи в 5 Мбит/с не нужен, чтобы раз в сутки передать, сколько кубов воды набежало по каждой квартире. Сенсоры и датчики год от года становятся

все «умнее», в частности благодаря использованию технологий искусственного интеллекта. Растут требования предприятий к сервисам IoT. Заказчики интересуются доступностью инструментов, низкой стоимостью обслуживания, простотой развертывания и пр.

Беспроводная передача данных

Многочисленные разработки технологий беспроводной передачи данных в виде Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave, Zigbee и т. п. умеют решать задачи IoT-коммуникаций лишь в пределах одной «вещи» или одного человеческого тела, одного помещения. В результате поиска чего-то экономичного для IoT/IIoT появилось сразу несколько технологий, которые стали дальнейшим развитием так называемой энергоэффективной глобальной сети дальнего радиуса действия – Low Power Wide Area Network (LPWAN), ориентированной на низкоскоростную передачу данных и вариант сети мобильной связи, стандартизованный 3GPP.

На данный момент существует несколько десятков стандартов для сетей IoT/IIoT – часть из них универсальны, другие приспособлены решать ограниченный круг задач.



LoRaWAN 1.1 Regional Parameters

Poland	433.05–434.79 MHz	EU433
	863–873 MHz	EU863–870
	918–921 MHz	Other
Portugal	433.05–434.79 MHz	EU433
	863–870 MHz	EU863–870
Qatar	433.05–434.79 MHz	EU433
	868–868.6 MHz	EU863–870
	868.7–869.2 MHz	EU863–870
	869.4–869.65 MHz	EU863–870
Romania	869.7–870 MHz	EU863–870
	433.05–434.79 MHz	EU433
Russian federation	863–870 MHz	EU863–870
	866–868 MHz (Licensed)	RU864–870
	864–865 MHz	RU864–870
	868.7–869.2 MHz	RU864–870
	433.075–434.75 MHz	EU433
Salvador	916–921 MHz (Licensed)	Other
	915–928	AU915–928, AS923
Saudi Arabia	863–870 MHz	EU863–870
	433.05–434.79 MHz	EU433
Senegal		None

Требования IoT-приложений настолько разнообразны, что все случаи использования LPWAN не могут быть охвачены единой технологией. В связи с этим появились стандарты для узкополосных IoT-устройств NB-IoT (Narrow Band IoT) в сетях LTE; для расширенного GPRS-покрытия (EC-GPRS или EC-GSM-IoT) и межмашинных LTE-соединений eMTC (встречаются также названия LTE-M, LTE-MTC, LTE Cat.M1). Все эти технологии предусматривают работу в лицензируемом диапазоне радиочастот (как и все системы сотовой связи), что означает необходимость получения соответствующих разрешений.

LoRa и LoRaWAN

Для работы в нелицензируемых диапазонах радиочастот 868/915 МГц (Европа/США) разработаны соответствующие

технологии, и наиболее часто встречается среди них LoRa (сокращение от Long Range – т. е. это сеть масштаба района или города, а не квартиры или офиса). Аббревиатура LoRa обозначает лишь вид модуляции, а протокол канального уровня носит имя LoRaWAN. В настоящее время многие компании строят сети на основе этой технологии либо включили ее в свои ближайшие планы благодаря надежности и открытости. Сегодня при передаче данных в LPWAN используются два подхода:

- широкополосное кодирование на увеличенных битовых скоростях для борьбы с более высоким уровнем шума в приемнике – это подход LoRa в сетях LoRaWAN;
- сужение полосы спектра в целях снижения уровня помех на приемнике – это узкополосный подход, который применяет технология «СТРИЖ».

Одним из главных достоинств LoRaWAN является то, что это открытый стандарт, над чем успели поработать радиоинженеры. Таким образом, если мы строим сеть, отвечающую стандартной спецификации, и у нас есть стороннее устройство, соответствующее спецификации, оно сможет работать в данной сети.

В 2008 г. патент на технологию LoRa получила компания Cycleo (Франция), а в 2012 г. ее приобрела компания Semtech (США). LoRa использует собственный метод модуляции, основанный на технологии расширения спектра (Spread Spectrum Modulation) и вариацию линейной частотной модуляции (Chirp Spread Spectrum), при которой данные кодируются широкополосными импульсами. Такое решение в отличие от технологии прямого расширения спектра (как, например, в сетях мобильной связи CDMA)

делает приемник устойчивым к нестабильности частоты, что позволяет использовать недорогие кварцевые резонаторы в тактовом генераторе.

Своих «мозгов» эти чипы LoRa не имеют – они управляются по SPI (Serial Peripheral Interface) от внешнего контроллера. Топология сети – «звезда», дальность – от нескольких километров в плотной городской застройке до 30–50 км прямой видимости. Скорость передачи данных – до 250 кбит/с (уменьшается с увеличением расстояния). Количество устройств – до 5 тыс. штук/км². Максимальный размер сети ограничен пропускной способностью канала центрального приемника, который должен успевать проводить радиообмен со всеми подключенными к нему устройствами.

Как работает LoRa

Алгоритм функционирования LoRa следующий: базовая станция (БС) анализирует эфир в заданном диапазоне частот, и когда она получает запрос от какого-либо из терминальных устройств, то отвечает ему на частоте обращения. Ширина канала при этом составляет 125 кГц (в стандарте предусмотрены 250 и 500 кГц, но в России их обычно не используют), максимальная скорость – чуть более 5 кбит/с. В зависимости от состояния эфира выбирается оптимальный набор параметров связи. За это отвечает SF (spreading factor – целое число, которое в стандарте может принимать значения от 7 до 12) – коэффициент, к которому привязываются параметры передачи и приема. Чем выше SF, тем лучше помехозащищенность линии, но тем ниже скорость передачи информации и тем больше времени в эфире занимает передача (например, максимальная помехозащищенность при SF = 12, при этом время пакета в эфире составляет 2,466 секунды, а скорость – 292 бит/с). Чем больше терминальных устройств будет работать через базовую станцию, тем больше времени в эфире

они займут. Поэтому при хороших радиоусловиях SF будет меньше. Растет скорость – падает время передачи.

Пакеты принимаются базовой станцией (в архитектуре LoRa ее именуют шлюзом). Обработывает пакеты сетевой сервер, который отвечает за управление всеми шлюзами: он решает, через какой шлюз общаться с датчиком, если датчик «слышно» через несколько шлюзов. Полезную информацию из принятых пакетов обрабатывает сервер приложений, где происходит расшифровка показаний от датчиков и сенсоров. Эта информация в заранее установленной форме передается либо в биллинг, либо в интерфейс потребителю, либо куда-то еще.

Из приведенных LoRa Alliance радиочастот для работы в РФ используются 1,5 МГц нелегализованного спектра: 864–865 МГц и 868,7–869,2 (защитный интервал между каналами должен составлять 75 кГц). Мощность сигнала – не более 25 мВт.

Реальные возможности LoRa

Разумеется, необходимо трезво оценивать технологию и ее возможности. LoRa устойчиво работает на грамотно построенной сети, но ни о какой десятикилометровой дальности (порой заявляемой) говорить нельзя – ее можно обеспечить лишь в чистом поле без внешних помех. В городских условиях дальность связи составляет 2–3 км. К тому же LoRa никогда не достигнет одновременно значений 10 км и 5 кбит/с (либо другое). Как свидетельствуют те, кто уже развертывал сети LoRa, ее оборудование не любит:

- размещение на малых высотах;
- плохие антенны и некачественный монтаж;
- оборудование GSM-900, находящееся в непосредственной близости.

Важная характеристика LoRaWAN – безопасность, которая в стандарте реализуется с помощью двух ключей. Любой пакет шифруется ключом сетевого

сервера и сервера приложений. Относительно слабым моментом этого метода является то, что ключи либо заданы изначально (метод ABP), либо генерируются в момент активации устройства (OTAA). Получается, что они будут использоваться вечно (ABP) либо до переактивации устройства (OTAA). Даже в последнем случае счет может идти на месяцы. Хотя истории пока не известны примеры взломов LoRaWAN, в стандарте уже появилась спецификация, позволяющая решить проблему со старыми ключами.

С учетом сравнительно небольшой полосы радиочастот, выделенной под нелегализуемые радиосети, для широкополосной связи вероятность коллизий с сигналами от подобных устройств (других аналогичных сетей) всегда выше. И эту ситуацию невозможно компенсировать улучшенным кодированием. Результат – резкое снижение дальности стабильной работы такой системы: устройства, находящиеся на предельно дальней дистанции, уже не будут «услышаны».

Кроме того, особенностью принимающих станций LoRa является то, что они не могут демодулировать более чем восемь пакетов одновременно. При этом они могут определить принадлежность пакета только после демодуляции. То есть станция LoRa принимает все пакеты, а «свои» выделяет уже потом. Но любой пакет данных даже из «чужой» сети, принятый «своей» станцией, блокирует получение любого «своего» пакета на этом же канале до тех пор, пока он не будет полностью принят, что создает понятные проблемы в случае одновременной работы в одной зоне сразу нескольких подобных сетей. Таким образом, любой желающий может вполне легитимно, отправляя с восьми LoRa-модемов произвольные данные без остановки, заблокировать все восемь каналов в любой сети LoRa в любом городе. Станция будет вынуждена принимать пакеты, идущие от «чужих» модемов, в ущерб пакетам из «своей» сети. Собственно говоря, от перечисленных недостатков

и постарались избавиться из-за работчи платформы LPWAN «СТРИЖ» – за счет некоторого ухудшения других технических характеристик.

Система «СТРИЖ»

Когда речь идет о стоимости той или иной системы связи, следует иметь в виду, что она часто является коммерческой тайной и зависит от количества заказываемого оборудования, однако в любом случае открытые стандарты имеют своим следствием серьезный рост конкуренции, а за ним – снижение стоимости. В свою очередь, проприетарные системы с ограниченным (а чаще уникальным) количеством поставщиков несут с собой не только лучшие технические характеристики, но и соответствующие дополнительные риски.

На физическом уровне для передачи сигнала в системе «СТРИЖ» используются модуляция DBPSK (относительная/дифференциальная/двоичная фазовая манипуляция) и сравнительно узкая полоса радиосигнала. Такой подход уменьшает количество устройств, способных работать в определенном частотном диапазоне. Зато в полосе 125 кГц, которая требуется LoRa для кодирования одного канала, посредством узкополосного метода можно получить до 1250 каналов. А значит, можно использовать до 1250 устройств «СТРИЖ» без ухудшения характеристик вместо одного устройства LoRa.

Устройства с широкополосными сигналами при одновременной работе в одном канале позволяют добиться защиты от помех на уровне 10–20 дБ. Трансиверы, применяемые «СТРИЖ», обеспечивают до 65 дБ защиты от помехи на соседнем канале – 45 дБ разницы по сравнению с LoRa, что дает большое преимущество надежности и помехоустойчивости связи в реальных условиях. При большом времени передачи система становится уязвимой к помехам от других устройств, работающих в той же полосе.

Технология NB-IoT

Начиная со спецификации Release 14 3GPP, в сотовой связи много внимания уделяется вопросам описания и детализации параметров радиоинтерфейса 5G, обеспечивающего максимально точное пространственное позиционирование и широкополосные коммуникации в реальном времени и с крайне малой задержкой сигнала (менее 1 мс) от мобильных объектов – автомобилей, дронов и пр. Возникает чувство, будто IoT

образом независимо от качества покрытия. В результате технология NB-IoT поддерживает широкий диапазон скоростей передачи данных. Достижимая скорость передачи данных зависит от качества канала связи (отношения сигнал/шум), а количество подключенных устройств – от выделенных ресурсов (пропускной способности). В канале «вниз» все устройства имеют одну и ту же энергетику радиоканала и могут одновременно принимать сигналы с базовой станции. В канале «вверх» каждое

LoRa устойчиво работает на грамотно построенной сети, но ни о какой десятикилометровой дальности (порой заявляемой) говорить нельзя.

создавался специально под технологии 5G (как еще продать 5G на мировом уровне?), а технологии 5G – соответственно под IoT. Пока 5G – больше «в уме», у мобильной индустрии уже есть технология NB-IoT. Это принципиально новая разработка, хотя и предусматривающая интеграцию с сетями LTE и применяющая сходные технологии.

NB-IoT использует несущую шириной 200 кГц, которая может быть расположена в каком-либо свободном диапазоне, внутри каналов GSM (как в EC-GSM), внутри канала LTE (как в eMTC) или в защитном интервале между каналами LTE. Частотный диапазон может быть любым из тех, что определены для сетей LTE с частотным разделением каналов (LTE FDD). В канале «вниз» используется технология множественного доступа OFDMA, в канале «вверх» – SC-FDMA.

Следует заметить, что в реальной жизни базовая станция должна не только поддерживать одновременную работу многих тысяч устройств IoT, но и обеспечивать их подключение наилучшим

устройство имеет собственный энергетический потенциал, что может быть использовано для мультиплексирования трафика. При этом создаваемый совокупный сигнал от нескольких устройств (и соответственно их мощность) будет больше, чем у одного устройства. Да и в реальных условиях во многих местах устройства NB-IoT будут ограничены уровнем собственных сигналов, а не пропускной способностью сети. Такие устройства способны сконцентрировать свою излучаемую мощность в узкой полосе радиочастот без потери производительности, освободив при этом полосу пропускания для других устройств.

Чтобы получить такую возможность, в NB-IoT вместо коллективного канала (общего блока ресурсов) со скоростью передачи данных до 250 кбит/с предусмотрено использование поднесущих частот с полосой пропускания 15 кГц (эффективная полоса пропускания общего канала NB-IoT – 180 кГц) и скоростью передачи данных до 20 кбит/с. В свою очередь, терминальные устройства могут использовать одну или нескольких

поднесущих в восходящей линии связи. Более того, используемые ими радиочастоты могут быть упакованы даже ближе друг к другу за счет уменьшения ширины полосы поднесущих до 3,75 кГц. Это обуславливает необходимость выделения части из них в качестве защитных интервалов в целях предотвращения интерференции с поднесущими с шириной полосы 15 кГц, что может привести к потере производительности.

Таким образом, технология NB-IoT, вобравшая в себя все сетевые достижения мобильной индустрии, обеспечивает большую зону обслуживания, низкое энергопотребление, возможности быстрой модернизации существующей сети, обещает длительный (до десяти лет) срок службы батареи, низкую стоимость терминала, простоту развертывания (plug & play), а также высокую надежность и безопасность. Обещанные разработчиками 50 тыс. устройств IoT на сектор базовой станции – тоже не фантастика. Кроме того, предполагается, что существенная переработка протоколов канального уровня позволит снизить стоимость устройства NB-IoT по сравнению с LTE Cat.M1 на 90%.

Что лучше для IoT?

Учитывая начальную стадию освоения IoT и всего сказанного выше, у специалистов может возникнуть закономерный вопрос: какая из технологий развертывания IoT лучше? У экспертов на этот счет свое мнение.

Прежде всего, раз уж сеть NB-IoT относится к сотовой связи, то устройства, работающие в ней, должны «просыпаться» и синхронизироваться с сетью, и каждый сеанс синхронизации отнимает у аккумулятора устройства заряд энергии. В свою очередь, асинхронная отправка данных в сети LoRaWAN подразумевает передачу только тогда, когда эти данные есть. В остальное время устройство «спит» и энергия не расходуется. Ранее эксперты ассоциации GSMA провели множественные тесты работы LPWAN, в результате

которых выяснилось, что автономность LoRaWAN-устройств в три-пять раз выше, чем у девайсов, работающих в других LPWAN.

Разумеется, NB-IoT – более эффективный протокол IoT с высокими скоростями передачи информации, что важно для быстрых приложений, требовательных к времени задержки и регулярному приему/отправке сообщений. Однако для многих случаев передачи телематики устройствам LoRaWAN вполне достаточно скорости передачи данных в 11 кбит/с. При этом требования к пропускной способности сигнала, обозначенные 3GPP, составляют 180 кГц, а LoRa необходимо 125 кГц.

NB-IoT обеспечивает лучшее покрытие в сложных городских условиях, однако производительность сети будет избыточной в пригородных или сельских районах. Покрытие LoRaWAN остается относительно устойчивым вне зависимости от условий местности, и для развертывания такой сети требуются более низкие инвестиции.

Технология LoRa может использоваться как операторами, работающими в секторе мобильной связи, так и не имеющими отношения к этой сфере. Сети NB-IoT – принадлежность операторов мобильной связи и не являются фрагментами корпоративных сетей, тогда как LoRa подходит для этого. Крупные предприятия относительно просто смогут создавать гибридные модели IoT с сетью LoRa.

Средняя стоимость терминального оборудования LoRaWAN составляет 8–10 долл., что в два раза ниже, чем для модулей NB-IoT/LTE, но, как отмечалось, все зависит от масштабов закупок. И если речь идет о сотнях тысяч, то может быть всякое. Несомненно, затраты на развертывание с нуля LoRaWAN значительно ниже, чем NB-IoT, но эти сети работают поверх уже существующей инфраструктуры 4G/LTE (т. е. основные инвестиции уже сделаны), а введение на них опции NB-IoT может обеспечиваться программным образом, благодаря использованию в современном оборудовании

сотовой связи технологии SDR (Software Define Radio).

Кроме того, стоит отметить, что лицензируемые диапазоны радиочастот свободны от помех, а нелицензируемые – нет. И даже при отсутствии внешних помех системы связи LPWAN могут просто мешать друг другу.

Экосистема LoRa пока значительно шире экосистемы NB-IoT. Ну а поскольку для IoT в целом все только начинается, следует понимать, что отстающие пока от сетей LPWAN сети NB-IoT будут стремительно развернуты, как только индустрия мобильной связи почувствует действительно массового потребителя. А потом наступит время специально созданных для поддержки IoT сетей 5G. Конечно, применительно к индустрии мобильной связи всегда останется актуальной фраза: «Носорог очень плохо видит, но при его весе это не его проблема».

Российские проекты

Тем не менее заслуживают уважения отечественные проекты развертывания сетей LoRaWAN. В частности, 1 сентября 2018 г. «ЭР-Телеком Холдинг» объявил о запуске сети IIoT в 52 городах Российской Федерации.

Реализуется крупный LoRaWAN-проект по внедрению в Забайкальском крае АСУЭ на 90 тыс. точек учета. Есть и многие другие. Надеемся, что, во-первых, все они сумеют освоить определенные ниши зарождающегося рынка IoT, во-вторых, LoRaWAN и NB-IoT смогут сосуществовать друг с другом, обслуживая разные сегменты глобальных IoT-рынков.

Однако если терминальные устройства IoT разовьют свой искусственный интеллект до такой степени, что начнут сидеть в социальных сетях, всех нас будет ждать очередная трансформация соответствующего рынка вместе с его инфраструктурой. И тогда все начнется сначала. ■

По материалам:

iot.ru, nag.ru, habrahabr.ru, strij.tech, isup.ru, tadviser.ru