

“Radio” is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

АНО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-82030

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. Н. КОРОТОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,
И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,
С. Л. МИШЕНКОВ

Выпускающий редактор: С. Н. ГЛИБИН

Обложка: В. М. МУСИЯКА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ВАСИЛЬЕВА

Адрес редакции: 107045, Москва, Селивёрстов пер., 10, стр. 1

Тел.: (495) 607-31-18.

E-mail: ref@radio.ru

Приём статей — e-mail: mail@radio.ru

Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: advert@radio.ru

Распространение — (495) 607-77-28; e-mail: sale@radio.ru

Подписка и продажа — (495) 607-77-28

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:

получатель — АНО "Редакция журнала "Радио", ИНН 7708187140,

р/сч. 40703810538090108833

Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва

корр. счёт 3010181040000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 24.08.2023 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:

Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;

КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия использования опубликованных материалов, но принимает меры по исключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в известность автора. При этом редакция получает исключительное право на распространение принятого произведения, включая его публикации в журнале «Радио», на интернет-страницах журнала или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом месте без предварительного письменного согласия редакции.

В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

© Радио®, 1924—2023. Воспроизведение материалов журнала «Радио», их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»

142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.

Зак. 02451-23 .

Вещи обретают интерфейсы

Часть 2

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

“Мы жаждем новых ощущений, а когда получаем желаемое, то вскоре становимся к ним равнодушными”.

Никола Тесла

Мы продолжаем обзор технологий для построения Интернета вещей (IoT), и теперь настал черёд сетевых решений с большим территориальным охватом. Разумеется, провода или не самые эффективные радиоинтерфейсы мешали возникновению нового рынка. Ведь не так давно связь на дальние расстояния подразумевала использование достаточно габаритных устройств с относительно высокой потребляемой мощностью, которые редко питались от батарей.


Со временем достижения в области модуляции разработка и выпуск интегральных схем такой архитектуры, как система на кристалле (SoC — System-on-Chip), значительно увеличили диапазон работы устройств с низким энергопотреблением. Кроме того, применение связи на более низких, субгигагерцовых частотах радиочастотного спектра также позволяет использовать специфику распространения радиосигналов, что может быть дополнительным и существенным преимуществом при реализации сетей дальнего радиуса действия.

Однако при более низких частотах эффективные антенны будут физически больше, чем для радиоустройств, работающих в более высокой области частот. Так, если на частоте 2,4 ГГц обычная четвертьволновая антенна имеет длину 31 мм, то на частоте 915 МГц длина той же антенны будет составлять уже около 82 мм. Тем не менее, для устройств с большой дальностью связи и низким энергопотреблением более крупные и эффективные антенны (если они приемлемы с конструктивной точки зрения) могут выигрывать увеличив срок службы батареи — за счёт уменьшения мощности излучаемого радиосигнала, необходимой для обеспечения требуемого покрытия зоны радиосвязи.

Применение IoT-устройств с большим радиусом покрытия создаёт возможности для организации сервисов связи на основе подписки, что позволяет избежать проблемы полностью неактивных установок в личных сетях с малой зоной покрытия. Компании с развитой инфраструктурой радиосвязи и большой зоной покрытия, такие как операторы сетей сотовой связи, развёртывают сервисы на больших территориях, используя преимущества уже находящихся в их распоряжении сетей. Постепенно эти новые сервисы, не требующие высокой скорости передачи данных, охватывают значительные зоны, распространяясь не только на регионы, но даже на целые страны.

LPWAN

Логично предположить, что беспроводное подключение вещей, распределённых по большой территории, будет также осуществляться посредством сетей с низким энергопотреблением, потому как последнее всё равно где-то нужно брать, и, скорее всего, от гальванических элементов или аккумуляторов. Собственно, зачем нужны LPWAN (Low Power Wide Area Network), если у нас уже есть готовые и обкатанные решения вроде Wi-Fi или LTE?



Компьютерная сеть редакции журнала «Радио» находится под защитой Dr.Web — антивирусных продуктов российского разработчика средств информационной безопасности — компании «Доктор Веб».

www.drweb.com
Бесплатный номер службы поддержки в России:
8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»



РИНЕТ
БЛИЖЕ К ЛЮДЯМ

Телефон: +7(495)981-4571
E-mail: info@rinet.ru
Сайт: www.rinet.ru

Допустим, на один жилой дом из 350 квартир придётся 1000 счётчиков-пользователей с копеечным трафиком в многомегабитных каналах связи, но если все счётчики будут подключены к ближайшей базовой станции LTE, то займут все её ресурсы пропускной способности, ведь они подключены постоянно. Поскольку таких домов вокруг базовой станции будет много, такой IoT больше походит на диверсию для мобильной связи. А ещё есть вопросы энергопотребления, потому что аккумулятор в счётчике будет дешевле, чем электрокабель.

В отличие от классических систем мобильной связи, всё огромное семейство сетей LPWAN специально разрабатывалось в расчёте на обслуживание IoT, большинство устройств которого являются простыми сенсорами с низким уровнем генерируемого трафика (10—50 бит в день и преимущественно в сторону базовой станции), с обеспечением низкой стоимости сетевого оборудования и малого энергопотребления (время автономной работы от аккумуляторов — до 10 лет и более). С помощью подобных сетей следят за работой предприятий, контролируют качество воды, добычу нефти, газа, полезных ископаемых. Сети этого типа используют как точки доступа для сбора и передачи информации, собранной датчиками, которые объединены в сетевые кластеры.

Для построения сетей LPWAN разработано немало технологий, в том числе в России, однако в глобальном масштабе их следует разделить на две большие группы по характеру используемых радиочастот: лицензируемых и нелицензируемых. Последние представляют собой: 40 МГц, 169 МГц, 433 МГц, 863...876 МГц, 915...921 МГц, 2,4 ГГц, полосы в диапазоне 5 ГГц, а также полосы CRS (системы когнитивного радио) в диапазоне ТВ-вещания. Часто для описания нелицензируемых диапазонов применяется термин ISM (Industrial, Scientific and Medical band) — диапазон частот для промышленной, научной и медицинской аппаратуры.

В лицензируемых диапазонах частот могут работать только обладатели разрешений на работу в конкретных радиочастотных диапазонах, а в остальных — кто угодно. При этом полосы частот в нелицензируемых диапазонах имеют свои ограничения как по ширине, так и по наличию помех от других пользователей.

В РФ к нелицензируемым диапазонам частот (частоты могут быть использованы без оформления разрешения ГРЧ) при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности и назначению готового изделия относят:

- 433,075...434,75 МГц;
- 868...868,2 МГц;
- 868,7...869,2 МГц;
- 2400...2483,5 МГц.

При этом для диапазона 434 МГц мощность передатчика должна быть не более 10 мВт, для 868...868,2 МГц — до 10 мВт, для 868,7...869,2 МГц — до 25 мВт, для 2,4 ГГц — не более 100 мВт.

К наиболее известным технологиям из безлицензионного пула относятся LoRa/LoRaWAN, SigFox, Neil/Weightless, On-Ramp и др., включая отечественную систему "Стриж".

LoRa

Технология LoRa была представлена в начале 2015 г. компанией Semtech и исследовательским центром IBM Research с дальнейшим созданием LoRa Alliance для поддержки технологии и её дальнейшего развития. LoRa опирается на метод модуляции LoRa, запатентованный компанией Semtech, а также открытый сетевой протокол Long Range Wide Area Networks (LoRaWAN). Тут есть свои особенности. В целом, LoRa относится к физическому уровню (PHY), и эта технология принадлежит компании Semtech Corporation. В свою очередь, LoRaWAN относится к подуровню управления доступом к среде (MAC) и развивается консорциумом LoRa Alliance. Спецификация LoRaWAN находится в свободном доступе, а LoRa является проприетарной технологией, и компания Semtech собирает лицензионные отчисления с поставщиков микросхем, которые продают модули LoRa.

Как правило, под LoRa обычно подразумеваются тип модуляции, а под LoRaWAN — открытый сетевой протокол LoRa, который не надо напрямую ассоциировать с LPWAN (как уже говорилось ранее, это любая энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия). LoRaWAN используется для передачи небольших по объёму пакетов данных на дальние расстояния. Такая сеть была разработана специально для распределённых сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия или так называемого M2M и, собственно, IoT. Сеть LoRa является одной из наиболее перспективных беспроводных технологий, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счётчиков и сенсоров.

В зависимости от региональных распределений в такой сети используются радиочастоты субгигагерцового диапазона в не требующих лицензирования спектрах частот в диапазонах VHF (30...300 МГц), UHF (300 МГц...3 ГГц) или 800...930 МГц. Поскольку технология LoRa применяет более низкие радиочастоты, чем стандарты, использующие частоту 2,4 или 5 ГГц, она отличается от них и по радиочастотным характеристикам, при этом сигналы LoRa могут проникать глубоко в здания и в места, не доступные более высокочастотным сигналам.

Модуляция LoRa сильно выделяется на фоне других типов модуляции, представленных в этом обзоре, и является настоящим достижением в области радиочастотных технологий. Большинство стандартов ближнего радиуса действия, как было сказано ранее, использует ту или иную разновидность модуляций FSK, OFDM, FHSS или DSSS с расширением спектра. В LoRa применяется набор методов модуляции, запатентованных компанией Semtech и основанных на технологии расширения

спектра (Spread Spectrum Modulation) и вариации линейной частотной модуляции (Chirp Spread Spectrum, CSS). В целом, суть этого подхода заключается в перестройке несущей частоты по линейному закону. Такое решение обеспечивает высокую устойчивость связи на больших расстояниях и позволяет увеличить дальность связи почти в 10 раз по сравнению с обычными системами прямой радиосвязи при тех же характеристиках передатчиков.

Благодаря такой перестройке сигнал становится устойчивым к эффекту Допплера (для мобильных пользователей) и многолучевому замиранию в отражающей радиочастотной среде, а также получает высокий уровень помехоустойчивости. Кроме того, при таком методе расширения спектра низкие скорости (до 300 бит/с) могут избежать влияния источников узкополосных помех, таких как FSK-сигналы, и успешно восстановиться на приёмном конце. Это может дать линии связи LoRa преимущество в 15 дБ по сравнению с узкополосным FSK-сигналом при использовании радиочастотных сигналов одинаковой мощности.

Что касается шумов, то LoRa может прекрасно и без проблем работать ниже уровня окружающего радиочастотного шума и на 20 дБ или даже ещё ниже по отношению к узкополосным источникам помех — из-за усиления, присущего этому виду модуляции с расширенным спектром.

Сеть может иметь различную топологию: ячеистую (mesh), звезда, точка—точка и др. Рабочие частоты: 915 МГц (США), 868 МГц (Европа), 433 МГц (Азия). Полоса рабочих частот — до 500 кГц.

Зона охвата базовой станции (шлюза LoRa) в сети LoRaWAN — до 2,5 км в городе и 20...45 км вне города, скорость передачи данных — 0,3...50 Кбит/с. Продолжительность автономной работы конечного устройства с аккумулятором ёмкостью 2000 мА·ч — почти девять лет.

Радиоинтерфейс физического уровня LoRa определяет все аспекты передачи радиосигналов между различными узлами сети (шлюзами LoRa) и оконечными устройствами (сенсорами и датчиками IoT). Он основан на использовании широкополосных радиосигналов с большой базой, много большей единицы.

Радиоинтерфейс LoRa устанавливает рабочие частоты, виды модуляции, уровни мощности, сигнализацию и обмен сигналами между передающими и приёмными устройствами в сети LoRa.

Сетевая архитектура LoRa включает абонентские устройства IoT, шлюзы LoRa (базовые станции), сетевые серверы, подключённые по транспортной сети к сети Интернет, и серверы приложений. Абонентские устройства IoT сети LoRa являются, как правило, устройствами, включающими, кроме модема, датчики или сенсоры, которые передают данные лишь в короткие промежутки времени по заданному графику.

Центральный сервер сети LoRaWAN адресно управляет устройствами (End-Node), шлюзами сети и соединяет



сеть доступа LoRaWAN с сервером при-
ложений.

Шлюзы LoRa, как правило, представ-
ляют собой многоканальные мультимо-
демные трансиверы, которые способны
выполнять демодуляцию сразу не-
скольких каналов одновременно, и да-
же одновременную демодуляцию мно-
жества сигналов на одном и том же
радиоканале. Шлюзы служат для орга-
низации передачи данных между ус-
тройствами LoRa (End-Node) и центр-
льным сервером, не внося изменений в
сами сообщения ("прозрачный мост")
и, прежде всего, играя роль concentra-
торов трафика и его инкапсуляции в
транспортный I-трафик.

Связь шлюзов и центрального сер-
вера LoRaWAN обеспечивается транс-
портной сетью оператора (backhaul) на
основе стандартных технологий (Ether-
net, Wi-Fi, GPRS) по протоколу TCP/IP.
Все устройства LoRa (End-Node), как
правило, являются двунаправленными,
но они также поддерживают и функцио-
нирование в режиме, обеспечивающем
групповое обновление ПО или передачу
иных массовых сообщений (Broadcast),
что позволяет сократить время на их
передачу.

Сеть LoRa может быть развёрнута
либо как отдельная сетевая архитекту-
ра, либо как связанная сеть в тех рай-
онах земного шара, где имеются опера-
торы сети общего пользования, кото-
рые за плату обеспечивают возмож-
ность устройств LoRa подключаться
через шлюзы для передачи данных в
облако. В настоящее время в мире
работают более 60 операторов
LoRaWAN, в том числе и в РФ. В РФ
утверждён национальный стандарт
LoRaWAN Ru.

Symphony Link

LoRaWAN не единственный стандарт
LPWAN, который использует физиче-
ский уровень LoRa.

Компания Link Labs разработала кон-
курирующее решение LPWAN на основе
LoRa, называемое Symphony Link, кото-
рое, по заявлениям Link Labs, способно
превзойти LoRaWAN посредством "га-
рантированного получения сообщений,
большой абонентской ёмкости, исполь-
зования ретрансляторов и более про-
стого обновления встроенного ПО".

Учитывая, что за стандартом
LoRaWAN стоит консорциум LoRa
Alliance, похоже, что решение Symphony
Link на рынке обслуживания IoT его не
обойдёт.

"Стриж"

Отечественная разработка для
LPWAN — "Стриж" является недорогой
и экономичной альтернативой многим
другим технологиям. Сети на её базе
развёрнуты в РФ и ближнем зарубежье.
Это беспроводная система сбора, пе-
редачи и обработки данных счётчиков,
датчиков и приборов учёта для ЖКХ,
электроэнергетики и систем безо-
пасности.

Сеть обеспечивает быстрое развёр-
тывание, большой радиус действия
(10...50 км), срок автономной работы

до 10 лет, низкие затраты на внедре-
ние. Одна станция опрашивает все ус-
тройства без концентраторов и ретранс-
ляторов (экономия на промежуточном
оборудовании), обеспечивает низкую
стоимость решения (в 3...4 раза ниже,
чем у аналогов), высокую надёжность —
сеть работает по топологии "звезда"
(устройства опрашиваются напрямую
базовой станцией без промежуточного
оборудования или mesh).

Устройства и модемы "Стриж" пере-
дают 8-байтные пакеты данных по бес-
проводному протоколу XNB (Extended
Narrowband) — беспроводной узкопо-
лосный LPWAN-протокол, разработанный
командой "Стриж" для обмена дан-
ными с абонентскими устройствами на боль-
ших распределённых территориях с
минимальными затратами энергии. Ра-
ботает там, где "не ловит" GSM/GPRS.
Базовые станции передают данные на
сервер. Сервер осуществляет обработ-
ку данных, мониторинг и управление
устройствами.

Двухсторонняя связь для отправки
управляющих команд на устройства.
Частота передачи Uplink — 868,8 МГц,
частота передачи Downlink — 446 МГц.
Альтернативные рабочие частоты — до
1 ГГц (по запросу). Ширина полосы ка-
нала передающего устройства —
100 Гц. Технология обработки радио-
частотного спектра — программно-
определяемая радиосистема. Модуля-
ция сигнала — DBPSK. Мощность пере-
датчика — 25 мВт, что примерно в
80 раз меньше, чем у мобильного теле-
фона, и безопасна для людей и живот-
ных.

Подключение к транспортной сети
Ethernet WAN или двух Sim-карты
GPRS/3G/LTE, VSAT. Скорость пере-
дачи — 50/100/1000 бит/с. Образует
5000 доступных каналов для единовре-
менной передачи. Суточная ёмкость
базовой станции — 5 млн сообщений с
2 млн абонентских устройств. Шифро-
вание данных алгоритмами AES-128,
XTEA-256, ГОСТ Р34.12-2015. Защита от
помех FEC, CRC32, псевдослучайная
перестройка частоты. Потребление при
отправке пакета данных — 35...40 мА в
течение 10 с. Удалённое обновление
ПО абонентских устройств.

SigFox

Технология SigFox была изобретена
и запатентована в 2009 г. одноимённой
французской компанией. Первая сеть
SigFox (868 МГц) была развёрнута во
Франции в 2012 г., а в 2014 г. обеспече-
но общенациональное покрытие стра-
ны. Следующими в плане были США, но
разрешённый там диапазон 902 МГц
оказался слишком подвержен помехам.
Тогда SigFox пошла сначала в Азию и
сегодня присутствует более чем в
60 странах мира (но не в РФ). В США
Федеральная комиссия по связи (FCC)
выделила SigFox диапазон 915 МГц.

Для передачи данных SigFox исполь-
зует сверхузкую полосу частот (Ultra-
Narrow Band — UNB) с двоично-фазо-
вой манипуляцией (BPSK), а для коди-
рования данных меняет фазу несущей,
что позволяет уменьшить уровень шума
на принимающей стороне (приёмники

при этом дешевле). Радиус действия —
30...50 км (при наличии помех —
3...10 км).

Срок службы устройств без замены
батарей (2 шт. AA) — 20 лет. Топология
сети — звезда вокруг базовой станции.

Стандартом SigFox определено мак-
симальное число сообщений от базо-
вой станции до конечного устройства —
140 в день объёмом не более 12 байт
(без служебной информации). В обрат-
ном направлении — четыре сообщения
в день объёмом 8 байт.

В SigFox узлы могут использоваться
в двух конфигурациях:

- режим P2P — прямая связь между
узлами (интерфейс LAN);
- гибридный режим SigFox/P2P
(P2P + шлюз в сети SigFox), который по-
зволяет передавать через сеть только
определённые сообщения.

Weightless

Семейство "невесомых" технологий
Weightless — открытый стандарт для
сетей LPWAN повышенной мощности
для увеличения сетевой производи-
тельности. В специальной группе инте-
ресов Weightless SIG (Special Interest
Group) предлагается семейство трёх
различных протоколов:

Weightless-W — открытый стандарт
технологии, предназначенной для
работы на частотах ТВ-диапазона
470...790 МГц (TV White Space — TWWS).
Там, где это разрешено, конечно. Ра-
диус зоны покрытия — 5 км (подходит
для использования в приложениях для
нефтяной и газовой отрасли).

Weightless-N предназначен для соз-
дания широких зон покрытия при невы-
соких скоростях передачи данных
500 бит/с. Обеспечивает однонаправ-
ленную связь на расстоянии до 10 км.
Поддерживает широкий диапазон
ISM-частот и низкое энергопотребле-
ние. Weightless-N подходит для сенсор-
ных сетей измерений температуры,
контроля уровня жидкости в резервуа-
ре и пр.

Похоже, Weightless SIG уже отка-
зался от стандартов Weightless-N и
Weightless-W и теперь продвигает един-
ственный Weightless-P, который порой
называют просто Weightless.

Weightless-P — стандарт, предназ-
наченный для узкополосных IoT-решений,
требующих высокой плотности ус-
тройств, долгосрочной службы автоно-
много источника питания и двунаправ-
ленной связи. Особенности являются
высокая масштабируемость, воз-
можность оптимизации линий связи
Uplink или Downlink, создания широких
зон покрытия, длительный срок службы
батарей и безопасная сеть.

Weightless-P использует узкополос-
ные (12,5 кГц) каналы, что даёт возмож-
ность передавать в семь раз больше
данных, чем SigFox, и в 98 раз больше
данных, чем LoRaWAN в городских усло-
виях. Другие технические характери-
стики выглядят так: мощность передат-
чика абонентского устройства —
14 дБмВт; использование синхронизи-
рованных каналов связи (в стандарте
TDMA/FDMA); спектрально-эффективная
модуляция OQPSK; использование лю-

бых ISM-полос частот для развёртывания: 169/433/470/780/868/915/923 МГц (ключевая особенность); роуминг; дальность связи до 2 км в городе; адаптивная скорость передачи данных — 0,2...100 Кбит/с; контроль мощности передачи в линиях Uplink и Downlink для уменьшения помех и увеличения пропускной способности сети.

Weightless также является открытым стандартом, направляемым организацией Weightless SIG, который, казалось бы, лучше, чем подобные LoRa, подходит как для разработки инноваций, так и для конкуренции на рынке. Однако, как отмечают специалисты, нехватка доступного аппаратного обеспечения и редкие обновления спецификации не свидетельствуют о каком-либо серьёзном развитии.

IEEE 802.11 ah

Учитывая все основные исходные данные для радиоинтерфейса IoT, разработчики порадовали потребителей новым протоколом Wi-Fi специально для IoT/WLAN на базе стандарта IEEE 802.11ah — Wi-Fi HaLow (опубликован в 2017 г.). Впрочем, в данном случае не стоит обольщаться по части специализации для IoT, поскольку одной из целей разработки Wi-Fi HaLow было получение разрешения на использование семейства IEEE 802.11 в субгигагерцовом диапазоне радиочастот. Хотя и для IoT Wi-Fi HaLow, как говорят, отличное решение.

От остальных представителей семейства Wi-Fi IEEE 802.11ah отличается тем, что работает в диапазоне до 1 ГГц, имеет меньшую мощность передатчика и значительно большую дальность, чем в традиционных сетях Wi-Fi (в том числе во многом благодаря низкой рабочей частоте).

Важным аспектом IEEE 802.11ah является поведение базовых станций, сгруппированных для сведения к минимуму коллизий в эфире, использование ретранслятора для увеличения радиуса

действия, использование небольшого энергопотребления (конкурирует с Bluetooth) благодаря оптимальным периодам пробуждения/сна и использования секторных антенн. Стандарт использует спецификацию IEEE 802.11a/g с пониженной дискретизацией для обслуживания 26 каналов, каждый из которых способен обеспечить пропускную способность 100 Кбит/с, а все вместе — подключение к тысячам устройств в зоне обслуживания базовой станции.

Стандарт обеспечивает скорость соединения от 150 Кбит/с в дальней зоне (до 1 км) и до 347 Мбит/с в ближней. Скорость передачи данных — до 347 Мбит/с достигается только при максимальном использовании четырёх пространственных потоков, использующих один канал шириной 16 МГц. Стандартом определяются различные схемы модуляции и скорости кодирования.

IEEE 802.11 af

Другим стандартом WLAN для частот менее 1 ГГц является IEEE 802.11af, который, в отличие от 802.11ah, работает в лицензированных полосах радиочастот — в телевизионном радиоспектре в диапазонах VHF и UHF между 54 МГц и 790 МГц, используя технологию когнитивного радио (организации гибкого доступа к радиочастотному спектру с правом работы на первичной или вторичной основе).

Ingenu

В отличие от LoRa и Sigfox, которые используют ISM-диапазон 915 МГц, стандарт Ingenu работает в нелицензируемом ISM-диапазоне 2,4 ГГц, где также работают Wi-Fi и Bluetooth. К тому же у диапазона 2,4 ГГц гораздо большая полоса, чем, к примеру, у диапазона 915 МГц.

Ядром стандарта Ingenu для сетей LPWAN является технология RPMA (множественный доступ со случайной

фазой — Random Phase Multiple Access), которая представляет собой физический уровень PHY и подуровень управления доступом к среде MAC, разработанные компанией Ingenu специально для удовлетворения требований к сетям LPWAN: глобально доступный диапазон (2,4 ГГц), широкое покрытие (одна точка доступа RPMA может покрыть до 455 км²), огромная производительность (одна точка доступа RPMA способна принять 535117 сообщений в час), продолжительная работа от батареи (10...20 лет) и устойчивость к радиопомехам.

Стандарт RPMA не только поддерживает множество сетевых узлов (до 384000 узлов на сектор), но и также предъявляет более высокие требования к пропускной способности, чем LoRa или Sigfox.

Стандарт RPMA также подразумевает двунаправленный поток данных, подтверждение доставки, изменяемые размеры пакета, отзывчивость сети, возможность аутентификации и широкочастотной передачи.

Помимо разработки стандарта LPWAN, компания Ingenu управляет Machine Network — общедоступной сетью стандарта RPMA, которая покрывает более 259000 км² в более чем 30 городах США, а также покрывает более 30 стран.

Не так давно Ingenu анонсировала переориентацию своей корпоративной стратегии на предоставление услуг RPMA в рамках модели PaaS (Platform as a Service — платформа как услуга).

Развёртывание RPMA началось в 2011 г., так что они уже имеют установленную базу на нескольких континентах для промышленных, сельскохозяйственных целей и для устройств безопасности, которая включает в себя до 40 частных сетей в Северной и Южной Америке, азиатском и тихоокеанском регионах.

Однако история интерфейсов для IoT на этом не заканчивается, и потому продолжение следует. ■