

КРАТКИЙ ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО БЕСПРОВОДНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ». ЧАСТЬ 4. БОЛЬШОЙ РАДИУС ДЕЙСТВИЯ

ВЛАДИМИР РЕНТЮК
Rvk.modul@gmail.com

Четвертая и последняя часть краткого путеводителя по беспроводным IoT-технологиям охватывает устройства с диапазонами покрытия, во много раз превышающими описанные в [1] по дальности устойчивой связи и характерные для развертывания беспроводных сетей типа PAN ближнего радиуса действия. В этой статье, посвященной системам беспроводной связи IoT большого радиуса действия, рассмотрены широко применяемые стандарты связи, которые используют как лицензированные (NB-IoT и Cat-M1), так и не требующие (LoRa, Sigfox) лицензирования полосы радиочастотного спектра [2]. Не упомянутая здесь технология Wi-Fi, также подходящая для систем беспроводной связи «Интернета вещей» большого радиуса действия, уже была описана в [10].

Понятие «Интернет вещей» обычно соотносится со стандартами, рассмотренными во второй части данной публикации [1] и регламентирующими именно IoT-решения. Однако есть множество приложений, в которых технология «Интернета вещей» требует значительно больших дальности связи и зон покрытия одиночными устройствами. Такие сети с ограниченной мощ-

ностью и большим покрытием часто упоминаются под аббревиатурой LPWAN (англ. Low-power Wide-area Network — энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия). Области применения этих сетей включают: медицину (мониторинг состояния пациентов амбулаторно и на дому), мониторинг ресурсов (контроль качества воды, добыча нефти и полезных ископаемых), индустрию (монито-

ринг и контроль на предприятиях, рассредоточенных на больших площадях), сельское хозяйство (здоровье и местонахождение животных, погода, состояние растений и водопользование). Также они используются в системах «умного города» (транспорт, парковка, качество воздуха, учет коммунальных услуг и стоков), при мониторинге зданий и сооружений и т. п. (рис. 1). Кроме того, сети типа LPWAN могут служить точками доступа для сбора и передачи на большие расстояния данных, которые собраны беспроводными датчиками, объединенными в сетевые кластеры.

Связь на дальние расстояния ранее подразумевала использование достаточно габаритных устройств с относительно высокой потребляемой мощностью, которые редко питались от батарей. Но достижения в области модуляции, разработка и выпуск интегральных схем такой архитектуры, как система на кристалле (англ. 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.



РИС. 1. ►
Технологии LPWAN хорошо подходят для распределенных приложений, таких как «умный город» (транспорт, парковка, качество воздуха, учет коммунальных услуг и стоков) или медицина (амбулаторный мониторинг состояния пациентов)

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 выигрышно увеличить срок службы батареи — за счет уменьшения мощности излучаемого радиосигнала, необходимой для обеспечения требуемого покрытия зоны радиосвязью.

Применение IoT-устройств с большим радиусом покрытия создает 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, развертывают 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 покрытия, распространяясь не только на регионы, но даже на целые страны.

Некоторым компаниям для организации таких сервисов достаточно просто обновить программное обеспечение для существующих базовых станций LTE (от англ. Long-Term Evolution, буквально — долговременное развитие). LTE — это стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных телефонов и других терминалов, работающих с данными. Часто обозначается как 4G LTE. Эти решения, требующие лицензирования по занимаемому спектру частот, предусматривают разные уровни обслуживания и, соответственно, абонентской платы, т. е. подойдут на любой вкус и кошелек. Коммерчески доступное и уже инсталлированное оборудование позволяет также организовать простой выход в Интернет и связь с облаком. LTE является относительно новой технологией, которая

подвержена быстрым изменениям, но некоторые решения в этой области уже сейчас доступны разработчикам «Интернета вещей».

ЧАСТОТЫ, НЕ ТРЕБУЮЩИЕ ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ



LoRa

LoRa (от англ. Long Range) — это достаточно новый метод модуляции и одноименная сетевая технология, продвигаемая открытой некоммерческой организацией LoRa Alliance (консорциум). В альянс входят многие ведущие игроки рынка «Интернета вещей»: IBM, Semtech, Cisco, Inmarsat, Swisscom и др. Технология LoRa имеет несколько иной характер, чем все описанные ранее протоколы беспроводной связи малого радиуса действия, поэтому уделим ей в данном обзоре наибольшее внимание.

Как правило, под LoRa обычно подразумевается 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 объему пакетов данных на дальние расстояния. Такая сеть была разработана специально для распределенных сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия, или так называемого M2M (от англ. Machine-to-Machine), и, собственно, «Интернета вещей». Сеть LoRa является одной из наиболее перспективных беспроводных технологий, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счетчиков 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 частоты 2,4 или 5 ГГц, она отличается от них и по радиочастотным характеристи-

кам, при этом сигналы LoRa могут проникать глубоко в здания и в места, недоступные более высокочастотным сигналам.

Модуляция LoRa сильно выделяется на фоне других типов модуляции, представленных в настоящем 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. LoRa — это набор методов модуляции, запатентованных компанией Semtech, с расширением спектра посредством линейной частотной модуляции — Chirp Spread Spectrum (CSS). В целом суть этого подхода заключается в перестройке несущей частоты по линейному закону [2].

Благодаря такой перестройке сигнал становится устойчивым к эффекту Доплера (для мобильных пользователей) и многолучевому замиранию в отражающей радиочастотной среде, а также получает высокий уровень помехоустойчивости. Кроме того, при таком методе расширения спектра низкие битовые скорости (до 300 бит/с) могут избежать влияния источников узкополосных помех, таких как FSK-сигналы, и успешно восстановиться на приемном 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 еще ниже по отношению к узкополосным источникам помех — из-за усиления, присущего этому виду модуляции с расширенным спектром.

Также технология LoRa позволяет использовать различные комбинации скорости передачи данных и модуляции. Они могут быть выбраны исходя из разных соображений: например, для увеличения скорости передачи данных (до 40 Кбит/с) с меньшим диапазоном покрытия, когда именно скорость передачи является критическим фактором, или для достижения большей дальности связи с низкой радиочастотной мощностью в зашумленных средах. Дело в том, что при снижении скорости передачи данных



РИС. 2. ▲
Организации сети LoRaWAN: датчики сначала подключаются к клиенту LoRa и затем через шлюз LoRa передаются на следующий уровень [4]

на один бит приходится больше энергии и его легче распознать на приемном конце — следовательно, при одной и той же потребляемой мощности и чувствительности приемника дальность связи увеличивается. Интересно, что коэффициенты расширения спектра LoRa, называемые SF (от англ. Spreading Factor), при передаче данных могут быть активны в одном канале, не мешая при этом друг другу. Поскольку сигнал CSS проще декодировать, чем сигналы с другими технологиями расширения спектра, то это можно сделать и с меньшей вычислительной мощностью. Что, в свою очередь, приводит к увеличению времени автономной работы устройств «Интернета вещей», несмотря на более сложное решение в части модуляции.

Технология LoRa фокусируется прежде всего на физических (PHY) уровнях (рис. 2), т. е. нижних в структуре сети от LoRa Alliance. А для более высоких уровней сети консорциум определяет спецификации, которые зависят от региона. Данные передаются по радиоканалам LoRa на шлюзы (также называемые концентраторами), узлы ячеек: к ним подключаются конечные точки, через которые устройства IoT подключаются к Интернету и облачным или прикладным серверам. Консорциум LoRa также определяет требуемое

РИС. 3. ▼
Комплект SX1276 / SX1278 для разработчиков устройств на основе технологии LoRa от компании Semtech: доступен для частот 433, 868 и 915 МГц



тестирование и сертификацию, чтобы предусмотреть совместимость различных устройств LoRa в сети. Для обеспечения безопасности сети и данных в технологии LoRa предназначены защищенные ключи связи — как на уровне сети, так и на уровне приложений, что становится необходимым условием, когда радиосигналы распространяются в большой зоне покрытия [4].

Сеть LoRa может быть развернута либо как отдельная сетевая архитектура, либо как связанная сеть в тех районах земного шара, где имеются операторы сети общего пользования, которые за плату обеспечивают возможность устройств LoRa подключаться через шлюзы для передачи данных в облако. Сеть на основе технологии LoRa впервые была развернута в Европе, но она успешно распространяется и на другие регионы. Помимо компании Semtech, микросхемы LoRa в виде систем на кристалле производят ST Micro и Microchip, что дает разработчикам определенную гибкость в реализации проектов на базе технологии LoRa.

Однако нельзя забывать, что при применении рассматриваемой технологии, даже если используется не требующий лицензирования спектр частот, необходимы сертификация устройств (например, на соответствие нормам, установленным FCC Part 15.247) и подтверждение того, что конкретное устройство действительно соответствует спецификации LoRa. Для сертификации обычно требуются испытания на мощность передатчика, девиацию частоты, занимаемую полосу пропускания, гармоники и спектральную плотность мощности [5]. Сертификацию LoRa и предварительное тестирование уже обеспечивает целый ряд авторизованных испытательных лабораторий.

Несмотря на то, что LoRa — это довольно новый стандарт для разработчиков, им доступны и микросхемы, и готовые модули, и различные тестовые инструменты (рис. 3).



SigFox

SigFox — это еще одна недавняя разработка в области технологии

LPWAN и одноименный сервис подключения. В некотором роде она похожа на LoRa, но использует иной способ достижения аналогичных целей. Технология SigFox была разработана и запатентована в 2009 г. небольшой французской компанией (всего 80 человек персонала) с одноименным названием, которая в области LPWAN сотрудничает с рядом крупных игроков рынка, таких как Texas Instruments, Silicon Labs и ON Semiconductor. По сути, SigFox является проприетарным протоколом беспроводной сетевой связи для IoT-устройств, работающих в диапазонах до 1 ГГц, и предоставляет сеть сотовых шлюзов, которые обеспечивают подключение к Интернету и к облаку. Таким образом, это в целом похоже на коммерческие сети LoRa, но не нацелено на частные сети, где компания устанавливает и сама же поддерживает всю инфраструктуру сети.

SigFox — это односкачковая радиальная, или, как ее еще называют, звездообразная сеть со шлюзами, которые служат контроллерами этой сети. Подобно LoRa, SigFox имеет большой диапазон покрытия и ей свойственно низкое энергопотребление. Но если рассматривать SigFox как радиоканал для передачи данных, то она радикально отличается от LoRa. Для передачи данных SigFox использует сверхузкую полосу частот, так называемую Ultra Narrowband (UNB), с очень низкой скоростью передачи данных. Протокол SigFox очень 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. Да, именно — 100 бит/с с шестисекундными циклами передачи. Однако такая низкая скорость и узкий частотный спектр позволяют экономить энергию батарей и обеспечивают большой радиус покрытия технологии.

Из-за узкой полосы пропускания приемники могут иметь очень низкий уровень собственного шума,

т. е. высокую чувствительность, достигающую порядка -140 дБм, и бюджеты линий связи около -160 дБ при использовании антенн с усилением. 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. Благодаря всем этим характеристикам SigFox может быть самым эффективным решением из всех приведенных в этом обзоре технологий построения LPWAN. Сети SigFox применительно к «Интернету вещей» начали свое развитие во Франции, но уже используются в нескольких европейских странах с постоянным расширением сети и на момент написания обзора охватывают 32 страны.



ЧАСТОТЫ, ТРЕБУЮЩИЕ ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ

Любые существующие беспроводные технологии передачи данных обладают такими характеристиками, как дальность, скорость и энергоэффективность, причем одновременно поддерживать на высоком уровне могут лишь две из них. В рамках интересующей нас темы «Интернета вещей» наибольшую значимость, как правило, имеют дальность и энергоэффективность. Одним из соответствующих для этого решений является использование технологии LTE.

Рассматривая технологию LTE, мы остановимся на применении для нужд IoT требующего лицензирования спектра частот: он относится к сетям сотовой связи и операторы приобретают разрешение на доступ и его использование в рамках предоставления беспроводной телефонии, а также голосовых и информационных сервисов. Голосовые вызовы

и данные по таким сетям передают смартфоны, которыми нас уже не удивишь. Эти «умные» телефоны способны к высокоскоростной передаче данных, но не отличаются длительным временем автономной работы, что требует почти ежедневной зарядки их батарей.

LTE-сети сотовой связи предлагают новые сервисы и низкоскоростные режимы передачи данных. Учитывая, что сотовые сети распространены практически повсеместно, такой подход позволяет устройствам с низким энергопотреблением передавать по ним данные, имея при этом большой диапазон покрытия и длительный срок службы батареи. Однако, как уже было сказано, экономия батарей означает и более низкую скорость передачи данных. Основными предложениями в рамках LTE для разработчиков «Интернета вещей» являются относительно медленный стандарт NB-IoT и более быстрый Cat-M1, что дает известную гибкость в принятии решений.

NB-IoT

NB-IoT (Narrow-Band Internet of Things) — это совсем недавнее дополнение к технологии беспроводного Интернета, которое представляет собой стандарт сотовой связи для устройств телеметрии с малыми объемами передачи данных. Он был создан в рамках работы над стандартами сотовых сетей нового поколения основанным в 1998 г. консорциумом 3GPP (англ. 3rd Generation Partnership Project). Технология NB-IoT является частью инициативы мобильного «Интернета вещей» (Mobile IoT) компании GSMA, направленной на то, чтобы предоставить пользователям недорогие линии связи с низким энергопотреблением для IoT-сетей с применением стандартов сотовой связи. Сегодня эта инициатива, хотя она все еще находится в стадии становления, уже подает большие надежды [6].

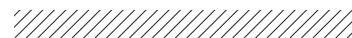
Технология NB-IoT, как уже было сказано, имеет низкую скорость передачи данных, но большое покрытие — благодаря использованию возможностей LTE-сетей. Поскольку в данном случае применяется требующий лицензирования спектр частот, за доступ к которому операторы сотовой связи платят миллиарды долларов, то они, естественно, будут взимать плату и за использо-

вание их каналов для передачи данных. Кроме того, они будут настаивать еще и на строгом тестировании неспецифической для них аппаратуры на соответствие требованиям стандартов и необходимой сертификации. Что, правда, также подразумевает и гарантию высокой надежности. Технология NB-IoT предлагает покрытие буквально в национальном масштабе. Этого можно достичь благодаря не только использованию уже существующей инфраструктуры сотовой сети, но и особенностям узкополосного радиочастотного сигнала. Так что в результате охват будет даже больше, чем в случае сотовой телефонии [9]. NB-IoT предусматривает скорость передачи данных от 20 до 250 Кбит/с — в зависимости от того, какие ресурсы LTE-сети используются.

Операторы некоторых сотовых сетей могут добавлять в них NB-IoT, всего лишь обновляя программное обеспечение для своего оборудования, поэтому данная технология будет разворачиваться достаточно быстро. Поскольку это лишь расширение уже существующих стандартов, то испытательное оборудование и программное обеспечение для проверки соответствия NB-IoT их требованиям уже доступны. Имеются и инструменты для моделирования и проверки решения [7]. Кроме того, разработчикам устройств этой технологии уже доступны готовые модули, которые обеспечивают должное функционирование конечного оборудования в сотовых сетях.

Cat-M1

Cat-M1 — еще одна новая технология беспроводной связи, разработав которую, компания Gemalto в партнерстве с Sequans Communications совершили революцию в сфере подключения к «Интернету вещей» по технологии LTE [8]. Как и в случае с NB-IoT, здесь также используется требующий лицензирования спектр частот LTE-сети сотовой связи. В полудуплексном режиме технология Cat-M1 обеспечивает скорость передачи данных до 1 Мбит/с. Поскольку используется сотовая сеть, то будет применяться подписка под соответствующие скорости передачи данных, но Cat-M1 предусматривает более высокую скорость передачи данных, чем устройства NB-IoT. Некоторые приложения, которые



нуждаются в такой скорости и охвате на уровне существующей сотовой инфраструктуры, найдут в технологии Cat-M1 оптимальное решение. Первое объявление об общенациональной доступности Cat-M1 появилось в США в марте 2017 г.

Гибридные сети

Гибридные сети объединяют протоколы сетей ближнего и дальнего (LPWAN) радиуса действия в общую сеть. Локальные кластеры IoT-устройств переносят данные на центральный узел с использованием, например, технологий Bluetooth или ZigBee, где они агрегируются и передаются для дальнейшей ретрансляции в сети с большим диапазоном покрытия, такие как LoRa или Cat-M1 (рис. 4). Это практическая модель организации сетей сбора данных о предоставленных коммунальных услугах, таких как водо- и газоснабжение, учет электроэнергии и т. п. Она используется для сбора данных со счетчиков в виде IoT-устройств, применяющих технологии беспроводной связи ближнего радиуса действия, объединенные в кластеры и ячеистые (mesh) сети, а затем периодически отправляющих результаты в облако с помощью беспроводных или проводных сетей дальнего радиуса действия. Этот подход дает возможность использовать множество недорогих и потребляющих мало энергии устройств. Применение таких гибридных решений позволяет организовать не только сбор «больших данных» для анализа, но и их мониторинг в реальном времени. Благодаря этому можно, например, повысить качество предоставления коммунальных услуг в рамках «умных городов», а также получить эффективную технологию

для сельскохозяйственных и промышленных предприятий.

Рассмотрим комбинацию технологий ZigBee и Cat-M1 в гибридной сети для мониторинга и выставления счетов за коммунальные услуги. В данном случае ZigBee может служить нижним физическим слоем, связывая несколько десятков недорогих и близко расположенных счетчиков воды с надежной ячеистой сетью. Эта сеть передает данные в агрегатор на Cat-M1, который, в свою очередь, периодически подключается к сотовой сети для отправки отчетов о потребленной воде и стоках. Скорости передачи данных в такой комбинированной системе будут низкими (возможно, только один отчет в день на каждый счетчик), хотя в чрезвычайных или исключительных ситуациях, если счетчики являются интеллектуальными и могут изменять режим работы по команде, обновления данных будут доступны почти мгновенно. Низкоуровневая ячеистая сеть на основе технологии ZigBee достаточно надежна и способна поддерживать связь с более удаленными счетчиками в случае отказа узла, что достигается путем динамической реконфигурации сети. Соединение Cat-M1 обладает надежностью на уровне сотовой сети, а любое вмешательство и возможная потеря данных могут быть быстро устранены благодаря тщательно контролируемому интерфейсу сотовой системы, применяемой в рамках «Интернета вещей».

Возьмем другой пример, чтобы показать возможности использования гибридной IoT-сети в рамках сельскохозяйственного предприятия, а именно в составе контрольно-измерительного оборудования для системы орошения. В качестве датчиков расхода воды на насосах, трубах и поливочных приспособлениях, а также как датчики движения и деформации несущих конструкций могут применяться устройства с Bluetooth или ZigBee. Предположим, что они питаются за счет сбора свободной энергии (energy harvesting) — например, используя энергию воды, циркулирующей в системе полива. IoT-устройства сообщают текущие данные об условиях функционирования в сеть дальнего радиуса действия и далее в интегрированное программное обеспечение управления фермой в облаке. Таким обра-

зом, контроль и управление подачей воды для орошения осуществляются на основе стоимости энергии, текущих и прогнозируемых погодных условий с учетом влажности почвы и т. д. Фермер, где бы он ни находился, может получать отчеты на смартфон и точно знать, когда система полива не работает, или — в том случае, если цена на электроэнергию меняется, — определять другие условия выращивания сельскохозяйственных культур с использованием текущих данных.

«СТРИЖ»

Разработчикам беспроводных решений для IoT-сетей сейчас доступны не только международно-признанные протоколы и перечисленные выше технологии. Названные сети имеют ряд ответвлений и продолжают развиваться. Кроме того, появляются и национальные решения. Так, например, в России была разработана система передачи данных с точек учета под названием «СТРИЖ».

«СТРИЖ» — это платформа для сбора данных на базе беспроводных LPWAN. Используя новый энергоэффективный протокол радиосвязи, она позволяет устройствам передавать информацию на десятки километров и при этом работать в течение нескольких лет на одной батарее. «СТРИЖ» позиционируется как технология передачи небольшого объема данных — до 20 байт с малой частотой обновления. Однако она, несомненно, представляет определенный интерес. По мнению разработчиков системы, данная технология позволяет создать сеть, в которой одна базовая станция собирает данные в радиусе 50 км с сотен тысяч разнотипных автономных датчиков (рис. 5) [11]. Но, поскольку «СТРИЖ» требует собственной инфраструктуры, включая базовые станции, он вряд ли будет дешевле технологий на базе существующих сетей LTE, хотя стоимость оборудования для точки измерения может быть и ниже.

ВЫБОР БЕСПРОВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОЕКТА

Этот обзор не будет полным без упоминания о том, что должен сделать разработчик для внедрения своего IoT-устройства с исполь-



РИС. 4. ▶ Модуль RM1xx от компании Laird, включающий коммуникационные возможности для протоколов беспроводных сетей LoRa и Bluetooth [6]

зованием пользовательского протокола на любом требующем или не требующем лицензирования участке спектра частот. Такие продукты присутствуют на рынке уже много лет, и некоторые появились еще до того, как «Интернет вещей» из концепции превратился в практически реализуемую технологию и его стали применять в области медицины, для мониторинга зданий и сооружений и в целом ряде других приложений. Что касается возможностей для организации каналов передачи данных, то современным разработчикам доступен широкий выбор. Если говорить о беспроводных технологиях IoT, которые являются темой данной серии статей, то, например, в США имеется много отличающихся от обычных и не требующих лицензирования частот в диапазонах 915 МГц, 2,4 ГГц и 5,7 ГГц. Поэтому в рамках нормативных требований FCC CFR 47 Part 15, т. е. для использования с ограниченным регулированием в части характеристик сигнала, доступны десятки диапазонов. При этом выделены определенные полосы для медицинских устройств «Интернета вещей» конкретного назначения.

В зависимости от целевого рынка и необходимого спектра частот разработчик может выбрать нужные типы модуляции и беспроводные протоколы для удовлетворения тех или иных ключевых требований к своим IoT-устройствам. При этом сейчас доступны широкие возможности для изготовления устройств под особые требования заказчиков, но в этом случае предусмотрено меньше стандартных рецептов, поэтому проверка и тестирование конечных продуктов будут выполняться с использованием более универсального тестового оборудования и программного обеспечения. Углубление в эти вопросы, нужное более опытным разработчикам, — это уже тема для отдельной статьи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Независимо от того, ближнего или большого радиуса действия устройство, работает ли оно в лицензированном или не требующем лицензирования диапазоне частот, «Интернет вещей» определенно станет важной частью нашей жизни уже в течение ближайшего

десятилетия. Это связано с тем, что он открывает много новых возможностей, которые обеспечиваются именно благодаря недорогому беспроводному подключению. Используя свой потенциал, «Интернет вещей» может не только улучшить качество жизни людей и повысить эффективность производства и производительность труда, но и спасти много жизней. Разработчики оборудования и устройств в этом направлении техники и технологий находят все новые и новые творческие приложения для недорогих автоматизированных коммуникаций. Поэтому им важно знать о доступных на настоящий момент беспроводных технологиях «Интернета вещей». Это поможет не только разрабатывать и тестировать новые устройства, но и быстро выводить их на рынок, причем с гарантией надежной работы и совместимости функционирования с другим оборудованием.

Несомненно, конкуренция между технологиями и производителями может сыграть на руку как разработчикам, так и пользователям интеллектуального, или smart-оборудования, в том числе подключенного к IoT. Однако при этом не стоит забывать, что сиюминутная выгода от невзвешенного предпочтения одной из технологий может создать много проблем в будущем. Недаром английское слово smart означает не только «умный, интеллектуальный», но и то, что может вызвать жгучую боль.

Как было сказано в первой части этой серии статей, в путеводителе не ставилась задача объять необъят-

ное — читателям была дана только общая информация по доступным решениям беспроводной связи для «Интернета вещей». Для получения более детальных сведений следует обращаться к действующим на текущий момент международным версиям соответствующих официальных стандартов и протоколов, обязательно учитывая наложенные на них национальные ограничения. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Реннок В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 2. Ближний радиус действия // Control Engineering Россия. 2018. №1.
2. Реннок В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 1. Сети, шлюзы, облака и протоколы // Control Engineering Россия. 2017. №6.
3. Верхулевский К. LoRa — все, что вы хотели знать об этом // Компоненты и технологии. 2016. №3.
4. Хогья Э., Кей Д. Как развернуть беспроводные сенсорные сети в сложных условиях индустриальной среды // Control Engineering Россия. 2017. IIOT.
5. Реннок В. Что нужно знать об испытаниях на выполнение требований по ЭМС для изделий коммерческого назначения // Компоненты и технологии. 2017. №7.
6. Фремонт Ф. «Интернет вещей»: сложное становится доступным. www.controlengrussia.com/internet-veshhej/visible-things.
7. www.youtube.com/playlist?list=PLv05Bzr3tM52F9KokdHz74PC-f4soW2s0.
8. www.benzinga.com/pressreleases/17/03/n9236121/verizon-launches-industrys-first-lte-category-m1-cat-m1-nationwide-netw.
9. Narrowband IoT (NB-IoT): Cellular Technology for the Hyperconnected. Keysight Technologies. www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-2360EN.pdf.
10. Реннок В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 3. Wi-Fi // Control Engineering Россия. 2018. №2.
11. www.strjz.tech.

Рис. 5. ▼ Организация сети «СТРИЖ»

