

Программно-аппаратные решения российской компании «Тингеникс» для LPWAN

Часть 1. Сети LoRaWAN

Данный материал открывает цикл публикаций, посвященных продукции компании «Тингеникс» для LPWAN. В первой части рассматриваются общие принципы построения сетей LoRaWAN, приведен общий обзор продукции фирмы, соответствующей стандарту LoRa.

Виктор Алексеев
victor.alexeev@gmail.com

Введение

В настоящее время одним из магистральных направлений «Интернета вещей» (IoT) является Low Power Wide Area Network (LPWAN) — глобальные беспроводные сети с устройствами малой мощности. Наиболее интенсивно сегодня развиваются два направления — сети нелицензионного диапазона LoRaWAN и сети лицензируемого диапазона стандарта 3GPP Rel. 13.

Учитывая основные тенденции развития рынка IoT, в 2016 г. была создана российская фирма «Тингеникс», разрабатывающая и поставляющая решения и продукты для этого сегмента, в состав которой вошли специалисты с большим опытом работы в крупнейших российских и западных компаниях [1]. Основное направление деятельности фирмы заключается в разработке и производстве программного обеспечения и аппаратных средств, которые позволяют использовать IoT для решения самых разнообразных задач в таких областях, как производство, транспорт, ЖКХ, сельское хозяйство и т. д. В данной статье мы остановимся только на общих вопросах и обзоре продукции фирмы «Тингеникс» для сетей LoRaWAN.

Дешевые, экономичные мобильные устройства LPWAN, работающие в нелицензируемом диапазоне частот, можно разбить на два основных класса:

- широкополосные — UWB Ultra Wide Band (например, LoRa — один канал занимает полосу в эфире шириной 125 или 250 кГц);
- узкополосные — UNB Ultra Narrow Band (например, Sigfox, «СТРИЖ Телемати-

ка» — один канал занимает полосу в эфире шириной 100 Гц).

Далее мы рассмотрим только устройства UWB Ultra Wide Band.

Модуляция LoRa

Для бурно развивающихся приложений беспроводной связи, таких, например, как IoT, системы учета расхода воды, газа, электричества, точное земледелие и другие аналогичные услуги, необходимы мобильные устройства, отличающиеся простотой, небольшой ценой и минимальным энергопотреблением. Одной из наиболее удачных разработок, учитывающих эти требования, является технология LoRa (Long Range), предложенная и запатентованная американской фирмой Semtech Corporation [1].

Технология модуляции LoRa является проприетарной, запатентованной Semtech. LoRa определяет метод модуляции в разрешенном нелицензируемом диапазоне частот ISM, который привлекает разработчиков прежде всего тем, что нет необходимости получать лицензии на пользование эфиром. В основном LoRa реализуется на частотах 863–870 (868, реже на 433) МГц в Европе, в том числе и в РФ [2]. В США принят диапазон 902–928 (915) МГц, а в Азии — 779–787 МГц. В РФ свободное использование, не требующее регистрации, разрешено для неспециализированных устройств малого радиуса действия, имеющих эквивалентную изотропно-излучаемую мощность (ЭИИМ) не более –17 дБВт в диапазонах 433,075–434,79 МГц. В диапазонах 864–865 и 868,7–869,2 МГц безлицензионное использование разрешено для неспециализированных

устройств малого радиуса действия с мощностью до 25 мВт [3, 4].

В зависимости от мощности сигнала и расстояния, сети на базе технологии LoRa поддерживают скорости от 30 бит/с до 50 кбит/с в режиме ADR (Adaptive Data Rate). Устройства могут работать на расстояниях до 20 км при минимальном энергопотреблении, обеспечивающем несколько лет автономной работы на одном аккумуляторе типа AA. Максимальная длина пакета LoRa составляет 256 байт. С технической точки зрения, технология LoRa предпочтительнее в том случае, когда необходима надежная симметричная связь в обоих направлениях — UL («вверх») и DL («вниз»), что выгодно отличает ее от систем UNB.

В технологии LoRa объединены две известные методики — расширение спектра и спектральная модуляция.

Метод расширения спектра использует более широкую полосу частот по сравнению с минимальным диапазоном частот, который требуется для передачи данного информационного пакета. В LoRa расширение спектра реализовано с применением линейной частотной модуляции Chirp Spread Spectrum (CSS). На физическом уровне PHY устройства с поддержкой CSS регламентируются стандартом IEEE 802.15.4 для сетей Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN) [2]. Другой метод, используемый в технологии LoRa, называется спектральной модуляцией (Spread Spectrum Modulation, SSM). В этом методе применяется множество расширяющих сигналов одинаковой амплитуды, разнесенных по частоте. При этом каждый из компонентных сигналов кодируется с помощью псевдослучайной последовательности или специальной таблицы преобразования. Иными словами, в технологии LoRa данные кодируются широкополосными импульсами с частотой, изменяющейся в некотором интервале времени [4]. Благодаря методу SSM технология LoRa очень устойчива к воздействию коротких импульсных помех. Пример реального сигнала LoRa показан на рис. 1 [2].

В технологии LoRa поддерживается прямая коррекция ошибок (Forward Error Correction, FEC). Комбинация методов CSS, SSM и FEC позволяет LoRa выделять полезный сигнал на уровне сильных помех за счет исключения каналов, в которых обнаружены узкополосные шумы. Кроме того, LoRa очень устойчива по от-

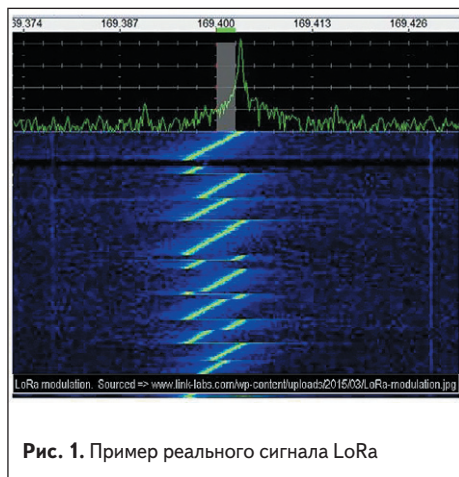


Рис. 1. Пример реального сигнала LoRa

ношению к интерференциям как внутри, так и за пределами рабочего диапазона, что дает возможность свести к минимуму искажения, вызванные эффектом отражений в условиях городской застройки.

Технология LoRa использует всю ширину полосы пропускания канала для передачи сигнала и поддерживает чувствительность приемника -148 дБм, что позволяет работать на уровне 19,5 дБ ниже уровня шумов с очень низкими полезными сигналами.

Сети LoRaWAN

Совокупность метода модуляции LoRa и открытого стека протоколов верхних уровней поддерживается открытым некоммерческим объединением LoRa Alliance. В состав этой организации входят такие известные мировые вендоры, как, например, IBM, ST, Semtech, Cisco, ZTE, Gemalto, Microchip, Renesas, Orange и многие другие ведущие производители электронного оборудования, а также операторы сотовой связи. На начало 2017 г. LoRa Alliance насчитывал более 420 прямых и ассоциированных членов из Европы, Америки, Азии и Африки, Китая (Тайвань). Участники альянса разрабатывали и непрерывно совершенствуют открытый протокол LoRaWAN для сетей с поддержкой технологии LoRa.

Протокол LoRaWAN определяет доступ к среде на канальном уровне MAC и описывает общую структуру сети мобильных устройств IoT с поддержкой технологии LoRa.

В принципе, технология LoRa может быть реализована несколькими способами на базе комбинаций различных механизмов доступа к среде и методов управления работой приложений. Такой подход используется при разработке специализированных микросхем с модуляцией LoRa и открытой средой программирования.

В стандартном варианте сеть LoRaWAN состоит из сетевого сервера, сервера приложений, шлюзов и конечных мобильных устройств (рис. 2) [3]. Рассмотрим все эти составляющие

по отдельности, уделив особое внимание конечным устройствам.

Сетевой сервер

Сетевой сервер (Network Server, NS) — это главное управляющее устройство, которое координирует работу всей сети LoRaWAN, включая инфраструктуру и конечные устройства.

NS thingenix, соответствующий стандарту LoRaWAN 1.0.2, доступен в качестве облачного сервиса и предоставляет дополнительные возможности по управлению конфигурациями и ПО оконечных устройств. Его уникальной функцией является встроенная система геолокации устройств, подключенных к сети, с использованием данных о времени получения пакета и уровне сигнала от нескольких шлюзов.

Все интерфейсы NS thingenix доступны в виде открытых API для интеграции со внешними системами. Сетевой сервер устанавливается на любые серверы под управлением ОС Linux и использует доступные компоненты с открытым исходным кодом. NS thingenix обеспечивает поддержку классов A и C.

Сервер приложений

Сервер приложений (Application Server, AS) представляет собой в общем случае просто приложение, которое работает с данными оконечных узлов и взаимодействует с ними через NS. Именно таким образом реализуется общее управление сетью и декодирование сообщений.

Входящий в комплект программного обеспечения NS thingenix встроенный сервер приложений обеспечивает, при необходимости, декодирование данных, получаемых от устройств, и их передачу в информационные системы с использованием REST, WebSocket или MQTT. На рис. 3 показано рабочее окно Network Server NS Thingenix [1].

Шлюзы

Шлюзы (Concentrator/Gateway, CG) функционально являются базовыми станциями сети LoRa, обеспечивающими радиобмен

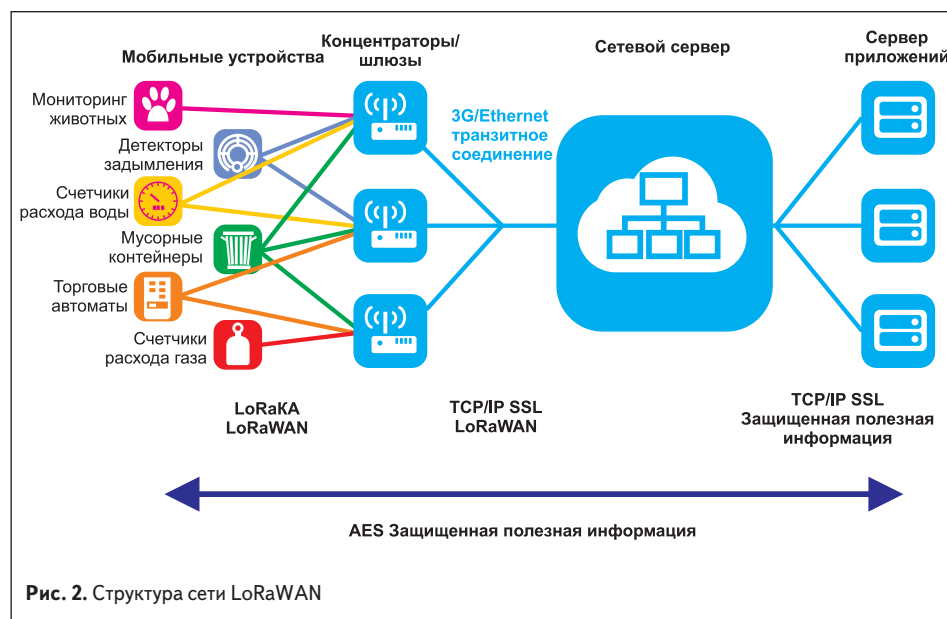


Рис. 2. Структура сети LoRaWAN

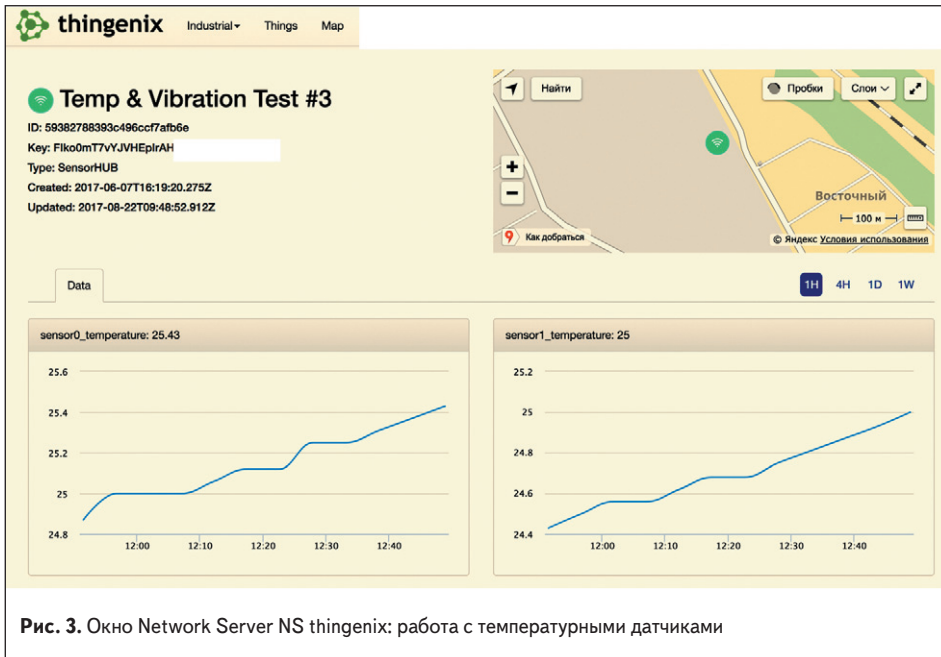


Рис. 3. Окно Network Server NS thingenix: работа с температурными датчиками

с оконечными устройствами. В процессе работы шлюзы принимают из эфира радиопакеты LoRa, которые они в состоянии обработать, и перенаправляют их на сетевой сервер. По командам NS они передают необходимые радиопакеты по заданному расписанию. В силу, как правило, невысоких требований к полосе пропускания, для подключения шлюза к Интернету могут быть также использованы существующие сети 3G/LTE.

Шлюз производства «Тингеникс» CG thingenix работает под управлением высокопроизводительного процессора ARM. В качестве основы структуры блок-схемы CG thingenix использован комплект специализированных микросхем Semtech SX1301/SX1257. Операционная система ОС Linux принята в качестве среды управления.

Корпус шлюза, обеспечивающий защиту от влаги и пыли в соответствии со стандартом IP67, позволяет размещать устройства на открытом воздухе. Встроенные датчики температуры и влажности дают возможность постоянного контроля условий эксплуатации прибора.

Конструкция шлюза позволяет осуществлять монтаж на стену или на мачту. В комплектацию входит всенаправленная антенна с коэффициентом усиления 9 дБи (дБ относительно изотропного излучателя) и внешняя антенна GPS. Дополнительно в конструкцию шлюза может быть установлен модуль 3G/LTE для подключения через мобильные сети связи.

Основные технические характеристики шлюза CG thingenix:

- чувствительность до -138 дБ;
- мощность передатчика до $+20$ дБ;
- всенаправленная антенна 9 дБи;
- встроенный GPS-приемник;
- питание PoE IEEE 802.3af;
- герметичный разъем RJ45;
- уровень защиты от влажности IP67;
- возможность удаленного управления и мониторинга;

- диапазон рабочих температур $-40...+60$ °С.

Конечные мобильные и стационарные устройства

Конечные мобильные и стационарные устройства (End Nodes) представляют собой различного рода интеллектуальные и пассивные исполнительные механизмы и сенсоры, контролируемые сетью LoRaWAN.

В отличие от технологий UNB (Sigfox, «СТРИЖ»), сети LoRaWAN обеспечивают надежную двустороннюю связь между конечными и управляющими устройствами. Конечное устройство, являющееся инициатором начала связи, отправляет серверу стартовый пакет и переходит в режим ожидания ответа. В свою очередь сервер в случае необходимости может передавать команды управления конечному устройству.

В сетях LoRaWAN регламентируются три класса конечных мобильных устройств:

- Двухнаправленные конечные устройства класса А (Bi-directional end-devices, Class A, all) — это наиболее энергоэффективные датчики или актуаторы с батарейным

питанием и неограниченным временем ожидания выхода в эфир, принимающие данные только после запроса серверу.

- Двухнаправленные конечные устройства класса В (Bi-directional end-devices, Class B, beacon) — устройства с батарейным питанием, принимающие и передающие данные в окнах, заданных по расписанию.
- Двухнаправленные конечные устройства класса С (Class C, continuous) — устройства с внешним стационарным питанием, которые всегда находятся в режиме приема в промежутках между своими передачами, а также способные поддерживать возможность групповой рассылки (multicast).

В настоящее время «Тингеникс» выпускает следующие типы оконечных устройств LoRaWAN:

- многоцелевой сенсорный концентратор Sensor HUB LoRaWAN thingenix с поддержкой более 20 различных сенсоров;
- шлюз для подключения к сетям LoRaWAN устройств с интерфейсом CAN;
- шлюз для подключения к сетям LoRaWAN устройств с интерфейсом RS-485;
- универсальный встраиваемый радиомодуль для подключения внешних интеллектуальных электрических счетчиков и иных устройств к сети LoRaWAN;
- малогабаритный счетчик импульсов со встроенным портом RS232 и сухими контактами.

Многоцелевой сенсорный концентратор Sensor HUB

Sensor HUB (рис. 4) предназначен для построения систем сбора показателей различных датчиков, таких, например, как датчики концентрации различных газов, температуры и влажности, вибрации, шума, освещенности, температуры, влажности и влагоемкости почвы, давления жидкостей и т. д. Возможно подключение до четырех датчиков в любой комбинации. При этом все датчики платформы могут подключаться в режиме Plug & Play без какой-либо дополнительной конфигурации или перезагрузки устройства. Питание устройства может осуществляться как от сети 220 В, так и от встроенного аккумулятора или с использованием солнечных батарей. Сенсорная платформа Sensor HUB соответствует спецификации LoRaWAN класс А и поддерживает подключение к сети в режиме OTAA или ABP. При этом обеспечивается удаленное изменение параметров конфигурации, таких, например, как частота передачи показаний, передача пакетов с подтверждением или без, и др.

Корпус прибора соответствует классу защиты от влаги IP67. Диапазон рабочих температур $-40...+85$ °С.

Интеллектуальные датчики LoRaWAN thingenix

Интеллектуальные датчики LoRaWAN thingenix — это согласованные с универсальной сенсорной платформой Sensor HUB промышленные датчики для определения давления и температуры, датчики содержания влаги в почве, а также измеритель-



Рис. 4. Внешний вид многоцелевого сенсорного концентратора Sensor HUB

ные устройства для контроля загрязнения воздуха.

В настоящее время доступны следующие типы датчиков:

- промышленный 3D-вибродатчик с поддержкой виброспектрографии;
- промышленный датчик для измерения температуры различных поверхностей и жидкостей;
- датчик влажности почвы;
- датчик содержания мелкодисперсных частиц в воздухе PM2.5 (2,5 мкм) и PM10 (10 мкм);
- датчики определения содержания в воздухе токсичных газов:
 - CO (монооксид углерода) 0–500 ч/млн;
 - CO₂ (диоксид углерода) 0–5000 ч/млн;
 - SO₂ (диоксид серы) 0–20 ч/млн;
 - NO₂ (диоксид азота) 0–20 ч/млн;
 - NO (монооксид азота) 0–250 ч/млн;
 - NH₃ (аммиак) 0–100 ч/млн.

Промышленный 3D-вибродатчик (рис. 5) обеспечивает трехмерный контроль толчков, колебаний и ударов в диапазоне 0–16г с частотой до 1000 Гц. Датчик подключается к сети LoRaWAN через концентратор Sensor HUB. Он размещен в герметичном ударопрочном корпусе со встроенным неодимовым магнитным креплением.

Промышленный датчик для измерения температуры различных поверхностей и жидкостей (рис. 6) предназначен для работы в диапазоне температур –55...+125 °С.

Датчик влагоемкости почвы (рис. 7) предназначен для определения влагоемкости почвы в диапазоне 0–200 кПа. Эти датчики могут быть использованы в сельском хозяйстве для систем точного земледелия.

Эти датчики не требуют конфигурирования при подключении, поскольку их калибровка проводится непосредственно на производстве.

Следует отметить, что все датчики газов распознаются и конфигурируются платформой Sensor HUB автоматически. При этом никаких дополнительных действий пользователя не требуется. Датчики можно подключать и отключать без выключения питания или перезагрузки платформы Sensor HUB.

Кроме перечисленных выше, поддерживаются и другие датчики — такие, например, как:

- промышленный для измерения давления жидкостей;
- ультразвуковой расстояния/уровня;
- освещенности;
- направления и скорости ветра;
- температуры и влажности атмосферного воздуха;
- атмосферного давления.

«Тингеникс» также осуществляет интеграцию сторонних датчиков с платформой Sensor HUB. Дополнительная информация о продукции фирмы будет опубликована в следующих номерах журнала.

Шлюз RS-485 LoRaWAN

Шлюз RS-485 LoRaWAN (рис. 8) предназначен для сбора информации с устройств, подключенных к шине RS-485, с использованием различных протоколов и передачи собранной

информации через сеть LoRaWAN. Шлюз поддерживает протоколы ModBus, а также специальные протоколы электросчетчиков «Меркурий» и «Энергомера». Питание осуществляется от сети переменного тока, а также от шины RS-485.

Прибор имеет цифровой вход (сухие контакты), предназначенный для подключения внешнего датчика, который можно использовать, например, для контроля несанкционированного доступа. Для управления можно использовать режим удаленного конфигурирования.

Шлюз выполнен в конструкторе для монтажа на стандартную DIN-рейку. Внешний разъем для подключения антенны SMA позволяет установить антенну непосредственно на устройство или подсоединить через удлинительный кабель.

Встроенный резервный источник дает возможность контролировать потерю основного электропитания.

Шлюз CAN LoRaWAN

Шлюз CAN LoRaWAN позволяет производить сбор информации с устройств, подключенных к шине CAN, с использованием различных протоколов и осуществлять передачу собранной информации через сеть LoRaWAN. В качестве одного из примеров типовых применений адаптера CAN можно привести сбор и передачу показаний от нескольких счетчиков электроэнергии. В базовой конфигурации шлюз поддерживает протоколы электросчетчиков «Меркурий». Кроме того, существует возможность поддержки других нестандартных протоколов.

Питание шлюза осуществляется от сети 220 В. Возможно питание устройств, подключенных к шине CAN напряжением 5 В.

В остальном функциональные характеристики этого устройства совпадают с отмеченными выше для шлюза RS-485.

Счетчик импульсов PC-LoRaWAN thingenix

Счетчик импульсов PC-LoRaWAN thingenix — это конечное устройство для сетей LoRaWAN, позволяющее собирать показания с любых счетчиков с импульсным выходом и передавать эту информацию по сети LoRaWAN. Кроме того, это устройство может транслировать на центральный сервер текущее состояние дискретных датчиков (сухой контакт). Этот универсальный адаптер поддерживает подключение к сети LoRaWAN в режиме OTAA или ABP. В каждом пакете передается текущее показание счетчиков или состояние датчиков, а также уровня заряда элементов питания и температуры внутри корпуса.

Отличительной особенностью счетчика импульсов является крайне низкое энергопотребление. Срок работы от одного литиевого элемента питания ER14505M может составлять до пяти лет в зависимости от частоты передачи показаний датчика.

В набор стандартных опций входит удаленное изменение параметров конфигурации (частота передачи показаний, передача пакетов с подтверждением или без, задержки при об-



Рис. 5. Промышленный 3D-вибродатчик для платформы Senso rHUB



Рис. 6. Промышленный температурный датчик для работы в сетях LoRaWAN



Рис. 7. Датчик влагоемкости почвы



Рис. 8. Внешний вид шлюза RS-485 LoRaWAN thingenix

работке импульсов, режим работы счетчик/датчик). Этот счетчик импульсов соответствует спецификации LoRaWAN 1.0.2 и поддерживает функции ADR.

Универсальный радиомодуль

Универсальный встраиваемый радиомодуль для подключения внешних интеллектуальных электрических счетчиков к сети LoRaWAN предназначен для работы с электросчетчиками, выпускаемыми ведущими российскими производителями. Он относится к двунаправленным конечным устройствам LoRaWAN класса С и может работать как с однофазными (4 тарифа), так и с трехфазными (8 тарифов) счетчиками электрической энергии. Модуль встраивается, например, в счетчики производства завода СПб-ЗИП, которые соответствуют требованиям ГОСТ 31818.11-2012 и ГОСТ 31819.21-2012. После предварительной квалификации модуль можно использовать со счетчиками и других производителей.

Заключение

К отличительным особенностям сетей LoRaWAN можно отнести гибко перестраиваемые значения скоростей передачи данных и выходной мощности устройств, частотное разделение каналов и возможность демодулирования сигналов в одном частотном канале на разных скоростях.

Основным преимуществом LoRa является простота реализации на физическом уровне РНУ мобильного устройства сложного модулированного сигнала, который может надежно транслироваться на большие расстояния при наличии больших помех.

Для организации сетей LoRaWAN необходимо специальное оборудование в виде шлюзов, играющих роль, сходную с ролью базовых станций в сетях 2G/4G.

В условиях городской застройки один шлюз покрывает область с радиусом около 3 км. На открытой местности в зоне прямой видимости радиус действия LoRaWAN может достигать 15–20 км. Один такой шлюз может обслуживать несколько десятков тысяч конечных устройств — в зависимости от количества сообщений в единицу времени.

Концепция LoRa оптимальным образом сочетает в себе такие свойства, как безлицензионный диапазон, открытость стандарта, а также доступность оборудования и конечных устройств.

В заключение статьи целесообразно обратить внимание на следующие отличительные черты, характеризующие «Тингеникс». Модульность и открытость программных и аппаратных решений позволяет использовать продукцию компании как в виде законченного, полностью готового к использованию продукта, так и в качестве отдельных элементов, позволяющих пользователю создавать свои собственные системы с минимальными затратами

и в минимальные сроки. Приборы «Тингеникс» могут быть использованы как для построения сетей операторского класса, так и для корпоративных сетей. Последнее в ряде случаев является более привлекательным для крупных производственных компаний. Особенно следует подчеркнуть, что относительная простота развертывания и экономичная цена комплектующих позволяет быстро создавать сети LoRa и организовывать передачу данных в тех местах, где отсутствует инфраструктура мобильных операторов связи, — таких, например, как удаленные площадки, карьеры открытой разработки, сельскохозяйственные угодья, вахтенные станции, месторождения газа, нефти и полезных ископаемых и т. д. Важно то, что все эти площадки могут управляться централизованно из облачного сервиса.

Для пользователей, которые не знакомы с особенностями технологий LPWAN, фирма «Тингеникс» предлагает полностью законченные решения, которые будут сопровождать квалифицированные специалисты, имеющие большой опыт проектирования и создания таких сетей. ■

Литература

1. www.thingenix.com/
2. <https://cdn.instructables.com/F9U/TTJX/I8YBOW01/F9UTTJXI8YBOW01.MEDIUM.jpg>
3. www.atim.com/wp-content/media/img/fr/techno/lorawan/lora_network.png