

Базовые станции Kerlink для LoRaWAN

Компания Kerlink, признанный лидер в разработке и производстве средств связи для M2M-сегмента, в конце прошлого года анонсировала выпуск станций «Интернета вещей» большого радиуса действия. Базовые станции являются важным звеном в архитектуре LoRaWAN, предназначены для получения большей дальности связи и построены на основе технологии LoRa компании Semtech. Данное решение, совместимое с существующими протоколами WMBUS и 6LoWPAN, позволяет интеграторам создавать свои собственные сети, обеспечивающие двусторонний обмен информацией с тысячами датчиков, счетчиков и других устройств на расстоянии до десятков километров.

Константин Верхулевский
info@icquest.ru

Введение

Бурное развитие сетей с пакетной коммутацией в начале 2000-х годов привело к тому, что мировое телекоммуникационное сообщество сначала выработало, а затем и приступило к реализации новой парадигмы развития коммуникаций — сетей следующего поколения. При этом предполагалось, что основными пользователями таких сетей будут люди и, следовательно, максимальное число абонентов всегда будет ограничено численностью населения нашей планеты. Однако развитие метода радиочастотной идентификации (RFID), распространение беспроводных сенсорных сетей (WSN), а также взрывной рост применения смартфонов и планшетных компьютеров способствовали появлению огромного числа интегрированных

с Интернетом технических устройств («вещей»), взаимосвязанных между собой.

Согласно данным консалтингового подразделения Cisco IBSG (Internet Business Solutions Group), число подключенных к Интернету устройств в 2015 г. составило 25 млрд штук, а к 2020 г. прогнозируемое количество достигнет 50 млрд шт. по мнению специалистов Cisco, «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) — всего лишь момент времени, когда количество материальных объектов, имеющих выход в Интернет, превысило число людей, пользующихся Всемирной паутиной. Таким образом, согласно расчетам, эволюционный переход от «Интернета людей» к «Интернету вещей» уже произошел в промежутке между 2008 и 2009 гг. (рис. 1).

В общем случае под «Интернетом вещей» понимается совокупность разнообразных приборов, автономных датчиков и исполнительных устройств, объединенных в сеть посредством любых доступных каналов связи (проводных или беспроводных), использующих различные протоколы взаимодействия между собой и единственный протокол доступа к глобальной Сети. В роли глобальной Сети в настоящий момент используется Интернет, а общим протоколом является IP. Наиболее важные отличия «Интернета вещей» — существенно большее число подключенных объектов, их меньшие размеры, как правило, невысокие скорости передачи данных, а также необходимость создания новой инфраструктуры и альтернативных стандартов. Для окончательных устройств сети, обычно выполняющих функции сбора и анализа данных, не так важны скорость и объем передачи информации, определяющими характеристиками являются длительность работы устройств без дополнительного обслуживания и зарядки (измеряемая месяцами и годами), габаритные размеры и стоимость канала связи.

Для соответствия вышеизложенным требованиям активно внедряются новые типы сетей

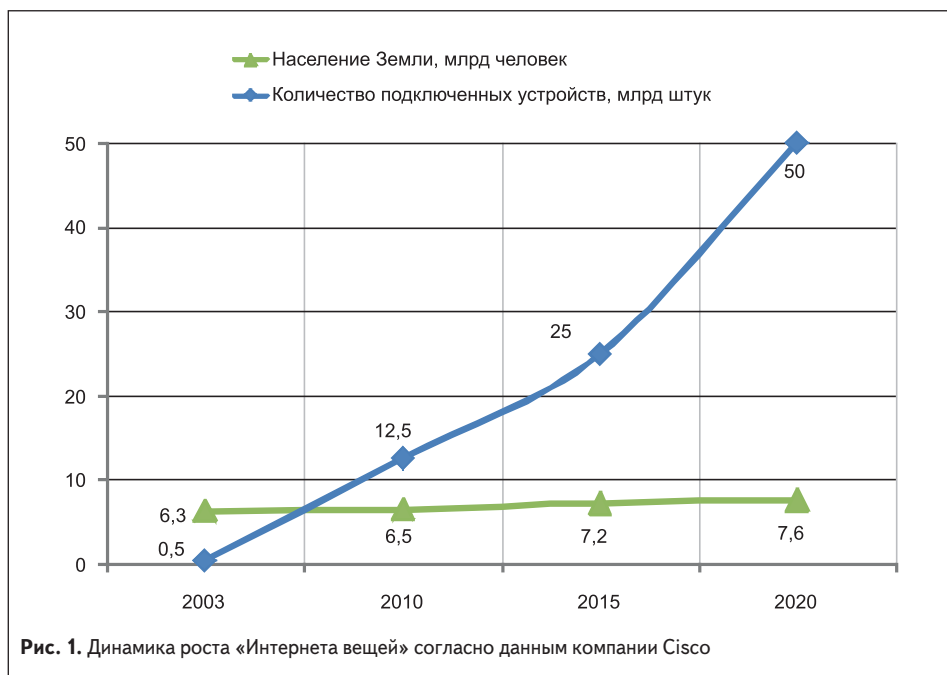


Рис. 1. Динамика роста «Интернета вещей» согласно данным компании Cisco

с низким энергопотреблением LPWAN (Low Power Wide Area Networks), которые, в отличие от существующих сетей передачи данных (3G или LTE), эффективно решают поставленные задачи. В настоящее время существует несколько распространенных работающих LPWAN-технологий для IoT [1]. Так, компанией Sigfox (Франция) разработана одноименная технология сверхполосной беспроводной связи для передачи данных в субгигагерцовом нелицензируемом диапазоне 868,8 МГц. Сеть компании уже развернута во Франции, Италии, Великобритании, Испании, Бельгии и других странах Европы. Технологии LTE-M и NB-LTE-M, продвигаемые соответственно компаниями Nokia и Huawei, называются CIoT (Cellular Internet of Things — «Интернет вещей» в сетях сотовой связи), подразумевая, что они разрабатываются специально для охвата рынка IoT существующими сотовыми операторами связи. Технология NB-IoT, использующая DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum — метод прямой последовательности для расширения спектра), поддерживается компаниями Ericsson, Qualcomm и Vodafone. Разворачивание данных сетей, работающих в субгигагерцовом диапазоне, требует установки дополнительных трансиверов и модернизации программного обеспечения на существующем оборудовании. Также Wi-Fi Alliance в январе 2016 г. объявил о начале проектирования нового стандарта HaLow. Данный вид связи будет функционировать в диапазоне до 1 ГГц на основании пока еще не утвержденной спецификации IEEE 802.11ah. И, наконец, набирает популярность наиболее перспективная, по мнению многих разработчиков, технология LoRa и сеть LoRaWAN на ее основе.

Особенности и архитектура LoRaWAN

Когда говорят о технологии LoRa, то чаще всего имеют в виду запатентованный метод модуляции LoRa компании Semtech, обеспечи-

вающий рекордные показатели бюджета канала связи (до 168 дБ), а также открытый энергоэффективный сетевой протокол LoRaWAN. Если модуляция LoRa является физическим уровнем (1-й уровень сетевой модели OSI), то LoRaWAN — это MAC-протокол канального уровня (2-й уровень OSI) для сетей большого радиуса действия со множеством узлов. LoRa — способ модуляции на основе технологии расширения спектра, при котором данные кодируются широкополосными импульсами с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) с частотой, увеличивающейся или уменьшающейся на некотором временном интервале [2]. Такое решение, в отличие от технологии прямого расширения спектра, делает приемник устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения и упрощает требования к тактовому генератору.

- Другие преимущества технологии LoRa:
- Превосходная чувствительность (до -148 дБм) и возможность демодуляции сигналов с уровнем на 20 дБ ниже уровня шума обеспечивают дальность 15 км в сельской местности и 5 км в условиях плотной городской застройки, отличающихся наличием активных импульсных помех.
 - Низкое собственное энергопотребление узлов сети. По оценкам специалистов, гарантируется до 10 лет работы от обычных батарей типоразмера AA.
 - Использование нелицензируемых ISM-частот (109, 433, 868, 915 МГц).
 - Комплексная информационная безопасность (обязательное двухуровневое AES-128 шифрование), встроенные ключи идентификации и аутентификации.

LoRaWAN имеет простую архитектуру типа «звезда» без ретрансляторов и mesh-связей. Также LoRa-модемы могут работать и в топологии «точка-точка», что может быть весьма полезным при разработке персональных WAN для пере-

дачи на большие расстояния информации без использования аппаратных шлюзов и серверов в целях автоматизации объектов с малым количеством конечных узлов. Протокол LoRaWAN включает в себя различные классы оконечных устройств, обеспечивая компромисс между скоростью передачи информации и временем работы устройств при использовании питания от батарей (аккумуляторов).

В настоящий момент существуют две открытые программные реализации стека протокола LoRaWAN: LoRaMAC, предложенная компанией Semtech, и LMiC (LoRaWANinC) от IBM. Обе библиотеки используют концепцию HAL-драйверов, облегчающую процедуру портирования программ при изменении аппаратной части оборудования.

С целью стандартизации, поддержки и продвижения протокола LoRaWAN в LPWAN в январе 2015 г. создана некоммерческая организация LoRa Alliance [3]. Основная задача LoRa Alliance — объединение аппаратного и программного обеспечения на базе стандарта LoRaWAN для операторов связи, чтобы обеспечить их возможностью предоставлять услуги «Интернета вещей» как коммерческим организациям, так и частным лицам. Помимо основателей альянса, компаний IBM и Semtech, в него входят известные производители электроники, такие как Cisco, Kerlink, IMST, Microchip Technology, а также лидирующие телекоммуникационные операторы (Bouygues Telecom, Inmarsat, SingTel, Proximus, Swisscom), при этом количество зарегистрированных членов постоянно увеличивается.

В типичной сети LoRaWAN базовые станции (шлюзы) передают зашифрованные данные, полученные от оконечных устройств, на центральный сервер сети провайдера и далее на сервер приложений сервис-провайдера, с которого информация поступает конечному пользователю (рис. 2).

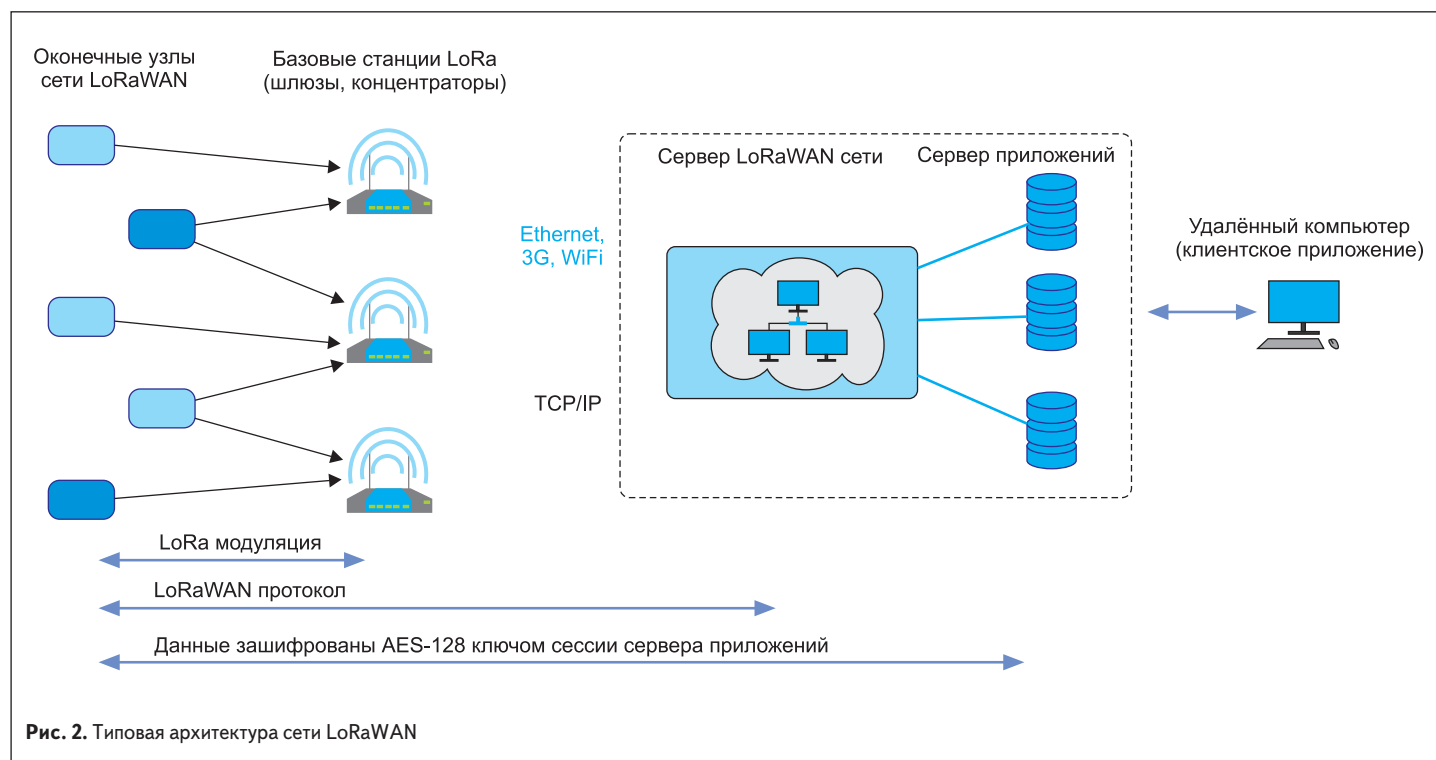


Рис. 2. Типовая архитектура сети LoRaWAN

Конечные устройства (конечные узлы, end-node) являются элементами LoRaWAN-сети, выполняющими функции измерения, управления и/или контроля. Они располагаются удаленно и имеют, как правило, батарейное питание. Используя сетевой протокол LoRaWAN, эти конечные узлы могут быть настроены для связи со шлюзом LoRa (концентратором или базовой станцией), обмен данными двусторонний, как от конечных точек к серверу, так и обратно [4]. Также все конечные точки поддерживают функционирование в режиме, обеспечивающем возможность осуществления группового обновления программного обеспечения по радиоканалу или передачу иных массовых сообщений, что позволяет сократить время на их передачу. Узлы сети передают данные не постоянно, а включают передачу лишь на некоторый промежуток времени по заданному графику (как правило, на 1–5 с). Остальное время трансиверы конечных узлов находятся либо в неактивном состоянии (режиме сна), либо в состоянии приема для получения ответа от сервера, в зависимости от класса устройства (А, В или С).

В двунаправленных оконечных устройствах класса А инициатором обмена выступает сам узел. Конечный узел, как правило, не требует получения подтверждения своего сообщения приложением (сообщения без квитирования), однако протокол предусматривает и сообщения, на которые сервер приложений формирует специальный ответ (квитанцию), при этом сетевой сервер выбирает лучший маршрут (шлюз) для отправки подтверждения в момент открытия узлом окна приема. Передача данных от сервера конечному узлу возможна только после того, как конечное устройство выходит на связь, до этого момента сервер только накапливает сообщения для определенных конечных точек. Устройства класса А имеют наименьшую мощность потребления энергии и поэтому наиболее распространены на практике.

У двунаправленных конечных устройств класса В, в дополнение к функциям устройств класса А, существует возможность включения приемника по графику, заданному сервером LoRaWAN. Для этого конечные устройства синхронизируют свое внутреннее время со временем сети при помощи специальных сигналов, которые они регулярно получают от базовой станции. В установленный момент

открытия приемного окна сервер начинает передачу сообщения.

Двунаправленные конечные устройства класса С отличаются максимальным приемным окном, почти непрерывным, закрывающимся только на период кратковременной передачи данных. Сервер может инициировать обмен в любое время и передать сообщения узлу по мере их появления с наименьшими задержками. Этот тип конечных устройств подходит для задач, когда необходимо получать большие объемы данных, потребляет наибольшее количество энергии (по сравнению с классами А и В) и поэтому обычно не использует батарейное питание.

В настоящее время не менее десяти производителей предлагают свои варианты оконечных узлов, все они построены на базе чипов SX1272 или SX1276 компании Semtech, работающих совместно с отдельным микроконтроллером [5]. Микроконтроллер, необходимый для реализации функций стека протокола LoRaWAN, либо располагается непосредственно на плате модуля, либо соединяется с ним при помощи распространенных интерфейсов. Из наиболее популярных версий промышленно выпускаемых узлов можно отметить модули iM880a компании IMST и XRange от Netblocks, содержащие SX1272 и малопотребляющий контроллер STM32L151 (ядро Cortex-M3), RFM95W (только трансивер SX1276) компании HopeRF, имеющие примеры применения совместно с платформой Arduino, и mDot компании MultiTech (SX1272 + STM32F411), полностью совместимые по выводам с XBee-модулями.

Базовые станции (шлюзы, концентраторы) LoRaWAN, предназначенные для использования в сетевой топологии типа «звезда» большого радиуса действия, формируют прозрачный мост ретрансляции сообщений между конечными устройствами и центральным сервером сети с помощью Ethernet, Wi-Fi, GSM или других телекоммуникационных каналов связи путем организации стандартного IP-соединения. Если проводить аналогии, то LoRa-шлюз функционально соответствует базовым станциям сотовых сетей и даже может располагаться вместе с ними. В этом случае LoRaWAN может дополнять сотовую связь и расширять ее возможности.

В зависимости от желаемой канальной емкости и мест установки доступны разные версии шлюзов, они могут монтироваться как внутри помещений, так и на вышках или

зданиях. Из-за свойств технологии LoRa-шлюзы могут представлять собой многоканальные мультимодемные трансиверы, способные выполнять демодуляцию нескольких каналов одновременно, и даже одновременную демодуляцию множества сигналов на одном и том же канале. Узлы LoRaWAN могут находиться в зоне покрытия как одного шлюза, так и нескольких.

В сетях с высокой плотностью абонентских устройств в качестве шлюзов выступают специальные многоканальные концентраторы, принимающие данные от множества узлов одновременно. Связь между конечными устройствами и шлюзами осуществляется на различных частотных каналах и скоростях. Благодаря использованию технологии с расширением спектра, передаваемые данные от различных конечных узлов с различными скоростями не мешают друг другу и создают набор «виртуальных» каналов, тем самым увеличивая пропускную способность шлюза. Если емкости сегмента сети недостаточно, то LoRaWAN масштабируется путем установки дополнительных шлюзов. При появлении нового шлюза центральный сервер перераспределяет нагрузку, отправляя конечным узлам «новый график» включения режима передачи.

Центральный LoRaWAN-сервер осуществляет общее управление сетью, в частности принимает решение о необходимости адаптации скорости передачи данных, изменения мощности передатчика, выборе канала передачи, ее начале и продолжительности по времени, измеряет заряд батарей конечных узлов, т. е. полностью контролирует каждое абонентское устройство в отдельности. Проблема возможных коллизий при одновременной передаче данных несколькими узлами решается адресной отправкой узлам сети управляющих команд. Адресация происходит по 32-битному идентификатору, уникальному для каждого узла. Каждый пакет данных LoRaWAN, отправляемых конечным узлом, имеет в своем составе уникальный идентификатор приложения, принадлежащий определенному приложению на сервере провайдера и используемый для его дальнейшей маршрутизации. Сервер приложений, сервер сети и единственный шлюз сети (в виде одноканального LoRa-трансивера) могут быть объединены для построения упрощенной модели сети в лабораторных условиях.

Протокол LoRaWAN регламентирует скорость радиообмена в диапазоне от 300 бит/с до 50 кбит/с. Чтобы продлить срок службы источника питания в конечном узле, улучшить масштабируемость и пропускную способность сети, сервер LoRaWAN управляет скоростью передачи данных и выходной мощностью радиопередатчика каждого оконечного устройства в зависимости от его расстояния до шлюза. Управление осуществляется с помощью алгоритма адаптивной скорости передачи данных (Adaptive Data Rate, ADR), представляющего собой метод, при котором фактическая скорость передачи регулируется таким образом, чтобы обеспечить надежную доставку пакетов, оптимальную производительность сети и ее необходимую загрузку (рис. 3).

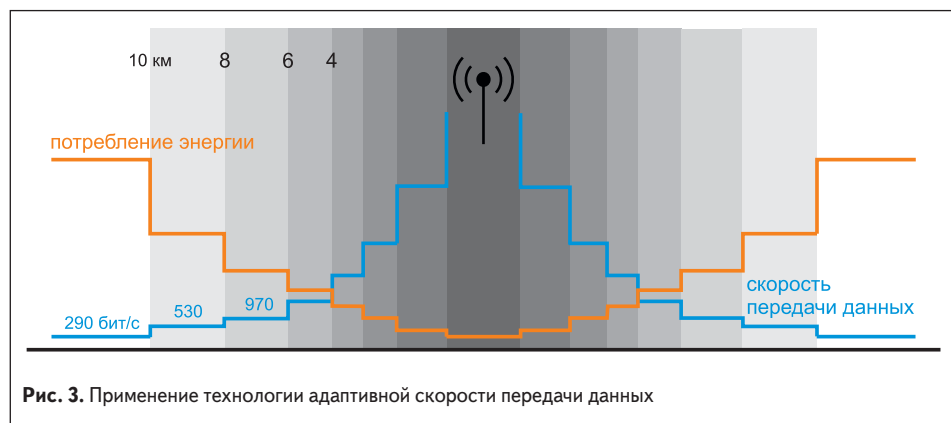


Рис. 3. Применение технологии адаптивной скорости передачи данных

Таблица 1. Отличительные характеристики популярных базовых станций LoRaWAN

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

Так, например, более близкие к шлюзу узлы будут использовать и более высокую скорость передачи данных (следовательно, более короткое время активной передачи по радиоканалу), и меньшую выходную мощность. Наоборот, самые удаленные устройства будут иметь низкую скорость передачи данных и высокую выходную мощность передатчика. Использование данной технологии помогает внести необходимые изменения в сетевую инфраструктуру и, таким образом, компенсировать различные потери на трассе передачи сигнала. Если развернуто много шлюзов, то технология ADR будет смещать скорость передачи данных в сторону повышения, что обеспечит масштабирование емкости сети в пределах от шести до восьми раз.

Базовые станции LoRaWAN

Постоянное увеличение числа производителей базовых станций LoRaWAN-сети усложняет задачу выбора подходящего решения. В настоящее время доступно несколько популярных вариантов, каждый из которых в обязательном порядке содержит коммуникационную и вычислительную части. Коммуникационная часть выполняется на основе высокоинтегрированных микросхем компании Semtech: трансиверов SX1272/SX1276, обеспечивающих одновременную обработку одного канала, или связки IC880A + SX1257, способной обслуживать до восьми соединений в любой момент времени и до 10–20 тыс. узлов суммарно. Все выпускаемые базовые станции LoRaWAN, за исключением некоторых самых простых вариантов конструкторов из серии «сделай сам», используют второй вариант. В таблице 1 приведены их отличительные особенности, а на рис. 4 — внешний вид отдельных моделей.

У крупномасштабных сетевых IoT-операторов ключевыми требованиями к шлюзам являются эффективность радиоканала (чувствительность приема, мощность передачи), наличие SX1301 «на борту» для увеличения зоны покрытия и использование технологии Plug&Play, предназначенной для быстрого распознавания устройств [6]. Среди устройств, удовлетворяющих заданным условиям, можно отметить:

- Не имеющие законченного корпусного исполнения базовые станции, получающиеся в результате объединения открытых платформ Raspberry Pi и OpenWRT в различных комбинациях с приемопередающими модулями iC880A, SX1301 и mCard компаний IMST, Semtech и MultiTech соответственно. Как правило, имеют открытый код для встроенных микроконтроллеров и используются преимущественно в персональных сетях.
- Конфигурируемый шлюз MultiConnect Conduit компании MultiTech, представляющий собой гибкое и масштабируемое решение, в котором путем установки дополнительных модулей из серии mCard организуется мост между 4G(LTE), 3G, 2G, Ethernet с одной стороны, и Wi-Fi, GNSS, Bluetooth, RS-232, LoRaWAN — с другой.
- Базовую станцию LL-BST-8 компании Link Labs, изготавливаемую на основе одноплатного компьютера со следующими параметрами: процессор AMDx64 с тактовой частотой 800 МГц, RAM размером 2 Гбайт, гигабитный Ethernet, встроенный SSD

и модуль с ИС SX1301, подсоединенный к материнской плате через разъем mini PCI-E.

- Шлюз Toti-LoRa-pico от CALAO Systems, выполненный в анодированном металлическом корпусе, предназначенном для крепления на DIN-рейку. Диапазон рабочих температур –20...+70 °С, в основе управляющей части лежит Raspberry Pi.
- Базовые станции компании Kerlink, выгодно отличающиеся возможностью эксплуатации вне помещений. Производимые в водонепроницаемых корпусах с классом защиты IP67, они, в основном, устанавливаются на крышах высотных зданий и антенных вышках [7]. Далее мы рассмотрим основные характеристики данных станций.

Базовые станции компании Kerlink

Пионер в проектировании базовых станций для сети LoRaWAN и соучредитель LoRa-альянса, компания Kerlink в настоящее время предлагает четыре варианта шлюзов, адаптированных под основные субгигагерцовые частоты

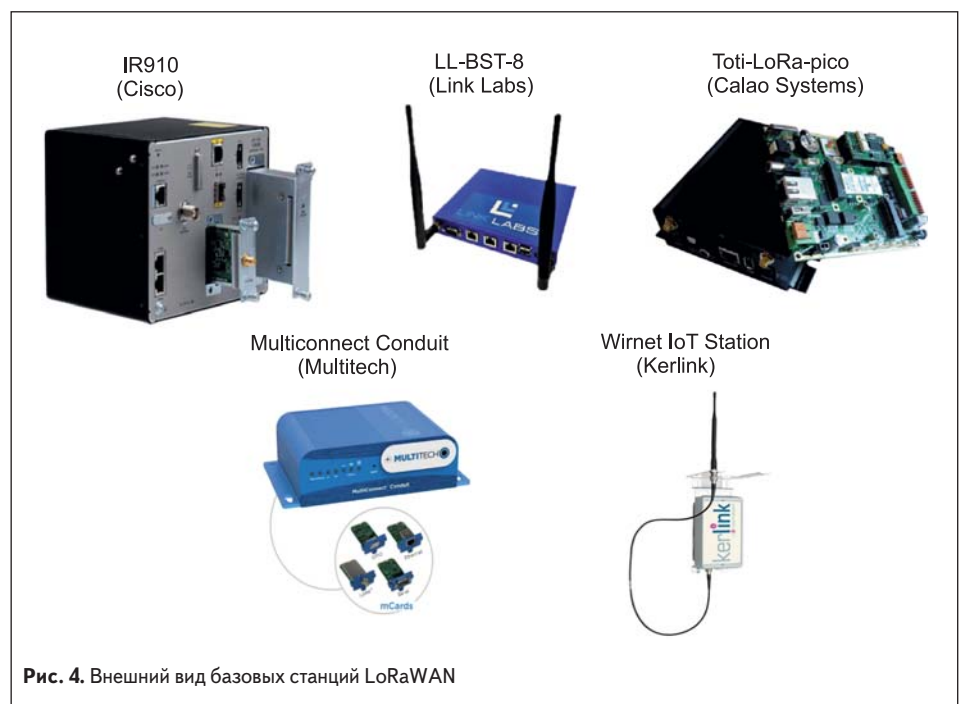


Рис. 4. Внешний вид базовых станций LoRaWAN

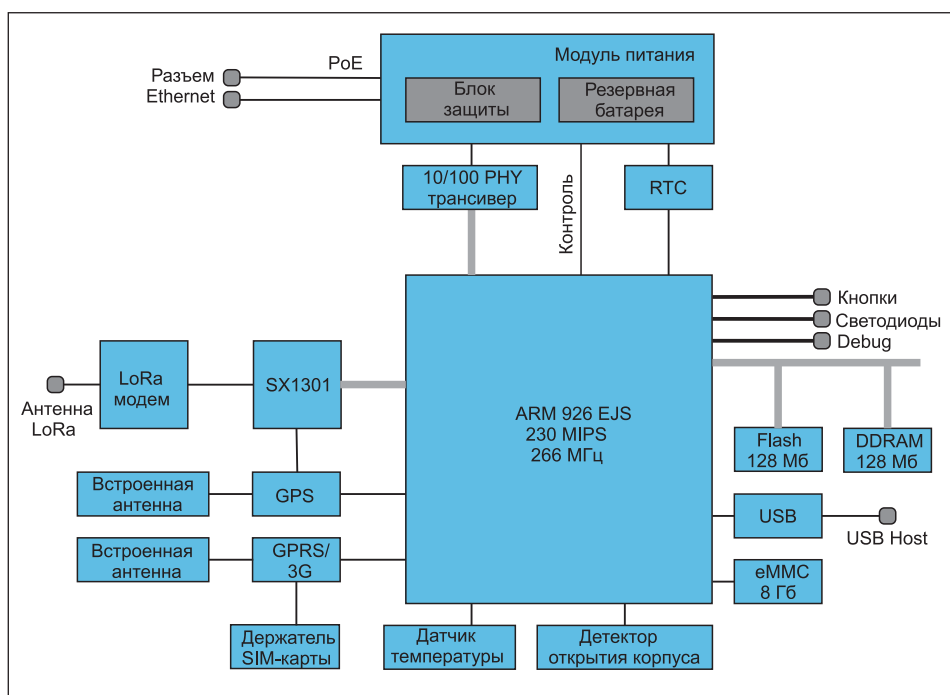


Рис. 5. Внутренняя структура базовых станций Kerlink

ISM-диапазона: 433, 868, 915 и 923 МГц [8]. Протестированные в сетях крупных провайдеров Lorient, OrbiWise, Stream Technologies, TheThings Network и сертифицированные на соответствие требованиям CE/FCC/IC/KC базовые станции, относящиеся к серии WirNet, обладают архитектурой, разработанной для удовлетворения потребностей общедоступных операторов (рис. 5).

За обработку данных отвечает 32-битный RISC-микроконтроллер ARM926EJS с быстродействием до 230 MIPS и оптимизированным энергопотреблением, использующий интегрированную память: 128 Мбайт энергонезависимой NANDflash, из которой 40 Мбайт занято системным ПО и алгоритмом автовосстановления, 128 Мбайт оперативной DDRAM и eMMC объемом 8 Гбайт. Взаимодействие с WAN осуществляется посредством протоколов GPRS/EDGE/3G или Ethernet, максимальная скорость обмена данными зависит от применяемой

технологии. Например, у HSDPA (900 МГц) она составляет 384 кбит/с (скорость отдачи) и 3,6 Мбит/с (скорость загрузки), у UMTS (2100 МГц) — 384 кбит/с (загрузки/отдачи), а у GPRS/EDGE (850/900/1800/1900 МГц) не превышает 236,8 кбит/с. Для получения координат установки в базовую станцию встроено высокочувствительный GPS-приемник с протоколом NMEA 2.0 (антенна интегрированная).

В основе LoRa-части станций Kerlink лежит применение связки микросхем SX1301 + SX1257. Многоканальная ИС SX1301, представляющая собой цифровой процессор каналов радиосвязи для устройств ISM-диапазона, может параллельно демодулировать несколько сообщений, полученных на различных рабочих частотах.

Отличительные особенности SX1301:

- чувствительность приема до $-142,5$ дБм (при использовании с SX1257);

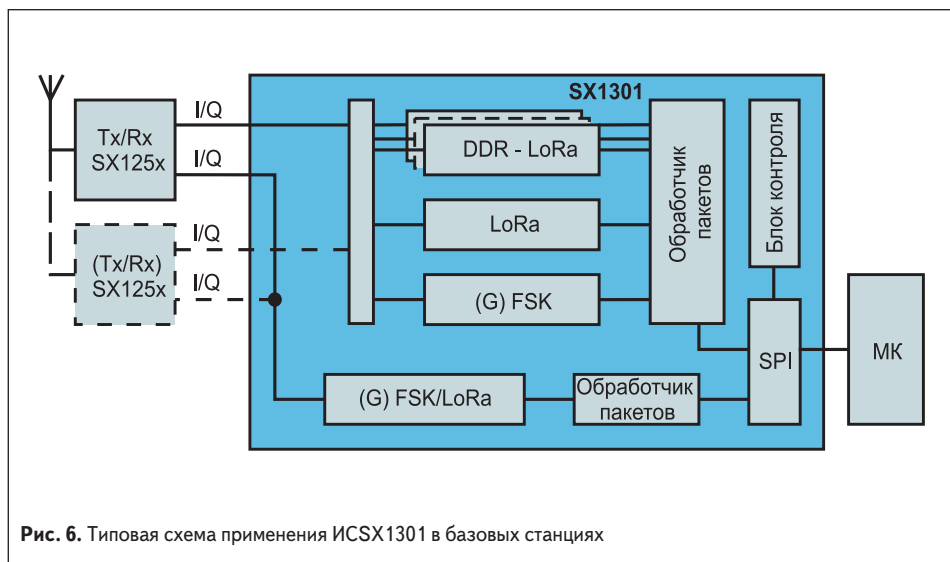


Рис. 6. Типовая схема применения ИС SX1301 в базовых станциях

- динамическая адаптация канала под различные скорости передачи (Dynamic Data Rate, DDR);
- 10 параллельных программируемых каналов демодуляции.

Пользовательский интерфейс включает в себя светодиоды, осуществляющие индикацию рабочего состояния: мощности передатчика, уровня GSM-сигнала, наличие WAN-соединения и т. д., а также кнопки ручного сброса, тестирования и запуска процедуры инсталляции. Из дополнительных особенностей можно отметить наличие внутреннего датчика температуры и детектора открытия крышки корпуса. Для питания шлюзов Kerlink используется технология PoE (класс 0), позволяющая по стандартному Ethernet-кабелю доставить к устройству необходимые 48 В. Встроенная резервная батарея позволяет в аварийных ситуациях провести корректное отключение станции.

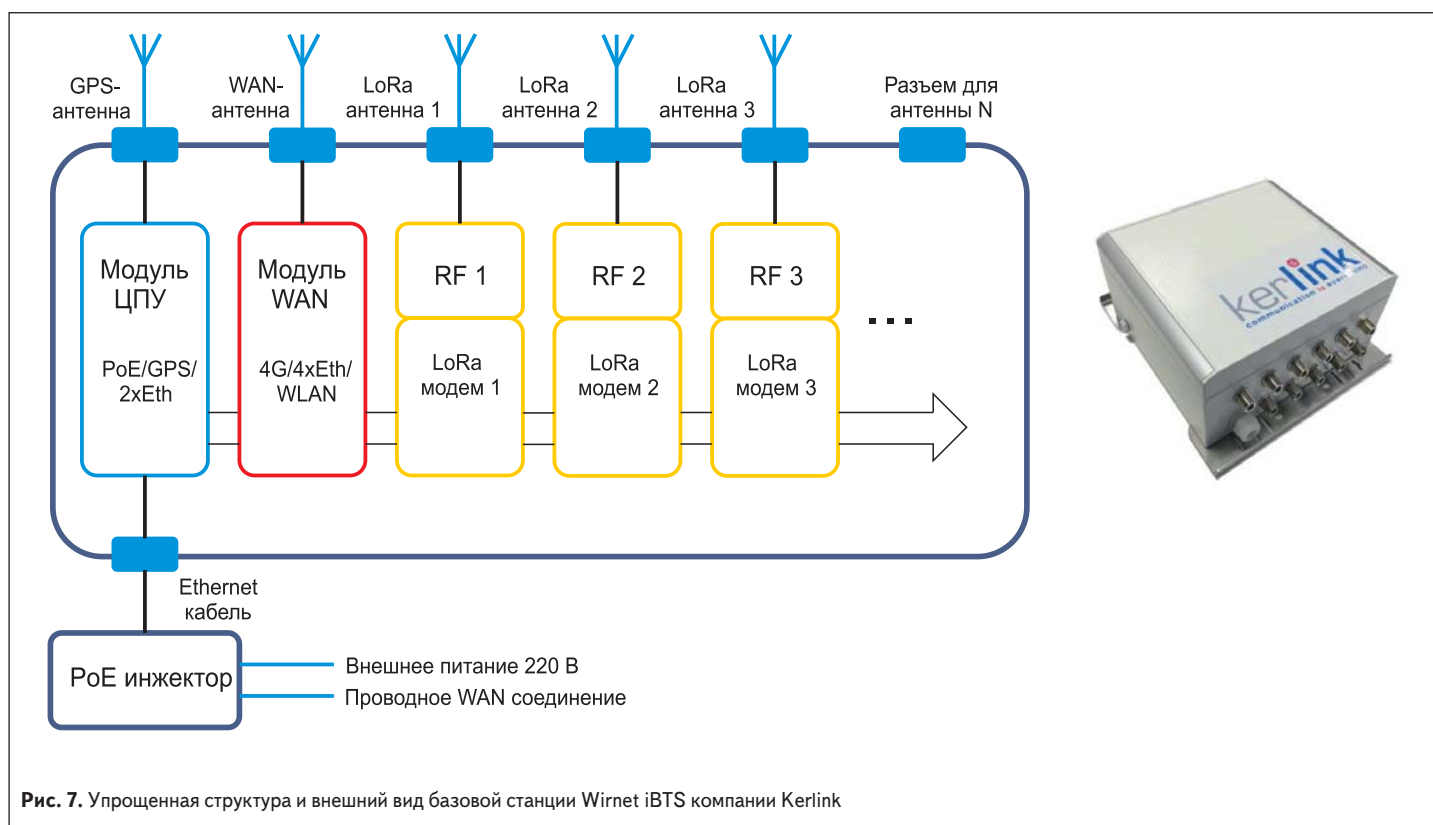
Конструктивно устройства выпускаются в герметичных ударопрочных (степень защиты IK08) прямоугольных корпусах из поликарбоната с внешними размерами $31,5 \times 17,0 \times 21,5$ см (включая крепежный комплект), общая масса составляет около 2 кг. Шлюзы Kerlink предназначены для эксплуатации в диапазоне рабочих температур $-20 \dots +60$ °C при влажности 95%. Производителем гарантируется средняя наработка на отказ не менее 20 лет. Монтаж возможен тремя способами: на стену при помощи винтовых соединений, креплением скобами на опорах и установкой на трубах с использованием специальных металлических лент.

Что касается программной части, то в качестве операционной системы применяется Linux (версия 3.10), также присутствуют установленные пакеты программ: Python, SQLite, виртуальная машина Java (опционально), клиентские и серверные приложения для работы с сетью. Из доступных средств разработки можно отметить кроссплатформный C/C++ компилятор (GCC 4.5.2). Для облегчения проектирования доступны руководства пользователя, описание Kerlink M2M-сервисов и примеры программной реализации взаимодействия элементов сети LoRaWAN, написанные на языке C.

Модификация LoRa IoT Station SPN, имеющая аналогичное аппаратное построение, отличается тем, что одновременно со своими задачами может выполнять функции LoRaWAN-сервера для устройств класса A, то есть быть полностью автономной.

Выпуск второго поколения LoRa/4G базовых станций Wirnet iBTS компании Kerlink (рис. 7) анонсирован на первое полугодие 2016 г. Масштабируемая базовая станция Wirnet iBTS предназначена для реализации ключевых запросов операторов в возможности апгрейда и построения модульной структуры сетевого оборудования.

Модульная запатентованная архитектура с отдельными радиочастотными и цифровыми частями позволяет легко сконфигурировать станции путем установки необходимого количества LoRa-модемов (до шести отдельных плат, монтируемых в слоты расширения) с учетом разрешенных в разных странах диапазонов частот. Максимальное число LoRa-каналов — 64, разъемы внешних антенн



(ненаправленных или секторных) располагаются в нижней части шлюза.

Заключение

Преимущества технологии LoRa, активно продвигаемой LoRa-альянсом, способствуют развитию и широкому распространению концепции IoT. Программные и аппаратные решения различных производителей, реализующие функции конечных узлов и базовых станций LoRaWAN,

помогают в максимально короткие сроки организовать системы безопасности, промышленной автоматизации, удаленного мониторинга и управления объектами, связанные с глобальной Сетью. Высокоинтегрированные базовые станции Kerlink, предназначенные для жестких условий эксплуатации и обладающие широкими функциональными возможностями, обеспечивают сбор и передачу данных десятков тысяч датчиков, удаленных на расстояния до 15 км. ■

Литература

1. <http://lorawan.lace.io/>
2. <http://semtech.com/wireless-rf/lora.html>
3. www.lora-alliance.org/
4. <http://lo-ra.ru/>
5. <http://thethingsnetwork.org/wiki/>
6. www.loriot.io/
7. www.kerlink.fr/en/
8. <http://lorawan.lace.io/forum/resources/kerlink-lora-iot-station.22/>