

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ LPWAN СЕТЕЙ

Д. Л. Кумаритова¹, Р. В. Киричек^{1*}

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

Аннотация

Предмет исследования. В статье приведён обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN. Показаны преимущества и недостатки каждой из них. **Метод.** Для анализа технологий LPWAN выбран метод сравнения параметров каждой из рассмотренных технологий на основе данных из отечественной и зарубежной литературы, научных статей и публикаций. **Основной результат.** В статье рассмотрены базовые технологии сетей дальнего радиуса действия LPWAN. Проведен сравнительный анализ технических характеристик данных технологий. **Практическая значимость.** Сравнительный анализ способствует выявлению более эффективной и предпочтительной технологии сети LPWAN.

Ключевые слова

Интернет Вещей, беспроводные сети, LPWAN, IoT, LoRaWAN, SIGFOX, NB-IoT, Weightless P.

Информация о статье

УДК 004.735

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 17.10.16, принята к печати 25.11.16.

Ссылка для цитирования: Кумаритова Д. Л., Киричек Р. В. Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. С. 33–48.

OVERVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF LPWAN NETWORK

D. Kumaritova¹, R. Kirichek^{1*}

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: kirichek@sut.ru

Abstract—Research Subject. The article presents a review and comparative analysis of technologies, LPWAN. The advantages and disadvantages of each of them. **Method.** For the analysis of technologies,

LPWAN method chosen for comparing each of the considered technologies based on data from domestic and foreign literature, scientific articles and publications. **Core results.** In article the basic networking-long range LPWAN. Comparative analysis of technical characteristics of these technologies. **Practical relevance.** Comparative analysis helps to identify more effective and preferable network technology LPWAN.

Keywords—Internet of Things, wireless networks, LPWAN, IoT, LoRaWAN, SIGFOX, NB-IoT, Weightless P.

Article info

Article in Russian.

Received 17.10.16, accepted 25.11.16.

For citation: Kumaritova D., Kirichek R.: Overview and Comparative Analysis of LPWAN Network // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 4. pp. 33–48 (in Russian).

Введение

Одним из ключевых направлений развития сетей связи стала концепция Интернета вещей [1, 2, 3]. В недалеком будущем к Интернету будет подключено несколько миллиардов устройств. Большинство устройств будет иметь батарейное питание. В связи с этим, одной из важных характеристик интернет вещей является продолжительная работа устройства без дополнительного обслуживания и зарядки. Для эффективного решения задач, связанных с энергопотреблением, появились новые типы сетей LPWAN (*Low Power Wide Area Networks*). Технологии, которые позволяют подключать автономные устройства к глобальной сети, появились в 2015–2016 гг. и постепенно набирают популярность [4]. Наиболее популярными среди таких технологий являются LoRa, SIGFOX, NB-IoT, Weightless P и др. Их появление обусловлено необходимостью подключения множества приборов учета и телеметрии для централизованного сбора данных на облачных серверах.

Технология LORA

Разработчики LoRa Alliance считают, что технология LoRa имеет значительные преимущества перед WiFi и сотовыми сетями, благодаря возможности развертывания межмашинных соединений (*Machine-to-Machine*, M2M) на расстояние до 20 км при скорости до 50 Кбит/с, а также имеет минимальное потребление электроэнергии, обеспечивающее несколько лет автономной работы на одном аккумуляторе типа AA. Масштаб применений данной технологии велик: от домашней автоматизации и интернета вещей до промышленности и умных городов [5].

LoRa является следующей ступенью развития LPWAN решения, которое было разработано и запатентовано Корпорацией Semtech. Суть технологии сводится к вариации линейной частотной модуляции (*Chirp Spread Spectrum*, CSS). Технология использует кодировку данных широкополосными импульсами с частотами, которые уменьшаются или увеличиваются на некотором временном интервале. Такое решение позволяет приёмнику быть устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения и упрощает требования к тактовому генератору, тем самым позволяет использовать недорогие кварцевые резонаторы.

Система использует прямую коррекцию ошибок (*Forward Error Correction, FEC*) и работает в субгигагерцовом диапазоне частот: 169, 433 и 915 МГц в США, а в Европе – в диапазоне 868 МГц. Чаще всего применяются рабочие частоты 868 и 915 МГц. Также, вследствие высокого уровня внешнего воздействия, ограничено используется рабочий диапазон 2.4 МГц [6, 7]. Согласно спецификации [8], LoRa (а также SIGFOX) использует циклически единственный вариант передачи, который ограничивает скорость создания сообщений. Тем не менее, за счет поддержки нескольких каналов, LoRa позволяет конечным узлам участвовать в процедурах обмена данными посредством изменения частоты несущей при соблюдении беспопытного лимита цикла в каждом канале. Выбор скорости передачи данных - это компромисс между зоной покрытия и объемом данных, сообщения с разными скоростями передачи данных не мешают друг другу. Скорость передачи данных LoRa находится в диапазоне от 0,3 до 50 Кбит/с. Чтобы максимизировать время автономной работы конечных устройств и общую пропускную способность сети, сетевая инфраструктура LoRa может управлять скоростью передачи данных для каждого прибора индивидуально посредством адаптивной скорости передачи данных.

В то время как реализация LoRa является закрытой, остальная часть стека протоколов, известный как LoRaWAN, остается открытой, и ее развитие осуществляется LoRa Alliance, возглавляемого IBM.

Отличительной особенностью LoRa сети является то, что она предусматривает три класса устройств для решения различных задач и применений в сети. На рис. 1 отображены классы устройств: класс А (для всех), класса В и класс С.

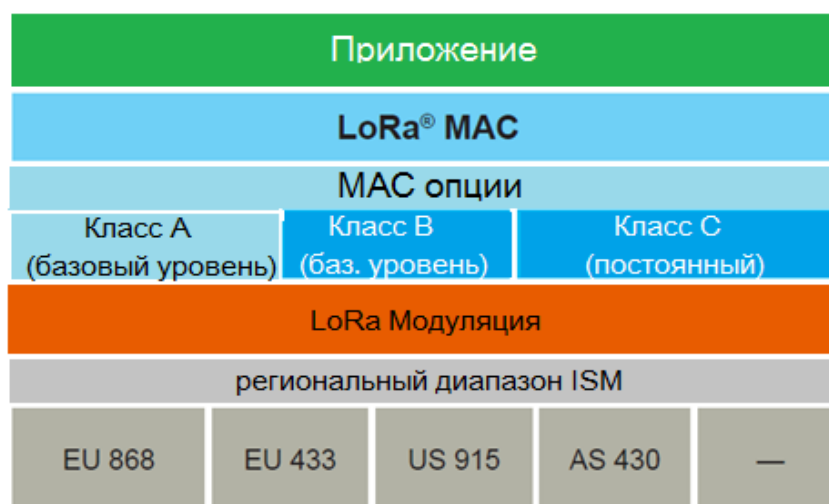


Рис. 1. Классы устройств в сетях LoRa

«Класс А» определяет функциональный режим по умолчанию в сетях LoRa. В «классе А» сеанс связи осуществляет конечное устройство. Узел передает данные короткими посылками по заданному графику на шлюз. После каждой передачи данных, оконечное устройство открывает одно приемное окно на некоторый промежуток времени, ожидая следующей команды, отправляемой сервером. В случае, если ответа не поступает, узел переходит в режим сна, тем самым уменьшая потребление энергии. Второе окно открывается в другом поддиапазоне (предварительно согласовывается с сервером) в целях повышения устойчивости против колебаний канала. Сервер накапливает данные и пересылает их

сразу, как только узел выходит на связь. Сети «класса А» предназначены главным образом для мониторинга приложений, они наиболее экономичны в электропотреблении и наиболее распространены на практике [8, 9].

В «классе В» выделено дополнительное окно приема, которое открывается устройством по расписанию. По специальному сигналу «маяк» от шлюза конечное устройство осуществляет синхронизацию внутреннего времени со временем сети, тем самым составляя расписание. Таким образом, благодаря такому дополнительному окну, у сервера появляется возможность начать передачу данных в заранее известное время.

Наконец, устройства «класса С» имеют максимальное, почти непрерывное окно приема, которое закрывается только на время передачи данных. Это позволяет применять их для решения задач, требующих получения большого объема данных. Этот класс устройств потребляет наибольшее количество энергии, поэтому обычно не использует батарейное питание, но получает данные от сервера сети с наименьшими задержками.

На рис. 2 рассмотрена архитектура LoRaWAN сетей¹ [8]. Классическая сеть LoRaWAN состоит из следующих элементов: конечные узлы, шлюзы, сервер сети и сервер приложений.

Конечный узел (*End-Node*) предназначен для осуществления управляющих, контролируемых и измерительных функций. Он содержит набор необходимых датчиков и управляющих элементов. Имеют, как правило, батарейное питание. Узлы включают передачу данных лишь на некоторый промежуток времени (обычно на 1–5 секунд), по окончании которого открывается два временных окна для приема данных. Остальное время приемопередатчик конечных узлов находится либо в неактивном состоянии, либо в состоянии приема, в зависимости от класса устройства (А, В или С).

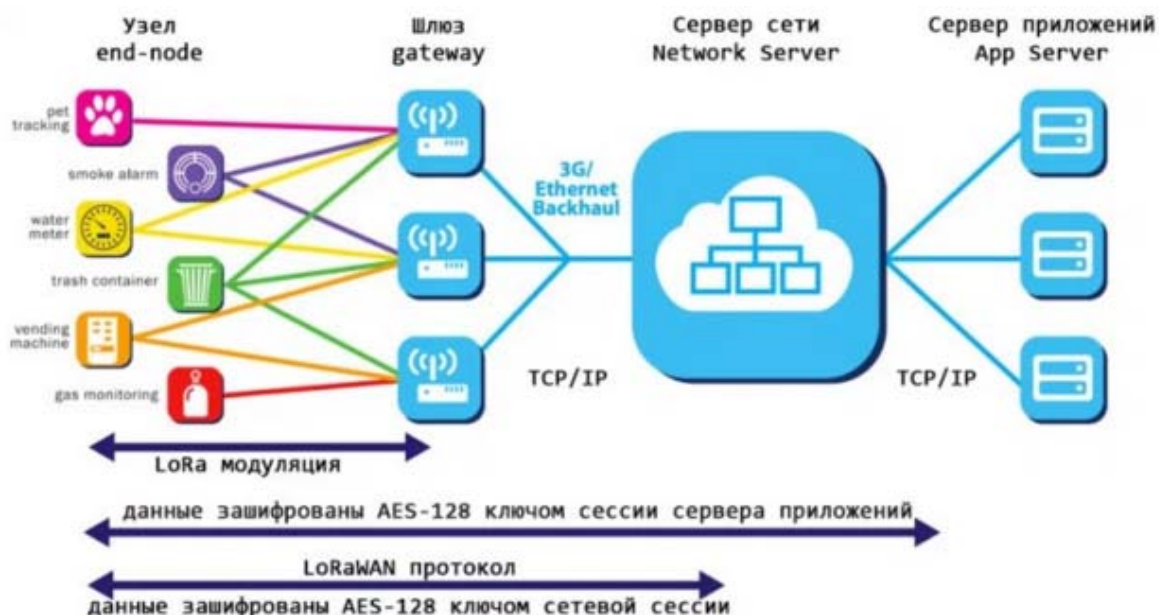


Рис. 2. Архитектура сети LoRa

¹ LoRaWAN Specification. LoRa Alliance. URL: <https://www.lora-alliance.org/portals/0/specs/LoRaWAN%20Specification%201R0.pdf>

Устройство, принимающее данные от конечных устройств с помощью радиоканала и передающее их в транзитную сеть – Шлюз LoRa (*Gateway/Concentrator*). Транзитными сетями могут выступать Ethernet, WiFi, сотовые сети и любые другие телекоммуникационные каналы. Шлюз и конечные устройства образуют сетевую топологию типа «звезда». Часто данное устройство содержит многоканальные приёмопередатчики для обработки сигналов в нескольких каналах одновременно или даже, нескольких сигналов в одном канале. Соответственно, несколько таких устройств обеспечивает зону покрытия сети и прозрачную двунаправленную передачу данных между конечными узлами и сервером.

Сервер сети (*Network Server*) предназначен для управления сетью: заданием расписания, адаптацией скорости, хранением и обработкой принимаемых данных.

Сервер приложений (*Application Server*) может удаленно контролировать работу конечных узлов и собирать необходимые данные с них.

Сеть LoRa обычно имеет топологию «звезда», в которой устройства подключаются через шлюзы LoRa, которые, в свою очередь, подключены к общей сервер сети (NetServer) через стандартные протоколы IP (рис. 3).

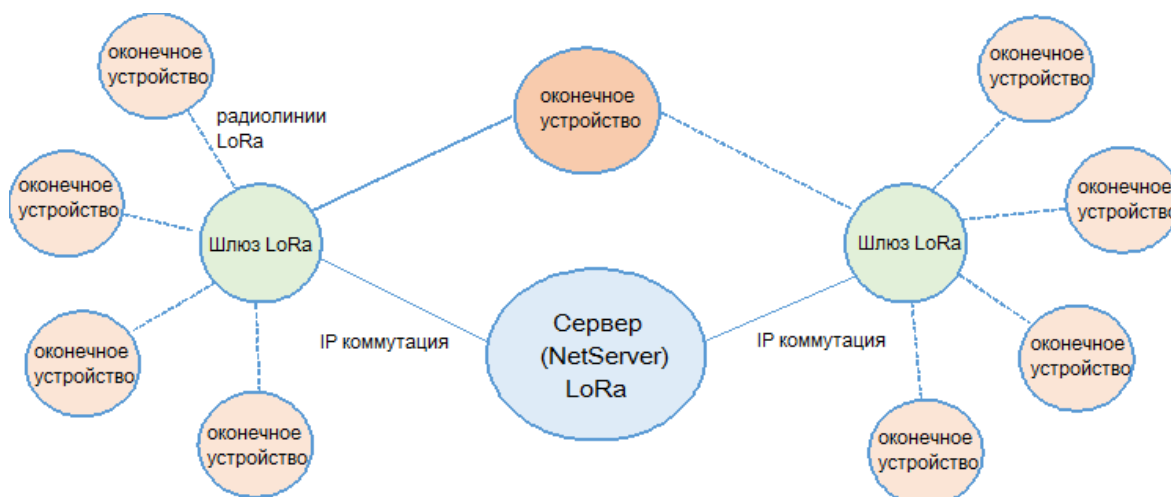


Рис. 3. Архитектура системы LoRa

В LoRaWAN сетевые узлы не связаны с конкретным шлюзом. Каждый шлюз пересылает полученные пакеты от конечных узлов к облачному серверу сети через какой-либо транспорт (сотовый, локальную сеть, спутниковый или Wi-Fi Интернет).

Шлюзы передают сообщения между конечными устройствами и сервером по архитектуре протокола, представленного на рис. 4.

Шлюзы выступают в качестве своего рода ретрансляторов/мостов и просто пересылают к связанным с ними NetServer все, успешно декодированные, сообщения, отправленные любым конечным устройством, после добавления некоторой информации относительно качества приема. NetServer, следовательно, отвечает за фильтрацию дубликатов и нежелательных пакетов. Шлюзы, таким образом, полностью прозрачны для конечных устройств, которые непосредственно логически присоединены к NetServer. Важно, что текущий полноценный LoRa шлюз обеспечивает параллельную обработку до 9 LoRa каналов, где канал

идентифицируется конкретным поддиапазоном и коэффициентом расширения [10].

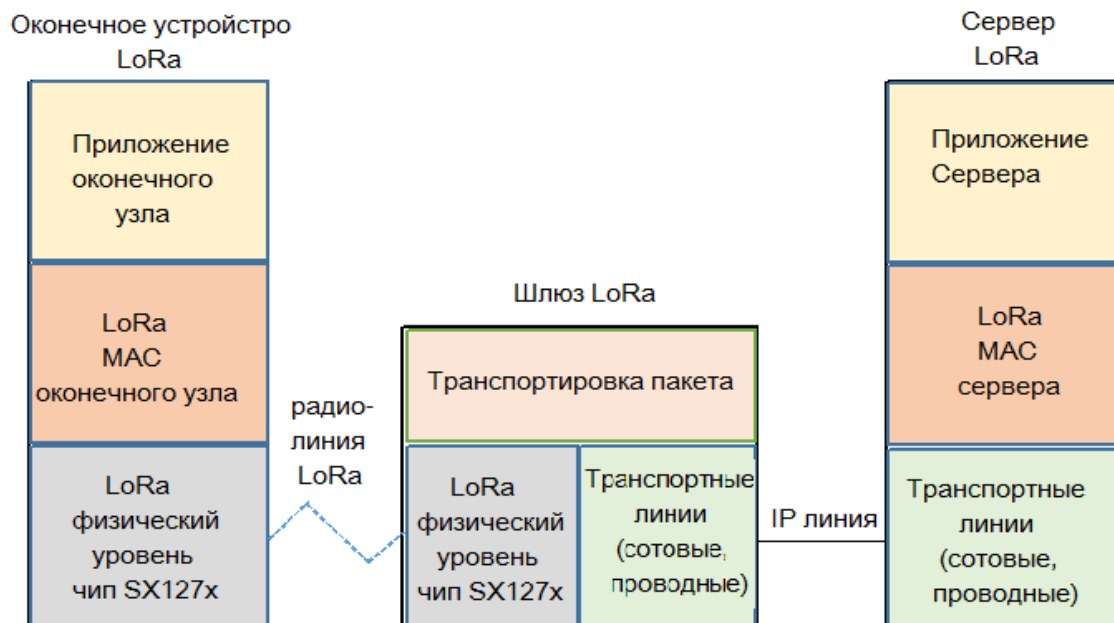


Рис. 4. Архитектура открытого протокола LoRaWAN

Этот режим значительно упрощает управление доступом в сеть для конечных узлов. Кроме того, конечные узлы могут свободно перемещаться через ячейки сети, обслуживаемых разными шлюзами, не создавая какого-либо дополнительного сигнального трафика в сети доступа. Наконец, наблюдается увеличение количества шлюзов, которые обслуживают определенные конечные устройства, что позволяет повысить надежность подключения к Netserver.

Содержание каждого сообщения может достигать 242 октетов в сравнении с 12 для SIGFOX. Лора лучше подходит для приложений, требующих высокую скорость передачи данных (протокол на основе расширения спектра).

LoRa поддерживается несколькими операторами связи во Франции (Orange, Bouygues).

LPWAN по сути отличается от классической реализации модели сетевого взаимодействия устройств. Экспериментальные исследования, которые были выполнены с применением технологии LoRa, показали, что модели LPWAN должны дополнить существующие стандарты интернета вещей.

В LoRaWAN сетях стандартом предусмотрено обязательное двухуровневое шифрование данных двумя разными AES-64 и 128 ключами для защиты от несанкционированного доступа и искажения, либо перехвата данных, передаваемых оконечными устройствами².

Технология SigFox

SIGFOX является частной компанией, которая направлена на создание всемирной сети, специально разработанной для устройств (*Internet of Things, IoT*). Технология позволяет осуществлять передачу данных на большие расстояния

² RFC 4493. The AES-CMAC Algorithm. 2006.

при малой мощности передающего устройства и малой емкости батареи. Сеть отлично подходит для простых и автономных устройств, которые посылают небольшое количество данных в эту сеть. Так сеть SIGFOX похожа на сотовую инфраструктуру (GSM- и GPRS-3G-4G), но является более энергоэффективной и в тоже время менее затратной. SIGFOX использует ультра-узкую полосу частот (*Ultra Narrow Band, UNB*) на основе радио технологии для подключения устройств к глобальной сети. Использование UNB – ключевой фактор в обеспечении очень низкого уровня мощности передатчика, который будет использоваться во время состояния поддержания соединения надежных данных.

Сеть работает в существующих нелицензируемых диапазонах (*The industrial, scientific and medical, ISM*) в глобальном масштабе и сосуществует в этих частотах с другими радио-технологиями без проблемы перекрытия сети или проблемы пропускной способности. В Европе широко используется диапазон 868,8 МГц (как определено в ETSI и CEPT), а в США 915 МГц (как определено FCC).

Зона охвата сети SIGFOX составляет около 30–50 км в сельской местности и в городских районах. Обычно, где больше затруднений и шума, диапазон снижается в пределах от 3 до 10 км.

На рис. 5 представлена топология сети технологии SIGFOX [11]. Общая топология сети была разработана для обеспечения масштабируемой, высокопроизводительной сети, с очень низким расходом энергии, при этом сохраняя простую и легкую топологию «звезда» на основе ячеистой инфраструктуры.



Рис. 5. Топология сети SIGFOX

В SIGFOX узлы могут использоваться в двух конфигурациях:

- Режим P2P – прямой связи между узлами (Интерфейс LAN);
- Гибридный режим – SIGFOX / P2P (P2P + GW в сети SIGFOX).

В режиме P2P, узлы могут подключаться непосредственно между ними и сразу отправлять сообщения, при этом отправка будет бесплатная, т. к. передача данных происходит без транзитного канала, за который надо платить. Это полезно, т. к. можно создать вторичные сети в любое время и нет необходимости менять прошивку, достаточно только использовать специальные команды текущей библиотеки.

В Гибридном режиме мы используем сочетание SIGFOX и P2P режимов, позволяющих отправлять только определенные сообщения через сеть. В этом случае мы используем один узел в качестве шлюза сети (режим P2P + SIGFOX), а остальные узлы в режиме P2P.

SIGFOX с ETSI определили, что одно устройство может в день отправить до 140 сообщений, при этом одно сообщение должно содержать максимально 12 байт полезной информации. Было установлено, что этих 12 байт покрывают потребности устройств, которые передают такие данные, как коэффициент потребления энергии, местоположение устройства, сигнал тревоги и другие основные типы сенсорной информации. Также возможно передавать до 4 сообщений, состоящих из 8 байт полезной информации в сутки в сторону каждого устройства. Эти 8 байт позволяют отправить данные конфигурации, а также оптимизировать срок службы аккумулятора. Этого бывает достаточно в случае, если не требуется полноценная двусторонняя связь. Устройство, чтобы получить сообщение, должно запросить данные с сервера, на котором заблаговременно должно быть запрограммировано определенное время, либо конкретное событие.

Технология использует шифрование AES с HMACs с закрытым ключом, который встроен в прибор, плюс некоторый порядковый номер.

Технология SIGFOX направлена на низкую стоимость устройств, где требуется широкая зона покрытия. Есть целый ряд приложений, которые нуждаются в этой технологии беспроводной связи. Области, в которых могут быть использованы сети SIGFOX включают в себя:

- дома и потребительские товары;
- энергетические коммуникации - в частности, интеллектуальный учет;
- здравоохранения – в частности, приложения mHealth;
- транспорт – включая в себя техническое управление;
- удаленный мониторинг и контроль;
- розничная точка продажи, хранение обновлений и т. д.;
- безопасность.

Стандарт имеет ряд преимуществ по сравнению с другими базовыми технологиями LPWAN сетей. Это большая зона покрытия; высокая проникающая способность; до 20 лет работы сенсора от 2-х батарей AA, т. е. сверхнизкое энергопотребление; низкая стоимость.

Как и все технологии современного мира, энергоэффективная сеть SIGFOX, к сожалению, также имеет и отрицательные характеристики:

- низкая скорость передачи данных;
- зависимость от сотовой инфраструктуры;
- ограниченная помехоустойчивость;
- нет сетей SIGFOX в России.

В настоящее время технология охватывает Францию, Испанию, многие города Великобритании, Нидерландов, Бельгии, Португалии, Ирландии, Люксембурге, многие крупные европейские города, и некоторые города в США, Австралии или Новой Зеландии. SIGFOX сети планируется внедрять в 60 странах в течение следующих пяти лет. В Соединенных Штатах, в Сан-Франциско, силиконовой Долине, и других ключевых местах реализуются и пилотные проекты, которые будут следующим большим рынком сетевых технологий SIGFOX.

Технология NB-IoT

NB-IoT (от англ. *NarrowBand IoT* – «узкополосный интернет вещей»), он же стандарт LTE-Cat.M2, имеет ряд достоинств таких, как широкая зона охвата, быстрая модернизация существующей сети, низкое энергопотребление, гарантирующее 10-летний срок службы батареи, низкую стоимость терминала, подключи и играй, повышенную надежность и высокую сеть операторского класса безопасности. NB-IoT идеально соответствует требованиям рынка LPWAN, позволяя операторам расширить эту новую область.

NB-IoT позволяет современным операторам работать с традиционными направлениями IoT, такими как интеллектуальные системы учета, отслеживания, благодаря ультранизкой стоимости, а также открывает больше возможностей промышленности, например, «умный Город», системы электронного здравоохранения³.

Технология NB-IoT рассматривает эволюцию от отрасли сотовой связи к Интернету вещей. Это беспроводная узкополосная разновидность глобальных сетей с низким энергопотреблением, которая в первую очередь предназначена для приложений M2M.

Стандарт NB-IoT был специфицирован соглашением 3GPP в Release 13 (LTE *Advanced Pro*) и с 2016 г. по настоящее время он проходит тестирование.

Ниже, на рис. 6, представлено девять отраслей, в которых мы видим большой потенциал рынка для NB-IoT сервисов:



Рис. 6. Целевые отрасли для NB-IoT сервисов

Модель в настоящее время включает в себя более пятидесяти случаев использования, охватывающих многие категории услуг, такие как:

- интеллектуальный учет (электричество, газ и вода);
- охранно-пожарная сигнализация для домов и коммерческих объектов;
- приборы для измерения параметров здоровья;
- отслеживания людей, животных или предметов;
- умные городские инфраструктуры, такие как уличные фонари или система контроля и учета транспортных средств;

³ NB-IoT, Enabling New Business Opportunities. URL: www.huawei.com

– подключение промышленных приборов, таких как сварочные аппараты или воздушные компрессоры.

Как уже упоминалось ранее сервисам, которые используют низкую мощность сетей, как правило, требуется широкая зона охвата и низкое энергопотребление, которое является необходимым условием для почти 80 % всех случаев использования LPWAN. На рис. 7 показано несколько характерных черт, присущих NB-IoT технологии.



Рис. 7. Функциональные возможности NB-IoT

Сравнивая присущие возможности NB-IoT с другими технологиями LPWAN такими, как e-MTC, SIGFOX, LoRa, NB-IoT обеспечивает более высокую производительность. Кроме того, наблюдая за всеми технологиями с точки зрения сетевых инвестиций, сценариев покрытия, трафика входящей и исходящей линии связи и надежности сети, можно сделать вывод, что NB-IoT является наиболее подходящей технологией.

Известно, что несколько операторов по всему миру используют полосу частот 900 МГц для GSM из-за его обширных возможностей покрытия. Это возможно потому, что такие низкие полосы частот имеют отличные характеристики распространения, и это, как правило, улучшает проникновение в помещении.

Развертывание NB-IoT в полосах частот, таких как 700, 800 и 900 МГц является отличным выбором, поскольку это довольно обширная экосистема в основном из-за его поддержки со стороны многих мировых ведущих операторов. Существует значительное число коммерческих сетей UMTS и LTE, которые в настоящее время работают в диапазоне частот 900 МГц.

В 3GPP были предложены 3 сценария для развертывания LPWAN NB-IoT: Guard Band (защитная полоса), In Band (в полосе частот) и Standalone (автономный)⁴.

Сеть может быть развернута как автономный носитель Standalone с использованием любого доступного спектра более 180 кГц. Кроме того, сеть может быть в распределении LTE спектра, либо в рамках более широкой несущей LTE In-Band, либо в LTE Guard Band – защитной полосе. Эти различные сценарии развертывания показаны на рис. 8.

⁴ NB-IoT. Antti Ratilainen. URL: <http://www.ietf.org/proceedings/96/slides/slides-96-lpwan-7.pdf>

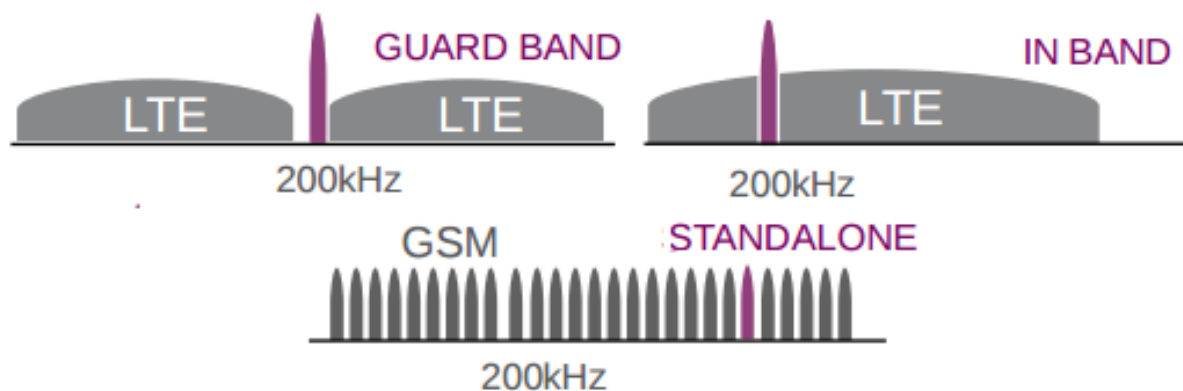


Рис. 8. Три сценария развертывания NB-IoT

Первый сценарий NB-IoT Guard Band служит в качестве рабочего диапазона, используя защитный интервал для технологий LTE.

Второй In-Band – внутриполосный – это наименее оптимальный режим. В этом сценарии расходуются ресурсы разрешенного спектра LTE-частот.

Третий режим получил название Standalone. Здесь разрешенный спектр находится вне зоны разрешенных частот традиционных технологий 3GPP UMTS/LTE.

Таким образом, сеть NB-IoT можно развернуть в частотных диапазонах, в которых в настоящее время функционирует стандарт GSM, после их рефарминга в LTE, или в «защитных» интервалах между сетями GSM и LTE. Скорость передачи данных в NB-IoT достигает 200 кбит/с, что является достаточным для устройств, периодически передающих однотипные данные небольшого объема.

Безопасность всегда была очень важным аспектом человеческой жизни. Люди во все времена хотят гарантированную безопасность. Сигналы тревоги и обнаружение событий поможет быстро сообщить пользователю об обнаружении вторжения в дом. Эта система не только предлагает интеллектуальную защиту от вторжения, но и сведения для обнаружения некоторых событий, например, внезапное увеличение температуры в доме или возникновение дыма. Датчики, установленные в домах, постоянно обмениваются данными с сетью LPWAN.

Технология Weightless P

Лидером разработки стандарта Weightless стала промышленная IoT компания Ubiik. Weightless – представляет собой открытый стандарт для сетей LPWAN повышенной мощности, предназначенной для производительности сети⁵. В специальной группе интересов Weightless (*Special Interest Group, SIG*) предлагается три различных протокола – Weightless-H, Weightless-W, и Weightless-P, которые поддерживают различные формы и варианты использования.

Weightless-W это открытый стандарт предназначен для работы в частотах телевизионного диапазона (*TV white space, TVWS*). Weightless-W идеально подходит для использования в нефтяной и газовой отрасли.

Weightless-N делает акцент на чрезвычайно широкую зону покрытия вместо высоких скоростей передачи данных. Хотя ограничивается односторонним дви-

⁵ Weightless-P moves the LPWAN game on. URL: <http://www.weightless.org/about/weightlessp>

жением связи. Weightless-N поддерживает большой диапазон и низкое энергопотребление. Weightless-N идеально подходит для сенсорных сетей на базе показаний температуры, контроля уровня жидкости в резервуаре, измерений и многое другое.

Weightless-P это узкополосная технология LPWAN для IoT-решений, требующих высокую плотность конечных устройств, долгосрочную службу батареи, и двунаправленную связь. Особенности этой технологии являются масштабируемость, оптимизация восходящей и нисходящей линии связи, широкая зона покрытия, длительный срок службы батареи и безопасная сеть. Он использует узкий диапазон групп модуляций, предлагая возможность двунаправленной связи для того, чтобы обеспечить непревзойденное качество обслуживания (*Quality of Service, QoS*). В отличие от Weightless-H и -W, Weightless-P не требует температурной компенсации кварцевого генератора (*Temperature Compensated Crystal Oscillator, TCXO*) из-за широкого диапазона электромагнитного излучения (ДМВ).

Weightless-P является наиболее масштабируемой субгигагерцовой технологией LPWAN. Одна базовая станция Weightless-P поддерживает больше устройств, чем любая другая технологии LPWAN в суб-ГГц диапазоне. Высокая емкость базовых станций минимизирует затраты на развертывание.

Можно выделить десять основных характеристик Weightless-P:

- технология узкополосная (12,5 кГц на канал);
- оптимизация поддержки плановых и внеплановых трафик-движений (в стандарте TDMA/FDMA);
- спектрально-эффективная модуляция OQPSK;
- работает по всему диапазону лицензионных освобожденных от суб-ГГц ISM полосах частот для глобального развертывания: 169 / 433 / 470 / 780 / 868 / 915 / 923 МГц;
- роуминг;
- 2 км в городской среде;
- время-синхронизации базовых станций для эффективного радио-планирования ресурсов и использования;
- возможность совместного использования инфраструктуры;
- адаптивная скорость передачи данных: 200 бит/с – 100 кбит/с;
- контроль мощности передачи для нисходящей линии связи и восходящей линии связи для того, чтобы уменьшить помехи и увеличить пропускную способность сети.

Ресурсы в субгигагерцовом нелицензируемом спектре ограничены и трафик от других технологий неуклонно растет. Поэтому Weightless-P использует узкополосный 12,5 кГц каналы, что дает возможность передавать в 7 раз больше данных, чем SIGFOX, и в 98 раз больше данных, чем LoRaWAN в городских условиях.

Синхронные сети означают, что каждое устройство и базовая станция точно знает, когда говорить, а когда слушать. Множественный доступ с временным разделением каналов (*Time Division Multiple Access, TDMA*) представляет собой метод доступа к каналу для общих средних сетей. Это позволяет нескольким пользователям совместно использовать один и тот же частотный канал путем деления сигнала на различные временные интервалы. Множественный доступ с частотным разделением каналов (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*) это еще один

способ доступа к каналу, где пользователям предоставляется индивидуальный частотный диапазон и координируется доступ между несколькими пользователями. Стоит отметить, что LoRaWAN и SIGFOX не синхронные сети.

Низкая задержка, двунаправленная связь между конечными устройствами и базовой станции обеспечивает надежную сеть и производительность.

Базовая станция может иметь полный контроль над своей сетью и конечными устройствами в любое время. У других технологий конечные устройства недоступны, пока устройство не начнет передачу данных по восходящей линии связи. Несколько подканалов с малой задержкой в восходящей и нисходящей линии сокращает время приема и также уменьшает разрядку аккумулятора.

После отправки конечным узлом данных, базовая станция Weightless-P сообщает каждому устройству точное время и канал использования для того, чтобы избежать столкновений и обеспечить успешную доставку важных данных.

Как ранее уже было отмечено, в связи с ростом трафика в суб-ГГц диапазоне, шанс потери данных или их дублирование увеличивается. LoRa и SIGFOX к этому вопросу подошли примитивно: сообщения отправляются несколько раз до успешной доставки. Этот метод быстро истощает батарею. Weightless-P построен на основе функций надежности сотовых сетей: синхронная сеть обеспечивает самую высокую вероятность успешной доставки данных с одной попытки.

Метод адаптивной скорости передачи данных обеспечивает оптимальную производительность сети и увеличивает срок службы батарей конечных устройств, т. к. он регулирует фактическую скорость передачи данных в зависимости от близости каждого узла к базовой станции. Чем ближе к базовой станции оконечные узлы, тем более высокая скорость передачи данных, что приводит к более короткому эфирному времени и более низкой выходной мощности. Противоположно, узлы, которые наиболее удалены от базовой станции, используют самую низкую скорость передачи данных и самую высокую выходную мощность.

Weightless-P технология поддерживается протокол безопасности и обеспечивает:

- взаимную проверку подлинности с доверенной третьей стороны;
- шифрование переговоров;
- EAP-GPSK схему аутентификации в качестве базовой линии;
- аутентификация в сети. AES-128/256 шифрования. Прямое исправление ошибок.

Более компактный и оптимизированный протокол обеспечивает уменьшение сложности и стоимость системы по сравнению с сотовой M2M или будущей NB-IoT.

Технология активно используется в смарт измерениях, автомобильных системах слежения, отслеживании активов, в умных автомобилях – диагностика и модернизация транспортных средств, мониторинге состояния здоровья, датчиках движения, умных приборов, смарт-инфраструктуре электронных платежей и др.

Сравнение технологий сетей дальнего радиуса действия LPWAN

Сравнение технологий сетей дальнего радиуса действия представлены в таблице⁶. Как видно из таблицы, технологии обладают высокой дальностью связи, повышенной помехозащищенностью, низкой скоростью передачи данных, низким энергопотреблением и, как следствие, высокой степенью автономности конечных устройств.

Таблица.

Сравнение технических характеристик сетей дальнего радиуса действия LPWAN

Технические характеристики	LoRa	SIGFOX	NB-IoT	Weightless P
Метод модуляции	CSS	–	OFDMA/DSSS	FDMA / TDMA
Диапазон	ISM	ISM	Лицензированный	ISM
Скорость	0,3–50 кбит/сек	100 бит/сек	UL: 1–144 кбит/сек DL: 1–200 кбит/сек	0,2–100 кбит/сек (адаптивная)
Полоса	Широкополос. до 500 кГц	Узкополос. 100 кГц	Узкополос. 200 кГц	Узкополос. 12,5 кГц
Время автономии	> 10 лет	–	До 10 лет	3–5 лет
Частота	868,8 МГц (Европа) 915 МГц (США) 433 МГц (Азия)	868,8 МГц (Европа) 915 МГц (США)	700 / 800 / 900 МГц	169 / 433 / 470 / 780 / 868 / 915 / 923 МГц
Безопасность	AES-64 и 128 бит	AES с HMACs	–	AES-128 / 256
Дальность	До 2,5 км в городе, до 45 км вне города	До 10 км в городе, до 50 км вне города	–	До 2 км в городе
Поддержка	LoRa Alliance, IBM, Cisco, Actility, Semtech...	SigFox, Samsung	3GPP, Ericson, Nokia, Huawei, Intel...	Ubiik Weightless SIG

Заключение

Анализ выявил, что у каждой технологии имеется множество преимуществ и особенностей и ни один выше рассмотренный вариант не может быть оставлен в стороне и имеет место в современном мире технологий.

По независимой оценке состояния и перспективного развития глобальных сетей с низким энергопотреблением для рынка Интернета Вещей на ближайшие 1–2 года наиболее востребованной технологией будет LoRaWAN и, вероятно, SIGFOX. В дальнейшем можно будет ожидать совместное использование приспособленных для IoT технологий 3GPP (например, LTE-M) и действующих технологий LPWAN.

⁶ J'son & Partners Consulting. Состояние и перспективы использования радиотехнологий LPWAN для рынка Интернета вещей (IoT). URL: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/sostoyanie-i-perspektivy-ispolzovaniya-radiotekhnologiy-lpwa-dlya-rynka-interneta-veschey-iot-20160729095226

Литература

1. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
2. Кучерявый А. Е., Кучерявый Е. А., Прокопьев А. В. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич. 2011. 312 с.
3. Киричек Р. В., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Кучерявый А. Е. Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 4 (8). С. 29–41. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/4-14.pdf>
4. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Маколкина М. А., Парамонов А. И., Выборнова А. И., Пирмагомедов Р. Я. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1–14. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf>
5. Kirichek R., Kulik V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 442–453. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_39.
6. Кулик В. А., Киричек Р. В., Бондарев А. Н. Методы исследования беспроводных каналов связи Интернета Вещей в условиях совместной работы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 1 (9). С. 106–114.
7. Кулик В. А., Выборнова А. И. Методы комплексного тестирования Интернет Вещей // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN). 2016. С. 305–312.
8. Гимранов Р. Р., Киричек Р. В., Шпаков М. Н. Технология межмашинного взаимодействия LoRa // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 62–73. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>
9. Kirichek R. The Model of Data Delivery from the Wireless Body Area Network to the Cloud Server with the Use of Unmanned Aerial Vehicles // 30th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings (ECMS). 2016. pp. 603–606. DOI: 10.7148/2016-0603.
10. Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., Zorzi, M. Long-Range Communications in Unlicensed Bands: the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios // IEEE Wireless Communications. 2016. Vol. 23. Iss. 5. pp. 60–97. DOI: 10.1109/MWC.2016.7721743.
11. Nolan K. E., Guibene W., Kelly M. Y. An Evaluation of Low Power Wide Area Network Technologies for the Internet of Things // International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). 2016. pp. 439–444. DOI: 10.1109/IWCMC.2016.7577098.

References

1. Koucheryavy, A. E. Internet of Things // *Electrosvyaz*. 2013. No. 1. pp. 21–24.
2. Koucheryavy, A. E., Koucheryavy, E. A., Prokopiev, A. V. Self-Organizing Networks. SPb.: Lubavich. 2011. 312 p.
3. Kirichek, R. V., Paramonov, A. I., Prokopiev, A. V., Koucheryavy, A. E. The Investigation Evolution in the Wireless Sensor Networks Area // *Telecom IT*. 2014. No. 4 (8). pp. 29–41. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/4-14.pdf>
4. Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R., Makolkina M., Paramonov A., Vybornova A., Pirmagomedov R.: The Prospects for Research in the Field of Communications Networks on the 2017–2020 Years // *Telecom IT*. 2016. Vol. 4. Iss. 3. pp. 1–14. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf>
5. Kirichek R., Kulik V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // *Communications in Computer and Information Science*. 2016. Vol. 678. pp. 442–453. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_39.
6. Kulik, V. A., Kirichek R. V., Bondarev, A. N. Research Methods Wireless Chanel of Internet of Things in Other Networks Interference // *Telecom IT*. 2015. No. 1 (9). pp. 106–114. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
7. Kulik, V. A., Vybornova, A. I. Methods of Complex Testing the Devices of the Internet of Things // *Distributed Computer and Communication Networks (DCCN)*. 2016. pp. 305–312.
8. Gimranov, R. R., Kirichek, R. V., Shpakov, M. N. The LoRa M2M Technology // *Telecom IT*. 2015. No. 2 (10). pp. 62–73. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>
9. Kirichek R. The Model of Data Delivery from the Wireless Body Area Network to the Cloud

Server with the Use of Unmanned Aerial Vehicles // 30th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings (ECMS). 2016. pp. 603–606. DOI: 10.7148/2016-0603/

10. Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., Zorzi, M. Long-Range Communications in Unlicensed Bands: the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios // IEEE Wireless Communications. 2016. Vol. 23. Iss. 5. pp. 60–67. DOI: 10.1109/MWC.2016.7721743.

11. Nolan, K. E., Guibene, W., Kelly, M. Y. An Evaluation of Low Power Wide Area Network Technologies for the Internet of Things // International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). 2016. pp. 439–444. DOI: 10.1109/IWCMC.2016.7577098.

Кумаритова Диана Леонидовна – магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, vip.kumaritova@mail.ru

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, kirichek@sut.ru

Kumaritova Diana – undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, vip.kumaritova@mail.ru

Kirichek Ruslan – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, kirichek@sut.ru