

Новый стандарт для проектов «Умный дом» – Connected Home over IP

Часть 2

Виктор Алексеев (victor.alexeev@telemetry.spb.ru)

Концепция «Умного дома» была впервые сформулирована в документе Building Management System (BMS). До настоящего времени основной проблемой этого направления было отсутствие единого международного стандарта. Учитывая это, крупнейшие мировые концерны Amazon, Apple, Google и Zigbee Alliance в декабре 2019 года создали рабочую группу, названную Project Connected Home over IP (CHIP). Основная цель этой рабочей группы заключается в разработке и продвижении единого стандарта протоколов беспроводной связи с открытым кодом, предназначенных для оборудования, используемого в проектах Smart Home. В 2020 году к проекту CHIP присоединились IKEA, Legrand, NXP Semiconductors, Resideo, Samsung SmartThings, Schneider Electric, Signify (ранее Philips Lighting), Silicon Labs, Somfy и Wulian. В данной статье рассмотрены основные базовые принципы, заложенные в основу проекта CHIP.

Требования к физическому оборудованию (PHY) и каналному доступу (MAC) в проекте CHIP

На рисунке 4 показана 7-уровневая модель для CHIP (Thread) в сравнении с моделью ZigBee. На физическом (Physical) и канальном (Data link) уровнях устройства проекта CHIP соответствуют стандарту IEEE 802.15.4.

В 2003 году Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI – European Telecommunications Standards Institute) опубликовал первый вариант стандарта IEEE 802.15.4. Этот стандарт был специально разработан для низкоскоростного, маломощного, дешёвого оборудова-

ния, используемого в персональных беспроводных сетях (Low-Rate Wireless Private Area Networks, LR-WPAN). В этом стандарте описаны требования, которые на первом уровне (PHY) модели OSI предъявляются непосредственно к физическому оборудованию, а на подуровне (MAC) второго канального уровня регламентированы адресация и механизмы управления доступом к каналам, необходимым для обмена информацией между отдельными устройствами.

Стандарт 802.15.4 является базовым для целого семейства хорошо известных беспроводных стандартов взаимодействия, таких, например, как ZigBee, RF4CE, 6LoWPAN, Wireless HART,

SmartLink, THREAD, MiWi, ISA100.11 и других. Поэтому, в принципе, возможно использование в проекте чипов, поддерживающих на нижних уровнях эти технологии [23].

Основные параметры для PHY первоначального базового стандарта IEEE 802.15.4 приведены в таблице 1.

В первоначальной версии IEEE 802.15.4 для сетей LR-WPAN были рассмотрены два типа устройств: устройства с полной функциональностью (Full Function Device – FFD) и устройства с ограниченной функциональностью (Reduced Function Device – RFD).

Полнофункциональное FFD – это устройство, которое может поддерживать три режима работы, выступая в качестве координатора, главного контроллера и интеллектуального сенсора персональных сетей (PAN). Главный контроллер PAN управляет собственной локальной сетью, связанной с другими сетями. Координатор предоставляет услуги синхронизации, передавая по сети радиомаяки. Такой координатор должен быть связан с координатором PAN, но не может создавать собственную сеть.

Интеллектуальные сенсоры – устройства, которые не обладают описанными свойствами координатора и главного контроллера. Устройства с ограниченной функциональностью (RFD) представляют собой простейшие устрой-

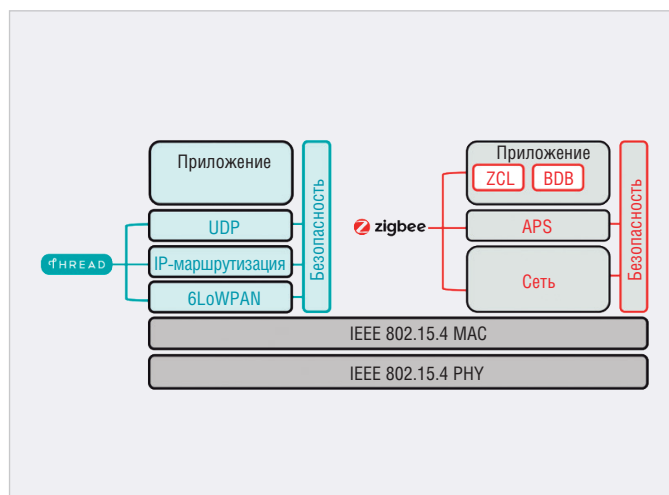


Рис. 4. Сравнение технологий Thread и ZigBee

Таблица 1. Частотный диапазон, модуляция и скорость передачи PHY базового стандарта 802.15.4

Частотный диапазон, МГц	Скорость передачи, Кбит/с	Модуляция
868...868,6	20	BPSK
902...928	40	BPSK
2400...2483,5	250	O-QPSK

Таблица 2. Основные параметры стандарта IEEE 802.15.4-2006

Частотный диапазон, МГц	Скорость передачи, Кбит/с	Модуляция	Регион
868...868,6	20	BPSK	Европа
902...928	40	BPSK	Северная Америка
868...868,6	250	ASK/QPSK	Европа
902...928	250	ASK/QPSK	Северная Америка
868...868,6	100	O-QPSK	Европа
902...928	250	O-QPSK	Северная Америка
2400...2483,5	250	O-QPSK	Весь мир

ства, такие, например, как выключатели света, пассивные датчики температуры, задымления, влажности и другие аналогичные.

Стандарт 802.15.4 регламентирует следующие типы топологии для сетей WPAN: ячеистые сети (mesh), звезда (star), точка–точка (point-to-point), каждый с каждым (p2p).

В следующей редакции стандарта IEEE 802.15.4-2006 были увеличены скорости передачи на частотах 868 и 915 МГц до 100 и 250 Кбит/с соответственно. В этой спецификации рассмотрены три PHY–DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) и один PHY–PSSS (Parallel Sequence Spread Spectrum):

- уровень PHY–DSSS с модуляцией BPSK (Binary Phase-Shift Keying) для диапазона 868/915 МГц;
- уровень PHY–DSSS с модуляцией O-QPSK (Offset Quadrature Phase-Shift Keying) для диапазона 868/915 МГц;
- уровень PHY–DSSS с модуляцией O-QPSK для диапазона 2450 МГц;
- уровень PHY–PSSS с модуляцией BPSK и ASK (Amplitude Shift Keying) для диапазона 868/915 МГц.

Основные параметры IEEE 802.15.4-2006 приведены в таблице 2 [24]. Радиус действия устройства зависит от параметров окружающей среды и мощности передатчика, которая регулируется местным законодательством для каждого конкретного диапазона частот. Например, для устройств IEEE 802.15.4-2006 при выходной мощности передатчика 0 дБм в помещении радиус действия будет не больше 30 м. В то же время на открытом воздухе в условиях прямой видимости без препятствий расстояние устойчивой работы может достигать 200 м. Для мощных передатчиков, например на 15 дБм, дальность действия может быть в 5 раз больше, чем у стандартного модуля.

Поскольку в настоящее время во всём мире эксплуатируется и производится огромное количество различных наименований датчиков и исполнительных устройств, соответствующих стандарту IEEE 802.15.4-2006, то именно с этой спецификацией предполагается использовать сети Thread в первом исходном протоколе проекта «Умный дом» CHIP. Однако дальнейшее развитие этого направления связывают с новыми редакциями стандарта 802.15.4.

В 2007 году был опубликован первый стандарт для сверхширокополосных (UWB) сетей IEEE 802.15.4a. В редакции IEEE 802.15.4a впервые представлен

Таблица 3. Основные параметры PHY стандарта IEEE 802.15.4a

Параметр	Назначение	
	UWB PHY	CSS PHY
PHY		
Частотный диапазон 1	250...750 МГц	2400...2483,5 МГц
Частотный диапазон 2	3244...4742 МГц	–
Частотный диапазон 3	5944...10234 МГц	–
Число каналов	16	14
Скорость передачи	851 Кбит/с (номинал), 110 Кбит/с, 6,81 Мбит/с, 27,24 Мбит/с (опционально)	1 Мбит/с (номинал), 250 Кбит/с (опционально)
Контроль безопасного расстояния (Secure ranging)	Да	Нет
Радиус действия	10...100 м	
Протокол множественного доступа	CSMA/CA, Aloha	

физический уровень UWB PHY Impulse Radio устройств сверхширокополосной связи с высокоскоростной импульсной несущей (High rate pulse repetition – HRP). В стандарте IEEE 802.15.4a добавлены два новых физических уровня PHY с расширенными частотными диапазонами (см. таблицу 3).

Основное отличие нового стандарта заключается в том, что введены два новых типа физического уровня, UWB PHY и CSS PHY, отличающиеся частотными диапазонами и скоростями передачи (см. табл. 2). Частотный диапазон UWB определён в трёх интервалах: ниже 1 ГГц, между 3 и 5 ГГц, между 6 и 10 ГГц. Для СШП устройств задействован метод прямой последовательности для расширения спектра (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum).

Для устройств PHY, работающих в полосе 2450 МГц нелицензируемого диапазона ISM, применён метод расширенного спектра CSS (Chirp Spread Spectrum), в котором используется синусоидальный сигнал увеличения или уменьшения частоты с течением времени. В редакции стандарта 802.15.4a поддерживаются все типы топологий, определённых первоначальным базовым стандартом 802.15.4.

В данном стандарте описаны два класса устройств – FFD и RFD. Устройства с полной функциональностью (FFD) поддерживают все функции и топологии, прописанные в стандарте. Устройства RFD имеют ограниченную функциональность и предназначены для использования в простых устройствах и сенсорах [25].

В 2009 году в стандартах 802.15.4c/d были узаконены китайские и японские диапазоны: 314–316, 430–434, 779–787 и 950–956 МГц. Спецификация 802.15.4e используется в оборудовании, предназначенном для промышленных приложений. Следующая редакция стандарта для UWB, опубликованная в

2011 году, получила соответствующее название – IEEE 802.15.4-2011. В этом варианте были определены и классифицированы все те UWB PHY и MAC, которые были известны к началу 2011 года.

В 2012 году был принят стандарт 802.15.4g, предназначенный для работы в диапазоне ниже 1 ГГц. В этом стандарте разработаны дополнительные инструменты, необходимые для поддержки сверхкрупных, географически разнесённых сетей с минимальной инфраструктурой и миллионами конечных узлов, таких, например как smart grid. Устройства этого стандарта поддерживаются в рамках международной некоммерческой организации Wi-SUN Alliance, образованной в США в 2012 году [26]. Сегодня в состав альянса входят около 130 крупнейших мировых фирм, таких как Analog Device, CISCO, Itron, Omron, Murata, Renesas, NIST, ROHM, TOSHIBA, Hitachi, Panasonic, General Electric, OKI и многие другие. Более 90 ведущих вендоров выпускают продукцию, сертифицированную Wi-SUN Alliance. Wi-SUN Alliance по структуре, задачам и основным функциям напоминает хорошо всем знакомый Wi-Fi Alliance.

В стандарте 802.15.4f регламентированы параметры устройств для активной (с батарейным питанием) радиочастотной идентификации (RFID). В 2015 году появилась ещё одна редакция стандарта – IEEE 802.15.4-2015, в которой был определён новый тип физического уровня устройств сверхширокополосной связи с низкоскоростной импульсной несущей LRP UWB PHY (LRP – low rate pulse repetition). Поскольку эти стандарты подробно описаны во многих публикациях [26], в этой статье внимание на них не будет сосредоточено.

Развитием и распространением технологий сверхширокополосной связи

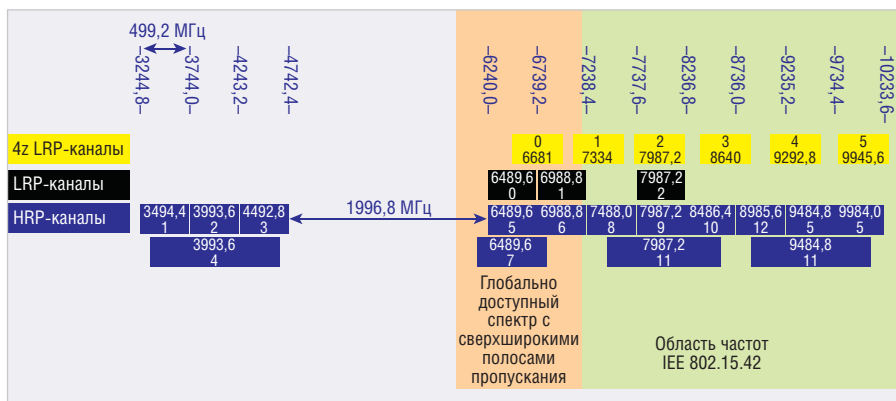


Рис. 5. Распределение частот низкоскоростных уровней LRP PHY 4a (синий цвет), LPR PHY 4z (жёлтый цвет) и высокоскоростных уровней HRP PHY 4z (чёрный цвет)

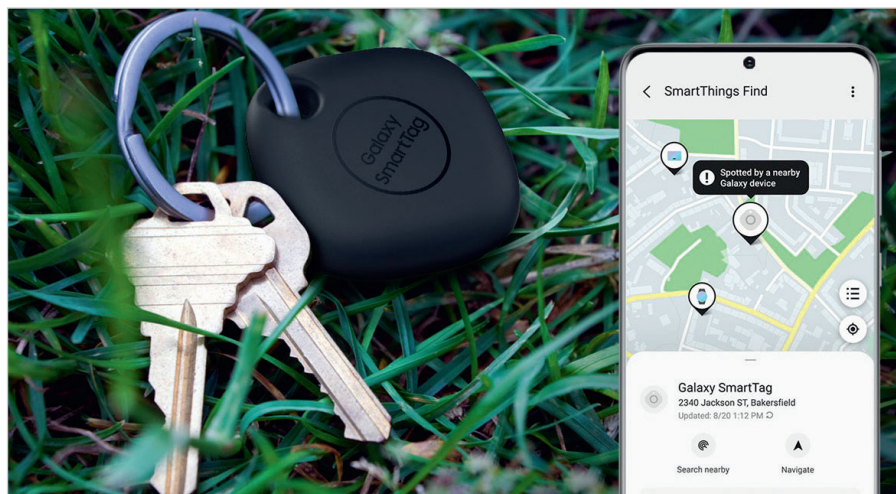


Рис. 6. Поиск потерянной вещи с помощью смартфона Samsung Galaxy

активно занимается международная некоммерческая организация UWB Alliance [27]. В этот альянс входят ведущие мировые производители электронных компонентов: Apple, Analog Device, Alteros, Decawave, Novelda, Hyundai, Kia, uBlox, Zebra, Ubisense и другие. Интерес этих гигантов радиоэлектронной промышленности к проблемам сверхширокополосной связи неслучаен. Объём рынка устройств LPWA может превысить 30 млрд устройств к 2030 году [28]. При этом значительная доля будет приходиться на устройства UWB ближнего радиуса действия.

В начале 2018 года были опубликованы первые документы нового стандарта 802.15.4z Standard for Low-Rate Wireless Networks Amendment: Enhanced High Rate Pulse (HRP) and Low Rate Pulse (LRP) Ultra Wide-Band (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques. Подробно этот стандарт описан в [29].

На рисунке 5 показано распределение частот низкоскоростных уровней LRP PHY 4a (синий цвет), LPR PHY 4z (оранжевый цвет) и высокоскорост-

ных уровней HRP PHY 4z (чёрный цвет) [30]. Частотный спектр высокоскоростного уровня HRP в стандарте 802.15.4z не изменился по сравнению с предыдущей версией. Для низкоскоростного уровня LRP в новом стандарте добавлены новые каналы в верхней части спектра UWB. На рисунке 6 отмечены каналы, которые доступны во всех регионах, подпадающих под юрисдикцию стандартов IEEE Globally available UWB spectrum.

В стандарте IEEE 802.15.4z разработана новая опция для подуровня управления доступом к среде передачи данных (MAC), которая позволяет измерять время прохождения ответного сигнала между двумя UWB-устройствами и определять расстояние между этими устройствами. Этот метод получил название SS-TWR, (single-sided – two-way ranging) [31].

Схема SS-TWR, описанная в стандарте 802.15.4z, упрощает и ускоряет процесс оценки расстояния. В этом варианте используются два сообщения вместо трёх сообщений, регламентированных в предыдущих стандартах. В стандарте

IEEE 802.15.4z изменения коснулись и верхнего подуровня канального уровня Logical Link Control (LLC), который обеспечивает управление логической связью, передачей данных, проверкой достоверности доставки.

В варианте 802.15.4z кадр UWB состоит из импульсов данных и защитных интервалов. Для номинального значения частоты следования импульсов (PRF – Pulse repetition frequency), равного 64 МГц, суммарное время составляет 128 нс. В стандарте 802.15.4z новые коды позволяют использовать более высокие значения среднего PRF, что обеспечивает более высокую скорость передачи данных за счёт уменьшения суммарного времени передачи кадра.

Сигналы UWB больше похожи на «розовый шум» в эфире, чем на обычные радиочастотные сигналы, это затрудняет их фильтрацию. Следует обратить внимание ещё на одно нововведение в стандарте 802.15.4z, получившее название Simultaneous ranging (одновременное определение расстояния между устройствами). Эта функция позволяет реализовать возможность синхронной работы UWB-дальномера в случае наложения фреймов. Устройства UWB стандарта 802.15.4z могут принимать ответы о временах доставки пакета от всех опорных трансиверов с некоторой задержкой, но обрабатывать их все, как один кадр Rx, вместо приёма отдельных кадров.

Отмеченные новации стандарта 802.15.4z могут кардинально изменить мир «Умного дома». Так, в отличие от традиционного Wi-Fi, который использует частоты 2,5 и 5 ГГц, стандарт UWB предусматривает работу на частотах выше 60 ГГц. Таким образом, можно передавать на порядок больше информации в одном пакете и расходовать при этом значительно меньше электроэнергии.

Опция SS-TWR позволяет позиционировать простые устройства UWB с точностью до 2 см. Если вы потеряли ключи, кошелек или что-то подобное с биркой, в которой размещена микросхема UWB, новый смартфон Samsung Galaxy последнего поколения покажет с точностью до сантиметра местонахождение потерянной вещи (см. рис. 6).

Благодаря функции Simultaneous ranging, устройства UWB стандарта 802.15.4z могут принимать ответы о временах доставки пакета от всех опорных трансиверов с некоторой задержкой, но обрабатывать их все как один

кадр, вместо приёма отдельных кадров. Эта функция может оказаться очень полезной для предотвращения взлома входных дверей дома, рольставней на окнах, гаражных ворот и других аналогичных устройств. Современные методы взлома используют переключенный с помощью специального оборудования сигнал открывания с брелока или переносного пульта. В случае если сигнал с брелока, оснащённого UWB, поступает не на один опорный трансивер, а на четыре, расположенные по углам двери, то алгоритм ответного сигнала в такой системе продублировать будет практически невозможно.

Кроме перечисленных особенностей 802.15.4z, также можно отметить функцию отказа от использования в обработке «некачественного сигнала» в определённом канале (co-channel rejection; сохранение работоспособности приёмника в условиях сильных помех в полосе пропускания (Interferer signal handling), помехоустойчивость устройств UWB в зоне действия Wi-Fi.

В настоящее время уже несколько известных фирм выпускают чипы с поддержкой UWB. Так, Decawave

(DW1000 UWB transceiver) и TI (CC1200 sub-GHz radio) производят чипы, которые могут работать в нескольких частотных диапазонах. Выпущенный в коммерческую продажу в 2020 году смартфон Apple iPhone 11 включает в себя микросхему UWB U1. Новые модели iPhone 12 и iPhone 12 Pro Max сохранили чип U1 и поддерживают UWB на частоте Sub6. Один из новейших смартфонов – Samsung Galaxy S21 – также поддерживает UWB [33].

В смартфонах Google Pixel 4 разработчики использовали технологию UWB в рамках своего проекта распознавания жестов Motion Sense Soli [34]. Эта технология в буквальном смысле слова позволит «дирижировать» работой бытовыми приборами «Умного дома».

Протоколы IP и 6LoWPAN в проекте CHIP

Рост индустрии «Умного дома» вызвал необходимость интеграции новых технологий и оборудования в одной экосистеме. Для этого необходим единый протокол plug and play, который может быть принят производителями, продвигающими самые различные концепции.

Выбор IP в проекте CHIP обусловлен тем, что именно этот интернет-протокол является наиболее распространённым на сетевом уровне. Важно, что протокол IP позволяет надёжно пересылать сообщения между разными типами устройств, несмотря на различия в их физическом и канальном уровнях. Следует подчеркнуть, что при использовании IP можно задействовать хорошо известные протоколы транспортного уровня, такие как TCP и UDP. Решения на базе IP помогут применить готовую сетевую инфраструктуру, которая предлагает огромное количество приложений и сервисов.

Использование протоколов Google Weave в проекте CHIP позволяет реализовать преимущества IP на уровне приложений и на уровне беспроводной сети с низким энергопотреблением. Поскольку протоколы Weave обеспечивают обмен данными между устройствами внутри сетей HAN (Home area network), а также выход во внешние IP сети, в проекте CHIP могут быть задействованы и другие технологии, например Thread, BLE или Cellular [36].

SCHAEFER

Источники питания AC/DC

- Вход: однофазная и трехфазная сеть переменного тока
- Мощность от 100 Вт до 500 кВт
- Выход: от 5 до 800 В постоянного тока
- Диапазон рабочих температур от -40 до +75°C

Источники питания DC/DC

- Вход: от 10 до 800 В постоянного тока
- Разнообразные конструктивные исполнения

DC/AC-инверторы

- Вход: от 20 до 800 В
- Выходы: однофазное и трехфазное напряжение
- Частота выходного напряжения от 40 до 800 Гц с подстройкой

AC/AC-преобразователи

- Преобразование переменного напряжения в однофазное и трехфазное с частотой от 40 до 800 Гц

Области применения

- Промышленная автоматизация
- Железнодорожный транспорт
- Испытательное оборудование
- Энергетика
- Нефтегазовая промышленность
- Ответственные применения

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU

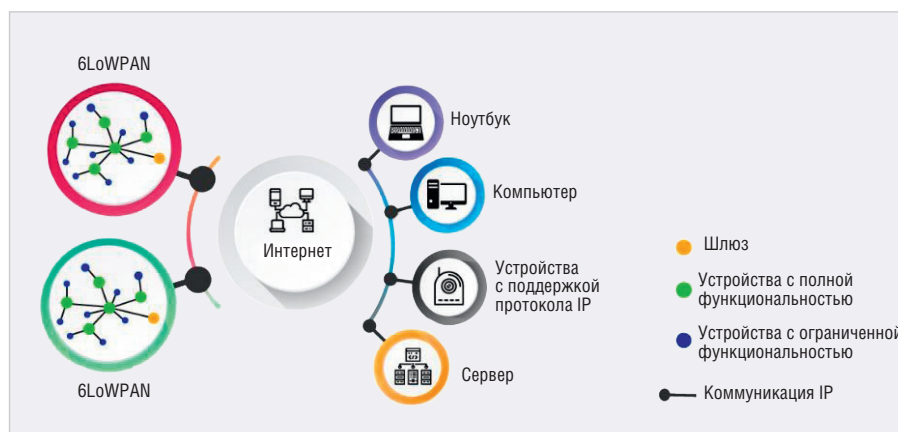


Рис. 7. Структура простейшей сети 6LoWPAN

Третий сетевой уровень модели OSI проекта Project Connected Home over IP, устанавливающий процедуры инкапсуляции данных в пакеты для передачи и приёма, использует технологию 6LoWPAN. Этот стандарт, полное название которого – IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) был разработан специально для взаимодействия беспроводных персональных сетей IEEE 802.15 с внешними IP-сетями. В полном соответствии со своим названием он позволяет доставлять пакеты данных по протоколу IPv6 поверх LPWAN сетей стандарта IEEE 802.15.4.

Первая редакция этого стандартного протокола была опубликована в 2007 году [37]. В дальнейшем были сделаны дополнения и расширения к базовому протоколу. Редакция протокола со сжатием заголовка реализована в RFC 6282. Документация RFC 6775 посвящена оптимизации обнаружения соседних устройств. Модернизированный вариант, предназначенный специально для технологии IPv6 over Bluetooth Low Energy (BLE), описан в материалах RFC 7668 [38]. Целесообразно напомнить несколько основных преимуществ IPv6 перед IPv4.

Большинство устройств используют протокол IPv4, разработанный около 30 лет назад. Протокол IPv6 – это обновлённая версия IPv4, которая постепенно становится основной версией интернета-стандарта. Протокол IPv4 использует 32-битовые адреса. Он ограничивает адресное пространство 4 294 967 296 уникальными адресами.

Во-первых, IPv6 имеет модернизированную адресацию, по сравнению со старой версией IPv4. Так, длина IP-адреса IPv6 составляет 128 бит. Поэтому IPv6 покрывает адресное пространство 2^{128} . Кроме того, используются буквенно-числовые методы адресации. Число доступных

идентификаторов увеличивается практически до бесконечности, что позволяет снабдить каждое IoT-устройство уникальным IP-адресом. Во-вторых, в протоколе IPv6 увеличен объём передаваемой в пакете информации за счёт уменьшения полей заголовков. Кроме того, IPv6 даёт возможность устройству, подключённому к Интернету, отправлять запрос любой группе серверов (anycast address). Для определения MAC-адресов в IPv6 применяется протокол Neighbor Discovery Protocol (NDP) из набора протоколов TCP/IP. Также в IPv6 поддерживаются автоматические настройки адреса и адреса с перенумерацией. Протокол IPv6 имеет встроенные функции контроля качества сервиса – Quality of Service (QoS), а также возможности аутентификации и частной поддержки [39]. Использование IPv6 в сетях 6LoWPAN обеспечивает надёжную передачу данных наряду с малым энергопотреблением для больших и малых сетей в проектах «Умный дом».

Структура простейшей сети 6LoWPAN, показанная на рисунке 7, включает в себя сервер граничного маршрутизатора и сенсорные узлы. Пограничный маршрутизатор является ядром сети 6LoWPAN. Маршрутизатор связывает сеть 6LoWPAN с другими IP-сетями и отвечает за доставку пакета 6LoWPAN к пакету IPv6, а также за генерацию и назначение префиксов IPv6 в сети 6LoWPAN.

Совместное использование протокола IP и 6LoWPAN-сетей позволяет применять стандартные IP-маршрутизаторы для связи с другими сетями. Одна 6LoWPAN-сеть может быть связана с другими IP-сетями через один или более граничных маршрутизаторов. При этом связь с другими IP-сетями может быть реализована через Ethernet, BLE, Wi-Fi и 3G/4G. Когда необходимо использовать связь между устройствами, поддер-

живающими разные протоколы – IPv4 и IPv6, используется механизм NAT64, преобразующий соответствующим образом сетевые адреса Network Address Translation (NAT).

Максимальный размер пакета передачи в IPv6 и 6LoWPAN составляет, соответственно, 1024 и 127 байт. Из этих 127 байт в сети 6LoWPAN 40 байт отведено на заголовок IPv6, 25 байт – для заголовка MAC, 8 байт – для заголовков UDP и только 54 байта – под полезную нагрузку.

Одной из наиболее важных является функция уплотнения заголовков High IPv6 header compression, которая позволяет сжимать несколько байтов заголовков UDP (8 байт) и IPv6 (40 байт). Области заголовка можно сжимать, поскольку они часто имеют общие значения, возникающие из-за частого использования подмножества функциональных возможностей IPv6 (UDP, TCP, ICMP). При этом области заголовка игнорируются, если они могут быть получены из канального уровня. Отмеченный метод сжатия заголовка используется в статических сетях, например с топологией point-to-point.

Для динамически меняющихся топологий с многократными скачками и редкими сеансами связи в сетях 6LoWPAN используется контекстно-независимое или совместно используемое контекстное сжатие (stateless and shared-context), при котором не требуется никакой информации о текущем состоянии. Протоколы маршрутизации могут динамически выбирать маршруты, не затрагивая степень сжатия.

В сетях 6LoWPAN стандартом RFC 6282 в качестве механизма передачи данных по уровням MAC и RHY регламентирован метод инкапсулирования фрейма данных IPv6 поверх радиоканала IEEE 802.15.4 [41].

Поскольку размер фрейма IPv6 на порядок превышает длину посылки почти на порядок IPv6, используется механизм фрагментации и повторной сборки. При этом фреймы IPv6 разделяют на отдельные пакеты, которые порциями передаются в сети 6LoWPAN. Затем пакеты в правильной последовательности собираются на приёмной стороне. Когда пакеты данных повторно собраны, дополнительная информация удаляется, и пакеты восстанавливаются в изначальном формате IPv6. Применяются разные способы фрагментации в зависимости от того, какая используется маршрутизация (топология). В случае

маршрутизации mesh-under фрагменты повторно собираются только в конечной точке назначения. Поэтому в системе mesh-under необходимо иметь достаточно большие ресурсы для хранения всех фрагментов полной посылки. При использовании маршрутизации типа route-over данные собираются заново после передачи каждого фрагмента.

Процесс автоматического конфигурирования без фиксации состояния (Stateless auto configuration) позволяет устройствам внутри сети 6LoWPAN автоматически генерировать собственный IPv6-адрес. Для того чтобы избежать случаев, когда два устройства могут получить один и тот же адрес, используется метод обнаружения дубликата адреса (Duplicate address detection – DAD).

Сети 6LoWPAN позволяют безошибочно доставлять пакеты данных с первой попытки. Надёжность передачи данных обеспечивает симметричный алгоритм блочного шифрования AES-128 (Advanced Encryption Standard) [42]. Дополнительная безопасность обеспечивается механизмами безопасности транспортного уровня, работающими по протоколу TCP/IP [43].

Преимущества 6LoWPAN – низкое энергопотребление и возможность объединения в сеть простых устройств с батарейным питанием. Поэтому устройства, предназначенные для работы в сетях 6LoWPAN, должны иметь режим глубокого сна sleep mode [44].

Литература

22. <https://www.ti.com/lit/wp/sway012/sway012.pdf>.
23. https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1gp105/1GP105_1E_Generation_of_IEEE_802154_Signals.pdf.
24. https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/599_2009_192_7229.pdf.
25. <file:///C:/Users/Public/AVB-2019/!ARTICLES/!ARTICLES-2021/SMART-HOME/802-15-4/802.15.4-2015.pdf>.
26. <https://wi-sun.org/our-vision>.
27. <https://uwballiance.org>.
28. <https://transforminsights.com/news/low-power-wide-area-lpwa-iot-connections-4-billion-2030#:~:text=Transforma%20Insights%20predicts%204%20billion,which%20operate%20in%20licensed%20spectrum>.

29. https://standards.ieee.org/standard/802_15_4z-2020.html#Standard.
30. <https://habr.com/ru/post/457876/>.
31. <https://arxiv.org/pdf/2004.06324.pdf>.
32. <https://www.nfcw.com/2021/01/19/370174/samsung-unveils-ultra-wideband-smart-tags/>.
33. <https://www.cnet.com/news/samsung-galaxy-s21-ultra-has-uwband-heres-how-ultra-wideband-tech-will-make-your-life-easier-faq/>.
34. <https://www.xda-developers.com/google-adding-ultra-wideband-uwband-api-android/>.
35. <https://www.shutterstock.com/ru/image-vector/conductor-director-leader-kapellmeister-classical-music-1103440649>.
36. <https://opensource.google/projects/openweave>.
37. <https://tools.ietf.org/html/rfc4944>.
38. <https://tools.ietf.org/html/rfc7668>.
39. <https://www.internet-society.org/search/?q=IPv6>.
40. <https://psiborg.in/6lowpan-an-ip-based-wireless-protocol/>.
41. <https://tools.ietf.org/html/rfc6282>.
42. <https://habr.com/ru/post/112733/>.
43. <https://tools.ietf.org/pdf/rfc5246.pdf>.
44. https://www.ti.com/lit/wp/swry013/swry013.pdf?ts=1615976171516&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.



Тестирование электроники в эпоху миниатюризации




Хотите узнать больше о наших технологиях и продукции? Свяжитесь с нами по электронной почте russia@jtag.com или посетите наш сайт www.jtag.com.





Более 25 лет в самом сердце электроники



Клиенты в более чем 50 странах



По всему миру продано более 10 000 систем



Более 2500 клиентов



Поддержка по всему миру

Как разрабатывать, производить и тестировать высококачественные электронные изделия с меньшими затратами и в короткие сроки?



Загрузите нашу брошюру

Реклама