

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

Часть 3

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.

Сетевые IP-технологии в проекте CHIP

В проекте Connected Home over IP (CHIP) предполагается использовать технологии и протоколы существующих платформ, которые в настоящее время конкурируют друг с другом (см. рис. 8). Сюда входят такие технологии, как: Amazon Alexa Smart Home, Google Weave, Apple HomeKit и Dotdot Zigbee Alliance. Многие крупные игроки в области технологий «Умного дома» смогут объединить усилия вместо того, чтобы тратить огромные средства на конкурентную войну.

В проекте будут поддерживаться несколько сетевых IP-технологий. При этом устройства и оборудование смогут работать с какой-нибудь одной технологией, не обязательно со всеми прописанными в проекте. В первой спецификации проекта CHIP будут регламентированы следующие технологии:

- Wi-Fi, версии 802.11a/b/g/n/ac/ax (Wi-Fi-6);
- Thread с поддержкой IEEE 802.15.4-2006 на частоте 2,4 ГГц;

- Bluetooth Low Energy (BLE), версии 4.1, 4.2, 5.0.

Wi-Fi, версии 802.11a/b/g/n/ac/ax

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – торговая марка Wi-Fi Alliance оборудования, предназначенного для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Альянс объединяет свыше 350 производителей со всего мира.

Технология Wi-Fi используется для организации высокоскоростных беспроводных локальных сетей, работающих в международном нелицензируемом диапазоне частот (ISM) 2,4 ГГц и 5 ГГц.

Технология Wi-Fi достаточно подробно и детально описана в многочисленных публикациях и статьях. Семейство Wi-Fi содержит около 40 утверждённых и разрабатываемых стандартов [45, 46].

Стандарты IEEE 802.11a, b, g, n, р относятся, соответственно, к 1–5 поколениям. Группу стандартов 802.11ac/ad/ah/aj/ax/ay/az, которая представляет собой расширения IEEE 802.11a, относят к 6-му поколению.

Для работы стандартов 802.11 в разных странах используются различные частотные диапазоны. Стандарты 802.11b, 802.11g и 802.11n-2.4 занимают интервал 2,4–2,5 ГГц частотного диапазона ISM. Стандарты 802.11a и 802.11n используют регулируемый диапазон частот 4,915–5,825 ГГц. Новый стандарт 802.11ay будет работать на частотах 60 ГГц. В стандарте 802.11af используются свободные телевизионные каналы на частотах 54–790 МГц. Сети 802.11ah работают на частоте 900 МГц.

Стандарты группы 802.11 отличаются друг от друга частотным диапазоном, технологиями модуляции, используемыми протоколами и скоростями передачи данных.

Как и все стандарты семейства IEEE 802, Wi-Fi 802.11 работает на нижних двух уровнях модели ISO/OSI: физическом уровне и канальном уровне. Поэтому сетевые протоколы, например TCP/IP, которые работают в сети Ethernet (стандарт IEEE 802.3), будут успешно функционировать и в сетях Wi-Fi 802.11. Таким образом, шлюз для выхода в Интернет, оснащённый несколькими входами, может работать как с беспроводной сетью Wi-Fi, так и кабельными сетями Ethernet 802.3. Основные параметры различных вариантов спецификаций Wi-Fi приведены в таблице 4 [47–49].

Стандарты группы 802.11 отличаются друг от друга частотным диапазоном, технологиями модуляции и используемыми протоколами. Частоты и относительная дальность действия стандартов группы 802.11 показаны на рисунке 9.

Каждый из стандартов группы 802.11 разрабатывался для определённых целей. Стандарты 802.11a, ac, ad, b/g/n, ax можно отнести к проекту «Умного дома». Стандарты 802.11af и 802.11ah предназначены для сетей WLAN городского масштаба.

Основные стандарты совместимы «сверху вниз». Например, 802.11ax имеет обратную совместимость с ранее выпущенными стандартами Wi-Fi - 802.11a/g/n/ac, поскольку точка доступа Wi-Fi 6 использует специальный формат PDU для взаимодействия с клиентами каждого из перечисленных стандартов [51].



Рис. 8. Проект CHIP объединит конкурирующие технологии [45]

Таблица 4. Параметры основных действующих стандартов Wi-Fi

Спецификация	Рабочая частота, ГГц	Ширина полосы, МГц	Скорость передачи данных, Мбит/с	MIMO	Модуляция	Радиус действия в здании, м	Радиус действия вне здания, м	
802.11.a	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	Нет	OFDM	35	120	
	3,7 [A]			Нет		НУ	5000	
802.11.b	2,4	22	1, 2, 5, 5, 11	Нет	DSSS	35	140	
802.11.g	2,4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	Нет	OFDM	38	140	
802.11.n	2,4/5	20	400 нс GI: 7,2, 14,4, 21,7, 28,9, 43,3, 57,8, 65, 72,2 [B]	4x4	MIMO-OFDM	70	250	
			800 нс GI: 6,5, 13, 19,5, 26, 39, 52, 58,5, 65 [C]					
		40	400 нс GI: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150 [B]					
			800 нс GI: 13,5, 27, 40,5, 54, 81, 108, 121,5, 135 [C]					
802.11.ac	5	20	400 нс GI: 7,2, 14,4, 21,7, 28,9, 43,3, 57,8, 65, 72,2, 86,7, 96,3 [B]	8x8, MU MIMO		MIMO-OFDM	35	НУ
			800 нс GI: 6,5, 13, 19,5, 26, 39, 52, 58,5, 65, 78, 86,7 [C]					
		40	400 нс GI: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 200 [B]					
			800 нс GI: 13,5, 27, 40,5, 54, 81, 108, 121,5, 135, 162, 180 [C]					
		80	400 нс GI: 32,5, 65, 97,5, 130, 195, 260, 292,5, 325, 390, 433,3 [B]					
			800 нс GI: 29,2, 58,5, 87,8, 117, 175,5, 234, 263,2, 292,5, 351, 390 [C]					
		160	400 нс GI: 65, 130, 195, 260, 390, 520, 585, 650, 780, 866,7 [B]					
			800 нс GI: 58,5, 117, 175,5, 234, 351, 468, 702, 780 [C]					
802.11.ad	60	2160	6,75 Гбит/с	Нет	OFDM, single carrier	60	100	
					Low-power single carrier			
802.11.af	54 и 790 МГц	от 6 до 8 МГц	До 8 МГц (4 потока)	4x4	OFDM	НУ	1000	
802.11.ah	0,9		100 Кбит/с...40 Мбит/с	DL MU-MIMO	OFDM	НУ	1000	
802.11.ax (Раз-2021)	2,4/5 (6 ГГц 6 Wi-Fi 6E)	от 1 до 6 ГГц (OFDMA).	1,2 Гбит/с (5 ГГц, 1x1); 2,4 Гбит/с (2x2); 4,8 Гбит/с (4x4)	MIMO и MU-MIMO	MIMO OFDMA	НУ	НУ	

Bluetooth Low Energy (BLE), версии 4.1, 4.2, 5.0

Технология Bluetooth, основанная на стандарте IEEE 802.15.1, использует диапазон частот 2400–2483,5 МГц. Эта технология разработана консорциумом Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG). Консорциум SIG насчитывает около 2000 действующих и ассоциированных членов.

Спецификации Bluetooth обеспечивают в реальном времени передачу данных и речи. Эта технология широко используется в компьютерах, гаджетах, планшетах, смартфонах для беспроводной связи с периферийными устройствами. Классический Bluetooth занял свою нишу в аудиоустройствах с беспроводным подключением к ноутбукам и мобильным телефонам. Этой технологии посвящены труды многочисленных конференций и объёмные монографии.

Революционным событием в мире Bluetooth стало появление в 2010 году спецификации Bluetooth 4.0, разработанной специально для использования в батарейных устройствах, которым требуется продолжительное автономное функционирование без подзарядки (Bluetooth Low Energy – BLE). По существу, BLE – это совершенно иная

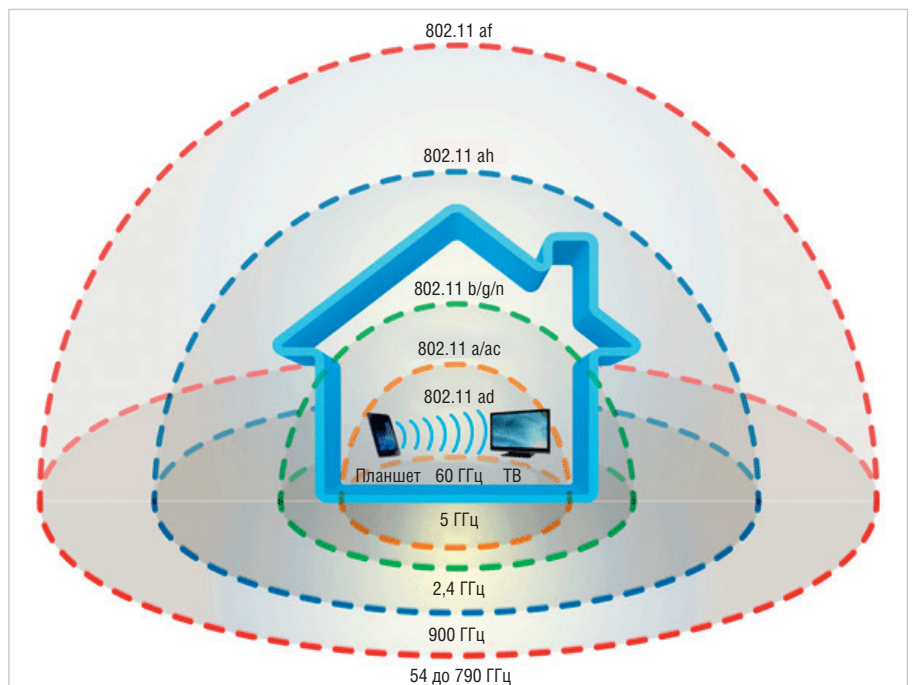


Рис. 9. Частоты и относительная дальность действия стандартов группы 802.11 [50]

технология, открывающая новые пути развития Интернета вещей [52]. Благодаря использованию специального алгоритма работы, при котором передатчик включается только на время передачи данных, в BLE удалось достигнуть ультранизкого энергопотребления. В специфика-

ции Bluetooth 4.0 предусмотрено два типа устройств: Single-mode и Dual-mode.

Базовые чипсеты Single-mode поддерживают работу только в соответствии со спецификацией 4.0. Чипсеты Dual-mode могут работать с поддержкой как Bluetooth 3.0, так и Bluetooth 4.0.

В стандарте Bluetooth 4.0, Single mode устройство «мастер» может одновременно поддерживать от четырёх до восьми соединений с «ведомыми» устройствами. Технология BLE использует 40 каналов с разносом 2 МГц в диапазоне от 2402 до 2480 МГц. Логические каналы 37, 38 и 39 являются рекламными каналами. Каналы от 0 до 36 – это каналы данных.

Скачкообразная перестройка частоты не используется до тех пор, пока не будет установлено соединение между двумя устройствами. Поэтому ETSI не классифицирует Bluetooth LE как систему со скачкообразной перестройкой частоты.

В режиме максимальной экономии питание на ядро не подаётся. Ток потребления составляет всего 0,4 мкА. Модуль BLE, использующий стандартный «таблеточный» аккумулятор CR2032, может работать в этом режиме без подзарядки несколько лет. Время перехода в активный режим составляет 120 мкс и осуществляется по сигналам RESET или внешнего прерывания.

В спецификации Bluetooth 4.0, в зависимости от мощности передатчика, скорость составляет 1–3 Мбит/с при размере пакета данных 8–27 байт.

На верхнем уровне стек приложений BLE (4.0) содержит следующие базовые профили:

- GAP (Generic Access Profile) – профиль общего доступа;
- GATT (Generic Attribute Profile) – профиль общих атрибутов;
- L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) – протокол логического соединения и адаптации;
- ATT (Attribute Protocol) – протокол атрибутов;
- SM (Security Manager) – менеджер безопасности;
- HCI (Host Controller Interface) – интерфейс хост-контроллер, часть на стороне хоста.

В следующих редакциях BLE верхний уровень приложений был значительно расширен [53]. В 2013 году появилась следующая спецификация Bluetooth 4.1, устранившая проблему взаимных помех при работе в зоне действия Wi-Fi и LTE. В версии 4.1 предусмотрен фильтр диапазона LTE. В том случае, когда передатчик LTE создаёт помехи для Bluetooth 4.1, автоматически включается система поиска канала, в котором помехи будут меньше. В результате трансивер Bluetooth 4.1 будет работать на другой частоте, где помех от LTE значительно меньше.

В декабре 2014 SIG представила новую спецификацию Bluetooth 4.2,

которая представляет собой усовершенствованную версию спецификации 4.0. Основной маркетинговый слоган новой версии – Bluetooth for IoT (Bluetooth для Интернета вещей).

В новой версии скорость возросла в 2,5 раза, до 2,5–7,5 Мбит/с. Размер пакета данных увеличился в 10 раз. Это увеличение достигнуто за счёт того, что в протокол PDU (Protocol Data Unit) канала данных в версии 4.2 внесены существенные изменения. Кроме того, в этой версии улучшены меры контроля доступа, конфиденциальности и безопасности.

Крайне важным для приложений IoT является то, что в спецификации Bluetooth 4.2 был представлен новый профиль Internet Protocol Support Profile (IPSP), который реализует обмен пакетами IPv6 между устройствами по низкоэнергетическому транспортному каналу (BLE Data Channels), в обход стандартных профилей GAP и GATT. Для управления потоком при этом используется протокол L2CAP. Использование протокола IPv6 over BLE позволило подключать к Интернету многочисленные датчики и простые батарейные устройства [54]. В версиях Bluetooth 4.0/4.1/4.2 в сетях BLE используются топологии «звезда» (Star) и P2P (piconet).

В топологии «звезда» после активации устройства FFD (Full Function Device) может сформировать собственную сеть и стать координатором. В документе RFC 7668 [55] подробно описана технология адаптации протокол IPv6 поверх сетей Bluetooth Low Energy в топологии «звезда».

В топологии P2P одно устройство может обмениваться данными с любым другим устройством, которое находится в пределах зоны его радиодоступности. Одно из устройств объявляется координатором PAN, например, первое, подключившееся к каналу связи. Последующая структура сети строится согласно топологии P2P. Имеется возможность введения определённых топологических ограничений [56].

Летом 2016 года была представлена спецификация Bluetooth 5.0. Изменения коснулись в основном режима с низким потреблением Bluetooth LE 5 и высокоскоростного режима. Из основных нововведений в спецификации Bluetooth 5 для приложений BLE следует выделить:

- 2 × PHY for LE – 2 новых PHY (опционально) – удвоение скорости передачи данных;

- Bluetooth LE Long Range – увеличение радиуса действия в 4 раза;
- Bluetooth LE Advertising Extensions – 8-кратное увеличение ёмкости рекламных каналов (Bluetooth advertising);

- Bluetooth LE Channel Selection Algorithm – модернизированный алгоритм селекции каналов.

Предыдущие спецификации Bluetooth 4.x допускали использование только одного PHY со скоростью передачи 1 Мбит/с. В редакции 5.0 введены опционально два новых PHY, которые удваивают скорость передачи данных. Также добавлена опция «Уменьшение энергопотребления» за счёт того, что тот же объём данных передаётся за меньшее время. Уменьшение уровня взаимных помех от других сетей достигается за счёт меньшего времени нахождения передатчика в активном состоянии.

Кодированный PHY позволяет в четыре раза увеличить радиус действия приёмников и передатчиков по сравнению с предыдущими версиями Bluetooth LE. Однако следует иметь в виду, что улучшение дальности, в свою очередь, потребует и возрастания времени передачи при сохранении той же скорости. Поэтому, увеличивая радиус действия, придётся уменьшить объём передаваемой информации или скорость передачи с теми же размерами пакетов. В тестовых испытаниях были достигнуты расстояния уверенной передачи в пределах прямой видимости до 800 м.

Реальная скорость передачи данных будет меньше теоретической за счёт временных задержек между пакетами (150 мкс), а также за счёт передачи служебной информации (ответы, пакеты подтверждения и др.). Реальная скорость передачи для 2M PHY будет составлять примерно 1,4 Мбит/с [57]. Пакеты от периферийного устройства могут передаваться с использованием 1M PHY, а пакеты центрального устройства – через 2M PHY.

При работе с двумя физическими уровнями второй PHY не может быть использован для первичного распространения рекламной информации в приложениях мобильного маркетинга (Bluetooth advertising). Расширенная рекламная рассылка начинается на первичном канале и продолжается на вторичном. Это позволяет передавать 255 байт данных вместо 31.

Увеличение дальности достигается за счёт использования механизма прямой коррекции ошибок (FEC). В стандарте

LE 5.0 при ошибке во время приёма данных устройство восстанавливает данные, декодируя их вместо того, чтобы запрашивать повторную посылку.

Безопасность в BLE обеспечивается слоём менеджера безопасности (SM), который определяет следующие функции:

- сопряжение – генерация секретных ключей;
- связывание – сохранение ключей на каждой стороне;
- аутентификация – проверка ключей;
- шифрование данных – стандарт AES 128, симметричный алгоритм блочного шифрования;
- обеспечение целостности сообщений – подпись данных при передаче и проверка подписи при приёме.

Новая спецификация Bluetooth 5.0 совместима с предыдущими версиями 4.0 и 4.1, а в классическом варианте Bluetooth с версиями 2–3. Во всех ранних версиях Bluetooth LE поддерживались две топологии – «звезда» и P2P, что ограничивало области использования технологии. Многие устройства сетей «Умного дома» WLAN могли работать только в меш-сетях. Поэтому рабочая группа IETF IPv6 разработала новую технологию, названную 6BLEMesh, которая регламентирует передачу пакетов IPv6 по сетям BLE, использующим ячеистую топологию [58]. Позднее на базе этой технологии был принят стандарт для BLE меш-сетей. Новая спецификация Bluetooth LE Mesh обеспечивает надёжную связь устройств в крупномасштабных сетях с топологией «многие ко многим» (many-to-many, m:m).

Bluetooth Mesh – это отдельный стандарт со своей спецификацией [59]. Стандарт Bluetooth Mesh поддерживает все версии BLE (начиная с 4.0) и не требует изменений в аппаратном обеспечении. Для работы с меш-сетями BLE нужно загрузить новое ПО со стеком Bluetooth LE Mesh. Детальные инструкции этой процедуры приведены на сайте [60].

Структурно Bluetooth Mesh является надстройкой BLE. Устройства в сети Bluetooth Mesh соединяются друг с другом несколько иначе, чем классические устройства BLE. Для обмена сообщениями в этом стандарте используются advertising и сканирование. Кроме того, поддерживается подключённое состояние и GATT для специальных устройств, получивших название «прокси-устройства».

Существует два подхода передачи сообщений по сети. В одном случае используется классическая маршрутизация меш-сетей. В другом варианте по



Рис. 10. Стандарт Bluetooth LE Mesh идеально подходит для многих решений «Умного дома» [61]

сети рассылаются сообщения, не содержащие рекомендации об оптимальных маршрутах, которыми следует пользоваться. В варианте Bluetooth Mesh применяется метод управляемого потока, подразумевающий передачу оптимизированных сообщений всем узлам в пределах видимости.

В новом стандарте Bluetooth Mesh устройство может одновременно выполнять роли ведущего и ведомого устройства. Технология Bluetooth LE Mesh подходит для многих решений IoT, которые требуют взаимодействия между десятками, сотнями или тысячами устройств. Кроме того, топология m:m позволяет увеличить дальность связи и реализовать функцию самовосстановления сети (см. рис. 10).

В январе 2020 года альянс Bluetooth SIG представил последнюю версию Bluetooth. Основные изменения, внесённые в версию Bluetooth 5.2 [62]:

- изохронные каналы (ISOC);
- LE Power Control (LEPC);
- расширенный протокол атрибутов (EATT).

Изохронные каналы (Isochronous Channels, ISOC) – наиболее интересная новая функция, которая позволяет использовать LE Audio в устройствах BLE Bluetooth 5.2. Напомним, что LE Audio – это новый стандарт передачи звука через Bluetooth LE [63].

В контексте BLE термин «изохронные» означает поддержку передачи данных, чувствительных ко времени. Для этого в стандарте введён изохронный физический канал (Isochronous Physical Channel – ISOC), который может использоваться на любом из уровней LE PHY: 1M, 2M, Coded PHY. Протокол ISOC поддерживает связь как с установлением соединения, так и без установления соединения (широковещательные рассылки). Под

термином «широковещание» подразумевается система доставки пакетов, при которой копия каждого пакета передаётся всем хостам, подключённым к сети. В установленных соединениях вводится понятие «подключённого изохронного потока» (Connected Isochronous Group – CIS). Когда необходимо синхронизировать потоки, например, направляемые на левый и правый наушники, они конфигурируются как часть единой группы (CIG). Это позволяет избавиться от потери связи в одном из Bluetooth-наушников, так раздражающей многих пользователей. Протокол ISOC является крайне полезным в таких приложениях, как потоковая передача аудиоданных по телевизору, например, на несколько разных наушников.

Для связи без установления соединения (широковещательные передачи) ряд синхронизированных потоков может быть задействован для передачи данных от одного источника к определённой группе пользователей. При этом каждый поток в стандарте получил название «изохронный поток широковещательной передачи» (Broadcast Isochronous Stream – BIS). Группа BIS была названа – «изохронная группа широковещательной передачи» (Broadcast Isochronous Group – BIG).

Важный параметр, относящийся к ISOC, – это ISO-Interval. Он определяет интервал, с которым происходят события ISOC. Каждое событие разбито на несколько подсобытий. Интервал ISO составляет от 5 мс до 4 с.

После установления соединения в каждом подсобытии ведущее устройство отправляет пакет ведомому, ведомое устройство отвечает пакетом. Однако при обмене данными без установления соединения только мастер будет отправлять пакет в каждом вспомогательном событии. В этом случае



Рис. 11. Структура ячеистой сети Thread [66]

эти пакеты могут быть либо изохронными данными, либо широковещательной управляющей информацией.

Повторная передача данных поддерживается изохронными каналами, различными для связи с установлением соединения и без установления соединения. В случае широковещательных изохронных потоков повторные передачи отправляются мастером без влияния ведомого, а в случае подключённых изохронных потоков повторные передачи отправляются, когда ведомое устройство не подтвердило пакет. Повторные передачи отправляются по каналам, отличным от каналов исходного пакета, чтобы снизить риск потери или повреждения пакета.

В новой редакции Bluetooth 5.2 определена новая функция управления мощностью LE Power Control (LEPC). Благодаря этой опции принимающее устройство может запросить изменение уровня мощности передачи, используемой партнёром.

Передачик также может добровольно изменять мощность передачи и передавать информацию приёмнику. Использование LEPC и поддержание RSSI в оптимальном диапазоне позволяет улучшить контроль качества сигнала и снизить количество ошибок.

Ещё одно нововведение Bluetooth 5.2 – расширенный протокол атрибутов (Enhanced Attribute Protocol, EATT). Этот новый протокол EATT представляет собой обновлённую версию исходного протокола атрибутов (ATT), который работает последовательно. Протокол расширенных атрибутов поддерживает выполнение параллельных транзак-

ций между клиентом BLE и сервером, что заметно снижает задержку операций в некоторых приложениях. Например, протокол EATT будет полезен в смартфоне, где несколько приложений могут одновременно взаимодействовать с устройством Bluetooth Low Energy.

Новые функции Bluetooth версии 5.2 открывают множество дополнительных возможностей для производителей аудиоустройств, в том числе различного бытового оборудования для «Умного дома».

Thread - технология для «Умного дома»

Технология Thread была разработана непосредственно на базе стандарта IEEE 802.15.4 специально для использования в приложениях «Умный дом» [64]. Сетевая технология Thread базируется на стандарте 802.15.4 и предназначена для маломощных устройств нелицензированного диапазона частот 2,4 ГГц, работающих в ячеистых сетях с поддержкой IP.

История этой технологии ведёт отсчёт с начала 2014 года, когда концерн Google приобрёл американскую фирму Nest Labs, специализирующуюся на проектировании и производстве бытовых систем контроля климата (Nest Thermostat). Перед фирмой была поставлена задача создания нового протокола беспроводной связи, получившего название Thread. Компания Google начала разработку собственной технологии, предназначенной специально для приложений «Умного дома», ещё 6 лет назад.

Фактически Thread представляет собой протокол для беспроводных

ячеистых (mesh) меш-сетей с низким энергопотреблением, основанный на стандарте 6LoWPAN. Этот стандарт позволяет доставлять пакеты данных по протоколу IPv6 поверх LPWAN сетей стандарта IEEE 802.15.4.

Нижние уровни Thread PHY, MAC полностью соответствуют стандарту IEEE 802.15.4. В первой редакции проекта Connected Home over IP (CHIP) предполагается использовать Thread на частоте 2,4 ГГц с использованием сетей рассмотренного ранее стандарта IEEE 802.15.4-2006.

Верхние уровни технологии используют собственный протокол Thread, разработанный на базе первоначального протокола NEST – Weave. Протокол уровня сетевых приложений Weave, предназначенный для управления устройствами IoT, предлагает пользователю набор инструментов для создания собственных беспроводных сетей, объединяющих в основном бытовые приборы и оборудование. Эта технология поддерживает протокол IPv6 и работу с такими беспроводными сетями, как Wi-Fi, Thread и Bluetooth LE. В настоящее время широкое распространение получила платформа уровня сетевых приложений с открытым исходным кодом OpenWeave [65]. Эта платформа обеспечивает безопасную и надёжную магистральную связь для маломощных устройств Google Nest.

В современном виде стек протоколов Thread обслуживает уровни UDP, IP Routing, 6LoWAN, которые позволяют связываться различного сертифицированному оборудованию между собой в автоматическом режиме. Кроме того, стек протоколов Thread отвечает также и за безопасность связи в своих сетях.

Структура сети Thread, показанная на рис. 11, включает в себя следующие элементы: End Device Router Eligible, Thread Router, Leader, Border Router, Thread Link.

Многочисленные граничные роутеры (Border Router) обеспечивают связь с другими сетями, в том числе и Ethernet, Wi-Fi, Cellular. Единственное главное управляющее устройство сети Thread (Leader) регулирует работу всей сети, координирует параметры, принимает решения по маршрутизации.

Внутрисетевые рабочие роутеры (Thread Router), количество которых может достигать 32 на одного лидера, формируют топологию ячеистой сети, обеспечивают текущий трафик между устройствами. В сети Thread могут быть задействованы более 250 конеч-

ных устройств, которые представляют собой различные сертифицированные бытовые, медицинские, научные и другие специальные устройства.

Одним из ключевых моментов Thread является функциональная совместимость устройств разных производителей (End Device), которые имеют соответствующий сертификат альянса Thread Group [67].

Поскольку технология Thread ориентирована только на сетевой уровень, она отличается от других ячеистых сетей тем, что поддерживает многоадресную (flooding) и одноадресную маршрутизируемую (unicast routed) передачу данных. Это обеспечивает масштабируемость сети и надёжность связи. С другой стороны, недостатком такой структуры является отсутствие единой координации на самых верхних уровнях. Поэтому несмотря на то, что сертифицированные конечные устройства сети Thread совместимы, они не смогут напрямую взаимодействовать друг с другом. Например, температурный датчик не сможет напрямую уменьшить нагрев системы климат-контроля и т.д.

Одной из важных проблем LPWAN сетей является уязвимость единой точки доступа с точки зрения возможных аварийных ситуаций. Например, в случае возможной аварии домашней сети на базе Wi-Fi всё подключённое к ней оборудование «Умного дома» может перестать взаимодействовать между собой и функционировать корректно. Используемый в случае Thread протокол 6LoWPAN менее требователен, чем другие стандарты. Для его реализации необходимо самое простое стандартное программное обеспечение, поддерживающее маршрутизацию IPv6. При потере соединения с Интернетом конечные устройства смогут взаимодействовать по схеме P2P.

В плане обеспечения безопасности Thread имеет встроенную защиту на сетевом уровне, которая идентифицирует устройства перед подключением к сети с использованием специальных методов криптографии с открытым ключом банковского уровня как на MAC-уровне, так и на уровне приложений.

Благодаря ячеистой топологии Thread может масштабировать сети на большие расстояния, поддерживая при этом функции самовосстановления и самоуправления, которые обеспечивают доставку пакетов данных по наиболее эффективному маршруту в любое заданное время.

Ещё одним полезным свойством сетей Thread является возможность добавления новых устройств, отключения ненужных в данный момент устройств и повторного их восстановления в любое время без какого-либо ущерба для всей системы.

Первоначально в разработке стандарта Thread приняли участие Samsung, Nest, ARM, Yale Security и Big Ass Fans, которые образовали некоммерческий альянс Thread Group. Позже концерн Google купил фирму Nest и вошёл в альянс в качестве ведущего участника. В настоящее время в эту группу также входят Texas Instruments, TDK, Samsung, ST, Silicon Labs, Siemens, Renesas, Qualcomm, LG, IDT, Nordic Semiconductors, NXP, Zigbee alliance, Open Connectivity Foundation, NFC Forum, Linaro, KNX Association, EEBus, The Continental Automated Buildings Association (CABA) и другие [68].

Вероятнее всего, Thread сумеет очень быстро выйти на рынок и занять лидирующее место, поскольку он использует существующие устройства (802.15.4), которые уже проданы в количестве сотен миллионов штук. Thread Group не ставит своей целью разработку новых чипов или аппаратной платформы, поскольку для продуктов, использующих IEEE 802.15.4, достаточно будет обновить ПО и прошивку устройства, чтобы сделать его совместимым с Thread. Сегодня Google использует Thread в Nest Detect и Nest x Yale Lock [69]. При оценке перспектив развития следует обратить внимание на то, что Google потратил миллиарды долларов на этот проект, возможно, в надежде, что в будущем протокол Thread будет интегрирован в Android.

Заключение

Концепция проекта CHIP подразумевает безопасность, надёжность, экономичность и комфортность «Умного дома». В результате реализации проекта должны быть разработаны стандарты сетевых технологий, обеспечивающие связь между устройствами «Умного дома», мобильными приложениями и облачными сервисами на основе IP-протоколов. Кроме того, эти стандарты должны содержать основные требования, предъявляемые к процессу сертификации устройств, предназначенных для «Умного дома».

Данный проект декларирует обязательство, принятое наиболее значимыми участниками всей экосистемы «Умного дома», сотрудничать с целью

создания единого универсального протокола уровня приложений (Application layer), который обеспечивает взаимодействие сети и пользователя. Детализация этого протокола и его название будут определены в процессе разработки.

В настоящее время можно сформулировать только базовые требования, предъявляемые к протоколам верхнего уровня проектов «Умный дом»:

- единый, стандартизованный базовый протокол, не требующий дополнительных настроек;
- базовая технология, не зависящая от платформы и экосистемы.

Литература

1. URL: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11ae-2012.html>.
2. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11.
3. URL: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11ae-2012.html>.
4. URL: https://www.google.bg/search?q=What+is+IEEE+802.11az&ie=utf-8&oe=utf-8&gws_rd=cr&ei=LQR5V_eSGoJlsQHAsLXACw.
5. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11.
6. URL: <https://index-of.co.uk/Misc/Mcgraw-Hill%20-%20Bluetooth%20Demystified.pdf>.
7. URL: <https://www.hp.com/ctg/Manual/c00186949.pdf>.
8. URL: <https://www.bluetooth.com/?s=Bluetooth+Low+Energy>.
9. URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification>.
10. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc7668>.
11. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc7668/>.
12. URL: <https://habr.com/ru/post/334478/>.
13. URL: <https://habr.com/ru/post/543578/>.
14. URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-6lo-blemesh-05>.
15. URL: file:///C:/Users/Admin/Downloads/MeshDeviceProperties_v2.pdf.
16. URL: <https://www.bluetooth.com/mesh-faq/>.
17. URL: <https://ru.mouser.com/applications/build-bluetooth-mesh-network/>.
18. URL: https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2020/01/Bluetooth_5.2_Feature_Overview.pdf.
19. URL: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/recent-enhancements/le-audio/>.
20. URL: <https://www.threadgroup.org/what-is-thread>.
21. URL: <https://openweave.io/>.
22. URL: https://www.threadgroup.org/Portals/0/documents/support/ThreadWebinarJun18final_2596_1.pdf.
23. URL: <https://www.threadgroup.org>.
24. URL: <https://www.threadgroup.org/threadgroup>.
25. URL: <https://store.google.com/us/?hl=en-US®ionRedirect=true>.

