

УДК 004.75

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ XXI ВЕКА**Горячев Виктор Андреевич¹, Аверкин Алексей Николаевич²**¹Аспирант;

ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,

141980, Россия, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: 89253000128@mail.ru.

²Кандидат физико-математических наук, доцент;

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова;

115093, Россия, г. Москва, Стремянный пер., 36;

e-mail: averkin2003@inbox.ru.

Основная цель работы заключается в определении наиболее перспективной из существующих технологий для организации беспроводных сенсорных сетей. Результатом работы является обзор пяти наиболее популярных технологий (ZigBee, Z-Wave, Thread, BLE, HaLow) с последующим сравнением по ключевым характеристикам, таким как скорость передачи данных, дальность передачи данных между двумя узлами, типовая мощность передатчиков, тип и срок службы батареи, количество подключаемых устройств, встроенная интеграция IP, поддержка ячеистой топологии.

Ключевые слова: сенсорные сети, ZigBee, Z-Wave, Thread, BLE, HaLow, 802.11ah, Bluetooth Mesh.

Для цитирования: Горячев В. А., Аверкин А. Н. Беспроводные сенсорные сети XXI в. // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. 2021. № 4. С. 72–76. URL : <http://sanse.ru/download/452>.

WIRELESS SENSOR NETWORKS OF THE XXI CENTURY**Goryachev Viktor A.¹, Averkin Aleksey N.²**¹Graduate student;

Dubna State University;

19 Universitetskaya Str., Dubna, Moscow region, 141980, Russia;

e-mail: gva.asp@uni-dubna.ru.

²PhD, associate professor;

Russian University of Economics. G.V. Plekhanov;

36 Stremyannyi Per., Moscow, 115093, Russia;

e-mail: averkin2003@inbox.ru.

The main goal of the work is to determine the most promising of the existing technologies for organizing wireless sensor networks. The result of the work is an overview of the five most popular technologies (ZigBee, Z-Wave, Thread, BLE, HaLow) with subsequent comparison by key characteristics such as data transfer speed, data transmission distance between two nodes, typical transmitter power, type and battery life, number of connected devices, integrated IP integration, mesh topology support.

Keywords: sensor networks, ZigBee, Z-Wave, Thread, BLE, HaLow, 802.11ah, Bluetooth Mesh.

For citation: Goryachev V. A., Averkin A N. Wireless sensor networks of the XXI century. System Analysis in Science and Education, 2021;(4):72–76(In Russ). Available from: <http://sanse.ru/download/452>.

Введение

Что представляет собой современная беспроводная сенсорная сеть? По словам Закалюжного А.А., беспроводная сенсорная сеть 21-го века представляет собой самоорганизующуюся сеть множества датчиков и устройств, объединенных между собой посредством радиоканала [Закалюжный, 2018, с. 3].

Если первая датчиковая сеть (*SOSUS*) имела топологию «звезда», то современные беспроводные сети поддерживают не только топологию типа «звезда», но ячеистую топологию. Если для сетей 1980 годов имела развитие ранее упомянутая и единственная в своём роде операционная система *Accent*, то с современными системами можно взаимодействовать с одной из нескольких операционных систем на выбор, например, через *Contitki*, *TinyOS*, *EmberZNet PRO* и др. В основном современные сети полностью удовлетворяют концепции 1980-х годов.

Работа большей части беспроводных сенсорных сетей в настоящее время базируется на стандарте, разработанном в далёком 2001 году (*IEEE 802.15.4*), в частности, на спецификации сетевых протоколов верхнего уровня, разработанной в 2003 году – *ZigBee*. Разумеется, *IEEE 802.15.4* не единственный стандарт, а *ZigBee* не единственная технология, на которых базируются современные беспроводные сенсорные сети.

Далее в статье будут рассмотрены наиболее интересные с точки зрения функциональных характеристик стандарты и основанные на них технологии организации беспроводных сенсорных сетей (*ZigBee*, *Z-Wave*, *Thread*, *BLE* или *HaLow*). Этот обзор позволит более наглядно ознакомиться с возможностями современных беспроводных сенсорных сетей, а также выбрать наиболее универсальную и эффективную технологию организации сенсорной сети на производстве или в быту

Технология ZigBee

Начнем сравнительный анализ с сетей, основанных на стандарте *IEEE 802.15.4*. Такие сети реализуются посредством таких технологий, как *ZigBee*, *Z-Wave* или *Thread*.

Сети, построенные по технологии *ZigBee* имеют следующую архитектуру: координатор (отвечает за сопряжение с управляющим компьютером), маршрутизатор (отвечает за самовосстановление сети, прокладку маршрутов, увеличение дальности сети) и оконечное устройство (осуществляет фиксацию данных и их передачу до координатора). К выгодным отличительным характеристикам сетей на основе технологии *ZigBee* можно отнести то, что:

1. Пакеты данных передаваемые между узлами сенсорной сети могут иметь значительно меньший размер по сравнению с пакетами, которые передаются по *IP* в сетях *Thread*. Это дает сетям на основе технологии *ZigBee* меньшую задержку и большую энергоэффективность.
2. Сети на основе технологии могут включать большое количество устройств, т.е. до 65536 на один координатор [Алексеев, 2017, с. 45].

Технология Z-Wave

В сеть, построенную по технологии *Z-Wave* входят следующие узлы: портативный контроллер (т.е. пульт управления, хранит в памяти данные о расположении всех устройств сети и способен отдавать команды), статический контроллер (например, исполнительное устройство или контроллер ПК; во многом аналогичен портативному контроллеру), дочернее устройство (т.е. датчик, отвечающий на пришедший к нему запрос), дочернее маршрутизирующее устройство (например, датчик или исполнительное устройство; хранит в памяти до 4 маршрутов для 5 узлов самостоятельно инициализируют отправку данных после чего впадают в спящее состояние), продвинутое дочернее маршрутизирующее устройство (аналогичны предыдущим, но хранят в памяти маршруты ко всем узлам сети) [Полторак, 2020]. Сети на основе технологии *Z-Wave*, представленной компанией *Zensys* в 2003 году, обладают следующим набором выгодных характеристик:

1. Защищенность от радио помех (технология работает в диапазоне 869 МГц), которые существуют на популярном радио диапазоне 2,4 ГГц. Это могут быть помехи, создаваемые микроволновыми печами, устройствами, использующими *Wi-Fi* и *Bluetooth* технологии.
2. Способность отправлять команды между соседними узлами сети, минуя контроллер, благодаря функции ассоциации. Это дает прибавку в скорости и автономность работы сети.

Технология BLE

Кроме технологии *ZigBee* и *Thread*, отдельного внимания заслуживает технология *Bluetooth*, основанная на стандарте *IEEE 802.15.1*. Первая версия технологии под названием *Bluetooth Low Energy* была представлена в 2010 году. Сейчас на рынок вышел стек *Bluetooth Mesh*, который является надстройкой над *Bluetooth Low Energy* и включает в свою структуру такие формальные узлы как: поставщик, малошумящий, дружественный и прокси. Мы назвали их формальными, потому как каждый узел внутри *Bluetooth Mesh* сети при соответствующей настройке может принять на себя функции, соответствующие любому из четырех перечисленных типов. Так, например, если настроить узел как поставщик (*Provisioner Node*), что он будет регистрировать новые узлы в сети (назначать адрес, выдавать ключи шифрования сети и т.д.). Если настроить узел как малошумящий (*Low Power Node*), то он перейдет в режим ожидания, т.е. будет принимать сообщения и исполнять команды по расписанию. Если «сказать» узлу, что он отныне является дружественным (*Friend node*), он вступит в связь с определенным малошумящим узлом и станет хранить сообщения, адресованные малошумящему узлу до востребования. Если назначить узлу статус прокси-узла (*Proxу Node*), то данный узел возьмет на себя функции по подключению к сети устройств, которые не поддерживают стек *Bluetooth Mesh* [Велисов, 2018, с. 9]. К отличительным особенностям технологии *Bluetooth Mesh* которой можно отнести:

1. Огромную по меркам *IoT* скоростью передачи данных, которая достигает 2 мбит/с. Такая скорость позволяет снизить риск наложения пакетов (коллизии) в результате возникновения задержек при передаче данных между узлами сети, что особенно важно при работе на загруженном диапазоне частот 2,4 ГГц.
2. Способность к выбору наиболее свободного канала внутри рабочего диапазона частот (*Bluetooth 5.0*). Так, например, технология адаптивной смены частоты, позволяет узлу сети в ходе передачи данных автономно переключиться на любой из 40 доступных каналов. Это позволяет избежать помех, ведущих к задержкам, коллизиям и потере данных.
3. Способность беспроводных устройств аккумулировать энергию, что позволяет тратить меньше энергии от батарей в режиме ожидания.
4. Широкое внедрение в окружающие человека устройства такие как, ноутбуки, смартфоны и другие бытовые предметы. Например, технология *BLE* уже поддерживается на 97% устройств с операционной системой *Android* (версия ОС 4.3), а *Bluetooth 5.0* поддерживается уже на 21.5% устройств с версией *Android* (версия ОС 8.0 *Oreo*) [Намиот, 2020, с. 77].

Технология HaLow

Не стоит забывать про хорошо известную технологию *Wi-Fi*. Прошедшая модернизацию в лице стандарта *802.11ah*, представленного в 2016 году, технология *Wi-Fi* приблизилась к своим конкурентам по уровню энергопотребления. Так, к характеристикам обновленной технологии *Wi-Fi* можно отнести:

1. Использование наименее загруженного диапазона частот 900 МГц, как и в случае с технологией *Z-Wave*, позволяет избежать большого числа помех от других приборов.
2. Дальность передачи данных до 1000 метров при правильном подборе антенны.

Сравнительный анализ технологий БСС

Итак, мы перечислили основные преимущества пяти наиболее популярных технологий организации беспроводных сетей. Далее, в Таблице 1, мы рассмотрим важные отличия между данными технологиями.

Табл.1. Основные отличительные особенности популярных технологий организации беспроводных сенсорных сетей

Технология	<i>ZigBee</i>	<i>Z-Wave</i>	<i>Thread</i>	<i>BLE</i>	<i>HaLow</i>
Стандарт связи	<i>IEEE</i> 802.15.4	<i>IEEE</i> 802.15.4	<i>IEEE</i> 802.15.4	<i>IEEE</i> 802.15.1	<i>IEEE</i> 802.11ah
Скорость передачи данных	20-256 кбит/с	до 100 кбит/с	20-256 кбит/с	до 2 мбит/с	до 15 ¹ мбит/с
Дальность передачи данных между двумя узлами	до 196 ² метров	до 100 метров	до 209 ¹ метров	до 248 ¹ метров	До 1000 метров
Типовая мощность передатчиков	до 1 мВт	до 1 мВт	до 1 мВт	до 10 мВт	до 100 мВт
Тип и срок службы батареи	Может работать на <i>CR2032</i> несколько лет	Может работать на <i>CR2032</i> несколько лет	Может работать на <i>CR2032</i> несколько лет	Может работать на <i>CR2032</i> больше года	Может работать на <i>AA</i> в течение многих месяцев
Количество подключаемых устройств	до 65536	до 232	до 250	до 32766	до 6000
Встроенная интеграция <i>IP</i>	Нет	Нет	Да	Да	Да
Основной диапазон частот	2,4 ГГц	869 МГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	863-868 МГц
Ячеистая топология	Да	Да	Да	Да	Да

Заключение

На основе данных из Таблицы 1 мы можем сделать предварительный вывод о том, что наиболее перспективными из рассмотренных технологий организации сенсорных сетей являются технология *Thread* и *Bluetooth Mesh*. Это видно по ряду ключевых характеристик: дальность передачи, скорость передачи, поддержка *IP*. У каждой технологии есть выдающиеся стороны и потому конечный выбор зависит от конкретной ситуации, которую решает разработчик.

Стоит заметить, что на данный момент существует аппаратное обеспечение, позволяющее работать сразу с тремя из представленных в обзоре технологий. Произошло это благодаря тому, что в конце 2018 года компания *Nordic Semiconductor* сертифицировала сразу три сети: *ZigBee*, *Thread* и *Bluetooth Mesh*. Так, например, отладочные платы *nRF52840-DK* умеют организовываться в сенсорную сеть по любой из трех технологий в зависимости от задачи, которая стоит перед разработчиком [Bland, 2018].

¹ 2 мбит/с при передаче данных от узла к узлу, 15 мбит/с при передаче данных от узла к точке доступа.

² При использовании отладочных плат *nRF52840-DK* в режиме выходной мощности 0 dBm.

Список источников

1. Алексеев В. Технологии "Интернета вещей" для сетей ISM нелицензируемого диапазона частот // Беспроводные технологии. 2017. №46 С. 44-50.
2. Велисов О. Разработка приложений Bluetooth Low Energy на основе Bluetooth Mesh // Электронные компоненты. 2018. №7. С. 8-13.
3. Закалюжный А. А. Развитие беспроводных сетей как средство контроля и управления удаленными системами // Молодой исследователь Дона. 2018. № 4 (13). С. 46-51.
4. Намиот Д. Е., Макарычев И. П. Об альтернативной модели отметки местоположения в социальных сетях // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Vol. 8. С. 74-90.
5. Полторак С. Г. Обзор протокола Z-Wave // Z-WAVE.ME: builds the smart home. 2020. URL: <https://rus.z-wave.me/z-wave-knowledge-base/about-z-wave/z-wave-technical-overview> (дата обращения: 24.02.2020).
6. Bland S. nRF52840-DK Range Testing With BLE, ZigBee and Thread Protocols at 0, 4 and 8dBm Transmit Power Settings // Nordic DevZone. 2018. URL: <https://devzone.nordicsemi.com/nordic/nordic-blog/b/blog/posts/nrf52840-dk-range-testing-with-ble-zigbee-and-thread-protocols-at-0-4-and-8dbm-transmit-power-settings> (дата обращения: 21.02.2020).