

## ПРОТОКОЛ ZIGBEE БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

**А.А. Ковалёва**, аспирант

**Д.А. Ковалёв**, студент

**А.В. Дроздов**, студент

**М.А. Ковалёв**, студент

**Сибирский федеральный университет  
(Россия, г. Красноярск)**

***Аннотация.** В статье рассматриваются технические и практические особенности протокола беспроводной передачи данных ZigBee. Подробно рассказывается об устройстве сети, построенной на данном стандарте, области его применения, достоинства и недостатки. Для большей наглядности приведена сравнительная характеристика с другими популярными протоколами, такими как Wi-Fi и Bluetooth. Также, в статье рассматриваются конкретные примеры устройств на базе этого протокола с их реальной рыночной стоимостью.*

***Ключевые слова:** протокол, сети, ZigBee, беспроводной, маршрутизация, умный дом.*

В наши дни беспроводные технологии развиваются все быстрее. Однако, перед разработчиками встал вопрос не только о повышении компактности таких устройств, но и об их автономности и удобстве подключения. Существующие протоколы беспроводной передачи данных, такие как Wi-Fi, GSM или Bluetooth, оказались неподходящими для использования в случаях, где в условиях длительной работы не требовалась высокая скорость передачи данных. Это привело к созданию четвертой целевой группы стандарта IEEE 802.15, на основе которого был разработан протокол ZigBee.

ZigBee – это протокол верхнего уровня, ратифицированный компанией ZigBee Alliance в 2004 году и основанный на стандарте беспроводной передачи данных IEEE 802.15.4 [1]. На текущий момент существуют разные версии протокола, называемые одноименно с годом их создания. ZigBee 2004 - первая спецификация с базовым функционалом, выпущенная в 2004 году. Спустя два года, была разработана вторая версия - ZigBee 2006. В отличие от ZigBee 2004, в ней была заменена структура MSG/KVP, используемая вместе с “библиотекой кластеров”.

Самое крупное обновление протокол получил в 2007 году. Он был разделен на два профиля стека: ZigBee 2007 и

ZigBee Pro. Первый из них идеально подходит для создания простых сетей в пределах дома или малых коммерческих предприятий и занимает меньше оперативной и flash-памяти. Второй имеет расширенный набор функций, таких, как широковещание, симметричное шифрование пакетов и маршрутизация “many-to-one” (“многие к одному”). На данный момент устройств на базе ZigBee 2004 почти не осталось, и в большинстве систем используется ZigBee 2007.

В 2009 году было выпущено ответвление ZigBee RF4CE (англ. “Radio Frequency for Consumer Electronics” – “Радиочастоты для бытовой электроники”). Устройства, поддерживающие данную модификацию протокола, обмениваются информацией по радиоканалу, а не через ИК-диапазон, как в оригинальных версиях. Это даёт возможность управлять устройствами вне зоны прямой видимости, повышая надёжность и гибкость сетей. Также, в 2013 году появилось еще одна разновидность протокола – ZigBee IP [2]. Эта технология обеспечивает подключение устройств, использующих протокол IPv6, к интернету, что позволяет контролировать работу системы удалённо.

Основная особенность устройств, использующих ZigBee, – низкое энергопотребление. Сеть устроена таким

образом, что основная часть информации передаётся с помощью маршрутизаторов, и конечные устройства, подключенные к ним, большую часть времени проводят в “спящем” режиме, экономя энергию. Таким образом, устройство, работающее на протоколе ZigBee, может работать два года на одной батарее AA или даже AAA-класса.

Связь в сети ZigBee осуществляется посредством передачи пакетов данных между подключенными к сети устройствами, которые бывают трёх видов:

1. координатор (ZC);
2. маршрутизатор (ZR);
3. конечное устройство (ZED).

Координатор инициализирует сеть и управляет её процессами: задаёт и хранит ключи безопасности устройств, устанавливает политику безопасности своей сети и соединяется с другими сетями. Координатор в каждой сети ZigBee может быть только один.

Маршрутизатор – это устройство, занимающееся динамической передачей пакетов данных по сети. Его можно подключать к другим маршрутизаторам или координатору в сети, а к нему – другие маршрутизаторы или дочерние устройства. Маршрутизаторы имеют стационарное питание и могут обслу-

живать до 32 дочерних конечных устройств одновременно, включая “спящие”.

Конечное устройство – элемент системы, работающий от автономного источника питания и выполняющий назначенную функцию посредством датчиков или исполнительных механизмов. Конечное устройство подключается к маршрутизатору или координатору и не имеет дочерних устройств, может отправлять и принимать пакеты данных, но исключительно через маршрутизатор или координатор. С другими конечными устройствами осуществлять обмен информацией напрямую не может, из-за чего большую часть времени проводит в “спящем” состоянии для экономии заряда.

В отличие от технологий Wi-Fi и Bluetooth, сеть ZigBee имеет ячеистую топологию. Это даёт возможность подключать маршрутизаторы друг к другу, чтобы повысить надёжность системы [3]. В случае непредвиденного отказа какого-либо маршрутизатора, пакеты данных автоматически перенаправляются через другие доступные маршрутизаторы, сохраняя целостность информационного потока. Схема возможного варианта сети ZigBee представлена на рисунке.

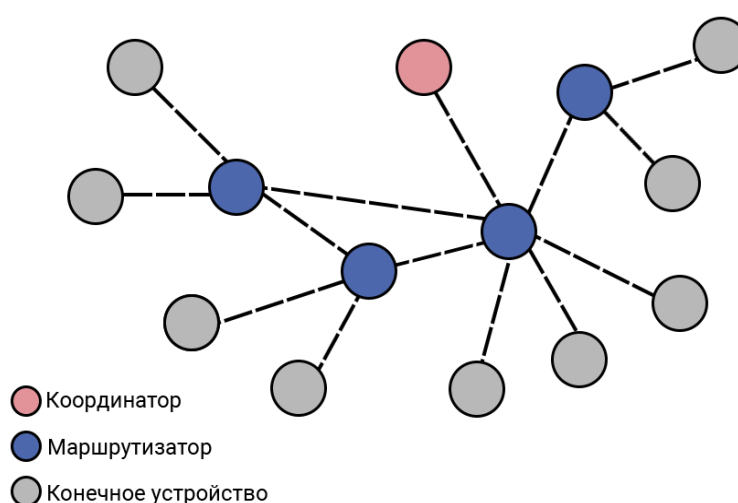


Рисунок 1. Схема маршрутизации в одной из возможных сетей ZigBee

Стандарт IEEE 802.15.4 допускает возможность использования нескольких частотных диапазонов для организации каналов обмена данными. В диапазоне

2,4-2,48 ГГц скорость передачи является наибольшей, а также обеспечивается наилучшая устойчивость к помехам. Для этих частот организуется 16 кана-

лов по 5 МГц [4]. Заявленная скорость, включая передачу служебной информации, равна 250 кбит/с, однако, в среднем, скорость передачи полезных данных не превышает 40 кбит/с, поскольку эта величина напрямую зависит от загрузки сети и числа изменений маршрутов передачи пакетов.

Протокол ZigBee выделяет под адрес устройства 16 бит информации [5], что позволяет одному координатору контролировать до 65536 устройств [6]. Также, координаторы способны передавать информацию друг другу. Это даёт возможность использовать одновремен-

но несколько сетей в рамках одной системы. Так, в отеле “Aria” (Лас-Вегас, США) без каких-либо технических проблем установлено порядка 75000 устройств, использующих ZigBee.

В таблице приведена сравнительная характеристика технологий Wi-Fi, Bluetooth и ZigBee по основным характеристикам: скорость передачи данных, время автономной работы, дальность связи, максимальное количество узлов в сети, ширина частотного диапазона, поддержка IP-адресации и вид топологии.

Таблица 1. Сравнительная характеристика беспроводных технологий

Технология	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
Стандарт связи	IEEE 802.11	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Скорость передачи данных	300+ Мбит/с	до 3 Мбит/с	250 Кбит/с
Время работы батареи (дней)	1-5	1-7	100-1000+
Дальность связи, м	1-100	1-10	1-100
Максимальное количество узлов в сети	32	7	2 <sup>64</sup>
Частотный диапазон, ГГц	2.4	2.4	2.4
Поддержка IP	+	-	-
Топология	“звезда”	“звезда”	ячеистая

Как и у любого протокола, у ZigBee также имеются свои недостатки. Из-за крупных обновлений в 2006 и 2007 годах появились проблемы с совместимостью устройств с разными версиями протоколов [7]. В частности, данная проблема возникает при связывании устройств ZigBee 2006-2007 с устройствами ZigBee Pro. Устройства, поддерживающие одну из версий протокола, могут корректно работать с другими устройствами в сети другой версии протокола только в том случае, если являются конечными (ZED). Это связано с различиями в принципах маршрутизации.

Кроме этого, устройствам, работающим на ZigBee, в обязательном порядке

должен быть присвоен один из стандартных профилей назначения:

- Industrial Plant Monitoring – мониторинг предприятия;
- Home Automation – автоматизация жилых помещений;
- Commercial Building Automation – автоматизация коммерческих помещений;
- Telecom Applications – телекоммуникация;
- Personal Home & Hospital Care – амбулаторное или стационарное лечение;
- Advanced Metering Initiative – дополнительные измерения.

Профили необходимы для обеспечения совместимости устройств от разных

производителей без дополнительной настройки. Если профили устройств не совпадают, то работать друг с другом они не смогут. Однако, как показывает практика, даже совпадение профилей устройств не гарантирует абсолютной совместимости, поскольку чипы с поддержкой ZigBee выпускаются несколькими разными компаниями, которые могут назначать спецификации профилей по-своему или оптимизировать работу протокола самостоятельно [8].

Благодаря низкому энергопотреблению и высокой отказоустойчивости устройств на базе протокола ZigBee, сфера их применения включает в себя различные системы автоматизации помещений, промышленного мониторинга и управления; оборудование медицинских учреждений; бытовую электронику. Такие системы обходятся значительно дешевле из-за простоты изготовления устройств. Например, цена лампочки IKEA Tradfri для ZigBee-сетей составляет около 700 рублей, в то время как умная лампочка TP-Link LB110, управляемая с помощью

Wi-Fi-подключения, стоит порядка 2100 рублей. Наиболее широко ZigBee применяется в системах «умного дома». Крупные компании, такие как Xiaomi, LG, Phillips, IKEA, Samsung, Logitech и другие, уже запустили фирменные серии устройств для автоматизации как жилых, так и промышленных помещений. Также, с недавнего времени была добавлена интеграция с голосовыми помощниками Google Assistant, Amazon Alexa и Apple Siri с помощью специального смарт хаба (Smart Hub) или шлюза (Gateway).

Протокол ZigBee является достаточно гибким и обладает большим набором возможностей для организации локальных беспроводных сетей. Простота настройки, безопасность, надежность, низкая энергопотребляемость и стоимость комплектующих делают его одним из самых популярных протоколов для создания устройств автоматизации помещений. Однако, из-за проблем совместимости необходимо полностью изучать особенности работы устройств с другими устройствами.

#### Библиографический список

1. *ZigBee* – протокол передачи данных [Электронный ресурс] URL: <https://xiaomi-smarthome.ru/zigbee/> (дата обращения: 30.04.18).
2. *ZigBee IP and 920IP* [Электронный ресурс] URL: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeeip/> (дата обращения: 30.04.18)
3. *Вахрушева М.Ю., Евдокимов И.В.* Разработка программного обеспечения аналитических информационных систем // Труды Братского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2014. Т. 1. № 1. С. 196-199.
4. *Скуснов Александр.* ZigBee: обзор беспроводной технологии // Компоненты и Технологии. – 2005. — №47. – С. 176-179.
5. *Евдокимов И.В.* Математическое и программное обеспечение идентификации нелинейных динамических объектов при использовании суммы гармонических сигналов: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. - Братск: БрГУ, 2006. - 17 с.
6. *Евдокимов И.В.* Процедура идентификации как этап создания систем управления и принятия решений // Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2012. № 4. С. 14-18.
7. *Евдокимов И.В., Красиков В.А., Мартынов Н.Е., Дёмин Г.А.* Реестр рисков программного проекта // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 6 (145). С. 65-71.
8. *Протокол ZigBee: беспроводные технологии на службе «умного» дома* [Электронный ресурс] URL: <https://www.ferra.ru/ru/digihome/review/SmartHome-ZigBee/> (дата обращения: 30.04.18).

**WIRELESS DATA TRANSMISSION PROTOCOL ZIGBEE**

**A.A. Kovaleva**, *postgraduate*

**D.A. Kovalev**, *student*

**A.V. Drozdov**, *student*

**M.A. Kovalev**, *student*

**Siberian federal university**

**(Russia, Krasnoyarsk)**

***Abstract.** The article discusses the technical and practical features of the ZigBee wireless data transmission protocol. It has been talked in details about the device network built on this standard, its application area, advantages and disadvantages. For greater clarity, some comparative characteristics with other popular protocols, such as Wi-Fi and Bluetooth were given. In addition, the article considers the following elements based on this protocol with their real market value.*

***Keywords:** protocol, networks, ZigBee, wireless, routing, smart home.*