

# ZigBee: обзор технологии

**Беспроводная технология ZigBee в ближайшем будущем может стать стандартом в сетях, не требующих высоких скоростей передачи данных.**

**Александр Скуснов,  
к. т. н.**

info@cec-mc.ru

## Когда невыгоден Bluetooth

Ежегодно все больше и больше компаний интегрируют в свою продукцию Bluetooth. Несмотря на первые неудачи и ошибки, эта технология уже стала массовой и в значительной степени оказывает влияние на электронную промышленность. Однако по интегральному сочетанию стоимости, функциональных возможностей и габаритных размеров найдется множество применений, в которых технология Bluetooth крайне невыгодна.

Приложения, попадающие в область применения альтернативной беспроводной технологии, не требуют высоких скоростей передачи данных. При этом рынок их огромен: промышленное, научное, медицинское оборудование, дистанционные измерительные системы, беспроводные системы безопасности, компьютерная периферия, всевозможные датчики.

В окончательном исполнении беспроводное устройство, изготовленное по альтернативной технологии, должно основываться на применении высокоинтегрированного приемопередатчика. К последнему можно предъявить несколько требований:

- устойчивая надежная двухсторонняя связь;
- дальность работы — от 10 м. и более;
- рабочая частота в разрешенном нелицензируемом диапазоне;
- маленькие физические размеры (особенно важно для применения, например, в миниатюрных устройствах, вроде беспроводных ключей, брелоков и т. п.);
- исполнение на одном кристалле (SoC);
- низкое энергопотребление;
- цена для конечного пользователя не выше \$5.

Для уменьшения энергопотребления немаловажную роль играет качественный дизайн системы на кристалле. Однако более эффективным способом сокращения потребления является оптимизация работы трансивера, а точнее — времени, необходимо для обнаружения полезного сигнала. Подсчитано, например, что процесс обнаружения радиосигнала «съедает» почти 99% энергии, потребляемой цифровой частью приемопередатчика. Механизмы, позволяющие сократить число попыток, необходимых для обнаружения, до сих пор остаются узким местом подобных систем.

Разработкой экономичных, миниатюрных приемопередающих модулей с невысокой пропускной спо-

собностью и небольшим радиусом действия, способных заполнить серьезную пустующую нишу под технологией Bluetooth, занимались различные компании. Создавались и пилотные образцы, однако дальше единичных партий дело не шло. Доходность нового рынка очень высока, а собственными технологиями никто с соседом делиться не хочет. Поэтому для успешной разработки и продвижения новой технологии необходим альянс крупных производителей, по аналогии с разработчиками Bluetooth и Wi-Fi.

## Технология IEEE 802.15.4

Осенью 2001 года группа разработчиков из компаний Eaton Corporation, Motorola Labs и Qualcomm Inc. начала совместную работу по созданию нового стандарта IEEE 802.15.4 — Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN), определяющего технологию и принципы функционирования низкоскоростных беспроводных сетей. Такие сети предназначались для недорогих беспроводных коммуникационных устройств с малым энергопотреблением, работающих на небольшой дальности.

Стандарт IEEE 802.15.4 описывает только самые нижние, физический и канальный уровни передачи данных по радиоканалу, а имя ZigBee означает технологию в общем, включая и физический уровень, и надлежащий логический уровень — уровень сетевого программного обеспечения (организацию структуры сети, обеспечение безопасности, поддержку профилей и т. п.). В дальнейшем эти понятия смешались и стали почти синонимами.

Давайте рассмотрим для примера простейший электронный термодатчик, в задачи которого входит измерение температуры воздуха на улице и передача информации в головное устройство. Очевидны следующие пожелания со стороны потребителя. Во-первых, термодатчик должен быть миниатюрным и легко монтироваться (желательно без прокладных дополнительных проводов). Еще лучше, если он сможет работать автономно и при этом будет требовать минимального обслуживания. То есть раз в два года ему поменяли батарейку и забыли про него. Во-вторых, цена такого устройства должна быть минимальная.

Понятно, что скорость передачи данных между датчиком и приемным устройством — самый последний параметр, интересующий потребителя в такой ситуации. Подобный класс устройств как раз и является ос-

новными клиентами домашних сетей стандарта IEEE 802.15.4. Судите сами, температура на улице меняется медленно, и измерять ее имеет смысл всего несколько раз в час; скорость передачи данных не важна; требуемая дальность связи — в пределах помещения. На первом месте — возможность обеспечения длительной автономной работы, но ведь это и есть типичные характеристики устройства ZigBee!

Следующей вехой в развитии новой технологии стала организация в октябре 2002 года ассоциации ZigBee Alliance ([www.ZigBee.org](http://www.ZigBee.org)). В альянс вошел ряд компаний, которые и занялись совместной доработкой и продвижением нового стандарта недорогой беспроводной связи.

Первые практические результаты работы появились уже в феврале 2003 года, когда разработчики из Korean Advanced Institute of Science and Technology продемонстрировали первый прототип радиоустройства, работающего в стандарте IEEE 802.15.4. Стоимость передатчика размером всего с монету (8,75 мм<sup>2</sup>) составила меньше доллара. Потребление не превышало 21 мВт в режиме приема и 30 мВт в режиме передачи при Uпит = 1,8 В. Радиоустройство представляло собой систему на кристалле, выполненную по многослойной технологии, и включало в себя приемопередатчик, процессор с собственной памятью, антенну и батарейку. День презентации новинки стал первым серьезным успехом альянса.

### Кое-что о стандарте IEEE 802.15.4

ZigBee предусматривает два варианта адресации: 64-разрядный (IEEE) с возможностью адресации до 2<sup>64</sup> устройств в беспроводной сети и локальный 16-разрядный, с возможностью адресации до 65536 устройств. Применение 16-разрядной адресации более экономично, так как позволяет существенно уменьшить длину радиозапросов.

Для уменьшения стоимости в ZigBee определены два физически различных типа устройств: полнофункциональные устройства и устройства с ограниченными возможностями. Любая сеть стандарта IEEE 802.15.4 обязана иметь по крайней мере одно полнофункциональное устройство, выступающее в роли координатора сети (PAN coordinator). Основные отличия между полнофункциональным и функционально ограниченным устройством приведены в таблице 1.

Функционально ограниченные устройства обычно являются самыми многочисленными узлами сети. Для них достаточно минимальных объемов памяти, и они способны выполнять лишь простейшие функции: поиск доступной сети, пересылка и получение данных. Такие устройства дешевле полнофункциональных, более компактны и экономичны. Благодаря возможности «засыпания» в периоды отсутствия обмена данными, функционально ограниченные устройства часто питаются от батарей или аккумуляторов.

Типичные значения временных параметров, связанных с иницированием ZigBee-устройств в сети, временем «пробуждения» (перехода от спящего состояния в активное)

**Таблица 1.** Отличия полнофункционального и функционально ограниченного устройства

| Функционально ограниченное устройство  | Полнофункциональное устройство  |
|--|---|
| Применяется только при соединении «звезда»   | Возможен любой тип соединений   |
| Не может использоваться как координатор сети   | Может использоваться как координатор сети                                     |
| Обмен данными только с полнофункциональным устройством   | Обмен данными с любым типом устройств   |
| Требует минимальных объемов ОЗУ и ПЗУ для реализации частичной поддержки стандарта IEEE 802.15.4 | Требует больший объем ОЗУ и ПЗУ для полной реализации стандарта IEEE 802.15.4 |
| Основной способ питания — от батареи   | Основной способ питания — от сети   |

в сравнении с Bluetooth-устройствами приведены в таблице 2. Длительное время активации определяется необходимостью обнаружения координатора сети нового появившегося устройства и внесения его в собственную базу данных, а также о выдаче разрешения на начало обмена.

Одно из удобств стандарта ZigBee — возможность реализации стека протоколов нижнего уровня на классическом 8-разрядном ядре микроконтроллеров серии 80C51. Объем полного стека протоколов для полнофункциональных устройств составляет менее 32 кбайт, для устройств с ограниченными возможностями — около 6 кбайт. А вот реализация функций координатора сети потребует использования дополнительной, возможно внешней, памяти. В этом ОЗУ будет храниться база узлов, входящих в сеть, таблица транзакций и другие данные.

Помимо физического разделения в ZigBee — сети существует еще и функциональное разделение устройств по типам:

- координатор — устройство, которое иницирует развертывание сети, управляет узлами сети, хранит сетевую информацию;
- маршрутизатор — устройство, участвующее в обмене данными в качестве промежуточного звена между двумя узлами сети;
- оконечные устройства — вершины ZigBee-сети, отвечающие за сбор и прием данных — это датчики, контроллеры исполнительных механизмов и т. п.

Продолжительность работы от батареи — один из важнейших параметров, которому в спецификации IEEE 802.15.4 уделено внимание. Время автономной работы датчика может насчитывать как несколько месяцев, так и несколько лет. Все зависит от того, насколько хорошо используются внутренние режимы энергосбережения и в какой мере реализованы сетевые возможности экономии энергии. Понятно ведь, что чем больше частота опроса того или иного устройства, тем меньше «проживет» его батарея. Поэтому стандарт

**Таблица 2.** Типичные временные параметры устройств ZigBee и Bluetooth

| Параметр  | ZigBee | Bluetooth    |
|---|--------|--------------|
| Время активации нового устройства в сети                      | 30 мс  | не менее 3 с |
| Время перехода устройства из «спящего» состояния в «активное» | 15 мс  | 3 с          |
| Время доступа к каналу  | 15 мс  | 2 мс         |

предписывает беспроводным устройствам иметь рабочий цикл не более 1% от всего времени службы.

Однако ZigBee-устройства могут не только опрашиваться координатором сети, но и сами пересылать в него данные в определенные моменты времени, по таймеру или по какому-либо внешнему событию.

Вариант с передачей по таймеру хорош тем, что устройству не приходится постоянно находиться в режиме ожидания приема данных. Этим достигается значительная экономия электроэнергии. Передача данных по событию — еще более экономный вариант. Например, датчику открывания двери нет смысла сообщать о ее состоянии каждые 10–15 с. Эффективнее активировать его по событиям: по открыванию и закрыванию двери.

Процесс сетевой оптимизации, о котором так же упоминалось выше, — процесс творческий и зависит уже от механизмов управления беспроводной сетью в целом. На этом поприще огромным достоинством стандарта ZigBee стала возможность беспроводного изменения основных параметров новых устройств, вводимых в уже готовую сеть, например, таких, как настройка временных интервалов выдачи информации или перепрограммирование возложенных функций. Механизм удаленного управления позволяет значительно расширить энергосберегающие функции в том числе за счет возможности динамического переконфигурирования параметров сети. Например, менять частоту выдачи датчиками данных в зависимости от времени суток (день/ночь), наличия/отсутствия в помещении человека или по другим событиям.

Дальность передачи данных как у ZigBee, так и у любых других беспроводных устройств определяется тремя факторами: чувствительностью приемника, мощностью передатчика и наличием помех (стен, других источников радиосигнала). Если последний фактор — величина непредсказуемая и определяется условиями эксплуатации, то насчет первых двух параметров стандарт дает четкие рекомендации. Значения мощности передатчиков и чувствительности приемников в сравнении с соседствующими беспроводными стандартами приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы, устройства ZigBee обладают одним из самых маломощных передатчиков в сочетании с самым чувствительным из всех конкурентов приемником. Такая комбинация дает очевидный положительный эффект — значительно меньшую степень облучения людей, находящихся в зоне работы сети. Таким образом, ZigBee можно считать одним из самых безопасных и экологичных на сегодня беспроводных стандартов.

**Таблица 3.** Рекомендуемые характеристики передатчика и приемника ZigBee

| Стандарт      | Чувствительность приемника, дБм | Мощность передатчика, дБм | Полоса пропускания приемника, МГц |
|---------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Wi-Fi         | -76                             | 14                        | 22                                |
| Bluetooth     | -70                             | 0                         | 1                                 |
| IEEE 802.15.3 | -75                             | 8                         | 15                                |
| ZigBee        | -85                             | 0                         | 2                                 |

**Немного расчетов**

Любой разработчик электронной аппаратуры недоверчиво относится к рекламным лозунгам вроде «сверхнизкое энергопотребление» или таким обещаниям, как «время работы от одной батарейки до нескольких лет». Дабы и нам не быть голословными, обратимся к языку цифр.

В своей документации разработчики ZigBee приводят несколько вариантов расчета потребления. Все расчеты конечно, исходят из сугубо теоретических предположений и идеальных условий работы, тем не менее, имеют право на жизнь. Давайте к примеру, рассмотрим такой случай. В каком режиме должно работать устройство, чтобы его источника питания хватило на 2 года эксплуатации? Предположим, что это будет микроконтроллер, периодически опрашивающий некий датчик и затем сообщающий результат в главное устройство.

В качестве элемента питания возьмем пальчиковую батарейку наиболее распространенного типа AAA. Расчет проведем последовательно:

1. Имеем: батарейка Duracell (алкалайновая), емкость 1,15 А·ч.
2. Желаемые 2 года работы переводим в часы и получаем 17 532 часа.
3. Среднее потребление устройства составит около 65 мкА (1,15 А·ч / 17 532 ч).
4. Учитываем далее, что на прием или передачу данных в среднем тратится порядка 15 мА, а в спящем режиме потребление составляет 1 мА.
5. При таких условиях максимальный рабочий цикл устройства составит не более 0,43% ((0,065 мА - 0,001 мА) / 15 мА × 100%) от времени работы, что удовлетворяет требованию стандарта ZigBee — не более 1%.
6. За один час работы (1 ч = 3600 с) устройство активно в течение 15,48 с (3600 с / 100% × 0,43%).
7. Учитывая, что среднее время обмена составляет порядка 3 мс (чего обычно вполне достаточно для передачи небольшого объема данных), получается, что в течение 1 часа устройство будет активировано 516 раз (15,48 с / 0,03 с).

Итак, расчет показал, что при работе от одной пальчиковой батарейки, беспроводное устройство передавая информацию 516 раз в час, то есть примерно каждые 7 секунд, сможет проработать порядка двух лет (здесь не учитывается снижение электрических характеристик источника с течением времени, — Прим. ред.). Данный пример, даже несмотря на то, что расчет проведен сугубо теоретически, наглядно демонстрирует минимальность энергопотребления ZigBee-устройств.

**Альянс ZigBee сегодня**

Вернемся к альянсу ZigBee. Закономерен вопрос: чем же занялось это сообщество, после того как спецификация IEEE 802.15.4 была утверждена? В первую очередь, упор был сделан на продвижение и популяризацию новой беспроводной технологии, привлечение в ряды

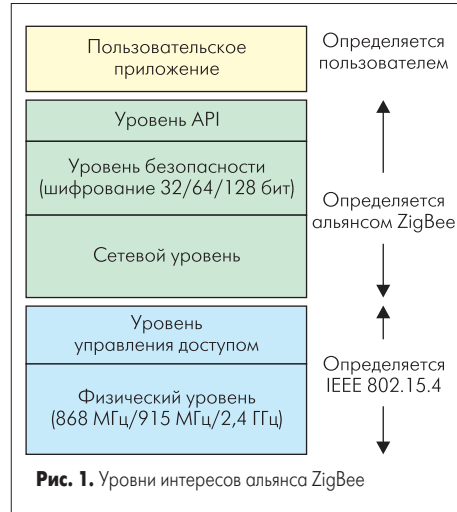


Рис. 1. Уровни интересов альянса ZigBee

альянса новых компаний. С другой стороны, разработчики не бросили на произвол судьбы и техническую часть. Только теперь все усилия сконцентрированы на совершенствовании протоколов верхнего уровня (см. рис. 1). Задача проста — максимально облегчить разработку пользовательских приложений, предоставив разработчику готовый API.

**Умным домам — умные устройства**

Популярность любой новой технологии в основном определяется областью ее применения. Чем шире применение, тем выше популярность. И с этим у технологии ZigBee проблем быть не должно. Круг задач, при реализации которых оправданно её использование, поистине огромен. Но только в одной из них у ZigBee сейчас нет ни конкурентов, ни такого большого поля для будущей деятельности. Это одно из самых быстроразвивающихся и перспективных направлений современной IT-индустрии, сулящее огромные барыши и практически неограниченный рынок сбыта. Это так называемые умные дома.

Умные дома или интернет-дома, либо, говоря техническим языком, автоматизированные здания, являются одним из главных объ-

ектов, на которые ориентированы устройства ZigBee. Если задуматься сейчас над проблемами этой отрасли и, в первую очередь, над высокими ценами на комплексные решения, то становится ясно, автоматизация сегодня — это удел богатых компаний. Все беды этого рынка проистекают из огромных затрат, необходимых на приобретение оборудования и инсталляцию проводных коммуникаций. Высокие цены определяются узкой специализацией приобретаемой аппаратуры и отсутствием толковой конкуренции.

На рынке, где нет общего стандарта, каждая компания проталкивает свои решения и собственные каналы передачи данных, что, в свою очередь, означает полную несовместимость аппаратуры разных производителей. Типичным примером может служить оборудование для умных домов Siemens, где для передачи данных используется шина instabus EIB.

Применение специальных каналов передачи данных автоматически ограничивает элементную базу, которую сторонние разработчики могут использовать для создания совместимых устройств, а необходимость применения дорогой элементной базы ведет и к удорожанию устройств.

Внедрение технологии ZigBee в роли универсального стандарта передачи данных способно легко устранить неразбериху в коммуникациях. Мгновенно пропадает и еще одна из проблем — прокладка проводных интерфейсов и шин питания. Инсталляция оборудования сводится только к грамотному расположению датчиков в помещении. Все дальнейшие настройки могут осуществляться удаленно, с сервера.

Вторая проблема — высокая цена оборудования — снимается за счет выпуска огромного числа сравнительно недорогих решений от различных производителей. Те разработчики, которые сейчас заложат поддержку данного беспроводного стандарта в свою аппаратуру и анонсируют ее как удобное и дешевое решение для автоматизации зданий, будут обречены в будущем на успех на рынке умных домов.

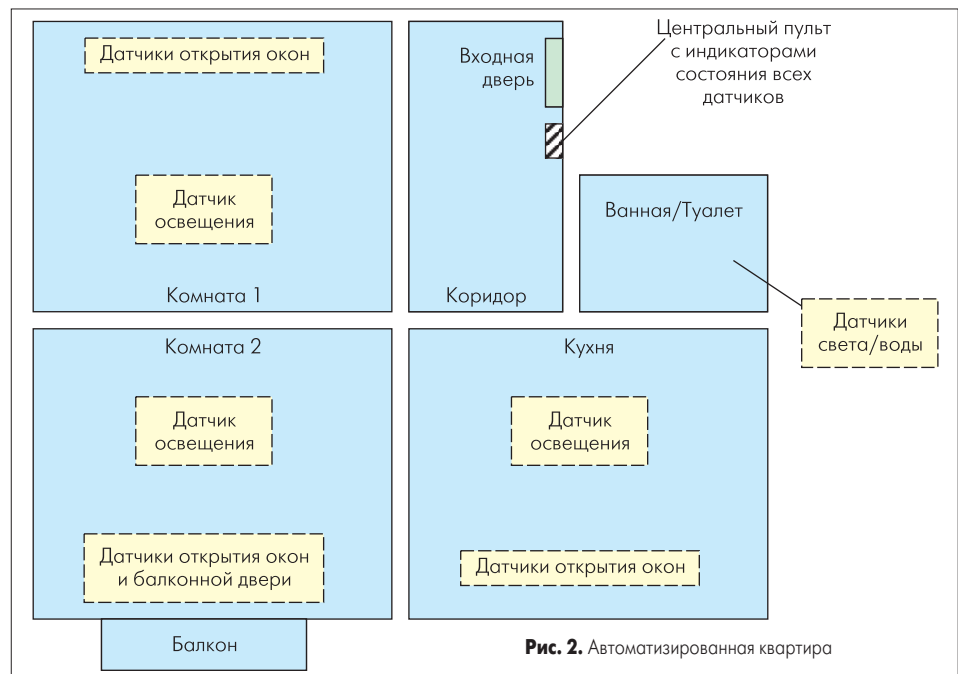


Рис. 2. Автоматизированная квартира

Тут же, по соседству, располагается и еще более широкий сектор потенциального применения ZigBee — автоматизация обычных квартир. Сейчас, особенно на фоне имеющихся высоких цен, такая перспектива кажется недоступной, но технология ZigBee способна решить и эту проблему. Даже небольших возможностей вроде индикации, сообщающей о непогашенном свете или открытых форточках при выходе из дома, автоматическом включении света при входе в помещение, датчиков воды на полу в ванной и в туалете будет достаточно, чтобы заинтересовать покупателей (см. рис. 2). Конечно, при условии невысокой цены. Создание таких недорогих, доступных для самостоятельного монтажа решений возможно уже сейчас, а рынок, даже в нашей стране, очень велик.

### Заключение

Еще раз кратко суммируем положительные и отрицательные черты технологии ZigBee. Достоинства следующие:

Таблица 4. Основные характеристики устройств ZigBee в сравнении с конкурентами

| Параметр                      | ZigBee                  | GPRS/GSM                 | Wi-Fi                   | Bluetooth                   |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Область применения            | Мониторинг и управление | Передача голоса и данных | Домашние сети, Интернет | Замена кабельных соединений |
| Системные ресурсы, байт       | 4К...32К                | 16М+                     | 1М+                     | 250К+                       |
| Время работы от батареи, дней | 100...1000+             | 1...7                    | 1...5                   | 1...7                       |
| Число узлов в сети            | 2 <sup>44</sup>         | 1                        | 32                      | 7                           |
| Скорость передачи данных      | 20...250 кбит/с         | 9,6...171,2 кбит/с       | 11...54 Мбит/с          | 720 кбит/с                  |
| Дальность связи, м            | 1...100                 | 1000+                    | 1...100                 | 1...10+                     |

- стандарт продвигается большим числом компаний (на сегодня своих более 90) и имеет все шансы получить широкое распространение;
- очень выгодно смотрится на фоне конкурентов (см. табл. 4);
- конечная стоимость устройств значительно ниже конкурентов (ожидаемая цена чипа — на уровне \$3–5);
- компактные размеры и сверхнизкое потребление (время работы от батарейки — до нескольких лет);
- поддержка 8-разрядного микропроцессорного ядра 80C51;
- невысокая сложность программирования (значительно проще, чем тот же Bluetooth).

Говорить об одних только достоинствах технологии — неправильно. Недостатки у ZigBee, безусловно, имеются и, в первую очередь, это:

- невысокая распространенность (массовое внедрение ZigBee-устройств начнется только с 2005 г.);
  - к настоящему моменту выпущено весьма ограниченное количество микроконтроллеров, поддерживающих ZigBee;
  - слабая техподдержка со стороны производителей устройств (документация у многих выглядит крайне скудно).
- При всех недостатках технология ZigBee выглядит очень перспективно и, естественно, заслуживает внимания отечественных разработчиков.