

# Технология Zigbee

**В сфере беспроводных персональных сетей передачи данных (WPAN) наблюдается острая конкуренция ряда новых технологий. У Bluetooth появился ряд альтернатив, поддерживаемых гигантами электронной промышленности. Среди них — технология передачи данных Zigbee.**

**Владимир Дмитриев**

Первый из известных вариантов интерпретации названия технологии Zigbee, по-видимому, наиболее верный — это сочетание Zigzag и Bee: передача сообщений пчелами в улье с помощью телодвижений зигзагообразной формы, которое для нас, потребителей меда, не очень понятно. Ранее стандарт был также известен под именами «HomeRF lite», «Firefly» и «RF-EasyLink». Иногда ZigBee считают комбинацией RomeRF Lite и спецификации стандарта 802.15.4, разработанной IEEE, то есть технология имеет явно выраженное американское происхождение.

Решаемые WPAN задачи имеют специфические особенности, позволяющие рассматривать радиосети данного типа отдельно от других беспроводных технологий. Во-первых, в самом названии «персональные» подчеркивается их применение отдельным человеком, семьей, с меньшей вероятностью — группой людей. Отсюда вытекает ряд требований, таких, как малые габариты, пониженное потребление электропитания, небольшие дальности связи, упрощенная инсталляция, не требующая специальной подготовки, и ряд других. Это сектор рынка, где пользователь технологии платит из своего кармана. Во-вторых, отметим, что спектр скоростей передачи данных здесь достаточно узок и определяется конкретным применением технологии — от включения освещения и передачи сигнала о задымлении до связи ПК с клавиатурой и мышью (мультимедийная передача между двумя объектами в такой сети не предполагается). Наконец, эволюция персональных сетей показала, что существуют оптимальные комбинации параметров элементов сети. Например, устройство может применяться редко, но на относительно большую дальность, или, наоборот, часто и на малую дальность. Можно назвать и другие варианты различных сочетаний потребительских требований. Это привело к тому, что создание универсальной технологии «на все случаи применения сетей персональной связи» оказалось сложным и даже ненужным делом. Для гигантов электронной индустрии данный факт явился сигналом для начала гонки за захват рынков сбыта и развитие соответствующих технологий. Для разработки спецификаций стандарта и продвижения продукции на рынок был создан ZigBee

Alliance — его целью стала разработка стандарта беспроводной связи, который был бы недорогим и более функциональным именно в данной области применения (рис. 2).

В этот альянс вошли Philips, Motorola, Honeywell, Invensys, Mitsubishi и другие производители электроники и оборудования, общим числом более пятидесяти (стандарт Bluetooth поддерживает свыше 3000 организаций). Группа компаний надеется, что спецификация ZigBee будет готова в начале 2004 года. В «пакет совместимости» ZigBee на разных уровнях модели ISO будут входить Bluetooth, Wi-Fi, Ultrawideband, и вообще, спецификация планируется как поддерживающая максимальное количество стандартов. Это упростит взаимодействие устройств, использующих различные частоты и протоколы.

Казавшийся универсальным Bluetooth сейчас по ряду позиций не устраивает потребителей, наиболее очевидным недостатком оказалось относительно высокое энергопотребление абонентских устройств, обусловленное, в том числе и значительной скоростью передачи в случаях, когда в этом нет такой необходимости (сбор данных с датчиков или управление осветительными приборами). В свою очередь, однозначно используемый устройствами Bluetooth диапазон частот (в районе 2,4 ГГц) существенно уменьшает дальность связи в реальных условиях. В целом, при большом числе оконечных устройств (десятки и сотни) «переплачивание за ненужные возможности» становится ощутимым. Короче говоря, появились реальные альтернативы технологии Bluetooth, и одной из них как раз и является Zigbee.

## Назначение технологии

Технология Zigbee позиционировалась своими авторами для применения в системах контроля и управления, которые передают небольшие объемы данных, например, контроллеры освещенности помещения, термостаты, кондиционеры, пульта дистанционного управления, беспроводные клавиатуры и мыши для компьютера, датчики дыма и углекислого газа, устройства вызова помощи для пожилых людей и детей, устройства домашней автоматизации и т. п. В корпо-

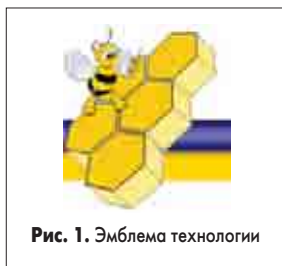
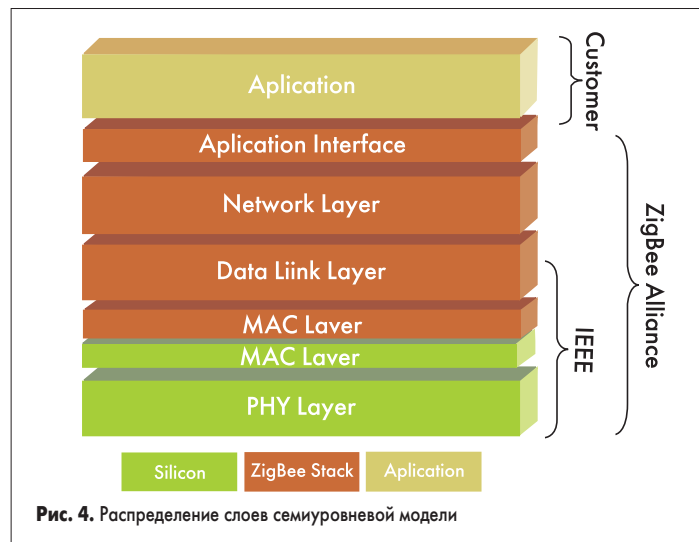
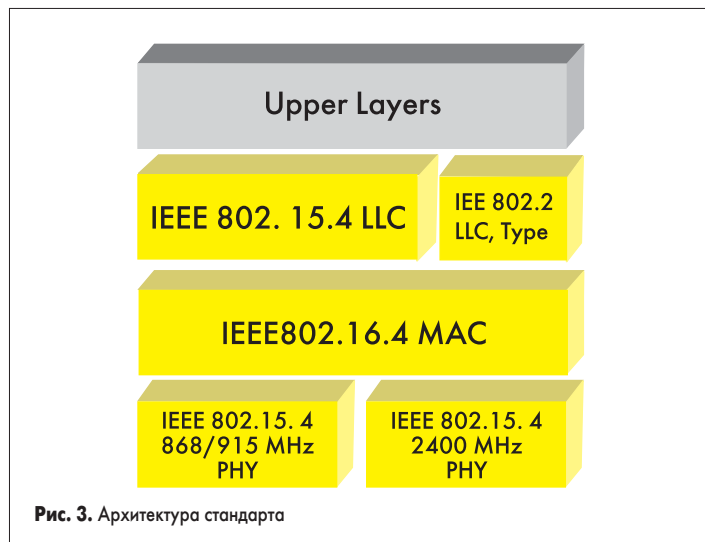


Рис. 1. Эмблема технологии



Рис. 2. Эмблема ZigBee Alliance



ративном секторе это могут быть, например, складские системы, системы автоматизации производства, различные датчики и т. п.

Таким образом, стандарт ZigBee ориентирован, главным образом, на использование в качестве средства связи между автономными приборами и оборудованием управления.

Отсюда следуют и предъявляемые к технологии требования, которые были реализованы:

- поддержка сетей с несколькими сотнями функционирующих устройств (до 255 подключенных устройств);
- обеспечение в реальных домашних условиях среднего радиуса действия сетей порядка 30 метров;
- простота инсталляции и применения.

Для сравнения технология Wi-Fi (IEEE 802.11b) поддерживает 50 устройств без потери производительности сети, WirelessUSB и Bluetooth (основные конкуренты Zigbee) — по семь элементов в каждой пикосети. С другой стороны, дальность действия в домашних условиях для Wi-Fi составляет 100 метров, а для WirelessUSB и Bluetooth — до 10 метров. Таким образом, потребительская ниша новой технологии очевидна — частичная конкуренция с упомянутыми технологиями и полная замена проводных и радиопроводных систем аналогичного назначения (LonWorks, HomePNA и др.).

**Архитектура стандарта**

Традиционно разработчики стандартов технологий беспроводной связи особое внимание уделяют двум-трем нижним уровням семиуровневой модели открытых систем ISO. На рис. 3 показана архитектура стандарта,

где (снизу вверх) показаны физические уровни (PHY) диапазонов 868 МГц (Европа) и 915 МГц (США), а также физический уровень общего диапазона 2,4 ГГц. Над ними расположен транспортный уровень, определяющий разделение радиосигналов при их доступе к устройству сети.

Распределение «зон ответственности» разработчиков и потребителей технологии выглядит следующим образом (рис. 4).

Нижние уровни определяются стандартом IEEE, средняя часть находится целиком в ведении ZigBee Alliance (рис. 4), однако пользуется технологией пользователь (customer), который диктует потребительские свойства эксплуатируемых устройств.

Доступ к среде передачи в данной технологии типа CSMA-CA — (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) — множественный доступ с прослушиванием несущей и избеганием коллизий. Данный вид доступа является традиционным для стандартов RadioEthernet.

Структура пакета данных показана на рис. 5. Технические параметры технологии (особенно скорость передачи данных) отличаются для различных диапазонов частот.

1. В диапазоне 2,4 ГГц (универсальном в мире):
  - информационная скорость передачи 250 кбит/с;
  - техническая скорость передачи 62,5 кбод при кодировании 4 бит/символ;
2. В диапазоне 868 МГц (Европа) или 915 МГц (США):
  - информационная скорость передачи 20 кбит/с;
  - техническая скорость передачи 20 кбод при кодировании 1 бит/символ.

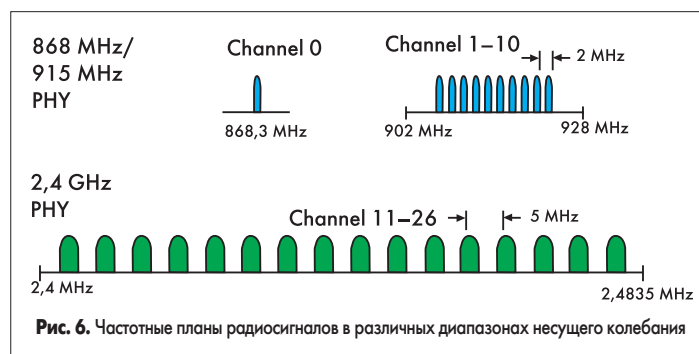
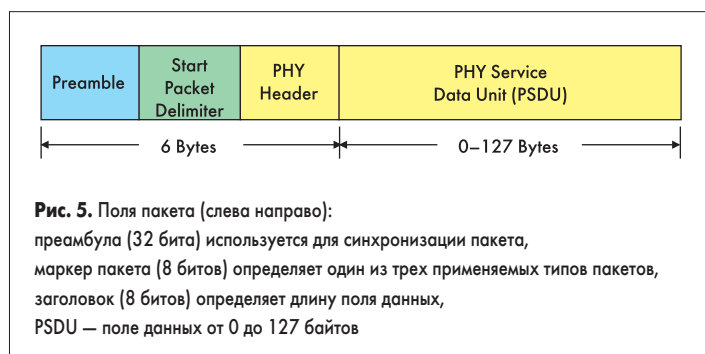
Встречаются данные о достижении скорости передачи данных 40 кбит/с в данном диапазоне.

Для всех вариантов вид модуляции несущего колебания одинаков — относительная фазовая манипуляция; для передачи используются нелицензируемые диапазоны частот.

На рис. 6 показаны частотные планы для различных диапазонов несущих колебаний.

**Структура сетей Zigbee**

В соответствии с технологией Zigbee сети беспроводной передачи включают в свой состав устройства двух классов — полнофункциональные (Full function device — FFD) и устройства с ограниченной функциональностью (Reduced function device — RFD). Устройства первого типа обеспечивают расширенные возможности по построению топологии сети, могут выполнять роль координатора работы сети (главной станции радиосети) и могут обмениваться сообщениями с любой другой станцией сети. Устройства второго типа могут работать только в сети звездообразной формы, не могут выполнять функции координации работы сети обмена данными и имеют упрощенную конструкцию. Последнее свойство — изначально заложенное в идеологию технологии неравенство возможностей устройств при их работе в единой сети — как раз и позволяет обеспечить их чрезвычайно низкое энергопотребление. Если для устройств Bluetooth с точки зрения энергопотребления характерен подход, аналогичный сотовой телефонии — периодическая подзарядка батарей, то здесь ориентация осуществлена в направлении длительного ис-



пользования источников однократного применения (пальчиковых элементов) для многочисленных абонентских устройств и домашней электросети — для координатора.

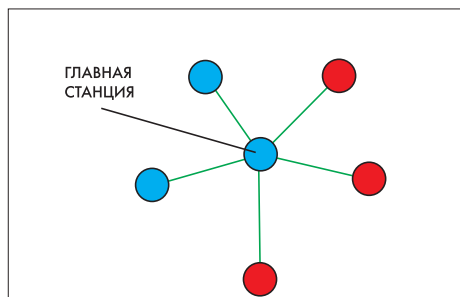
Также существенно отличаются для данных технологий и временные параметры алгоритмов работы сетей: для Bluetooth время выхода устройства из «спящего» режима составляет около трех секунд, а для Zigbee — 15 мс; время доступа подчиненного устройства к среде передачи — 15 мс и 2 мс соответственно; даже длительность «прописывания» нового элемента в сети существенно различна — более 3 с для Bluetooth и менее 30 мс для Zigbee. Одним из главных достоинств технологии является обещаемое сверхдлительное использование автономных источников питания, предполагается, что двух-трех пальчиковых элементов хватит для функционирования автономного устройства в течение нескольких месяцев. Фактически эти данные подчеркивают то, что сравниваемые технологии рассчитаны на применение в различных сферах приложений, а значит, они попросту несравнимы.

**Структуры сетей Zigbee**

На рис. 7 показана структура сети типа «звезда».

Задачи главной станции сети:

- передает сетевые маркеры;
- объединяет абонентские устройства в единую сеть;
- управляет абонентскими устройствами;
- хранит информацию о состоянии сети;
- организует передачу данных между тяготеющими элементами сети;
- получает питание от электросети;
- постоянно находится в режиме приема.



**Рис. 7.** В центре находится станция первого типа, выполняющая функции главной станции сети. Она связана со станциями обоего типа, являющимися подчиненными

- В свою очередь, подчиненная станция сети:
- принимает и передает данные в соответствии с выполняемым приложением;
  - определяет, имеются ли данные, которые необходимо передать;
  - запрашивает, в случае необходимости, необходимые данные от координатора сети;
  - обычно обеспечивается электропитанием от автономной батареи;
  - может находиться в спящем режиме длительное время.

Станции первого типа могут также создавать однородные структуры вида, показанного на рис. 8.

Наконец, подобно Bluetooth, технология позволяет строить структуры смешанного типа (рис. 9).

В зависимости от вида структуры сети меняется и адресация ее элементов. Применяются следующие способы адресации: сеть + идентификатор устройства (звездообразная структура), идентификаторы источника/получателя сообщений (однородная структура), дерево кластеров источников/получателей сообщений + идентификатор устройства (структуры смешанного типа).

Алгоритмы процесса передачи данных оптимизированы под вид входящего трафика, который может иметь следующие временные параметры:

- данные, передаваемые через определенные промежутки времени в различных направлениях (датчики, сенсоры, телеметрия);
- данные, передаваемые через случайные интервалы времени в различных направлениях (управление освещением, оконными шторами);
- случайная длительная прерывистая передача данных в одном направлении (работа мыши или клавиатуры ПК).

**Развитие элементной базы технологии**

Технология предъявляет следующие требования к стеку протоколов и устройствам его реализации:

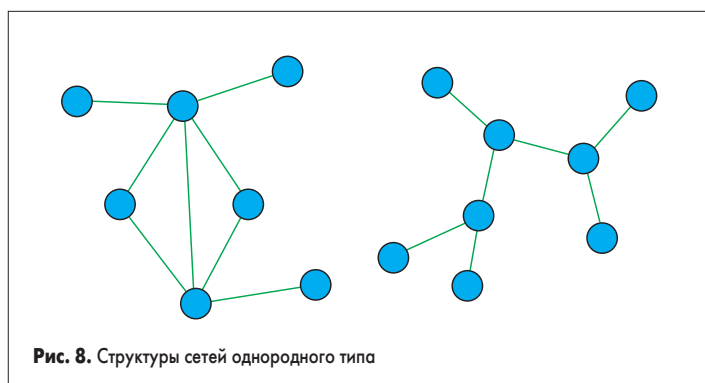
- 8-разрядный микропроцессор, например 80c51;
- память для хранения полного стека протоколов координатора сети менее 32 кбайт;
- память для хранения стека протоколов абонентского устройства около 4 кбайт;
- главные станции (координаторы сети) требуют наличия внешней RAM для хранения базы данных обо всех элементах се-

ти, таблицы транзакций и таблицы связности сети.

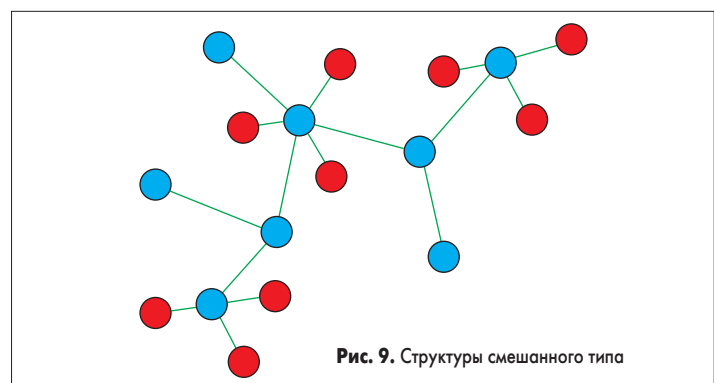
Программно-аппаратное решение устройств Zigbee, представленное Motorola, соответствует уровням PHY/MAC стандарта (первый и второй уровень по модели OSI), работает в диапазоне 2,4 ГГц и обеспечивает скорость передачи данных до 250 кбит/с. Его физический уровень включает в себя радиомодем и последовательный интерфейс для связи с контроллером, а программный уровень — управляющую программу, которая может встраиваться в прошивку контроллера устройства. Система предусматривает питание напряжением от 2 до 3,6 В. Для защиты данных от несанкционированного перехвата используется алгоритм AES со 128-битным ключом.

Motorola продемонстрировала работу своей ZigBee-сети 3 июня 2003 года в Берлине на конференции ZigBee Alliance European Open House. Первые устройства этого стандарта должны появиться на рынке в середине года. На рис. 10 показана структурная схема автономного датчика, связанного с главной станцией сети по технологии ZigBee. Здесь:

1. Sensor — датчик.
  2. 8-bit Microcontroller — 8-разрядный контроллер, который включает в себя: Sensor Driver — драйвер датчика, Sensor App — программу, реализующую заданное приложение; ZigBee NWK — 15.4 MAC — программу формирования кодированных посылок, обеспечивающих доступ к среде передачи в соответствии со стандартом IEEE802.15.4.
  3. RF Data Modem — радиомодем, который включает в себя: SPI/Control — устройство управления последовательным интерфейсом; TX Baseband — устройство управления радиопередающей частью; RX Baseband — устройство управления радиоприемной частью; RX Analog/RF — радиопередатчик, TX Analog/RF — радиоприемник, Freq Gen — синтезатор рабочих частот, Power Management — источник электропитания.
- Модуль имеет усилитель мощности (1 мВт), чувствительность радиоприемника равна -90 дБ-мВт при коэффициенте ошибок 1%. Источник питания — щелочная батарейка напряжением 2-3,6 В.
- AMI Semiconductor также в рамках выставки Global Wireless Solutions Open House представила трансивер ASTRX1, спонсором разработки которого выступил ZigBee Alliance. ASTRX1 построен по технологии SoC (систе-



**Рис. 8.** Структуры сетей однородного типа



**Рис. 9.** Структуры смешанного типа

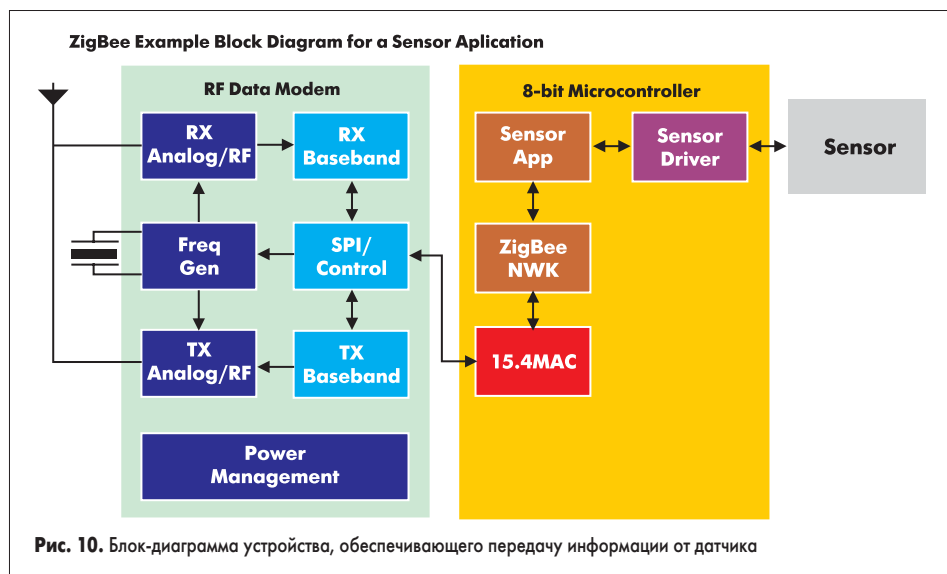


Рис. 10. Блок-диаграмма устройства, обеспечивающего передачу информации от датчика

ма-на-чипе) на основе платформы ASTRIC (Application Specific Transmit and Receive IC). Трансивер способен работать в частотных диапазонах 868–870 МГц и 902–928 МГц, заявленная скорость передачи и приема данных — 40 кбит/с. Напряжение питания ASTRX1 составляет  $3,0 \text{ В} \pm 0,3 \text{ В}$ , размеры составляют  $9 \times 9 \text{ мм}$ .

### Заключение

Прямых конкурентов у данной технологии нет, так как она создавалась для конкретной цели, а в наше время невозможно одну и ту же оптимизационную задачу решить дважды с достаточно различными результатами.

Однако есть близкие по ряду параметров технологии, которые потенциально могут ограничить сферу применения ZigBee. Так, нишу связи ПК с периферией (HID) может отобрать развиваемая компанией Cypress Semiconductor технология WirelessUSB (о ней мы расскажем в следующем номере журнала). Тем не менее в своем прямом предназначении технология ZigBee имеет неоспоримые преимущества — она нацелена на удовлетворение уже имеющихся потребностей пользователей и является компонентом более широкой концепции «умного дома» (smart house).

Массовые поставки чипов ZigBee ожидаются в начале 2004 года. Цена чипа может быть около \$2,5 и впоследствии снизиться до \$1.