

*Рассмотрены принципы построения и функционирования сетей передачи данных по радио на короткую дистанцию, построенных на основе технологии Bluetooth*

**Вопрос: Что такое технология Bluetooth?**

Bluetooth - это технология передачи данных по радио на короткую дистанцию, позволяющая осуществлять связь беспроводных телефонов, компьютеров и различной периферии при отсутствии прямой видимости. Разработку Bluetooth начала компания ERICSSON ещё в 1994 году. Первоначальной целью было получение нового радиointерфейса с низким уровнем энергопотребления и невысокой стоимостью, который позволил бы устанавливать связь между сотовыми телефонами и беспроводными гарнитурами. Кроме того, согласно концепции ERICSSON, новый интерфейс предназначался для передачи данных и речевых сообщений, причём из любой точки мира. Для обеспечения более широкой поддержки молодой технологии в таких секторах рынка, как настольные системы, карманные компьютеры и мобильные телефоны, ERICSSON в феврале 1998 года организовала консорциум по разработке и продвижению новой технологии под названием Bluetooth SIG (Special Interest Group). Ныне в него входит более 2000 различных фирм, в том числе такие крупные, как 3COM, NOKIA, INTEL, NATIONAL SEMICONDUCTOR и так далее.

**Вопрос: Какие технологии используются в Bluetooth?**

В Bluetooth-технологии сфокусированы лучшие на сегодняшний день достижения современной микроэлектроники как в области аппаратуры (Hardware), так и в программном обеспечении (Software). Bluetooth-системы относятся к классу взаимодействующих открытых систем. Bluetooth-устройства физически представляют собой микросхемы, обеспечивающие связь в диапазоне 2,4 ГГц. Этот диапазон в большей части европейских стран и США относится к полосе для приборов промышленного, научного и медицинского применения - ISM (Industrial, Scientific, Medical). Его эксплуатация не требует лицензирования. Применяемая частота означает, что площадь кристаллов в Bluetooth-устройствах не превышает квадратного сантиметра, а потребляемая мощность весьма мала (1...2,5 мВт). Устройства обеспечивают связь на расстояния до 10 метров. При увеличении мощности до 100 мВт Bluetooth увеличивается и дальность связи (до 100 м). Мощность передатчика делится на три класса (таб. 1).

Таблица 1.

Класс мощности	Максимальная выходная мощность
1	100 mW(20 dBm)
2	2.5 mW (4 dBm)
3	1 mW (0 dBm)

**Каковы принципы построения систем Bluetooth?**

Основополагающим принципом построения систем Bluetooth является использование метода расширения спектра при скачкообразном изменении частоты (FHSS - Frequency Hop Spread Spectrum). Весь выделенный для Bluetooth-радиосвязи частотный диапазон 2,402...2,480 ГГц разбит на N частотных каналов (рис. 1а). Полоса каждого канала 1 МГц, разнос каналов - 140...175 кГц. Для кодирования пакетной информации используется частотная манипуляция (рис. 1б). Для США и Европы N = 79. Исключение составляют Испания и Франция, где для Bluetooth применяется 23 частотных канала. Смена каналов производится по псевдослучайному закону 1600 скачков в секунду. Постоянное чередование частот позволяет радиointерфейсу Bluetooth транслировать информацию по всему диапазону ISM и избежать воздействия помех со стороны устройств, работающих в этом же диапазоне. Если данный канал зашумлён, то система перейдёт на другой, и так будет происходить до тех пор, пока не обнаружится канал, свободный от помех. На рис. 2 показана частотно-временная плоскость, иллюстрирующая одновременную работу трёх Bluetooth-модулей. Модули

работают тактами (слотами) длительностью 625 мкс. Каждому модулю в пределах каждого такта назначается соответствующий частотный канал и режим передачи или приёма.

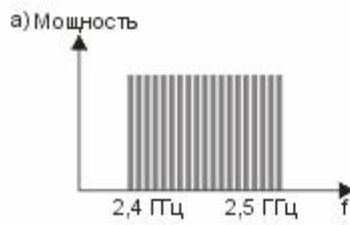


Рис 1а

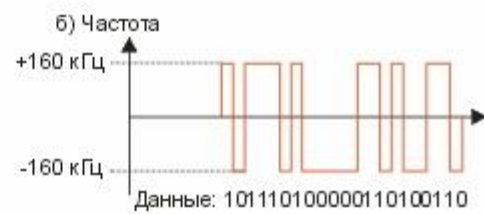


Рис 1б

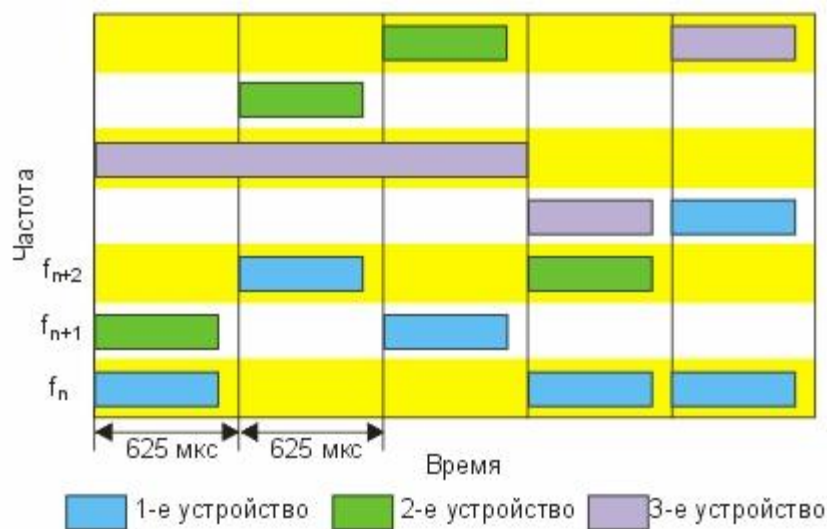


Рис 2 Пример распределения частотно-временного ресурса Bluetooth-сети

**Вопрос: Bluetooth – это закрытая или открытая технология?**

Технология Bluetooth полностью открыта. Любая компания, подписавшая лицензионное соглашение, может войти в состав Bluetooth SIG и начать создавать продукты на её основе. Для исключения появления несовместимых устройств разработаны подробные спецификации, включающие детальное описание методов использования нового стандарта и характеристики протоколов передачи данных.

**Вопрос: Как устроены эти системы?**

Упрощённая блок-схема Bluetooth-связи представлена на рис. 3. На примере Bluetooth-связи по типу "точка - точка" показано информационное взаимодействие двух хостов. Каждый Bluetooth-модуль содержит формирующую и приёмно-передающую аппаратуру, а также встроенное или "зашитое" программное обеспечение (Firmware). К последнему относится интерфейс хост-контроллера (HCI), менеджер связи (Link Manager), а также контроллер несущей частоты (Baseband). Связь модуля с хостом на физическом и канальном уровнях осуществляется с помощью шин USB, UART, PC Card и соответствующего встроенного ПО. К физическому уровню относится также радиолиния между модулями. Модуль поддерживает приём - передачу данных и речевых сигналов. Связь между модулем и хост-контроллером производится с помощью высокоскоростного USB-интерфейса или UART/PCM-интерфейса. Когда используется USB-интерфейс, модуль является USB-ведомым прибором и поэтому не требует ресурсов персонального компьютера. Интерфейс хост-контроллера (ИХК) в модуле является командным интерфейсом. Хост через ИХК направляет команды, а в ответ принимает от модуля сообщения об их выполнении. Менеджер связи устанавливает необходимую конфигурацию ИХК.

**Какие виды связи обеспечивает технология Bluetooth?**

Технология Bluetooth предполагает два вида связи: синхронную - SCO (Synchronous Connection Oriented) и асинхронную - ACL (Asynchronous Connectionless). Первый вид, SCO, рассчитан на установление симметричного соединения "точка - точка" и служит преимущественно для передачи

речевых сообщений. Максимальная скорость передачи информации SCO равна 432.6 Кит/с. Второй, ACL, предназначен для пакетной передачи данных. Он поддерживает симметричные и асимметричные соединения типа "точка - точка" и "точка - много точек".

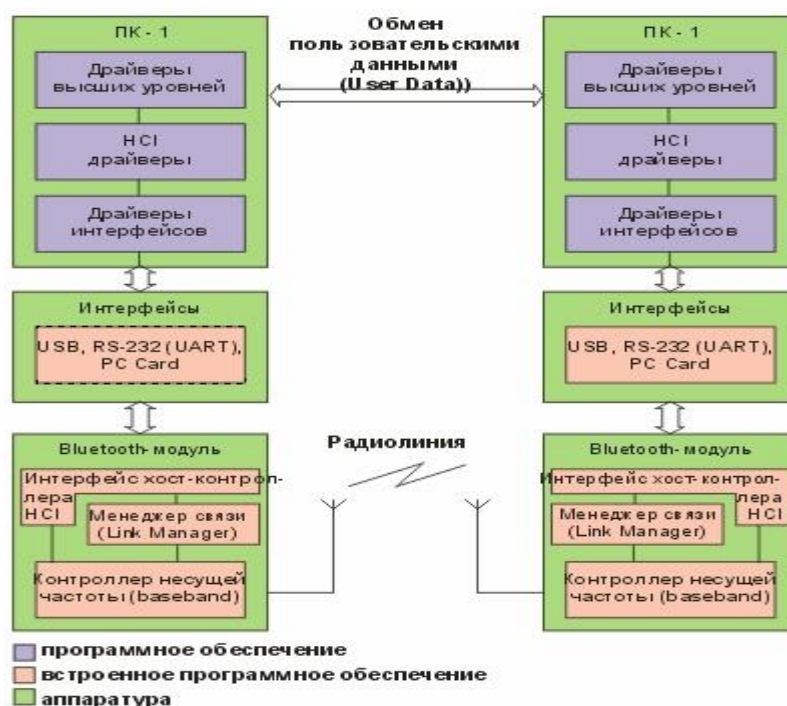


Рис. 3 Упрощённая блок-схема Bluetooth-связи

Скорость передачи пакетной информации при ACL составляет порядка 723.3/57.6 Кбит/с в асимметричном режиме и до 432.6 Кит/с в симметричном. Для каждого из видов связи применяются 12 типов пакетов, и 4 контрольных пакета являются общими для их обоих.

### Контрольные пакеты

Контрольные пакеты (Link control packets) фактически представляют собой служебные сообщения о запросе, подтверждении успешной передачи и т.п. Они, как правило, не содержат данных пользователя.

Используются следующие типы контрольных пакетов:

**ID packet** – пакет запроса.

**NULL packet** – используется для возвращения источнику подтверждения об успехе предшествующей передачи. Не требует подтверждения.

**POLL packet** – то же, что и нулевой пакет, но требует подтверждения о приеме.

**FHS packet** – используется для синхронизации скачков по частоте перед установлением канала пикосети.

**DM1 packet** – используется для поддержки контрольных сообщений в обоих типах линий. Может переносить данные пользователя. Особенностью данного пакета является применение помехоустойчивого кодирования с относительной скоростью 2/3.

### Пакеты синхронной линии (SCO пакеты)

SCO пакеты используются в синхронной линии для обеспечения речевой передачи. Определены три разновидности SCO пакетов, предназначенных для передачи только синхронных данных (речи):

**HV1 packet** – используется для высококачественной передачи речи.

**HV2 packet** – то же, что HV1 пакет, но имеет большее информационное поле.

**HV3 packet** – имеет большее информационное поле, не применяется помехоустойчивое кодирование.

Кроме того, определен SCO пакет, который имеет поле асинхронных данных в дополнение к полю синхронных (речевых) данных:

**DV packet** – это комбинация речевого пакета и пакета передачи данных. Поле данных включает в себя поле речи и собственно поле данных.

Особенностью SCO пакетов является то, что они не содержат проверочный код (16-битный циклический проверочный код - CRC) и никогда не передаются повторно. SCO пакеты направляются на синхронный порт ввода вывода.

#### **Пакеты асинхронной линии (ACL пакеты)**

ACL пакеты используются для асинхронной передачи данных. Передаваемая информация может быть информацией пользователя или контрольной информацией.

Используются следующие типы ACL пакетов:

**DH1 packet** – то же, что DM1 пакет, но отсутствует помехоустойчивое кодирование.

**DM3 packet** – то же, что DM1 пакет, но с увеличенным полем данных.

**DH3 packet** – то же, что DM3 пакет, но отсутствует помехоустойчивое кодирование.

**DM5 packet** – то же, что DM3 пакет, но с увеличенным полем данных.

**DH5 packet** – то же, что DM5 пакет, но отсутствует помехоустойчивое кодирование

**AUX1 packet** – то же, что DH1 пакет, но отсутствует проверочный (CRC) код.

Пакеты данных имеют фиксированный формат. В начале блока находится 72-бит код доступа. Он может применяться, в частности, для синхронизации устройств. За ним следует 54-бит заголовок пакета, содержащий контрольную сумму пакета и информацию о его параметрах (например, о повторной передаче блока данных). Замыкает пакет область, непосредственно содержащая пересылаемую информацию. Размер этой области варьируется от 0 до 2745 бит.

#### **Что такое “пикосеть”?**

Два или более использующих один и тот же канал устройства образуют пикосеть (piconet). Одно из устройств работает как основное (master), а остальные - как подчиненные (slave). В одной пикосети может быть до семи активных подчиненных устройств, при этом остальные подчиненные устройства находятся в состоянии «парковки», оставаясь синхронизированными с основным устройством. Взаимодействующие пикосети образуют «распределенную сеть» (Scatternet) (рис. 4).

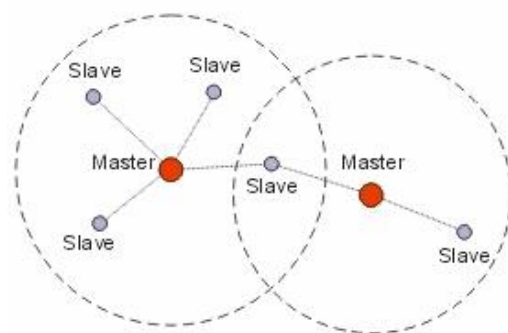


Рис. 4. Пример распределенной сети

В каждой пикосети действует только одно основное устройство, однако подчиненные устройства могут входить в различные пикосети. Кроме того, основное устройство одной пикосети может являться подчиненным в другой (рис. 1).

Таким образом, в распределенную сеть могут объединяться столько Bluetooth устройств, сколько необходимо, логические связи могут образовываться так, как это требуется, и могут изменяться как угодно, в случае необходимости. Однако, различные пикосети, входящие в одну распределенную сеть, должны иметь разные каналы связи, то есть работать на различных частотах и иметь различные последовательности частотных скачков.

#### **Как функционируют системы Bluetooth в условиях помех?**

Несмотря на FHSS, устройства Bluetooth не всегда могут исключить проблемы, связанные с воздействием помех в диапазоне 2,4 ГГц. Поэтому помимо FHSS используется специальное кодирование сигналов. Во-первых, кодирование трафика заметно повышает уровень защищённости связи. Во-вторых, кодирование позволяет с помощью специальных алгоритмов обнаруживать и коррек-

тировать ошибки передачи данных. Кроме того, чтобы быть уверенным в том, что устройства вступают в связь только с авторизованными на то устройствами, предусмотрена также встроенная процедура аутентификации. Этим пресекается несанкционированный доступ к данным.

**Вопрос: Какие модули поддерживают технологии Bluetooth?**

В настоящее время основным разработчиком компонентов Bluetooth, объединяющих радиомодуль и baseband controller, является Cambridge Silicon Radio (<http://www.csr.com>). На российском рынке наиболее распространена продукция фирм Mitsumi (<http://www.mitsumi.com/>) и Sunitec ([www.sunitec.com.tw](http://www.sunitec.com.tw)). Более подробно рассмотрим продукцию последней.

Модуль первого класса мощности **BCM-05** с ядром **CSR** (чипсет **BC212015BDN-E4**) работает по спецификации Bluetooth версии 1.1 и в пикосети поддерживает до семи ведомых устройств. Максимальная скорость передачи до 723/57.6 кБит/с, напряжение питания в диапазоне (2.7 - 3.6) В, номинально – 3.3 В. Модуль имеет 8 Мбит встроенной флэш-памяти. Возможные режимы снижения потребления мощности: парковка (Park), “принюхивание” (Sniff), удержание (Hold) и “глубокий сон” (Deep Sleep). Для передачи речи используется интерфейс PCM. Диапазон рабочих температур от –40 °С до +85 °С. Размеры модуля 40x18x2.8 мм. Функциональная блок-схема модуля представлена на рисунке 6.

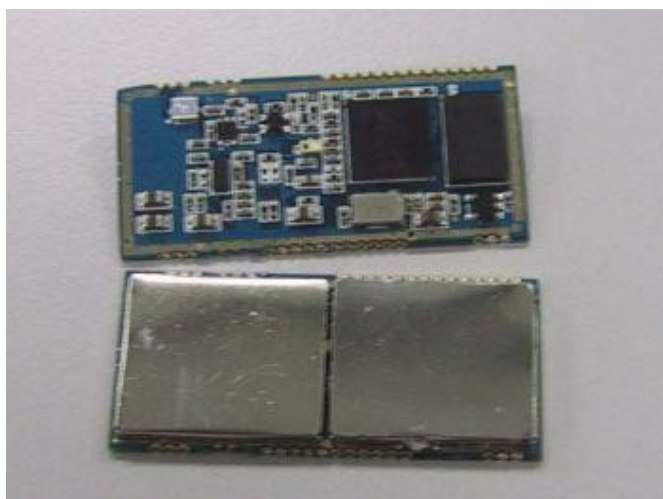


Рис.5 .Общий вид модуля BCM-05

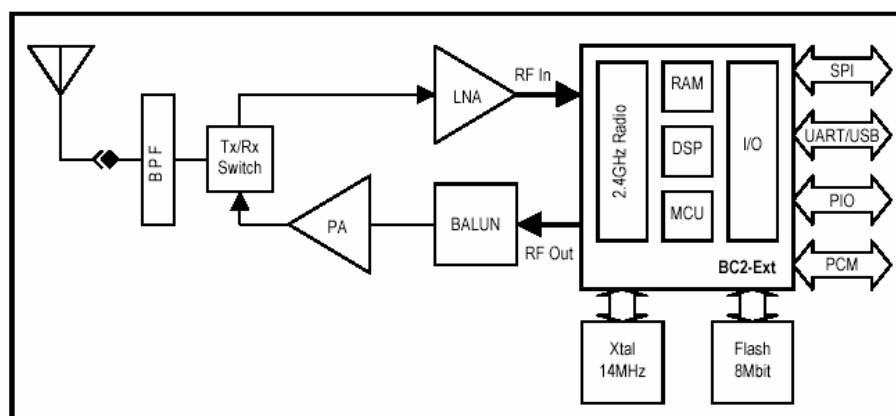


Рис. 6 Функциональная блок-схема модуля BCM-05

Модуль второго класса мощности **BCM-04A** с ядром **CSR** (чипсет **BC215159A-HK-E4**) работает по спецификации Bluetooth версии 1.1, имеется встроенный линейный аудиокодек (частота выборки 8 кГц, точность представления данных – 15 разрядов), в пикосети поддерживает до семи ведомых устройств, максимальная скорость передачи до 723/57.6 кБит/с, напряжение питания в диапазоне (2.7 - 3.6) В, номинально – 3.3 В. Имеет 8 Мбит встроенной флэш-памяти. Возможные режимы снижения потребления мощности: парковка (Park), “принюхивание” (Sniff), удержание (Hold) и “глубокий сон” (Deep Sleep). Для передачи речи используется интерфейс PCM. Диапазон рабочих температур от –40 °С до +85 °С. Размеры модуля 17.5x15x2.3 мм. Функциональная блок-схема модуля представлена на рисунке 8.

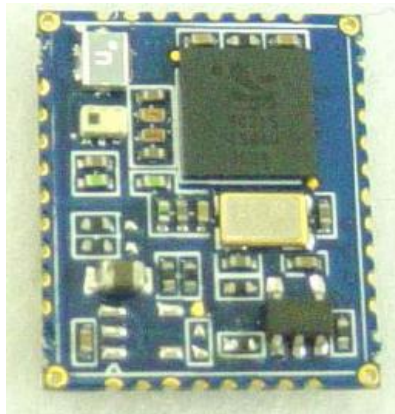


Рис.7 .Общий вид модуля BCM-04A

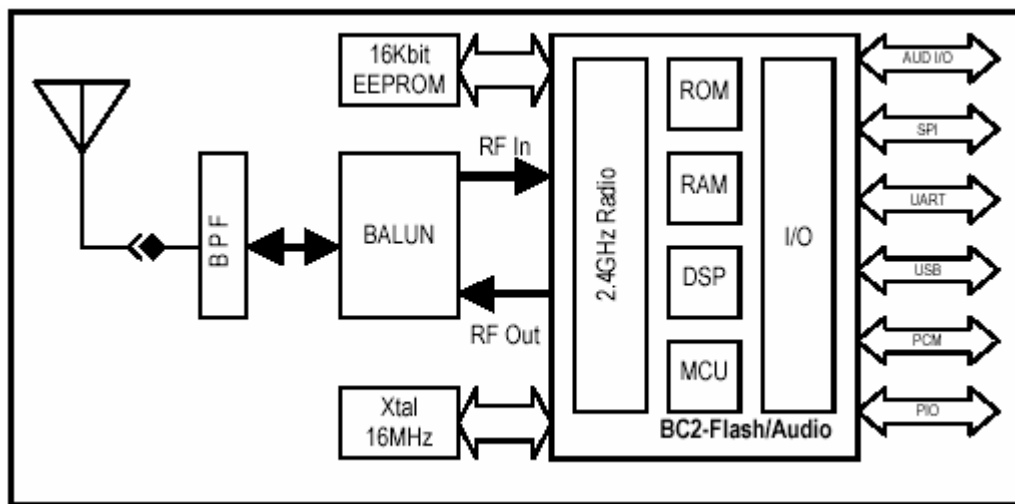


Рис. 8 Функциональная блок-схема модуля BCM-04A

### Вопрос: Какие средства разработки существуют для систем Bluetooth?

Фирмой Cambridge Silicon Radio (<http://www.csr.com>) разработан пакет программ «BlueSuit», включающий в себя: программу «BlueChat», позволяющую ознакомиться с передачей данных устройствами Bluetooth в различных режимах работы (ACL, SCO); программу «BlueTest», позволяющую произвести тестирование трасс передачи данных; программу «PSTools», которая позволяет производить установки режимов работы радиомодуля и контроллера несущей частоты, записанных во флэшпамять модуля и «FlashLoader», позволяющая считывать и записывать флэшпамять модуля. Фирмой Mezo (<http://www.mezoe.com>) разработан пакет программ «BlueLab», который позволяет производить разработку и отладку собственных приложений, записываемых во флэшпамять Bluetooth-модуля.

Объединенным Техничко-Консультационным Центром по Микроэлектронике ([www.otkcm.ru](http://www.otkcm.ru)) разработана программа «PITBDK», позволяющая изучить взаимодействие хост-машины и модуля Bluetooth в рамках протокола ИХК, для разработки собственных программ для хост-контроллеров. Программное обеспечение отладочного комплекса Bluetooth включает исполняемый модуль PITBDK.EXE и модуль динамической библиотеки драйвера PITBDK\_COM.DLL.

Для установки программного обеспечения Bluetooth Starter Kit (BSK) следующая конфигурация компьютера:

- Windows 95, Windows 98 или Windows NT.
- Процессор Pentium 90 МГц или выше
- Как минимум 32 Мб ОЗУ
- Как минимум 50 Мб сводного пространства на диске
- Как минимум один порт RS232

Для тестирования необходимы два BSK.

Также ОТКЦМ была разработана отладочная плата на базе модуля CSR WML-C20N, изображенная на рисунке 9, позволяющая работать со всеми представленными выше программными продуктами. Кроме модуля Bluetooth, она оборудована интерфейсами RS232 и SPI, а также аудиокодеком VC145483DW фирмы Motorola .



Рис . 9 Отладочная плата на базе Bluetooth модуля CSR WML-C20N

### **В каких областях используются системы Bluetooth?**

В России к технологии Bluetooth проявляется огромный интерес. Наиболее перспективными являются те области промышленности и народного хозяйства, где требуется сбор и обработка большого количества одновременно измеряемых параметров, например, нефтепромыслы, металлургические заводы, жилищно-коммунальное хозяйство и так далее.

Дмитрий Александрович Киросир  
[info@otkcm.ru](mailto:info@otkcm.ru)  
<http://www.otkcm.ru>