

Лекция 1. Обзор архитектуры Bluetooth

Версия 2.0 + EDR

Введение

Технология Bluetooth предназначена для унификации возможностей ближней радиосвязи и поддерживает множество приложений (передача данных, графики, аудио, видео и т. д.), полный список которых достаточно объёмен и продолжает пополняться. Эта технология, прежде всего, призвана обеспечить взаимодействие между устройствами, относящимися к разным отраслям промышленности: компьютеры, мобильная связь, автомобильный рынок.

Устройство Bluetooth – это внедрённое в микрочип радиоустройство ближнего действия. Стандарты Bluetooth разрабатываются и публикуются промышленным консорциумом Bluetooth SIG (Special Interest Group).

Работая в диапазоне 2,4 ГГц (диапазон ISM – общедоступные частоты для маломощных устройств), два аппарата Bluetooth, находящиеся на расстоянии до 10 м, могут передавать данные со скоростью до 720 кбит/с, а при использовании технологии EDR (Enhanced Data Rate – повышенная скорость передачи), которая присутствует, начиная с версии 2.0, – до 2200 кбит/с. При применении устройства Bluetooth с дополнительным усилителем мощности расстояние передачи может быть увеличено до 100 м. Технология Bluetooth рассчитана на работу в среде со многими пользователями, позволяя организовывать эпизодические ad-hoc сети.

Название “Bluetooth” (“синий зуб”) произошло от прозвища датского короля Гарольда Блаатанда, который жил в X веке нашей эры. Он принёс христианство в Скандинавию и способствовал объединению воюющих группировок на территории современных Норвегии, Швеции и Дании. Логотип Bluetooth , которым помечаются устройства, поддерживающие данную технологию, представляет собой руническую запись инициалов короля (сочетание “*”, означающей “H”, и “B”).

Области применения Bluetooth

Bluetooth имеет три основных области применения:

- **Точки доступа для обмена данными и голосовыми сообщениями.** Bluetooth обеспечивает передачу в реальном времени данных и речи, организуя удобную беспроводную связь портативных и стационарных аппаратов связи (мост Internet, связь телефонной трубки со стационарным аппаратом, доступ к данным через ноутбук, КПК или мобильный телефон).
- **Замена кабеля.** Может обеспечивать беспроводную связь между ПК и периферийными устройствами (клавиатура, мышь, принтер и т.д.), между мобильным телефоном и наушниками (микрофоном), между мобильным телефоном и КПК и т.п.
- **Организация Ad-Hoc сетей.** Устройство, оснащённое чипом Bluetooth, может устанавливать связь с другими устройствами, находящимися в пределах области охвата.

Топология сетей Bluetooth

Все устройства сети делятся на ведущие (master) и подчинённые (slave). Обмен информацией может осуществляться только между ведущим и подчинённым устройствами, при этом каждое устройство может быть и ведущим и подчинённым. Основным элементом организации сетей Bluetooth является *пикосеть*, состоящая из одного ведущего устройства и 1-7 активных подчинённых устройств. Кроме того, в одну пикосеть может входить неограниченное количество устройств, находящихся в неактивном режиме. Подчинённое устройство может общаться только с ведущим, причём только тогда, когда это разрешает

ведущее устройство. В каждый момент времени обмен данными может идти только между двумя устройствами в одном направлении. Любое устройство одной пикосети может также входить в другую пикосеть в качестве как подчинённого, так и ведущего. Данная схема с перекрытием пикосетей называется *рассеянной сетью*. На рис. 1 слева приведён пример пикосетей, а справа – рассеянной сети, состоящей из трёх перекрывающихся пикосетей. На этом рисунке буквой М (Master) обозначены ведущие устройства, буквой S (Slave) – подчинённые, а M/S означает, что устройство является ведущим в одной пикосети и подчинённым – в другой.

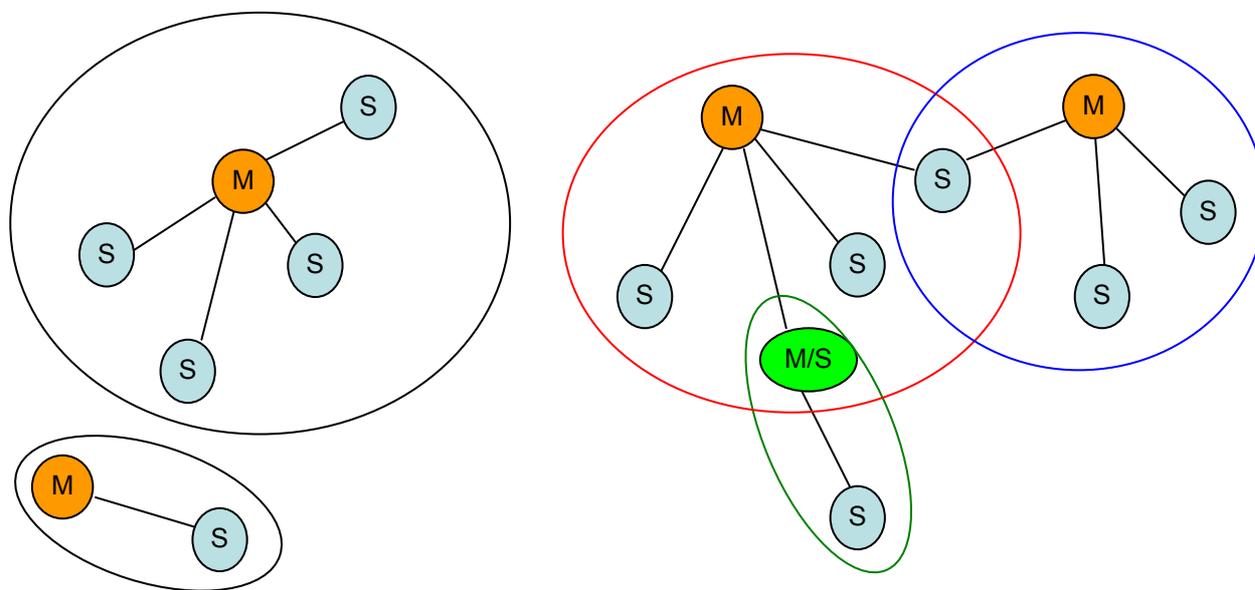


Рис. 1. Топология сетей Bluetooth

Стек протоколов Bluetooth

Протокольная архитектура Bluetooth определяется протоколами четырёх типов: внутренние протоколы, протоколы контроля телефонии, протокол кабельной замены и адаптированные протоколы. На рис. 2 изображён стек протоколов Bluetooth.

Внутренние протоколы образуют так называемое ядро системы Bluetooth и формируют пятиуровневый стек, состоящий из следующих элементов:

- **Протокол радиопередачи (часть физического уровня).** Описывает детали радиоинтерфейса (используемые частоты, тип модуляции, мощность передачи).
- **Протокол передачи в базовой полосе частот (PHY- и MAC-уровни).** Описывает некоторые функции физического уровня и функции управления доступом к среде (установление соединения, распределение временных интервалов, адресация, проверка и исправление ошибок, кодирование/декодирование аудиопотока, аутентификация и шифрование, различные состояния устройства Bluetooth и режимы передачи данных, реализация схемы ARQ).
- **Протокол администратора канала связи (LMP – Link Manager Protocol).** Отвечает за установление логического канала связи между устройствами Bluetooth и его текущее администрирование (аутентификация, шифрование), согласование размеров пакетов, параметров качества передачи, управление излучаемой мощностью.
- **Протокол управления логическим каналом и адаптации (L2CAP – Logical Link Control and Adaptation Protocol).** Адаптирует протоколы высших уровней к уровню передачи в базовой полосе частот (MAC-уровню). Согласовывает и обеспечивает заданное качество обслуживания на уровне логических каналов и реализует расширенную схему повторной передачи ARQ.

- **Протокол обнаружения службы (SDP – Service Discovery Protocol).** Служит для запроса приложением информации о службах, предоставляемых устройством Bluetooth или через него, и их характеристиках.

Протокол замещения кабеля – виртуальный последовательный порт (RS-232).

Протокол управления телефонией (TCS BIN – Telephony Control Specification – Binary). Определяет передачу сигналов управления вызовами для установления сеансов передачи речи и данных, когда Bluetooth используется радиотелефоном или базовой станцией.

Адаптированные протоколы определяются спецификациями, выпускаемыми другими организациями по стандартизации, и вводятся в общую архитектуру Bluetooth.

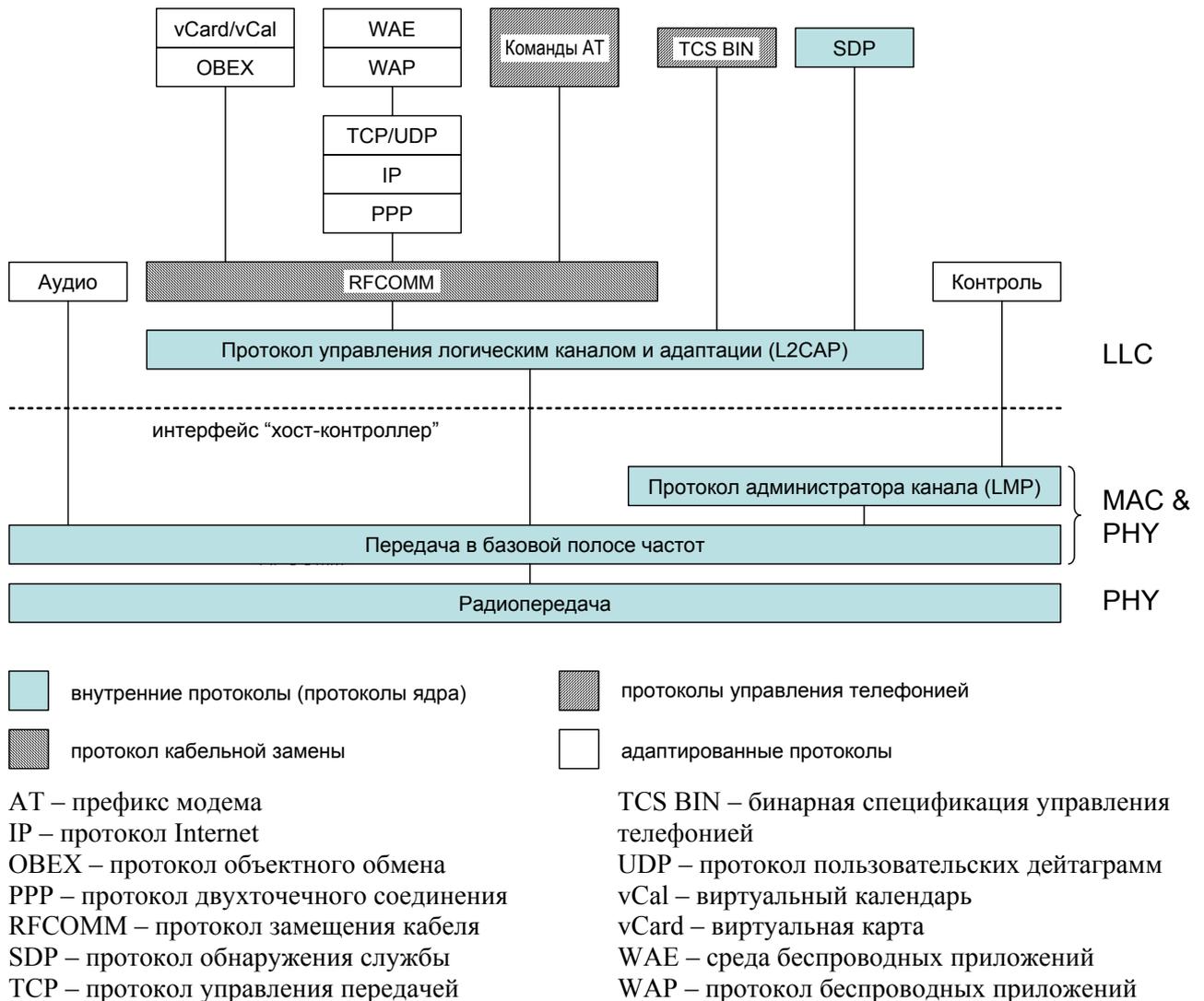


Рис. 2. Стек протоколов Bluetooth

Модели использования

Модель использования – это набор протоколов, реализующих конкретное приложение на основе Bluetooth. Перечислим основные модели использования:

- **Передача файлов.** Модель поддерживает передачу каталогов, файлов, документов, изображений и потоковую информацию. Данная модель также позволяет просматривать структуру каталогов с удалённого устройства.
- **Мост Интернет.** Используя данную модель, ПК связывается без проводов с мобильным телефоном или беспроводным модемом для удалённого доступа к сети или факсу. Управление модемом осуществляется с помощью команд AT, а для передачи данных

используется другой стек протоколов (например, PPP над RFCOMM). При факсимильной связи программное обеспечение факса работает непосредственно над уровнем RFCOMM.

- **Доступ к локальной сети.** Данная модель использования позволяет устройствам пикосети получить доступ к локальной сети.
- **Синхронизация.** Данная модель обеспечивает синхронизацию содержащейся на устройствах персональной информации, такой как записи в телефонной книге, календаре, сообщения и заметки.
- **Телефон “три в одном”.** Телефонные трубки, которые реализуют данную модель использования, могут работать как беспроводной телефон, подсоединённый к голосовой базовой станции, как интерком, связанный с другими телефонами без использования сети оператора, и как сотовый телефон.
- **Головной телефон.** Используется как беспроводное устройство аудиоввода/вывода для удалённого устройства.

Радиоспецификация

Радиоспецификация – это документ, в котором представлены детали радиопередачи устройств Bluetooth. Ключевые параметры физического уровня Bluetooth приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры физического уровня Bluetooth

Диапазон частот	2.4 ГГц, диапазон ISM 2.4000-2.4835 ГГц $f=2402+k$ МГц, $k=0, \dots, 78$ – радиоканалы
Модуляция	GFSK – основная (BT=0.5) $\pi/4$ -DQPSK, 8DPSK – для EDR* (roll-off = 0.4)
Максимальная скорость передачи данных в канале	1 Мбит/с – для GFSK 2 Мбит/с – для $\pi/4$ -DQPSK 3 Мбит/с – для 8DPSK
Схемы доступа	TDMA, FDMA, CDMA
Схема передачи	TDD
Расширение спектра	FHSS
Число радионесущих	79
Расстояние между несущими	1 МГц
Скорость перестройки частоты	1600 скачков в секунду в режиме передачи 3200 скачков в секунду в режимах опроса и запроса
Максимальная мощность передачи	1 мВт - 100 мВт – класс 1 0.25 мВт - 2.5 мВт – класс 2 до 1 мВт – класс 3

*EDR – Enhanced Data Rate (повышенная скорость передачи)

Чтобы устройства работали на минимально необходимой мощности, используется контроль излучаемой мощности. Алгоритм контроля мощности реализуется посредством протокола администратора канала связи.

Для обеспечения защиты от помех и эффектов многолучевого распространения, а также для обеспечения одновременной работы нескольких близко расположенных пикосетей и для реализации множественного доступа для соседних устройств из разных пикосетей в Bluetooth используется расширение спектра с помощью псевдослучайной перестройки рабочей частоты (FHSS – Frequency-Hopping Spread Spectrum). Все устройства одной

пикосети используют одну последовательность перестройки частоты. Для адресного доступа внутри одной пикосети используются схемы множественного доступа CDMA (Code Division Multiple Access) и TDMA (Time Division Multiple Access). Полнодуплексный режим обеспечивается с помощью дуплекса с временным разделением (TDD – Time Division Duplex). Доступ устройства Bluetooth к разным пикосетям осуществляется с помощью схемы множественного доступа FDMA (Frequency Division Multiple Access), которая в случае Bluetooth заключается в том, что в разных пикосетях используются разные псевдослучайные последовательности перестройки частоты, и, следовательно, в каждый момент времени в каждой пикосети передача ведётся на своей частоте, которая почти никогда не совпадает с текущими частотами других пикосетей.

Спецификация базовой полосы частот

Одним из наиболее сложных и объёмных документов, описывающих стандарты Bluetooth, является спецификация базовой полосы частот, называемая также узкополосной спецификацией или спецификацией основной полосы частот. Эта спецификация описывает некоторые функции физического уровня и функции управления доступом к среде (установление соединения, распределение временных интервалов, адресация, проверка и исправление ошибок, кодирование/декодирование аудиопотока, аутентификация и шифрование, различные состояния устройства Bluetooth и режимы передачи данных, реализация схемы ARQ). Реализация схем FHSS, CDMA, TDMA и TDD также относится к данной спецификации.

Перестройка частоты и схема TDD

Для реализации дуплекса с временным разделением (TDD) всё время делится на интервалы длиной 625 мкс, называемые слотами (рис. 3). Слоты нумеруются последовательно, и чётные слоты используются для передачи в направлении от ведущего устройства подчинённому, а нечётные – в обратном направлении. Каждому слоту соответствует своя частота из псевдослучайной последовательности частот. Данные передаются пакетами длиной 1, 3 или 5 слотов. При передаче многослотовых пакетов частота остаётся постоянной в течение всей длительности пакета.

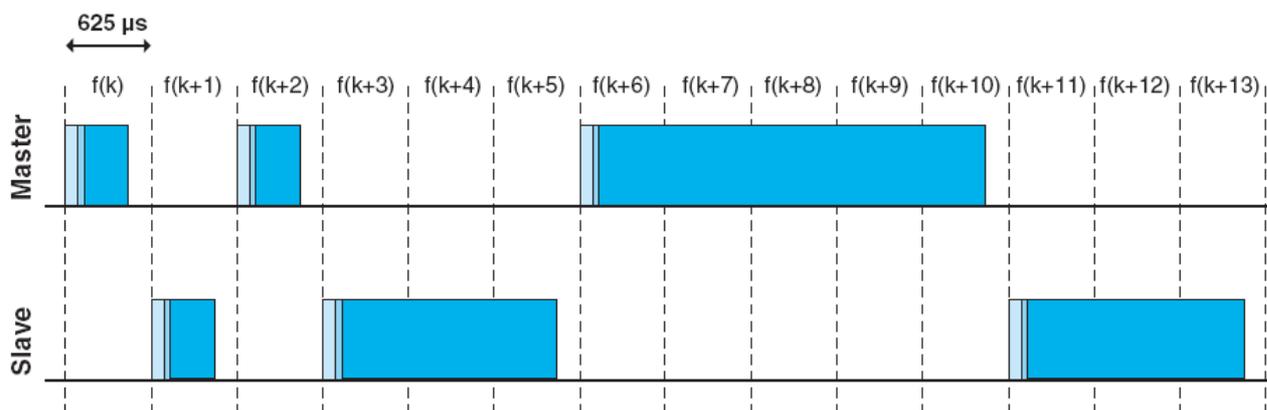


Рис. 3. Перестройка частоты и схема TDD

Адрес Bluetooth-устройства (BD_ADDR)

С целью однозначной идентификации каждое устройство Bluetooth имеет уникальный 48-битный адрес (выдаётся регистрирующим органом IEEE). Его структура показана на рис. 4.

Адрес состоит из следующих частей:

- LAP (lower address part) – нижняя часть адреса
- UAP (upper address part) – верхняя часть адреса
- NAP (non-significant part) – несущественная часть адреса

LSB						MSB					
назначаемый						id производителя					
LAP						UAP		NAP			
0000	0001	0000	0000	0000	0000	0001	0010	0111	1011	0011	0101

Рис. 4. Структура адреса устройства Bluetooth

64 значения (0x9E8B00-0x9E8B3F) LAP-части зарезервированы для кодов доступа процедуры опроса и не могут являться частью адреса устройства. LAP и UAP вместе участвуют в выборе псевдослучайной последовательности перестройки частоты, кроме этого LAP формирует синхрослово в коде доступа, а UAP участвует в процессе проверки ошибок.

Состояния Bluetooth

В процессе установления и эксплуатации канала устройство Bluetooth может находиться в различных состояниях (трёх основных и семи промежуточных).

Основные состояния:

- **холостое состояние** – низкое энергопотребление, работают только часы устройства
- **состояние соединения** – устройство подключено к пикосети
- **состояние парковки** – состояние подчинённого устройства, от которого не требуется участия в работе пикосети, но которое должно оставаться её частью

Промежуточные состояния (для подключения к пикосети новых подчинённых устройств):

- **опрос** – определение устройством наличия других устройств в пределах его досягаемости
- **поиск опроса** – ожидание устройством опроса
- **ответ на опрос** – устройство, получившее опрос, отвечает на него
- **запрос** – посылается одним устройством другому для установления с ним соединения (запрашивающее устройство становится ведущим, запрашиваемое – подчинённым)
- **поиск запроса** – устройство ожидает запрос
- **ответ подчинённого устройства** – подчинённое устройство отвечает на запрос ведущего
- **ответ ведущего устройства** – ведущее устройство отвечает подчинённому после получения от него ответа на запрос

На рис. 5 приведена диаграмма возможных переходов между состояниями устройства Bluetooth.

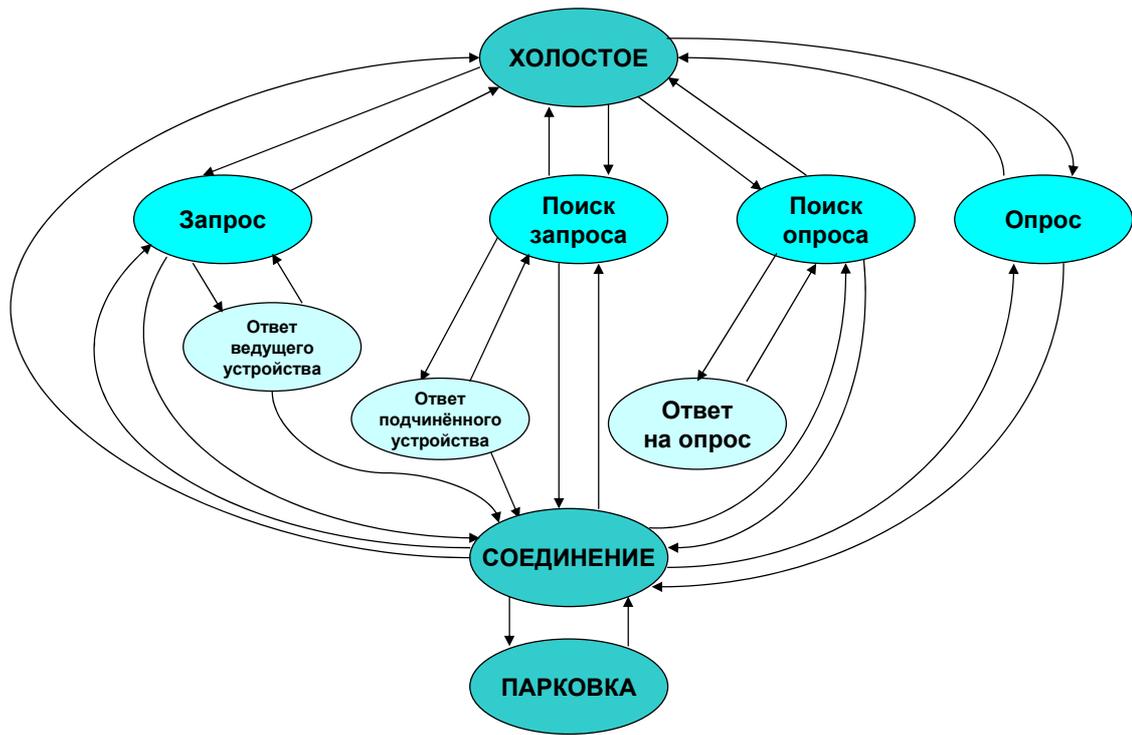


Рис. 5. Диаграмма переходов между состояниями Bluetooth

Физические каналы

Все подчинённые устройства пикосети имеют:

- одинаковую последовательность перестройки частоты, определяемую адресом ведущего устройства (FDMA)
- временную синхронизацию с ведущим устройством (TDD, TDMA)
- код доступа к каналу, определяемый адресом ведущего устройства (CDMA)

Таким образом, физический канал пикосети определяется последовательностью перестройки частоты, значением таймера ведущего устройства и кодом доступа к каналу.

Код доступа к каналу присутствует вначале каждого пакета. Корреляция принимаемого сигнала с этим кодом наряду с последовательностью перестройки частоты и временной синхронизацией определяет присутствие полезного сигнала в данном физическом канале.

Рис. 6 иллюстрирует подключение устройств Bluetooth к одному физическому каналу.

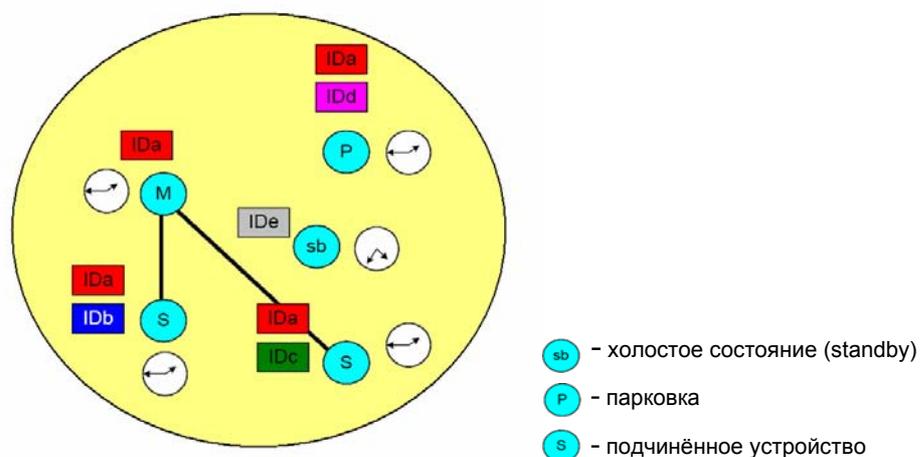


Рис. 6. Физический канал

В Bluetooth определены 4 типа физических каналов:

- основной физический канал пикосети
- адаптированный физический канал пикосети
- физический канал поиска опроса
- физический канал поиска запроса

Отличия адаптированного канала пикосети от основного:

- подчинённое устройство отвечает ведущему на той же частоте
- используется меньшее количество частот; псевдослучайная последовательность перестройки частоты та же самая за исключением замены неиспользуемых частот на разрешённые частоты

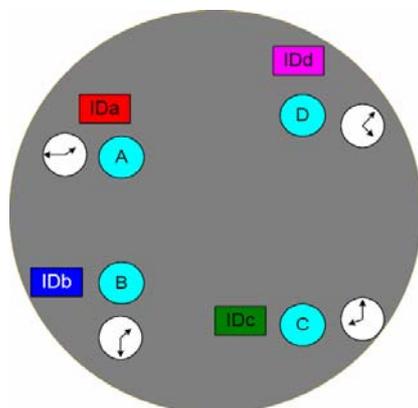
Канал поиска опроса характеризуется специальным кодом доступа к опросу, короткой псевдослучайной последовательностью из 32 частот, более медленной (по сравнению с каналами пикосети) частотой скачков для опрашиваемого устройства и более быстрой – для опрашивающего, при этом опрашивающее и опрашиваемое устройства не синхронизированы по времени.

Канал поиска запроса характеризуется кодом доступа, определяемым адресом запрашиваемого устройства, короткой псевдослучайной последовательностью из 32 частот, более медленной (по сравнению с каналами пикосети) частотой скачков для запрашиваемого устройства и более быстрой – для запрашивающего, при этом запрашивающее и запрашиваемое устройства могут быть с некоторой точностью синхронизированы по времени.

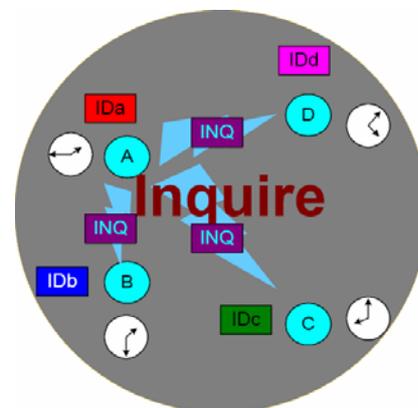
Процедура опроса

С целью подключения к пикосети подчинённых устройств ведущее устройство, прежде всего, выполняет процедуру опроса – определение устройством наличия других устройств в пределах его досягаемости.

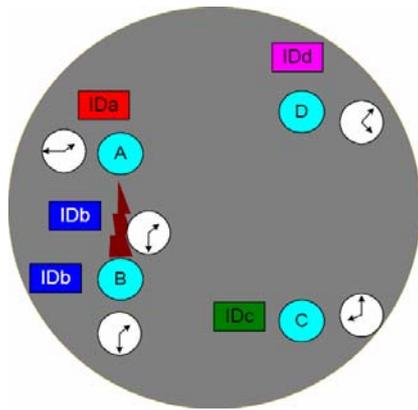
На рис. 7 а)-и) иллюстрируются этапы процедуры опроса.



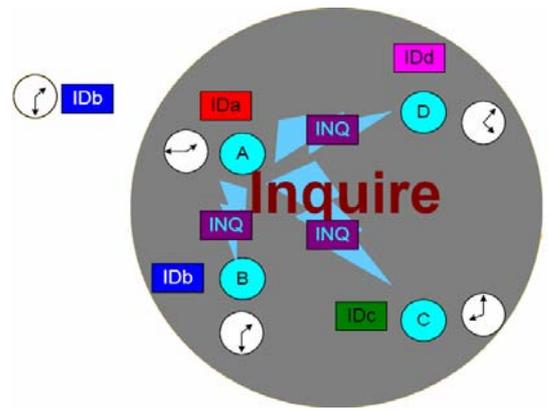
а) устройство А хочет найти другие устройства



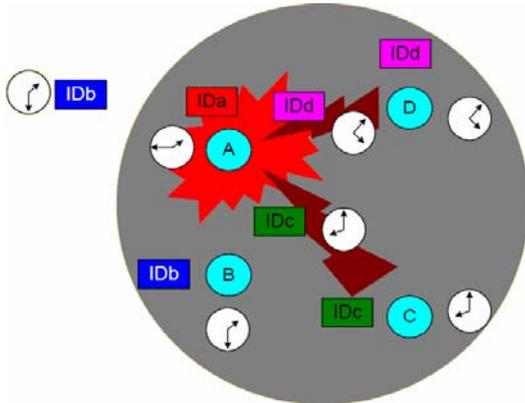
б) устройство А посылает пакет опроса, устройства В, С и D сканируют канал поиска опроса



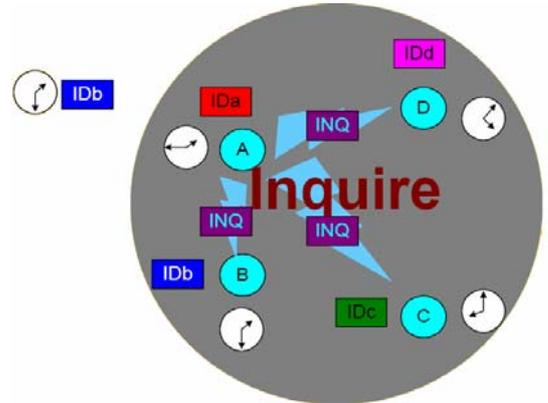
в) Устройство В распознало опрос и ответило FHS-пакетом, содержащим его адрес и значение часов



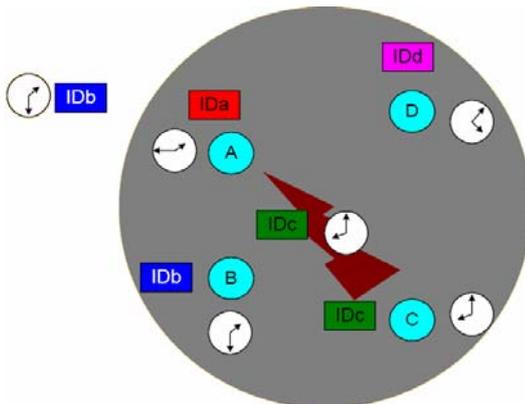
г) устройство А снова делает опрос



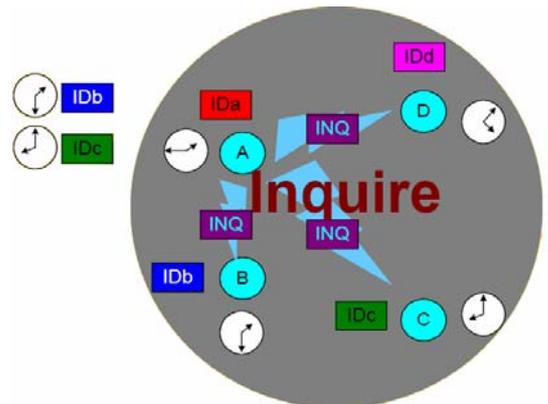
д) Устройства С и D одновременно отвечают на опрос FHS-пакетами. Из-за конфликта устройство А не распознаёт ответные пакеты. После ответа каждое из устройств пропускает случайное количество слотов и снова начинает сканировать канал поиска опроса



е) устройство А снова делает опрос



ж) устройство С отвечает на опрос



и) устройство А снова делает опрос

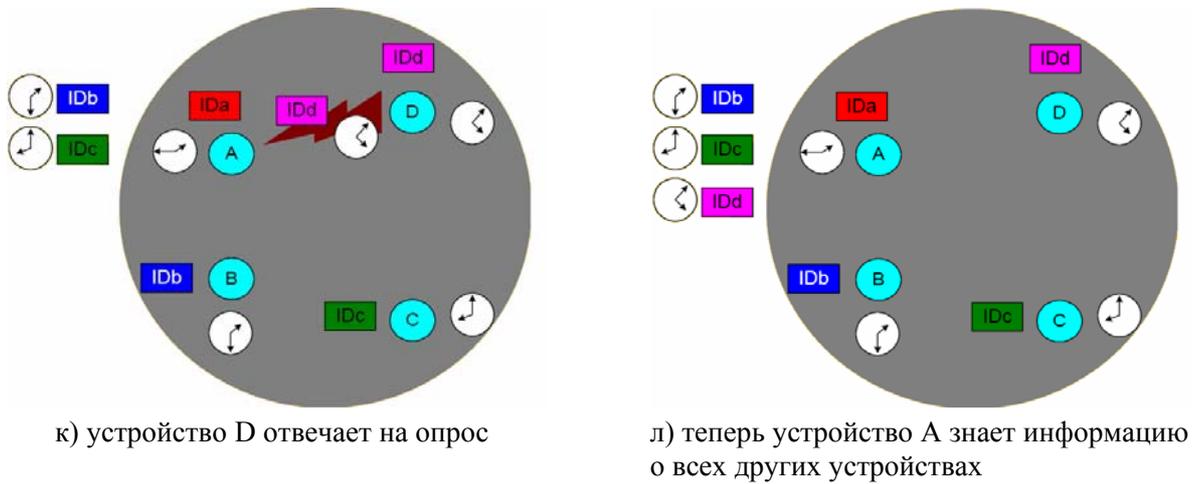


Рис. 7. Пример процедуры опроса

На рис. 8-9 показан детальный механизм процедуры опроса.

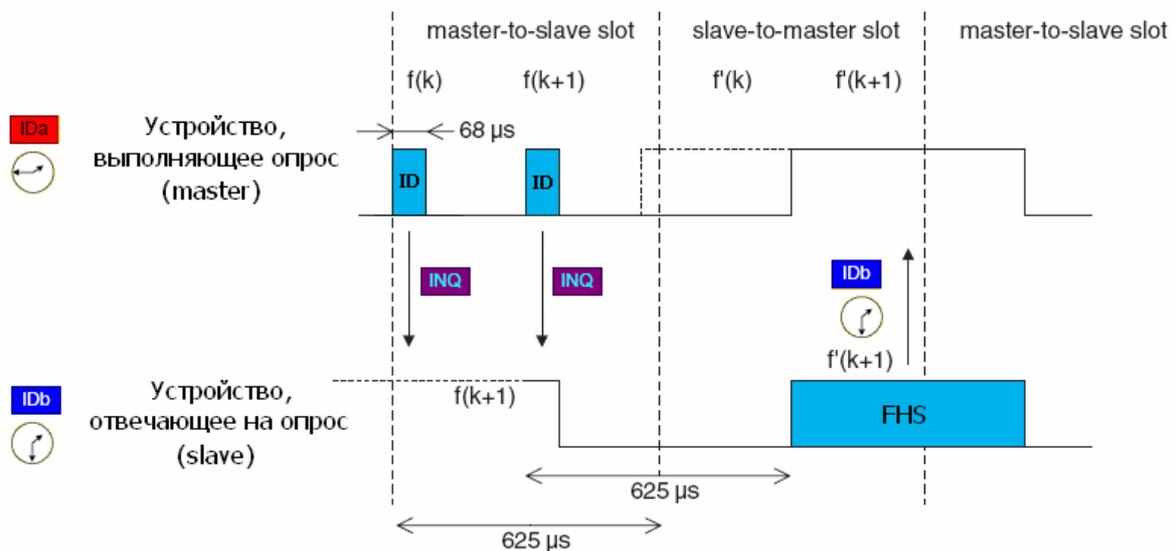


Рис. 8

Опрос осуществляется с помощью специальных ID-пакетов, которые содержат только код доступа к каналу поиска опроса, который не зависит от адресов устройств. Скорость перестройки частоты опрашивающего устройства 3200 скачков в секунду. Опрашиваемое устройство отвечает служебным пакетом FHS, содержащим адрес и значение таймера отправителя, через 625 μs после приёма ID-пакета.

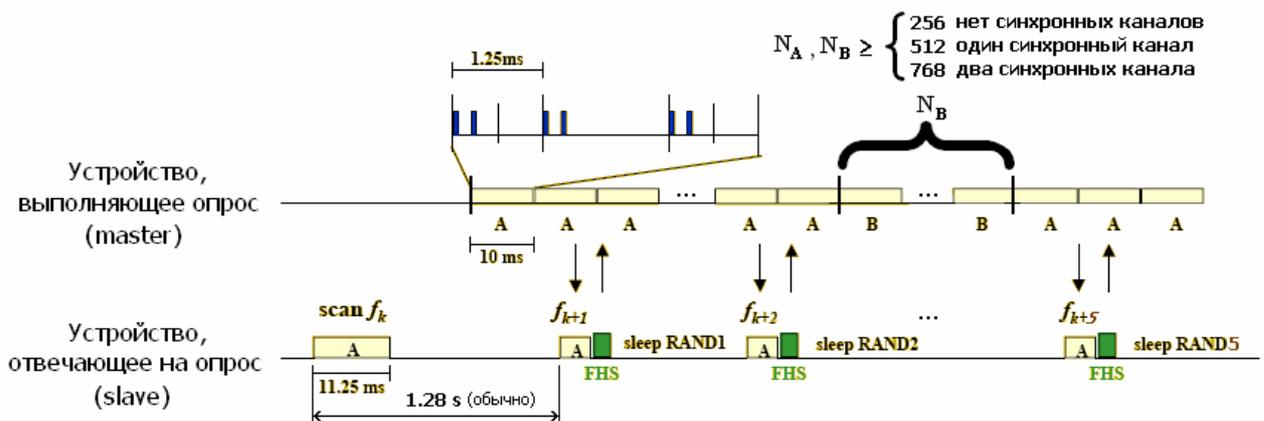


Рис. 9

Последовательность из 32 частот канала поиска опроса поделена на две 16-частотные последовательности А и В, повторяемые N раз. После ответа FHS-пакетом с целью избежания коллизий опрашиваемое устройство ждёт случайное количество слотов перед возобновлением сканирования канала.

Процедура запроса

После процедуры опроса устройство, которое выполнило опрос, знает адреса и с некоторой точностью значения таймеров устройств, откликнувшихся на опрос. Теперь для подключения какого-либо из опрошенных устройств к пикосети в качестве подчинённого ведущее устройство должно выпустить запрос этому устройству.

На рис. 10-11 показан детальный механизм процедуры запроса.

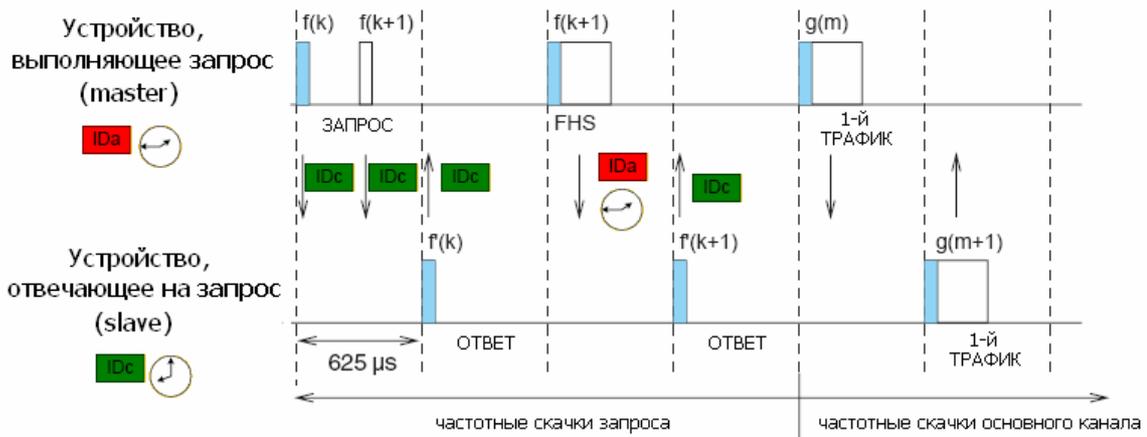


Рис. 10

Запросные ID-пакеты содержат код доступа к запрашиваемому устройству, который определяется его адресом. Скорость перестройки частоты запрашивающего устройства 3200 скачков в секунду. Запрашивающее устройство посылает запрашиваемому для настройки на канал пикосети пакет FHS через 625 μ s после получения подтверждения приёма ID-пакета.

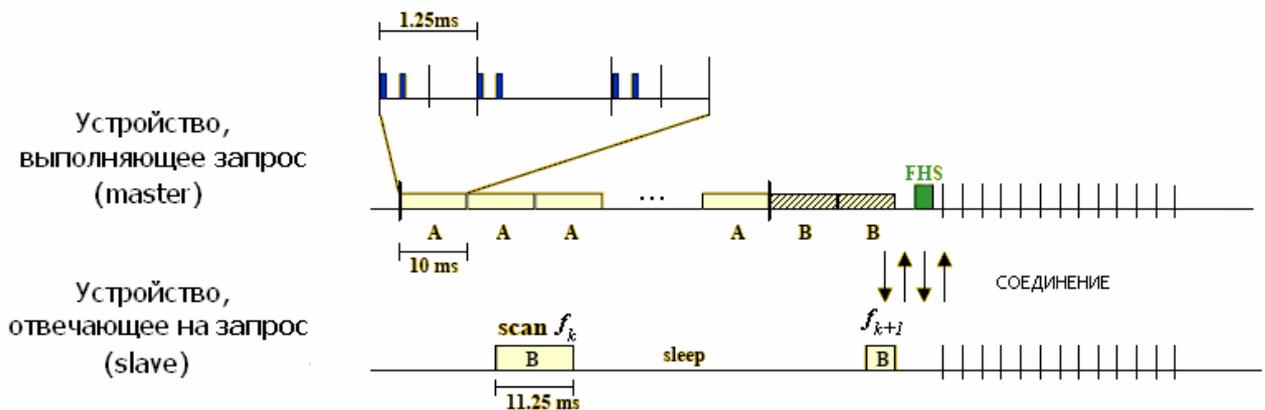


Рис. 11

Как и при опросе, последовательность из 32 частот канала поиска запроса поделена на две 16-частотные последовательности А и В, повторяемые N раз. Поскольку устройство, делающее запрос, знает с некоторой точностью значение часов запрашиваемого устройства, последовательность А содержит наиболее вероятные частоты поиска запроса, что позволяет ускорить процедуру запроса.

Типы трафика

В зависимости от постоянства скорости передачи данных различают три типа трафика:

- **асинхронный** – не имеет строгих ограничений по времени доставки, разные части трафика могут доставляться с большим разбросом значений задержек (переменная скорость передачи)
- **синхронный** – последовательные части трафика доставляются через фиксированные интервалы времени (фиксированная скорость передачи)
- **изохронный** – среднее между синхронным и асинхронным, скорость передачи может меняться в некоторых ограниченных пределах

В зависимости от типа трафика Bluetooth предоставляет разные способы его доставки.

Транспортная архитектура

В отличие от архитектуры протоколов, транспортная архитектура Bluetooth представляет собой вертикаль разноуровневых каналов, используемых для доставки данных. Транспортная архитектура показана на рис. 12-13.



Рис. 12. Транспортная архитектура Bluetooth

На рис. 12 показано соответствие уровней транспортной архитектуры уровням архитектуры протоколов, а рис. 13 более подробно показывает составляющие транспортной архитектуры и связи между ними.

Физические каналы. Рассмотрены выше.

Физическое соединение. Соединение типа “точка-точка” в базовой полосе частот между Bluetooth-устройствами. Не имеет представления в структуре пакета, может быть идентифицировано путём ассоциации с физическим каналом и логическим транспортом. Обладает некоторыми свойствами, такими как контроль мощности, шифрование и др.

- ◆ *Активное физическое соединение* – между ведущим и находящимся в активном состоянии подчинённым устройствами
- ◆ *Физическое соединение в состоянии парковки* – между ведущим и находящимся в состоянии парковки подчинённым устройствами

Логический транспорт (тип передачи). Определяет тип передачи данных (синхронная, асинхронная, широковещательная) по логическим каналам. Идентифицируется через заголовок пакета или заголовок полезной нагрузки пакета.

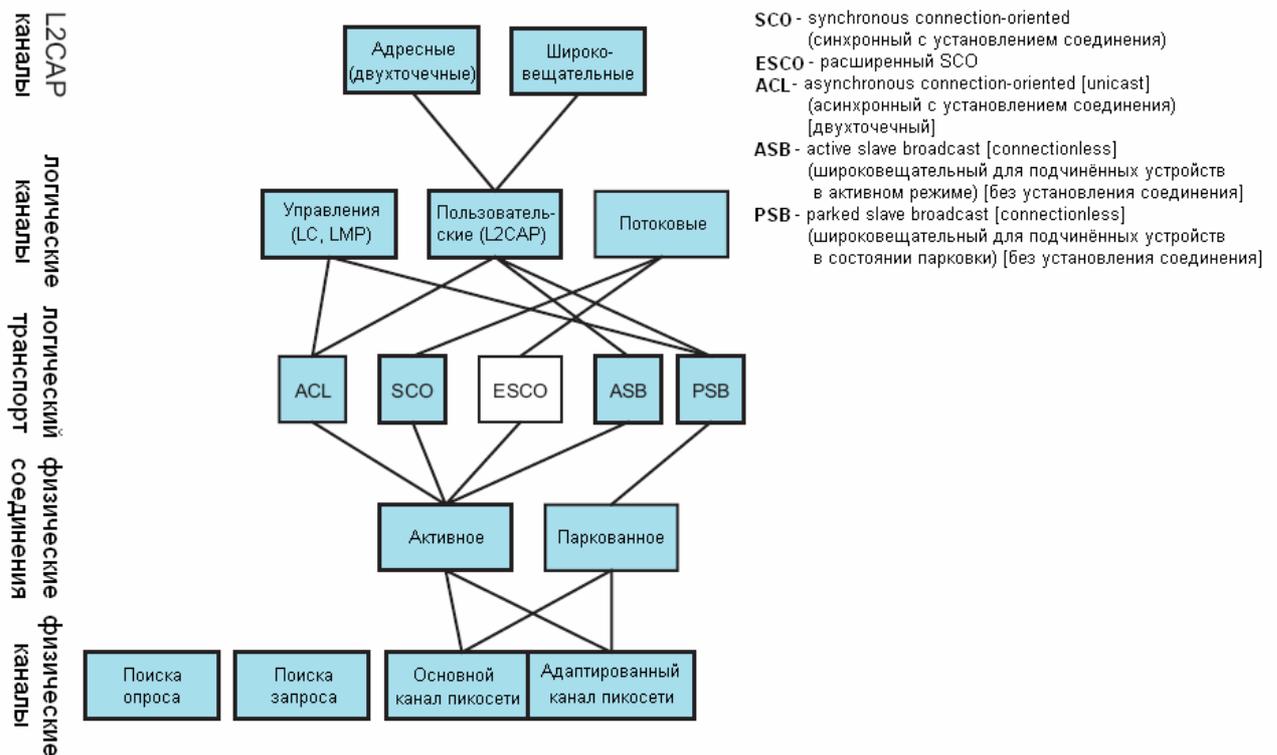


Рис. 13. Составляющие транспортной архитектуры Bluetooth

В Bluetooth определены следующие виды логического транспорта:

- ◆ *ACL* (Asynchronous Connection-oriented Logical transport – асинхронный с установлением соединения). Предназначен для доставки асинхронных данных пользователя и сигналов управления протоколов LMP и L2CAP. Для обеспечения надёжности передачи использует простую 1-битовую схему ARQ (Automatic Repeat reQuest). Определяется адресом логического транспорта (LT_ADDR), который назначается ведущим устройством.
- ◆ *SCO* (Synchronous Connection-Oriented – синхронный с установлением соединения) – симметричный канал для доставки синхронных данных пользователя (поточковое аудио) со скоростью 64 кбит/с посредством резервирования временных слотов. Имеет тот же адрес LT_ADDR, что и ACL.
- ◆ *eSCO* (Extended Synchronous Connection-Oriented – расширенный синхронный с установлением соединения). Отличается от SCO тем, что поддерживает несколько скоростей передачи, повторную передачу пакетов (ограниченную) и имеет собственный, отличный от ACL и SCO адрес LT_ADDR.
- ◆ *ASB* (Active Slave Broadcast – широковещательный для подчинённых устройств в активном режиме). Односторонний (от ведущего к подчинённым), широковещательный, без установления соединения канал. Используется для передачи только пользовательских данных с уровня L2CAP всем подчинённым устройствам пикосети, находящимся в активном состоянии. Определяется нулевым адресом LT_ADDR.
- ◆ *PSB* (Parked Slave Broadcast – широковещательный для подчинённых устройств в режиме парковки). Односторонний (от ведущего к подчинённым), широковещательный, без установления соединения канал. Используется для передачи управляющих сигналов и пользовательских данных с уровня L2CAP всем подчинённым устройствам пикосети, находящимся в состоянии парковки. Как и ASB, определяется нулевым адресом LT_ADDR.

Логические каналы. Предназначены для передачи различных типов данных пользователя и управляющих сигналов. Каждый логический канал ассоциируется с определённым типом передачи (логическим транспортом), имеющим определённые характеристики.

- ◆ *Канал управления LC (Link Control).* Предназначен для передачи управляющих сигналов протокола LC (контроллера канала). Отображается на заголовок пакетов (кроме ID-пакета).
- ◆ *Канал управления ACL-C (ACL Control).* Предназначен для передачи управляющих сигналов протокола LMP. Использует ACL или PSB типы передачи.
- ◆ *Пользовательский канал ACL-U (User Asynchronous/Isochronous).* Используется для передачи асинхронных и изохронных данных пользователя. Использует все типы передачи, кроме SCO/eSCO.
- ◆ *Потоковые пользовательские каналы SCO-S/eSCO-S (User Synchronous/Extended Synchronous).* Предназначены для передачи синхронных потоковых данных.

Каналы L2CAP. Отображаются на логические каналы ACL-U и ASB-U, позволяя делить их между многими различными приложениями.

- ◆ *Каналы “точка-точка” (с установлением соединения)* – для передачи данных между двумя приложениями
- ◆ *Широковещательные (групповые) каналы* – для передачи данных между несколькими приложениями. Могут быть как с установлением соединения (последовательная передача по каналам ACL-U), так и без установления (передача по каналу ASB-U).

В таблице 2 сведены все типы логического транспорта, поддерживаемые ими типы логических каналов, соответствующие им типы физических каналов и соединений и назначение логического транспорта.

Таблица 2.

Тип логического транспорта	Поддерживаемые логические каналы	Реализуется через	Свойства
ACL	Управляющий (LMP) ACL-C Пользовательский (L2CAP) ACL-U	активное физическое соединение, основной или адаптированный физические каналы	надёжный или время-ограниченный, двунаправленный, “точка-точка”
SCO	Потоковый SCO-S	активное физическое соединение, основной или адаптированный физические каналы	двунаправленный, симметричный, “точка-точка”, аудио-видеоканалы, для передачи с постоянной скоростью 64 кбит/с
eSCO	Потоковый eSCO-S	активное физическое соединение, основной или адаптированный физические каналы	двунаправленный, симметричный или асимметричный, “точка-точка”, ограниченная повторная передача, для передачи с постоянной скоростью
ASB	Пользовательский (L2CAP) ASB-U	активное физическое соединение, основной или адаптированный физические каналы	ненадёжный, однонаправленная широковещательная передача всем устройствам пикосети, для широковещательной передачи группам L2CAP

PSB	Управляющий (LMP) PSB-C Пользовательский (L2CAP) PSB-U	паркованное физическое соединение, основной или адаптированный физические каналы	ненадёжный, однаправленная широковещательная передача всем устройствам пикосети, для передачи LMP- и L2CAP-трафика паркованным устройствам и для запросов доступа от них
-----	---	---	---

Режимы работы Bluetooth

- **Активный режим.** Подчинённое устройство активно участвует в работе пикосети, ожидая, передавая и принимая пакеты. Ведущее устройство периодически передаёт подчинённому устройству пакеты для поддержания синхронизации.
- **Режим удержания.** Устройство не поддерживает работу по асинхронным каналам, но может участвовать в обмене по каналам SCO/eSCO. В периоды неактивности устройство может переходить в режим пониженного энергопотребления, делать опросы, запросы, сканировать поисковые каналы или участвовать в работе другой пикосети. Режим удержания активен в течение заранее определённого времени, по истечении которого устройство возвращается в предыдущий режим.
- **Режим подслушивания.** Для передачи подчинённому устройству, находящемуся в режиме подслушивания, ведущее устройство выделяет по каналам ACL меньше слотов, чем обычно. Доступность синхронных каналов SCO и eSCO при этом не уменьшается. В периоды неактивности ACL-канала устройство может переключаться на другой физический канал (другая пикосеть) или переходить в режим энергосбережения.
- **Режим повышенной скорости передачи (EDR – Enhanced Data Rate).** В данном режиме устройство может обмениваться информацией по каналам ACL-U и eSCO-S с повышенной скоростью (до 3 Мбит/с) и поддерживать дополнительные типы пакетов.

Формат пакетов Bluetooth

На рис. 14 показан общий формат пакетов Bluetooth.

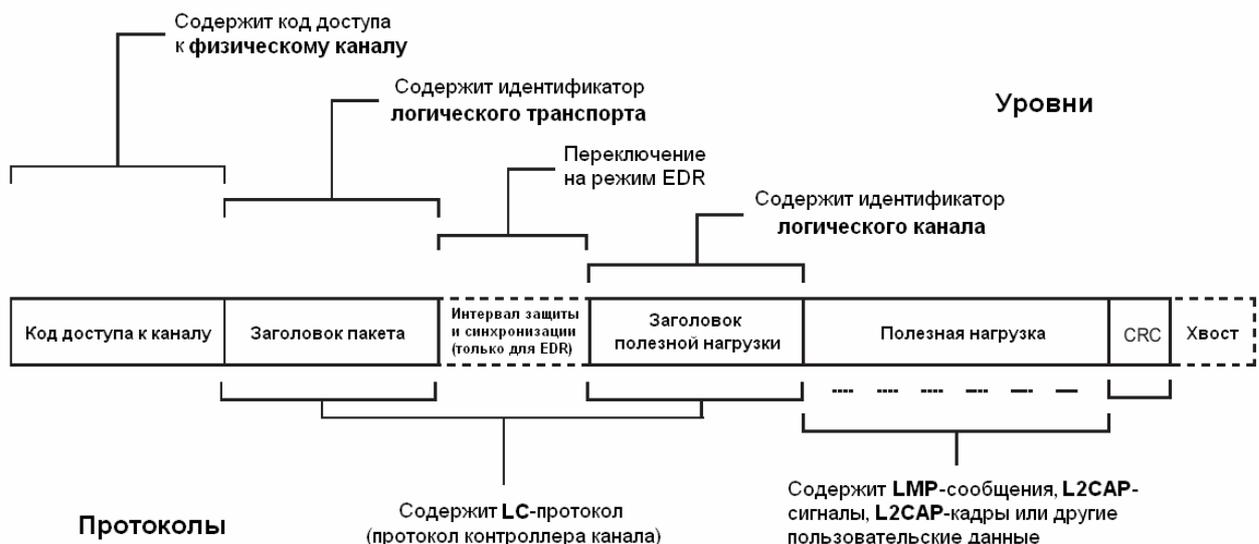


Рис. 14. Структура пакетов Bluetooth

Каждый пакет включает только те поля, которые необходимы для представления уровней, задействованных при передаче. Код доступа к каналу содержат все типы пакетов.

На рис. 15 приведён формат кода доступа к каналу, который присутствует во всех без исключения пакетах Bluetooth.

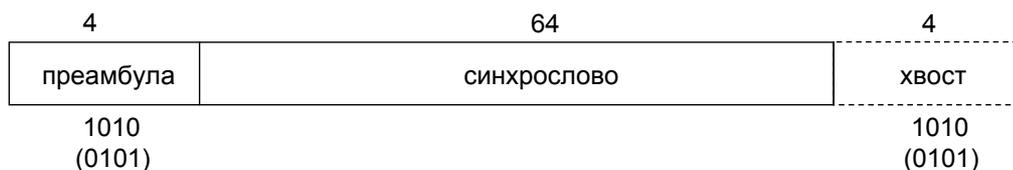


Рис. 15. Формат кода доступа к каналу

Хвост в коде доступа присутствует, когда присутствует заголовок пакета. Преамбула и хвост используются для компенсации постоянного смещения в сигнале. Синхрослово формируется из LАP-части адреса ведущего или подчинённого устройства или специальных зарезервированных значений LАP в зависимости от назначения пакета.

На рис. 16 показан формат заголовка пакета (перед кодированием).



Рис. 16. Формат заголовка пакета

Поля заголовка пакета имеют следующие назначения:

- LT_ADDR 3-битовый адрес логического транспорта
- TYPE 4-битовый код пакета
- FLOW 1-битовый флаг для управления потоком данных
 (с целью предотвращения переполнения входного буфера)
- ARQN 1-битовый индикатор подтверждения правильного приёма поля
 полезной нагрузки (проверка ошибок по CRC)
- SEQN 1-битовый индикатор последовательности (применяется для
 упорядочения последовательности пакетов)
- HEC 8-битовый код для проверки наличия ошибок в заголовке пакета

Для SCO- и eSCO-пакетов заголовок полезной нагрузки отсутствует.

Формат заголовка полезной нагрузки для 1-слотовых ACL-пакетов в режиме обычной скорости приведён на рис. 17.

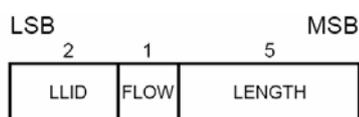


Рис. 17

Поля на рис. 17 имеют следующие назначения:

- LLID 2-битовый адрес логического канала
- FLOW флаг для управления потоком данных логического канала на уровне
 L2CAP
- LENGTH длина поля полезной нагрузки

Формат заголовка полезной нагрузки для многослотовых ACL-пакетов в режиме обычной скорости и для всех пакетов в режиме EDR изображён на рис. 18.

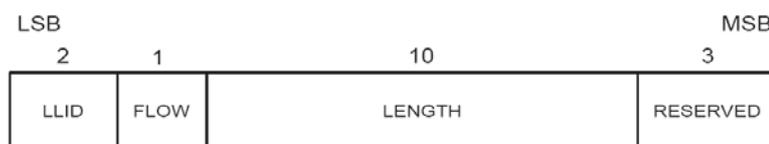


Рис. 18

Поле RESERVED на рис. 18 зарезервировано для использования в будущем.

Значения LLID (Logical Link Identifier – адрес логического канала) представлены в таблице 3.

Таблица 3.

LLID	Логический канал	Описание
00	—	не определён
01	ACL-U	продолжение L2CAP-сообщения
10	ACL-U	начало L2CAP-сообщения или L2CAP-сообщение без фрагментации
11	ACL-C	LMP-сообщение

Для других логических каналов LLID не используется.

Типы пакетов

Пакеты Bluetooth делятся на пакеты общего типа (системные управляющие пакеты), ACL-пакеты (для передачи асинхронного трафика и сигналов управления) и SCO/eSCO-пакеты (для передачи синхронных и изохронных данных).

В таблице 4 приведены названия и характеристики пакетов общего типа.

Таблица 4.

Тип пакета	Полезная нагрузка (байт)	Степень кодирования	Циклическая проверка чётности (CRC)	Макс. скорость симметричной передачи	Макс. скорость асимметричной передачи
ID	—	—	—	—	—
NULL	—	—	—	—	—
POLL	—	—	—	—	—
FHS	18	2/3	да	—	—

- **ID-пакет.** Содержит только код доступа к каналу.
- **NULL-пакет.** Состоит из кода доступа к каналу и заголовка пакета. Используется для отправки флагов ARQN и FLOW. Может не подтверждаться.
- **POLL-пакет.** Состоит из кода доступа к каналу и заголовка пакета. Используется ведущим устройством для опроса подчинённых устройств. Должен быть подтверждён.
- **FHS-пакет.** Кроме кода доступа к каналу и заголовка пакета содержит 240 бит полезной нагрузки (кодированной со степенью 2/3) и поле CRC. Полезная нагрузка содержит адрес и значение таймера отправителя и некоторую другую управляющую информацию. Используется при опросе, запросе и в процедуре переключения ведущий/подчинённый.

Таблица 5 содержит названия и характеристики пакетов ACL-пакетов.

Таблица 5.

Тип пакета	Заголовок полезной нагрузки (байт)	Полезная нагрузка (байт)	Степень кодирования	CRC	Макс. скорость симметричной передачи (кбит/с)	Макс. скорость асимметричной передачи (кбит/с)	
						Прямо	Обратно
DM1	1	0-17	2/3	да	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0-27	—	да	172.8	172.8	172.8
DM3	2	0-121	2/3	да	258.1	387.2	54.4

DH3	2	0-183	—	да	390.4	585.6	86.4
DM5	2	0-224	2/3	да	286.7	477.8	36.3
DH5	2	0-339	—	да	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0-29	—	нет	185.6	185.6	185.6
2-DH1	2	0-54	—	да	345.6	345.6	345.6
2-DH3	2	0-367	—	да	782.9	1174.4	172.8
2-DH5	2	0-679	—	да	869.7	1448.5	115.2
3-DH1	2	0-83	—	да	531.2	531.2	531.2
3-DH3	2	0-552	—	да	1177.6	1766.4	235.6
3-DH5	2	0-1021	—	да	1306.9	2178.1	177.1

А в таблице 6 приведены названия и характеристики SCO/eSCO-пакетов.

Таблица 6.

Тип пакета	Заголовок полезной нагрузки (байт)	Полезная нагрузка (байт)	Степень кодирования	CRC	Макс. скорость симметричной передачи (кбит/с)
HV1	—	10	1/3	нет	64.0
HV2	—	20	2/3	нет	64.0
HV3	—	30	—	нет	64.0
DV*	1 D	10+(0-9) D	2/3 D	да D	64.0+57.6 D
EV3	—	0-30	—	да	96
EV4	—	0-120	2/3	да	192
EV5	—	0-180	—	да	288
\2-EV3	—	0-60	—	да	192
2-EV5	—	0-360	—	да	576
3-EV3	—	0-90	—	да	288
3-EV5	—	0-540	—	да	864

* Пункты, отмеченные D, относятся только к полю данных

Литература

1. В. Столлингс. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003.
2. BLUETOOTH SPECIFICATION Version 2.0 + EDR. <http://www.bluetooth.com>
3. Б. Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003.
4. К. Феер. Беспроводная цифровая связь. – М.: “Радио и связь”, 2000.