

Bluetooth (IEEE 802.15.1)

ПЛАН

1. Общие сведения о BLUETOOTH

Ключевые слова: Bluetooth, области применения.

Bluetooth – это беспроводная технология, являющаяся стандартом, который обеспечивает беспроводную передачу данных на небольших расстояниях между мобильными персональными компьютерами, мобильными телефонами и другими устройствами в режиме реального времени как цифровых данных, так и звуковых сигналов. Так же это недорогой радиointерфейс с низким уровнем энергопотребления. Для работы используется диапазон ISM (industrial, scientific, medical) - 2,45 ГГц, который предназначен для работы промышленных, научных и медицинских приборов. Так же для устранения помех, создаваемых другими системами, использующих тот же диапазон, применяется расширение спектра со скачкообразной перестройкой частоты – FHSS.

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.

На практике Bluetooth имеет 3 основные области применения:

1. Может использоваться взамен проводных соединений. Как пример, может обеспечивать соединение с интерфейсами компьютера (клавиатура, мышь, наушники, принтер и тд).
2. Точка доступа для обмена данными и голосовыми сообщениями.
3. Организация Ad-Нос сетей.

2. Краткие сведения о спецификации и создании Bluetooth (IEEE 802.15.1)

Ключевые слова: история создания, классический Bluetooth и Bluetooth Low Energy, характеристики.

В данном разделе мною будет кратко описана история создания Bluetooth и Bluetooth Low Energy , также будут приведены основные технические характеристики данных версий и сферы применения.

История создания Bluetooth Low Energy будет взята из источника [4].

“12 июня 2007 года Bluetooth SIG объявила, что **Wibree** станет частью спецификации Bluetooth, как технология Bluetooth с сверхнизким энергопотреблением (*ULP Bluetooth*). Результатом должна быть беспроводная технология с малым потреблением энергии...”[4]

История создания Bluetooth будет взята из источника [3, 5и 6].

После продемонстрирую иллюстрацию, где изображены характеристики Bluetooth и BLE, а также сферы применения, взятые из источника[4]

Техническая спецификация	Классический Bluetooth	Bluetooth с низким энергопотреблением
Радиочастота	2.4 ГГц	2.4 ГГц
Расстояние	100 м	>100 м
Скорость передачи данных по воздуху	1-3 Мб/с	1 Мб/с
Пропускная способность	0.7-2.1 Mb/s	0.27 Mb/s
Ведомые устройства	7	Не predetermined; зависит от реализации
Безопасность	64/128-bit и определяемый пользователем прикладной уровень	128-bit AES с Counter Mode CBC-MAC и определяемый пользователем прикладной уровень
Надёжность	Адаптивная быстрая перестройка частоты, FEC, быстрый ACK	Адаптивная быстрая перестройка частоты, Lazy Acknowledgement, 24-битовый избыточный циклический код (CRC), 32-разрядная проверка целостности сообщения
Задержка (от неподключенного состояния)	Обычно 100 мс	6 мс
Минимальное общее время передачи данных (зависит от состояния батареи)	100 мс	3 мс
Государственное регулирование	Во всём мире	Во всём мире
Орган по сертификации	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG
Передача голоса	Да	Нет
Топология сети	Scatternet <small>русск. (англ.)</small>	Scatternet <small>русск. (англ.)</small>
Потребляемая мощность	1 Вт в качестве исходной	От 0,01 Вт до 0,5 Вт (в зависимости от вариантов использования)
Максимально потребляемый ток	<30 mA	<15 mA
Обнаружение службы	Да	Да
Определение конфигурации	Да	Да
Варианты использования	Мобильные телефоны, игры, наушники, стерео аудио потоки, автомобили, ПК и т. д.	Мобильные телефоны, игры, ПК, часы, спорт и физкультура, здравоохранение, автомобили, бытовая электроника, автоматизация, промышленность и т. д.

Рисунок 1 Характеристики классического Bluetooth и BLE

Мой доклад будет основываться на повествовании классического Bluetooth. Где в дальнейшем будут рассмотрены типы соединений

Особенность/Функция	Характеристика
Тип связи	Расширение спектра (скачкообразная перестройка частоты)
Диапазон частот	ISM диапазон 2.4 ГГц
Мощность передачи	1-100 мВт
Скорость передачи данных	1 Мбит/сек
Дальность	До 10 метров (возможность расширения до 100 метров)
Количество устройств в сети	До восьми устройств в пикосети, до 10 пикосетей
Голосовые каналы	До 3
Защита данных	Для аутентификации используется 128-битный ключ; для кодирования размер ключа может составлять от 8 до 128 бит
Адресация	Каждое устройство имеет 48-битный MAC адрес, который используется для установления соединения с другими устройствами

Рисунок 2 Характеристики Bluetooth[7]

3. Типы соединения

Ключевые слова:

Точка-точка, сеть Ad-Нос , точка-многоточка...

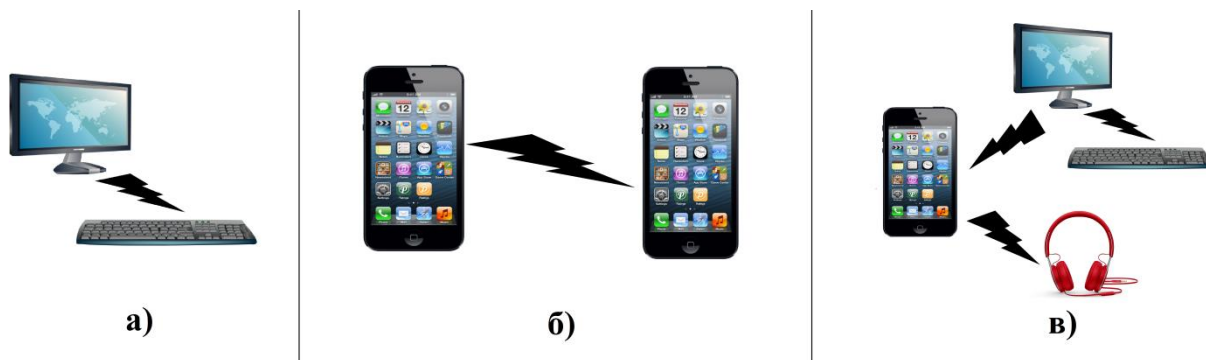


Рисунок 3 Различные виды соединений.

а) Подключение только к одному, запрограммированному заранее устройству.

б) Соединений с устройством любого типа (здесь указан телефон с телефоном, но могу изменить на что-то другое)

в) Соединение точка-многоточка.

4. Профили Bluetooth.

Ключевые слова: профиль Bluetooth, приложения Bluetooth.

В данном разделе я раскрою понятие профиля ВТ и многообразие профилей в соответствии со спецификацией Bluetooth v1.1. [1]

“Профиль общего доступа (Generic Access Profile), Профиль приложения обнаружения услуг (Service Discovery Application Profile)...” [1,2]

Мною будут использованы следующие иллюстрации:[3]

Концепция предоставления ТК услуг ВТ устройством

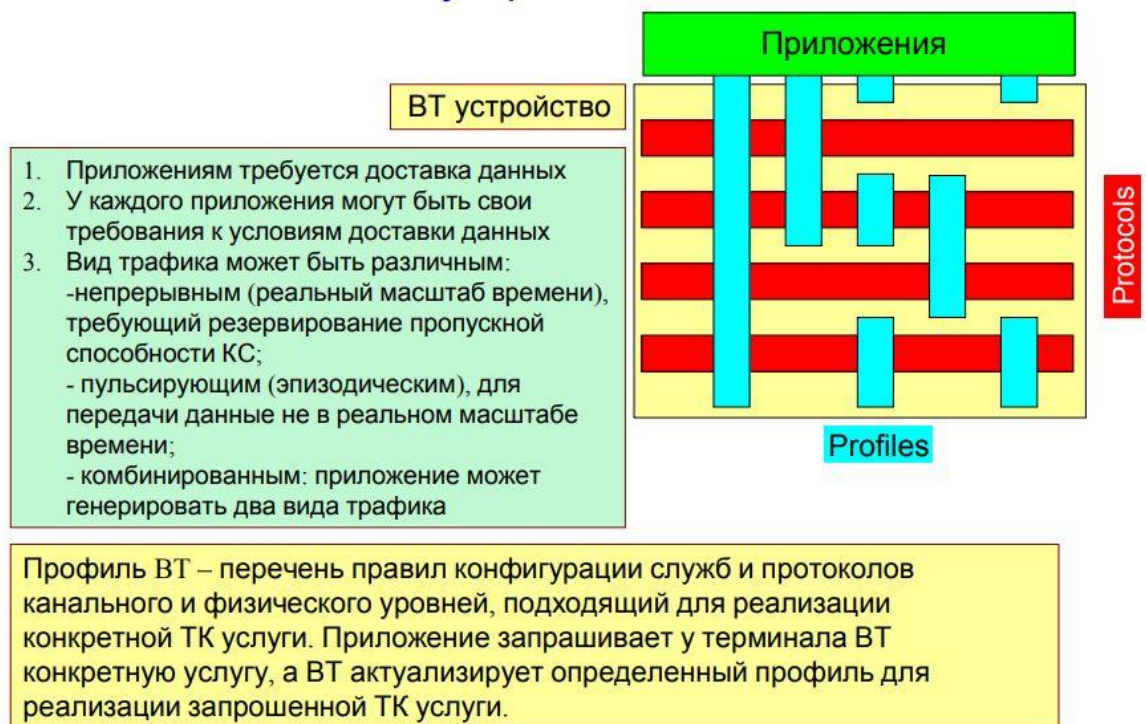


Рисунок 4

Профили Bluetooth (ver. 1.2)

Основные профили

	Название	Описание
1	GAP (<i>Generic Access Profile</i>)	Профиль общего доступа. Это основной профиль Bluetooth, отвечающий за поддержание связи между устройствами, выявление других доступных профилей, а также за безопасность. Этот профиль должен быть включен во все устройства Bluetooth, так как в него входят функции, необходимые для работы всех основных протоколов Bluetooth
2	SDAP (<i>Service Discovery Application Profile</i>)	Протокол определения предлагаемых сервисов. Дает приложению возможность непосредственно обращаться к ресурсам протокола SDP для того, чтобы определять, какие услуги Bluetooth доступны при работе с удаленным устройством
3	CTP (<i>Cordless Telephony Profile</i>)	Профиль беспроводной телефонии. Предназначен для мобильных телефонов с поддержкой Bluetooth. Этот профиль поддерживает процедуру организации телефонного соединения, требующую маршрутизацию по телефонной сети общего пользования (ТФОП). При этом телефонное соединение организуется через точку доступа Bluetooth, которая, в свою очередь, подключена к ТФОП
4	GOEP (<i>Generic Object Exchange Profile</i>)	Профиль операций клиент-сервер при работе с объектами (обмен данными). Определяет, каким образом терминал Bluetooth использует протокол OBEX
5	LAP (<i>LAN Access Profile</i>)	Протокол связи мобильного ПК со стационарной LAN. Предназначен для создания IP-сетей и позволяет создавать небольшие беспроводные сети, объединяющие персональные компьютеры или смарт-телефоны. Он также используется точками доступа для связи с кабельными сетями JIBC или Internet
6	DNP (<i>Dial-up Networking Profile</i>)	Предназначен для компьютеров, связывающихся с сетью Internet через сотовый телефон. Этот профиль включает в себя профиль последовательного порта и протокол PPP

Рисунок 5 Профили Bluetooth

Основные профили

7	FP (<i>Fax Profile</i>)	Протокол связи факса с мобильным телефоном. Он позволяет мобильному телефону эмулировать факс-модем при соединении через Bluetooth с ноутбуком, имеющим программное обеспечение поддержки факса
8	SPP (<i>Serial Port Profile</i>)	Профиль для работы с последовательным портом. Он обеспечивает эмуляцию интерфейса RS-232 или USB и используется многими профилями более высокого уровня
9	IP (<i>Intercom Profile</i>)	Этот профиль, базирующийся на протоколе TCS, обеспечивает двустороннюю голосовую связь между устройствами Bluetooth. Он рассчитан на прямое взаимодействие двух устройств, расположенных в зоне взаимной досягаемости, и не поддерживает звонки, требующие маршрутизации по телефонной сети общего пользования
10	HS (<i>Headset Profile</i>)	Протокол связи устройства hands-free с мобильным телефоном. Определяет способ, посредством которого обеспечивается беспроводное соединение устройства с гарнитурой, оснащенной динамиками и микрофоном. Профилем используются команды AT, первоначально разработанные для управления модемами
11	OPP (<i>Object Push Profile</i>)	Протокол пересылки простых объектов. Управляет обменом электронными визитками в формате vCard
12	FTP (<i>File Transfer Profile</i>)	Профиль, реализующий протокол пересылки файлов. Позволяет устройству получать доступ к данным, хранящимся на другом устройстве, аналогично протоколу ftp
13	SP (<i>Synchronization Profile</i>)	Протокол синхронизации PDA с другим ПК. Обеспечивает синхронизацию данных, хранящихся на различных устройствах

Рисунок 6

дополнительные профили

1	ESDP (<i>Extended Service Discovery Profile</i>)	Профиль для реализации процедур Plug and Play
2	A2DP (<i>Advanced Audio Distribution Profile</i>)	Усовершенствованный профиль рассылки аудио данных
3	AVRCP (<i>Audio Video Remote Control Profile</i>)	Аудио-видео профиль удаленного управления
4	BIP (<i>Basic Imaging Profile</i>)	Базовый профиль работы с изображением
5	BPP (<i>Basic Printing Profile</i>)	Базовый профиль для печати
6	CIP (<i>Common ISDN Access Profile</i>)	Общий профиль доступа к ISDN
7	GAVDP (<i>Generic Audio Video Distribution Profile</i>)	Общий профиль рассылки аудио и видео данных
8	HFR (<i>Hands-Free Profile</i>)	Профиль для ведения переговоров по громкой связи (hands-free)
9	HCRP (<i>Hardcopy Cable Replacement Profile</i>)	Протокол замены приборного связанного кабеля
10	HID (<i>Human Interface Device Profile</i>)	Профиль для реализации интерфейса с человеком
11	PAN (<i>Personal Area Networking</i>)	Протокол формирования персональной сети
12	SAP (<i>SIM Access Profile</i>)	Протокол доступа к SIM

Рисунок 7

5. Иерархическая модель протоколов Bluetooth.

Ключевые слова: архитектура Bluetooth, Host Bluetooth, L2CAP, контроллер BT.

В данном разделе буду использовать следующие иллюстрации:

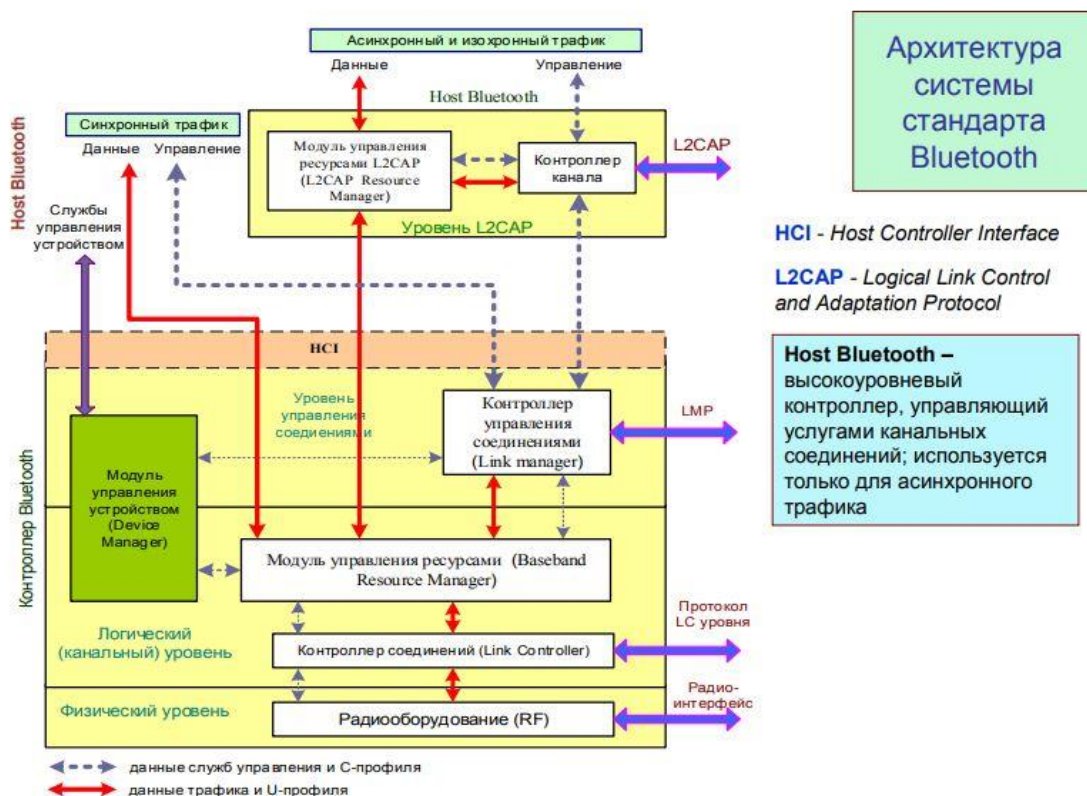


Рисунок 8 Архитектура BT.

Данная архитектура включает в себя 2 слоя:

- 1) Хост BT – устройства, управляющие канальным и физическим уровнем.
- 2) Контроллер BT – предназначен для организации канала передачи данных, другими словами устанавливает транспортное соединение.

Хост BT используется только для асинхронного трафика и представлен в виде L2CAP уровня. L2CAP уровень – это прослойка, которая управляет свойствами канального соединения. Контроллер канала необходим для того, что установить взаимодействие с модулем L2CAP другого устройства. Глядя на рисунок можем увидеть, что Контроллер BT является двух уровневый – канальный и физический уровень. В свою очередь, канальный уровень состоит из 2 слоёв...

Так же считаю здесь вполне уместно сказать о том, что:

“В системе Bluetooth осуществляется скачкообразная перестройка частоты (frequency hopping, FH) и дуплексная передача данных с разделением времени (time division duplexing, TDD). Данные на физическом уровне передаются в виде пакетов, занимающих один или несколько слотов длительностью 625 мкс. Ведущее (master) устройство передает пакеты в нечетные временные сегменты, а ведомое (slave) устройство - в четные. Пакеты в зависимости от длины могут занимать до пяти временных слотов...[1,2]”

5.1 Передача данных Bluetooth, синхронное и асинхронное соединение.

Ключевые слова: синхронное и асинхронное соединение.

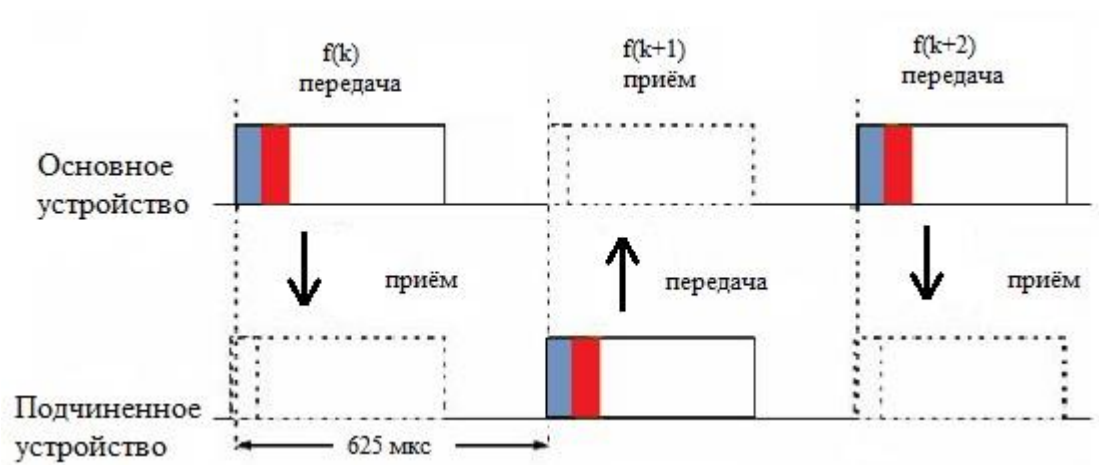


Рисунок 9 Передача с временным разделением.

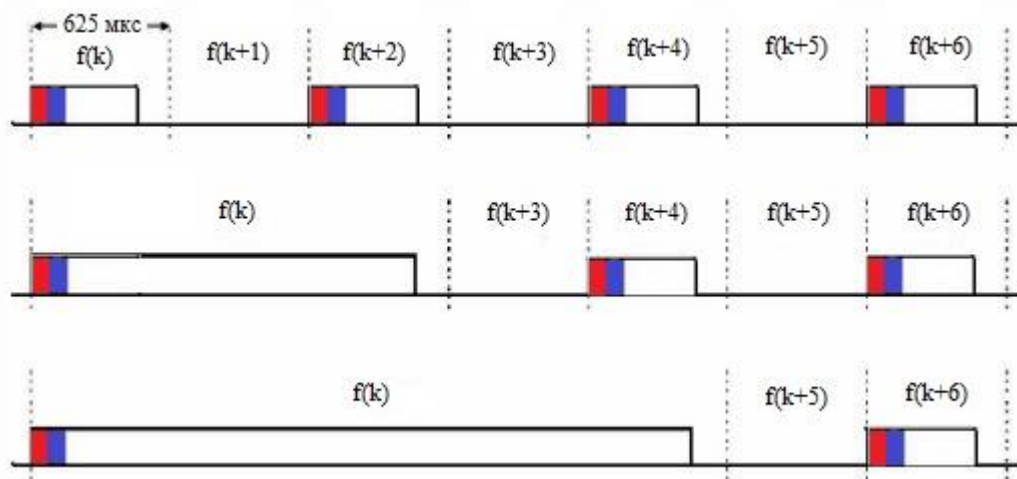


Рисунок 10 Передача пакетов различной длины.

Так же приведу иллюстрацию:

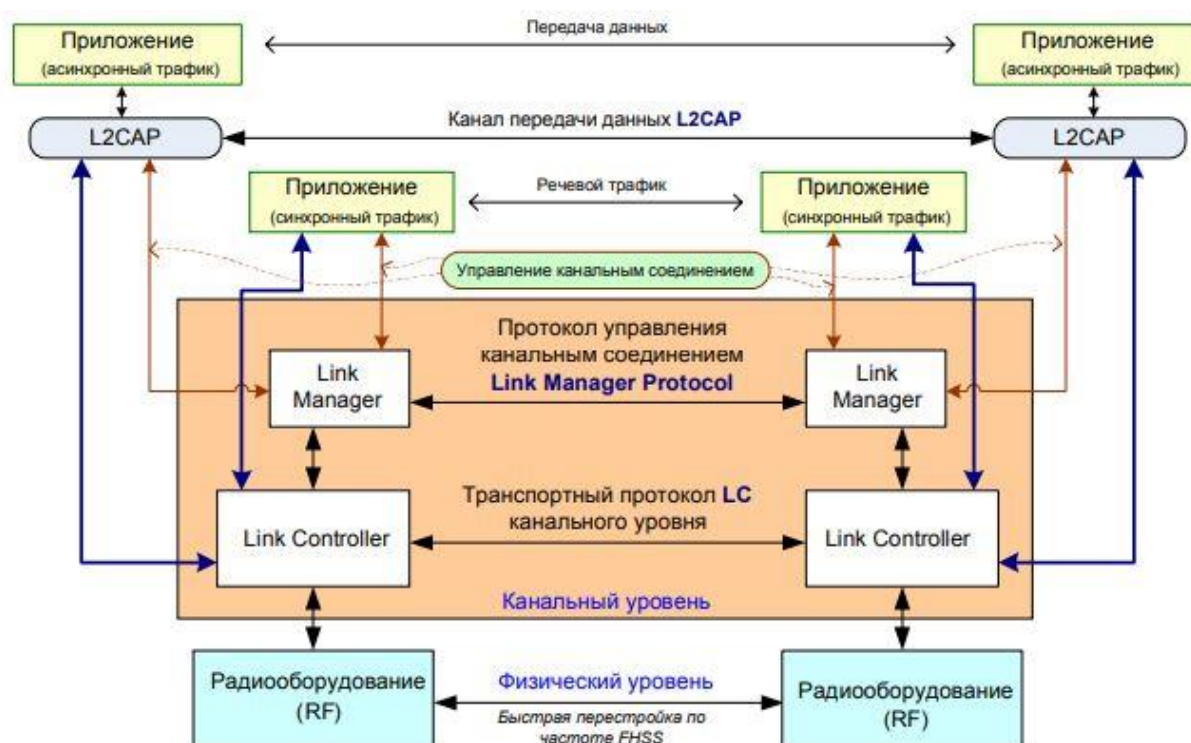


Рисунок 11

“На канальном уровне предоставляются два различных способа логического соединения - синхронный, ориентированный на соединение (Synchronous Connection-Oriented - SCO), и асинхронный без установления соединения (Asynchronous Connection-Less - ACL). Синхронное соединение требует постоянного резервирования части канального ресурса, асинхронное соединение получает радиоресурс при необходимости доставки сообщений.”

[3]

Транспортные каналы подуровня LC



Синхронное подключение (SCO) с установлением соединения используется для передачи изохронного трафика, как правило, чувствительного к задержкам. Это подключение реализует тип соединения «точка-точка». Каждое соединение подобного типа требует **обязательного резервирования физических каналов** в прямом и обратном направлениях. При этом запрос повторной передачи пакетов в случае ошибочного приема, как правило, не используется.



Асинхронные подключения (ACL) без установления соединения реализуют доставку пакетов по схеме «точка-многоточка» между ведущим устройством и остальными терминалами пикосети. Ведущее устройство Bluetooth может связываться с любым из ведомых устройств пикосети по каналам, не занятым под SCO. Инициатором обмена в этом режиме выступает всегда ведущее устройство. Ведомое устройство имеет право на передачу пакета только тогда, когда получает адресованный ему запрос от ведущего устройства. Для большинства типов пакетов, используемых в режиме ACL, предусматривается повторная передача в случае обнаружения ошибки приема.

Рисунок 12

6. Стек протоколов стандарта Bluetooth

Краткое описание каждого протокола и представленная на рис. 13 Иерархия протоколов. [2]

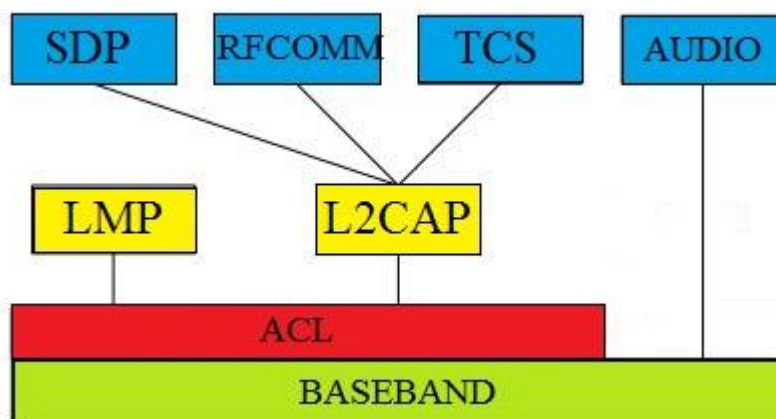


Рисунок 13 Иерархия протоколов.

“Обязательными протоколами для всех стеков Bluetooth являются: LMP, L2CAP и SDP. Кроме того, устройства, связывающиеся с Bluetooth обычно используют протоколы HCI и RFCOMM.

LMP (Link Management Protocol) — используется для установления и управления радиосоединением между двумя устройствами. Реализуется контроллером Bluetooth...”

7. Организация физического уровня

Физический уровень функционирования сети стандарта Bluetooth

Параметр	Значение
Диапазон частот	2400...2483,5 МГц
Максимальная мощность излучения для наружных устройств	< 2,5 мВт
Максимальная мощность излучения для устройств внутри здания	< 100 мВт
Тип модуляции	GFSK ($h=0,3$), $\pi/4$ -DQPSK, 8DPSK
Максимальная скорость передачи данных	1 Мбит/с (2 Мбит/с при использовании $\pi/4$ -DQPSK и 8DPSK)
Частотное разнесение несущих	1 МГц
Ширина спектра радиосигнала	0,22 МГц (по уровню -3дБ) и 1 МГц (-20дБ)
Количество частотных каналов	79
Количество активных участников пикосети	8 (1+7)

Рисунок 14 Характеристики

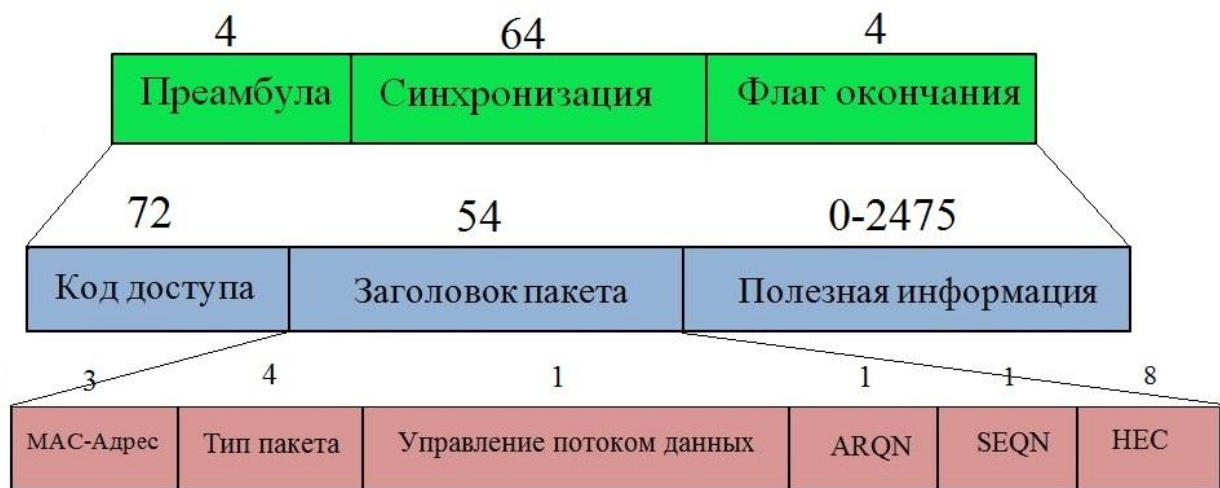


Рисунок 15 Структура пакета физического уровня



Рисунок 16 Содержание пакета полезной информации

В системе Bluetooth осуществляется скачкообразная перестройка частоты (frequency hopping, FH) и дуплексная передача данных с разделением времени (time division duplexing, TDD). Данные на физическом уровне передаются в виде пакетов, занимающих один или несколько слотов длительностью 625 мкс...[1]

Топология физических соединений

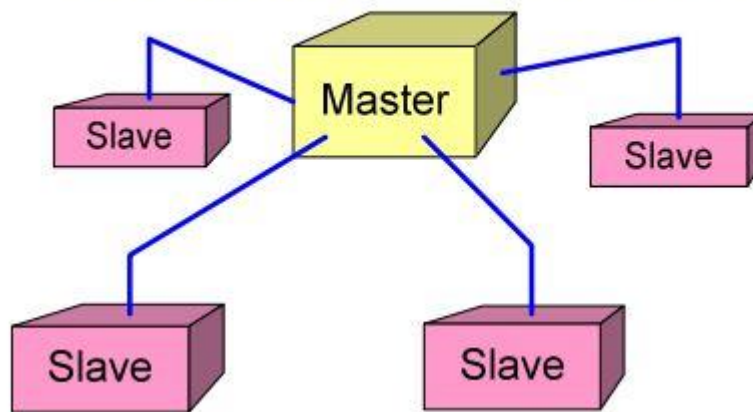


Рисунок 17 Топология физических соединений

“Топология связей L1 уровня является иерархической. Два и более устройства Bluetooth образуют пикосеть (piconet)...”[3]

8. Организация физического канала и виды пакетов физического уровня.

Ключевые слова: физический канал, пакеты физического уровня, смена частот.

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.

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. [8]

Физические каналы являются основой физического уровня модели OSI. Все физические каналы образованы периодической сменой частоты несущего колебания по закону определенных псевдослучайных последовательностей. Любая пара устройств Bluetooth используют общий физический канал для передачи данных. Следовательно, необходима тщательная настройка каждого приемника Bluetooth на прием пакетов в строго определенных частотных полосах, определяемых заданными псевдослучайными последовательностями. [1,3]

“Имеется 6 типов последовательностей смены частот:

- последовательность смены частоты в режиме вызова page hopping sequence – 32 частоты, распределенные в выделенном частотном диапазоне (определяется идентификатором вызываемой станции);
- последовательность смены частоты в состоянии ответа на вызов page response hopping sequence – совпадает с текущей page hopping sequence (определяется идентификатором вызываемой станции);
- ...”[1]

В соответствие со стандартом Bluetooth все пакеты разделяются на пакеты управления, синхронной и асинхронной передачи информации.

Для демонстрации всех видов пакетов буду использовать следующие иллюстрации:

Название	Значение	Количество	ACL	SCO	Назначение
ID		1 или 2	+	+	Не содержит поля данных. Используется на предварительном этапе установления соединения.
NULL	0000	1	+	+	Не содержит поля данных. Используется для передачи подтверждения (ARQN) или указания переполнения буфера (FLOW).
POLL	0001	1	+	+	Для периодического определения доступности устройств стандарта Bluetooth, когда они находятся в состоянии ожидания. Получив этот пакет, устройство должно передать пакет обратно. Поле данных отсутствует.
FHS	0010	1	+	+	Для обмена информацией синхронизации при выполнении операций Inquiry и Paging. Поле данных 18 байт. Используется FEC 2/3.
HV3	0111	1	-	+	Для передачи аудиосигналов высокого качества. После полезной нагрузки может содержать до 30 байт. Помехоустойчивого кодирования нет.
DM1	0011	1	+	+	Для передачи данных со средней скоростью. Для надежности используется дублирование передаваемой информации. Поле полезной нагрузки может содержать до 17 байт, используется CRC, FEC 2/3.
DH1	0100	1	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать до 27 байт, защищается CRC.
2-DH1	0100	1	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать до 85 байт, защищается CRC. Вид модуляции $\pi/4 - DQPSK$.
3-DH1	0100	1	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать до 56 байт, защищается CRC. Вид модуляции 8DPSK.
HV1	0101	1	-	+	Для передачи аудиосигналов высокого качества. Поле полезной нагрузки должно содержать до 10 байт. Используется FEC 1/3.

Рисунок 18 Виды пакетов

HV2	0110	1	-	+	Для передачи аудиоинформации высокого качества. Поле полезной нагрузки может содержать до 20 байт. Используется FEC 2/3.
DV	1000	1	-	+	Для передачи данных совместно с аудиоинформацией. Для аудиоинформации используются первые 80 бит, для данных - последующие 72 бита. Используется FEC 2/3 и CRC.
AUX1	1001	1	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 28 байт. Помехоустойчивого кодирования нет.
DM3	1010	3	+	-	Для передачи данных со средней скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 121 байт, защищается FEC 2/3 и CRC.
DH3	1011	3	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 183 байт, защищается FEC 2/3.
2-DH3	1011	3	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 369 байт, защищается FEC 2/3. Вид модуляции $\pi/4 - DQPSK$.
3-DH3	1011	3	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 554 байт, защищается FEC 2/3. Вид модуляции $\pi/4 - DQPSK$.
EV4	1100	3	-	+	Для передачи данных по каналам eSCO. Пакет включает в себя от 1 до 120 информационных байт и 16-битное поле CRC. Информационное поле и CRC защищается FEC 2/3.
EV5	1101	3	-	+	Для передачи данных по каналам eSCO. Пакет включает в себя от 1 до 180 информационных байт и 16-битное поле CRC. Помехоустойчивого кодирования нет.
2-EV5	1101	3	-	+	Для передачи данных по каналам eSCO. Пакет включает в себя от 1 до 360 информационных байт и 16-битное поле CRC. Помехоустойчивого кодирования нет. Вид модуляции $\pi/4 - DQPSK$.
DM5	1110	5	+	-	Для передачи данных со средней скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 224 байт, защищается FEC 2/3 и CRC.
DH5	1111	5	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 339 байт, защищается CRC.
5-DH5	1111	5	+	-	Для передачи данных с высокой скоростью. Поле полезной нагрузки может содержать 1023 байт, защищается CRC. Вид модуляции $\pi/4 - DQPSK$.

Рисунок 19

Библиографический список

1. Бакке А.В. “Учебное пособие по технологии Bluetooth”.
2. Людмила Бокарёва “Семейство стандартов IEEE 802.15 Bluetooth ”
3. Слайды Бакке А.В. по технологии Bluetooth.
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_с_низким_энергопотреблением
5. <http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Bluetooth>
6. <http://book.itep.ru/4/41/bluetooth.htm>
7. Технология Bluetooth – Архипкин В.Я., Архипкин А.В.
8. https://wl.unn.ru/materials/courses/wlnet/Lect/6_Lect_1.pdf