

Услуги передачи данных в беспроводных персональных сетях

Лекция 2 Протокол Bluetooth

Bluetooth — производственная спецификация беспроводных персональных сетей WPAN. Bluetooth обеспечивает обмен информацией между оконечными пользовательскими устройствами, такими как персональные компьютеры, мобильные телефоны, принтеры, цифровые фотоаппараты, устройства ввода, наушники, гарнитуры на радиочастоте для ближней связи.

Протокол Bluetooth относится к физическому уровню модели OSI и в настоящее время определяется спецификацией IEEE 802.15.1.



Логотип Bluetooth является сочетанием двух нордических («скандинавских») рун: «хагалаз» (Hagall) — аналог латинской H и «беркана» (Berkanan) — латинская B.

Работы по созданию Bluetooth начала компания Ericsson в 1994 году как беспроводную альтернативу кабелям RS-232. Проект получил название BlueTooth в честь короля Норвегии и Дании Гарольда Голубой Зуб (Harald Blaatand, 940–981 годы). Проект являлся конкурентом стандарта IEEE 802.11 (оба стандарта используют один и тот же частотный диапазон, одни и те же 79 каналов). Первая спецификация Bluetooth была разработана группой Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG), которая была основана в 1998 году. В неё вошли компании Ericsson, IBM, Intel, Toshiba и Nokia. Впоследствии в 2000 году Bluetooth SIG и IEEE достигли соглашения, на основе которого спецификация Bluetooth стала частью стандарта IEEE 802.15.1 (14 июня 2002 года).

Спецификации

Bluetooth 1.0

Устройства версий 1.0 (1998) и 1.0B имели плохую совместимость между продуктами различных производителей. В 1.0 и 1.0B была обязательной передача адреса устройства (BD_ADDR) на этапе установления связи, что делало невозможной реализацию анонимности соединения на протокольном уровне и было основным недостатком данной спецификации.

Bluetooth 1.1

В Bluetooth 1.1 было исправлено множество ошибок, найденных в 1.0B, добавлена поддержка для нешифрованных каналов, индикация уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI).

Bluetooth 1.2

Главные улучшения включают следующее:

- Быстрое подключение и обнаружение.
- Адаптивная перестройка частоты с расширенным спектром (AFH), которая повышает стойкость к радиопомехам.
- Более высокие, чем в 1.1, скорости передачи данных, практически до 1 Мбит/с.
- Расширенные Синхронные Подключения (eSCO), которые улучшают качество передачи голоса в аудиопотоке, позволяя повторную передачу повреждённых пакетов, и при необходимости могут увеличить задержку аудио, чтобы оказать лучшую поддержку для параллельной передачи данных.
- В Host Controller Interface (HCI) добавлена поддержка трёхпроводного интерфейса UART.
- Введены режимы управления потоком данных (Flow Control) и повторной передачи (Retransmission Modes) для L2CAP.

Утверждён как стандарт IEEE Standard 802.15.1-2005.

Bluetooth 2.0 + EDR

Bluetooth версии 2.0 был выпущен 10 ноября 2004 г. Имеет обратную совместимость с предыдущими версиями 1.x. Основным нововведением стала поддержка Enhanced Data Rate (EDR) для ускорения передачи данных. Номинальная скорость EDR около 3 Мбит/с, однако на практике это позволило повысить скорость передачи данных только до 2,1 Мбит/с. Дополнительная производительность достигается с помощью различных радиотехнологий для передачи данных.

Стандартная (базовая) скорость передачи данных использует GFSK-модуляцию радиосигнала при скорости передачи в 1 Мбит/с. EDR использует сочетание модуляций GFSK и PSK с двумя вариантами, $\pi/4$ -DQPSK и 8DPSK. Они имеют большие скорости передачи данных по воздуху — 2 и 3 Мбит/с соответственно.

Bluetooth SIG издала спецификацию как «Технология Bluetooth 2.0 + EDR», которая подразумевает, что EDR является дополнительной функцией. Кроме EDR, есть и другие незначительные усовершенствования к 2.0 спецификации, и продукты могут соответствовать «Технологии Bluetooth 2.0», не поддерживая более высокую скорость передачи данных.

Согласно 2.0 + EDR спецификации, EDR обеспечивает следующие преимущества:

- Увеличение скорости передачи в 3 раза (2,1 Мбит/с) в некоторых случаях.
- Уменьшение сложности нескольких одновременных подключений из-за дополнительной полосы пропускания.
- Снижение потребления энергии благодаря уменьшению нагрузки.

Bluetooth 2.1

2007 год. Добавлена технология расширенного запроса характеристик устройства (для дополнительной фильтрации списка при сопряжении), энергосберегающая технология Sniff Subrating, которая позволяет увеличить продолжительность работы устройства от одного заряда аккумулятора в 3—10 раз. Кроме того обновлённая спецификация существенно упрощает и ускоряет установление связи между двумя устройствами, позволяет производить обновление ключа шифрования без разрыва соединения, а также делает указанные соединения более защищёнными, благодаря использованию технологии Near Field Communication.

Bluetooth 2.1 + EDR

В августе 2008 года Bluetooth SIG представил версию 2.1+EDR. Новая редакция Bluetooth снижает потребление энергии в 5 раз, повышает уровень защиты данных и облегчает распознавание и соединение Bluetooth-устройств благодаря уменьшению количества шагов, за которые оно выполняется.

Bluetooth 3.0 + HS

3.0+HS была принята Bluetooth SIG 21 апреля 2009 года. Она поддерживает теоретическую скорость передачи данных до 24 Мбит/с. Её основной особенностью является добавление AMP (Alternate MAC/PHY), дополнение к 802.11 как высокоскоростное сообщение. Для AMP были предусмотрены две технологии: 802.11 и UWB, но UWB отсутствует в спецификации.

Модули с поддержкой новой спецификации соединяют в себе две радиосистемы: первая обеспечивает передачу данных в 3 Мбит/с (стандартная для Bluetooth 2.0) и имеет низкое энергопотребление; вторая совместима со стандартом 802.11 и обеспечивает возможность передачи данных со скоростью до 24 Мбит/с (сравнима со скоростью сетей Wi-Fi). Выбор радиосистемы для передачи данных зависит от размера передаваемого файла. Небольшие файлы передаются по медленному каналу, а большие — по высокоскоростному. Bluetooth 3.0 использует более общий стандарт 802.11 (без суффикса), то есть не совместим с такими спецификациями Wi-Fi, как 802.11b/g или 802.11n.

Bluetooth 4.0

Bluetooth SIG утвердил спецификацию Bluetooth 4.0 30 июня 2010 года. Bluetooth 4.0 включает в себя протоколы:

- Классический Bluetooth,
- Высокоскоростной Bluetooth
- Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth low energy, Bluetooth LE).

Высокоскоростной Bluetooth основан на Wi-Fi, а Классический Bluetooth состоит из протоколов предыдущих спецификаций Bluetooth.

Полоса частот: 2,402–2,48 ГГц (мощность не более 0,0025Вт).

Протокол Bluetooth с низким энергопотреблением предназначен, прежде всего, для миниатюрных электронных датчиков (использующихся в спортивной обуви, тренажёрах, миниатюрных сенсорах, размещаемых на теле пациентов и т. д.). Низкое энергопотребление достигается за счёт использования особого алгоритма работы. Передатчик включается только на время отправки данных, что обеспечивает возможность работы от одной батарейки типа CR2032 в течение нескольких лет. Стандарт предоставляет скорость передачи данных в 1 Мбит/с при размере пакета данных 8–27 байт. В новой версии два Bluetooth-устройства смогут устанавливать соединение менее чем за 5 миллисекунд и поддерживать его на расстоянии до 100 м. Для этого используется усовершенствованная коррекция ошибок, а необходимый уровень безопасности обеспечивает 128-битное AES-шифрование.

Первый чип с поддержкой Bluetooth 3.0 и Bluetooth 4.0 был выпущен компанией ST-Ericsson в конце 2009 года.

Bluetooth 4.1

В конце 2013 года Bluetooth SIG представила спецификацию Bluetooth 4.1. Одно из улучшений, реализованных в спецификации Bluetooth 4.1, касается совместной работы Bluetooth и мобильной связи четвёртого поколения LTE. Стандарт предусматривает защиту от взаимных помех путём автоматического координирования передачи пакетов данных.

Bluetooth 4.2

3 декабря 2014 Bluetooth SIG представила спецификацию Bluetooth 4.2. Основные улучшения — повышение конфиденциальности и увеличение скорости передачи данных.

Bluetooth 5.0

16–17 июня 2016 года Bluetooth SIG представила спецификацию Bluetooth 5.0. Изменения коснулись в основном режима с низким потреблением и высокоскоростного режима.

В режиме Low Energy (LE) пропускная способность по сравнению с Bluetooth 4.2 будет увеличена в два раза. Эффективная дальность возрастёт в четыре раза. В высокоскоростном режиме, на этот раз основанном на более быстром стандарте Wi-Fi, скорость будет увеличена в два-три раза. В классическом режиме сохранится совместимость с предыдущими спецификациями Bluetooth. Но при этом увеличится энергоэффективность модулей. Так же обещается увеличение в восемь раз количества одновременных подключений к одному модулю.

Принцип действия Bluetooth

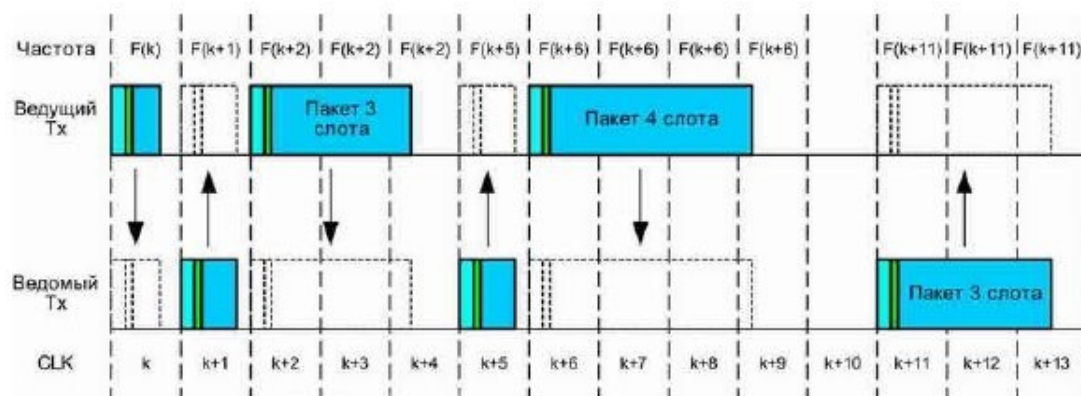
Принцип действия основан на использовании радиоволн. Радиосвязь Bluetooth осуществляется в свободном от лицензирования ISM-диапазоне 2,4–2,4835 ГГц (Industry, Science and Medicine), который используется в различных бытовых приборах и беспроводных сетях. Используются широкие защитные полосы: нижняя граница частотного диапазона составляет 2 ГГц, а верхняя — 3,5 ГГц. Точность заданий частоты (положение центра спектра) задается с точностью ± 75 кГц. Кодирование сигнала осуществляется по двухуровневой схеме GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying).

ISM диапазон — несколько частотных диапазонов (433, 900, 2400, 5800 МГц), отведенных в большинстве стран для гражданских целей, то есть, для систем промышленного, научного и медицинского применения (ISM – Industrial, Science, Medicine). Диапазон 2400 МГц используется в оборудовании беспроводного широкополосного доступа. В эту категорию относятся Bluetooth, ZigBee, Radio-Ethernet (IEEE 802.11).

GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying) — вид частотной манипуляции модуляцией, при которой используется фильтр Гаусса для сглаживания положительных и отрицательных частотных перестроек, представляющих собой бинарный информационный код — «1» или «0». Принцип работы модулятора GFSK похож на FSK, за исключением того, что сначала полоса импульсов (–1, 1) проходит через фильтр Гаусса для сглаживания, что обеспечивает уменьшения ширины его спектра, а уже после попадает в FSK. Фильтрация Гаусса — один из самых распространенных способов уменьшения ширины спектра.

Если мы используем –1 для $f_c - f_d$ и 1 для $f_c + f_d$, то тогда, когда мы переходим от –1 к 1 или от 1 к –1, модулированный сигнал изменяется быстро, что приводит к появлению помех за пределами диапазона. Если мы разобьем импульс перехода от –1 к 1 например так: –1, –0,98, –0,93 0,96, 0,99, 1 и будем использовать этот сглаженный импульс для модуляции несущей, то количество помех за пределами диапазона будет уменьшено.

В Bluetooth применяется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). Согласно алгоритму FHSS, в Bluetooth несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду. Таким образом, время разделяется на интервалы (так называемые слоты) продолжительностью 625 мкс. Скачкообразное переключение частоты отводит на переходные процессы 250–260 мкс. Длительность тика часов мастера равна 312,5 мкс, что определяет частоту часов — 3,2 кГц. Допускается временная неопределенность при приеме, равная ± 20 мкс. В течение каждого интервала передача осуществляется по определенному подканалу (всего выделяется 79 рабочих частот шириной в 1 МГц, а в Японии, Франции и Испании полоса уже — 23 частотных канала). Данные между устройствами Bluetooth передаются пакетами. Пакет может быть передан как за один, так и за несколько слотов. Если передача пакета к началу интервала уже завершена, то, синхронно в передатчике и приемнике, происходит смена подканала (изменение несущей частоты). Смена подканала осуществляется в заранее определенной для всех устройств пикосети псевдослучайной последовательности. Последовательность смены частот определенным образом вычисляется исходя из значений часов и адреса ведущего устройства Bluetooth.



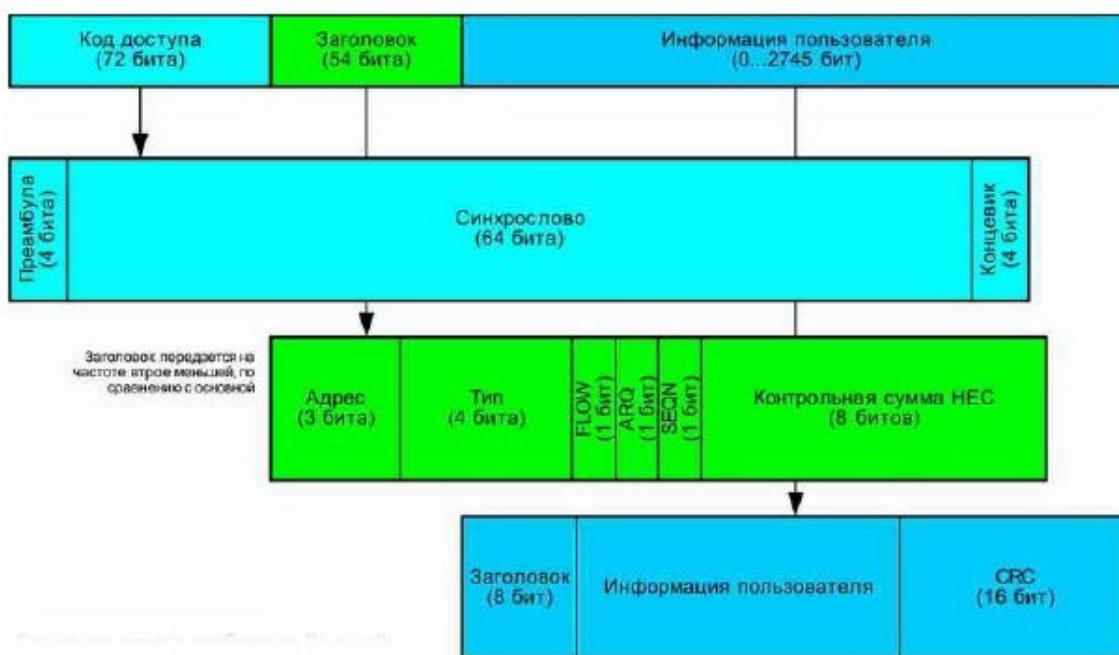
Таким образом, если рядом работают несколько пар приёмник-передатчик, то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации: переход происходит по псевдослучайному алгоритму и определяется отдельно для каждого соединения. При передаче цифровых данных и аудиосигнала (64 кбит/с в обоих направлениях) используются различные схемы кодирования: аудиосигнал не повторяется (как правило), а цифровые данные в случае утери пакета информации будут переданы повторно.

Протокол Bluetooth поддерживает не только соединение «point-to-point», но и соединение «point-to-multipoint».

Формат пакета Bluetooth

Состав пакета:

- код доступа,
- заголовок пакета,
- информация пользователя.



Код доступа идентифицирует пакеты, принадлежащие одной пикосети, а также используется для синхронизации и процедуры запросов. Он включает преамбулу (4 бита), синхростово (64 бита) и концевик – 4 бита контрольной суммы.

Заголовок содержит информацию для управления связью и состоит из шести полей:

- Адрес (3 бита) – адрес активного элемента;
- Тип (4 бита) – код типа данных;
- FLOW (1 бит) – управление потоком данных, показывает готовность устройства к приему;
- ARQ (1 бит) – подтверждение правильного приема;
- SEQN (1 бит) – служит для определения последовательности пакетов;
- FEC (8 бит) – контрольная сумма.

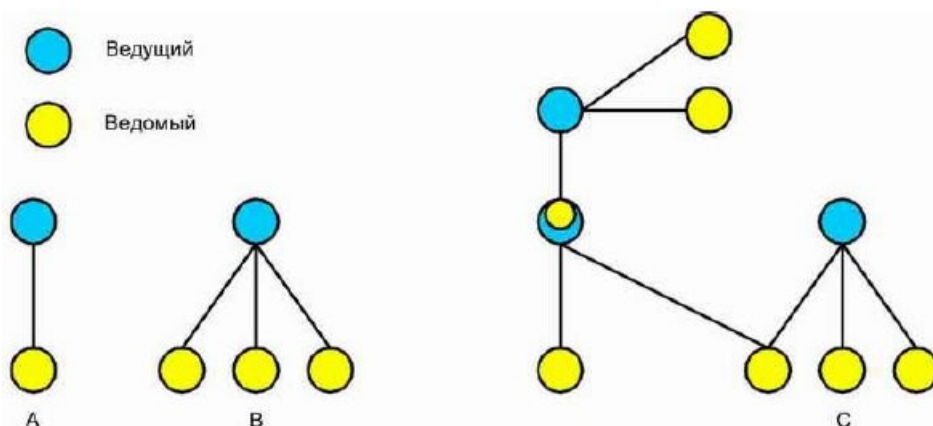
Информация пользователя состоит из трех сегментов: заголовок информации пользователя, непосредственно информация пользователя и контрольная сумма (CRC). Заголовок (8 бит) определяет логический канал, управление потоком в логических каналах, а также имеет указатель длины информации пользователя. Информация пользователя. CRC (16 бит) – от передаваемой информации вычисляется 16 бит циклического избыточного кода, после чего он прикрепляется к информации.

Класс мощности

В зависимости от мощности передатчика устройства Bluetooth делятся на три класса. Устройства класса 1 имеют максимальную выходную мощность 100 мВт (20 dBm) и обеспечивают дальность связи до 100 метров. Устройства класса 2 имеют мощность до 2,5 мВт (4 dBm) и обеспечивают дальность связи до 10 метров. Устройства класса 3 имеют мощность до 1 мВт (0 dBm) и дальность связи до 1 метра.

Пикосеть

В процессе работы физический радиоканал совместно используется (в режиме временного разделения) группой устройств, которые синхронизированы на общие часы и общую последовательность смены частот. Одно из них, выполняющее функции ведущего устройства, формирует сигналы синхронизации. Все другие устройства являются ведомыми. Группа устройств, синхронизированных таким образом, образует пикосеть. Пикосеть является фундаментальной формой коммуникации в технологии Bluetooth. Пикосеть является сетью категории “Ad Hoc” (т. е. обычно создается самопроизвольным способом, не имеет формальной структуры и ограничена как во времени своего существования, так и в занимаемом ею пространстве). Пикосеть может содержать до 7 активных ведомых устройств. Кроме того, в окрестности (зоне уверенного приема) ведущего устройства могут находиться неактивные (так называемые «припаркованные») ведомые устройства, которые также синхронизированы на общие часы и общую последовательность смены частот, но не могут обмениваться данными до тех пор, пока ведущее устройство не активирует их.



А - пикосеть с одним ведомым устройством;
 В - пикосеть с несколькими ведомыми устройствами;
 С - скаттернет

Адрес устройства Bluetooth (BD ADDR) – неизменяемое 48-ми разрядное значение, предназначенное для идентификации любого доступного устройства Bluetooth, которое присваивается при изготовлении устройства.

Ведущее устройство пикосети – устройство в пикосети, значения адреса устройства и часов Bluetooth которого были использованы для синхронизации пикосети (определения общей для пикосети последовательности смены подканалов). Ведущее устройство пикосети должно находиться в одной окрестности (зоне уверенного приема) с каждым из ведомых устройств, входящих в пикосеть. Ведущее устройство одной пикосети может входить в другую пикосеть только на правах ведомого устройства.

Ведомое устройство пикосети – любое устройство в пикосети, которое не является ведущим пикосети, но подключено к ней. Ведомое устройство должно находиться в одной окрестности (зоне уверенного приема) с ведущим устройством пикосети. Ведомое устройство обменивается данными только с ведущим устройством, непосредственный обмен между двумя ведомыми устройствами спецификация Bluetooth не предусматривает.

Активное ведомое устройство пикосети имеет свой временный номер (от 1 до 7), под которым оно функционирует в пикосети. Если активное ведомое устройство деактивируется (паркуется), то оно отдает свой временный номер другому ведомому устройству. При последующей активации оно может получить и другой временный номер.

Доступное устройство Bluetooth – устройство пикосети (ведущее или активное ведомое), которое имеет возможность осуществлять связь, в соответствии со спецификацией Bluetooth.

Запаркованное устройство – устройство, работающее в основном режиме пикосети, то есть, синхронизированное с ведущим устройством, но не имеющее временного номера (параметры его логического транспорта сброшены в исходные).

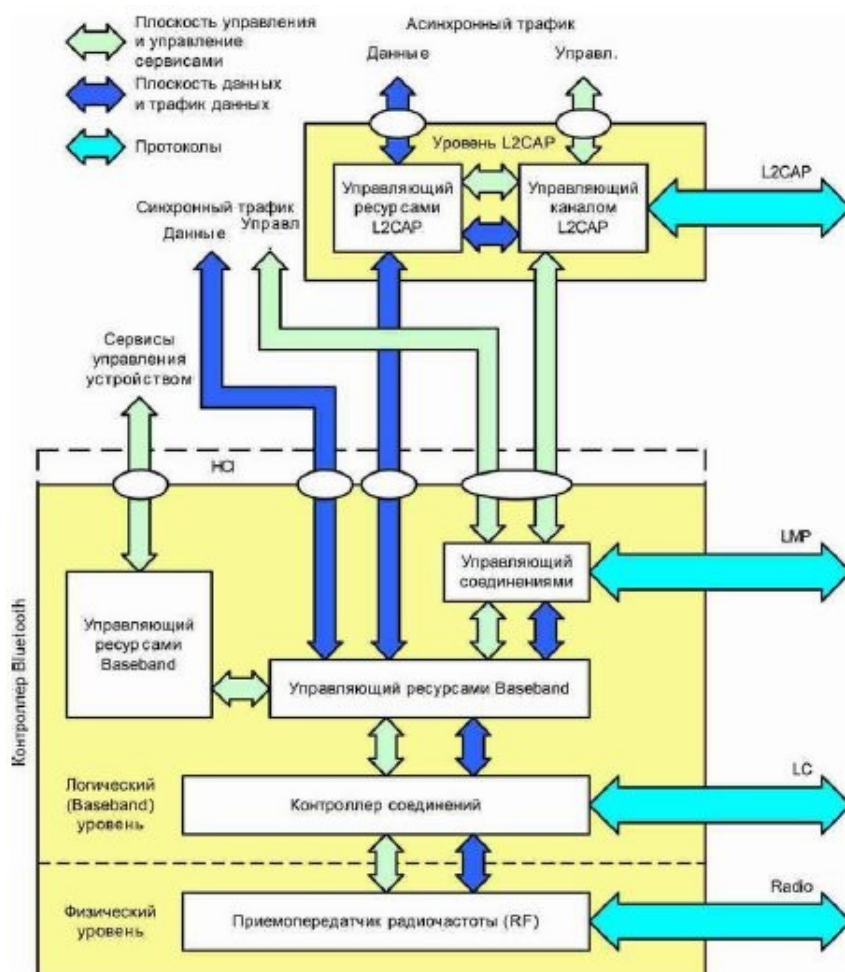
Окрестность (зона уверенного приема) – пространственная область, в которой два устройства Bluetooth могут обмениваться сообщениями с приемлемым качеством и производительностью. В пределах одной пространственной области может существовать множество независимых пикосетей. Каждая из них имеет свой физический канал пикосети.

Устройство-участник множества пикосетей (PMP) является одновременно элементом более чем одной пикосети. Это возможно при использовании временного разделения каналов. PMP чередует свою работу на физическом канале каждой пикосети.

Скаттернет – две или более пикосетей, которые включают одно или более устройств, действующих как PMP. Пикосети, входящие в скаттернет, не синхронизированы между собой.

Ядро системы Bluetooth

Иерархия ядра Bluetooth содержит ряд уровней. Самый низкий – физический уровень. Далее – логический уровень (или Baseband). Наиболее высокий уровень – уровень L2CAP (Протокол управления логическим подключением и адаптацией – Logical Link Control and Adaptation Protocol).



Физический и логический уровни ядра Bluetooth принято группировать в подсистему, называемую контроллером Bluetooth. Таким образом, контроллер Bluetooth содержит следующие ресурсы: на физическом уровне – приемопередатчик радиочастоты (RF) и на логическом – контроллер соединений (Link Controller), управляющий ресурсами Baseband (Baseband Resource Controller), управляющий соединениями (Link manager), управляющий устройством (Device Manager).

Хост Bluetooth включает наиболее высокий уровень – уровень L2CAP и ряд сервисов. В этом качестве может выступать компьютер, вычислительное устройство, периферийное устройство, мобильный телефон, точка доступа к локальной сети или к сети PSTN (коммутируемая телефонная сеть общего пользования) и т.д. Хост Bluetooth, подключенный к контроллеру Bluetooth, может взаимодействовать с другими хостами Bluetooth, которые также подключены к своим контроллерам Bluetooth. Контроллер Bluetooth и хост Bluetooth взаимодействуют между собой посредством интерфейса HCI (Host Controller Interface).

Интерфейс хост-контроллер HCI (Host Controller Interface) Bluetooth обеспечивает командный интерфейс между логическим уровнем (Baseband) и уровнем L2CAP. Этот интерфейс обеспечивает унифицированный метод доступа к ресурсам логического уровня (Baseband).

Протоколы ядра системы Bluetooth. Устройства Bluetooth взаимодействуют между собой по протоколам обмена в соответствии со спецификацией Bluetooth. Протоколы ядра системы Bluetooth – протокол физического уровня (RF), протокол контроллера соединений (LC), протокол управления соединениями (LMP) и адаптированный протокол управления логическими связями (L2CAP). Кроме того, существует протокол обнаружения обслуживания (SDP), необходимый для всех приложений Bluetooth.

Логический уровень (Baseband) ядра системы – уровень ядра системы Bluetooth, который осуществляет доступ к среде и процедурам физического уровня. Он обеспечивает обмен потоками данных и звуковой информацией в режиме реального времени между устройствами Bluetooth, входящими в пикосеть. Этот уровень предоставляет два различных способа физического подключения – синхронный, ориентированный на соединение (SCO) и асинхронный без установления соединения (ACL).

Синхронные подключения (связи) с установлением соединения используются для передачи изохронного трафика (например, оцифрованного звука). Это связи типа «точка–точка». Их предварительно устанавливает ведущее устройство с выбранными ведомыми устройствами, и для каждой связи определяется период (в слотах), через который для нее резервируются слоты. Связи получаются симметричные двусторонние. Повторные передачи пакетов в случае ошибок приема не используются.

Асинхронные подключения (связи) без установления соединения реализуют коммутацию пакетов по схеме «точка–множество точек» между ведущим устройством и одним или несколькими (всеми) ведомыми устройствами пикосети.

Ведущее устройство может связываться с любым из ведомых устройств пикосети в слотах, не занятых под SCO, послав ему пакет и потребовав ответ. Ведомое устройство имеет право на передачу, только получив обращенный к нему запрос ведущего устройства (декодировав при этом свой адрес). Для большинства типов пакетов предусматривается повторная передача в случае обнаружения ошибки приема. Ведущее устройство может посылать и безадресные широковещательные пакеты для всех ведомых устройств своей пикосети.

Стек протоколов Bluetooth

Bluetooth имеет многоуровневую архитектуру, состоящую из основного протокола, протоколов замены кабеля, протоколов управления телефонией и заимствованных 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.
- **HCI — Host/Controller interface** — определяет связь между стеком хоста (компьютера или мобильного устройства) и контроллером Bluetooth.
- **AVRCP — A/V Remote Control Profile** — обычно используется в автомобильных навигационных системах для управления звуковым потоком через Bluetooth.
- **L2CAP — Logical Link Control and Adaptation Protocol** — используется для мультиплексирования локальных соединений между двумя устройствами, использующими различные протоколы более высокого уровня. Позволяет фрагментировать и пересобирать пакеты.
- **SDP — Service Discovery Protocol** — позволяет обнаруживать услуги, предоставляемые другими устройствами, и определять их параметры.
- **RFCOMM — Radio Frequency Communications** — протокол замены кабеля, создаёт виртуальный последовательный поток данных и эмулирует управляющие сигналы RS-232.
- **BNEP — Bluetooth Network Encapsulation Protocol** — используется для передачи данных из других стеков протоколов через канал L2CAP. Применяется для передачи IP-пакетов в профиле Personal Area Networking.
- **AVCTP — A/V Control Transport Protocol** — используется в профиле A/V Remote Control для передачи команд по каналу L2CAP.
- **AVDTP — A/V Distribution Transport Protocol** — используется в профиле Advanced Audio Distribution для передачи стереозвука по каналу L2CAP.
- **TCS — Telephony Control Protocol** — протокол, определяющий сигналы управления вызовом для установления голосовых соединений и соединений

для передачи данных между устройствами Bluetooth. Используется только в профиле Cordless Telephony.

Заимствованные протоколы включают в себя: Point-to-Point Protocol (PPP), TCP/IP, UDP, Object Exchange Protocol (OBEX), Wireless Application Environment (WAE), Wireless Application Protocol (WAP).

Реализации стека протоколов Bluetooth

Bluetooth-стеки можно условно разделить на две группы:

- Универсального назначения. Написаны с упором на функциональность и гибкость, как правило, для настольных компьютеров. Поддержка дополнительных профилей Bluetooth может быть добавлена через драйверы.
- Для встроенных систем. Предназначены для использования в периферийных Bluetooth-устройствах, где ресурсы ограничены, а требования ниже.

Универсального назначения

1 Windows

- 1.1 Widcomm. Реализация компании Widcomm Inc. была первой для операционной системы Windows. Widcomm Inc. прошла слияние с Broadcom Corporation в апреле 2004 года. Компания Broadcom продолжает лицензировать стек для включения со многими Bluetooth-устройствами конечного пользователя.
- 1.2 Стек Microsoft Windows. Поддерживаются только встроенные Bluetooth-адаптеры или внешние, присоединённые через интерфейс USB. Не поддерживается соединение Bluetooth через PCI, I²C, Serial, PC Card и другие интерфейсы. Также поддерживается только один передатчик Bluetooth. Windows XP включает в себя встроенный Bluetooth стек, начиная с SP2.
- 1.3 Toshiba. Toshiba лицензирует стек для других производителей оригинального оборудования (OEM) и поставляется вместе с некоторыми ноутбуками Fujitsu Siemens, ASUS, Dell и Sony. Для получения API производитель должен подписать соглашение о неразглашении. Стек от Toshiba поддерживает один из наиболее полных перечней профилей Bluetooth: SPP, DUN, FAX, LAP, OPP, FTP, HID, HDP, HCRP, PAN, BIP, HSP, HFP, A2DP, AVRCP.

2 Linux

- 2.1 BlueZ. Стек BlueZ поддерживает все основные протоколы и уровни Bluetooth. Был первоначально разработан Qualcomm, и доступен для ядра Linux версии 2.4.6 и выше. Используется как низкоуровневыми утилитами (пакеты bluez-utils и bluez-firmware), так и более дружелюбными к пользователю программами (Blueman).
- 2.2 Affix. Разработан Исследовательским центром Nokia (Nokia Research Center).

3 OS X. Содержит интегрированный Bluetooth-стек, начиная с версии 10.2. Включает профили DUN, SPP, FAX, HID, HSP, SYNC, PAN, BPP и OBEX. В версии 10.5 добавлена поддержка A2DP и AVRCP.

Для встроенных систем

1. BlueMagic. Стек BlueMagic 3.0 (Qualcomm) используется в iPhone от Apple и устройствах Qualcomm, таких как Motorola RAZR. Протокол BlueMagic также используется в продуктах Logitech, Samsung, LG, Sharp, Sagem, и многих других. BlueMagic 3.0 был первым полностью сертифицированным (все протоколы и профили) Bluetooth-стеком протоколов в спецификации 1.1.
2. lwBT. Облегченный протокол Bluetooth-стека для встраиваемых систем с открытым исходным кодом. Он действует как сетевой интерфейс для lwIP стека протоколов.
3. Bluetopia. Реализация от Stonestreet One для верхних слоёв протокола Bluetooth-стека выше интерфейса HCI и отвечает условиям версии 2.1+EDR и более ранним версиям спецификации Bluetooth. API обеспечивает доступ для всех протоколов верхнего уровня и профиля, может напрямую взаимодействовать с наиболее популярными Bluetooth чипами от Broadcom, TI и другими. Bluetopia была портирована на множество операционных систем, таких как Windows Mobile / Windows CE, Linux, QNX, Nucleus, uCOS, ThreadX, NetBSD, и другие. Bluetopia в настоящее время используется в устройствах таких компаний, как Motorola, Kodak, Honeywell, Garmin, VTech и Harris.
4. Стек Symbian OS встроен в соответствующую ОС. Все телефоны на базе платформы Nokia S60 и Sony Ericsson / Motorola платформы UIQ используют этот стек.

Профили Bluetooth

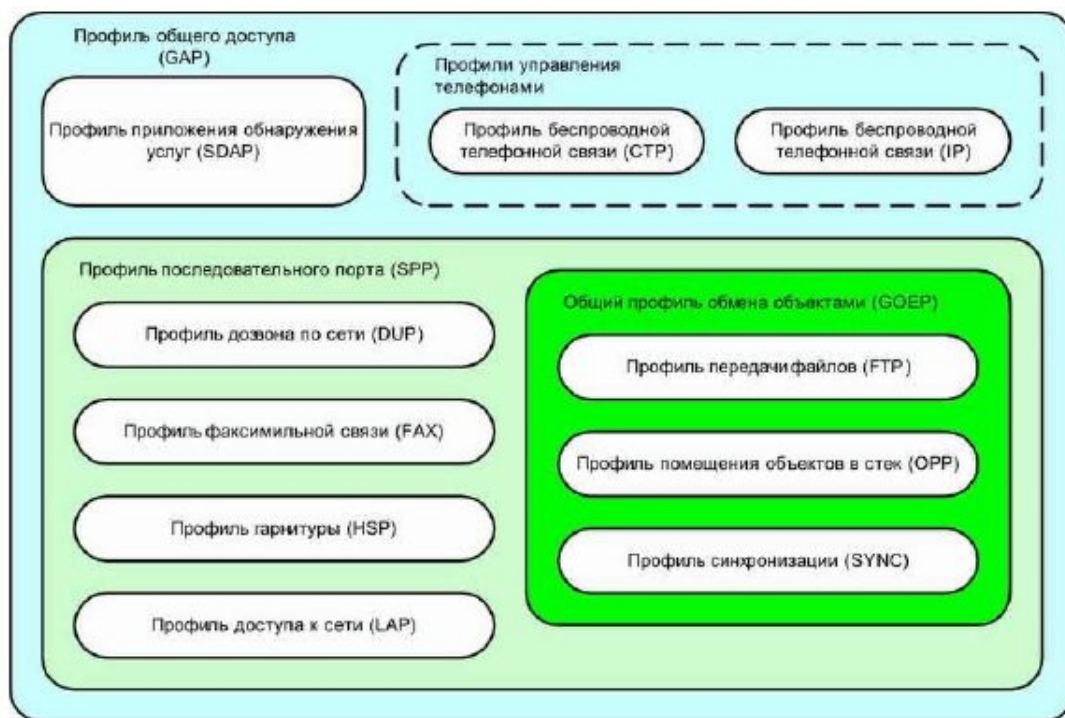
Профиль — набор функций или возможностей, доступных для определённого устройства Bluetooth. Для совместной работы Bluetooth-устройств необходимо, чтобы все они поддерживали общий профиль.

Технология Bluetooth определяет широкий диапазон профилей, которые описывают множество различных моделей применения. Профили определяют области возможного применения устройства Bluetooth.

Если устройства от различных производителей соответствуют одному профилю, определённому в спецификации Bluetooth, они смогут взаимодействовать друг с другом. Для всех моделей применения обязательно наличие профиля общего доступа (GAP), который сам по себе, однако, недостаточен для работы какого-либо реального устройства. Остальные профили добавляются в зависимости от назначения устройства и выполняемых им функций.

Три профиля общего назначения применяются для всех моделей применения, связанных с передачей данных. Это профиль последовательного порта (SPP), профиль приложения обнаружения услуг (SDAP) и профиль общего обмена объектами (GOEP).

В зависимости от назначения устройства к ним добавляются до девяти возможных профилей: DUP, FAX, HSP, LAP, FTP, OPP, SYNC, CTP и IP. Эти 13 профилей образуют основную конфигурацию профилей.



Ниже указаны некоторые профили, определенные и одобренные группой разработки Bluetooth SIG:

- **Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)** — разработан для передачи двухканального стерео аудиопотока, например, музыки, к беспроводной гарнитуре или любому другому устройству. Профиль полностью поддерживает низкокомпрессированный кодек Sub_Band_Codec (SBC) и опционально поддерживает MPEG-1,2 аудио, MPEG-2,4 AAC и ATRAC, способен поддерживать кодеки, определённые производителем.
- **A/V Remote Control Profile (AVRCP)** — разработан для управления стандартными функциями телевизоров, Hi-Fi оборудования и прочего. То есть позволяет создавать устройства с функциями дистанционного управления. Может использоваться в связке с профилями A2DP или VDPT.
- **Basic Imaging Profile (BIP)** — разработан для пересылки изображений между устройствами и включает возможность изменения размера изображения и конвертирование в поддерживаемый формат принимающего устройства.
- **Basic Printing Profile (BPP)** — позволяет пересылать текст, сообщения электронной почты, vCard и другие элементы на принтер. Не требует от принтера специфических драйверов.
- **Common ISDN Access Profile (CIP)** — для доступа устройств к ISDN.
- **Cordless Telephony Profile (CTP)** — профиль беспроводной телефонии.
- **Device ID Profile (DIP)** — позволяет идентифицировать класс устройства, производителя, версию продукта.
- **Dial-up Networking Profile (DUN)** — протокол предоставляет стандартный доступ к Интернету или другому телефонному сервису через Bluetooth.
- **File Transfer Profile (FTP_profile)** — обеспечивает доступ к файловой системе устройства. Включает стандартный набор команд FTP, позволяющий получать список директорий, изменения директорий, получать, передавать и удалять файлы. В качестве транспорта используется OBEX, базируется на GOEP.

- General A/V Distribution Profile (GAVDP) — база для A2DP и VDP.
- Generic Access Profile (GAP) — база для всех остальных профилей.
- Hard Copy Cable Replacement Profile (HCRP) — предоставляет простую альтернативу кабельного соединения между устройством и принтером. Для принтера необходимы специфичные драйвера, что делает профиль неуниверсальным.
- Human Interface Device Profile (HID) — обеспечивает поддержку устройств с HID (Human Interface Device), таких как мыши, джойстики, клавиатуры и проч. Использует медленный канал, работает на пониженной мощности.
- Headset Profile (HSP) — используется для соединения беспроводной гарнитуры (Headset) и телефона. Поддерживает минимальный набор AT-команд GSM для обеспечения возможности совершать звонки, отвечать на звонки, завершать звонок, настраивать громкость.
- Intercom Profile (ICP) — обеспечивает голосовые звонки между Bluetooth-совместимыми устройствами.
- LAN Access Profile (LAP) — обеспечивает доступ Bluetooth-устройствам к вычислительным сетям LAN, WAN или Интернет посредством другого Bluetooth-устройства, которое имеет физическое подключение к этим сетям. Bluetooth-устройство использует PPP поверх RFCOMM для установки соединения. LAP также допускает создание ad-hoc Bluetooth-сетей.
- Personal Area Networking Profile (PAN) — позволяет использовать протокол Bluetooth Network Encapsulation в качестве транспорта через Bluetooth-соединение.
- Service Discovery Application Profile (SDAP) — используется для предоставления информации о профилях, которые использует устройство-сервер.
- SIM Access Profile (SAP, SIM) — позволяет получить доступ к SIM-карте телефона, что позволяет использовать одну SIM-карту для нескольких устройств.
- Video Distribution Profile (VDP) — позволяет передавать потоковое видео. Поддерживает H.263, стандарты MPEG-4 Visual Simple Profile, H.263 profiles 3, profile 8 поддерживаются опционально и не содержатся в спецификации.

Источники:

1. Bluetooth. <https://ru.wikipedia.org>
2. Стек Bluetooth. <https://ru.wikipedia.org>
3. Семёнов, Ю.А. Телекоммуникационные технологии. <http://citforum.ru>
4. Bluetooth в целом. <http://www.rtcs.ru>
5. Bluetooth - технология. <http://www.gaw.ru>