

WPAN. Bluetooth

проф. д-р инж. Венета Алексиева

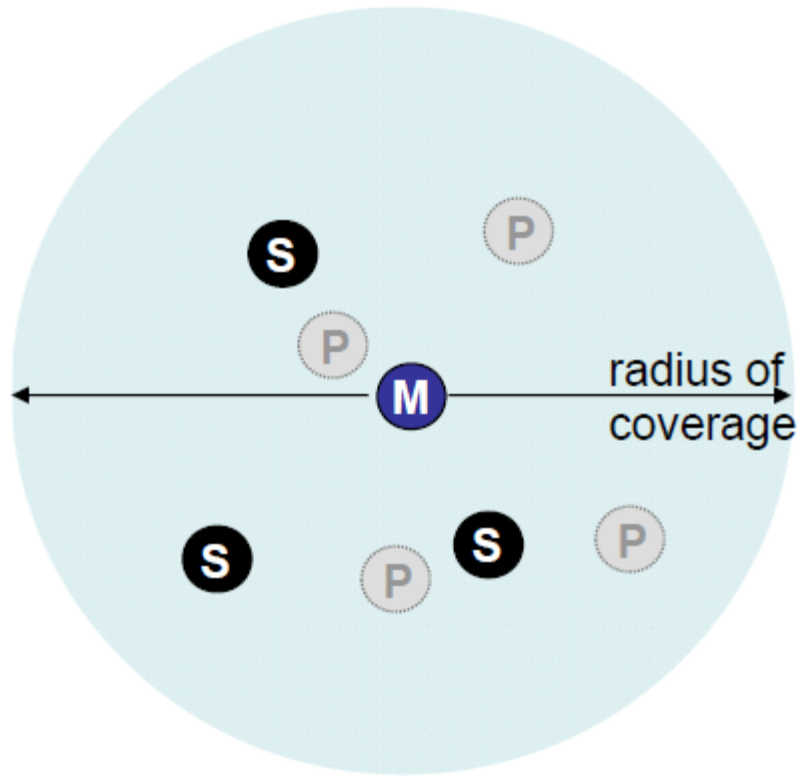
ОСНОВНИ МОМЕНТИ

- WPAN –стандарт
- Същност
- Стандарт
- Версии
- Топологии
- Протоколен стек
- Режими за съхранение на енергия

WPAN

- Безжичните персонални мрежи (WPANs) са за предаване на информация на къси разстояния сред малка, близо разположена група устройства.
- WPAN включва минимална или никаква инфраструктура или ad-hoc мрежа.
- Малките разстояния и простата инфраструктура позволяват енергоефективни и евтини решения за широка гама от устройства.

Стандарт 802.15 - WPAN



M Master device

S Slave device

P Parked device (inactive)

- Диаметър под 10м
- За мишки, клавиатури, безжични телефони
- ad hoc- без инфраструктура
- Мрежа master/slaves:
 - slaves искат позволение да изпратят на master данни
 - master обслужва заявките
- 802.15 еволюира от спецификация Bluetooth
- честотна лента 2.4-2.5 GHz
- до 721 Kbps

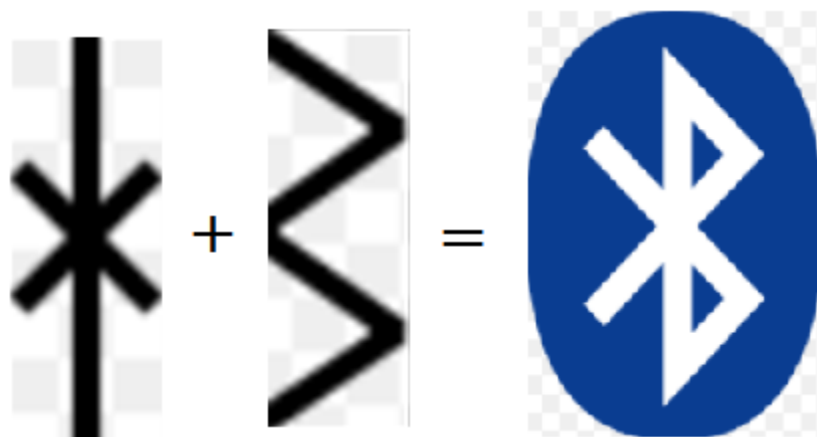
Произход на името bluetooth

- bluetooth (на английски – *син зъб*) е наречена на името на краля на Дания и Норвегия от края на 10-ти век **Harald Gormsson** по прякор **Bluetooth** ("**Blåtand**").
- Той успял да обедини воюващи до тогава племена от Норвегия и от Дания (включваща днес шведската област Скания, където е създадена технологията Bluetooth).
- В романа за живота на викингите на шведския писател Франс Гунар Бенгтсон „Дългият кораб” се описва Харалд като обединител на племената.
- Така и Bluetooth е предназначен да „обедини” (да направи съвместими) различни устройства.

Произход на логото

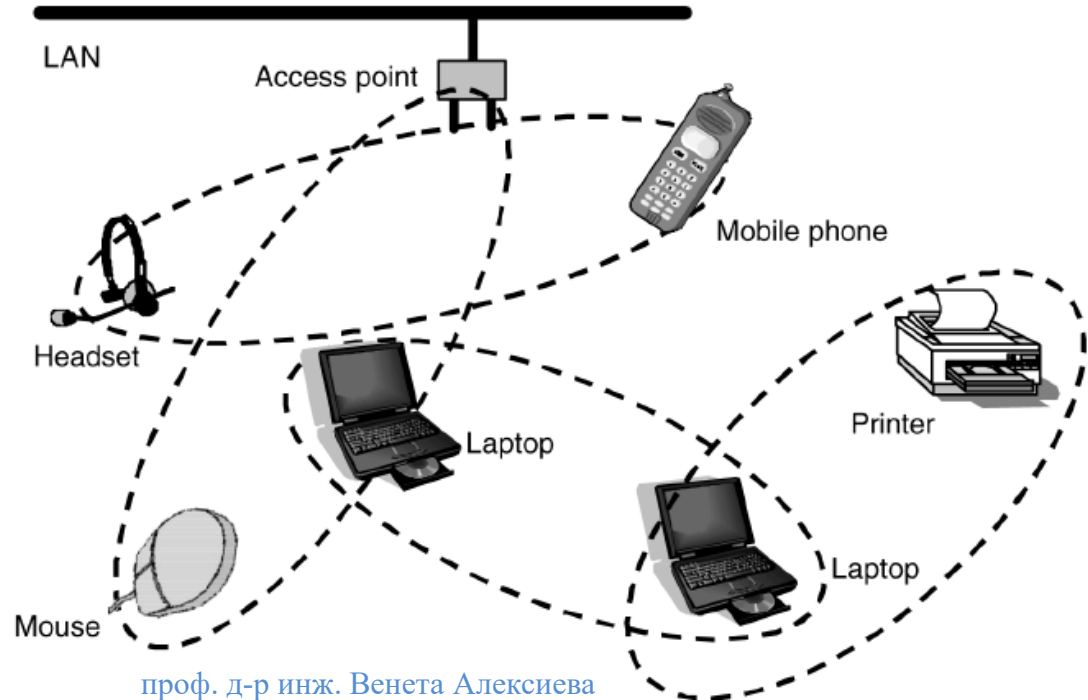
Логото на Bluetooth обединява германските руни, аналози на съвременните латински букви H и B, слети заедно, оформяйки обединена руна:

- H (hagall) ✖
- B (berkanan) Ʒ



Същност

- **Bluetooth \approx IEEE 802.15.1**
- Обща концепция за свързване и пренос на информация чрез сигурна, късообхватна радиочестота между различни устройства- мобилни телефони с автомобили, медицинско оборудване, лаптопи, персонални компютри, принтери, цифрови фотоапарати, игрални конзоли и др.



История

- Bluetooth е създадена през 1989 г. от Nils Rydbeck от Ericsson Mobile в Лунд, Швеция, и от Johan Ullman, като целта е да се разработят безжични слушалки на база на изобретение на Ullman от 1989г.
- Bluetooth се управлява от Bluetooth Special Interest Group (SIG), в която членуват над 30,000 компании от областта на телекомуникации, компютри, мрежи, датчици за електроника .
- IEEE стандартизира Bluetooth като **IEEE 802.15.1**, но вече **не поддържа** стандарта.
- Bluetooth SIG се грижи за разработването на спецификациите и търговската марка.

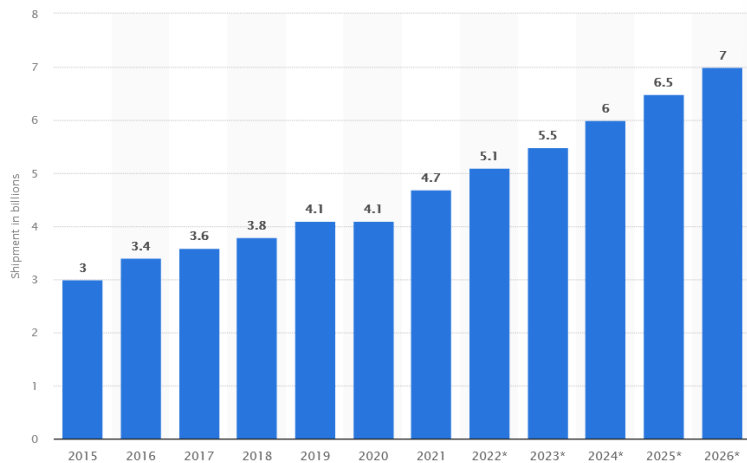
История

- През 2001 г. Nokia разработват Bluetooth LE (с по-ниско потребление на енергията и разходите), като същевременно минимизират разликите му от технологията Bluetooth. Резултатите са публикувани през 2004 г., използвайки името Bluetooth Low End Extension.
- По проект на ЕС по FP6, наречен MIMOSA, се имплементира технологията в STMicroelectronics.
- През октомври 2006 г. с името на марката Wibree технологията е освободена за обществеността.
- През 2010г. завършва интеграцията на Bluetooth Smart с версия Bluetooth 4.0.
- Първият смартфон с Bluetooth 4.0 е iPhone 4S, на пазара от октомври 2011 г.
- През 2014 г. Cambridge Silicon Radio (сега част от Qualcomm) стартира CSR Mesh протокол за връзка между Bluetooth Smart устройства в мрежа. Пример за приложение - изключване на осветлението в цяла сграда от един смартфон.
- На 16 юни 2016г. се появява Bluetooth 5.
- През 2020г. се появява Bluetooth 5.2.
- През 2021г. Се появява Bluetooth 5.3.

Тенденции

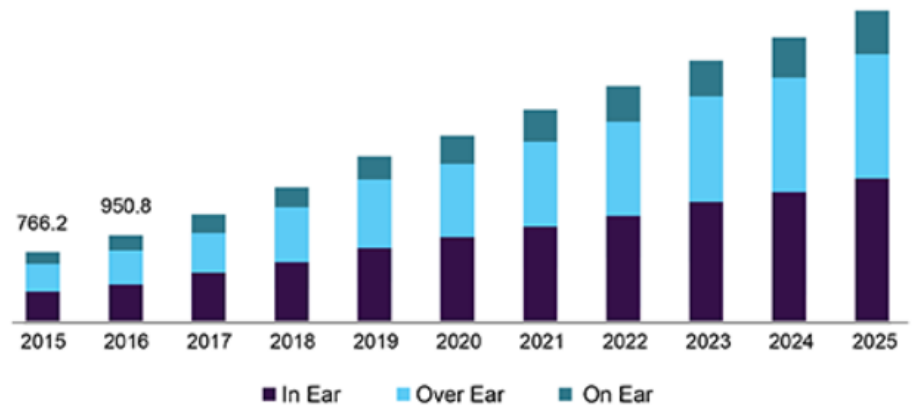
Bluetooth device shipments worldwide from 2015 to 2026

(in billion units)



© Statista 2022

U.S. bluetooth headphones market size, by product, 2015 - 2025 (USD Million)



- В началото на 2017 г. 30,000 компании са имплементирали в продуктите си Bluetooth функционалност.
- През 2021г. са закупени 4,7 милиарда Bluetooth продукти.
- ABI Research прогнозира до 2026г. ръст от 7 милиарда иновативни Bluetooth продукти с прогнозиран общ годишен темп на растеж от девет процента от 2022 до 2026 г.

Видове приложения

- **За здравеопазване** - Continua Health Alliance ги разработва с Bluetooth SIG.
 - BLP (Blood Pressure Profile)
 - HTP (Health Thermometer Profile)
 - GLP (Glucose Profile)
 - CGMP (Continuous Glucose Monitor Profile)
- **За спорт и фитнес**
 - BCS (Body Composition Service)
 - CSCP (Cycling Speed and Cadence Profile)
 - CPP (Cycling Power Profile)
 - HRP (Heart Rate Profile)
 - LNP (Location and Navigation Profile)
 - RSCP (Running Speed and Cadence Profile)
 - WSP (Weight Scale Profile)
- **За Internet връзка**
 - IPSP (Internet Protocol Support Profile)
- **Общи сензори**
 - ESP (Environmental Sensing Profile)
 - UDS (User Data Service)
- **Електронна каишка** (например устройствата iBeacon на Apple Inc. И съвместимите iDevices)
 - FMP - "find me" profile - позволява едно устройство да подава сигнал за второ ненамерено устройство
 - PXP - proximity profile - позволява следене на близост на устройство в рамките на допустимо разстояние. Физическата близост може да се изчисли с помощта на RSSI стойността на радио приемника, макар и не много точно. Включва аларма когато разстоянието между устройствата надвишава установения праг.

Версии

- **Bluetooth 1.0, Bluetooth 1.1, Bluetooth 1.2** – 1989г с Gaussian frequency-shift keying (GFSK) модулация, само на 1MHz , работят в basic rate (BR) mode.
- **Bluetooth 2.0 + EDR, Bluetooth 2.1 + EDR** - с модулация $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) на 2 MHz и 8DPSK на 3 MHz, работят в Enhanced Data Rate (EDR) mode.
- **Bluetooth 3.0 + HS**- от 21 април 2009г. – скорост до 24 Mbit/s.
- **Bluetooth 4.0 (Bluetooth с ниско енергопотребление, Bluetooth LE, BLE, Bluetooth Smart), Bluetooth 4.1** - въведен с име **Wibree** от Nokia през 2006 г. , но става стандарт Bluetooth 4.0 през 2010 г. Имплементиран е в iOS, Android, Windows Phone and BlackBerry, macOS, Linux, Windows 8, Windows 10.
- **Bluetooth 4.2** - 2 декември 2014 г. за IoT
- **Bluetooth 5** –16 юни 2016 - предоставя четирикратно увеличение на обхвата, удвояване на скоростта на предаване, и увеличава с 800% капацитета на излъчване с ниска енергийна ефективност, спрямо Bluetooth 4.2. Поддържа mesh networking, IP, позволява beacon-enabled големи по размер мрежи, поддържа mesh мрежи.
- **Bluetooth 5.1** –28.01.2019 – по-ниска енергия, по-големи разстояния, нови 2 метода за определяне на източника на сигнала
- **Bluetooth 5.2** –01.2020
- **Bluetooth 5.3** –13.07.2021 подобрение на криптирания контрол на размера на ключа, позволява на устройството да актуализира/превключи от режим с нисък работен цикъл към режим с по-висока честотна лента с минимално забавяне, по-добро потребителско изживяване заедно със запазване на функциите за пестене на енергия , нови подобрения в класификацията на каналите по време на адаптивно прескачане на честотата (намалена чувствителността към смущения)

Основни характеристики

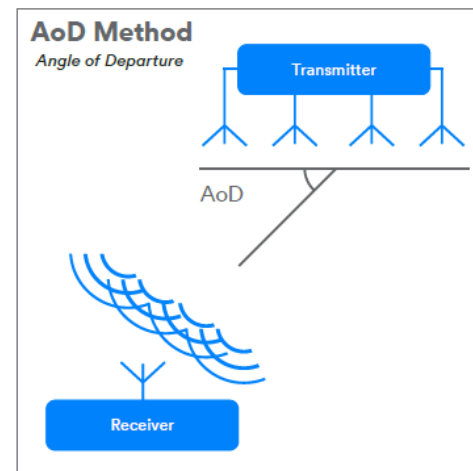
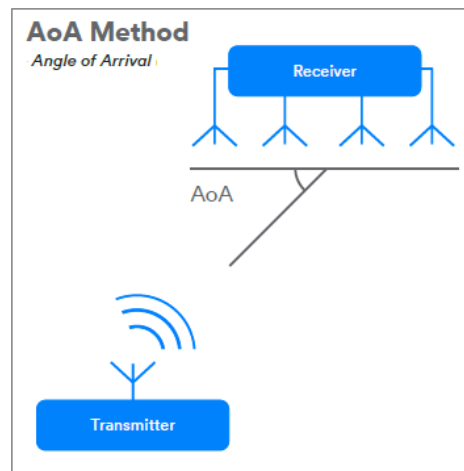
- Ниска консумация на енергия
- Ниска скорост – под 1Mbps
- Ниска цена
- Обхват до 10м (в определени случаи до 100м).
- Честотна лента – 2.4 GHz до 2.4835 GHz или 2.402 GHz и 2.480 GHz
- На база на Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) технология.
- Работи в ad-hoc режим.
- Мрежата се нарича pico-net, в която устройствата са master и slave. До 8 устройства в една pico-net – 1 master и до 7 slaves. Master тактува обмена с подчинените с интервали от 312.5 μ s.
- Възникват колизии когато pico-nets са близо една до друга.
- Предава всеки пакет по отделен канал (носеща), каналите са 79+1 служебен. Всеки канал има честотна лента от 1 MHz. 80 канала – 80MHz. При bluetooth 5.0 са 40 канала през 2 MHz.
- Или 1 канал за данни (723.2 Kbps, обратен канал 57.6Kbps), или три канала за глас (синхронни 64Kbps)
- Ползва се в клетъчни телефони, периферни устройства, датчици в домашни устройства, автомобили



ОС, които поддържат Bluetooth 5

- iOS 5 и по-късни
- Windows Phone 8.1
- Windows 8 и по-късни
- Android 4.3 и по-късни
- BlackBerry 10
- Linux 3.4 и по-късни с BlueZ 5.0
- Unison OS 5.2

Формат на фрейма

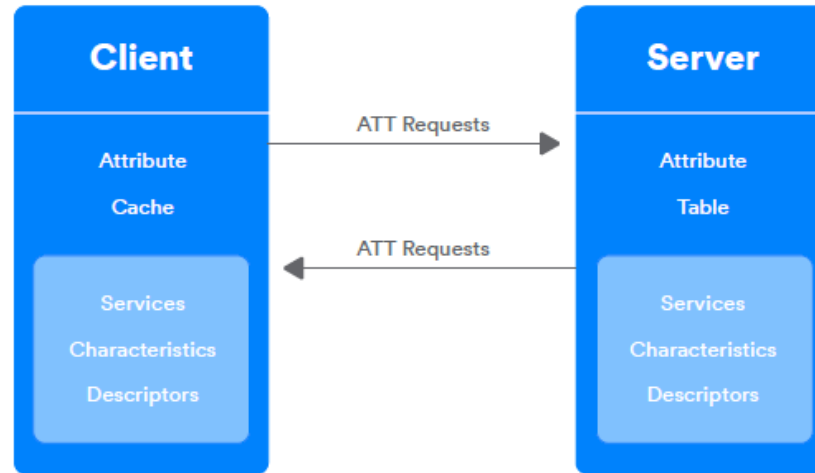


- Функцията за определяне на посоката на Bluetooth използва извадка по фаза и квадратура (IQ) за измерване на фазата на радиовълните, попадащи в антената в определен момент.
- При подхода AoA, извадката се прилага към всяка антена в масива, в някаква подходяща последователност в зависимост от дизайна на масива. Данните от извадката се предават чрез интерфейса на хост контролера (HCI), където се прилага подходящ алгоритъм, за да се изчисли посоката на едно устройство спрямо друго.
- **Алгоритми за изчисляване на ъгли от IQ проби не са дефинирани в спецификацията и са оставени за разработчиците.**
- **Полето “разширение на постоянния тон(СТЕ)”** “осигурява постоянен честотен и дълговълнов сигнал, по който може да се направи извадка от IQ. Това поле съдържа поредица от 1-ци и не е включено в изчислението на CRC.
- При подхода AoD устройството, към което се определя посоката, предава специален сигнал, използвайки множество антени, разположени в масив. Приемното устройство(например мобилен телефон) има една антена.
Докато множеството сигнали от предаващото устройство пресичат антената в приемащото устройство, приемащото устройство взема IQ проби. Въз основа на данните от IQ приемащото устройство може да изчисли относителната посока на сигнала.

Протоколът

- Клиентът събира информация за сървъра:
 - открива UUIDs за всички главни сървъри
 - Намира услуга с дадения UUID
 - Намира подчинените услуги за дадената главна услуга
 - Открива всички характеристики на дадената услуга
 - Открива характеристиките, съвпадащи с дадения UUID
 - Чете всички дескриптори за конкретната характеристика
- Командите се делят на:
 - *read* (от сървъра към клиента)
 - *write* (от клиента към сървъра)
- Протоколът предлага:
 - *notifications* – клиентът да заяви за конкретна характеристика от сървъра и той да прати стойност на клиента, когато тя стане достъпна
 - *Indications* - Индикацията е подобна на уведомлението, но тя изисква потвърждение от клиента, че е получил съобщението

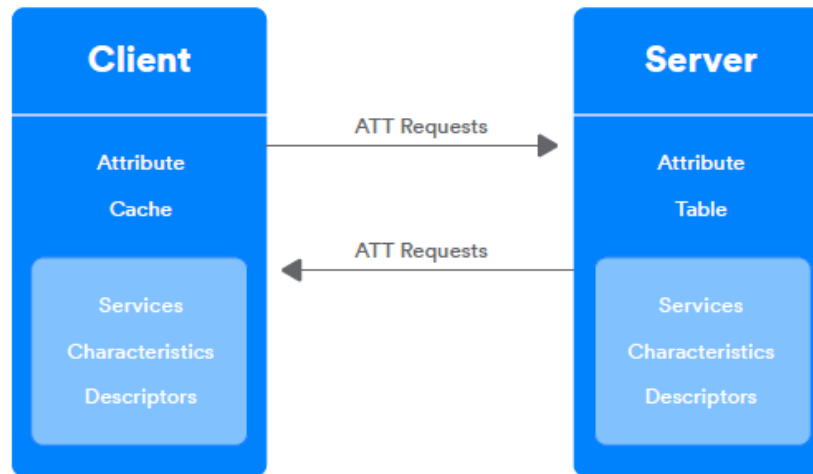
Протокол за комуникация Attribute Protocol (ATT)



- GATT клиентите изпълняват процедура за откриване на услуга, за да получат подробности за атрибутите на отдалеченото GATT сървърно устройство, към което клиентът е свързан.
- Откриването на услугата отнема време и консумира енергия. Затова Bluetooth v5.1 определя стратегия за кеширане на атрибути, която позволява на клиентите да пропуснат откриването на услугата, когато нищо не се е променило.

Протокол за комуникация

Attribute Protocol (ATT) (2)



- Преди v5.1 кеширането и синхронизирането на таблицата с атрибут на клиент / сървър се контролираше само с помощта на променена характеристика на услугата, която може да присъства в GATT.
- При v5.1 сървърът може да информира свързаните клиенти, че неговата атрибутна таблица е променена чрез изпращане на ATT индикация за клиента. Клиентът отговоря с потвърждение ATT и извършва откриването на услугата чрез синхронизиране на кеш атрибутите с тези на сървъра.
- За да се избегне необходимостта сървърът да следи всеки клиент, свързан с него, и дали всеки клиент е бил информиран за последната промяна на атрибутивната таблица, клиентите и сървърите, които нямат надеждни връзки (т.е. не са свързани) не са задължени да извършват откриването на услугата всеки път, когато се свързват.

Таблица с атрибути - GATT

- Всички свързани с Bluetooth устройства с ниско енергийно потребление използват общия профил на атрибутите (GATT).
- Прави се кеширане на GATT от всички Bluetooth устройства с ниско енергийно потребление.
- GATT устройствата съдържат база данни – таблица с атрибути:
 - съдържа GATT структурни детайли
 - стойности на услугите,
 - характеристиките и дескрипторите
- Записите в таблицата с атрибути се идентифицират с handles на атрибутите.

Кеширане на GATT

- Въведени са две нови характеристики в GATT :
 - Client Supported Features
 - Database Hash позволява на клиента да попита сървъра, ако нещо се е променило а не чака сървъра да му го съобщава, като използва индикация Service Changed.
- Сървърът отговаря за поддържане на стойността на Database Hash, която е изчислена от съответните аспекти на таблицата с атрибутите. Клиентът чете неговата стойност веднага след установяването на връзка. Клиентът може да кешира стойността на Hash Database и впоследствие да го използва, за да определи дали таблицата за отдалечени атрибути се е променила. Ако тя се е променила, клиентът извършва процедура по откриване на услуга. Ако не е, не е необходимо. Това осигурява енергийна ефективност.
- Ако Database Hash от свързаното устройство е същият като този, свързан с атрибута на клиента и други подробности, като например производителя на устройството, са едни и същи, клиентът може да заключи, че няма нужда да се извършва откриване на услуга за свързаното устройство, тъй като атрибутът кеш, получен от друго устройство, вече съдържа еквивалентни данни.

Пример: Bluetooth smart заключва/отключва врати в сграда, когато смартфон или друго клиентско устройство взаимодейства с тях, за да се автентичира и да отвори вратата за потребителя, когато се приближи. Откриването на услугата трябва само да се извърши първия път, когато потребителят се опита да премине през врата с интелигентно заключване.

Обмен в инфраструктурен режим

- 1 master и до 7 slaves.
- Master тактува обмена с подчинените с интервали от $312.5 \mu s$.
- Два такта образуват слот от $625 \mu s$
- Двойка слотове са $1250 \mu s$.
- Пакетите могат да бъдат с дължина 1, 3 или 5 слота.
- При предаване в един слот Master предава в четните слотове, а получава в нечетните. Slave предава в нечетните слотове, а получава в четните.

Bluetooth и Bluetooth Smart

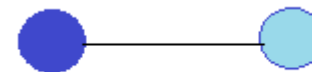
Спецификации	Classic Bluetooth	Bluetooth Smart technology
Максимално теоретично разстояние	100 m (330 ft)	>100 m (>330 ft)
data rate	1–3 Mbit/s	125 kbit/s – 1 Mbit/s – 2 Mbit/s
Throughput за приложения	0.7–2.1 Mbit/s	0.27 Mbit/s
Активни slaves	7	Не са дефинирани и зависи от реализацията
Сигурност	56/128-bit, потребителят го дефинира на приложен слой	128-bit AES с Counter Mode CBC-MAC потребителят го дефинира на приложен слой
Корекция на грешки	Adaptive fast frequency hopping, FEC, fast ACK	Adaptive frequency hopping, Lazy Acknowledgement, 24-bit CRC, 32-bit Message Integrity Check

Bluetooth и Bluetooth Smart

Спецификации	Classic Bluetooth	Bluetooth Smart technology
Latency (от несвързано състояние)	обикновено 100 ms	6 ms
Минимално общо време за изпращане на данни (зависи от живота на батерията)	100 ms	3 ms
Приложимо за глас	да	не
Мрежова топология	Scatternet	Scatternet
Консумация	1 W	0.01–0.50 W (зависи от случая на употреба)
Пикова консумация на ток	<30 mA	<15 mA

Топология ad-hoc

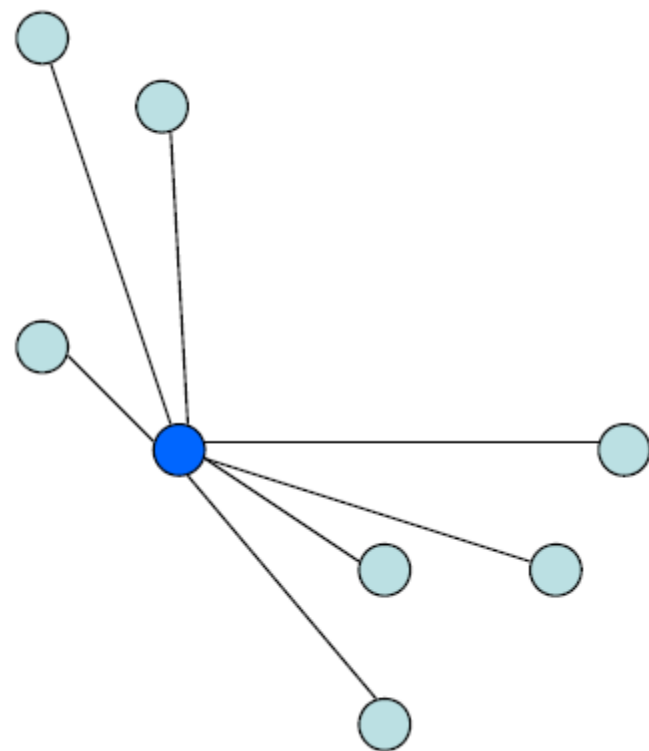
- ad hoc – връзка 1:1, в която няма базова станция
- Изследвани са такива връзки между движещи се автомобили със скорост 97км/ч-113км/ч
- Класове на база консумирана мощност:



клас	консумация	обхват	предназначение
Първи	100mW	100m	Индустриална употреба
Втори	10mW	10m	Мобилни устройства
Трети	1mW	~10cm	

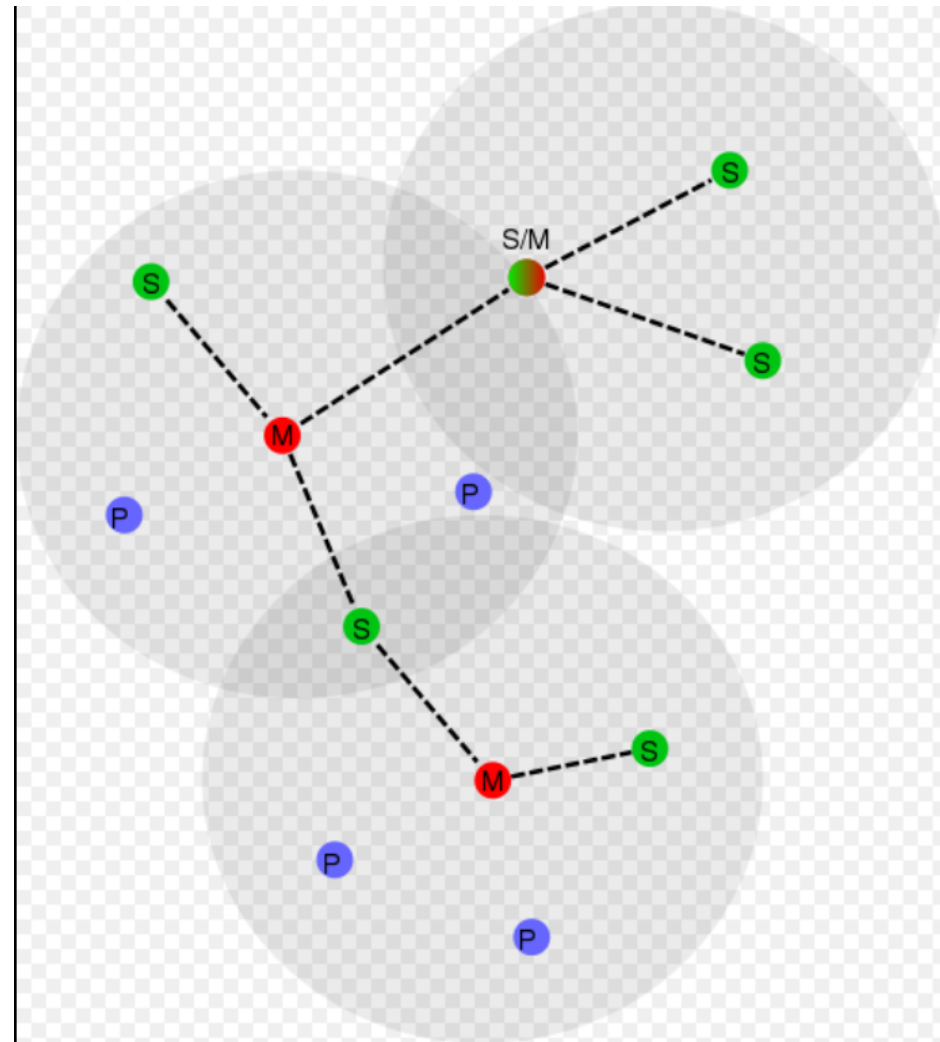
Топология Piconet

- Piconets имат адресно пространство за 1 master и 7 slaves (3 бита, 000 запазени за broadcast).
- Master общува с точно един slave и ги редува с round-robin алгоритъм.
- Всяко устройство може да смени ролята си от slave на master по всяко време.

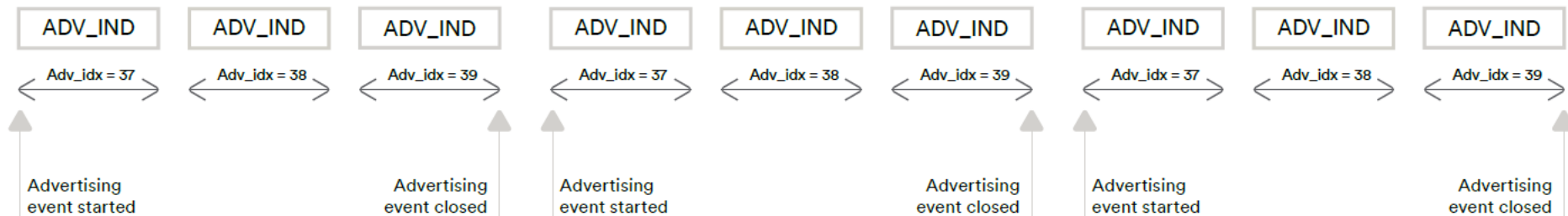


Топология Scatternet

- Scatternet – типична ad hoc компютърна мрежа, състояща се от ≥ 2 piconets. Поддържа комуникация между повече от 8 устройства.
- Устройството, което принадлежи и в двете piconets, може да препредава данни между членовете на двете мрежи, но не по Bluetooth протокол, а от софтуера на всяко устройство.
- Изследванията са започнали 2006, 2008г но продължават.

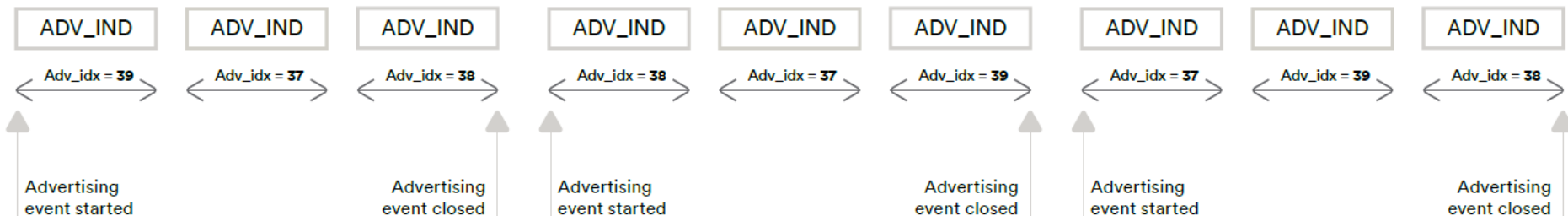


Колизии при Bluetooth v5.0



- Bluetooth v5.0 рекламните събития (за откриване на устройството) се дефинират като „един или повече рекламни PDU изпратени по основния рекламен канал, започващ с първия използван индекс на рекламния канал и завършва с последния използван индекс на рекламния канал ”. Т.е. когато се използват всичките три канала, както често се случва, се използват в последователност 37, след това 38, след това 39, в този строг ред.
- За да се намали възможността за постоянни колизии на пакети, когато две или повече устройства рекламират на същия канал в припокриващ се период от време, основната спецификация Bluetooth v5.0 предвижда, че времето между последователни рекламни събития трябва да включва случайно забавяне между 0 и 10ms.

Колизии при Bluetooth v5.1



- При Bluetooth v5.1 устройствата в режим на рекламиране (за откриване на устройството) вече не са длъжни да избират рекламни канали в строга и непроменяща се последователност, започвайки с най-ниския използван индекс на канала и завършвайки с най-високия.
- Сега е позволено да се избират индекси на канали на случаен принцип. Това намалява потенциалните колизии, подобрява скалируемост и надеждност в натоварени радио среди.

Изследвания

- През 2008 г. в University College Cork, Ireland е разработено приложение scatternet, базирано на Java с библиотеката JSR-82. Изпращат се MPI съобщения между устройствата, но в симулационна среда. Wireless Toolkit Sun, създава scatternet с до 15 устройства чрез маршрутизиране на съобщения през мрежата.
- През 2006 г. в University of Technology, Ирак, е разработено scatternet маршрутизиране по заявка (on demand) с Java ME и библиотека JSR-82. Това е тествано успешно на реални Java-поддържащи мобилни телефони, и е в състояние да построи големи scatternets, но работи с маршрут до 3 hops.

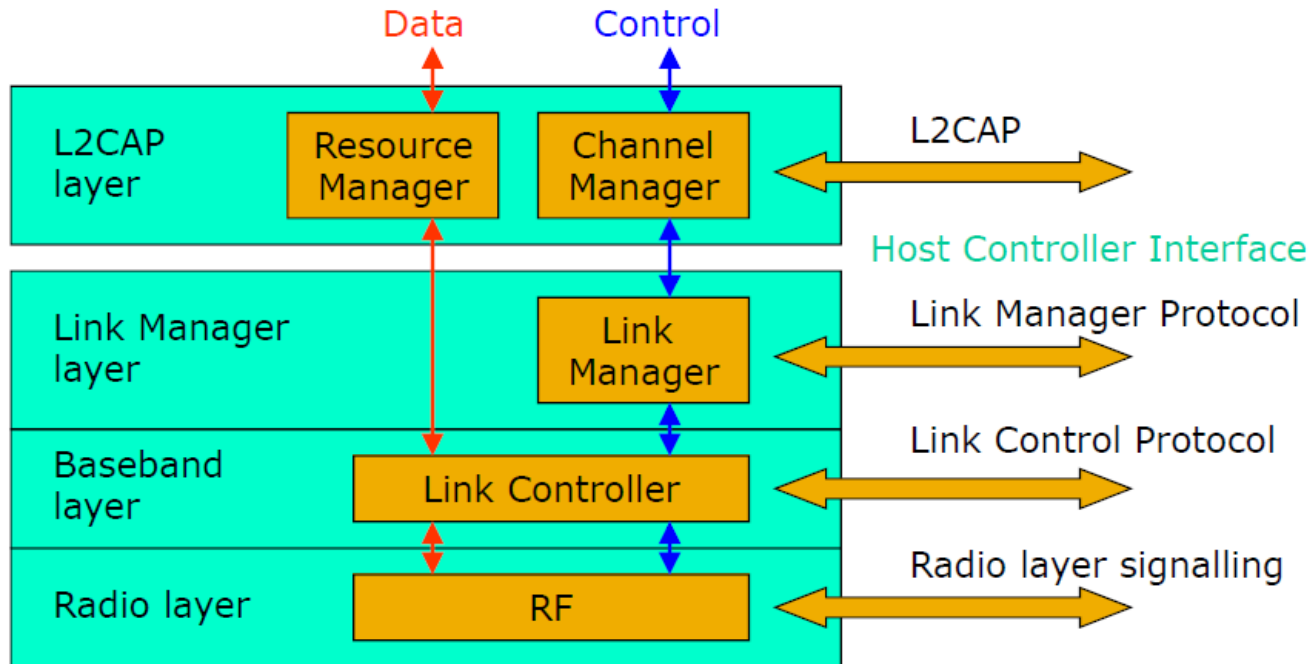
Установяване на bluetooth връзка

- Стъпка 1: Процедура за разследване позволява на устройството да открие кои устройства са в диапазона и да определи адресите и тактуването им:
 - Изпращат се справочни пакети и се получава отговора на запитването
 - За да получи запитването, дестинацията трябва да е в състояние "сканиране за запитване (inquiry)"
 - Дестинацията влиза в състояние "inquiry на отговор" и изпраща отговор на запитването към източника.
 - След завършване на процедурата за разследване, връзката може да бъде създадена с помощта на процедурата по paging.

Установяване на bluetooth връзка

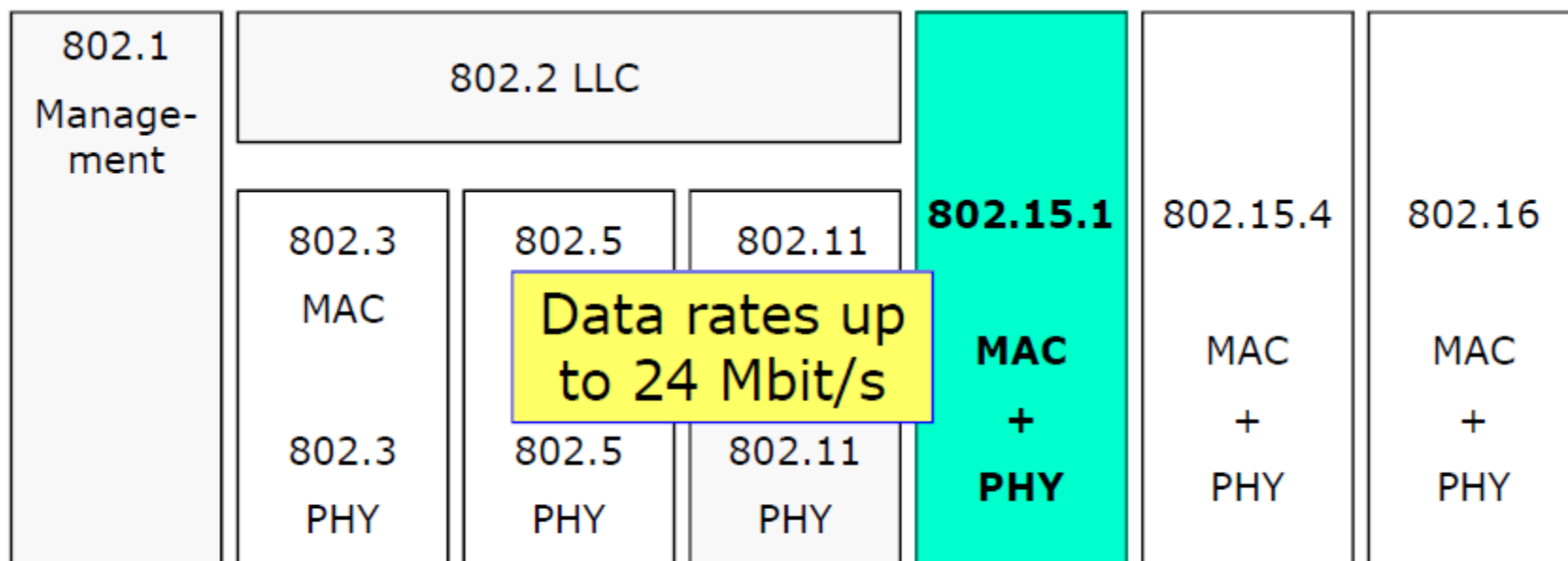
- Стъпка 2: Процедурата paging позволява на устройството да установи действителната връзка:
 - Сорса търси устройството- дестинация.
 - Дестинацията се намира, ако е в състояние "Page Scan".
 - Дестинацията изпраща отговор на сорса.
 - Сорсът изпраща FHS пакет до дестинацията.
 - Дестинацията изпраща втори отговор на източника.
 - Дестинацията и сорсът се настройват към параметрите на сорса.
- Стъпка 3: Връзката започва със запитване POLL от master-а, за да се провери, че slave се е синхронизирал с него за смяна на честоти (channel frequency hopping).

Протоколен стек



- Bluetooth е технология с разслоена архитектура.
- Състои се от:
 - същински протоколи,
 - протоколи, които заменят кабелите,
 - протоколи за телефония.

Физически и MAC слой



ISM band: 2.4 ... 2.4835 GHz

Bluetooth Special Interest Group (SIG)

Физически слой

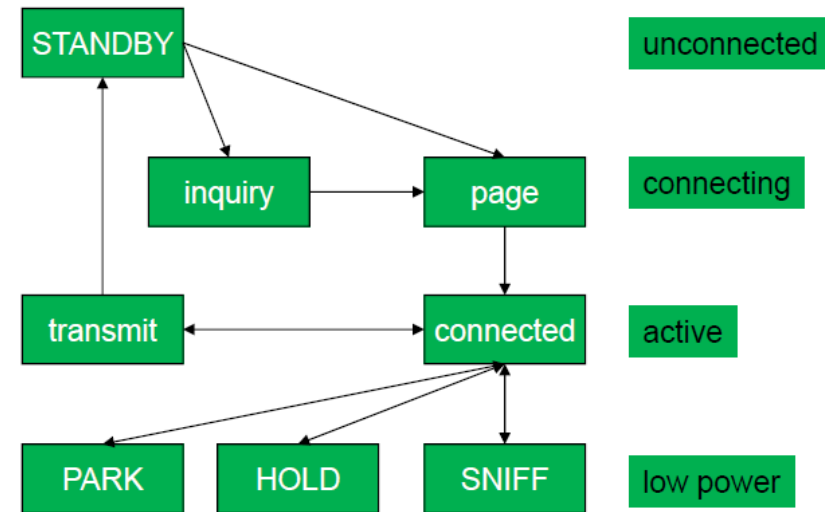
- Схемата за предаване е frequency-hopping\time-division duplex и се използва с бързо скачаща скорост от 1,600 hops/s.
- Времето между 2 hops се нарича slot, като интервала е от 625 μ s. Така всеки слот използва различна честота.
- Схемата “посещава” всяка подносителна (hop carrier) с еднаква вероятност.
- Всички устройства в една *piconet* следват една и съща hopping последователност с еднаква фаза.

Topology	Up to 7 simultaneous links
Modulation	Gaussian filtered FSK
RF bandwidth	220 kHz (-3 dB), 1 MHz (-20 dB)
RF band	2.4 GHz ISM frequency band
RF carriers	79 (23 as reduced option)
Carrier spacing	1 MHz
Access method	FHSS-TDD-TDMA
Freq. hop rate	1600 hops/s

Режими за съхраняване на енергия

За да се съхрани мощността на батерията, Bluetooth устройството може да бъде в 3 състояния за намаляване на мощността когато няма данни за изпращане:

- **PARK state:** Устройството има най-нисък цикъл на заетост и най-малко потребление на енергия. Устройството освобождава своя MAC адрес, но остава синхронизирано с Piconet. То периодично слуша трафика на главното устройство да ресинхронизация и проверява за broadcast съобщения.
- **HOLD state:** Консумацията на енергия на това състояние е малко по-висока. Устройството не освобождава MAC адреса си и може да възобнови изпращането веднага след излизане от състоянието на
- **SNIFF state:** Това е с най-висока консумация на енергия от трите. Устройството слуша Piconet при намалена скорост.



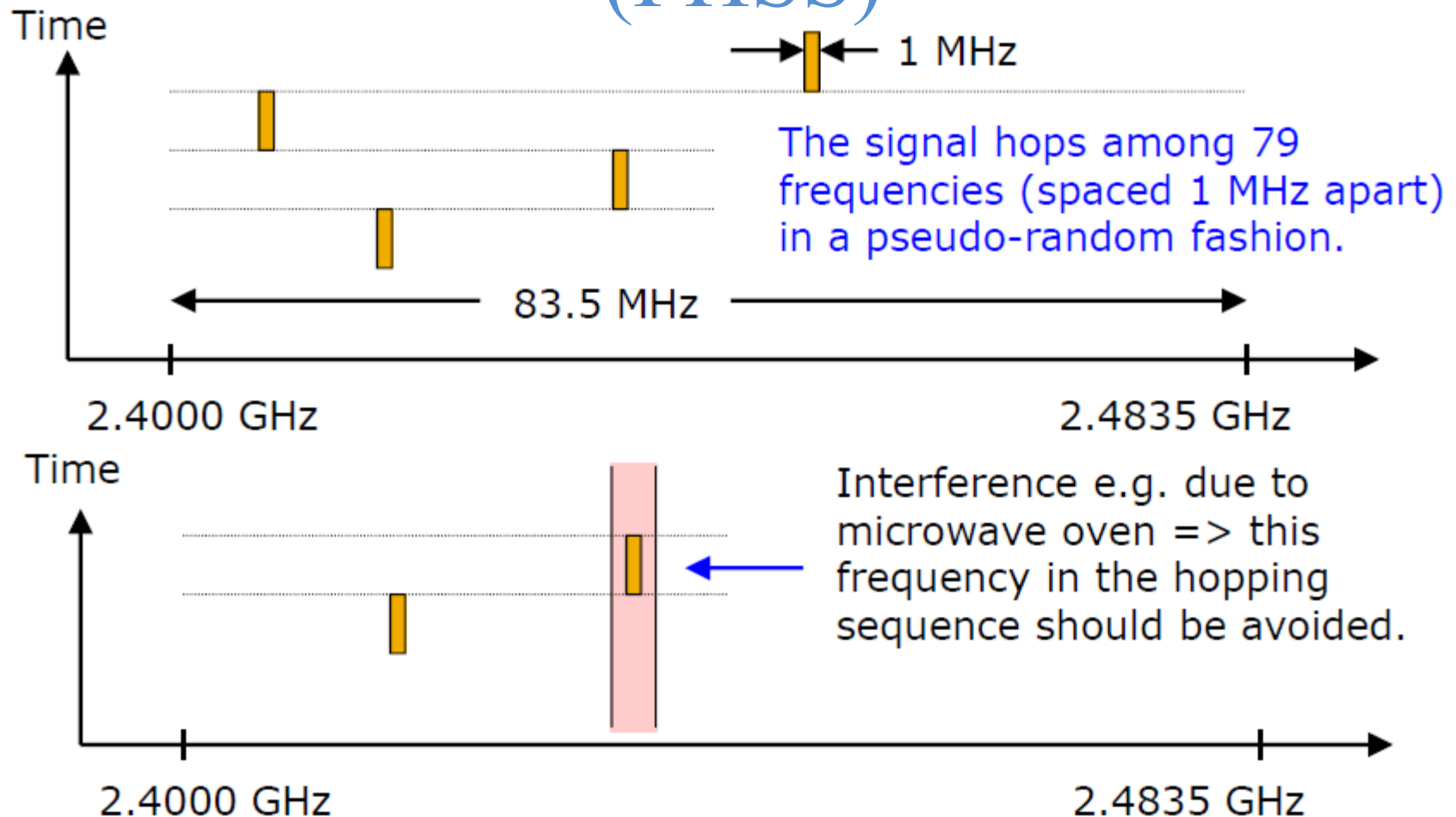
МАС слой

Предлага механизъм за контрол на достъп до среда в Bluetooth система:

- Всички Bluetooth устройства могат да бъдат master или slave.
- Едно устройство става master, а останалите са slave.
- Master-ът контролира достъпа до средата и определя hopping последователност и фазата на последователността.

Topology	Up to 7 simultaneous links
Modulation	Gaussian filtered FSK
RF bandwidth	220 kHz (-3 dB), 1 MHz (-20 dB)
RF band	2.4 GHz ISM frequency band
RF carriers	79 (23 as reduced option)
Carrier spacing	1 MHz
Access method	FHSS-TDD-TDMA
Freq. hop rate	1600 hops/s

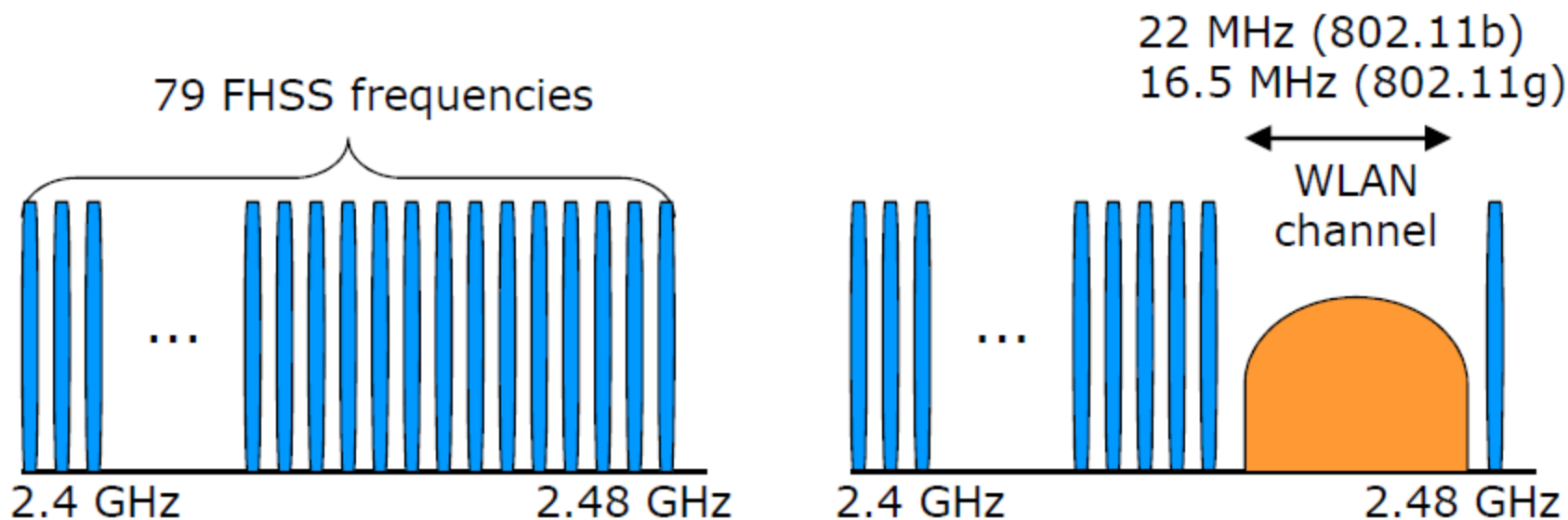
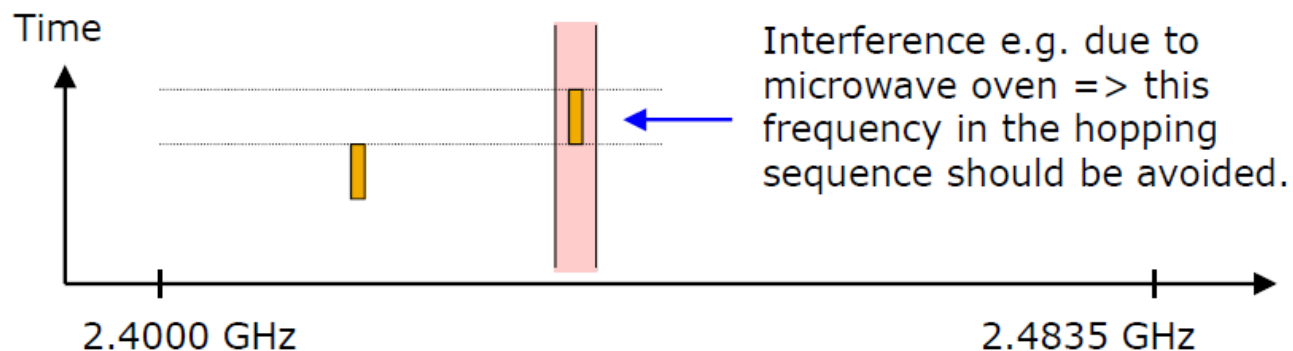
Frequency hopping spread spectrum (FHSS)



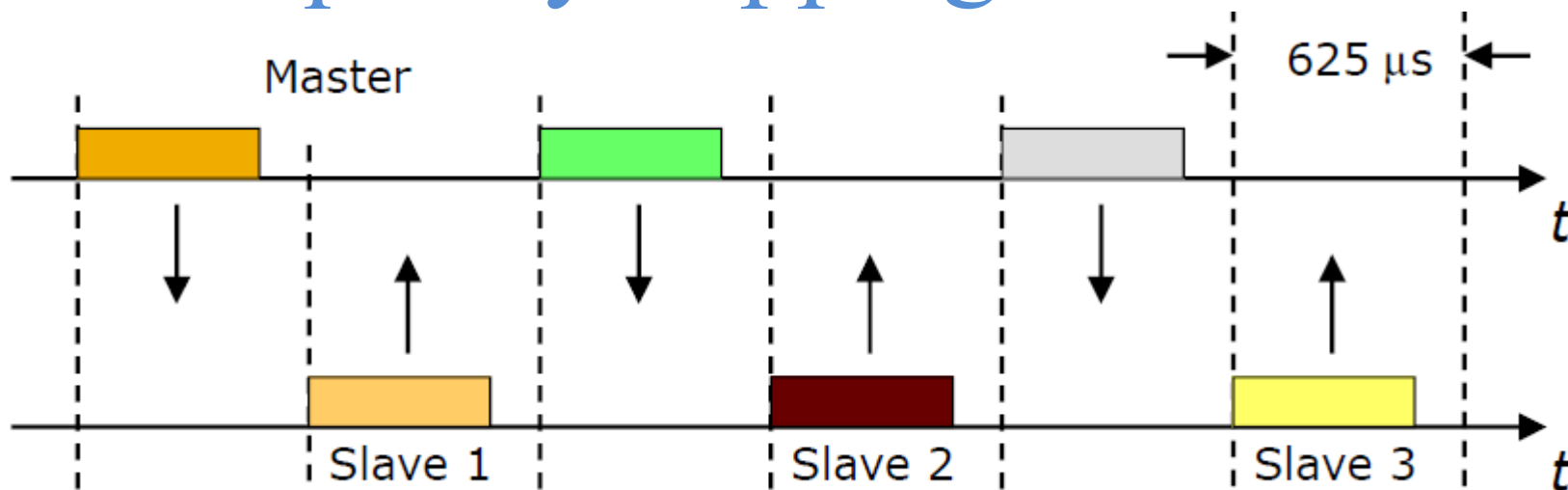
- full-duplex сигнал с номинална скорост 1600 hops/s
- Адаптивна схема – за избягване на интерференцията (от bluetooth 1.2)

Adaptive FHSS

- За избягване на микровълнови печки, wifi мрежи...

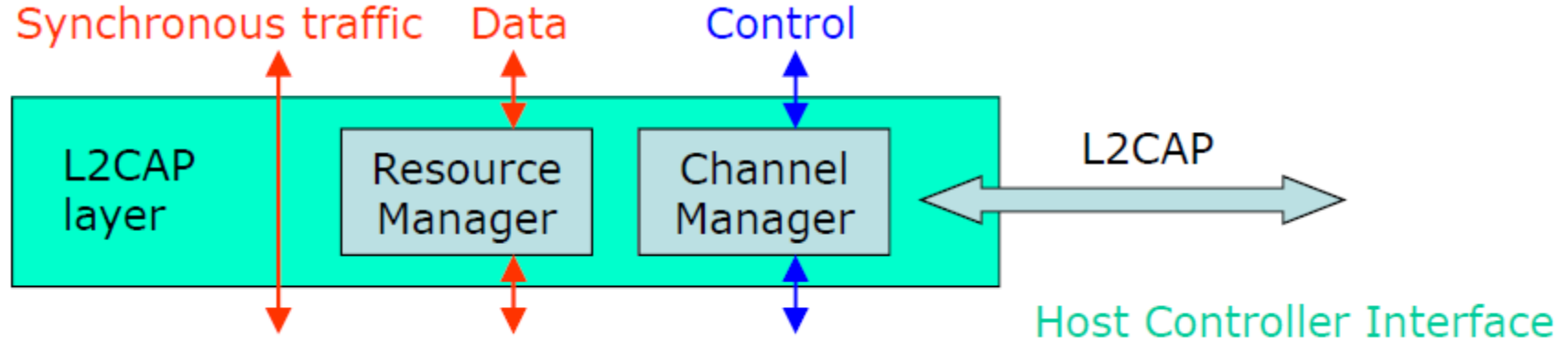


Frequency hopping - действие



- Master-ът определя hopping последователност и фазата на последователността.
- Slaves се синхронизират с тази последователност по 2 начина:
 - **Synchronous connection-oriented (SCO)** - разпределя фиксирана bandwidth за връзката point-to-point между master и slave. До 3 връзки едновременно са допустими в piconet. Гарантираната скорост се постига с резервиране на слотове през регулярни интервали. Обикновено 2 последователни слота- 1 за предаване и 1 за приемане.
 - **Asynchronous connectionless / connection-oriented (ACL)** при point-to-multipoint връзка от master към всички slaves. Само 1 такава връзка е допустима в piconet. Не се резервира bandwidth, но доставката се гарантира с корекция на грешката и препредаване. Пакетите са от 1,3,5 слота. Могат да се предават защитено (от горен слой) и незащитено с код за forward error correction (FEC).

L2CAP слой

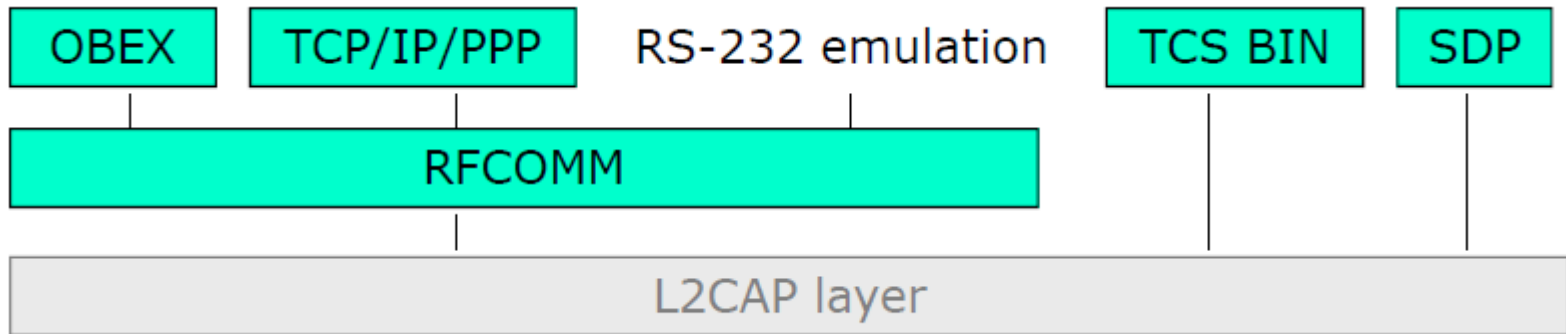


Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP) слой се грижи за:

- мултиплексиране на протоколи от по-горен слой
- сегментиране и ре-асемблиране на големи пакети

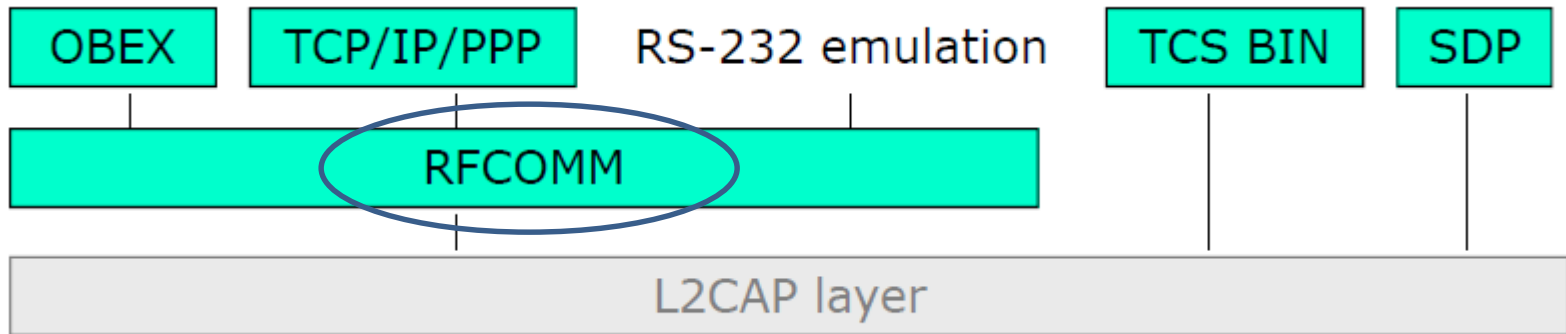
L2CAP осигурява connectionless и connection-oriented услуги.

Горни слоеве



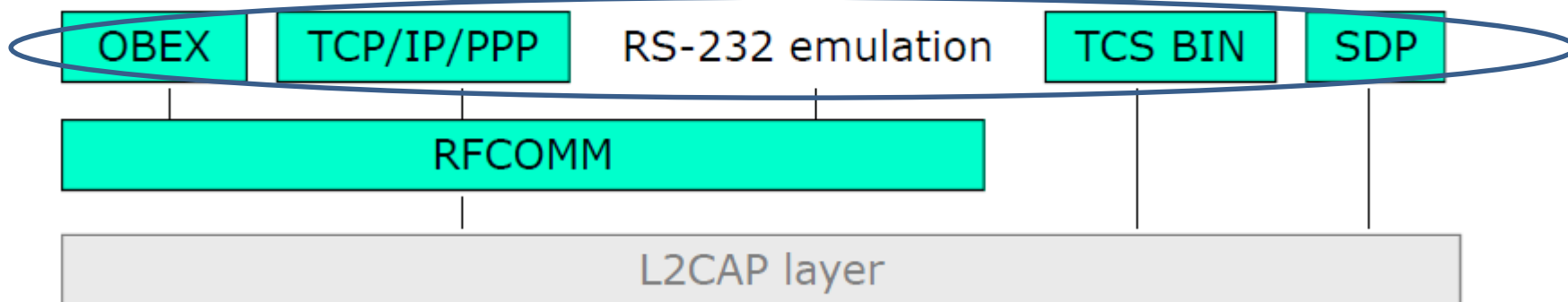
- Работата на по-горните слоеве на протокола е извън обхвата на стандарта IEEE 802.15.1, но са включени в Bluetooth SIG стандарта.
- Използването им зависи от конкретното приложение на Bluetooth .

Горни слоеве



- Radio Frequency COMMunication protocol (RFCOMM) позволява замяната с безжични връзки на кабели за сериен порт (RS-232 контролни сигнали като TxD, RxD, CTS, RTS, и т.н.).
- Няколко десетки серийни порта може да са мултиплексирани в едно Bluetooth устройство.

Горни слоеве

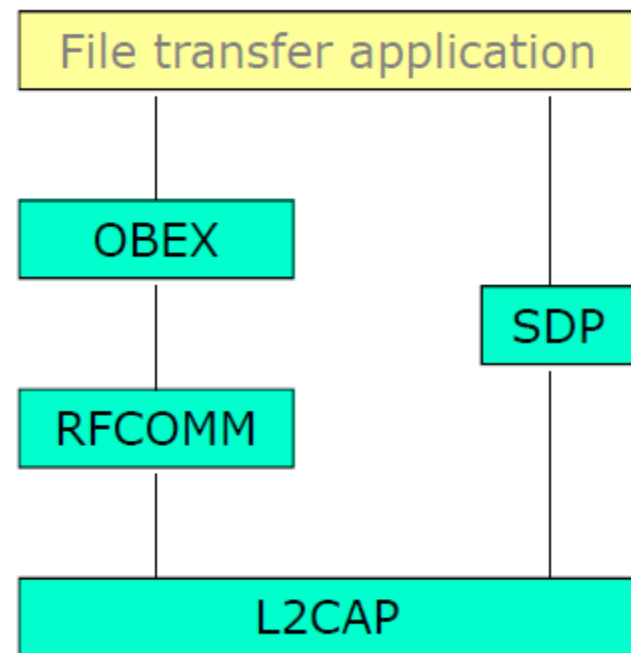


- **TCP / IP базирани приложения** – ако информация се прехвърля с помощта на протокола за безжични приложения (WAP), в Bluetooth устройства работи с помощта на Point-to-Point Protocol (PPP) върху RFCOMM.
- **Object Exchange Protocol (OBEX)** е сесиен протокол за обмен на обекти - за телефонен указател, календар, за синхронизация на съобщения, за трансфер на файлове между свързаните устройства.
- **Telephony control specification - binary protocol (TCS BIN)** определя сигнализация за повикване- контрол за установяване на глас и данни обмен между Bluetooth устройства.
- **Service Discovery Protocol (SDP)** се използва, за достъп до определено устройство (например цифров фотоапарат) и да изтегли неговите характеристики, или да се получи достъп до специфично приложение (заявка за печат) и да се намерят устройства, които поддържат това приложение.

Трансфер на файлове

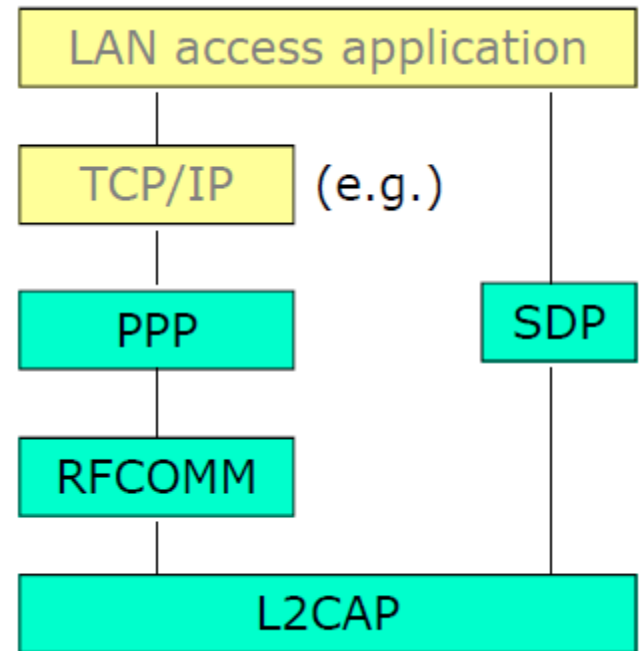
Bluetooth устройство:

- може да разглежда файловата система на друго Bluetooth устройство
- може да манипулира обекти (изтриване на обекти) на друго Bluetooth устройство
- може да прехвърля файлове между Bluetooth устройства.



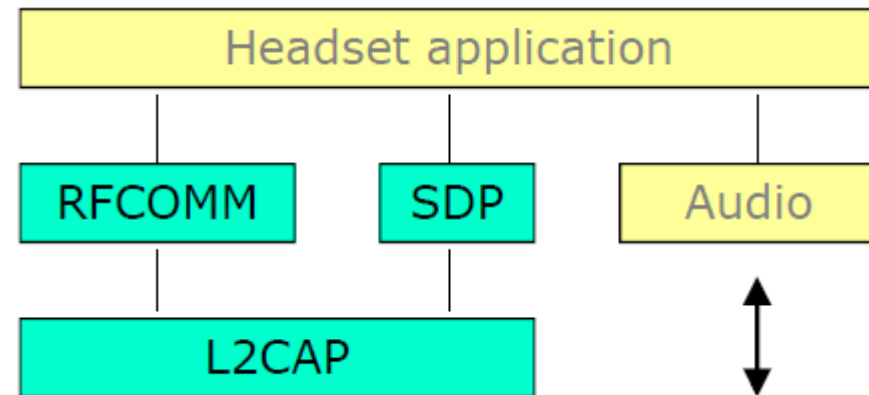
Достъп до LAN

- Bluetooth устройство може да достъпва LAN услуги, използващи TCP / IP протокол стека над PPP.
- Щом е свързано устройството към LAN мрежата, то работи като свързано с кабел към нея.



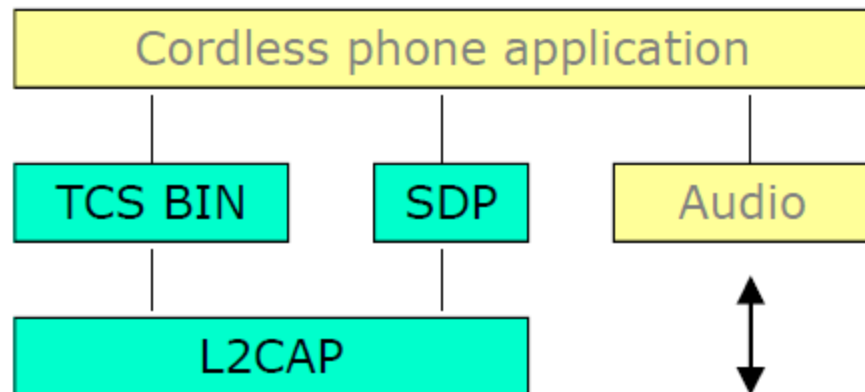
Слушалки

- Bluetooth-съвместими слушалки може да се свържат безжично към компютър или мобилен телефон, предлагащ full-duplex audio входно-изходен механизъм.
- Това използване на Bluetooth се нарича **ultimate headset**.



Безжични телефони

- Bluetooth устройството може да създаде телефонни разговори за потребители в PSTN (зад компютър, работещ като гласова базова станция) или да се получават повиквания от PSTN.
- Bluetooth устройствата така може да комуникират директно едно с друго.



Въпроси ?

Благодаря за вниманието !

Въпроси

- От къде произлиза името bluetooth? А логото?
- Кои компании стартират проекта за създаване на bluetooth?
- Какви са характеристиките на WPAN мрежа, заложиени в стандарта 802.15?
- Какви са характеристиките на bluetooth?
- Кои са актуалните версии на bluetooth? По какво се различават?
- Има ли колизии при bluetooth? Кога?
- На каква честота работи bluetooth? С какви скорости?
- Как изглежда протоколния стек при bluetooth?
- Кои протоколи се ползват при трансфер на файлове? А при слушалки? А при безжични телефони? А за достъп до LAN?
- Какви режими за съхраняване на енергия при bluetooth познавате?
- Какво е специфично за физическия слой при bluetooth? А за MAC слоя?
- Представете графично топологиите при bluetooth. Какви са предимствата/недостатъците им?
- Кои са стъпките при установяване на bluetooth връзка?
- Какви примерни модели на употреба на bluetooth познавате? С кои протоколи от протоколния стек работят те?