
Comunicações Móveis

André Mendes

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia



O que é o Bluetooth

- Tecnologia WLAN.
- Destina-se a redes ad-hoc (sem a necessidade de uma infraestrutura) de curto alcance e baixo custo.
- Usada para interligar dispositivos próximos uns dos outros de modo rápido, sem a necessidade de cabos nem de uma rede sem fios estruturada.
- Alcance típico de 10 m.
- Tem um débito típico de 1Mbit/s (partilhado).
- Suporta modo síncrono (voz) e assíncrono (dados).
- Própria para a criação de pequenas redes pessoais (*wireless personal area networks* – WPAN).



História

- 1994: *Ericsson* inicia estudos em volta de uma interface sem fios para a ligação de acessórios aos seus telemóveis.
- O projecto é renomeado Bluetooth em memória do rei da Dinamarca Harald Gormsen conhecido como “Blåtand” (em inglês bluetooth).
- 1998: fundação do Bluetooth SIG (*Special Interest Group*).
- 1999: lançamento da versão 1.0 do Bluetooth.
- 2001: primeiros produtos comerciais para mercados de massas com Bluetooth.
- 2002: mais empresas e instituições de investigação juntam-se ao Bluetooth SIG.



3

Bluetooth SIG

- É uma associação de empresas de computação e indústrias de telecomunicações que trabalham juntas para o desenvolvimento da tecnologia Bluetooth.
- Fundada em 1998 pela *Ericsson, Intel, IBM, Nokia e Toshiba*.
- Em 1999 juntaram-se a *Microsoft, Lucent, Motorola e 3Com*.
- O objectivo inicial foi desenvolver uma tecnologia de redes sem fios de baixo custo e suportada num único chip.
- Foi daqui que nasceu a especificação Bluetooth.
- Actualmente conta com mais de 2500 participantes associados.



4

Bluetooth vs IrDA

- Neste momento muitos dos equipamentos electrónicos portáteis possuem uma interface IrDA (*Infrared Data Association*)
 - Exemplo: Telemóveis comunicam com Laptops por IrDA e fazem de modems.
- Limitações do IrDA:
 - Alcance limitado, tipicamente 2 m.
 - Necessidade de comunicação em *line-of-sight*.
 - Geralmente limitado a 2 participantes.
- O Bluetooth soluciona todas elas:
 - Alcance de 10 m (em média) em torno do dispositivo.
 - Número ilimitado de participantes.
- O Bluetooth pretende, entre outras coisas, ser um substituto do IrDA.



5

Bluetooth vs IEEE 802.11

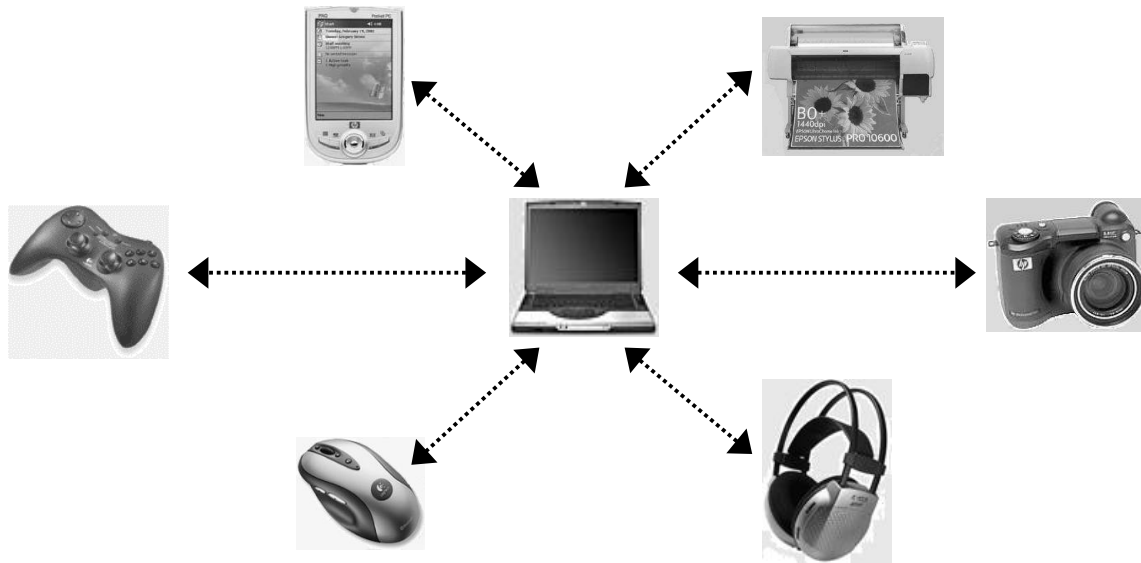
- IEEE 802.11:
 - Criação de redes informáticas
 - Débitos de 11/22/54 Mbit/s
 - Alcance máximo de 100 m
 - Disponível em PCs (tipicamente portáteis) e eventualmente PDAs
- Bluetooth:
 - Criação de redes pessoais ad-hoc
 - Débito de 1 Mbit/s
 - Alcance típico de 10 m entre dispositivos
 - Disponível em PCs, telemóveis, máquinas fotográficas, PDAs, leitores mp3 e todos os periféricos de um PC (impressoras, scanner, mouses, teclados, joypads)



6

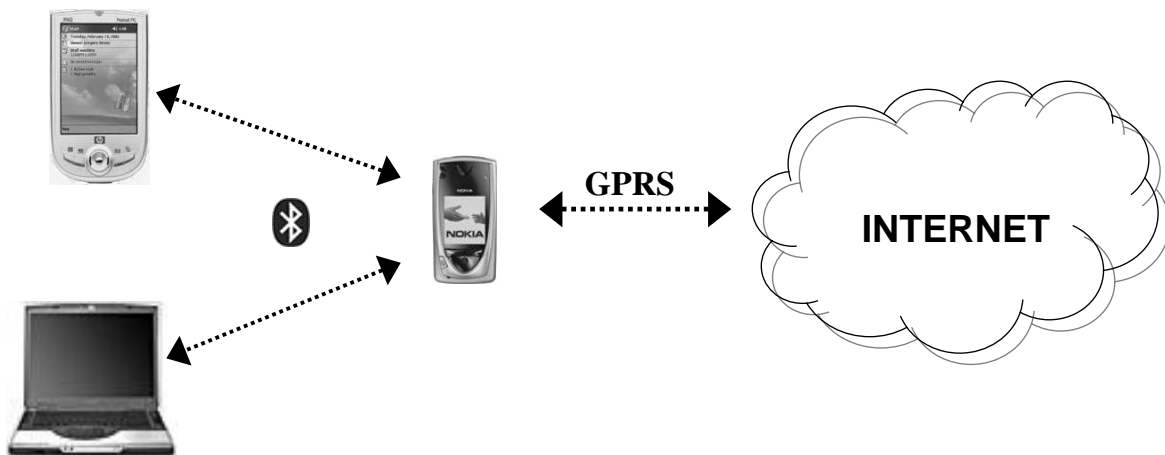
Aplicações

Ligação de periféricos a um PC



Aplicações

Acesso à Internet em qualquer local



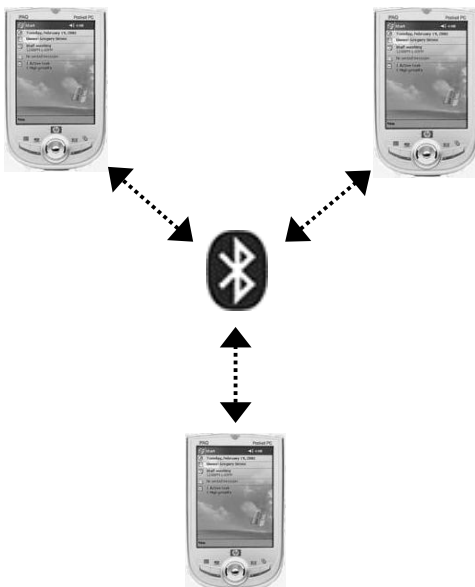
Aplicações

Interligação entre máquinas fotográficas e telemóveis



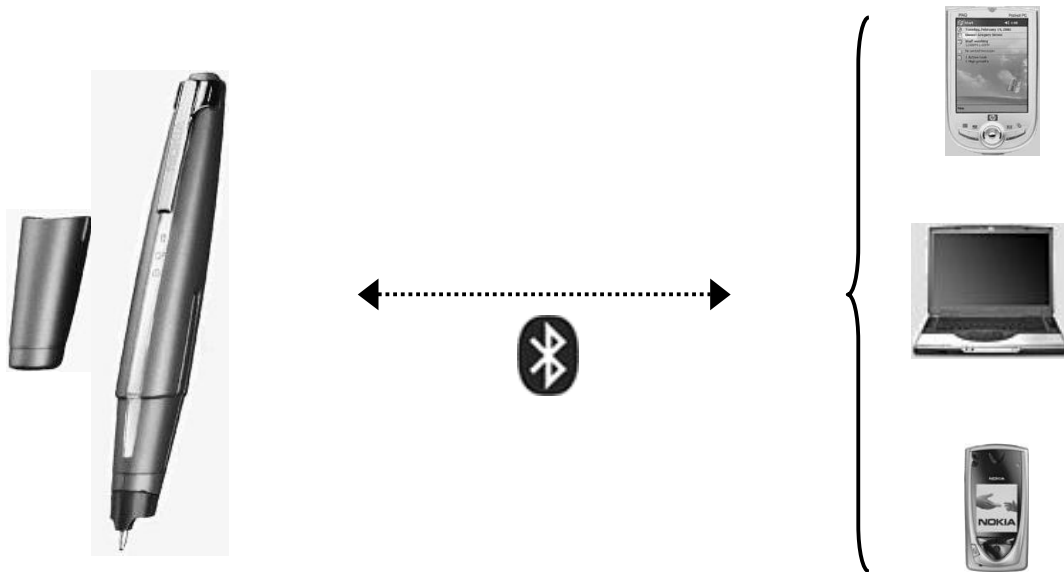
Aplicações

Reuniões de grupos



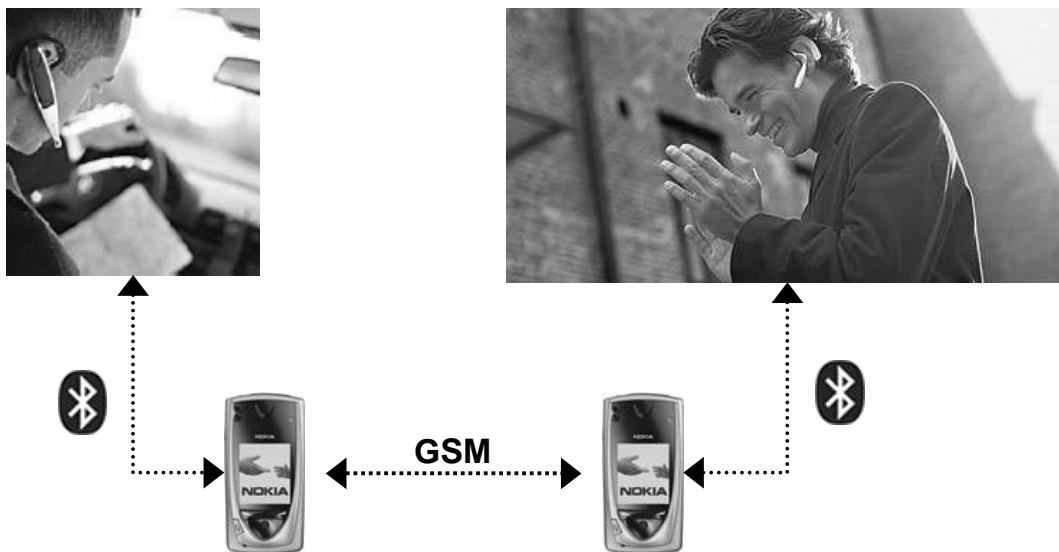
Aplicações

Caneta Bluetooth



Aplicações

Auriculares para telemóveis



Piconets: definição

- Cada dispositivo tem um ID universal de 48 bits.
- Para a transmissão de dados o bluetooth utiliza FHSS (*frequency hopping spread spectrum*) com 79 canais separados por 1MHz, na banda de 2.4 GHz.
- Salto rápido de frequências de 1600 saltos/s com uma dada “hopping sequence” (**HS**).
- **Piconet** é um conjunto de dispositivos sincronizados com a mesma **HS**.
- TDD (*time-division duplex*) para separação dos sentidos de transmissão (nunca há dois dispositivos a transmitir no mesmo intervalo de tempo).
- Oferece pouco menos de 1 Mbit/s partilhado por todos os dispositivos.



13

Piconets: características

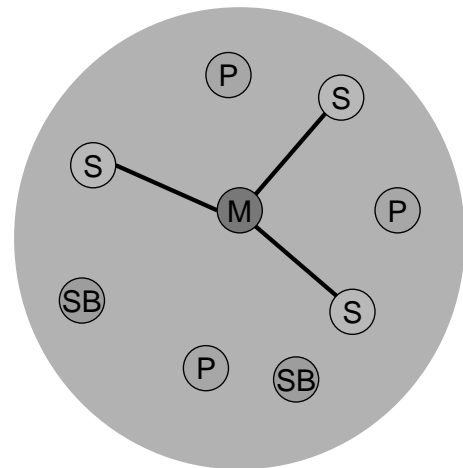
- 1 dispositivo é **master (M)** e todos os outros **slaves (S)**.
- O master impõe a **HS** que é determinada exclusivamente pelo seu ID.
- Cada piconet é caracterizada exclusivamente pela sua **HS** e um dispositivo que se queira ligar à piconet apenas tem de se sincronizar com a ela.
- Cada piconet tem 1 master e no máximo 7 slaves activos.
- Podem existir ainda dispositivos **parked (P)** que fazem parte da piconet, mas estão momentaneamente inactivos.
- Quando um **P** quer comunicar e já existem 7 dispositivos **S**, um destes troca de estado com o **P**.



14

Piconets: características

- Dispositivos em stand-by (**SB**) são dispositivos que não fazem parte da piconet porque não estão sincronizados com a **HS**.
- Cada dispositivo activo é caracterizado por um endereço de 3 bits (AMA).
- Cada dispositivos parked por um endereço de 8 bits (PMA).
- Todos os dispositivos têm capacidade idêntica. Qualquer um pode ser **M**, **S** ou **P**.



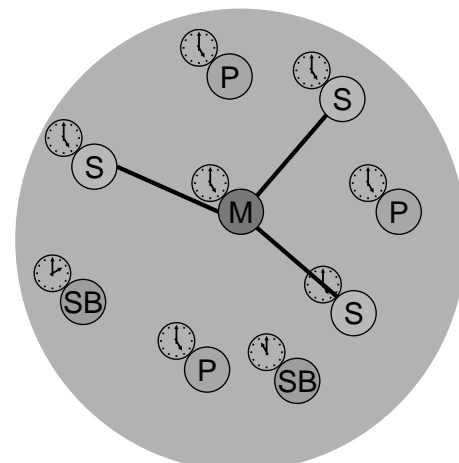
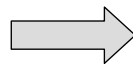
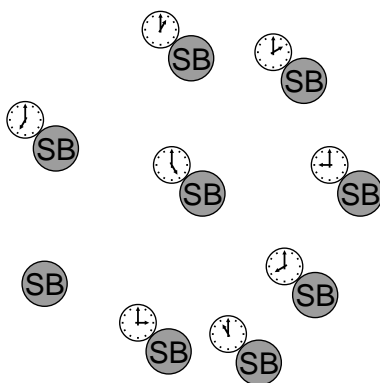
M=Master P=Parked
S=Slave SB=Stand-by



15

Piconets: inicialização

1. Um dispositivo envia o seu clock e o seu ID (**Inquiry**).
2. Esse fica **M** e os outros serão **S**.
3. Dispositivos à procura de uma piconet sincronizam-se (**Paging**).
4. Atribuição do AMA aos **S** e dos PMA aos **P** dinamicamente.



16

Scatternets: definição

- Cada piconet oferece 1Mbit/s. Se o número de dispositivos aumenta o débito disponível para cada um pode tornar-se excessivamente baixo.
- Por outro lado temos apenas uma HS e por isso todos os dispositivos na piconet estão sincronizados sempre no mesmo canal, em cada instante.
- A solução é a criação de scatternets.
- **Scatternet** é um conjunto de piconets separadas por FH-CDMA. Cada piconet do conjunto tem uma HS própria sempre determinada pelo seu master.
- Podem ocorrer colisões porque as HSs não estão coordenadas (quanto maior o número de piconets maior a probabilidade de colisão).



17

Scatternets: características

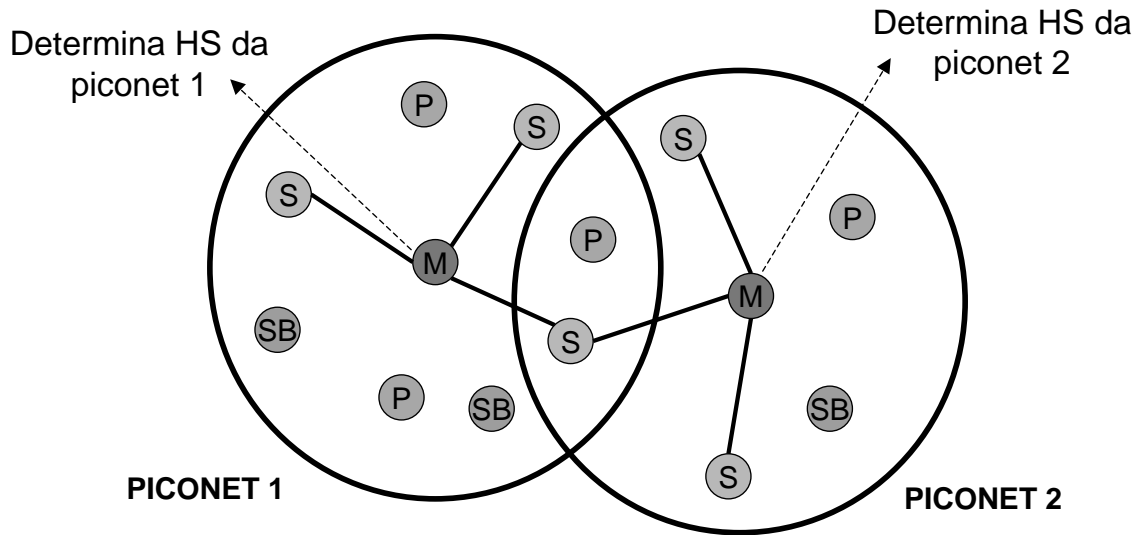
- Maior aproveitamento da banda de 80 Mhz.
- Um dispositivo pode participar em várias piconets
 1. Informa o master que vai estar ausente temporariamente.
 2. Sincroniza-se com a HS da piconet a que quer pertencer.
 3. Abandona a piconet actual.
- Se o dispositivo a trocar de piconet for o próprio master então o passo 1 não se aplica e o tráfego da piconet inicial fica suspenso para todos os dispositivos intervenientes.
- Um dispositivo nunca pode ser master nas duas piconets porque a HS seria idêntica em ambas.
- A comunicação entre piconets dá-se com os dispositivos que saltam entre elas.



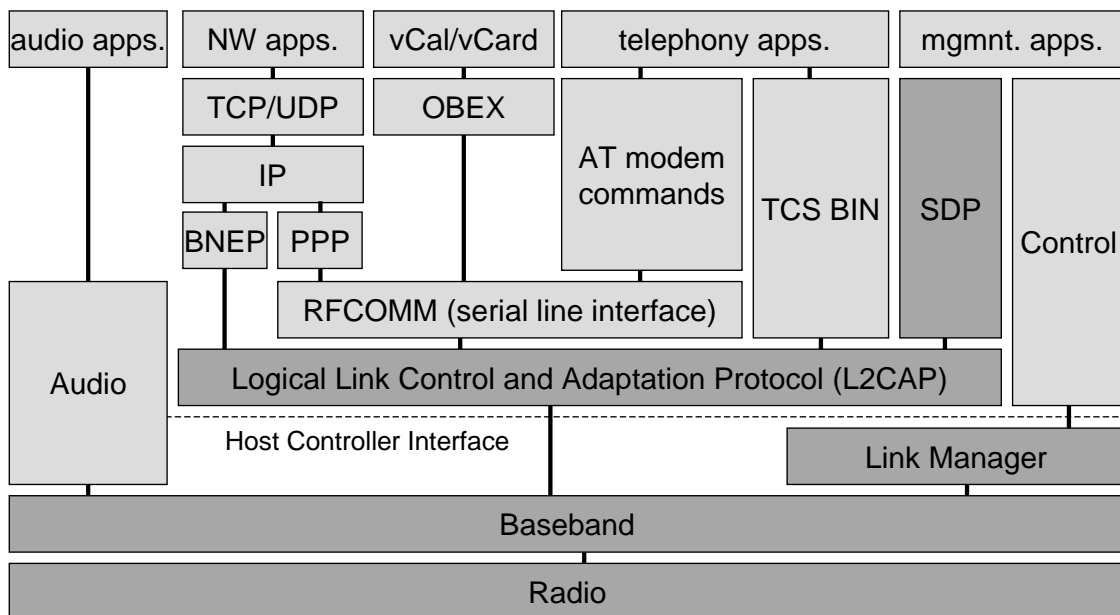
18

Scatternet: exemplo

- 2 piconets, cada uma com capacidade inferior a 1 Mbit/s.
- Um dispositivo que participa nas duas.



Pilha protocolar



AT: attention sequence
 OBEX: object exchange
 TCS BIN: telephony control protocol specification – binary

SDP: service discovery protocol
 RFCOMM: radio frequency comm.
 BNEP: Bluetooth network encapsulation protocol



Radio

- Opera na banda ISM 2.4 GHz (banda livre)
- Salto rápido de frequências de 1600 saltos/s dentro de 79 canais separados por 1MHz
- Slot de 625 μ s (tempo entre saltos)
- FHSS para separação de outros sistemas
- FH-CDMA para separação de piconets
- TDD para separação dos sentidos de transmissão
- Modulação FSK Gaussiana
- 3 classes de potência:
 1. Potência máxima são 100 mW e mínima 1 mW. Alcance típico de 100 m sem obstáculos. Requer controlo de potência.
 2. Potência máxima são 2.5 mW, nominal 1 mW e mínima 0.25 mW. Alcance típico são 10 m. Controlo de potência opcional.
 3. Potência máxima é 1 mW.



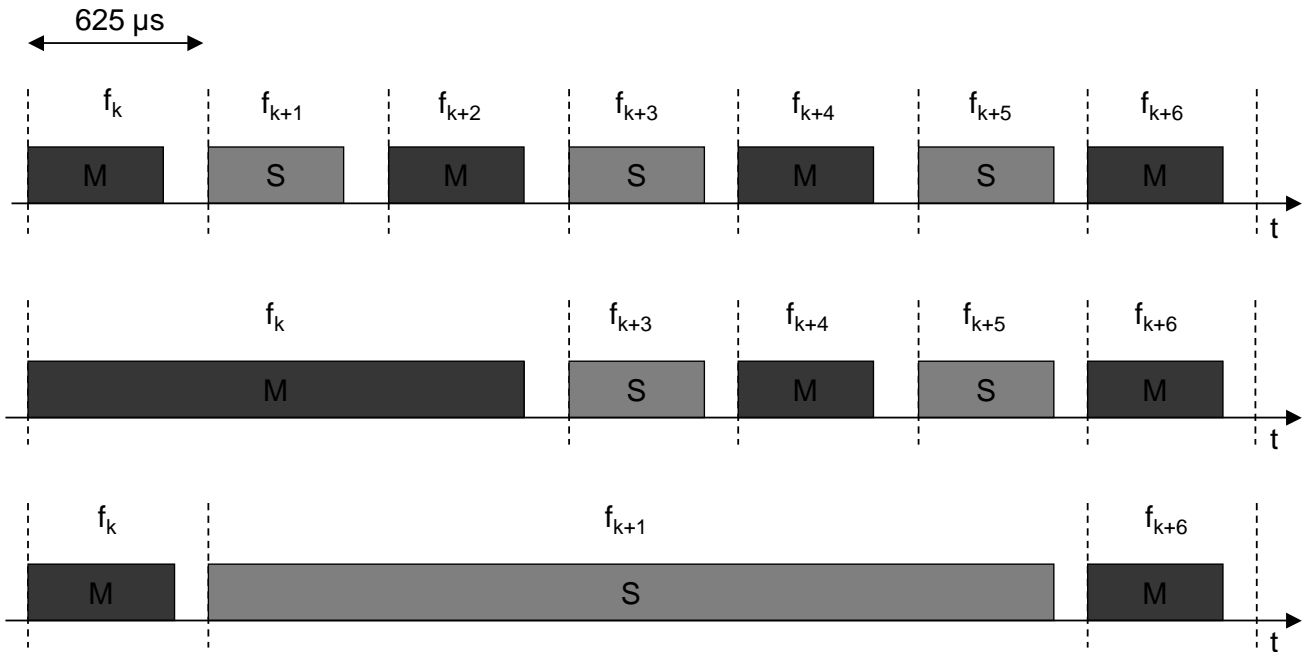
Baseband: descrição

- Funções:
 - Sincronização com a HS
 - Sincronização temporal
 - Estabelecer e terminar as ligações físicas entre dispositivos
 - Definir o formato dos pacotes no nível mais baixo
 - Detecção e correcção de erros
- Comprimento dos pacotes no layer baseband:
 - Há pacotes de 1-slot, 3-slots ou 5-slots consoante o débito.



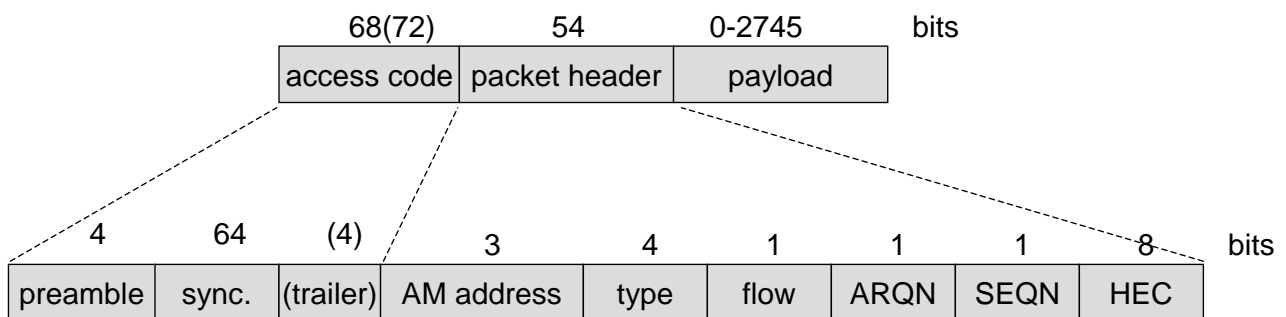
Baseband: exemplo

Exemplo de transmissão de pacotes



Baseband: pacotes

Formato dos pacotes do baseband



Baseband: pacotes

- Formato dos pacotes do baseband (continuação)
 - Access code: Geralmente para sincronização temporal e identificação de piconet. Toma códigos diferentes durante o estabelecimento da piconet.
 - Packet Header:
 - **active member adress** (AMA): Endereço de 3 bits atribuídos dinamicamente aos slaves.
 - **type**: Tipo do pacote.
 - **flow**: Controlo de fluxo de para transmissão assíncrona. Se flow=0 o envio de tráfego deve parar. Se flow=1 pode recomeçar.
 - **ARQN/SEQN**: ultimo recebido/ultimo enviado.
 - **header error control** (HEC): Usado para protecção do cabeçalho.
 - Todo o cabeçalho é ainda protegido com um FEC 1/3.
 - Payload: Até 343 bytes de informação. A estrutura depende do tipo de ligação.



Baseband: ligações

- Tipos de ligações físicas
 - SCO: Synchronous connection-oriented
 - Master reserva 2 slots consecutivos em intervalos de tempo fixos.
 - Master suporta até 3 ligações SCO.
 - Slave suporta 2 ligações SCO de masters diferentes ou 3 do mesmo.
 - Estão definidos 3 tipos de pacotes só para audio (HV) e um de audio+dados (DV). São todos de 1 slot.

	payload (30)				
HV1	audio (10)	FEC (20)			
HV2	audio (20)		FEC (10)		
HV3	audio (30)				
DV	audio (10)	header (1)	payload (0-9)	2/3 FEC	CRC (2)

(bytes)

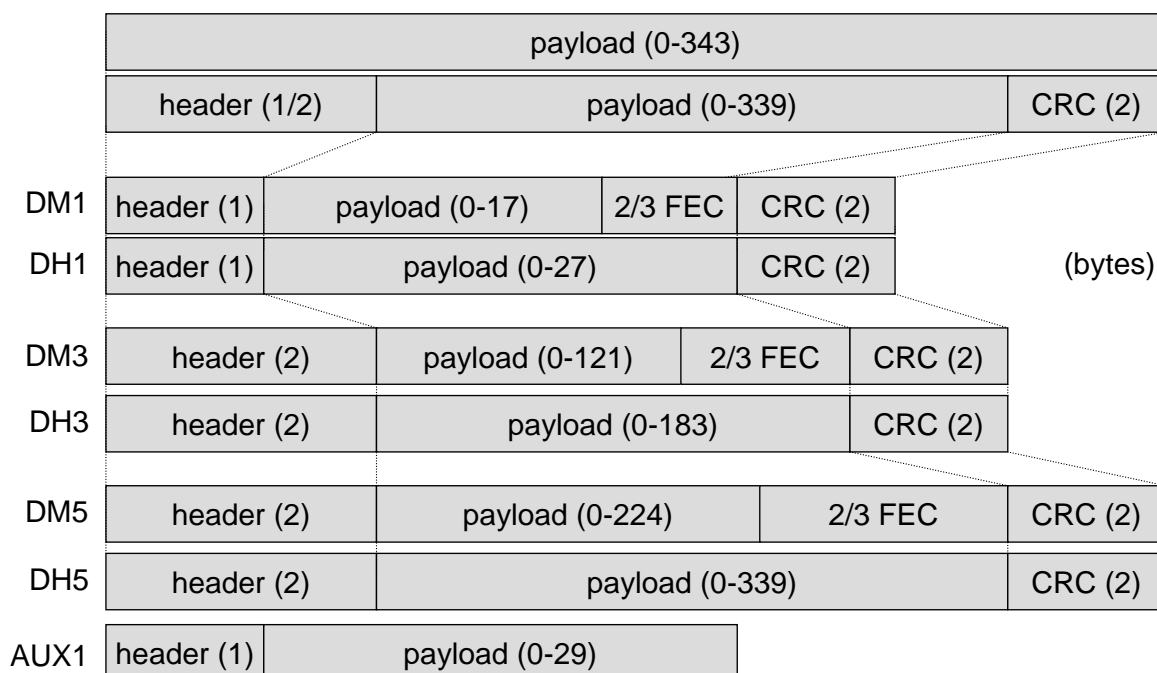


Baseband: ligações

- ACL: Assynchronous connection link
 - Uma só ligação ACL entre um master e um slave.
 - São suportados pacotes de 1, 3 ou 5 slots
 - Suporta inclusão de 2/3 FEC
 - Header contém:
 - Identificador de canal lógico da camada superior L2CAP
 - Controlo de fluxo ao nível da camada L2CAP
 - Comprimento do campo de dados dados
 - Todos os pacotes tem um CRC de 2 bits (com excepção do pacote AUX1)



Baseband: ligações



LMP: Link Manager Protocol

- Gere alguns aspectos da ligação radio entre dispositivos.
- Esconde das camadas superiores os detalhes da criação e gestão das ligações físicas e oferece-lhes uma interface mais completa e organizada.
- No entanto, se elas preferirem, podem sempre usar a baseband directamente.
- Grupos de funções realizadas:
 - Autenticação, pairing e encriptação
 - Sincronização
 - Negociação de capacidades
 - QoS
 - Controlo de potência
 - Supervisão das ligações
 - Alteração do estado do dispositivo



LMP: criação de piconets

- Qualquer dispositivo ligado mas que não esteja a participar em nenhuma piconet está no modo stand-by.
- Inquiry:
 - O dispositivo que toma a iniciativa envia mensagens de notificação. São pacotes baseband apenas com o access code **IAC**. Esse dispositivo será o master.
 - Os dispositivos em stand-by entram periodicamente no modo inquiry à procura de mensagens **IAC**. Quando recebem essa mensagem respondem enviando o seu ID.
- Paging:
 - Com base no ID recebido o master comunica com cada slave que respondeu individualmente e envia-lhe as informações de sincronização (clock e ID do master).
 - O master cria agora as ligações SCO e ACL pretendidas com cada slave.



L2CAP: descrição

- Protocolo de controlo das ligações lógicas.
- Oferece as ligações lógicas com determinados parâmetros de QoS às camadas superiores.
- Só está disponível para ligações ACL. As aplicações audio com ligações SCO usam directamente a baseband.
- Atribui um CID (*channel identifier*) a cada ligação criada.
- O CID é criado localmente e por isso é em geral diferente nos dois extremos da ligação.
- Realiza a segmentação/reconstrução de pacotes demasiado grandes, quando necessário.
- Oferece 3 tipos de ligações diferentes.



31

L2CAP: tipos de ligações

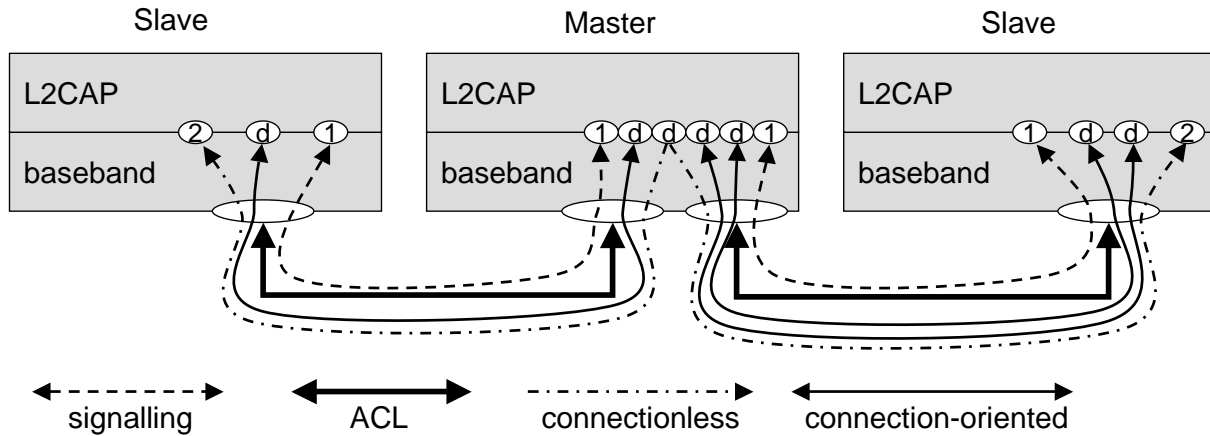
- Normal:
 - Cada ligação deste tipo é bidirecional e suporta a especificação de parâmetros de QoS.
 - O CID é atribuído dinamicamente em ambas as extremidades e tem um valor entre 64 e 65535.
- Sem-conexão:
 - Unidirecional tipicamente usada para broadcasts.
 - CID tem sempre o valor 2 do lado do receptor.
 - CID é atribuído dinamicamente do lado do emissor.
- Sinalização:
 - Usada para mensagens de sinalização entre dispositivos, ao nível L2CAP.
 - CID tem sempre o valor 1 nas duas extremidades.



32

L2CAP: exemplo

Exemplo de ligações lógicas



L2CAP: pacotes

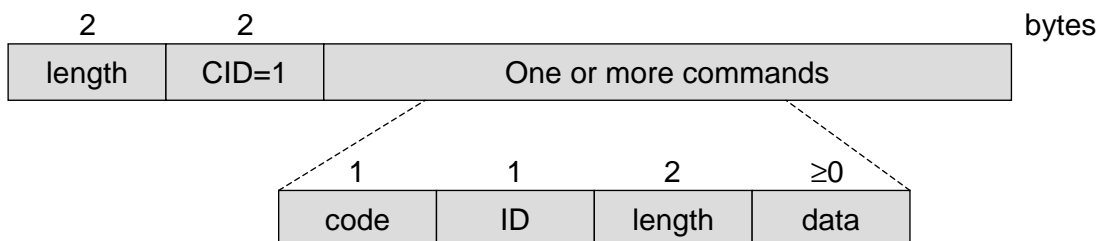
PDU sem-conexão



PDU Normal



PDU de comando de sinalização



SDP: Service Discovery Protocol

- Mecanismo de detecção de serviços disponíveis por dispositivos bluetooth nas proximidades.
- Arquitectura cliente/servidor
 - O dispositivo a oferecer o serviço tem de correr um servidor SDP para esse serviço.
 - Dispositivo que quer usar o serviço apenas tem de ter um cliente SDP.



Protocolos Profile

- RFCOMM: radio frequency comm
 - Emulação de porta série segundo a norma EIA-232.
 - Suporte de múltiplas portas séries sobre uma única ligação física.
- TCS BIN: telephony control protocol specification – binary
 - É usado por aplicações telefónicas. Adapta a sinalização telefónica convencional ao bluetooth.
- AT modem commands
 - Oferece uma interface às aplicações telefónicas de modo a emular um modem.
- PPP/BNET:
 - Protocolos de encapsulamento que permitem a adaptação da pilha protocolar TCP/IP a dispositivos bluetooth.



Protocolos Profile

- OBEX: object exchange protocol
 - Permite a troca de cCard/vCalendar de modo semelhante às interfaces IrDA
- Audio
 - Após a codificação de sinais de audio, as aplicações podem usar directamente a camada baseband.