



Comunicações Móveis



Bluetooth™

Maio de 2003

Manuel João Bacelar Coimbra
Mário Jorge Costa Afonso



Porque *Bluetooth*?

A *Ericsson*, o principal mentor deste projecto usou o nome do rei *Harald Blatand* (910-987*), filho de *Gorm*, que conseguiu unir a Dinamarca e a Noruega.

Bluetooth é a tradução para o Inglês de *Blatard*.

Este parecia um bom nome para uma tecnologia que visa unir um sem numero de aparelhos de diversos fabricantes



*(Não é conhecido o ano exacto para o nascimento deste, mas pode-se estimar algures entre 906 e 910 DC)



SIG

Special Interest Group

- O SIG é um grupo de companhias que trabalham juntas com o intuito da promoção e definição das especificações do *Bluetooth*.
- Criado em Fevereiro de 1998, pela *Ericsson, Intel, IBM, Toshiba e Nokia*.
- A versão 1.0 do *Bluetooth* foi lançada em Julho de 1999 no site:

<http://www.bluetooth.com/>

- Em Dezembro do mesmo ano este grupo cresceu com a parceria de 4 novas grandes empresas: *Microsoft, Lucent, 3Com e Motorola*.



Quem é Bluetooth?

Nove promotores



E mais de 2000 membros do SIG



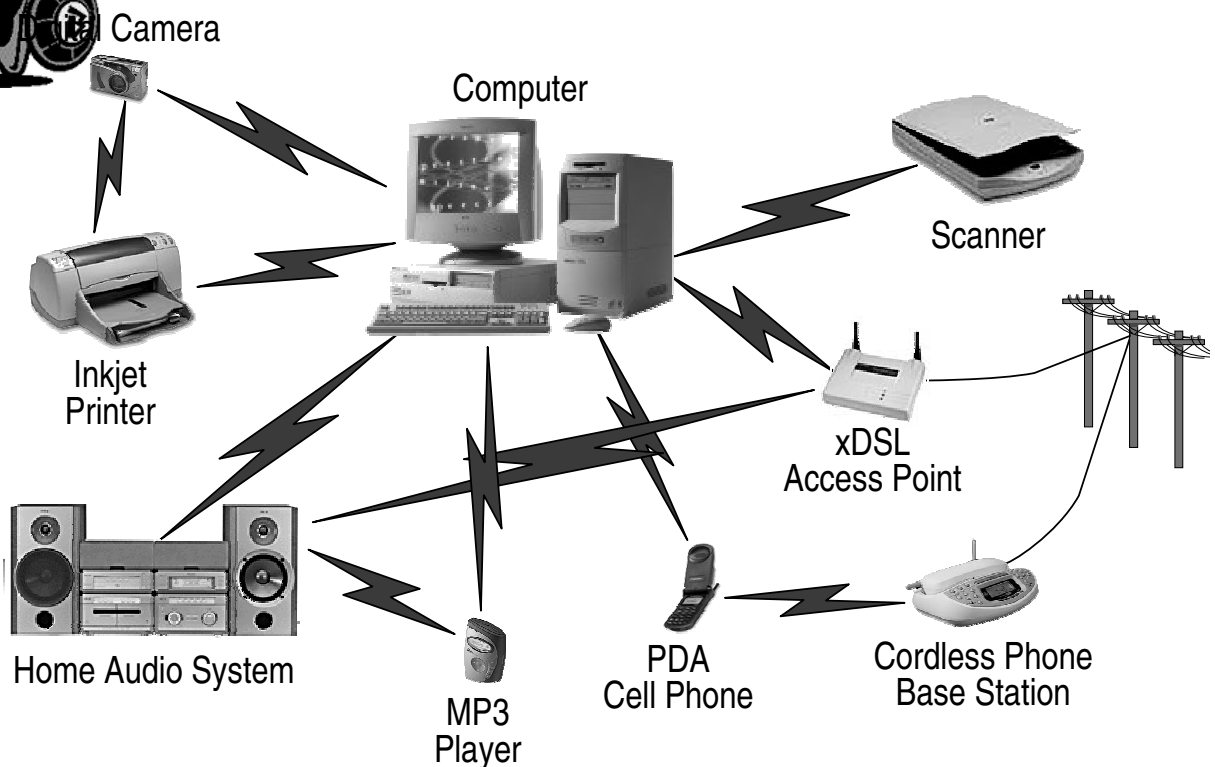


O que é o *Bluetooth*?

- Tecnologia de comunicações sem fios que visa a interligação de vários equipamentos e recursos.
- Originalmente projectado para a interligação de telefones móveis e computadores portáteis.
- Tecnologia de rádio frequência de curto alcance e baixo custo que consome pouca energia.
- Uma especificação define globalmente o sistema, desde o rádio até as aplicações.
- Os níveis de protocolo podem ser implementados tanto a nível de *hardware* como de *software*, repartindo funcionalidades entre si.

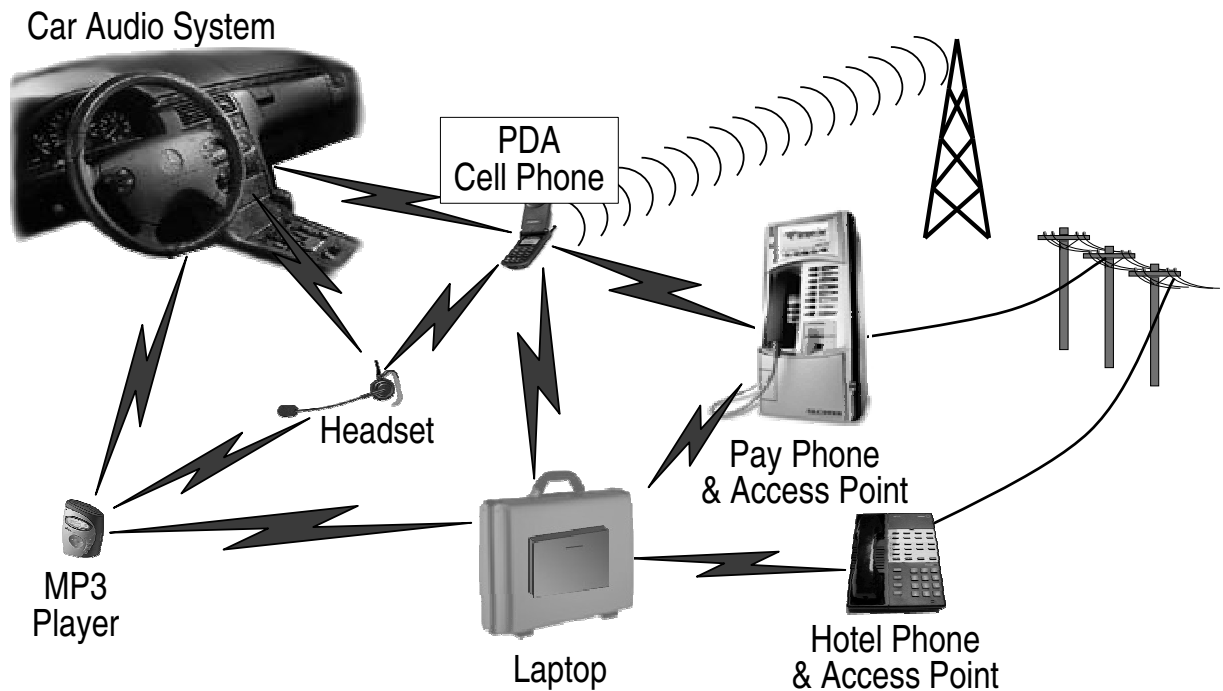


Bluetooth em casa





Bluetooth em movimento



Terminologia *Bluetooth*

- **Scatternet:** Rede móvel *ad-hoc* formada por dispositivos que desejam comunicar entre si.
- **Piconet:** Uma unidade da scatternet que consiste num Master e vários Slaves que usam a mesma *FHS*.
- **Master:** O nó que determina a *FHS* e controla o acesso de outros nós ao meio partilhado.
- **Slave:** Um nó da piconet que se sincroniza com o Master e que tem acesso a todo o meio partilhado por este.
- **Bridge:** Um nó que liga duas piconets e faz transferencia de pacotes entre estas.

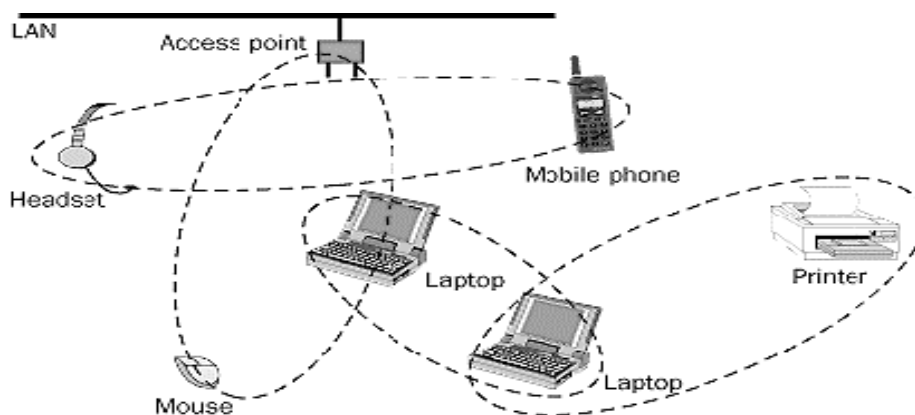


Comunicação Master/Slave

- Um dispositivo *Bluetooth* pode agir como Master ou como Slave numa ligação.
- O mesmo dispositivo pode ter várias ligações activas ao mesmo tempo, funcionando como Master e/ou Slave de um modo independente da outra ligação.
- O Master determina a *FHS* (que é única para essa piconet) e a respectiva fase.



Exemplo de uma scatternet

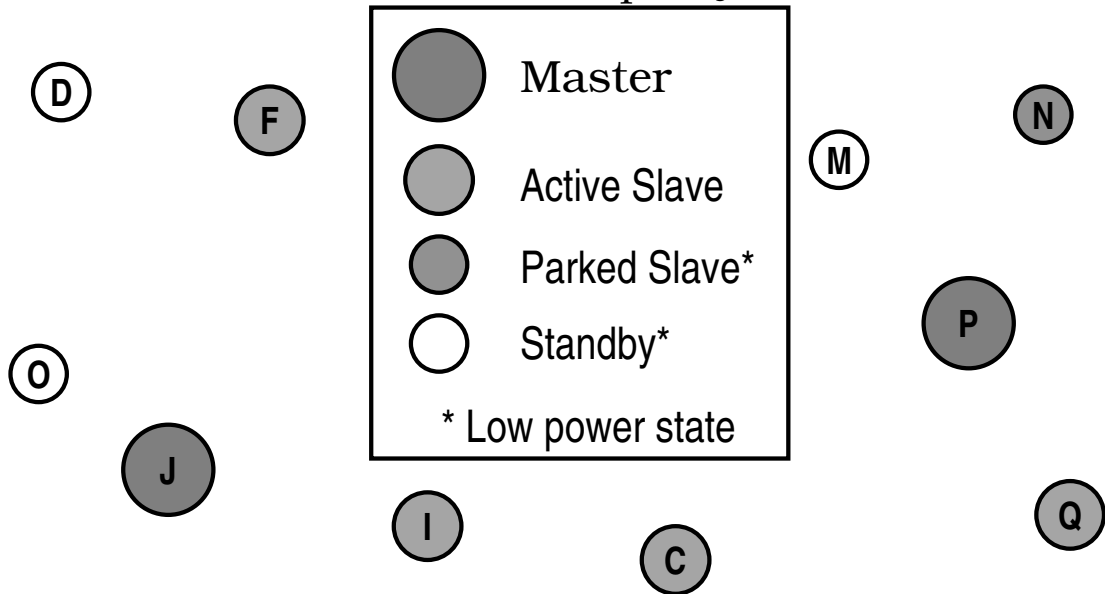


Scatternet de quatro piconets



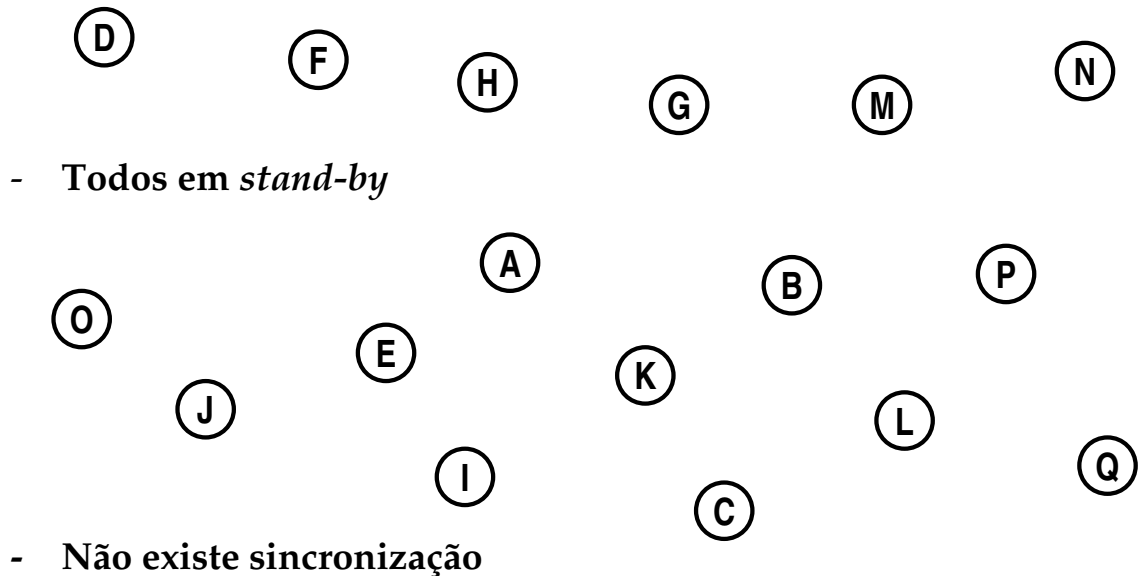
Como funciona?

Estados de operação



Inicialmente

- Inicialmente os dispositivos só sabem sobre eles próprios



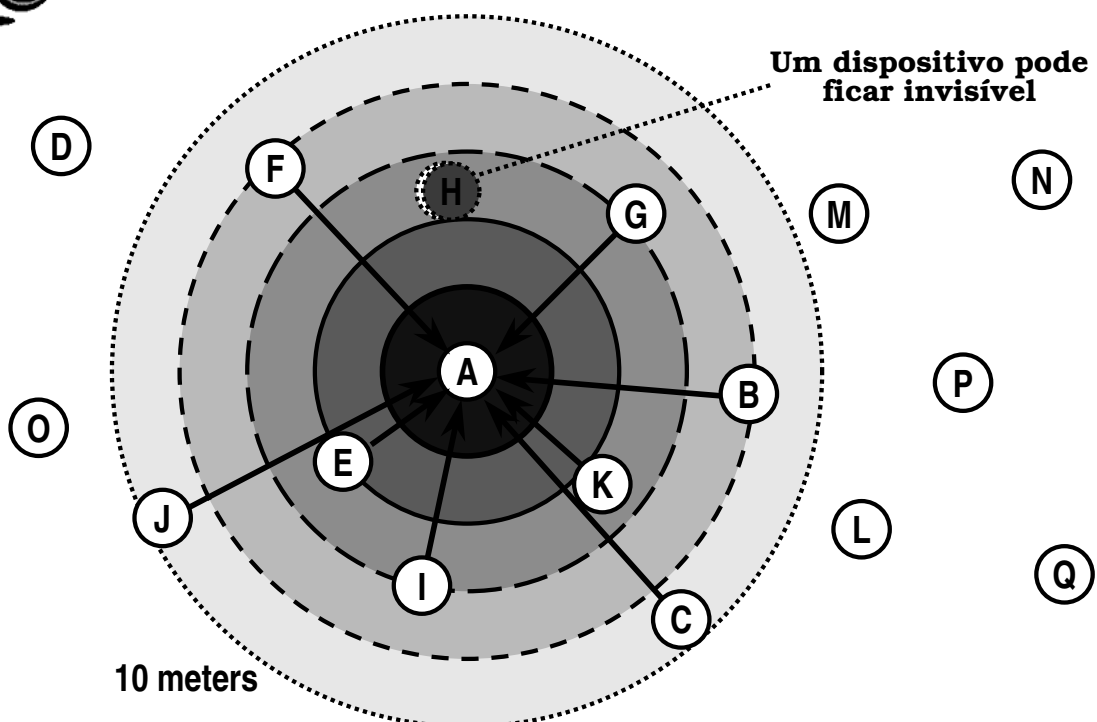


Inquiry

- *Inquiry* descobre que outros dispositivos *Bluetooth* estão dentro do alcance.



Inquiry





Paging

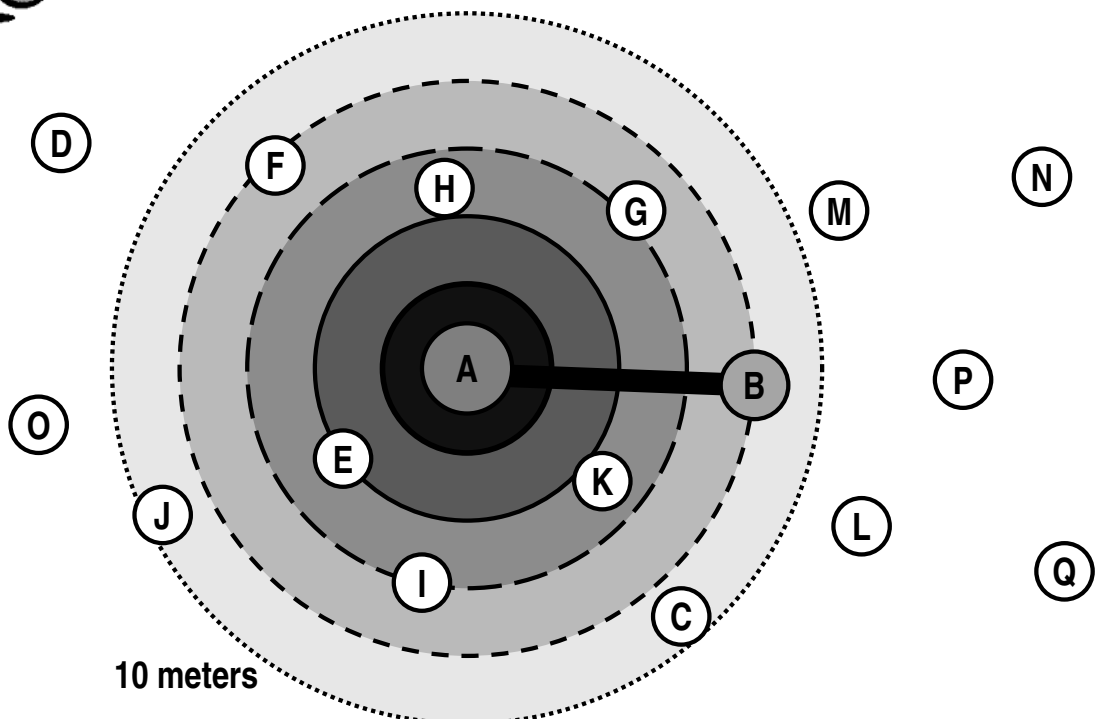
Criação da Piconet

- **Paging cria a ligação Master/Slave a que se chama Piconet**



Paging

Criação da Piconet



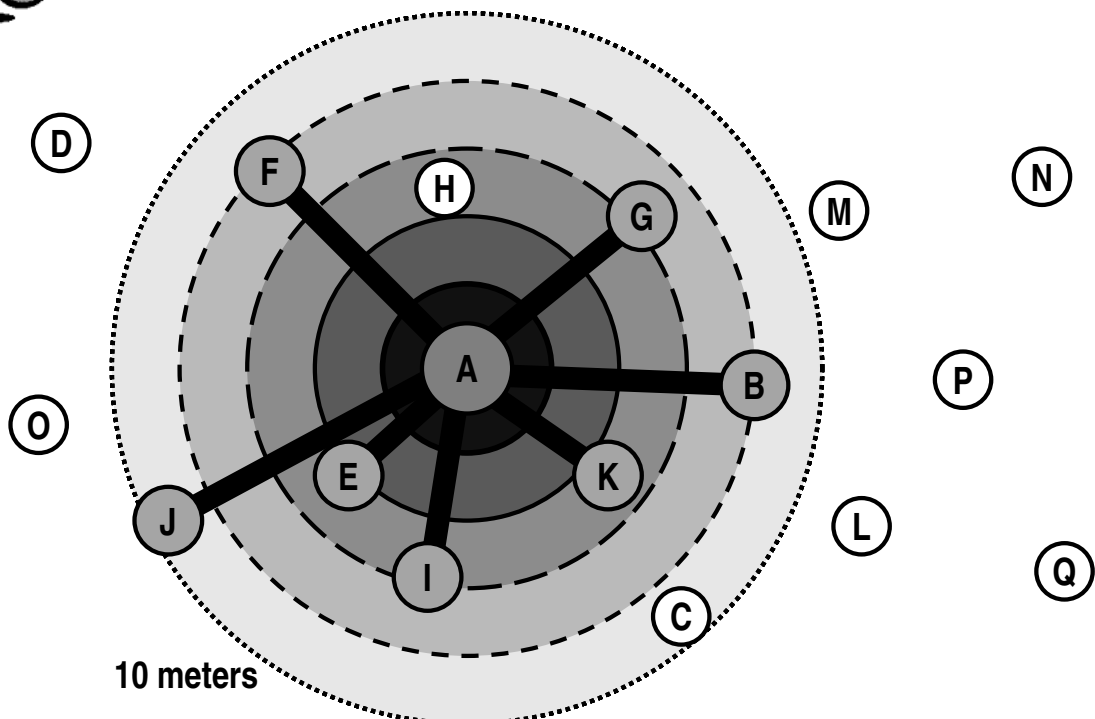


Expansão da Piconet (1)

- **Sucessivos *pagings* podem ligar até 7 Slaves em modo activo.**



Expansão da Piconet (1)



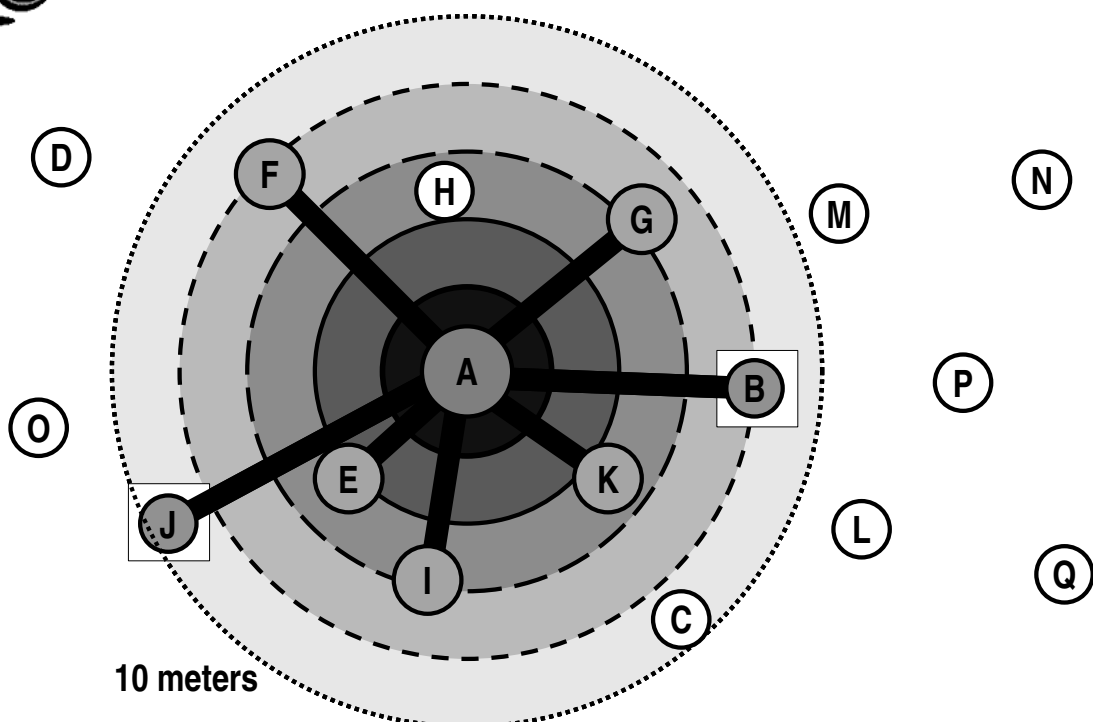


Low Power Modes

- *Park* - Para poupar energia e para se poder ligar ainda a mais dispositivos, os Slaves activos podem entrar em modo de *Parking* (até um total de 256).
- *Hold* - Durante o estado de ligação, as ligações ACL a um *Slave* podem ser postas em modo de *Hold*, deixando este de as suportar. No entanto as ligações SCO continuam activas.
- *Sniff* - O Master especifica um reduzido numero de *Slots* para um determinado Slave.



Parking



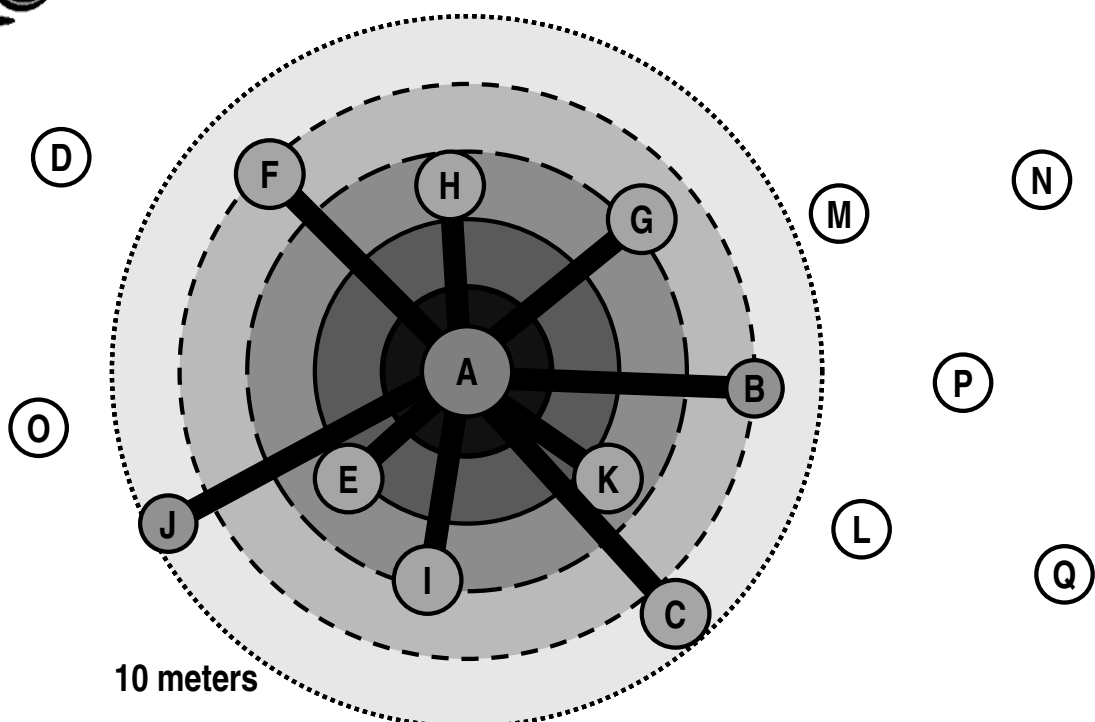


Expansão da Piconet (2)

- Os Masters podem depois ligar Slaves activos com recurso aos endereços de membros activos.



Expansão da Piconet (2)



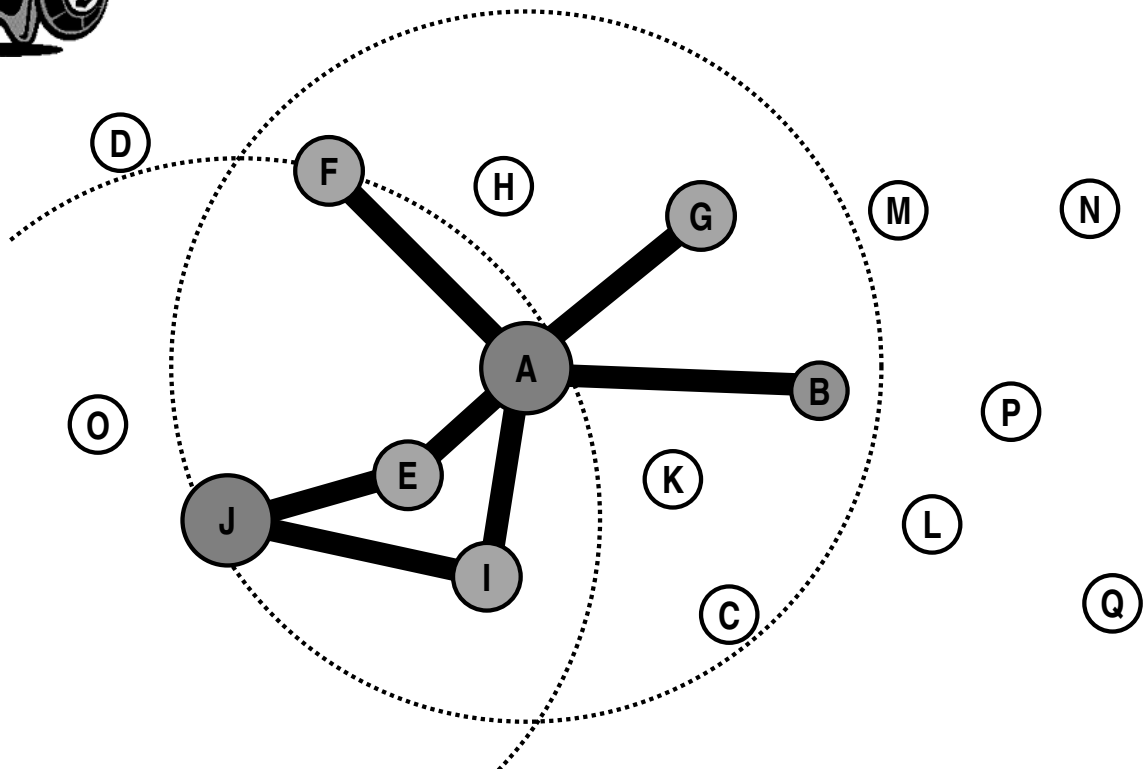


Scatternets

- Os dispositivos *Bluetooth* podem participar em múltiplas piconetes simultaneamente, criando uma scatternet.



Scatternets





Scatternets avançadas

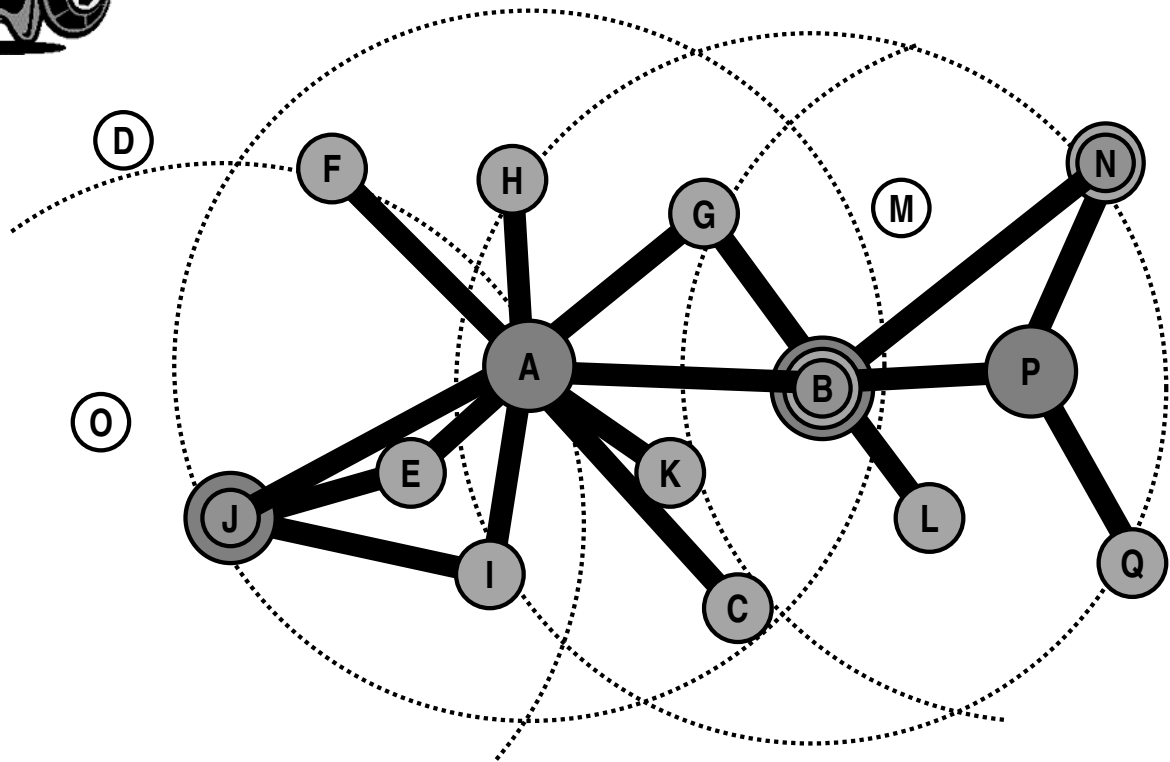
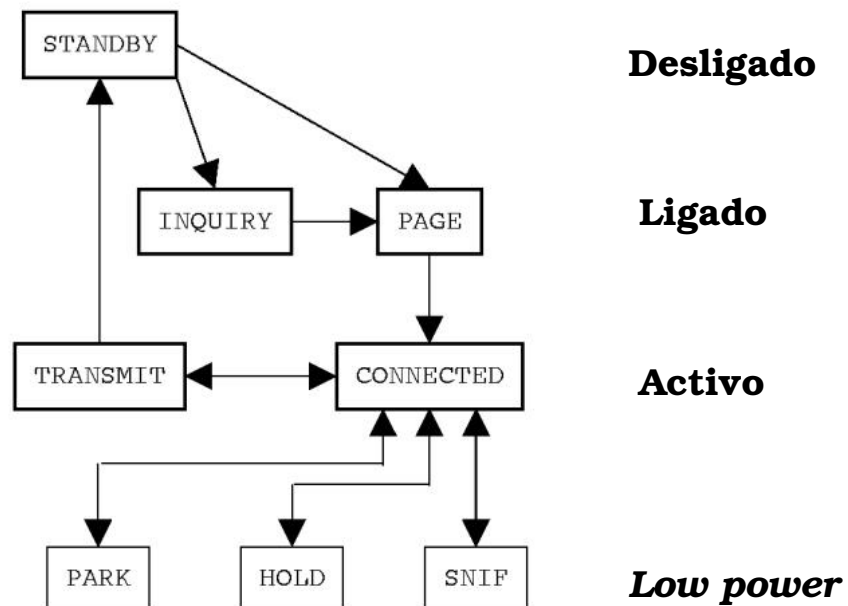
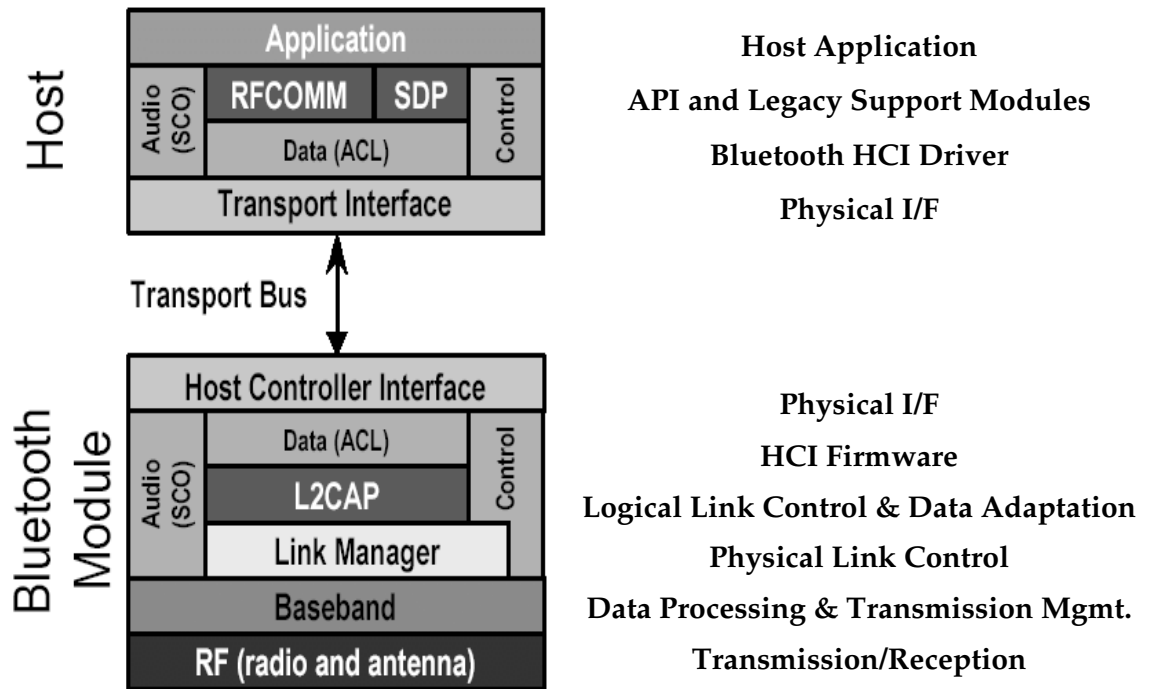


Diagrama de estados





Visto por dentro



Arquitetura de Rádio

- Envia e recebe dados na camada mais baixa.
- Opera na banda ISM (não licenciada) de 2,4 GHz (2400 a 2483,5 MHz), e usa FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum).
- 1600 saltos em frequência por segundo (*Slots* de 0.625ms).
- O espectro é dividido em 79 canais.
- O espaçamento entre canais é de 1 MHz,

$$f = 2402 + k \text{ MHz}, k=0, \dots, 78.$$



Arquitectura de Rádio

- Utiliza uma modulação GFSK, com $BT=0,5$ e o índice de modulação esta compreendido entre 0,28 e 0,33.
- O '1' binário é representado por um desvio positivo em frequência, enquanto que o '0' é representado por um desvio negativo
- Devido a legislação em vigor ser diferente em muitos países, é usada uma banda de guarda de 3,5 MHz na banda superior e de 2 MHz na inferior.
- Produtos projectados para países com uma banda mais reduzida não irão funcionar com outros produtos a operar na totalidade da banda (A banda ISM em França começa nos 2,454 GHz)



Arquitectura de Rádio

- Existem 3 classes de potência:
 - Classe 1: 100mW (20dBm) alcance máximo de 100m.
 - Classe 2: 2,5mW (4dBm) alcance máximo de 30m.
 - Classe 3: 1mW (0dBm) alcance máximo de 10m.
- Aparelhos da classe 1 com potências máximas de +20 dBm necessitam de controlo de potência, a fim de poderem baixar a sua potência de emissão para 4 dBm ou menos.
- O receptor deve ter uma taxa de erros não superior a 0,1%



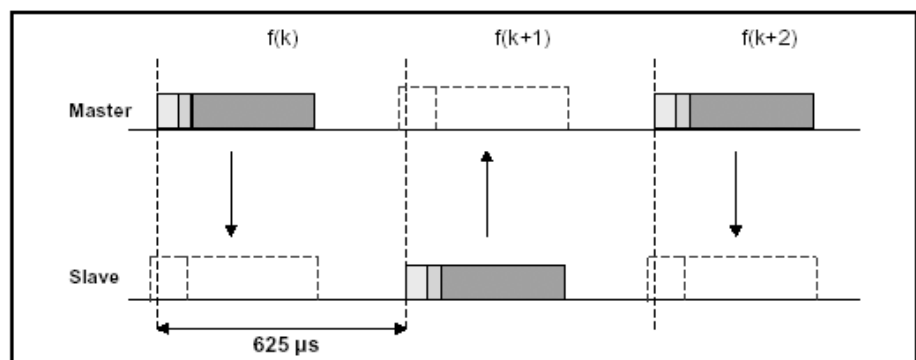
Baseband

- Camada física do *bluetooth*.
- Camada responsável por todas as operações de dados digitais
 - Codificação de áudio
 - Branqueamento de dados
 - Encapsulamento de dados
 - Codificação e Descodificação de dados (opcional)
 - Detecção e correcção de erros
 -
- Controla toda a operação de rádio.



Baseband

- O *transceiver* da banda base usa um esquema de TDD (*Time division duplex*).
- Master transmite em *slots* pares
- Slave transmite em *slots* ímpares.
- O início do pacote deve estar alinhado com o início do *Slot*.
- A frequência de salto deve manter-se fixa durante a duração do pacote.





Tipos de ligações

- A banda base suporta dois tipos de ligações:
 - Ligações SCO (*Synchronous connection oriented*), ligação ponto a ponto entre o Master e um unico Slave.
 - Ligações ACL (*Asynchronous connectionless*), ligação ponto a multi-ponto entre o master e todos os slaves.



Ligações SCO

- O Master mantém este tipo de ligação reservando *Slots* em intervalos regulares.
- Ligação orientada ao circuito entre o Master e o Slave.
- Tipicamente usada para transmissão *Time-Bounded*, como por exemplo voz.
- O Master suporta até 3 ligações SCO para o mesmo, ou para diferentes Slaves
- Um Slave suporta até 3 ligações SCO do mesmo Master, ou 2 de diferentes Masters.
- Os pacotes SCO nunca são retransmitidos

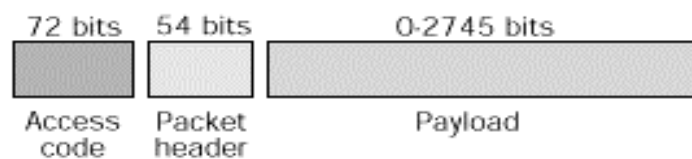


Ligações ACL

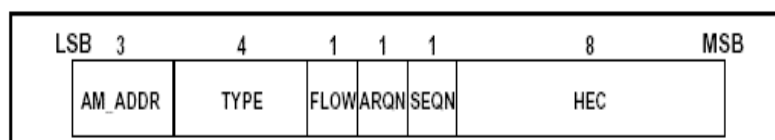
- Ligação orientada ao pacote entre o Master e todos os Slaves activos na piconet.
- Só pode existir uma ligação ACL entre um Master e um Slave.
- Suporta serviços quer assíncronos quer *isochronous*.
- Reenvio de pacotes pode ocorrer a fim de assegurar a integridade dos dados.



Encapsulamento



- Um pacote começa com um código de acesso de 72-bit, que é retirado do Master e é único para cada canal.
- O código de acesso é usado também para sincronização e compensação de *offset*.
- O código de acesso é bastante robusto e resistente a interferências.
- O cabeçalho contém o *Link Control*.





Encapsulamento

- Existem 5 tipos de pacotes comuns.
 - Pacotes ID (68 bits), que cons
 - Pacotes NULL (126 bits), apenas possui o código de acesso e o cabeçalho.
 - Pacotes POLL (126 bits), requerem a confirmação do Slave que envia um qualquer pacote em resposta.
 - Pacotes FHS contêm informação sobre o endereço do dispositivo *Bluetooth* e do clock do emissor que é actualizado antes de cada retransmissão
 - Pacotes DM1, que suportam mensagens de controlo em qualquer tipo de ligação.



Encapsulamento

- Existem 4 tipos de pacotes CSO:
 - Pacotes HV1, tem que ser entregue em cada 2 *Slots* (TSCO=2)
 - Pacotes HV2, transporta 2,5ms de voz a 64 Kbit/s (TSCO=4)
 - Pacotes HV3, transporta 30 bytes de informação (TSCO=6)
 - Pacotes DV, de dados e voz simultaneamente.

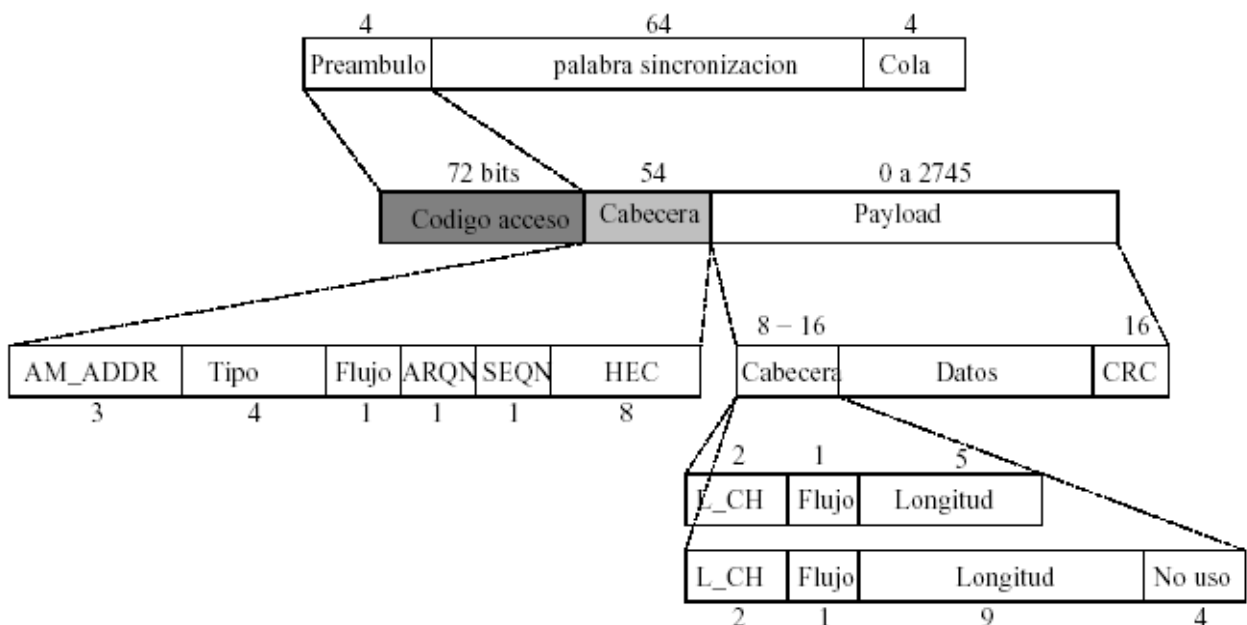


Encapsulamento

- Existem 7 tipos de pacotes ACL:
 - Pacotes DM1, só transporta dados.
 - Pacotes DH1, similar a DM1 mas sem correcção de erros (FEC).
 - Pacotes DM3, pode cobrir ate 3 Slots.
 - Pacotes DH3, similar a DM3 mas sem correcção de erros (FEC).
 - Pacotes DM5, similar a DM1 com extensão da area de dados.
 - Pacotes DH5, DM5 sem FEC.
 - Pacotes AUX1, 1 único Slot.



Formato da trama





Link Controller

- Responsável pelo estabelecimento de ligações.
- Assim que conectado, deve manter as várias ligações.
- Recorre a uma máquina de estados de maneira a guiar a baseband a estabelecer as diferentes ligações.
- Define tipos de transferência com diferentes parâmetros de QoS.



Bluetooth audio

- *Bluetooth air-interface:*
 - 64 Kb\ s log PCM (Lei-A e Lei- μ)
 - 64 Kb\ s CVSD (*Continuous Variable Slope Delta Modulation*)
- A codificação de voz na interface da linha deve ter no mínimo uma qualidade idêntica a 64 Kb\ s log PCM.



Link Manager

- Faz a gestão das operações:
 - Adiciona Slaves a uma piconet e aloca o seu endereço de membro activo.
 - Quebra ligações para retirar Slaves da piconet
 - Configura a ligação incluindo controlo das mudanças Master / Slave.
 - Estipula ligações em modo de baixa potência.
 - Controla modos de teste.
- O gestor de ligação do *Bluetooth* comunica com o gestor de ligação de outros dispositivos usando o protocolo de ligação (LMP).



Host Controller Interface

- Um dispositivo *Bluetooth* pode usar o HCI para separar as camadas superiores e inferiores:
 - *Hosts* como PC's têm capacidade separada para tratar as camadas superiores, permitindo ao dispositivo *Bluetooth* ter menos memória, reduzindo assim os custos.
 - O dispositivo *Host* pode adormecer e acordar com uma ligação *Bluetooth*.



Logical Link Control and Application (L2CAP)

- Faz a multiplexagem entre diferentes protocolos das camadas superiores, permitindo que partilhem ligações com as camadas inferiores.
- Responsável pela segmentação e re-assemblagem que permite a transferência de grandes pacotes para o suporte das camadas inferiores.
- Faz a gestão de grupo, providenciando uma transmissão única para um grupo de outros dispositivos *Bluetooth*.



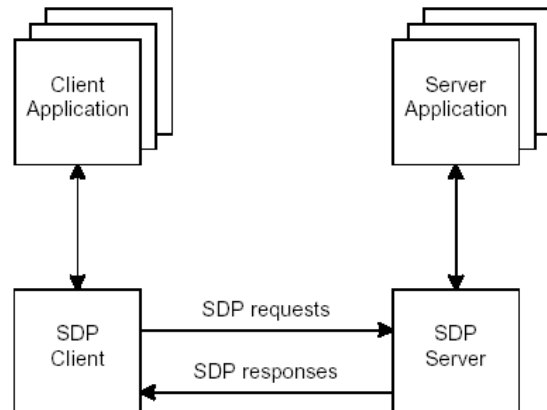
RFCOMM

- É um protocolo de transporte simples e fiável, que executa multiplexagem de dados e as seguintes funções adicionais:
 - *Modem Status*
 - *Status da linha remota*
 - Definições do porto remoto (*baud rate*, *paridade*, etc)
 - Negociação de parâmetros (Tamanho da trama)



Service Discovery Protocol

- Providencia um meio para as aplicações descobrirem que serviços estão disponíveis na rede.
- O SDP segue um modelo cliente/Servidor.



Serviços IP sobre *Bluetooth*

- Sistema *BluePac* (*Bluetooth public access*):
 - *Gateway*
 - Estação base de *BluePack* (BBS)
 - Dispositivos individuais de *Bluetooth*
- A *Gateway* junta a *BluePac* LAN com o resto do mundo e é directamente conectado ao BBS
- Uma ligação *Bluetooth* é usada para comunicar entre BBS e quaisquer aparelho *Bluetooth* na zona
- Um IP local é usado como endereço para um aparelho *Bluetooth* ligado a um BBS



Serviços IP sobre Bluetooth

- Para suportar os aparelhos *Bluetooth* estrangeiros e caseiros são usadas funcionalidades e conceitos do IP móvel
- Aparelhos *Bluetooth* estrangeiros que chegam à *BluePac* LAN podem usar o seu endereço de casa para efectuar comunicações para eles próprios
- Aparelhos *Bluetooth* de casa que chegam a uma rede estrangeira são igualmente assegurados



Encaminhamento das ligações em *Bluetooth*

- *Bluetooth routing scheme* (BRS)
 - Um centro de comutação de mensagens MSC (*message switching centre*) que pode ser o *Hub* da rede
 - Vários dispositivos *Bluetooth* móveis chamados de FMs (*fixed masters*), ligados ao MSC, fixando as ligações das linhas
 - Os FMs podem conter dispositivos *Bluetooth* móveis chamados MTs (*mobile terminals*), nas suas *piconets*

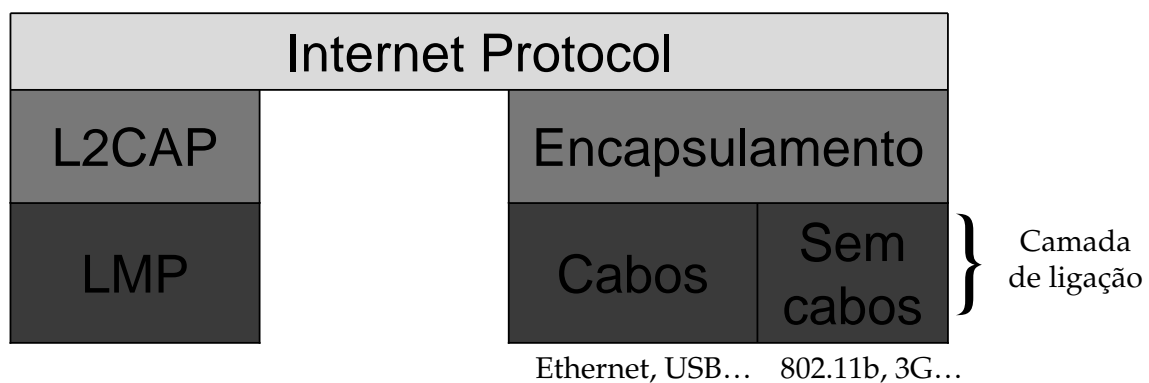


Encaminhamento das ligações em *Bluetooth*

- O encaminhamento é feito pelo dispositivo *BD_ADDR*, do qual é mantida uma tabela de encaminhamento dinâmica no MSC. A implementação do *handover* é provavelmente o mais interessante:
 - Juntos o FM ou MT detectam a conexão de ligação actual, ambos estão a 'bad' (pela corrente lida nos dois lados da ligação RSSI)
 - Um pedido de *handover* é enviado ao MSC. Este pedido contém o endereço do dispositivo *Bluetooth* do MT, o endereço do dispositivo do novo *master* (determinado pelo MT imediatamente antes) e a diferença entre o relógio nativo do terminal móvel e o novo relógio *master*
 - O MSC pode transmitir endereços MT e o *offset* do relógio ao novo *master* e informá-lo para começar o paginamento para o MT



Transmissão de pacotes IP sobre redes *Bluetooth*





WLAN

	Technology					
	Bluetooth	HomeRF	802.11b	HyperLAN	802.11a	HyperLAN2
Frequency Band	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	5GHz	5GHz
Technology	Frequency Hopping Spread Spectrum	Frequency Hopping Spread Spectrum	Direct Sequence Spread Spectrum	Gaussian Minimum Shift Keying	Orthogonal Freq. Division Multiplexing	Orthogonal Freq. Division Multiplexing
Performance	720Kbps	1.6Mbps	11Mbps	23Mbps	~50Mbps	~50Mbps
Range	<10 meters	50 meters	100 meters	?	?	?
Power	Very Low	Medium	Medium	Medium	Medium High?	Medium High?
Relative Cost	Low/ Very Low	Medium/Low	Medium	Medium	High	High
Target Applications	Cable Replacement Wireless Data Wireless Voice Personal Networks	Wireless Data Wireless Voice	Wireless Data	Wireless Data	Wireless Data	Wireless Data
Fixed NW Support	PPP, Ethernet	?	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet, IP, ATM, PPP, 1394, UMTS
Key Features	Very Low Power Voice and Data Roaming Low Cost Good noise immunity	Voice and Data Moderate Cost	Good Performance	Good Performance	High Performance	High Performance
Promoters	2000+	<50	~100	<50	~100	<50
Regional Support	Worldwide	US	US/Asia	Europe	US	Europe
Shipping	Now	Now	Now	Now	2001	2001



LINKS

www.bluetooth.com

http://miron.disca.upv.es/pei/Trabajos/2001_2002/BLUETOOTH/BLUETOOTH.htm

www.palowireless.com/infotooth/tutorial.asp

www.ensc.sfu.ca/~ljilja/cnl/presentations/jeffrey/btpresentation/