



Universidade Federal do ABC

INF-111

Redes Sem Fio

Aula 05
Tecnologias para WPAN

Prof. João Henrique Kleinschmidt

Santo André, março de 2016

Roteiro

- **RFID**
- **NFC**
- **WPAN**
- **Bluetooth**
- **ZigBee**
- **UWB**

RFID

Motivação

- Controle de estoque
 - Logística
 - Rastreabilidade
- Código de barras não é eficiente



Aplicações

1 Sem parar: pagamento do pedágio acionado

2 Gerenciamento: depósitos atualizam estoque

3 Prateleiras inteligentes: constantemente em contato com a rede sem fio

4 Etiquetas: diferentemente dos códigos de barra

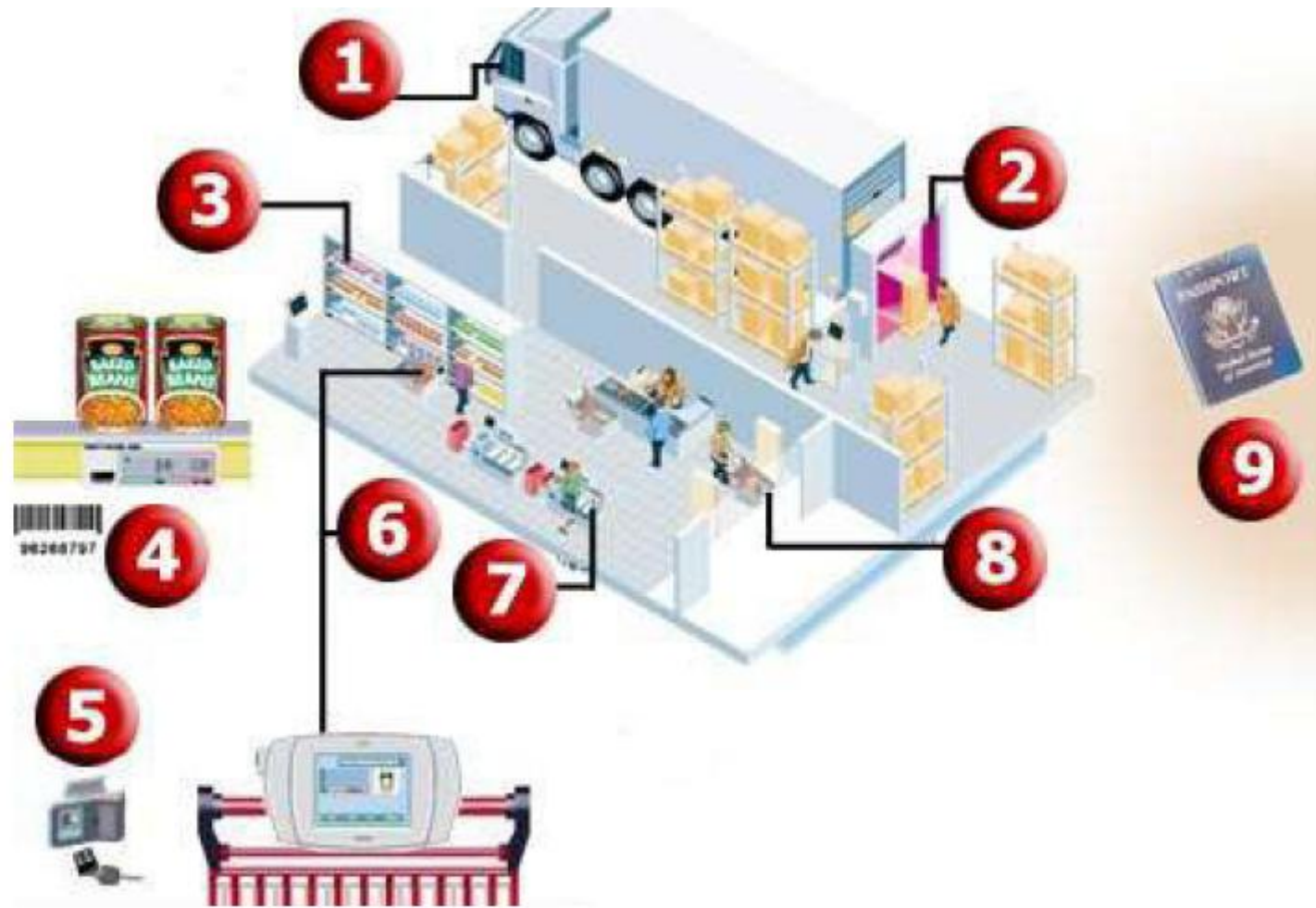
5 Chave RFID: imobilizador antifurto

6 Assistente de compras: escaneia itens durante a compra para acelerar a saída

7 Autocaixa

8 Carrinho: um leitor na porta do mercado

9 Identificação pessoal: o controle de passaportes dos EUA irá adotar RFID



Questões de privacidade



Radio Frequency Identification

- Modelo Cliente-Servidor
 - Clientes-> Tags RFID (etiquetas)
 - Servidor-> Leitor RFID Read
- Pode usar criptografia
- Frequências:
 - baixa frequência (LF), de 125kHz;
 - alta frequência (HF), de 13.56 MHz;
 - ultra alta frequência (UHF), operando na faixa de 860 a 960MHz.

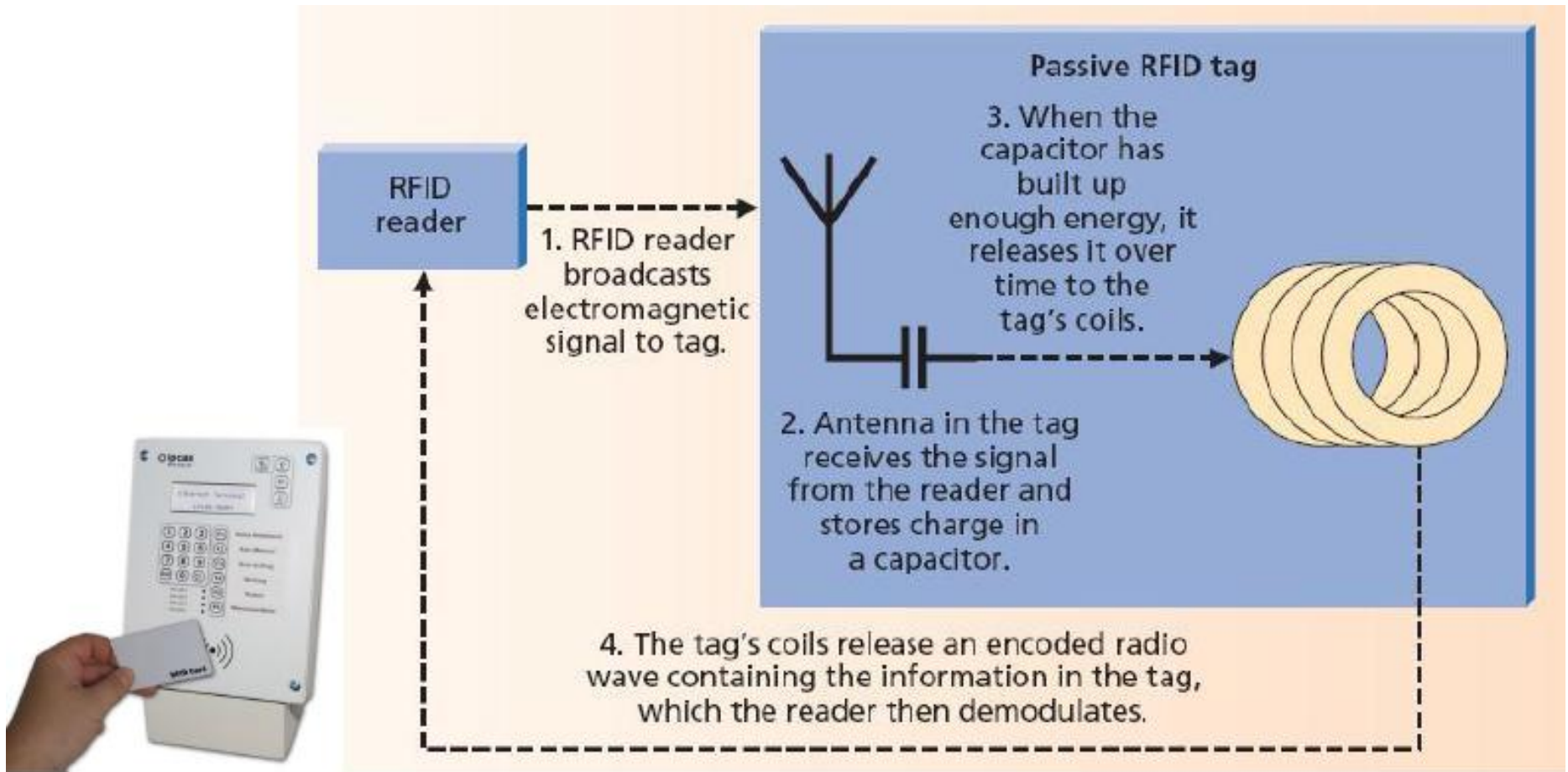
Etiquetas RFID Passivas



- Sem fonte de energia!
- Baixo alcance (até 70 cm)
- Muito barata (20 centavos!?)
- As ondas eletromagnéticas da antena do leitor carregam a etiqueta por um curto período de tempo.



Etiquetas RFID Passivas



Picture taken from "RFID: A Technical Overview and its Application to the Enterprise" Ron Weinstein

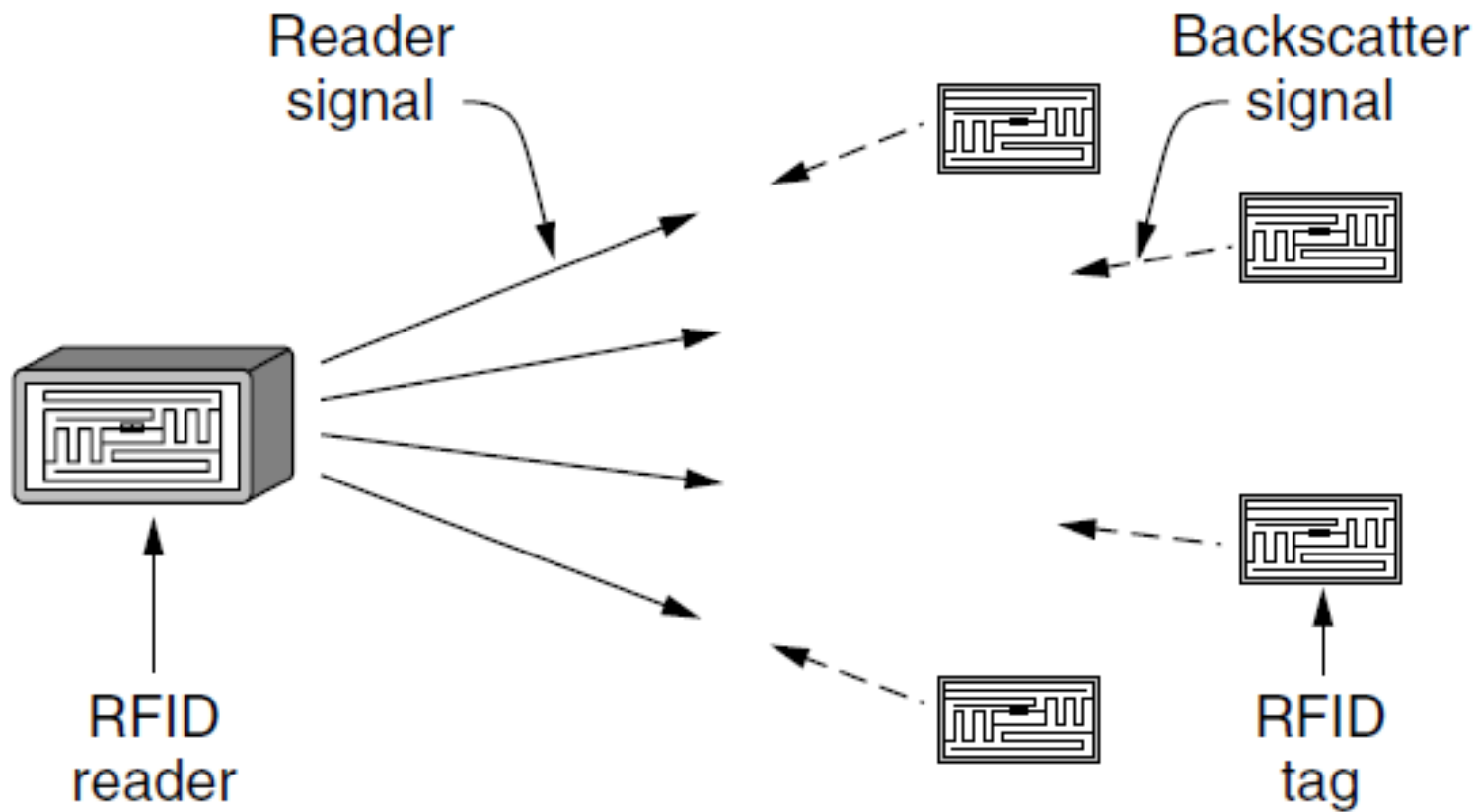
Etiquetas RFID Ativas



- Operam com baterias
- Até 20 metros (indoor), 300 metros (outdoor)
- Mais caras (dezenas de reais!?)
- Podem ter sensores integrados
- Leitor correspondente geralmente tem antenas omnidirecionais.

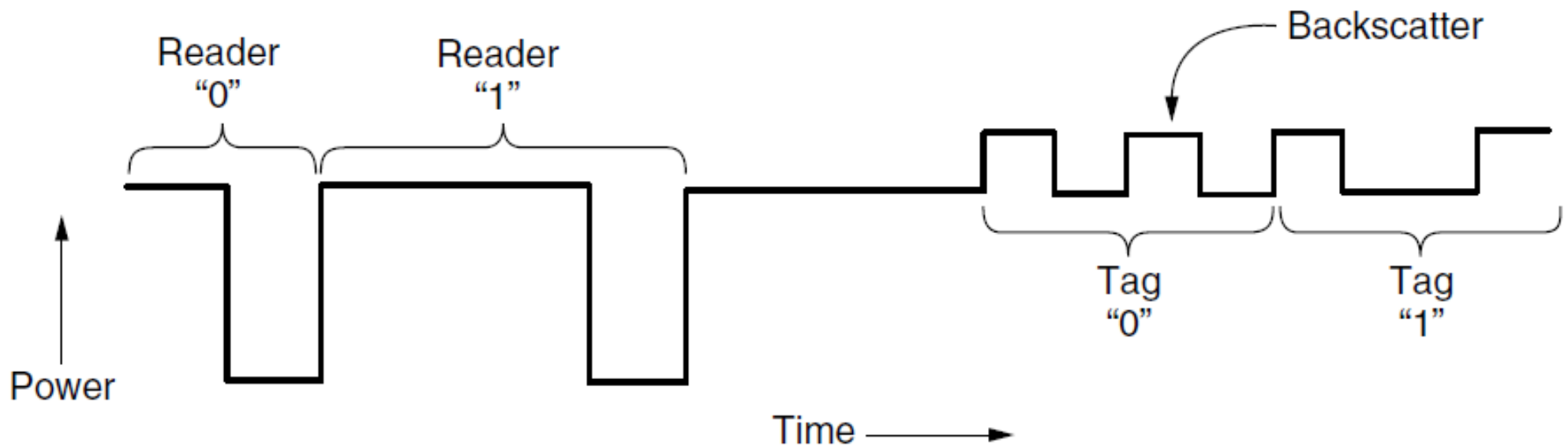


Arquitetura EPC Gen 2



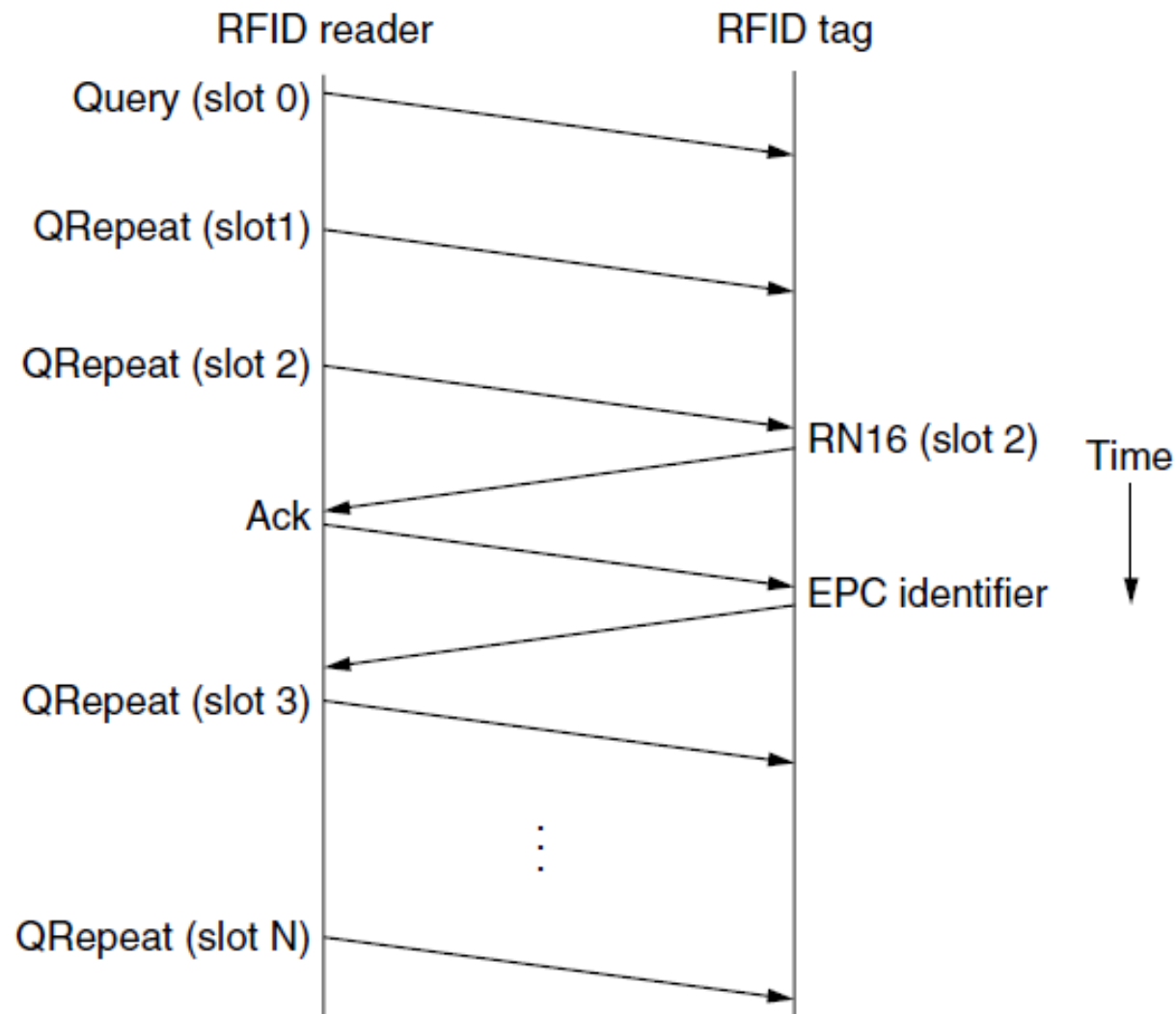
Arquitetura RFID

EPC Gen 2 – Camada Física



Sinais refletores de leitora e etiqueta
(enlace half-duplex)

EPC Gen 2 – Identificação de Etiqueta



Exemplo de troca de mensagem para identificar uma etiqueta

Formato de Mensagem de Identificação de Etiqueta



Formato da mensagem *Query*

NFC

Near Field Communication

NFC

- **NFC se resume em um conjunto de tecnologias sem fio de curto alcance (em geral, até 10cm). Consiste de três elementos básicos, assim como em sistemas RFID: um leitor, uma antena e uma etiqueta (*tag*).**
- **Assim como em um sistema RFID, o fluxo básico de dados ocorre da seguinte maneira: o leitor envia sinais de interrogação (pedidos) para as etiquetas através da antena. A etiqueta então envia sua resposta de identificação, que será transmitida através de sua antena.**
- **As etiquetas são classificadas em passivas ou ativas.**

NFC

- Elas possuem entre 96 e 4096 bytes de memória, dependendo da aplicação em que são utilizadas.
- A transmissão no NFC é feita em uma frequência de 13,56 MHz - a mesma frequência de sistemas RFID HF, padrão ISO/IEC 18000-3. Isto permite que um dispositivo NFC se comunique com uma etiqueta passiva de RFID de alta frequência. A transmissão ocorre a taxas de 106 kbps, 212 kbps ou 424kbps.
- A comunicação em NFC envolve um iniciador e um alvo, e pode ser dividida em dois modos:
- Comunicação ativa: no caso em que tanto o iniciador quanto o alvo possuem fontes de alimentação, a comunicação pode ser feita com os dois dispositivos gerando alternadamente suas ondas de rádio. Cada dispositivo desliga o seu campo quando está à espera dos dados. Ou seja, ambos os dispositivos atuam como leitor e etiqueta. Este é o modo que permite a comunicação ponto a ponto.
- Comunicação passiva: : o dispositivo iniciador, que atua como leitor, gera ondas de radio ativamente (ou seja, precisa de alimentação) que irão energizar passivamente o dispositivo alvo, que atua como etiqueta.

NFC x RFID

- **As diferenças entre NFC e RFID são poucas. Conceitualmente, ambos são quase que idênticos.**
- **A primeira diferença está nos modos de comunicação possíveis:**
- **Por definição, RFID consiste em técnicas de identificação através de ondas de rádio. Portanto, a comunicação em um único sentido (ou seja, um dispositivo leitor enviando sinais de interrogação a uma etiqueta, que somente poderá responder aos sinais de interrogação) é suficiente.**
- **Já um dispositivo NFC, por poder gerar alternadamente as ondas de rádio com outro dispositivo, pode atuar tanto como uma etiqueta como um leitor. Isto possibilita uma comunicação ponto-a-ponto.**
- **A segunda diferença está relacionada ao alcance.**
- **Sistemas RFID tradicionais podem apresentar um bom alcance (de dezenas de metros, variando de acordo com o tipo de etiqueta). Esta característica certamente é favorável a várias aplicações. Já os dispositivos NFC apresentam um alcance pequeno, de no máximo 10cm.**

WPANs

Wireless Personal Area Networks
Redes Pessoais Sem Fio

Redes Pessoais Sem Fio

- Grupos de trabalho IEEE 802.15 (especifica camadas PHY/MAC):
 - 802.15.1 Redes pessoais – baseada no Bluetooth
 - 802.15.2 Padroniza práticas para facilitar a coexistência entre WPANs (802.15) e WLANs (802.11)
 - 802.15.3 Especifica tecnologias para a transmissão em WPANs com altas taxas de dados, e.g., UWB (*Ultra Wide Band*)
 - 802.15.4 Projeta soluções para transferência com baixas taxas de dados para uso em dispositivos de baixa complexidade e com uso de baterias de longo prazo, e.g., sensores – (ZigBee)
 - 802.15.6 – BAN – *Body Area Networks*
 - IEEE P802.15 *Wireless Next Generation Standing Committee (SCwng)*
 - *Discute novas tecnologias relacionadas*

IEEE 802.15.1



IEEE 802.15.1 - Bluetooth

Projeto da Ericsson

- Em 1994 a Ericsson pesquisava uma interface de rádio com objetivo de interconectar telefones móveis e seus acessórios(fones de ouvido, viva voz)
- Em fevereiro de 1998 a Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e a Intel (grupo promotor) fundou o Bluetooth Special Interest Group (SIG)





Origem do Nome

Harald Blatand “Bluetooth”

Rei da Dinamarca 940 - 981

Unificou a Dinamarca/Noruega



Características

- Requer baixa energia e baixo custo
- Opera em banda não licenciada ISM (Industrial, Científica e Médica) entre 2,4 e 2,485 GHz
 - Três classes suportadas:
 - Classe 1: 100 mW (20 dBm) – até 100 m
 - Classe 2: 2.5 mW (4 dBm) – até 10 m (mais usual)
 - Classe 3: 1 mW (0 dBm) – 1 m
- Baixo consumo de energia
- Transmissão de dados e voz
- FHSS – Salto de frequências (*frequency hopping spread spectrum*)



Versões - Histórico

- 1.0 (1999) – taxa básica de 1 Mbps
- – 1.1 (2002) – melhorias na versão anterior
- - 1.2 - *Extended Synchronous Connections* (eSCO) – melhora nos enlaces de voz
 - AFH – salto de frequência adaptativo
- – 2.0 (2004) – inclusão do EDR (*Enhanced Data Rate*) e taxas de até 3 Mbps
- – 2.1 (2007) – pareamento rápido e redução do consumo de energia
- – 3.0 (2009) – inclusão do HS (*High Speed*). Taxas de até 24 Mbps. Bluetooth usado na negociação, porém transferência se dá com tecnologia 802.11.
- - 4.0 – (Junho 2010) – Bluetooth Smart
 - Inclui *Classic Bluetooth*, *Bluetooth High Speed* e *Bluetooth Low Energy* (BLE)
- - 4.1 – (Dezembro 2013) e 4.1 (Dezembro 2014)– *Enabling the Internet of Things?*



(classic or BR/EDR)

SPP

RFCOMM

L2CAP

Link Manager

BR/EDR PHY



(dual mode or BR/EDR/LE)

SPP

GAP

GATT

RFCOMM

SMP

ATT

L2CAP

Link Manager

Link Layer

BR/EDR + LE PHY



(single mode or BLE)

GAP

GATT

SMP

ATT

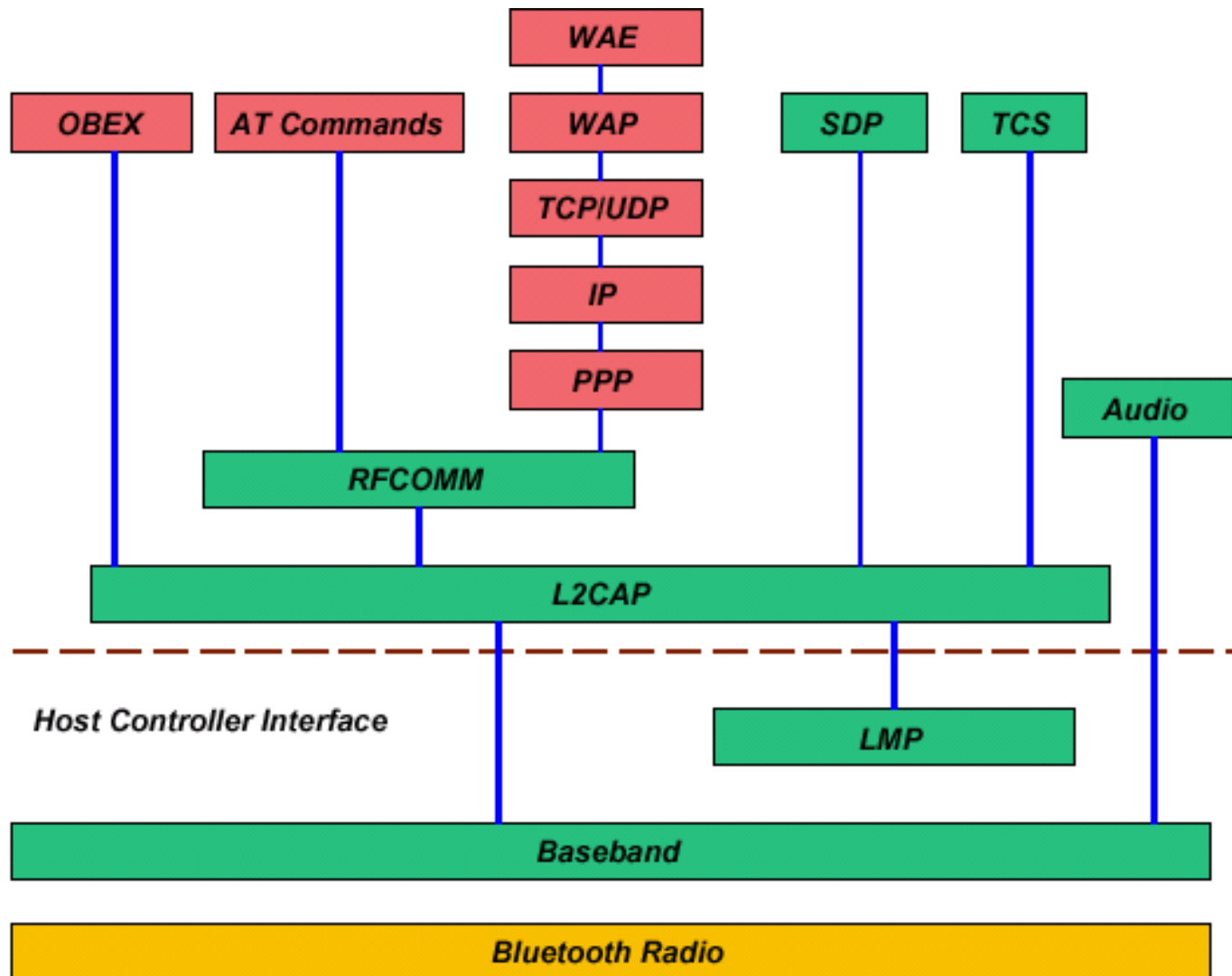
L2CAP

Link Layer

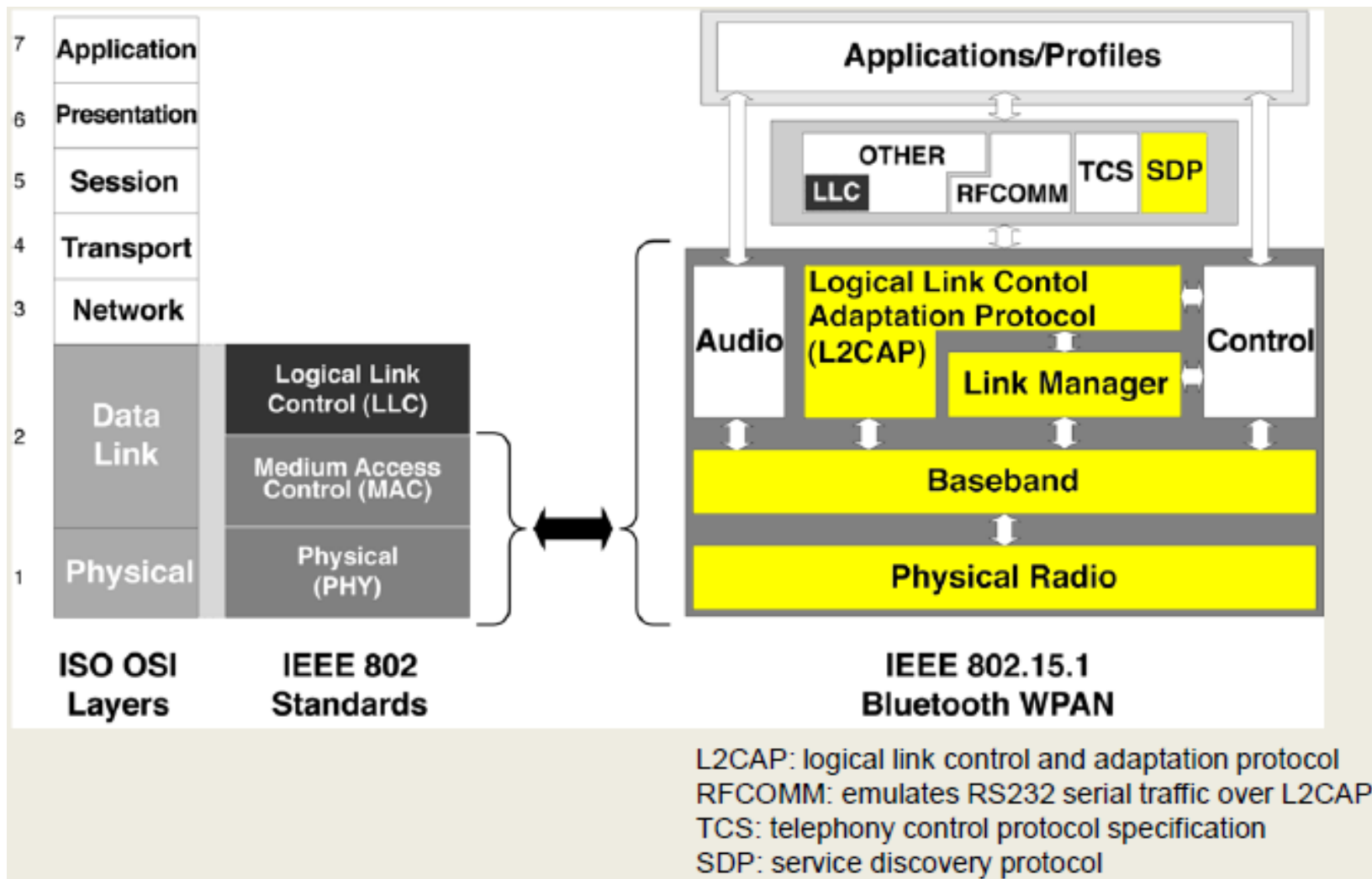
LE PHY

Versões Bluetooth e tipos de dispositivos

Protocolo Bluetooth



Modelo OSI x Bluetooth



Perfis (*Profiles*)

Perfis de controle de mídia

General Audio/Video Distribution Profile (GAVDP)

Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)

Audio/Video Remote Control Profile (AVRCP)

Video Distribution Profile (VDP)

Basic Imaging Profile (BIP)

Basic Printing Profile (BPP)

Perfis de controle de sistemas de comunicações

Common ISDN Access Profile (CIP)

Device ID Profile (DID)

Cordless Telephony Profile (CTP)

Dial-up Networking Profile (DUN)

Fax Profile (FAX)

Hands-Free Profile (HFP)

Headset Profile (HSP)

Intercom Profile (ICP)

LAN Access Profile (LAP)

Personal Area Networking Profile (PAN)

Outros perfis

Generic Access Profile (GAP)

Generic Object Exchange Profile (GOEP)

File Transfer Profile (FTP)

Hard Copy Cable Replacement Profile (HCRP)

Object Push Profile (OPP)

Human Interface Device Profile (HID)

Phone Book Access Profile (PBAP)

Serial Port Profile (SPP)

Service Discovery Application Profile (SDAP)

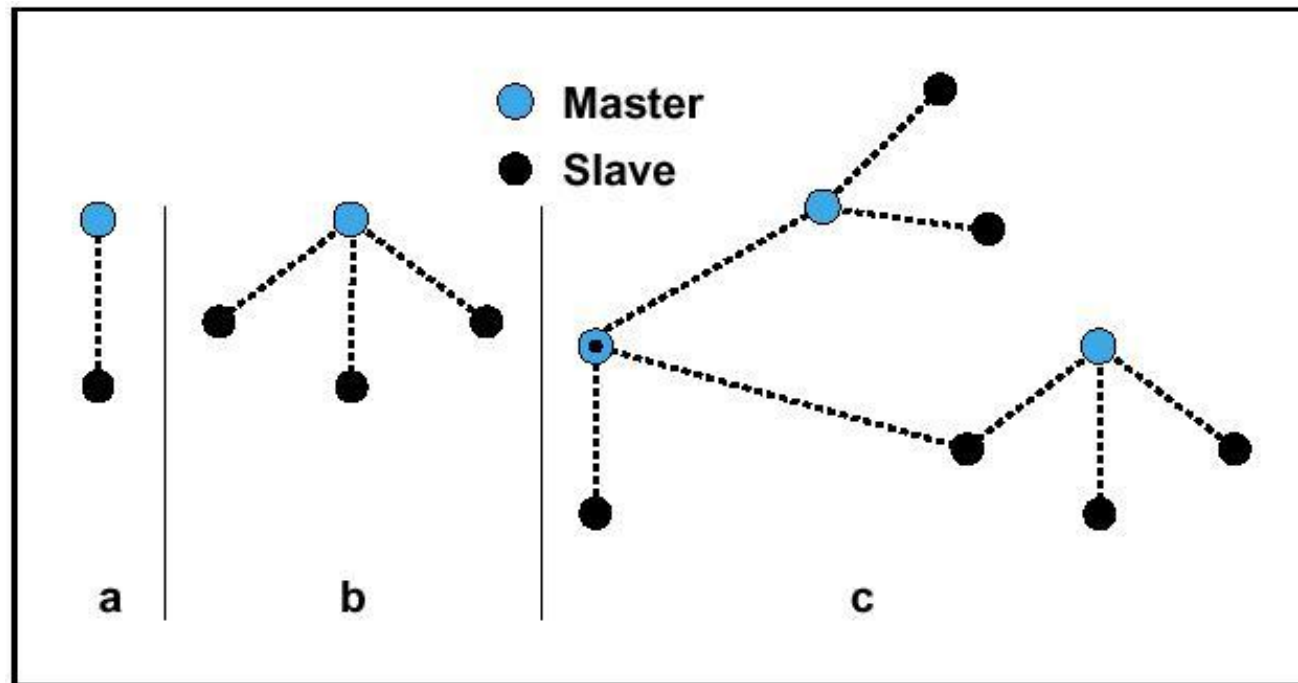
SIM Access Profile (SAP, SIM)

Synchronisation Profile (SYNCH)

Wireless Application Protocol Bearer (WAPB)

Topologia de Rede

- Podem co-existir em um mesmo espaço várias redes Piconet
- O conjunto de redes *Piconet* é chamado de *Scatternet*

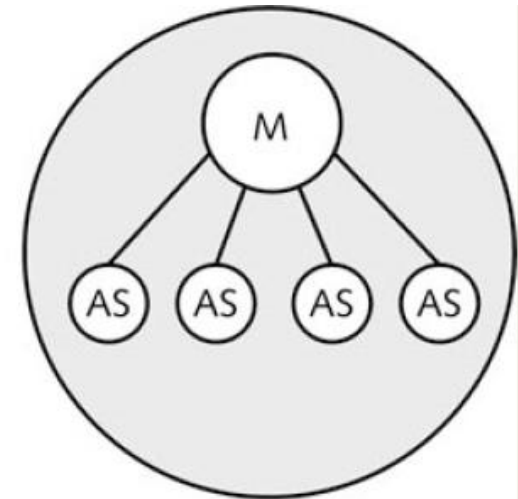
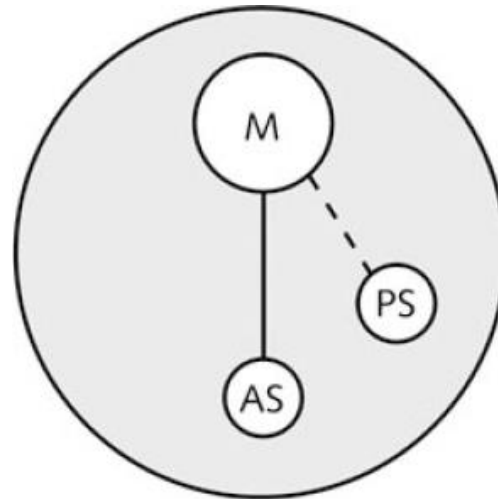


Topologia de Rede

- ❑ A unidade MESTRE comanda toda a comunicação:
 - ❑ Aceitação de unidades escravo na piconet
 - ❑ Controle de sincronismo
 - ❑ Distribuição de banda na transmissão que é feita pela técnica de múltiplo acesso FH-CDMA
(Frequency Hopping Code-Division Multiple Access)
- ❑ Toda a negociação dos aspectos de sincronismo e portadoras de frequência é negociado diretamente entre o MESTRE e o ESCRAVO durante o estabelecimento da conexão
- Cada piconet pode possuir até 8 dispositivos ativos: utilizam-se endereços de 3 bits

Piconet

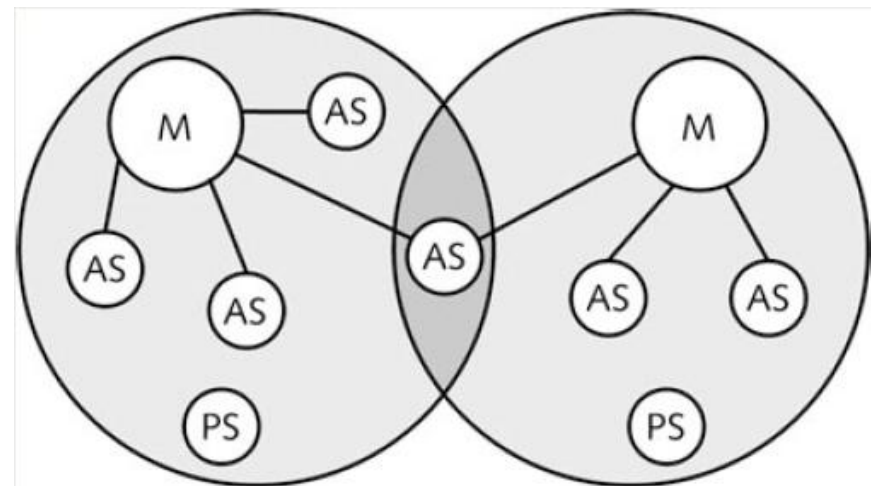
- Os nós em uma piconet podem estar em um dos seguintes estados:
- *Ativo (Active)* – nó conectado em uma piconet e transmitindo dados
- *Estacionados/inativos (Parked)* – nós conectados à piconet mas não realizando transmissões. Escutam o tráfego do mestre, mas não transmitem, pois não têm endereços. Até 255 dispositivos podem estar na piconet neste estado
- *Standby* – aguardando para entrar em uma piconet



M = Master
AS = Active slave
PS = Parked slave

Scatternet

- Especificações do Bluetooth permitem conexão de duas ou mais piconets juntas para formar uma scatternet (sobreposição de piconets).
- Um dispositivo pode ser mestre e escravo em duas piconets, mas nunca mestre em mais de uma.
- As piconets em uma scatternet não permanecem sincronizadas mas dispositivos em uma piconet podem se comunicar com dispositivos de outra piconet sobreposta.



M = Master
AS = Active slave
PS = Parked slave

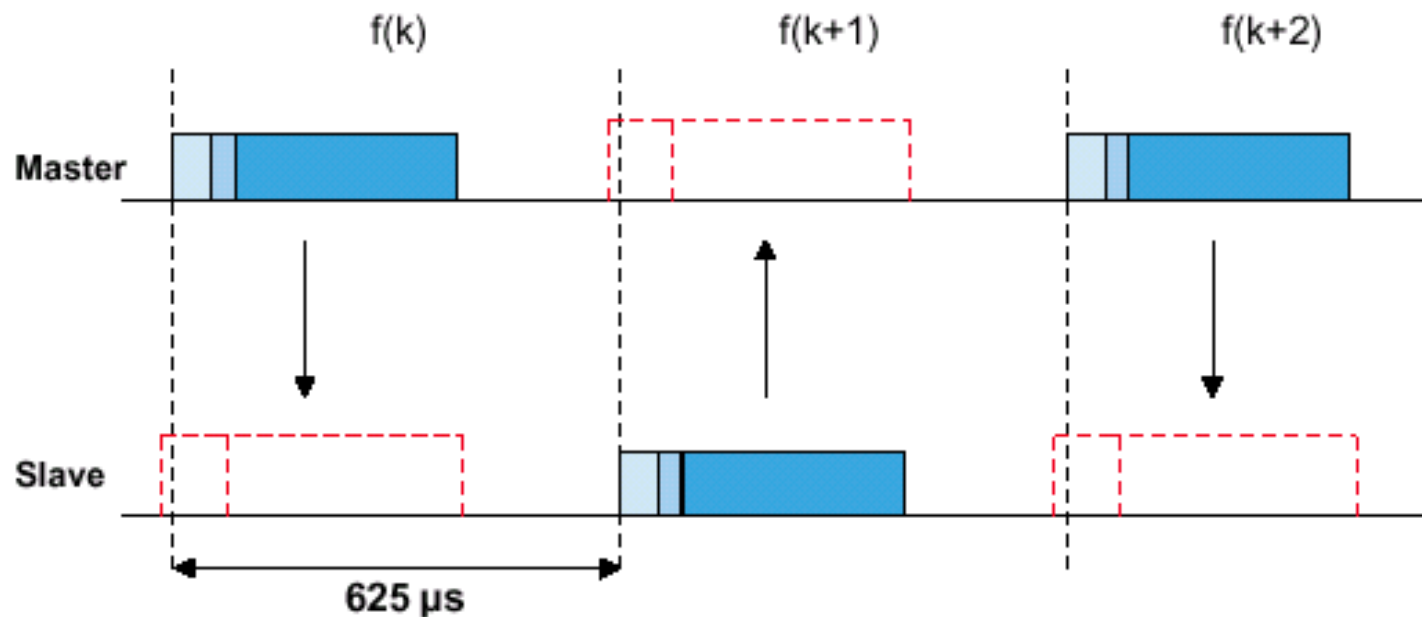
Camada de rádio

- Opera na faixa ISM de 2.4 a 2.4835 GHz 79 frequências são utilizadas, cada uma espaçada da outra por 1 MHz
- Uso da técnica de *frequency hopping*: 1600 saltos por segundo → *time slot* de 625 μ s
- Salto de frequências adaptativo – evita canais que existam outros sinais de RF
- Utiliza modulação GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*)

Banda base

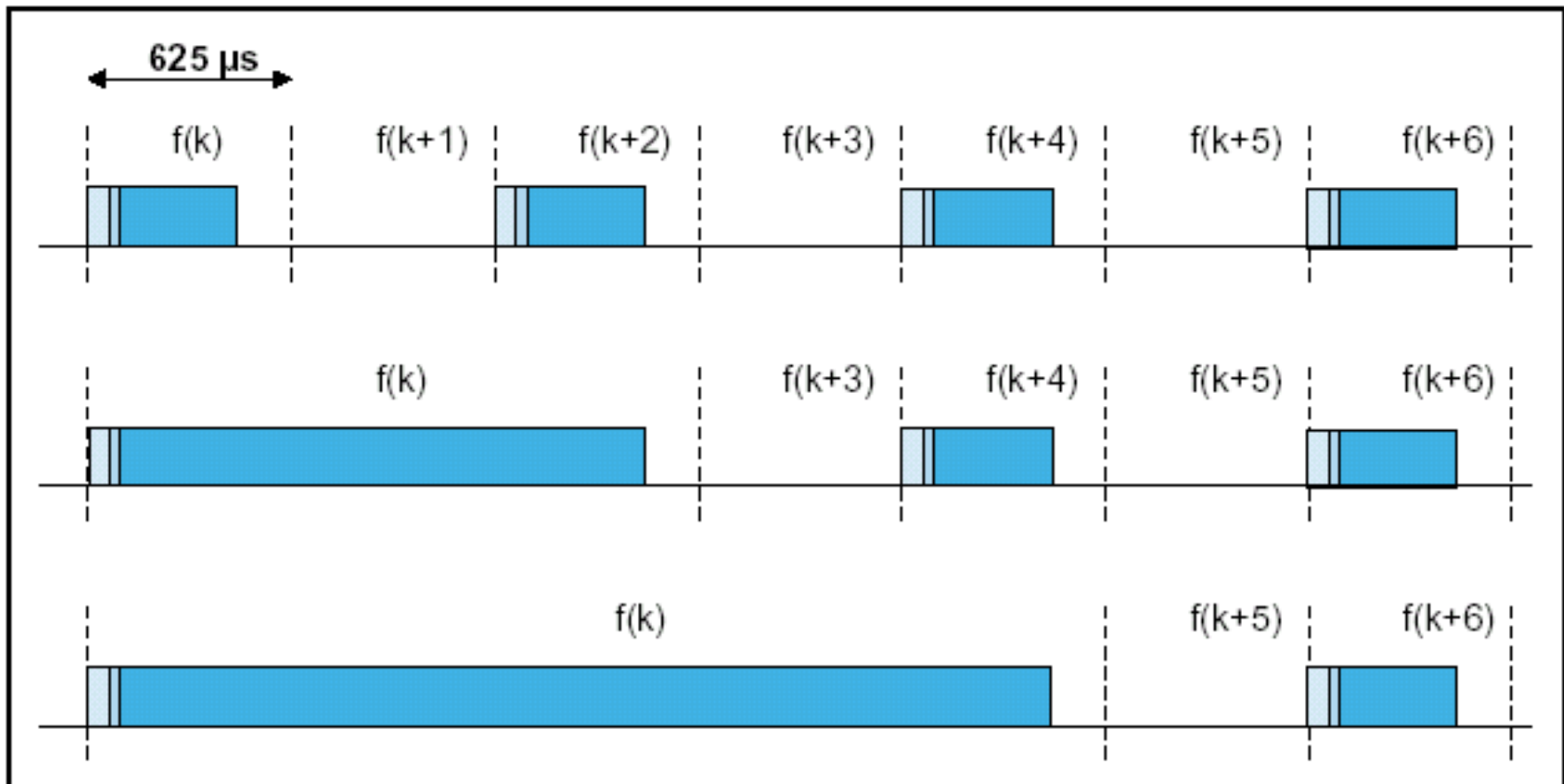
- Mestre regula o relógio e a sequência dos saltos
- Comunicação entre mestre e escravos utiliza um esquema de TDD (*Time Division Duplexing*)

Cada slot de tempo é transmitido em uma frequência



Banda base

- Pacotes podem ocupar 1, 3 ou 5 slots de tempo



Endereço de dispositivo Bluetooth (BD_ADDR)

- Endereço de 48 bits “gravado” em cada dispositivo (similar ao endereço MAC das LANs IEEE 802.xx)

LSB						MSB					
company_assigned						company_id					
LAP						UAP		NAP			
0000	0001	0000	0000	0000	0000	0001	0010	0111	1011	0011	0101

Tipos de enlaces

- Síncronos (SCO – *Synchronous Connection Oriented*)
- Usado principalmente para mídias contínuas – voz e vídeo
- Faz a ligação ponto-a-ponto entre dois aparelhos (um sendo o mestre e outro o escravo)

- Assíncronos (ACL – *Asynchronous Connection-Less*)
- Pacotes de dados
- Usa retransmissão (ARQ)
- Pode usar detecção/correção de erros (CRC/Hamming)

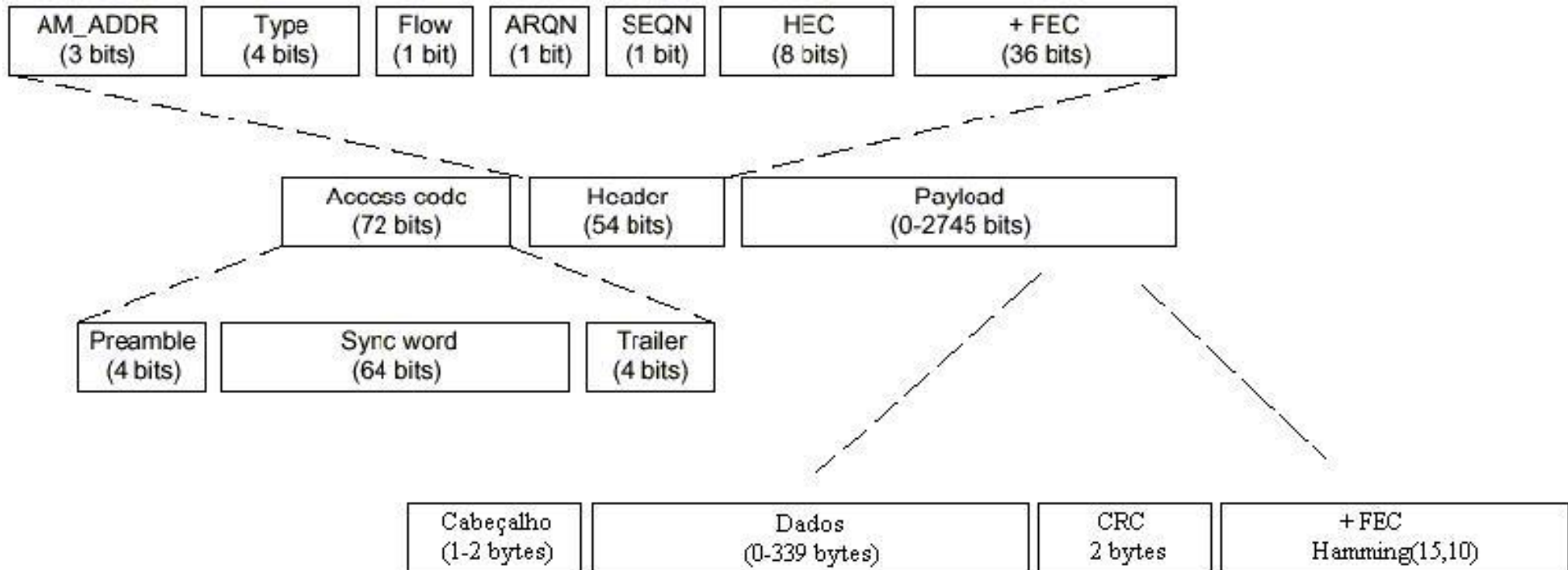
Pacotes ACL

Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	MIC	CRC	Symmetric Max. Rate (kb/s)	Asymmetric Max. Rate (kb/s)	
							Forward	Reverse
DM1	1	0-17	2/3	C.1	Yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0-27	No	C.1	Yes	172.8	172.8	172.8
DM3	2	0-121	2/3	C.1	Yes	258.1	387.2	54.4
DH3	2	0-183	No	C.1	Yes	390.4	585.6	86.4
DM5	2	0-224	2/3	C.1	Yes	286.7	477.8	36.3
DH5	2	0-339	No	C.1	Yes	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0-29	No	No	No	185.6	185.6	185.6
2-DH1	2	0-54	No	C.1	Yes	345.6	345.6	345.6
2-DH3	2	0-367	No	C.1	Yes	782.9	1174.4	172.8
2-DH5	2	0-679	No	C.1	Yes	869.1	1448.5	115.2
3-DH1	2	0-83	No	C.1	Yes	531.2	531.2	531.2
3-DH3	2	0-552	No	C.1	Yes	1177.6	1766.4	235.6
3-DH5	2	0-1021	No	C.1	Yes	1306.9	2178.1	177.1

Pacotes SCO

Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	MIC	CRC	Symmetric Max. Rate (kb/s)
HV1	N/A	10	1/3	No	No	64.0
HV2	N/A	20	2/3	No	No	64.0
HV3	N/A	30	no	No	No	64.0
DV ¹	1 D	10+(0-9) D	2/3 D	No	Yes D	64.0+57.6 D
EV3	N/A	1-30	No	No	Yes	96
EV4	N/A	1-120	2/3	No	Yes	192
EV5	N/A	1-180	No	No	Yes	288
2-EV3	N/A	1-60	No	No	Yes	192
2-EV5	N/A	1-360	No	No	Yes	576
3-EV3	N/A	1-90	No	No	Yes	288
3-EV5	N/A	1-540	No	No	Yes	864

Formato dos pacotes ACL



Pacotes especiais

- Pacote ID: este pacote tem tamanho fixo de 68 bits e é usado nas rotinas de inquiry e paging.
- Pacote NULL: não possui payload e tem tamanho fixo de 126 bits. É usado para retornar informações do destino para a fonte, como indicar o sucesso de uma transmissão .
- Pacote POLL: também não possui payload. É usado pelo mestre de uma piconet na varredura(polling) dos escravos, que devem responder mesmo que não tenham informações para transmitir.
- Pacote FHS: é um pacote especial de controle que dá informações como o endereço Bluetooth e o clock do transmissor. Ocupa 1 time-slot.

LMP – *Link Manager Protocol*

- Funções: Autenticação, pareamento (emparelhamento) e criptografia
- Sincronização: o valor do relógio é atualizado a cada pacote recebido do mestre
- Negociação de capacidade: características suportadas pelos dispositivos
- Negociação de qualidade de serviço: incluindo parâmetros como intervalo de *polling* pelo mestre, latência e capacidade de transferência
- Controle de potência: o dispositivo pode medir a intensidade do sinal recebido, orientando o transmissor a regular sua potência

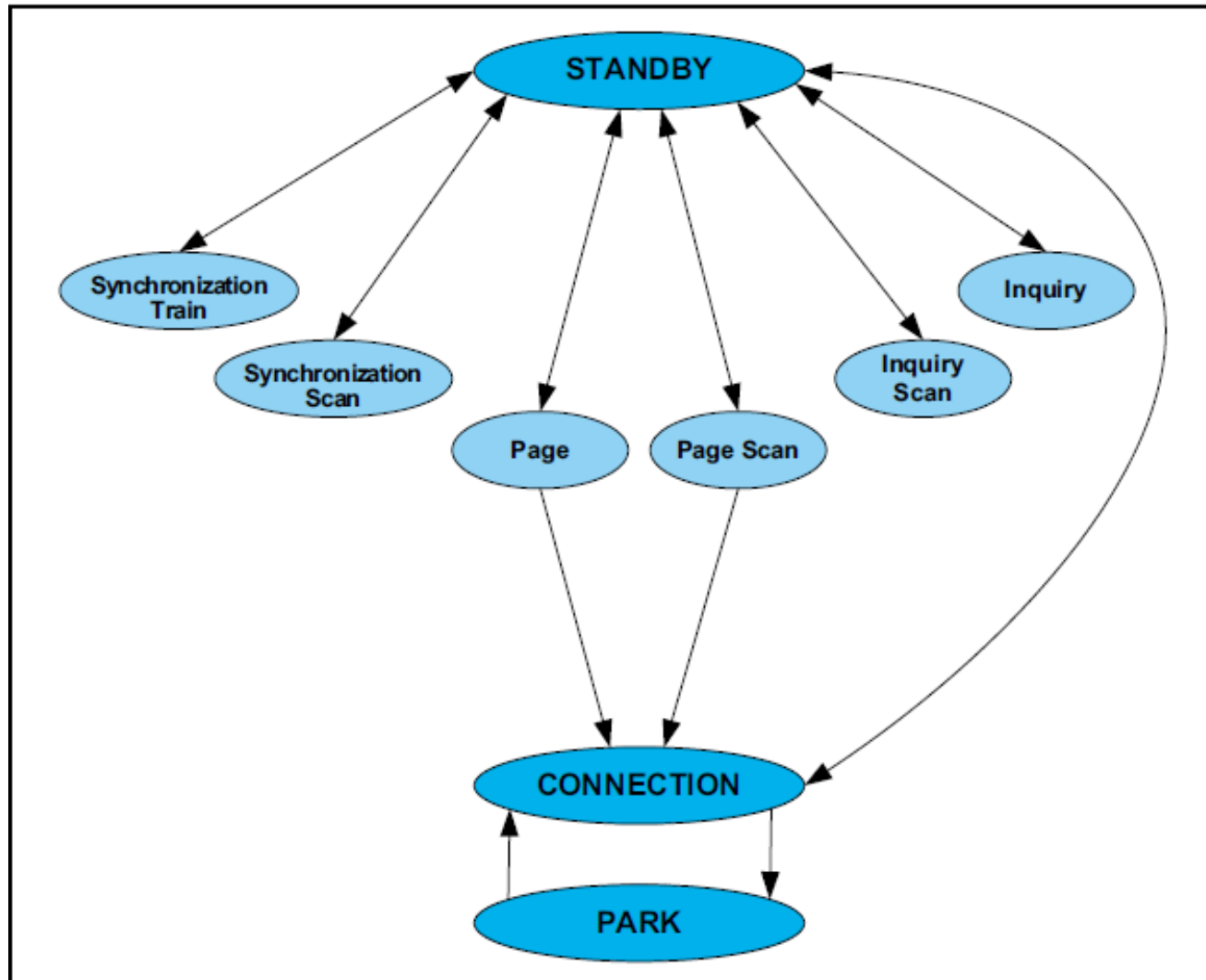
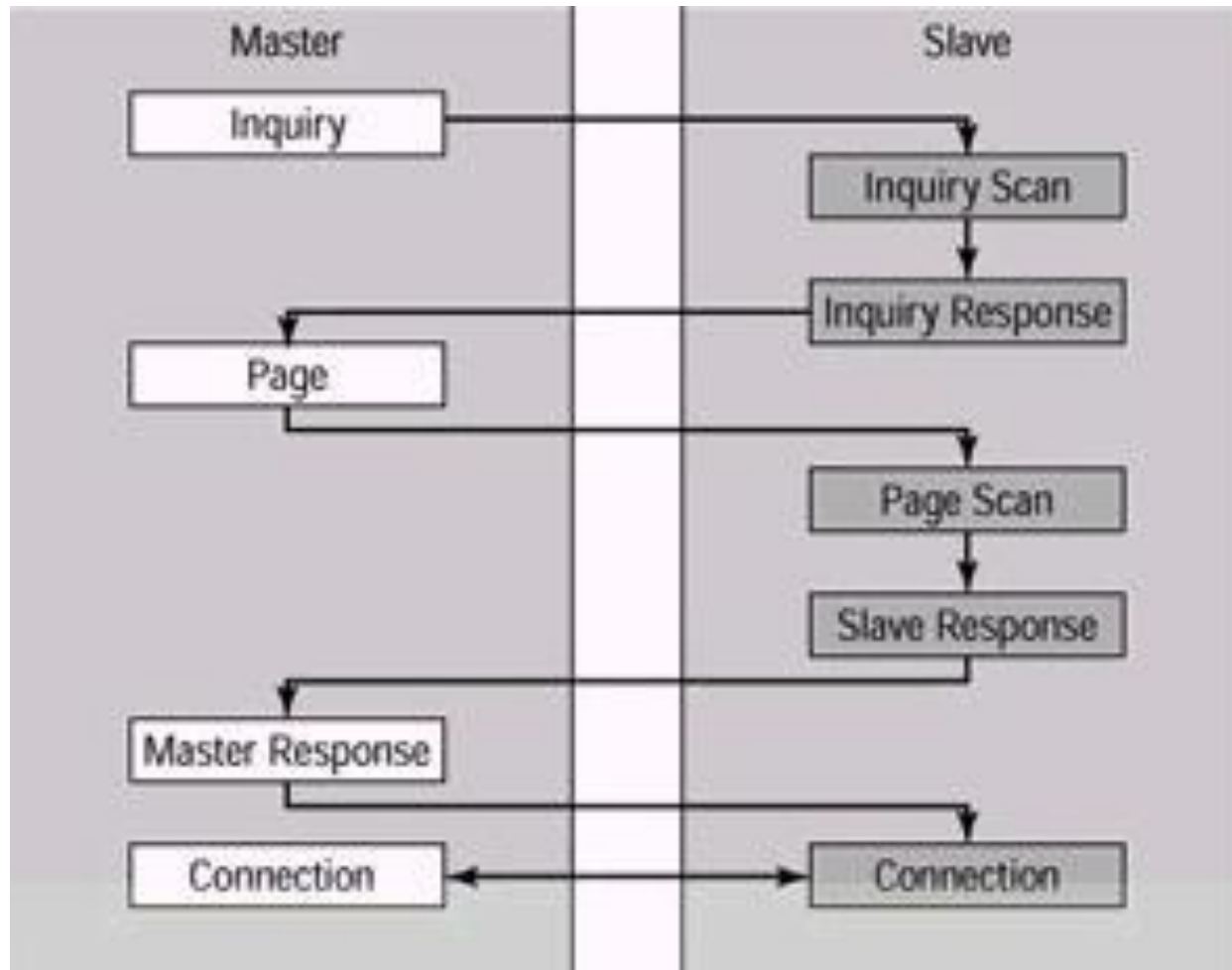


Diagrama de Estados

Dispositivos têm que fazer o pareamento (*inquiry* e *page*)

Sequência de conexão

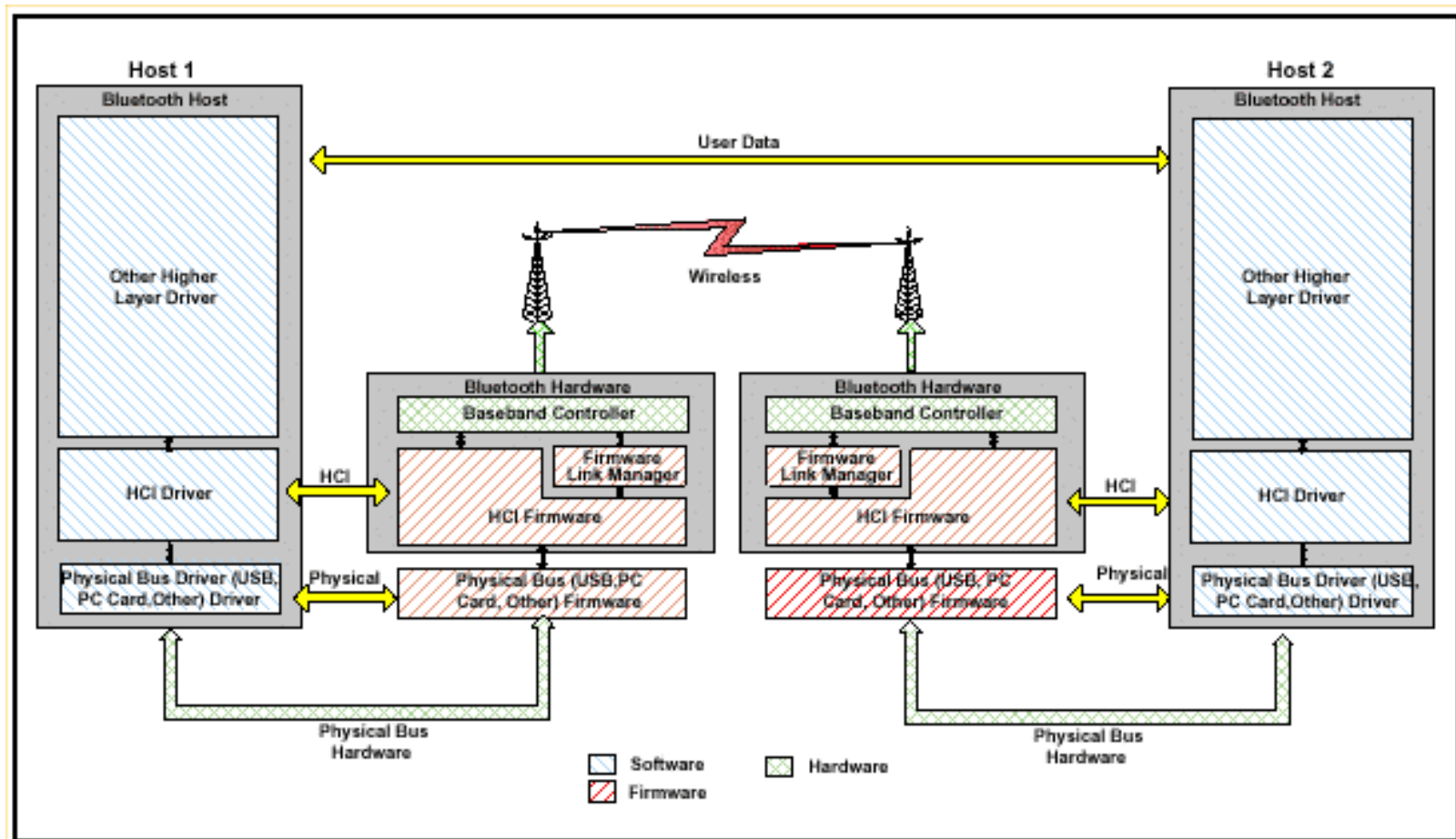


L2CAP – *Logical Link Control and Adaptation Protocol*

- Utilizado pelos protocolos de transporte de dados, funciona como um adaptador entre estes e as camadas inferiores
- Responsável pela multiplexação, segmentação e remontagem de dados de protocolos das camadas superiores
- Provê tanto serviços orientados a conexão quanto sem conexão

Host Controller Interface (HCI)

- Interface padrão para acessar o hardware do Bluetooth



RFCOMM: *RF Communication Interface*

- Provê a emulação de uma porta serial RS-232, disponibilizando uma interface de programação serial muito utilizada com dispositivos como modems e impressoras
- Podem ser estabelecidas até 60 portas concorrentes

SDP – *Service Discovery Protocol*

- Dispositivos podem entrar e sair a qualquer instante de uma piconet, formando um ambiente bastante dinâmico
- Seus serviços devem dinamicamente ser descobertos e sua disponibilidade atualizada
- Descoberta de serviços é o processo por quais dispositivos e serviços numa rede podem localizar, obter e usar as informações de outros serviços na rede
- O SDP é utilizado para encontrar novos serviços disponíveis e remover o registro de serviços que se tornam indisponíveis

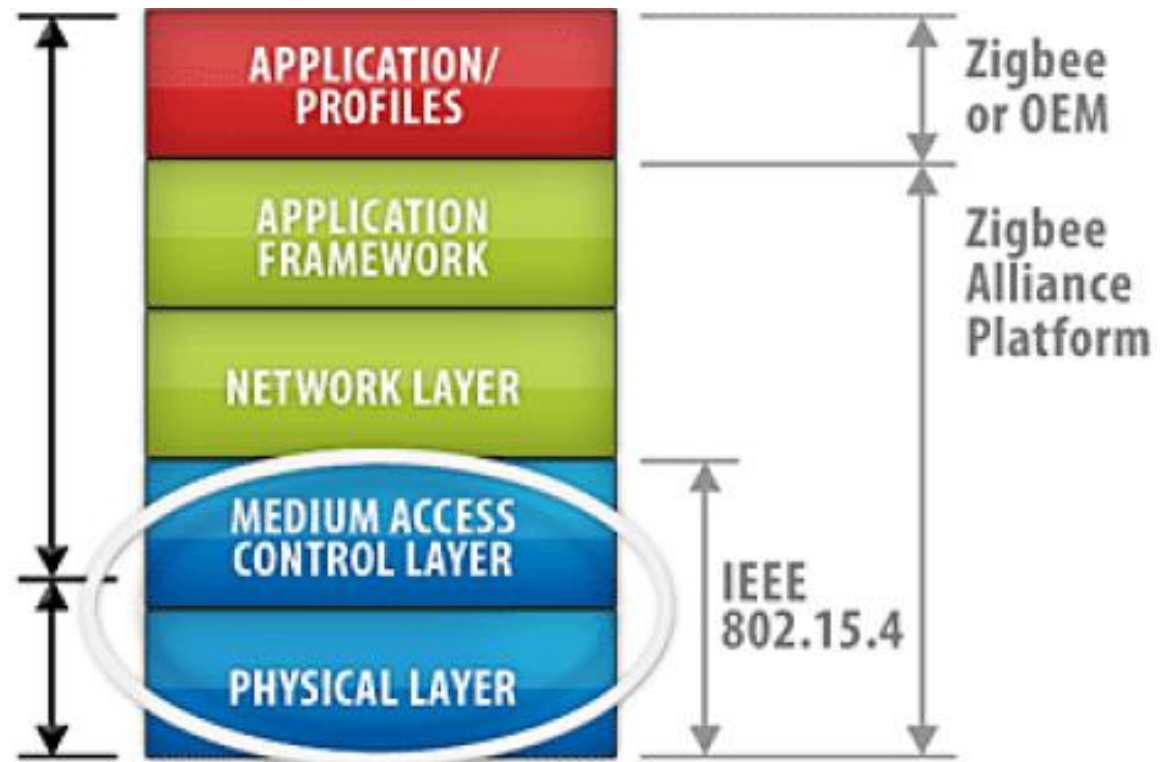
Segurança

- **Pairing:** processo de criar uma chave secreta compartilhada (chave de enlace)
 - *Elliptic Curve Diffie Hellman (ECDH)*
- **Bonding:** armazenar a chave de enlace criada durante o pareamento para uso nas conexões subsequentes
- **Autenticação de dispositivos:** verificação que dois dispositivos tem a mesma chave de enlace
- **Criptografia:** confidencialidade da mensagem
- AES – CCM (*Advanced Encryption Standard - Counter with Cipher Block Chaining - Message Authentication Code*)
- **Integridade da mensagem:** protege contra alterações da mensagem
 - AES - CCM

IEEE 802.15.4

Introdução

- Padrão IEEE 802.15.4 define características camadas física e MAC
- Zigbee define camada de rede e framework para programação de aplicações na camada de aplicação

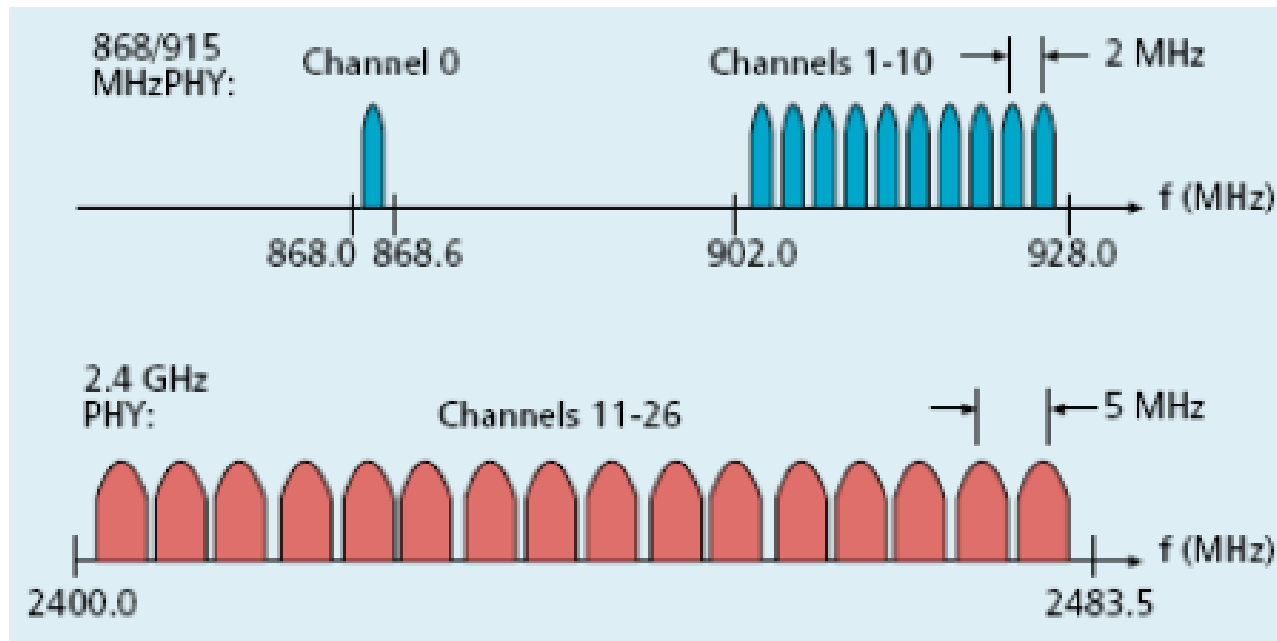


Camada Física

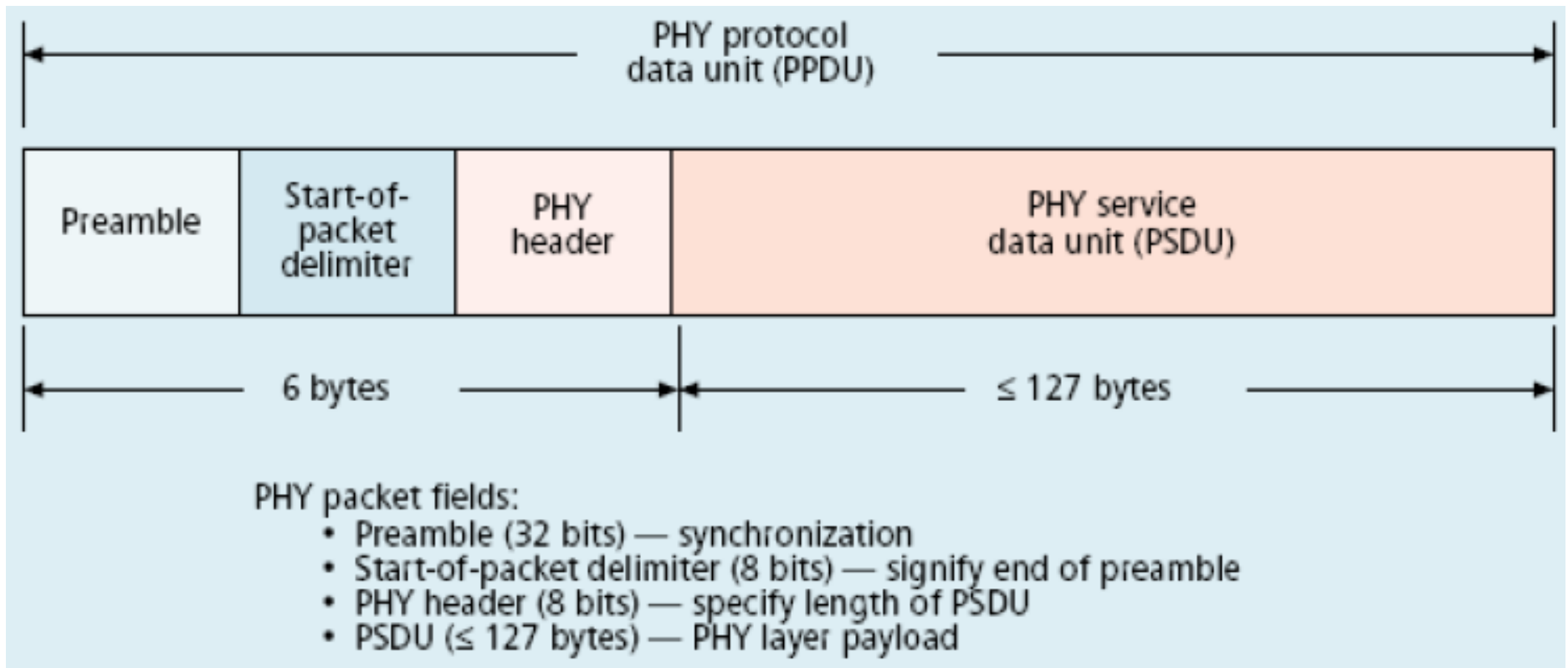
Property	Range
Raw data rate	868 MHz: 20 kb/s; 915 MHz: 40 kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s
Range	10–20 m
Latency	Down to 15 ms
Channels	868/915 MHz: 11 channels 2.4 GHz: 16 channels
Frequency band	Two PHYs: 868 MHz/915 MHz and 2.4 GHz
Addressing	Short 8-bit or 64-bit IEEE
Channel access	CSMA-CA and slotted CSMA-CA

Camada Física

- Baixa taxa de 816/915 MHz PHY pode ser traduzida em melhor sensibilidade e maior área de cobertura (reduz número de nós numa área)
- 2.4 GHz PHY pode ser usada para maior vazão e baixa latência



Estrutura do pacote



Camada Física

- Padrão especifica que cada dispositivo deve ser capaz de transmitir em pelo menos 1mW
- Dispositivos típicos (1mW) devem ter um alcance de 10-20m

PHY	Frequency band	Data parameters			Spreading parameters	
		Bit rate (kb/s)	Symbol rate (kbaud)	Modulation	Chip rate (Mchips/s)	Modulation
868/915	868.0–868.6 MHz	20	20	BPSK	0.3	BPSK
MHz PHY	902.0–928.0 MHz	40	40	BPSK	0.6	BPSK
2.4 GHz PHY	2.4–2.4835 GHz	250	62.5	16-ary orthogonal	2.0	O-QPSK

Camada MAC

- Associação e desassociação
- Reconhecimento de quadros
- Mecanismo de acesso ao canal
- Validação de quadro
- Gerenciamento de garantia de *time-slot*
- Gerenciamento de beacons

Camada MAC

Beacon frame

Octets: 2	1	4/10	2	variable	variable	variable	2
Frame control	Sequence number	Addressing fields	Superframe specification	GTS fields (Figure 38)	Pending address fields (Figure 39)	Beacon payload	FCS
MHR			MAC payload				MFR

Data frame

Octets: 2	1	(see 7.2.2.2.1)	variable	2
Frame control	Sequence number	Addressing fields	Data payload	FCS
MHR			MAC payload	MFR

Acknowledgement frame

Octets: 2	1	2
Frame control	Sequence number	FCS
MHR		MFR

Command frame

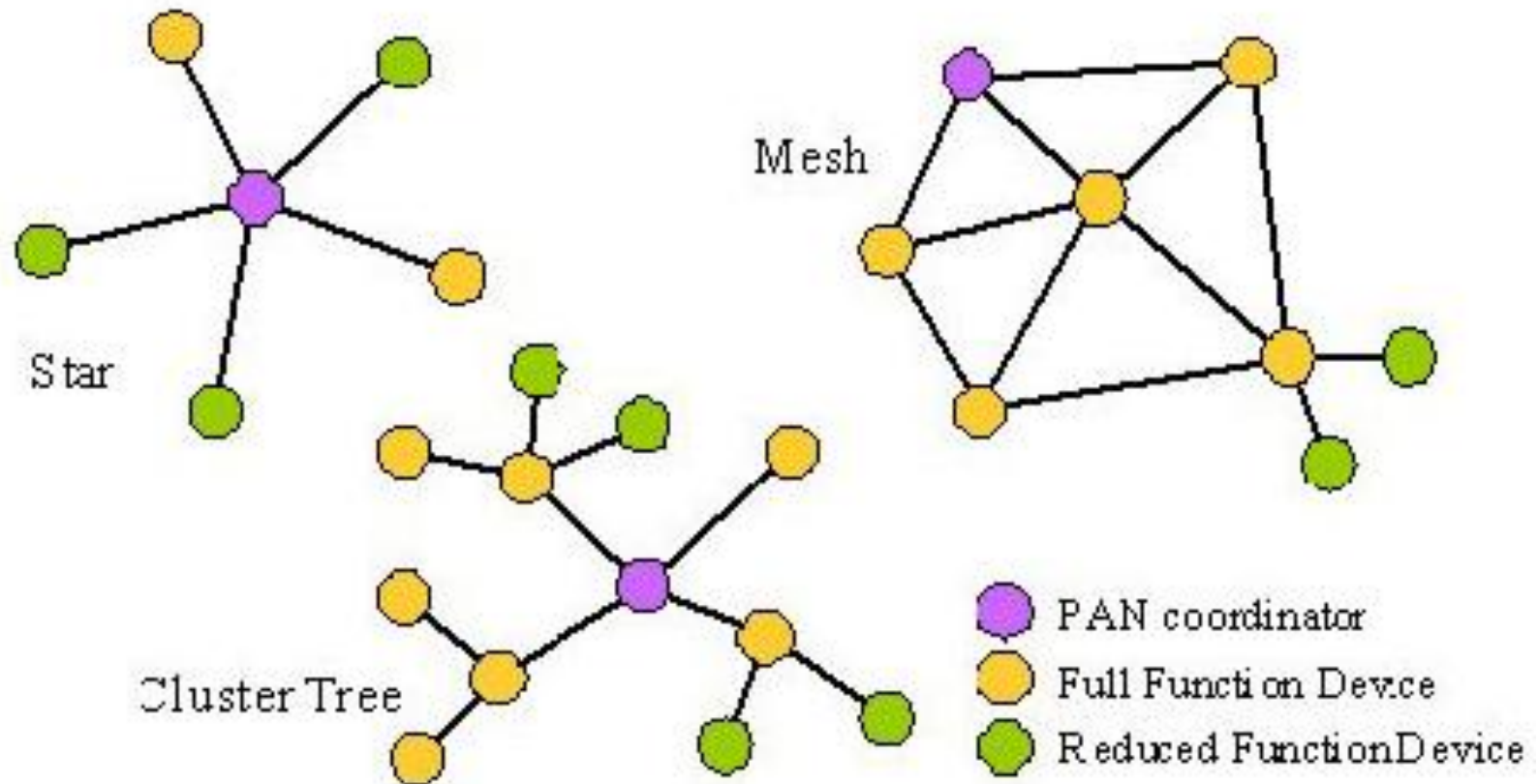
Octets: 2	1	(see 7.2.2.4.1)	1	variable	2
Frame control	Sequence number	Addressing fields	Command frame identifier	Command payload	FCS
MHR			MAC payload		MFR

- 4 estruturas de quadros:
- **Quadro Beacon:** usado pelo coordenador para transmitir beacons.
- **Quadro de dados:** usado nas transferências de dados
- **Quadro acknowledgment (reconhecimento):** para confirmar recepção de quadro
- **Quadro comando MAC:** usado para transmissão de controles MAC

Camada MAC – Dispositivos com Função Reduzida (RFDs) e Dispositivos com Função Total (FFDs)

- **FFDs** são equipados com todas as funções da camada MAC. São habilitados em atuar como coordenadores de rede ou como um dispositivo de rede final.
- **FFDs** atuando como coordenadores podem enviar beacons, oferecer sincronização, comunicação e serviços de rede
- **RFDs** só podem atuar como dispositivos finais:
 - são equipados com sensores/atuadores
 - só podem interagir com FFD

Topologia de Rede

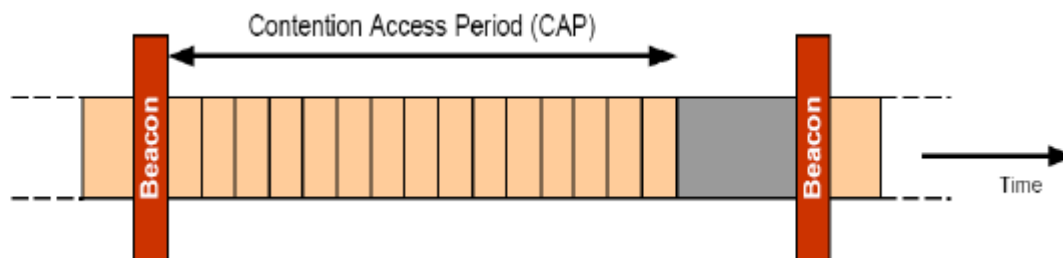


Camada MAC

Transferência de dados em modo beacon

- O coordenador envia sinais beacon periódicos contendo informação que permite aos nós da rede sincronizar as comunicações. Um beacon também contém informação de dados pendentes para diferentes nós da rede.
- Dois beacons sucessivos marcam o início e fim de um *superframe*. Um *superframe* contém 16 timeslots que podem ser usados pelos nós para comunicação. O intervalo de tempo total destes timeslots é chamada de Período de Contenção de Acesso (**CAP – Contention Access Period**). Durante este tempo os nós podem tentar se comunicar usando CSMA/CA.

Superframe structure

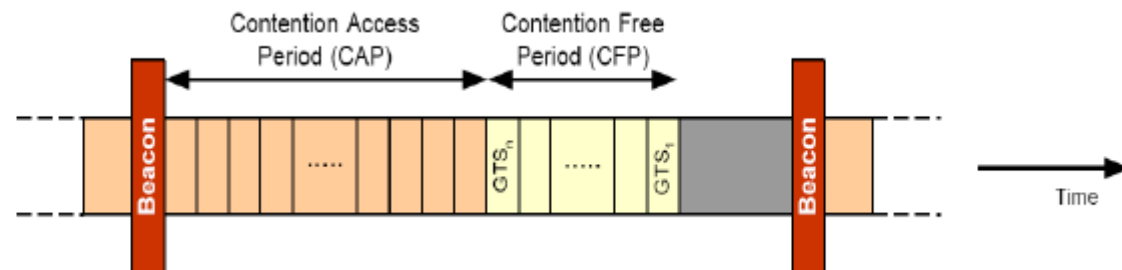


Camada MAC

Transferência de dados em modo beacon

- Um nó pode requisitar timeslots particulares (dos 16 disponíveis). São timeslots consecutivos chamados Timeslots Garantidos (**GT – Guaranteed Timeslots**). Estão localizados após o CAP e o intervalo de tempo total de todos os GTs (de todos os nós) é o Período Livre de Contenção (**CFP – Contention Free Period**). Comunicação no CFP não precisa de uso do CSMA/CA. O uso do GTS reduz o CAP.

Superframe with GTs

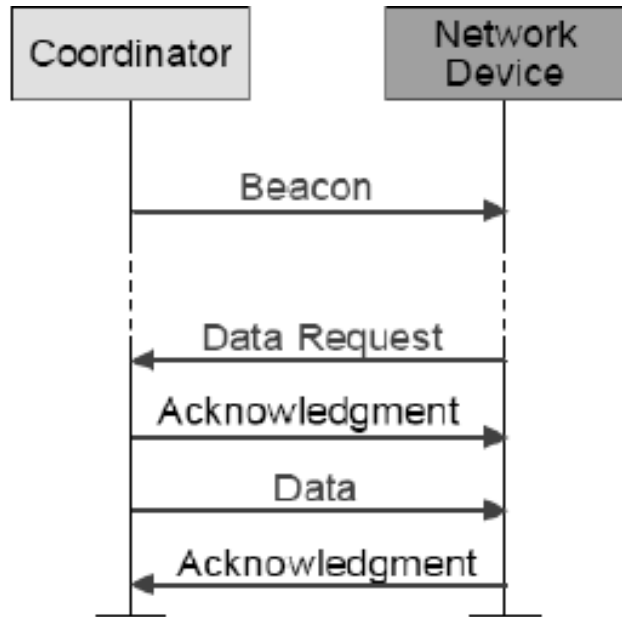


Camada MAC

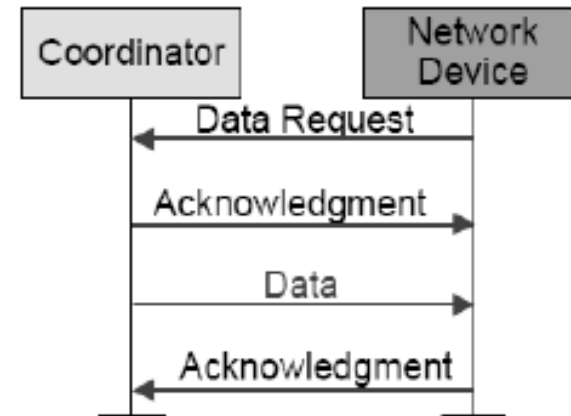
Transferência de dados em modo não beacon

- Beacons não são transmitidos de maneira regular.
- Comunicações são assíncronas – um dispositivo se comunica com o coordenador apenas quando precisa. Se for pouco frequente, permite economizar energia.
- Para determinar se há dados pendentes, o nó deve “sondar” (poll) o coordenador
- O modo não beacon é útil em aplicações com pouco tráfego entre nós da rede e o coordenador. Neste caso, o uso regular de beacons pode não ser necessário e irá desperdiçar energia.

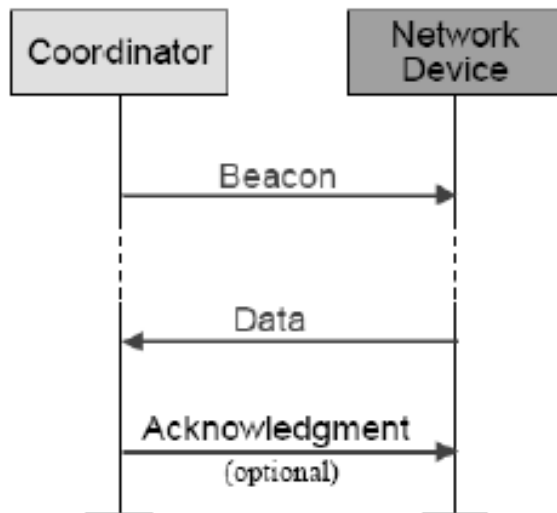
Camada MAC



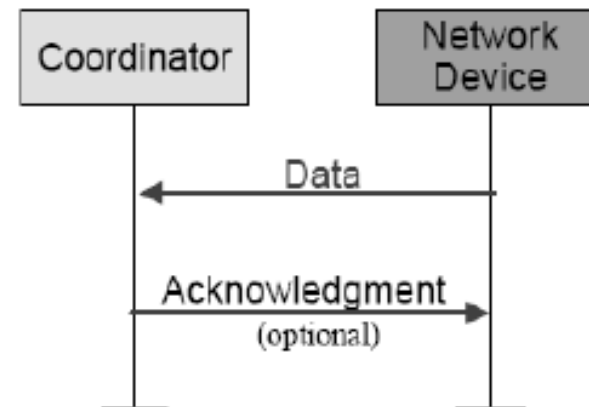
Communication from a coordinator a beacon-enabled network



Communication from a coordinator in a nonbeacon-enabled network



Communication to a coordinator in a beacon-enabled network

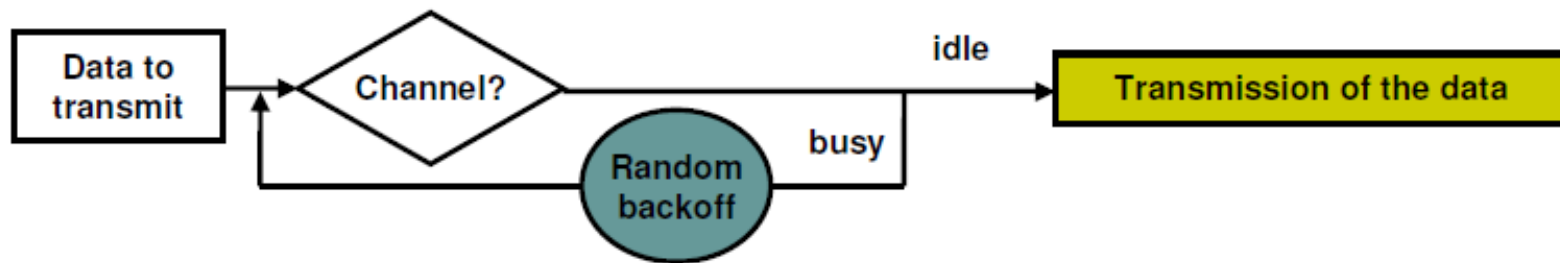


Communication to a coordinator in a nonbeacon-enabled network

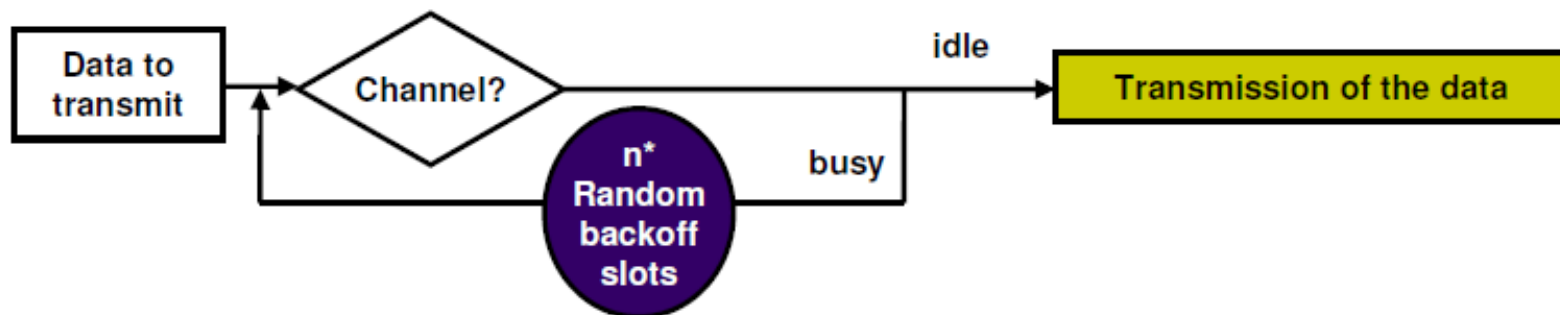
Camada MAC

CSMA/CA – Acesso ao Canal

- Unslotted CSMA-CA for nonbeacon-enabled PANs:



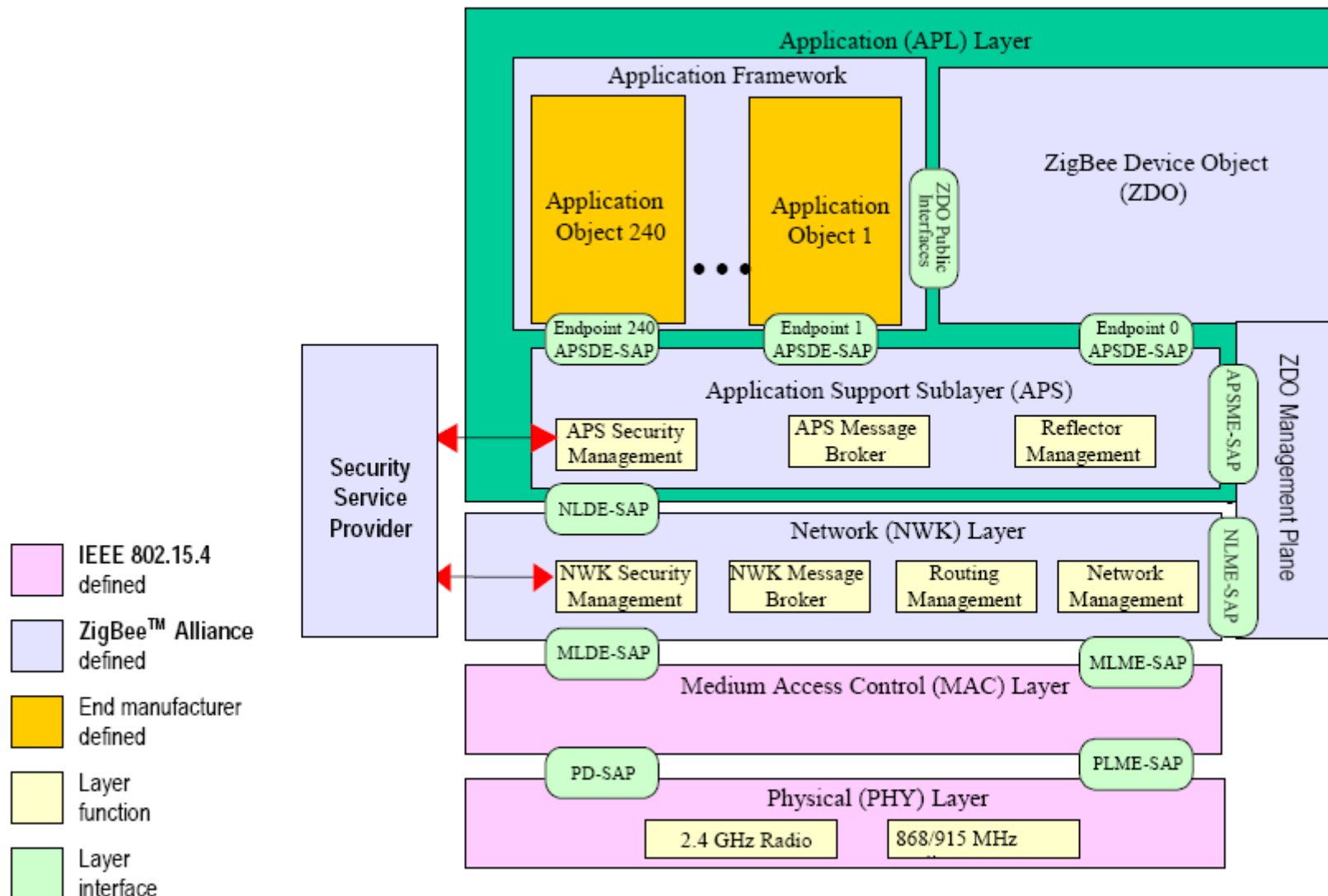
- Slotted CSMA-CA for beacon-enabled PANs:



Segurança

- Camada MAC oferece 3 modos de segurança:
- Modo inseguro:
- Modo ACL (*Access Control List*): o dispositivo mantém uma lista com os endereços dos nós que pode se comunicar.
- Modo seguro:
 - Controle de acesso (ACL)
 - Criptografia – padrão AES
 - Integridade – código de integridade de mensagem
 - *Sequential freshness*: contador de quadros para determinar quão recente é uma mensagem. Protege contra ataques do tipo replay (em que mensagens antigas são reenviadas ao dispositivo).

Arquitetura ZigBee



IEEE 802.15.3

UWB

IEEE 802.15.3

- Baixo custo, baixo consumo e alta taxa de dados para WPAN
- Suporte a QoS (Qualidade de Serviço)
- Comparação:
 - Wi-Fi tem alto custo e alto consumo
 - Bluetooth e ZigBee taxa de dados baixa
- Aplicações:
- Conectividade multimídia sem fio
- Distribuição de áudio e vídeo
- Alta transferência de dados

802.15.3 = Wireless Multimedia



UWB

- **UWB** (*Ultra-wide-band*) , **banda ultralarga**.
- O UWB é usada para referenciar qualquer tecnologia de rádio em que se use uma largura de banda maior de 500 MHz ou mais que 25% da frequência central, de acordo com FCC (*Federal Communications Commission*) dos Estados Unidos.
- Diversas dificuldades estão sendo encontradas para padronização total do UWB.