

# Complementos de Redes

## Licenciatura Eng.<sup>a</sup> Informática

2º Semestre 2015/16

Prof. José Rogado

jose dot rogado at ulusofona dot pt

Prof. José Faísca

jose dot faisca at gmail dot com

Universidade Lusófona



# Roadmap

## - Introdução

## - Redes sem Fios

- ❑ Características das ligações sem fios
- ❑ IEEE 802.11 wireless LANs (“wi-fi”)
- ❑ Acesso Internet Celular
  - Arquitectura
  - Standards
    - GSM, GPRS, UMTS
    - CDMA

## - Mobilidade

- ❑ Princípios: endereçamento e routing em redes móveis
- ❑ Mobile IP
- ❑ Gestão da mobilidade em redes celulares
- ❑ Impacto da Mobilidade nos níveis de protocolos

## - Sumário



# Introdução

## Contexto:

- ❑ A utilização das redes sem fios aumentou de forma notável nos últimos anos (e continua...)
- ❑ Redes de computadores: Laptops, SmartPhones, Tablets permitem acesso permanente e ubíquo à Internet
- ❑ Dois desafios importantes e independentes
  - Garantir a comunicação através de ligações sem fios com débitos elevados e baixas taxas de erros
  - Gerir as possíveis mudanças dos pontos de ligação dos terminais dos utilizadores
- ❑ Implicações importantes na camada física implementada por modulação de Rádio Frequência

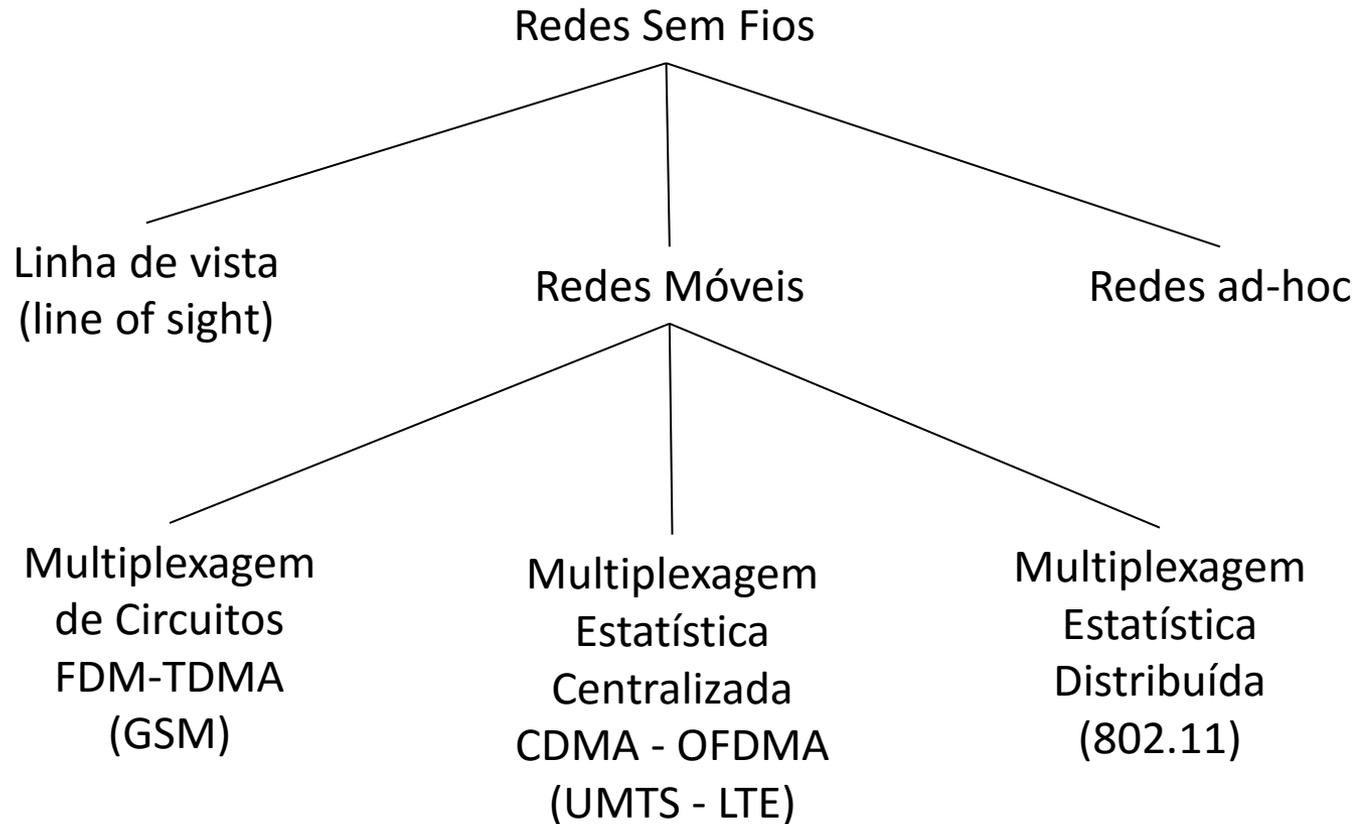


# Características

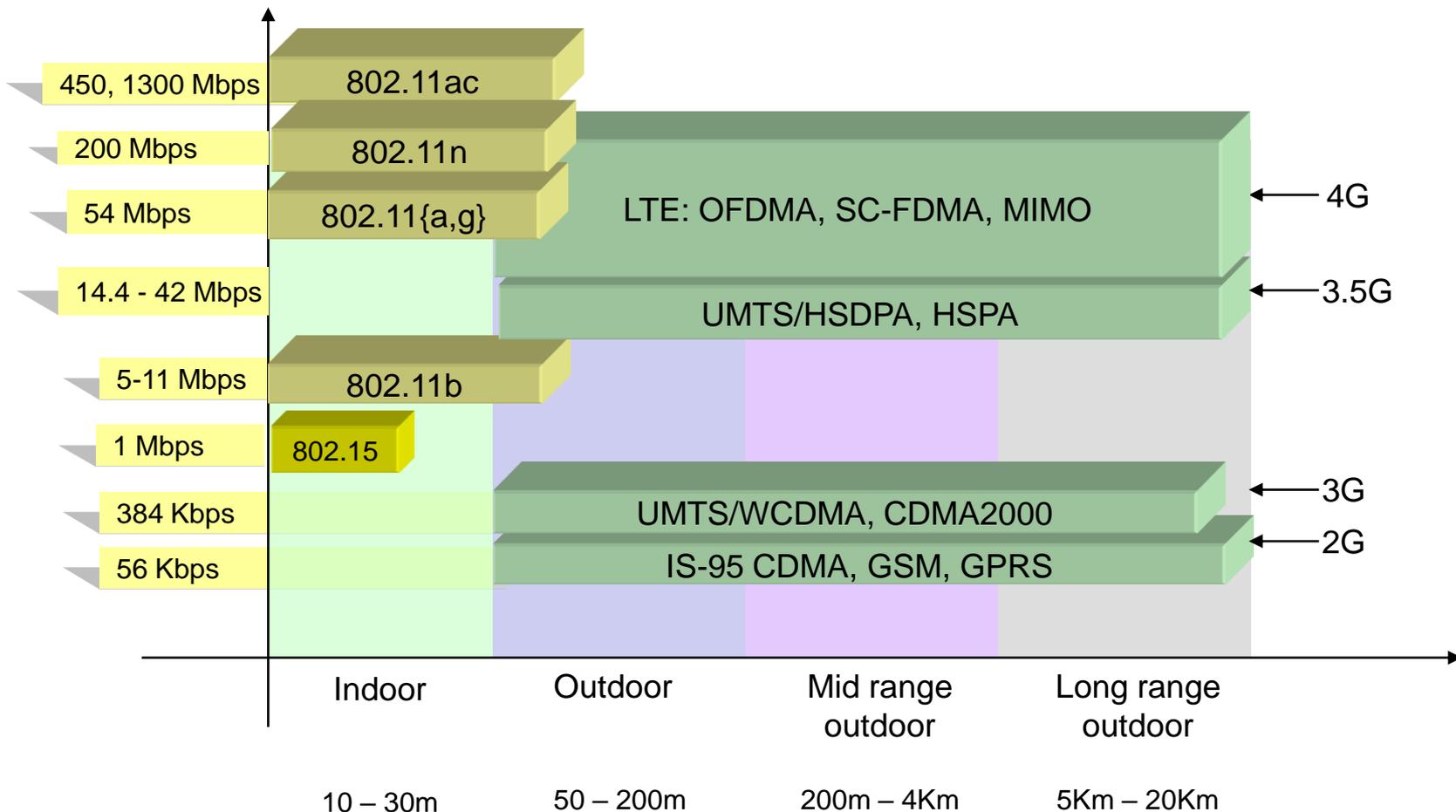
- ❑ Necessidade de gestão do espectro de R/F de forma a garantir elevado grau de *adaptabilidade*
- ❑ Redes Móveis
  - Acesso partilhado do espectro por múltiplos intervenientes
- ❑ Dois tipos de acesso distintos
  - Alocação prévia de recursos (cf. C/S)
    - GSM com tecnologias de tipo FDM-TDMA
  - Multiplexagem estatística (cf. P/S)
    - Centralizada: LTE com tecnologia de tipo OFDM
    - Distribuída: 802.11 com tecnologia TDMA estatística



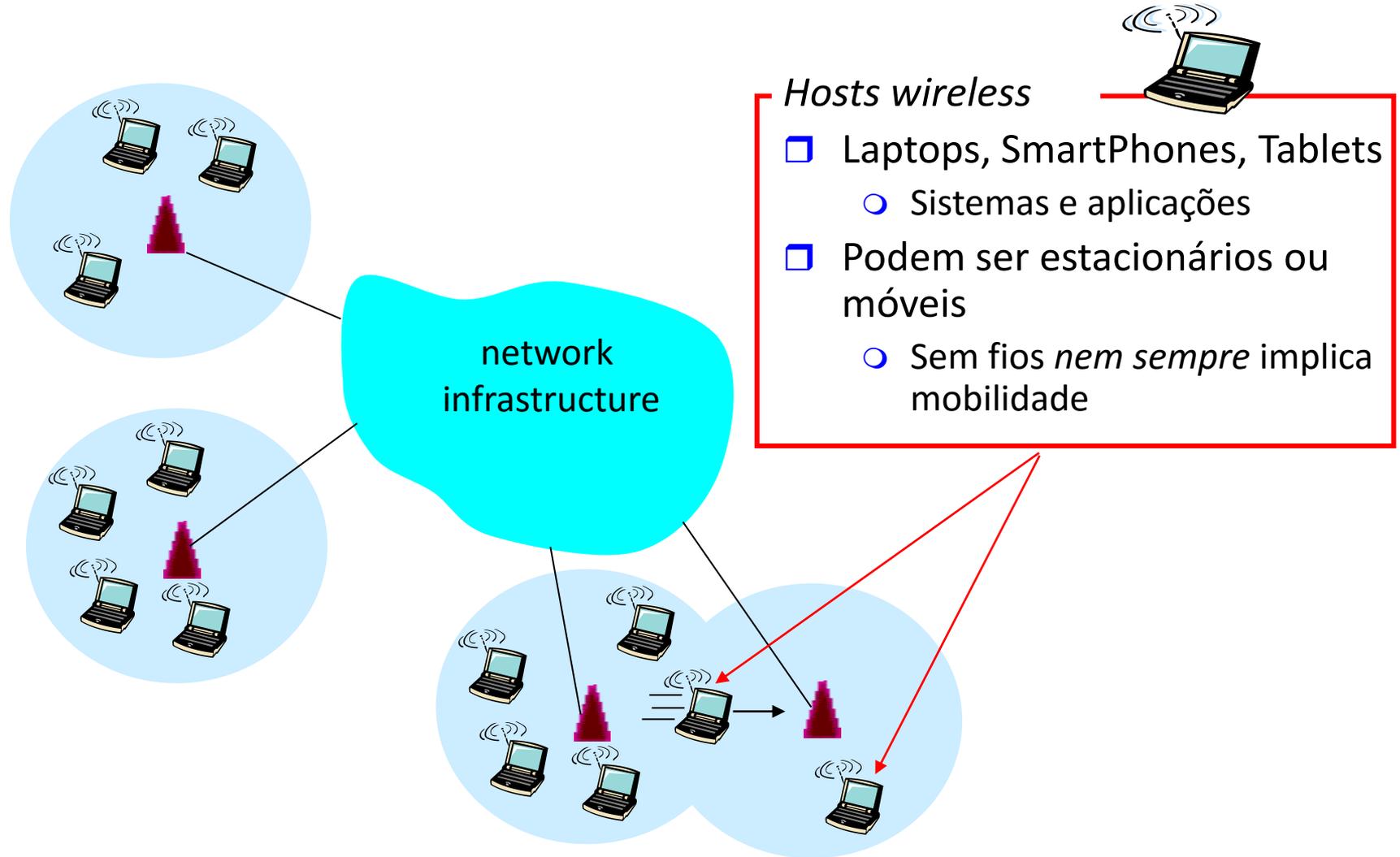
# Taxonomia das Redes sem Fios



# Alguns *standards* de ligações sem fios



# Elementos de uma rede sem fios (i)

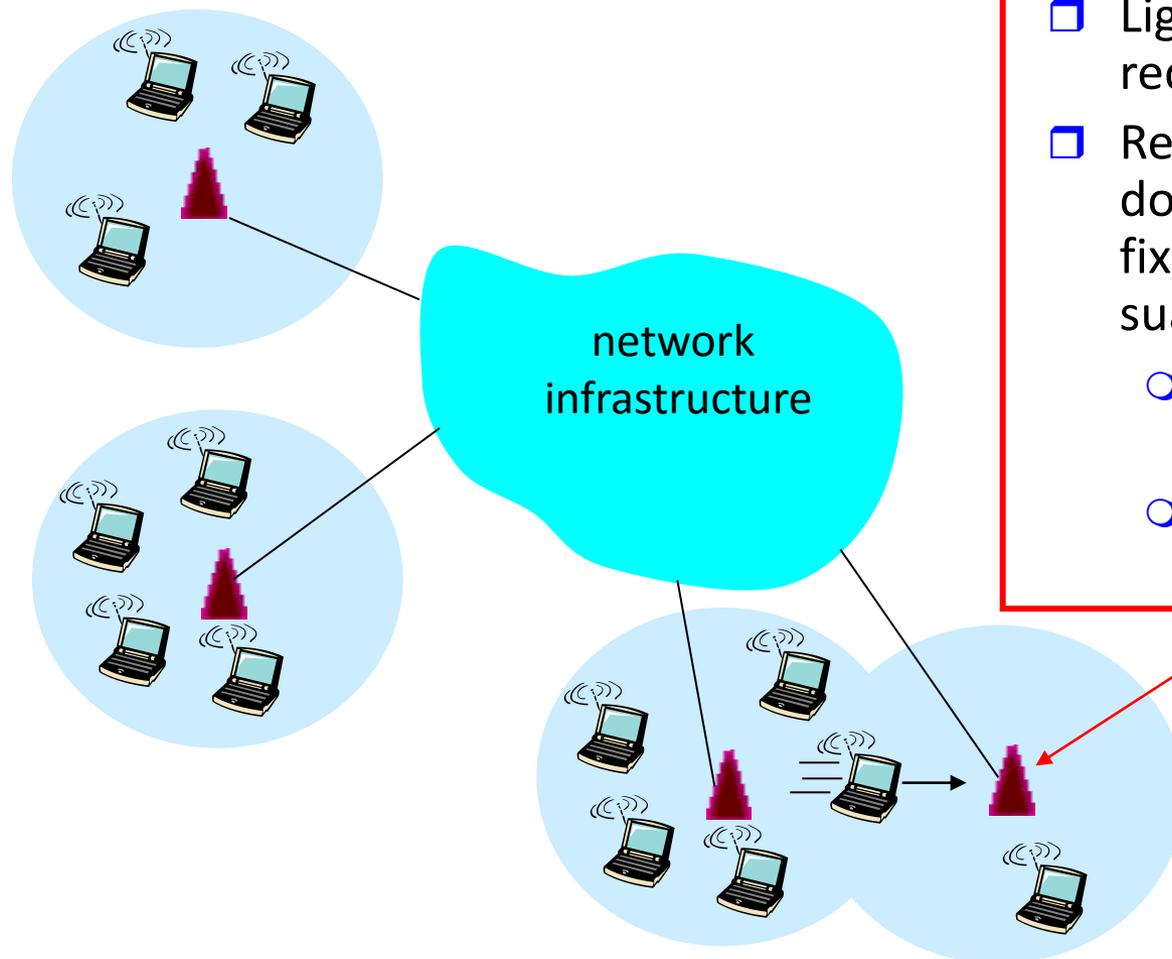


# Elementos de uma rede sem fios (ii)

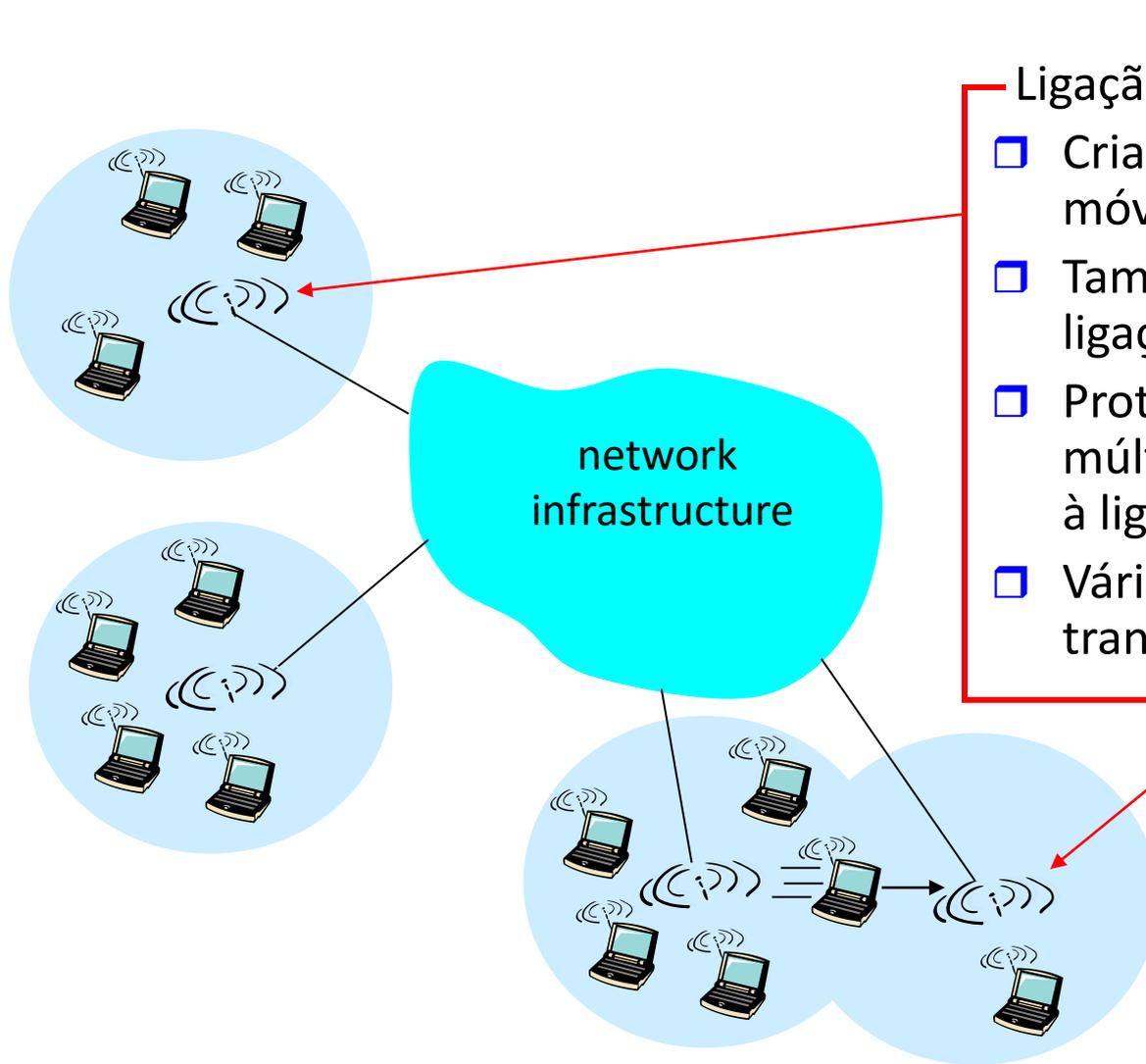


## Base Stations

- Ligadas à infra-estrutura de rede
- Responsáveis pelo relay dos pacotes entre a rede fixa e os hosts wireless da sua área
  - Antenas celulares GSM, UMTS, LTE
  - Pontos de acesso 802.11



# Elementos de uma rede sem fios (iii)

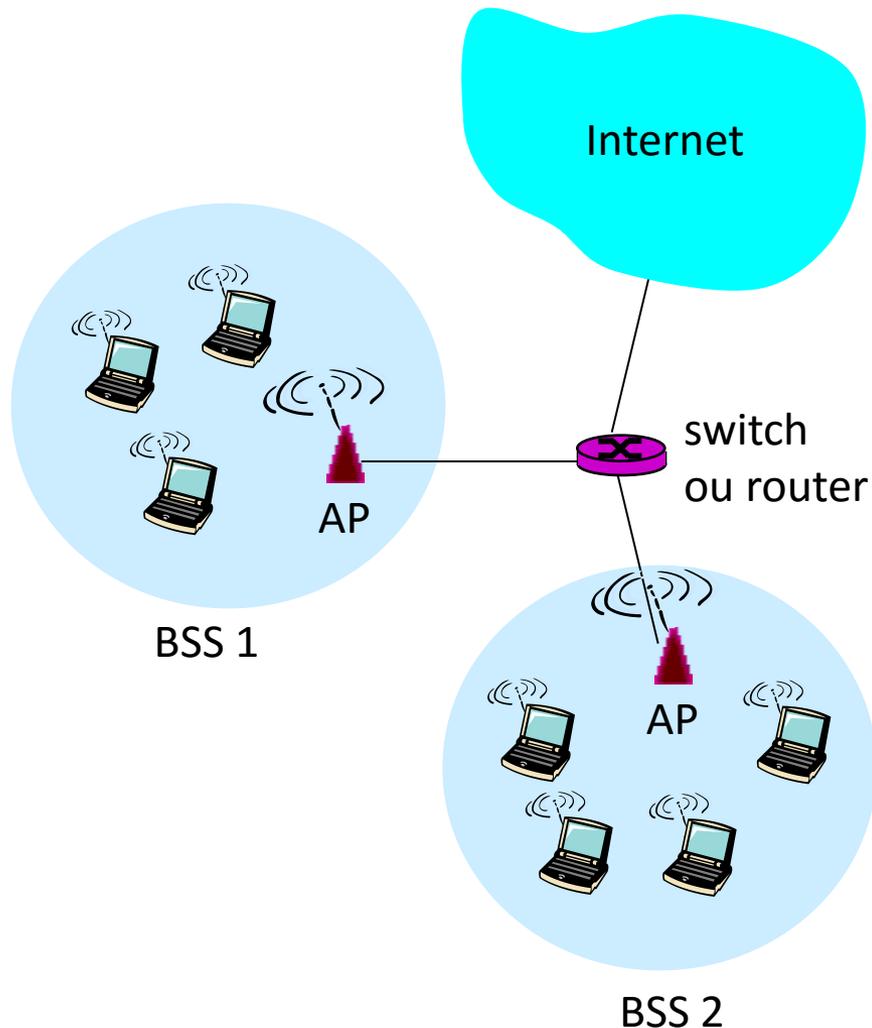


## Ligação *wireless*

- ❑ Cria a conexão entre os móveis e a *base station*
- ❑ Também utilizada como uma ligação *backbone*
- ❑ Protocolos de acesso múltiplo governam o acesso à ligação
- ❑ Várias taxas e distâncias de transmissão



# Elementos de uma LAN 802.11



- ❑ Um **Basic Service Set (BSS)** (ou “célula”) é composta por:
  - Vários clientes wireless
  - Uma *base station* ou **Access Point (AP)**
- ❑ Um BSS é identificado pelo **Service Set Identifier: SSID**
- ❑ A ligação à rede fixa é realizada por um *switch* ou *router*

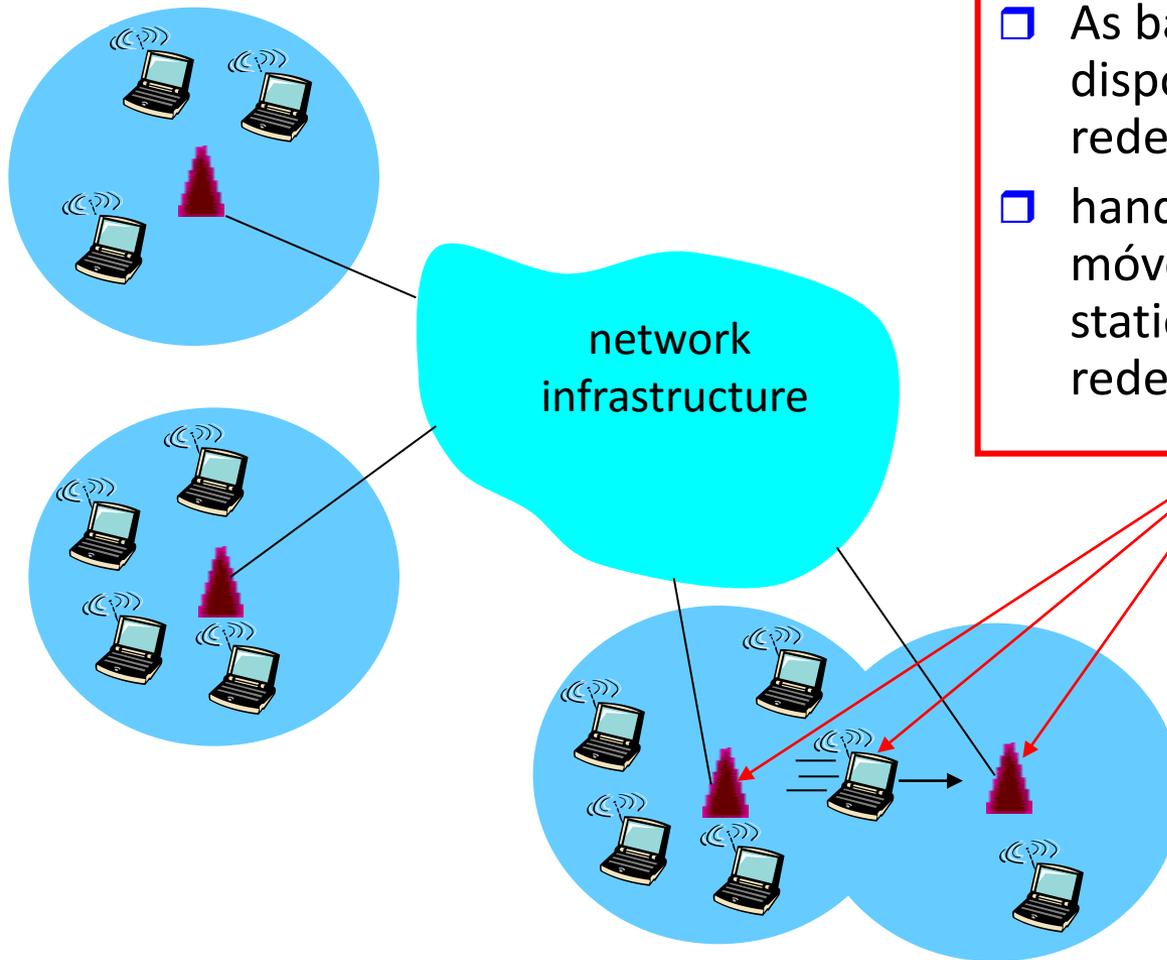


# Associação cliente-AP

- ❑ Para aceder à rede, um cliente tem de se **associar** a uma AP
  - Realiza um varrimento de canais à procura de *beacon frames* que contenham o SSID e o respectivo endereço MAC
  - Escolhe a AP e inicia o protocolo de associação
  - Pode necessitar de autenticação (ver Cap. I)
  - O endereço IP para a sub-rede gerida pela AP é geralmente obtida por DHCP



# Modos de Funcionamento (i)

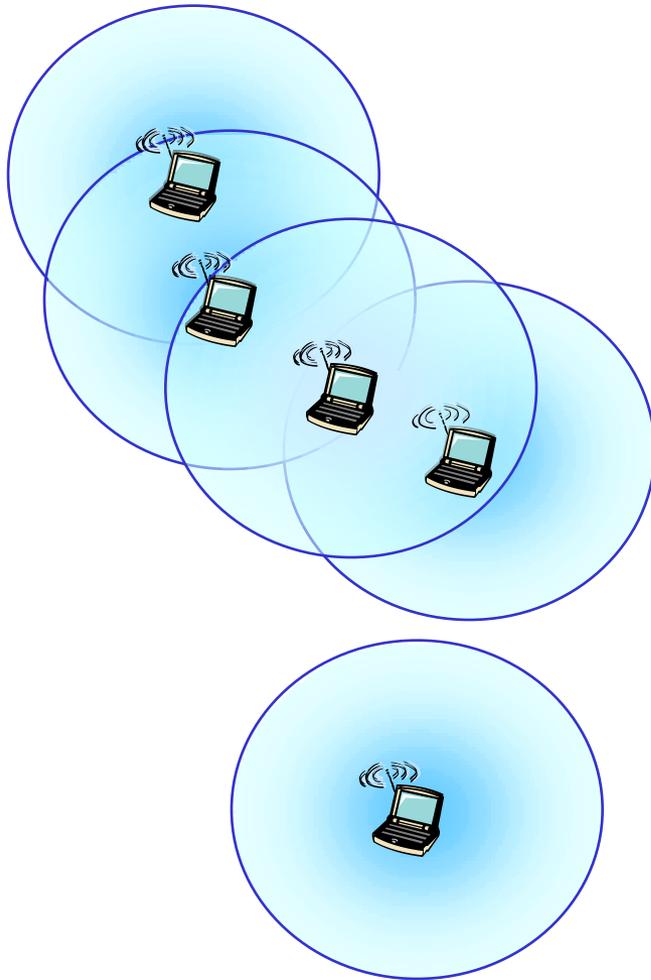


## Modo Infra-estrutura

- ❑ As base stations ligam os dispositivos móveis a uma rede fixa
- ❑ handoff: um dispositivo móvel muda de base station que lhe dá acesso à rede fixa



# Modos de Funcionamento (ii)



## Modo Ad hoc

- ❑ Não existem *base stations*
- ❑ Os nós só podem transmitir para outros nós dentro da área de cobertura da ligação
- ❑ Os nós estabelecem uma rede entre eles



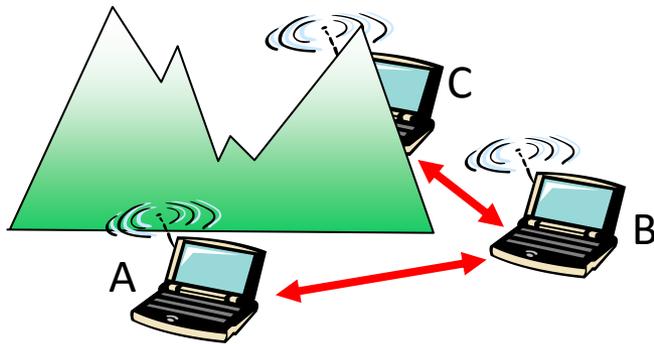
# Características das Ligações sem Fios

- ❑ As diferenças relativamente às ligações fixas:
  - **Força do sinal decrescente:** o sinal de rádio é atenuado à medida que se propaga pelo meio de transmissão
  - **Interferências de outras fontes:** as frequências de transmissão estandardizadas (e.g., 2.4 GHz) são partilhadas por outros dispositivos (Bluetooth, telefones, ratos, micro-ondas,,...)
  - **Propagação multi-direccional:** os sinais de rádio reflectem-se em objectos e obstáculos e chegam ao destino com tempo de atraso distintos provocando interferências
- ❑ Tornam as ligações sem fios mais difíceis de estabelecer, mesmo ponto a ponto
  - Necessidade de protocolos de correcção de erros mais elaborados
  - A partilha do meio de transmissão tem de ser feita através de protocolos mais robustos



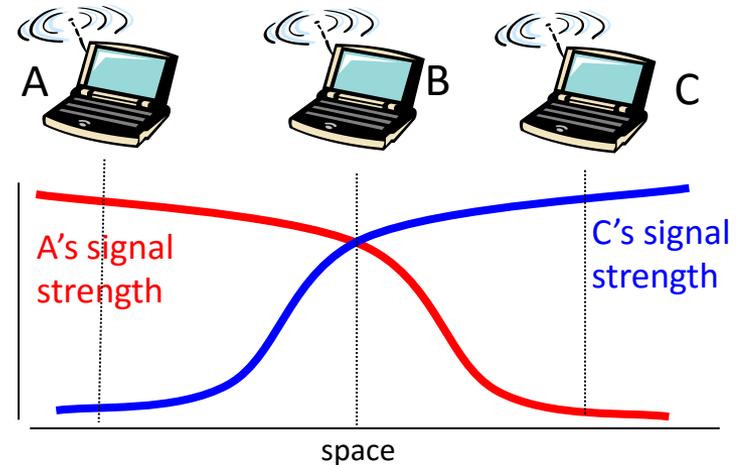
# Alguns problemas comuns:

- ❑ A existência de múltiplos emissores e receptores cria problemas adicionais, para além da partilha física do meio:



## Problema do terminal escondido

- ❑ B e A comunicam
  - ❑ B e C comunicam
  - ❑ A e C não comunicam
- => A e C não têm noção de que podem interferir em B !



## Atenuação do Sinal:

- ❑ O mesmo problema acontece entre A e C
- => Os protocolos de detecção de colisões não funcionam como nas redes fixas !



# LANs Wireless IEEE 802.11

Os standards mais divulgados para redes sem fios, omnipresentes: casas, escritórios, escolas...

**802.11a**

- 5-6 GHz Range
- OFDM (Orthogonal Frequency-Division multiplexing Modulation)
- Up tp 54 Mbps

Todas as versões utilizam o protocolo **CSMA/CA** para acesso ao meio físico

Todas permitem configurações em modo infra-estrutura ou ad-hoc

**802.11b**

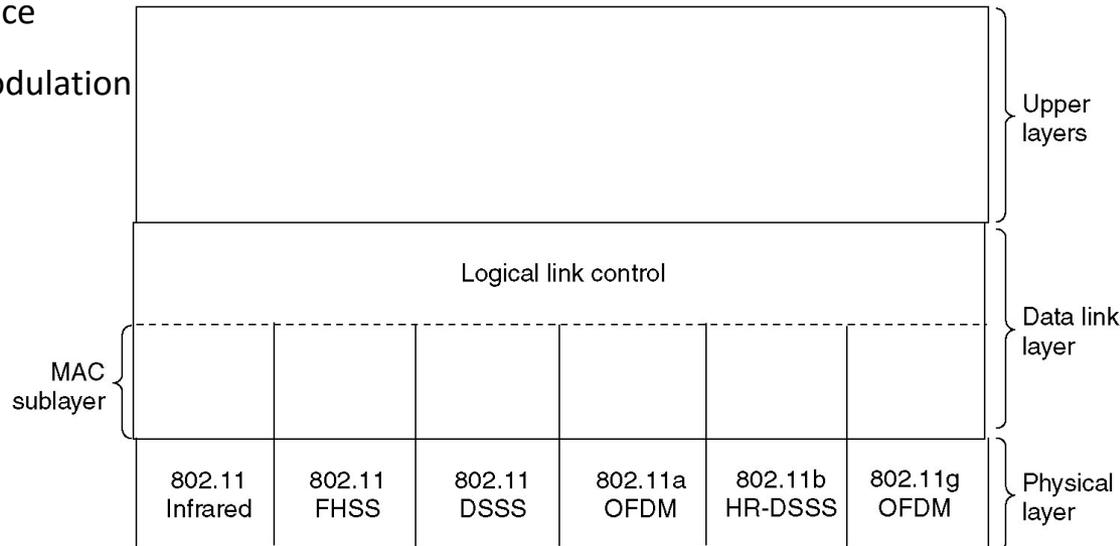
- 2.4-2.5 GHz unlicensed radio spectrum
- HR-DSSS (High Rate Direct Sequence Spread Spectrum) with CCK (Complementary Code Keying) modulation
- up to 11 Mbps

**802.11g**

- 2.4-2.5 GHz range
- OFDM
- up to 54 Mbps

**802.11n -> 802.11ac**

- 2.4-2.5 and 4.9-5.8 GHz range
- Multipath MIMO
- Channel Bonding (20-40 Mhz)
- Better OFDM
- Spatial Division Multiplexing (SDM)
- up to ~1 Gbps



# Variantes do 802.11

Protocolo	Data	Frequência	TT Típica	TT Máxima	Alcance	Modulação
802.11	1997	2.4-2.5 GHz	1 Mb/s	2 Mb/s	??	DSSS, FHSS
802.11a	1999	5.15-5.8 GHz	25 Mb/s	54 Mb/s	25-75m	OFDM
802.11b	1999	2.4-2.5 GHz	5.5 Mb/s	11 Mb/s	35-100m	DSSS/CCK
802.11g	2003	2.4-2.5 GHz	25 Mb/s	54 Mb/s	25-75m	DSSS/CCK DSSS/OFDM
802.11n	2007/8	2.4 ou 5 GHz	200 Mb/s	540 Mb/s	50-125m	MIMO/OFDM
802.11ac	2014/15	5 GHz	~1 Gb/s	6.9 Gb/s	50-100m	MIMO/OFDM

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

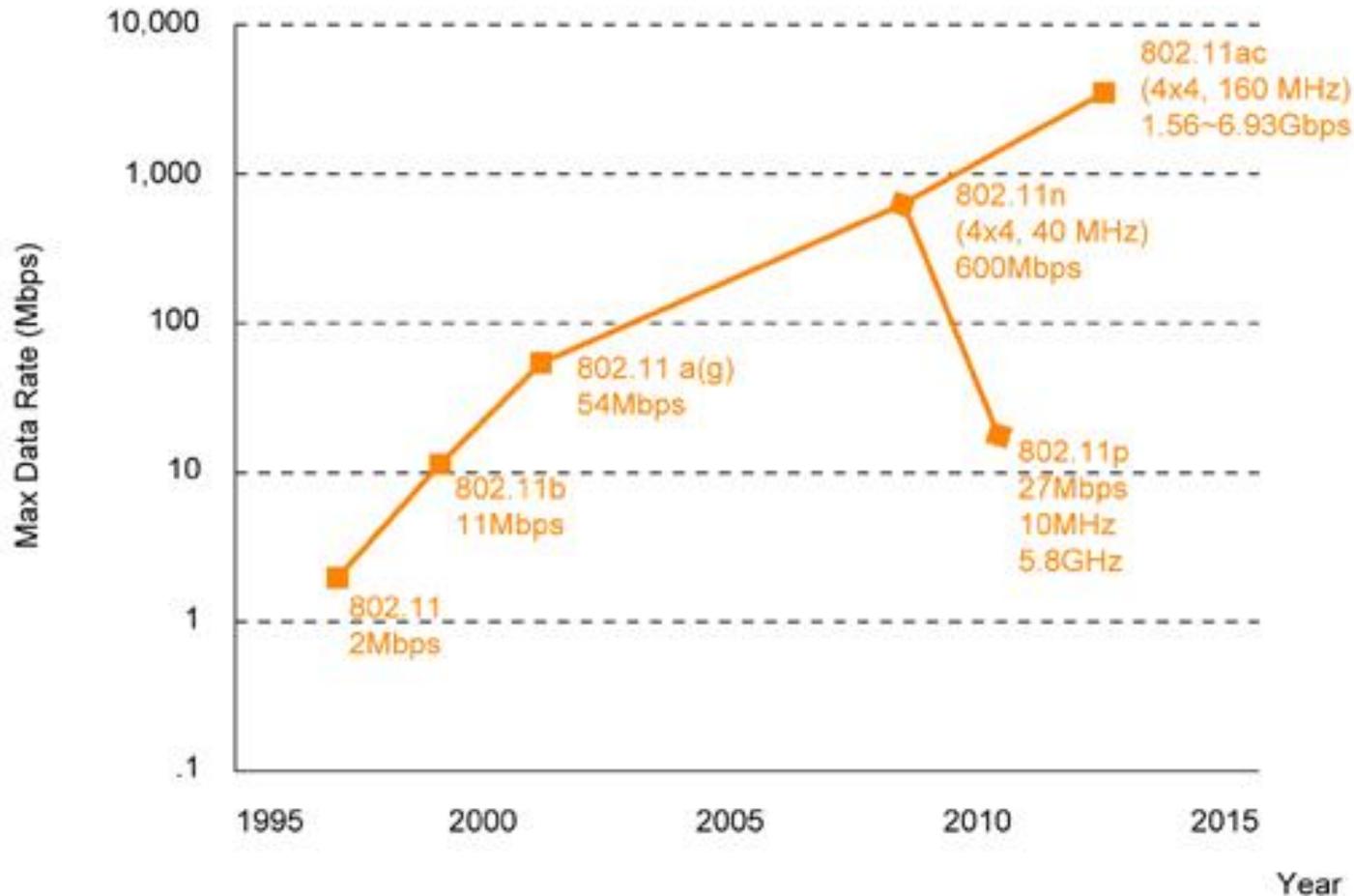
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

CCK: Complementary Code Keying

MIMO: Multiple In, Multiple Out



# Evolução das Taxas de Transmissão

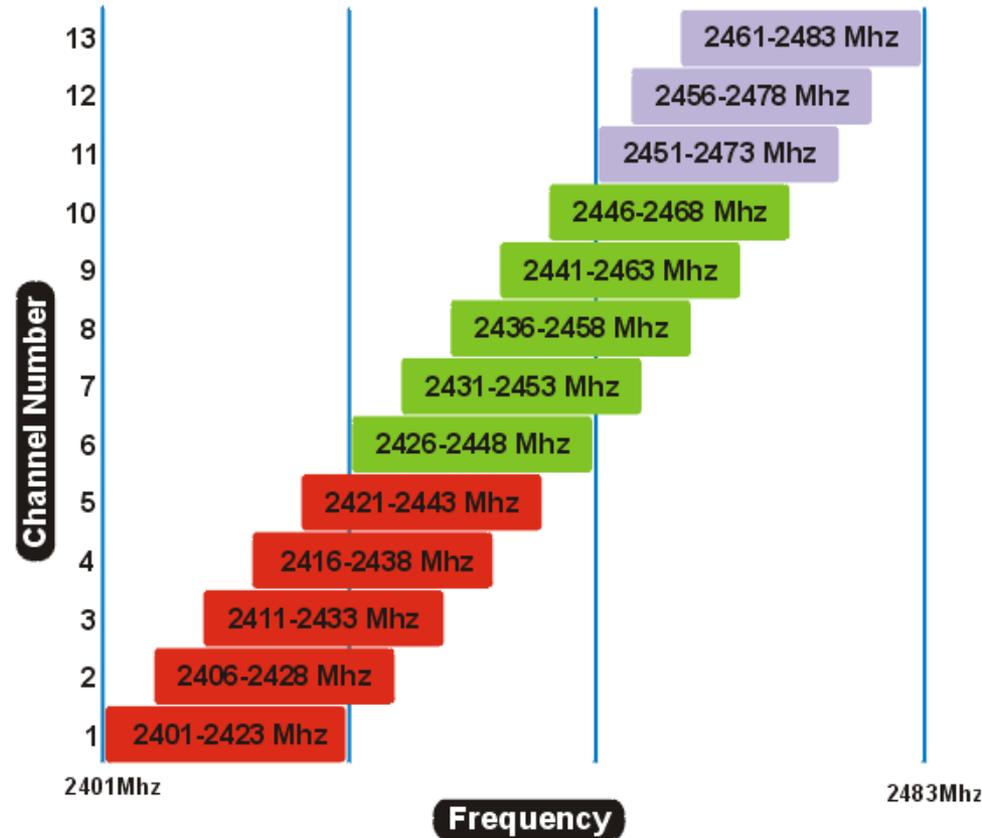


<http://www.unex.com.tw/802-11ac-gigabit-wi-fi>



# Múltiplos Canais de Transmissão

- ❑ O 802.11 utiliza o espectro de R/F de 2.4GHz a 2.485GHz
- ❑ Dividido em 11 a 14 canais de 22 Mhz de largura de banda, separados de 5 MHz (na Europa são 13)
- ❑ O canal pode ser escolhido pelo administrador da AP ou automaticamente
- ❑ Devido ao espaçamento entre canais ser inferior à sua largura de banda, os canais contíguos são parcialmente sobrepostos
- ❑ Existem assim interferências entre APs vizinhas utilizando canais contíguos
- ❑ Para que não haja sobreposição, é necessário ter pelo menos 4 canais de separação: só o 1, 6 e 11 são ditos independentes, dependendo ainda da potência de emissão

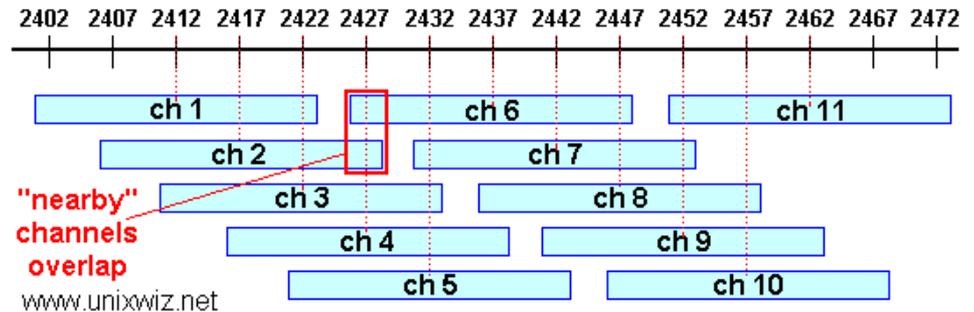
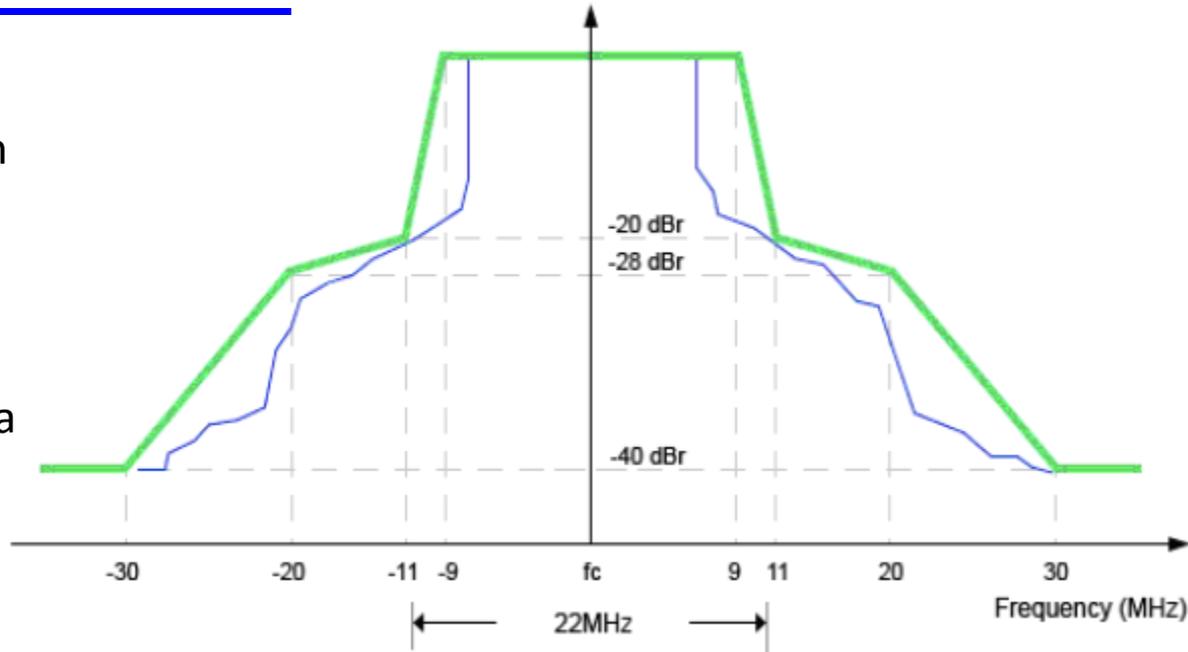


Source: [www.draytek.co.uk/support](http://www.draytek.co.uk/support)



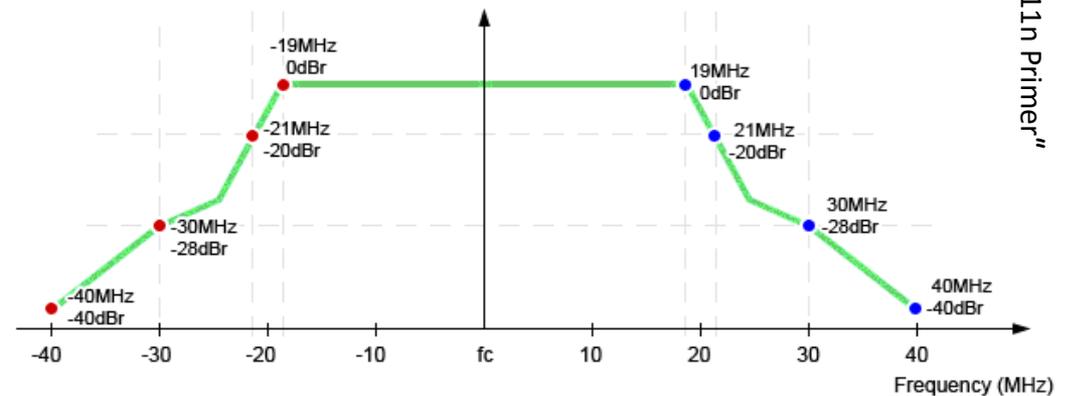
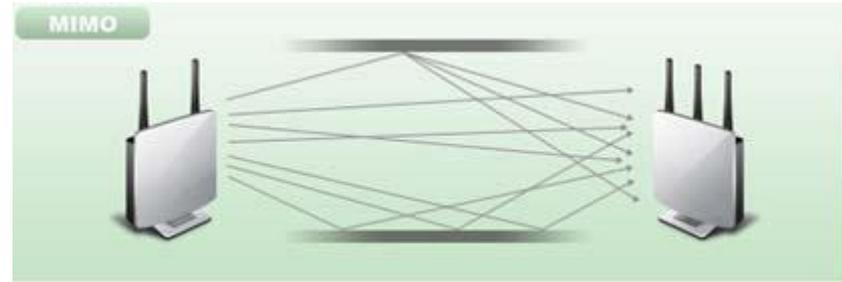
# Sobreposição dos Canais

- ❑ O 802.11 utiliza várias técnicas de modulação que ocupam um conjunto de portadoras distribuídas em torno de um valor central (DSSS/OFDM)
- ❑ Cada canal emite numa frequência central separada da anterior de 5 MHz e utilizando 11 MHz para cada lado
- ❑ Como as frequências centrais não se sobrepõem, é possível transmitir
- ❑ Mas as bandas laterais sobrepõem-se
- ❑ Assim, só os canais 1, 6 e 11 são realmente independentes

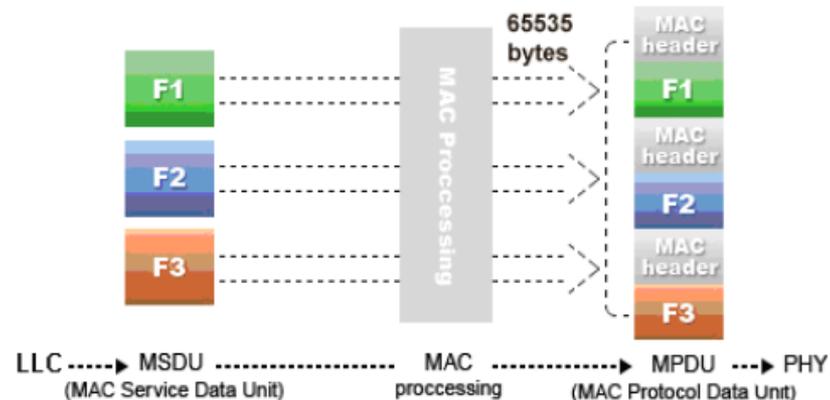


# Melhorias introduzidas no 802.11n

- ❑ Banda adicional nos 5GHz com 23 canais adicionais
- ❑ Utilização de MIMO (Multiple In Multiple Out)
- ❑ Canais com largura de 40 MHz quando possível
- ❑ Block Acknowledgment
- ❑ Frame Aggregation
- ❑ Etc...



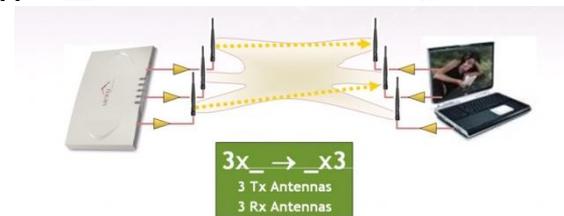
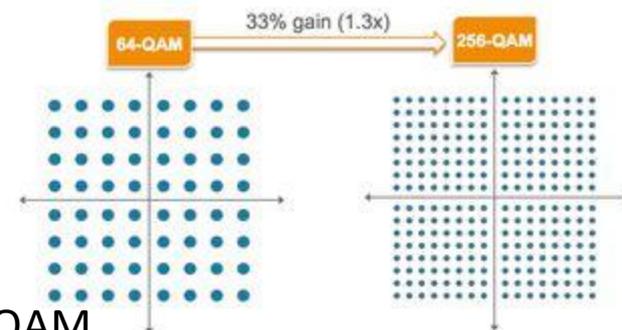
Source: AirMagnet, "802.11n Primer"



# 802.11ac

Standard aprovado em 2014

- Optimiza as características do 802.11n
  - OFDM melhorado utilizando 256 QAM em vez de 64 QAM
  - 8 possíveis fluxos MIMO (3 por agora)
  - Canais com maior largura de banda (até 80 ou 160 MHz)
  - Beamforming para maior alcance direccional
  - Taxa de transferência *teórica* próxima de 7Gb/s (na prática ~1.3Gb/s)



	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac
Frequency Band	2.4 GHz and 5 GHz	5 GHz only
Channel Widths	20, 40 MHz	20, 40, 80 MHz (mandatory) 160 MHz (optional)
Spatial Streams	1 to 4	1 to 8 total up to 4 per client
Multi-user MIMO	No	Yes
Single Stream (1x1) Maximum Client Data Rate per radio	150 Mbps	450 Mbps
Three Stream (3x3) Maximum Client Data Rate per radio	450 Mbps	1.3 Gbps



- Possibilidades de melhoria com a evolução do hardware

[http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white\\_paper\\_c11-713103.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.html)

# Modulation and Coding Scheme (MCS)

- Fornece a taxa teórica em função das características de codificação
  - Largura de Banda / Fluxos Espaciais / Modulação / Codificação

MCS Index - 802.11n and 802.11ac      SGI - Short Guard Interval (400 ns)      802.11n 802.11ac

HT MCS Index	VHT MCS Index	Spatial Streams	Modulation	Coding	20MHz		40MHz		80MHz		160MHz	
					Data Rate No SGI	Data Rate SGI						
0	0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
	8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
	9	1	256-QAM	5/6	n/a	n/a	180	200	390	433.3	780	866.7
8	0	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
9	1	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
10	2	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
11	3	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120	234	260	468	520
12	4	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
13	5	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240	468	520	936	1040
14	6	2	64-QAM	3/4	117	130.3	243	270	526.5	585	1053	1170
15	7	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300	585	650	1170	1300
	8	2	256-QAM	3/4	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
	9	2	256-QAM	5/6	n/a	n/a	360	400	780	866.7	1560	1733.3
16	0	3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
17	1	3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
18	2	3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
19	3	3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180	351	390	702	780
20	4	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270	526.5	585	1053	1170
21	5	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
22	6	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405	n/a	n/a	1579.5	1755
23	7	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450	877.5	975	1755	1950
	8	3	256-QAM	3/4	234	260	486	540	1053	1170	2106	2340
	9	3	256-QAM	5/6	260	288.9	540	600	1170	1300	n/a	n/a

# Tecnologias de Modulação

- ❑ O aumento do desempenho das redes wireless tem sido obtido à custa de tecnologias de modulação e codificação cada vez mais sofisticadas
- ❑ Tornadas possíveis devido ao avanço da electrónica associada aos Processadores de Sinal Digital (DSPs)
- ❑ Principais tecnologias de modulação
  - Spread Spectrum
  - OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
- ❑ Codificação
  - QAM - Quadrature Amplitude Modulation

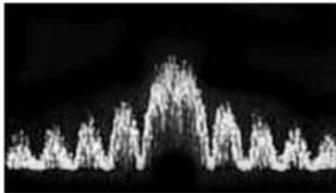


# Spread Spectrum

- ❑ O *Spread Spectrum* é uma tecnologia de modulação que permite alargar a banda de um sinal modulado, utilizando várias frequências para transmitir informação simultaneamente
- ❑ Existem várias formas de efectuar o Spreading

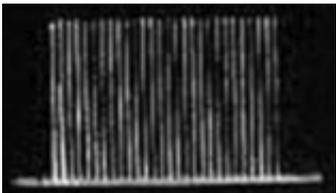
- Direct Sequence (DSSS): spreading aplicado aos dados

- Ex: 802.11b WiFi



- Frequency Hopping (FHSS): spreading aplicado à portadora

- Ex: 802.15 Bluetooth



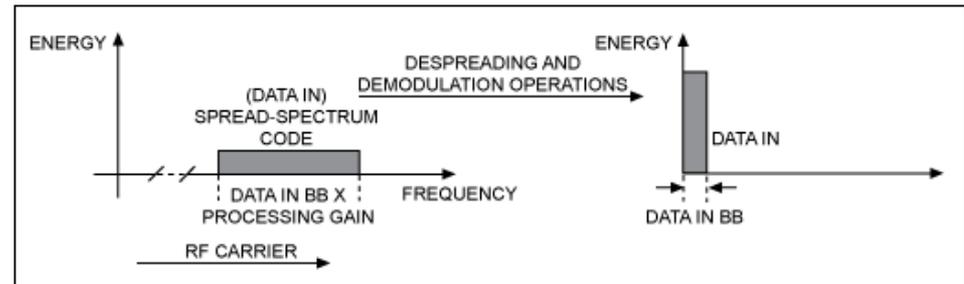
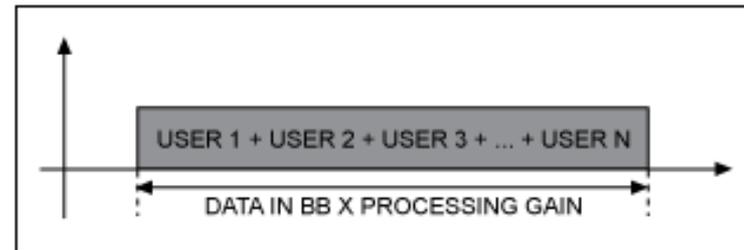
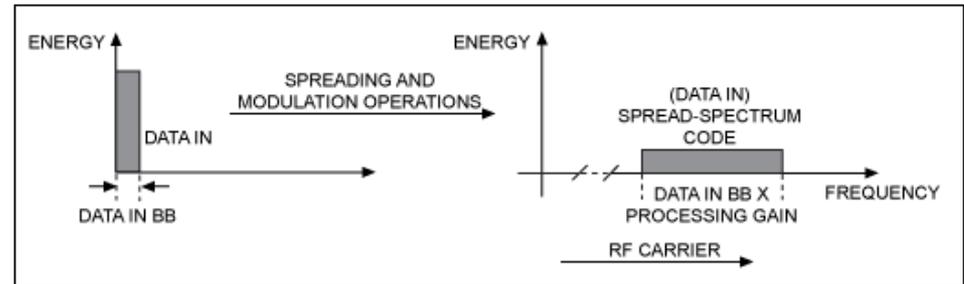
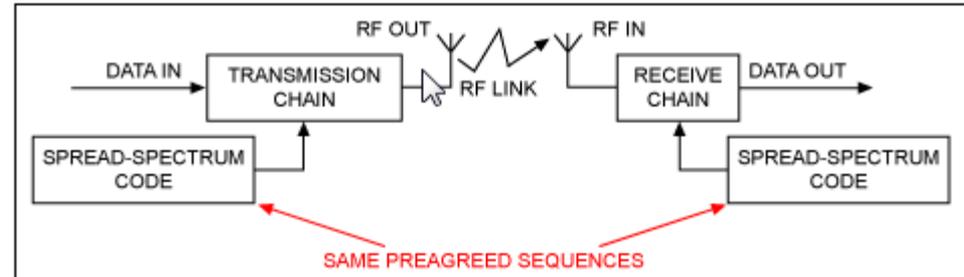
- ❑ O CDMA é uma forma de DSSS

<http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/1890>



# Implementação do Spread Spectrum

- Na emissão, o sinal de base (BB) é modulado por uma sequência pseudo-aleatória (ou código) de frequências discretas muito mais elevadas
- O sinal resultante sofre uma expansão na frequência (*spreading*) tornando-se mais imune ao ruído e possibilitando a partilha da largura de banda
- Na recepção, o sinal é desmodulado com base no conhecimento da sequência ou código de *spreading*, permitindo agregar os dados transmitidos nas várias portadoras



# OFDM

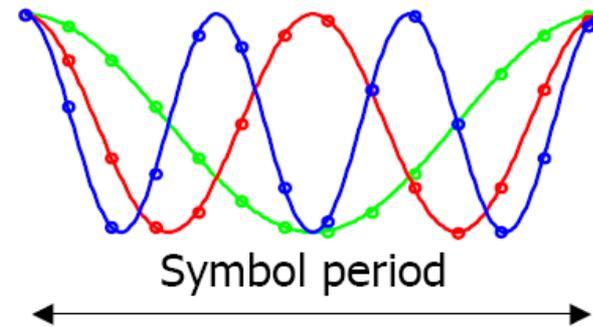
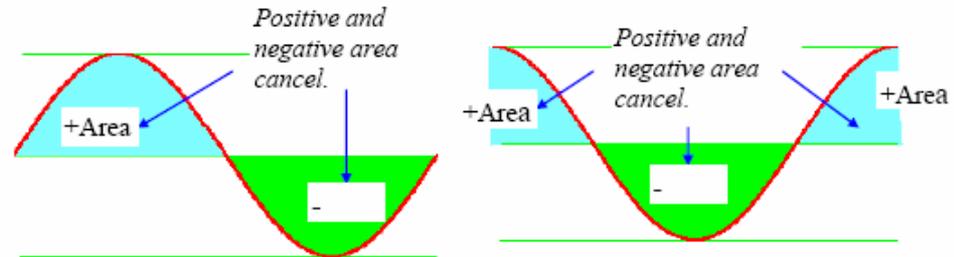
- ❑ Orthogonal Frequency-Division Multiplexing é uma tecnologia de multiplexagem em frequência (FDM) utilizada actualmente em múltiplas áreas de comunicações de R/F
- ❑ Utiliza um número elevado de portadoras ortogonais de frequência próxima, nas quais são modulados vários fluxos paralelos de dados (usando QAM ou PSK)
- ❑ A frequência de cada uma das portadoras é mais baixa do que se fosse utilizada isoladamente
  - Permite taxas de erro inferiores, mantendo um débito global elevado
  - Permite redundância entre os vários fluxos de dados
- ❑ Principais aplicações:
  - WiFi: 802.11 g/n
  - Celular: LTE (4G)
  - ADSL: DMT - Discrete Multitone

<http://complextoreal.com/wp-content/uploads/2013/01/ofdm2.pdf>



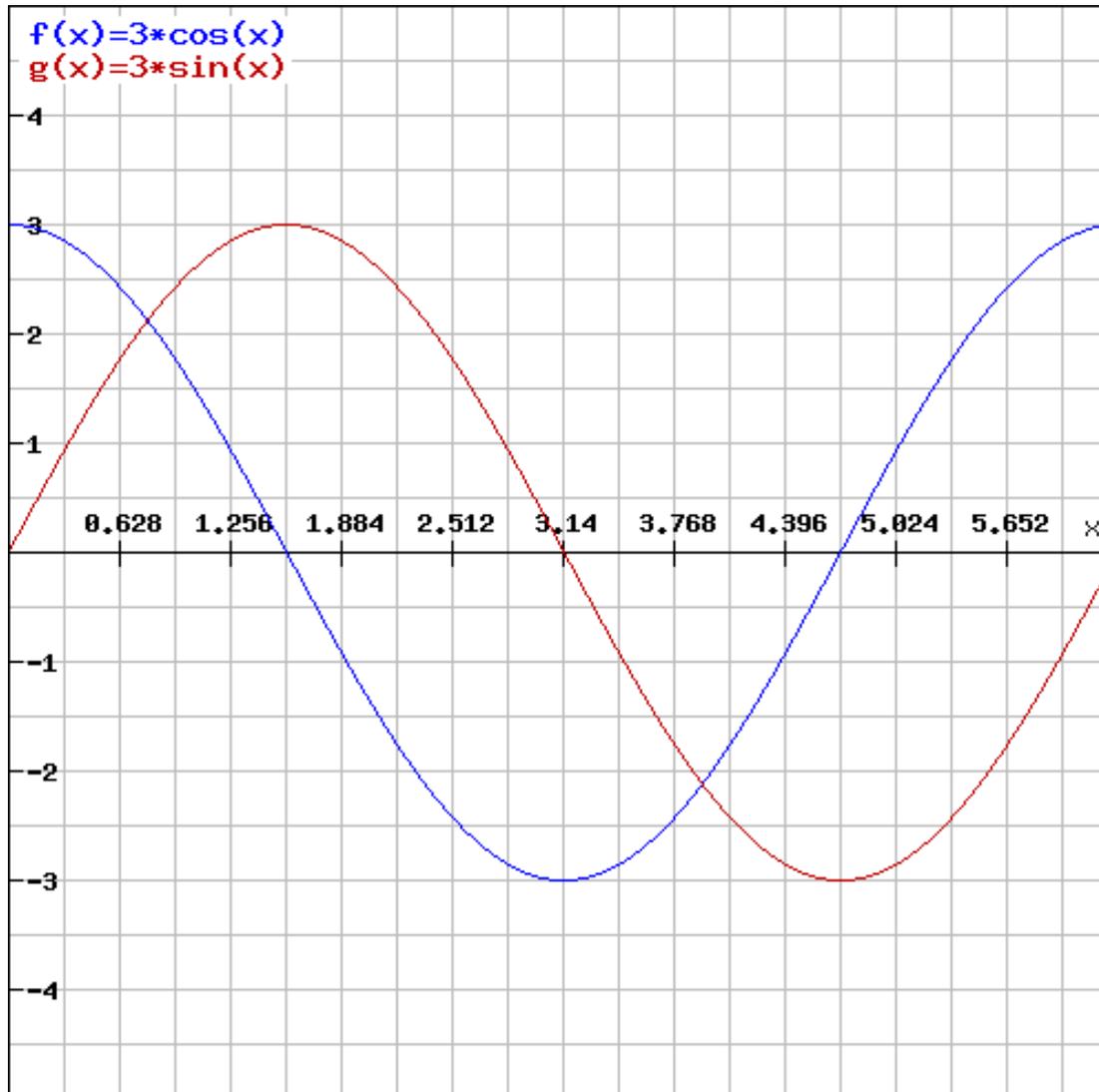
# Ortogonalidade

- ❑ Propriedade que permite que vários sinais transmitidos simultaneamente não interfiram uns com os outros
  - As soma das áreas acima e abaixo do eixo temporal deve ser nula
  - As funções sinusoidais simples (seno ou co-seno) tem essa propriedade
- ❑ Para que sinais sinusoidais sejam ortogonais, devem ter um número inteiro de períodos durante o tempo T de transmissão de um símbolo
  - Designam-se por harmónicas



$$\int_0^T \sin \frac{2\pi kt}{T} \sin \frac{-2\pi lt}{T} dt = 0, \quad k \neq l$$

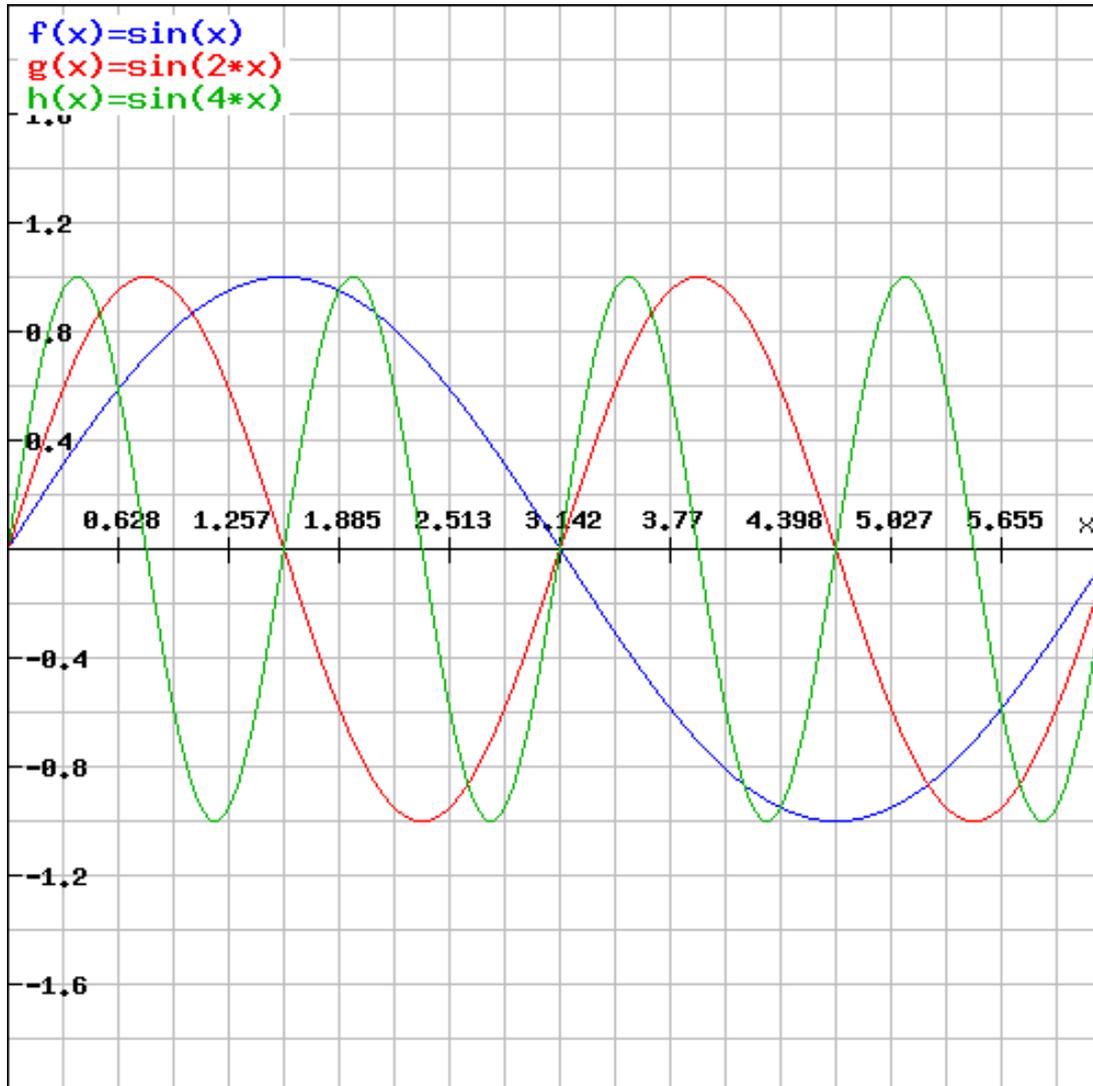
# Exemplos de Ortogonalidade (i)



Seno e coseno



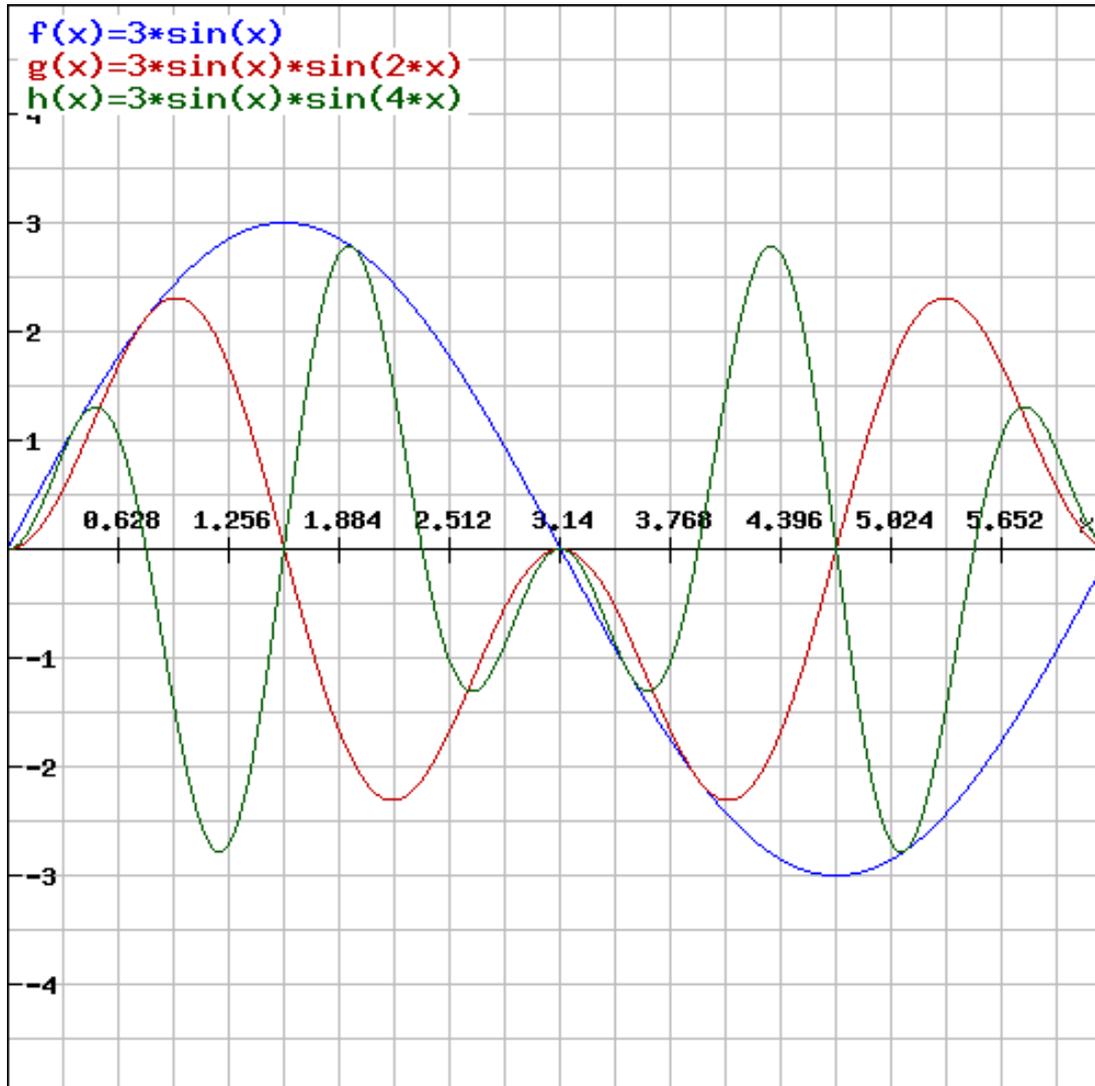
# Exemplos de Ortogonalidade (ii)



Harmónicas



# Exemplos de Ortogonalidade (iii)



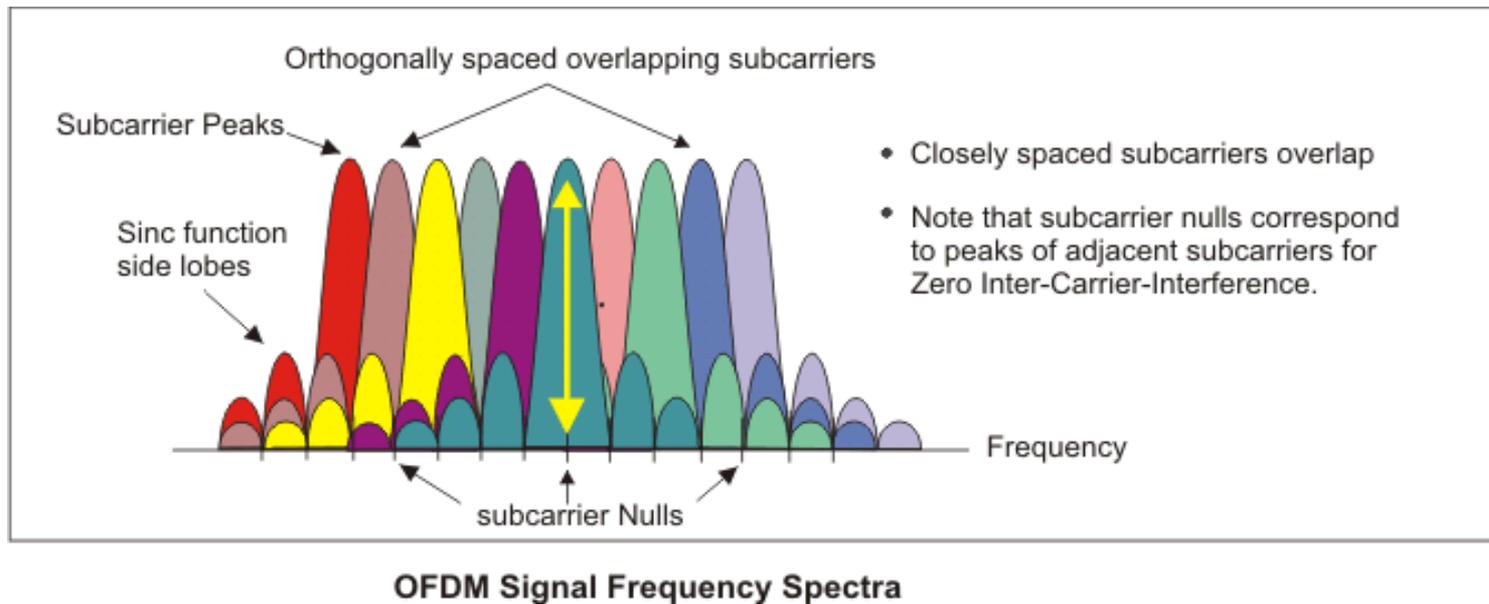
Sinal Multiplicado por Harmônicas



# Frequências das sub-portadoras

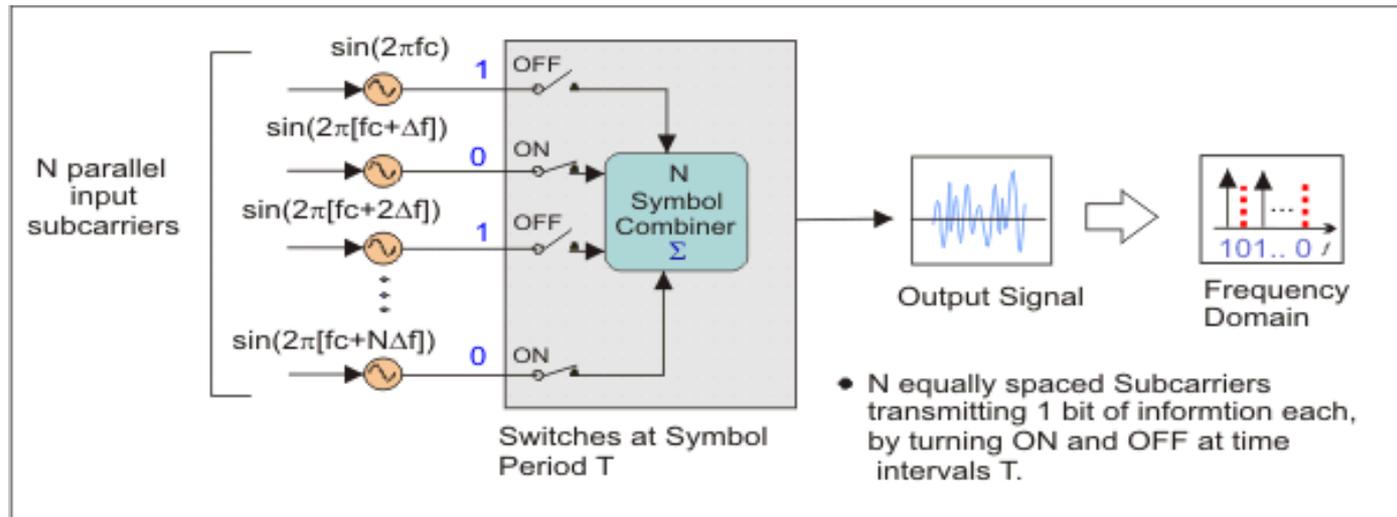
Se a Frequência da Portadora for  $F_p$ :

- ❑ Utilizam-se sub-portadoras com frequências múltiplas de  $F_p$ 
  - São harmônicas e não interferem
- ❑ A frequência de cada uma das  $N$  sub-portadoras será
  - $F_p = F_c + k \cdot \Delta F$  com  $k = [1, N]$  e  $\Delta F = 1/T$  (transmissão de 1 símbolo)



[http://wireless.agilent.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/Content/ofdm\\_basicprinciplesoverview.htm](http://wireless.agilent.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/Content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm)

# Exemplo de Codificação OFDM



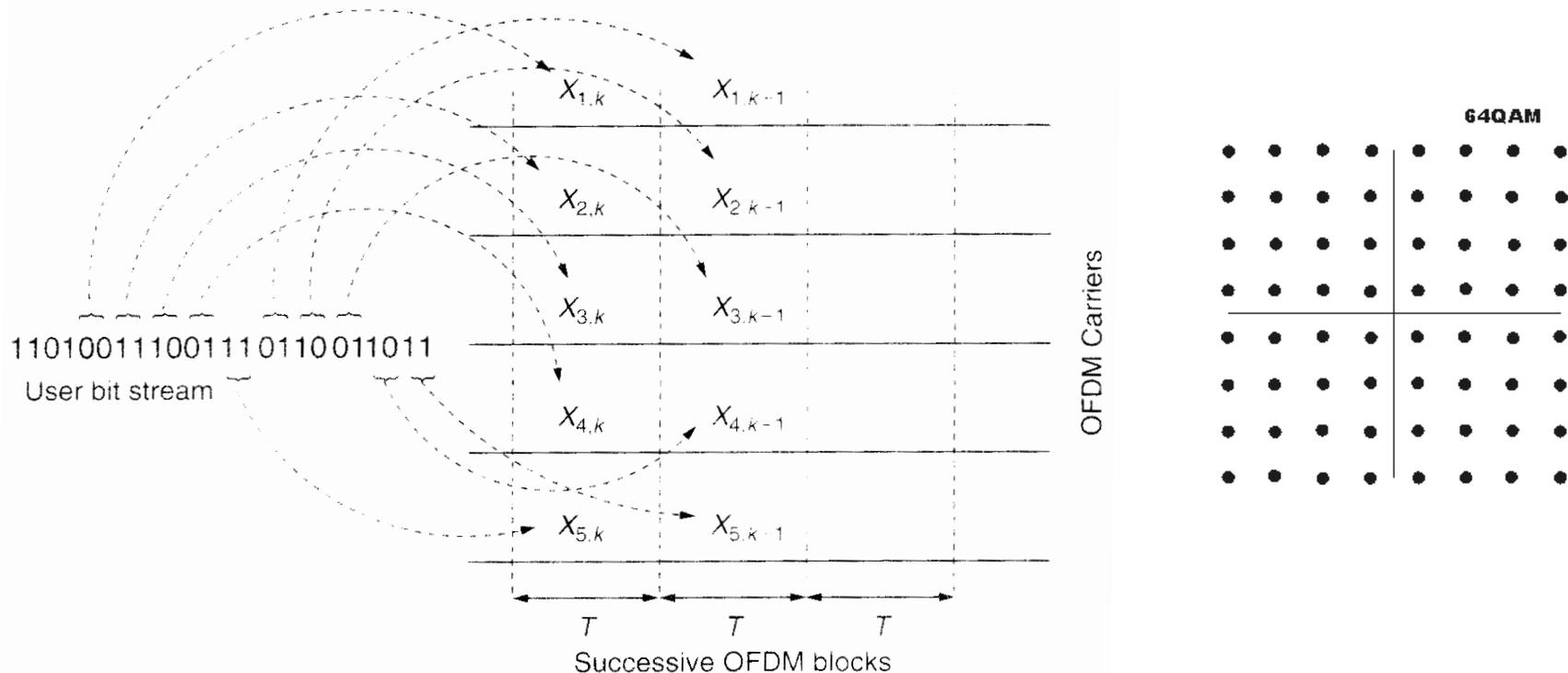
Simple OFDM Generation

- ❑ Um codificador OFDM simples pode ser realizado com um dispositivo que combina selectivamente várias frequências ortogonais em cada período
- ❑ A combinação de frequências enviada codifica um símbolo, podendo ser neste caso enviados 4 símbolos por período

[http://wireless.agilent.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/Content/ofdm\\_basicprinciplesoverview.htm](http://wireless.agilent.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/Content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm)



# Transmissão Paralela em OFDM

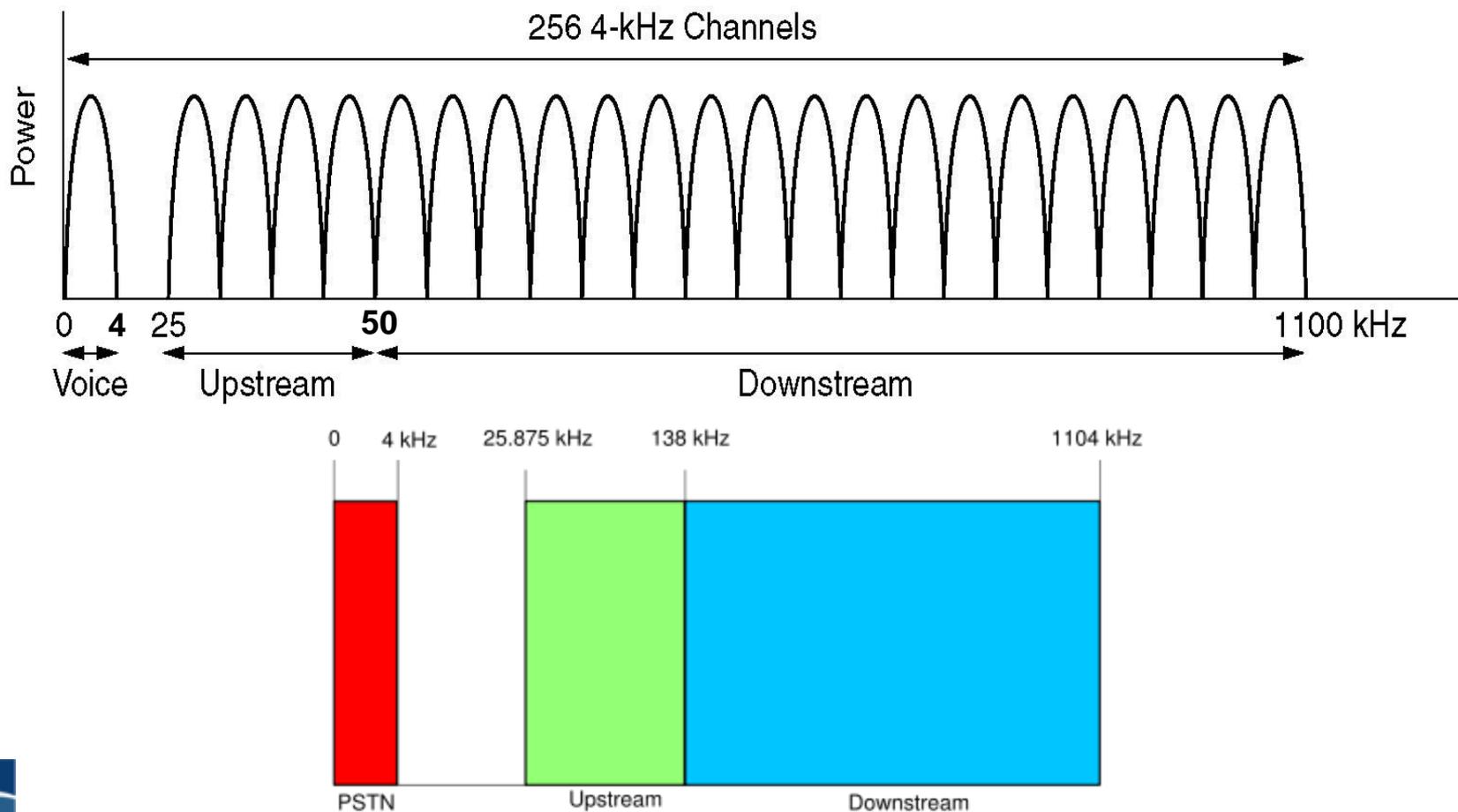


- ❑ Em cada sub-portadora, os dados são codificados utilizando técnicas de modulação já conhecidas
  - 64 ou 256 QAM por exemplo
- ❑ Conseguem-se assim taxas de transmissão muito elevadas pelo facto de se utilizarem múltiplos canais em simultâneo



# O OFDM é utilizado em ADSL

- ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line
  - Usa OFDM e Discrete Multitone Modulation.

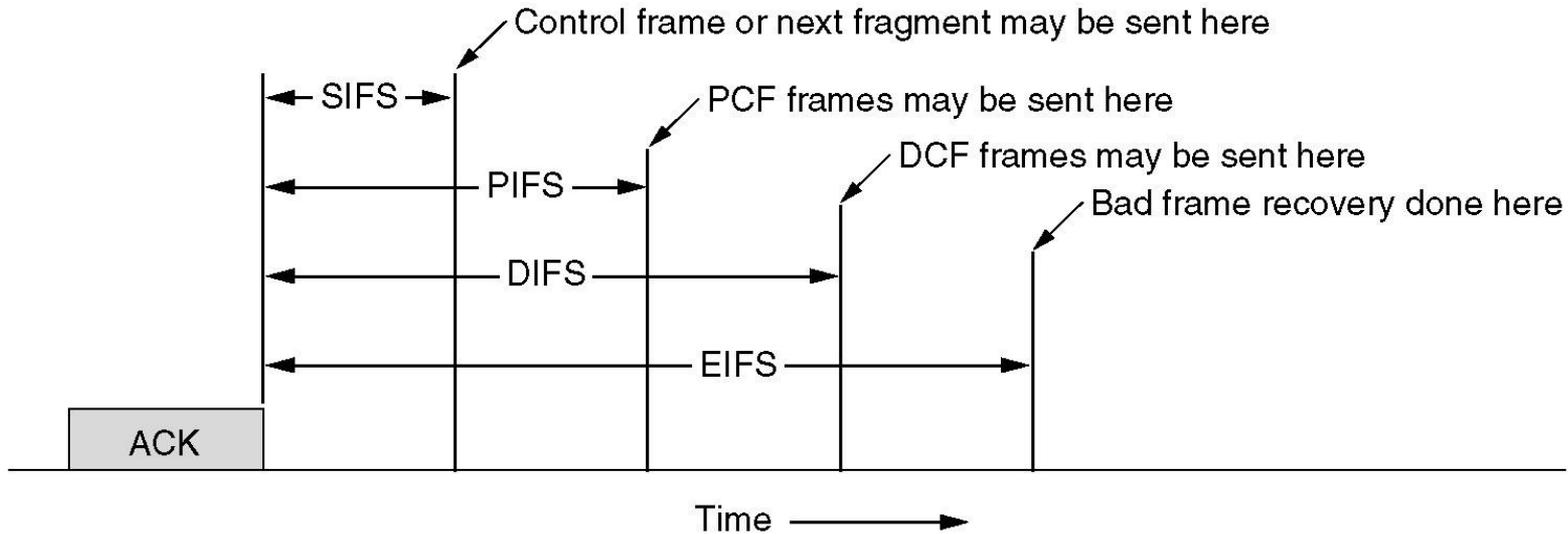


# Medium Access Control

- ❑ O acesso ao meio pode ser feito por várias estações em simultâneo
  - É necessário um protocolo de acesso ao meio (MAC) para gerir as interferências
- ❑ Utiliza CSMA como Ethernet:
  - Carrier Sense Multiple Access
  - Acesso aleatório
  - Pode colidir com uma transmissão em curso
- ❑ Ao contrário de Ethernet:
  - Não detecta colisões - transmite as frames até ao fim
  - Utiliza *link layer acknowledgments* para validar a correcta recepção
- ❑ Não realiza detecção de colisões
  - Para detectar colisões é necessário receber durante a emissão
  - Devido à grande diferença de nível entre o sinal emitido o recebido, é impraticável realizar as duas operações simultaneamente
  - Não é possível detectar as colisões em todos os casos devido às possibilidades de existirem terminais escondidos e/ou atenuação.
- ❑ Por isso é necessário **evitar as colisões** antes que aconteçam
  - Protocolo **CSMA/C(ollision)A(voidance)**
  - Definição de várias prioridades para as frames



# IFS - Inter Frame Spacing



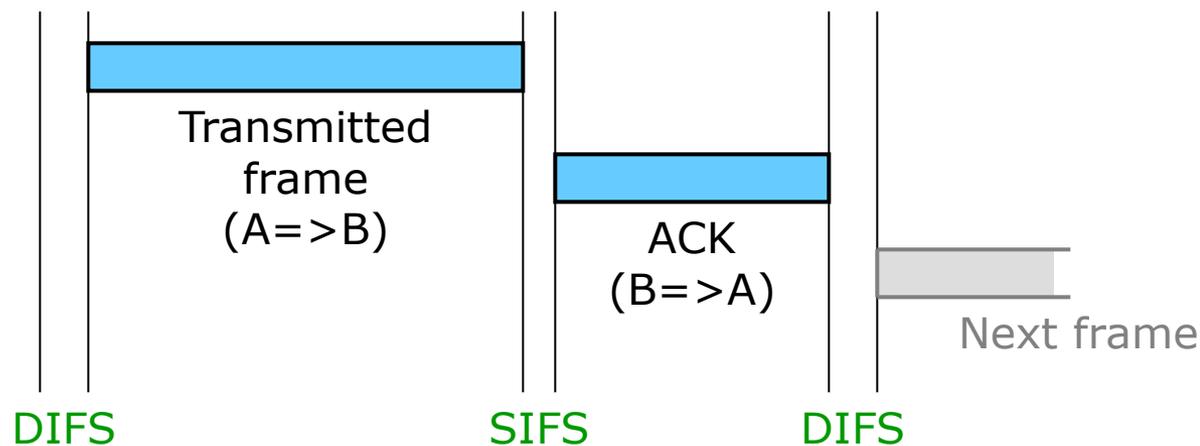
- ❑ Para estabelecer vários níveis de prioridade nas mensagens transmitidas, são definidos valores de espaçamento diferentes entre *frames* sucessivas
- ❑ Mensagens prioritárias -> espaço mais curto
  - SIFS (Short Interframe Spacing): máxima prioridade para ACKs, CTS,...
  - PIFS (Point Coordination Function IFS): prioridade média para serviços de coordenação realizados só pelas APs
  - DIFS (Distributed Coordination Function IFS): prioridade baixa para transmissão assíncrona de dados entre estações
  - EIFS (Extended Interframe Spacing): prioridade mais baixa para frames erradas
- ❑ Valores:
  - SIFS = 10 ms (802.11b) e 16 ms (802.11g)
  - DIFS = 50 ms (802.11b) e 34 ms (802.11g)



# Carrier Sensing

A determinação do estado (ocupado ou livre) do canal pode ser feita de duas formas:

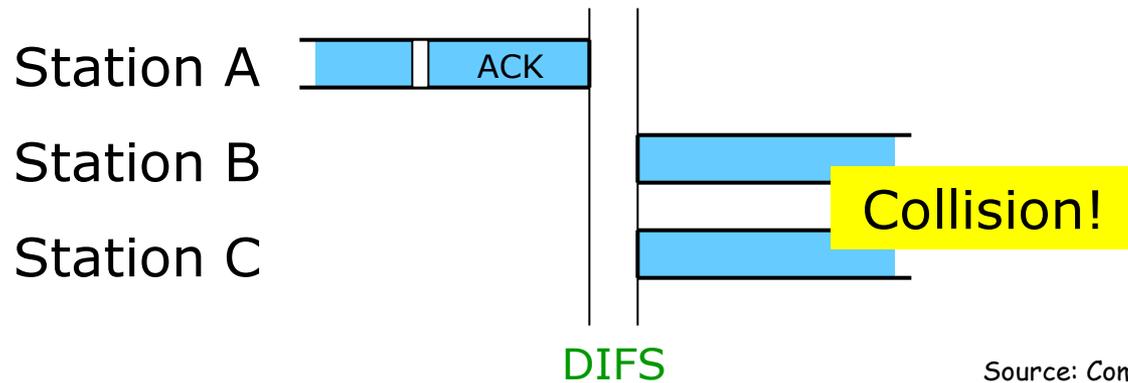
- ❑ Modo físico: o nível físico informa o nível MAC que o canal está ocupado
  - O acesso é governado pela utilização de Inter Frame Spacing e um mecanismo de *backoff*



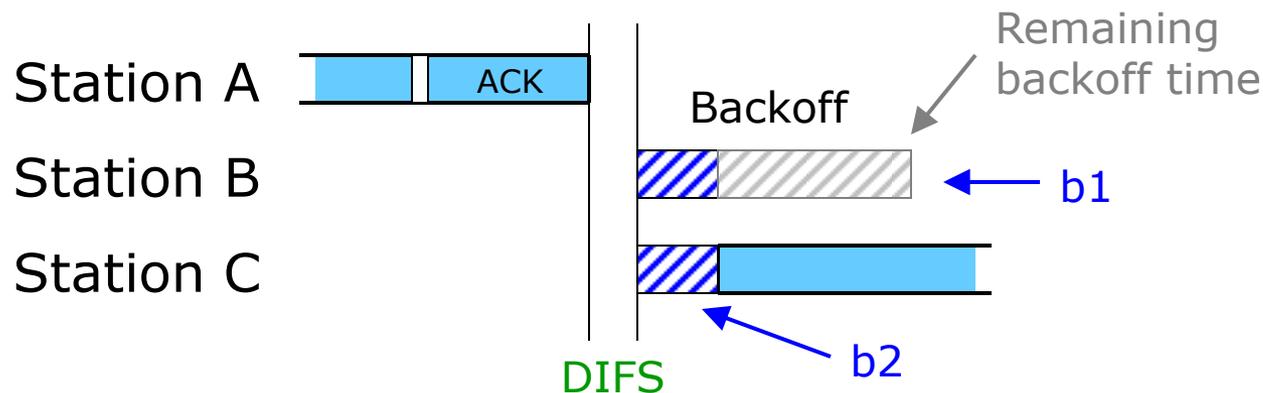
Source: Communications Laboratory  
[www.comlab.hut.fi/information.htm](http://www.comlab.hut.fi/information.htm)

# Utilização do Backoff

- A utilização de valores diferentes de backoff por estação minimiza a probabilidade de colisão

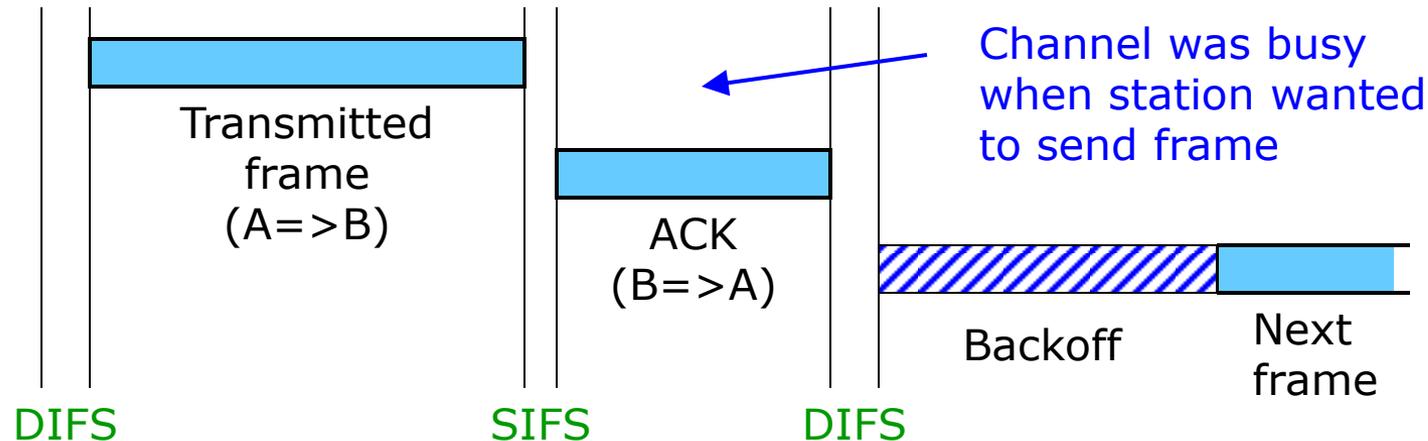


Source: Communications Laboratory  
[www.comlab.hut.fi/information.htm](http://www.comlab.hut.fi/information.htm)



# Protocolo CSMA/CA

- ❑ Quando uma estação pretende transmitir e o canal esteve livre durante  $t > \text{DIFS}$ 
  - Transmite imediatamente
- ❑ Se o canal está ocupado
  - A estação espera que o canal esteja livre durante **mais** um tempo aleatório (*backoff interval*) e então transmite



Source: Communications Laboratory  
[www.comlab.hut.fi/information.htm](http://www.comlab.hut.fi/information.htm)

# IEEE 802.11 MAC Protocol: CSMA/CA

## 802.11 sender

1 if sense channel idle for **DIFS** then

- transmit entire frame (no CD)

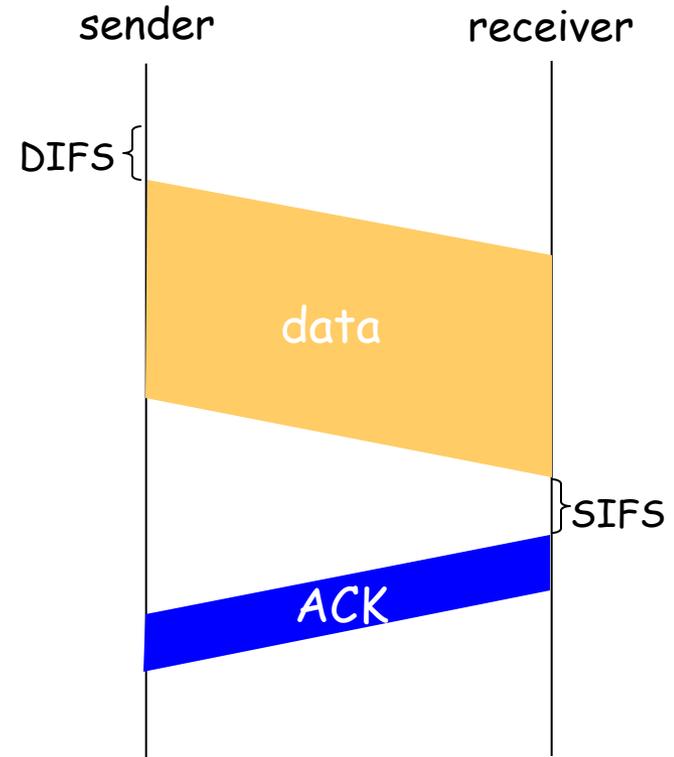
2 if sense channel busy then

- start random back off time
- timer counts down **while channel idle**
- transmit when timer expires
- if no ACK, increase random back off interval, repeat 1

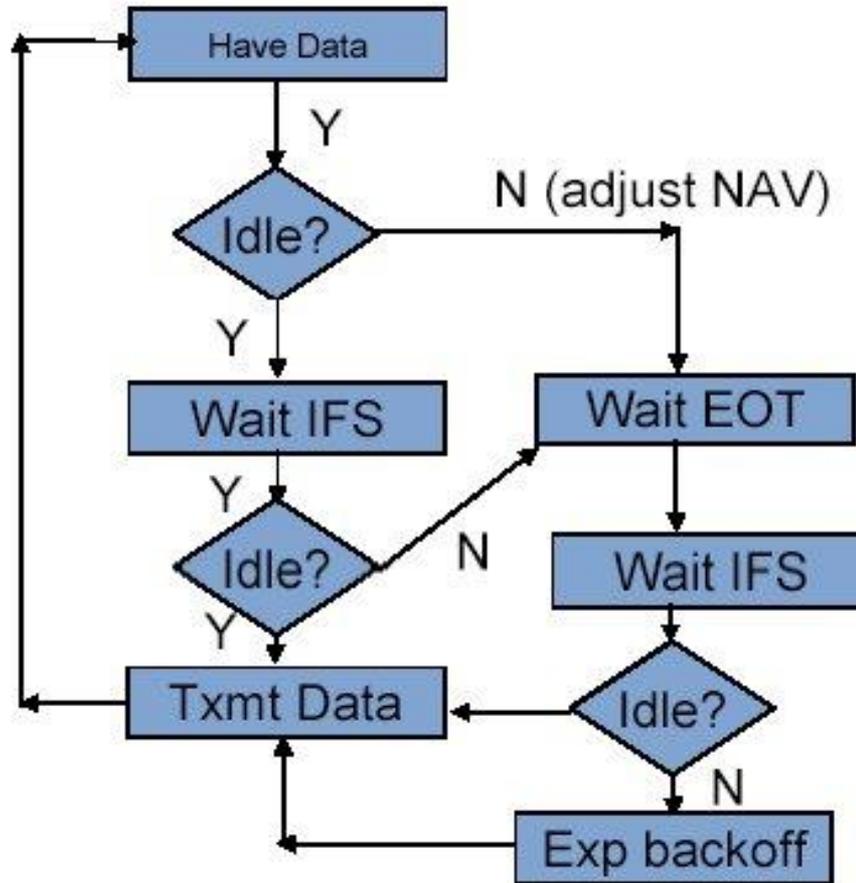
## 802.11 receiver

if frame received OK

- return ACK after **SIFS** (ACK needed due to hidden terminal problem)



# Algoritmo CSMA/CA

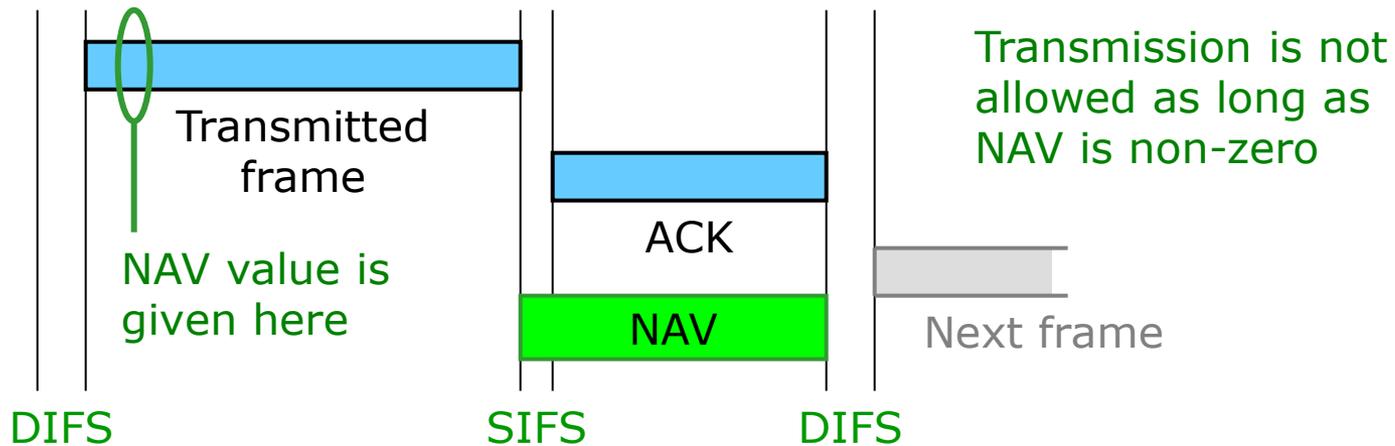


Source: Richard Martin Rutgers University  
[www.cs.rutgers.edu/~rmartin](http://www.cs.rutgers.edu/~rmartin)



# Virtual Carrier Sensing

- ❑ Modo virtual: é utilizado a noção de NAV (Network Allocation Vector), em que todas as estações retiram do header MAC da frame transmitida a informação sobre a sua duração
  - Uma estação espera NAV + DIFS para transmitir
  - Utilização em modo CTS/RTS para *frames* longas ou fraccionadas



Source: Communications Laboratory  
[www.comlab.hut.fi/information.htm](http://www.comlab.hut.fi/information.htm)

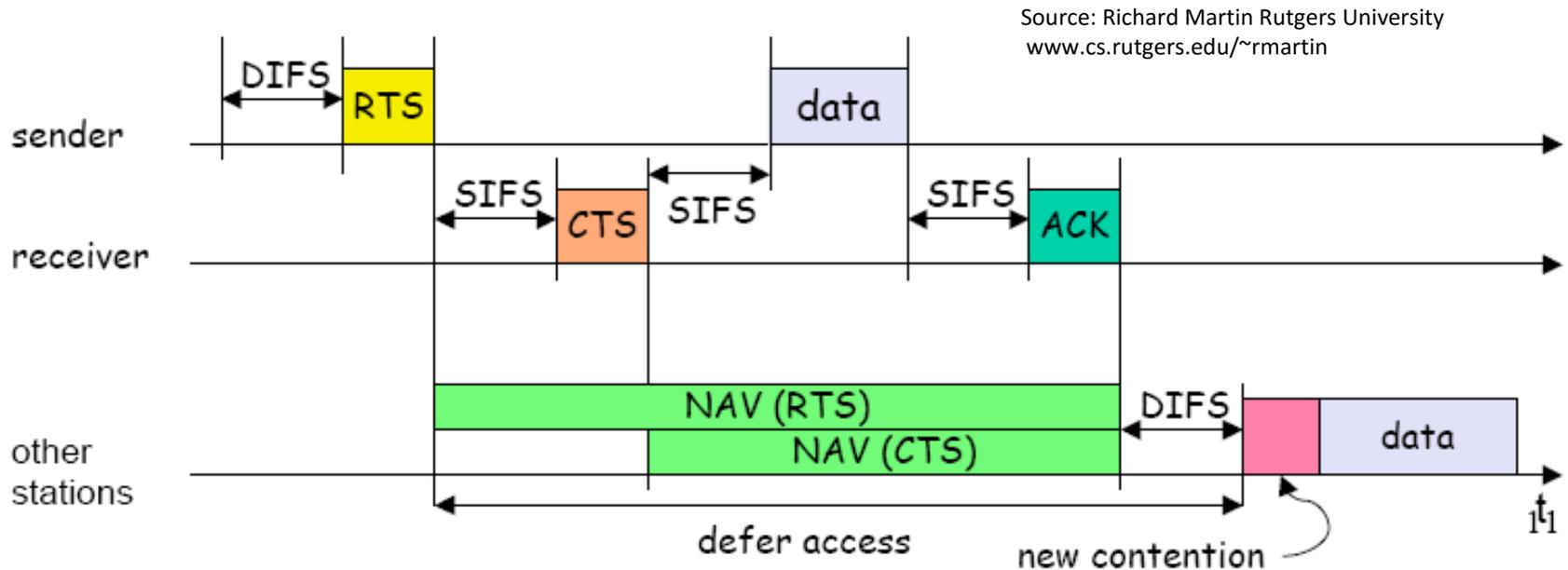
# Utilização de RTS/CTS

**Conceito:** dar ao emissor a possibilidade de reservar o canal para a emissão da frame em vez de o utilizar aleatoriamente

- ❑ Característica opcional, não utilizada por defeito
- ❑ O emissor começa por transmitir um *pequeno* pacote request-to-send (RTS) indicando o tempo previsto para a transmissão da próxima *frame* (NAV - *Network Allocation Vector*)
  - OS RTSs podem colidir, mas como são pequenos não é tão grave
- ❑ O AP realiza um broadcast de clear-to-send (CTS) em resposta ao RTS indicando o tempo de ocupação do canal
- ❑ Os CTS são recebidos por todos os nós:
  - O nó autorizado transmite a frame
  - As outras estações adiam as transmissões
- ❑ Na prática, a reserva de canal por RTS/CTS só é usada para frames de grande dimensão



# Encadeamento RTS/CTS

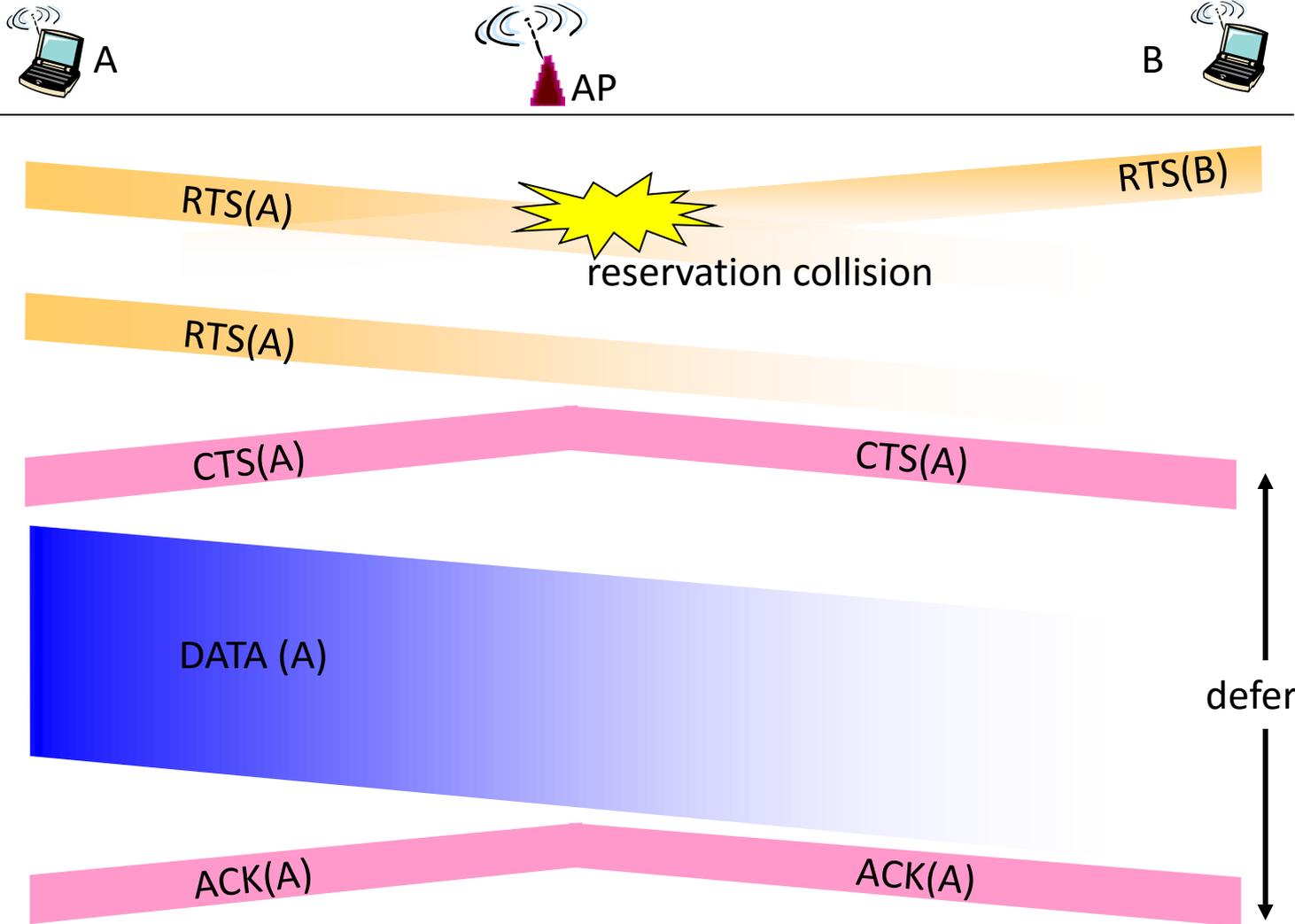


$$\text{NAV (RTS)} = \text{CTS} + \text{Data} + 3 \times \text{SIFS} + \text{ACK}$$

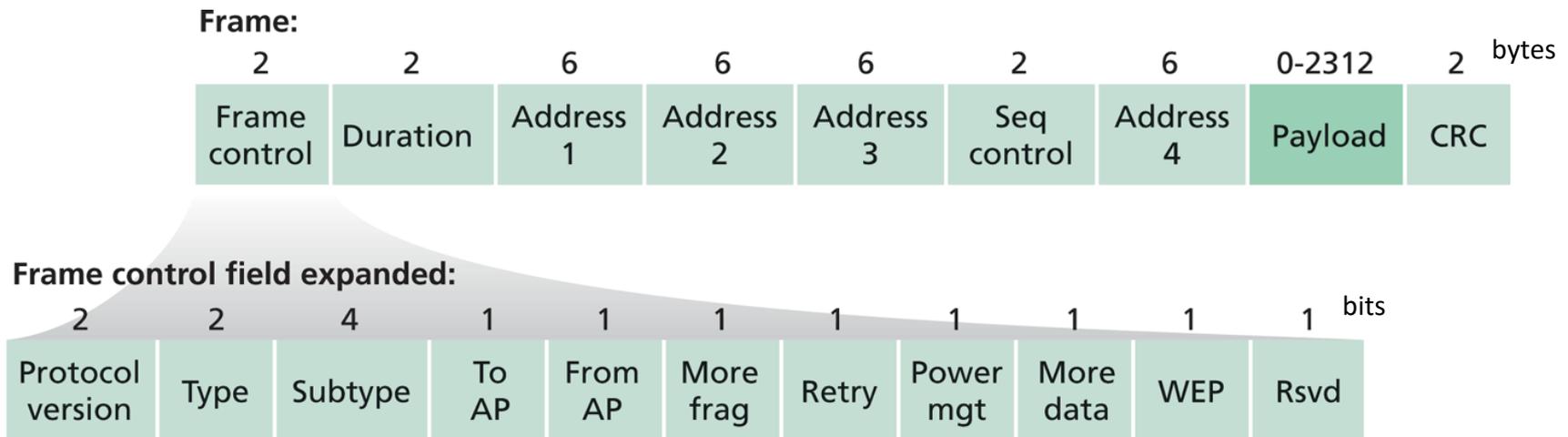
$$\text{NAV (CTS)} = \text{Data} + 2 \times \text{SIFS} + \text{ACK}$$



# Exemplo de RTS-CTS com colisão



# Formato da frame 802.11

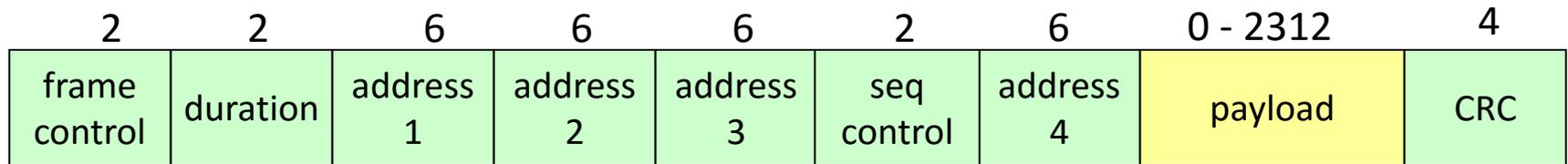


A frame 802.11 tem algumas semelhanças com a 802.3 e contém:

- ❑ O *payload*, que pode ter até 2312 bytes, normalmente 1500 bytes, contém um datagrama IP
- ❑ Um campo CRC -> muito importante em Wireless
- ❑ Um campo de duração que indica o tempo de emissão da frame -> NAV
- ❑ Número de sequência para permitir identificar o ACK (cf. TCP)
- ❑ Um campo de controlo com uma série de subcampos que permitem identificar o tipo, a direcção, gerir a fragmentação, encriptação, ...
- ❑ Quatro campos de endereçamento... -> prox. slide



# Endereçamento



**Address 1:** endereço MAC do destinatário (host ou AP)

**Address 2:** endereço MAC do emissor (host ou AP)

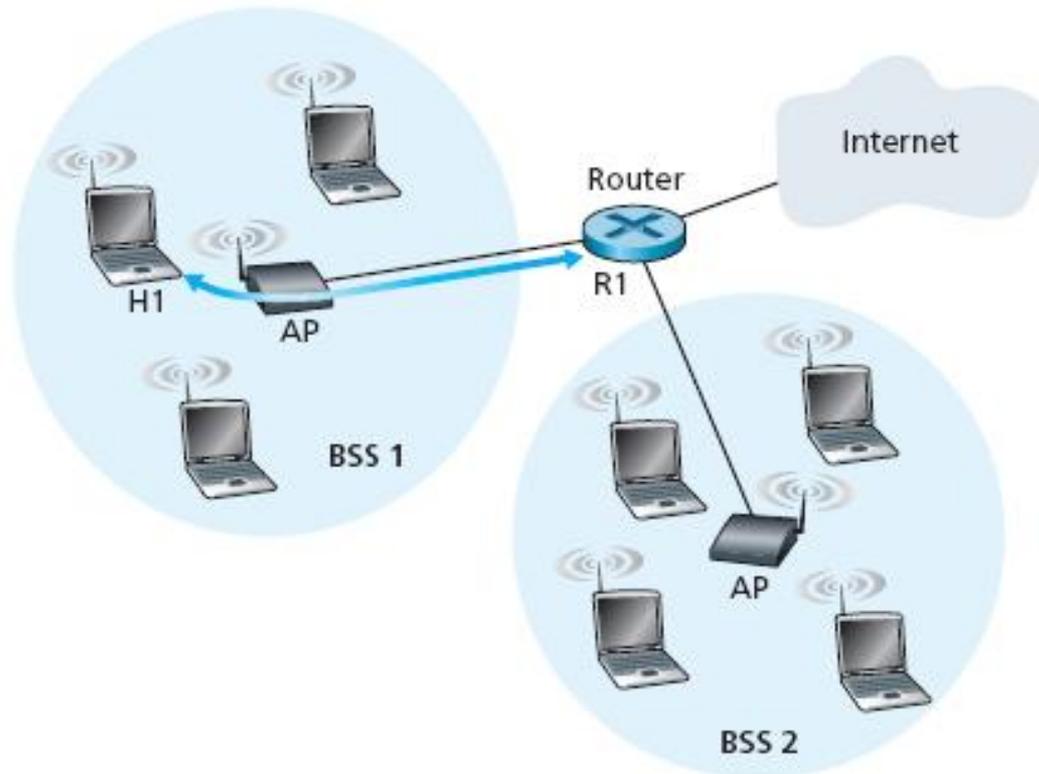
**Address 3:** endereço MAC da interface do router ao qual a AP está ligada

**Address 4:** só utilizada em modo adhoc e mesh

- ❑ O endereçamento 802.11 funciona no nível 2 e não entende endereços IP
  - O campo Address 3 identifica a proveniência ou destino das frames que circulam entre uma estação e o router de acesso
  - Permite à AP “rotear” a frame até ao router de origem quando realiza o *bridging* entre 802.11 e Ethernet



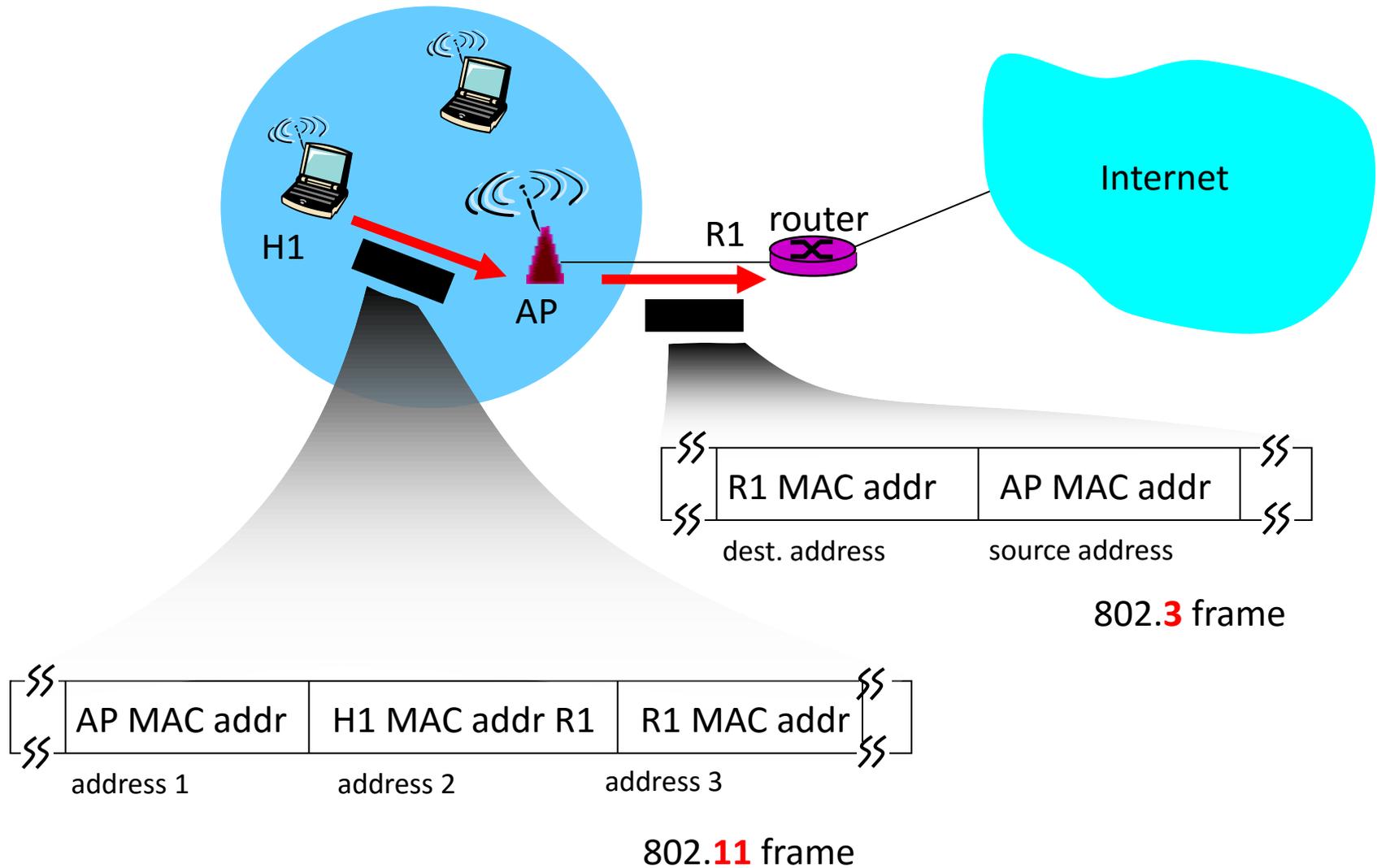
# Necessidade 3 Endereços MAC



- ❑ A frame circula entre o router R1 e o host H1 *passando* pelo Access Point AP
  - O AP efectua o *bridging* entre os dois protocolos de ligação

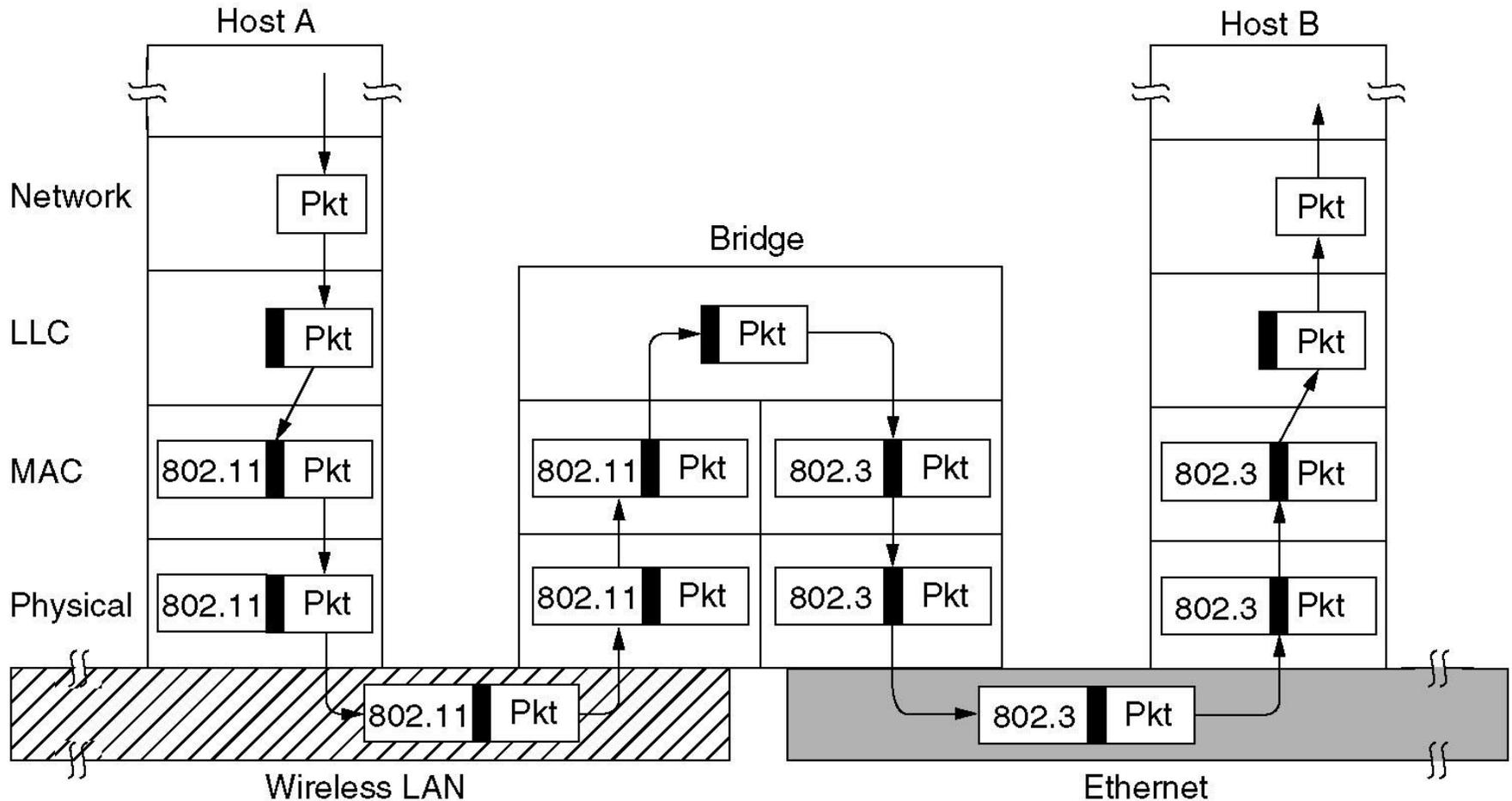


# Exemplo de Endereçamento



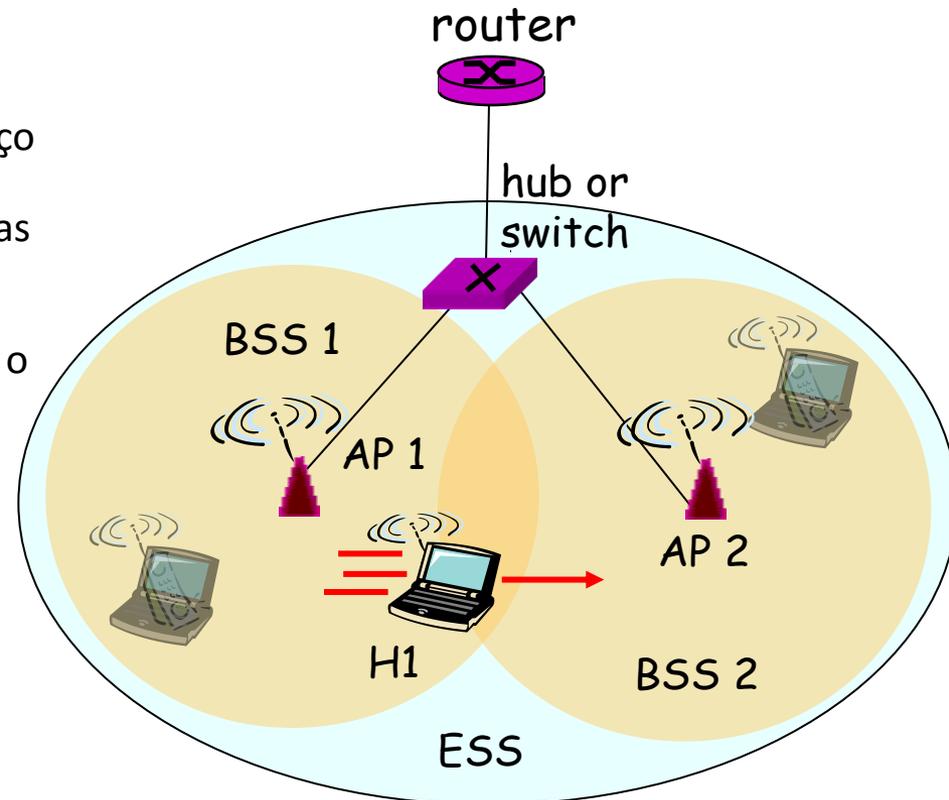
# AP: Bridge 802.11 <-> 802.3

Arquitectura de uma bridge entre LAN's 802.11 e 802.3.

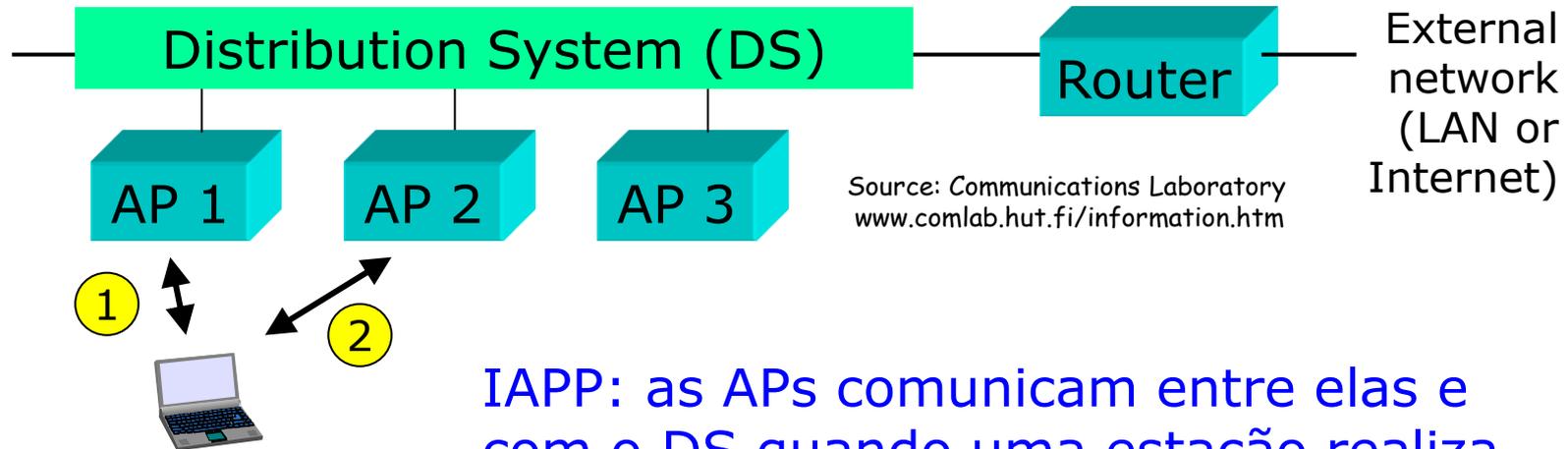


# Mobilidade na mesma sub-rede

- ❑ Frequentemente várias APs são utilizadas para cobrir um espaço de grandes dimensões (ESS, ex.: eduroam)
- ❑ Quando uma estação H1 passa da proximidade do AP1 para AP2, dá-se um handoff:
  - A estação desassocia-se do AP1
  - Associa-se ao AP2
- ❑ Como H1 fica na mesma sub-rede, o seu endereço IP mantém-se
- ❑ Se os APs estiverem ligados através de um hub, as frames 802.3 são enviadas para as duas APs
- ❑ Mas um switch memoriza o facto de que as frames 802.3 destinadas a H1 são enviadas para o AP1
- ❑ Se H1 passa para AP2, o switch tem de ser informado!
  - Uma ligação TCP não pode ser mantida sem a reprogramação das tabelas do switch
- ❑ O IAPP (Inter-Access Point Protocol) é utilizado para permitir a coordenação entre várias APs pertencendo a um Extended Service Set (ESS)



# IAPP - Inter Access Point Protocol



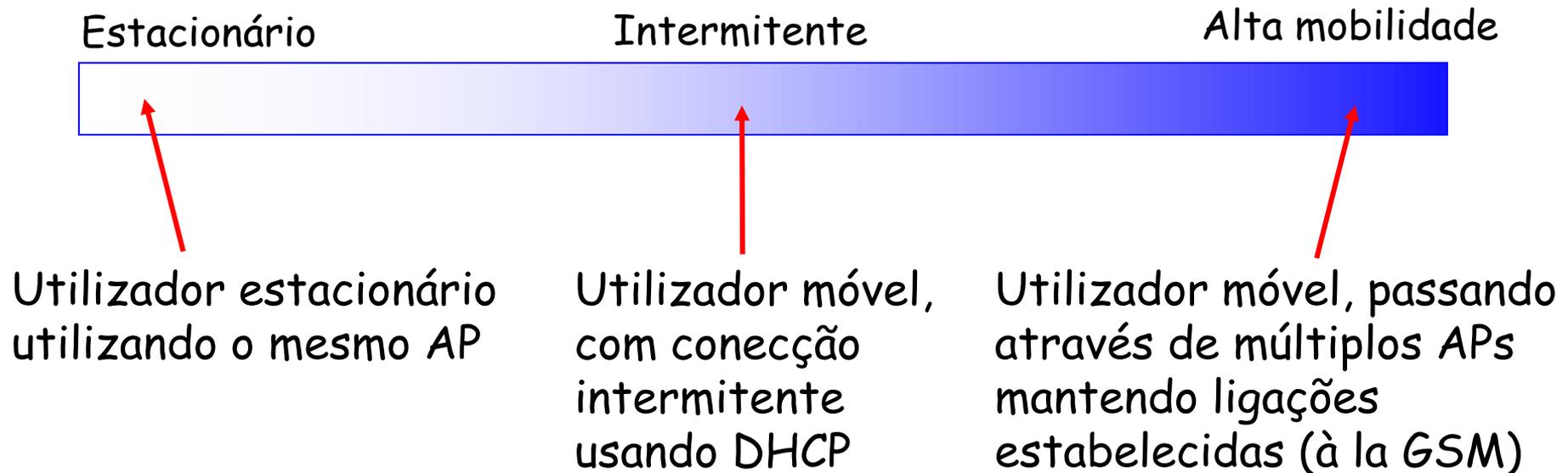
IAPP: as APs comunicam entre elas e com o DS quando uma estação realiza um handoff

- ❑ O IAPP (definido no IEEE 801.11f) permite gerir a mobilidade ao nível 2 dentro de um Extended Service Set
- ❑ O DS (Distribution System) inclui a interligação entre APs e o router de ligação à rede fixa



# Mobilidade em Redes sem Fios

- Existem vários graus de mobilidade, do ponto de vista da **rede**:



# Mobilidade: objectivos

- ❑ O objectivo da mobilidade é manter a conectividade e recepção/envio de pacotes do móvel inalterados independentemente das redes que atravessa.
- ❑ Duas propriedades fundamentais devem ser mantidas:
  - **Endereçamento**: o móvel deve poder ser contactado por terceiros através de um endereço constante (cf. nº de telemóvel)
  - **Encaminhamento**: os dados enviados para um móvel não se devem perder quando este muda de rede



# Gestão da Mobilidade

- ❑ *Gerida pelos routers:* os routers anunciam o endereço sucessivos dos móveis em deslocamento através das habituais mensagens de troca de tabelas de roteamento.
  - As tabelas indicam endereço do móvel na rede de visita
  - Não são necessárias mudanças nos protocolos de nível superior nem nos sistemas em movimento
- ❑ *Gerida pelos próprios sistemas:*
  - *routing indirecto:* a comunicação de um correspondente passa pelo *home agent*, que a encaminha para o móvel
  - *routing directo:* o correspondente obtém o endereço no móvel na rede de visita e encaminha directamente



# Gestão da Mobilidade

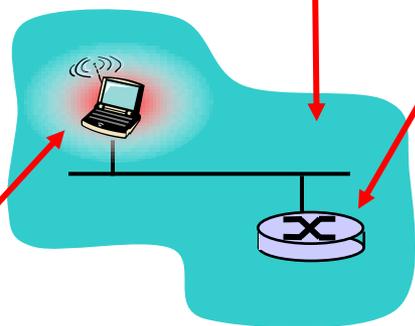
- ❑ *Gerida pelos routers:* os routers armazenam o endereço sucessivos dos móveis em deslocamento e enviam mensagens de troca de tabelas de roteamento.
  - As tabelas indicam o endereço de destino na rede de visita
  - Não são necessários protocolos de nível superior nem nos sistemas em movimento
- ❑ *Gerida pelos próprios sistemas:*
  - ***routing indirecto:*** a comunicação de um correspondente passa pelo *home agent*, que a encaminha para o móvel
  - ***routing directo:*** o correspondente obtém o endereço no móvel na rede de visita e encaminha directamente

Solução não  
escalável a  
milhões de  
dispositivos  
móveis

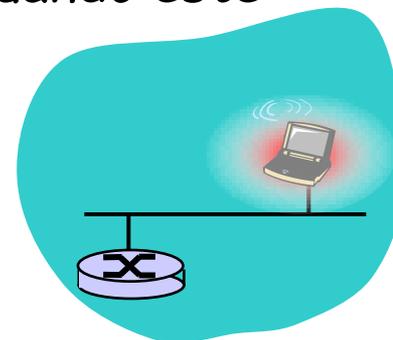


# Mobilidade: elementos iniciais

**Home Network:** rede de origem, ponto de ligação referencial do móvel (e.g., 128.119.40.0/24)



**Home Agent:** entidade que implementa as funcionalidades necessárias à mobilidade em nome do móvel, quando este estiver distante



wide area network

**Endereço permanente:** endereço do móvel na sua rede de origem que pode ser sempre usada para aceder ao móvel e.g., 128.119.40.186



**correspondente:** entidade que comunica com o móvel



# Mobilidade: elementos de ligação

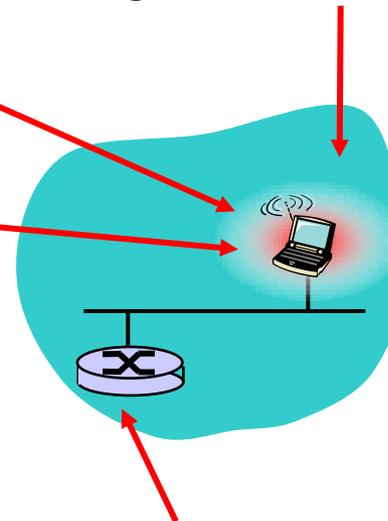
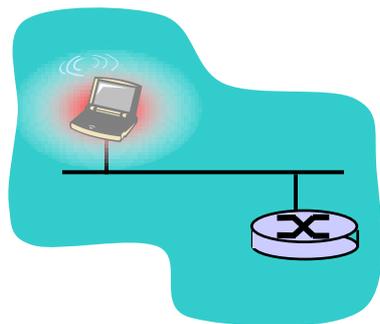
**Endereço permanente:** mantém-se inalterado (e.g., 128.119.40.186)

**Rede de visita:** rede na qual o móvel actualmente se encontra (e.g., 79.129.13.0/24)

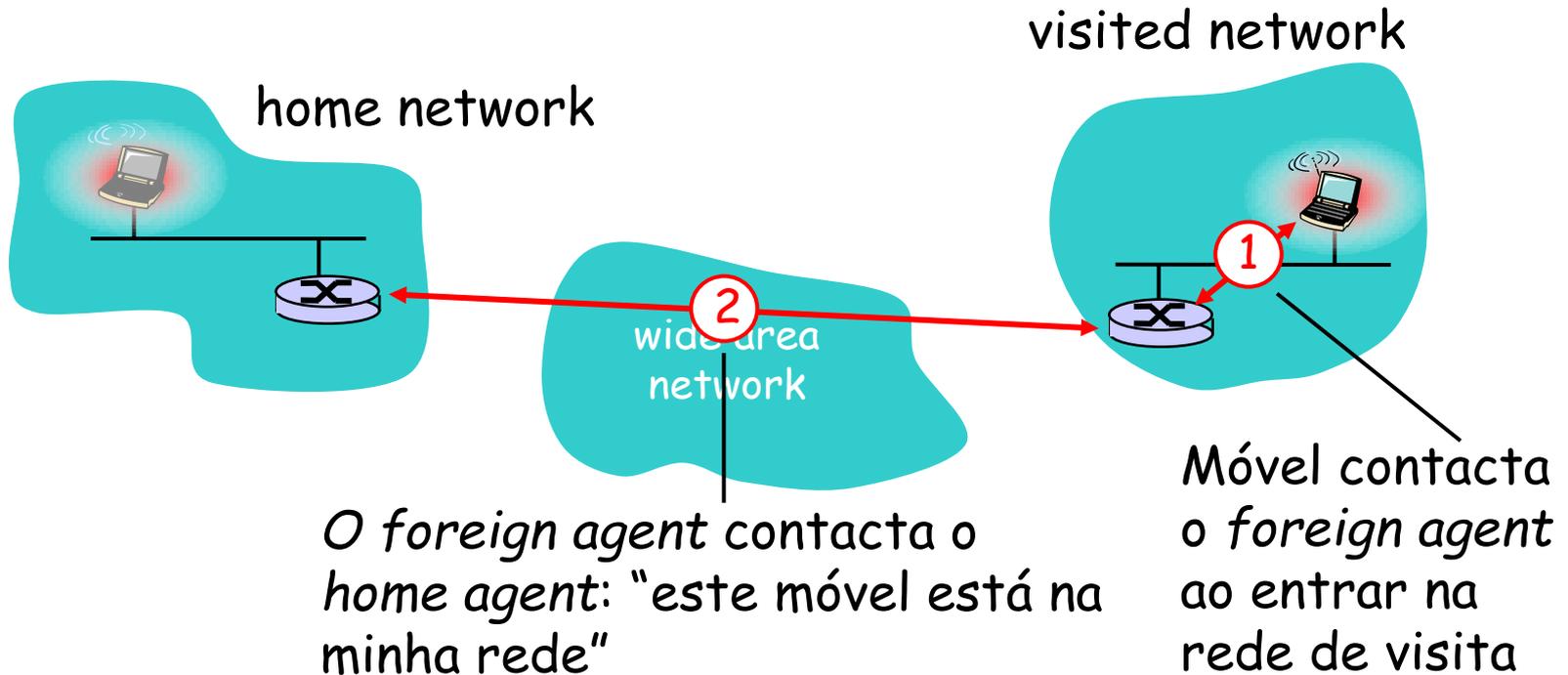
**Care-of-address:** endereço do móvel na rede de visita. (e.g., 79.129.13.2)

**correspondente:** entidade que comunica com o móvel

**Foreign agent:** entidade na rede de visita que implementa as funcionalidades de mobilidade em nome do móvel.



# Registo na Rede de Visita

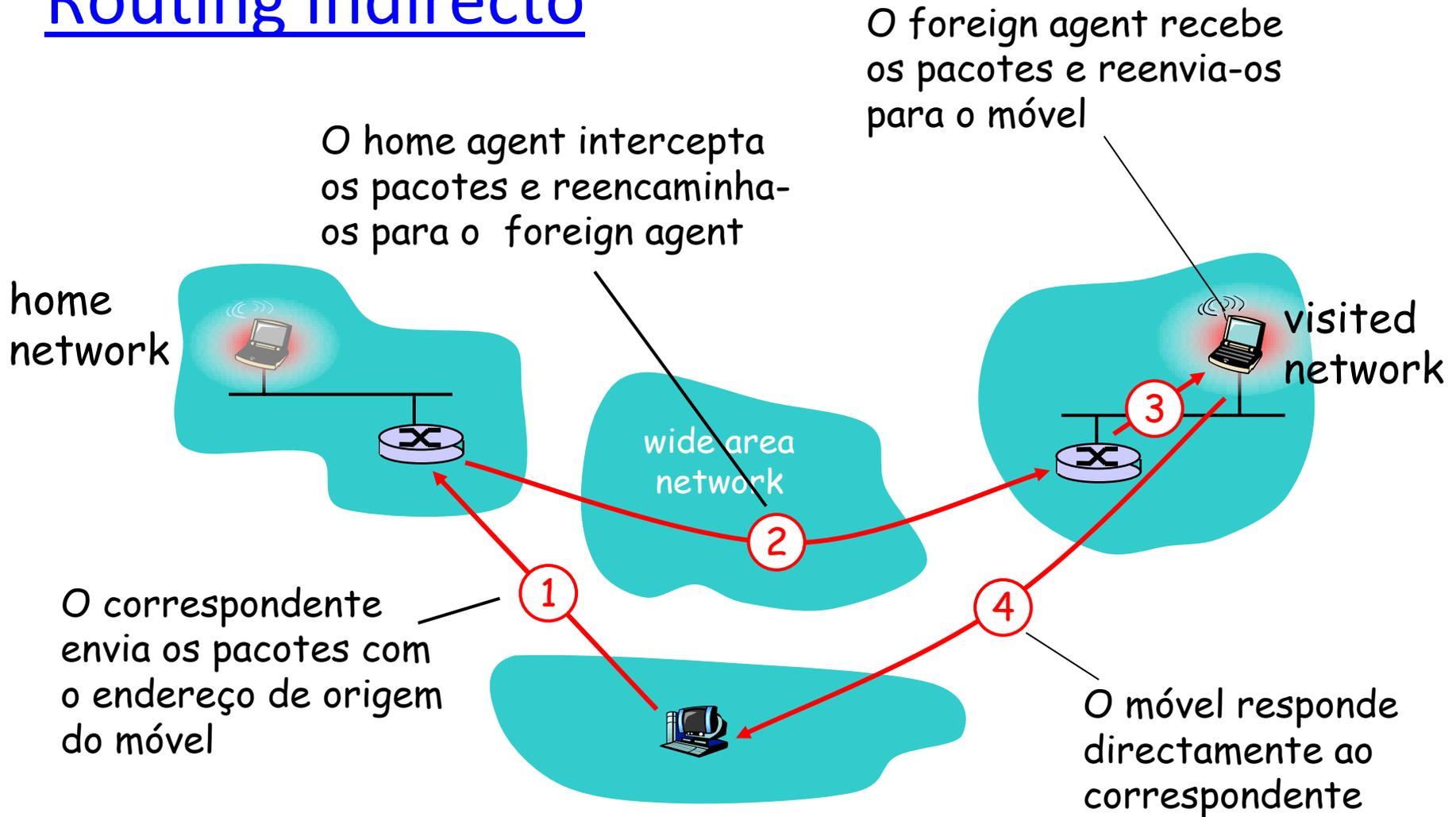


Resultado final:

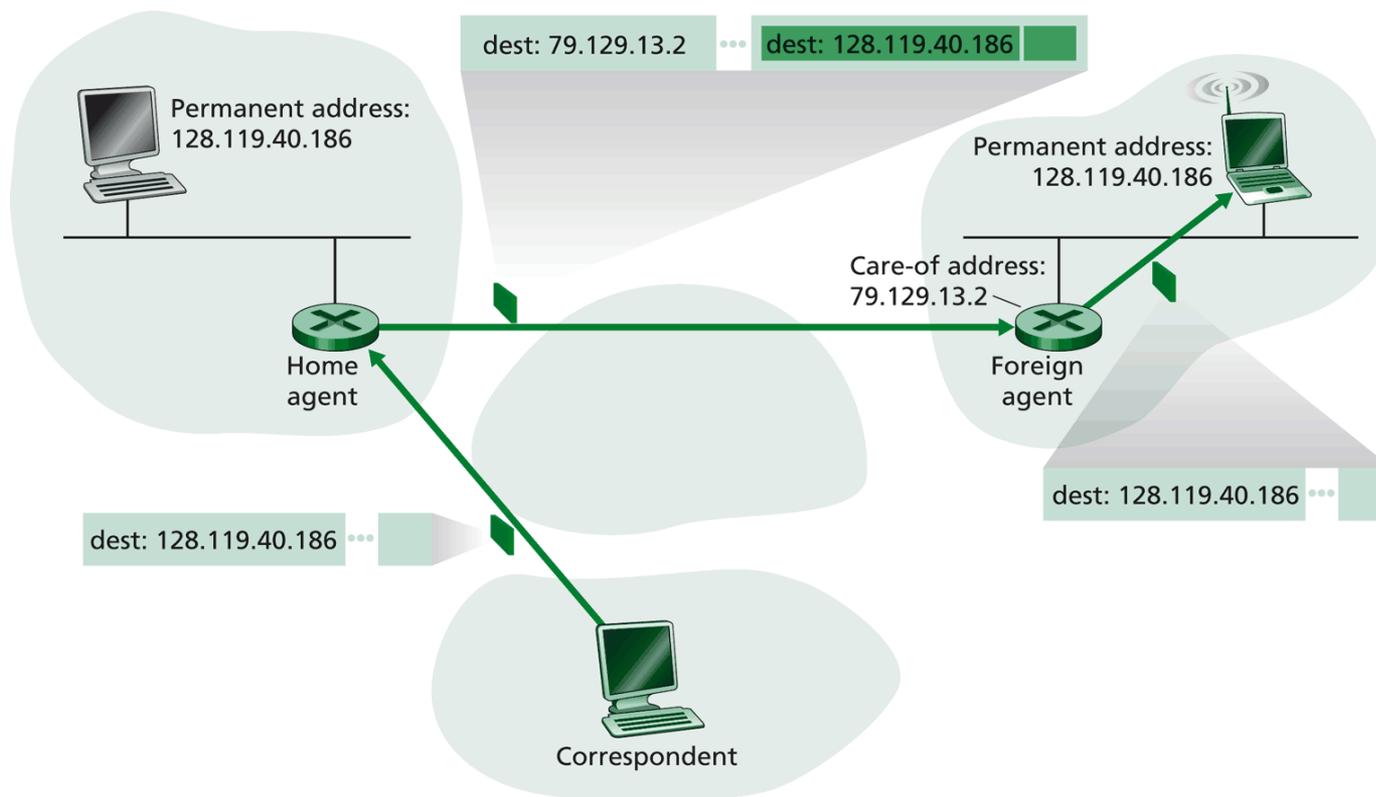
- O *foreign agent* conhece o móvel
- O *home agent* conhece a localização do móvel



# Routing Indirecto



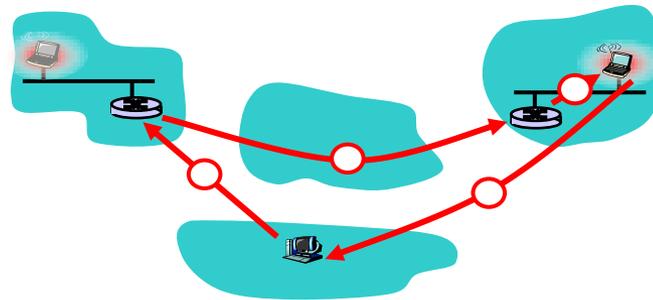
# Encapsulamento de pacotes



- ❑ Os pacotes originais enviados do correspondente para o móvel têm o endereço original do móvel
- ❑ Quando são re-encaminhados do home agent para o foreign agent são encapsulados num novo datagrama
- ❑ O *foreign agent* retira pacote original e envia-o ao móvel

# Routing Indirecto: comentários

- ❑ O Móvel utiliza dois endereços:
  - **Endereço permanente** : utilizado pelos correspondentes (assim a localização do móvel é *transparente* para o correspondente)
  - **Care-of-address (COA)**: utilizado pelo *home agent* para encaminhar os pacotes para o móvel
- ❑ Algumas funcionalidades de *foreign agent* podem ser desempenhadas pelo próprio móvel
- ❑ **Routing triangular**: correspondente->home-network->mobile
  - Pouco eficaz, sobretudo se o correspondente e o móvel estão na mesma rede (pode acontecer...)

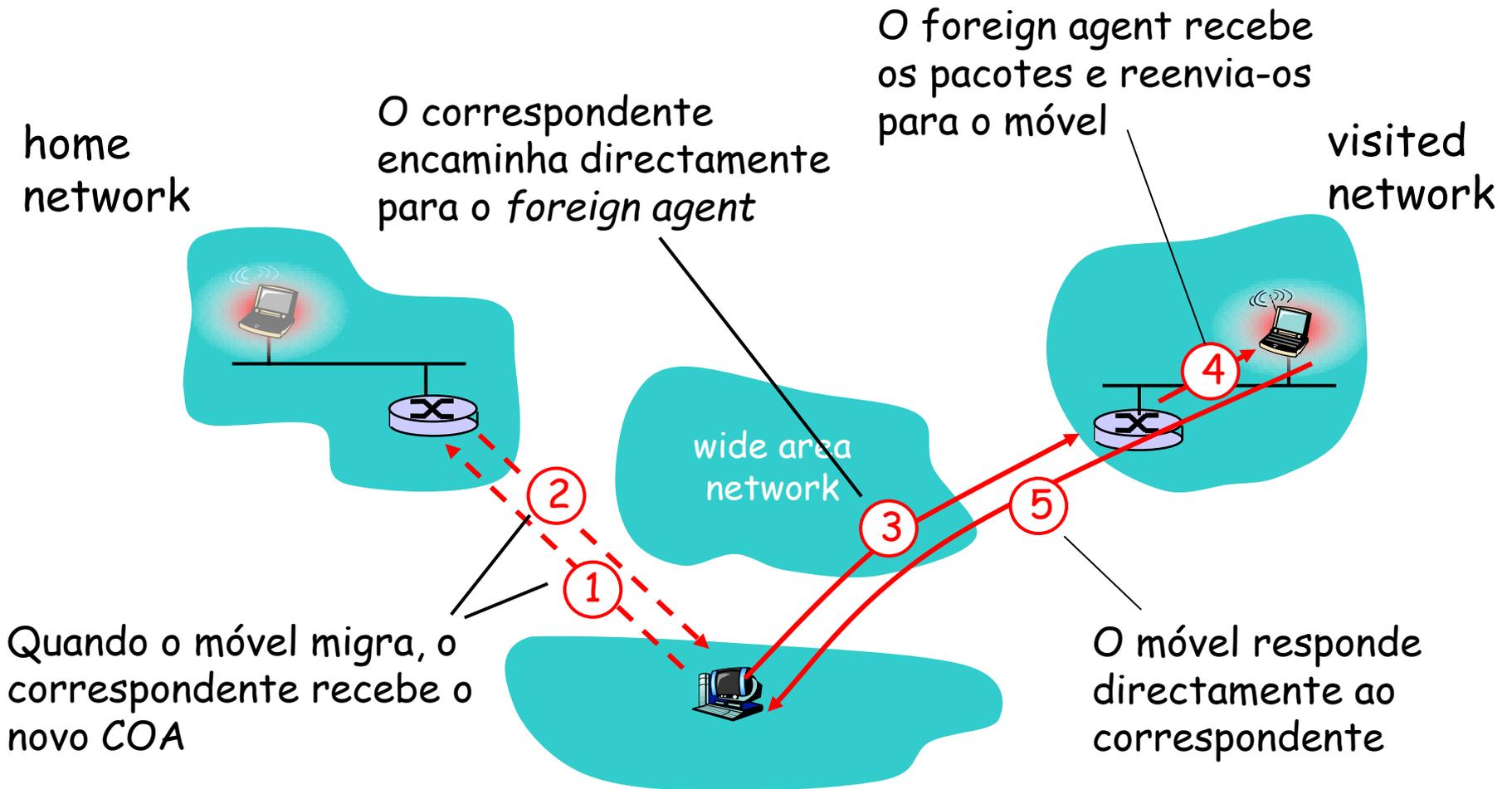


# Routing Indirecto: handover

- ❑ Quando o móvel muda de rede (*handover*)
  - Regista-se no novo *foreign agent*
  - O novo *foreign agent* regista-se com o *home agent*
  - O *home agent* actualiza o *care-of-address* que matém do móvel
  - Os pacotes continuam a ser encaminhados para o móvel (mas para o seu novo COA)
  
- ❑ Assim a mudança de rede torna-se transparente:
  - *as conexões estabelecidas podem ser mantidas!*

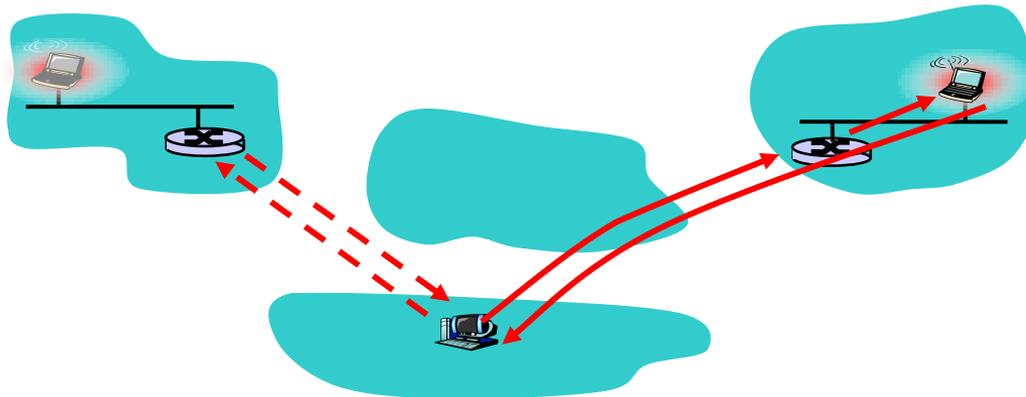


# Routing Directo



# Routing Directo: comentários

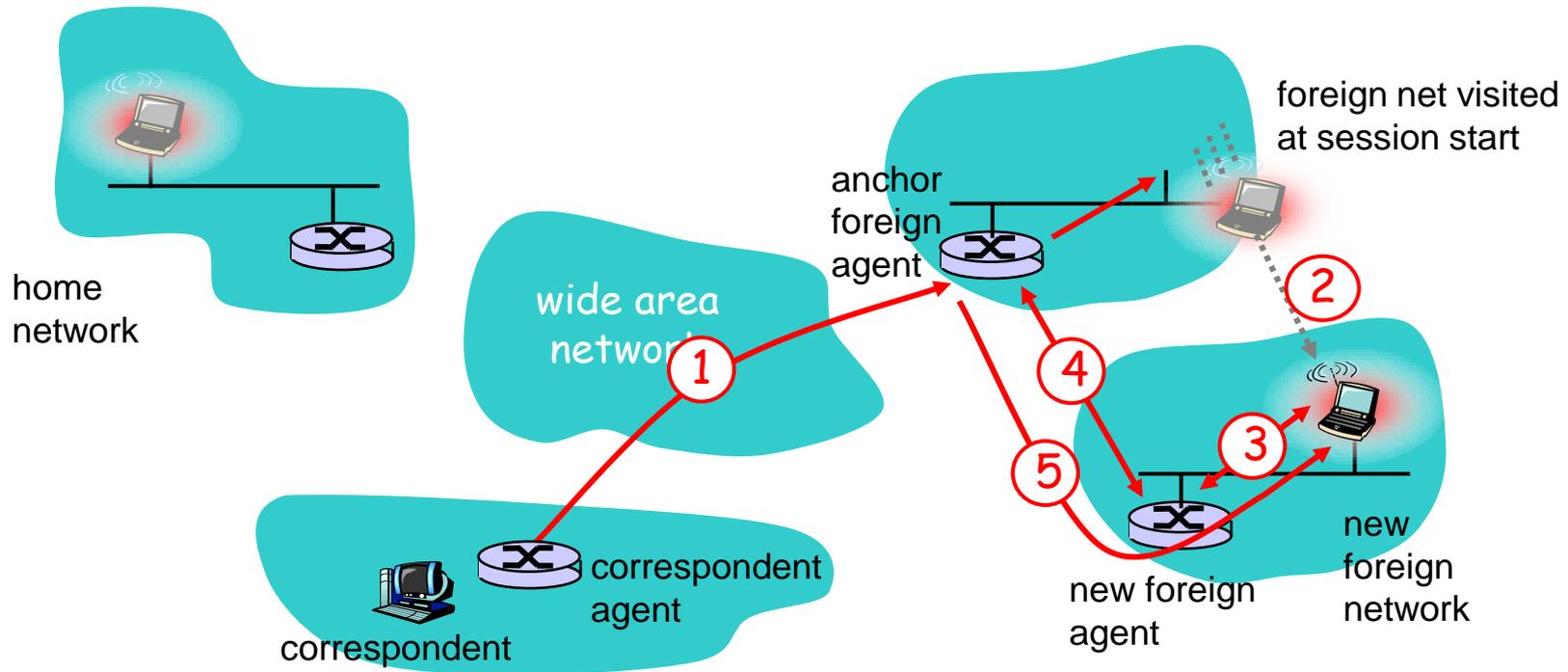
- ❑ Resolve o problema do routing triangular
- ❑ **Mas não é transparente para o correspondente**
  - É necessário um protocolo para pedir ao *home agent* o care-of-address do móvel
  - Se o móvel muda de rede no decorrer de uma sessão é preciso outro protocolo para prevenir o correspondente que o COA mudou durante uma sessão



# Gestão da de Handovers Sucessivos

Quando se dá um handover e está uma ligação estabelecida:

- ❑ O FA da rede em que está o móvel torna-se o *Anchor Foreign Agent* (AFA)
- ❑ Os dados continuam a ser enviados para o AFA
- ❑ Quando o móvel se regista na nova rede, o AFA reencaminha os pacotes para o novo FA (chaining)



# Requisitos para a Mobilidade

Para gerir a mobilidade é necessário:

- ❑ Um protocolo entre o dispositivo móvel e o FA
  - Funções de descoberta e registo (criação e remoção)
- ❑ Um protocolo entre o FA e o HA
  - Registo do COA junto do HA
- ❑ Reencaminhamento de pacotes
  - Envio dos pacotes entre o HA e FA (Mobile Routing)
  - Encapsulação e desencapsulação de datagramas
- ❑ O reencaminhamento de pacotes pode ser transparente para o correspondente e para o móvel se o processo de registo for rápido
  - Alguns datagramas podem perder-se mas as funções de retransmissão dos níveis superiores podem remediar
- ❑ **O Mobile IP fornece essas funcionalidades**



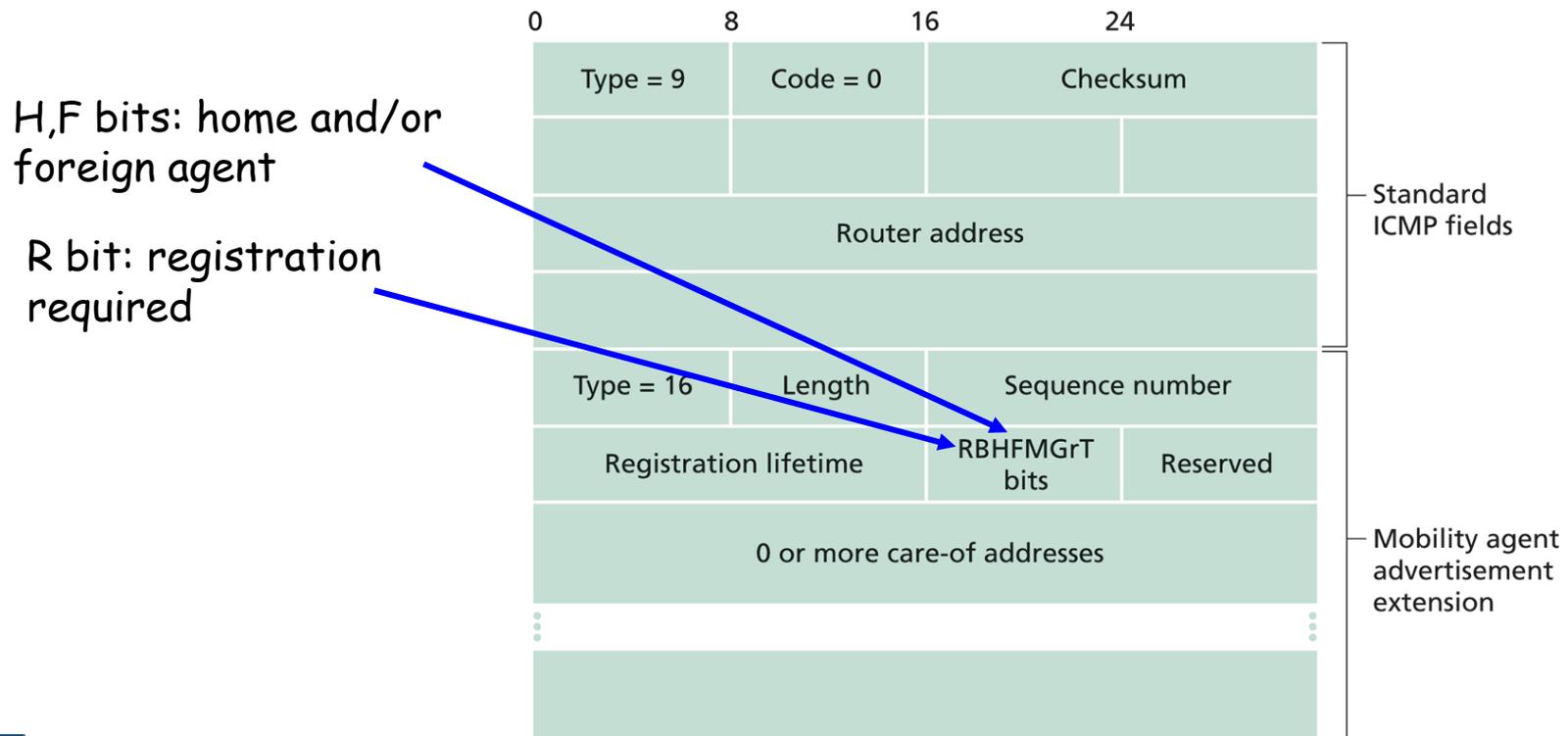
# Mobile IP

- ❑ O protocolo foi alvo de vários RFCs e continua em evolução (MobileIPv6)
  - RFC 2002 (1996)
    - <http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt>
  - RFC 3344 (2002)
    - <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3220.txt>
  - RFC 3775 (2004) Mobile IPV6
    - <http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt>
- ❑ Suporta muitas das funcionalidades descritas:
  - home agents, foreign agents, foreign-agent registration, care-of-addresses, encapsulation (packet-within-a-packet)
- ❑ O standard tem 3 componentes fundamentais:
  - Agent Discovery and Registration
  - Registration with Home Agent
  - Indirect routing of Datagrams
- ❑ Tem ainda inúmeras extensões
  - Segurança, optimização de routing, etc...



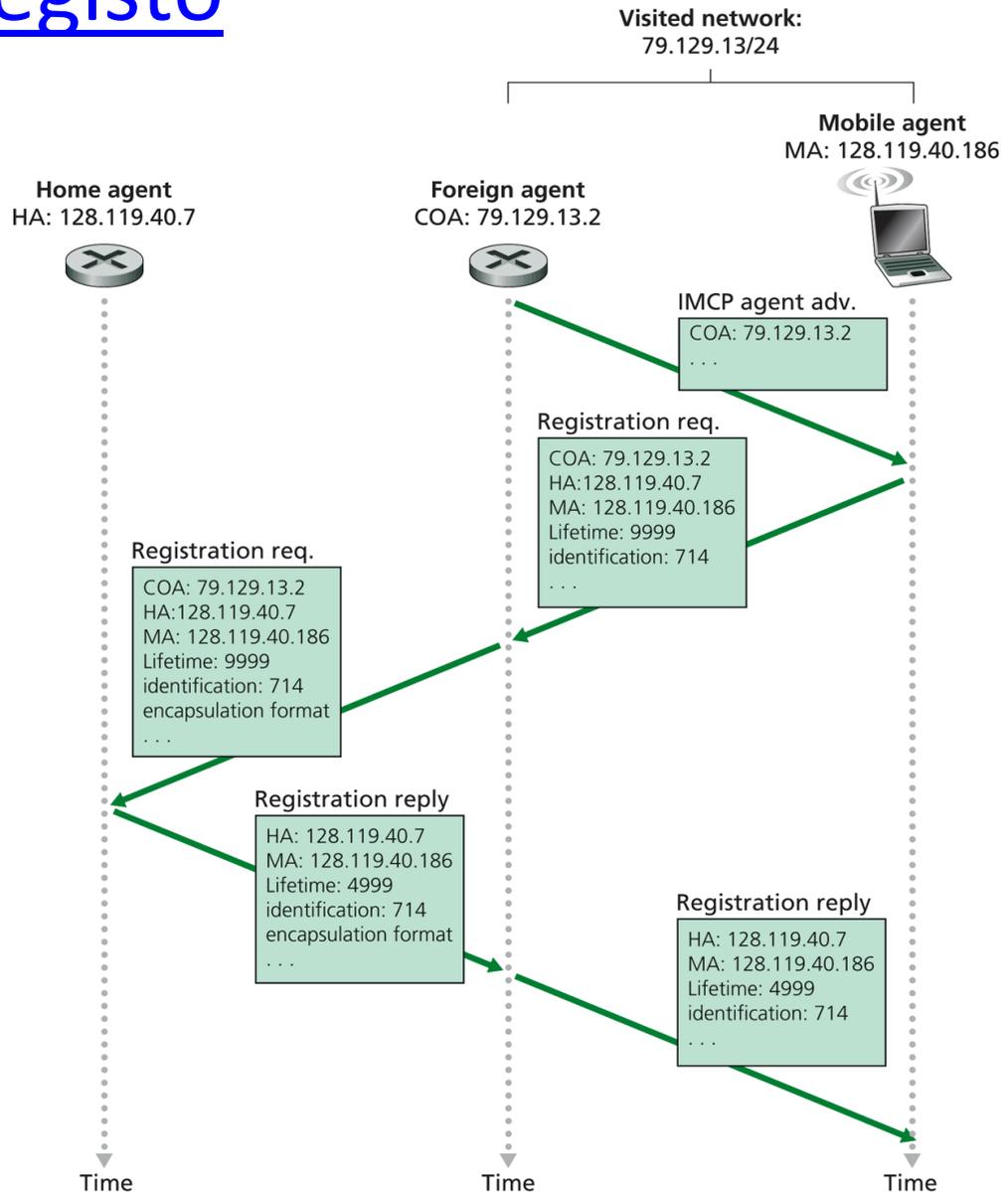
# Mobile IP: Agent Discovery

- ❑ **Agent Advertisement:** os foreign e home agents anunciam os seus serviços
  - Broadcast de mensagens ICMP (type field = 9)
- ❑ **Agent Solicitation:** os móveis podem pedir informação sobre o agente da rede visitada
  - Broadcast de mensagens ICMP (type field = 10)



# Exemplo de Registo

- Um móvel com um HA 128.119.40.7 visita a rede 79.129.13/24
- Recebe o COA 79.129.13.2
- Faz um pedido de registo desse COA ao HA com o número 714
- O HA responde aceitando o pedido e estabelecendo o formato de encapsulamento



# Mobile IPv6

O IPv6 tem funcionalidades mais adaptadas à mobilidade

- ❑ Permite criar Care-of-Address sem recurso a um Foreign Agent
  - Utilizando *Stateless Address Autoconfiguration* (RFC 2462)
- ❑ O COA é colocado no pacote de destino em conjunto com Home Address
  - Os pacotes podem conter os dois endereços num Extension Header
- ❑ Qualquer router IPv6 pode funcionar como Foreign Agent
  - Não é necessário instalação de software especial
  - Pode haver routing directo entre o correspondente e o móvel
- ❑ Estabelecimento de condições de Segurança
  - A segurança é suportada nativamente pelo IPv6
  - As funcionalidades de “*route optimization*” exigem protocolos de segurança mais complexos



# Impacto nas camadas protocolares superiores

- ❑ Logicamente o impacto deveria ser mínimo
  - O modelo de serviço de melhor esforço não mudou
  - TCP e UDP correm em cima do nível rede móvel
- ❑ Mas a nível do desempenho existe um impacto considerável
  - Maior número de perdas de pacotes e atrasos devido a erros de transmissão e retransmissão no nível lógico, handoffs
  - O TCP interpreta a perda de pacotes como congestão na rede
    - Reduz a taxa de transmissão desnecessariamente
  - Soluções para este problema
    - Melhorar os algoritmos de correção de erros ao nível rede e ligação
    - Os protocolos de transporte devem identificar a utilização de redes sem fios e adaptar os algoritmos de congestão às condições específicas
- ❑ De qualquer forma
  - Nas redes sem fios, as taxas de transmissão, os delays e as percas sofreram grandes melhorias nos últimos anos
  - A transmissão de tráfego streaming em real-time já é uma realidade
  - Mas as taxas de transmissão das redes sem fios e fiabilidade são ainda são inferiores às da rede fixa...



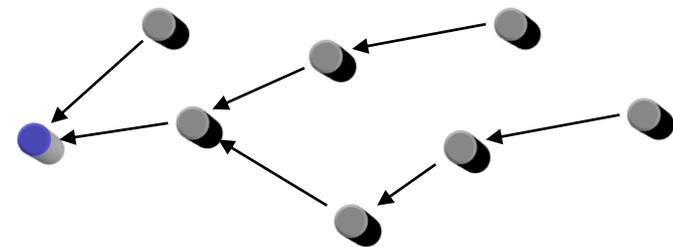
# Redes Wireless Pessoais

- ❑ Bluetooth: tecnologia para comunicações locais (10m) baseado em RF na banda dos 2.4 GHz, inicialmente prevista para substituir cabos
  - Desenvolvida pela Ericsson em 1994
  - Formalizada pelo SIG Bluetooth em 1998
- ❑ É uma tecnologia de baixo consumo e simples de utilizar permite a sua integração em dispositivos de pequena dimensão
- ❑ Popularizada pela utilização em telemóveis, auriculares, automóveis, ratos, etc...
- ❑ Mais tarde dá origem ao standard IEEE 802.15
- ❑ Várias versões de Bluetooth:
  - Versão 1.2 introduz **Adaptive Frequency-Hopping Spread Spectrum** (AFHSS) que permite diminuir as interferências de outros sinais (721 kbps)
  - Versão 2.1 com **Enhanced Data Rate** que permite débitos até 3 Mb/s redução de consumo e melhor correcção de erros
  - Versão 3.0 + High Speed (Abril 2009) até 24 Mbps utilizando uma ligação adicional 802.11 para dados. designada por Alternate MAC/PHY (AMP)
  - Versão 4.0 foi anunciada em finais de Abril 2010, acrescentando o **Bluetooth Low Energy** que permite menor consumo e maior grau de integração dos dispositivos, para utilizações em dispositivos para a área da saúde e desporto com autonomia da ordem de um ano
- ❑ É um standard em constante evolução podendo vir a integrar funcionalidades de broadcast, gestão de topologia e qualidade de serviço
  - A convergência com o futuro standard Ultra Wide Band foi abandonada



# Redes de Sensores

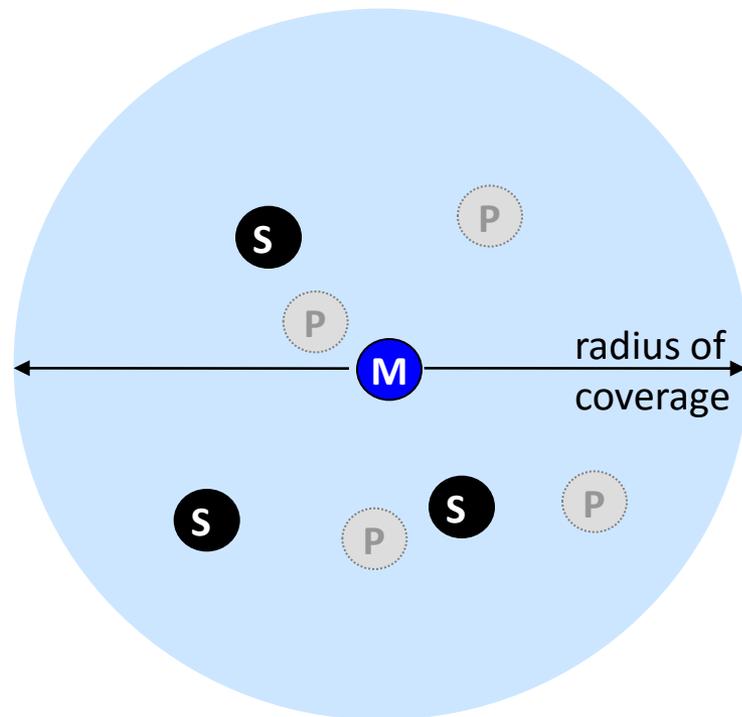
- ❑ Redes ad-hoc entre dispositivos de muito baixo consumo
  - Área de investigação muito actual e em desenvolvimento
  - Novos Protocolos de agregação e routing
- ❑ Ex: ZigBee
  - Low-rate Wireless Personal Area Networks
  - Baseado na especificação IEEE 802.15.4-2004
  - Utiliza as bandas Industrial, Scientific and Medical (ISM) (915 ou 868 MHz) ou a banda dos 2.4 GHz
- ❑ Permite a criação de ligações dinâmicas (mesh)
  - Alto grau de redundância
  - Utiliza roteamento colaborativo (many-to-one)
  - Implementa comunicações seguras
- ❑ Internet of Things
  - Saúde, domótica, robótica, segurança, ...



Source: Cheng Tien Ee  
UC Berkeley, EECS - CHESS  
<http://chess.eecs.berkeley.edu>

# Características físicas 802.15

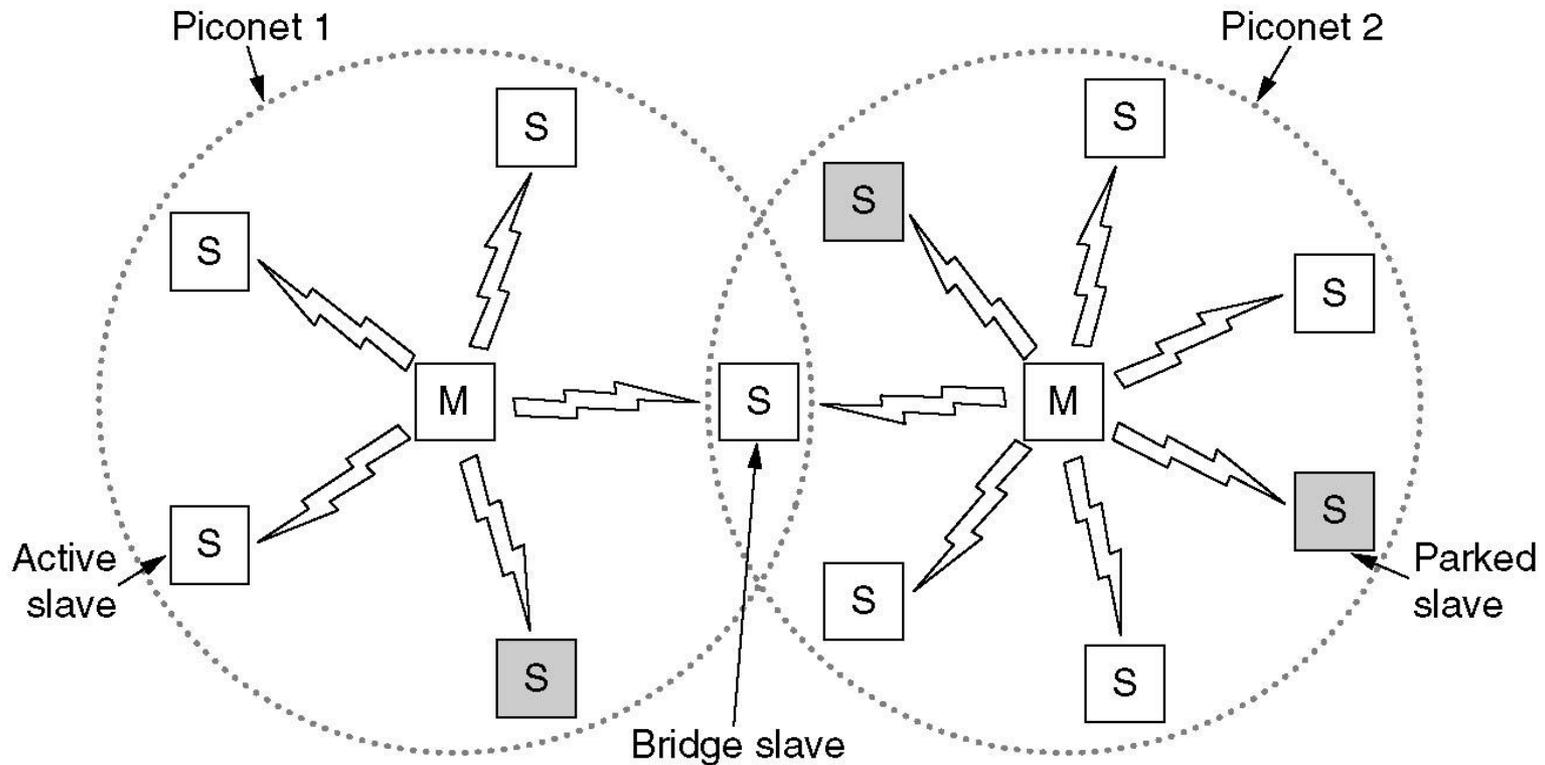
- ❑ Funcionamento em rede ad hoc, denominada Piconet, com alcance de cerca de 10m
- ❑ O canal físico é partilhado por todos os dispositivos, com sincronização de relógio, utilizando transmissão baseada em expansão de frequência (Frequency-hopping Spread Spectrum) na banda dos 2.4 a 2.4835 GHz
  - 79 canais de 1 MHz de FHSS para evitar interferências
- ❑ Um dispositivo master estabelece a referência de sincronização e controla até 8 slaves
  - Os outros (Slaves) pedem autorização para transmitir
  - O master aceita ou recusa os pedidos
- ❑ Só podem ser estabelecidas ligações físicas entre o master e os slaves
- ❑ O Link Management Protocol (LMP) governa o estabelecimento das ligações entre dispositivos
  - Inquiry, discover, paging, connected



- M Master device
- S Slave device
- P Parked device (inactive)

<https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/Technology-Overview.aspx>

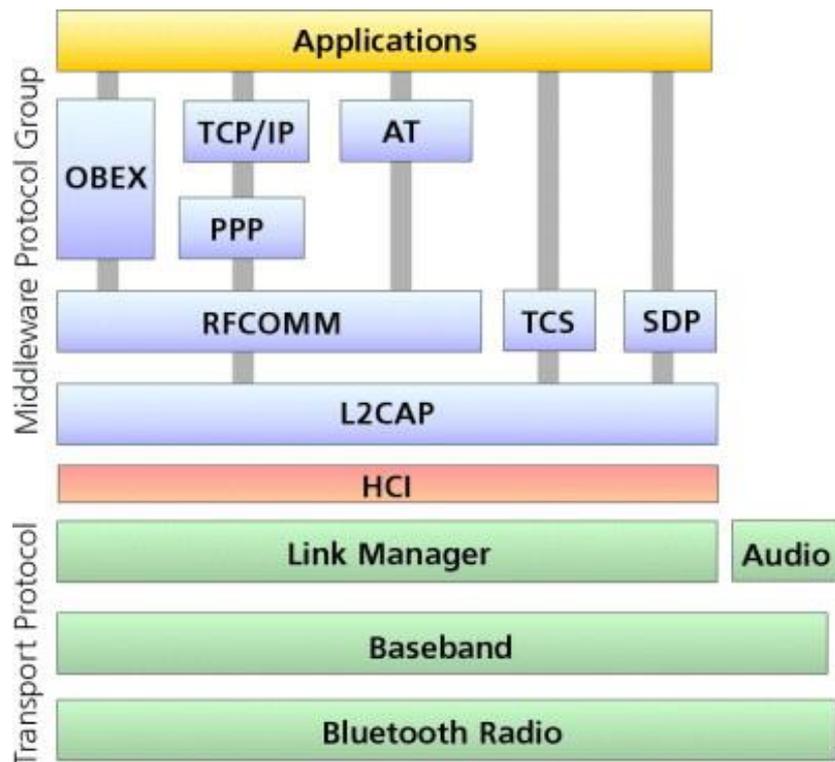
# Internetworking de Piconets



Duas piconets podem ligar-se através duma bridge para formar uma scatternet.

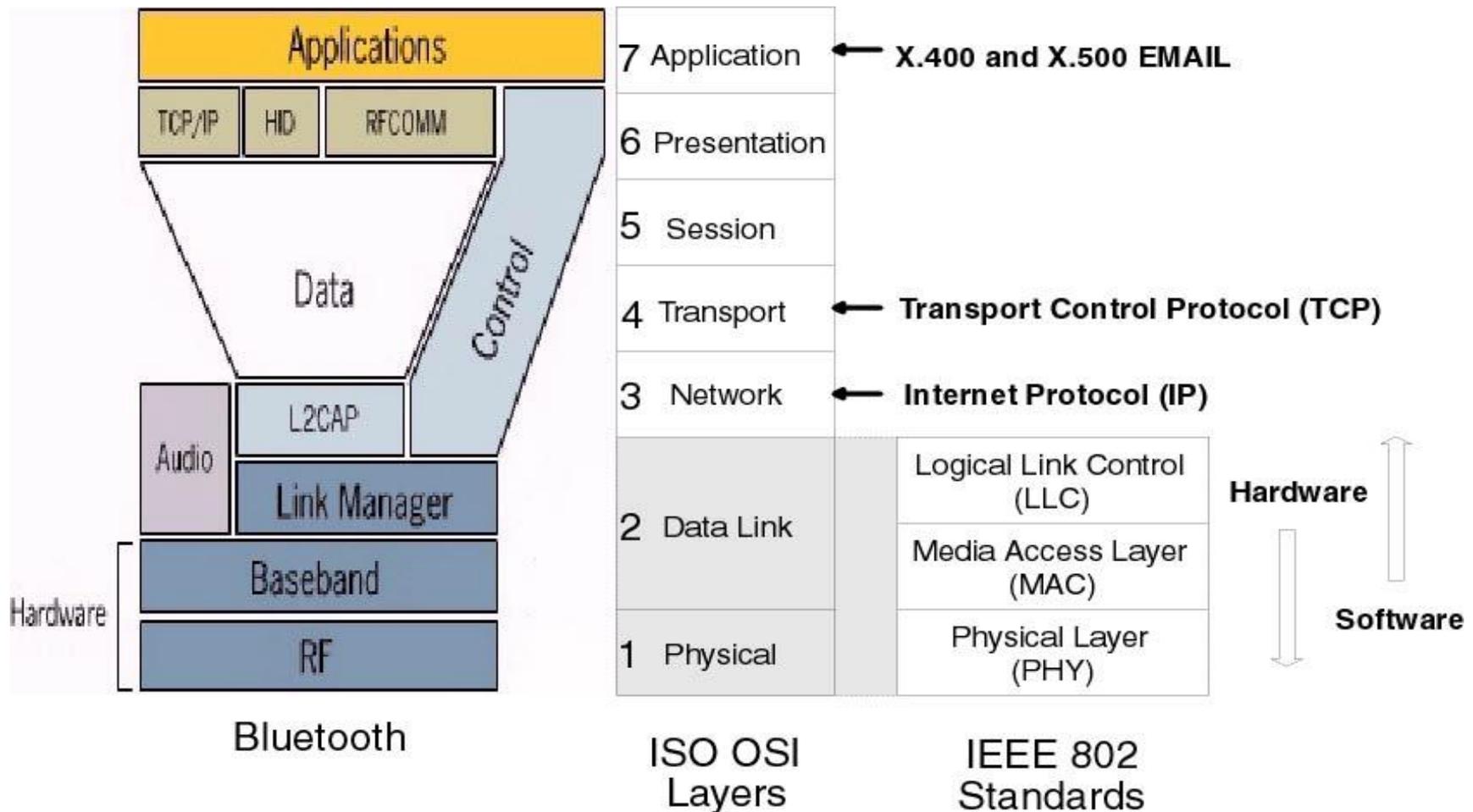


# Stack Bluetooth



- ❑ Radio: especificações do transceiver Bluetooth na banda 2.4 GHz
- ❑ Baseband: especifica o Bluetooth Link Controller que gere os canais físicos e realiza correção de erros, selecção de frequência e segurança
- ❑ LMP: Link Management Protocol: permite estabelecer e controlar as ligações entre os intervenientes
- ❑ L2CAP - Logical Link Control & Adaptation Protocol: suporta multiplexagem, segmentação e assemblagem de pacotes, e informação de QoS
- ❑ RFCOMM implementa a emulação de portas série sobre o L2CAP
- ❑ SDP - Service Discovery Protocol: fornece as funcionalidades de descoberta de serviços e características oferecidos pelos dispositivos Bluetooth

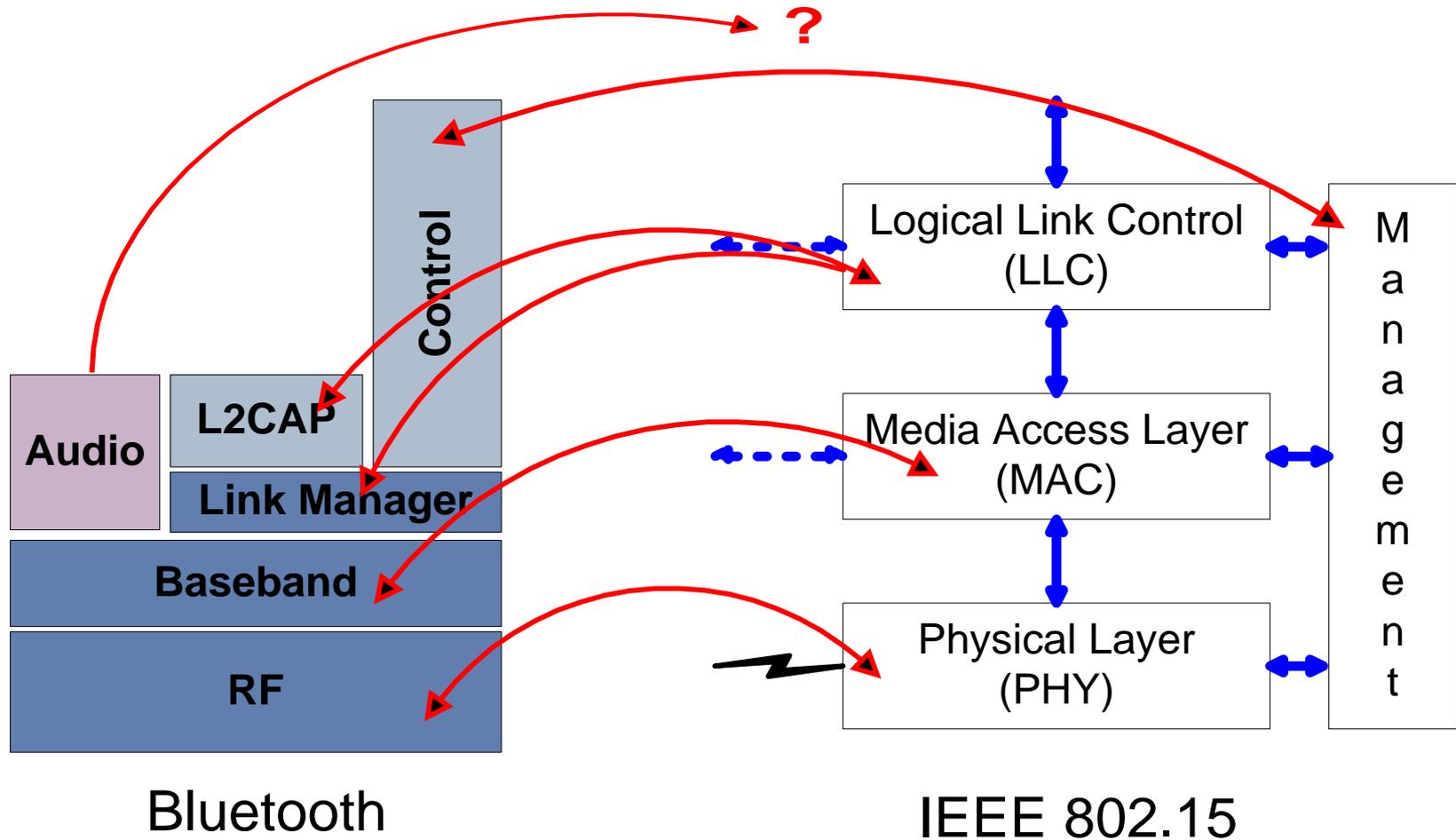
# Bluetooth e Modelo ISO



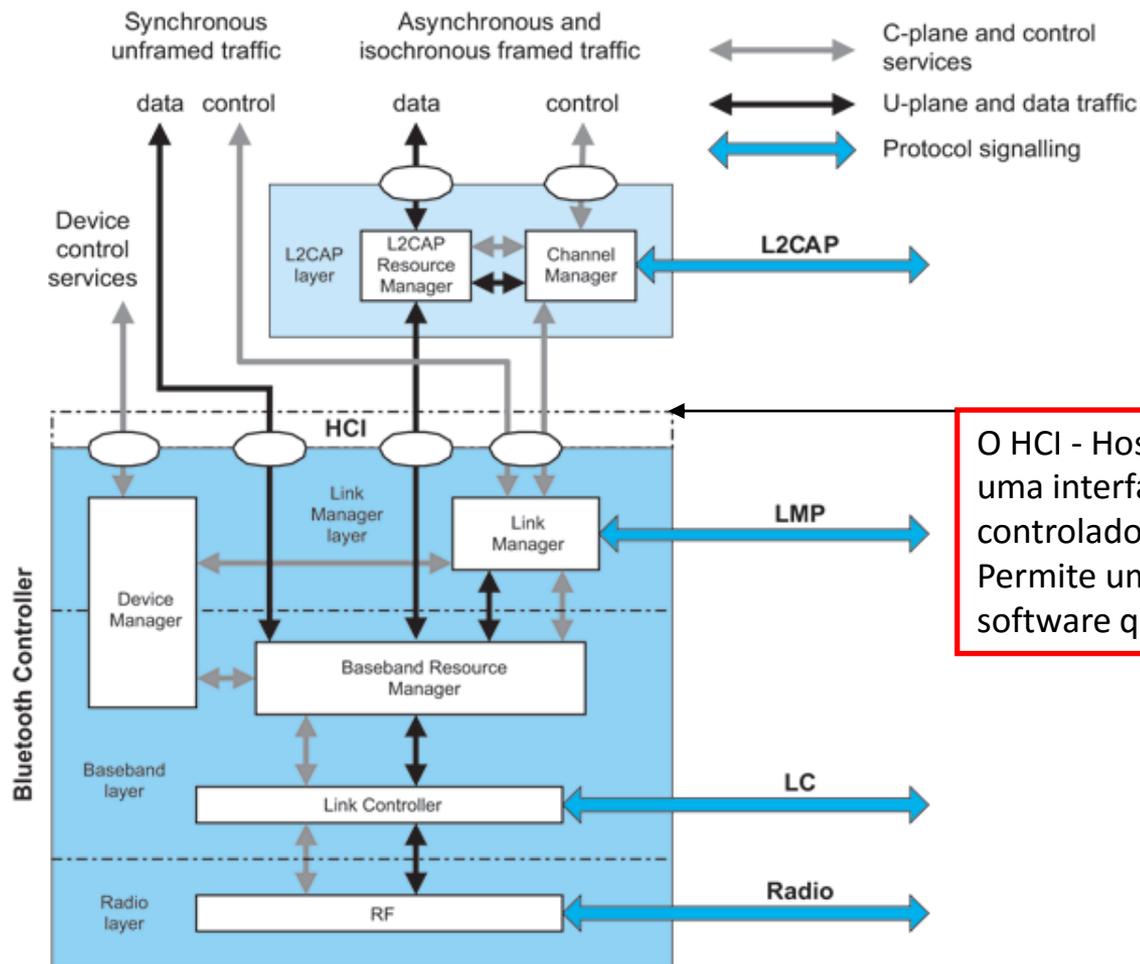
O L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) fornece serviços de transferência de dados em modo conectado ou desconectado.



# Bluetooth ↔ 802.15



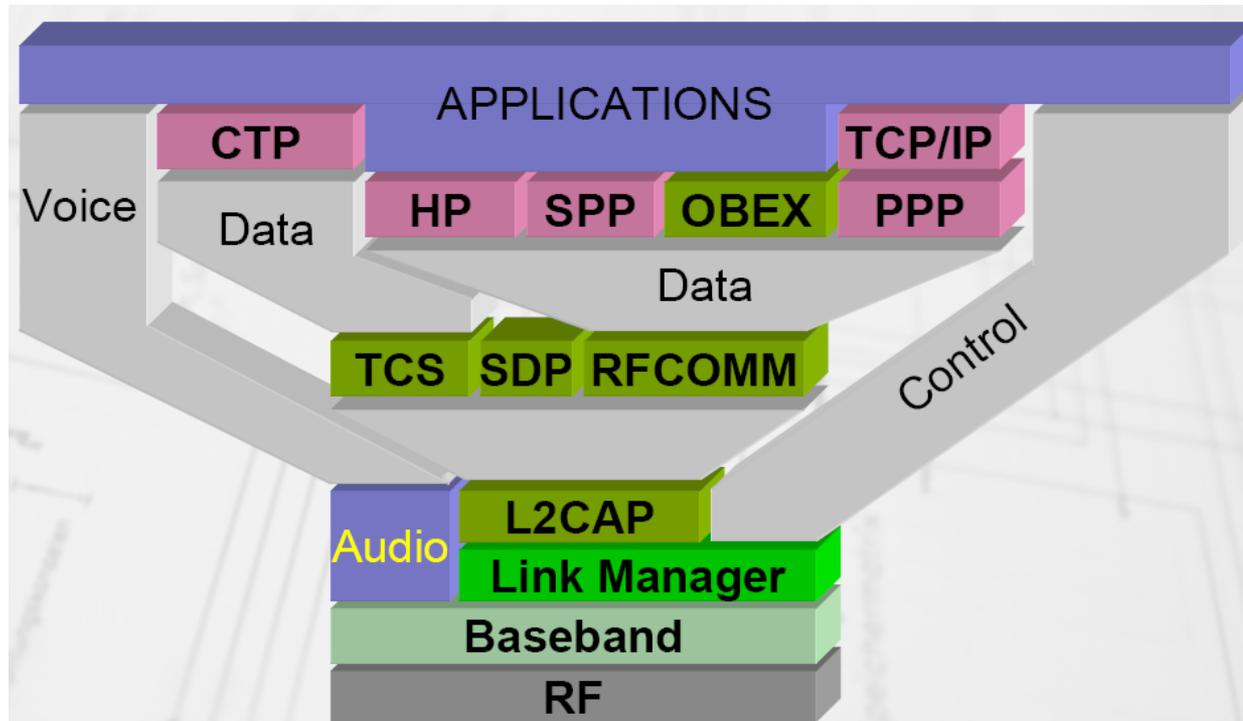
# Arquitetura Controlador



O HCI - Host to Controller Interface - estabelece uma interface standard entre o hardware do controlador e o resto da pilha protocolar. Permite uma mudança fácil de dispositivos e do software que implementa a pilha bluetooth.



# API de Acesso Bluetooth



O Bluetooth fornece uma API de acesso aos serviços, que incorporam:

- ❑ Service Discovery Protocol permite a descoberta de devices e respectivos serviços
- ❑ Telephony Control Service, permite o estabelecimento de chamadas de voz entre dispositivos
- ❑ Obex Object Exchange Protocol, permite a troca de objectos entre devices (ficheiros, imagens, contactos, etc...)



# Perfis Bluetooth

Name	Description
Generic access	Procedures for link management
Service discovery	Protocol for discovering offered services
Serial port	Replacement for a serial port cable
Generic object exchange	Defines client-server relationship for object movement
LAN access	Protocol between a mobile computer and a fixed LAN
Dial-up networking	Allows a notebook computer to call via a mobile phone
Fax	Allows a mobile fax machine to talk to a mobile phone
Cordless telephony	Connects a handset and its local base station
Intercom	Digital walkie-talkie
Headset	Intended for hands-free voice communication
Object push	Provides a way to exchange simple objects
File transfer	Provides a more general file transfer facility
Synchronization	Permits a PDA to synchronize with another computer

**Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)**

Mais Referências:

<http://www.palowireless.com/infotooth/tutorial.asp>

<http://www.swedetrack.com/usblue1.htm>

<http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Learn/Works>

# Redes Celulares

- ❑ Uma (muito) breve introdução...
- ❑ É matéria para um curso inteiro, incluindo:
  - Telecomunicações
  - Processamento do Sinal
  - Técnicas de Codificação de Dados
  - Infra-estruturas de distribuição de dados
  - Etc..



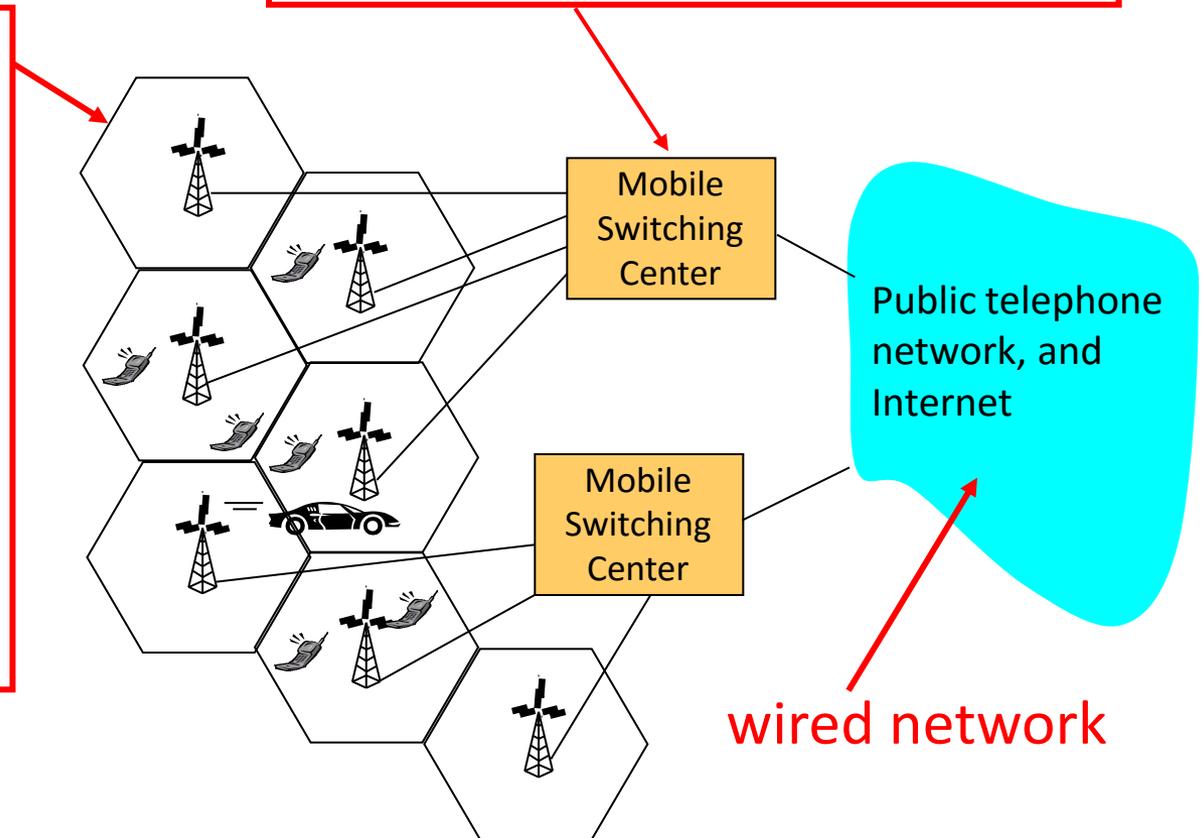
# Componentes de uma rede celular

## Célula

- ❑ Cobre uma região geográfica limitada
- ❑ *Base Station* (BS) análoga ao AP 802.11
- ❑ *Dispositivos móveis* ligam-se à rede através da BS
- ❑ *air-interface*: protocolos níveis físico e lógico entre dispositivo móvel e a BS

## MSC

- ❑ liga células à “wide area network”
- ❑ gere estabelecimento chamada
- ❑ gere a mobilidade



wired network

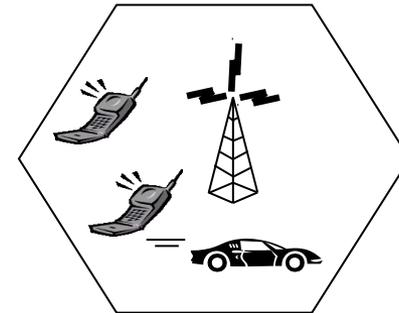
# Redes Celulares: ligação móvel <-> BS

Já vimos em Redes de Computadores!

Duas técnicas para partilha  
espectro rádio

## □ **FDMA/TDMA combinados:**

- Divisão do espectro em canais de frequência, e cada canal em “time slots”

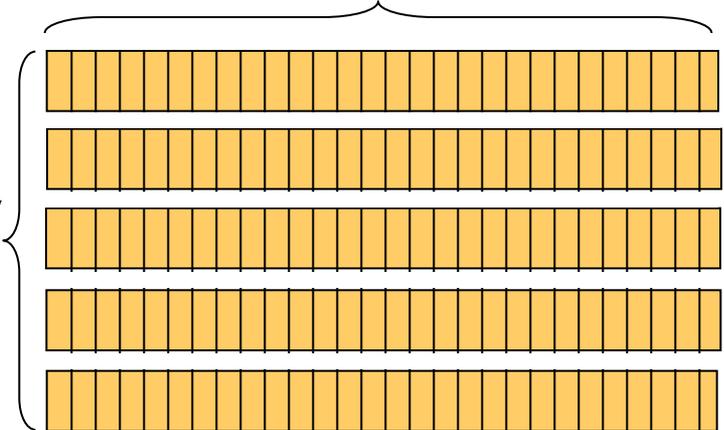


time slots

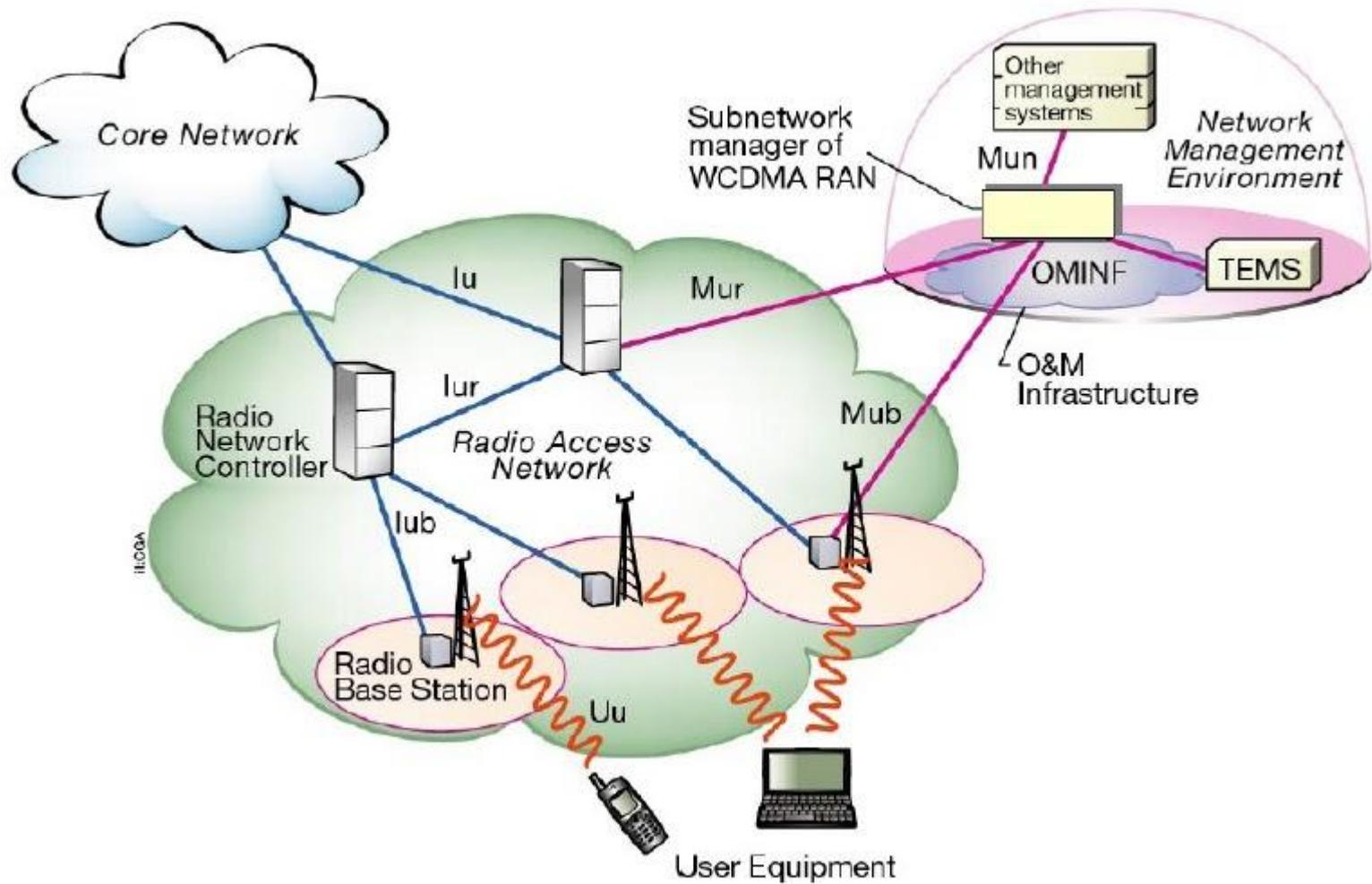
## □ **CDMA: Code Division Multiple Access**

- Utilização de sequências de codificação distintas por canal

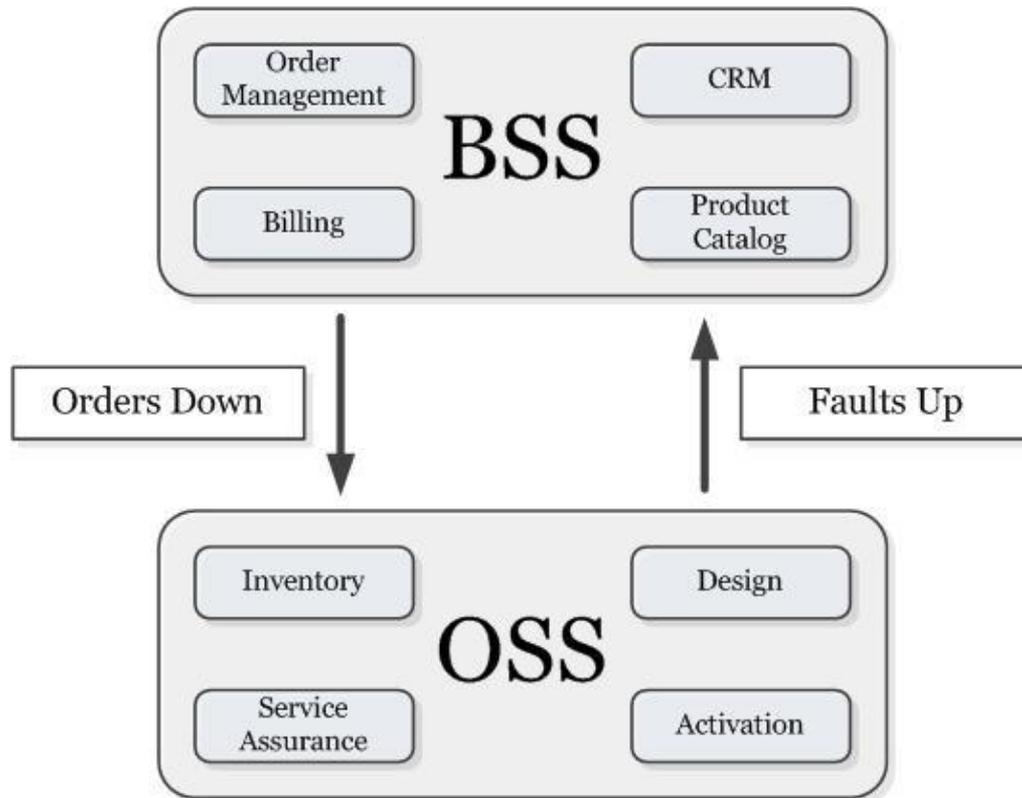
frequency bands



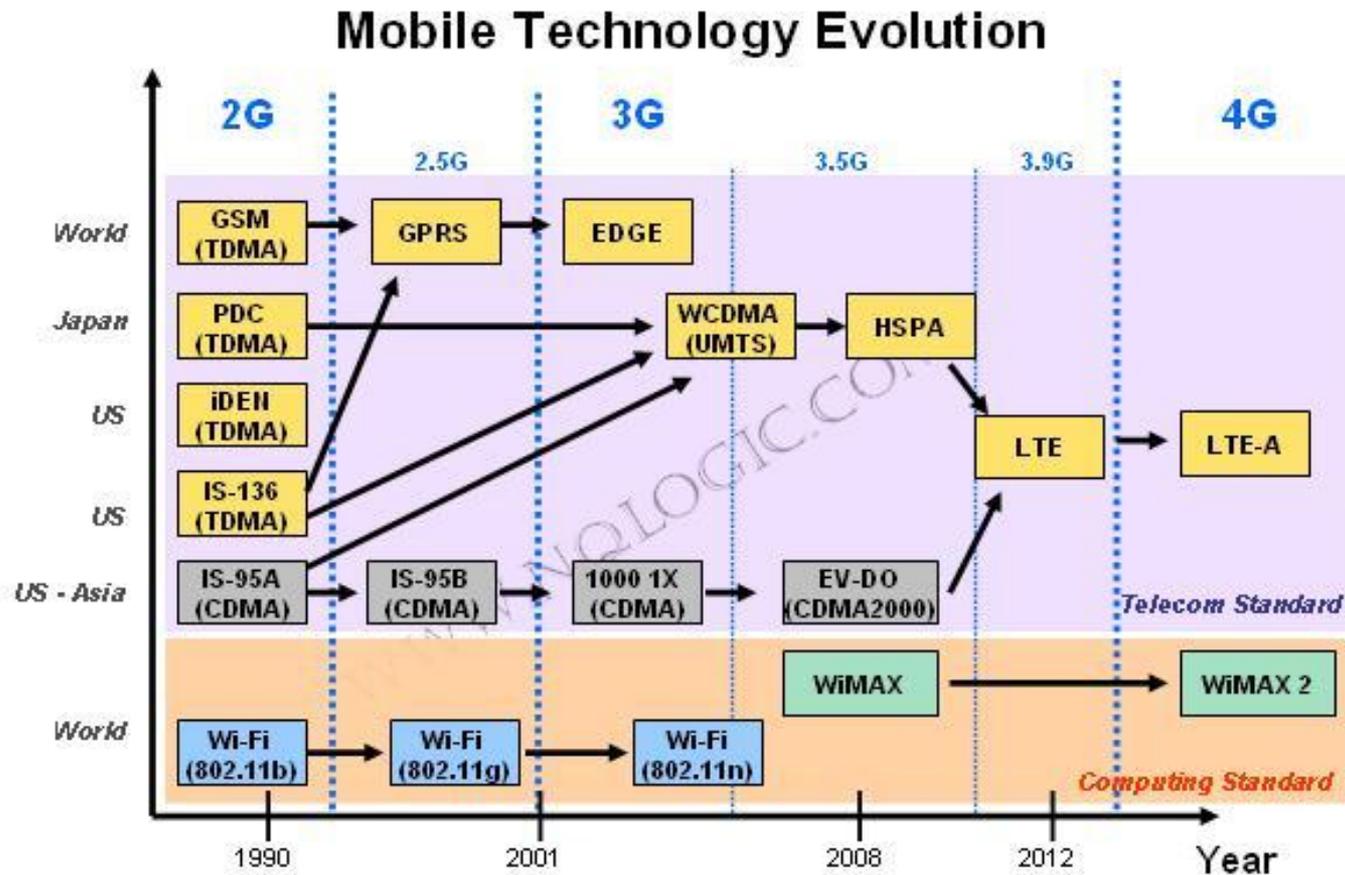
# Arquitetura de Exploração



# OSS/BSS



# Evolução das Tecnologias de Redes Celulares



Source: NQ Logic [2010]

# Tecnologias de Redes Celulares (1990's)

## Sistemas 2G: canais de voz

- ❑ Interim Standard IS-136 TDMA:
  - Utilizado nos EUA
  - TDM+FDM
- ❑ GSM (Global System for Mobile Communications):
  - Europa e resto do mundo
  - TDM+FDM na banda dos 200 kHz e 8 time slots
- ❑ IS-95 CDMA
  - Início da Utilização de CDMA nos EU e Coreia



# Tecnologias de Redes Celulares (Finais 90s)

## Sistemas 2.5 G: canais de voz e dados

- ❑ Face ao atraso da implementação do 3G e para permitir conectividade de dados fora da sua cobertura, foram introduzidos os serviços 2.5 G
  - Extensões ao 2G
- ❑ **GPRS** - General Packet Radio Service
  - Serviço de Comutação de Pacotes utilizando os canais GSM
  - Dados enviados em múltiplos canais (se disponíveis)
  - Débitos até 60 kb/s
- ❑ **EDGE** - Enhanced Data rates for Global Evolution
  - Objectivo: aumentar o débito de dados do GSM/GPRS
  - Utiliza modulação otimizada permitindo débitos até 384 kb/s
- ❑ **CDMA-2000** (fase 1)
  - Evoluiu do IS-95 fornecendo comutação de pacotes e débitos de dados até 144K
  - Percursora do CDMA-2000 fase 2, equivalente UMTS nos EUA



# Tecnologias de Redes Celulares (2000 -2009)

## Sistemas 3G: voz/dados

Dois standards concorrentes:

- ❑ UMTS - Universal Mobile Telecommunications Service
  - Standard ITU-T/IMT 2000
  - Fornece canais de dados e voz permitindo débitos entre 144 Kb/s (movimento), 384 Kb/s (parado) e 2 Mbs (interior)
  - Utiliza uma versão de CDMA chamada Direct Sequence Wideband (WCDMA)
  - Utilizado na Europa e parte da Ásia
- ❑ CDMA-2000 (fase 2)
  - Origem no standard IMT2000 mas orientado para a evolução do IS-95 e CDMA fase 1
  - EUA e Ásia
- ❑ Importância do consórcio 3rd Generation Partnership Project 3GPP na dinamização tecnológica e convergência dos vários standards existentes a nível mundial
  - [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)
- ❑ Um segundo consórcio 3GPP2 foi formado em torno do CDMA-2000, sem a presença dos europeus...



# Evolução Necessária

- ❑ Apesar dos esforços organismos de standardização (IMT2000) continuam a existir diversas tecnologias concorrentes
  - 3GPP -> UMTS
  - 3GPP2 -> CDMA2000
  - OMA - Open Mobile Alliance -> All IP
- ❑ Continuam a existir diferenças fundamentais entre Internet fixa e móvel
  - Tecnologias diferentes
  - Diferentes pilhas de protocolos
  - Débitos significativamente diferentes (10x)
  - O tráfego baseado em IP tem tendência a tornar-se maioritário
- ❑ Proposta de Unificação em torno de uma arquitectura **all-IP**
  - Substituição do conceito de CS por PS sempre que possível a nível da infra-estrutura
  - Redução de custos: standardização de hardware e software
  - Abertura para múltiplos fornecedores de aplicações e serviços
  - Utilização de aplicações e protocolos existentes: VoIP, IMS
  - Utilização de IPv6 e IMS como plataforma unificadora



# Tecnologias de Redes Celulares (2009 -2012)

Está em curso a transição da **3.5G** para a **4G**:

- ❑ HSPA - High Speed Packet Access (standard 3GPP)
  - Utilização de HSPDA (High-Speed Downlink Packet Access) e HSPUA (High-Speed Uplink Packet Access)
    - Upgrade 3G permite débitos teóricos até 14.4 Mb/s
    - Com a versão HSPA Evolve até 42 Mb/s
  - Melhoria de tráfego de voz e latência da comunicações
- ❑ 1xEV-DO - Evolution, Data Optimized versão otimizada de CDMA-2000
  - Atinge 2.4 Mb/s
- ❑ Em paralelo os fabricantes de dispositivos móveis apresentam terminais integrando suporte destas evoluções
  - Notebooks e PDAs com suporte de HSPA
- ❑ Boa aceitação pelos utilizadores, com a proposta de acesso genérico banda larga móvel pela maior parte dos operadores
  - Aplicações multimédia entram no mundo móvel
  - Telefonia IP, vídeo chamada, vídeo broadcast, televisão, etc...
- ❑ Crescente necessidade de largura de banda para suporte aplicacional
- ❑ Necessidade de mudança radical da arquitectura → All IP



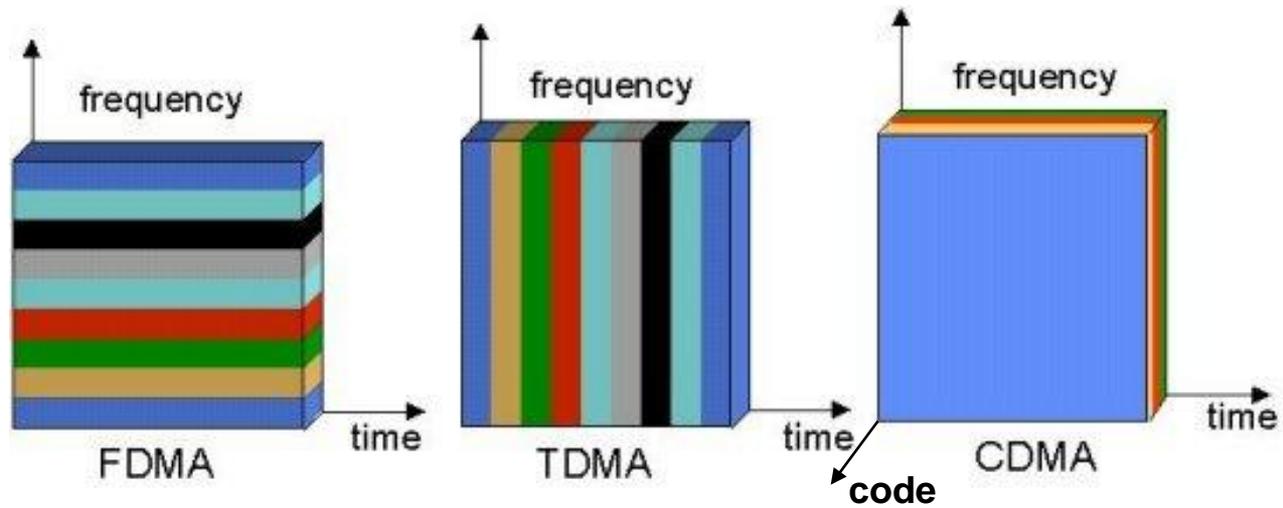
# Introdução ao CDMA

## Code Division Multiple Access

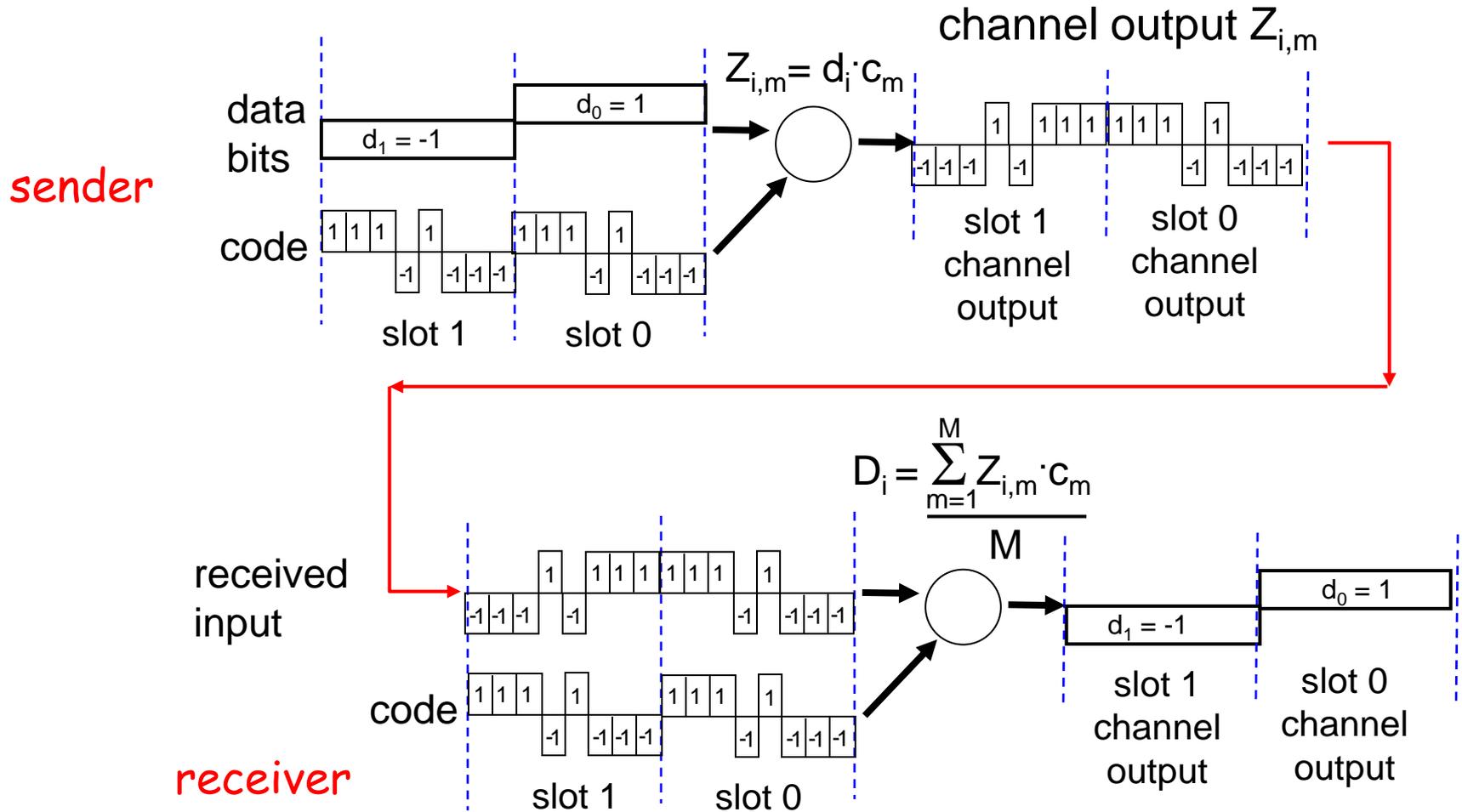
- ❑ Tecnologia de multiplexagem utilizada em inúmeros standards de redes wireless e celulares
  - Base dos vários standards UMTS e CDMA2000
- ❑ Baseia-se no princípio de atribuição de um código único a cada utilizador
- ❑ Todos os utilizadores utilizam a mesma frequência, mas cada um utiliza uma sequência de “chipping” (i.e. codificação) diferente
- ❑ **Codificação** = dados originais X sequência de chipping
- ❑ **Descodificação** = produto interno ponderado do sinal codificado e da sequência de “chipping”
- ❑ Permite vários utilizadores coexistirem no mesmo canal de frequência e transmitirem simultaneamente com interferência mínima
  - Os códigos tem de ser independentes ou ortogonais



# Princípio do CDMA

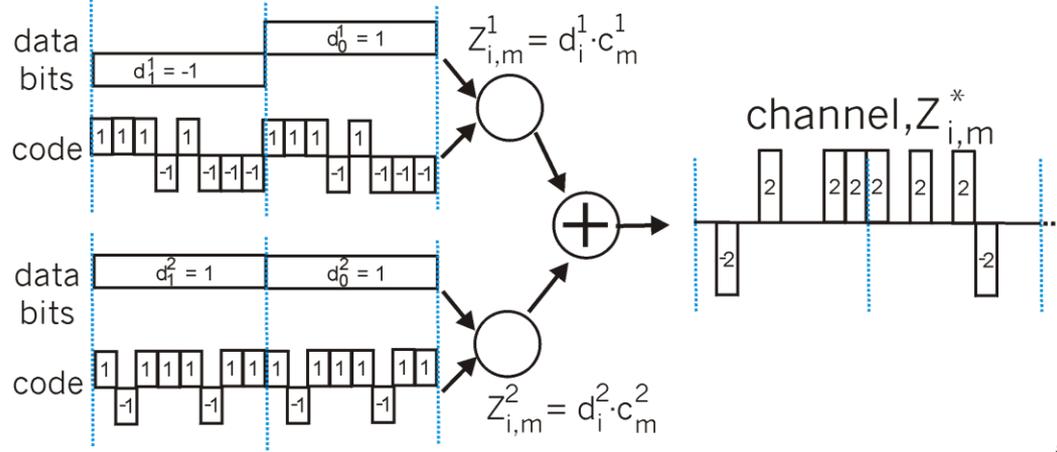


# CDMA Encode/Decode

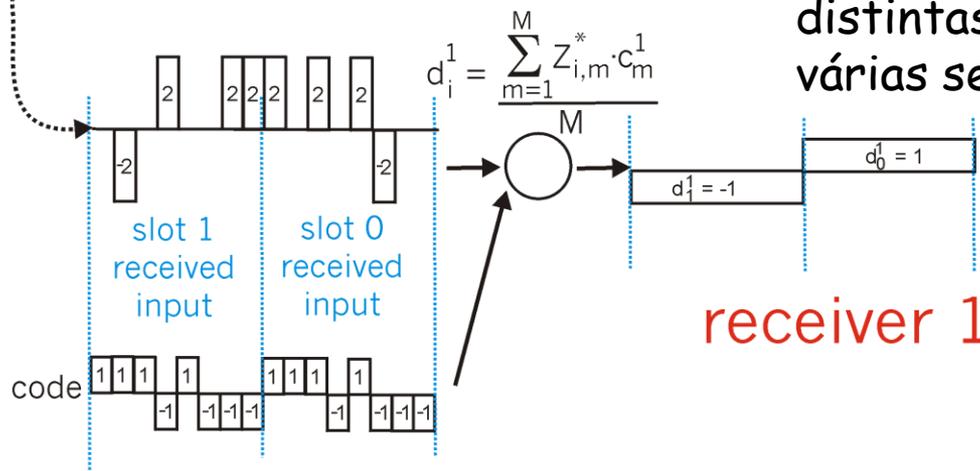


# CDMA: envio de duas seqüências

senders



Utilizando seqüências de chipping distintas é possível transmitir várias seqüências simultaneamente



# Comparativo Tecnologias 3.5G

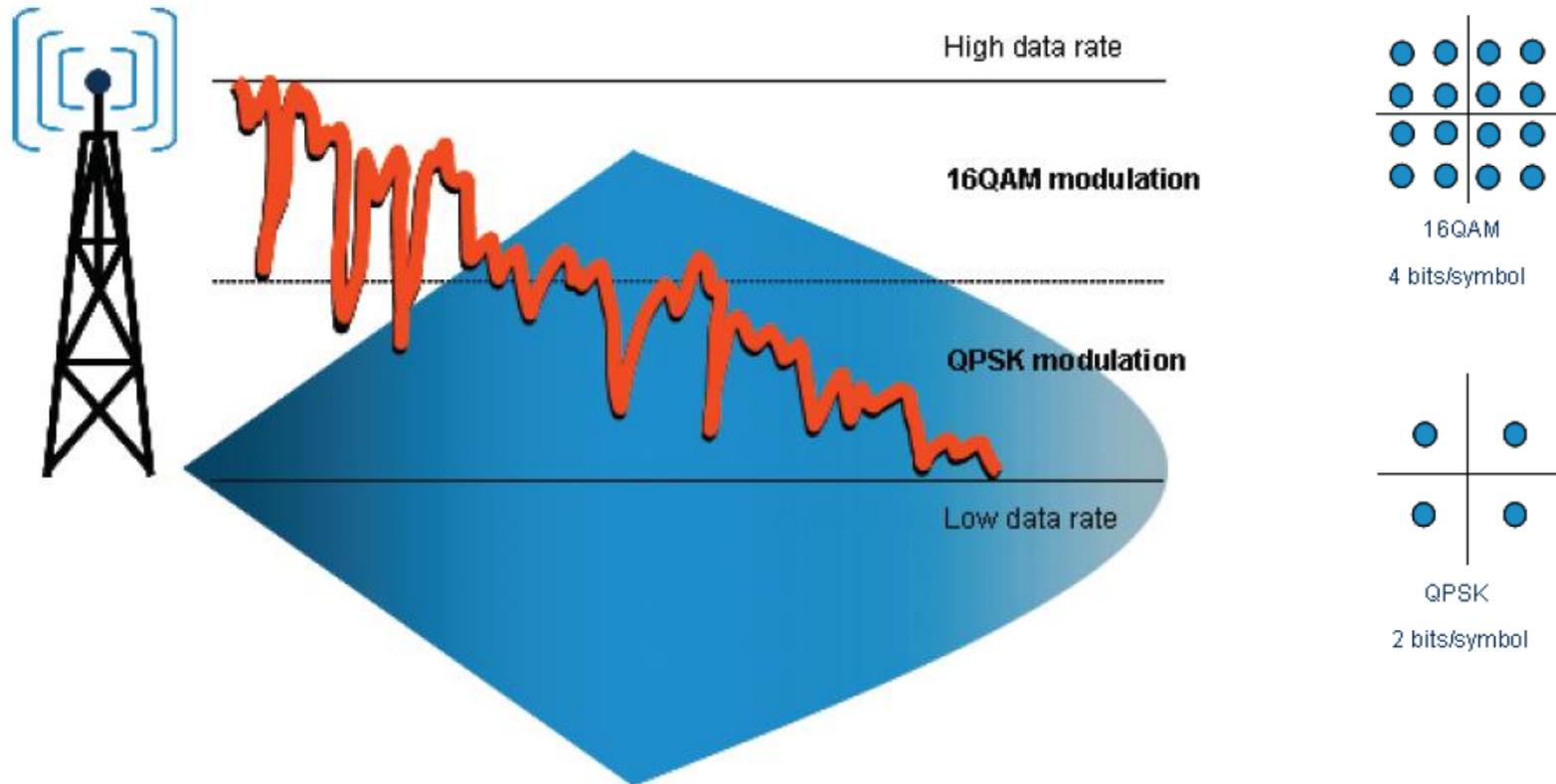
Description	CDMA (1xEV-DO Rel-0)	CDMA (1xEV-DO Rel-A)	CDMA (1xEV-DV)	WCDMA (Rel-99)	HSDPA (Rel-5)
Downlink Speed	2.4 Mbps	3.0 Mbps	5 Mbps	2 Mbps	14.4 Mbps
Uplink Speed	300 Kbps	1.8 Mbps	1 Mbps	384 Kbps	384 Kbps
Voice Support	No VoIP	VoIP	CS, VoIP	CS, No VoIP	VoIP
Spectrum Used	1.25 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz	5MHz	5 MHz

CS: Circuit Switched



# Princípio do HSDPA

Source: BASIC CONCEPTS OF HSPA, Ericsson White Paper



- ❑ Adaptação da taxa de transmissão às condições de recepção do sinal
- ❑ Em condições óptimas, a tecnologia de modulação é otimizada para 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation) em vez de QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), passando de 2 para 4 bits por símbolo



# 4G: LTE e LTE Advanced (2012 – 2017)

- ❑ A nova geração de tecnologia celular designa-se por **LTE - Long Term Evolution**
  - Trabalhos tecnológicos iniciados em 2004 pelo 3GPP
- ❑ Requisitos básicos
  - Débitos muito mais elevados que o UMTS actual (HSPA)
  - Menor latência de acesso
  - Redução de custos e de consumo de potência
  - Arquitectura simplificada, baseada em sistemas abertos
  - Criar a base tecnológica permitindo evoluções até 2017
- ❑ O termo “4G” está associado ao LTE Advanced, sendo o LTE designado por 3.99G
  - Embora já implemente os conceitos básicos



# Comparação de Características

Source: <http://www.radio-electronics.com>

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Max downlink speed bps	384 k	14 M	28 M	100M
Max uplink speed bps	128 k	5.7 M	11 M	50 M
Latency round trip time approx	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms
3GPP releases	Rel 99/4	Rel 5 / 6	Rel 7	Rel 8
Approx years of initial roll out	2003 / 4	2005 / 6 HSDPA 2007 / 8 HSUPA	2008 / 9	2009 / 10
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA

- ❑ O LTE representa um salto qualitativo muito considerável em relação às tecnologias 3G anteriores
- ❑ A mudança fundamental está ligada ao método de codificação utilizado, essencialmente baseado em OFDM



# Aspectos Tecnológicos

<http://www.radio-electronics.com/info/cellular/comms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>

O LTE introduz um conjunto de novas tecnologias relativamente aos sistemas anteriores

## ❑ OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*):

- Permite larguras de banda mais elevadas com maior imunidade à reflexão e às interferências
- Só o acesso em *downlink* utiliza OFDMA
- Em *uplink* utiliza-se SC-FDMA (Single Carrier FDMA) que consome menor potência a nível dos dispositivos móveis

## ❑ MIMO (*Multiple In Multiple Out*):

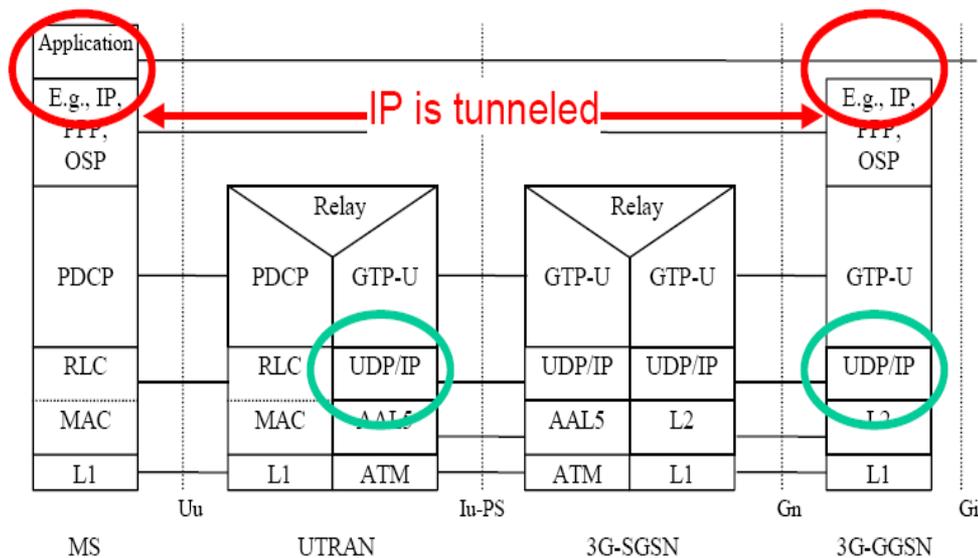
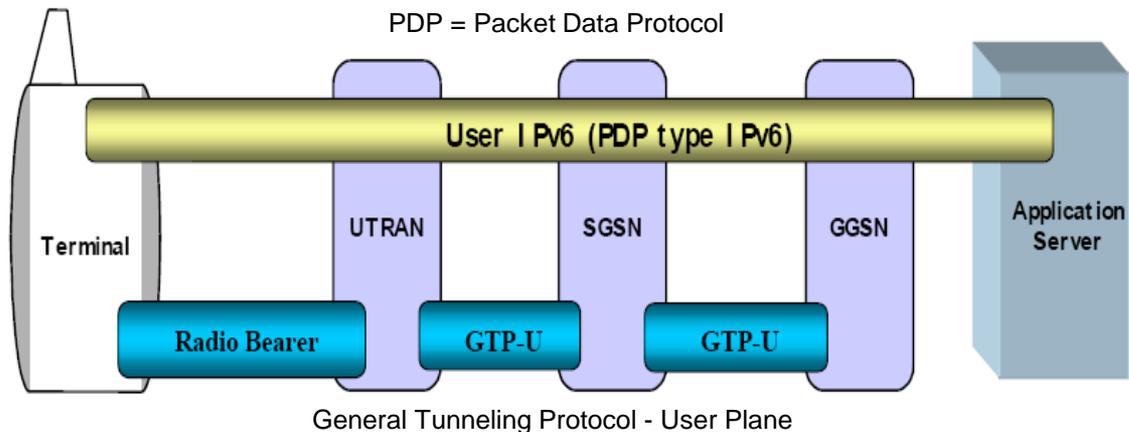
- Utilização de várias antenas entre os dispositivos aumenta a capacidade de transmissão de dados em paralelo
- Utilizam-se matrizes de 2x2, 2x4 ou 4x4 antenas

## ❑ SAE (*System Architecture Evolution*)

- Para satisfazer os requisitos de desempenho, a arquitectura da rede evolui de modo a a passar para a periferia funcionalidades antes implementadas no core
- Evolução para uma arquitectura All-IP



# Transporte de pacotes IP em UMTS

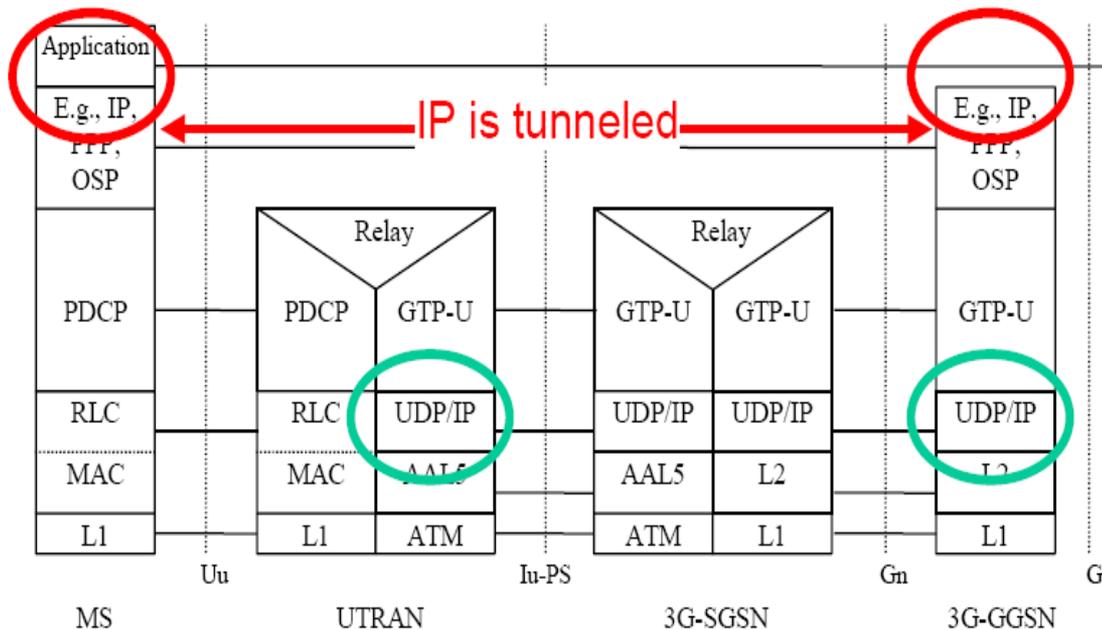


UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network  
 SGSN - Serving GPRS Supporting Node  
 GGSN - Gateway GPRS Support Node

Nos sistemas UMTS, o tráfego IP é transportado num túnel UDP em cima dos protocolos de telecomunicações



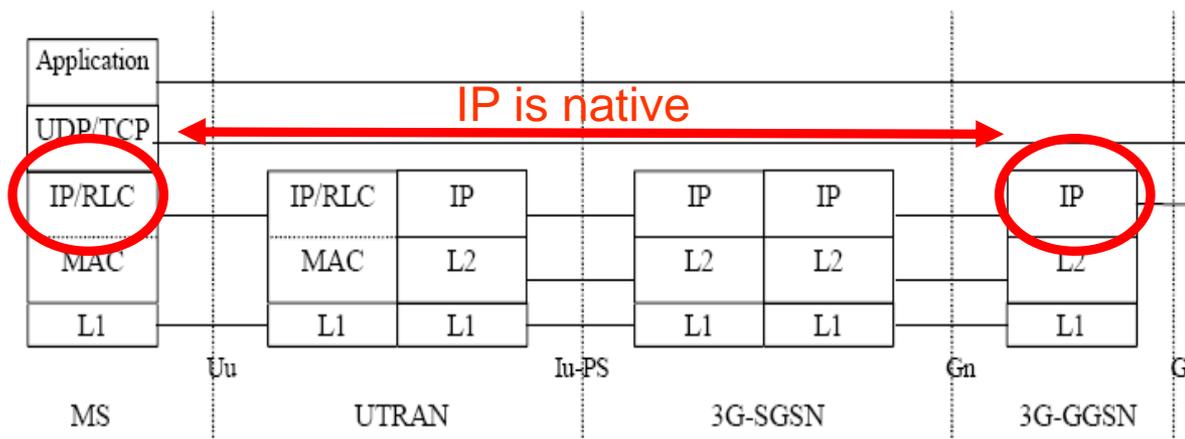
# Evolução arquitectura All-IP



Para atingir este objectivo são necessárias modificações estruturais nas arquitecturas de comunicações, e a adopção de um standard comum, possivelmente o IMS

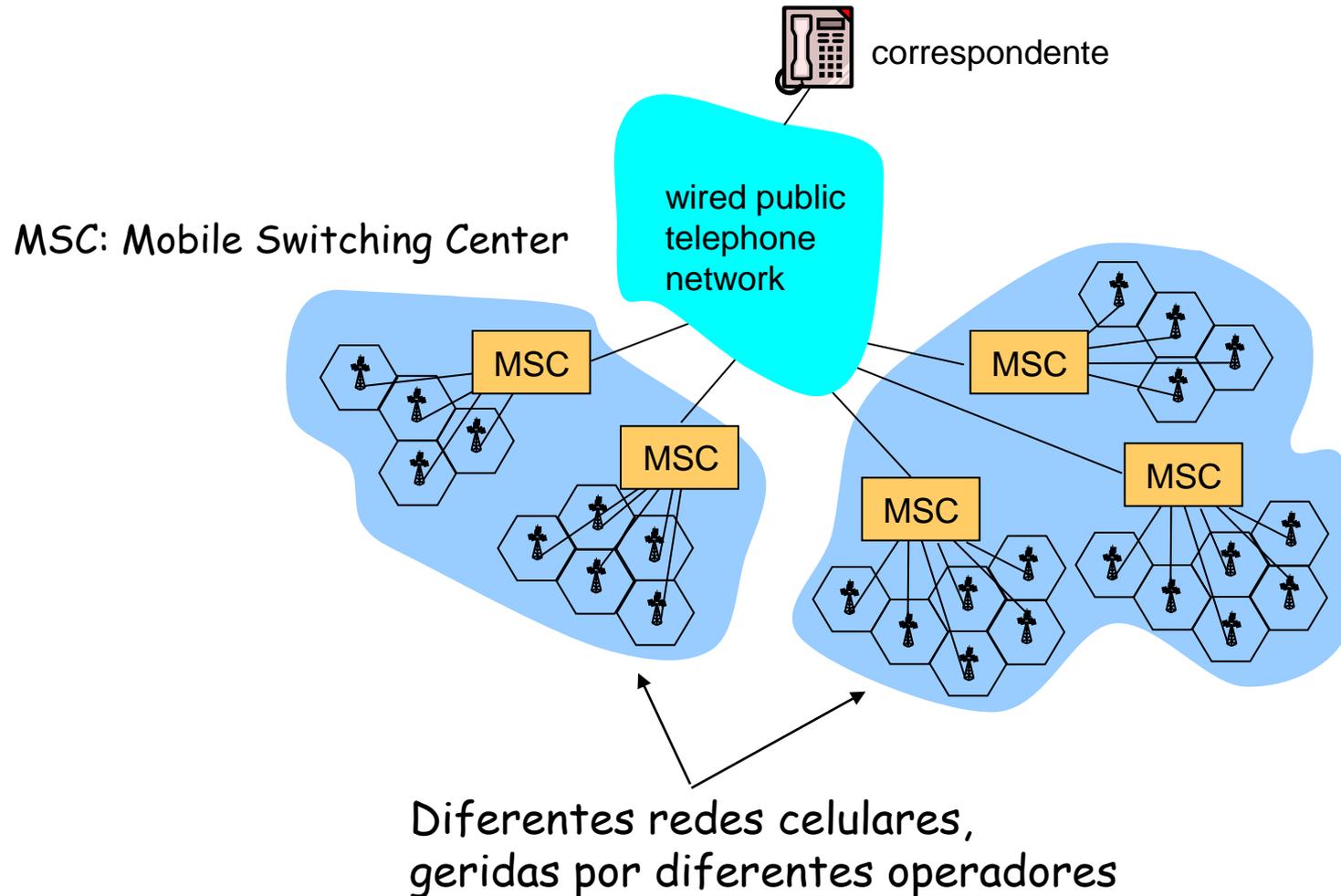
IP=IPv6

Passagem de transporte IP em modo túnel para modo nativo



# Mobilidade em Redes Celulares

Componentes da arquitectura de rede celular

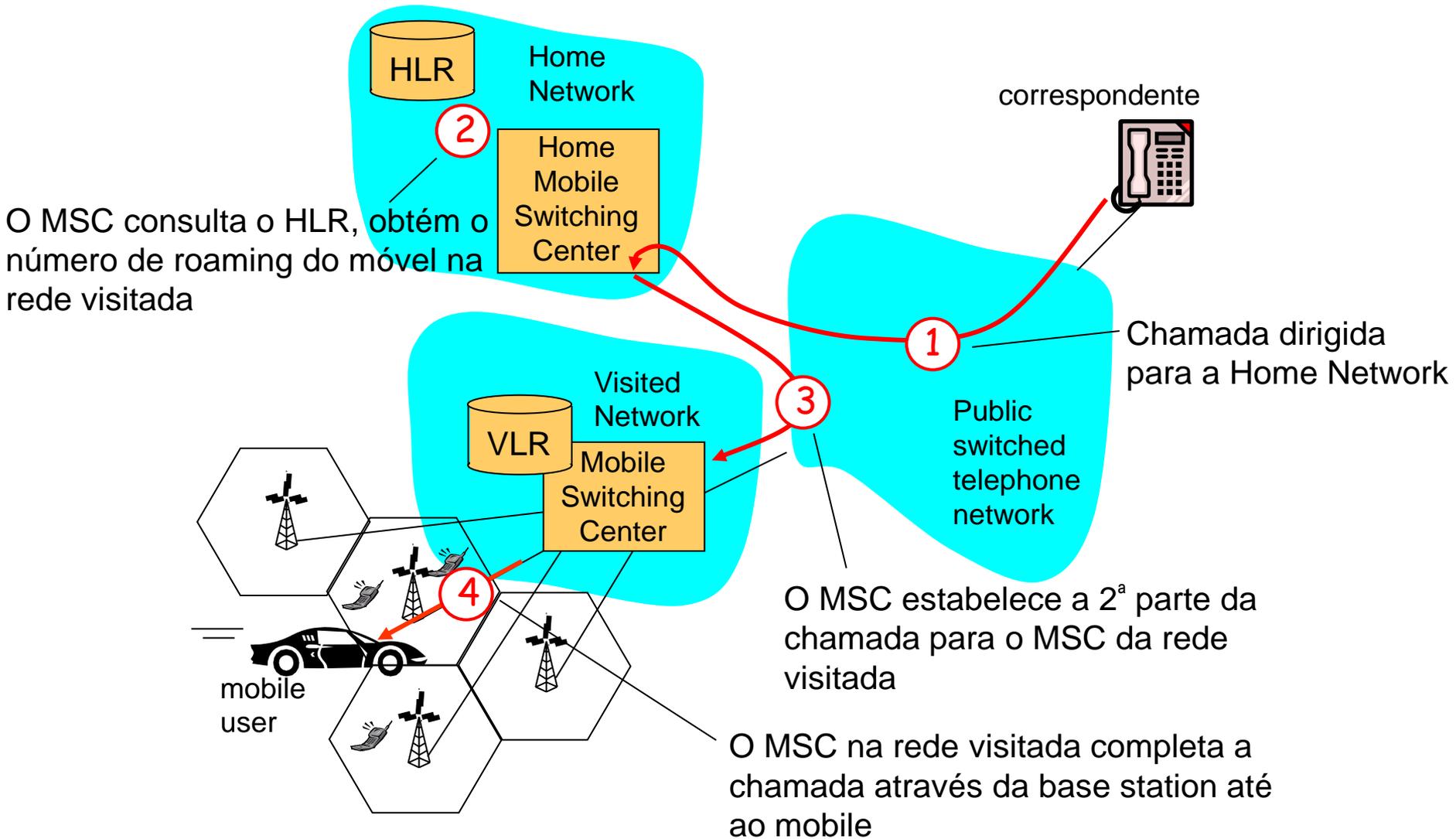


# Terminologia

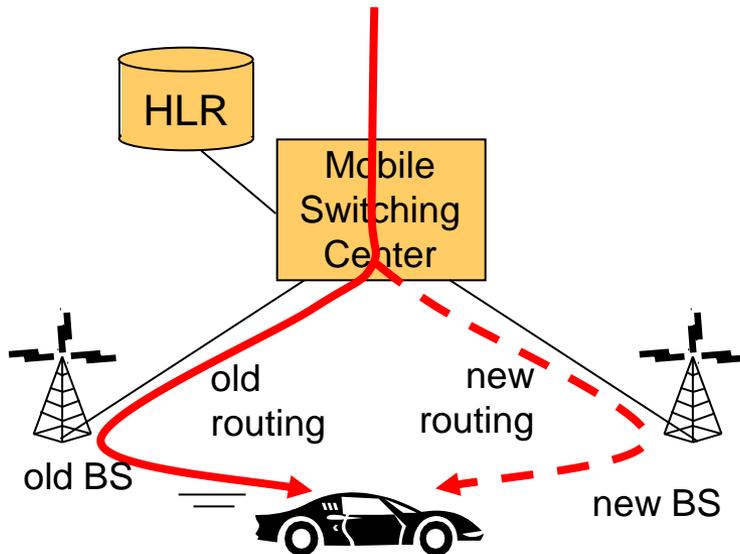
- ❑ **Home Network:** rede do operador na qual o móvel está registado inicialmente (e.g., MEO, Vodafone, ZON-Optimus...)
  - **Home Location Register (HLR):** base de dados contendo os dados dos clientes da rede:
    - Números de telefones
    - Perfil do cliente: serviços, preferências, facturação
    - Informação sobre a localização
- ❑ **Visited Network:** rede na qual o móvel está presentemente
  - **Visitor Location Register (VLR):** base de dados com informação sobre os móveis de outras redes que estão a utilizar uma dada rede (*roaming*)
  - Quando um móvel se regista numa rede diferente, a rede visitada contacta a rede de origem para obter os dados do assinante e preencher o perfil no VLR
- ❑ Uma rede funciona como **Home Network** para os seus assinantes e como **Visited Network** para os assinantes de outras redes



# Routing indirecto para um móvel em roaming



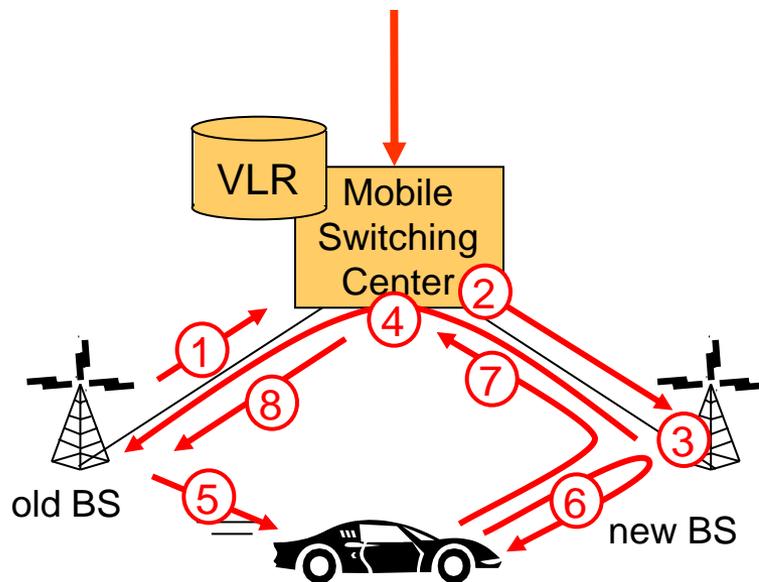
# Handoff com MSC comum



- ❑ Objectivos do Handoff: rotear a chamada através de uma nova *Base Station* sem interrupção
- ❑ Razões para fazer Handoff:
  - Sinal mais forte de uma nova BS: manter conectividade e baixar o consumo do móvel
  - Load Balance: libertar canais numa dada BS
  - O GSM não especifica motivos para o handoff, mas sim mecanismos
- ❑ O Handoff é iniciado pela BS de origem

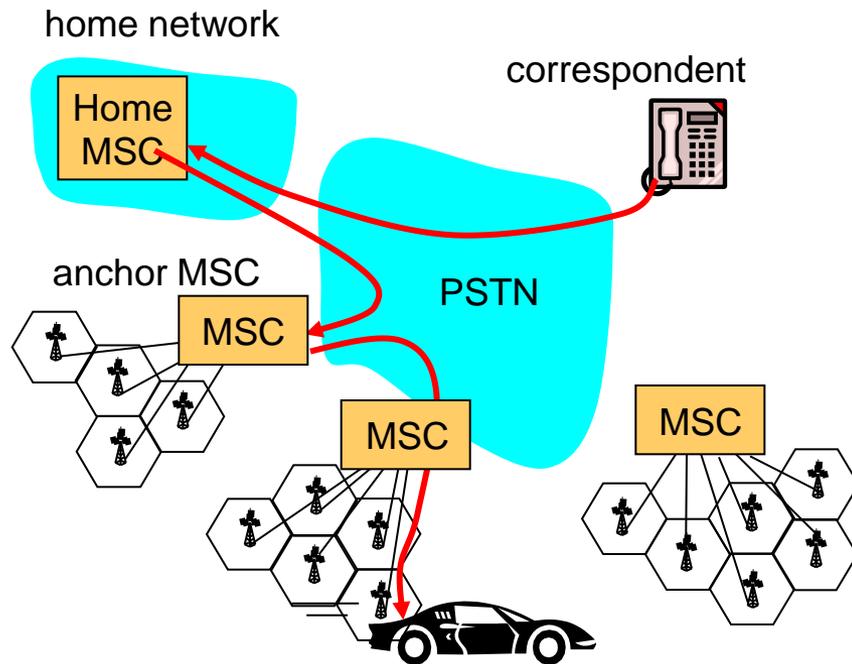


# Handoff com MSC comum



1. Old BS informs MSC of impending handoff, provides list of 1+ new BSs
2. MSC sets up path (allocates resources) to new BS
3. New BS allocates radio channel for use by mobile
4. New BS signals MSC, old BS: ready
5. Old BS tells mobile: perform handoff to new BS
6. Mobile and new BS signal to activate new channel
7. Mobile signals via new BS to MSC: handoff complete. MSC reroutes call
8. MSC-old-BS resources released

# Handoff com MSCs diferentes (i)

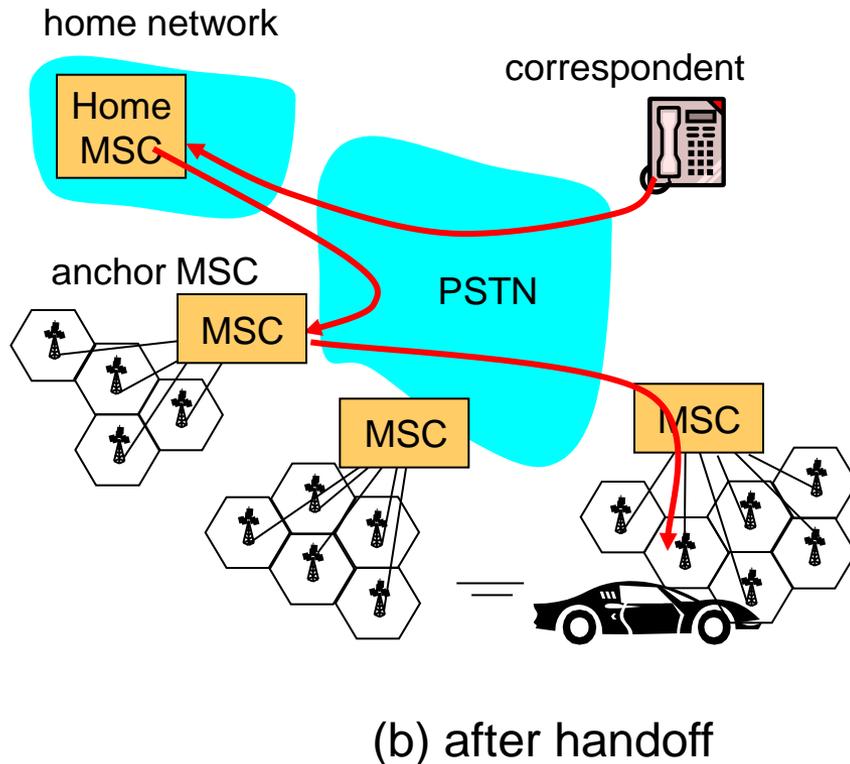


(a) before handoff

- ❑ Definição de um *anchor MSC*:  
MSC no qual foi estabelecida a chamada
  - A chamada vai ser roteada através do anchor MSC
- ❑ Quando o móvel passa para outro MSC este é adicionado à cadeia
- ❑ Alguns standards (IS-41) permitem otimizar o caminho de forma a minimizar o número MSCs na cadeia



# Handoff com MSCs diferentes (ii)



- Definição de um *anchor MSC*: MSC no qual foi estabelecida a chamada
  - A chamada vai ser roteada através do anchor MSC
- Quando o móvel passa para outro MSC este é adicionado à cadeia
- Alguns standards (IS-41) permitem otimizar o caminho de forma a minimizar o número MSCs na cadeia



# Mobilidade: GSM vs. Mobile IP

GSM element	Comment on GSM element	Mobile IP element
Home system	Network to which the mobile user's permanent phone number belongs	Home network
Gateway Mobile Switching Center, or "Home MSC". Home Location Register (HLR)	Home MSC: point of contact to obtain routable address of mobile user. HLR: database in home system containing permanent phone number, profile information, current location of mobile user, subscription information	Home agent
Visited System	Network other than home system where mobile user is currently residing	Visited network
Visited Mobile Services Switching Center. Visitor Location Record (VLR)	Visited MSC: responsible for setting up calls to/from mobile nodes in cells associated with MSC. VLR: temporary database entry in visited system, containing subscription information for each visiting mobile user	Foreign agent
Mobile Station Roaming Number (MSRN), or "roaming number"	Routable address for telephone call segment between home MSC and visited MSC, visible to neither the mobile nor the correspondent.	Care-of-address



# Referências Cap. II

- ❑ 802.11
  - [standards.ieee.org/getieee802/802.11.html](http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html)
- ❑ CSMA/CA
  - [www.sss-mag.com/pdf/802\\_11tut.pdf](http://www.sss-mag.com/pdf/802_11tut.pdf)
- ❑ Bluetooth
  - [www.bluetooth.com/Bluetooth/Learn/Works](http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Learn/Works)
  - [www.swedetrack.com/usblue1.htm](http://www.swedetrack.com/usblue1.htm)
- ❑ 3G+
  - [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)
  - [www.3gpp2.org](http://www.3gpp2.org)
  - [www.ericsson.com/technology/tech\\_articles/HSPDA.shtml](http://www.ericsson.com/technology/tech_articles/HSPDA.shtml)
- ❑ CDMA
  - [www.cdmaonline.com](http://www.cdmaonline.com)
- ❑ Mobile IP
  - [www.comsoc.org/livepubs/ci1/public/anniv/perkins.html](http://www.comsoc.org/livepubs/ci1/public/anniv/perkins.html)
  - [www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/intsolns/moblip/mobil\\_ip.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/intsolns/moblip/mobil_ip.htm)

