

---

# *Redes de Comunicação Móvel*

## **Aspectos Gerais**

- **Conceitos básicos**
- **Arquitectura de rede**
- **Transmissão sem fios**
- **Acesso ao meio**
- **Planeamento de frequências**
- **Gestão de mobilidade**

2

## *Conceitos básicos*

---

### **Características de um sistema de comunicação móvel**

#### Aspectos de mobilidade

- utilizador desloca-se livremente no espaço
- utilizador comunica em qualquer momento
- utilizador comunica com qualquer outro utilizador
- utilizador acede à rede através de uma ampla gama de terminais



Sensor sem fios



Telefone móvel



Assistente Pessoal (PDA)



Palmtop



Laptop

### **Diversos tipos de terminais para acesso a redes móveis**

## *Conceitos básicos*

---

### **Características de um sistema de comunicação móvel**

Requisitos do sistema

- **equipamento portátil**  
terminais de pequena dimensão com baterias de capacidade elevada
- **Número Pessoal de Telecomunicações (PTN)**  
número do utilizador independente do terminal
- **grande capacidade de tráfego**  
potencial do sistema é um acesso por adulto  
serviços avançados exigem grandes larguras de banda
- **segurança de serviço**  
necessário adoptar técnicas avançadas de autenticação e encriptagem
- **interoperação com outras redes**  
necessário suportar comunicação com redes de outros tipos

## *Conceitos básicos*

---

### **Características de um sistema de comunicação móvel**

Problemas do sistema

- **consumo dos terminais**  
cresce com a capacidade de processamento  
ecrãs de qualidade exigem maior consumo
- **interfaces de utilizador**  
compromisso difícil entre dimensões dos dedos e do teclado  
necessário utilizar símbolos abstractos
- **memória**  
capacidade limitada nos dispositivos de menores dimensões
- **mobilidade**  
dificuldade de manutenção de qualidade de serviço durante uma conexão
- **disponibilidade de frequências**  
grande ocupação de bandas úteis  
necessidade de coordenação mundial

## *Conceitos básicos*

---

### **Características de um sistema de comunicação móvel**

Problemas do sistema

– **taxa de transmissão**

local: algumas dezenas de Mbit/s

região: até uma dezena de Mbit/s

– **qualidade de transmissão**

grandes variações do nível de sinal

interferências significativas

– **tempos de estabelecimento de conexões**

relativamente elevados (caso seja requerida a reserva de recursos rádio)

– **segurança**

possibilidade de escuta da interface rádio

estação base pode ser simulada, atraindo comunicações de terminais móveis

– **meio partilhado**

importante usar métodos de acesso seguros

## *Conceitos básicos*

---

### **Types of networks**

WPAN - Wireless Personal Area Networks

- short distances among a private group of devices

WLAN - Wireless Local Area Networks

- areas such as an home, office or a group of buildings

WMAN - Wireless Metropolitan Area Networks

- from several blocks of buildings to entire cities

PLMN - Public Land Mobile Networks

- regions and countries

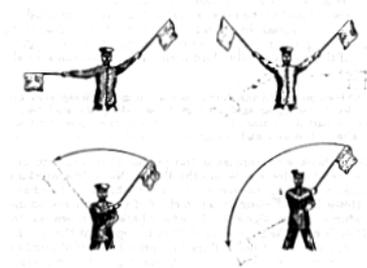
DVB-H (Digital Video Broadcasting - Handheld)

DMB (Digital Multimedia Broadcasting)

- single direction, audio and video

Many people in history used light for communication

- ❑ flags
- ❑ 150 BC smoke signals for communication; (Polybius, Greece)
- ❑ 1794, optical telegraph, Claude Chappe



Here electromagnetic waves are of special importance:

- ❑ 1831 Faraday demonstrates electromagnetic induction
- ❑ J. Maxwell (1831-79): theory of electromagnetic Fields, wave equations (1864)
- ❑ H. Hertz (1857-94): demonstrates with an experiment the wave character of electrical transmission through space



Partially adapted with permission from  
Mobile Communications: Wireless Transmission - Jochen Schiller

1895 Guglielmo Marconi

- ❑ first demonstration of wireless telegraphy (digital!)
- ❑ long wave transmission, high transmission power necessary (> 200kw)



1907 Commercial transatlantic connections

- ❑ huge base stations (30-100m high antennas)

1915 Wireless voice transmission New York - San Francisco

1920 Discovery of short waves by Marconi

- ❑ reflection at the ionosphere
- ❑ smaller transmitter and receiver, due to the invention of the vacuum tube (1906, Lee DeForest and Robert von Lieben)

1926 Train-phone on the line Hamburg - Berlin

- ❑ wires parallel to the railroad track



Partially adapted with permission from  
Mobile Communications: Wireless Transmission - Jochen Schiller

- 1928 Many TV broadcast trials
- 1933 Frequency modulation (E. H. Armstrong)
- 1958 A-Netz in Germany
  - ❑ analog, 160MHz, connection setup only from the mobile station, no handover, 80% coverage, 1971 - 11 000 customers
- 1972 B-Netz in Germany
  - ❑ analog, 160MHz, connection setup from the fixed network too (but location of the mobile station has to be known)
  - ❑ available also in A, NL and LUX, 1979 - 13000 customer in D
- 1979 NMT at 450MHz (Scandinavian countries)
- 1982 Start of GSM-specification
  - ❑ goal: pan-European digital mobile phone system with roaming
- 1983 Start of American AMPS (Advanced Mobile Phone System)
  - ❑ analog, 850 MHz
- 1984 CT-1 standard (Europe) for cordless telephones



Partially adapted with permission from  
Mobile Communications: Wireless Transmission - Jochen Schiller

- 1986 C-NETZ in Germany
  - ❑ analog voice transmission, 450MHz, hand-over possible, digital signaling, automatic location of mobile device
  - ❑ services: fax, modem, X.25, e-mail, 98% coverage
- 1991 Specification of DECT
  - ❑ Digital European Cordless Telephone (today: Digital Enhanced Cordless Telecommunications)
  - ❑ 1880-1900MHz, ~100-500m range, 120 duplex channels, 1.2Mbit/s data transmission, voice encryption, authentication, up to several 10 000 user/km<sup>2</sup>, used in more than 40 countries
- 1992 Start of GSM (2G)
  - ❑ fully digital, 900 MHz, 124 channels
  - ❑ automatic location, hand-over, cellular
  - ❑ roaming in Europe - now worldwide system
  - ❑ services: voice, data with 9.6 kbit/s, fax, ...



Partially adapted with permission from  
Mobile Communications: Wireless Transmission - Jochen Schiller

### 1994 GSM-1800

- ❑ GSM with 1800MHz, smaller cells

### 1996 HiperLAN/1 (High Performance Radio Local Area Network)

- ❑ ETSI standardization: 5.15 - 5.30GHz, 23.5Mbit/s

### 1997 Wireless LAN - IEEE802.11 (legacy)

- ❑ IEEE-Standard, 2.4 - 2.5GHz, 2 Mbit/s

### 1998 Specification of GSM successors

- ❑ UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) as European proposals for IMT-2000

#### Iridium

- ❑ 66 satellites (+6 spare), 1.6GHz to the mobile phone



Partially adapted with permission from  
Mobile Communications: Wireless Transmission - Jochen Schiller

### 1999 Standardization of additional wireless LANs

- ❑ IEEE standard 802.11b, 2.4-2.5GHz, 11Mbit/s
- ❑ Bluetooth for piconets, 2.4Ghz, <1Mbit/s

#### Decision about IMT-2000

- ❑ Several "members" of a "family": UMTS, CDMA2000, DECT, ...

#### Start of WAP (Wireless Application Protocol)

- ❑ First step towards a unified Internet/mobile communication system
- ❑ Access to many services via the mobile phone

### 2000 GSM with higher data rates

- ❑ HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) offers 57,6kbit/s (4x14,4kbit/s)
- ❑ First GPRS (2.5G) trials with up to 50 kbit/s (packet oriented!)

### 2001 Start of 3G - UMTS (Europe), Foma (Japan), CDMA2000 (Korea)

- ❑ UMTS in Europe: 1885-2025 MHz uplink and 2110-2200 MHz downlink
- ❑ UMTS offers between 384kbit/s and 7.2 Mbit/s

Partially adapted with permission from  
Mobile Communications: Wireless Transmission - Jochen Schiller

## *Conceitos básicos*

---

### **History of wireless communication VI**

#### 2000 HiperLAN/2

- ❑ up to 56Mbit/s, emphasis is in the quality of service
- ❑ aimed to to compete with 802.11, but failed

#### 2001-02 Standardization of additional W-LANs

- ❑ 2001 - IEEE standard 802.11a, 5GHz, 54Mbit/s
- ❑ 2002 - IEEE Standard 802.11g - 54 Mbit/s

#### 2003 EDGE/EGPRS (2.75G)

- ❑ Enhancement of GPRS - increased data transmission rate and reliability

#### 2005 W-MAN - WiMAX / IEEE802.16e-2005 (Mobile WiMax)

- ❑ broadband access - up to 100Mbit/s

#### 2006 UMTS/HSPA - High Speed Packet Access (3.5G)

- ❑ up to 14.4Mbit/s maximum peak rate
- ❑ several categories for terminals with different peak rates (e.g. 1.8 / 3.6 / 7.2 Mbit/s)

---

*Mário Jorge M Leitão*

*Redes de Comunicação Móvel*

## *Conceitos básicos*

---

### **Current standardization**

#### 3GPP - 3rd Generation Partnership Project

- globally applicable Technical Specifications and Technical Reports for a 3rd Generation Mobile System based on evolved GSM core networks and the radio access technologies
- maintenance and development of GSM/GPRS/EDGE

#### 3GPP2 - 3rd Generation Partnership Project 2

- North American and Asian interests developing global specifications Cellular Radiotelecommunication Intersystem Operations network evolution to 3G
- evolution of CDMA2000 system

#### IEEE

- 802.11 (Wireless LAN - WiFi)
- 802.15 (Wireless PAN - Bluetooth, Zigbee)
- 802.16 (Wireless MAN - WiMax)

#### IETF

- Mobile IP
- all-IP future multimedia networks

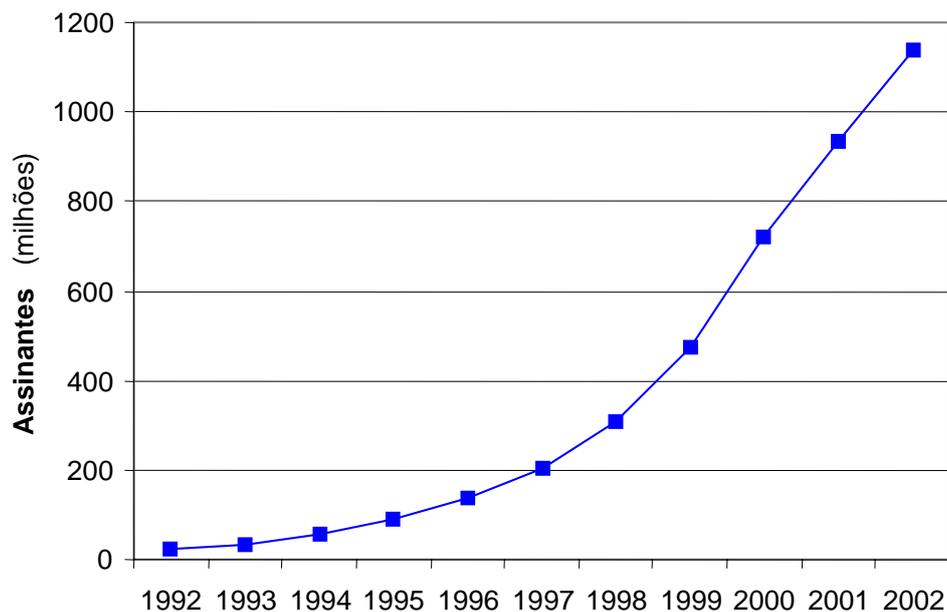
---

*Mário Jorge M Leitão*

*Redes de Comunicação Móvel*

## Conceitos básicos

### Evolução



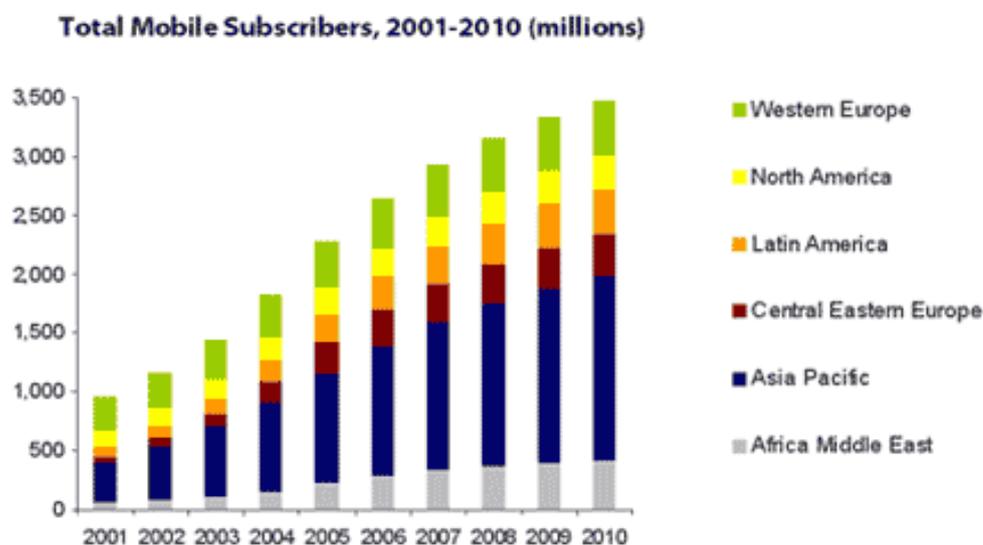
Crescimento dos sistemas de comunicação móvel/1

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Conceitos básicos

### Evolução



Source: Pyramid Research Mobile Communications Forecasts, 1Q2006

Crescimento dos sistemas de comunicação móvel/2

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Conceitos básicos

### Evolução

Sistemas de 1ª geração: anos 1980

- tecnologia analógica celular
- macrocélulas
- serviço de voz sem fios

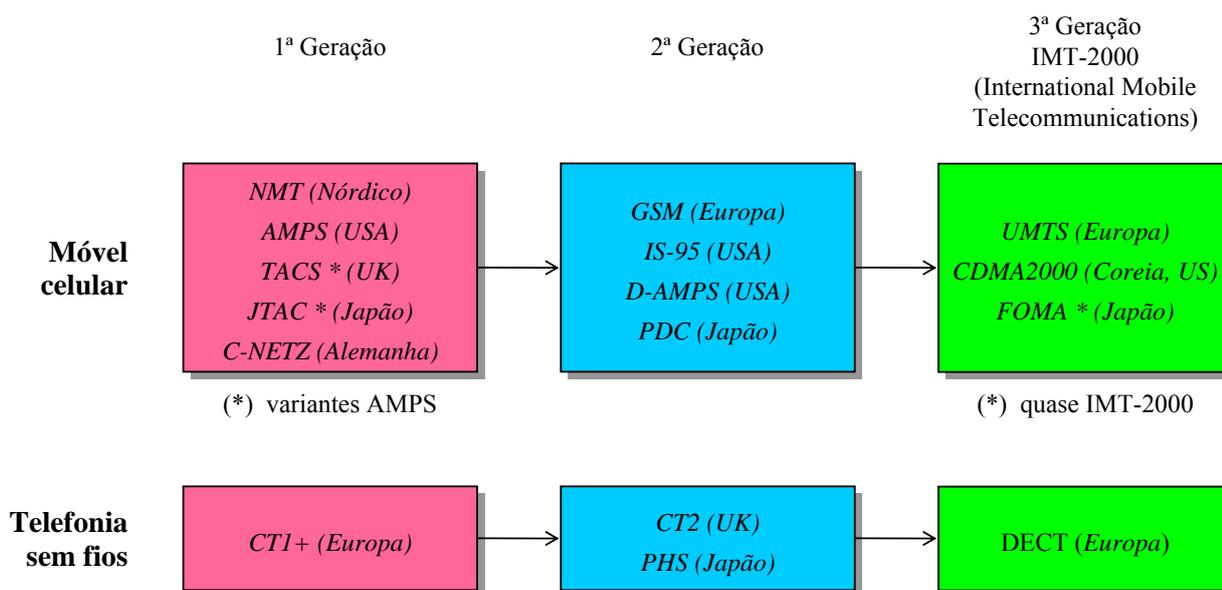
Sistemas de 2ª geração: anos 1990

- tecnologia digital celular de grande capacidade
- macro, micro e picocélulas
- estação-base inteligente
- serviços avançados de voz e dados sem fios, compatíveis com ISDN

Sistemas de 3ª geração: anos 2000

- canais de rádio de maior banda e melhor aproveitamento espectral
- melhor partilha da capacidade total disponível
- células de dimensão muito variável (desde megacélulas a nanocélulas até 10m)
- tecnologias avançadas de rede inteligente
- serviços multimédia (voz, dados, imagens, vídeo)

## Conceitos básicos



Evolução dos sistemas de comunicação móvel

## Conceitos básicos

---

### Evolução

#### Aplicações avançadas

- comunicações interpessoais de áudio e vídeo
- serviços de mensagens multimédia
- distribuição de informação
  - acesso WWW
  - serviços de informação
- serviços empresariais
  - assistente pessoal
  - escritório móvel
  - acesso remoto a dados da empresa
- aplicações de navegação
  - posição pessoal
  - suporte à condução rodoviária (ex: redes ad-hoc entre veículos e equipamento da estrada)

## Conceitos básicos

---

### Evolução

#### Aplicações avançadas

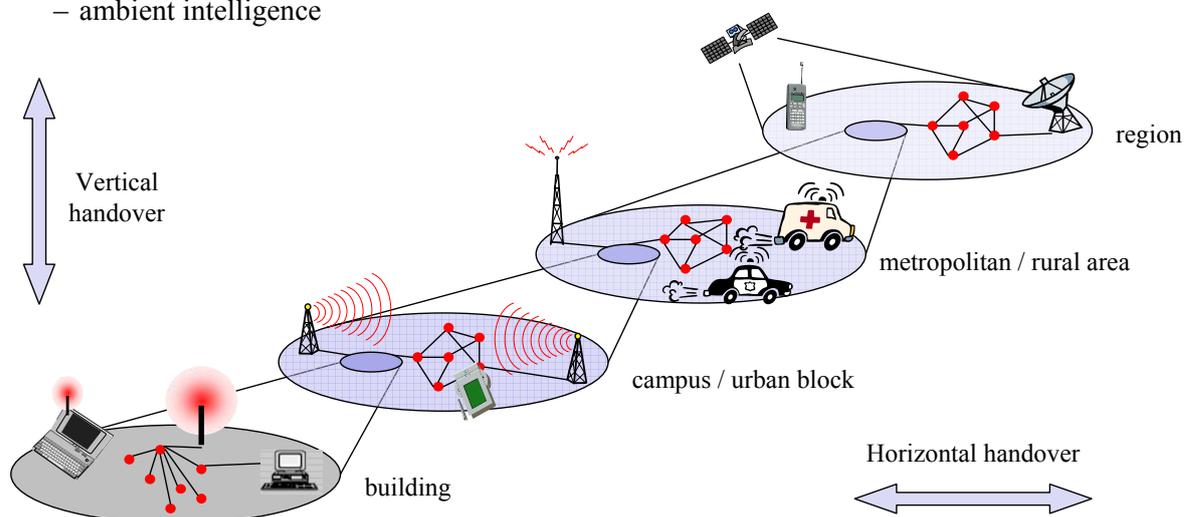
- serviços de massas
  - serviços bancários
  - serviços públicos
  - comércio electrónico
  - serviços de tipo *help desk*
- serviços culturais
  - guia inteligente com informação dependente da localização
  - distribuição de informação cultural personalizada
- serviços de emergência
  - monitoração de funções vitais
  - substituição de infraestruturas fixas em caso de desastres
- computação ubíqua - "instrumentação do mundo real"
  - sensores sem fios - aquisição de dados distribuída
  - actuadores sem fios - execução de acções em dispositivos

## Conceitos básicos

### 4<sup>th</sup> Generation of mobile communications

#### Principles

- heterogeneous access networks aimed at transporting IP packets
- based on existing technologies: PLMN, WMAN, WLAN, WPAN, DVB-H
- ambient intelligence



Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Arquitectura de rede

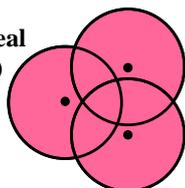
### Estrutura celular

área coberta dividida em células

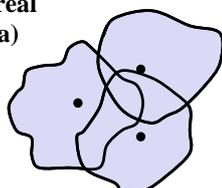
#### Características

- comunicações do terminais asseguradas por uma estação base em cada célula
- requer ligações das estações base a uma rede fixa
- necessário assegurar a transferência de canais entre células (*handover*)
- exige planeamento de frequências para controlar de interferência entre células

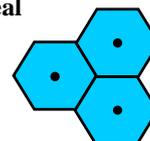
Cobertura celular ideal  
(total área coberta)



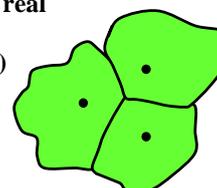
Cobertura celular real  
(total área coberta)



Cobertura celular ideal  
(estação base  
mais favorável)



Cobertura celular real  
(estação base  
mais favorável)



Mário Jorge M Leitão

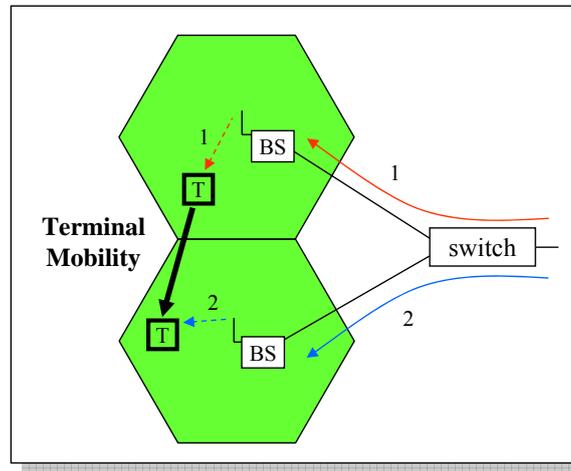
Redes de Comunicação Móvel

## Arquitectura de rede

### Estrutura celular

Conceito de *handover*

- terminal move-se para uma célula vizinha
- uma nova estação base passa a assegurar a comunicação
- a ligação tem de ser mantida de forma transparente para o utilizador



Mário Jorge M Leitão

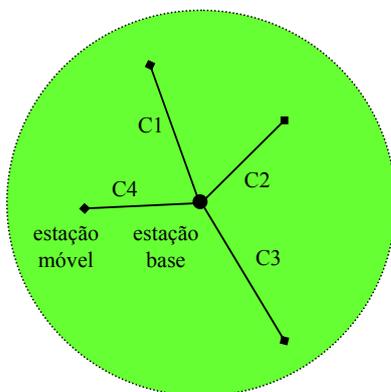
Redes de Comunicação Móvel

## Arquitectura de rede

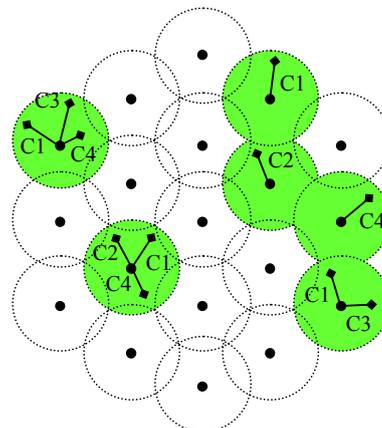
### Estrutura celular

Dimensão das células

- permite controlar a reutilização de frequências
- macrocélulas facilitam uma instalação rápida com cobertura alargada
- microcélulas permitem aumentar significativamente a capacidade



**Frequências utilizadas numa macrocélula**



**Frequências utilizadas num conjunto de microcélulas**

Mário Jorge M Leitão

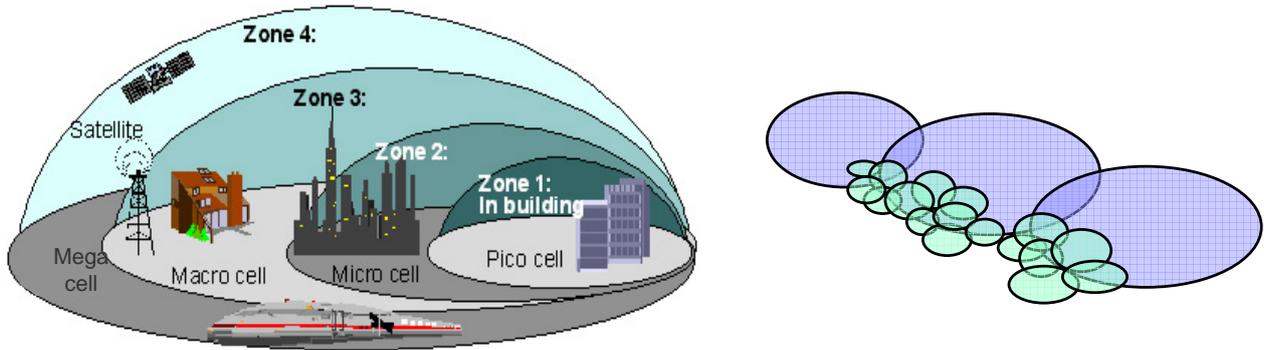
Redes de Comunicação Móvel

# Arquitectura de rede

## Estrutura celular

Dimensão das células

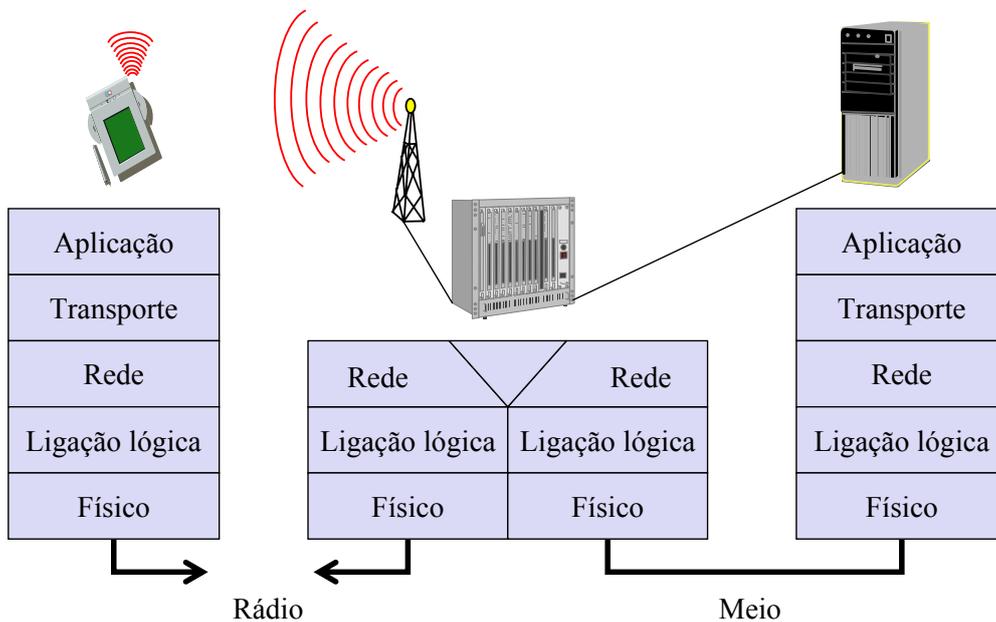
- possibilidade de definir células de dimensão variável
- tipo de cobertura pode adequar-se aos diferentes requisitos de tráfego



Cobertura de células de dimensão variável

# Arquitectura de rede

## Modelo de referência simplificado



## Arquitectura de rede

### Modelo de referência simplificado

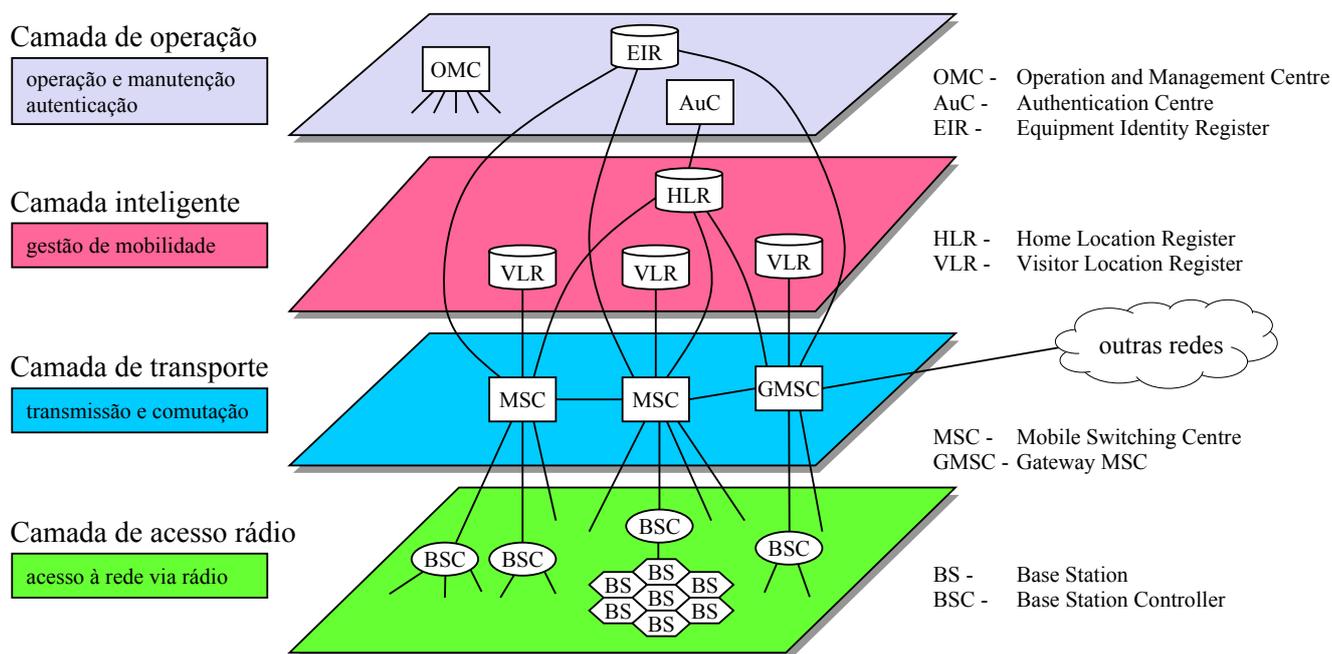
<b>Camada de aplicação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ criação e fornecimento de serviços</li> <li>▪ aplicações</li> </ul>
<b>Camada de transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ congestão e controlo de fluxo</li> <li>▪ qualidade de serviço</li> </ul>
<b>Camada de rede</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ endereçamento</li> <li>▪ encaminhamento</li> <li>▪ localização</li> <li>▪ <i>handover</i></li> </ul>
<b>Camada de ligação de dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ autenticação</li> <li>▪ acesso ao meio</li> <li>▪ multiplexagem</li> </ul>
<b>Camada física</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ encriptagem</li> <li>▪ modulação e codificação</li> <li>▪ propagação</li> <li>▪ interferência</li> <li>▪ atribuição de frequências</li> </ul>

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Arquitectura de rede

### Camadas funcionais



Arquitectura de camadas funcionais de uma rede de comunicação móvel

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Arquitectura de rede

---

### Camadas funcionais

#### Camada de acesso rádio

- funções de gestão de recursos de rádio
  - atribuição de recursos (frequência, intervalo de tempo, código)
  - monitoração das características do canal
  - determinação dos parâmetros de transmissão de sinal (ex.: potência)
  - coordenação de transferência física entre células

Elementos de rede	Funções específicas
Controlador de estação base	Controla as ligações na sua área de cobertura; coordena transferências
Estação base	Controla interface de rádio; gere atribuição de recursos de rádio
Terminal móvel	Controla interface de rádio; gere conexões dos serviços

## Arquitectura de rede

---

### Camadas funcionais

#### Camada de transporte

- funções de transmissão e comutação
  - estabelecimento, monitoração e libertação de chamadas
  - transporte de informação entre elementos de rede
  - ligação a outras redes e conversão de protocolos

Elementos de rede	Funções específicas
Centro de controlo móvel	Gere as chamadas
Ligações de transmissão	Transmitem a informação à distância
Comutadores	Comutam as chamadas
Várias gateways	Asseguram ligações a outras redes e convertem protocolos

# Arquitectura de rede

## Camadas funcionais

### Camada inteligente

– funções de gestão de mobilidade

registo e actualização de localização

chamada (*paging*): avisa um utilizador da chegada de uma chamada

transferência: permite suportar a mobilidade com a qualidade pretendida

- segue os movimentos do utilizador
- fornece informação para o estabelecimento e encaminhamento de chamadas

Elementos de rede	Funções específicas
HLR <i>Home Location Register</i>	Armazena informação permanente do utilizador na sua área de subscrição
VLR <i>Visitor Location Register</i>	Armazena informação de utilizadores que entram numa determinada área

# Arquitectura de rede

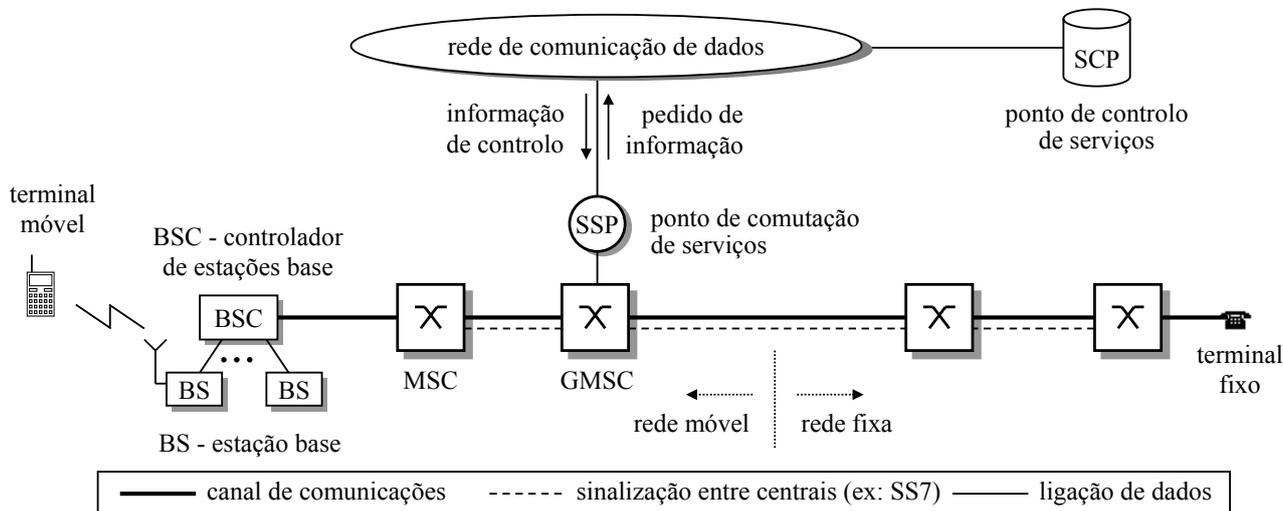
## Camadas funcionais

### Camada inteligente

aplicação de conceitos de rede inteligente

– informação armazenada em bases de dados, associadas a pontos de controlo de serviços

– bases de dados consultadas durante a execução dos procedimentos de chamada



**Transações associadas à gestão de mobilidade: chamada fixo-móvel**

## Arquitectura de rede

---

### Camadas funcionais

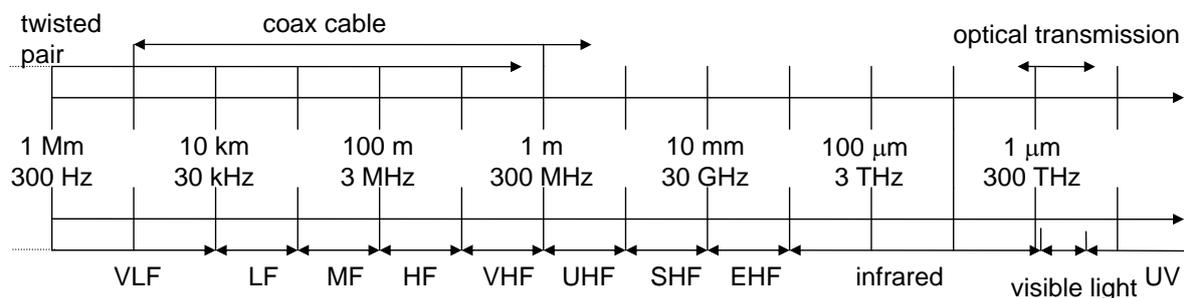
#### Camada de operação

- funções de operação e manutenção
  - suporta a gestão de informação de utilização da rede, perfil de serviços, taxaço
  - inclui armazenamento, consulta, actualização e manutenção de dados
- funções de autenticação
  - valida utilizador
  - valida equipamento terminal

Elementos de rede	Funções específicas
OMC <i>Operation and Management Centre</i>	Monitora e controla toda a rede
AuC <i>Authentication Centre</i>	Verifica a autenticidade do utilizador e autorização de acesso ao serviço
EIR <i>Equipment Identity Register</i>	Verifica a validade do equipamento utilizado

## Transmissão sem fios

### Bandas de frequências



**VLF = Very Low Frequency**

**LF = Low Frequency**

**MF = Medium Frequency**

**HF = High Frequency**

**VHF = Very High Frequency**

**UHF = Ultra High Frequency**

**SHF = Super High Frequency**

**EHF = Extra High Frequency**

**UV = Ultraviolet Light**

## Transmissão sem fios

### Bandas de frequências

VHF / UHF - bandas de rádio móvel

- antenas pequenas e simples para automóveis
- características de propagação favoráveis
- ligações fiáveis

SHF - utilizadas em ligações rádio ponto-a-ponto, comunicações por satélite

- pequenas antenas
- possível ganho elevado
- grande largura de banda disponível

UHF / SHF - Wireless LANs

- alguns sistemas planeiam usar EHF
- limitações devido à absorção do vapor de água (frequência de ressonância - 22 GHz)
- desvanecimentos dependentes da precipitação

## Transmissão sem fios

### Frequency bands in Europe

#### In Portugal

- ANACOM manages frequencies
- <http://www.anacom.pt>

#### FWA

- Fixed Wireless Access

#### ISM

- Industrial, Scientific and Medical

Wireless Systems in Europe	Frequency Range
Broadcast TV	47-68 MHz
	174-216 MHz
	470-582 MHz
	582-862 MHz
2G PLMN (GSM)	890-914 MHz
	935-959 MHz
	1710-1785 MHz
	1805-1880 MHz
3G PLMN (UMTS)	1900-1980 MHz
	2010-2025 MHz
	2110-2170 MHz
FWA	3400-3600 MHz
	3600-4200 MHz
	24.5-26.5 GHz
	27.5-29.5 GHz
ISM	13553-13567 kHz
	26957-27283 kHz
	40.66-40.70 MHz
	2400-2500 MHz
	5725-5875 MHz
	24-24.25 GHz

## Transmissão sem fios

### Modulação do sinal

#### Técnicas de modulação digital

só são possíveis modulações de 2 ou 4 estados - as mais eficientes para combater o efeito do ruído e interferências

- BPSK / BFSK (*Binary Phase Shift Keying* / *Binary Frequency Shift Keying*)

DECT  
(GFSK)

simples e robusto  
baixa eficiência espectral

filtro gaussiano aplicado aos impulsos antes da modulação permite aumentar a eficiência (GFSK)

- QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)

UMTS

mais complexo  
maior eficiência espectral  
usado frequentemente na forma diferencial (DQPSK) para facilitar a descodificação

- MSK (*Minimum Shift Keying*)

GSM  
(GMSK)

semelhante a FSK, sem transições bruscas de fase  
desempenho idêntico a QPSK  
espectro compacto

filtro gaussiano aplicado aos impulsos antes da modulação permite aumentar a eficiência (GMSK)

## Transmissão sem fios

### Multiplexagem

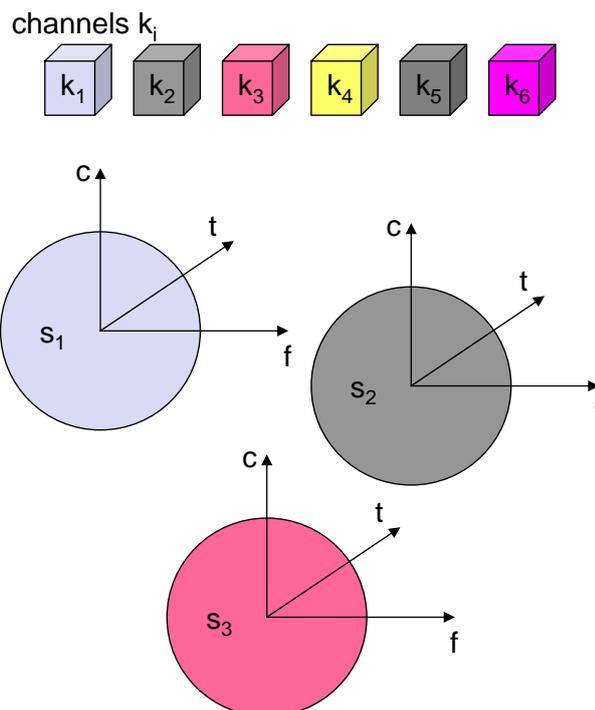
Multiplexagem em 4 dimensões

- espaço ( $s$ )
- frequência ( $f$ )
- tempo ( $t$ )
- código ( $c$ )

Objectivo: meio partilhado por múltiplos utilizadores

Multiplexagem espacial

- necessidade de afastamento espacial de guarda



Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### Multiplexagem de frequência

Princípio

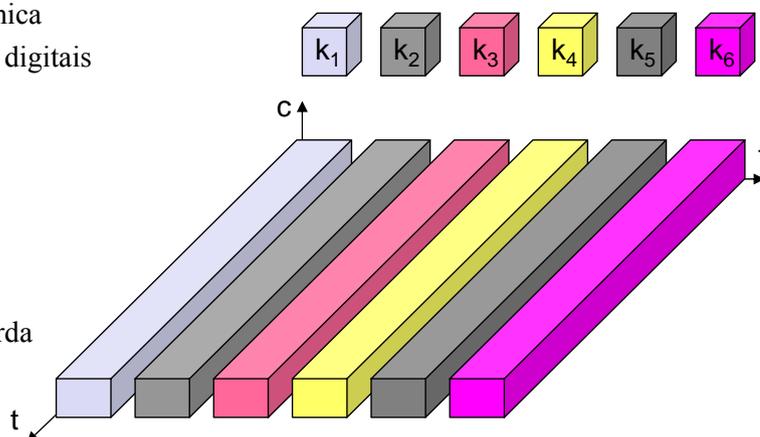
- um canal obtém uma parte do espectro durante todo o tempo

Vantagens

- não requer coordenação dinâmica
- opera com sinais analógicos e digitais

Desvantagens

- baixa eficiência se o tráfego for desequilibrado
- capacidade inflexível
- necessidade de bandas de guarda



Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### Multiplexagem temporal

#### Princípio

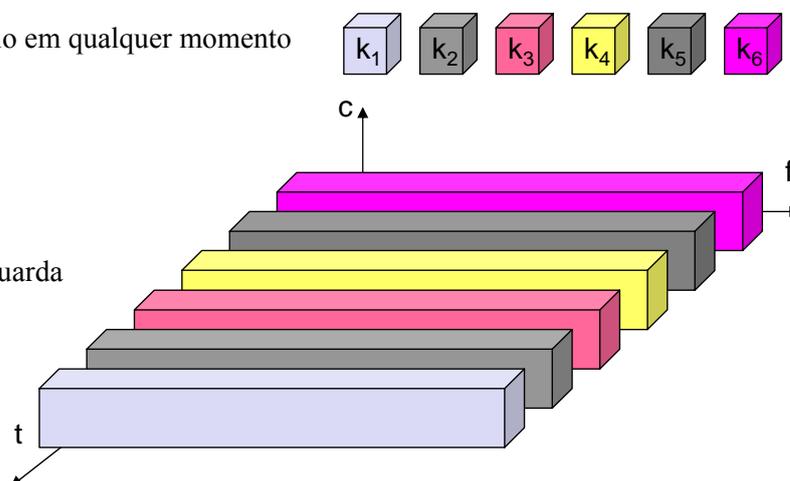
- um canal obtém todo o espectro durante uma parte do tempo

#### Vantagens

- uma única portadora no meio em qualquer momento
- capacidade flexível

#### Desvantagens

- exige sincronização precisa
- necessidade de tempos de guarda



## Transmissão sem fios

### Multiplexagem de frequência e tempo

#### Princípio

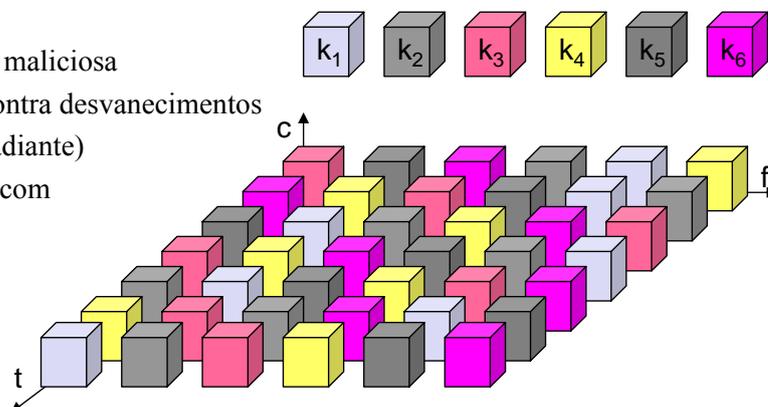
- um canal obtém uma parte do espectro durante uma parte do tempo
- combinação das multiplexagens de frequência e temporal

#### Vantagens

- boa resistência a interceptação maliciosa
- possibilidade de protecção contra desvanecimentos selectivos à frequência (ver adiante)
- maiores débitos (comparado com multiplexagem de código)

#### Desvantagens

- exige sincronização precisa

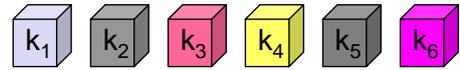


## Transmissão sem fios

### Multiplexagem de código

#### Princípio

- cada canal tem um único código
- todos os canais usam o mesmo espectro ao mesmo tempo (tecnologia de espalhamento espectral)

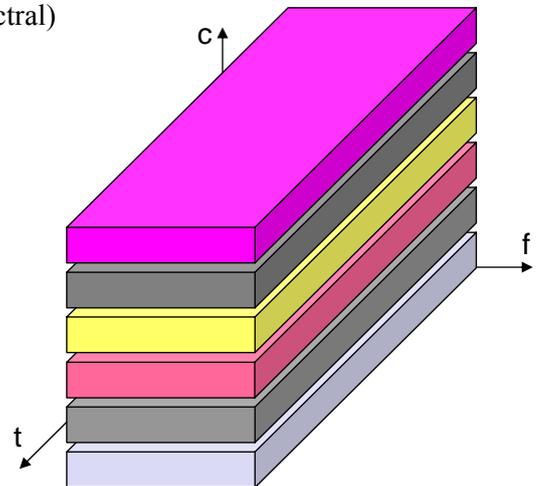


#### Vantagens

- excelente resistência a interceptação maliciosa
- protecção contra desvanecimentos selectivos à frequência e interferências (ver adiante)
- não requer coordenação nem sincronização
- eficiente

#### Desvantagens

- débitos de utilizador mais baixos
- recuperação do sinal mais complexa

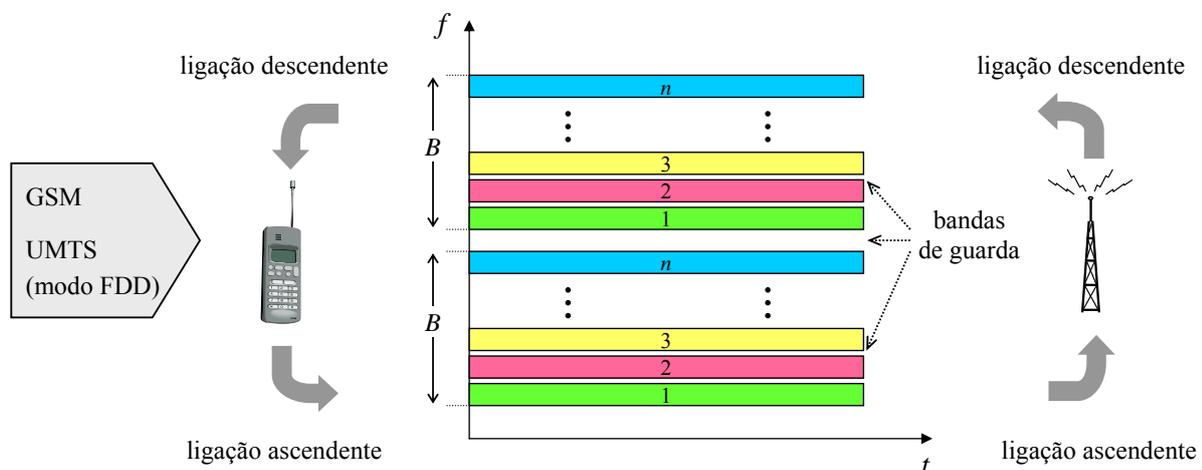


## Transmissão sem fios

### Transmissão full-duplex

#### Duplex por divisão nas frequências (FDD)

- banda total dividida em duas sub-bandas, uma para transmissão e outra para recepção



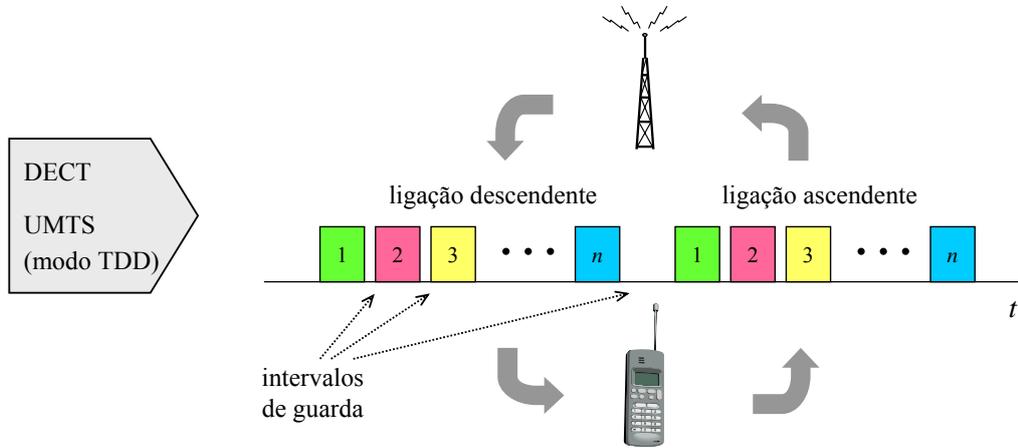
Princípio da transmissão FDD

# Transmissão sem fios

## Transmissão full-duplex

Duplex por divisão nos tempos (TDD)

– intervalos de tempo agrupados em dois blocos, um para transmissão e outro para recepção



Princípio da transmissão TDD

# Transmissão sem fios

## Transmissão full-duplex

Pontos fortes e fracos de FDD e TDD

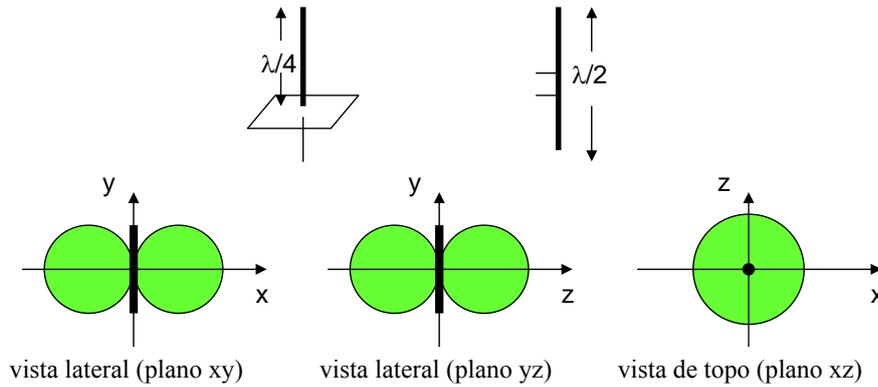
Característica	FDD	TDD
interferência entre sentidos	relativamente fácil de assegurar através de bandas de guarda <span style="float:right">↑</span>	exige tempos de guarda e sincronização temporal precisa entre os sentidos de transmissão <span style="float:right">↓</span>
continuidade de transmissão	transmissão contínua reduz interferências sobre outros sistemas <span style="float:right">↑</span>	transmissão em rajadas introduz interferências sobre outros sistemas <span style="float:right">↓</span>
planeamento de frequências	exige planeamento adequado de frequências com bandas emparelhadas <span style="float:right">↓</span>	opera em bandas não emparelhadas <span style="float:right">↑</span>
atribuição assimétrica de capacidade	troca difícil de capacidade entre a ligação ascendente e descendente <span style="float:right">↓</span>	troca simples de capacidade entre a ligação ascendente e descendente, por alteração do ponto de comutação duplex <span style="float:right">↑</span>
canal recíproco	desvanecimentos não correlacionados na ligação ascendente e descendente <span style="float:right">↓</span>	desvanecimentos correlacionados na ligação ascendente e descendente <span style="float:right">↑</span>

## Transmissão sem fios

### Antenas para o equipamento móvel

#### Tipos de antenas

- ( – dipolo de 1/2 comprimento de onda ( $\lambda/2$ )
  - ( – monopolo de 1/4 de comprimento de onda ( $\lambda/4$ ) e plano de terra (ex: tejadilho de automóvel)
- possível usar acoplamento indutivo (antena "carregada") para reduzir comprimento físico  
 problema: eficientes numa banda relativamente estreita



Tipos de antenas e respectivos diagramas de radiação

Antena em dipolo

## Transmissão sem fios

### Antenas para o equipamento móvel

#### Tipos de antenas

- hélices
  - maior largura de banda
  - desempenho inferior a dipolos
- elementos planares (impressos)
  - possibilidade de operação em mais do que uma banda
  - redução de radiação para a cabeça



Antena em hélice



Antena em elementos planares

## *Transmissão sem fios*

---

### **Antenas para o equipamento móvel**

Requisitos actuais cada vez mais complexos

- formato dos terminais muito diversificado
- redução do volume compatível com menor dimensão dos terminais
- operação em múltiplas bandas/sistemas (ex: GPS, recepção FM)
- problemas de interferência com o próprio equipamento
- necessidade de diversidade de recepção para melhorar o desempenho
- conformidade com normas de segurança de radiação (SAR, Specific Absortion Rate)
- compatibilidade com sistemas de ajuda à audição
- insensibilidade à proximidade das mãos dos utilizadores
- insensibilidade à orientação do terminal (vertical, numa mesa, no bolso)

## *Transmissão sem fios*

---

### **Antenas para a estação base**

Características fundamentais

- banda de frequências de operação
- características de radiação
  - ganho máximo
  - diagrama de radiação
    - largura do feixe a 3 dB
    - nível de lobos secundários
    - relação frente-trás
  - polarização
- características eléctricas
  - impedância de entrada
  - relação de onda estacionária máxima
  - potência de alimentação máxima
- características físicas
  - peso
  - resistência ao vento
  - montagem na torre de suporte
  - material das antenas

## Transmissão sem fios

### Antenas para a estação base

#### Antenas omnidireccionais

- dipolo simples de 1/2 comprimento de onda ( $\lambda/2$ )
  - dipolo dobrado de 1/2 comprimento de onda ( $\lambda/2$ )
  - monopolo de 1/4 de comprimento de onda ( $\lambda/4$ ) e plano de terra (ex: fios)
- estações base mais simples  
diagrama de radiação omnidireccional



Antena em dipolo simples



Antena em dipolo dobrado



Antena em monopolo

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### Antenas para a estação base

#### Antenas omnidireccionais

- agrupamentos colineares de antenas
- dipolos alimentados com fases adequadas
- permitem aumentar o ganho
- aumenta a directividade no plano vertical

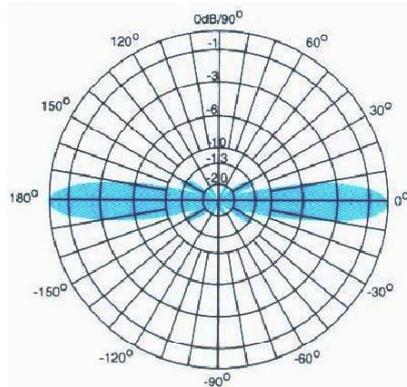


Diagrama de radiação vertical (largura do feixe - 17°)



Antena com agrupamento colinear de dipolos

Mário Jorge M Leitão

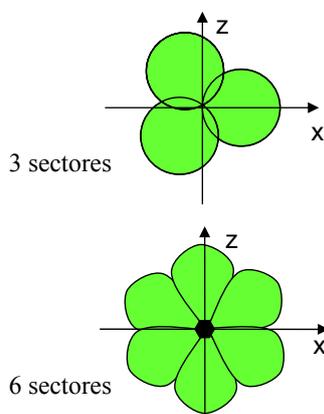
Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

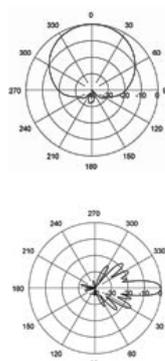
### Antenas para a estação base

#### Antenas sectorizadas

- agrupamentos de antenas montadas em painéis
- grande diversidade de configurações do diagrama de radiação
- possibilidade de operação em várias bandas



Diagramas de radiação horizontal de antenas sectorizadas



Antena em painel e respectiva radiação horizontal e vertical



Vista interna de uma antena em painel

Mário Jorge M Leitão

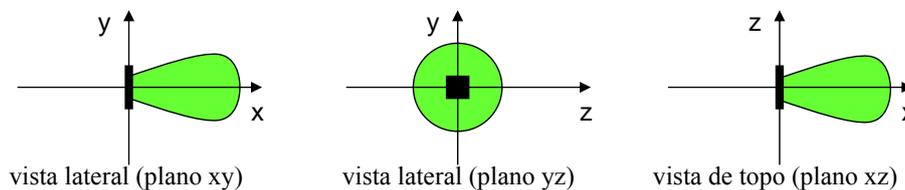
Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### Antenas de ligação à rede de transporte

#### Antenas direccionais

- ligação fixas ponto a ponto
- parabolóides ou Yagi



Diagramas de radiação de antenas direccionais



Antena Yagi



Antena parabolóide

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## *Transmissão sem fios*

---

### **Exemplos de sistemas de antenas**



antena sectorizada  
(3 sectores)

ligação direccional a  
controlador de  
estações base

---

Mário Jorge M Leitão

*Redes de Comunicação Móvel*

## *Transmissão sem fios*

---

### **Exemplos de sistemas de antenas**



antena disfarçada  
de árvore

---

Mário Jorge M Leitão

*Redes de Comunicação Móvel*

## *Transmissão sem fios*

---

### **Exemplos de sistemas de antenas**



árvore  
disfarçada de  
antena

---

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## *Transmissão sem fios*

---

### **Exemplos de sistemas de antenas**



antena disfarçada  
de candeeiro

---

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### Propagação do sinal

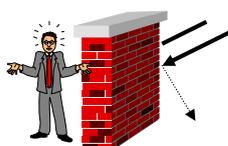
#### Perda de sinal

- proporcional a  $1/d^2$
- influenciada por
  - obstrução de obstáculos
  - reflexão em grandes obstáculos
  - dispersão em pequenos obstáculos
  - difracção em cumes de obstáculos

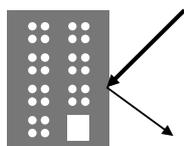
$$C = C_e G_e G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (\text{W})$$

$$C = C_e + G_e + 20 \log_{10} \frac{\lambda}{4\pi d} + G_r \quad (\text{dBW})$$

Potência de sinal recebido em espaço livre



obstrução



reflexão



dispersão



difracção

Perturbações no nível de sinal introduzidas por obstáculos

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### Propagação do sinal

#### Previsão da perda de sinal em larga escala

- baseada em modelos que têm em conta as condições reais de propagação
- usam uma combinação de métodos teóricos e empíricos
- conduzem a um valor estimado para a média da perda do sinal
- assume-se que a perda de sinal tem uma distribuição log-normal em torno da média

$$L(d) [\text{dB}] = \bar{L}(d) + X_\sigma \quad X_\sigma - \text{variável aleatória gaussiana de média nula e desvio padrão } \sigma$$

#### Modelos empíricos

- aproximação empírica baseada na determinação de expressões que aproximam um conjunto de valores medidos experimentalmente
- têm a vantagem de incorporarem todos os factores que afectam a propagação do sinal
- requerem validação para diferentes condições

#### Modelos teóricos

- resultam de aproximações da realidade
- não contabilizam todos os factores
- permitem uma fácil alteração para outros valores dos parâmetros

Mário Jorge M Leitão

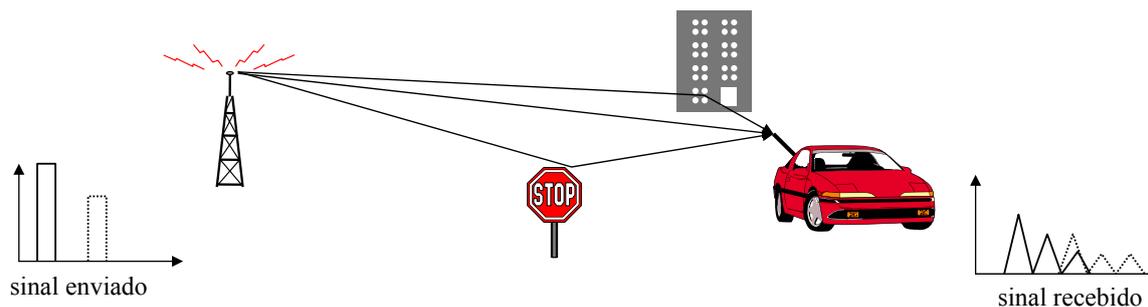
Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### Propagação do sinal

#### Multipercursos

- resultantes da reflexão, dispersão e difracção
- produzem dispersão temporal no sinal recebido
  - as várias réplicas do sinal são recebidas com diferentes atrasos de propagação
- criam interferências entre raios do mesmo sinal que percorrem diferentes trajectórias
  - vários sinais são adicionados com diferentes fases relativas
  - resultam desvanecimentos no sinal recebido



**Perturbações no nível de sinal introduzidas por obstáculos**

## Transmissão sem fios

### Propagação do sinal

#### Desvanecimento plano em pequena escala devido a multipercursos

- ocorre se dispersão temporal  $<$  período do símbolo
  - as flutuações resultam das variações do ganho do canal devido aos multipercursos
- propagação sem linha de vista
  - poderão ocorrer desvanecimentos profundos
  - distribuição de Rayleigh modeliza a variação da amplitude do sinal recebido
- propagação com linha de vista
  - há uma componente estacionária de sinal que não sofre desvanecimento
  - distribuição de Rice modeliza a variação da amplitude do sinal recebido

#### Desvanecimento selectivo à frequência em pequena escala devido a multipercursos

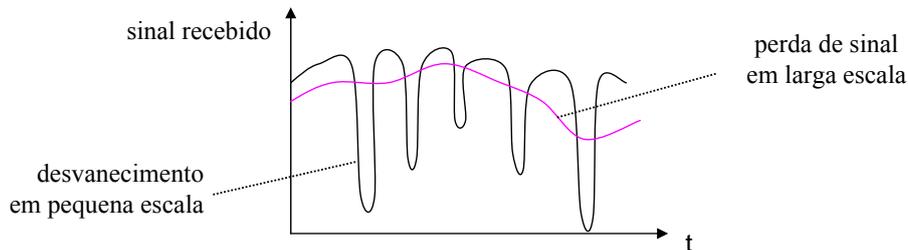
- ocorre se dispersão temporal  $>$  período do símbolo
  - o sinal recebido contém múltiplas versões atenuadas e atrasadas no tempo
  - o canal introduz interferência intersimbólica
  - no domínio das frequências, algumas componentes de frequência na banda do sinal têm maiores ganhos do que outras

## Transmissão sem fios

### Propagação do sinal

Efeito da mobilidade na potência de sinal recebido

- introduz flutuações da perda de sinal em larga escala
  - variação da distância
  - efeito variável de obstáculos
- introduz desvanecimentos em pequena escala
  - trajecto do sinal altera-se
  - multipercursos variam ao longo do tempo
  - efeito Doppler também responsável por este tipo de efeito



**Desvanecimentos do sinal para um receptor em mobilidade**

## Transmissão sem fios

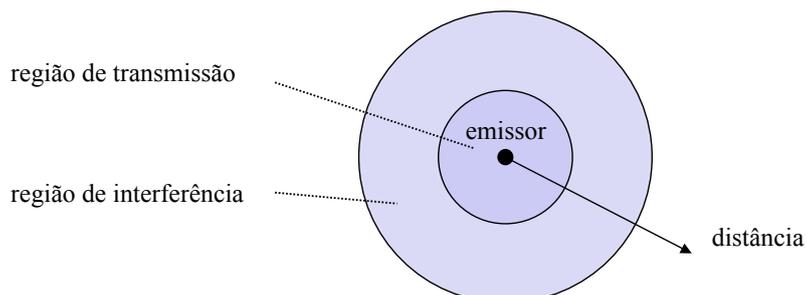
### Propagação do sinal

Interferências

- entre sinais na mesma banda de ligações de regiões vizinhas
- entre sinais em bandas adjacentes de ligações na mesma região

requer um compromisso adequado entre interferências e capacidade do sistema  
→ **plano de frequências**

desejável que os sinais recebidos na estação base tenham todos a mesma potência  
→ **controlo de potência**



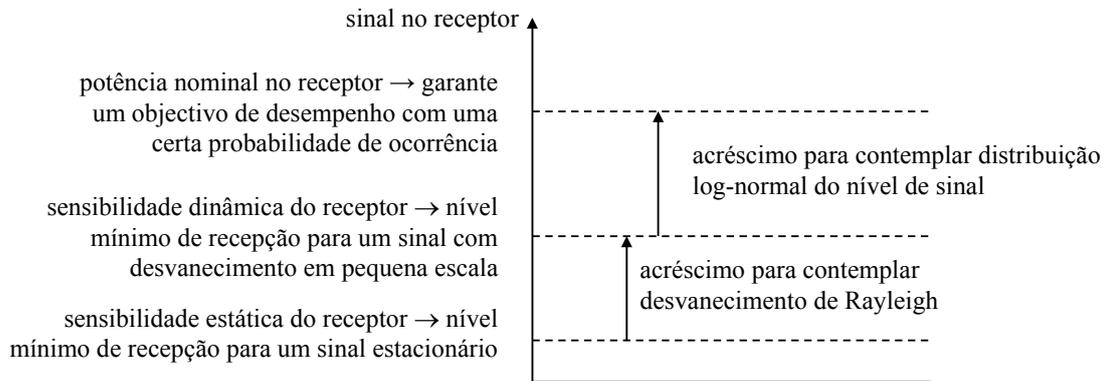
**Região de influência de um emissor em termos de interferência**

## Transmissão sem fios

### Mitigação das perturbações na propagação do sinal

#### Margem de propagação

- potência nominal de sinal no receptor deve incluir margens de propagação
  - uma margem para ter em conta a variabilidade da perda de sinal em larga escala
  - uma margem para ter em conta o desvanecimento em pequena escala



#### Margens de potência num receptor móvel

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

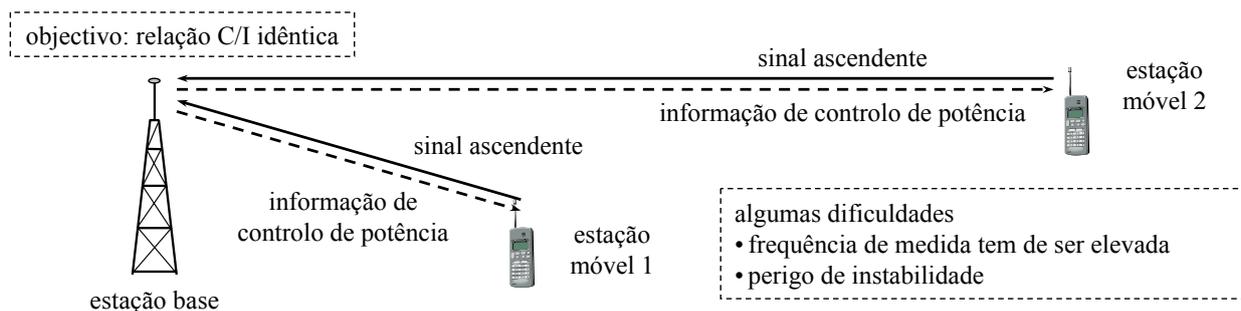
### Mitigação das perturbações na propagação do sinal

#### Controlo de potência

essencial na ligação ascendente para controlar interferências

- em malha aberta
  - um sinal de referência descendente é utilizado para estimar o nível de sinal ascendente satisfatório como referência inicial e em modo TDD mas impreciso em modo FDD
- em malha fechada
  - estação base efectua medidas da relação portadora/interferência (C/I) na ligação ascendente
  - estação móvel recebe medidas e controla a potência para atingir um valor objectivo

GSM  
UMTS



#### Controlo de potência em malha fechada

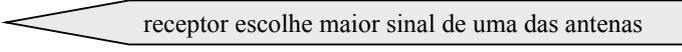
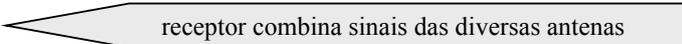
Mário Jorge M Leitão

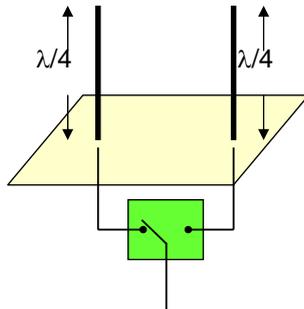
Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

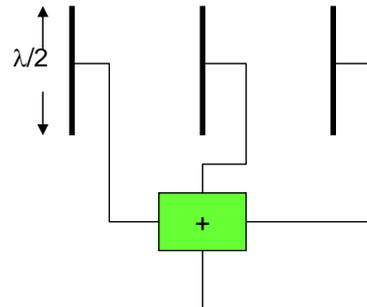
### Mitigação das perturbações na propagação do sinal

#### Diversidade de antenas

- comutação  receptor escolhe maior sinal de uma das antenas
- combinação  receptor combina sinais das diversas antenas



Comutação de antenas



Combinação de antenas

## Transmissão sem fios

### Mitigação das perturbações na propagação do sinal

#### Transferência de canal dentro da célula

DECT

- alteração de frequência do canal em caso de degradação significativa de C/I  
reduz efeito dos desvanecimentos e interferências selectivos à frequência

*handover* intra-célula: ver adiante

#### Técnicas de banda espalhada (*spread spectrum*)

- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)  
reduz efeito desvanecimentos selectivos à frequência e interferências  
receptor RAKE permite melhorar desempenho

UMTS  
802.11b

técnica básica de CDMA: ver adiante

- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)  
reduz efeito desvanecimentos e interferências selectivos à frequência  
duas versões

GSM

- saltos lentos: vários bits por frequência
- saltos rápidos: várias frequências por bit

802.11a/g  
802.16e

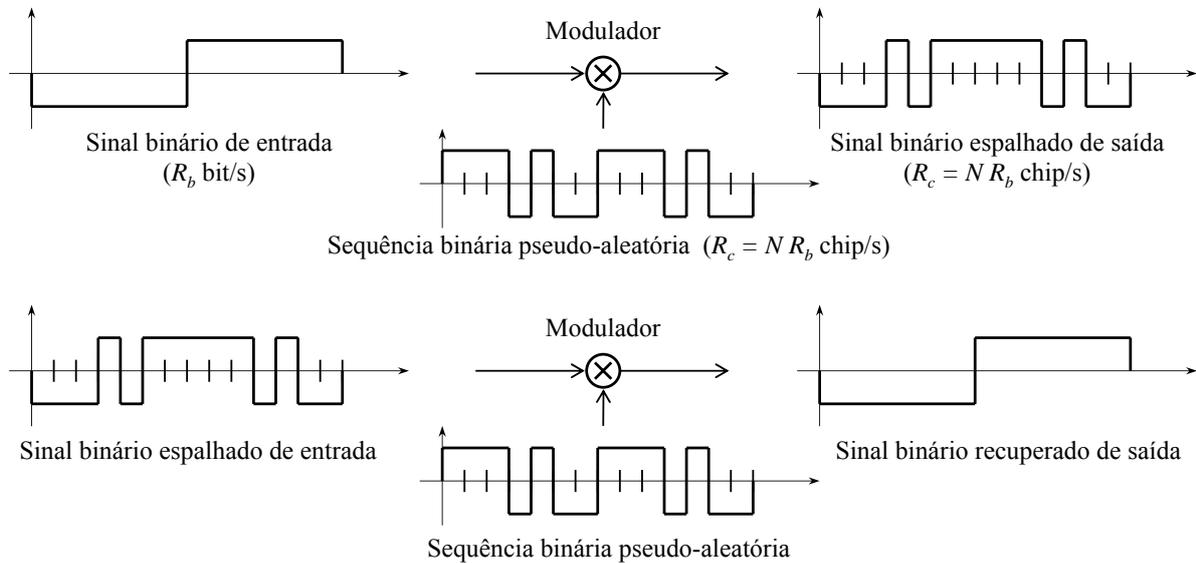
#### Técnica OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

- reduz efeito desvanecimentos selectivos à frequência

## Transmissão sem fios

### DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Princípio de operação



**Espalhamento e reagrupamento de um sinal através de uma sequência pseudo-aleatória  
(dados de entrada “-1 1” e código “1 1 1 -1 1 -1 -1”)**

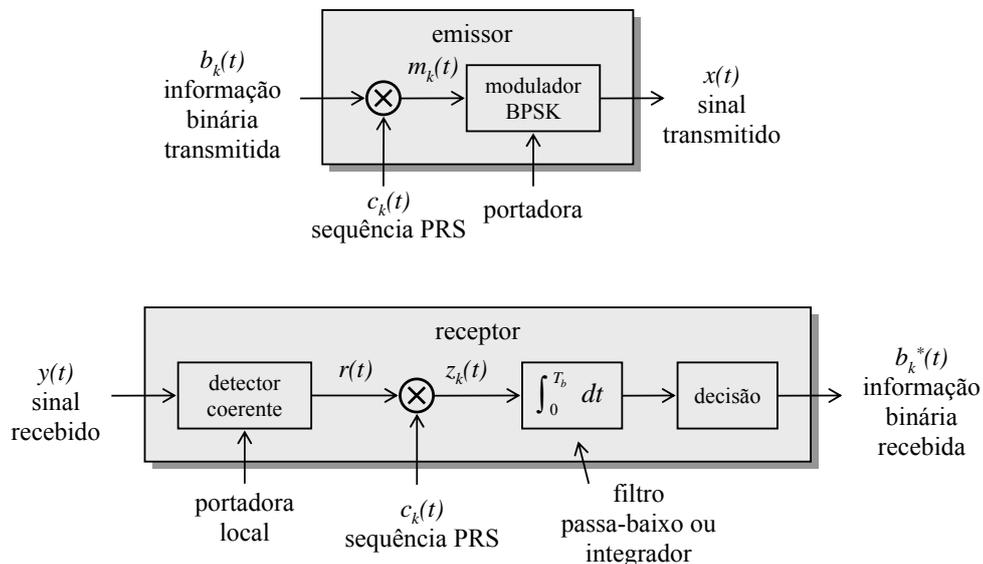
Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Princípio de operação



**Modelo de um sistema DSSS em banda de canal**

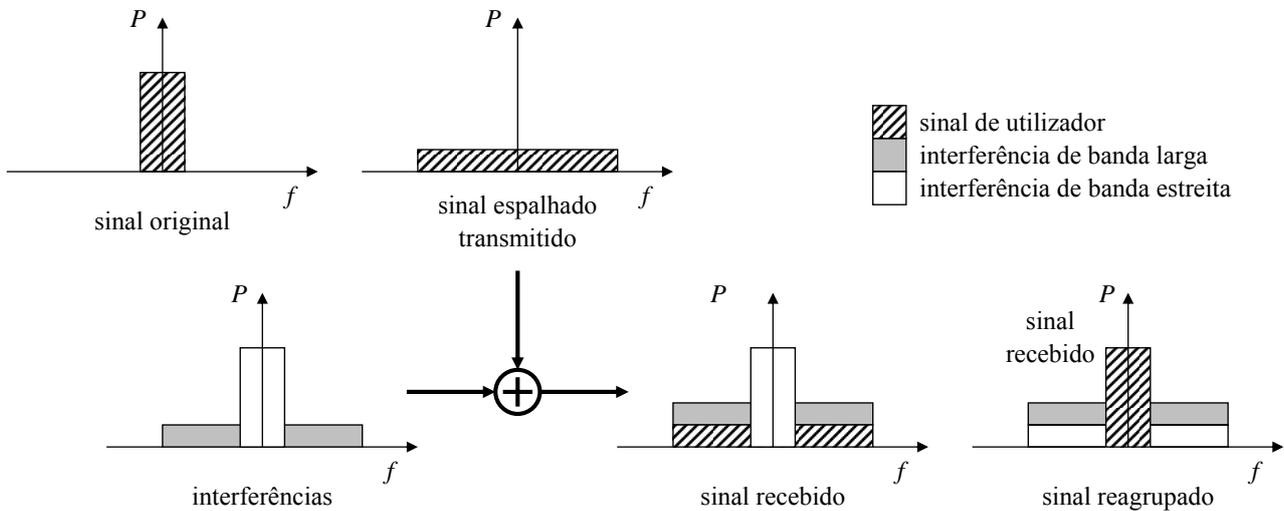
Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Imunidade a interferências



**Demonstração qualitativa da imunidade a interferências em DSSS**

Mário Jorge M Leitão

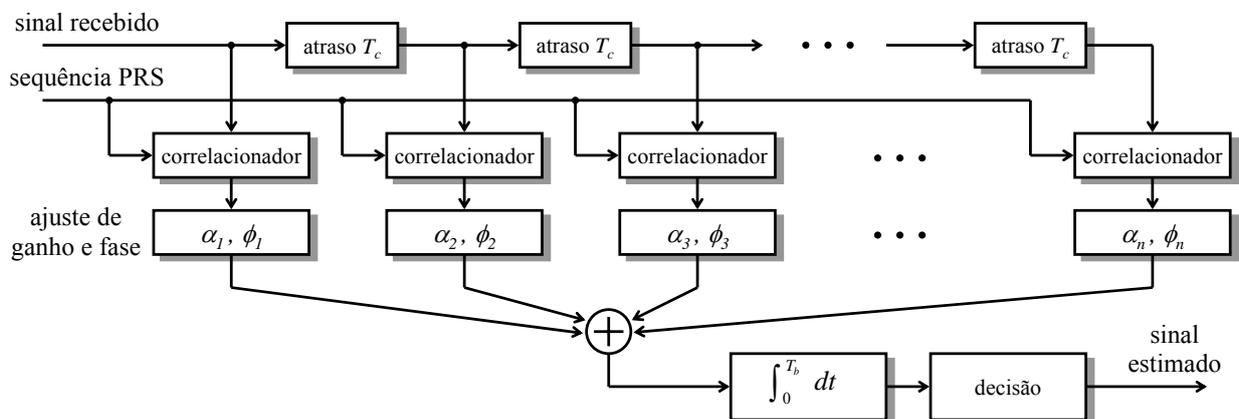
Redes de Comunicação Móvel

## Transmissão sem fios

### DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Receptor RAKE

- usa  $n$  correlacionadores para identificar diferentes réplicas do sinal
- introduz ajustes de ganho e fase para que a soma das réplicas seja coerente
- melhora a estimativa do sinal, reduzindo drasticamente o efeito de multipercursos



**Diagrama-blocos de um receptor RAKE utilizado em DSSS**

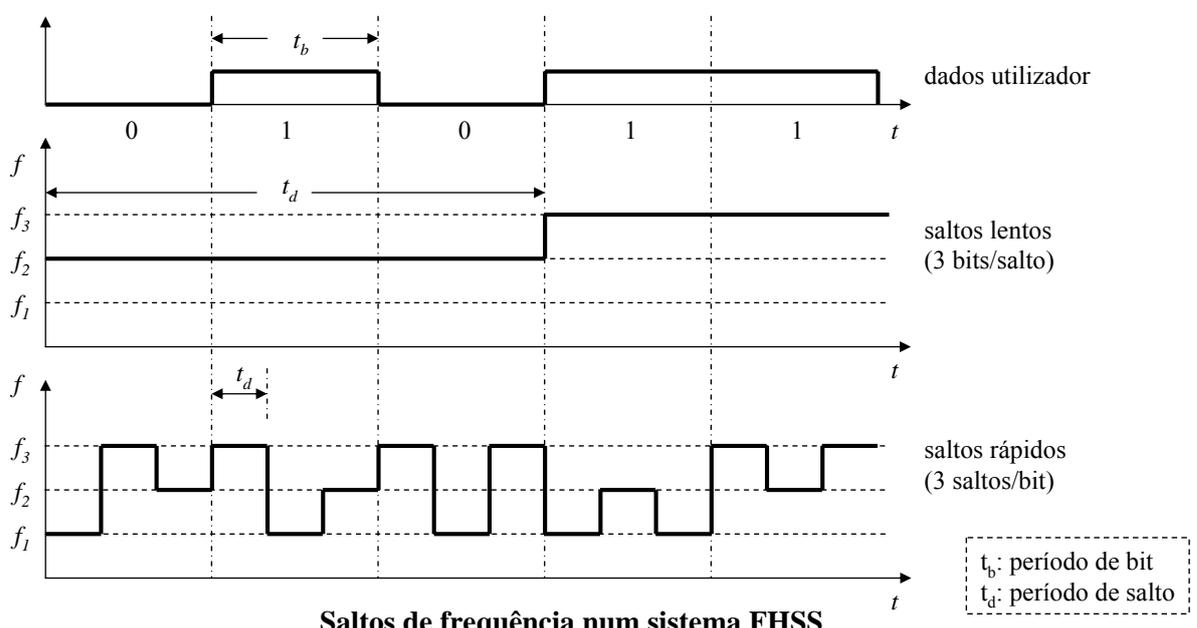
Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

# Transmissão sem fios

## FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

Princípio de operação



Saltos de frequência num sistema FHSS

# Transmissão sem fios

## FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

Princípio de operação



Sistema baseado em FHSS

Comparação entre sistemas de spread spectrum	
FHSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• implementação simples</li> <li>• usa uma pequena parte do espectro disponível</li> <li>• não tão robusto como DSSS</li> <li>• mais fácil de detectar</li> <li>• desvanecimentos e interferências selectivos à frequência perturbam em certos períodos</li> </ul>
DSSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• implementação mais complexa</li> <li>• usa uma banda relativamente larga</li> <li>• muito robusto</li> <li>• mais difícil de detectar</li> <li>• desvanecimentos e interferências selectivos à frequência equivalentes a ruído</li> </ul>

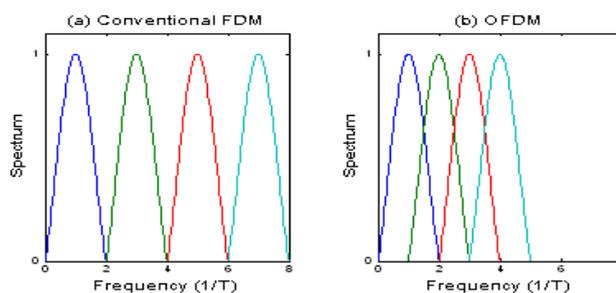
## Transmissão sem fios

### OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

#### Princípio de operação

- equivalente em banda de canal a DMT - *Discrete Multitone* em banda base
- divide a transmissão entre N sub-portadoras diferentes
  - o débito de cada sub-portadora é reduzido de um factor de N relativamente ao débito total
  - o período de cada símbolo aumenta de um factor de N
- efeito do desvanecimento selectivo à frequência muito atenuado
  - período do símbolo pode tornar-se superior à dispersão temporal dos multipercursos
  - desvanecimento selectivo à frequência passa a desvanecimento plano

- sub-portadoras ortogonais
  - permite minimizar espaçamento entre portadoras
  - maximiza a capacidade do sistema



Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### Técnicas de acesso ao meio

#### Acesso a canais sem fios

- canal descendente: opera em difusão, sob controlo total da estação base
- canal ascendente: opera em acesso múltiplo, partilhado em competição pelos utilizadores

#### Requisitos do acesso ao meio no canal ascendente

- justiça: assegura a igualdade de acesso dos utilizadores aos serviços da rede
- flexibilidade: suporta tráfego constante ou variável, com diferentes requisitos de débito, atraso e taxa de erros
- qualidade: insensível a problemas de propagação resultantes de redução de nível, multi-percursos, ruído e interferências
- capacidade: assegura um elevado n° de comunicações simultâneas por km<sup>2</sup>

#### Papel da estação base

- estação base pode operar como controlador central dos utilizadores de uma célula

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

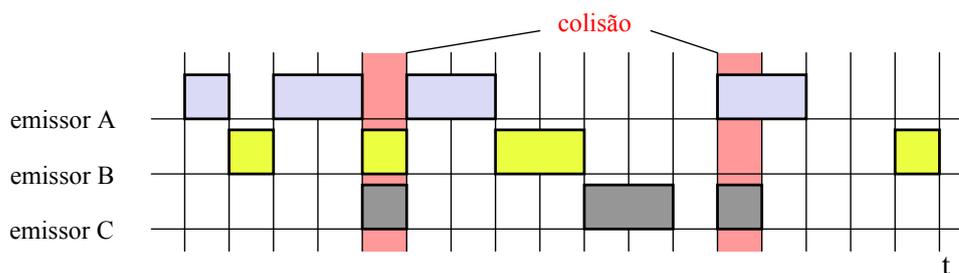
## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha

Princípio de operação

protocolo Aloha mais usado - CSMA/CD  
Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection

- transmissão efectuada em intervalos de tempo pré-definidos (*slotted Aloha*)
- um terminal só envia pacotes de informação quando detecta um canal livre
- se mais do que um terminal começar a transmitir ao mesmo tempo, existirão colisões
- as colisões são reconhecidas no receptor e sinalizadas aos terminais
- estes suspendem a transmissão e tentam de novo após um tempo aleatório



Acesso múltiplo *slotted Aloha*

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha

Será que os métodos de acesso ao meio das redes cabladas podem ser aplicados a redes móveis?

Pressupostos de operação nas redes cabladas

- os sinais nos receptores e emissores são semelhantes entre si
- todos os emissores têm a mesma informação sobre a presença de transmissões no meio
- cada emissor tem possibilidade de detectar as colisões que ocorrem nos receptores

Problemas das redes sem fios

- o nível de sinal decresce com o quadrado da distância e é afectado por muitos outros factores
- CS ou CD podem não funcionar problema do terminal escondido
- CS pode inibir transmissões possíveis problema do terminal exposto
- oportunidade de acesso diferentes problema do terminal distante

Mário Jorge M Leitão

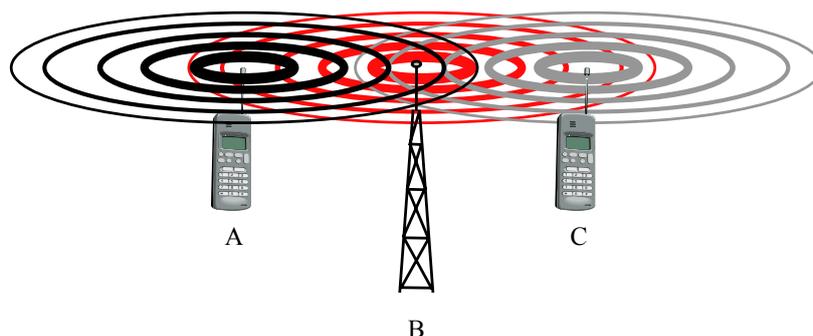
Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha

#### Problema do terminal escondido

- A transmite para B
- C não ouve A e detecta o meio livre (falha de CS)
- C transmite para B e provoca uma colisão
- A não detecta a colisão (falha de CD)



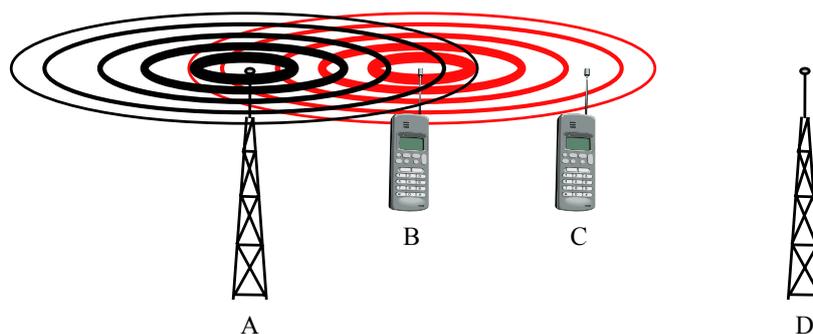
Problema do terminal escondido (C)

## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha

#### Problema do terminal exposto

- B transmite para A
- C quer transmitir para D mas detecta o meio ocupado (CS)
- mas A está fora do alcance de C
- a transmissão de C para D era possível mas é impedida por B



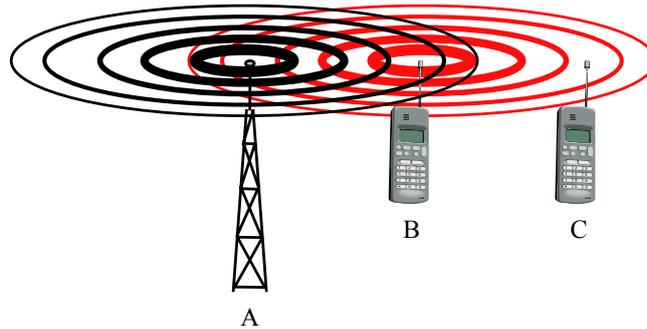
Problema do terminal exposto (C)

## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha

#### Problema do terminal distante

- B e C transmitem para A simultaneamente
- A só recebe o sinal dominante de B
- se A for um árbitro de acesso, B é aceite e C rejeitado
- C não tem a mesma oportunidade de acesso de B

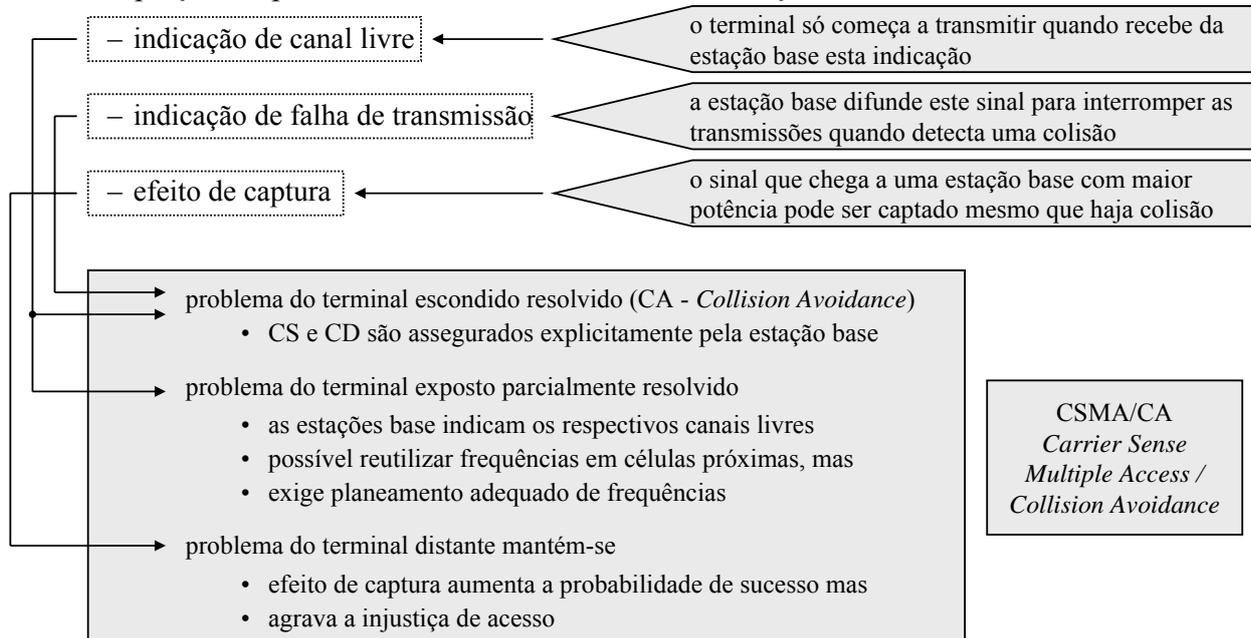


Problema do terminal distante (C)

## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha

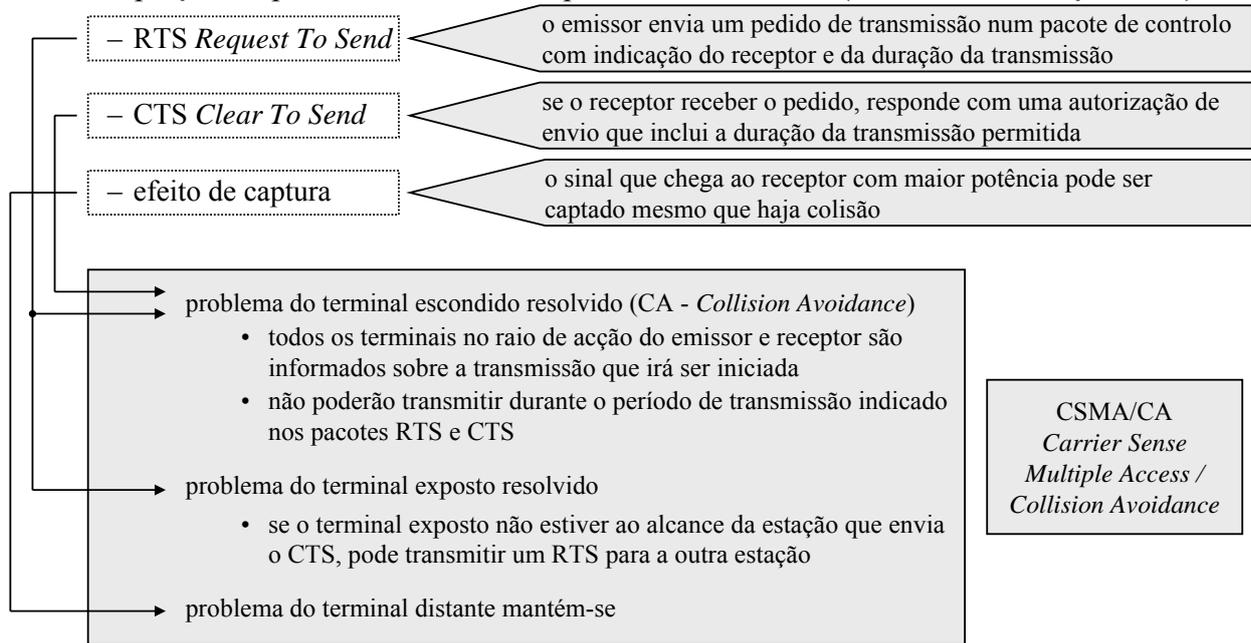
#### Adaptação do protocolo baseada no controlo da estação base



## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha

Adaptação do protocolo baseada no protocolo RTS/CTS (com ou sem estação base)

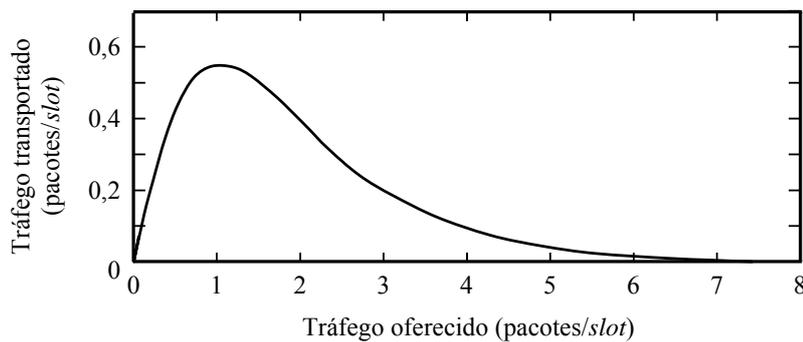


Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### Protocolo de acesso aleatório Aloha



Eficiência do protocolo CSMA/CD (variante 1-persistent)

Pontos fortes e fracos

↑ – simplicidade

↓ – baixa eficiência

Aplicações

GSM – reserva de recursos em sistemas FDMA e TDMA

802.11 – LAN's sem fios

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

---

### Protocolo de *polling*

#### Princípio de operação

- esquema centralizado de uma estação central mestre e vários terminais escravos
- estação central autoriza acesso de acordo com vários mecanismos alternativos
  - rotação → só será justo se os padrões de tráfego dos terminais forem idênticos
  - por reserva → exige fase prévia de pedidos de acesso seguida de rotação de autorizações
- possível estabelecer prioridades

#### Pontos fortes e fracos

- |   |  |
|---|--|
| ↑ | – simplicidade                                     |
| ↓ | – baixa eficiência                                 |
|   | – tempos de acesso excessivos com muitos terminais |

#### Aplicações

Bluetooth  
802.11

- LAN's sem fios

## Acesso ao meio

---

### Técnicas de acesso múltiplo por divisão de recursos

#### Acesso múltiplo por divisão de espaço (SDMA)

- baseado em estruturas celulares
- possível sub-dividir células em sectores, recorrendo a antenas direccionais
- exige planeamento de frequências para controlar de interferência entre células

ver adiante

#### Acesso múltiplo por divisão nas frequências (FDMA)

- atribui uma parte da banda a um canal de transmissão entre um emissor e um receptor

#### Acesso múltiplo por divisão nos tempos (TDMA)

- atribui a totalidade da banda a um canal de transmissão entre um emissor e um receptor, durante um período de tempo

#### Acesso múltiplo por divisão de código (CDMA)

- atribui um código a um emissor e a um receptor para transmissão em banda espalhada

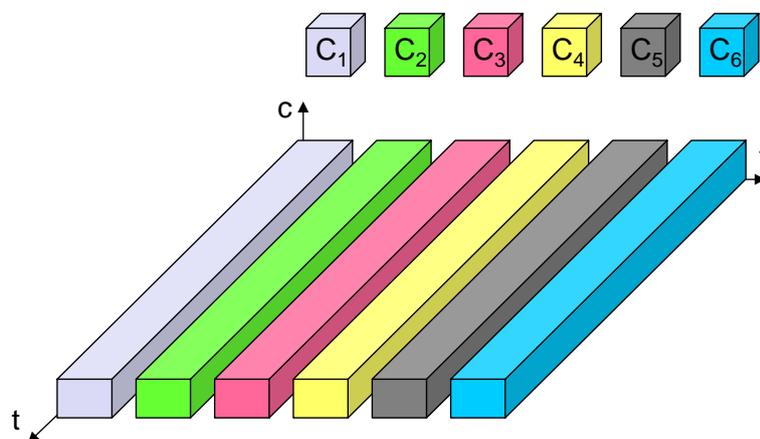
as técnicas de multiplexagem anteriormente apresentadas são agora utilizadas para acesso múltiplo ao meio

## Acesso múltiplo ao meio

### FDMA - Acesso múltiplo por divisão nas frequências

*Frequency Division  
Multiple Access*

atribui uma parte da banda a um canal de transmissão entre um emissor e um receptor, durante todo o tempo



Acesso múltiplo de 6 canais em FDMA

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### FDMA com reserva fixa

#### Princípio de operação

- canal de transmissão com capacidade fixa
- pedido de recursos efectuado através de um canal de controlo com acesso aleatório Aloha

#### Pontos fortes e fracos

- ↑ – simplicidade
- ↓ – pouco eficiente para tráfego variável
- dificuldade em suportar serviços de diferentes débitos
- vulnerável a efeitos adversos de transmissão, nomeadamente multipercursos - este efeito pode ser combatido recorrendo a saltos lentos da frequência de operação

#### Aplicações

GSM  
DECT  
UMTS

- sistemas celulares de 1ª geração utilizados no passado
- sistemas celulares de 2ª e 3ª geração em associação com TDMA ou CDMA para aumentar a capacidade

Mário Jorge M Leitão

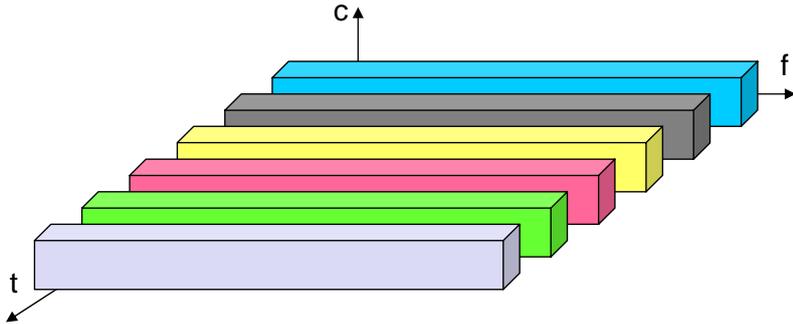
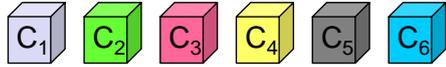
Redes de Comunicação Móvel

# Acesso múltiplo ao meio

## TDMA - Acesso múltiplo por divisão nos tempos

*Time Division  
Multiple Access*

atribui a totalidade da banda a um canal de transmissão entre um emissor e um receptor, durante um período de tempo



Acesso múltiplo de 6 canais em TDMA

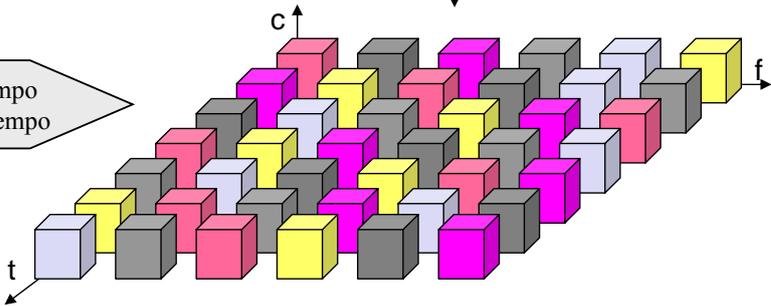
# Acesso múltiplo ao meio

## FDMA/TDMA - Combinação dos métodos FDMA e TDMA

atribui uma parte da banda a um canal de transmissão entre um emissor e um receptor, durante um período de tempo

GSM: 248 sub-bandas 200 kHz cada  
DECT: 10 sub-bandas 200 kHz cada

GSM: 8 intervalos de tempo  
DECT: 24 intervalos de tempo



Acesso múltiplo de 42 canais em FDMA/TDMA

## Acesso ao meio

### TDMA com reserva fixa

#### Princípio de operação

- canal de transmissão com capacidade fixa
- pedido de recursos efectuado através de um canal de controlo com acesso aleatório Aloha

#### Pontos fortes e fracos

- ↑ – compatível com os actuais sistemas de multiplexagem síncrona da rede de transporte
- possível suportar serviços com diferentes débitos associando múltiplos intervalos de tempo
- tecnologia dominada, de baixo custo
- ↓ – pouco eficiente para tráfego variável: um canal não pode ser utilizado por outros utilizadores, mesmo que não esteja ocupado com transmissão de informação
- vulnerável a efeitos adversos de transmissão, nomeadamente multipercursos - efeito minorado recorrendo a saltos lentos da frequência de operação em sistemas FDMA/TDMA

#### Aplicações

GSM  
DECT

- sistemas de 2ª geração

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### TDMA com reserva dinâmica explícita

#### Princípio de operação

Protocolo DAMA - Demand Assignment Multiple Access

- terminal faz o pedido de intervalos de tempo através de um canal de controlo canal de controlo acedido através de um protocolo Aloha ou canal de controlo com atribuição estática (mini-intervalos de tempo de contenção)
- estação base recolhe todos os pedidos e reenvia uma lista de reservas asseguradas
- terminal transmite nos intervalos de tempo que lhe foram atribuídos explicitamente

#### Pontos fortes e fracos

- ↑ – usufrui dos intervalos em que não há informação a transmitir
- suporta eficientemente tráfego variável de diferentes débitos
- ↓ – problemas potenciais de sobrecarga, atrasos excessivos e tempos de estabelecimento longos
- maior complexidade

#### Aplicações

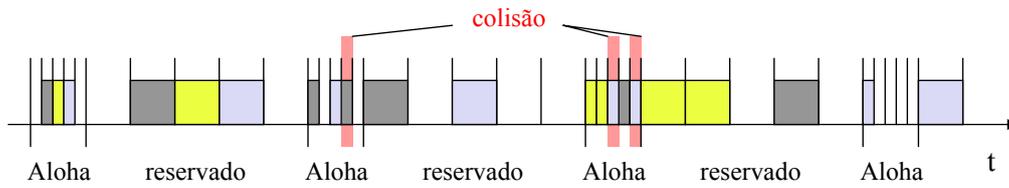
- sistemas por satélite

Mário Jorge M Leitão

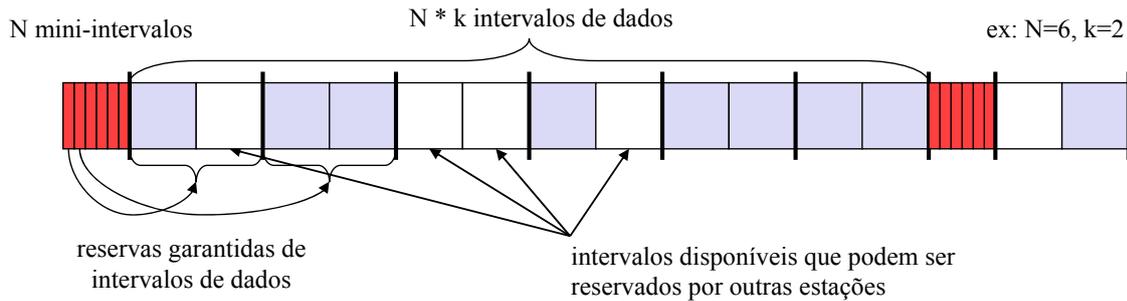
Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### TDMA com reserva dinâmica explícita



### Acesso múltiplo com reserva explícita e canal de controlo Aloha



### Acesso múltiplo com reserva explícita e canal de controlo com atribuição estática

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### TDMA com reserva dinâmica implícita

#### Princípio de operação

Protocolo PRMA - *Packet Reservation Multiple Access*

- é usado um protocolo Aloha para aceder a um canal de controlo usado para reserva
- tráfego de voz: ficam implicitamente reservados intervalos de tempo em tramas consecutivas até ao início de uma pausa
- tráfego de dados: reserva-se um intervalo de tempo ou vários intervalos consecutivos, mas com menor prioridade do que a voz ou outro tráfego de débito constante

#### Pontos fortes e fracos

- ↑ – as mesmas vantagens do DAMA
- maior garantia de capacidade para o tráfego de voz
- maior eficiência para o tráfego de dados
- ↓ – problemas idênticos aos do DAMA, embora atenuados no caso de tráfego de voz

#### Aplicações

GSM  
(GPRS)

- variante de PRMA: utilizada em sistemas avançados de 2ª geração

Mário Jorge M Leitão

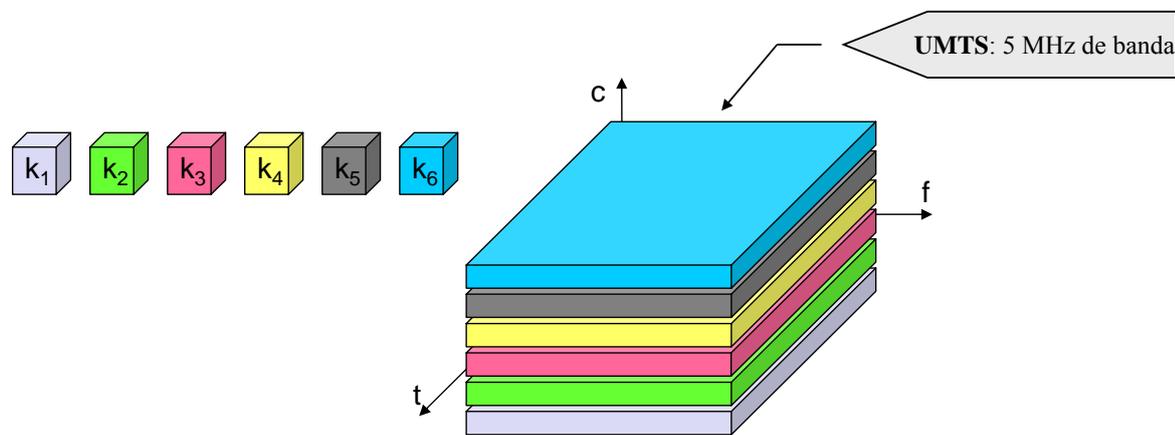
Redes de Comunicação Móvel

## Acesso múltiplo ao meio

### CDMA - Acesso múltiplo por divisão de código

Code Division  
Multiple Access

atribui a totalidade da banda a um canal de transmissão entre um emissor e um receptor, durante todo o tempo, mas em cada canal utiliza-se um código próprio



Acesso múltiplo de 6 canais em CDMA

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### CDMA

Princípio de operação

baseado em DSSS - *Direct Sequence Spread Spectrum*

- o terminal transmite logo que tenha dados disponíveis (tal como em sistemas Aloha)
- em vez de transmitir o sinal digital directamente, cada bit é modulado por uma sequência de pseudo-aleatória de bits (código ou chave) atribuída ao terminal
- cada código é tipicamente constituído por 100 a 10 000 bits (que se designam de *chips*)
- o sinal resultante é assim espalhado numa banda muito maior do que a necessária para transmitir o sinal original (*spread spectrum*)
- no receptor da estação base, a mesma sequência (assinatura) é utilizada para reagrupar o sinal recebido e recuperar os dados
- os sinais de outros utilizadores podem ser removidos completamente se os códigos forem ortogonais
- é possível aumentar gradualmente a capacidade, aceitando alguma interferência aditiva entre os canais

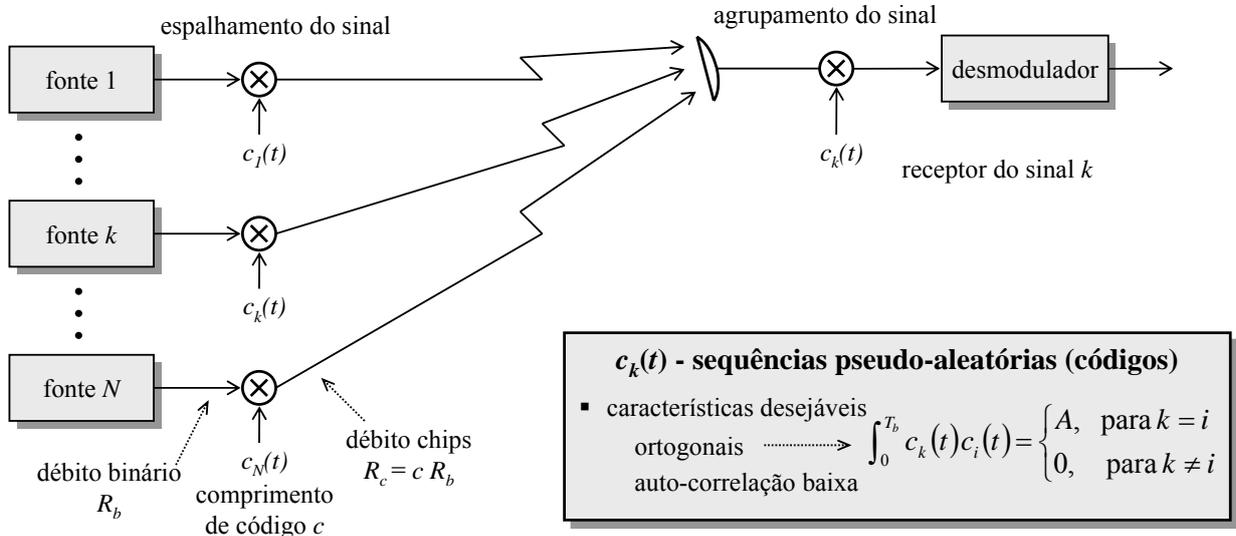
Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

# Acesso ao meio

## CDMA

### Princípio de operação

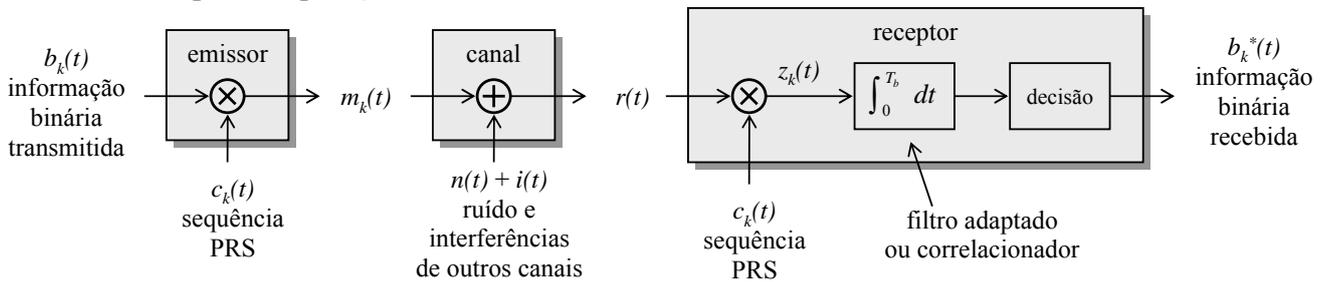


### Multiplexagem de canais em CDMA

# Acesso ao meio

## CDMA

### Princípio de operação



### Modelo de um sistema CDMA em banda base

$$r(t) = c_k(t)b_k(t) + n(t) + i(t) \xrightarrow{\text{mesma potência na recepção}} i(t) = \sum_{i \neq k} c_i(t)b_i(t)$$

$$z_k(t) = c_k(t)r(t) = c_k^2(t)b_k(t) + c_k(t)[n(t) + i(t)] = b_k(t) + c_k(t)[n(t) + i(t)]$$

$$b_k^*(t) = b_k(t)$$

se não existirem erros

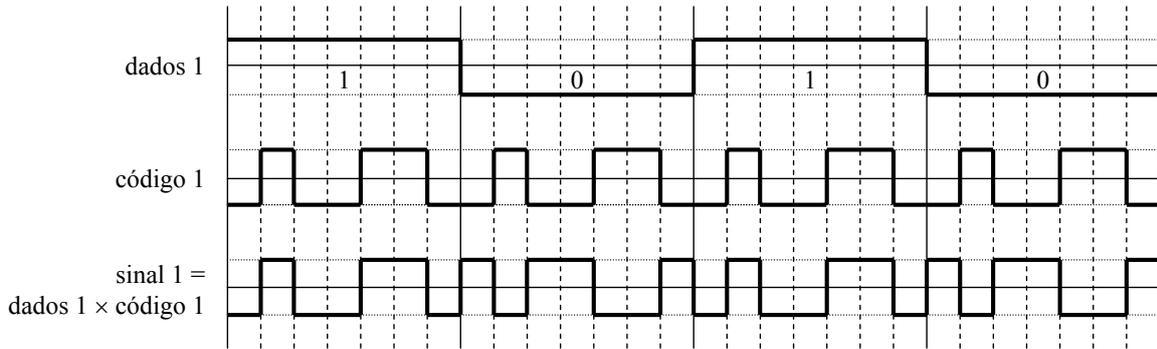
# Acesso ao meio

## CDMA

### Exemplo

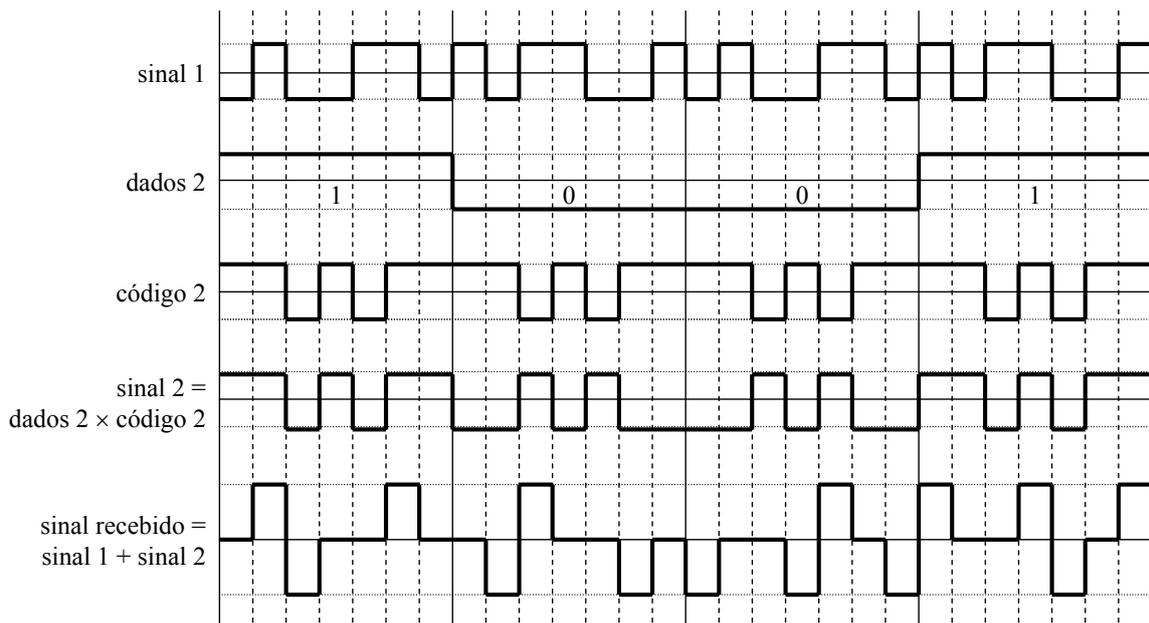
- código canal 1 = 0100110
- código canal 2 = 1101011
- código canal X = 1000101

níveis: "0" = -1, "1" = +1



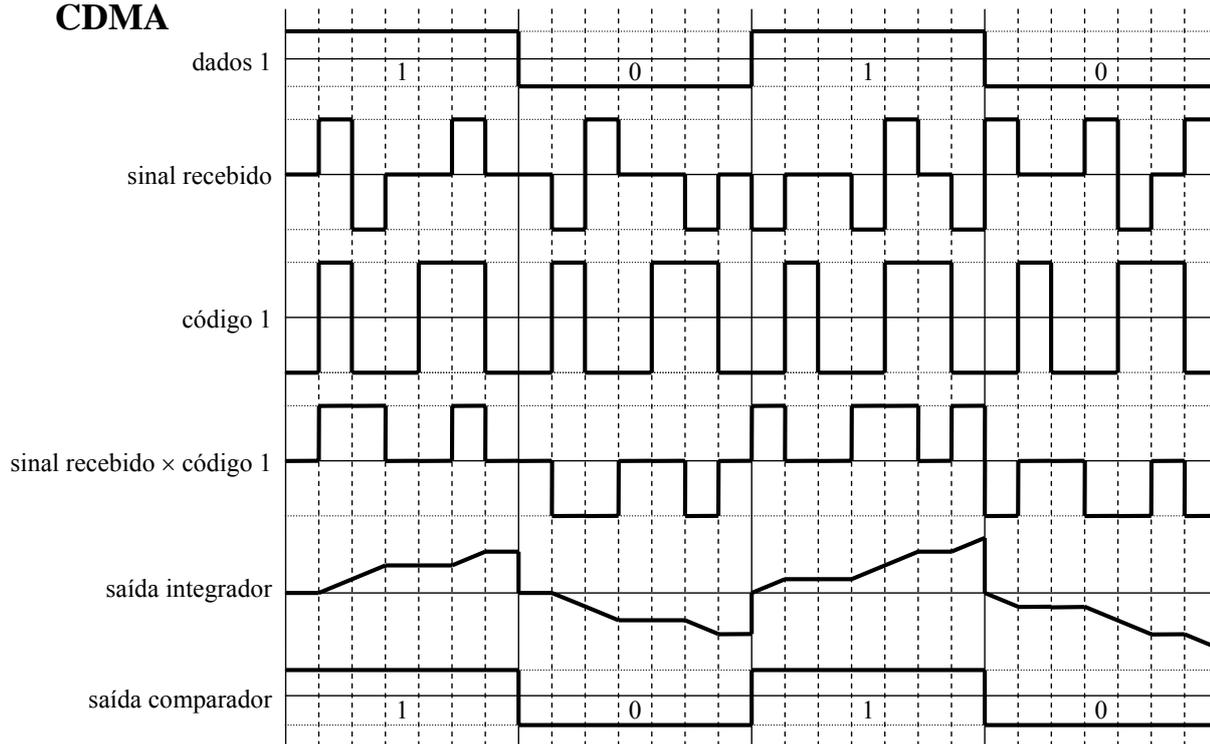
# Acesso ao meio

## CDMA



## Acesso ao meio

### CDMA

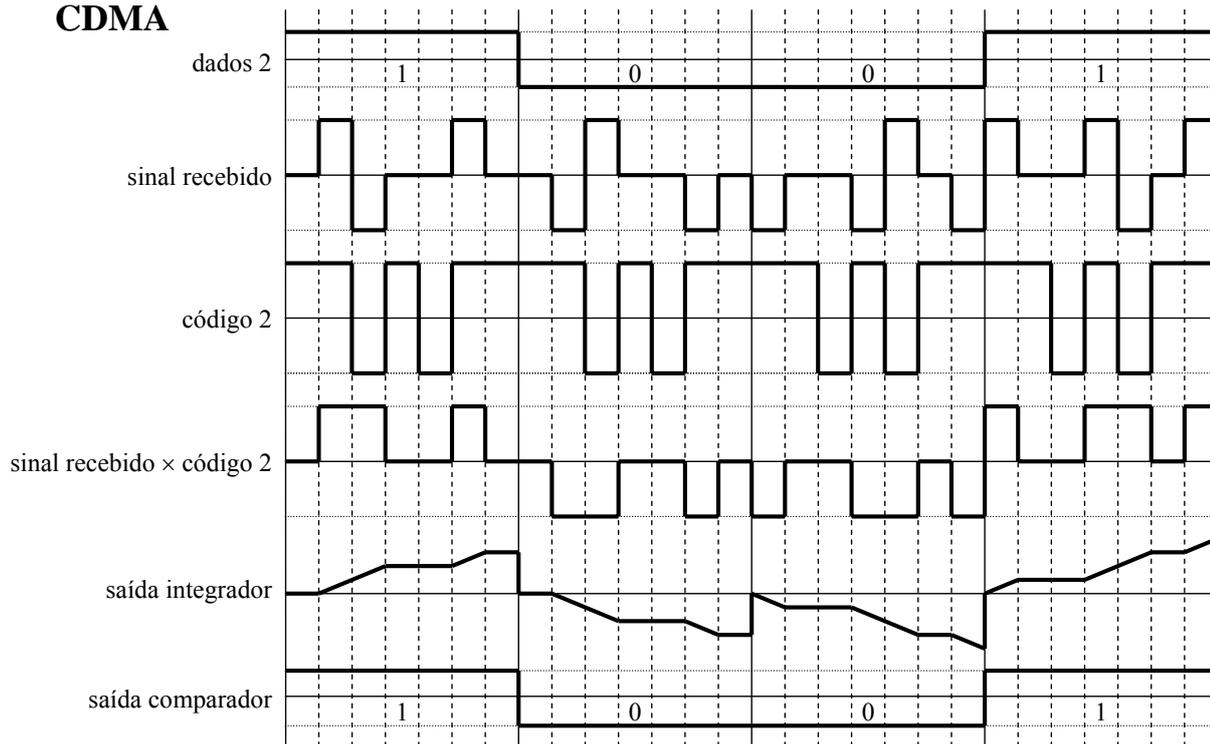


Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Acesso ao meio

### CDMA

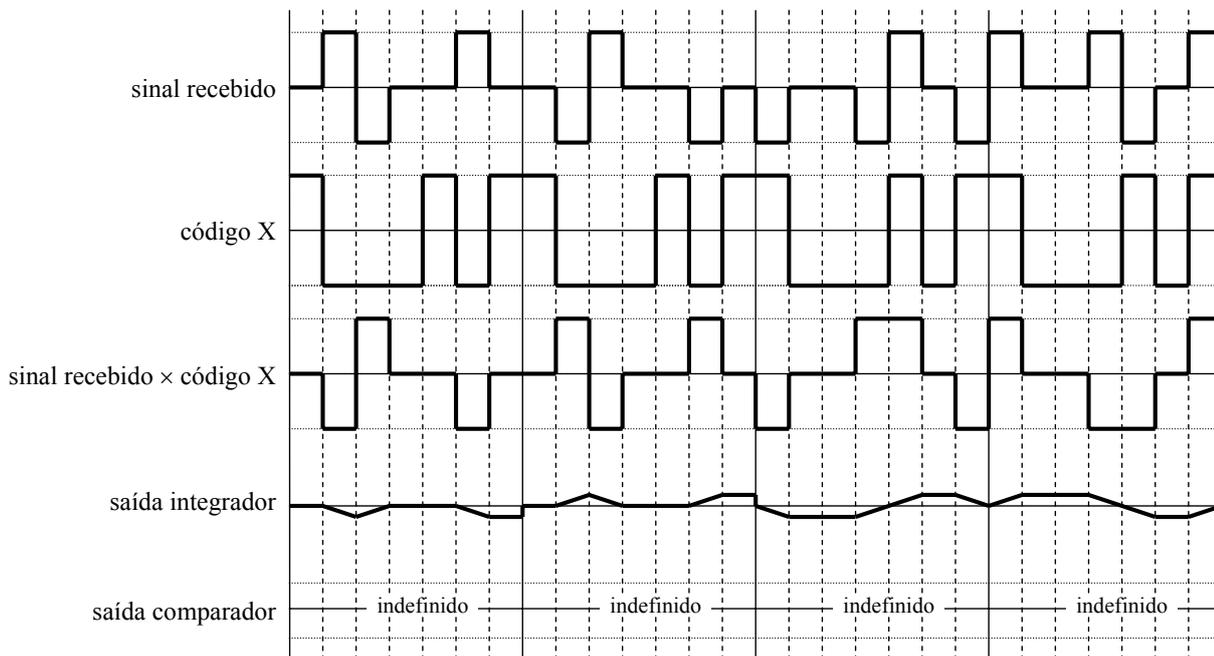


Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

# Acesso ao meio

## CDMA



# Acesso ao meio

## CDMA

### Capacidade do sistema

Relação  $E_b/N_0$ :  
caso geral

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_k/R_b}{FkT_0 + B^{-1} \sum_{i \neq k} P_i}$$

relação  $E_b/N_0$  degrada-se com o aumento de canais

Caso particular de dois canais:  
ruído térmico desprezado

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B}{R_b} \frac{P_1}{P_2}$$

potências recebidas têm de ser iguais para não degradar  $E_b/N_0$

Relação  $E_b/N_0$ :  
potências recebidas iguais

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P/R_b}{FkT_0 + B^{-1}(N-1)P} = \frac{B/R_b}{FkT_0 B/P + (N-1)}$$

Relação  $E_b/N_0$ :  
potências recebidas iguais e ruído térmico desprezado

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B/R_b}{(N-1)} \approx \frac{B/R_b}{N}$$

$B/R_b$  - factor de expansão de banda ou ganho de processamento

Capacidade do sistema

$$N_{max} = \frac{B/R_b}{(E_b/N_0)_{min}}$$

a capacidade e a relação  $E_b/N_0$  são inversamente proporcionais

## Acesso ao meio

### CDMA

Capacidade do sistema → considerações práticas

- efeito das pausas de comunicação
  - capacidade aumenta de um factor  $1/\nu$  ( $\nu$  - actividade média da fonte)
  - para tráfego de voz considera-se habitualmente  $\nu = 0,38$
- antenas de cobertura sectorial
  - em cada célula a capacidade aumenta de um factor  $S$  igual ao número de sectores
- efeito das interferências entre células
  - caracterizada por  $F = \text{potência total de interferência} / \text{potência de interferência numa célula}$
  - em cada célula a capacidade reduz do factor de reutilização de frequência  $1/F$
  - parâmetro  $F$  depende de muitos aspectos - tipicamente assume-se um valor 1,5 - 1,6

$$N_{max} = \frac{B/R_b}{(E_b/N_o)_{min}} \frac{1}{\nu} S \frac{1}{F}$$

<b>Exemplo de UMTS</b>	$R_b = 15 \text{ kbit/s (voz)}$	$B = 5 \text{ MHz}$	$\nu = 0,38$	$N_{max} \approx 550$
	$c = 256 \text{ chips}$	$E_b/N_o = 5 \text{ dB}$	$S = 3$	
	$R_c = 3\,840 \text{ kchip/s}$		$F = 1,5$	

## Acesso ao meio

### CDMA

Pontos fortes e fracos

- ↑
  - planeamento de frequências desnecessário: toda a banda está disponível em cada célula
  - não há um limite rígido de capacidade - há apenas um aumento contínuo da interferência resultante da ocupação crescente de canais
  - acesso simples sem necessidade de atribuição de canais ou intervalos de tempo
  - tem imunidade inerente a multi-percursos (afectam apenas uma parte do espectro)
  - explora inerentemente os períodos de inactividade de canal (ex: pausas de voz)
  - permite suportar a transferência de célula com maior facilidade
  - incorpora protecção inerente contra intrusos na comunicação

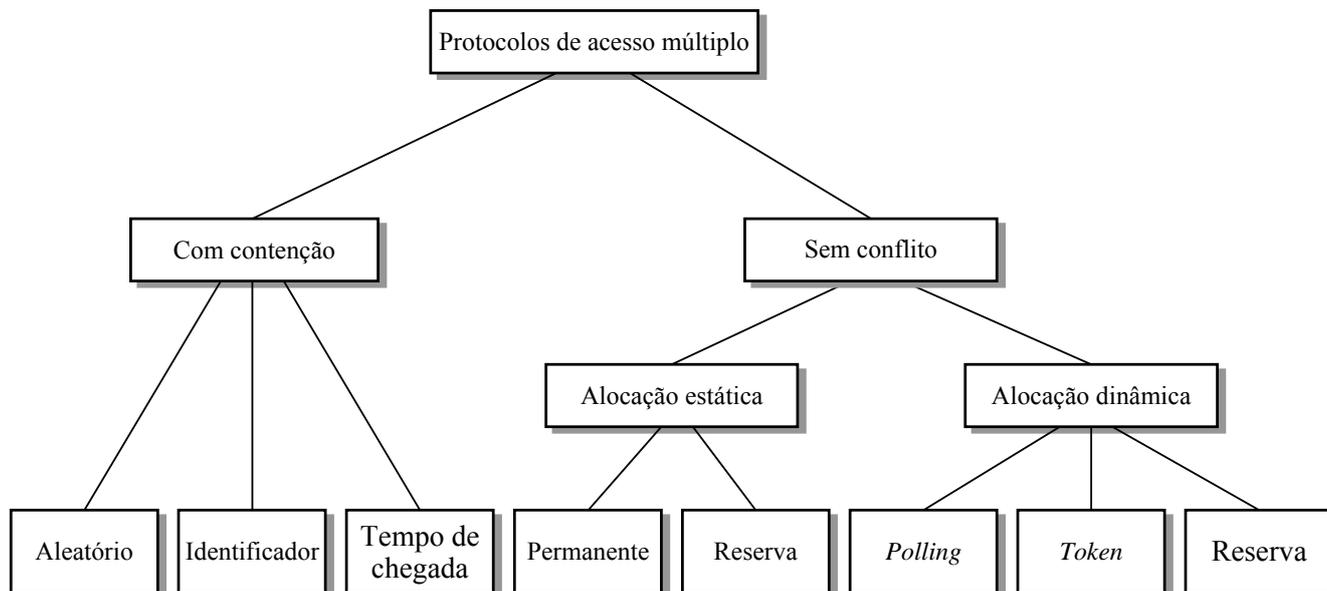
- ↓
  - exige controlo de potência preciso
  - tem maior complexidade
  - difícil suportar serviços de débito mais elevado (exige, por exemplo, códigos múltiplos)

Aplicações

- utilizado em sistemas de 2ª geração (IS-95)
- utilizado em sistemas de 3ª geração

UMTS

## Classificação de protocolos



Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

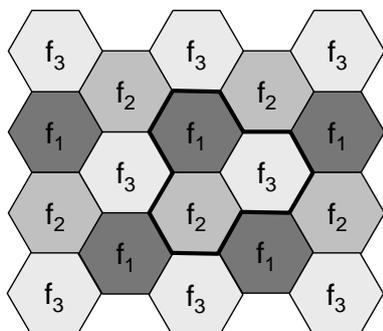
## Planeamento de frequências

### Atribuição de frequências em sistemas FDMA / TDMA

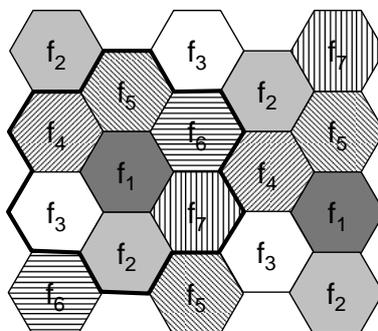
Atribuição baseada na estrutura celular

- a capacidade total é dividida em conjuntos de frequências, atribuídos a células
- um conjunto de frequências pode ser reutilizado em células distantes

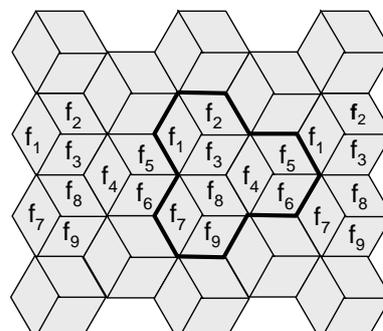
reutilização  
de frequência



Grupo de 3 células



Grupo de 7 células

Grupo de 3 células com  
antenas de 3 sectores

### Modelos de atribuição de frequências

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## *Planeamento de frequências*

### **Atribuição de frequências em sistemas FDMA / TDMA**

- Atribuição fixa de frequências

Princípio de operação

- cada chamada usa apenas as frequências da célula local

Pontos fortes e fracos

↑ – simplicidade de operação

↓ – dificuldade de planeamento  
 – inflexibilidade para contemplar flutuações de tráfego (em chamadas e banda)  
 – probabilidade de bloqueio elevada

Aplicações

- técnica usada na 1ª geração de sistemas móveis baseada em macrocélulas
- inadequada para sistemas de alta capacidade

## *Planeamento de frequências*

### **Atribuição de frequências em sistemas FDMA / TDMA**

- Atribuição dinâmica de frequências

Princípio de operação

- atribuição depende da utilização de frequências na célula da área e nas células vizinhas

Pontos fortes e fracos

↑ – maior facilidade de planeamento  
 – flexibilidade para contemplar flutuações de tráfego (em chamadas e banda)  
 – reduz probabilidade de bloqueio

↓ – maior complexidade de operação

Aplicações

- técnicas usada em sistemas de 2ª geração
- diversas variantes

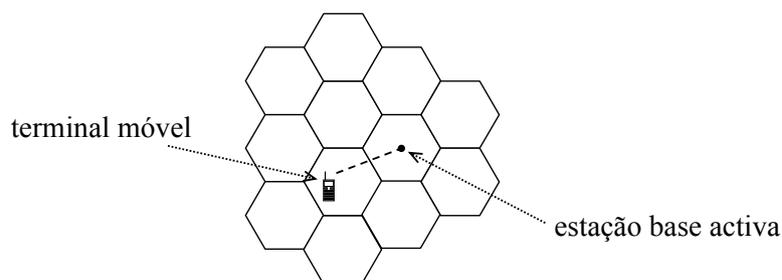
## Planeamento de frequências

### Atribuição de frequências em sistemas FDMA / TDMA

- Atribuição dinâmica de frequências

Estratégia de macrodiversidade

- é uma evolução da atribuição fixa de frequências
- quando é originada uma chamada, é seleccionada a estação base mais favorável
- se todas as frequências estiverem ocupados, é escolhida a segunda mais favorável; etc.
- se for escolhida uma estação base distante, a potência transmitida terá de ser maior e as interferências sobre outros canais aumentam



**Estação móvel servida por uma estação base distante**

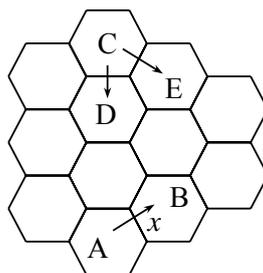
## Planeamento de frequências

### Atribuição de frequências em sistemas FDMA / TDMA

- Atribuição dinâmica de frequências

Estratégia de "empréstimo" de frequências

- uma célula com necessidade de frequências vai pedi-las "emprestadas" a células vizinhas
- este procedimento conduz à necessidade de inibir a reutilização da frequência "emprestada" em células a uma distância menor do que a chamada distância de reutilização
- a estação base está sempre próxima da estação móvel: reduz-se a potência transmitida



**Empréstimo de frequências:**

(a frequência  $x$  é emprestada da célula A para B; não pode ser emprestada por C para D ou E)

## Planeamento de frequências

### Atribuição de frequências em sistemas FDMA / TDMA

- Atribuição dinâmica de frequências

Estratégia de alocação flexível de frequências

- algumas frequências são permanentemente atribuídos a estações base, enquanto outras estão alocadas a um grupo de frequências dinâmicas geridas pelo controlador de estações base
- as frequências dinâmicas são usadas quando as frequências permanentes de uma célula estão ocupadas
- atribuição de frequências é efectuada de acordo com uma função de custo que inclui as condições de interferência e probabilidade de bloqueio futuro

Estratégia de alocação adaptativa de frequência

- no limite, todos as frequências podem ser usados em cada célula
- o algoritmo de atribuição de frequências é executado em cada chamada
  - estação base e terminal monitoram as ligações ascendente e descendente, respectivamente procuram as frequências que minimizam a interferência
- prescinde de qualquer plano de frequências
- exige tecnologia mais desenvolvida

Mário Jorge M Leitão

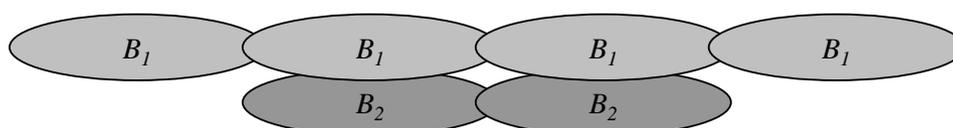
Redes de Comunicação Móvel

## Planeamento de frequências

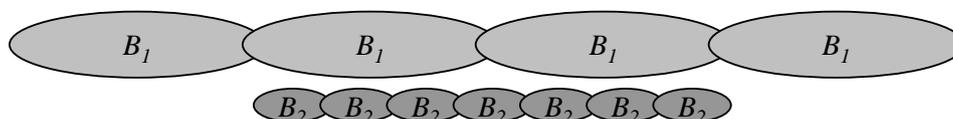
### Atribuição de bandas em sistemas FDMA / CDMA

Atribuição de bandas de frequências

- em CDMA não há atribuição de frequências → os canais ocupam uma banda muito larga
- é apenas necessário efectuar a atribuição de 2 ou 3 bandas em que opera o método CDMA
- várias estratégias possíveis



Atribuição de duas bandas em regiões com elevado tráfego



Atribuição de duas bandas com diferentes tipos de cobertura

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

*Intencionalmente em branco*

## *Gestão de mobilidade*

---

### **Objectivos da gestão de mobilidade**

#### Localização

- o sistema tem de indicar a posição do utilizador para permitir o aviso da chegada de chamadas e o respectivo encaminhamento

#### Transferência de canais (*handover*)

- o sistema tem de assegurar a continuidade da ligação quando o utilizador se movimenta na área coberta pela rede

### **Localização**

#### Actualização da localização

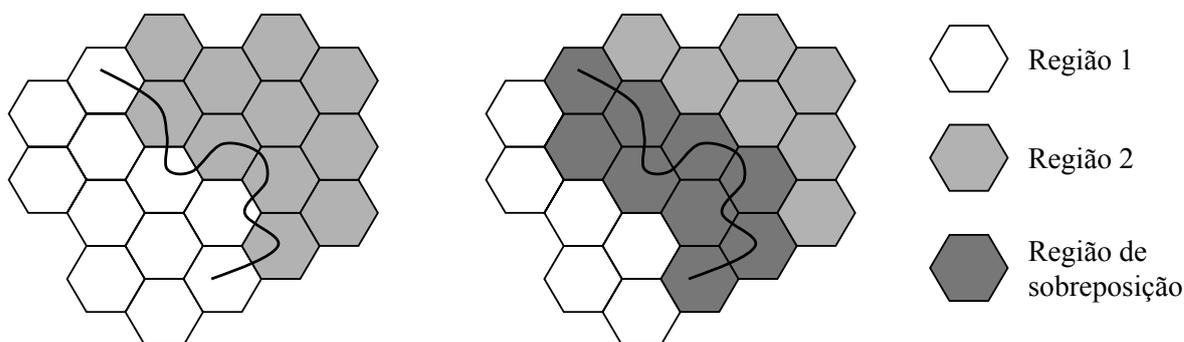
- ocorre quando o utilizador se quando entra numa nova área
- estações base difundem regularmente a identificação da sua localização, no canal de difusão
- o terminal móvel recebe esta informação e quando detecta uma alteração de localização reporta a sua nova localização para a estação base
- esta envia a informação da nova localização para o correspondente VLR e este notifica por sua vez o HLR do utilizador

## Gestão de mobilidade

### Localização

#### Especificação da localização

- para evitar actualizações excessivas, a localização é definida, não ao nível de célula individual, mas de um conjunto de células ou região
- uma redução adicional de actualizações pode ser feita admitindo um certo grau de sobreposição de regiões, evitando alterações frequentes nas travessias de fronteiras



Regiões sobrepostas: efeito na redução de actualizações de localização

## Gestão de mobilidade

### Transferência rígida de canais (*hard handover*)

#### Caracterização

*hard handover* → a conexão anterior e a nova conexão nunca estão activas em simultâneo

- processo de alteração de canal de forma transparente para o utilizador
- inclui alteração de frequência, intervalo de tempo ou código, dependendo do esquema de acesso múltiplo adoptado
- visa manter a qualidade da ligação ou proporcionar um melhor serviço

#### Fases de transferência

- iniciação: tomada de decisão de transferência de canais
- execução: atribuição efectiva de recursos na estação base

#### Tipos de transferência

##### – intra-célula

estação base mantém-se  
alteram-se os recursos rádio atribuídos ao utilizador

##### – inter-células

a ligação passa a ser suportada por uma nova estação base

## Gestão de mobilidade

### Transferência rígida de canais (*hard handover*)

- Fase de iniciação

Critérios para iniciar uma transferência

- qualidade da ligação
  - deterioração da qualidade de serviço do canal em uso na célula corrente (transferência intra-célula)
  - atravessamento de limites de células (transferência inter-células)
- otimização da rede
  - necessidade de alterar a alocação de recursos corrente para acomodar mais utilizadores ou equilibrar a carga entre células (transferências inter-células ou intra-célula)

Frequência de transferências

- o elevado número de utilizadores e a adopção de picocélulas, associadas a condições de propagação muito variáveis, fazem aumentar drasticamente a frequência de transferências
- exige-se a adopção de algoritmos robustos que minimizem as transferências, sem comprometer a qualidade de serviço

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

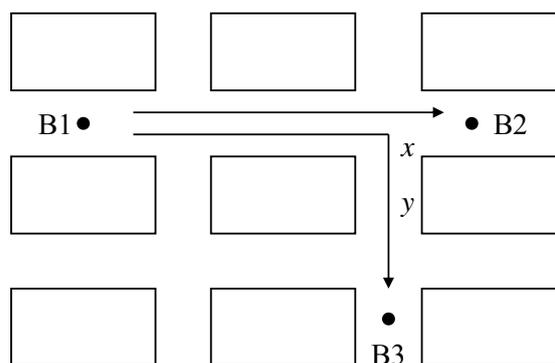
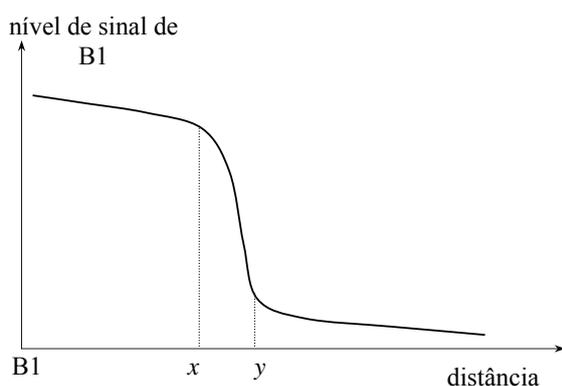
## Gestão de mobilidade

### Transferência rígida de canais (*hard handover*)

- Fase de iniciação

Transferência entre duas estações base baseadas na qualidade

- em linha de vista (entre B1 e B2)
  - tempo de transferência não é crítico
- sem linha de vista (entre B1 e B3)
  - como o sinal desce rapidamente ao perder a linha de vista, é necessário uma transferência rápida.



Transferência em linha de vista e sem linha de vista

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Gestão de mobilidade

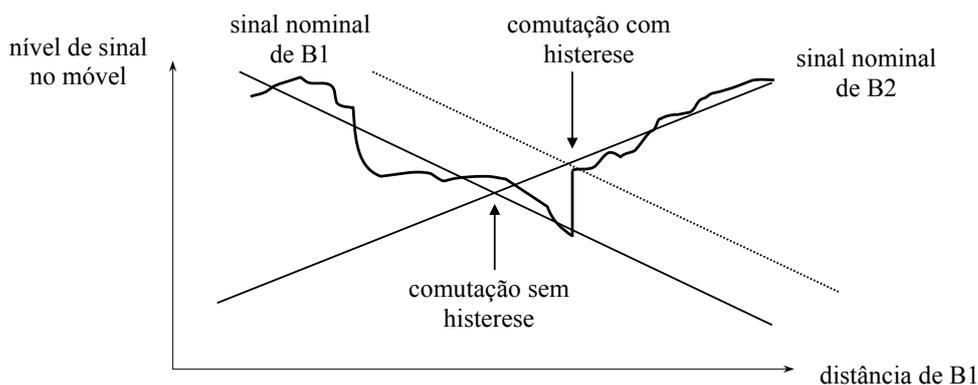
### Transferência rígida de canais (*hard handover*)

#### • Fase de iniciação

Aplicação de critérios de qualidade

- utiliza-se o nível de sinal, mas também a taxa de erros e a razão portadora-interferência
- aplica-se uma janela de média para remover flutuações rápidas
- estabelece-se um certo grau de histerese

evitam-se transferências prematuras



**Ilustração da histerese na decisão de transferência**

## Gestão de mobilidade

### Transferência rígida de canais (*hard handover*)

#### • Fase de execução

Princípio base da execução de transferências

- uma transferência deve ser executada o mais rapidamente possível
- uma transferência tem prioridade sobre novas chamadas

Atribuição de canais para execução de transferências

- canal reservado
  - alguns canais numa estação base são reservados para transferências
- tentativas
  - são feitas tentativas até ser obtido um canal livre
- fila de espera
  - os pedidos são colocados numa fila de espera de tipo FIFO
  - possível alteração dinâmica de ordem, imposta por medidas de degradação de qualidade

## Gestão de mobilidade

### Transferência rígida de canais (*hard handover*)

#### • Fase de execução

Processos de execução de transferência

- NCHO: *Network Controlled Handover*  
Controlo total da rede

- sinalização elevada
- tempo de transferência elevado
- medidas de qualidade na estação base
- utilizado em sistemas de 1ª geração

GSM  
UMTS  
(inter-  
banda)

- MAHO: *Mobile Assisted Handover*  
Controlo da rede com cooperação  
do terminal móvel

- sinalização elevada
- tempo de transferência reduzido
- medidas de qualidade na estação base e no terminal móvel
- utilizado em sistemas de 2ª e 3ª geração

- MCHO: *Mobile Controlled Handover*  
Controlo do terminal móvel

- sinalização baixa
- tempo de transferência muito reduzido
- medidas de qualidade na estação base e no terminal móvel
- utilizado em sistemas de 2ª e 3ª geração

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Gestão de mobilidade

### Tipos de processos de transferência rígida de canais (*hard handover*)

Protocolo	Acções dos elementos de rede			Tipo Handover	Carga Sinalização	Tempo Handover
	Estação móvel (MS)	Estação base (BS)	Controlador de BS (BSC)			
NCHO	Passiva	Monitora a qualidade da conexão corrente Envia medidas para BSC	Decide <i>handover</i> Informa nova BS	Inter-célula	Elevada	Vários segundos
MAHO	Monitora a qualidade em canais da célula presente e vizinhas Envia medidas para BS	Monitora a qualidade em canais da célula presente Decide <i>handover</i> e informa BSC ou Envia medidas para BSC	Supervisiona o <i>handover</i> e informa nova BS ou Decide <i>handover</i> e informa nova BS	Inter-célula Intra-célula	Elevada	< 1 s
MCHO	Monitora a qualidade em canais da célula presente e vizinhas Decide <i>handover</i> e informa BS	Monitora a qualidade em canais da célula presente Envia medidas para MS Informa BSC sobre decisão de <i>handover</i>	Supervisiona o <i>handover</i> e informa nova BS	Inter-célula Intra-célula	Baixa	<100 ms

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Gestão de mobilidade

### Transferência suave de canais (*soft handover*)

Caracterização

*soft handover* → a conexão anterior e a nova conexão estão activas em simultâneo

UMTS  
(intra-  
banda)

– usa técnicas semelhantes às de *hard handover*

MAHO

DECT

MCHO

- transmissão em simultâneo por dois ou mais canais permite várias estratégias de optimização
- tempo de comutação é minimizado

Estratégia de validação prévia

DECT

– estação móvel

mantém lista de canais livres com qualidade  
selecciona canal "ótimo" e transmite nesse canal

– estação base

determina qual das duas ligações tem melhores condições durante um certo período  
comuta para a nova ligação e liberta a anterior

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel

## Gestão de mobilidade

### Transferência suave de canais (*soft handover*)

Estratégia de diversidade de estações base

- estações base e estação móvel determinam continuamente qualidade das ligações base-móvel
- as ligações em boas condições são adicionadas ao chamado conjunto activo
- as ligações degradadas não são incluídas no conjunto activo
- eventualmente o conjunto activo pode ser limitado a um número máximo de estações base
- controlador de estações base selecciona o sinal mais favorável do conjunto activo
- exige controlo de potência em múltiplas ligações
- especialmente adequado a CDMA

UMTS

Estratégia de diversidade de antenas

utilizável em conjunto com estratégias anteriores

UMTS

- adequada especialmente a células divididas em sectores
- múltiplas antenas recebem o mesmo sinal
- estação base compara permanentemente os sinais e selecciona o mais favorável
- possível adicionar os sinais recebidos com um receptor RAKE

Mário Jorge M Leitão

Redes de Comunicação Móvel