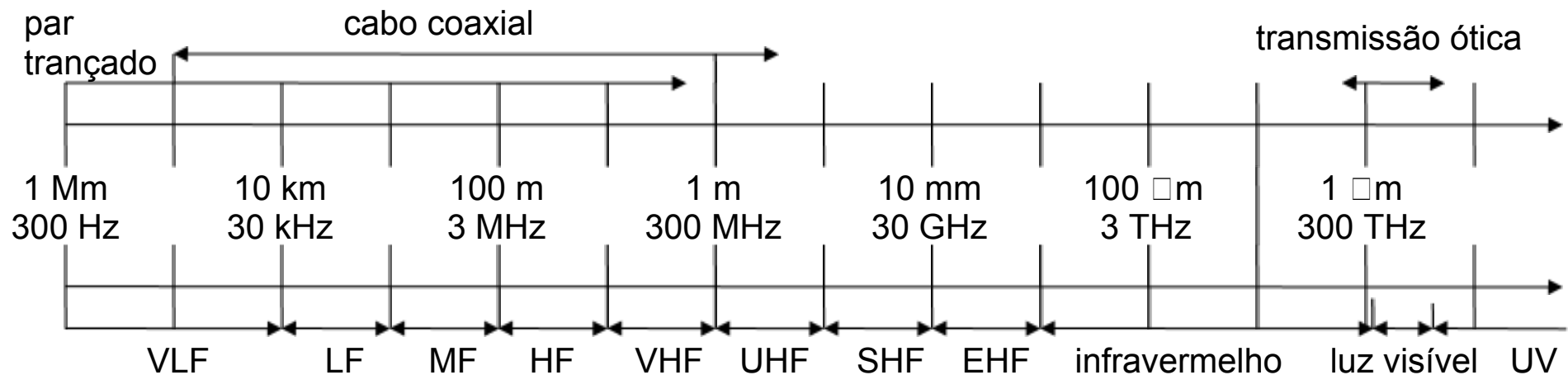

Redes Sem Fio

Transmissão Sem Fio

Freqüências para comunicação



VLF = Very Low Frequency UHF = Ultra High Frequency

LF = Low Frequency SHF = Super High Frequency

MF = Medium Frequency EHF = Extra High Frequency

HF = High Frequency UV = Ultraviolet Light

VHF = Very High Frequency

Freqüência e comprimento de onda:

$$\lambda = c/f$$

λ : comprimento de onda, f : freqüência, c : velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

Frequências para comunicação móvel

- **VHF/UHF: faixas para rádio móvel**

- simples, antenas pequenas
- características de propagação determinísticas: conexões confiáveis

- **SHF e acima: enlaces de rádio direcionais e comunicação via satélite**

- pequenas antenas, requer foco preciso
- alta largura de banda disponível

- **Redes locais sem fio (WLANs) usam frequências na faixa de UHF a SHF**

- alguns sistemas são planejados para EHF
 - limitações devido a absorções por moléculas de água e oxigênio (em frequências de ressonância)
 - atenuação dependente das condições de tempo (ex.: altas taxas de perda causadas por chuvas fortes)
-

Frequências e regulação

O uso do espectro de frequências é regulado pelo ITU-R (leilões, concessões, etc.),

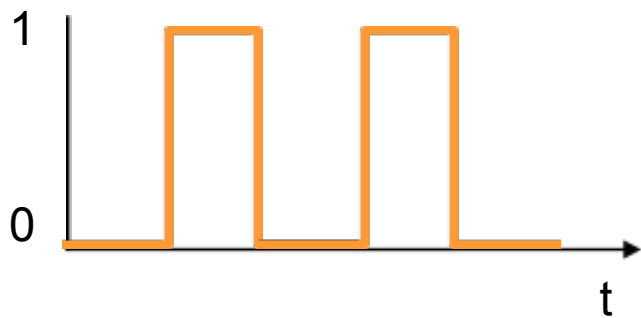
além de organismos nacionais afiliados (ex.: Anatel no Brasil)

Examples	Europe	USA	Japan
Cellular phones	GSM 880-915, 925-960, 1710-1785, 1805-1880 UMTS 1920-1980, 2110-2170	AMPS, TDMA, CDMA, GSM 824-849, 869-894 TDMA, CDMA, GSM, UMTS 1850-1910, 1930-1990	PDC, FOMA 810-888, 893-958 PDC 1429-1453, 1477-1501 FOMA 1920-1980, 2110-2170
Cordless phones	CT1+ 885-887, 930-932 CT2 864-868 DECT 1880-1900	PACS 1850-1910, 1930-1990 PACS-UB 1910-1930	PHS 1895-1918 JCT 245-380
Wireless LANs	802.11b/g 2412-2472	802.11b/g 2412-2462	802.11b 2412-2484 802.11g 2412-2472
Other RF systems	27, 128, 418, 433, 868	315, 915	426, 868

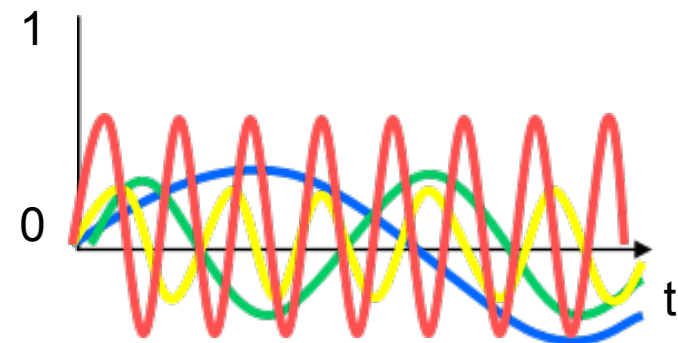
- **Representação física dos dados**
- **Em função do tempo e da localização**
- **Parâmetros de sinal: representam os valores dos dados transmitidos**
- **Classificação**
 - no tempo: contínuo ou discreto
 - valores: contínuos ou discretos
 - sinal analógico: contínuo no tempo e nos valores
 - sinal digital: discreto no tempo e nos valores
- **Parâmetros de sinal para sinais periódicos**
 - período T , frequência $f=1/T$, amplitude A , fase ϕ
 - onda senoidal: sinal periódico, usado como portadora
$$s(t) = A \sin(2\pi f_t t + \phi_t)$$

Representação de Fourier para sinais periódicos

$$g(t) = \frac{1}{2}c \left[\sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \right]$$



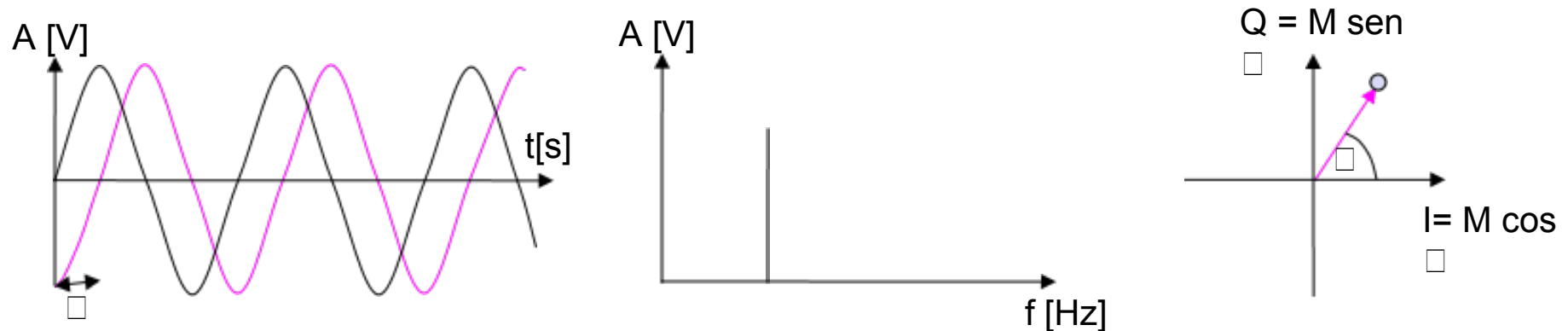
Sinal periódico ideal



Composição real
(baseada em harmônicas)

- **Diferentes representações de sinais**

- **no domínio da amplitude:** variações de potência do sinal
- **no domínio da frequência:** espectro de frequências
- **diagrama de fases** (amplitude M e fase ϕ em coordenadas polares)



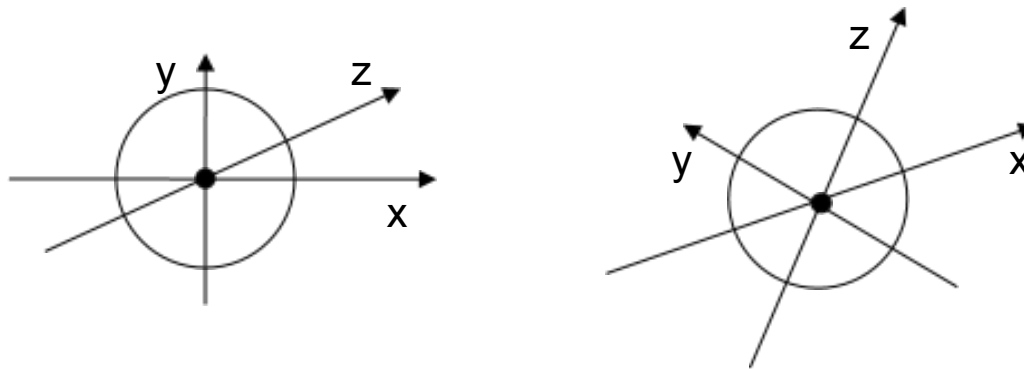
- **Sinais compostos são transferidos para o domínio da frequência aplicando a transformação de Fourier**

- **Sinais digitais necessitam**

- **infinitas frequências** para transmissão perfeita
- modulação com uma **frequência portadora** para transmissão (na forma de um sinal analógico!)

Antena: irradiador isotrópico

- Irradiação e recepção de ondas eletromagnéticas, fazendo o contato entre cabos condutores e o espaço de transmissão de rádio
- Irradiador isotrópico: irradiação em níveis iguais em todas as direções (tri-dimensional) – embora apenas um modelo teórico
- Antenas reais possuem efeitos direcionais (distorções verticais ou horizontais)
- Padrão de irradiação: medida da radiação em torno de uma antena



irradiador
isotrópico
o
ideal

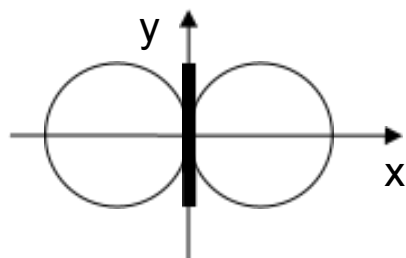
Antenas: dispositivos bipolares simples

- Antenas reais não são irradiadores isotrópicos mas dispositivos bipolares com comprimento $\lambda/4$ ou $\lambda/2$ (dipolo de Hertz)

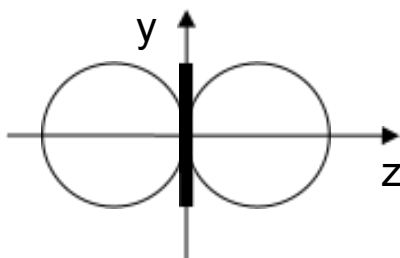
- a forma da antena é proporcional ao comprimento de onda



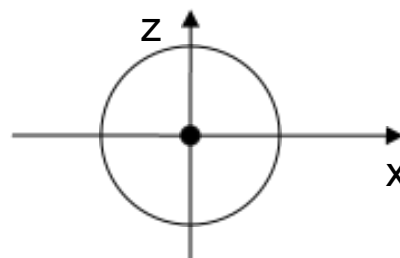
- Exemplo: padrão de irradiação de um dipolo Hertziano simples



side view (xy-plane)



side view (yz-plane)



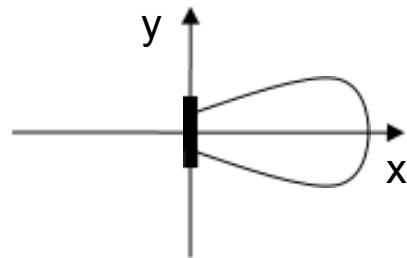
top view (xz-plane)

simple
dipole

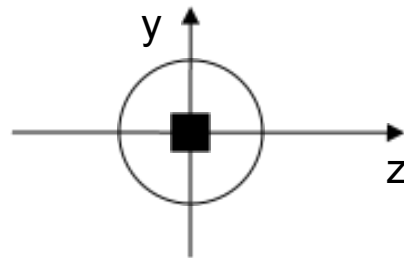
- Ganho: potência máxima na direção do lobo principal comparada à potência de um irradiador isotrópico (com a mesma potência de transmissão média)

Antenas: direcionais e setorizadas

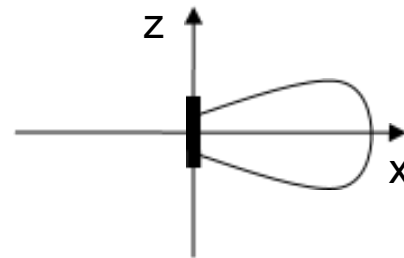
Freqüentemente usadas para conexões microondas ou por estações-base para telefonia móvel



side view (xy-plane)

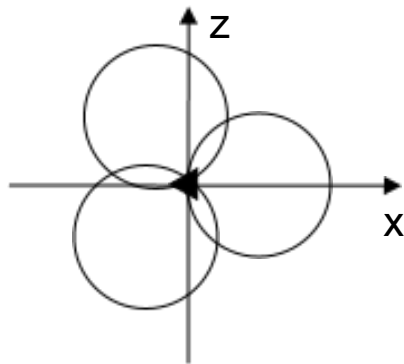


side view (yz-plane)

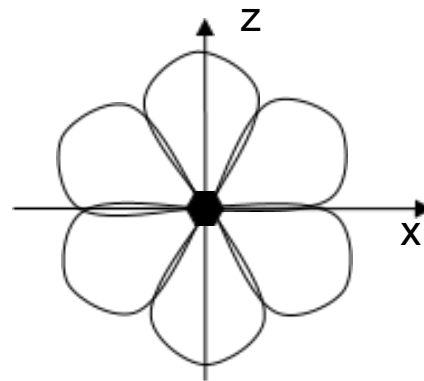


top view (xz-plane)

antena
direcional



top view, 3 sector



top view, 6 sector

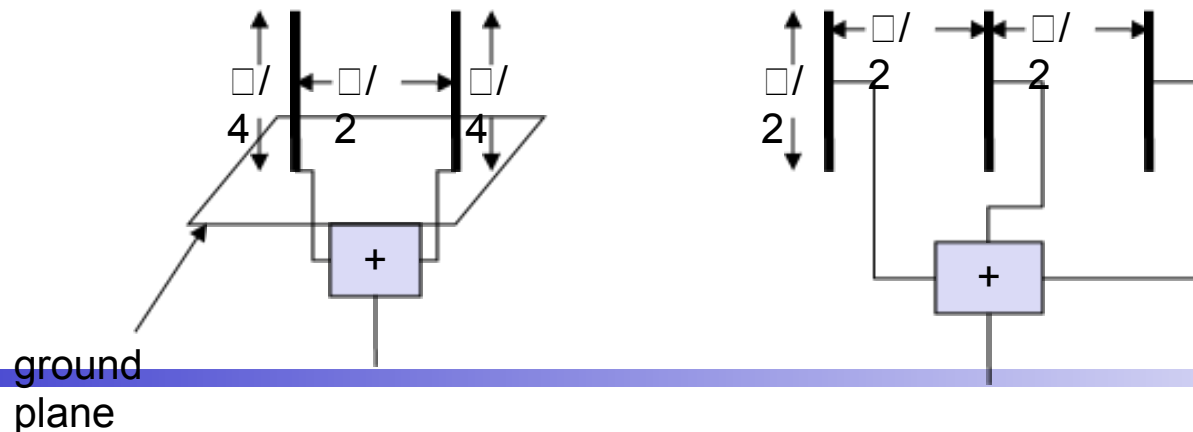
antena
setorizada

- **Agrupamento de 2 ou mais antenas**

- antenas multi-elementos

- **Diversidade de antenas**

- várias antenas com chaveamento e seleção
 - receptor escolhe a antena que consegue captar o sinal com maior potência
 - combinação de antenas
 - combina-se a potência resultante das antenas para produzir melhor ganho
 - é necessário compensar diferenças de fase para evitar cancelamento do sinal



Cobertura de propagação de sinais

Zona de transmissão

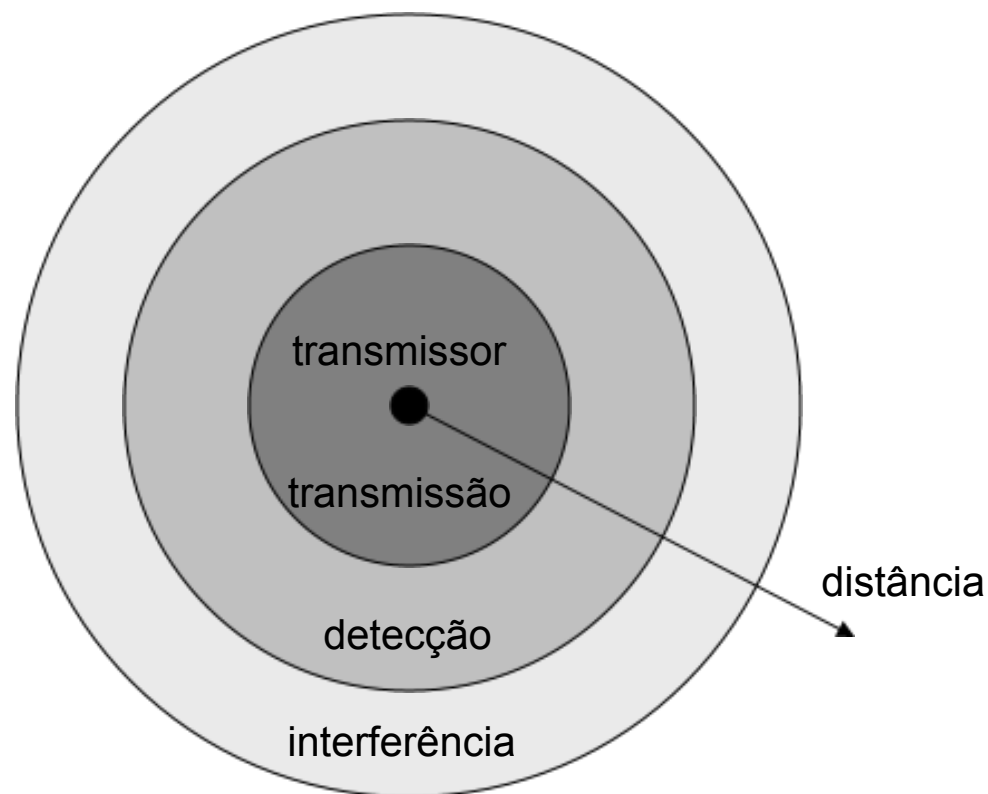
- comunicação é possível
- baixa taxa de erros

Zona de detecção

- detecção do sinal é possível
- nenhuma comunicação é possível

Zona de interferência

- o sinal pode não ser detectado
- mas soma-se ao ruído de fundo



Propagação de sinais

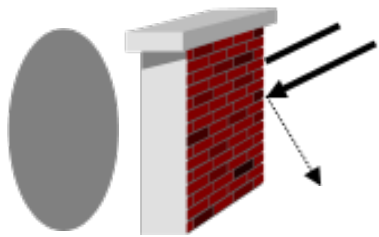
Propagação em espaço livre: como a luz (em linha reta)

Potência de recepção: proporcional a $1/d^2$

(d = distância entre transmissor e receptor)

A potência de recepção: também influenciada por:

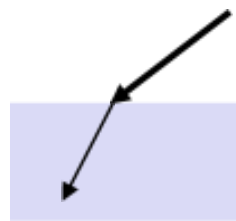
- “fading” (dependente da frequência)
- sombreamento
- reflexão em grandes obstáculos
- refração, dependendo da densidade do meio
- espalhamento em pequenos obstáculos
- difração nas bordas de obstáculos



sombreamento
O



reflexão



refração

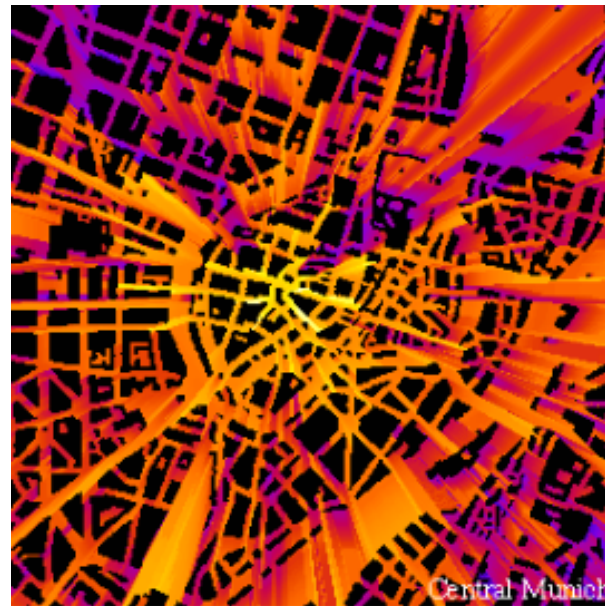
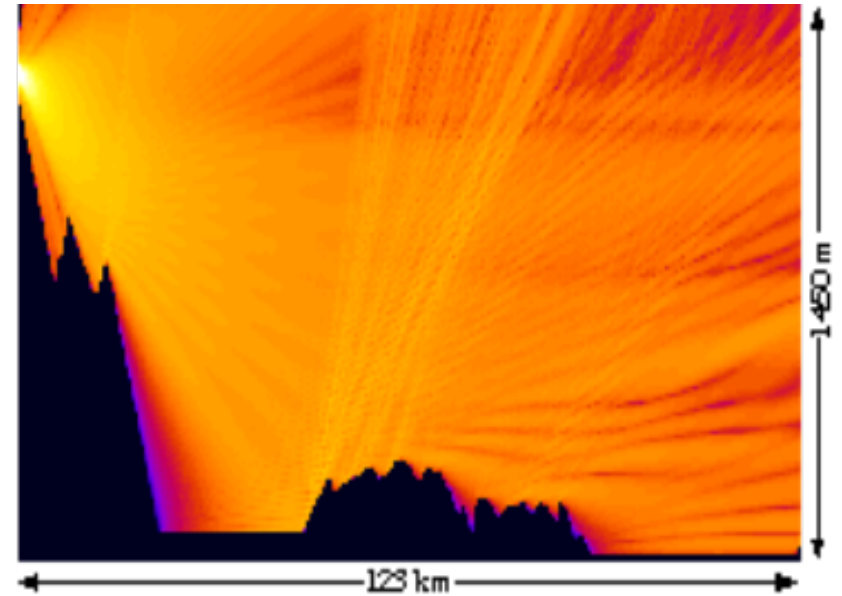
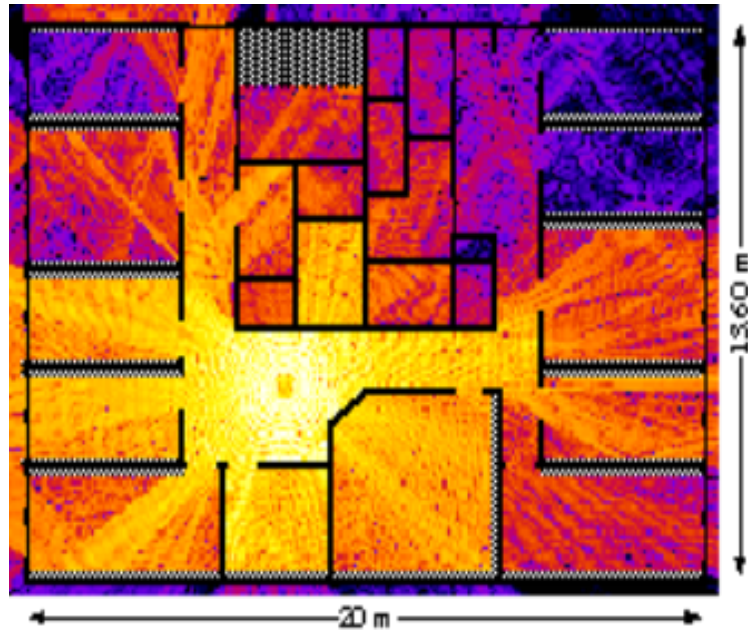


espalhamento



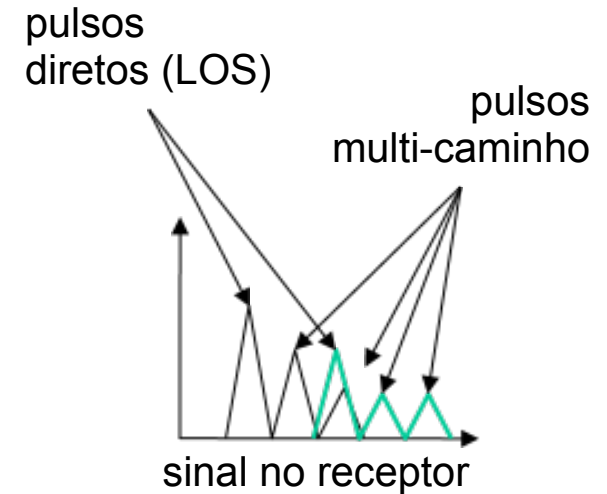
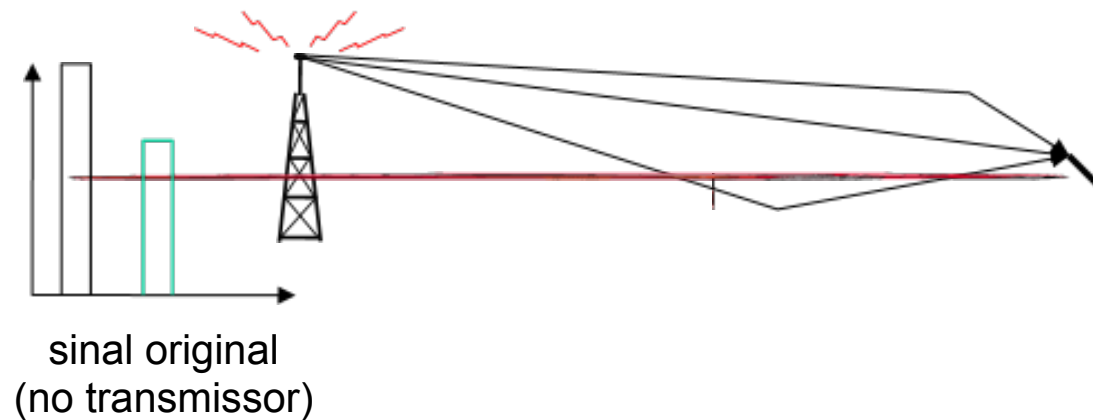
difração
O

Exemplos do mundo real



Propagação multi-caminhos

O sinal pode percorrer diferentes caminhos entre o transmissor e o receptor devido a: reflexão, espalhamento e difração



Dispersão no tempo: várias “partes” do sinal são recebidos em instantes diferentes

- interferência com símbolos vizinhos (Inter Symbol Interference)

Cada parte do sinal chega ao receptor com uma fase diferente

- gera distorção do sinal original, dependendo das fases de suas diferentes partes

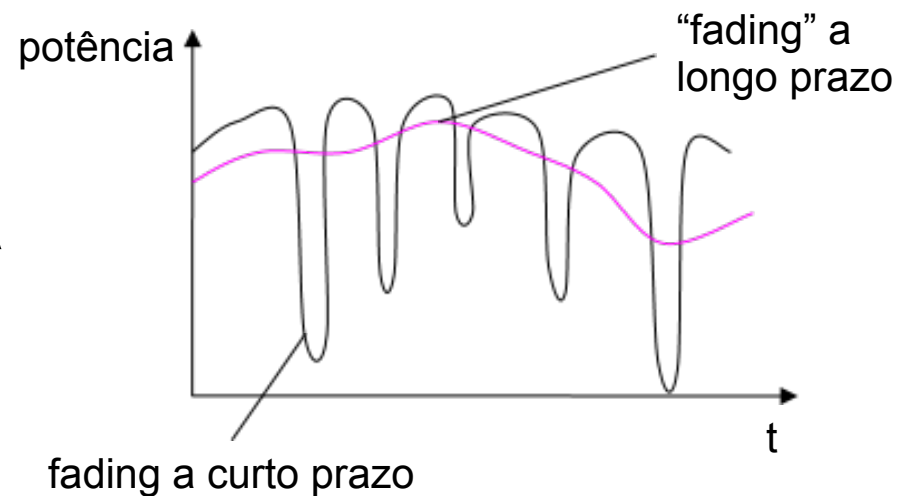
Efeitos da mobilidade

Características do canal podem mudar com o tempo e a localização

- o caminho seguido pelo sinal pode mudar
- diferentes variações de atraso para as diferentes partes do sinal
- diferentes fases das diferentes partes do sinal
- **Mudanças rápidas na potência de recepção (“fading” de curto prazo)**

Outras mudanças:

- distância do transmissor
- obstáculos no caminho
- **mudanças mais lentas na potência média de recepção (“fading” de longo prazo)**



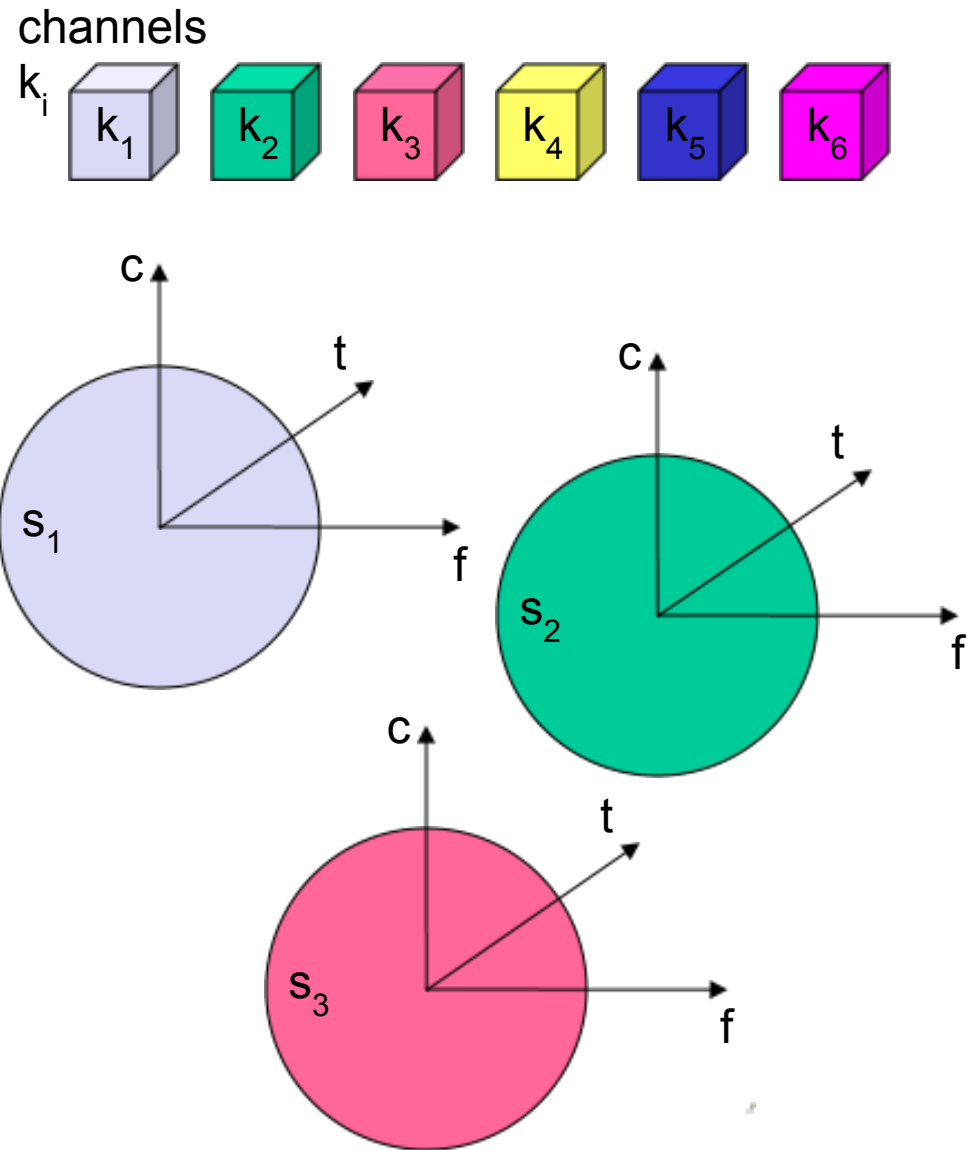
Multiplexação

Multiplexação em 4 dimensões

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

Objetivo: uso múltiplo de um meio compartilhado

Importante: espaços de “guarda” são necessários



Multiplexação na frequência

Separação do espectro total em bandas de frequência menores

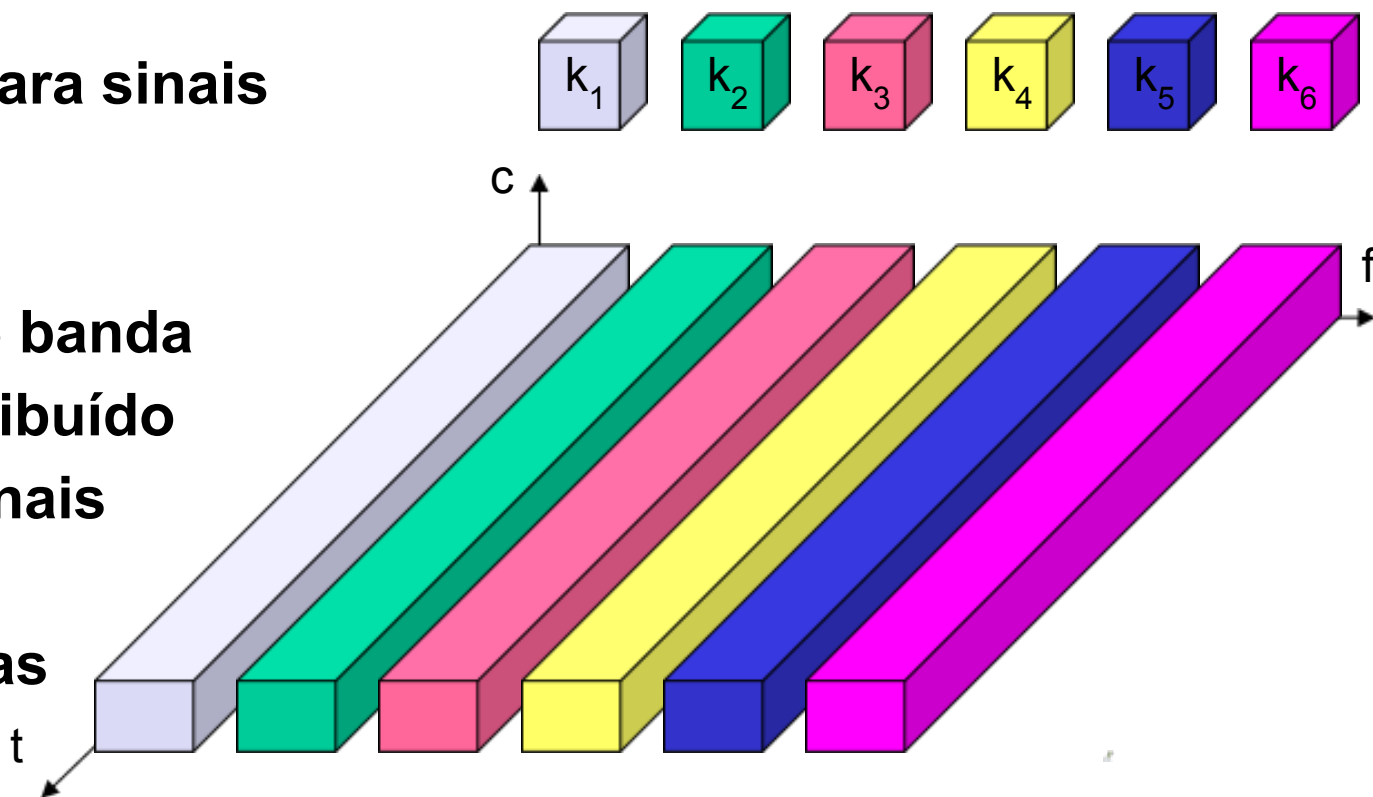
Cada canal detém uma certa banda do espectro o tempo todo

Vantagens:

- não necessita coordenação dinâmica
- funciona também para sinais analógicos

Desvantagens:

- perda de largura de banda se o tráfego não é distribuído igualmente entre os canais
- inflexível
- frequências perdidas para espaços de guarda

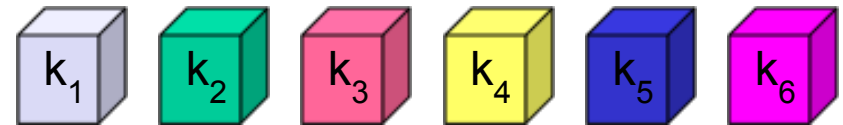


Multiplexação no tempo

Um único canal detém todo o espectro por um certo intervalo de tempo

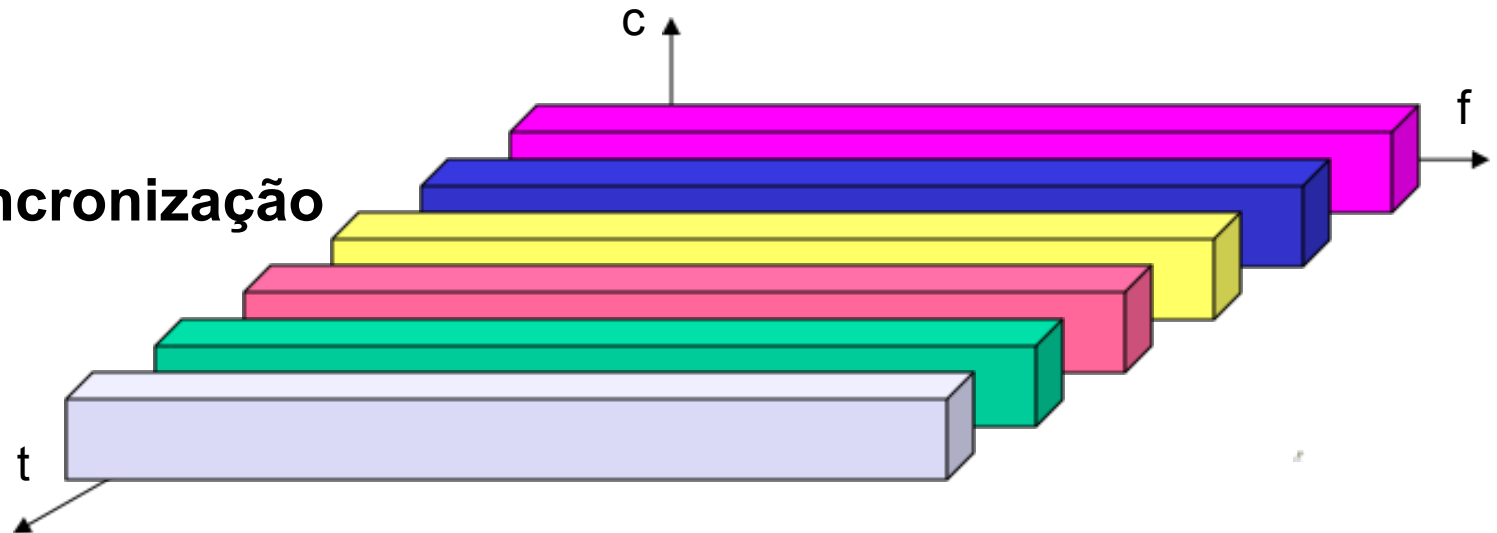
Vantagens:

- apenas uma portadora é necessária em qualquer instante
- vazão alta, mesmo para muitos usuários



Desvantagens:

- necessita sincronização precisa



Multiplexação no tempo e na frequência

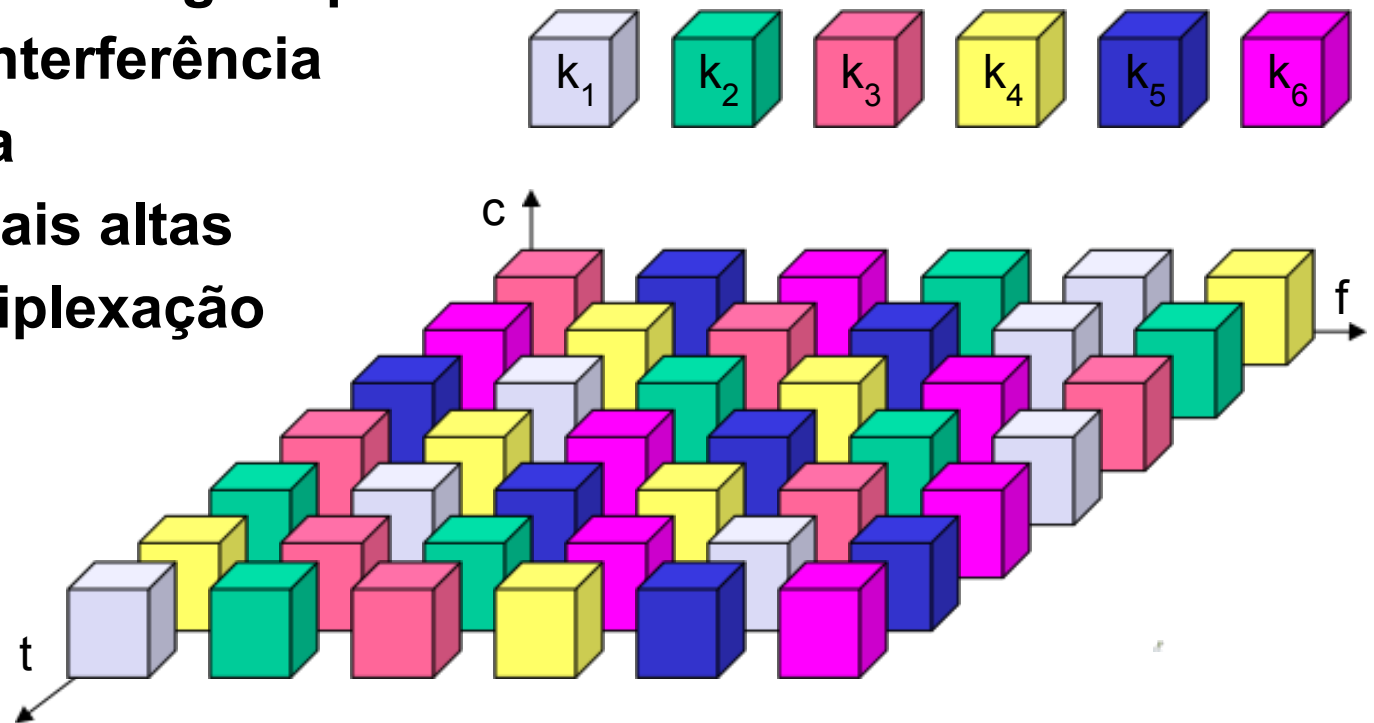
Uma combinação de ambos os métodos

Um canal detém uma certa banda de frequência durante um certo intervalo de tempo

Exemplo: GSM

Vantagens:

- melhor proteção contra grampos
- proteção contra interferência seletiva de frequência
- taxas de dados mais altas comparado com multiplexação de códigos
- Mas: requer coordenação precisa



Multiplexação de códigos

Cada canal utiliza um código único

Todos os canais utilizam o mesmo espectro ao mesmo tempo

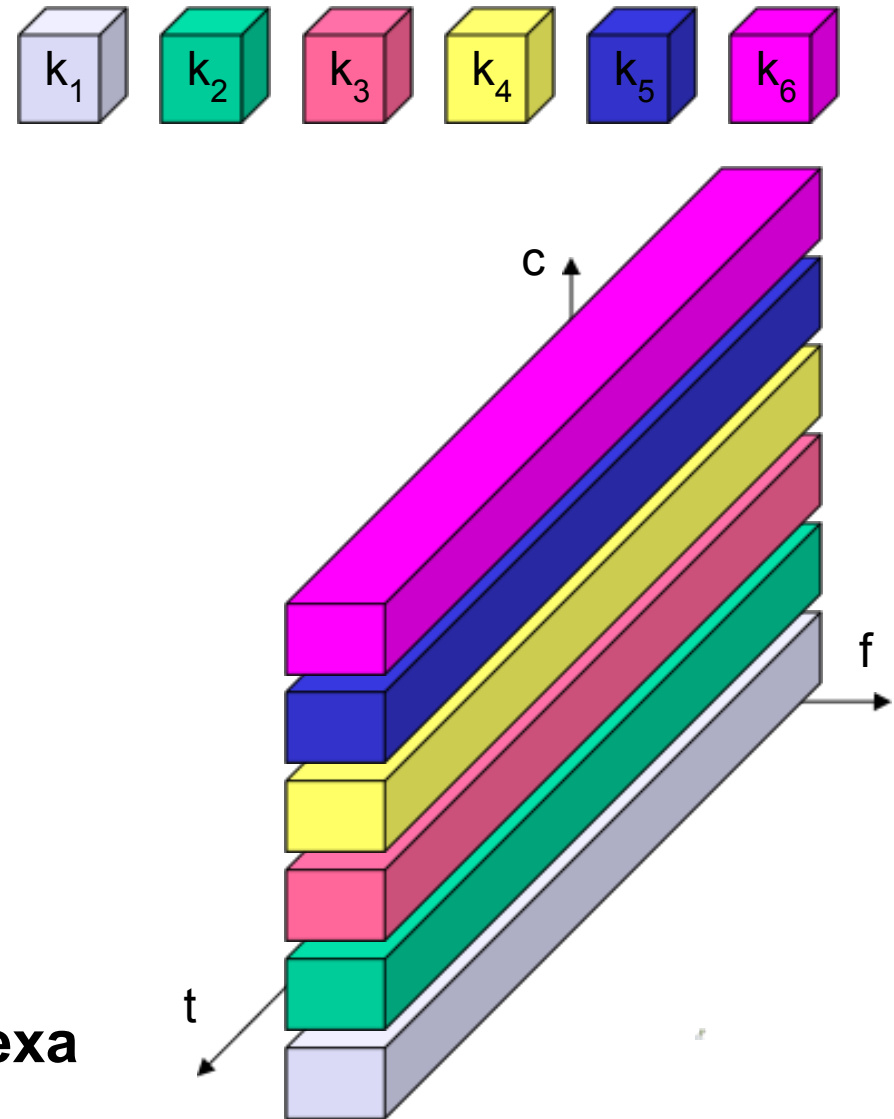
Vantagens:

- uso eficiente da banda
- não requer coordenação ou sincronização
- boa proteção contra interferência e grampos

Desvantagens:

- taxas de dados mais baixas
- regeneração do sinal mais complexa

Implementada usando tecnologia de espalhamento de espectro



Modulação digital

- dados digitais são traduzidos em um sinal analógico
- ASK, FSK, PSK
- diferenças em eficiência (espectral e de potência) e robustez

Modulação analógica

- desloca a frequência central de um sinal em banda básica para a frequência da onda portadora

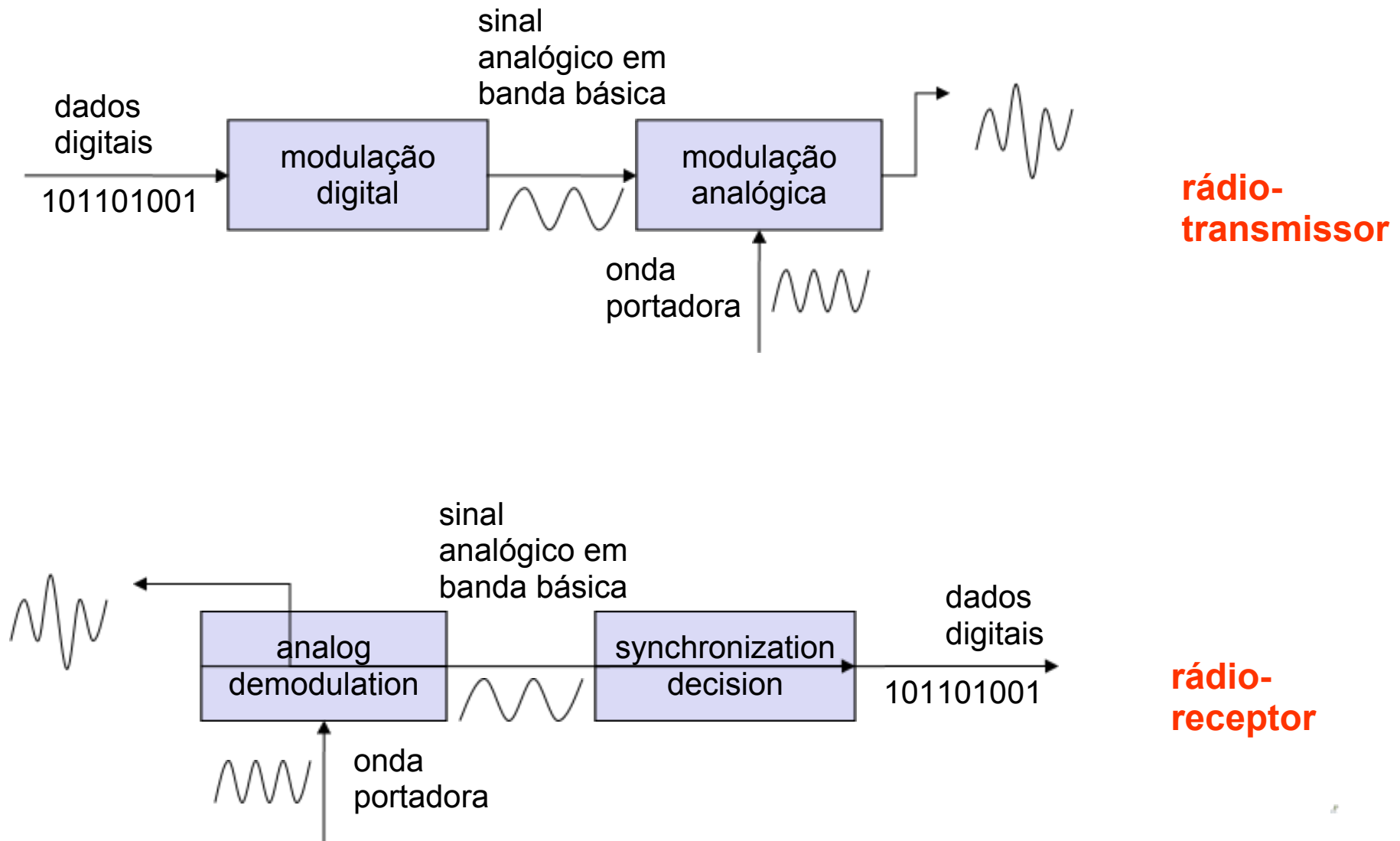
Motivação

- antenas menores (ex.: $\lambda/4$)
- multiplexação por divisão de frequências (FDM)
- características do meio

Esquemas básicos

- Modulação por amplitude (AM)
- Modulação por frequência (FM)
- Modulação por fase (PM)

Modulação e demodulação



Modulação digital

A modulação de sinais digitais é conhecida como “shift keying”

- **Amplitude Shift Keying (ASK)**

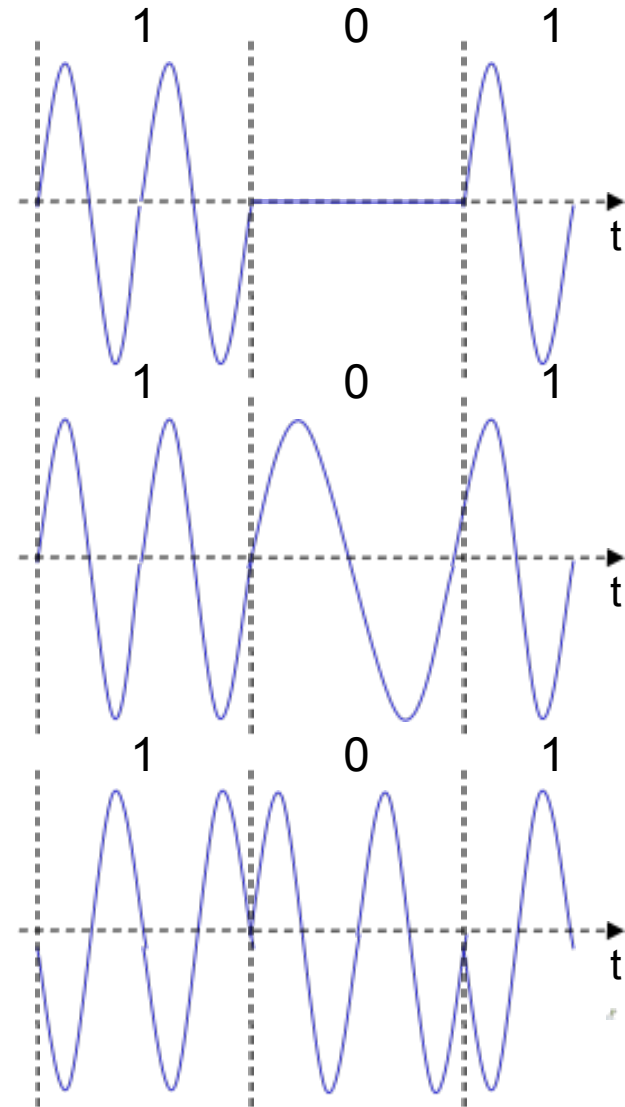
- muito simples
- baixos requisitos de largura de banda
- bastante susceptível a interferências

- **Frequency Shift Keying (FSK)**

- requer largura de banda mais alta

- **Phase Shift Keying (PSK)**

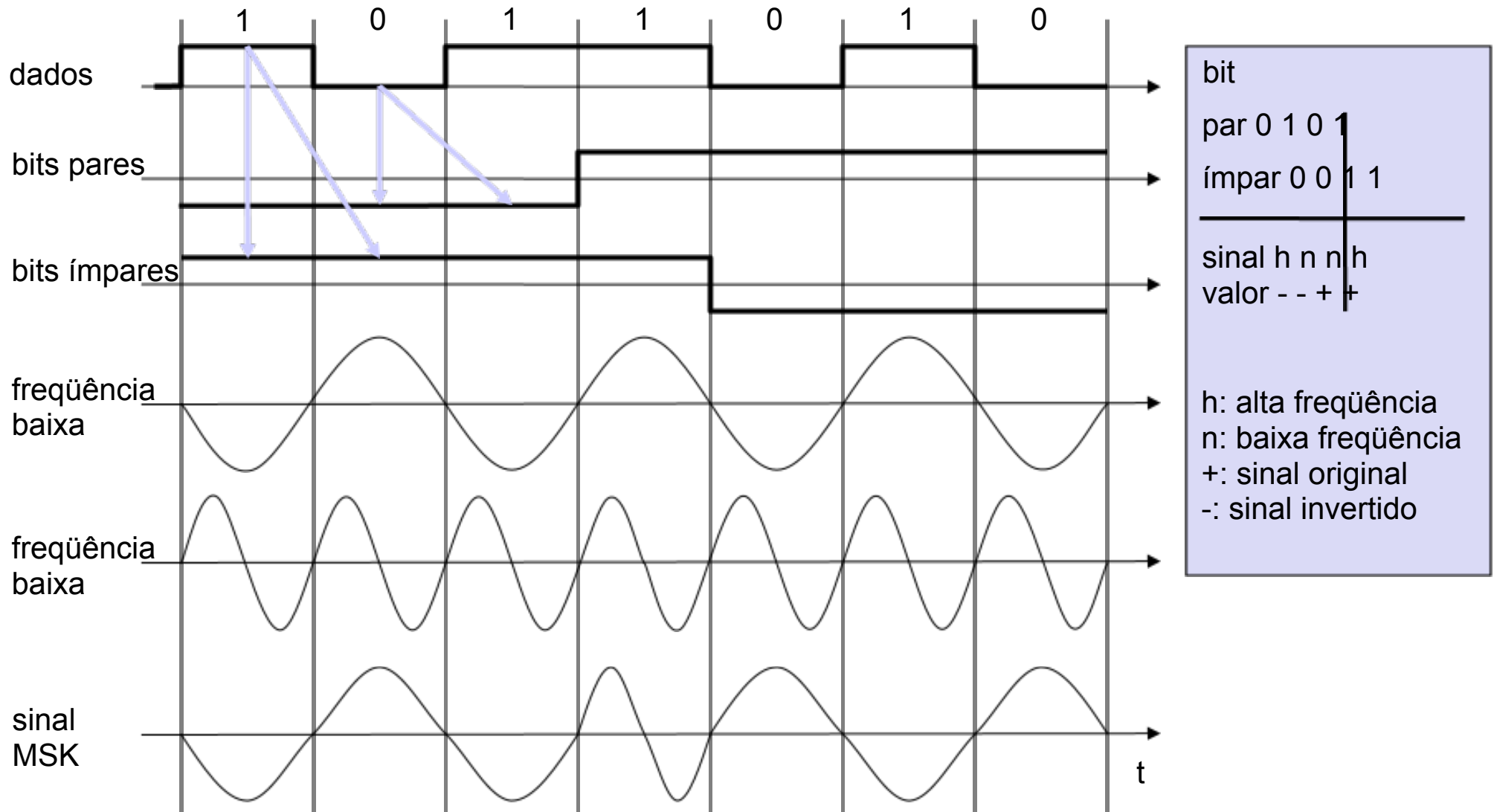
- mais complexa
- robusto contra interferências



Advanced Frequency Shift Keying

- A largura de banda necessária para FSK depende da distância entre as frequências portadoras
- Técnicas de pré-computação especiais evitam deslocamentos de fase repentinos
 - MSK (Minimum Shift Keying)
- Bits são separados em bits pares e bits ímpares, sendo que a duração de cada bit é dobrada
- Dependendo dos valores dos bits (pares ou ímpares) escolhe-se a frequência mais alta ou a mais baixa, original ou invertida
- A frequência de uma portadora é o dobro da da outra
- Equivalente a QPSK com deslocamento
- Capaz de obter eficiência de uso da banda ainda maior se for usado um filtro “low-pass” Gaussiano -> GMSK (MSK Gaussiano), usado em GSM

Exemplo de MSK



Sem deslocamentos de fase!

Advanced Phase Shift Keying

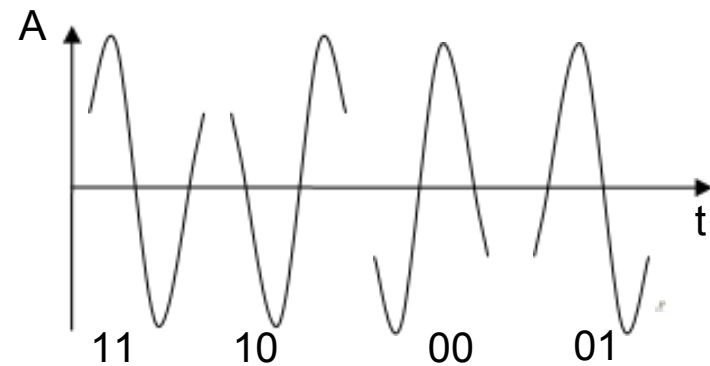
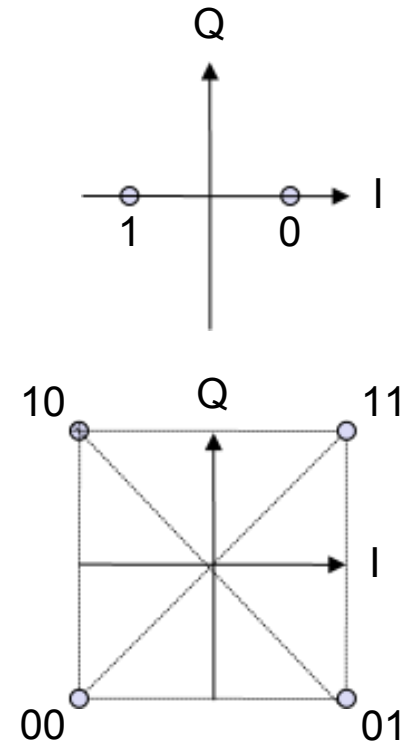
BPSK (Binary Phase Shift Keying):

- bit 0: onda senoidal
- bit 1: onda senoidal invertida
- PSK bastante simplificado
- baixa eficiência espectral
- robusto, usado, e.g., em sistemas de satélite

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying):

- 2 bits codificados como um símbolo
- o símbolo determina o deslocamento da onda senoidal
- requer menos banda, se comparado a BPSK
- mais complexo

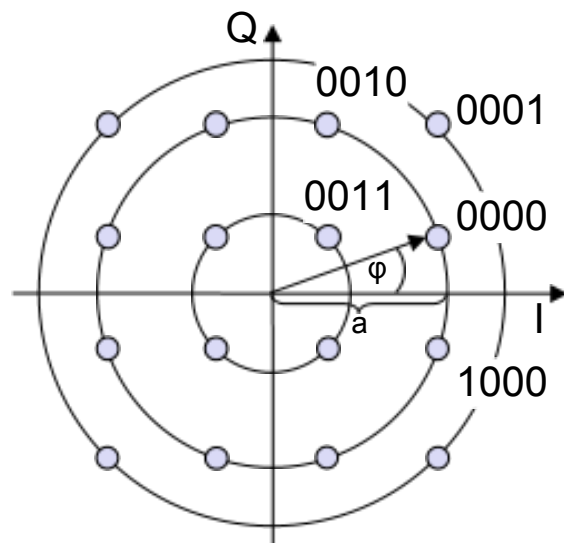
Freqüentemente usa-se também deslocamentos relativos (não absolutos) para transmissão: DQPSK (Differential QPSK)



Quadrature Amplitude Modulation

QAM: combina modulação de fase com modulação de amplitude

- possível codificar n bits com um único símbolo
- 2^n níveis discretos, se $n=2$: idêntico a QPSK
- taxa de erros de bit aumenta com n , mas induz menos erros se comparado com PSK



Exemplo: 16-QAM (4 bits = 1 símbolo)

Símbolos 0011 e 0001 têm a mesma fase φ mas diferentes amplitudes.

0000 e 1000 têm diferentes fases mas a mesma amplitude

- usado em modems padrão de 9600bps

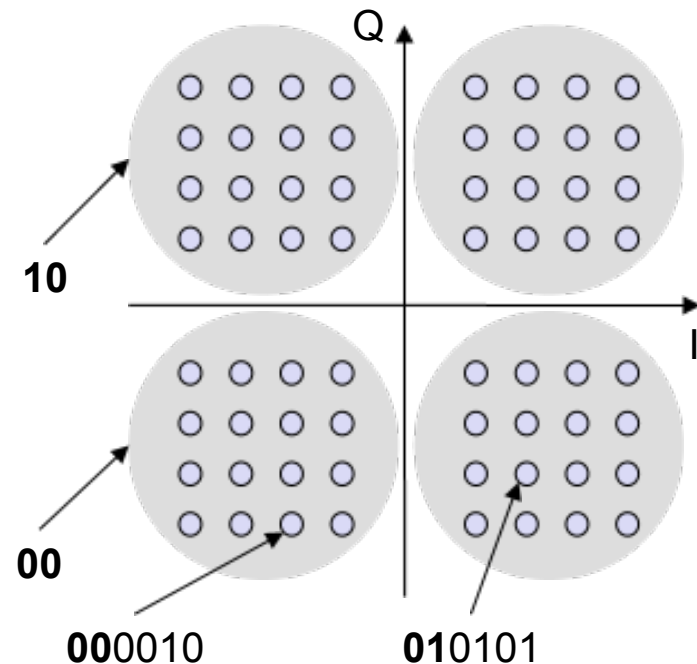
Modulação hierárquica

DVB-T modula dois fluxos de dados separados em um único fluxo DVB-T

- **fluxo de alta prioridade (HP) é embutido no fluxo de baixa prioridade (LP)**
- **sistemas multi-portadora, cerca de 2000 a 8000 portadoras**
- **QPSK, 16-QAM, 64-QAM**

- **Exemplo: 64QAM**

- se recepção boa: resolve toda a constelação 64QAM
- se recepção pobre ou recepção móvel: resolve apenas a porção QPSK
- 6bits por símbolo QAM, 2 mais significativos determinam QPSK
- serviço HP codificado em QPSK (2 bits); serviço LP usa os 4 bits restantes

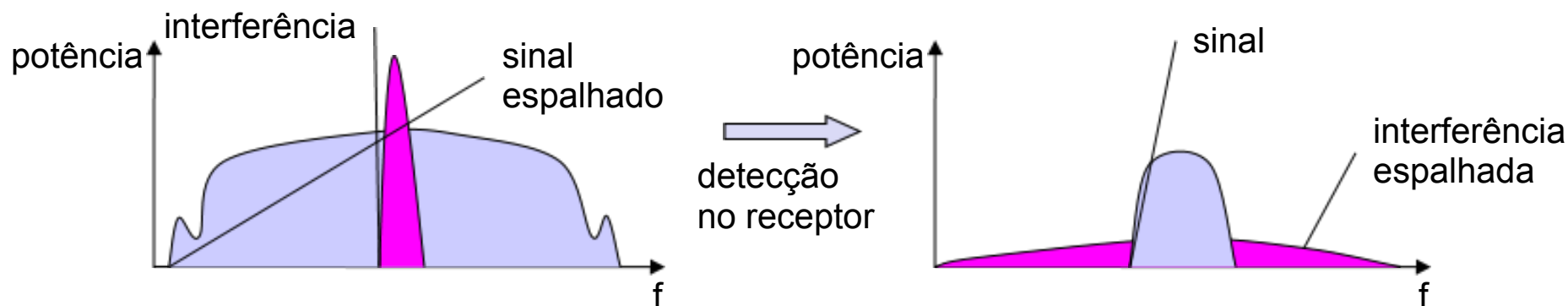


Tecnologia de espalhamento do espectro

Um problema na transmissão de rádio: atenuação (*fading*) dependente da frequência pode eliminar sinais banda estreita durante períodos de interferência

Solução: espalhar o sinal de banda estreita em um sinal de banda larga usando um código especial

Provê proteção contra interferência em banda estreita

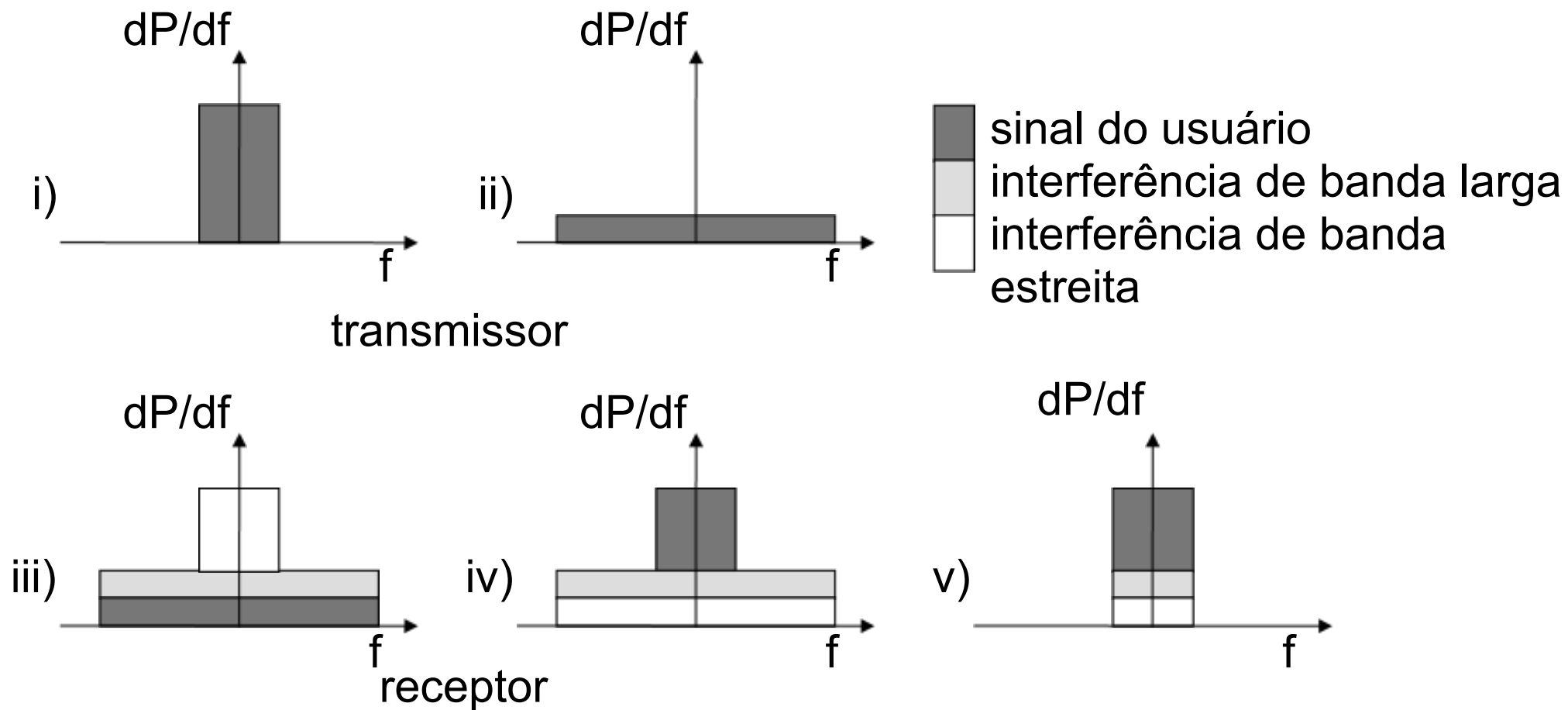


Efeitos colaterais:

- co-existência de vários sinais sem coordenação dinâmica
- à prova de grampos

Alternativas: seqüência direta, saltos de frequência (*frequency hopping*)

Efeitos do espalhamento e interferências



canais de espectro espalhado

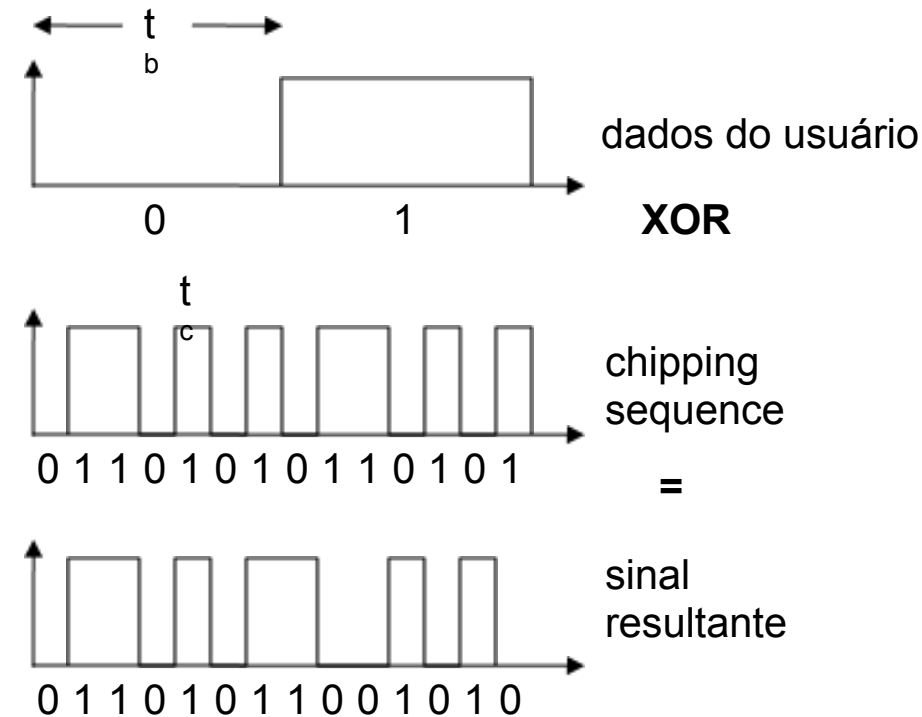
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) I

XOR do sinal com um número pseudo-aleatório (chipping sequence)

- muitos pedaços de sinal (chips) por bit (e.g., 128) resultam em uma maior largura de banda do sinal

Vantagens

- reduz a atenuação dependente da frequência
- em redes celulares
 - estações base podem usar a mesma faixa de frequências
 - várias estações base podem detectar e recuperar o sinal
 - handover suave
- **Desvantagens**
 - requer controle de potência preciso

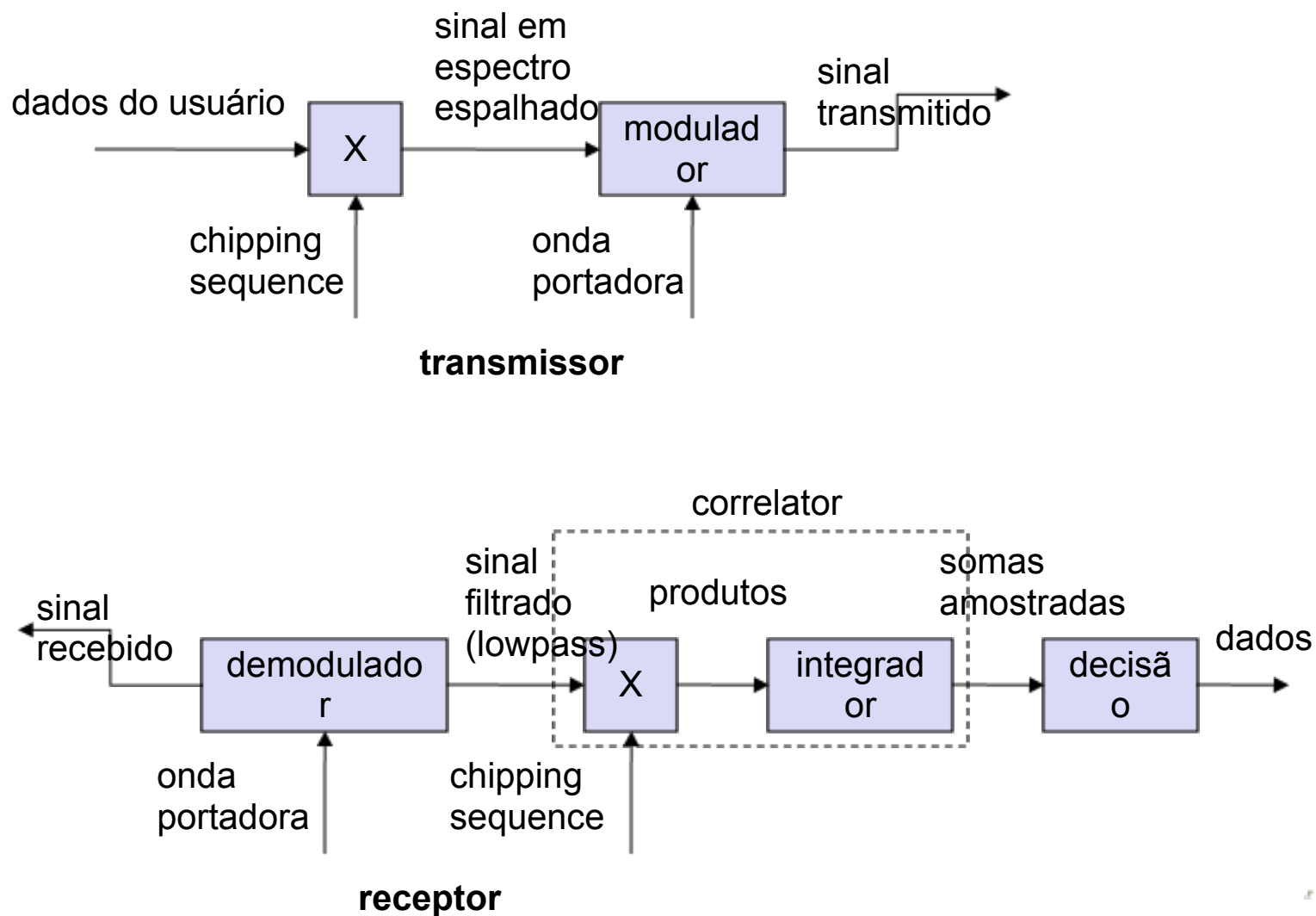


t_b : período de bit

t_c : período de

chip

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) II



FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) I

Mudanças discretas da frequência portadora

- a seqüência de mudanças de frequência é determinada através de uma seqüência de números pseudo-aleatórios

Duas versões

- Fast Hopping: vários saltos de frequência para cada bit de usuário
- Slow Hopping: vários bits de usuário por salto de frequência

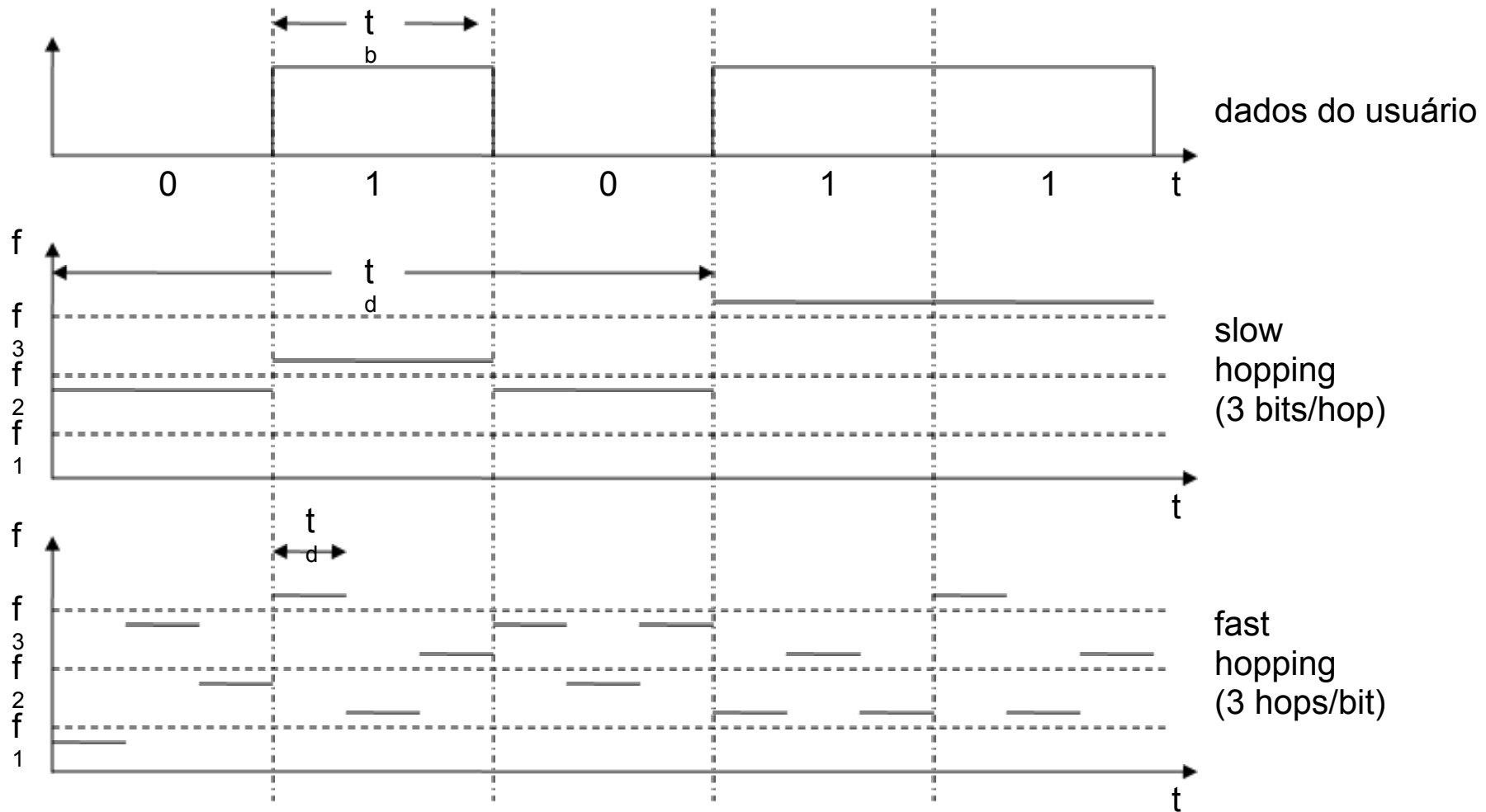
Vantagens

- atenuação dependente de frequência e interferências são limitadas a curtos períodos
- implementação simples
- usa apenas uma pequena porção do espectro em um dado instante

Desvantagens

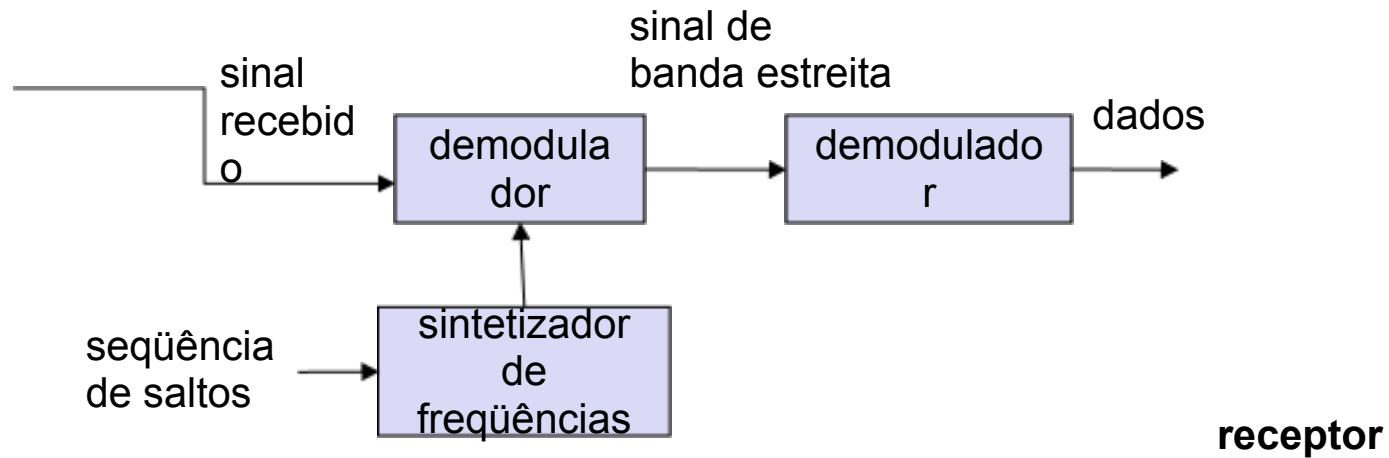
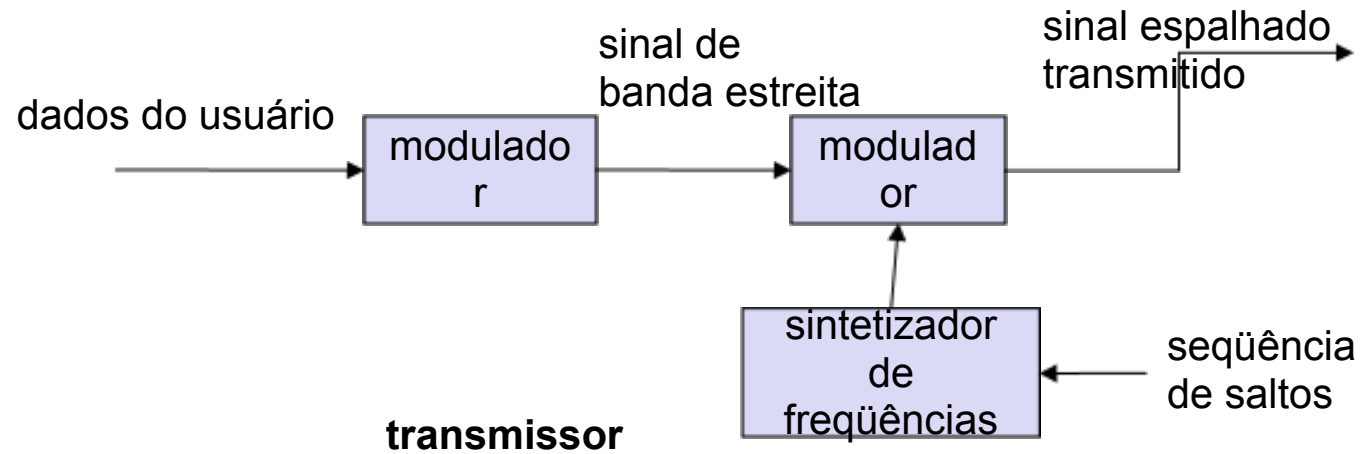
- não tão robusto quanto DSSS
 - mais simples de detectar
-

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) II



t_b : período de bit t_d : tempo de uso de uma frequência

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) III



Estrutura celular

Implementam multiplexação por divisão do espaço: cada estação base cobre uma certa área de transmissão (célula)

Estações móveis se comunicam apenas através da estação base

Vantagens de estruturas celulares:

- capacidade mais alta, maior número de usuários
- requer potências de transmissão mais baixas
- mais robusto, descentralizado
- estação base lida localmente com interferências, áreas de transmissão, etc.

Problemas:

- requer rede fixa para interligar as estações base
- requer handover (mudança de uma célula para outra)
- interferência com outras células

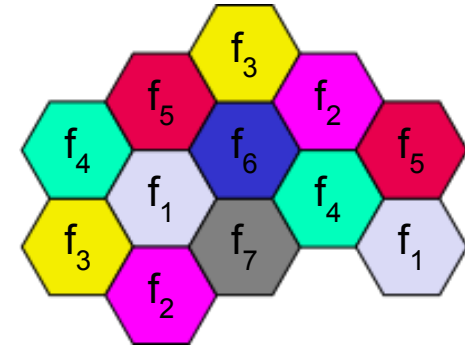
Tamanho das células: de algumas centenas de metros em áreas urbanas até cerca de 35Km em áreas rurais

- GSM: células ainda menores para frequências mais altas
-

Planejamento da frequência I

Reuso de frequências requer uma certa distância entre as células

Modelo padrão usando 7 frequências:



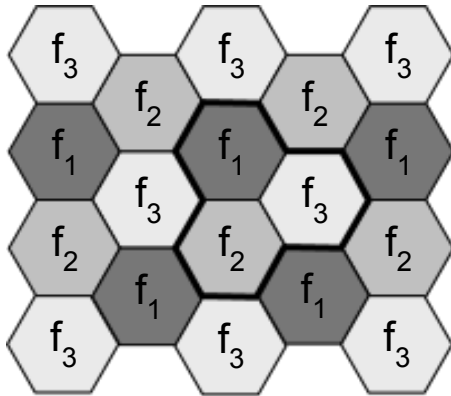
Atribuição de frequências fixas:

- certas frequências são atribuídas a uma certa célula
- problema: diferentes cargas de tráfego em diferentes células

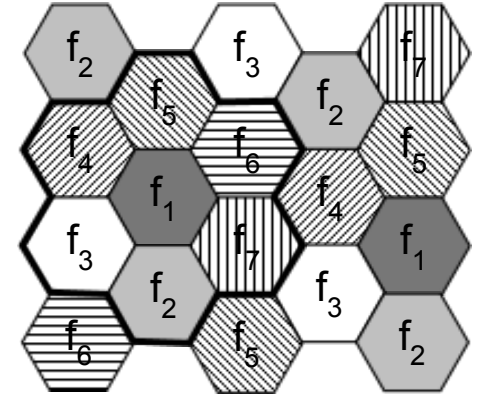
Atribuição dinâmica de frequências:

- estação base escolhe as frequências dependendo das frequências já em uso em células vizinhas
- mais capacidade alocada a células com maior tráfego
- atribuição pode também ser baseada em medidas de interferência

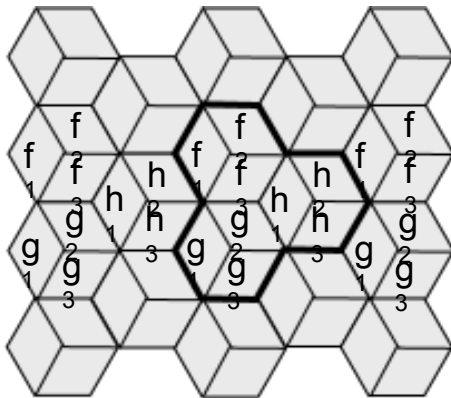
Planejamento da frequência II



cluster de 3
células



cluster de 7
células



cluster de 3 células
com 3 antenas
setorizadas

“Respiração da célula”

Em sistemas CDM: tamanho da célula depende da carga atual

Tráfego adicional aparece como ruído para outros usuários

Se o nível de ruído é muito alto, usuários saem da célula

