

Pós Graduação – INATEL

Modulação Digital

Parte 2

Prof. MSc. Marcelo Carneiro de Paiva

Agenda

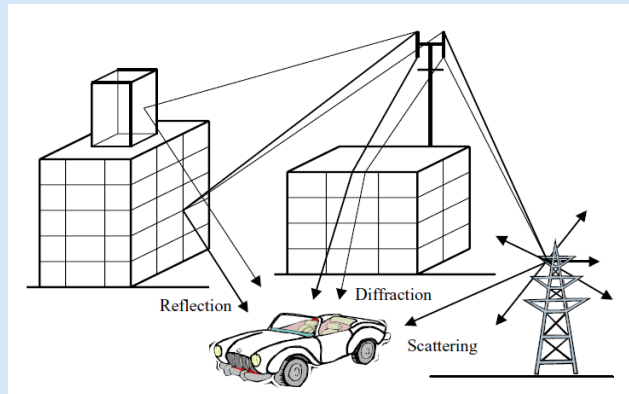
- Motivos e objetivos.
- Classificação dos Canais Móveis.
- Canais com Múltiplos Percursos.
- Modelos Probabilísticos.
- Espalhamento Espectral.
- Múltiplas Portadoras.
- Diversidade.

- O modelo de canal AWGN é importante para permitir a análise de desempenho de sistemas de comunicação, porém o ruído térmico, apesar de ser uma fonte de degradação de desempenho natural, apresenta-se como um parâmetro menos significativo em um sistema de comunicação móvel.
- Nos sistemas de comunicação móvel onde a propagação do sinal ocorre na atmosfera e próximo ao solo, o sinal pode viajar entre o transmissor e o receptor através de múltiplos caminhos devido aos efeitos de reflexões, difrações e espalhamentos.
- Este fenômeno proporciona flutuações na amplitude e fase do sinal recebido ocasionando um comportamento dinâmico e aleatório do canal, dificultando o processo de recepção do sinal.

- Os três mecanismos básicos que impactam na propagação do sinal em um sistema de comunicação móvel:
 - **Reflexão:** ocorre quando a onda eletromagnética colide com uma superfície plana com dimensões elevadas em comparação ao comprimento de onda do sinal de RF.
 - **Difração:** ocorre quando o caminho de propagação entre o transmissor e o receptor é obstruído por um elemento denso cuja dimensões são elevadas em comparação ao comprimento de onda do sinal de RF, causando a formação de ondas secundárias atrás do elemento de obstrução. Resulta numa transmissão de sem visada direta e é comumente chamado de sombreamento.

Motivos e Objetivos

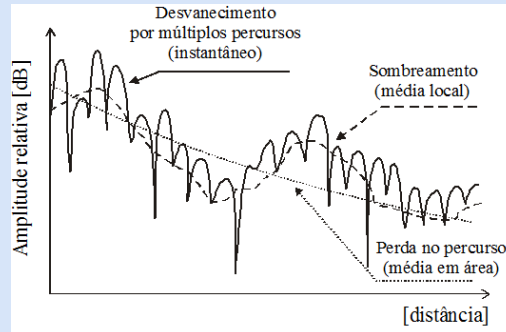
- **Espalhamento:** ocorre quando a onda eletromagnética colide com uma superfície rugosa ou qualquer elemento cuja dimensões sejam da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda do sinal de RF, causando um espalhamento do sinal em todas as direções.



Classificação dos canais móveis

- As manifestações de desvanecimento do canal podem ser divididas em dois tipos:
- Desvanecimento em grande escala (*Large-scale Fading*)
 - Representa a atenuação da potência média ou a perda no percurso devido ao movimento do receptor sobre grandes áreas.
- Desvanecimento em pequena escala (*Small-scale Fading*)
 - Representa as expressivas mudanças na amplitude, fase e ângulo de chegada do sinal devido às pequenas alterações na posição do receptor (ordem de grandeza do comprimento de onda - λ).

- Desvanecimento em grande escala (*Large-scale Fading*)
 - Perdas no percurso (média em área).
 - Sombreamento (média local – 10 a 30 λ).
- Desvanecimento em pequena escala (*Small-scale Fading*)
 - Múltiplos percursos.
 - Efeito Doppler.



- **Desvanecimento de larga escala** – Associado a perdas no espaço livre, obstruções por construções, elevações do terreno e vegetação. Caracterização através de métodos de predição outdoor (Modelo simplificado, Okumura-Hata; COST 231, Lee etc.) e indoor (empíricos, Ray-Tracing etc.).

$$L_S = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad \text{Perdas no percurso} \quad L_S(\text{dB}) = 32,45 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f)$$

Desvanecimento log-normal (Sombreamento)

$$L_S(\text{dB}) = 32,45 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + X_\sigma(\text{dB})$$

onde, X_σ é uma variável aleatória com pdf Gaussiana com média zero e desvio padrão σ , dependente da distancia.

- **Desvanecimento em pequena escala** – Associado a interferência entre duas ou mais versões do sinal transmitido que chegam ao receptor em diferentes instantes e com diferentes fases e amplitudes. Também associado a variação do canal no tempo devido ao deslocamento entre transmissor e receptor. Caracterização através de modelos e parâmetros do canal de rádio móvel.

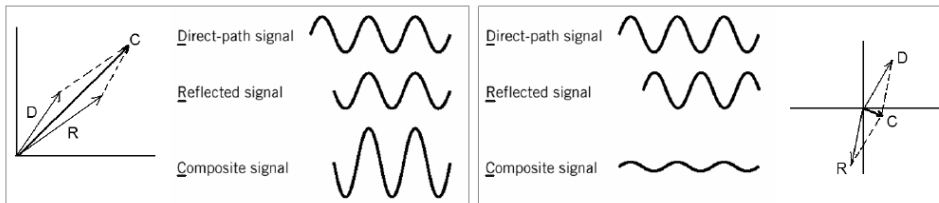
- Espalhamento do sinal no tempo. (Dispersão do sinal).
 - Seletivo ou Plano.
- Comportamento variante no tempo. (Efeito Doppler).
 - Rápido ou lento.

Resumo dos efeitos da propagação em um canal de comunicação móvel.

- O sombreamento do sinal por obstáculos dominantes e atenuação devido à distância entre Tx e Rx.
- As rápidas alterações no canal causam desvanecimentos de curta duração.
- Os desvios de frequência aleatórios devido ao movimento relativo entre transmissor e receptor - desvios Doppler.
- A dispersão temporal ocasionada por diferentes atrasos nos múltiplos percursos de propagação.

Canais com múltiplos percursos

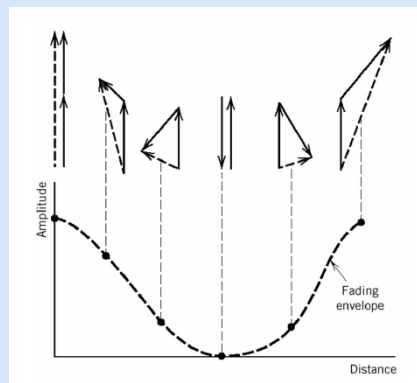
- Efeitos dos múltiplos percursos no receptor, considerando um ambiente com múltiplo percurso estático e a transmissão de uma portadora não modulada (sinal de banda estreita).



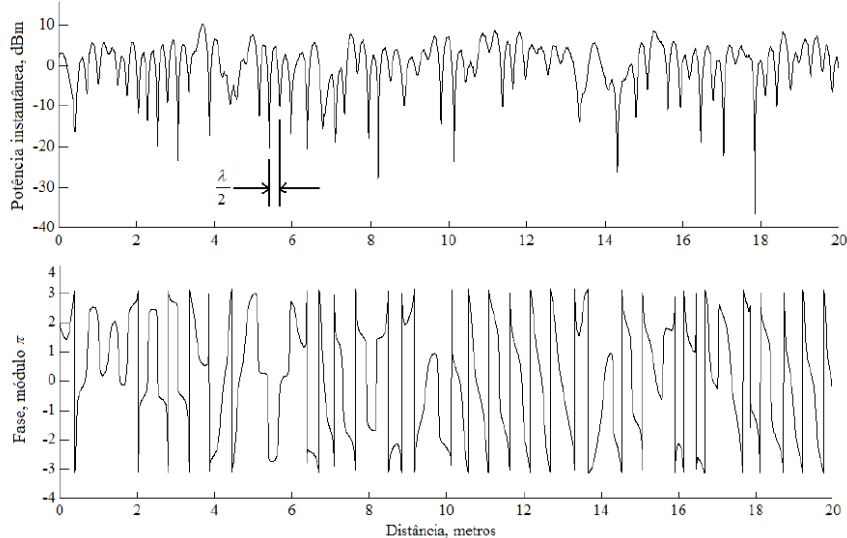
- Os sinais podem ser combinados de forma construtiva ou destrutiva.

Canais com múltiplos percursos

- O deslocamento do móvel provoca uma propagação contendo múltiplos percursos dinâmicos resultando numa flutuação da envoltória do sinal recebido, decorrente das diferentes fases e magnitudes dos sinais recebidos.

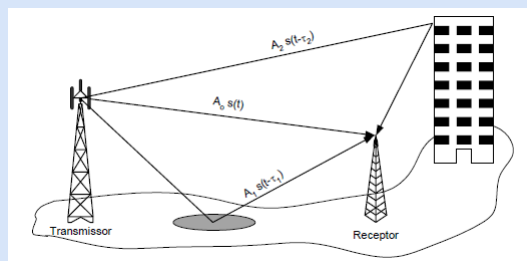


- O canal de comunicação móvel pode ser modelado como um sistema linear variante no tempo.
- O desvanecimento do sinal é essencialmente um fenômeno espacial e pode ser representado como uma função da posição ou de forma equivalente como uma função do tempo, considerando um receptor que se desloca com velocidade constante.
- Em ambientes urbanos densos, o número de percursos é elevado e a direção de chegada destes no receptor é bastante variada.
- Nestes ambientes a variação da potência instantânea do sinal no receptor é elevada e pode apresentar intensidades cerca de 30dB abaixo da potência média.
- As variações de fase também são significativas e ocorrem na mesma taxa de variação da amplitude.



- Estas variações podem ocorrer em posições bastante próximas e apresentam comportamento aproximadamente “periódico” a cada meio comprimento de onda ($\lambda/2$).
- As variações de fase dificultam o processo de sincronismo de portadora principalmente quando tais variações são rápidas decorrentes de uma movimentação relativa entre transmissor e receptor.
- Estas são as principais razões pelas quais é tão difícil realizar uma transmissão de altas taxas em um ambiente de comunicação móvel com propagação por múltiplos percursos.

Modelo de canal multipercurso.



- Resposta ao impulso do canal

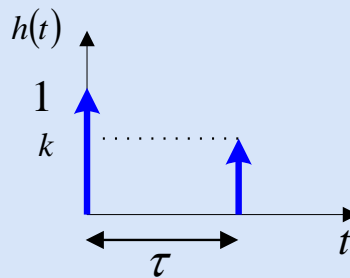
$$h(t) = \sum_{i=0}^{I-1} a_i \delta(t - \tau_i)$$

- Resposta em frequência do canal

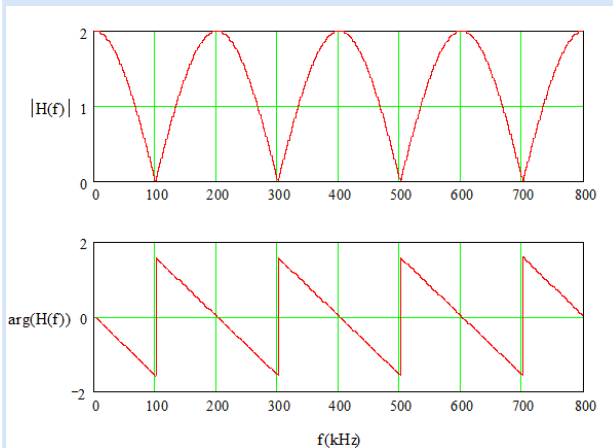
$$H(f) = \sum_{i=0}^{I-1} a_i \exp(-j2\pi f \tau_i)$$

Canal estático com um múltiplo percurso

$$h(t) = \delta(t) + k\delta(t - \tau)$$



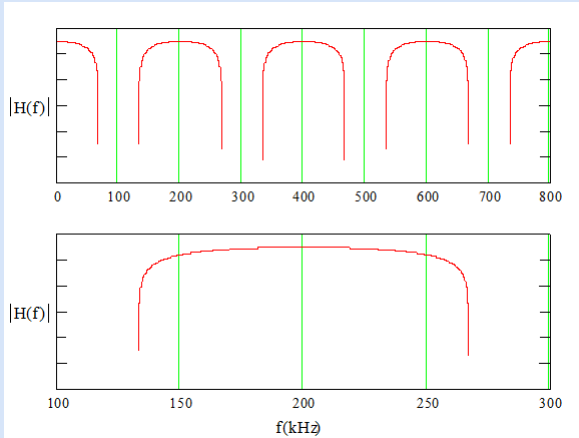
Resposta em frequência do canal



$$H(\omega) = 1 + e^{-j\omega\tau}$$

$$\tau = 5 \mu s$$

Resposta em frequência do canal (dB)

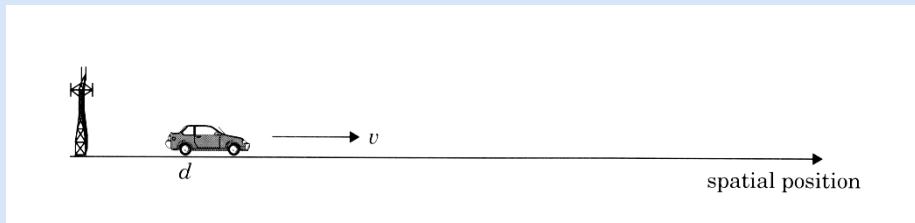


$$H(\omega) = 1 + e^{-j\omega\tau}$$

$$\tau = 5 \mu s$$

Resposta impulsiva do canal rádio móvel

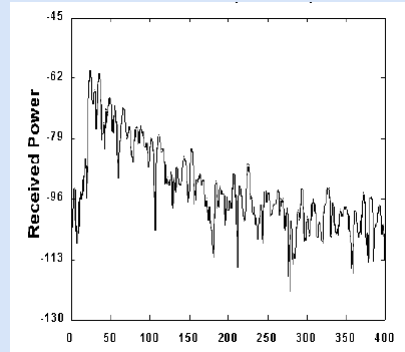
- A resposta impulsiva do canal depende do tempo e da posição no espaço



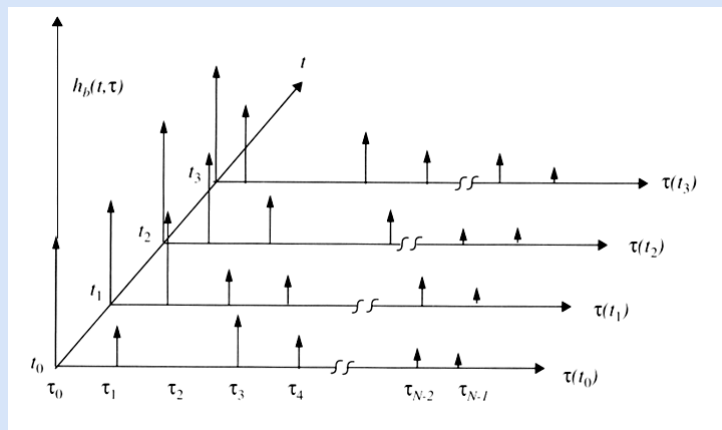
$$y(d, t) = x(t) * h(d, t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot h(d, t - \tau) d\tau$$

Perfil de intensidade de multipercursos Perfil de atraso de potencia

- Comportamento da potência média recebida durante um intervalo de tempo correspondente ao máximo espalhamento do sinal recebido causado pelos múltiplos percursos de propagação do sinal transmitido.



Exemplo de canal variante no tempo



Parâmetros de Espalhamento (Dispersão) Temporal

Mean Excess Delay

RMS Delay Spread

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_n \alpha_n^2 \tau_n}{\sum_n \alpha_n^2} = \frac{\sum_n P(\tau_n) \tau_n}{\sum_n P(\tau_n)}$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2}$$

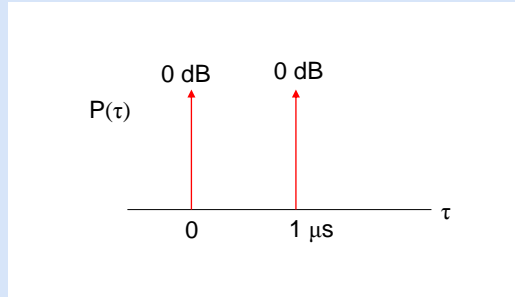
$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_n \alpha_n^2 \tau_n^2}{\sum_n \alpha_n^2} = \frac{\sum_n P(\tau_n) \tau_n^2}{\sum_n P(\tau_n)}$$

Tabela contendo os valores medidos típicos do Espalhamento de atraso RMS.

Environment	Frequency (MHz)	RMS Delay Spread (σ_τ)	Notes	Reference
Urban	910	1300 ns avg. 600 ns st. dev. 3500 ns max.	New York City	[Cox75]
Urban	892	10–25 μ s	Worst case San Francisco	[Rap90]
Suburban	910	200–310 ns	Averaged typical case	[Cox72]
Suburban	910	1960–2110 ns	Averaged extreme case	[Cox72]
Indoor	1500	10–50 ns 25 ns median	Office building	[Sal87]
Indoor	850	270 ns max.	Office building	[Dev90a]
Indoor	1900	70–94 ns avg. 1470 ns max.	Three San Francisco buildings	[Sei92a]

Exemplo

Encontre o valor do *RMS delay spread* para o seguinte perfil de intensidade de potência



Largura de faixa de coerência

- Medida estatística da faixa de frequências em que o canal pode ser considerado “plano”.
- Faixa dentro da qual as componentes de frequência possuem grande **correlação de amplitude**.
- Inversamente proporcional ao *Delay Spread*.
- Dois tons com frequências separadas em frequência por um valor maior que B_c são afetadas diferentemente pelo desvanecimento.

Largura de faixa de coerência

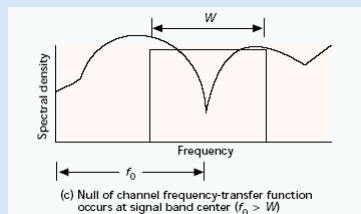
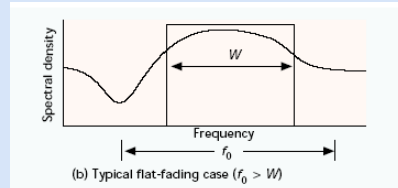
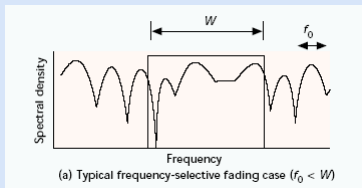
Correlação de 0,9

$$B_c \approx \frac{1}{50\sigma_\tau}$$

Correlação de 0,5

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau}$$

- Canais seletivos e planos em frequência.



Desvanecimento Plano

- Canal com resposta impulsiva com ganho constante e fase linear na faixa de passagem do sinal transmitido.
- Característica espectral do sinal é preservada no receptor.
- A intensidade do sinal recebido é variável com o tempo.
- Um sinal sofrerá desvanecimento plano se:

$$T_{\text{sinal}} \gg \sigma_{\tau} \qquad B_{\text{sinal}} \ll B_c$$

- Uma regra utilizada na pratica para especificar se o desvanecimento é plano: $T_{\text{sinal}} \geq 10 \cdot \sigma_{\tau}$

Desvanecimento Seletivo em Frequência

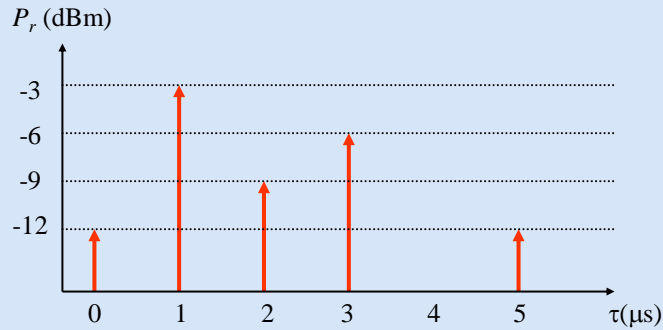
- Canal com resposta impulsiva com ganho constante e fase linear sobre uma faixa de frequência que é menor que a largura de banda do sinal transmitido.
- A resposta impulsiva do canal possui um espalhamento temporal que é maior que o inverso da largura de banda do sinal transmitido.
- O sinal recebido inclui múltiplas versões atenuadas e atrasadas no tempo da forma de onda do sinal transmitido, causando ISI.
- No domínio da frequência, algumas componentes espectrais do sinal recebido serão atenuadas com valores distintos.
- Um sinal sofrerá desvanecimento seletivo em frequência se:

$$T_{\text{sinal}} < \sigma_{\tau} \qquad B_{\text{sinal}} > B_c$$

- Na prática a regra é verificar se : $T_{\text{sinal}} < 10 \cdot \sigma_{\tau}$

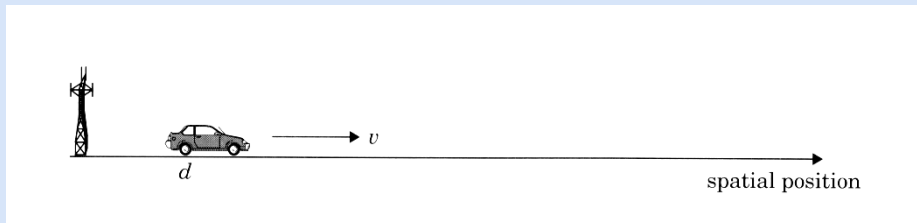
Exemplo

Calcule os parâmetros para o perfil de intensidade de potência dado abaixo. Estime a largura de faixa de coerência de 90%. Este canal poderá ser considerado plano para transmissão de um sinal AMPS (BW=30kHz) ou GSM (BW=200kHz)?



Resposta impulsiva do canal rádio móvel

- A resposta impulsiva do canal depende do tempo e da posição no espaço

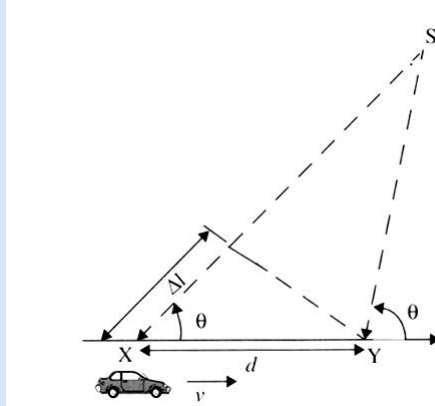


$$y(d, t) = x(t) * h(d, t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \cdot h(d, t - \tau) d\tau$$

Desvio Doppler - *Doppler shift*

Causa a alteração aleatória na frequência do sinal recebido devido ao movimento relativo entre transmissor e receptor e/ou ao movimento de objetos vizinhos e à propagação por múltiplos percursos.

$$f_D = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta)$$



Exemplo

Calcule o deslocamento Doppler máximo para as seguintes situações:

f (MHz)	λ (cm)	v (m/s)	f_d (Hz)
800		1	
		20	
		130	
1900		1	
		20	
		130	

Exemplo

Considere um transmissor que irradia uma portadora senoidal na frequência de 1850 MHz. Para um veículo movendo-se a velocidade de 26,82 m/s, calcule a frequência da portadora efetivamente recebida pelo veículo quando ele está se movendo:

- (a) Diretamente na direção do transmissor
- (b) Na direção contrária do transmissor
- (c) Em uma direção perpendicular ao transmissor

Espalhamento Doppler e Tempo de coerência

- Medida estatística do intervalo de tempo durante o qual a resposta ao impulso do canal pode ser considerada como **invariante**.
- Intervalo de tempo dentro do qual os sinais possuem, após a passagem pelo canal, grande **correlação de amplitude**.
- Inversamente proporcional ao Espalhamento Doppler.
- O espalhamento Doppler e o tempo de coerência são parâmetros que **descrevem a natureza da variação temporal do canal**.
- O efeito Doppler é a medida do espalhamento espectral causado pela taxa de variação do canal.
- Função do movimento relativo entre transmissor e receptor e/ou objetos vizinhos.

Tempo de Coerência

$$T_c = \frac{0,423}{f_d} \approx \frac{1}{2f_d}$$

Desvanecimento Rápido ou Lento

- Depende da taxa do sinal transmitido em banda básica em relação à taxa de variação das características do canal.
- Note que ao especificar um canal com desvanecimento rápido ou lento, não especificamos se ele é plano ou seletivo em frequência.
- O desvanecimento rápido ou lento depende do efeito Doppler, ou seja, do movimento relativo entre o transmissor e o receptor.

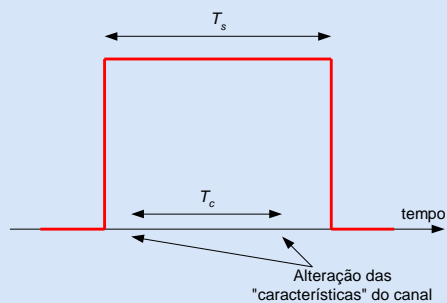
Desvanecimento Rápido

- A resposta impulsiva do canal altera-se rapidamente durante o intervalo de símbolo.
- O tempo de coerência do canal é menor que o período do símbolo do sinal transmitido.
- Um sinal sofrerá desvanecimento rápido se:

$$T_{sinal} > T_c$$

$$B_{sinal} < B_D$$

Desvanecimento Rápido



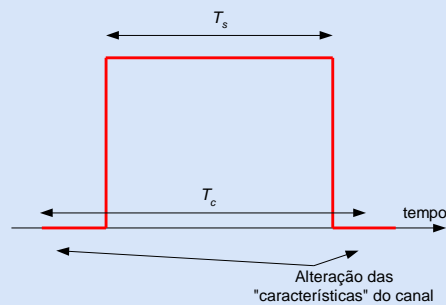
Desvanecimento Lento

- A taxa de mudança da resposta impulsiva do canal é muito menor que a taxa de transmissão do sinal em banda básica.
- O canal pode ser considerado estático durante a transmissão de vários símbolos.
- No domínio da frequência, implica que o espalhamento Doppler do canal é muito menor que a largura de banda do sinal em banda básica.
- Assim, um sinal sofrerá de desvanecimento lento se:

$$T_{\text{sinal}} \ll T_c$$

$$B_{\text{sinal}} \gg B_D$$

Desvanecimento Lento



Exemplo

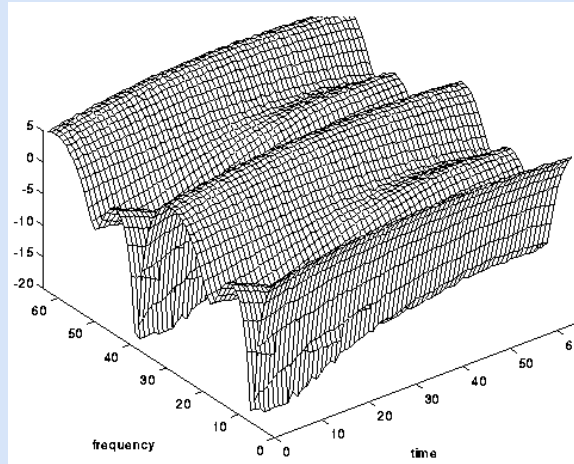
Seja um veículo trafegando com velocidade de 90 km/h e operando um sinal com frequência de 900 MHz. Calcule a taxa de símbolo mínima para que não haja distorção devido ao deslocamento.

Exemplo

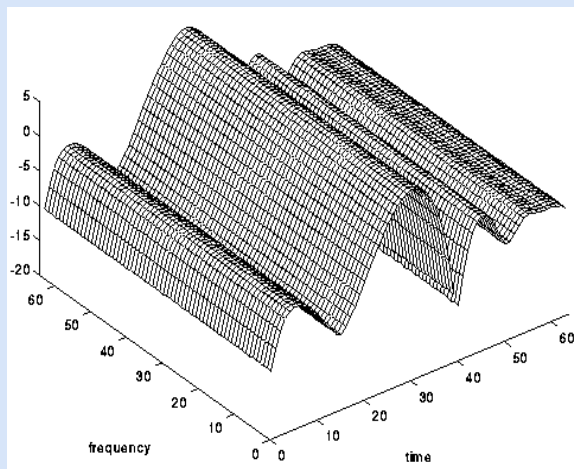
Se uma mensagem binária em banda base com taxa de bit $R_b = 100$ kbps é modulada por uma portadora de RF utilizando BPSK, responda:

- Encontre a faixa de valores necessária para o *rms delay spread* (s_r) do canal, tal que o sinal recebido é um sinal do tipo com desvanecimento plano.
- Se a frequência da portadora é 5.8 GHz, qual é o tempo de coerência do canal (T_c), assumindo a velocidade do veículo de 13 m/s?
- Na condição da letra (b), o canal é lento ou rápido?
- Ainda na condição da letra (b), quantos bits são enviados enquanto o canal está aparentemente “estático”?

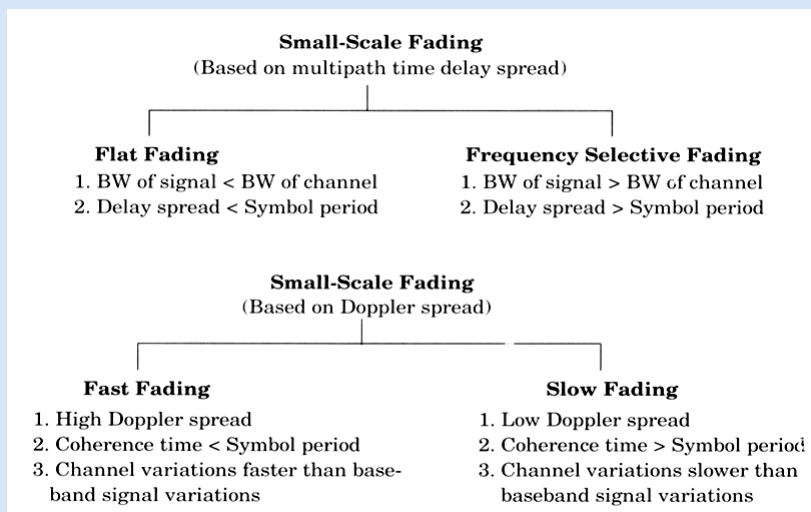
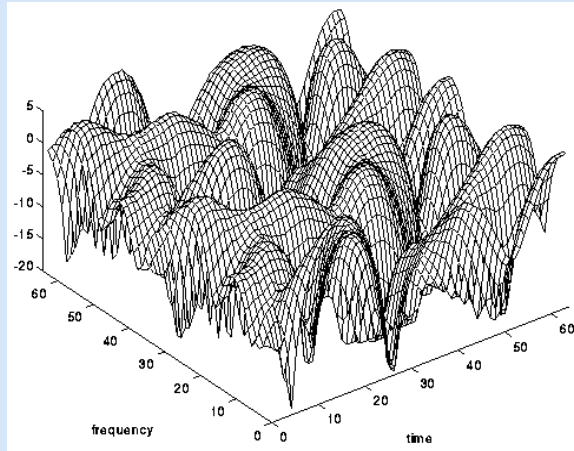
Seletivo em frequência e desvanecimento lento

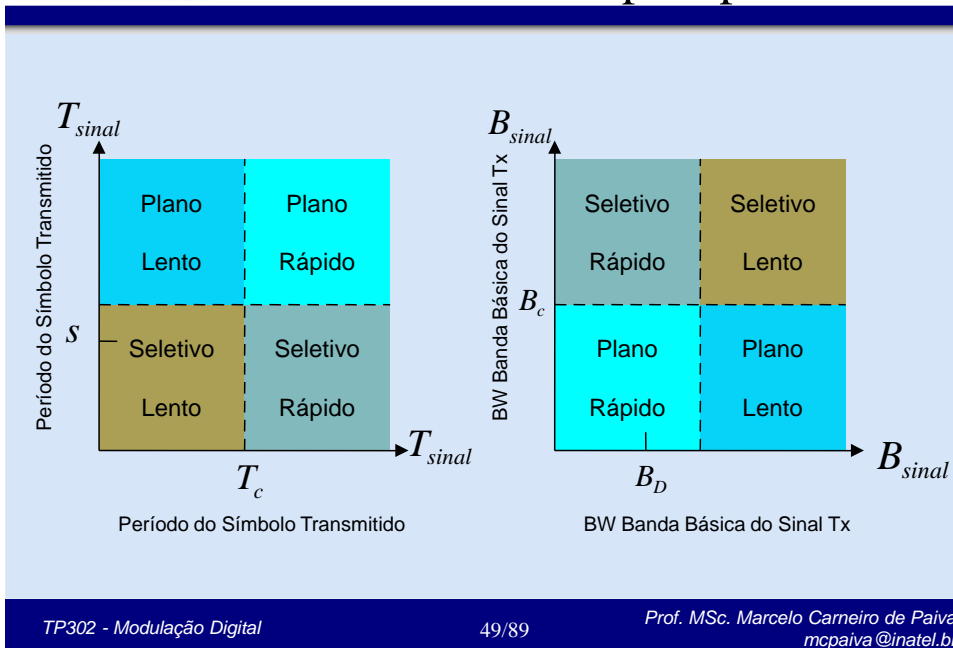


Não seletivo em frequência e desvanecimento rápido



Seletivo em frequência e desvanecimento rápido





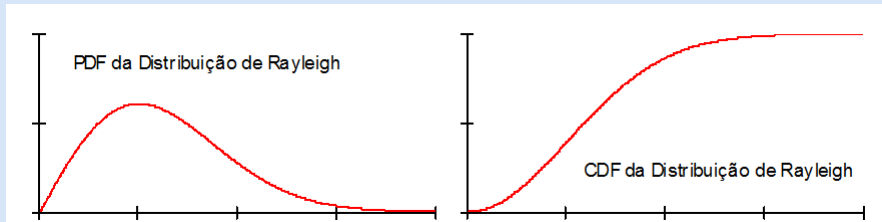
- RAYLEIGH FADING
 - Sinais refletidos compõem o sinal resultante (não há predominância de visada direta).
 - Quando o número de sinais é elevado, o sinal resultante pode ser considerado como um processo Gaussiano complexo, cuja envoltória obedece a uma distribuição de Rayleigh

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \quad r \geq 0$$

- Onde r é a envoltória (tensão) do sinal recebido, $\sqrt{2}\sigma$ é o valor rms do sinal de tensão recebido e σ^2 é a potência média do sinal recebido.

- RAYLEIGH FADING
 - caracterizado pela variância das componentes em fase e quadratura do sinal recebido.

$$r = \sqrt{I^2 + Q^2}, \text{ onde } I \text{ e } Q \text{ possuem } \text{var} = \sigma^2$$



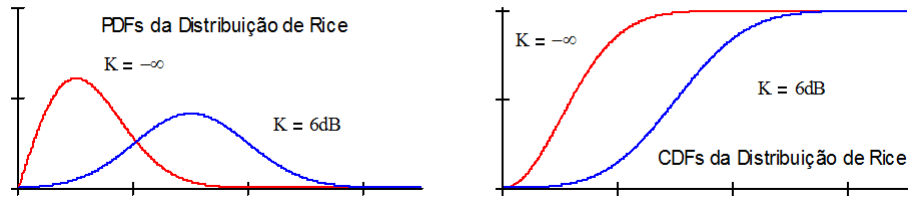
- RICEAN FADING
 - Predominância de visada direta, ou percurso dominante.
 - Distribuição de RICE tende a de RAYLEIGH quando a intensidade do percurso dominante diminui.

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{(r^2 + a^2)}{2\sigma^2}\right] I_0\left(\frac{ra}{\sigma^2}\right), \quad r \geq 0$$

- caracterizado também pelo fator de Rice, K , definido como a relação entre a potência do sinal dominante pela variância daqueles oriundos de múltiplos percursos.

$$K[dB] = 10 \log \frac{A^2}{2\sigma^2} [dB] \text{ é o fator de RICE}$$

- RICEAN FADING



- **Definição:**
 - Um sinal com espalhamento espectral é aquele que ocupa uma largura de faixa muito maior que a necessária.
 - A largura de faixa ocupada é, até certo ponto, independente da taxa de informação.
- Um sinal que ocupa uma banda elevada não é necessariamente um sinal SS, embora muitas vezes o sinal SS seja um sinal faixa larga. Por outro lado, um sinal que ocupa uma banda relativamente pequena pode ser classificado como um sinal SS.

- **Principais Atributos:**

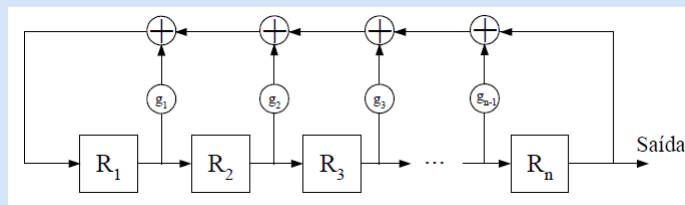
- Baixa densidade espectral de potência.
- Baixa probabilidade de interceptação.
- Baixa probabilidade de interferência.
- Possibilidade de implementação de múltiplo acesso.

O espalhamento espectral é alcançado através do uso de sequência de bits que possuem características específicas.

- O espalhamento espectral é alcançado através do uso de uma sequência de bits que possuem características específicas.
- As principais sequencias usados em espalhamento espectral são:
 - Sequências PN;
 - Sequências Walsh-Hadamard.
 - Sequências Gold.

- As Sequências Pseudo-Aleatórias são sequências de bits representadas por “0” e “1” (ou ± 1) que parecem ser aleatórias, mas que na verdade respeitam uma lei de formação.
- Essas sequências são muito úteis pois permitem:
 - 1) simular eventos “aleatórios” em computadores;
 - 2) proteger informações transmitidas;
 - 3) transmitir informações utilizando espalhamento espectral.
- As sequências PN (*Pseudo Noise*) recebem esse nome porque estas possuem características estatísticas semelhantes ao ruído branco, se forem analisadas dentro de um período.

- As sequências PNs são geradas através de uma máquina de estado, que na verdade é um conjunto de registradores de deslocamento.



- $g_1, g_2, g_3, \dots, g_{n-1}$ são coeficientes de um polinômio gerador e podem assumir valor “0” ou valor “1”.
- Valor “0” indica chave aberta, ou seja, a saída do registrador em questão não compõe o sinal de realimentação.
- Valor “1” indica chave fechada, ou seja, a saída do registrador afeta o sinal de realimentação.

- O polinômio gerador de uma PN possui a seguinte forma:

$$p(x) = 1 + g_1X^1 + g_2X^2 + g_3X^3 + \dots + g_{n-1}X^{n-1} + g_nX^n$$

- O comprimento de uma PN é definido como o número de bits que são gerados antes da sequência se repetir.
- Um polinômio gerador de grau n pode gerar uma sequência com comprimento máximo igual à

$$N_{PN} = 2^n - 1$$

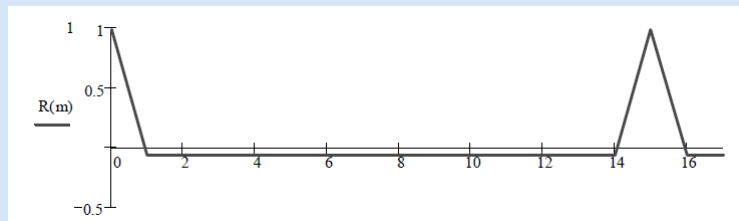
- Nem todo polinômio $p(X)$ gera sequências de comprimento máximo.

- Semente: é o valor inicial dos registradores quando a PN começa a ser gerada.
- A semente não muda a sequência gerada. Ela apenas causa um deslocamento na sequência resultante.
- Pergunta importante: qual é o valor de semente que é proibido?
- Desenhe a máquina de estado e determine a sequência PN gerada pelo polinômio $p(X)=1+X+X^3$, sabendo que a semente é 7_o. Qual é o comprimento máximo possível com esta máquina de estado? Esse polinômio gera uma sequência de máximo comprimento?

- Considere uma sequência PN com comprimento N_{PN} , c_k , onde seus elementos são representados por ± 1 .
- A função de autocorrelação é dada por

$$R(m) = \frac{1}{N_{PN}} \sum_{k=0}^{N_{PN}-1} c_k \cdot c_{k-m}$$

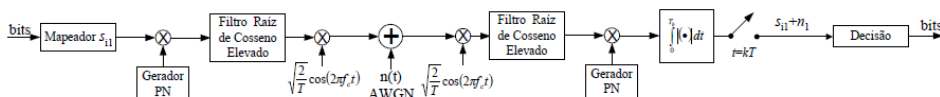
- As sequências PN de comprimento máximo possuem as seguintes características:
- 1) A função de autocorrelação é igual à 1 para $m = k \cdot N_{PN}$, onde $k=0,1,\dots$
 - 2) A função de autocorrelação é igual à $-1/N_{PN}$ para $m \neq k \cdot N_{PN}$.



- 3) O número de “zeros” e de “uns” em uma PN diferem-se em apenas uma unidade.

- Espalhamento Espectral consiste em transmitir dados utilizando uma largura de faixa muito maior do que a mínima estabelecida por Nyquist.
- As sequências PN podem ser empregadas para transmitir dados de K fontes diferentes utilizando o mesmo canal e a mesma faixa de frequência.
- Isso é possível devido a baixa correlação quando a PN está defasada. Essa técnica é conhecida como DS-SS: *Direct Sequence – Spread Spectrum*.
- Essa técnica é empregada no padrão IS-95 para obter múltiplo acesso ao meio de comunicação, resultando no padrão CDMA - *Code Division Multiple Access*.

- A maior vantagem do DS-SS é o combate à interferência.
- Todo sinal espalhado com uma PN diferente ou defasada daquela utilizada para espalhar o sinal desejado, continuará espalhada após a recepção.
- Toda interferência de faixa estreita será espalhada na recepção.
- O único sinal que terá a energia concentrada após o processo de recuperação é o sinal desejado.



Espalhamento Espectral

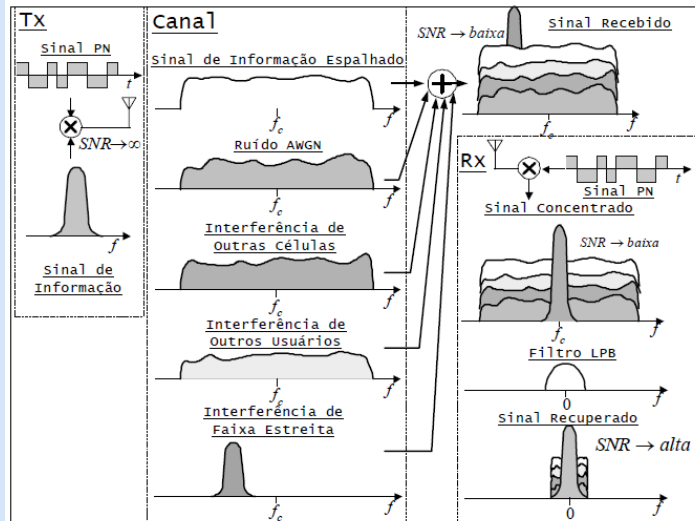
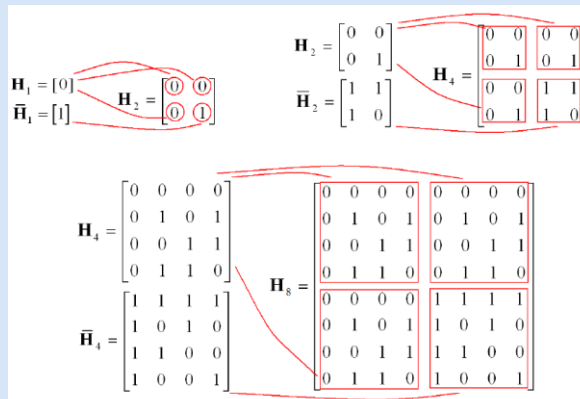


Figura cedida pelo Prof. Dr. Sandro Adriano Fasolo

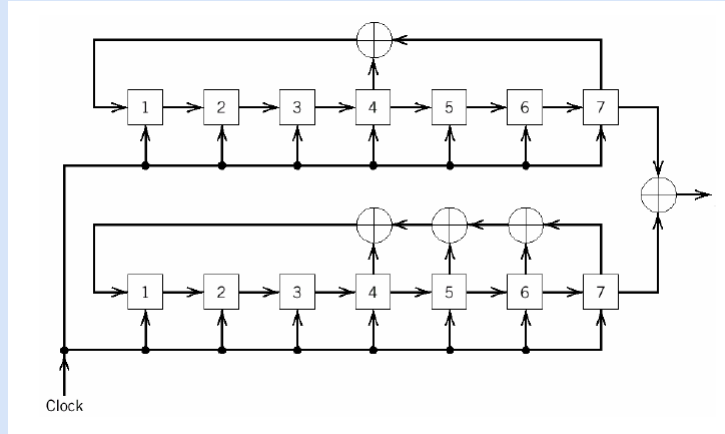
Espalhamento Espectral

- As seqüências Walsh-Hadamard têm como principal característica o fato de serem perfeitamente ortogonais, ou seja, a função de correlação cruzada entre qualquer par destas seqüências é nula para qualquer deslocamento relativo.



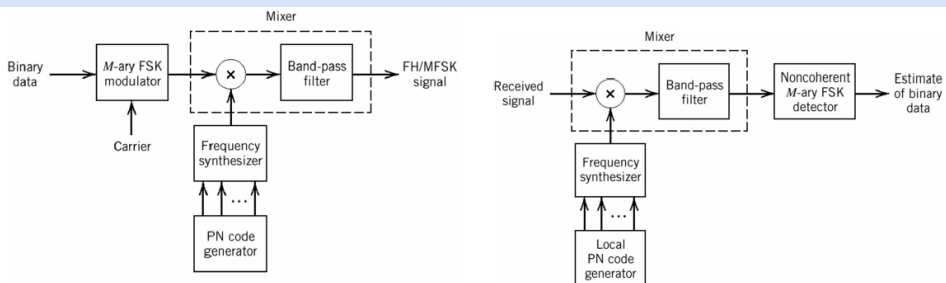
Espalhamento Espectral

- As seqüências Gold são implementadas pela operação OU-exclusivo (XOR) entre duas seqüências PN.



Espalhamento Espectral

- No espalhamento espectral usando a técnica FH-SS (*Frequency Hopping – Spread Spectrum*) a frequência de portadora está constantemente mudando sua posição espectral, sob controle de uma seqüência pseudo-aleatória.



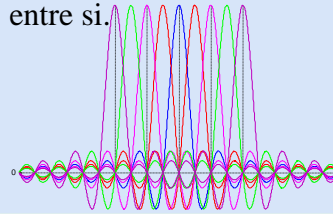
Múltiplas Portadoras

- *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*: empregada para transmissão em canais seletivos em frequência.
- Princípio: dividir o feixe de dados em N sub-feixes. Cada sub-feixe modula uma sub-portadora distinta.
- A banda ocupada por cada sub-portadora será N vezes menor. A taxa de cada sub-portadora também é N vezes menor.

$$BW_{mc} = \frac{BW_{sc}}{N} \qquad R_{mc} = \frac{R_{sc}}{N}$$

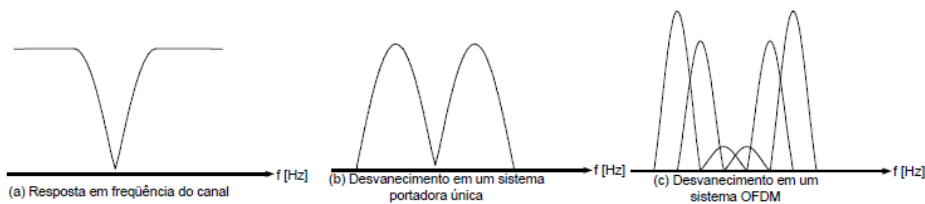
- Para aumentar a eficiência do sistema, as sub-portadoras são sobrepostas, mas de modo que sejam ortogonais entre si.

$$\Delta f_{min} = R_{mc} = \frac{1}{T}$$



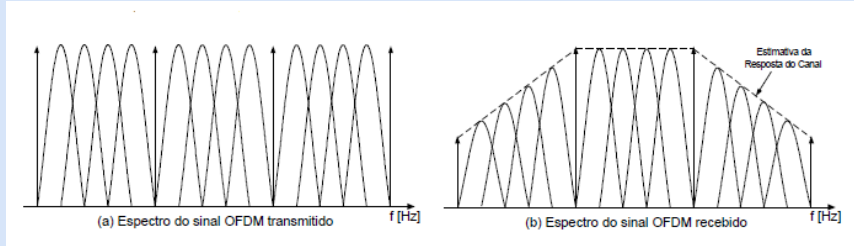
Múltiplas Portadoras

- Com o OFDM, o canal seletivo passa a ser plano para cada subportadora.



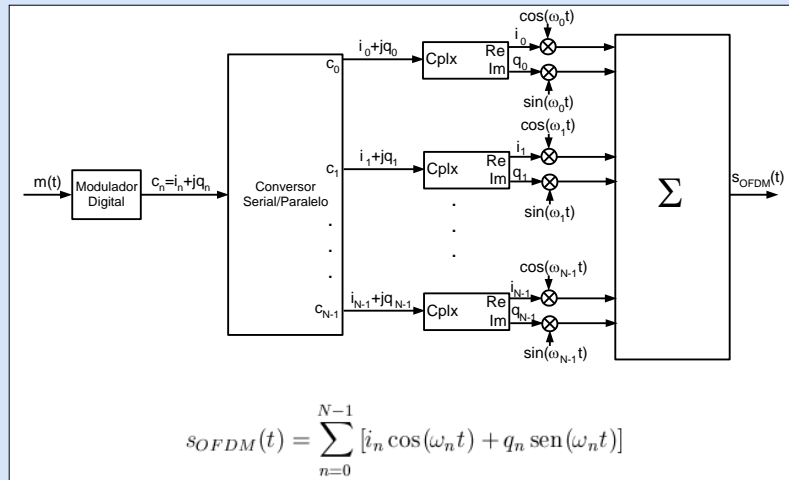
Múltiplas Portadoras

- Portadoras Piloto: são sub-portadoras que não carregam informação e cujo valor de amplitude é conhecido no receptor.
- Essas portadoras são empregadas para estimar os efeitos do canal no sinal recebido e minimizar as suas influências.



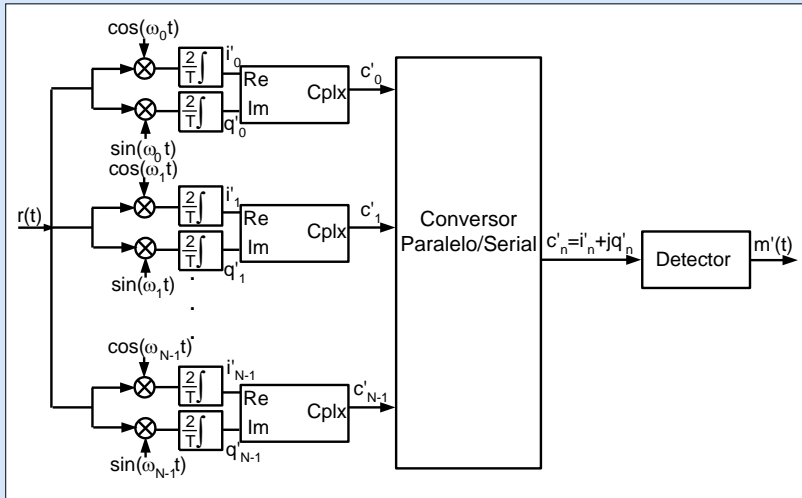
Múltiplas Portadoras

- Diagrama em blocos do transmissor OFDM usando o método da força bruta.



Múltiplas Portadoras

- Diagrama em blocos do receptor OFDM usando o método da força bruta.



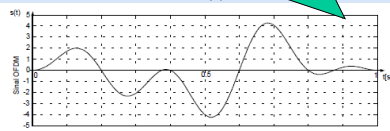
Múltiplas Portadoras

- Exemplo do processo de geração de um símbolo OFDM.

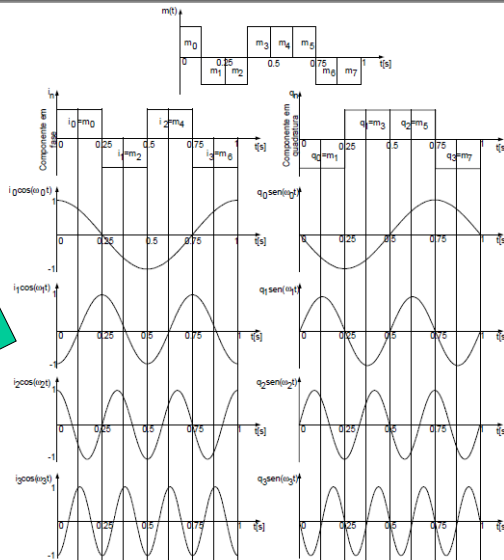
Modulação	QPSK
R_b	8 b/s
N	4
f_0	1 Hz



Símbolo OFDM, $s(t)$

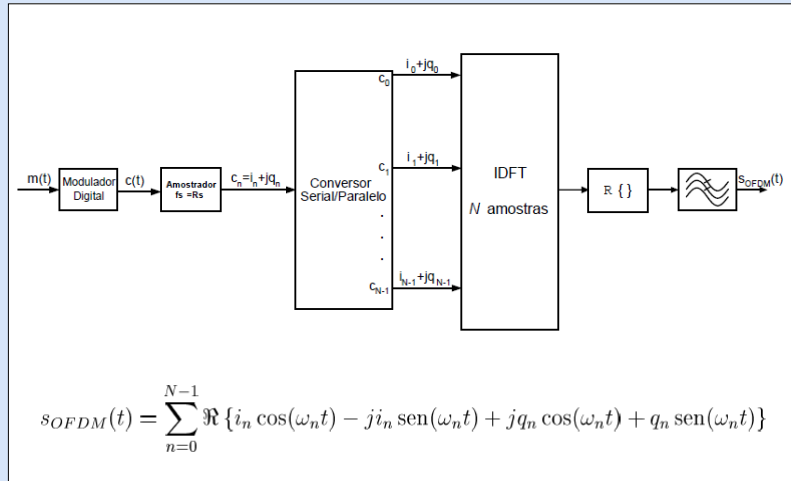


somatório de todas as portadoras



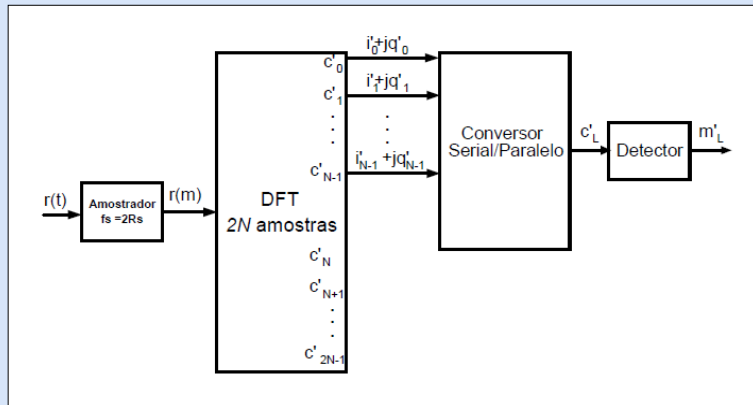
Múltiplas Portadoras

- Diagrama em blocos do transmissor OFDM usando IDFT.



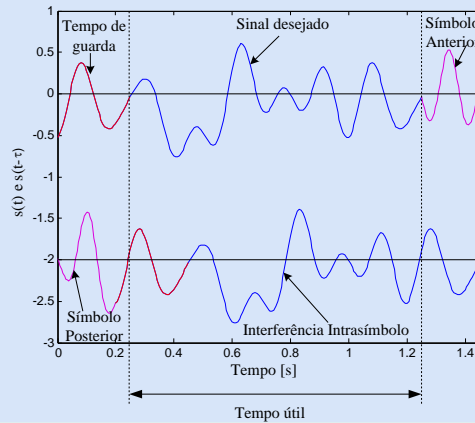
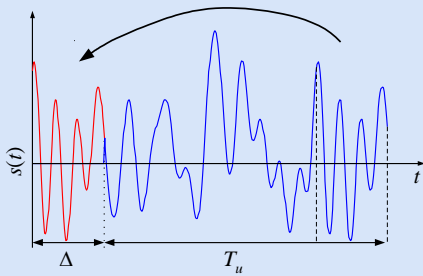
Múltiplas Portadoras

- Diagrama em blocos do receptor OFDM usando DFT.



- A frequência de amostragem deve ser $f_s = 2R_s$, para permitir a recuperação das componentes em fase e quadratura corretamente.

- É possível aumentar a robustez do sistema OFDM introduzindo um tempo de guarda entre os símbolos.
- Este intervalo de tempo consiste em uma cópia do final do símbolo para seu início.



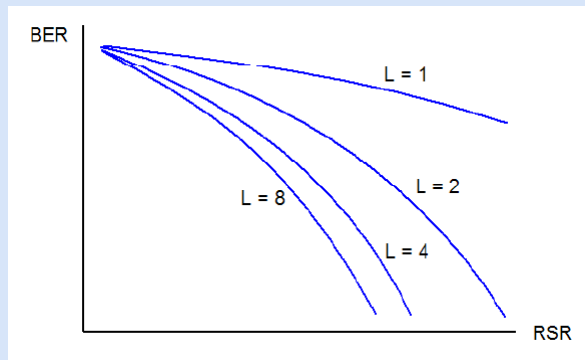
Problema: O canal rádio móvel dificulta o processo de comunicação, devido à suas características, diminuindo a confiabilidade de detecção do sinal.

Contra-medidas: técnicas de modulação robustas (alta eficiência de potência), codificação de canal, equalização, diversidade, codificação de fonte, antenas inteligentes, software-radio.

- **Técnicas de modulação** robustas e espalhamento espectral.
- **Diversidade**: certo tipo de redundância na informação transmitida ou no método de detecção.
- **Codificação de canal**: implementação de códigos e algoritmos corretores de erro.
- **Equalização**: compensação das distorções em frequência devidas à interferência inter simbólica.
- **Entrelaçamento temporal** de símbolos de forma a evitar erros em rajada.
- **Antenas adaptativas**: conformação dinâmica do padrão de irradiação da antena para minimizar interferência de múltiplos percursos e co-canais.

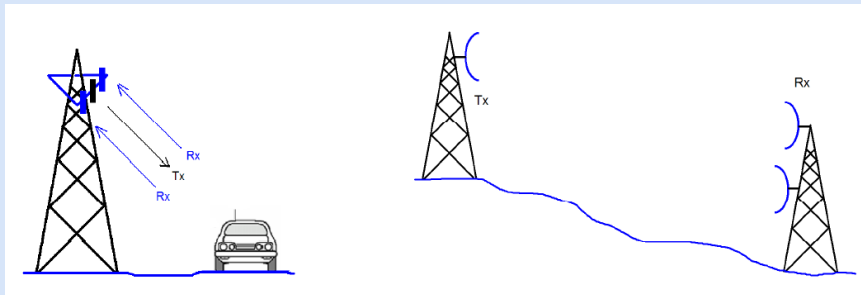
- Método utilizado para reduzir a variabilidade do sinal ou aumentar a relação sinal-ruído média do sinal que será utilizado para se realizar a decisão sobre os símbolos transmitidos.
- No receptor as M réplicas do sinal são combinadas de forma a minimizar o efeito do desvanecimento por múltiplos percursos, onde M é denominado ordem da diversidade.
- Objetivo principal é explorar o fato da probabilidade de ocorrência simultânea de desvanecimento profundo em todos os M canais ser pequena.

- Os ganhos de desempenho são progressivamente menores com o aumento da ordem da diversidade.



- **Diversidade em frequência:** A mesma informação é transmitida através de M diferentes portadoras. Sendo que a diferença entre as portadoras adjacentes deve ser igual ou maior que a banda de coerência.
- **Diversidade em polarização:** Neste tipo de diversidade o sinal a ser transmitido é injetado em antenas com polarizações cruzadas. Estudos de propagação mostram que o sinal com polarização horizontal sofre desvanecimentos decorrelacionados do sinal com polarização vertical, ao atravessar o canal de comunicação.

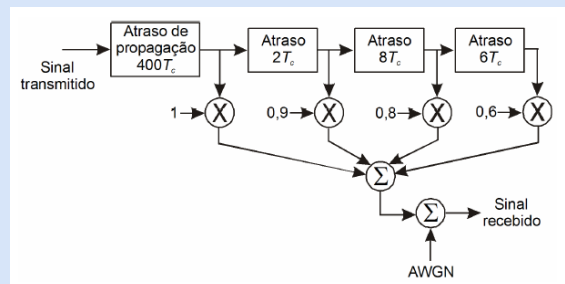
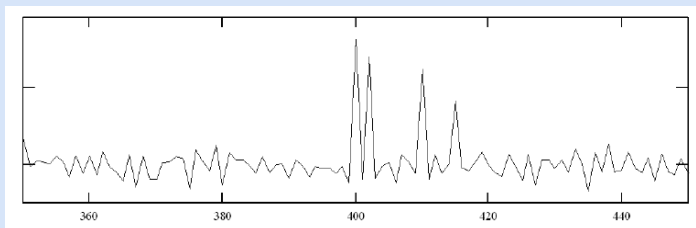
- **Diversidade Espacial:** A mesma informação é recebida por mais de uma antena. Por exemplo utiliza-se uma antena transmissora e múltiplas antenas receptoras. A distância entre as antenas receptoras deve ser tal que as diferentes componentes resultantes dos múltiplos percursos sejam estatisticamente independentes e decorrelacionados.

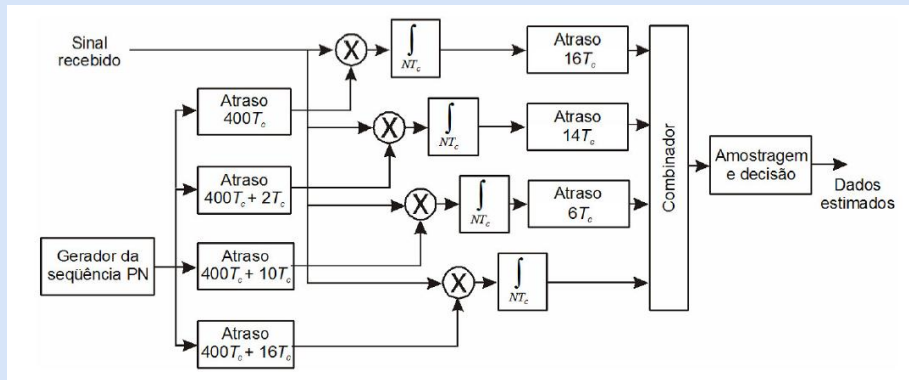


- **Diversidade Temporal:** A mesma informação é transmitida em L diferentes instantes de tempo (*time slots*). Sendo que a diferença entre os diferentes instantes de tempo de transmissão adjacentes deve ser igual ou maior que o tempo de coerência.
- **Diversidade em percursos:** Na diversidade em percursos uma técnica especial de processamento realizada no receptor permite que as contribuições dos sinais oriundos de diferentes percursos de propagação possam ser identificadas e combinadas para prover os efeitos esperados da diversidade. Esta é a técnica utilizada quando o sinal transmitido é um sinal com espalhamento espectral e o receptor que a realiza tem nome de receptor RAKE.

RAKE Receiver

- O receptor RAKE identifica e combina sinais não correlacionados oriundos de L percursos de propagação, utilizando um correlator para cada versão atrasada do sinal recebido.
- Somente percursos separados de um valor maior que a duração de um *chip* poderão ser discriminados e combinados pelo receptor RAKE. Percursos separados de intervalos menores que a duração de um *chip* terão suas contribuições somadas de tal forma que não possam ser identificadas separadamente.





- Rappaport, T. S., “Wireless Communications - Principles and Practice”: IEEE Press, Inc.. New York & Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA, 2002.
- Yacoub, Michel Daoud, “Foundations of Mobile Radio Engineering”, CRC Press, New York, USA, 1993.
- Ziemer, Rodger E., “Introduction to digital communication”/ Rodger E. Ziemer, Roger I. Peterson. – 2nd. Ed.2001 Prentice Hall
- SKLAR, B. Defining, Designing, and Evaluating Digital Communication Systems, IEEE Commun., 31(11):92-101,Nov.,1993.
- SKLAR, B. Digital Communications – Fundamentals and Applications Prentice-Hall PTR, 2nd Edition, 2001.
- Haykin, Simon, Sistemas de Comunicação. Analógicos e Digitais. 4ª Edição. Bookman.
- Luciano Leonel Mendes, Análise de desempenho de sistemas multiportadora em canais com ceifamento de pico, Tese de Mestrado, Inatel, 2003. Disponível em: http://biblioteca.inatel.br/biblioteca/producao-cientifica/dissertacoes-de-mestrado/doc_download/1653-analise-de-desempenho-de-sistemas-multiportadora-em-canais-com-ceifamento-de-pico.

Agradecimento

- Ao Prof. Dr. Luciano Leonel Mendes.
- Ao Prof. Dr. Rausley A. A. de Souza.
- Ao Prof. Dr. Dayan Adionel Guimarães.

Muito obrigado pela atenção!!!

Desejo sucesso a todos!!!