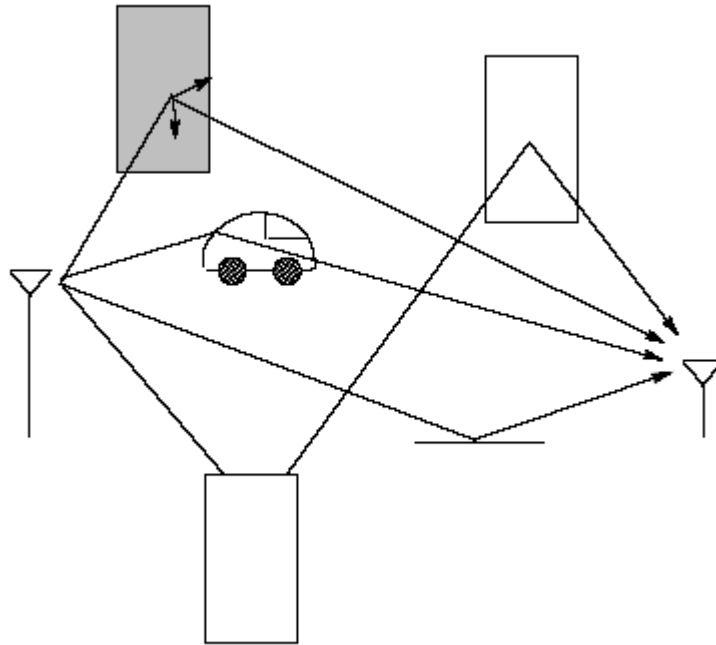


Sistemas de Comunicações sem Fio Eng. de Telecomunicações

Propagação em Pequena
Escala

Propagação por multipercursos



Deslocamento Doppler

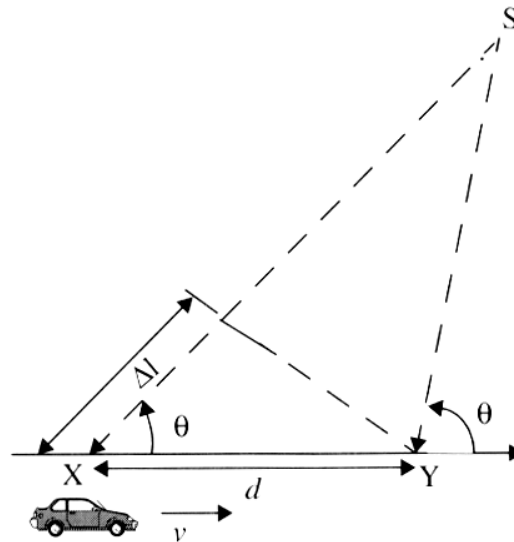


Figure 5.1 Illustration of Doppler effect.

$$\Delta l = d \cos \theta = v \Delta t \cos \theta.$$

$$\Delta \phi = \frac{2\pi \Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cos \theta$$

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos \theta$$

Modelo da resposta ao impulso do canal com multipercursos

- A resposta ao impulso do canal rádio móvel é uma ferramenta que proporciona informações para simular ou analisar transmissões de rádio através do canal.
- O canal rádio móvel pode ser modelado como filtro linear com resposta ao impulso variante no tempo.

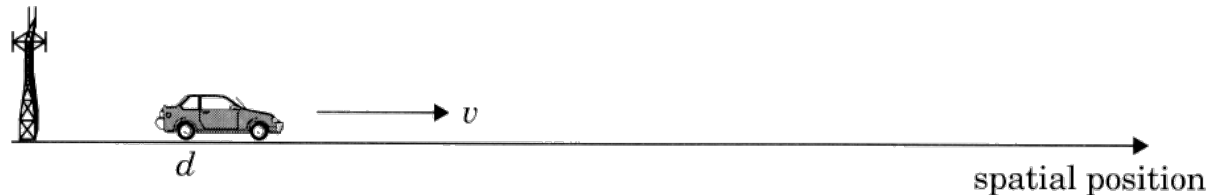


Figure 5.2 The mobile radio channel as a function of time and space.

Resposta ao impulso

O sinal recebido $y(t)$, pode ser expresso como a convolução entre o sinal transmitido $x(t)$ e a resposta ao impulso em banda passante $h(t, \tau)$.

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

onde a variável 't' representa as variações no tempo devido ao movimento e 'τ' representa o atraso dos multipercursos para um valor fixo de 't'.

Representação em base base

Se o canal rádio móvel banda passante é assumido ser limitado em banda, então $h(t,\tau)$ pode ser equivalentemente descrito por uma resposta ao impulso em banda básica complexa

$$r(t) = c(t) \otimes \frac{1}{2}h_b(t, \tau)$$

onde $c(t)$ e $r(t)$ são as envoltórias complexas de $x(t)$ e $y(t)$, definidas como

$$x(t) = \text{Re}\{c(t)\exp(j2\pi f_c t)\}$$

$$y(t) = \text{Re}\{r(t)\exp(j2\pi f_c t)\}$$

Resposta ao impulso de tempo discreto

Uma análise da resposta ao impulso do canal pode ser feita considerando os atrasos dos multipercursos em segmentos igualmente espaçados chamados de bins, onde cada bin tem um atraso no tempo igual a $\tau_{i+1} - \tau_i$. O atraso da primeira componente é τ_0 e o atraso da i -ésima componente é $\tau_i = i\Delta\tau$, onde $\Delta\tau = \tau_i - \tau_{i-1}$.

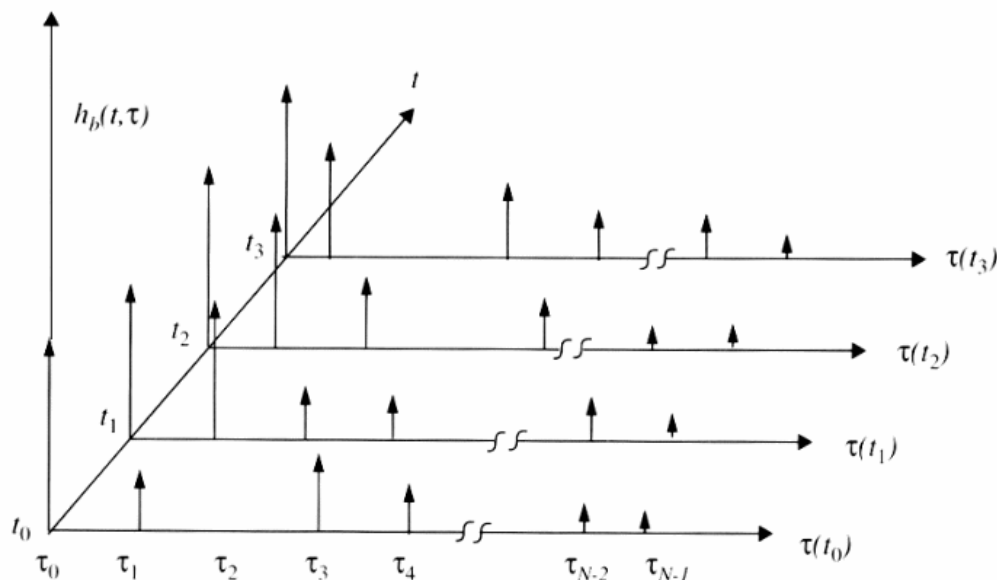


Figure 5.4 An example of the time varying discrete-time impulse response model for a multipath radio channel. Discrete models are useful in simulation where modulation data must be convolved with the channel impulse response [Tra02].

Resposta ao impulso

Como o sinal recebido em um canal com multipercursos consiste de uma série de réplicas atrasadas, deslocadas e atenuadas do sinal transmitido, a resposta ao impulso pode ser expressa por:

$$h_b(t, \tau) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i(t, \tau) \exp[j(2\pi f_c \tau_i(t) + \phi_i(t, \tau))] \delta(\tau - \tau_i(t))$$

onde, $a_i(t, \tau)$ e $\tau_i(t)$ representam a amplitude e o atraso das componentes, respectivamente.

Relação entre largura de faixa e potência recebida

- Sistemas banda larga

$$E_{a,\theta}[P_{WB}] = E_{a,\theta}\left[\sum_{i=0}^{N-1} |a_i \exp(j\theta_i)|^2\right] \approx \sum_{i=0}^{N-1} \overline{a_i^2}$$

- Sistemas CW

$$E_{a,\theta}[P_{CW}] \approx \sum_{i=0}^{N-1} \overline{a_i^2} + 2 \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{i,j \neq i}^N r_{ij} \overline{\cos(\theta_i - \theta_j)}$$

Na prática $\cos(\theta_i - \theta_j) = 0$ e/ou $r_{ij} = 0$, com isso a potência média para um sinal CW se torna equivalente a potência média para um sinal de banda larga.

Medição da resposta ao impulso

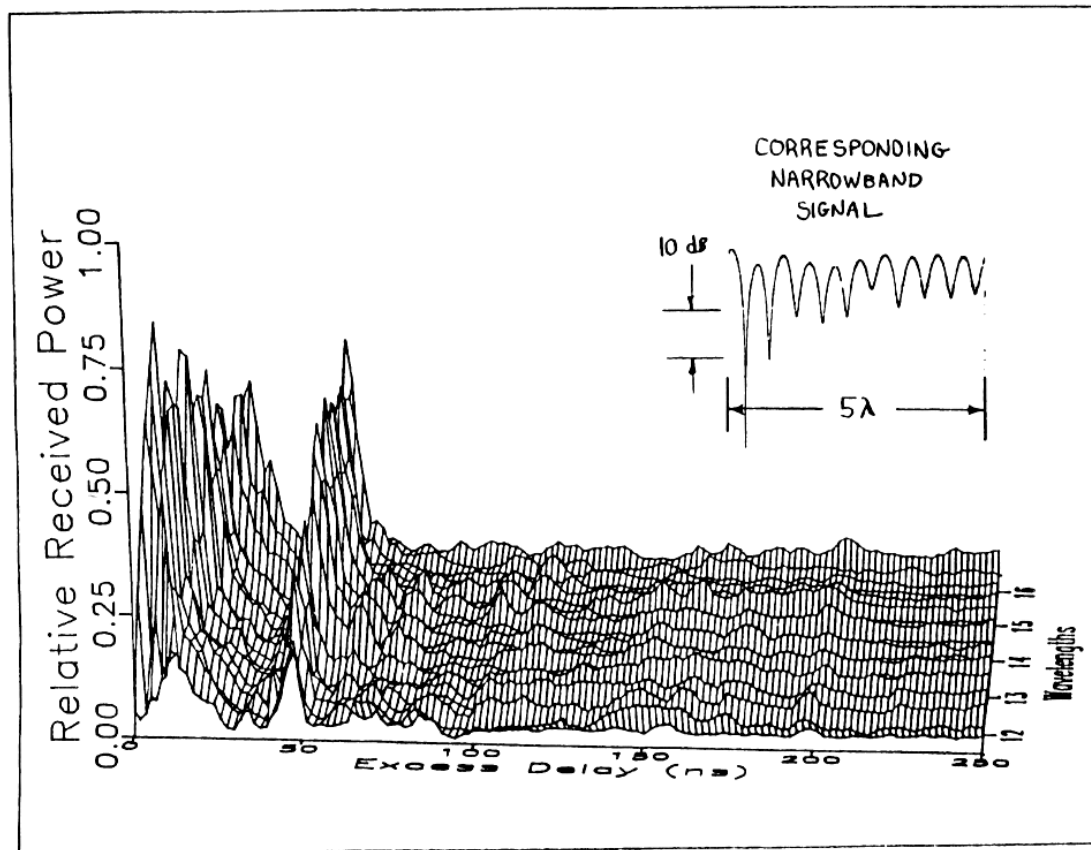


Figure 5.5 Measured wideband and narrowband received signals over a 5λ (0.375 m) measurement track inside a building. Carrier frequency is 4 GHz. Wideband power is computed using Equation (5.19), which can be thought of as the area under the power delay profile. The axis into the page is distance (wavelengths) instead of time.

Exemplo 1 - Matlab

```
clear all; close all; clc
```

```
h = rayleighchan(1/10000, 4);
```

```
tx = randint(10000, 1, 2);
```

```
dpskSig = dpskmod(tx, 2);
```

```
h.StoreHistory = 1;
```

```
y = filter(h, dpskSig);
```

```
plot(h);
```

Exemplo 2 - Matlab

```
clear all; close all; clc
```

```
h = rayleighchan(1/100000000, 40, [1 2 3]*1e-6, [0 0 0]);
```

```
tx = randint(10000, 1, 2);
```

```
dpskSig = dpskmod(tx, 2);
```

```
h.StoreHistory = 1;
```

```
y = filter(h, dpskSig);
```

```
plot(h);
```

Parâmetros do Canal com Multipercursos

- Alguns parâmetros são obtidos do perfil de potência do canal:

$$|r(t_0)|^2 = \sum_{k=0}^{N-1} a_k^2(t_0)$$

- Parâmetros de dispersão temporal
- Banda de coerência
- Tempo de coerência e espalhamento Doppler

Referência e leitura

- Livro: Comunicações sem fio, segunda edição. Theodore S. Rappaport
- Leitura: Capítulo 5. páginas 118 - 130

Parâmetros do Canal

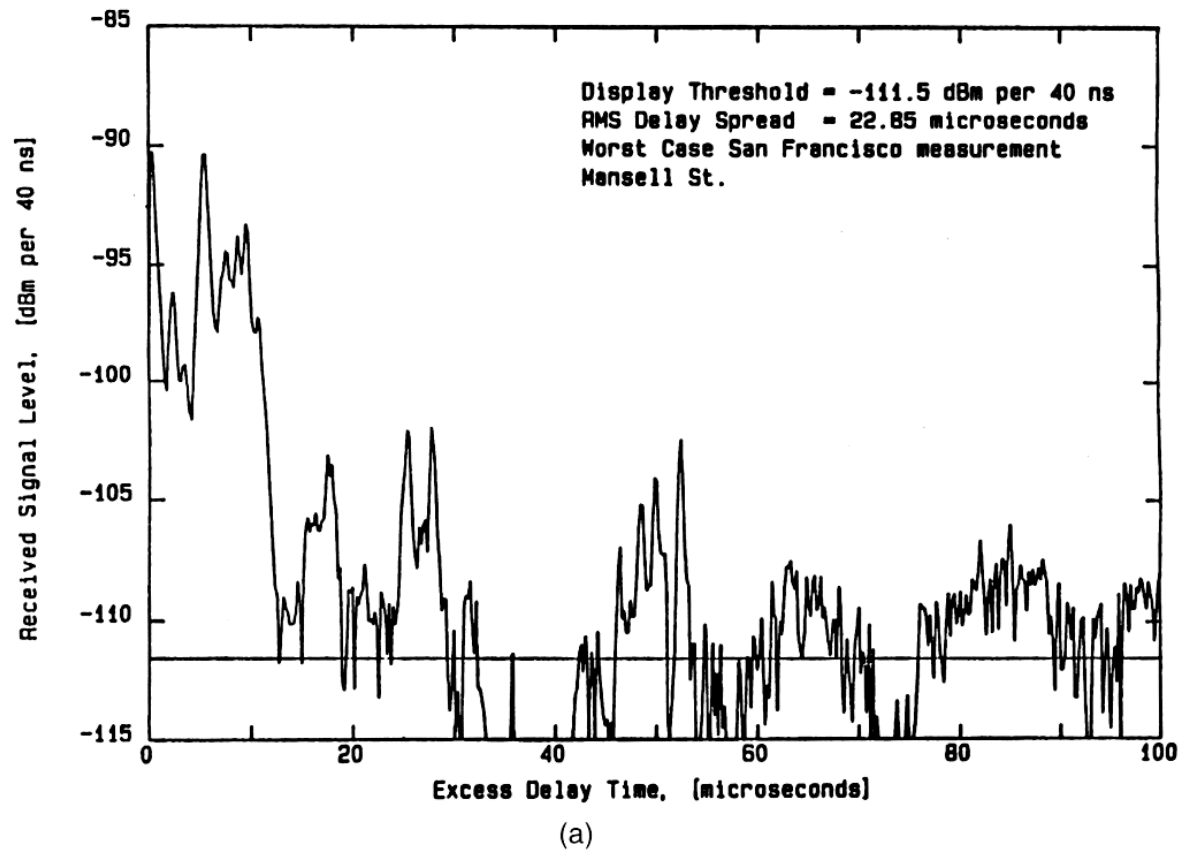
- Parâmetros do Canal com Multipercursos:
 - Muitos parâmetros dos canais com multipercursos são retirados do perfil de potências do canal:

$$|r(t_0)|^2 = \sum_{k=0}^{N-1} a_k^2(t_0)$$

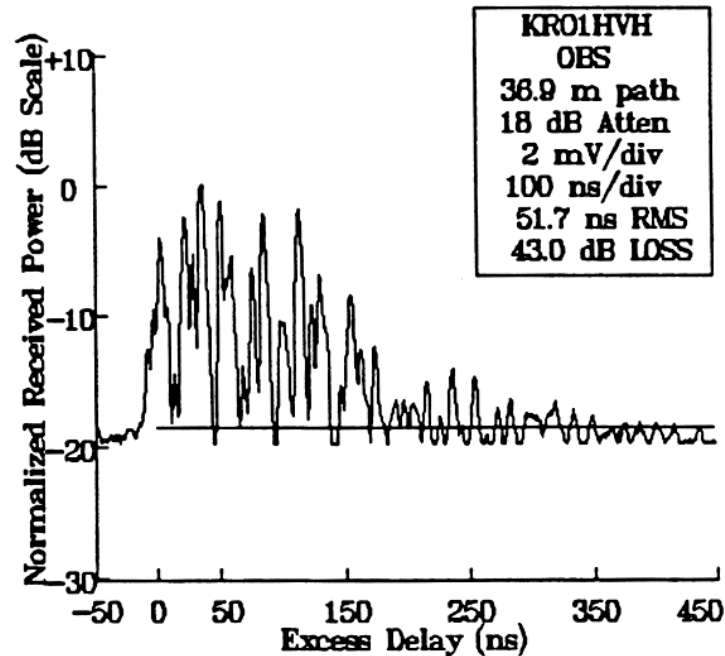
Parâmetros do Canal

- Parâmetros:
 - Parâmetros de dispersão temporal
 - Banda de Coerência
 - Tempo de Coerência e Espalhamento Doppler

Parâmetros do Canal



Parâmetros do Canal



(b)

Figure 5.9 Measured multipath power delay profiles: a) From a 900 MHz cellular system in San Francisco [from [Rap90] © IEEE]; b) inside a grocery store at 4 GHz [from [Haw91] © IEEE].

Parâmetros do Canal

- Parâmetros de Dispersão Temporal
 - Atraso médio
 - Espalhamento de atraso RMS
 - Atraso máximo (XdB)

Parâmetros do Canal

- Atraso Médio:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}$$

- Atraso Máximo (X dB):

Atraso máximo (relativo ao primeiro raio) de um multipercurso com X dB da potência do multipercurso mais forte:

$$\tau_x - \tau_0$$

Parâmetros do Canal

- Espalhamento de Atraso RMS:

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

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)}$$

Parâmetros do Canal

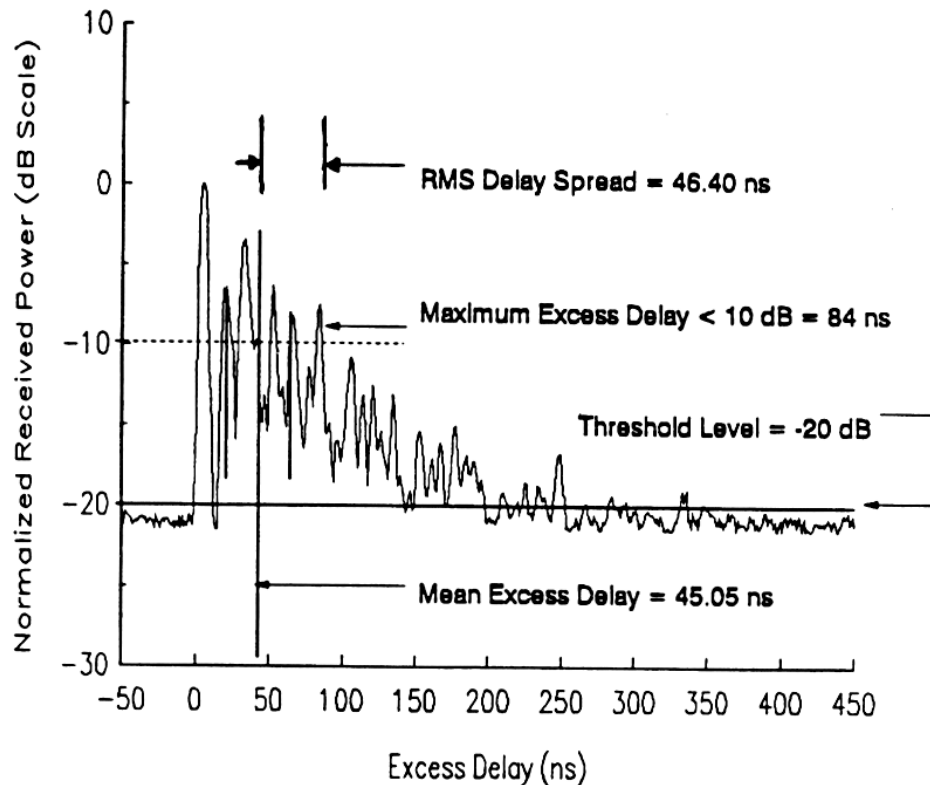


Figure 5.10 Example of an indoor power delay profile; rms delay spread, mean excess delay, maximum excess delay (10 dB), and threshold level are shown.

Parâmetros do Canal

Table 5.1 Typical Measured Values of RMS Delay Spread

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]

Parâmetros do Canal

- Banda de Coerência:

Medida estatística da faixa de frequências em que o canal pode ser considerado ‘plano’, ou onde duas frequências diferentes apresentam alta correlação.

Correlação > 0.9 :

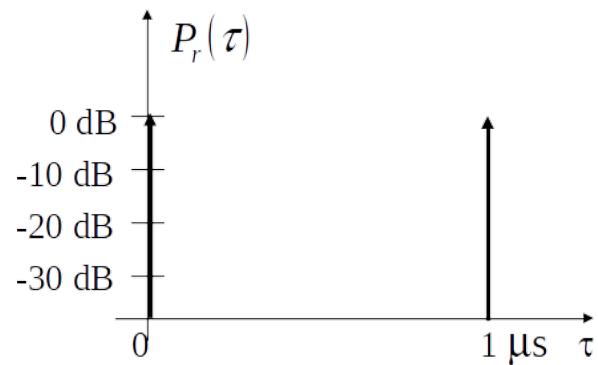
Correlação > 0.5 :

Parâmetros do Canal

- O espalhamento de atraso RMS e a banda de coerência são parâmetros que descrevem a dispersão temporal do canal. Entretanto, estes parâmetros não oferecem informações a respeito da variação temporal do canal, causada pelo movimento relativo entre Tx e Rx.

Parâmetros do Canal

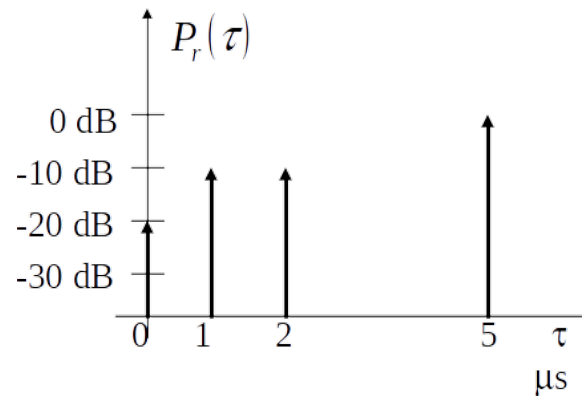
- Exercício
 - Determine espalhamento de atraso RMS para o seguinte perfil de potências



Parâmetros do Canal

- Exercício

- **Determine o atraso médio, máximo (10 dB), o espalhamento de atraso RMS, e a banda de coerência (corr: 0.5)**



Parâmetros do Canal

$$\bar{\tau} = \frac{(1)(5) + (0.1)(1) + (0.1)(2) + (0.01)(0)}{[0.01 + 0.1 + 0.1 + 1]} = 4.38\mu s$$

$$\bar{\tau}^2 = \frac{(1)(5)^2 + (0.1)(1)^2 + (0.1)(2)^2 + (0.01)(0)}{[0.01 + 0.1 + 0.1 + 1]} = 21.97\mu s^2$$

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{21.07 - (4.38)^2} = 1.37\mu s$$

$$B_c \approx \frac{1}{5 \cdot (1.37\mu s)} = 146 \text{ kHz}$$

Parâmetros do Canal

- Espalhamento Doppler: $B_D = f_m = v / \lambda$
 - Faixa de freq. na qual o espectro Doppler é essencialmente não nulo

- Tempo de Coerência:

Dual no tempo para o espalhamento Doppler. Usado para medir a natureza variante no tempo do canal:

$$T_C \approx \frac{1}{f_m}; \quad T_C(\text{corr} > 0.5) \approx \frac{9}{16\pi f_m}$$

Na prática -> média geométrica:

$$T_C = \sqrt{\frac{1}{f_m} \frac{9}{16\pi f_m}} = \sqrt{\frac{9}{16\pi f_m^2}} = \frac{0.423}{f_m}$$

Parâmetros do Canal

- Exercício
 - Freqüência da portadora $f_c = 1900$ MHz
 - Velocidade do móvel $v = 50$ m/s
 - Calcular o tempo de coerência e o espalhamento Doppler neste caso.

Parâmetros do Canal

- Solução

$$T_C(\text{corr} > 0.5) \approx \frac{9}{16\pi f_m} = \frac{9\lambda}{16\pi v} = \frac{9c}{16\pi v f_c} = 565 \mu\text{s}$$

$$B_D = f_m = \frac{v}{\lambda} = \frac{v f_c}{c} = 316.66 \text{ Hz}$$

Classificação do Canal

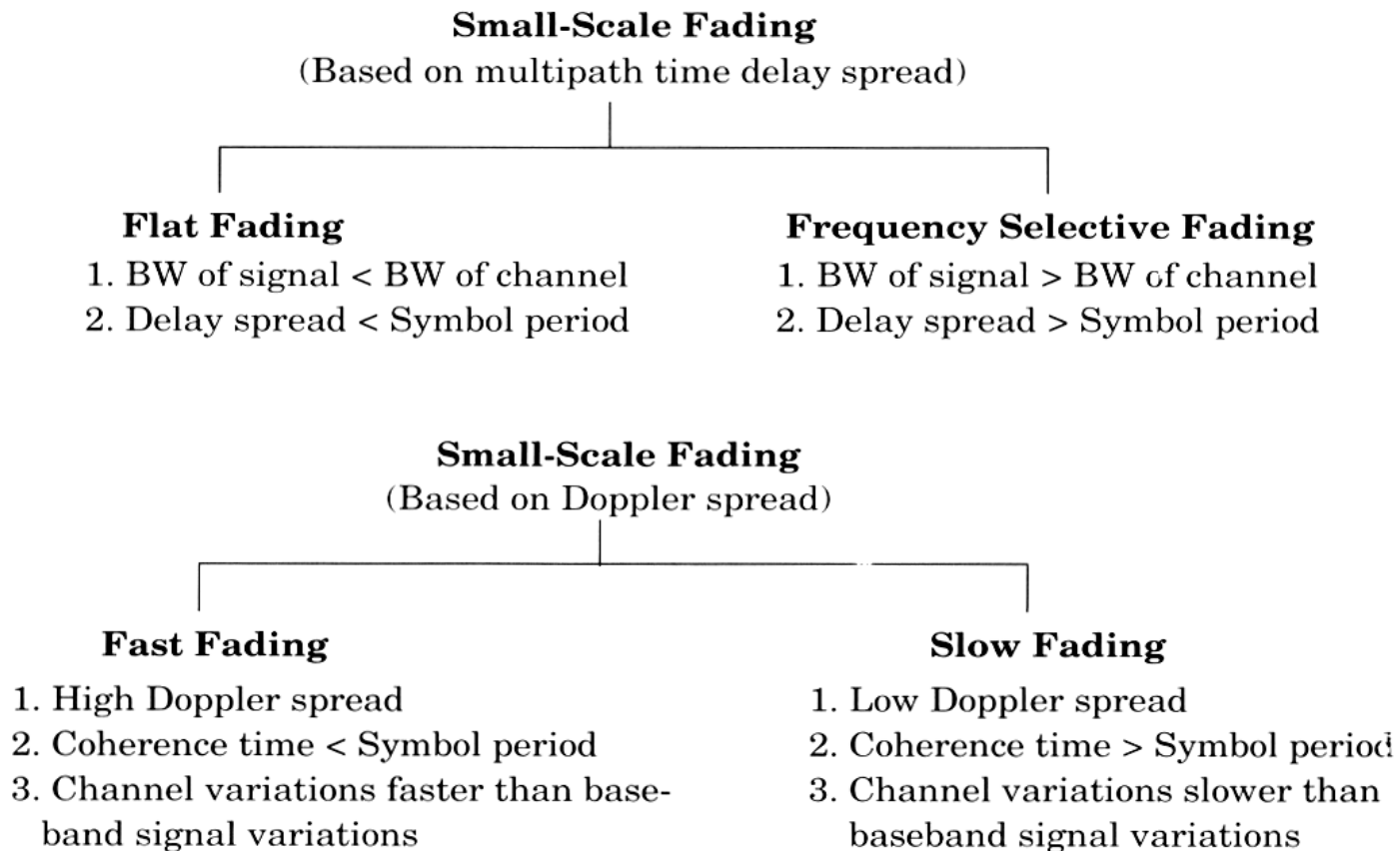
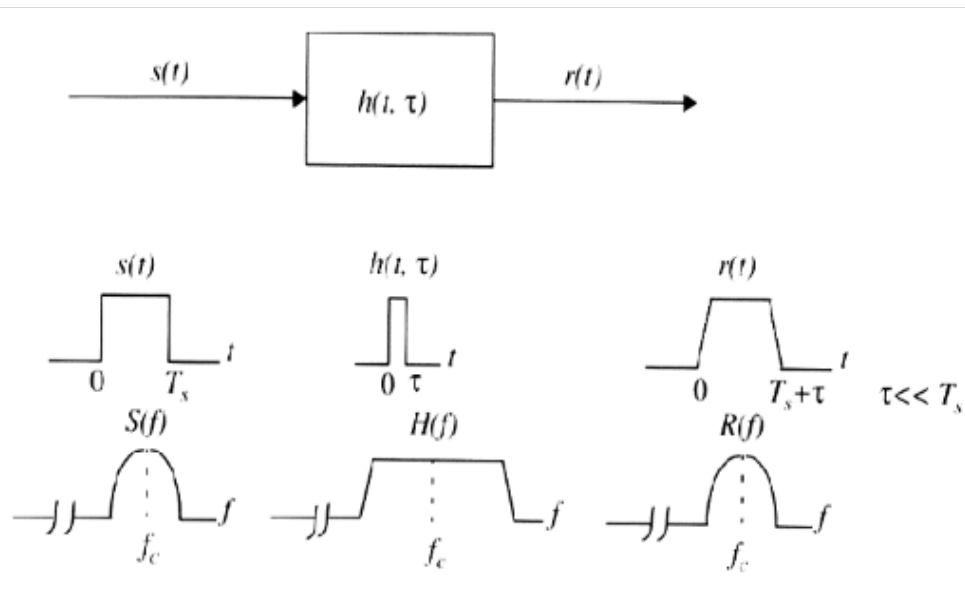


Figure 5.11 Types of small-scale fading.

Classificação do Canal

- Desvanecimento Plano:

$$B_S \ll B_C \text{ e } T_S \gg \sigma_\tau$$



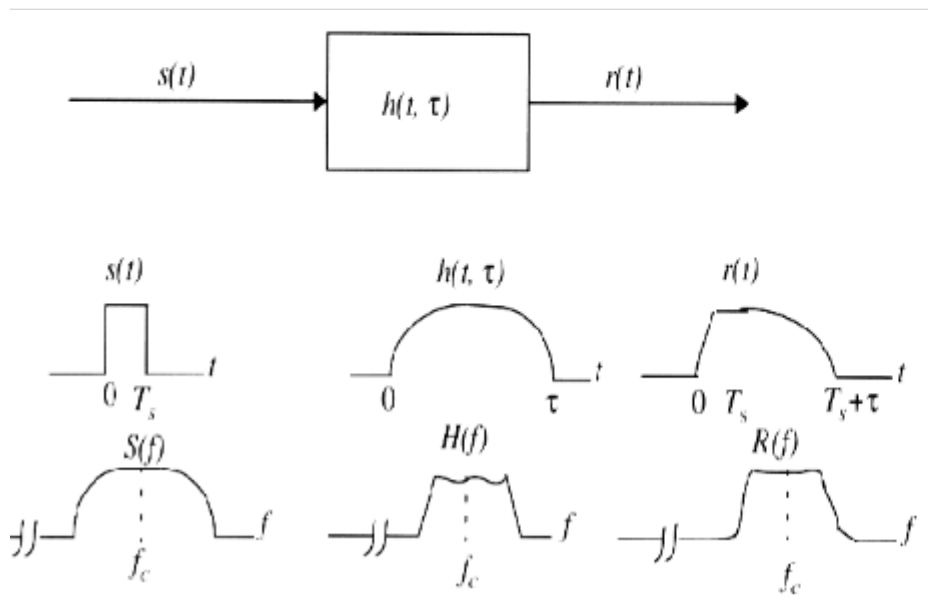
Uma regra utilizada na prática para especificar se o desvanecimento é plano é:

$$T_S \geq 10 \cdot \sigma_\tau$$

Classificação do Canal

- Seletivo em Frequência:

$$B_S > B_C \text{ e } T_S < \sigma_\tau$$



Uma regra utilizada na prática para especificar se o desvanecimento é seletivo é:

$$T_S < 10 \cdot \sigma_\tau$$

Classificação do Canal

- Desvanecimento Lento:

O canal pode ser assumido constante durante alguns intervalos de símbolo

$$B_S \gg B_D \text{ e } T_S \ll T_C$$

- Desvanecimento Rápido:

O canal varia durante a transmissão de um único símbolo, sendo o canal chamado também de ‘seletivo no tempo’

$$B_S < B_D \text{ e } T_S > T_C$$

Classificação do Canal

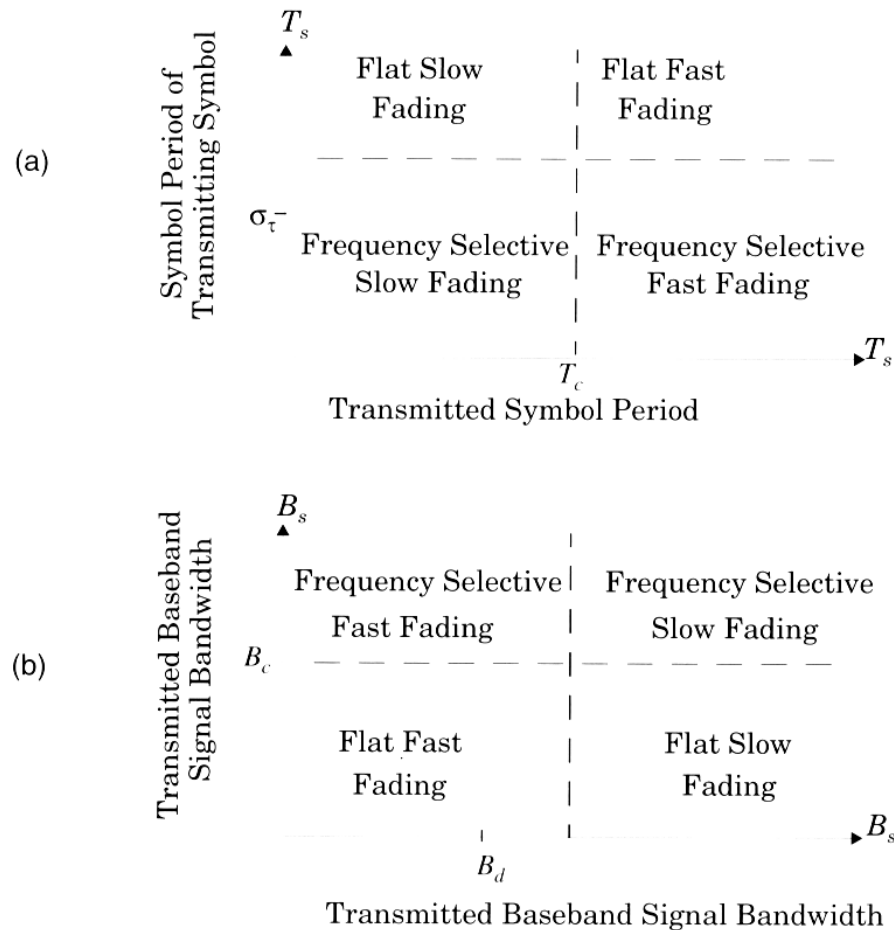


Figure 5.14 Matrix illustrating type of fading experienced by a signal as a function of: (a) symbol period; and (b) baseband signal bandwidth.

Referência e leitura

- Livro: Comunicações sem fio, segunda edição. Theodore S. Rappaport
- Leitura: Capítulo 5. páginas 131 - 136