

Desvanecimento

- Resposta ao Impulso:

Função do tempo e do espaço: $h(t, \tau)$

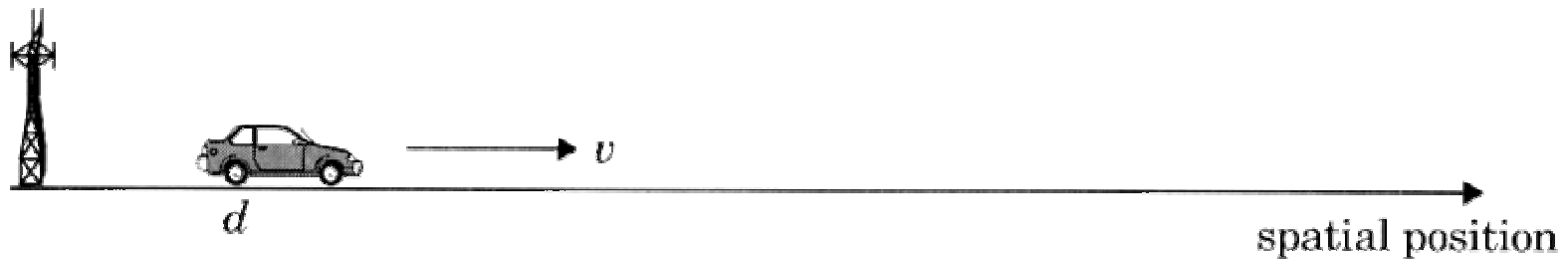


Figure 5.2 The mobile radio channel as a function of time and space.

Desvanecimento

- Resposta em Banda Básica: $h_b(t, \tau)$

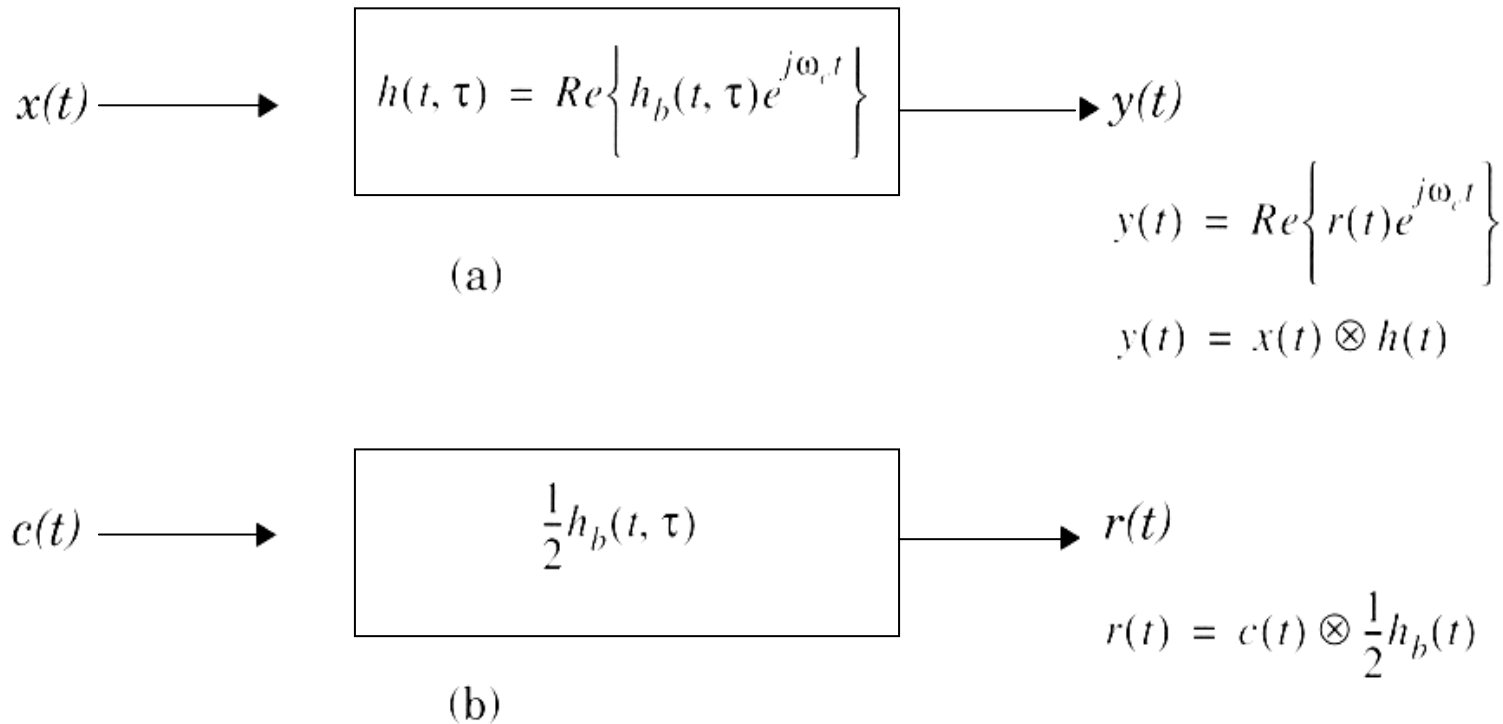


Figure 5.3 (a) Bandpass channel impulse response model; (b) baseband equivalent channel impulse response model.

Desvanecimiento

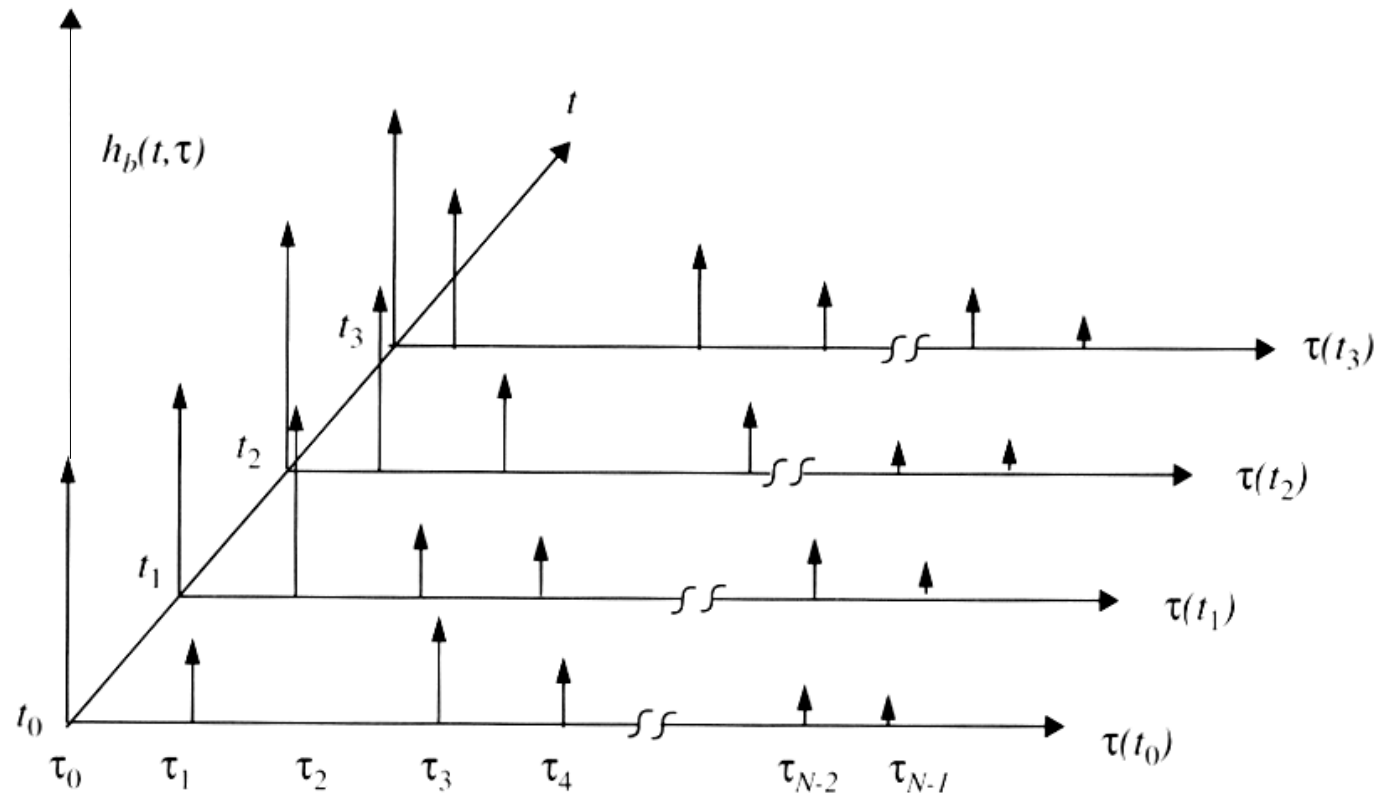


Figure 5.4 An example of the time varying discrete-time impulse response model for a multipath radio channel. Discrete models are useful in simulation where modulation data must be convolved with the channel impulse response [Tra02].

Desvanecimento

- Resposta ao Impulso em Banda-Básica:

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

Se o canal for invariante no tempo ou WSS:

$$h_b(\tau) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \exp(-j\theta_i) \delta(\tau - \tau_i)$$

Desvanecimento

- Potência Média Recebida: WB e CW

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

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

Desvanecimiento

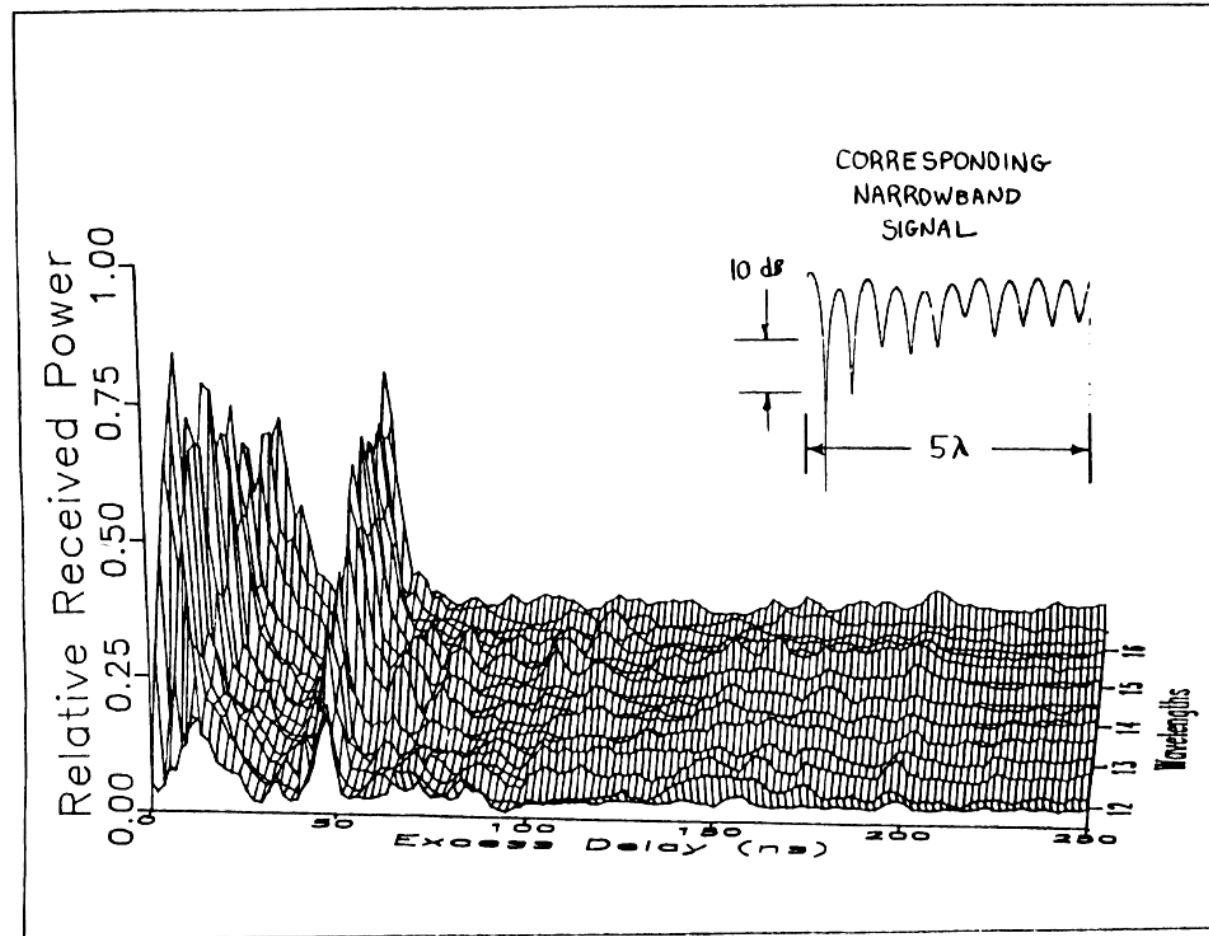


Figure 5.5 Measured wideband and narrowband received signals over a 5λ (0.375 m) measurement track inside a building. Carrier frequency is 4 GHz. Wideband power is computed using Equation (5.19), which can be thought of as the area under the power delay profile. The axis into the page is distance (wavelengths)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

Parâmetros do Canal

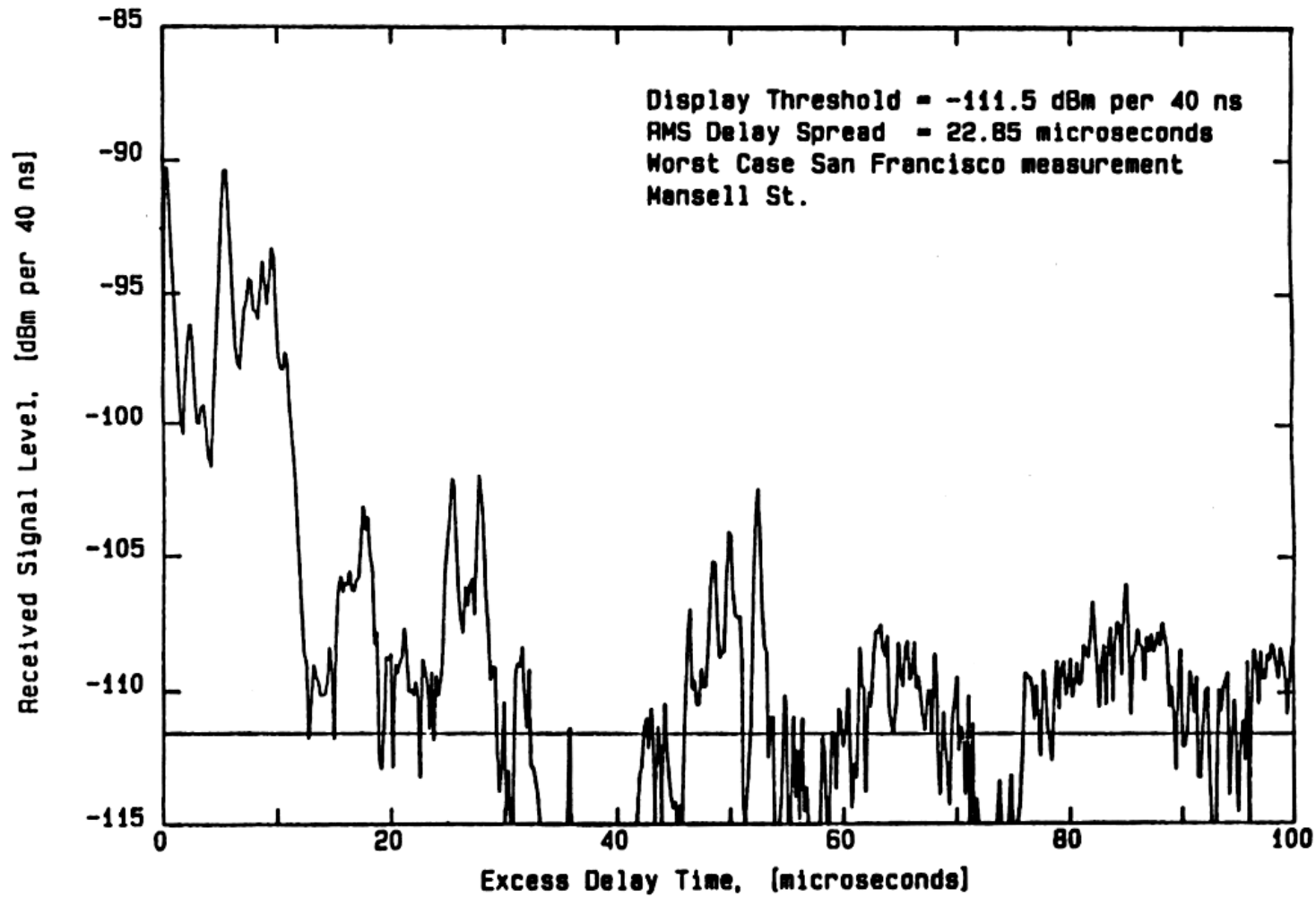
- Parâmetros do Canal com Multipercursos:
 - Muitos parâmetros dos canais com multipercursos são retirados do perfil de potências do canal:

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

Parâmetros do Canal

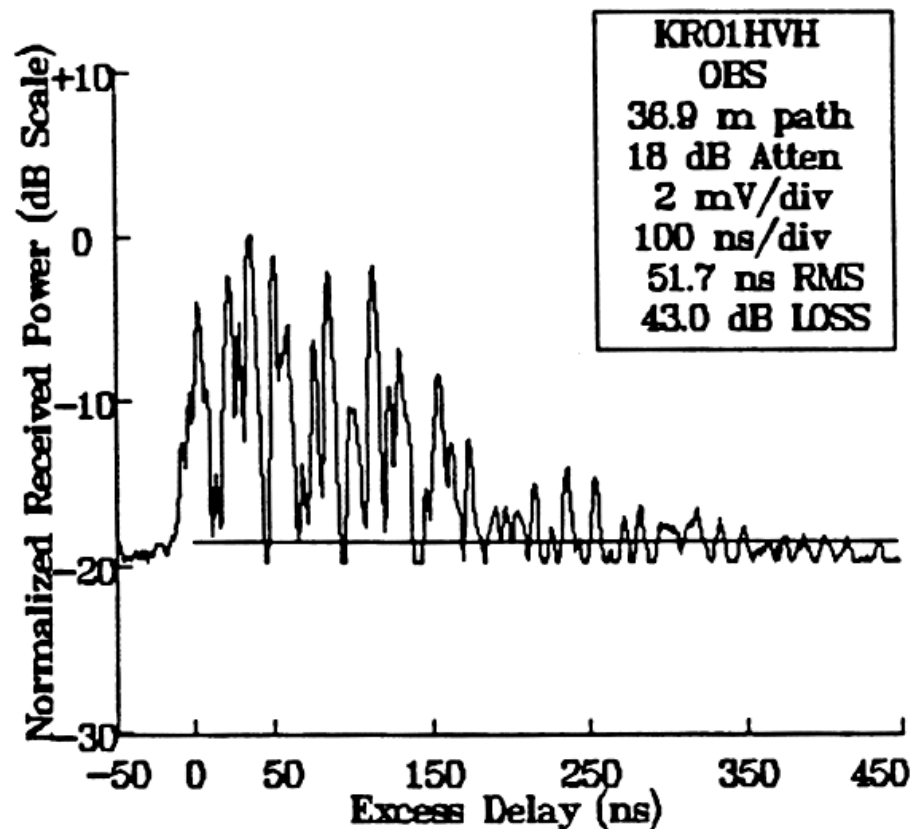
- Parâmetros:
 - Parâmetros de dispersão temporal
 - Banda de Coerência
 - Tempo de Coerência e Espalhamento Doppler

Parâmetros do Canal



(a)

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:

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

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

Parâmetros do Canal

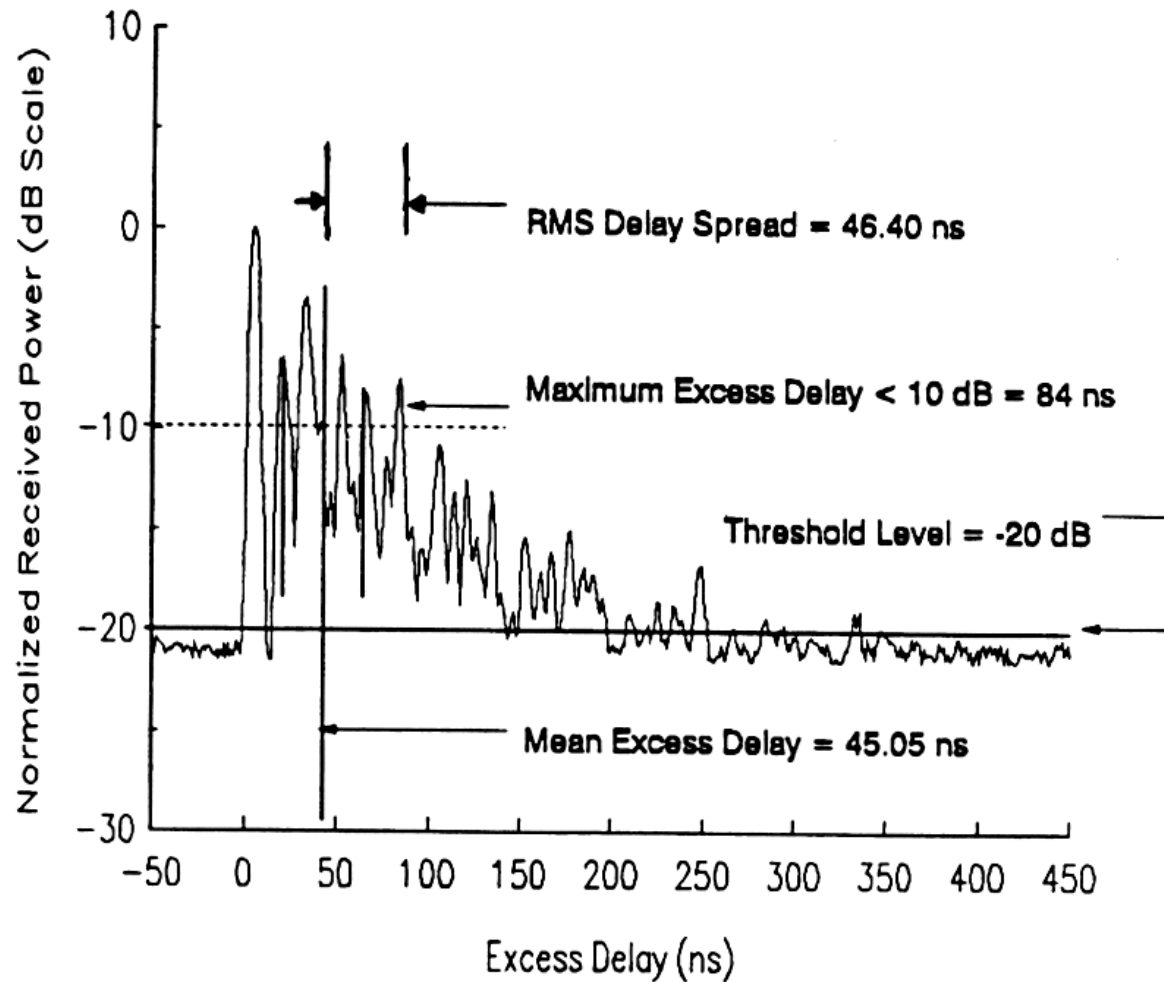


Figure 5.10 Example of an indoor power delay profile; rms delay spread, mean excess delay, maximum excess delay (10 dB), and threshold level are shown.

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.

$$\text{Correlação} > 0.9: \quad B_C \approx \frac{1}{50\sigma_\tau}$$

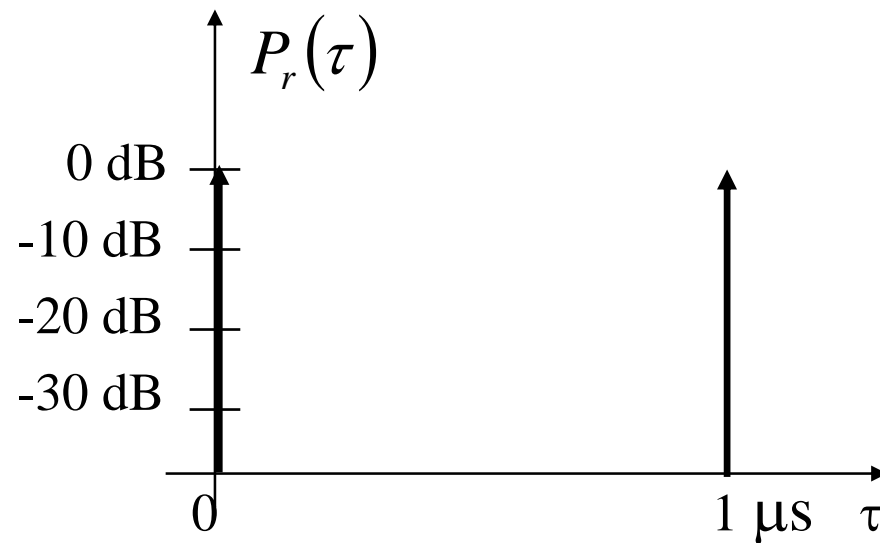
$$\text{Correlação} > 0.5: \quad B_C \approx \frac{1}{5\sigma_\tau}$$

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.

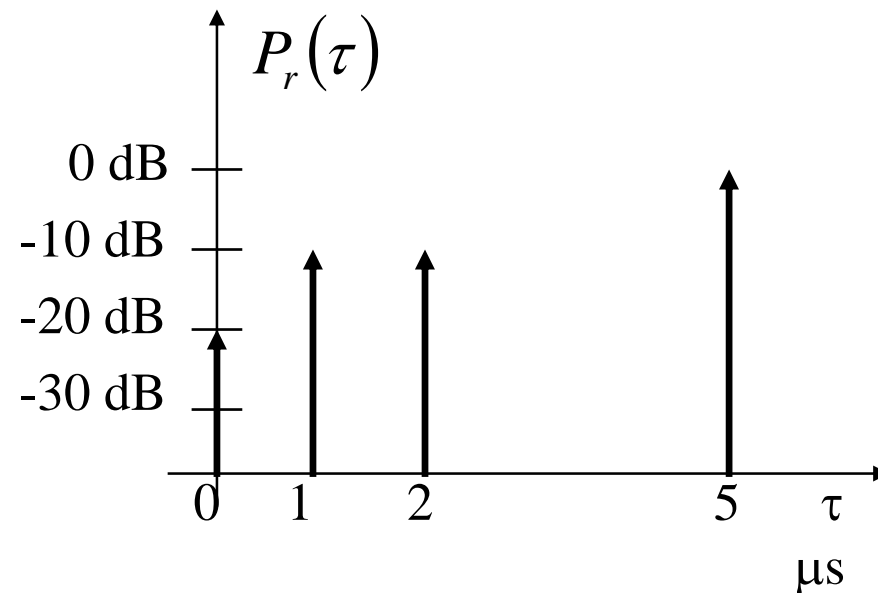
Parâmetros do Canal

- 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

- Solução

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

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

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

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

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: $T_C = \sqrt{\frac{9}{16\pi f_m}} = \frac{0.423}{f_m}$

Parâmetros do Canal

- Exercício
 - **Frequência 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

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

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

Classificações do Desvanecimento

- Classificações:

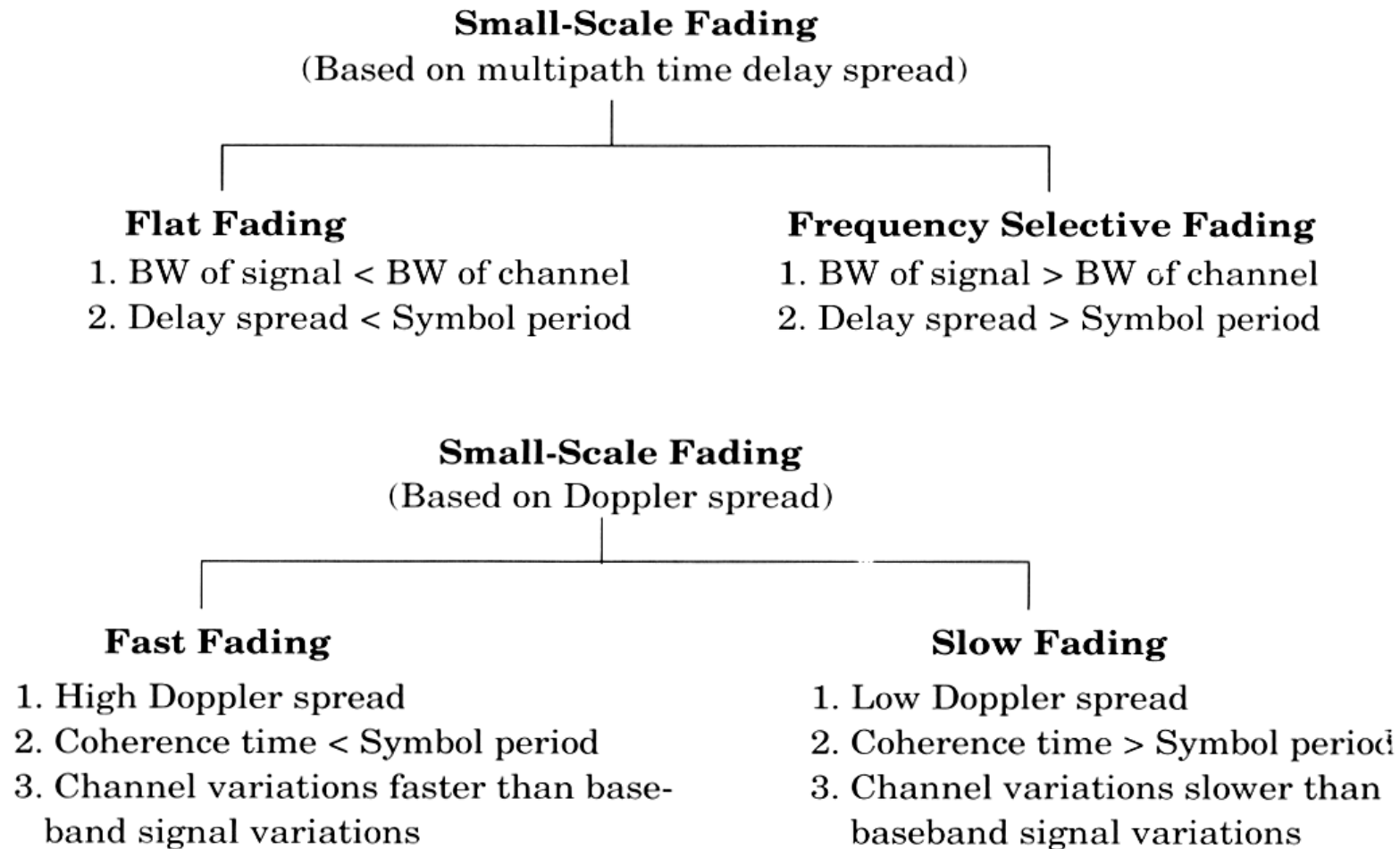
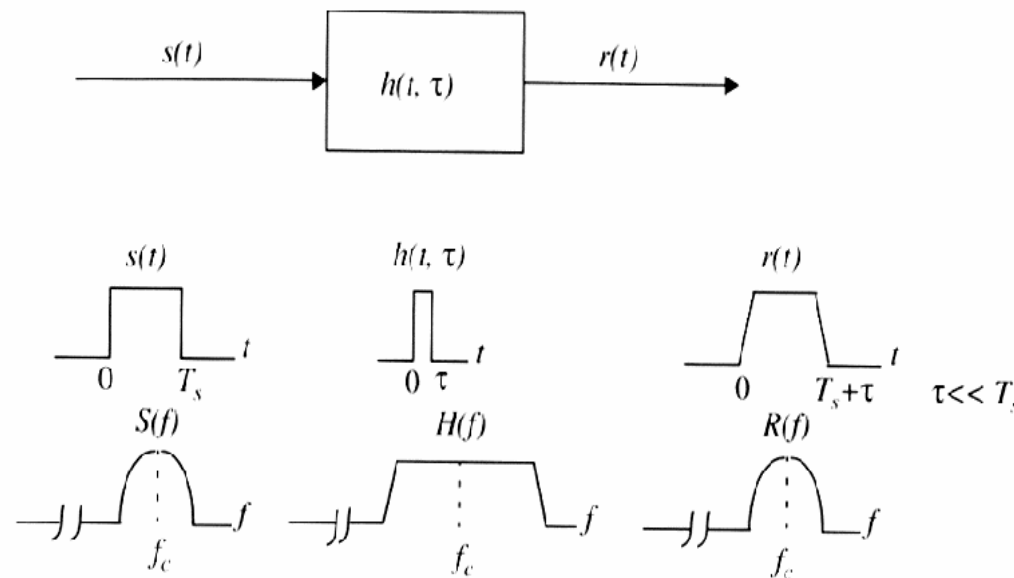


Figure 5.11 Types of small-scale fading.

Classificações do Desvanecimento

- Desvanecimento Plano: $B_S \ll B_C$ e $T_S \gg \sigma_\tau$

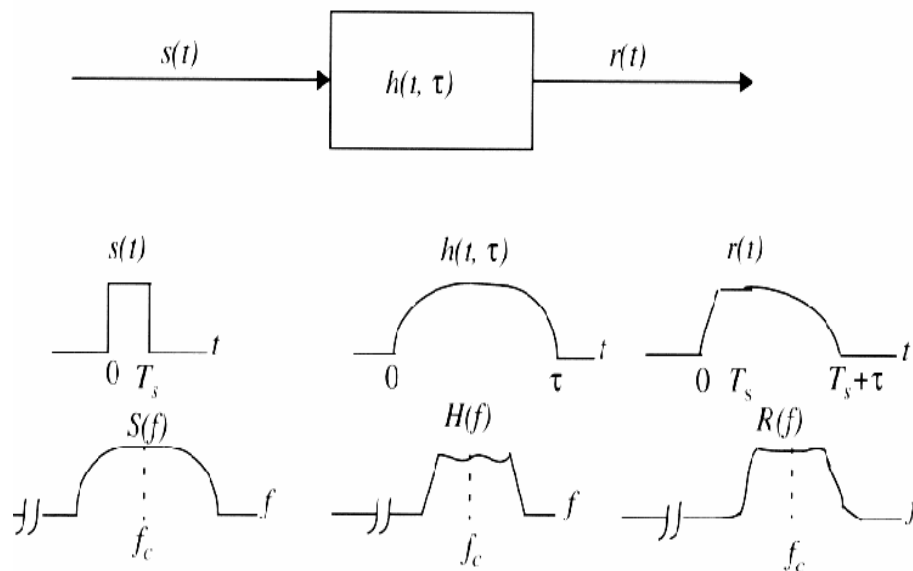


Uma regra utilizada na prática para especificar se o desvanecimento é plano é:

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

Classificações do Desvanecimento

- Seletivo em Frequência: $B_S > B_C$ e $T_S < \sigma_\tau$



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

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

Classificações do Desvanecimento

- 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’

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

Classificações do Desvanecimento

