Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações

TP537 – Transmissão Digital
1ª Avaliação – 27/08/2018 – 13:30h
Prof. Dayan Adionel Guimarães

Nota:

Aluno(a): ____

Prova com consulta ao livro texto (apenas), com duração de **3h**. A interpretação é parte integrante das questões. Proibido uso de calculadora programável. Seja organizado. Boa prova!

1ª questão (24 pontos)

Pretende-se analisar um canal de rádio móvel através de medidas em campo. Para isto utiliza-se um veículo de prova a uma velocidade constante de 50 m/s, o qual coletará amostras de um sinal transmitido não modulado com frequência de 1900 MHz. Para uma boa correlação entre as amostras (o que permitirá uma boa estimativa das variações instantâneas do desvanecimento por multipercurso), o intervalo entre elas deve ser igual à metade do tempo de coerência do canal, este determinado para uma correlação de 0,5 na função de correlação espaço-temporal.

a) Determine o intervalo espacial de amostragem.

$$T_C \approx \frac{9}{16\pi f_m} = \frac{9\lambda}{16\pi v} = \frac{9c}{16\pi v f_c} = \frac{9 \times 3 \times 10^8}{16 \times 3.14 \times 50 \times 1900 \times 10^6}$$

$$T_C = 565\mu s$$

Taking time samples at less than half T_C, at $282.5\mu s$ **corresponds to a spatial sampling interval of**

$$\Delta x = \frac{vT_C}{2} = \frac{50 \times 565\mu s}{2} = 0.014125 \text{ m} = 1.41 \text{ cm}$$

b) Quantas amostras serão necessárias em um percurso de 10m?

Therefore, the number of samples required over a 10 m travel distance is

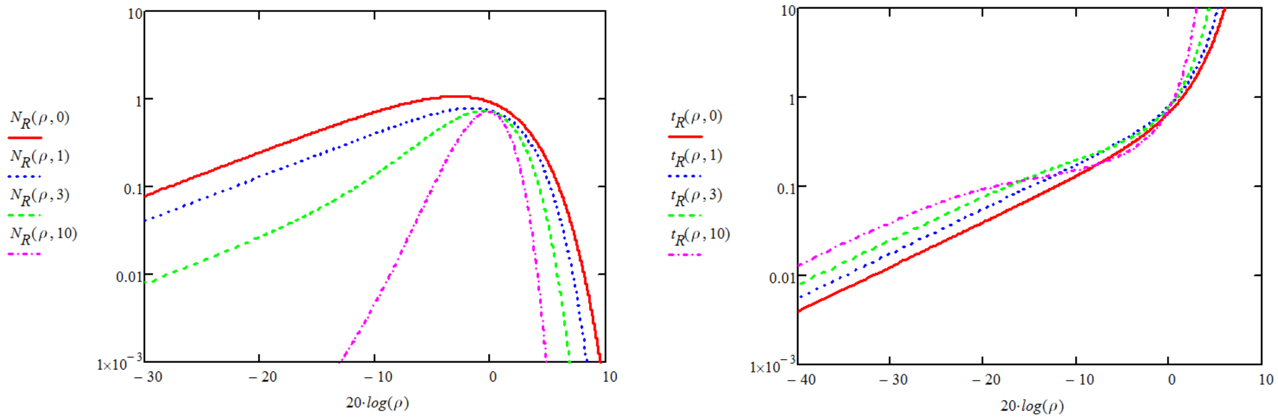
$$N_x = \frac{10}{\Delta x} = \frac{10}{0.014125} = 708 \text{ samples}$$

c) Qual o desvio Doppler máximo do canal?

$$\frac{vf_c}{c} = \frac{50 \times 1900 \times 10^6}{3 \times 10^8} = 316.66 \text{ Hz}$$

2ª questão (26 pontos)

As figuras a seguir mostram a taxa de cruzamento de limiar $N_R(\rho, K)$ e a duração média do desvanecimento $N_R(\rho, K)$ Rice, ambas normalizadas em relação ao desvio Doppler máximo f_m.



a) Interprete tais funções do ponto de vista físico.

Resposta

A taxa de cruzamento de limiar é uma função com aspecto côncavo, exibindo um máximo por volta de ρ = 0 dB (o valor exato depende de K). Nota-se que o desvanecimento mais severo (K = 0) corresponde à maior excursão de ρ para dada excursão de N_R, o que faz sentido devido à maior variabilidade do desvanecimento quando K = 0. Já a duração média do desvanecimento cresce mononoticamente com ρ, o que também faz sentido devido ao fato dos vales de desvanecimento terem duração menor e ao fato de que há um valor de ρ abaixo do qual praticamente toda a excursão da envoltória sob desvanecimento se encontrará, levando t_R a valores bastante elevados.

b) Calcule o limiar ρ correspondente à máxima taxa de cruzamentos do desvanecimento Rayleigh. Indique-o no correspondente gráfico.

Solução

Derivada da taxa de cruzamentos Rayleigh:

$$\frac{d}{d\rho}\left(\rho\cdot exp\left(-\rho^2\right)\right) \rightarrow e^{-\rho^2} - 2\cdot\rho^2\cdot e^{-\rho^2}$$

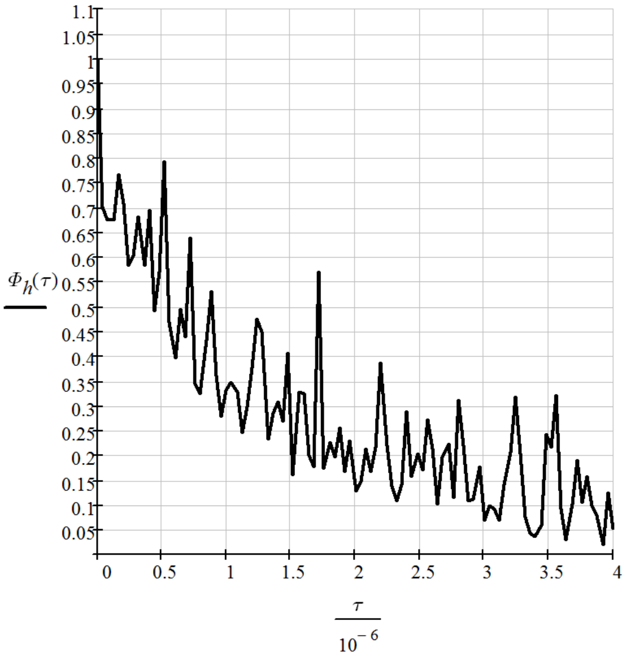
Resolvendo

$$e^{-\rho^2} - 2\cdot\rho^2\cdot e^{-\rho^2} = 0 \; solve \; \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} \end{pmatrix}$$, em que

apenas o valor positivo é fisicamente possível.

3ª questão (24 pontos)

Considere o perfil de intensidade de potência dado ao lado, o qual foi supostamente medido em um canal de comunicação sem fio externo real. Admita que a banda do sinal que se pretende transmitir por tal canal é de 1 MHz.



a) Calcule o espalhamento de retardo (*delay spread*) médio e rms.

b) Calcule a banda de coerência do canal (para mínima correlação de 0,9 entre as componentes de frequência do sinal)

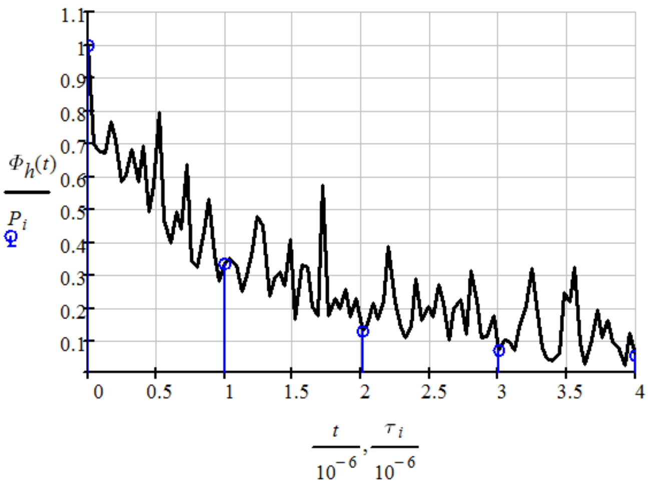
c) Caracterize o desvanecimento da forma mais completa que puder.

Solução

$i := 0 .. 4$

$\tau_i := i \cdot 10^{-6}$

$P_i := \Phi_h(\tau_i)$ Os atrasos no modelo tapped delay line são o recíproco da banda do sinal, ou seja, valem $1/10^6 = 1\times10^{-6}$ segundo.



Equações de cálculo. Vide eq. (3.80) do livro:

$$\tau = \begin{pmatrix} 0 \\ 1\times 10^{-6} \\ 2\times 10^{-6} \\ 3\times 10^{-6} \\ 4\times 10^{-6} \end{pmatrix} \qquad P = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.332 \\ 0.128 \\ 0.07 \\ 0.052 \end{pmatrix} \qquad \tau_m := \frac{\sum_i (P_i \cdot \tau_i)}{\sum_i P_i} \qquad \sigma_\tau := \sqrt{\frac{\left[\sum_i \left[P_i \cdot (\tau_i - \tau_m)^2\right]\right]}{\left(\sum_i P_i\right)}}$$

Operando com os dados, obtém-se:

(a) Espalhamento de atraso médio: $\tau_m = 6.359 \times 10^{-7}$ segundos.

Espalhamento de atraso rms: $\sigma_\tau = 1.026 \times 10^{-6}$ segundos.

(b) Usando a eq. (3.85), tem-se a banda de coerência:

$$B_c := \frac{1}{50 \cdot \sigma_\tau} \qquad B_c = 19.488 \times 10^3$$

(c) Se o sistema opera com sinal de banda B = 1 MHz, que é um valor significativamente maior que a banda de coerência do canal, haverá desvanecimento seletivo com elevada probabilidade.

4ª questão (26 pontos)

Um transmissor de teste foi instalado em campo e as seguintes potências médias locais do sinal recebido foram medidas: -9, -66, -86 e -114 dBm. Tais potências foram medidas respectivamente às seguintes distâncias do transmissor: 1, 100, 500 e 800 m.

a) Calcule o expoente de atenuação do ambiente e o desvio padrão do sombreamento log-normal.

Solução

Valores de potência média em área (area mean) estimados segundo o modelo simplificado: $pe(n,k) := p_0 - 10 \cdot n \cdot log\left(\frac{d_k}{d_0}\right)$

Formação do Erro Médio Quadrático (EMQ): $\varepsilon(n) := \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=0}^{K-1} \left(p_k - pe(n,k)\right)^2$

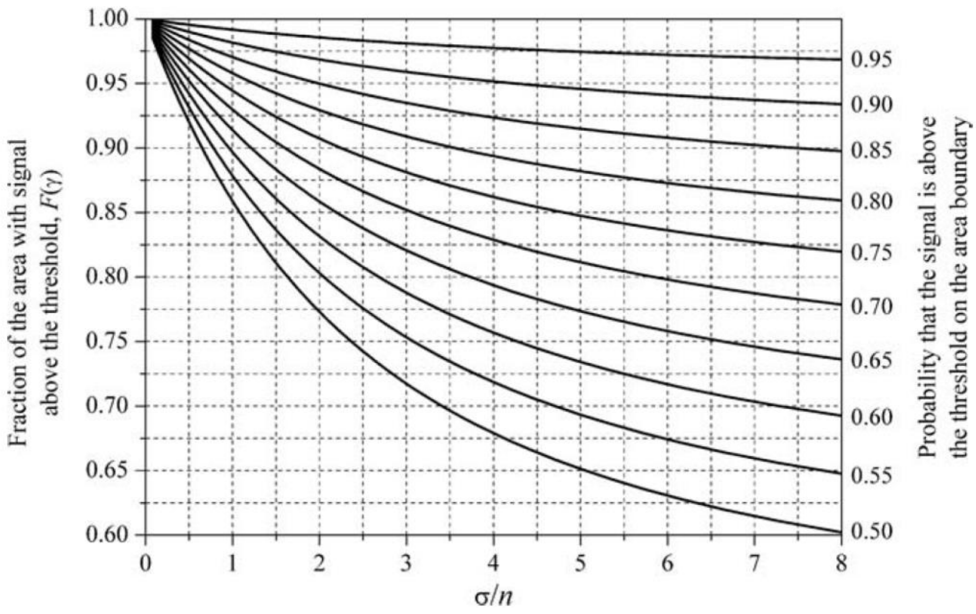
Solução da derivada em *n* do EMQ, igualada a zero:

$$n_{minEMQ} := \left(\frac{d}{dn}\varepsilon(n)\right) solve, n \rightarrow \frac{ln(10)\cdot(114\cdot ln(10) + 77\cdot ln(500) + 105\cdot ln(800))}{40\cdot ln(10)^2 + 10\cdot ln(500)^2 + 10\cdot ln(800)^2}$$

Valor de *n* que minimiza o EMQ: $n_{minEMQ} = 3.179$, $n := n_{minEMQ}$

Desvio padrão do sombreamento logonormal, em dB: $\sigma := \sqrt{\varepsilon(n)}$, $\sigma = 8.401$

b) Obtenha, por meio do gráfico a seguir, a probabilidade de a potência média local ser maior que -110 dBm em toda área de uma célula circular de raio 1000 m.



Solução

Função de probabilidade gaussiana: $Q(x) := \frac{1}{2}\cdot erfc\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$

Potência média em área à distância sob análise, $d_\gamma = 1 \times 10^3$: $p_m := p_0 - 10\cdot n\cdot log\left(\frac{d_\gamma}{d_0}\right)$

Probabilidade da potência média local ser maior que $\gamma = -110$

na borda da célula circular de raio igual a $d_\gamma = 1 \times 10^3$ **.**

$x := \frac{\gamma - p_m}{\sigma}$

$P_{borda} := Q(x)$

$P_{borda} = 0.749$

$P_{area} \approx 0.89$