IE 708 – COMUNICAÇÕES MÓVEIS
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – UNICAMP
Junho 2014

3.0 **1. Banda de Coerência, Distância de Coerência, Tempo de Coerência**

0.5 a. Considere que a largura de banda de coerência (B_C, Hertz) seja obtida para correlação de envoltória não superior a 10%. Obtenha B_C em função do delay spread.

0.5 b. Considerando-se o resultado do item anterior, e supondo-se que os canais de um sistema sejam espaçados de acordo com a largura de banda de coerência, quão mais ou menos espectralmente eficiente é este sistema em comparação com aquele em que a largura de banda de coerência é especificada para uma correlação não superior a 50%?

0.5 c. Considere que a distância de correlação d_C seja obtida para a correlação mínima de envoltória. Determine a d_C com a mínima distância possível em função do comprimento de onda.

0.5 d. A correlação mínima pode ocorrer para outras distâncias. Determine d_C em função do comprimento de onda para a segunda menor distância.

0.5 e. Idem a 1.c. mas para o tempo de coerência τ_C dado em função do deslocamento de Doppler máximo.

0.5 f. Idem a 1.d. mas para o tempo de coerência τ_C. dado em função do deslocamento de Doppler máximo

3.0 **2. Taxa de Cruzamento de Nível e Tempo Médio de Desvanecimento**

A taxa de cruzamento de nível $N_R(r)$ e o tempo médio de desvanecimento $T_R(r)$ para Nakagami-m, m inteiro, são dados por:

$$N_R(r) = \frac{\sqrt{2\pi} f_m m^{m-1/2}}{(m-1)!}\left(\frac{r}{\hat{r}}\right)^{2m-1} \exp\left(-m\left(\frac{r}{\hat{r}}\right)^2\right) \text{ e } T_R(r) = \frac{\exp\left(m\left(\frac{r}{\hat{r}}\right)^2\right) - \sum_{k=0}^{m-1} \frac{\left(m\left(\frac{r}{\hat{r}}\right)^2\right)^k}{k!}}{\sqrt{2\pi} f_m m^{m-1/2}\left(\frac{r}{\hat{r}}\right)^{2m-1}}$$

onde $\hat{r}$ é o valor rms do sinal. Considere que a máxima velocidade de um veículo em um sistema de comunicações sem fio operando em 1.8 GHz seja de 144 km/h. O valor rms do sinal recebido é de 14 dBμV e o receptor opera com uma sensibilidade de 7 dBμV. A taxa de transmissão nos canais de sinalização é de 10 kbps e a figura de desvaneecimento m é 2. Determine:

0.6 a. O tempo médio de desvanecimento.

0.6 b. O número médio de bits em erro.

0.6 c. A taxa de cruzamento de nível.

0.6 d. O número médio de bits entre cruzamentos.

0.6 e. Qual a razão t/n para um código corretor de erro neste ambiente?

4.0 **3. Transmissão Digital com Desvanecimento**

Considere a modulação FSK não coerente cuja taxa de erro de bit na presença de ruído Gaussiano é dada por $(1/2)\exp(-\gamma/2)$. Suponha uma SNR por bit de 10 dB. Considere ainda o desvanecimento do tipo Rayleigh.

0,7 a. Determine a taxa de erro de bit sem desvanecimento. Idem para um ambiente com desvanecimento. Comente.

0.7 b. Para uma mensagem de 4 bits e desvanecimento, calcule a taxa de erro em mensagem.

c. Supondo combinação do tipo maximal ratio, determine o número mínimo de ramos de forma a se ter uma taxa de erro equiparável àquela do ambiente Gaussiano.

0.7 d. Supondo diversidade por seleção pura e dois ramos, determine a taxa de erro em mensagem para uma mensagem de 4 bits.

0.7 e. Considere um código de repetição (3, 1). Determine a taxa em mensagem para uma mensagem de 4 bits.

0.7 f. Considere o código Hamming (7, 4) – distância mínima de 3. Determine a taxa em mensagem para uma mensagem de 4 bits.

0.5 g. Comente.

1. $P_r = \dfrac{J_0^2(\omega_m \tau)}{1 + (\Delta\omega \bar{T})^2}$

a. $\omega_m \tau = 0$

$$\frac{1}{1+(\Delta\omega \bar{T})^2} = 0{,}1$$

$\Delta\omega \triangleq 2\pi B_{c\,10\%}$

$\Rightarrow \boxed{B_{c\,10\%} = \dfrac{3}{2\pi \bar{T}}}$

b. $B_{c\,50\%} = \dfrac{1}{2\pi \bar{T}}$

$B_{c\,50\%}$ = 3x espectralmente + eficiente.

c. $J_0(\omega_m \tau) = 0$

ocorrendo para infinitos argumentos do $J_0(\cdot)$.

1º ocorrência

$\omega_m \tau = 2\pi d/\lambda = 2.405$

$d/\lambda = 0{,}38$

$\boxed{d_c = 0{,}38\lambda}$

d. 2º ocorrência

$2\pi d/\lambda = 5.52$

$\boxed{d_c = 0{,}89\lambda}$

e. $\omega_m \tau = 2.405$

$\boxed{\tau_c = 0{,}38/f_m}$

f. $\omega_m \tau = 5.52$

$\boxed{\tau_c = 0.89/f_m}$

2. $f = 1.8\,GHz$

$v = 144\,km/h$

$20\log(\hat{r}) = 14$

$\boxed{\hat{r} = 10^{7/10}}$

$20\log r = 7$

$\boxed{r = 10^{35/100}}$

$\boxed{\frac{r}{\hat{r}} = 10^{-35/100}}$

$f_m = \frac{v}{\lambda} = \frac{144\times10^3/3600}{3\times10^8/1.8\times10^9}$

$\boxed{f_m = 240\,Hz}$

$\boxed{m = 2}$

a. $\boxed{\tau = 0.60243\,ms}$

b. $\tau \times 10$

$\boxed{\#\text{bits em erro} = 6}$

c. $\boxed{R_c = 102\ \text{cruz}/s}$

d. $\frac{1}{R_c} \times 10000$

$\boxed{\#\text{bits entre cruz} = 98}$

e. $\boxed{t/n = 6/98 = 3/49}$

3. a. $P_{GAU} = \frac{1}{2}\exp\left(-\frac{\gamma'}{2}\right)$

$\gamma_{dB} = 10 \Rightarrow \gamma' = 10$

$\boxed{P_{GAUS} = 3{,}4\times10^{-3}}$

$P_{RAY} = \frac{1}{2(1+\gamma'/2)} = \frac{1}{12}$

$\boxed{P_{RAY} = 8{,}3\times10^{-2}}$ $\boxed{8{,}3\,\%}$

$P_{RAY} = 25\times P_{GAUS}$

b. $\boxed{P_{em} = 1-(1-P_{RAY})^4 = 29\%}$

c. $\frac{1}{2(1+\gamma'/2)^M} \leq \frac{\exp(-\gamma'/2)}{2}$

$(1+\gamma'/2)^M \geq \exp(\gamma'/2)$

$M \geq \frac{(\gamma'/2)\log e}{\log(1+\gamma'/2)}$

$M \geq 2{,}79$

$\therefore \boxed{M = 3}$

d. $P_{BSC} = \frac{M!}{2\prod_{i=1}^{M}(i+\gamma'/2)}$

$M = 2$

$P_{BSC} = \frac{2}{2(1+\gamma'/2)(2+\gamma'/2)}$

$\boxed{P_{BSC} = \frac{1}{42} = 2{,}4\times10^{-2}}$

$P_{em} = 1-(1-p)^4$

$\boxed{P_{em} = 9{,}2\times10^{-2}} = \boxed{9{,}2\,\%}$

e. $P_{RAY} = \frac{1}{2\left(1+\frac{\gamma'}{2}\times\frac{1}{5}\right)}$

$P_{RAY} = \frac{1}{2\left(1+\frac{1}{3}\times\frac{10}{2}\right)}$

$P_{RAY} = \frac{3}{16} = 0{,}1875$

$p' = \sum_{i=2}^{3}\binom{3}{i}\left(\frac{3}{16}\right)^i\left(1-\frac{3}{16}\right)^{3-i}$

$= 3\times\frac{3^2}{16^2}\times\frac{13}{16} + 1\times\frac{3^3}{16^3}\times\left(\frac{13}{16}\right)^0$

$= \frac{27\times13}{16^3} + \frac{27}{16^3}$

$\boxed{p' = \frac{189}{2048} = 9{,}2\times10^{-2}}$

$P_{em} = 1-(1-p')^4$

$P_{em} = 1-\left(\frac{1859}{2048}\right)^4$

$\boxed{P_{em} = 32\%}$

f. $P_{RAY} = \frac{1}{2\left(1+\frac{\gamma'}{2}\times\frac{k}{n}\right)} = \frac{1}{2\left(1+\frac{10}{2}\times\frac{4}{7}\right)}$

$P_{RAY} = \frac{7}{54} \approx 13\%$

$P_{em} = 1-\sum_{i=0}^{1}\binom{7}{i}\left(\frac{7}{54}\right)^i\left(1-\frac{7}{54}\right)^{7-i}$

$P_{em} = 1 - 1\times\frac{7^0}{54^0}\times\frac{47^7}{54^7} - 7\times\frac{7^1}{54^1}\times\frac{47^6}{54^6}$

$P_{em} = 1-\frac{47^7-49\times47^6}{54^7}$

$\boxed{P_{em} = 22\%}$

g.