



**INSTITUTO
FEDERAL**
Santa Catarina

Câmpus
São José

Avaliação 1

Primeira avaliação teórica

Curso: Engenharia de Telecomunicações
Disciplina: CSF29008 - Comunicações Sem Fio
Professor: Mario de Noronha Neto

Aluno

João Pedro Menegali Salvan Bitencourt

28 de março de 2024

Sumário

Exercício 7	2
Exercício 11	4
Exercício 17	5

Exercício 7

Seja a tabela abaixo o resultado de uma campanha de medidas:

Distância	Potência recebida
100 m	-10 dBm
500 m	-35 dBm
1000 m	-56 dBm
2500 m	-63 dBm
3000 m	-74 dBm

a) Encontre o valor do expoente n no modelo de perda de percurso simplificado de forma a minimizar o erro quadrático médio.

Sendo:

$$E_i = P_0 - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right)$$

obtem-se as estimativas:

$$E_1 = -10 - 10n \log_{10} \left(\frac{100}{100} \right) = -10n$$

$$E_2 = -10 - 10n \log_{10} \left(\frac{500}{100} \right) = -16,989700n$$

$$E_3 = -10 - 10n \log_{10} \left(\frac{1000}{100} \right) = -20n$$

$$E_4 = -10 - 10n \log_{10} \left(\frac{2500}{100} \right) = -23,9794n$$

$$E_5 = -10 - 10n \log_{10} \left(\frac{3000}{100} \right) = -24,7712n$$

A partir desses valores, calcula-se:

$$J(n) = \sum_{i=1}^k (P_i - E_i)^2$$

portanto:

$$J(n) = (-10 - (-10n))^2 + (-35 - (-16,9897n))^2 + (-56 - (-20n))^2 + (-63 - (-23,9794n))^2 + (-74 - (-24,7712n))^2$$

$$J(n) = (-10 + 10n)^2 + (-35 + 16,9897n)^2 + (-56 + 20n)^2 + (-63 + 23,9794n)^2 + (-74 + 24,7712n)^2$$

$$J(n) = (100n^2 - 200n + 100) + (288,65n^2 - 1189,279n + 1225) + (400n^2 - 2240n + 3136) + \\ + (575n^2 - 3021n + 3969) + (613,61234n^2 - 3666n + 5476)$$

$$J(n) = 1977,274n^2 - 10316,823n + 13906$$

$$\frac{dJ(n)}{dn} = 3954,548n - 10316,823$$

Definindo a derivada igual a zero, tem-se:

$$3954,548n - 10316,823 = 0$$

$$3954,548n = 10316,823$$

$$n = 2,61$$

b) Calcule o desvio padrão das estimativas.

Sendo a variância amostral:

$$\sigma^2 = \frac{J(n)}{5}$$

cujo número 5 refere-se à quantidade de medições, com $n = 2,61$ tem-se que:

$$J(n) = (-10 + 10 \cdot 2,61)^2 + (-35 + 16,9897 \cdot 2,61)^2 + (-56 + 20 \cdot 2,61)^2 + (-63 + 23,9794 \cdot 2,61)^2 + (-74 + 24,7712 \cdot 2,61)^2$$

$$J(n) = 259,21 + 87,2938 + 14,44 + 0,1712 + 87,3695$$

$$J(n) = 448,4845$$

$$\sigma^2 = \frac{448,4845}{5} = 89,6969 \text{ dB}^2$$

portanto, o desvio padrão das estimativas é,

$$\sigma = \sqrt{89,6969} = 9,47$$

$$\sigma = 9,47 \text{ dB}$$

c) Estime a potência média recebida em $d=2$ km a partir do modelo adotado.

$$E(d = 2 \text{ km}) = -10 - 10 \cdot 2,61 \cdot \log_{10}\left(\frac{2000}{100}\right)$$

$$E(d = 2 \text{ km}) = -43,96 \text{ dBm}$$

d) A proporção da borda de uma célula hipotética com raio $R=4$ km na qual a potência recebida encontra-se acima de -80 dBm. Utilize o desvio padrão calculado no item b para modelar o desvanecimento de larga escala como log-normal.

$$P_r[P_r(d) > -80 \text{ dBm}] = Q\left(\frac{\gamma - \overline{P_r(d)}}{\sigma}\right)$$

$$P_r[P_r(d) > -80 \text{ dBm}] = Q\left(\frac{-80 - (-43,96)}{9,47}\right)$$

$$P_r[P_r(d) > -80 \text{ dBm}] = Q(-3,8)$$

$$P_r[P_r(d) > -80 \text{ dBm}] = 99,9928\%$$

Exercício 11

Um terminal móvel encontra-se na fronteira entre duas células vizinhas de mesmo tamanho e realiza um procedimento de varredura em frequência para determinar se há possibilidade de conexão em nível de sinal apropriado, com pelo menos uma delas. O nível mínimo de sinal para conexão é -100 dBm. De acordo com a análise de enlace realizada pela operadora, o nível médio de potência recebido na borda de uma célula neste sistema é de -94 dBm. Considerando que os dois enlaces móvel-base para cada célula são independentes e o desvio padrão do sombreamento nesta região é de $\sigma = 6$ dB, e considerando ainda que só existam estas duas ERBs disponíveis para conexão.

a) Qual a probabilidade que este terminal fique fora de serviço?

Sendo:

$$P_r[P_r(d) < \gamma] = Q\left(\frac{\overline{P_r(d)} - \gamma}{\sigma}\right)$$

para $\overline{P_r(d)} = -94$ dBm e $\gamma = -100$ dBm, tem-se:

$$P_r[P_r(d) < -100 \text{ dBm}] = Q\left(\frac{-94 - (-100)}{6}\right)$$

$$P_r[P_r(d) < -100 \text{ dBm}] = Q(1)$$

$$P_r[P_r(d) < -100 \text{ dBm}] = 15,87\%$$

b) Qual o nível médio de potência de recepção necessário para garantir a mesma probabilidade do item anterior, considerando que só houvesse uma única ERB?

$$P_r[P_r(d) < \gamma] = Q\left(\frac{\overline{P_r(d)} - \gamma}{\sigma}\right)$$

$$84,13 = Q\left(\frac{-100 - \overline{P_r(d)}}{6}\right)$$

$$Q^{-1}(0,8413) = \frac{-100 - \overline{P_r(d)}}{6}$$

$$\overline{P_r(d)} = -100 - 6Q^{-1}(0,8413)$$

$$\overline{P_r(d)} = -100 - 6 \cdot 0,9998$$

$$\overline{P_r(d)} = -106 \text{ dBm}$$

c) Como interpretar a diferença entre os níveis de médios de potências observado na situação com 2 ERBs e na situação com 1 ERB?

A diferença entre os níveis de médios de potências observados nas duas situações é de 6 dB, o que significa que a probabilidade de um terminal móvel ficar fora de serviço é 6 dB maior quando há apenas uma ERB disponível para conexão.

Exercício 17

Você foi designado para projetar um sistema de transmissão sem fio de quarta geração. Trata-se de um sistema voltado exclusivamente para transmissão de dados sem fio. A taxa de transmissão em uma ERB no enlace de descida deste sistema é função da razão sinal-ruído (SNR, em dB) e pode ser aproximada pela seguinte expressão:

$$R(\text{SNR}) = \text{SNR} \quad \text{para} \quad 0 \leq \text{SNR} \leq 50 \text{ dB}$$

$$R(\text{SNR}) = 0 \quad \text{para} \quad \text{SNR} < 0 \text{ dB}$$

$$R(\text{SNR}) = 50 \quad \text{para} \quad \text{SNR} > 50 \text{ dB}$$

em que R é a taxa de transmissão em Megabits por segundo. Nesta primeira etapa do projeto uma única ERB será instalada no centro de uma cidade pequena e objetiva cobrir uma área circular de 10 km de raio.

Dados para o projeto:

- perda de referência em $d_0 = 1$ km é 120 dB;
- potência de ruído térmico $P_n = -120$ dBm;
- modelo de propagação simplificado com $n = 3,5$;
- potência EIRP de transmissão da ERB $p_t = 20$ W.

Despreze outros ganhos, perdas e interferências. A Prefeitura da cidade está contratando o serviço e quer saber de antemão de você:

(i) qual a taxa média observada na periferia da cidade (borda da célula).

Sendo:

$$PL(d) \text{ dB} = PL(d_0) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

com $PL(d_0) = 120$ dB, $d_0 = 1$ km e $d = 10$ km:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{10^4}{10^3}\right)$$

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot 1$$

$$PL(d) = 155 \text{ dB}$$

$$\text{EIRP} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{20}{10^{-3}}\right) = 43 \text{ dBm}$$

$$P_0 = P_t - PL(d) = 43 - 155$$

$$P_0 = -112 \text{ dBm}$$

$$\text{SNR} = P_0 - P_n = -112 - (-120)$$

$$\text{SNR} = 8 \text{ dB}$$

Dado que $R(\text{SNR}) = \text{SNR}$ para $0 \leq \text{SNR} \leq 50$ dB

$$R(8) = 8 \text{ Mbps}$$

(ii) qual a taxa média observada em toda a área coberta.

Sendo:

$$PL(d) \text{ dB} = PL(d_0) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

$$P_0 = P_t - PL(d)$$

$$SNR = P_0 - P_n$$

Para $d = 2 \text{ km}$:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{2 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 130,536 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 130,536 = -87,536 \text{ dBm}$$

$$SNR = -87,536 - (-120) = 32,464 \text{ dB}$$

$$R(32,464) = 32,464 \text{ Mbps}$$

Para $d = 3 \text{ km}$:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{3 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 136,7 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 136,7 = -93,7 \text{ dBm}$$

$$SNR = -93,7 - (-120) = 26,3 \text{ dB}$$

$$R(26,3) = 26,3 \text{ Mbps}$$

Para $d = 4 \text{ km}$:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{4 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 141 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 141 = -98 \text{ dBm}$$

$$SNR = -98 - (-120) = 22 \text{ dB}$$

$$R(22) = 22 \text{ Mbps}$$

Para $d = 5 \text{ km}$:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{5 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 144,464 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 144,464 = -101,464 \text{ dBm}$$

$$SNR = -101,464 - (-120) = 18,536 \text{ dB}$$

$$R(18,536) = 18,536 \text{ Mbps}$$

Para d = 6 km:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{6 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 147,235 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 147,235 = -104,235 \text{ dBm}$$

$$SNR = -104,235 - (-120) = 15,765 \text{ dB}$$

$$R(15,765) = 15,765 \text{ Mbps}$$

Para d = 7 km:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{7 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 149,578 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 149,578 = -106,578 \text{ dBm}$$

$$SNR = -106,578 - (-120) = 13,422 \text{ dB}$$

$$R(13,422) = 13,422 \text{ Mbps}$$

Para d = 8 km:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{8 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 151,61 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 151,61 = -108,61 \text{ dBm}$$

$$SNR = -108,61 - (-120) = 11,39 \text{ dB}$$

$$R(11,39) = 11,39 \text{ Mbps}$$

Para d = 9 km:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{9 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 153,398 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 153,398 = -110,398 \text{ dBm}$$

$$SNR = -110,398 - (-120) = 9,602 \text{ dB}$$

$$R(9,602) = 9,602 \text{ Mbps}$$

Para d = 10 km:

$$PL(d) = 120 + 10 \cdot 3,5 \cdot \log_{10}\left(\frac{10 \cdot 10^3}{10^3}\right) = 155 \text{ dB}$$

$$P_0 = 43 - 155 = -112 \text{ dBm}$$

$$SNR = -112 - (-120) = 8 \text{ dB}$$

$$R(8) = 8 \text{ Mbps}$$