



Objetivos:

- O objetivo desta atividade é a construção de um programa em Matlab[®] destinado ao estudo de técnicas de alocação de recursos de rádio em sistemas de comunicação sem fio com antenas distribuídas.

Observações:

- Todo o código (nomes de variáveis, funções, comentários) em Matlab[®] deve ser em inglês.
- Prefixe os nomes de variáveis a fim de facilitar a leitura. Consulte a Listagem 1.
- No Matlab, utilize números complexos para representar coordenadas.
- Utilize as funções **db2lin**, **lin2db**, **dbm2lin**, **lin2dbm** (ver Listagem 2 a Listagem 5) para realizar conversões entre unidades em escala linear e dB/dBm.

Programa e material de referência:

- Livro do Rappaport [Rap99]:
 - Capítulo 2: 2.1, 2.2, 2.5 (2.5.1), 2.7.2
 - Capítulo 3: 3.1, 3.2, 3.9.1, 3.9.2, 3.10.3, 3.10.4, 3.10.5
 - Capítulo 4: 4.1.1, 4.1.2
- Livro do Saunders [SAZ07]:
 - Capítulo 1: completo
 - Capítulo 5: completo
 - Capítulo 8: 8.1, 8.2, 8.3.2, 8.3.3
 - Capítulo 10: 10.5, 10.6
- Material sobre Matlab: [Mat10, Att09].

1. Todo sistema de comunicação envolve um ou mais transmissores que enviam informações a um ou mais receptores. No contexto do projeto, o sistema de comunicações sem fio com antenas distribuídas considerado tem cada transmissor representado por uma Estação Rádio-Base (ERB) inicialmente equipada com uma única antena. No sistema, várias dessas ERBs estão dispostas em diferentes posições e conectadas a um nó central através de um enlace rápido (e.g., fibra ótica) que permite a transferência de dados e informação de controle do/para o nó central. Considere que o nó central e uma ERB estejam ambos localizados na posição $(0, 0)$. Considere que existem ainda outras 3 ERBs distantes de $R = 500$ m do nó central nas posições $(R, 0)$, $R \cdot \exp(j\theta)$ e $R \cdot \exp(-j\theta)$, onde $\theta = \frac{2\pi}{3}$. Considere que cada ERB cobre uma região de raio $R = 500$ m em torno de sua posição. Modele o posicionamento destas ERBs em seu programa do Matlab[®].
2. Como cada ERB cobre uma região circular de raio R em torno de sua posição, qualquer Terminal Móvel (TM) nessa área pode ser servido por (se comunicar com) essa ERB. Não há controle sobre as posições dos TMs e portanto, estas são modeladas por variáveis aleatórias uniformemente distribuídas dentro da área de cobertura de cada ERB. Utilizando a função **rand**, codifique o sorteio da posição aleatória de um TM dentro da área de cobertura de cada ERB do sistema.
3. A comunicação rádio-móvel é afetada por diferentes fenômenos de propagação. Os principais fenômenos modelados são a perda de percurso média em função da distância no caminho entre transmissor e receptor, o sombreamento devido a obstáculos (prédios, morros, etc.) entre transmissor e receptor e o desvanecimento rápido devido a interferências construtivas e destrutivas de réplicas do sinal transmitido que chegam até o receptor por múltiplos percursos distintos.

(a) A perda de percurso média $P_{Li,j}(d_{i,j})$ pode ser calculada como

$$P_{Li,j}(d_{i,j}) = 128.1 + 36.7 \log_{10}(d_{i,j}) \text{ [dB]}, \quad (1)$$

com $d_{i,j}$ é a distância entre os nós i (e.g., uma ERB) e j (e.g., um TM) em km que pode ser calculada usando a função **abs**. Para cada enlace ligando uma ERB i a um TM j , calcule e armazene em seu programa o ganho de percurso $g_{i,j}$ associado ao enlace lembrando que o ganho é igual ao inverso da perda em escala linear.

- (b) O sombreamento $\mathcal{X}_{i,j}$ que afeta a comunicação entre os nós i e j também é aleatório, dado que a distribuição dos obstáculos é normalmente desconhecida. O sombreamento é normalmente modelado utilizando uma variável aleatório com distribuição log-normal (normal em dB). Considerando que o desvio padrão do sombreamento é $\sigma_{\mathcal{X}} = 8$ dB, calcule o ganho $g_{\mathcal{X}_{i,j}} = 10^{\frac{\mathcal{X}_{i,j}}{10}}$ associado ao sombreamento para cada enlace ligando uma ERB i a um TM j . Utilize a função **randn** para gerar os valores do sombreamento.
- (c) O desvanecimento rápido $h_{i,j}$ também é aleatório dados que as múltiplas cópias oriundas de reflexões do sinal transmitido trafegam por percursos de comprimento aleatório. O desvanecimento rápido é normalmente modelado utilizando uma variável aleatória com distribuição de Rayleigh. Se $h_{i,j} = x_{i,j} + jy_{i,j}$ representa o desvanecimento Rayleigh se $x_{i,j}$ e $y_{i,j}$ são variáveis aleatórias com distribuição normal e desvio padrão igual a $\frac{1}{\sqrt{2}}$. Para cada enlace ligando uma ERB i a um TM j , calcule e armazene em seu programa o ganho $g_{h_{i,j}} = |h_{i,j}|^2$ associado ao desvanecimento rápido de cada enlace e cujo valor em dB é dado por $g_{H_{i,j}} = 10 \log_{10} |h_{i,j}|^2$.

4. Seja $P_{T_{i,j}} = 43$ dBm a potência de transmissão da ERB i para o TM j e $p_{T_{i,j}}$ seu valor em escala linear. Dados os ganhos $g_{i,j}$, $\mathcal{X}_{i,j}$ e $H_{i,j}$ associados aos efeitos propagação descritos anteriormente, a potência $p_{R_{i,j}}$ recebida da ERB i pelo TM j é dada por

$$p_{R_{i,j}} = p_{T_{i,j}} \cdot g_{i,j} \cdot g_{\mathcal{X}_{i,j}} \cdot g_{h_{i,j}}. \quad (2)$$

Para todos enlaces entre uma ERB i e um TM j , calcule e armazene a potência recebida.

5. Considerando que a comunicação de interesse se dá entre a ERB i e o TM j quando $i = j$ e considerando que todas as ERBs utilizam o mesmo canal ao mesmo tempo, o sinal transmitido pela ERB i sofrerá interferência do sinal transmitido pela ERB k , $\forall k \neq i$. Seja $P_N = -116$ dBm a potência de ruído média cujo valor em escala linear é denotado por p_N . Considerando que cada ERB i serve um TM i , a Relação Sinal Interferência-mais-Ruído (SINR) $\gamma_{i,i}$ do enlace é dada por

$$\gamma_{i,i} = \frac{p_{R_{i,i}}}{\sum_{j \neq i} p_{R_{j,i}} + p_N}. \quad (3)$$

Para cada enlace entre uma ERB i e seu TM i , calcule e armazene o valor de $\gamma_{i,i}$.

6. A SINR mede a qualidade de um enlace de comunicação. A fim de caracterizar estatisticamente a qualidade média dos enlaces envolvidos no sistema, é necessário medir os valores de SINR associados a diversas posições aleatórias dos usuários que também depende das características aleatórias do canal. Considere que o programa desenvolvido até agora representa um experimento cuja saída são os valores de SINR associados aos enlaces envolvidos no sistema. Adapte seu programa de modo a realizar $I = 5000$ repetições do experimento, onde em cada experimento a posição dos TMs e os efeitos de propagação são aleatórios, mas caracterizados pelos valores fornecidos anteriormente. Salve os valores de SINR dos enlaces nas colunas de uma matriz e ao final, plote a Função Distribuição de Probabilidade Acumulada (CDF) dos valores de SINR para os enlaces associados a cada ERB i .

Listagem 1: Prefixos para codificação.

```
% i -> integer          vt -> vectors in general (independed of element type)
% d -> double           mt -> matrices in general (independent of element type)
% b -> boolean          s -> strings
% c -> complex
iNumBS = 4; % Number of base stations
dRadius = 500; % Distance between adjacent BS in m
% Vector of BSs' positions
vtBSPos = [0 dRadius * exp(-j*[0 2*pi/3 -2*pi/3])] ;
```

Listagem 2: Conversão de escala linear para dB.

```
function [y] = lin2db(x)
    y = 10*log10(x);
end
```

Listagem 3: Conversão de dB para escala linear.

```
function [y] = db2lin(x)
    y = 10.^(x./10);
end
```

Listagem 4: Conversão de escala linear para dBm.

```
function [y] = lin2dbm(x)
    y = 10*log10(x./1e-3);
end
```

Listagem 5: Conversão de dBm para escala linear.

```
function [y] = dbm2lin(x)
    y = 10.^(x./10 - 3);
end
```

Referências

- [Att09] S. Attaway, *MATLAB: a practical introduction to programming and problem solving*, 1st ed. Elsevier, 2009.
- [Mat10] MathWorks, *MATLAB 7: Getting started guide*, 16th ed., The MathWorks, Inc., Sept. 2010. [Online]. Available: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/getstart.pdf
- [Rap99] T. S. Rappaport, *Wireless communications: principles and practice*, 1st ed., ser. Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies. Prentice Hall, Jul. 1999.
- [SAZ07] S. Saunders and A. Aragón-Zavala, *Antennas and propagation for wireless communication systems*, 2nd ed. John Wiley & Sons, May 2007.