

Projeto I da UNIDADE I

Execução:

1. Trabalho individual
2. Pontuação final dependerá de todas as etapas do projeto
 - a. Código em Matlab (ou outra linguagem a sua escolha) bem comentado e atendendo os requisitos deste documento.
 - b. Relatório em Latex (estilo de artigo) contendo os gráficos seguidos de discussões e questionamentos endereçados neste documento. Referencie o documento com todo material usado (isso é muito importante).
3. A entrega deve conter: um arquivo zip com duas pastas: (i) code, com os códigos separados por pastas distintas; (ii) report, com o relatório em LaTeX (arquivos fontes e pdf), o qual irei compilar na minha máquina (10 páginas, no máximo, formato de artigo de duas colunas, template do IEEETran)
4. Na pasta de cada experimento deve ter um arquivo chamado README.txt. Por meio dele, um usuário terá instruções de como rodar seu código e obter os gráficos do relatório. Isso precisa ser feito sem consulta do projetista do código e é um item muito importante da avaliação final do projeto.
5. Entrega via SIGAA.

Objeto da avaliação:

Um sinal transmitido em um sistema de comunicação sem fio sofre essencialmente três tipos de atenuações: (i) perda de percurso (desvanecimento de larga escala), em função da distância entre transmissor e receptor; (ii) sombreamento (desvanecimento de larga escala), causado por reflexão em grandes obstáculos (e.g. bloqueio de sinal por terrenos e construções); e (iii) desvanecimento de pequena escala (fading), devido a difração de ondas quando atravessam uma fenda ou atingem objetos de tamanho equivalente a seu comprimento de onda, efeitos de multipercursos e efeito doppler. Este projeto tem o objetivo de incentivar o aluno a modelar e estudar os efeitos de larga e pequena escala do canal de um sistema de comunicação digital sem fio. Para tal, o objetivo é modelar, implementar e analisar o comportamento relacionado a perda de percurso, sombreamento, coerência e seletividade no tempo por meio de modelos clássicos de canais móveis.

Experimento 01: Caracterização de canais banda estreita

Prototipagem é uma etapa importante para definição de soluções para problemas em sistemas de comunicação já instalados. Geralmente, sistemas que já estão funcionando atuam em uma certa região, com suas especificidades topográficas e demográficas, dificultando a identificação de um modelo teórico que seja preciso para modelar a propagação do sinal eletromagnético.

Para tais situações, é feito um *drive test*, que consiste em uma campanha de medições de potência recebida, e um pós-processamento feito nas amostras coletadas. Com uma série temporal composta de um número de amostras significativas da potência recebida, é possível identificar parâmetros específicos do canal em questão. Tais parâmetros

alimentarão os protótipos dos sistemas de comunicação (simuladores), os quais poderão dar respostas mais precisas, pois terão como base modelos de propagação com parâmetros definidos por meio dos dados de medição real. Esse experimento tem o objetivo de realizar a caracterização da perda de percurso, sombreamento e desvanecimento plano dado um série temporal de potência de um sinal sintético e de *drive test*. Os objetivos específicos são: fazer gráficos, mostrar a qualidade de sua estimativa via o erro médio quadrático, estimar o expoente de perda de percurso, o desvio padrão do sombreamento lognormal do ambiente em que foi feita a medição, e um teste de aderência estatística para verificar a melhor distribuição para o desvanecimento de pequena escala. Informações importantes e principais requisitos são fornecidos a seguir:

- 1) Foi disponibilizado uma estrutura de dados salva no arquivo **Prx_2019_1.mat**, contendo as seguintes variáveis:
 - a) dPath: pontos de medição [m] - um vetor com 48651 amostras
 - b) pathLoss: amostras da perda de percurso (para fins de comparação e cálculo de erro relativo a sua estimativa) - um vetor com 48651 amostras, correspondentes aos pontos de medição. Unidade em dB.
 - c) shadCorr: amostras do sombreamento (para fins de comparação e cálculo de erro relativo a sua estimativa) - um vetor com 48651 amostras, correspondentes aos pontos de medição. Unidade em dB.
 - d) fading: amostras do desvanecimento de pequena escala (para fins de comparação e cálculo de erro relativo a sua estimativa) - um vetor com 48651 amostras, correspondentes aos pontos de medição. Unidade em dB.
 - e) Prx: potência recebida com o canal completo. Um vetor com 48651 amostras, correspondentes aos pontos de medição. Esse é o único vetor a ser utilizado para fazer a caracterização do canal. Unidade em dBm.
- 2) A perda de percurso deve ser estimada objetivando uma formulação determinística polinomial de primeiro grau em dB, que siga a seguinte expressão:
 - a) $\text{pathLoss} = P_0 + 10n\log_{10}(d/d_0)$,
sendo n o expoente de perda de percurso (a ser estimado), $P_0 = 0$ dBm é a potência recebida a uma distância de referência $d_0 = 5$ m e d a distância entre o transmissor e o ponto de medição.
 - b) A potência de transmissão é 0 dBm.
 - c) Essa estimativa pode ser feita usando o sinal recebido P_{RX} . Atenção para as unidades de medida de cada variável!!!
- 3) Para separar o desvanecimento de larga escala (path loss + shadowing) do desvanecimento de pequena escala, utilize um filtro média móvel com janela sendo um parâmetro de entrada. Sendo a janela de tamanho W amostras, o filtro tem a seguinte saída:

$$y[k] = \frac{1}{W} \sum_{n=j-W/2}^{j+W/2} P_{RX}[n]$$

com $j = W/2 + k$ e com P_{RX} em escala linear. Se a janela for escolhida com cuidado, a saída do filtro pode ser uma boa estimativa do desvanecimento de larga escala (isso deve ser verificado visualmente ao plotar a saída do filtro). De posse de P_{RX} e

do desvanecimento de larga escala, é possível isolar as amostras do desvanecimento de pequena escala.

- 4) Como os valores estimados de perda de percurso, sombreamento e desvanecimento de pequena escala (fading), estime a potência recebida usando:
 $P_{RX} [dBm] = P_{TX} [dBm] - \text{Perda de percurso [dB]} + \text{Sombreamento [dB]} + \text{Fading [dB]}.$
- 5) Algum ajuste pode ser necessário para deixar a média do sombreamento estimado igual a zero. Esse ajuste precisa ser feito sem gerar impacto na potência final estimada.
- 6) Algo deve ser feito para ajustar as amostras iniciais e finais do sinal depois de filtrado, pois o processo de filtragem precisa de algumas amostras para ter uma janela inteira de amostras para o seu cálculo. Como de costume nesse tipo de situação, algumas amostras devem ser descartadas.

Os seguintes gráficos devem ser disponibilizados.

- 1) Para o sinal original (disponível no arquivo) **Prx_2019_1.mat**, plotar no mesmo gráfico as curvas: potência recebida completa (sujeita ao desvanecimento de larga e pequena escalas) vs distância; potência recebida somente sujeita ao path loss vs distância; potência recebida somente sujeita ao path loss e ao sombreamento vs distância. Identificar as linhas por legendas e cores diferentes. As curvas devem ser feitas em função da distância percorrida na medição.
- 2) Para o sinal estimado, plotar no mesmo gráfico as curvas: potência recebida completa (sujeita ao desvanecimento de larga e pequena escalas) vs distância; potência recebida somente sujeita ao path loss vs distância; potência recebida somente sujeita ao path loss e ao sombreamento vs distância. Identificar as linhas por legendas e cores diferentes. As curvas devem ser feitas em função da distância percorrida na medição. Use $W = 100$.
- 3) Plotar no mesmo gráfico as curvas: perda de percurso original vs distância; perda de percurso estimada vs distância. Identificar as linhas por legendas e cores diferentes. As curvas devem ser feitas em função da distância percorrida na medição. Use $W = 100$.
- 4) Plotar no mesmo gráfico as curvas: sombreamento original vs distância; sombreamento estimado vs distância. Identificar as linhas por legendas e cores diferentes. As curvas devem ser feitas em função da distância percorrida na medição. Use $W = 100$.
- 5) Fazer a estimativa para os seguintes valores da janela $W = 10, 50, 100, 150$ e 200 . Fazer uma tabela com o seguinte formato:

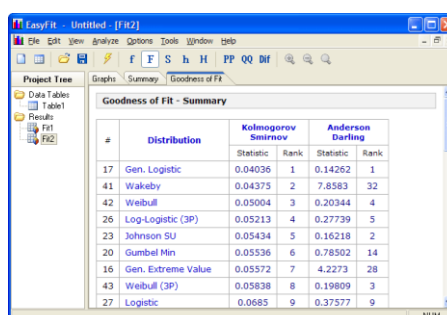
Janela	Desvio padrão do sombreamento estimado	Média do sombreamento estimado	Expoente de perda de percurso estimado	Erro Médio Quadrático do Sombreamento Estimado
W = 10				
W = 50				
W = 100				
W = 150				
W = 200				

Apresente e disserte sobre os gráficos.

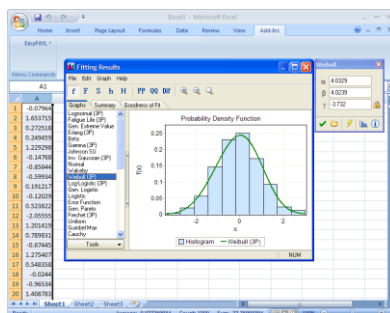
Faça um teste de aderência estatística e mostre qual é a melhor distribuição (e seus parâmetros) para cada janela de filtragem simulada. Use o test KS (Kolmogorov-Smirnov) para ranquear as distribuições. Sua tarefa é fazer a mesma avaliação ilustrada acima utilizando a linguagem de programação de sua escolha. No caso do Matlab, é possível usar funções prontas para esse propósito. Apresente e discuta a seguinte tabela:

Janela	Primeira melhor PDF	Parâmetro(s) da primeira melhor PDF	Segunda melhor PDF	Parâmetro(s) da segunda melhor PDF
W = 10				
W = 50				
W = 100				
W = 150				
W = 200				

Esse procedimento é exemplificado a seguir usando um programa de PDF *fitting*, o Easyfit. A figura a seguir mostra a tela principal do Easyfit **como exemplo**.



Já a figura a seguir mostra os parâmetros da distribuição Weibull que melhor se adequou aos dados usados nesse exemplo.



- 7) Tudo até agora foi feito com base em um sinal sintético gerado via simulação. Modifique seu código gerado até o momento para manipular o arquivo **Prx_Real_2_2019_1.mat** e estimar o **expoente de perda de percurso e o desvio padrão do sombreamento**. O arquivo contém as seguintes variáveis:
- dPath: pontos de medição [m] - um vetor com 200 amostras
 - Prx: potência recebida com o canal completo. Um vetor com 200 amostras, correspondentes aos pontos de medição. Unidade em dBm.

Os seguintes gráficos devem ser disponibilizados.

- Plotar no mesmo gráfico as curvas: potência recebida completa (sujeita ao desvanecimento de larga e pequena escalas) vs distância; potência recebida somente sujeita ao path loss estimado vs distância; potência recebida somente sujeita ao path loss e ao sombreamento estimados vs distância. Identificar as linhas por legendas e cores diferentes. A curvas devem ser feitas em função da distância percorrida na medição. Use $W = 5$.
- Fazer a estimativa para os seguintes valores da janela $W = 2, 5, 10$. Fazer uma tabela com o seguinte formato:

Janela	Desvio padrão do sombreamento estimado	Média do sombreamento estimado	Expoente de perda de percurso estimado
$W = 2$			
$W = 5$			
$W = 10$			

Use um programa de PDF fitting (e.g. o Easyfit) e carregue os dados do desvanecimento de pequena escala. Mostre qual é a melhor distribuição (e seus parâmetros) para cada janela de filtragem simulada. Apresente e discuta a seguinte tabela:

Janela	Primeira melhor PDF	Parâmetro(s) da primeira melhor PDF	Segunda melhor PDF	Parâmetro(s) da segunda melhor PDF
$W = 2$				
$W = 5$				
$W = 10$				

Experimento 02: Comparação de modelos clássicos de canal com mobilidade

Pesquisar sobre os modelos de Clarke/Gans e Jakes. Baixar o artigo (ou livro) que o modelo foi apresentado para o mundo e escrever um texto objetivo (e com ilustrações) sobre cada modelo, especificando: objetivo do modelo, principais considerações, comportamento do doppler power spectrum (formulação), comportamento do spaced-time correlation function (formulação) e maneiras diferentes de implementar (no máximo duas páginas para cada modelo).

Mostre e disserte sobre os seguintes gráficos:

- 1.1. Gráfico da Magnitude normalizada da envoltória do canal em função do tempo para as velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h (feito por meio de amostras de canal geradas pelo modelo de Clark/Gans);
- 1.2. Histograma da Magnitude normalizada da envoltória do canal para as velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h (feito através de amostras de canal geradas pelo modelo de Clark/Gans);
- 1.3. Histograma da fase da envoltória do canal para as velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h (feito através de amostras de canal geradas pelo modelo de Clark/Gans);
- 1.4. Gráfico teórico (clássico) da autocorrelação (spaced-time correlation function) para as velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h;
- 1.5. Gráfico da autorrelação estimada pelas amostras de canal geradas pelo modelo de Clark/Gans para as velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h (essa curva deve ser plotado no mesmo gráfico do item 1.4. Legenda e diferentes marcadores devem diferenciar as duas curvas);
- 1.6. Gráfico teórico (clássico) do espectro doppler (doppler power spectrum) para as velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h;
- 1.7. Gráfico do espectro doppler estimado pelas amostras de canal geradas pelo modelo de Clark/Gans para as velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h (essa curva deve ser plotado no mesmo gráfico do item 1.6. Legenda e diferentes marcadores devem diferenciar as duas curvas);
- 1.8. Repetir os gráficos 1.1 à 1.7 para o modelo de Jakes;
- 1.9. Fazer um gráfico com as seguintes curvas para 60 km/h: (i) teórica (clássica) da autocorrelação (spaced-time correlation function); (ii) autorrelação estimada pelas amostras de canal geradas pelo modelo de Clark/Gans; (iii) autorrelação estimada pelas amostras de canal geradas pelo modelo de Jakes.

Discuta as seguintes questão:

- 1.10. Quando uma onda digital é transmitida usando um tempo de símbolo de $500\mu\text{s}$ e uma frequência de portadora de $f_c = 1900\text{ MHz}$, como será a seletividade no tempo do canal para velocidades 3 km/h, 60 km/h e 120 km/h? formule matematicamente e também use o simulador para evidenciar sua resposta.

Cronograma de entrega do projeto

Experimento 01: 20/03

Experimento 02: 04/04

Dicas sobre ferramentas estatísticas usando o Matlab

- Teste de estacionariedade

KPSS test

<https://www.mathworks.com/help/econ/kpsstest.html>

- Teste de hipoteses para distribuição normal

Kolmogorov-Smirnov test

<https://www.mathworks.com/help/stats/kstest.html>

Anderson-Darling test

<https://www.mathworks.com/help/stats/adtest.html>

Chi-square goodness-of-fit test

<https://www.mathworks.com/help/stats/chi2gof.html>

- Fitting de distribuições

Distribution Fitter app - distributionFitter

<https://www.mathworks.com/help/stats/distributionfitter.html>

<https://www.mathworks.com/help/stats/distributionfitter-app.html>

<https://www.mathworks.com/help/stats/model-data-using-the-distribution-fitting-tool.html>

Fit probability distribution

<https://www.mathworks.com/help/stats/fitdist.html>

Fit Gaussian mixture model to data

<https://www.mathworks.com/help/stats/fitgmdist.html>

Histogram with a distribution fit

<https://www.mathworks.com/help/stats/histfit.html>

Confidence intervals for probability distribution parameters

<https://www.mathworks.com/help/stats/prob.normaldistribution.paramci.html>

- Estimação de parâmetros de distribuições

Maximum likelihood estimates

<https://www.mathworks.com/help/stats/mle.html>

- Funções úteis

Histogram plot

<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/matlab.graphics.chart.primitive.histogram.html>

Create probability distribution

<https://www.mathworks.com/help/stats/makedist.html>

Probability density function

<https://www.mathworks.com/help/stats/prob.normaldistribution.pdf.html>

Cumulative distribution function

<https://www.mathworks.com/help/stats/prob.normaldistribution.cdf.html>

Create Gaussian mixture model

<https://www.mathworks.com/help/stats/gmdistribution.html>

Curve Fitting and Distribution Fitting

<https://www.mathworks.com/help/stats/examples/curve-fitting-and-distribution-fitting.html>

Profile likelihood function for probability distribution

<https://www.mathworks.com/help/stats/prob.normaldistribution.proflik.html>

Negative loglikelihood of probability distribution

<https://www.mathworks.com/help/stats/prob.normaldistribution.negloglik.html>