

EEC5275 — Complementos de Comunicações Digitais

Trabalhos

(com Demonstração e Relatório Final)

1. Igualização adaptativa de um canal de comunicações usando os algoritmos LMS e RLS

Pretende-se usar os algoritmos LMS e RLS para igualizar adaptativamente um canal linear dispersivo que produz distorção (desconhecida).

2. Igualização adaptativa de um canal atravessado por sinais QPSK

Pretende-se usar os algoritmos LMS e NLMS para igualizar um canal dispersivo e ruidoso desconhecido.

3. Igualização adaptativa de uma linha telefónica de alta velocidade

É fornecido um ficheiro de dados com a resposta em frequência de uma linha telefónica. Pretende-se transmitir um sinal QAM através desta linha, igualizar o sinal no receptor e avaliar a qualidade da transmissão.

4. Identificação de sistemas

Imagine que tem um sistema desconhecido (uma “caixa preta”) e sinais de entrada e de saída, fornecidos em ficheiro. Vai poder identificar esse sistema usando processamento adaptativo.

5. Sistemas de comunicação com espalhamento espectral

Pretende-se simular um sistema de espalhamento espectral (“spread spectrum”) e verificar algumas das suas propriedades.

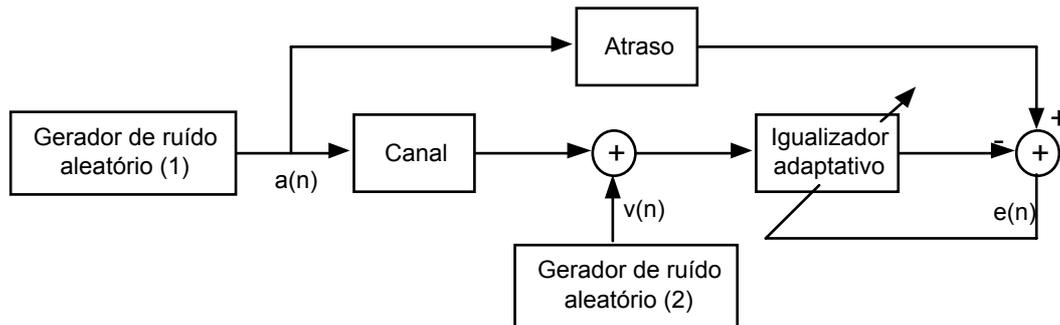
Complementos de Comunicações Digitais

Trabalho nº 1

Igualização adaptativa de um canal de comunicações usando os algoritmos LMS e RLS

Pretende-se usar os algoritmos LMS e RLS para igualizar adaptativamente um canal linear dispersivo que produz distorção (desconhecida).

A figura seguinte mostra o diagrama de blocos do sistema em estudo.



O gerador de números aleatórios nº 1 fornece o sinal de teste $\{a_n\}$, enquanto que o gerador de números aleatórios nº 2 serve como fonte de ruído branco aditivo $\{v_n\}$, que corrompe a saída do canal. Estes dois geradores de números aleatórios são independentes um do outro. O gerador nº 1, após um atraso conveniente (7 amostras), também fornece a resposta desejada aplicada ao igualizador adaptativo. Este, com 11 coeficientes, tem a tarefa de corrigir a distorção produzida pelo canal na presença do ruído branco aditivo. No caso do algoritmo RLS tome $\alpha = 1,0$ e $\mathbf{P}(0) = 250I$.

A sequência aleatória $\{a_n\}$ aplicada à entrada do canal está na forma *polar*, com $a(n) = \pm 1$, de modo que a sequência $\{a_n\}$ tem média nula. A resposta impulsional do canal é descrita pelo cosseno elevado

$$h_n = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{W}(n-2)\right) \right] & n = 1, 2, 3 \\ 0 & \text{outros valores} \end{cases}$$

onde o parâmetro W controla a quantidade de distorção de amplitude produzida pelo canal, aumentando a distorção com W .

A sequência $\{v_n\}$ produzida pelo segundo gerador tem média nula e variância $\sigma_v^2 = 0,001$.

O trabalho divide-se em duas partes, para cada algoritmo adaptativo:

LMS1) Representar graficamente a curva de aprendizagem do igualizador para quatro valores de W (2,9; 3,1; 3,3 e 3,5) e para um único valor do passo de adaptação, $\mu = 0,0375$. Para cada valor de W a curva de aprendizagem deve ser aproximada obtendo a média do valor quadrático instantâneo $e^2(n)$ em função de n em 200 simulações independentes. n representa as iterações.

LMS2) Mantendo W constante ($W=3,1$), representar a curva de aprendizagem para três valores de μ : 0,0375; 0,0125 e 0,00375. Como antes, cada curva de aprendizagem é o resultado da média de conjunto dos valores quadráticos instantâneos $e^2(n)$ em função de n em 200 simulações independentes.

RLS1) Equivalente a LMS1), mas para uma relação sinal-ruído de 30 dB, para a qual $\sigma_v^2 = 0,001$. A média do valor quadrático do erro de estimação *a priori* $e^2(n)$ é obtida em função de n em 200 simulações independentes.

RLS2) Tomando $W=3,1$, representar a curva de aprendizagem para uma relação sinal-ruído de 10 dB e compará-la com a curva correspondente de RLS1). A curva de aprendizagem é obtida como anteriormente.

• **Ferramentas a usar:** MATLAB e/ou SIMULINK

• **Nº de alunos:** 2-3

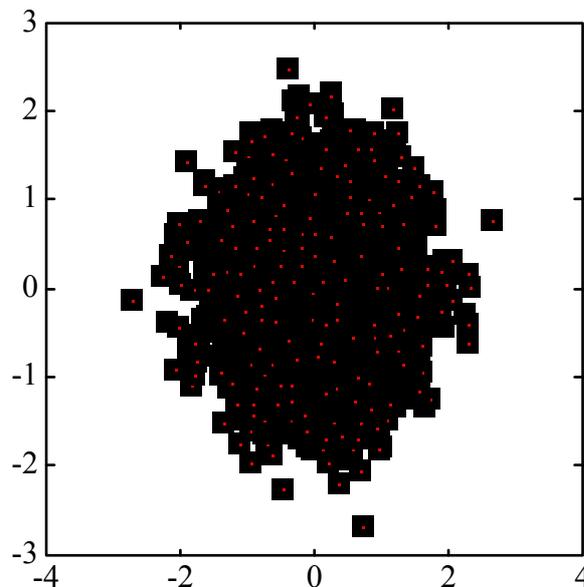
Complementos de Comunicações Digitais

Trabalho nº 2

Igualização adaptativa de um canal atravessado por sinais QPSK

Pretende-se usar os algoritmos LMS e NLMS para igualizar um canal dispersivo e ruidoso desconhecido.

São fornecidos três ficheiros de dados Matlab: dois deles representam o sinal à entrada e à saída de um canal ([input.mat](#) e [output.mat](#), respectivamente) e o terceiro ([copt.mat](#)) contém os coeficientes óptimos de um igualizador. Na saída temos o seguinte:



O objectivo principal é fazer a igualização adaptativa do canal usando dois algoritmos de gradiente: LMS e LMS normalizado. As tarefas do trabalho incluem as seguintes:

- 1) Desenhar diagramas de dispersão (constelações) dos sinais de entrada e saída do canal. É possível reconstruir o sinal transmitido a partir da observação directa?
- 2) Admitindo que o igualizador tem $N = 20$ coeficientes e que os seus valores óptimos são os do ficheiro *copt.mat* fornecido, filtrar o sinal de saída pelo igualizador e desenhar o novo diagrama de dispersão. Acha que agora é mais fácil recuperar o sinal original? Consegue identificar a modulação usada?
- 3) Determinar o atraso d entre o sinal de entrada e a saída igualizada.
- 4) Desenhar diagramas de olho em locais convenientes.

Em seguida deverá proceder à igualização *adaptativa*. Para isso deverá usar os algoritmos LMS e NLMS, sucessivamente, e:

- 5) Calcular o erro quadrático médio entre o sinal de entrada (atrasado de d) e a saída do igualizador adaptativo.
- 6) Desenhar as curvas de evolução ao longo do tempo dos coeficientes do igualizador. Deverá constatar que estes se vão aproximando dos coeficientes óptimos que já usou antes.
- 7) Desenhar diagramas de dispersão e diagramas de olho após igualização adaptativa.

Neste ponto já terá formado uma opinião sobre os méritos relativos dos dois algoritmos adaptativos que usou.

Dadas as possibilidades que a simulação interactiva lhe permite, poderá experimentar diversos valores de parâmetros envolvidos no projecto. Por exemplo, poderá alterar o número de coeficientes do igualizador ($N = 5$ e 50 , ou outros) e o valor do passo de adaptação (use, para começar, $\mu = 0,01$ e depois experimente com outros valores, por exemplo, $0,1$ e $0,001$).

- **Ferramentas a usar:** MATLAB
- **Nº de alunos:** 2-3

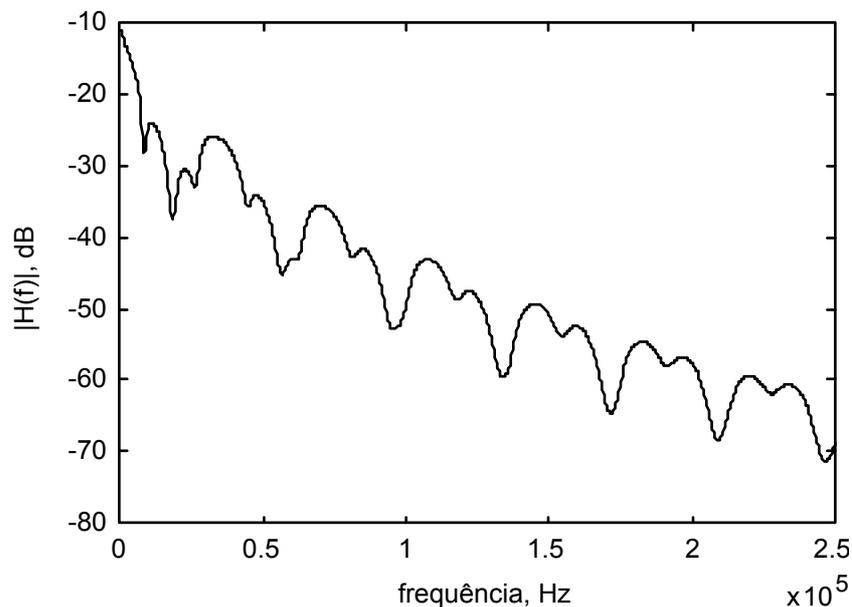
Complementos de Comunicações Digitais

Trabalho nº 3

Igualização de uma linha telefónica de alta velocidade

É fornecido um ficheiro de dados com a resposta em frequência de uma linha telefónica. Pretende-se transmitir um sinal QAM através desta linha, igualizar o sinal no receptor e avaliar a qualidade da transmissão.

É fornecido um ficheiro de dados Matlab binário ([ftransf.mat](#)) representando a resposta em frequência complexa de uma linha telefónica de alta velocidade. O ficheiro contém duas variáveis, `freq` e `resp`. A primeira representa os valores da frequência das amostras da função de transferência `resp`, dada pelas suas partes real e imaginária.



O sinal a transmitir através desta linha é um sinal 16-QAM com um débito binário de 50 kbits/s e energia mínima de símbolos E_0 unitária e a frequência de amostragem da simulação é 250 kHz. O ruído aditivo gaussiano branco a considerar tem uma densidade espectral de potência bilateral de -143 dBm/Hz. Deverão ser consideradas duas situações (para serem comparadas entre si): 1) sem igualização adaptativa, ou seja, usando filtros adaptados; 2) com igualização usando algoritmos do tipo LMS.

Os gráficos a obter incluem:

- diagramas de olho em diversos pontos do sistema;
- diagramas de dispersão (constelações) em diversos pontos do sistema;
- evolução dos coeficientes do igualizador adaptativo;
- curvas de aprendizagem do erro quadrático médio.

A probabilidade de erro após decisor deve ser estimada para se ter uma medida quantitativa do comportamento do sistema. Recomenda-se que sejam usados diversos valores dos parâmetros envolvidos. Entre outros, poderá fazer variar o número de coeficientes do igualizador, o passo de adaptação e, eventualmente, o próprio algoritmo adaptativo.

• **Ferramentas a usar:** MATLAB

• **Nº de alunos:** 2-3

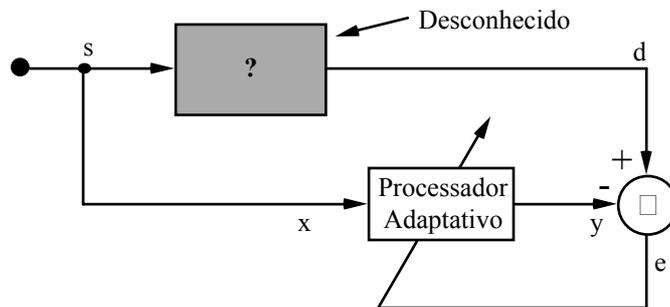
Complementos de Comunicações Digitais

Trabalho nº 4

Identificação de sistemas

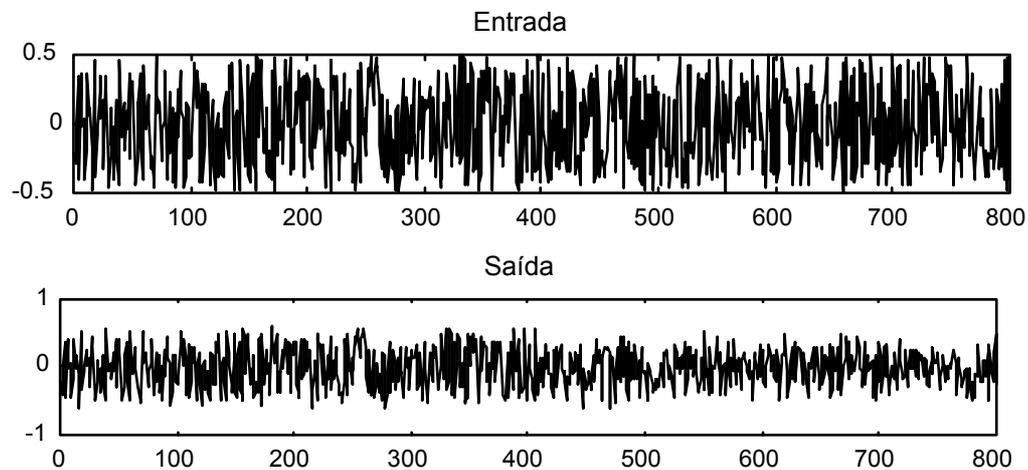
Imagine que tem um sistema desconhecido (uma “caixa preta”) e sinais de entrada e de saída, fornecidos em ficheiro . Vai poder identificar esse sistema usando processamento adaptativo.

Imagine que se conhecem os sinais de entrada e saída do bloco (sistema) sombreado. Sabe-se também que num certo instante as características do sistema foram alteradas.



O objectivo do trabalho é fazer a "identificação" do sistema — ou melhor, do sistema A (antes da alteração) e do sistema B (depois) — usando filtragem adaptativa com um filtro transversal FIR. O erro quadrático médio pode servir para determinar a iteração em que se passa de A para B. Os valores dos coeficientes do filtro ou as respectivas funções de transferência identificarão os sistemas A e B. Sugere-se o uso de 20, 40 e 50 coeficientes para comparar os respectivos desempenhos.

Os sinais de entrada e saída do bloco desconhecido, representados abaixo, encontram-se num [ficheiro de dados](#) a fornecer.



- **Algoritmos:** LMS e NLMS
- **Ferramentas a usar:** MATLAB
- **Nº de alunos:** 2-3

Complementos de Comunicações Digitais

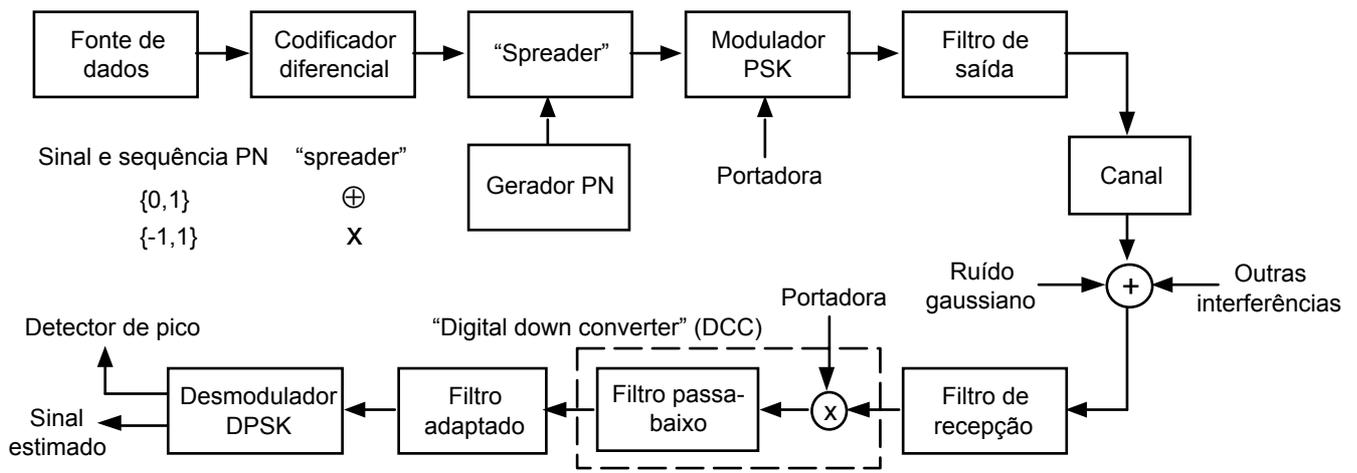
Trabalho nº 5

Sistemas de comunicação com espalhamento espectral

Pretende-se simular um sistema de espalhamento espectral (“spread spectrum”) e verificar algumas das suas propriedades.

O objectivo deste trabalho é simular um sistema de espalhamento espectral de sequência directa usando Matlab/Simulink (segundo o diagrama abaixo representado) a partir do qual se possam demonstrar as suas propriedades particulares.

Diagrama de blocos do sistema a realizar:



Os objectivos a cumprir são os seguintes:

1. verificar as propriedades de “anti-jamming” e LPI (baixa probabilidade de interceptação) para vários ganhos de processamento, introduzindo vários tipos de interferência (ruído, sinusóides, etc.);
2. traçar as curvas $(E_b/N_0, P_e)$ e $(S/N, P_e)$ fazendo variar os níveis de sinal e/ou ruído;
3. constatar, na medida do possível, o comportamento face ao multipercurso (equivalente a ecos no canal).

- **Ferramentas a usar:** MATLAB/Simulink
- **Nº de alunos:** 2-3