



3º Laboratório de Sistemas e Sinais

(LEIC – Alameda – 2007/08)

Data de realização e de entrega: aula da semana 21-24 de Abril / 2008.

Local da realização: Laboratório de Controlo, Automação e Robótica, localizado no piso 1 (cave) do Pavilhão de Mecânica III.

Relatórios: Os relatórios seguem a estrutura descrita na secção *Material de Apoio/Aulas de Laboratório* (página Fénix da disciplina). Os ficheiros resultantes devem ser comprimidos num único ficheiro, cujo nome segue a norma **ss_#turno_#lab_#grupo**.

(exemplo: ss_6c_1_2.rar, onde 6c indica o 3º turno de 6ª-feira, o 1 indica o lab1 e o 2 indica o grupo2).

A entrega do ficheiro é feita na própria aula.

O efeito de eco é um problema comum na acústica de edifícios e o seu tratamento assume particular importância em espaços tais como auditórios ou salas de espectáculos. A equação às diferenças seguinte apresenta um modelo simplificado deste efeito:

$$y(n) = x(n) + \alpha x(n - N) \quad (1)$$

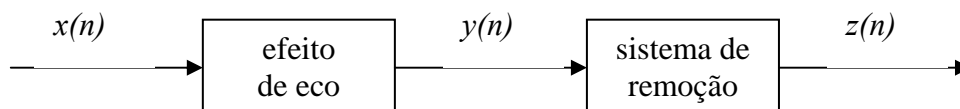
onde $x(n)$ é o sinal de entrada e o termo $\alpha x(n - N)$ representa o sinal de eco com um atraso de N amostras e coeficiente de atenuação α . É possível introduzir elementos arquitectónicos que minimizem a geração de eco numa sala, mas nalguns casos pode ser mais atractivo o chamado cancelamento activo. Pretende-se neste trabalho remover o efeito de eco de sinais sonoros utilizando uma metodologia activa baseada na inversão do modelo do sistema.

Exercício 1 (9.0 valores)

- Represente num gráfico os termos da resposta impulsiva $h_y(n)$ do modelo de eco (1) apresentado acima, para $\alpha = 0.5$, $N = 10000$. Classifique o sistema quanto a ser FIR ou IIR. (1.5 valores)
- Utilizando o modelo inverso dado pela equação às diferenças:

$$z(n) + \alpha z(n - N) = y(n) \quad (2)$$

pode obter-se um sistema de remoção de eco onde $z(n)$ representa a nova saída (idealmente sem eco). A figura seguinte representa a sequência de transformações sofridas pelo som original $x(n)$.



Deduz a expressão da resposta impulsiva $h_z(n)$ do sistema de remoção de eco (2) e apresente num gráfico os termos que considerar significativos. Classifique este novo sistema quanto a ser FIR ou IIR. (2.0 valores)

- iii) Usando o facto de que $h_y(n) * h_z(n) = \delta(n)$ mostre analiticamente que o sistema da alínea 1.ii) corresponde ao inverso do modelo de eco proposto no enunciado. No relatório apresente apenas os passos principais da demonstração. (2.0 valores)
- iv) Utilize a função *conv* do Matlab para realizar a operação de convolução da resposta impulsiva total, i.e. $h_y(n) * h_z(n)$. Apresente num gráfico os termos que considerar significativos. Comente tendo em conta os resultados da alínea anterior. (1.5 valores)
- v) Abra o ficheiro *dados.zip* e carregue o ficheiro de dados *som_1.wav* para o espaço de trabalho do Matlab. Considere este sinal como o som original $x(n)$ e determine os sinais $y(n)$ e $z(n)$ através da convolução entre as respostas impulsivas e os sinais de entrada apropriados. Escute cada um deles e comente. (2.0 valores)

Nota 1: A função *conv* pode ser bastante pesada, é conveniente não exagerar no número de termos significativos de $h_z(n)$. Um vector com $3N+1$ elementos é suficiente.

Exercício 2 (11.0 valores)

Em aplicações reais os valores dos parâmetros N e α do modelo (1) têm que ser estimados experimentalmente, e o próprio modelo pode não ser uma aproximação suficientemente boa do comportamento acústico de uma sala. O valor de N pode ser estimado pela análise da autocorrelação do sinal:

$$R_{yy}(n) = y(n) * y(-n) \quad (3)$$

Em sinais sem eco o gráfico com os valores de R_{yy} tem um pico centrado em zero e decresce rapidamente à medida que $|n|$ aumenta. No caso de sinais com eco os eventuais picos que ocorram para $n \neq 0$ vão sinalizar o tempo do atraso N .

- i) Determine os valores da autocorrelação para o sinal $y(n)$ calculado na alínea 1.v) e estime o parâmetro N pela análise do gráfico de R_{yy} . Compare o valor estimado nesta alínea com o valor de N que foi utilizado para gerar $y(n)$. (2.0 valores)

Nota 2: Esta operação demorou 6 min num Pentium 4, 2.66 GHz com 500 Mb de RAM.

- ii) Depois da obtenção de um valor aproximado para N , o valor de α pode ser estimado sabendo que no instante N se tem:

$$y(N) = x(N) + \alpha x(0) \quad (4)$$

Utilizando a saída $y(N)$ e as entradas $x(N)$ e $x(0)$ da alínea 1.v) estime por este processo o parâmetro α e compare o valor que obteve com o utilizado para gerar $y(n)$. (2.0 valores)

- iii) Pretende-se modelar o efeito de eco existente no sinal do ficheiro *som_<turma>.wav*. Aplique a metodologia das alíneas 2.i) – 2.ii) a este sinal e estime valores aproximados para os parâmetros do modelo (1). (4.0 valores)

Nota 3: Para preparar as alíneas **iii)** e **iv)** utilize o ficheiro *som_2.wav*. Cada turno terá um ficheiro de som diferente para analisar na aula.

- iv) Uma abordagem possível para validar o modelo obtido consiste na aplicação do cancelamento por modelo inverso (2) ao vector de dados original (i.e. com ruído e

eco) e posterior avaliação da sua eficácia. Aplique o sistema de remoção de eco ao sinal do ficheiro *som_<turma>.wav* e comente acerca da qualidade dos parâmetros estimados na alínea 2.iv). (3.0 valores)