

# PSI-2533 Modelagem em Processamento de Sinais

## Exercício 2 do Módulo de Modelagem em Processamento de Voz

21 de agosto de 2015

1. No laboratório, estudam-se três variáveis aleatórias  $\mathbf{Y}$ ,  $\mathbf{X}_1$  e  $\mathbf{X}_2$ , das quais foram levantados os dados ordenados

$$\{(y(n), x_1(n), x_2(n))\}_{n=0}^{P-1} = \{(\cos(\omega_0 n), \cos(\omega_0(n-1)), \cos(\omega_0(n-2)))\}_{n=0}^{P-1}$$

em experimentos repetidos com  $\omega_0 = 2\pi/P$  e  $P \in \mathbb{N}$ . Deseja-se obter um modelo do processo através do preditor linear

$$\hat{\mathbf{Y}} = -a_1 \mathbf{X}_1 - a_2 \mathbf{X}_2$$

que produz o menor erro quadrático médio de predição. Calcule também quanto vale este erro mínimo.

2. Verifique cada uma das funções abaixo e indique com justificativa se pode ou não ser função de autocorrelação de um sinal em tempo discreto que assume valores reais.

a)  $2 \cos(2m)$

b)  $\sin\left(\frac{2\pi}{3}m\right)$

c)  $\sin\left(\frac{7\pi}{5}m\right) + \cos\left(\frac{7\pi}{5}m\right)$

d)  $\left(\frac{2}{3}\right)^{|m|} |m|$

e)  $3^{|m|}$

f)  $5\left(\frac{7}{8}\right)^{|m|} \cos(5m)$

3. Use o mesmo sinal de voz do Exercício 1, que está disponível no stoa. Você deverá obter uma representação tempo-frequencial das densidades espectrais de potência (deps) de curto prazo em dB dos modelos autorregressivos de ordem

$p$  dos primeiros 1,5 s deste sinal. Recomenda-se ordem de predição  $p = 40$  para frequência de amostragem  $F_a = 44100$  Hz. Use uma janela de Hamming  $w(n)$  com 50% de sobreposição entre aplicações adjacentes da janela. Recomenda-se comprimento  $L = 300$  para a janela, mas pode ser outro valor que achar mais adequado. Experimente e exponha seus motivos para as escolhas de  $p$  e de  $L$ .

- a) Obtenha uma representação tempo-frequencial gráfica em tons de cinza das depts de curto-prazo. Em Matlab uma possibilidade usa os comandos

```
NC = 10000;
c = (NC:-1:0)'/NC;
C = c(:,[1,1,1]); %mapa de cores em tons de cinza
figure(1)
imagesc(T,F,S)
axis xy
colormap(C)
```

sendo  $T$  o vetor com os pontos de amostragem no tempo na unidade de tempo adequada,  $F$  o vetor com os pontos de amostragem em frequência e  $S$  a matriz com as depts em dB nas colunas. Recomenda-se a pré-ênfase prévia do sinal usando, para realce das altas frequências, o filtro de pré-ênfase

$$H_E(z) = 1 - \mu z^{-1}$$

com coeficiente  $0 \leq \mu \leq 1$ . Ajuste o valor que lhe pareça mais adequado e forneça-o em seu relatório. Sugere-se  $\mu = 0,98$ , mas outro valor pode ser mais adequado dependendo de sua configuração e técnicas de visualização.

- b) A partir do gráfico, determine as frequências  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  das três primeiras formantes por volta de 350 ms. Explique o cálculo da sua estimativa. Compare os valores obtidos agora com os valores que você obteve na resolução do Exercício 1.
- c) Apresente em dB o gráfico da dep obtida por volta de 350 ms. Suas estimativas para as formantes foram verificadas? Comente.
- d) Por volta de 350 ms realize predições lineares de ordens crescentes  $m = 0, 1, \dots, p$  e obtenha os correspondentes erros quadráticos totais  $\varepsilon_m$  para  $m = 0, 1, \dots, p$ , apresentando-os num gráfico. Que ordem de predição  $p_{\min}$  seria suficiente para obter uma boa predição?
- e) Com a ordem de predição  $p_{\min}$  do item d), refaça o item c). Sua ordem de predição  $p_{\min}$  permite a identificação das frequências  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  das três primeiras formantes? Quantas formantes e em que localizações você obtém? Explique o que está acontecendo.

4. Faça a análise preditiva de ordem  $p = 3$  do sinal

$$s = [ 1 \quad 0,61 \quad 0,95 \quad 0,11 \quad 0,12 \quad 0,01 \quad 0,08 \quad 0,02 \quad 0,25 \quad 0,33 ]$$

pelo método da autocorrelação, anotando todas as suas etapas intermediárias, incluindo as funções de transferência dos filtros de erro de predição (ou filtros inversos) progressivos e regressivos intermediários e finais e seus erros quadráticos de predição. Apresente também os coeficientes de correlação parcial do método da autocorrelação. Compare os resultados das etapas intermediárias através de seus erros quadráticos e de seus coeficientes de correlação parcial.

**Obs.:** Use janelas retangulares.