Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
PTC-5005 Processamento Digital de Sinais I

1º período de 2019

Lista de exercícios 2

Data de entrega: 26/03/2019.
Entregar apenas os exercícios **2, 3, 4, 6 e 7**.

1) Considere um sistema LIT descrito pela seguinte equação de diferenças

$$y(n) = 0,2929x(n) + 0,5858x(n-1) + 0,2929x(n-2) - 0,1716y(n-2),$$

sendo $x(n)$ sua entrada e $y(n)$ sua saída. Pede-se:

a) Apresente um diagrama de blocos consistindo de atrasos, multiplicadores e somadores que implementa o sistema.

b) Obtenha uma expressão analítica para sua resposta impulsiva causal $h(n)$.

c) Obtenha uma expressão analítica para sua resposta em frequência $H(e^{j\omega})$. Esboce a resposta em frequência (módulo e fase), marcando em especial os ganhos e fases para as frequências normalizadas $\omega = 0$, $\omega = \pi/2$, e $\omega = \pi$ rad/amostra.

d) Determine a saída $y(n)$ quando a entrada é $x(n) = 0,2 + 2\cos\left(\frac{\pi}{2}n\right) - \operatorname{sen}(\pi n)$.

2) Seja a sequência

$$x(n) = 2\delta(n+2) - \delta(n+1) + 3\delta(n) - \delta(n-1) + 2\delta(n-2).$$

Utilize as definições da TFTD e TFTD inversa e as propriedades da TFTD para calcular

a) $X(e^{j\omega})\big|_{\omega=0}$

b) $\displaystyle\int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega})d\omega$

c) $X(e^{j\omega})\big|_{\omega=\pi}$

d) $\displaystyle\int_{-\pi}^{\pi} \left|X(e^{j\omega})\right|^2 d\omega$

3) Encontre a TFTD das seguintes sequências

a) $x_1(n) = \begin{cases} \left(\frac{1}{2}\right)^n & n = 0, 2, 4, \ldots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

b) $x_2(n) = \alpha^n \operatorname{sen}(n\omega_0)u(n)$

c) $x_3(n) = x(n-K)$ sendo $x(n) = u(n) - u(n-K+1)$ e K inteiro.

4) Considere a sequência $x(n)$ cuja TFTD está mostrada na Figura 1.
Pede-se:

a) Obtenha a sequência $x(n)$.

b) Esquematize a TFTD da saída $y(n)$ de um sistema LIT com entrada $x(n)$ e cuja resposta impulsiva é dada por

$$h(n) = 0{,}5\ \mathrm{sinc}(0{,}5n), \quad -\infty < n < \infty.$$

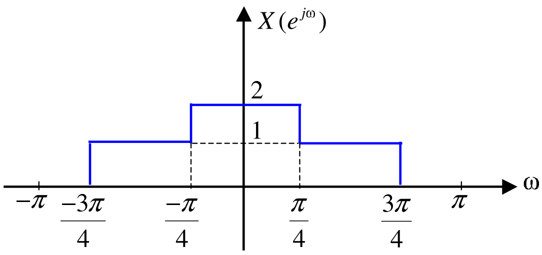

Figura 1: $X(e^{j\omega})$ do Exercício 4.

5) Para a sequência $x(n)$ mostrada na Figura 2, use o Teorema de Parseval e a propriedade da derivada para calcular a integral

$$\int_{-\pi}^{\pi} \left| \frac{d}{d\omega} X(e^{j\omega}) \right|^2 d\omega.$$

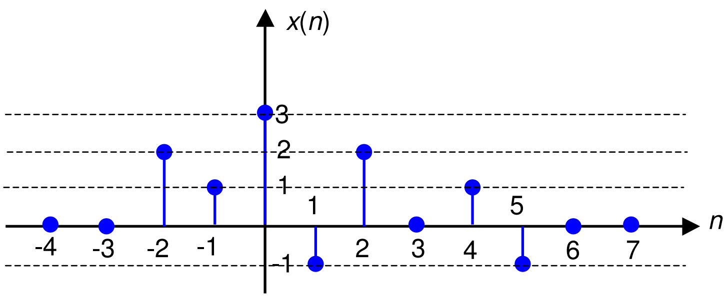

Figura 2: Sequência $x(n)$ do Exercício 5.

6) Faça um programa **genérico** do tipo função do Matlab para simular o diagrama de blocos de um sistema FIR, mostrado na Figura 3. O programa deve ter como entradas a sequência $x(n)$ de comprimento N e a resposta impulsiva $h(n)$ de comprimento M e como saída a sequência $y(n)$ também de comprimento N. **Teste** seu programa, considerando os coeficientes do filtro da Tabela 1. Para isso, obtenha a resposta impulsiva do sistema. **Não** utilize a função *filter* ou *conv* do Matlab e use **apenas um único** comando de programação do tipo *for*.

7) Considere sinal de voz `locutor.wav` fornecido no Moodle.

a) Adicione ao sinal de voz um sinal senoidal de frequência 2417 Hz, sabendo que a frequência de amostragem do sinal de voz é $f_a = 8$ kHz. Use as funções `max` e `abs` do Matlab para normalizar o sinal gerado a fim de que que sua amplitude fique no intervalo $[-1;\ 1]$. Agora ouça o sinal utilizando a função sound do Matab.
Obs: Para ler as amostras do sinal de voz, utilize a função `wavread` do Matlab.

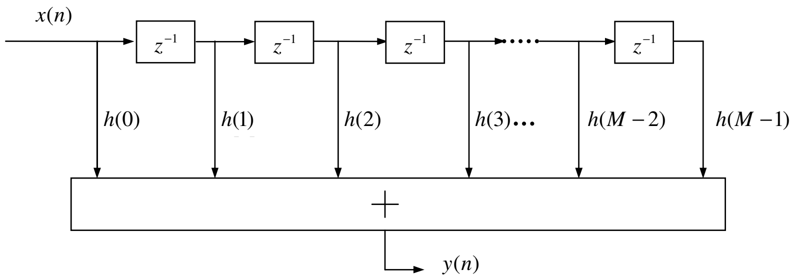

Figura 3: Diagrama de blocos de um filtro FIR

Tabela 1: Resposta impulsiva de um sistema FIR.

$h(k)$, $k = 0, \cdots, 15$	Valores das amostras
$h(0) = h(15)$	-0,0300
$h(1) = h(14)$	0,0299
$h(2) = h(13)$	0,0220
$h(3) = h(12)$	-0,0304
$h(4) = h(11)$	-0,0722
$h(5) = h(10)$	-0,0002
$h(6) = h(9)$	0,1953
$h(7) = h(8)$	0,3730

b) Utilizando o programa desenvolvido no Exercício 6, obtenha a saída do sistema FIR com resposta impulsiva da Tabela 1, considerando o sinal do item a) como entrada. Ouça o sinal de saída e obtenha numa mesma figura o sinal de entrada e de saída do sistema com cores diferentes.

c) Repita o item a) considerando agora um sinal senoidal de frequência 2680 Hz.

d) Repita o item b) considerando agora o sinal do item c).

e) Utilize a função `freqz` do Matlab para obter a resposta em frequência do sistema. Como se trata de um filtro com resposta ao pulso unitário finita (FIR), os vetores de entrada da função `freqz` devem ser b e a, sendo b as amostras da Tabela 1 e $a = 1$. Obtenha um gráfico em dB do módulo e outro da fase. Obs: Para obter o gráfico do módulo em dB, utilize $20 \log 10(\text{abs}(H))$ sendo H um vetor complexo contendo as amostras da resposta em frequência fornecidas pela função `freqz`.

f) Compare qualitativamente os resultados dos itens b) e d) e dê uma explicação baseada na resposta em frequência do sistema.