

EG950 – Processamento Digital de Sinais

Teste 3 – Análise de sistemas discretos no domínio transformado (transformada Z)

Turma A – 2º semestre de 2024

Prof. João Marcos T. Romano Email: jmromano@unicamp.br

PED Fernanda E. C. Chaves Email: f215835@dac.unicamp.br

Questão 1

Suponha que um sinal de banda-base $x[n]$ seja modulado utilizando modulação por deslocamento de frequência (FSK). O sinal modulado pode ser expresso como:

$$s_{mod}[n] = x[n]\cos[2\pi f_c n] + r \quad (1)$$

onde:

- f_c é a frequência da portadora
- $\cos[2\pi f_c n]$ é a onda portadora
- r é o ruído

Durante o processo de demodulação, o filtro passa-baixa é usado para remover o ruído de alta frequência após multiplicar o sinal modulado por $\cos[2\pi f_c n]$ novamente, o que traz o sinal de volta à sua faixa de banda-base.

Para tanto, utilizaremos um filtro passa-baixas de segunda ordem que possui a seguinte equação a diferenças:

$$y[n] = x[n] - 2x[n-1] + x[n-2] + y[n-1] - 0.25y[n-2] \quad (2)$$

- Encontre de forma analítica a função de transferência bem como os polos e zeros do filtro passa-baixas em questão a partir da equação 2. (2 pts)
- Plote o círculo unitário, a posição dos polos e zeros, e desenhe a ROC no plano Z. (1,5 pts)
- A partir da análise gráfica e dos cálculos dos itens anteriores, o filtro projetado é estável? Justifique sua resposta. Se alterarmos a posição dos polos para $p_0 = 0.8$ e $p_1 = 0.8$, como isso afetaria a estabilidade e a ROC do filtro? (1,5 pts)
- Gere um sinal de banda-base senoidal com frequência igual a $f_x[n] = 5Hz$. Em seguida, multiplique o sinal de banda-base por uma portadora $\cos[2\pi f_c n]$ com $f_c = 100Hz$ para obter o sinal modulado $s_{mod}[n]$. Adicione ruído de alta frequência ao sinal modulado. **DICA:** utilize a função `np.random.normal` com $\mu = 0$ e $\sigma = 0.5$ como seu sinal ruído r . (1,5 pts)
- Multiplique o sinal modulado por $\cos[2\pi f_c n]$, com $f_c = 100Hz$ para demodulá-lo de volta à faixa de banda-base. (1 pt)
- Aplice o filtro passa-baixa de segunda ordem projetado anteriormente para remover o ruído e recuperar o sinal original. Plote o sinal de banda-base $x[n]$, o sinal modulado $s_{mod}[n]$ e o sinal demodulado antes e depois de passar pelo filtro (4 gráficos). **DICA:** use a função `signal.filter` para aplicar o filtro baseando-se nos coeficientes da equação de transferência encontrada no item a. O que podemos observar com esses gráficos? (1,5 pts)
- Plote novamente o sinal demodulado filtrado para polos e zeros iguais a 0.8 ($z_0 = z_1 = 0.8$ e $p_0 = p_1 = 0.8$). Quais são as principais diferenças desse sinal em relação ao sinal demodulado e filtrado do item anterior? Justifique. (1 pt) **DICA:** Lembre-se que a função de transferência de um filtro passa-baixas de segunda ordem para polos iguais e zeros iguais é dado por:

$$H(z) = \frac{(1 - z_0 z^{-1})^2}{(1 - p_0 z^{-1})^2} \quad (3)$$

onde $z_0 = z_1$ e $p_0 = p_1$.

- ITEM EXTRA:** Quais seriam os melhores valores de polos e zeros para obter um sinal demodulado filtrado mais parecido com o sinal original? (1,5 pts)