1 2 9 0 FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

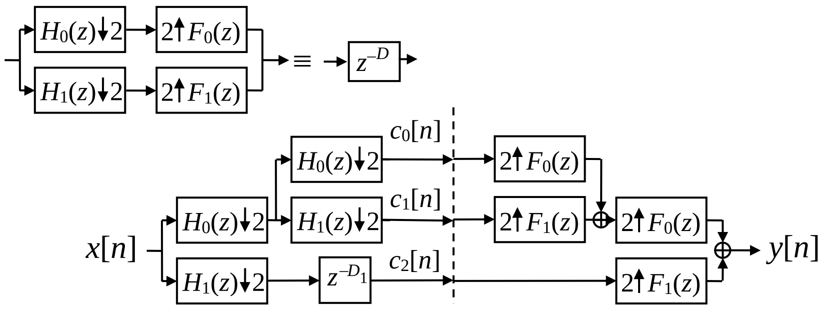
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Processamento Digital de Sinal

Trabalho Prático Nº 5 – Banco de Filtros de 3 Canais

Descrição

Neste trabalho pretende-se implementar um banco de filtros de 3 canais de reconstrução perfeita usando o banco de filtros PR de dois canais do trabalho anterior. O esquema está representado na figura seguinte. O atraso D_1 está relacionado com o atraso de D=35 amostras provocado pelo banco de filtros PR (de reconstrução perfeita) de dois canais e ganho unitário.



Trabalho Prático

1. Implementação do banco de filtros

1a) Para implementar atrasos, faça uma função em Matlab de nome `delayCh`, que, dado um sinal `x` e um inteiro `d` (atraso), retorna um sinal da mesma dimensão do sinal de entrada, mas com `d` amostras iniciais nulas e sem as `d` amostras finais.

1b) Determine o atraso D_1 de forma a existir reconstrução perfeita. Determine também o atraso do sistema global e relação entre a saída $y[n]$ e a entrada $x[n]$.

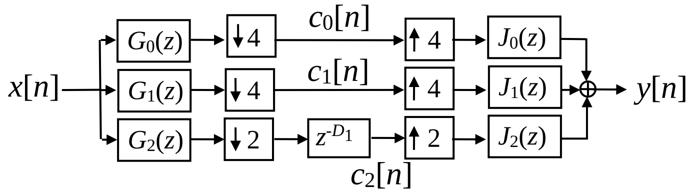
1c) Considere um sinal de áudio de entrada. Use as funções implementadas no trabalho anterior, bem como a função `delayCh`, para calcular as saídas dos 3 canais, $c_0[n]$, $c_1[n]$ e $c_2[n]$. Ouça os sinais dos vários canais às frequências de amostragem corretas. Comente.

1d) Reconstrua o sinal e verifique a reconstrução é perfeita, a menos da precisão numérica. Meça o máximo erro de reconstrução e comente.

1e) Reconstrua o sinal (num vetor `y2`) desprezando o canal $c_2[n]$. Ouça os sinais contidos em `y` e `y2` e detete a diferença. Ouça também a diferença `y-y2` para ter uma ideia do que se perdeu.

2. Resposta em frequência dos 3 canais

2a) Verifique que o banco de filtros tem o seguinte esquema equivalente, e que as respostas dos sistemas $G_k(z)$, k={0,1,2} são:



$$G_0(z) = H_0(z)H_0(z^2)$$

$$G_1(z) = H_0(z)H_1(z^2)$$

$$G_2(z) = H_1(z)$$

Justifique. Determine expressões para $J_0(z)$, $J_1(z)$ e $J_2(z)$.

Processamento Digital de Sinal
Trabalho Prático Nº 5 – Banco de Filtros de 3 Canais

2b) Calcule as respostas em frequência dos dois filtros $H_0(z)$ e $H_1(z)$ do banco de filtros base, usando DFTs de 2048 pontos (use variáveis com nomes `H0` e `H1`). Para obter a resposta em frequência de, por exemplo, $H_0(z^2)$, verifique, que, através das propriedades, basta contrair por um fator de 2 a resposta de $H_0(z)$. Assim, basta fazer `H02=[H0(1:2:end),H0(1:2:end)]` para ter a resposta de $H_0(z^2)$ no intervalo $[0,2\pi[$ com o mesmo número de pontos de `H0`. No tempo, equivale a expandir $h_0[n]$ por 2.

Defina um vetor de frequências de 1025 pontos de forma a fazer um "plot" do módulo das respostas em frequência dos filtros de análise, `G0`, `G1` e `G2`, no intervalo normalizado $[0, f_s/2]$.

Faça um "plot" em simultâneo do módulo da resposta em frequência dos 3 canais. Coloque uma legenda no gráfico para identificar as respostas.

2c) O que perdemos em 1e)?

3. Resposta a impulso dos 3 canais

3a) Calcule as 3 respostas a impulso dos associadas aos 3 canais do banco de filtros, $g_i[n]$, i=0,1,2, usando a expansão de $h_0[n]$ e $h_1[n]$ por 2 para obter as respostas a impulso de $H_0(z^2)$ e $H_1(z^2)$. Use a função `conv()`. Verifique que as respostas $g_0[n]$ e $g_1[n]$ têm comprimento $3D+2$ enquanto $g_2[n]$ tem comprimento $D+1$. Explique porquê.

3b) Verifique que calculou bem $g_1[n]$, comparando a sua DFT (com 2048 pontos) com `G1`.

4. Verificação da reconstrução perfeita

4a) Através das expressões de $G_k(z)$ e de $J_k(z)$, $k=\{0,1,2\}$, mostre que o sistema é de reconstrução perfeita, determinando o seu ganho e atraso global. Para isso verifique, justificando, que:

$$Y(z) = J_0(z)\tfrac{1}{4}\sum_{k=0}^{3} G_0\left(zW_4^k\right)X\left(zW_4^k\right) + J_1(z)\tfrac{1}{4}\sum_{k=0}^{3} G_1\left(zW_4^k\right)X\left(zW_4^k\right) + z^{-2D_1}J_2(z)\tfrac{1}{2}\sum_{k=0}^{1} G_2\left(zW_2^k\right)X\left(zW_2^k\right)$$

onde $W_4^k = e^{-jk\frac{2\pi}{4}} = \{1,-j,-1,j\}$ e $W_2^k = e^{-jk\frac{2\pi}{2}} = \{1,-1\}$. Sabendo que existe cancelamento de aliasing (os termos com k>0 cancelam), ficamos apenas com os termos com k=0:

$$Y(z) = \left[\tfrac{1}{4}J_0(z)G_0\left(z\right) + \tfrac{1}{4}J_1(z)G_1(z) + \tfrac{1}{2}z^{-2D_1}J_2(z)G_2(z)\right]X(z)\,.$$

Para verificar a propriedade PR, deve usar as seguintes relações:

$$F_0(z) = \tilde{H}_0(z) = z^{-D}H_0(z^{-1}) \quad ; \quad F_1(z) = \tilde{H}_1(z) = z^{-D}H_1(z^{-1})$$

$$R(z) = H_0(z)H_0(z^{-1}) \quad ; \quad R(-z) = H_1(z)H_1(z^{-1}) \;\; ; \;\; R(z)+R(-z) = 2 = R(z^2)+R(-z^2)$$

$$J_0(z) = z^{-3D}G_0(z^{-1}) = \tilde{G}_0(z) \;\; ; \;\; J_1(z) = z^{-3D}G_1(z^{-1}) = \tilde{G}_1(z) \;\; ; \;\; J_2(z) = z^{-D}G_2(z^{-1}) = \tilde{G}_2(z)$$

Faça um relatório em formato pdf onde expõe e discute o trabalho e apresenta os resultados obtidos. Coloque como apêndice o "script" Matlab que usou na aula prática. Nome do ficheiro a entregar:

PDS_PLiGjTP5.pdf onde i={1,2} e j é o número do grupo.

Filtro $h_0[n]$ do banco de filtros de dois canais:

```
h0=[...
   0.074088731801707   0.313398921217245   0.596411460394921   0.572232242836783   0.136800277183280  -0.263693327291677,...
  -0.188880560852887   0.128670638896525   0.161110885341112  -0.070664426843748  -0.127338395900939   0.044484718467773,...
   0.098090567102992  -0.031988886996564  -0.074005520243534   0.025406142155816   0.054360760452705  -0.021225452713612,...
  -0.038501762462150   0.017864117805954   0.025969901555583  -0.014690181914019  -0.016410874668589   0.011563575682919,...
   0.009473939050820  -0.008573333083088  -0.004770298813289   0.005885767808813   0.001872030114699  -0.003660062664404,...
  -0.000326048733191   0.001992796646105  -0.000296972271980  -0.000990559147496   0.000720924535220  -0.000170429382245];
```