

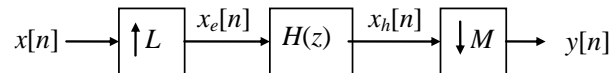


Processamento Digital de Sinal

Trabalho Prático Nº 2 – Conversão de Frequência de amostragem

Descrição

Neste trabalho pretende-se fazer a conversão de frequência de amostragem de 44100 Hz para 48000 Hz, isto é, interpolação fracionária. Neste trabalho vamos fazer a implementação direta segundo o esquema seguinte:



onde L e M são os fatores de expansão e de decimação, respetivamente. O filtro $H(z)$ é FIR com N_h amostras de comprimento.

Fatorizando, obtemos: $f_{s_in} = 44100 = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7^2$ e $f_{s_out} = 48000 = 2^7 \cdot 3 \cdot 5^3$, pelo que a relação

dos fatores deve ser $\frac{f_{s_out}}{f_{s_in}} = \frac{2^5 \cdot 5}{3 \cdot 7^2} = \frac{160}{147}$.

Deve manter um script Matlab, a entregar no final da aula. Use comentários (%) para fazer as explicações que achar pertinentes.

Trabalho Prático

- Considere um sinal de fala guardado em formato WAV com frequência de amostragem de $f_s=44100$ Hz (por exemplo, PT3.wav). Identifique os fatores de expansão, L , e de decimação, M (devem ser primos entre si).
- Projete um filtro FIR com ordem 3200 (comprimento $N_h=3201$; atraso de 1600 amostras) com o método das janelas (comando `fir1`). Aplique um ganho L para que as amplitudes de entrada e de saída sejam iguais. Calcule a resposta em frequência do filtro (comando `freqz`), faça um plot da resposta de forma a verificar que a frequência de corte está bem definida.
- Faça a implementação direta do sistema, usando as variáveis `xe` (sinal x expandido por L); `xh` (sinal xe filtrado); `y` (sinal de saída que é xh decimado por M).
Nota: para fazer expansão por L , use o comando `upsample(x,L)`. Para fazer a decimação por M basta fazer `downsample(x,M)` ou simplesmente `y=xh(1:M:end)`;
Nota: use apenas as 1000 primeiras amostras de sinal para que o processamento se faça em alguns segundos (note que o Matlab usa linguagem interpretada e os fatores de decimação e expansão são elevados).
- Faça um plot do sinal x e xe em simultâneo, os pontos de x com asteriscos e os de xe com linhas.
- Faça um plot do sinal xh e y em simultâneo, os pontos de y com asteriscos e os de xh com linhas.
- Verifique o atraso na saída em relação à entrada é de 10 amostras. Para isso, é necessário fazer a seguinte análise:

$$x_e[n] = \begin{cases} x\left[\frac{n}{L}\right], & n = kL \\ 0, & n \neq kL \end{cases}$$

Também podemos dizer que $x[n]$ é a decimação por L de $x_e[n]$: $x[n] = x_e[nL]$.

O filtro atrasa $\frac{N_h-1}{2} = 1600 = 10L$. Se tiver ganho L na banda passante, significa que, em múltiplos de L , entrada e saída são iguais, a menos do atraso provocado: $x_h[n] = x_e[n - 10L]$, se $n=kL$. Assim



Processamento Digital de Sinal

Trabalho Prático Nº 2 – Conversão de Frequência de amostragem

$$x_h[n] = x\left[\frac{n-10L}{L}\right] = x\left[\frac{n}{L} - 10\right], \text{ se } n = kL,$$

isto é, $x_h[n]$ interpola $x[n]$ e em $n=kL$ tem os mesmos valores de $x[n]$. Mas $x_h[n]$ também tem os pontos de $y[n]$, pois a saída é $y[n] = x_h[nM]$. Significa que $y[n] = x_h[nM] \approx x\left[n\frac{M}{L} - 10\right]$.

Para ver que assim é, vamos ver N_x amostras do sinal de entrada e definir 3 vetores de tempo em segundos em função das 3 frequências de amostragem do sistema:

```
Nx=441; Ny=ceil(Nx*L/M) %Ny=480
t1 = (10:Nx+10-1)/fs; %avança 10 amostras para compensar o atraso do filtro
t2 = (0:Nx*L-1)/(fs*L); %fs2 = fs*L
t3 = (0:Ny-1)/(fs*L/M); %fs3 = fs2/M
plot(t1,x(1:Nx),'.',t2,xh(1:Nx*L),t3,y(1:Ny),'o')
grid, legend({'x[n]', 'xh[n]', 'y[n]'})
```

Verifique que $x_h[n]$ tem de facto os pontos de $x[n]$ (aproximadamente devido à imperfeição do filtro), bem como os de $y[n]$.

g) Indique quantas operações de multiplicação/soma se fazem por cada amostra de saída.

No final da aula entregue o script que produziu, na “Submissão de Trabalhos” do Nónio.