



Processamento Digital de Sinal

Trabalho Prático Nº 3 – Interpolação fracionária com implementação eficiente

Descrição

Neste trabalho pretende-se fazer a conversão de frequência de amostragem de 16000 Hz para 44100 Hz, em analogia com o trabalho anterior, mas agora usando uma implementação eficiente, de acordo com a seguinte equação:

$$y[n] = \sum_{\substack{k=0 \\ nM-k=mL}}^{N_h-1} h[k]x\left[\frac{nM-k}{L}\right] \quad (\text{apenas valores de } k \text{ tal que } nM-k \text{ é múltiplo de } L),$$

onde L e M são os fatores de expansão e de decimação, respetivamente, e N_h é o comprimento do filtro FIR a usar.

Trabalho Prático

- Considere um sinal de fala com frequência de amostragem de $f_s=16$ kHz, por exemplo 'pcmtest.wav'. Identifique os fatores de expansão, L , e de decimação, M .
- Projete um filtro FIR, passa-baixo, com comprimento $N_h=3529$ (ordem 3528) com o método das janelas (comando `fir1`). Aplique um ganho L para que as amplitudes de entrada e de saída sejam iguais.
- Faça a implementação direta do sistema para 16000 amostras (1 segundo do sinal de entrada, mono), em analogia com o trabalho prático anterior. Guarde estas amostras na variável $y1$ (para conferir depois o resultado com o método eficiente). Confirme que guardou 44100 amostras de saída, isto é, 1 segundo de sinal de saída.

Para conferir os cálculos use o seguinte gráfico:

```
%gráfico de Nx1 amostras de entrada e Ny1 amostras de saída:
Nx1=30; Nh1=Nx1*L; Ny1=ceil(Nh1/M);
t1 = (4:Nx1-1)/fs;
t2 = (0:Nh1-1)/(fs*L); %fs2 = fs*L
t3 = (0:Ny1-1)/(fs*L/M); %fs3 = fs2/M
plot(t1,x(1:Nx1-4),'*',t2,xh(1:Nh1),t3,y1(1:Ny1),'o')
grid, legend({'x[n]','xh[n]','y[n]'})
```

Ou:

```
plot(4*L+1:L:Nh1,x(1:Nx1-4),'*',1:Nh1,xh(1:Nh1),1:M:Ny1*M,y1(1:Ny1),'o')
```

- Faça agora uma implementação eficiente, calculando a saída no vetor $y2$. (aloque espaço inicialmente para $y2$). Faça um ciclo para calcular cada valor de $y[n]$, tomando como primeiro índice k o resto da divisão de nM por L . Pare o ciclo se k ultrapassar o valor N_h-1 ou se o índice do sinal de entrada for negativo.
Sugestão: use índices a começar em zero e indexe as variáveis do Matlab com avanço de 1, por exemplo, $h(k+1)$ para se referir a $h[k]$.
No final, compare as amostras de $y2$ com $y1$. Nota: faça um gráfico do erro relativo a $y1$; (os valores devem conferir em 12 ou mais algarismos significativos). Verifique primeiro se as dimensões de $y1$ e de $y2$ coincidem.
- Indique quantas operações de multiplicação/acumulação são feitas, em média, por cada amostra de saída.

**Processamento Digital de Sinal****Trabalho Prático Nº 3 – Interpolação fracionária com implementação eficiente**

f) Repita o cálculo usando agora o comando `upfirdn()`, calculando a saída na variável `y3`. Compare as primeiras 44100 amostras da saída `y3` com `y2`: devem ser exatamente iguais. Porquê?
Use: `max(abs(y2-y3(1:44100)))`

g) Agora já consegue perceber as diferenças entre os comandos `upfirdn`, `resample`, `interp` e `decimate` no Matlab. Explique essas diferenças.

h) Usando o algoritmo eficiente (ou `upfirdn()`) calcule a saída relativa ao sinal $x[n]$ completo. Depois ouça os dois sinais às frequências respetivas. Nota alguma diferença?

Produza um relatório (em pdf) onde expõe e discute o trabalho realizado. Não associe ao relatório outros ficheiros: coloque apenas como apêndice o “script” Matlab que produziu na aula prática.

Formato para o nome do ficheiro: **PDS_PLiGjT3.pdf** onde $i=\{1,2\}$ e j é o número do grupo.