



Processamento Digital de Sinal 2018/2019

Trabalho Prático Nº 1 Áudio, Filtragem e DFT

Descrição

Neste trabalho pretende-se introduzir o processamento de sinal, usando sinais áudio.

Trabalho Prático

- a) Considere um sinal de áudio guardado num ficheiro em formato WAV, por exemplo o sinal disponibilizado no Nónio: `pcmtest_10Hz.wav`. Use a função do Matlab `audioread(path)` para abrir o ficheiro e ler o sinal. Avalie as seguintes instruções, uma a uma:

```
[x,fs]=audioread('pcmtest_10Hz.wav'); % lê sinal e freq. de amostragem.
% x: sinal normalizado (entre -1 e 1) numa coluna (mono) ou em 2 colunas (stereo)
% fs: frequência de amostragem (nº amostras por segundo)
Nc=size(x,2) %número de canais/colunas de x: 1=mono, 2=stereo.
Nx=size(x,1) %número de amostras/linhas de x (comprimento de x[n])
plot(0:Nx-1,x)%gráfico do sinal (linhas retas entre pontos. Verifique...
soundsc(x,fs) % reproduz o sinal áudio à frequência de amostragem fs. Se variar a
% taxa de amostragem o sinal pode ficar demasiado agudo ou demasiado grave.
```

- b) O gráfico mostra uma oscilação do sinal (não audível) a 10Hz. Vamos filtrar este sinal com um filtro de 1ª ordem, passa-alto, $f_c=250\text{Hz}$ (remoção de DC), com ganho 1 em $\omega=\pi$ e com função de transferência

$$H(z) = g \frac{1-z^{-1}}{1-az^{-1}}; \quad a = e^{-2\pi f_c / f_s}; \quad g = \frac{1+a}{2}$$

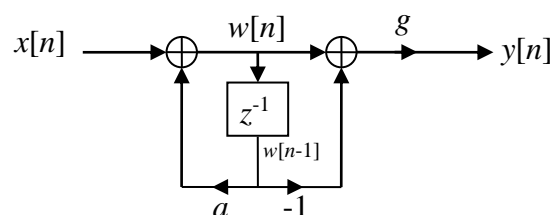
Verifique o ganho do filtro em DC ($z=1=e^{j0}$) e em π ($z=-1=e^{\pm j\pi}$). Determina a resposta em frequência deste filtro usando o comando `freqz`:

```
fc=250; a=exp(-2*pi*fc/fs); g=(1+a)/2; % exp(-wc*n*T)=a^n (invar. impulsional)
num = g*[1,-1]; den = [1,-a]; % Polinómios numerador e denominador de H(z).
[H,w]=freqz(num,den); % H(exp(jw)) em 512 pontos, w=[0,pi]
plot(w/pi,abs(H)) % Plot do módulo em freq. normalizada (pi rad corresponde a 1).
plot(w/pi*fs/2,abs(H)) % Plot em Hz (pois pi rad corresponde a fs/2 Hz).
```

Filtre o sinal original com este filtro. Use o comando `filter(num,den,sinal)` do Matlab:

```
y1=filter(num,den,x);
plot(0:Nx-1,y1)%Verifique que a oscilação de baixa frequência desapareceu.
```

- c) Vamos agora usar uma implementação deste filtro usando a forma direta II. Verifique que o diagrama é o da figura seguinte.





Processamento Digital de Sinal 2018/2019

Trabalho Prático Nº 1 Áudio, Filtragem e DFT

Verifique que as equações a implementar (com duas multiplicações e duas somas) são:

$$w[n] = x[n] + a \cdot w[n-1]$$

$$y[n] = g \cdot (w[n] - w[n-1])$$

Considere a variável w_1 que mantém o valor anterior de $w[n]$. Faça um ciclo para cada amostra de entrada (e de saída) implementando estas duas equações:

```
y2=zeros(size(x)); %espaço para saída y2[n]; mesmo formato da entrada
w1=0; %condição inicial nula.
for n=1:Nx
    w=x(n)+a*w1;
    y2(n)=g*(w-w1);
    w1=w;
end
```

Compare o resultado obtido com a solução anterior (por exemplo: `max(abs(y1-y2))`) que deve ser da ordem de `eps`). Conte o número de operações necessárias para obter cada amostra de saída.

Parte 2: DFT

- a) Gere um sinal sinusoidal à frequência $f_0=1$ kHz (à mesma frequência amostragem e formato do sinal $x[n]$) e com amplitude 0.1. Use a seguinte definição em tempo contínuo: $z(t) = 0.1 \sin(2\pi f_0 t)$. Em tempo discreto teremos $z[n] = z(nT) = z(n/f_s)$ com $n=(0:Nx-1)'$.

Ouçã o sinal $z[n]$ (tom a 1kHz).

Some este tom ao sinal original: $y=x+z$; e ouça o resultado.

- b) Obtenha uma DFT das primeiras 500 amostras do sinal $y[n]$ com `Nfft=512`: $Y_0[k]$. Use o comando `fft`. Faça um *plot* módulo desta DFT, no intervalo de $[0, \pi]$, mas com abcissa em Hz. Para isso, tome em consideração as seguintes relações: $\frac{f}{f_s} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{k}{N_{fft}}$. Pode formar os seguintes vetores:

```
k = (0:Nfft/2); %k: 257 índices de interesse da DFT. Y0(k+1) são os valores da DFT.
f = k*fs/Nfft; %f: 257 frequências dos "bins" da DFT, desde f=0 até f=fs/2.
Y0=fft(y(1:500),Nfft);
plot(f,abs(Y0(1:257)))
```

Note que no intervalo de $[0, \pi]$ ou $[0, f_s/2]$ existem 257 ($Nfft/2+1$) "bins" da DFT, logo, queremos grafar apenas `abs(Y0(1:257))`. Verifique a presença do tom a 1 kHz.

Parte 3: Sonograma do sinal

O sinal varia no tempo assim como o seu conteúdo espectral. Para ver o conteúdo espectral do sinal ao longo do tempo, podemos calcular DFTs a um ritmo fixo, por exemplo, 100 DFTs por segundo (um valor usual). No final podemos visualizar o resultado em 3 dimensões: tempo, frequência e amplitude. A amplitude pode ser vista em pseudocor e, assim, teremos um *sonograma*.



Processamento Digital de Sinal 2018/2019

Trabalho Prático Nº 1 Áudio, Filtragem e DFT

Para isso:

1. Considere tramas ou segmentos de $N=500$ amostras e DFTs com $N_{fft}=512$.
2. O avanço dos segmentos deverá ser de $f_s/100$ amostras: $M=160$.
3. Para cada segmento, calcular a sua DFT e guardá-la numa coluna da matriz do resultado.

Se for m o índice da trama (segmento), será: $Y(:,m)=fft(trama,N_{fft})$; onde $trama=y(i:j)$; com i e j a avançar de M em M e inicializado com $i=1$; $j=N$.

4. No final, teremos uma matriz (Y) de dimensão $N_{fft} \times N_t$ onde $N_t = \left\lfloor \frac{N_x - N}{M} \right\rfloor + 1$ é o nº de tramas inteiras: $N_t = \text{floor}((N_x - N)/M) + 1$;

5. Fazer o sonograma como uma imagem (escalonada): `imagesc(1:Nt,f,abs(Y(1:257,:)))` ou melhor, em dB: `imagesc(1:Nt,f,db(Y(1:257,:)))`

```
% Sonograma do sinal com N=500; Nfft=512; M=fs/100
Nfft=512; N=500; M=fs/100;
Nt = floor((Nx-N)/M)+1; %nº de tramas do sinal
Y=zeros(Nfft,Nt); %espaço para o resultado.
i=1; j=N; %i:j são os índices da 1ª trama.
for m=1:Nt
    trama = y(i:j);
    Y(:,m)= fft(trama,Nfft);
    i=i+M;
    j=j+M;
end
imagesc(1:Nt,f,db(Y(1:257,:))), axis xy, colorbar
colormap(jet)
```

Notar a linha a 1kHz: o tom que está presente no sinal em todas as tramas. Notar as partes vozeadas e as fricativas do sinal de fala.

Relatório

Produza um relatório (em formato pdf) onde expõe e discute os assuntos e os resultados obtidos. Não associe o relatório a outros ficheiros; coloque no pdf, como apêndice, o “script” Matlab que usou na aula prática. Use sempre o seguinte formato para o nome do ficheiro a entregar:

PDS_PLnGmTk.pdf

onde n é o nº da Prática Laboratorial (1 ou 2), m é o nº do Grupo e k é nº do Trabalho Prático (1).

NOTAS:

1. Todos os ficheiros que não tenham extensão **.PDF** são ignorados (por exemplo, .docx, .rar, .zip).
2. Todos os relatórios têm de ter uma folha de rosto com a identificação do DEEC, disciplina, título, turma e grupo, autores e data.
3. Valoriza-se relatórios “profissionais”, com detalhes de realização, sem ser preciso conhecer o enunciado do trabalho.