ELT 576

Atividade Prática: Análise espectral

Especialização em Inteligência artificial e Computacional

Universidade Federal de Viçosa

1 Roteiro

1.1 Domínio do tempo↔Domínio da frequência

A faixa de frequência do espectro de um sinal é relacionada com sua frequência de amostragem através do teorema da amostragem: "A frequência de amostragem deve ser maior que o dobro da maior frequência contida no sinal". No exemplo abaixo, está representada a transformada de Fourier de uma soma de senóides com ruído, onde a frequência de amostragem é $F_s = 8000$. Neste caso, a largura do espectro está na faixa `[-4000,4000]` Hz. Tanto o sinal no domínio do tempo quanto no domínio da frequência tem o mesmo número de pontos e a resolução em frequência (ou Δf) é inversamente proporcional ao número de pontos. A transformada de Fourier é obtida através do comando `fft`, o qual implementa o algoritmo "Fast Fourier Transform". Se o sinal for periódico, a trasnformada se reduz à série de Fourier.

```
Fs = 8000;
L = 8000;
t = 0:1/Fs:(L-1)/Fs;
x = 0.7*sin(2*pi*500*t)+sin(2*pi*2000*t)+2*randn(1,L);
plot(t,x)
X = fft(x);
```

O resultado do comando `fft` é uma transformada não-simétrica em relação ao eixo (por questões de processamento numérico). Para um resultado mais fidedigno à teoria é necessário usar o comando `fftshift`, o qual centraliza o resultado da `fft`. Todavia, apenas a primeira metade dos pontos é inédita quando lidamos com sinais reais, sendo necessário plotar somente metade para se ter informação sobre o espectro do sinal. O código abaixo obtêm o espectro sem centralizar, centralizado e apenas da parte positiva da frequência que corresponde a metade inédita.

```
freq = [-(L/2-1):L/2]*Fs/L;
pfreq = [0:L/2]*Fs/L;
subplot(3,1,1), plot(freq,abs(X))
subplot(3,1,2), plot(freq,abs(fftshift(X)))
subplot(3,1,3), plot(pfreq,abs(X(1:L/2+1)))
```

Experimente verificar o espectro de outros sinais. Note que o sinal simulado possui número par de pontos, portanto $L/2$ é inteiro. Se o tamanho do sinal for ímpar, então é melhor omitir a última amostra do sinal, por exemplo `x=x(1:length(x)-1);`, para evitar erros de indexação.

Para retornar um espectro para o domínio do tempo usa-se o comando `ifft`, como mostrado abaixo.

```
xnew = real(ifft(X));
```

1.2 Transformada de Fourier de curta duração

Os métodos de Fourier estudados até o momento limitam-se a análises de sinais cujo espectro é constante ao longo do tempo, isto é, qualquer sinal submetido à análise de Fourier precisa ser estacionário. Este é um conceito estatístico que significa que a dinâmica do sinal é a mesma desde o início até o fim da série temporal. Esta propriedade é importante pois garante que a transformada inversa de um espectro resultará exatamente no sinal original. Todavia, existem inúmeros sinais na natureza que não se encaixam nesta restrição; por exemplo: sinais de voz, sinais biomédicos etc. Assim, é interessante que existam métodos para a análise tempo X frequência, de forma que se possa verificar a evolução do conteúdo espectral de um sinal mesmo numa realidade não-estacionária.

Para ver um sinal no tempo e na frequência ao mesmo tempo é preciso construir um espectrograma, o qual também é chamado de transformada de Fourier de curta duração. O espectrograma divide o sinal em janelas, realiza a transformada de Fourier de cada janela e plota a análsie espectral de cada janela. Dessa forma, é possível ver como o conteúdo espectral de um sinal muda em função do tempo.

1. O sinal `x` é dividido em janelas de tamanho `nwin` com `nolap` amostras de sobreposição entre as janelas adjacentes. Em cada janela é aplicada uma FFT de `nfft` pontos.
2. A função `espectrograma.m`, disponibilizada no PVANet moodle, calcula o espectrograma de um sinal e retorna os vetores relativos ao tempo e frequência.

```
[S,F,T] = espectrograma(y,nwin,nolap,nfft,fs);
```

Exemplo: Façamos inicialmente uma análise espectral tradicional.
⇒*Comente todas as linhas de código!*

```
fs = 1000;
t = 0:1/fs:3;
f0 = 150;
t1 = 3;
f1 = 450;
B = (f1-f0)/t1;
y = cos(2*pi*(f0*t+B/2*t.^2));
Y = abs(fft(y));
F = linspace(0,fs/2,round(length(y)/2));
plot(F,Y(1:round(length(y)/2)))
xlabel('Frequencia (Hz)')
ylabel('Magnitude')
```

A análise espectral tradicional indica que o sinal possui um conteúdo espectral entre 150 e 450 Hz. Porém, não é possível identificar a informação temporal de aumento da frequência, como se pode conferir com a reprodução do som (use o `soundsc`, por exemplo Não esqueça de entrar com a frequência de amostagem, que nesse caso é 1000 Hz). Vejamos agora uma análise tempo X frequência do mesmo sinal.

```
[S,F,T] = espectrograma(y,256,20,256,fs);
figure
surf(T,F,10*log10(abs(S)),'EdgeColor','none');
axis xy; axis tight; view(0,90);
xlabel('Tempo (s)');
ylabel('Frequencia (Hz)');
```

O que você achou do espectrograma? Quais outras aplicações você daria para esta técnica?

2 Esteganografia ou "Ouvir imagens?"

Como visto, o espectrograma é uma representação gráfica, uma imagem, que carrega as informações temporais das frequências que compõem o sinal. Isto indica que cada pixel tem uma amplitude e uma frequência associadas. Usando um pouco de manipulação de informações espectrais, é possível "esconder"informações dentro de sinais, numa espécie de esteganografia (- dê um *google* neste termo). Para verificar e extrair informações escondidas em sinais unidimensionais - como são os sinais de áudio - pode-se usar o espectrograma.

1. Carregue o arquivo *lena.wav* usando o comando `audioread`. Ouça o som usando `soundsc` com frequência de amostragem 44100 Hz.

2. Aplique o espectrograma ao sinal. Dica 1- varie os parâmetros `nwin, nolap e nfft`; dica 2- use `colormap(gray)`.

3. Descreva o espectrograma obtido e tente explicar como o som *lena.wav* foi gerado. Explique como o que se ouve corresponde com o espectrograma obtido. Quais aplicações você poderia descrever para esta técnica?

==> Quem ficou intrigado pode ver uma aplicação do que vimos acima em música. Acesse *https://www.youtube.com/watch?v=M9xMuPWAZW8t=284s* e ouça um pouco de música eletrônica.

3 Canto das baleias

Os cetáceos de grande porte, como golfinhos e baleias, são capazes de produzir padrões de som muito distintos, usando um aparato comparável ao humano em termos de complexidade. Existem indícios que estes chamados são a base de uma comunicação entre estes animais. Use seus conhecimentos sobre análise tempo X frequência para analisar os padrões de sons produzidos por este animais.

1. Carregue o arquivo *whalecalls.mat* usando o comando `load`. Este arquivo contém três variáveis: $X1$, $X2$ e fs. A variável fs é a frequência de amostragem. As variáveis $X1$ e $X2$ são matrizes onde cada linha é um chamado.

2. Ouça alguns trechos de cada matriz e descreva as diferenças entre ouvir os sons de $X1$ e $X2$.

3. Veja os espectrogramas dos sons das matrizes $X1$ e $X2$ (não se esqueça de variar os parâmetros da função `espectrograma`). Explique como o que se ouve corresponde com a imagem obtida pelo espectrograma. É possível enxergar algum padrão? Quais?