

EFC4

EA614 2020.1

July 6, 2020

Aluno: Marcos Diaz

RA: 221525

Preparação

```
[77]: from espectro import espectro
      from kaiser import kaiser

      import scipy.io
      from scipy.io import wavfile
      from scipy.signal import convolve

      import IPython.display as ipd

      import math
      import numpy as np
      import matplotlib.pyplot as plt
```

(a) Leitura do arquivo de áudio

```
[78]: Fs, y = wavfile.read("queen_I_want_it_all.wav")
      y=y[:,0]+y[:,1]
```

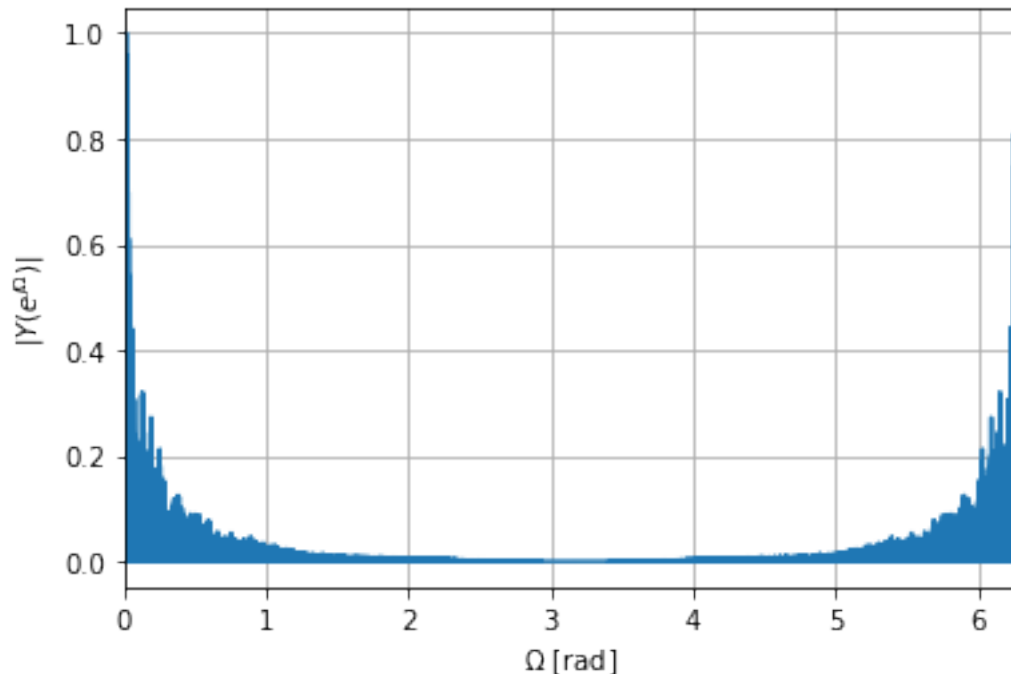
```
[79]: # frequência de amostragem original da música
      Fs
```

```
[79]: 44100
```

(b) Espectro do sinal original

```
[80]: Y = espectro(y)
```

Figura: Espectro original da música



Comentário sobre a escala

A escala horizontal do gráfico apresenta a frequência “normalizada”, ou seja, a frequência angular dividida pela frequência de corte. Como sabemos a frequência de corte, podemos interpretar os valores de Ω como frequências simples (em Hz) utilizando a equação: $(\Omega * f_s / 2\pi)$

```
[81]: freq_simp = lambda omega: omega*Fs/(2*np.pi)
```

```
[82]: freq_simp(1)
```

```
[82]: 7018.732990352584
```

```
[83]: freq_simp(2)
```

```
[83]: 14037.465980705168
```

Discussão

O conteúdo espectral do sinal de áudio se concentra principalmente até a frequência de 2 radianos ou aproximadamente 14,037kHz, de modo que é possível considerar essa como a frequência máxima do sinal. Outro aspecto que se destaca é a concentração de sinais de maior amplitude em baixas frequências: a maior parte da energia do espectro encontra-se até 1 radiano ou aproximadamente 7,018kHz. Por fim, como esperado do espectro de um sinal amostrado, observa-se a réplica espectral centrada na frequência 2π radianos.

Observando atentamente o espectro, as altas frequências, ainda que relativamente muito fracas, não são nulas; assim, é esperado aliasing próximo da frequência de 3 radianos. No entanto, pode-

mos definir a frequência máxima como dito acima, ou seja, para nossos propósitos, considerar o sinal como limitado em banda. Como a frequência de amostragem é aproximadamente o triplo da máxima, pelo Teorema da Amostragem o sinal não sofre aliasing.

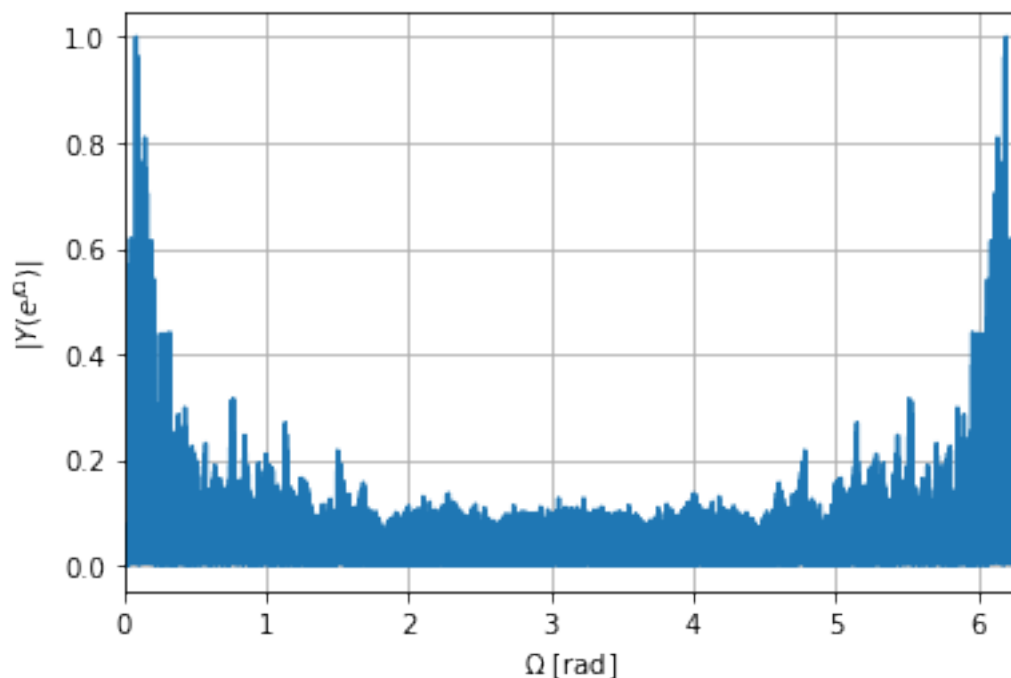
(c) Subamostragem

```
[126]: # fator de decimação  
M = 6
```

```
[127]: y_decimated = [y[M*i] for i in range(math.ceil(len(y)/M)) if i < len(y)]
```

```
[128]: Y_decimated = espectro(y_decimated)
```

Figura: Espectro do sinal subamostrado



```
[110]: # nova frequência de amostragem  
Fs/M
```

```
[110]: 4410.0
```

Discussão

O espectro do sinal subamostrado mantém o predomínio das baixas frequências (até 2 radianos); no entanto, é visível o aumento relativo das amplitudes em frequências mais altas - a energia do sinal é melhor distribuída entre as frequências. Tal comportamento é fruto de aliasing: o sinal e sua réplica se sobrepõem, gerando a deformação observada principalmente na faixa de 1 a 6

radianos. Aliasing considerável era esperado na nova amostragem: considerando a frequência máxima como 2 radianos, a nova frequência de amostragem é aproximadamente a metade da máxima.

(d) Comparação auditiva

Original

```
[88]: ipd.Audio(y,rate=Fs)
```

Subamostrado

```
[89]: ipd.Audio(y_decimated,rate=Fs/M)
```

Discussão

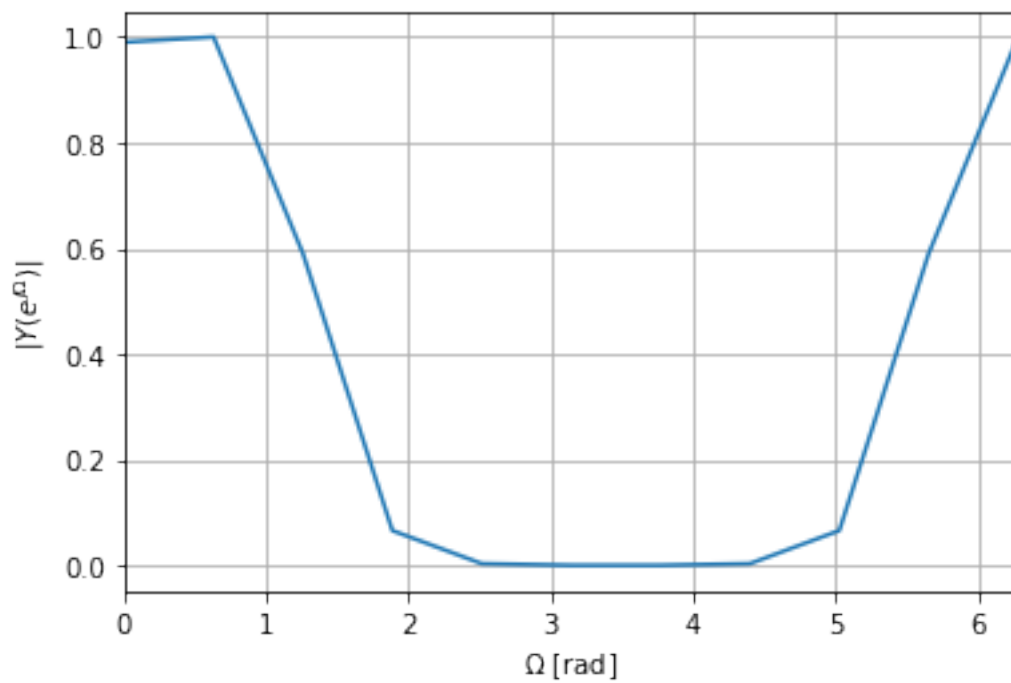
Comparado ao original, o áudio do sinal subamostrado parece ser abafado como um todo. Percebe-se o que parece ser uma menor separação entre os instrumentos: a música parece mais homogênea. Nota-se, em geral, a perda da clareza de sons agudos, previsível, já que a maior parte do aliasing ocorre em frequências mais altas.

(e) Filtros Anti-Aliasing

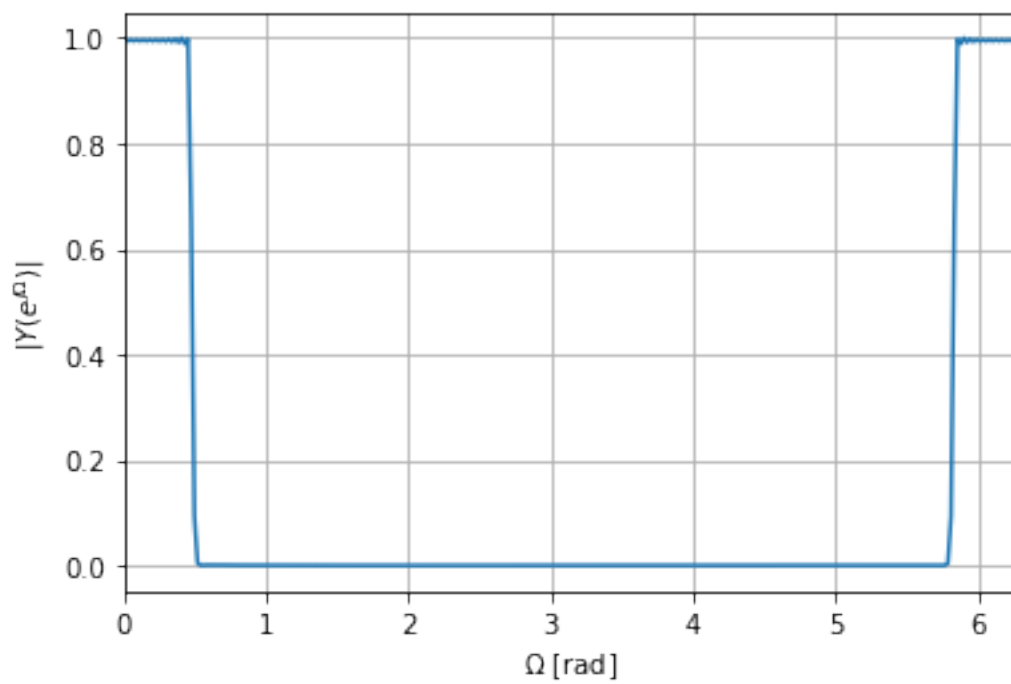
```
[90]: h_1 = kaiser(0.45,2)
      h_2 = kaiser(0.45,0.5)
      h_3 = kaiser(1.5,2)
```

```
[91]: H_1 = espectro(h_1)
```

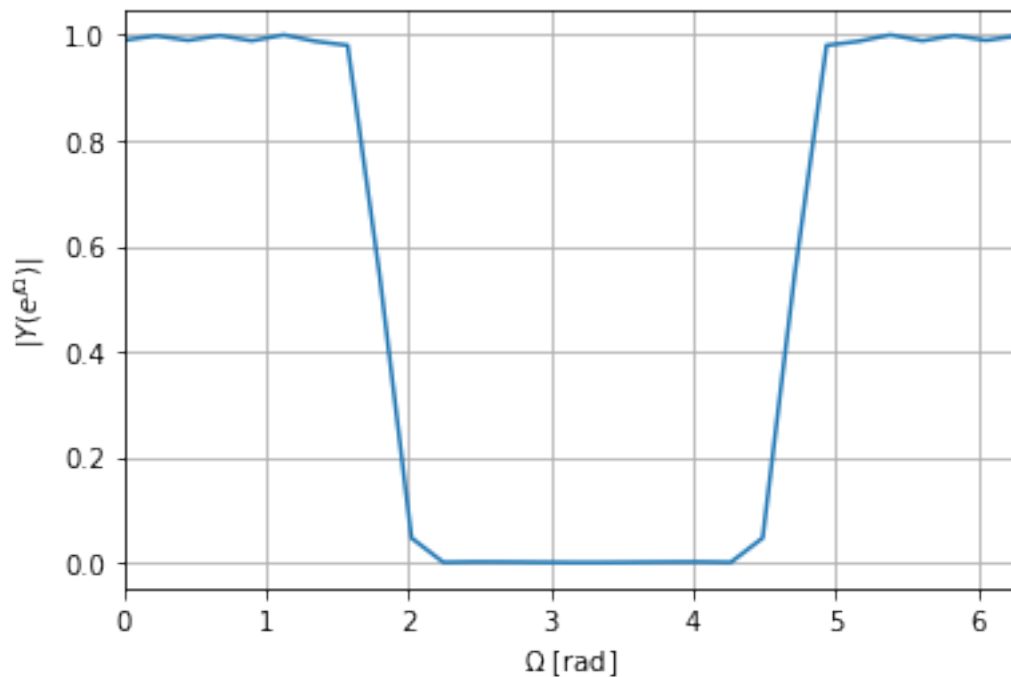
Figuras: Filtros Anti-Aliasing



[92]: `H_2 = espectro(h_2)`



```
[93]: H_3 = espectro(h_3)
```



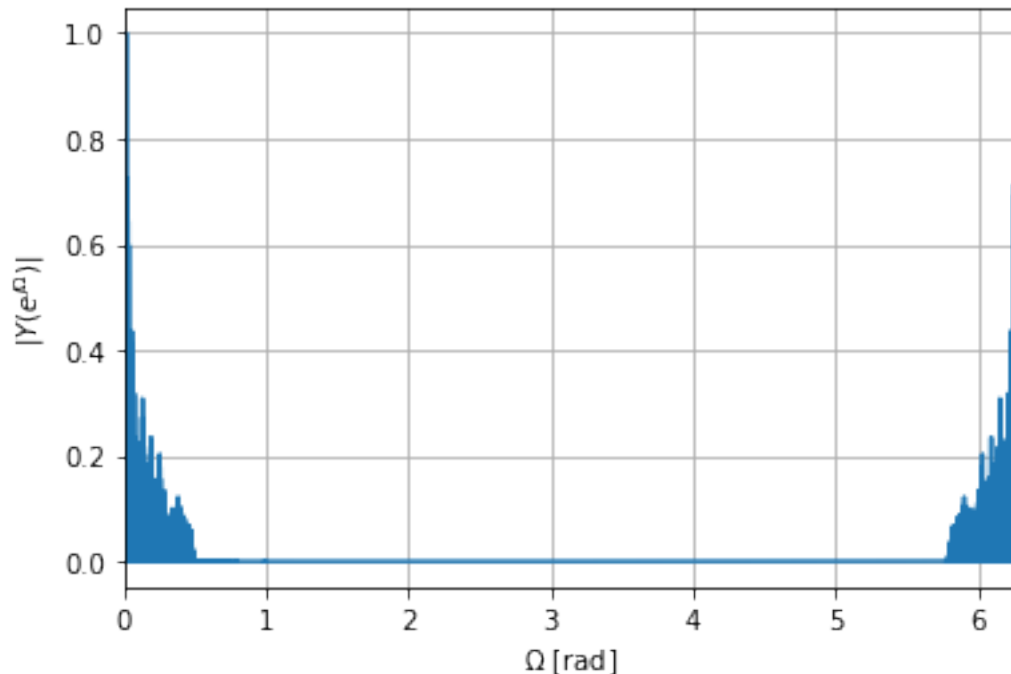
Discussão

Os filtros se diferenciam, principalmente, por suas diferentes faixas de rejeição: o segundo tem a maior delas, seguido do primeiro e do terceiro. Eles também diferem quanto a transição entre a faixa de passagem e rejeição: o primeiro apresenta uma faixa de transição maior, esperado devido à diferença de 1,55 rad entre sua frequência de corte e de rejeição; o segundo tem uma transição quase instantânea e o terceiro uma intermediária.

(f) Filtragem do sinal original

```
[94]: y_filtered = scipy.signal.convolve(y, h_2, mode='full')  
Y_filtered = espectro(y_filtered)
```

Figura: Espectro do sinal original filtrado



```
[95]: ipd.Audio(y_filtered,rate=Fs)
```

Discussão

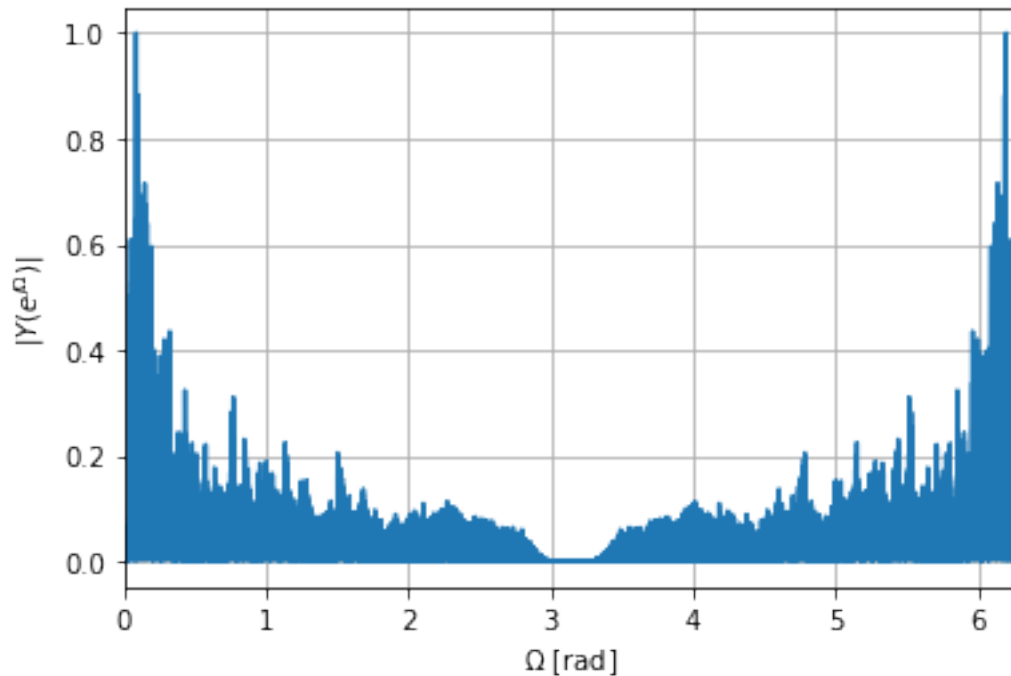
O espectro obtido é o esperado de um sinal filtrado por um filtro passa-baixas próximo do ideal. As frequências a partir de 0,5 radianos foram anuladas, de modo que as próximas frequências não nulas são as da réplica da banda base.

No áudio é perceptível a falta das frequências mais altas, gerando um efeito abafado, principalmente no coro inicial da música. Também há uma sensação de volume mais baixo, fruto da menor energia do sinal filtrado quando comparado ao original. Todos esses efeitos são esperados dada a filtragem, que omite frequências maiores que 0,5 radianos.

(g) Subamostragem do sinal filtrado

```
[96]: y_filtered_decimated = [y_filtered[M*i] for i in range(math.ceil(len(y_filtered)/
    ↳ M)) if i < len(y_filtered)]
    Y_filtered_decimated = espectro(y_filtered_decimated)
```

Figura: Espectro do sinal original filtrado e subamostrado



```
[97]: ipd.Audio(y_filtered_decimated,rate=Fs/M)
```

```
[131]: # razão entre a frequência de amostragem e a máxima
        (Fs/M)/freq_simp(0.5)
```

```
[131]: 2.0943951023931957
```

Discussão

Comparando o espectro do sinal submastrado com o do sinal filtrado e subamostrado, verificamos que são similares em forma até uma região entre aproximadamente 3 e 3,5 radianos, na qual o filtrado e subamostrado apresenta frequências anuladas. Esse comportamento sugere que nessa faixa não ocorreu aliasing, o que era esperado pois a razão entre a frequência de amostragem e a frequência máxima é maior que dois. Nessa configuração de frequências não ocorre aliasing, como afirma o teorema da amostragem.

É notável que, mesmo subamostrado, o áudio é muito próximo ao original filtrado, como previsto pelo teorema da amostragem: o sinal é única e perfeitamente representado por suas amostras.