

Projeto 1 - Processamento de Sinais multimídia

Amélia O. F. da S

1 Objetivos

O projeto tem como objetivos:

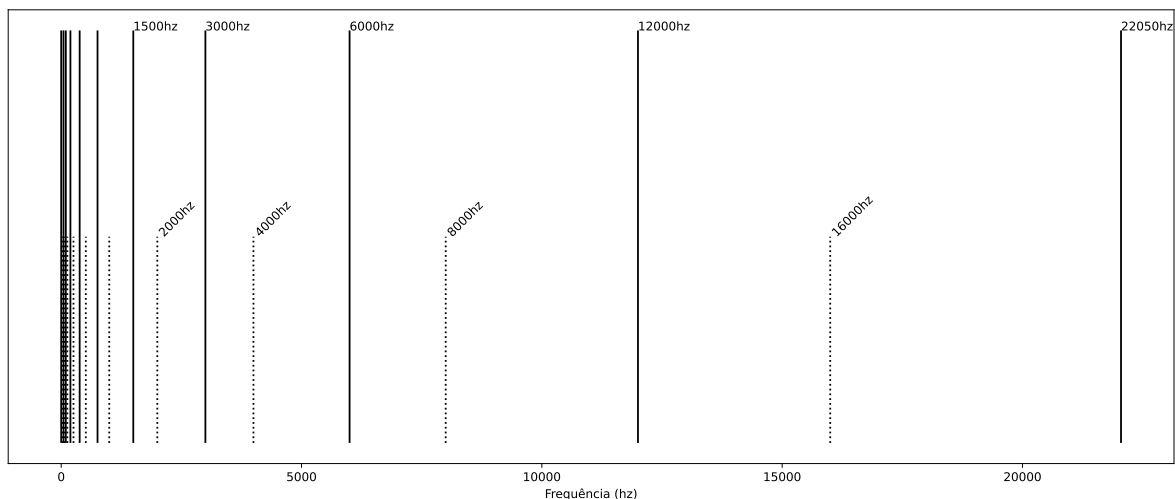
- Demonstração de domínio básico prático do conhecimento de filtros SLIT FIR via:
 - Implementação de um equalizador de bandas;
 - Implementação de um visualizador de energia de bandas.
- Demonstração de domínio básico teórico do conhecimento de filtros SLIT FIR pela descrição e justificativas teóricas das implementações.

2 Planejamento

2.1 Arquitetura de DSP

A fim cumprir os objetivos listados acima, proponho a arquitetura descrita na figura 2.

A aplicação processará sequencialmente as amostras de entrada e aplicará um filtro simplificado calculado a partir de 10 filtros passa-faixa dividindo o espectro entre as frequências requeridas no projeto. Para o cálculo dos valores do gráfico de barras, aplicaremos periodicamente uma FFT, somando as energias das faixas especificadas.



Pontilhadas: frequências "centrais" das bandas
Sólidas: frequências-limite das bandas

Figura 1: Bandas de filtragem

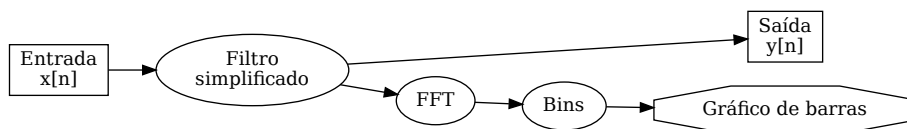


Figura 2: Arquitetura proposta

2.2 Arquitetura da aplicação

A aplicação se dividirá em três componentes principais:

- Provedor de informação dos sliders;
 - Codificado em Python;
 - Apresentará a interface de alteração dos filtros para o usuário;
 - Proverá os coeficientes do filtro para o processador de sinais via FIFO/Pipe UNIX.
- Host de filtragem;
 - Codificado em C;
 - Receberá coeficientes de filtragem via FIFO/Pipe UNIX;
 - Receberá um feed de som do PulseAudio, aplicará o filtro FIR caracterizado pelos parâmetros guardados e enviará um feed de som de volta ao PulseAudio;
- Visualizador de gráfico de barras.
 - Codificado em Python;
 - Receberá um feed de som do PulseAudio e gerará um gráfico de barras de intensidade de cada banda.

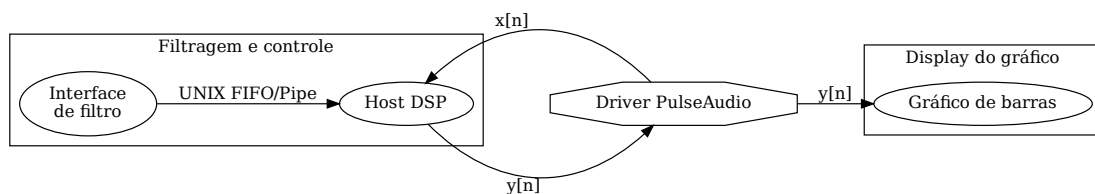


Figura 3: Processos e conexões relevantes

Destes processos, dois grupos são basicamente independentes:

- Processos de controle e filtragem
 - Lidam com a filtragem do áudio e configuração do filtro;
 - Lidam com a interação com o usuário.
- Processo de display do gráfico
 - Lida com o cálculo das intensidades de cada *bin* de frequências.
 - Lida com a ilustração das intensidades com um gráfico de barras.

O isolamento dos dois grupos, bem como o desenho do host de DSP de forma "reativa" (funciona continuamente até que alguma alteração venha da interface, com mínima interrupção) permite que o feed de som seja contínuo, sem falhas providas de gargalos de processamento, e que o display visual, para o qual continuidade não é tão importante, possa lidar com o feed de som em seu próprio "ritmo".

3 Desenho de filtro

Para demonstrar o funcionamento dos filtros, foram desenhados e testados dois grupos:

- Filtros de tamanho 1000 janelados por Hamming;
- Filtros de tamanho 100 janelados por Hamming.

3.1 Filtros de tamanho 1000

10 filtros passa-faixa de largura 1000 foram desenhados para cobrir o espectro de acordo com a figura 1. Cada filtro foi definido com base em sua resposta ao impulso $h[n] = \frac{\sin(\omega_c 2n) - \sin(\omega_c 1n)}{\pi n}$. Os parâmetros ω foram calculados a partir das frequências pela expressão $\omega = \frac{2f\pi}{f_s}$, que leva a frequência de nyquist para π , nosso ω máximo.

em resposta impulsiva (coeficientes a_i), pois sabemos que

$$\sum_i^n a_i x[n-i] + \sum_i^n b_i x[n-i] = \sum_i^n (a_i + b_i) x[n-i]$$

Para "juntar" os filtros, basta somar todas suas representações em resposta impulsiva do filtro resultante da soma de todos os filtros está ilustrada na figura 4.

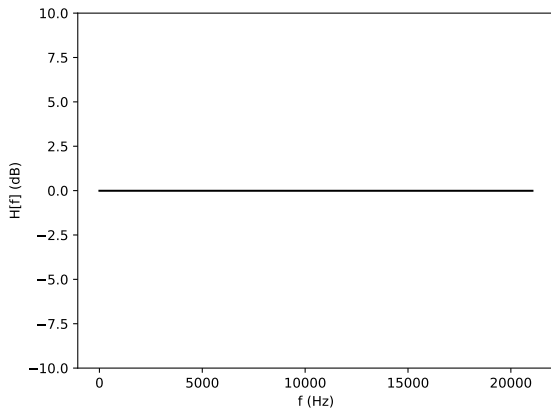
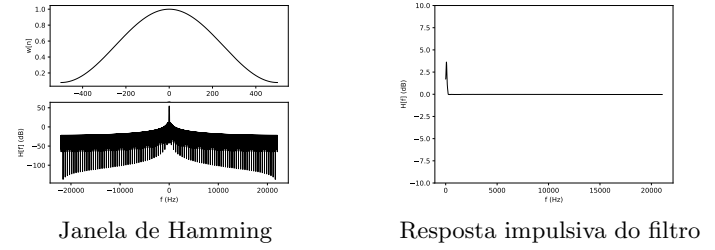


Figura 4: Resposta impulsiva do filtro final sem janelamento

Me parece que o janelamento retangular já foi suficiente para resultar em um filtro "liso".

Janelá-lo por Hamming inclusive introduz uma pequena imperfeição nas frequências baixas:



Janela de Hamming

Resposta impulsiva do filtro

Figura 5: Resposta impulsiva do filtro final com janelamento Hamming

...

Nas seções seguintes, com filtros menores, apresento uma análise mais detalhada desse defeito.

Na prática, usar ou não o janelamento fez pouquíssima diferença nessa escala:



Figura 6: Resposta em frequência dos filtros sem e com janelamento (intensificando as bandas ímpares por 2^i e atenuando as pares)

3.2 Filtros de tamanho 100

Por problemas na implementação do host de áudio, o processamento em tempo real não funciona com filtros tão grandes, então re-deseñei filtros de tamanho 100 para poder testar na prática.

Assim como na seção 3.1, foram desenhados 10 filtros cobrindo o espectro especificado, mas estes eram de largura 100.

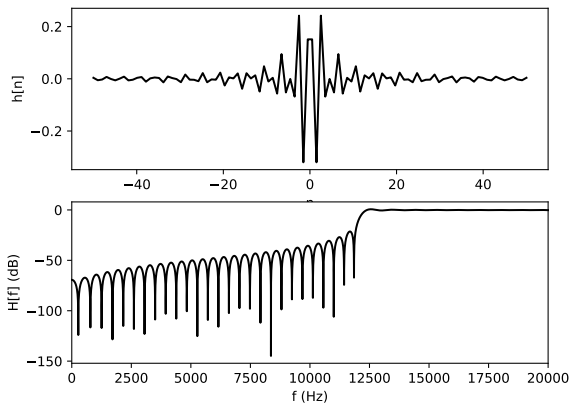


Figura 7: Filtro da faixa 12k-22k

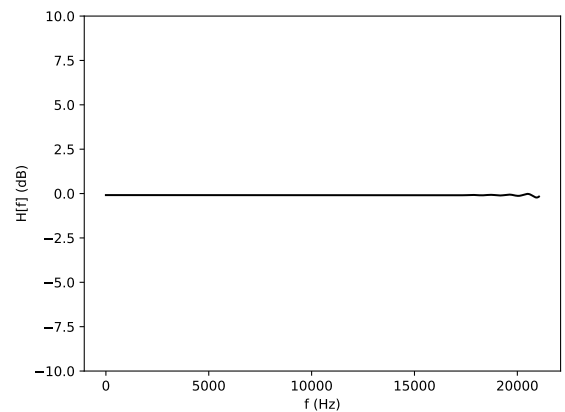


Figura 8: Resposta impulsiva do filtro final sem janelamento

Tanto no filtro individual como na resposta impulsiva do filtro final, temos imperfeições indesejáveis provindas da restrição dos filtros a 100 amostras. Para minimizar esse problema, os filtros foram multiplicados por uma função de janelamento.

Com o janelamento por Hamming, reduzimos bastante as oscilações indesejáveis, mas a resposta para o filtro em um estado "neutro" super-representou as frequências baixas.

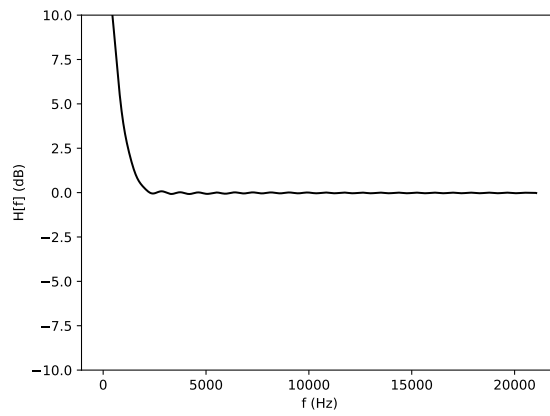
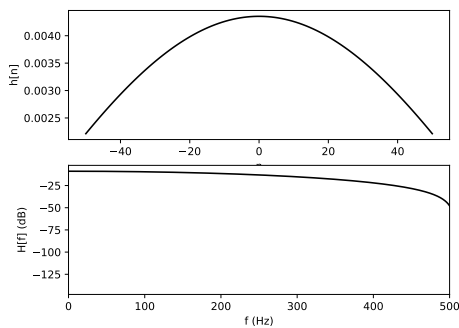
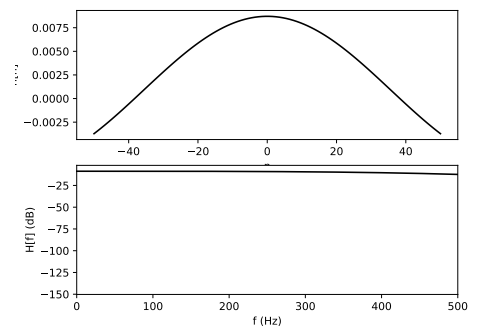


Figura 9: Resposta impulsiva do filtro final com janelamento de Hamming

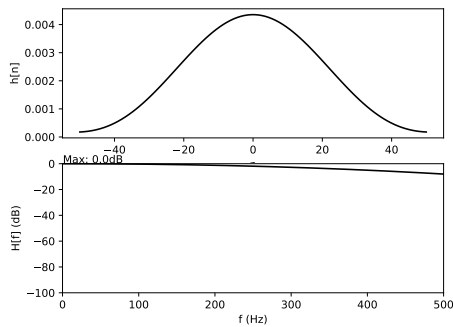
Minha hipótese para explicar esse fenômeno estranho é que para filtros pequenos, os passa-faixas de baixas frequências são localizados demais para se diferenciarem. Por alguma razão, com janelamento retangular, alguma coisa compensa esse problema e deixa a resposta próxima ao desejado, mas com o janelamento essa intersecção/semelhança se evidencia mais.



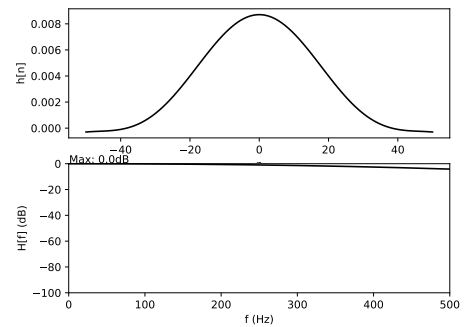
Filtro 96-192hz sem janelamento



Filtro 192-384hz sem janelamento

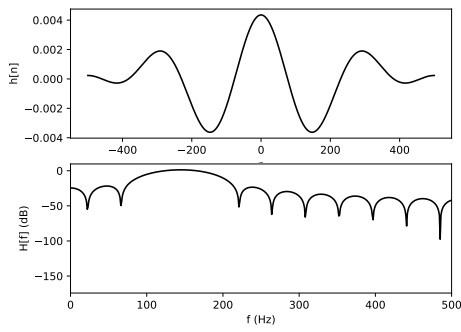


Filtro 96-192hz com janelamento

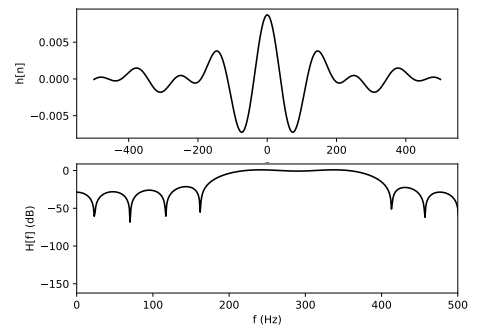


Filtro 192-384hz com janelamento

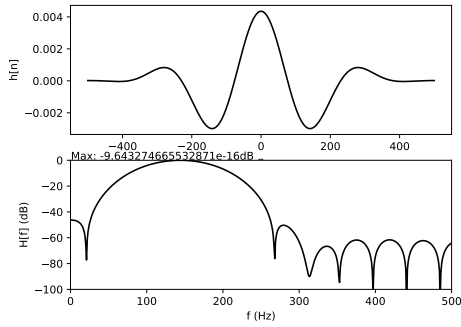
Figura 10: Comparação dos filtros de tamanho 100 com e sem janelamento de Hamming



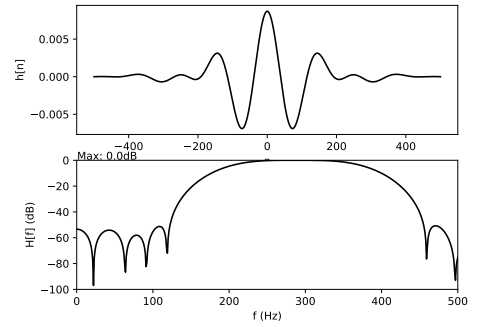
Filtro 96-192hz sem janelamento



Filtro 192-384hz sem janelamento



Filtro 96-192hz com janelamento



Filtro 192-384hz com janelamento

Figura 11: Comparação dos filtros de tamanho 1000 com e sem janelamento de Hamming

4 Considerações finais

Considero cumpridos os objetivos do projeto. Explorei os tópicos de interesse do projeto em profundidade adequada teoricamente e construí, com o conhecimento adquirido e visando demonstrá-lo, uma aplicação usável e funcional.

Todos os arquivos-fonte necessários para compilar a aplicação e para a geração deste relatório estão disponíveis (sob licença GPL) no repositório do GitHub abaixo:

https://github.com/m3101/PSM_2022_3_1.

Obrigada pelo tempo e pelo conhecimento.