



Universidade Federal da Bahia
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação
Disciplina: Processamento Digital de Sinais (ENGC63)
Professor: Antônio C. L. Fernandes Jr.
Data de Entrega: 25 e 30/11/2021

Avaliação 08: Implementação de Filtros Digitais

Observações importantes:

1. Cada estudante ou grupo de no máximo 2 estudantes deve escolher um projeto;
2. O projeto deverá ser apresentado em aula (equações, detalhamento do projeto, gráficos etc), arquivo (com programa fonte) e arquivos de fala/música (quando for o caso);
3. É permitido que um mesmo projeto seja escolhido por mais de um estudante ou grupo de estudantes.

Projetos

- 1º Projeto: Projete, a partir de um filtro passa-baixas *Butterworth* de sexta ordem, um filtro discreto passa-baixas com frequência de corte (-3dB) igual $\omega_c = 2\pi/3$, usando o **método da invariância da resposta impulsiva**. Faça a implementação sob forma direta e sob forma em cascata. Represente os coeficientes em ponto flutuante (ex.: $0,00423578 = 0,423578 \times 10^{-2}$) e vá diminuindo o número de casas decimais após a vírgula nas formas direta e em cascata para verificar a sensibilidade à quantização de parâmetros. Trace a curva do módulo da resposta em frequência em *dB* para os casos de precisão infinita e precisão finita. Em seguida, para a representação em forma direta, refaça os filtros com as 3 transformações em frequência a seguir ($Z^{-1} = -z^{-1}$; $Z^{-1} = z^{-2}$ e $Z^{-1} = -z^{-2}$) e trace a curva do módulo em *dB* da resposta em frequência resultante. Use os seus filtros para processar um sinal de áudio de sua preferência, ouça os resultados e os avalie perceptualmente. Avalie, também, o espectro em função do tempo, do sinal de entrada e de saída utilizando um espectrograma.
- 2º Projeto: Projete, a partir de um filtro passa-baixas *Butterworth* de sexta ordem, um filtro discreto passa-baixas com frequência de corte (-3dB) igual $\omega_c = 2\pi/3$, usando o **método de transformação bilinear**. Faça a implementação sob forma direta e sob forma em cascata. Represente os coeficientes em ponto flutuante (ex.: $0,00423578 = 0,423578 \times 10^{-2}$) e vá diminuindo o número de casas decimais após a vírgula nas formas direta e em cascata para verificar a sensibilidade à quantização de parâmetros. Trace a curva do módulo da resposta em frequência em *dB* para os casos de precisão infinita e precisão finita. Em seguida, para a representação em forma direta, refaça os filtros com as 3 transformações em frequência a seguir ($Z^{-1} = -z^{-1}$; $Z^{-1} = z^{-2}$ e $Z^{-1} = -z^{-2}$) e trace a curva do módulo em *dB* da resposta em frequência resultante. Use os seus filtros para processar um sinal de áudio de sua preferência, ouça os resultados e os avalie perceptualmente. Avalie, também, o espectro em função do tempo, do sinal de entrada e de saída utilizando um espectrograma.

3º Projeto: Projete um filtro *FIR* passa-baixas, de fase linear, pelo **método da janela**. Deseja-se uma frequência de corte ($-6dB$) igual a $\omega_c = \pi/2$, uma atenuação mínima na banda rejeitada maior ou igual a $50dB$ e uma região de transição $\Delta\omega < 0,1\pi$. Empregue janela de Kaiser. Implemente o filtro nas formas direta e em cascata. Represente os coeficientes em ponto flutuante (ex.: $0,00423578 = 0,423578 \times 10^{-2}$) e vá diminuindo o número de casas decimais após a vírgula nas formas direta e em cascata para verificar a sensibilidade à quantização de parâmetros. Trace a curva do módulo da resposta em frequência em dB e da fase da resposta em frequência para os casos de precisão infinita e precisão finita. Em seguida, para a representação em forma direta, refaça os filtros com as 3 transformações em frequência a seguir ($Z^{-1} = -z^{-1}$; $Z^{-1} = z^{-2}$ e $Z^{-1} = -z^{-2}$) e trace a curva do módulo em dB e da fase da da resposta em frequência resultante. Use os seus filtros para processar um sinal de áudio de sua preferência, ouça os resultados e os avalie perceptualmente. Avalie, também, o espectro em função do tempo, do sinal de entrada e de saída utilizando um espectrograma.

4º Projeto: Projete um filtro *FIR* passa-baixas, de fase linear, pelo **método da janela**, de modo a assegurar uma resposta em frequência com módulo igual a $|\omega|/(\pi/2)$ para $|\omega| \leq (\pi/2)$ e $2 - |\omega|/(\pi/2)$ para $(\pi/2) \leq |\omega| \leq \pi$ (formato triangular, com ganho 1 em $|\omega|/(\pi/2)$ e ganho 0 em $\omega = 0$ e $|\omega| = \pi$). Trace a resposta em frequência e faça comparações entre o uso da janela Retangular e da janela de Hamming (note que, neste caso, a resposta em frequência ideal não apresenta descontinuidade) e discuta o resultado. Varie também o comprimento N da janela e procure um valor que resulte uma boa aproximação da característica triangular solicitada. Implemente o filtro nas formas direta e em cascata. Represente os coeficientes em ponto flutuante (ex.: $0,00423578 = 0,423578 \times 10^{-2}$) e vá diminuindo o número de casas decimais após a vírgula nas formas direta e em cascata para verificar a sensibilidade à quantização de parâmetros. Trace a curva do módulo da resposta em frequência em dB e da fase da resposta em frequência para os casos de precisão infinita e precisão finita. Em seguida, refaça os filtros com as 3 transformações em frequência a seguir ($Z^{-1} = -z^{-1}$; $Z^{-1} = z^{-2}$ e $Z^{-1} = -z^{-2}$) e trace a curva do módulo em dB e da fase da da resposta em frequência resultante. Use os seus filtros para processar um sinal de áudio de sua preferência, ouça os resultados e os avalie perceptualmente. Avalie, também, o espectro em função do tempo, do sinal de entrada e de saída utilizando um espectrograma.