

Proposta e desenvolvimento de um banco de filtros digitais aplicados à instrumentação e processamento de sinais biomédicos.

Proposal and development of digital filter bank applied to biomedical instrumentation and signal processing.

RESUMO

Marcela Fujihara Costa
marcela.fujihara@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Wagner Endo
wendo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Atualmente, a tecnologia computacional proporciona diversos recursos para filtragem, como identificação e reparo de frequências indesejadas na transmissão, igualmente na amostragem e captação de dados. Os filtros digitais são parte importante do Processamento Digital de Sinais. A aplicação de filtros modifica o conteúdo de frequência de um sinal com a finalidade de modelar ou aperfeiçoar o mesmo da forma desejada. O intuito desse trabalho é desenvolver uma ferramenta que facilitará a filtragem do sinal com o propósito de associar ou desassociar uma ou mais componentes de um sinal. Em particular, o filtro *notch*, devido à sua singularidade apresenta ótimo desempenho para filtragem de sinais biológicos. O banco de filtros digitais será extensamente usado em aplicações para instrumentação e processamento de sinais biomédicos, na filtragem de componentes captadas acidentalmente por equipamentos médicos.

PALAVRAS-CHAVE: Filtros digitais. Processamento digital de sinais. Sinais biológicos.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

Currently, the computational technology offers several resources on filtering, as identifications and repair of unwanted frequencies on transmission, equally on sampling and caption of dada. The digital filters are an important part of Digital Signal Processing. The filtration method modifies the frequency content of a signal with the purpose of modelling or improve the same in some way. The goal of the present work is to develop a tool that will facilitate the filtering of the signal with the purpose of associate or disassociate one or more components of interest of a signal. Particularly, the notch filter due his singularity, presents great performance on filtering biological signals. The digital filters packet will be extensively used on application to instrumentation and biomedical signals processing, on filtering components captured accidentally by medical equipment.

KEYWORDS: Digital filters. Digital signal processing. Biological signals.

INTRODUÇÃO

A eletromiografia (EMG) empenha um papel muito importante na medicina. O sinal biológico eletromiográfico possibilita a análise da atividade elétrica da contração muscular, permitindo assim, inúmeras aplicações (ARAUJO et al, 1996 e MERLETTI et al., 1999). A EMG tem sido usada para estudar a resposta muscular frente aos exercícios terapêuticos comumente utilizados na reabilitação (PORTNEY e ROY, 2004).

Os registros da atividade elétrica dos músculos podem ser contaminados por interferências (CERUTTI, 2009). Tais interferências podem ser geradas por exemplo, pelos componentes eletrônicos dos equipamentos de coleta, rede elétrica (fundamental e harmônicas), entre outros. Amplificação e filtragem é o primeiro passo para tratar sinais de eletromiografia (EMG) em processamento digital de sinais (PDS). A amplitude do sinal EMG é muito baixo, escala de microvolts, para isso a qualidade do sinal EMG depende dos amplificadores e dos filtros empregados. O sinal obtido passa por fases de filtragem e amplificação para redução de ruídos e aperfeiçoamento (SHARMILA, K.; SARATH, T. V.; RAMACHANDRAN, K. I, 2017).

Este trabalho propõe uma ferramenta que faça análise do sinal fornecido afim de detectar e eliminar ruídos ou frequências indesejadas. Essa ferramenta é constituída por um banco de filtros digitais a partir do filtro digital *notch*. O filtro *notch* é mais apropriado devido às suas singularidades e características. O banco de filtros digitais possibilita que interferências sejam tratadas com a finalidade de se obter melhor qualidade possível para o sinal biológico.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os filtros são uma classe importante dos sistemas lineares invariantes no tempo. O termo 'filtro de frequência seletiva' sugere um sistema que passe determinadas componentes de frequência e rejeite todas as outras, mas em um contexto geral, qualquer sistema que modifique algumas frequências em relação às outras pode ser considerado um filtro (OPPENHEIM, A. V; RONALD W. S, 2010).

Quando um filtro digital é implementado, é desejado representar os coeficientes no menor número possível de *bits*, para que não seja necessário muito tempo de processamento, sem comprometer a resolução (INGLE, V. K.; PROAKIS, J. G, 2007). Os filtros são caracterizados em duas classes quando aplicado em sua entrada um sinal tipo impulso, filtros IIR (IIR – *Infinite Impulse Response*, resposta de impulso infinita) que fazem aproximação pela função racional, e filtros FIR (FIR – *Finite Impulse Response*, resposta de impulso finita) que consiste na aproximação polinomial (OPPENHEIM, A. V; RONALD W. S, 2010).

FILTROS DIGITAIS FIR E IIR

O filtro digital de resposta de impulso finita (FIR) tem a resposta de duração finita. Pode ser apresentado matematicamente pela equação diferença geral:

$$y(n) = \sum b_k x(n - k)$$

Onde $y(n)$ é a saída do filtro em discreta instância de tempo n , b_k é o k -ésimo coeficiente do filtro, e o $x(n - k)$ é a entrada de filtro atrasada por k amostras. O Σ denota a somatório de $k = 0$ para $k = M - 1$ onde M é o número de coeficientes no

filtro FIR. Note que a saída do filtro FIR depende somente da entrada M anterior. Essa característica é o motivo da resposta impulso para um filtro FIR ser finita.

Outro tipo de filtro digital é o filtro de resposta de impulso infinito (IIR). A equação diferença geral para um filtro digital IIR

$$y(n) = - \sum a_k y(n - k) + \sum b_k x(n - k)$$

onde a_k é o k -ésimo posição registrada. O Σ da esquerda denota um somatório de $k=1$ até $k= N-1$ onde N é o número de registro de posição no filtro IIR. O Σ da direita denota o somatório de $k=0$ até $k= M-1$ onde M é o número de posições adiante.

Nota-se que, ao contrário do filtro FIR, a saída do filtro IIR depende de ambas as entradas M anteriores e saídas N anteriores. Esse mecanismo de registro é característico em qualquer estrutura IIR. (O registro ocorre quando a versão dimensionada da saída é enviada de volta para a entrada.) Essa prática é responsável pela a duração infinita da resposta de impulso. Isso acontece quando os números se tornam pequenos demais para serem representados com a precisão finita do filtro.

FILTROS NOTCH

O filtro *notch* é um filtro corta-faixa muito utilizado em sinais biológicos já que sua principal característica é a atenuação ou rejeição de pequenas faixas de frequência retirando do sinal somente componentes próximas à frequência de corte (CORREIA, 2010). Essencialmente, o filtro *notch* é o filtro passa-faixa com uma estreita largura de banda de rejeição, ou até duas bandas passantes.

Tais filtros podem ser feitos com uma pequena variação no filtro passa-todas, neste o pólo e o zero da função transferência (FT) têm a mesma distância relativa do círculo unitário, é necessário somente colocar o zero próximo ao círculo. Não podemos colocar no círculo porque a frequência em que o zero estaria localizado é cancelada do espectro.

PROPOSTA E METODOLOGIA

O uso de um banco de filtros digitais possibilita isolar diferentes componentes de um sinal, esse arranjo concede a decomposição, tanto quanto, a recombinação das sub-bandas de frequência para gerar o sinal original, podendo assim determinar mais de uma faixa de frequência afim de aperfeiçoar o resultado.

O sinal tem características EMG, afiguram movimentos musculares e foram coletados a 4kHz na Austrália. De forma simples, a intenção é eliminar as componentes de frequência da rede, nesse caso, 50 Hz.

A *Fast Fourier Transform* (FFT) e a *Discrete Fourier Transform* (DFT) constituem a mesma função, são discretas no tempo e na frequência, possibilitando assim a representação em forma de sequência de números. Sendo a única diferença a quantidade de operações necessárias para cálculo. Diante de tais conceitos, aplica-se a FFT com objetivo de analisar o conteúdo espectral do sinal original que garante melhor visualização das faixas de frequências características.

Com a análise espectro de frequência do sinal é nítida a presença da frequência fundamental da rede (50 Hz). A remoção dessa componente funcionará

perfeitamente para modelo de filtro proposto, que rejeita estreita faixas de frequências.

Cada filtro tem sua função transferência particular. Nesse caso, o efeito do filtro *notch* é obtido ao utilizar um par de zeros conjugados complexos em z . A fim de cancelar os efeitos dos dois zeros, os pólos devem estar próximos aos zeros da FT. Por questão de estabilidade, é usado um par de pólos conjugados em r , onde r é menor que 1 (um), mas muito próximo a isso. A análise matemática passa a ser:

$$H(z) = 1 \text{ para } z = 1; \text{ logo } k = \frac{(1 + r^2)}{2}$$

$$H(z) = \frac{(1 - 2 \cos(wc) + 1)}{(1 - 2rcos(wc) + r^2)}$$

A implementação de tal filtro digital no software MATLAB, permite a análise de cada etapa de filtragem citada ao longo desse trabalho. Por meio do software, é possível analisar o sinal original EMG obtido, o espectro de frequência após a aplicação da FFT, para então identificar interferências que se deseja remover. Com tais informações podemos parametrizar o filtro digital, para a eliminação das faixas de frequências indesejadas, e assim a obtenção do sinal limpo, sem interferências.

A aplicação desse método é possível em qualquer sinal biológico, e em uma ou mais faixas de frequências. A partir da análise espectral, identifica-se as frequências a serem removidas e com as devidas modificações paramétricas, a filtragem será bem-sucedida.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Basicamente o processo realizado nesse projeto pode ser visto a partir do fluxograma, figura 1.

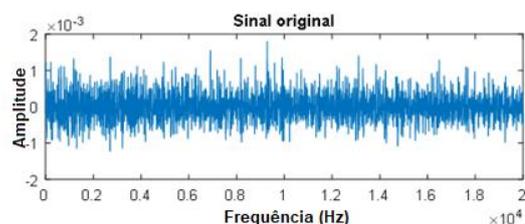
Figura 1: Fluxograma exemplificando o processo de filtragem.



Fonte: Autoria própria.

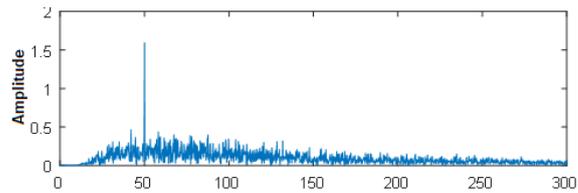
Sendo, o sinal de estudo apresentado na figura 2, seguido do espectro do sinal ao aplicar a FFT, figura 3.

Figura 2: Sinal EMG dos dedos.



Fonte: Gerado pelo Matlab.

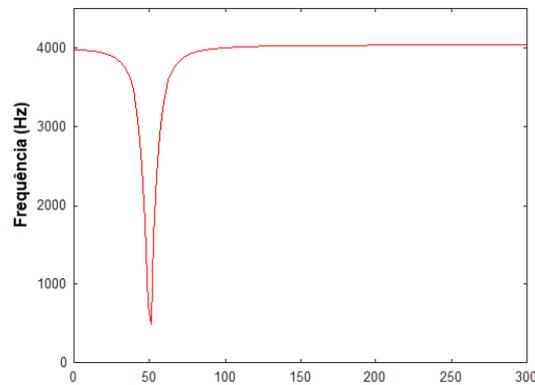
Figura 3: Espectro do sinal original apresentado na figura 8.



Fonte: Gerado pelo Matlab.

O espectro do sinal, figura 3, evidencia interferência da frequência da rede (50 Hz), nesse caso. O filtro *notch*, mais adequado para o caso, deve então eliminar a componente de frequência de 50 Hz, e por questão de estabilidade determinamos $r=0.99$. Na figura 4, podemos analisar com mais clareza a eficácia do filtro *notch* projetado para rejeitar a componente de 50 Hz sem modificar as demais.

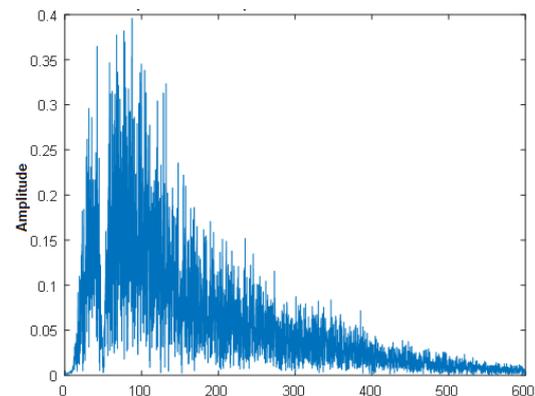
Figura 4: Resposta em frequência do filtro notch.



Fonte: Gerado pelo software Matlab.

Para fins já mencionados, executa a FFT na resposta em frequência do filtro *notch* e o espectro do sinal pode ser observado abaixo, figura 5.

Figura 5: Resposta em frequência do sinal filtrado notch.



Fonte: Gerado pelo software Matlab.

Novamente, o espectro do sinal nos revela como esperado, o competente funcionamento do filtro notch ao remover a frequência de 50 Hz causando somente modificações medianas nas componentes de frequência aos redores da frequência removida.

CONCLUSÃO

Ao longo desta pesquisa citou-se alguns projetos e aplicações para filtros digitais. Desse modo, foi possível o desenvolvimento da rotina no Matlab para execução do filtro *notch*, mais adequado para o contexto, porém não o único. A metodologia recorrente do uso da FFT torna a filtragem eficiente em diversos aspectos, ao desenvolvê-la paralelamente com a proposta do banco de filtros, obteve-se um projeto mais flexível, independente do sinal e das frequências que podem ser abordadas.

Pelo fato desse projeto estar no início, pode ser que haja mudanças para aperfeiçoamento e apresentação de conceitos que até então não foram necessários. Os resultados expostos são uma humilde exemplificação do real objetivo. O sinal foi aplicado foi somente do tipo *notch* devido as características do sinal utilizado nessa pesquisa, mas a pretensão é fornecer uma vasta variedade de ferramentas para o usuário poder lidar com qualquer tipo de questão.

Tendo em vista essas observações, há uma proposta para um trabalho futuro, o projeto de uma interface que apresente opções de filtragem e apresente o sinal filtrado para mais rápida obtenção de resultados para estudos de sinais de eletromiografia.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, R. C.; DUARTE, M.; AMADIO, A. C. Estudo sobre a variabilidade do sinal eletromiográfico intra e inter indivíduos durante contração isométrica. **Anais do VII Congresso Brasileiro de biomecânica**, 1996. p. 128-134.
- CERUTTI, S. In the Spotlight: Biomedical Signal Processing. Vol. 2. IEEE Reviews in Biomedical Engineering. 2009. p. 9-11. Citado na página 1
- CORREIA, A. G. G. Dissertação de Mestrado, Filtro Notch para aplicações em EEGs e ECCs, com recurso a técnicas de F&H em CMOS. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2010.
- INGLE, V. K.; PROAKIS, J. G. Digital signal processing using MATLAB. 3a. ed. Stamford, CT: Cengage Learning, 2007.
- MERLETTI, R.; FARINA, D.; GRANATA, A. Non-invasive assesment of motor unit properties with linear electrode arrays. **Electroenceph Clinical Neurophysiology**, suppl 50, p. 293-300, 1999.
- OPPENHEIM, A. V; RONALD W. S. Discrete-time signal processing. 3. Ed. United States of America: Prentice-Hall, 2010.
- PORTNEY, L. G.; ROY, S. H. Eletromiografia e testes de velocidade de condução nervosa. In: O'SULLIVAN, S. B; SCHMITZ, T. J. **Fisioterapia avaliação e tratamento**. 4. Ed. São Paulo: Manole, 2004, p 213-256.
- SHARMILA, K.; SARATH, T. V.; RAMACHANDRAN, K. I. EMG controlled low cost prosthetic arm. In: IEEE 2017 Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER). Mangalore: India, 2017.