

## APLICAÇÃO DE FILTROS DIGITAIS EM MAGNETOCARDIOGRAFIA

por

S.Sirota<sup>1</sup>, E.E.de Oliveira<sup>2</sup>, U.Tachinardi<sup>3</sup> e C.P.de Melo<sup>4</sup>

**RESUMO** -- O presente trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação de diferentes tipos de filtros digitais em sinais magnetocardiográficos. Os filtros utilizados foram os de Butterworth, Chebyshev e Adaptativo (com algoritmo LMS). São apresentados resultados obtidos para cada filtro, bem como uma discussão comparando os resultados individuais.

### INTRODUÇÃO

A magnetocardiografia é o estudo do registro do campo magnético gerado pelo coração (MCG). Este campo é produzido pelas mesmas correntes iônicas que são detetadas através dos potenciais elétricos medidos na superfície do corpo (Eletrocardiograma - ECG).

A partir da implementação do equipamento de Magnetocardiografia no InCor/HCFMUSP, foi desenvolvido um sistema (software) de aquisição e processamento de sinais destinados a mapeamentos magnetocardiográficos, possibilitando, assim, melhores condições de análise dos resultados obtidos por esta técnica.

Apesar dos sinais magnetocardiográficos serem filtrados analogicamente (frequência de corte em 100 Hz) antes da aquisição, nota-se a necessidade de melhoria da relação sinal/ruído dos sinais obtidos. Para tanto, foram implementados filtros digitais junto ao módulo de análise deste software. Os resultados obtidos e discussão sobre a qualidade dos filtros frente aos sinais utilizados serão apresentados no decorrer deste trabalho.

### MÉTODOS

O sistema (software) de aquisição e processamento de sinais destinados a mapeamentos magnetocardiográficos, foi desenvolvido em um microcomputador (IBM-PC compatível), com conversor A/D comercial e foi implementado nas linguagens PASCAL e ASSEMBLY. Inclui os seguintes módulos: aquisição, análise, construção de mapas de isocurvas, registro, calibração, cadastro e configuração. O módulo de aquisição permite registro e visualização de dois canais, um para o MCG e outro para o ECG, sendo este utilizado como sinal de referência. O registro é

<sup>1,3,4</sup> Coordenadoria de Informática - Instituto do Coração/HCFMUSP

<sup>2</sup> Bolsista do CNPq

realizado durante 500 ms a uma taxa de 200 amostras/segundo. No módulo de análise, após a visualização do sinal, é realizada a promediação dos sinais após a detecção de QRS (cerca de 20 períodos) realizados sobre o sinal de referência (ECG). Os sinais promediados são, então, armazenados em disco. A partir dessas etapas, são construídos os mapas de isocurvas, que permitem uma análise gráfica do exame realizado. Os demais módulos são relativos ao cadastro do paciente e à configuração do sistema.

Pela necessidade de melhoria da relação sinal-ruído do sinal magnetocardiográfico obtido, foram implementados, junto ao módulo de análise deste sistema, três tipos de filtros digitais:

- Filtro passa-baixa de Butterworth;
- Filtro passa-baixa de Chebyshev;
- Filtro adaptativo tipo LMS.

a) FILTROS PASSA-BAIXA NÃO-ADAPTATIVOS

Os dois primeiros filtros são não-adaptativos e sua implementação se baseia nos parâmetros da resposta em frequência desejada. Estes parâmetros estão descritos abaixo e podem ser visualizados na figura 1.

- $w_p$  : frequência de final da banda de passagem;
- $w_s$  : frequência de início da banda de rejeição;
- $A_{min}$  : atenuação mínima na banda de rejeição;
- $A_{max}$  : atenuação máxima na banda de passagem;

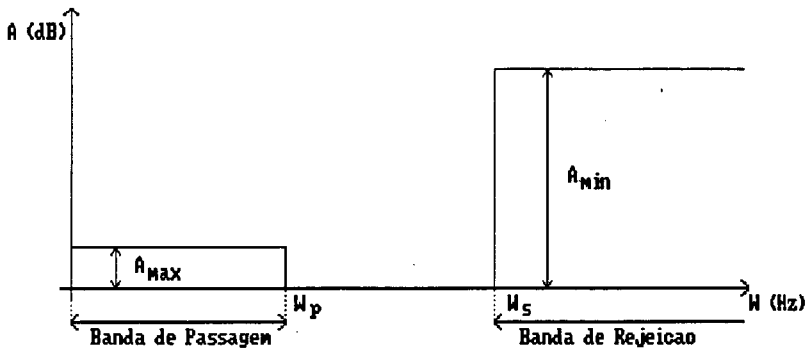


figura 1: Parâmetros para o cálculo de um filtro passa-baixa

Uma vez que a frequência de amostragem dos sinais adquiridos é de 200 Hz, utilizou-se para  $f_c$  (frequência de corte) o valor de 100 Hz. O objetivo de tal procedimento é obter o sinal de MCG filtrado com o mínimo de distorção possível. Isto é razoável pois o teorema de amostragem diz que para que o sinal original possa ser recuperado a partir do amostrado, a frequência

de amostragem deve ser no mínimo o dobro da maior frequência presente no sinal (Temes,1973).

b) FILTRO ADAPTATIVO

O filtro adaptativo implementado utiliza o algoritmo LMS (Least-Mean-Square) e os principais motivos de usá-lo nesta aplicação são:

- não se conhece "a priori" as características do ruído que corrompe o sinal de MCG;
- as características do ruído podem variar com o tempo;
- devido ao acima exposto, um filtro não-adaptativo poderá produzir substancial distorção no sinal adquirido, ocasionando, até mesmo, uma redução na relação sinal/ruído da saída.

Um filtro adaptativo difere de um filtro "fixo" pelo fato de ajustar sua resposta impulsiva. O ajuste é conseguido através de um algoritmo que responde a um sinal de erro dependente, entre outras coisas, da saída do filtro. Assim, com o algoritmo apropriado, o filtro pode operar em condições variáveis e se reajustar continuamente de forma a minimizar o sinal de erro.

Para a eliminação de ruído, utilizou-se um cancelador adaptativo de ruído (figura 2) onde o sinal  $s$  é transmitido até o sinal 1, que também recebe o ruído  $n_0$ , não correlacionado com o sinal. O sinal  $s+n_0$  forma a entrada principal do filtro. O segundo sensor recebe o ruído  $n_1$  não correlacionado com o sinal, mas correlacionado de alguma forma desconhecida com o ruído  $n_0$ . Este sensor prevê a entrada de referência para o filtro. O ruído  $n_1$  é filtrado de modo a produzir uma saída  $y$  tão próxima quanto possível do ruído  $n_0$ . A saída do sistema é dada por  $z=s+n_0-y$  (Cohen,1986).

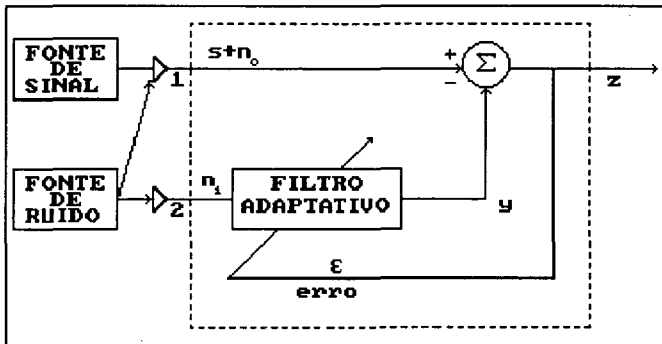


fig.4 Cancelador Adaptativo de Ruído

O objetivo da filtragem adaptativa é produzir uma saída  $z$  que melhor se aproxima no sentido dos mínimos quadrados do sinal

s. Isto é conseguido realimentando a entrada do sistema e ajustando os coeficientes do filtro por um algoritmo LMS (Least-Mean-Square), a fim de minimizar a potência total do sinal de saída. Pode-se mostrar que, minimizando a potência total do sinal de saída, a relação sinal/ruído do mesmo é maximizada (Taylor,1983). Na prática, usa-se apenas um sensor para o mapeamento magnético, com registro do ruído precedendo o exame.

As suposições adotadas foram :

- $s, n_0, n_1, y$  são estacionários e tem média zero;
- $s$  é não correlacionado com  $n_0$  e  $n_1$ ;
- $n_1$  e  $n_0$  são correlacionados.

### RESULTADOS E CONCLUSÕES

São apresentados resultados da aplicação dos filtros digitais em sinais magnetocardiográficos obtidos experimentalmente através do mapeamento do tórax de pacientes. Para o mapeamento, usou-se uma grade de 6x6 pontos, e os sinais foram captados por um sensor SQUID (Superconducting Quantum Interference Device).

O primeiro filtro testado foi um filtro tipo Butterworth de 2ª ordem, com o qual foram testados dois conjuntos de parâmetros, como mostram os resultados observados nas figuras 3a-a' e 3b-b'.

Também foram realizados testes utilizando o filtro de Chebyshev de 3ª ordem. Os resultados podem ser observados nas figuras 3c-c'.

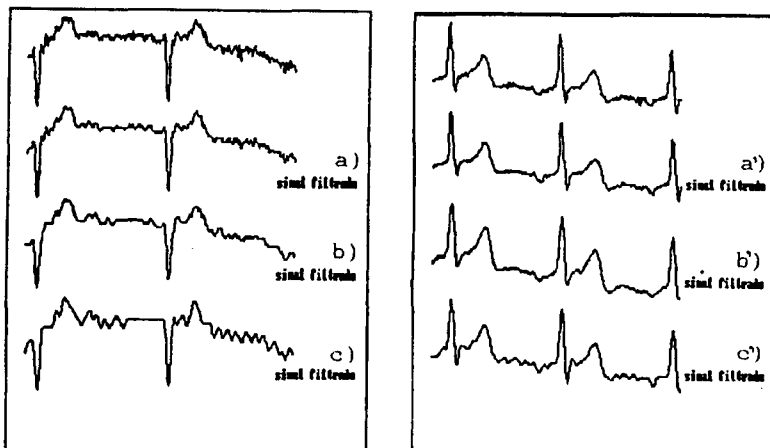


figura 3: Resultados da filtragem em dois sinais magnetocardiográficos com a utilização dos filtros a) e a') Butterworth com  $w_p = 100$  Hz,  $w_s = 400$  Hz; b) e b') com  $w_p = 50$  Hz,  $w_s = 200$  Hz; c) e c') Chebyshev com  $w_p = 100$  Hz e  $w_s = 200$  Hz.

Quanto ao filtro adaptativo, os coeficientes utilizados foram: ordem do filtro = 1; atraso = 0; fator de convergência = 0.01. Os resultados obtidos são mostrados na figura 4.

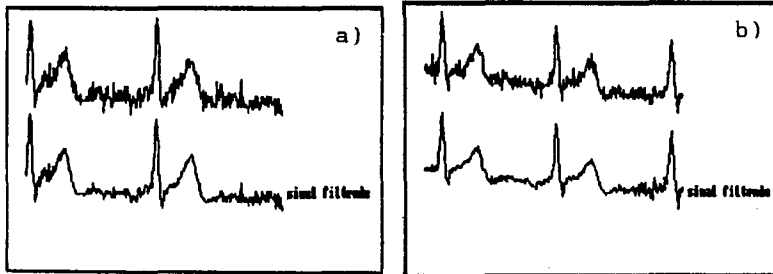


figura 4: Resultados utilizando o filtro adaptativo com algoritmo LMS

Com relação aos filtros digitais implementados cabe notar que:

- o filtro de Butterworth utilizado com frequências de corte inferiores a 100Hz, apresentou mais distorções no sinal de MCG do que quando frequências maiores foram utilizadas;

- o filtro Chebyshev se mostrou inadequado para esta aplicação, devido às oscilações características de sua resposta em frequência na faixa de passagem;

- o filtro não-adaptativo que melhores resultados apresentou foi o filtro passa-baixa de Butterworth (figs.3a-a'). Obtivemos baixa distorção do sinal e paralelamente uma melhora na relação sinal/ruído do sinal;

- o filtro adaptativo LMS também se mostrou adequado para esta aplicação. Mesmo em situações com maiores amplitudes de ruído, pôde-se observar uma sensível melhora da relação sinal/ruído (figura 4);

- quanto ao tempo de processamento utilizado para filtragem, todos os filtros foram equivalentes, em torno de 20 s, considerando que este cálculo foi realizado para aproximadamente 20 eventos detetados.

Embora com algumas limitações, o uso de filtros digitais se mostrou adequado dentro do objetivo proposto, o de melhoria da relação sinal/ruído. Deve-se destacar que o filtro adaptativo tem algumas características importantes para uso em magnetocardiografia. Por exemplo, no caso do MCG Fetal, o sinal gerado pelo coração da mãe é um ruído indesejado podendo ser filtrado com esta técnica (Ferrara,1982).

Este estudo limita-se à avaliação de alguns tipos de filtros digitais para uso em magnetocardiografia. Outros tipos devem ser testados para que se possa encontrar um filtro ótimo para esta aplicação, ou mesmo um conjunto de filtros que poderá estar disponível para se adaptar às características dos sinais nas diferentes aplicações desta técnica, como MCG Fetal e MCG-Alta Resolução.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Eng<sup>OS</sup> Sergio S.Furuie e Marco A. Gutierrez pelas valiosas sugestões e discussões e ao apoio financeiro do FINEP e CNPq.

#### BIBLIOGRAFIA

- COHEN, A. (1986), "Biomedical Signal Processing", volume I, CRC Press, Inc.
- FERRARA, E.R. e WIDROW, B. (1982), IEEE Trans. Biomed. Eng., volume 29, página 458.
- TAYLOR, F.J. (1983), Digital Filter Design Handbook, Marcel Dekker, Inc., New York.
- TEMES, G.C. e MITRA, S.K. (1973), Modern Filter Theory and Design, John Wiley and Sons, Inc., New York.

#### APLICACIONES OF DIGITAL FILTERS IN MAGNETOCARDIOGRAPHY

**ABSTRACT** -- This paper presents a comparative study of the effect of different digital filters on the Magnetocardiographic signal. The work compares the digital implementation of Chebyshev, Butterworth and LSM adaptative filters. Although there is no absolute criterion for filter performance assessment, the paper suggests applications where these filters can be used with success.