ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS FILTROS DIGITAIS FIR, IIR E WAVELET PARA FILTRAGEM DE SINAIS ECG

Eliezer Timoteo da Silva SanhÁ [1], Julião Alberto Langa [2], João Paulo do Vale Madeiro [3]

RESUMO

A correta leitura e interpretação clínica do sinal ECG são essenciais no diagnóstico e tratamento de problemas de coração. Para tanto, é necessária a supressão ou atenuação de interferências indesejadas, utilizando-se diferentes técnicas de filtragem. O presente trabalho analisa o desempenho de várias metodologias de filtragem aplicadas a sinais ECG, através de cálculo do Erro RMS (Root Mean Square) entre um dado sinal de referência, que é um sinal ECG sintético sem ruído, e um sinal filtrado, que é o sinal obtido a partir da filtragem do sinal de referência adicionado de ruído controlado. O estudo de caso abrange três diferentes técnicas: Filtros IIR, FIR e Wavelet, cada um nas modalidades passa-baixa e passa-alta. Os testes computacionais consideram sinais ECG artificiais com vinte diferentes morfologias do complexo QRS. Os resultados permitem comparar para cada filtro, em cada uma das modalidades e morfologias, os valores calculados do Erro RMS normalizado obtido para um conjunto de diferentes quantidades de coeficientes (parâmetros variáveis do filtro). Posteriormente, após a determinação dos melhores resultados dentro de cada família de filtros, a abordagem proposta permite eleger a técnica específica de filtragem que acarreta a menor distorção do sinal original, dentre todas as obtidas, para atenuação de ruído de baixa e alta frequência, quais sejam: db3 (wavelet daubechies) para eliminação de ruído de baixa frequência, e db10 (wavelet daubechies) para eliminação de ruído de alta frequência.

Palavras-chave:

Sinal ECG. Filtragem Digital. Erro RMS.

[1] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Discente, e-mail: rocky.sanha@outlook.pt
[2] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Discente, e-mail: julitolanga@gmail.com
[3] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Docente, e-mail: jpaulo.vale@unilab.edu.br

INTRODUÇÃO

Uma importante forma de diagnóstico não-invasivo da atividade cardíaca consiste na obtenção do sinal eletrocardiograma (ECG). Portanto, a aquisição e a correta interpretação desse sinal constituem uma importante ferramenta para a prevenção e detecção de problemas de coração. Entretanto, devido a diversos fatores, como a forma de realização do exame e a baixa amplitude do sinal, a informação coletada está comumente associada a diferentes níveis de ruído. Assim, são fontes de interferência a atividade respiratória, a movimentação do paciente, as harmônicas da tensão fornecida pela rede elétrica, além do próprio equipamento de aquisição (Nayak et. al, 2012; AlMahamdy et. al, 2014; R. J. Martis et. al, 2014). Essas interferências, também chamadas de ruídos, podem, por sua vez, levar a uma leitura e interpretação incorreta de dados coletados, tais como duração, forma e amplitude de batimentos, e resultar em diagnóstico médico equivocado. Apesar dos diversos trabalhos de pesquisa já desenvolvidos e publicados na literatura, a remoção ou atenuação de ruído do sinal ECG ainda se mantém como importante objeto de estudo. O objetivo do processo de filtragem é reduzir o nível de interferência do sinal e, simultaneamente, evitar a ocorrência de distorções das formas de onda. A prevenção quanto à ocorrência de distorção, como característica de um processo de filtragem eficiente, é de vital importância para que não sejam realizadas análises ou diagnósticos incorretos do sinal ECG (Agante et. al, 1999; Luo e Johnston, 2010).

O presente trabalho analisa e compara o desempenho de três metodologias de filtragem digital, aplicadas sobre sinais ECG sintéticos, através do cálculo do Erro RMS normalizado: filtro IIR, filtro FIR, e aplicação da transformada Wavelet discreta, especificamente os filtros da família Daubechies (“db”). Cada uma das referidas técnicas é avaliada em duas categorias: passa-baixa, para eliminação de ruído de alta frequência e passa-alta para remoção de ruído de baixa frequência.

METODOLOGIA

Na primeira etapa da pesquisa, algoritmos computacionais desenvolvidos no ambiente Matlab possibilitaram a síntese de sinais ECG artificiais através de modelos dinâmicos propostos no trabalho de Mcsharry et. al, 2003. Tais modelos permitem a simulação de 20 diferentes morfologias de complexo QRS: qR, qRs, Rs, R, RS, rSR', rR', qrSr', RSr', rR's, rS, rSr', Qr, QS, QR, qrS, qS, rsR's', QRs, Qrs. Cada específica morfologia deriva-se de ajustes nos parâmetros dos modelos dinâmicos, os quais controlam o instante de ocorrência do batimento, as amplitudes de cada onda característica e a largura temporal de cada forma de onda. Em seguida, rotinas de inserção simulada de ruído senoidal de alta e baixa frequência são aplicadas sobre sinais sintéticos "limpos" de referência. As componentes de ruído de baixa frequência aplicadas nos testes correspondem à faixa de 0 a 1 Hz, com passo de 0,05 Hz. Já as componentes de ruído de alta frequência utilizadas nos experimentos correspondem à faixa de 50 a 180 Hz, com passo de 5 Hz. O objetivo nesta etapa consiste em calcular o erro RMS normalizado (RMS - root mean square) entre um sinal limpo de referência e um correspondente sinal filtrado e, assim, comparar diversas rotinas de filtragem quanto ao desempenho para eliminação de ruídos de baixa e alta frequência.

O filtro FIR apresenta resposta ao impulso, de duração finita, dada pela seguinte expressão matemática (SEMMLOW, 2004):

(1)

em que b(n) é o vetor de coeficientes (também chamado de função de ponderação) de comprimento L, $x(n)$ é o sinal de entrada e $y(n)$ é o sinal saída.

Já a resposta de um filtro IIR depende do valor instantâneo do sinal de entrada e dos valores passados, bem como dos valores passados do sinal de saída. A duração da resposta é infinita devido à dependência da recursividade, ou saídas passadas (SEMMLOW, 2004):

(2)

em que *b(n) e a(n)* são vetores de coeficiente.

O processo de eliminação das componentes de ruído por transformada Wavelet (TW) exige a realização das etapas de decomposição, limiarização e reconstrução. Para tanto, a escolha da wavelet-mãe e do nível de decomposição é criticamente importante. A decomposição por (TW) pode ser vista como um processo iterativo, em que um sinal é sucessivamente decomposto em componentes de faixas de resolução decrescentes no tempo e na frequência, conforme figura abaixo.

Figura 1. Decomposição de um sinal por transformada Wavelet discreta: implementação por banco de filtros.

Foram comparados, então, filtros IIR para eliminação de ruído de baixa frequência (filtro passa-alta) com filtros FIR e filtros Wavelet também para eliminação de ruído de baixa frequência. Em seguida, foram comparados filtros IIR para eliminação de ruído de alta frequência (filtro passa-baixa) com filtros FIR e filtros Wavelet também para eliminação de ruído de alta frequência. Considerando-se os filtros IIR (tanto passa-baixa como passa-alta), foram aplicados testes com números de coeficientes iguais a 4, 5, 6, 7, 8 e 9, e utilizou-se a ferramenta designfilt do Matlab, fornecendo-se como parâmetros de entrada as frequências banda-passante de 0,67 Hz (filtros passa-alta) e 45 Hz (filtro passa-baixa). Quanto aos filtros FIR, foram aplicados testes com números de coeficientes iguais a 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 coeficientes, tanto passa-baixa como passa-alta, e utilizou-se a ferramenta designfilt do Matlab, fornecendo-se como parâmetros de entrada as frequências stopband e banda-passante, respectivamente, de 0,5 e 0,6 Hz (filtro passa-alta), e respectivamente, de 48,6 e 48,4 Hz (filtro passa-baixa). Quanto aos filtros Wavelet, testes de eliminação de ruído de baixa frequência utilizaram um processo de 8 (oito) decomposições e reconstrução, eliminando-se os coeficientes de aproximação após o oitavo nível de decomposição. Para eliminação de ruído de alta frequência, os testes computacionais utilizaram um processo de 2 (duas) decomposições e reconstrução, eliminando-se os coeficientes de detalhe de primeiro e segundo nível de decomposição. Nesta etapa, a seguinte família Daubechies foi implementada: db1, db2, db3, db4, db5, db6, db7, db8, db9 e db10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos compreendem a determinação, para cada morfologia de batimento, da frequência de ruído em que um dado filtro obteve erro RMS mínimo juntamente com o correspondente erro RMS mínimo, conforme a Tabela 1

Cada valor de Erro RMS que compõe a Tabela 1 corresponde a uma dada quantidade de coeficientes com melhor desempenho e à respectiva frequência de ruído na morfologia em questão. Para o filtro FIR passa-alta, a quantidade de coeficientes 1600 obteve melhor desempenho (menor Erro RMS) para todas as morfologias. Para o filtro IIR passa-alta, a quantidade de coeficientes 5 teve melhor desempenho em todas as morfologias. E, finalmente, o filtro Wavelet db3 obteve o melhor desempenho dentre todos os filtros.

O gráfico da Figura 2 apresenta a evolução dos erros RMS mínimos bem como das correspondentes frequências de ruído para todos os cenários (morfologia de batimento) e cada técnica de filtragem, propiciando uma comparação detalhada entre os desempenhos.

Uma nova bateria de resultados é obtida para o processo de eliminação de ruído de alta frequência. A Tabela 2 sintetiza os valores levantados de erros RMS mínimos para cada família de filtros, juntamente com as correspondentes frequências de ruído.

Analogamente ao observado para os filtros passa-alta, a quantidade de coeficientes para o filtro FIR passa-baixa com melhor desempenho em todas as morfologias de batimentos é de 1600. Já para o filtro IIR passa-baixa, as quantidades 5 e 6 se destacam, prevalecendo a quantidade de 6 coeficientes para a maior parte dos cenários. Para o filtro Wavelet passa-baixa, o db10 apresenta melhor desempenho para todas as morfologias. O gráfico da Figura 2 sintetiza a evolução de todas as métricas levantadas.

Dentre todos os filtros analisados para remoção de ruído de alta frequência, o filtro Wavelet db10 apresentou o melhor desempenho, seguido pelo filtro IIR com 6 coeficientes, e finalmente seguido pelo filtro FIR com 1600 coeficientes.

CONCLUSÕES

As análises efetuadas demonstram que quaisquer filtros aplicados na eliminação de ruído promovem um determinado grau de distorção no sinal, o qual pode ser minimizado através da variação dos parâmetros do filtro. Outra observação importante é que o desempenho de um dado filtro varia com as componentes de frequência do ruído e com a morfologia do batimento, requerendo, portanto, que a escolha do filtro mais adequado para uma dada aplicação seja realizada com base nas características do sinal. Dos experimentos aplicados, conclui-se que a família de filtros Wavelet obteve o melhor desempenho em todos os cenários, em comparação com os filtros IIR e FIR, embora com parâmetros ótimos diferenciados para as filtragens do tipo passa-baixa e passa-alta. Considerando-se as diferentes quantidades de cálculo para a implementação de cada filtro, constata-se que além de ter obtido o melhor desempenho, o filtro Wavelet é o mais eficiente dentre as técnicas estudadas.

AGRADECIMENTOS

PIBIC/UNILAB/Cnpq

REFERÊNCIAS

AGANTE, P. M.; MARQUES DE SÁ, J. P. ECG Noise Filtering using Wavelets with Soft-thresholding Methods. Computers in Cardiology, v. 26, p. 535-538, 1999.ALMAHAMDY, MOHAMMED; BRYAN RILEY, H. Performance Study of Different Denoising Methods for ECG Signals. Procedia Computer Science, v. 37, p. 325-332, 2014.

CENSI, F.; CALCAGNINI, G.; TRIVENTI, M.; MATTEI, E.; BARTOLINI, P.; CORAZZA, I.; BORIANI, G. Effect of high pass filtering on ECG signal on the analysis of patients prone to atrial fibrillation. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, v. 45, n. 4, p. 427-431, 2009.

GOLDBERGER, A. L.; AMARAL, L. A. N.; GLASS, L.; HAUSDORFF, J. M.; IVANOV, P. C.; MARK, R. G.;

MIETUS, J. E.; MOODY, G. B.; PENG, C. K.; STANLEY, H. E. Physiobank, physiotoolkit, and physionet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. Circulation, v. 101, n. 23, p. e215-e220, June 2000.

LUO, S.; JOHNSTON, P. A review of electrocardiogram filtering. Journal of Electrocardiology, v. 43, n. 6, p. 486-496, November-December 2010.

MADEIRO, J. P. do V.; CORTEZ, P. C.; MARQUES, J. A. L.; VÁZQUEZ-SEISDEDOS, C. R.; SOBRINHO, C. R. M. R. An innovative approach of QRS segmentation based on first-derivative, Hilbert and Wavelet Transforms. Medical Engineering and Physics, v. 34, n. 9, p. 1236-1246, November 2012.

MADEIRO, J. P. V.; SANTOS, E. M. B. E.; CORTEZ, PAULO CÉSAR; FELIX, J. H. S.; F. S. SCHLINDWEIN. Evaluating Gaussian and Rayleigh-Based Mathematical Models for T and P-waves in ECG. IEEE Latin American Transactions, v. 15, p. 843-853, 2017.

MCSHARRY, P. E.; CLIFFORD, G. D.; TARASSENKO, L.; SMITH, L. A. A Dynamical Model for Generating Synthetic Electrocardiogram Signals.IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 50, n. 3, p. 289-294, March 2003.

VÁZQUEZ-SEISDEDOS, C. R.; ELANGOVAN, N.; NG, G. A.; SCHLINDWEIN, F. S. New approach for T-wave peak detectioand Twave end location in 12-lead paced ECG signals based on a mathematical model. Medical Engineering and Physics, v. 35, n. 8, p.1105-1115, August 2013.