

TRANSFORMADA WAVELET DE HAAR NÍVEL 3 APROXIMADA PARA DETECÇÃO DO SINAL ECG

HENRIQUE SEIDEL¹; MORGANA MACEDO AZEVEDO²; EDUARDO ANTONIO
CÉSAR DA COSTA³; RAFAEL SOARES⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – hbseidel@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – morganamacedoazevedodarosa@gmail.com

³Universidade Católica de Pelotas – eduardo.costa@ucpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – rafael.soares@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O eletrocardiograma (ECG) é o exame mais comum na avaliação da saúde cardiovascular. Através dele é possível monitorar a atividade elétrica do coração e determinar uma série de doenças cardíacas. Um sinal ECG é formado por uma sequência de ondas recorrentes chamadas onda P, um complexo QRS e uma onda T. (SEIDEL, 2021). A detecção do pico R e, conseqüentemente, do complexo QRS, é um ponto fundamental em várias aplicações e pesquisas relacionadas à análise de sinais de ECG, como a Variação da Frequência Cardíaca (VFC) ou monitoramento de doenças cardíacas. Essas diferentes aplicações têm recebido atenção significativa por décadas. Alto desempenho de detecção e eficiência energética para dispositivos alimentados por bateria, são a tendência no desenvolvimento de algoritmos para detectar os pontos fiduciais dos sinais de ECG (TRIPATHI, 2022).

Neste contexto a computação aproximada surge como um novo paradigma para impulsionar a eficiência de projeto, alavancada pela resiliência intrínseca a erros de várias aplicações. Desponta como uma solução energeticamente eficiente em áreas como multimídia, processamento de sinais, comunicação sem fio, entre outras (GAO, 2017). Uma maneira essencial é realizar aproximações matemáticas no nível do algoritmo, estando ciente das respectivas simplificações na complexidade de sua implementação do projeto VLSI. Nesta perspectiva, incluem-se as transformadas matemáticas, que podem ser calculadas de forma eficaz e com margem de erro tolerável.

O uso da transformada wavelet para detecção de QRS foi proposto em (LI, 1995). Como o sinal de ECG é estocástico, com variação acentuada no complexo QRS, a transformada wavelet é útil para distinguir ondas QRS de baixo ruído, artefatos e desvio de linha de base, pois sua principal propriedade é a forte capacidade de encontrar singularidades de sinais (ZOU, 2013). Desta forma, este trabalho propõe a implementação de uma arquitetura aproximada da transformada wavelet de Haar com três níveis de decomposição (TWH-3), para detecção do pico R, com apenas cinco operações de adição/subtração.

2. METODOLOGIA

A arquitetura da transformada wavelet de Haar original (TWH-3) em sua forma discreta é implementada a partir de filtros passa alta e passa baixa. Então com três níveis de decomposição são necessários três subtratores, três multiplicadores e quatro somadores. O objetivo deste trabalho é introduzir uma aproximação no cálculo da TWH-3, que resultará em uma arquitetura sem

multiplicação e com apenas 5 operações de adição/subtração. Para tal, são exploradas duas técnicas de computação aproximada que resultam em um hardware simplificado. Para eliminar os circuitos multiplicadores, os coeficientes da transformada Haar são arredondados de $\pm\sqrt{2}$ para ± 1 . A segunda otimização é a poda das operações de adição/subtração que geram saídas desnecessárias para o algoritmo de detecção de pico. A Figura 1 mostra como ficará a arquitetura da TWHA-3 após estas simplificações.

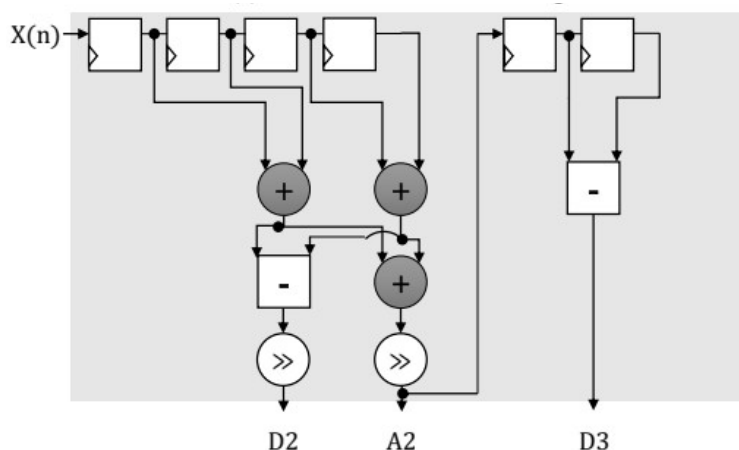


Figura1: Arquitetura proposta da TWHA-3

Além da redução da arquitetura da transformada Haar, uma outra técnica de computação aproximada é utilizada, trata-se da truncagem de bits. Esta técnica consiste em reduzir a largura de bits ao menor patamar possível, sem que afete significativamente o desempenho da aplicação.

Para obtenção dos resultados foram consideradas cada uma das arquiteturas (TWHO-3 e TWHA-3), com diferentes níveis de truncagem de bits. Em cada caso foram gerados através de síntese lógica, resultados de dissipação de energia e área. A ferramenta Cadence GenusTM foi utilizada para realizar a síntese de RTL para netlist em nível de porta. As arquiteturas Haar são mapeadas para células padrão de 65 nm, com tensão de 1,25 V, na frequência máxima do clock de 400MHz.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinar a menor largura de bits para a transformada Haar requer uma avaliação de seu comportamento por meio dos parâmetros de análise de detecção de pico R e relação sinal-ruído (SNR), para cada nível de truncagem. A Figura 2 mostra esta análise. Observe que, tanto a proposta original TWHO-3 quanto a TWHA-3 mantêm uma precisão elevada, acima de 99%, até o nível cinco de truncagem. A partir deste ponto a estrutura original começa a experimentar uma perda acentuada de qualidade, enquanto a arquitetura aproximada mantém altas taxas de detecção de pico R. Note que essa queda na qualidade ocorre quando há uma inversão do SNR, ou seja, a relação sinal-ruído da estrutura original se torna menor do que a arquitetura aproximada. Também é observável que a arquitetura aproximada pode manter a taxa de detecção de pico R acima do limite tolerável, até o nível 7 de truncagem de bits. É somente depois desse ponto, com um SNR próximo a zero, que há uma perda intensa de qualidade, e não é mais possível garantir a precisão dos resultados.

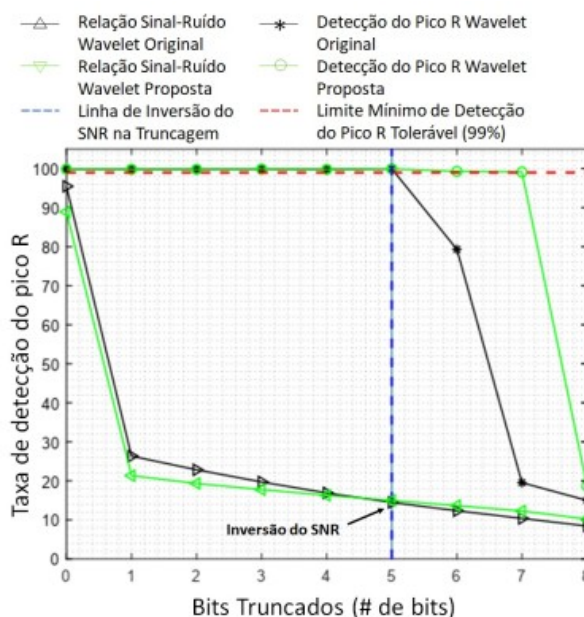


Figura 2: Análise de truncagem para a transformada Haar 3 aproximada versus transformada Haar 3 original

A partir desta avaliação de desempenho, é possível analisar as arquiteturas levando em consideração a dissipação de potência e área. A Tabela 1 mostra estes resultados. O primeiro impacto é que a redução da largura de bits, impõe uma diminuição de área do circuito e potência nas duas configurações. Como esperado, a arquitetura aproximada alcançou as reduções mais significativas em comparação com TWHO-3. No entanto, não podemos analisar esses resultados separadamente, pois é necessário considerar a precisão da detecção do pico R para estabelecer o melhor resultado. Portanto, para determinar a melhor arquitetura, consideramos um limite mínimo tolerável de 99% para a precisão da detecção do pico R. A partir desse ponto, definimos a arquitetura com a redução de energia mais significativa, que está evidenciada em verde na tabela.

Tabela 1: Resultados de síntese e acurácia para proposta original e aproximada

T	TWHO-3				TWH-3			
	Potência (μW)	Área (μm)	Acurácia (%)	SNR (dB)	Potência (μW)	Área (μm)	Acurácia (%)	SNR (dB)
0	7,35	9706	99,85	170,9	1,50	2339	99,85	157,8
1	6,36	8354	99,82	32,7	1,28	1913	99,82	22,7
2	4,84	6551	99,82	25,7	1,13	1707	99,81	18,7
3	3,94	5395	99,87	19,4	0,96	1484	99,87	15,5
4	2,85	4025	99,79	13,8	0,82	1269	99,80	12,6
5	2,17	2728	99,95	8,9	0,67	1112	99,93	10,0
6	1,51	2104	79,32	4,7	0,56	908	99,29	7,3
7	0,86	1492	19,53	0,8	0,46	768	99,12	4,5
8	0,61	1131	14,99	-3,1	0,36	615	18,68	0,5

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma arquitetura da transformada Waveket de Haar aproximada, que leva a um hardware sem multiplicadores. O método proposto empregou cálculos de aproximação matemática para remover lógica desnecessária da arquitetura de hardware da transformada Haar. Desenvolvemos e avaliamos as arquiteturas de hardware para nossa proposta aproximada. Também exploramos a truncagem de bits para reduzir a largura de bits da arquitetura de hardware. Combinando esses métodos, nossa TWHA-3 com nível de truncagem igual a sete promoveu maior eficiência energética, mantendo a precisão na detecção dos picos R, no nível da aplicação de processamento de ECG.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gao, M., Wang, Q., Arafin, M. T., Lyu, Y., & Qu, G. (2017). Approximate computing for low power and security in the internet of things. *Computer*, 50(6), 27-34.

Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng C-K, Stanley HE. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation* 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/content/101/23/e215.full>]; 2000 (June 13).

Li, C., Zheng, C., & Tai, C. (1995). Detection of ECG characteristic points using wavelet transforms. *IEEE Transactions on biomedical Engineering*, 42(1), 21-28.

Seidel, H. B., da Rosa, M. M. A., Paim, G., da Costa, E. A. C., Almeida, S. J., & Bampi, S. (2021). Approximate pruned and truncated Haar discrete wavelet transform VLSI hardware for energy-efficient ECG signal processing. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 68(5), 1814-1826.

Tripathi, K., Sohal, H., & Jain, S. (2022). Design and implementation of robust low power ECG pre-processing module. *IETE Journal of Research*, 68(4), 2716-2722.

Zou, Y., Han, J., Weng, X., & Zeng, X. (2013). An ultra-low power QRS complex detection algorithm based on down-sampling wavelet transform. *IEEE Signal Processing Letters*, 20(5), 515-518.