

## UMA TRANSFORMADA ROBUSTA E EFICIENTE EM ENERGIA BASEADA NO DOMÍNIO WAVELET HAAR DISCRETO PARA MARCA D'ÁGUA DE IMAGEM

MORGANA MACEDO AZEVÊDO DA ROSA<sup>1</sup>; RAFAEL SOARES<sup>1</sup>; EDUARDO DA COSTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – mmarosa@inf.ufpel.edu.br; rafael.soares@inf.ufpel.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Católica de Pelotas – eduardo.costa@ucpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

A marca d'água digital é uma técnica de ocultação de dados que incorpora uma mensagem no sinal do *host* para evitar a duplicação e distribuição ilegal de dados multimídia (AMINI, 2019). A informação oculta é marca d'água; os documentos marcados são dados com marca d'água. Os algoritmos de marca d'água de imagem se dividem em duas categorias, dependendo do domínio incorporado da marca d'água, ou seja, domínio espacial (PENDYALA, 2016) ou domínio de frequência (AMINI, 2019; FANG, 2022; QI, 2022; WANG, 2020). Métodos no domínio da frequência, como a transformada discreta de Fourier (DFT) (QI, 2022), a transformada discreta de cosseno (DCT) (WANG, 2020), a transformada wavelet discreta (DWT) (AMINI, 2019), são usados em trabalhos recentes.

As soluções de marca d'água geralmente envolvem determinar se uma marca d'água específica está ou não presente no sinal recebido (AMINI, 2019; GAFSI, 2022). Outra solução é decodificar a marca d'água incorporada com precisão como uma mensagem oculta desconhecida (YAN, 2022). Além disso, marcas d'água incorporadas em imagens digitais podem ser visíveis ou invisíveis (SHHADI, 2022). Os métodos de criação de marcas d'água invisíveis se dividem em três categorias: marcas d'água frágeis, semifrágéis e robustas (ANAND, 2021). As marcas d'água frágeis têm pouco impacto na qualidade visual de uma imagem do *host*, mas são vulneráveis a ataques e são adequadas para verificação de integridade. As marcas d'água robustas são resistentes a ataques com uso típico para proteção de direitos autorais e ocultação de dados. As marcas d'água semifrágéis podem proteger contra filtragem e ruído leve, mas são vulneráveis a ataques maliciosos, como corte e rotação (YAN, 2022).

A Transformada Wavelet Discreta (DWT) representa uma técnica resiliente para extração de marca d'água robusta e frágil (ANAND, 2020). O DWT fornece um alto grau de sigilo, mantendo a integridade das imagens (ANAND, 2020). Essa abordagem fornece imperceptibilidade uma vez que a marca d'água é incorporada, ou seja, o DWT remove a vulnerabilidade a ataques à marca d'água. O DWT garante a integridade da marca d'água em (ANAND, 2020) e oculta dados privados para garantir a transmissão segura de imagens médicas. Várias arquiteturas de hardware DWT fornecem segurança contra ataques de marca d'água (GAFSI, 2022). Nosso trabalho propõe uma implementação de hardware inovadora e energeticamente eficiente de um sistema de marca d'água de imagem baseado na Transformada Wavelet Discreta de Haar (DHWHT).

**As novas contribuições deste trabalho são as seguintes:**

**1)** Arquitetura de marca d'água de imagem com eficiência energética, **2)** Novas Transformadas de Wavelet de Haar (DHWHT) e (IDHWHT) bidimensionais discretas e inversas.

### 2. METODOLOGIA

As arquiteturas foram descritas em VHDL e sintetizadas usando a ferramenta de síntese Cadence Genus™ na frequência de 200 MHz. As sínteses consideraram a biblioteca de células padrão comercial ST (*Standard*) 65nm de baixa potência com tensão de alimentação de 1,25V. Os resultados de precisão entre a marca d'água original e extraída são realizados no *Design Space Exploration* (DSE) em uma co-simulação com Matlab-ModelSim. Este método permite executar várias simulações com imagens para obter um comportamento de hardware realista. Usamos as seguintes métricas conhecidas para avaliar a precisão da inserção e extração de marcas d'água quando corrompidas por ataques: Taxa de erro de bits (BER, *Bit Error Ratio*), Correlação cruzada normalizada (NC, *Normalized Cross-Correlation*) e Semelhança estrutural (SSIM, *Structural Similarity*).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A FIG. 1 mostra o desempenho do sistema de extração de marca d'água contra diferentes ataques, como Ruído Gaussiano Aditivo, compactação JPEG e filtragem de mediana. Os ataques corrompem a imagem com marca d'água. Como estudo de caso, examinou-se em cinco imagens *host*: Barbara, Boat, Lena, Mandril e Pepper (do banco de dados TEST IMAGES, acesso 2022). Testou-se o sistema contra ataques com uma faixa de variação de 0,01 à 0,09 para ruído gaussiano aditivo, uma faixa de fator de qualidade (QP) de 10 à 90 para compressão JPEG e uma faixa de  $[1 \times 1]$  à  $[9 \times 9]$  para tamanho da máscara de filtragem mediana.

De acordo com GAFSI, 2022, a marca d'água extraída é aceitável para um valor de  $NC \geq 0,7$  entre a marca d'água original e a marca d'água extraída. A FIG. 1-b-e-h apresenta os valores NC para ruído Gaussiano aditivo, compressão JPEG e filtragem de mediana. A DHWT atinge valores NC superiores a 0,9821 para todas as faixas. FIG. 1-a-d-g mostram os valores de BER para Ruído Gaussiano Aditivo, Compressão JPEG e Filtragem Mediana, respectivamente. A DHWT atinge valores de BER inferiores a  $1,9 \times 10^{-3}$  para todas as faixas. FIG. 1-c-f-i oferecem os valores SSIM para os ataques do tipo ruído Gaussiano aditivo, compressão JPEG e filtragem de mediana. A DHWT atinge valores SSIM superiores a 0,9480 para todas as faixas.

A TAB. 1 mostra os resultados de NC entre a marca d'água original e a marca d'água extraída para ataques como o *Salt and Pepper*, ruído gaussiano e compressão JPEG para diferentes faixas de densidade, variância e QP, respectivamente. Comparou-se os resultados do NC entre a arquitetura de GAFSI, 2022 para marca d'água de imagem e a arquitetura baseada em DHWT. A DHWT tem os melhores resultados de NC para todas as imagens analisadas em GAFSI, 2022 (Lena, cameraman e pepper) e em todas as diferentes faixas. Para o QP=10 (compressão JPEG), nossa arquitetura baseada em DHWT tem uma perda de NC de 0,0066. Em contraste, com uma variância de 0,09 (ruído gaussiano aditivo), o ganho NC é 0,7266.

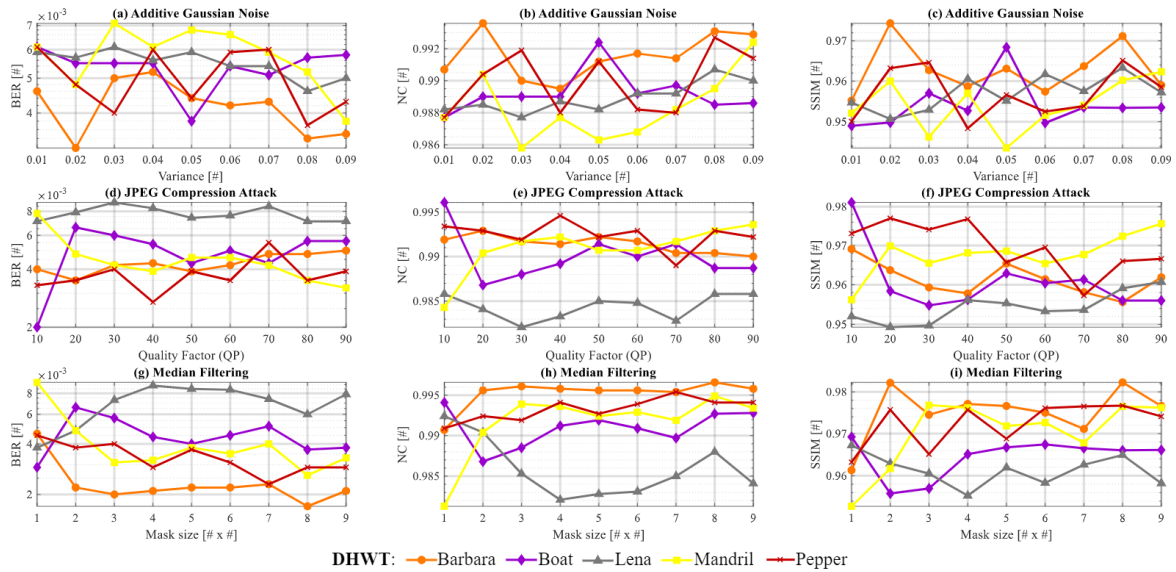
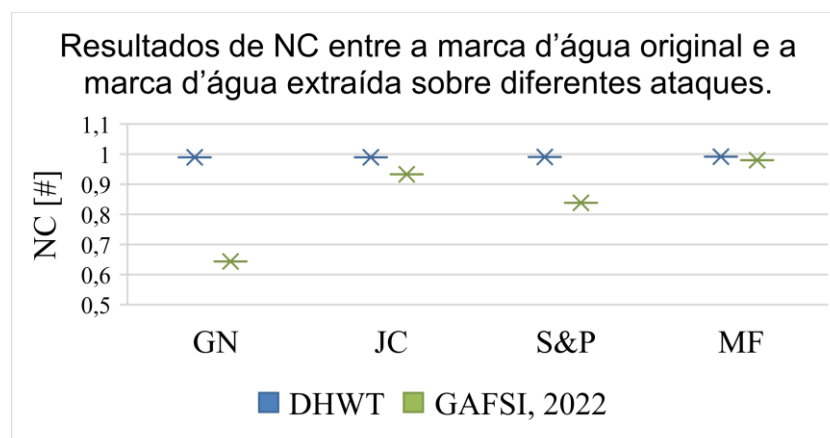


FIG. 1: Valores de BER da marca d'água extraída obtidos usando a proposta DHWT em diferentes ataques: BER Values of the extracted watermark obtained using the DHWT proposal for differences attacks: (a) Ruído Gaussiano, (d) Compressor JPEG, e (g) Filtro Mediano. Valores de NC Values: (b) Ruído Gaussiano, (e) Compressor JPEG, e (h) Filtro Mediano. Valores de SSIM: (c) Ruído Gaussiano, (f) Compressor JPEG, e (i) Filtro Mediano.

A FIG. 2 mostra os valores NC. Os valores são a média de 100 imagens *host* diferentes (do banco de dados TEST IMAGES, acesso 2022) ao extrair a marca d'água obtida usando proposta de DHWT e a proposta da literatura (GAFSI, 2022). Essas 100 imagens com marca d'água estão sob ataques como o Ruído Gaussiano Aditivo, Compressão JPEG, *Salt and Pepper*, e Filtragem Mediana. Nossa arquitetura baseada em DHWT tem os melhores resultados de NC para todos os ataques. Além disso, a arquitetura baseada em DHWT tem 2,824 vezes e 1,344 vezes mais economia de área e energia, respectivamente, do que a literatura (GAFSI, 2022).

TABELA 1: Resultados de NC entre a marca d'água original e a marca d'água extraída sobre diferentes ataques.

| Arquitetura | Ataque    | Salt and Pepper Densidade [#] |        |        |        |        | Additive Gaussian Noise Variância [#] |        |        |        |        |        | JPEG Compression QP [#] |        |        |        |        |
|-------------|-----------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
|             |           | 0.001                         | 0.005  | 0.009  | 0.01   | 0.05   | 0.001                                 | 0.005  | 0.009  | 0.01   | 0.05   | 0.09   | 10                      | 20     | 30     | 40     | 50     |
| GAFSI, 2022 | Lena      | 0.9851                        | 0.9712 | 0.8547 | 0.7496 | 0.6745 | 0.9603                                | 0.8016 | 0.7514 | 0.6448 | 0.4816 | 0.2719 | 0.9924                  | 0.9816 | 0.9421 | 0.8956 | 0.8762 |
|             | Cameraman | 0.9716                        | 0.9586 | 0.8411 | 0.7259 | 0.6601 | 0.9471                                | 0.7864 | 0.7429 | 0.6312 | 0.4733 | 0.2645 | 0.9893                  | 0.9773 | 0.9316 | 0.8822 | 0.8591 |
|             | Pepper    | 0.9742                        | 0.9663 | 0.8433 | 0.7345 | 0.6710 | 0.9584                                | 0.7744 | 0.7475 | 0.6406 | 0.4776 | 0.2711 | 0.9897                  | 0.9792 | 0.9405 | 0.8943 | 0.8699 |
| DHWT        | Lena      | 0.9951                        | 0.9950 | 0.9892 | 0.9901 | 0.9886 | 0.9933                                | 0.9931 | 0.9915 | 0.9882 | 0.9882 | 0.9900 | 0.9858                  | 0.9841 | 0.9821 | 0.9833 | 0.9850 |
|             | Cameraman | 0.9974                        | 0.9969 | 0.9905 | 0.9881 | 0.9872 | 0.9951                                | 0.9946 | 0.9944 | 0.9891 | 0.9899 | 0.9911 | 0.9971                  | 0.9862 | 0.9865 | 0.9893 | 0.9902 |
|             | Pepper    | 0.9981                        | 0.9975 | 0.9943 | 0.9854 | 0.9866 | 0.9941                                | 0.9932 | 0.9924 | 0.9877 | 0.9912 | 0.9914 | 0.9934                  | 0.9929 | 0.9919 | 0.9946 | 0.9922 |



**Legenda:** GN – Ruído Gaussiano Aditivo, JC – Compressão JPEG, S&P - *Salt and Pepper*, e MF – Filtro Mediano.

FIG. 2: Valores de NC médio para 100 diferentes imagens host em relação a marca d'água extraída obtidas usando a proposta de DHWT e a proposta da literatura (GAFSI, 2022) quando as imagens com marca d'água estão sob vários ataques.

#### 4. CONCLUSÕES

Apresentamos detalhadamente o desempenho da arquitetura baseada em DHWT para marca d'água de imagens, realizando vários experimentos e comparando os resultados com o estado da arte. Pudemos demonstrar que a arquitetura baseada na proposta DHWT apresenta melhor desempenho, pois seu BER é inferior ao estado da arte. Além disso, o NC e SSIM de nossa arquitetura são mais proeminentes do que o estado da arte. O esquema de marca d'água proposto contra diferentes ataques, como Ruído Gaussiano aditivo, compressão JPEG, Filtro Mediano e *Salt and Pepper*, provou ser mais robusto e mais eficiente em termos de área e energia do que o estado da arte.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMINI**, M. et al. A Robust Multibit Multiplicative Watermark Decoder Using a Vector-Based Hidden Markov Model in Wavelet Domain, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2018.
- PENDYALA**, M. et al. Design of a spatial domain watermarking technique with VLSI implementation, *Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, 2016.
- FANG**, H. et al. Encoded Feature Enhancement in Watermarking Network for Distortion in Real Scenes, *IEEE Transactions on Multimedia*, 2022.
- WANG**, R. et al. A Novel Zero-Watermarking Scheme Based on Variable Parameter Chaotic Mapping in NSPD-DCT Domain, *IEEE Access*, 2020.
- GAFSI**, M. et al. Hardware implementation of the Haar 2D discrete wavelet transform with an application to image watermarking,” *5th International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (ICASET)*, 2022.
- YAN**, F. et al. A multi-watermarking scheme for verifying medical image integrity and authenticity in the Internet of Medical Things, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2022.
- SINGH**, P. et al. Medical image watermarking for authentication, confidentiality, tamper detection and recovery, *10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies*, 2019.
- SHAHADI**, A. et al. A novel robust approach for image copyright protection based on concentric rectangles, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 2022.
- ANAND**, A. et al. Watermarking techniques for medical data authentication: a survey, *Multimedia Tools and Applications*, 2021.
- TEST IMAGES:** C. V. Group, “Test Images.” [Online]. Available: <https://ccia.ugr.es/cvg/index2.php>, acesso: 2022.