

ANÁLISE DE TRANSFORMADAS WAVELETS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MARCAS D'ÁGUA EM IMAGENS

THIAGO RUTZ¹; MORGANA ROSA¹; EDUARDO COSTA²; RAFAEL SOARES¹

¹Universidade Federal de Pelotas – ttrutz@inf.ufpel.edu.br; mmarosa@inf.ufpel.edu.br; rafael.soares@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Católica de Pelotas - eduardo.costa@ucpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

À medida que a ameaça de crimes cibernéticos continua a evoluir constantemente, a proteção de direitos autorais das mídias digitais enfrenta desafios cada vez mais sofisticados. Em meio a esse cenário, a implementação de sistemas de marca d'água surge como uma abordagem muito promissora, especialmente no contexto de imagens. Esses sistemas oferecem uma linha de defesa robusta e eficaz, tornando-se uma solução essencial na preservação da integridade e autenticidade das obras digitais em um mundo digital em constante evolução.

A marca d'água digital é uma técnica de segurança que adiciona informações adicionais nos dados originais, uma marca invisível a uma imagem ou a um vídeo, permitindo identificar posteriormente o proprietário. Esta técnica pode ajudar a proteger os direitos autorais de imagens e de vídeos contra uso não autorizado. Nesse sentido, a distorção "controlada" é introduzida na imagem original para produzir a imagem com a marca d'água de forma imperceptível ou com baixo impacto na qualidade percebida. O método usado para inserir a marca d'água, juntamente com uma chave mantida secretamente, formam o processo de marca d'água. A remoção ilegal da marca d'água da imagem é geralmente referida como "ataque". Um bom processo de marca d'água, mesmo que disponível publicamente, evitaria um ataque bem-sucedido sem distorcer a imagem original (DAFAS et al., 2003).

Existem vários algoritmos de marca d'água publicados, geralmente são baseados em um modelo de transformada como, por exemplo, a Transformada de Cosseno Discreto (DCT), a Transformada de Wavelet Discreta (DWT) e a Transformada de Karhunen-Loève (KLT), dentre outras. Isso ocorre porque as técnicas de domínio transformado oferecem várias vantagens. Por exemplo, ao modificar a banda de frequência espacial, à qual a visão humana possui restrições, uma marca d'água embutida em uma imagem pode se tornar invisível. Também, ao direcionar os recursos de forma grosseira, as marcas d'água incorporadas são menos suscetíveis à filtragem passa-baixa ou ao ruído aleatório aditivo. Além disso, ao fazer isso, as marcas d'água se tornam mais difíceis de remover, pois os recursos de forma grosseira geralmente são essenciais para os dados do conteúdo de destino (OHBUCHI et al., 2002).

Entre as transformadas existentes, a Transformada Wavelet surge como a mais adequada para a inserção e extração de marcas d'água e é o foco desse estudo proposto. A família de transformadas Wavelet oferece algumas opções, dentre essas, foram escolhidas para análise as transformadas Haar, Daubechies, Coiflet e Symlet. Estas foram simuladas no software Matlab para a inserção e extração das marcas d'água. Também, após ataques de Ruído Gaussiano Aditivo, Compressão JPEG, Filtro Mediano e *Salt and Pepper*, foram realizadas as

análises das medidas quantitativas das diferenças entre as imagens resultantes, com o uso de métricas apropriadas como: o índice de similaridade estrutural (SSIM), o erro quadrático médio (MSE) e a correlação normalizada (NC). Dessa forma, obtêm-se assim, resultados entre as imagens originais e marcadas, como também entre a marca d'água e a marca d'água extraída.

Os resultados mostram que a Transformada Haar se destaca para decompor sinais em sub-bandas de frequência em sinais discretos. Ela permite a análise de sinais através de uma função bidimensional, tempo *versus* frequência, com resolução variável. A Transformada Haar é reconhecida pela sua simplicidade matemática e pelo baixo esforço computacional necessário para o seu cálculo (ROSA et al., 2021).

2. METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido com o auxílio de funções implementadas no software Matlab. Inicialmente, realizaram-se testes de inserção e de extração da marca d'água em uma imagem padrão, a 'Lenna', com resolução de 256x256 pixels, junto com uma marca d'água contendo a letra 'T' sobre um fundo branco, com dimensões de 128x128 pixels, ilustrada na Figura 1. Após a obtenção de resultados satisfatórios, avançou-se para a exploração de 100 imagens hospedeiras de 256x256 pixels e 100 marcas d'águas de 128x128 pixels.

Para preservar a qualidade das imagens extraídas, aplicou-se uma atenuação na marca d'água antes da inserção, com um nível de atenuação definido em 0,5. Durante o processo de extração, utilizou-se a Transformada Wavelet Inversa para recuperar a marca d'água das imagens marcadas.

A fim de avaliar a qualidade da extração, comparou-se a marca d'água extraída com a marca d'água original. Essa comparação levou em consideração métricas de qualidade, como o Índice de Similaridade Estrutural (SSIM), o Erro Quadrático Médio (MSE) e a Correlação Normalizada (NC). Essas métricas foram empregadas para analisar a precisão do processo de extração após a execução de ataques, a fim de verificar a capacidade do sistema de manter a marca d'água sob essas condições.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

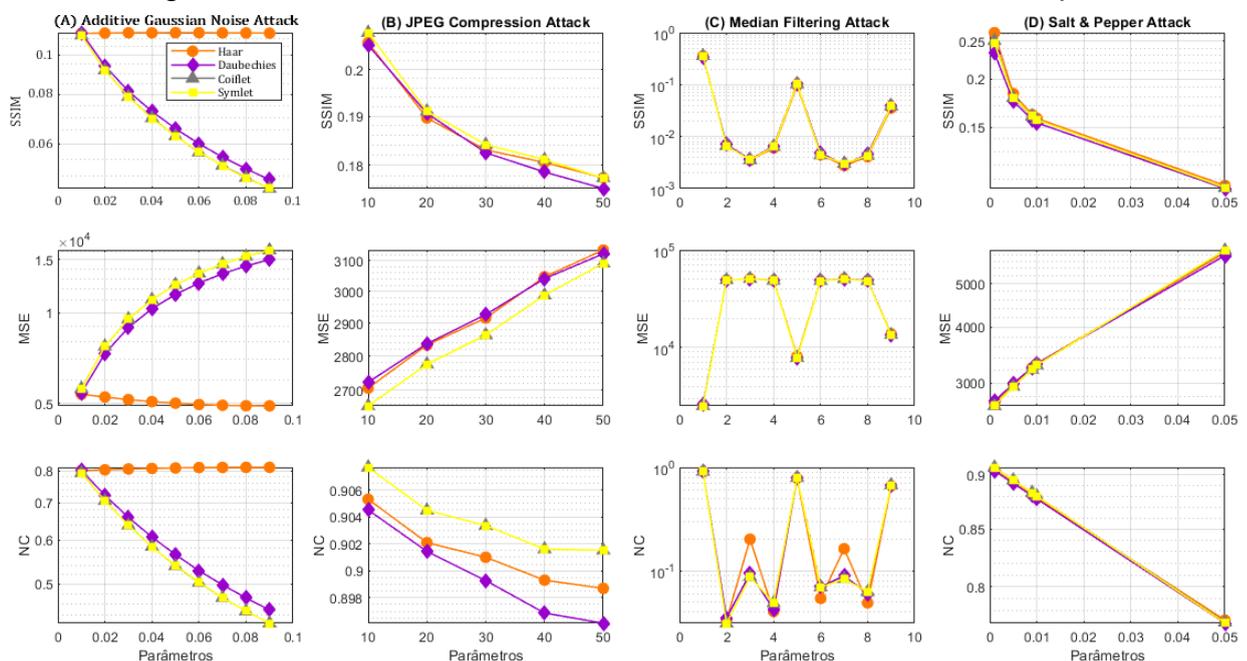
Os resultados são baseados no objetivo do estudo, ou seja, a identificação da melhor transformada da família das Wavelets bidimensionais ortogonais discretas: Haar, Daubechies, Coiflet e Symlet. Foram simuladas as 100 imagens hospedeiras concatenadas para cada uma das transformadas, como também as inserções e as extrações da marca d'água concatenada de 100 imagens e a realização de ataques de Ruído Gaussiano Aditivo, Compressão JPEG, Filtro Mediano e *Salt and Pepper*.

A Figura 2 apresenta os resultados das simulações de cada uma das transformadas sob os ataques mencionados, além das métricas de qualidade. Cabe ressaltar que todas as transformadas foram decompostas até o segundo nível. Em relação aos parâmetros, foram definidos para cada ataque na faixa de: 0.01 a 0.09 para o Ruído Gaussiano Aditivo; 10 a 50 para Compressão JPEG; [1 × 1] a [9 times 9] do tamanho da máscara para Filtro Mediano; e de 0.001 a 0.05 de densidade de Ruído *Salt and Pepper*.

Para exemplificar, em (A) Ataque Ruído Gaussiano Aditivo, a Transformada Haar, na comparação entre a marca d'água original e a extraída, as simulações apresentaram os seguintes resultados, com parâmetro em 0.01: SSIM de 0.1135; MSE de 5371.3337; e o NC de 0.8006. Já em relação ao parâmetro em 0.09: SSIM de 0.1136; MSE de 4908.6665; e o NC de 0.8116. O valor de NC aceitável, é de $NC \geq 0.7$, na relação entre a marca d'água original e a extraída, de acordo com a literatura (Gafsi et al., 2022).

Nos ataques de compressão JPEG (Fig. 2-b), Filtro Mediano (Fig. 2-c) e *Salt and Pepper* (Fig. 2-d), as transformadas Haar, Daubechie, Coiflet e Symlet têm valor de NC superior ao valor aceitável. No entanto, a Transformada Wavelet Haar se destaca pela resiliência ao ataque Gaussiano Aditivo, onde as transformadas Daubechie, Coiflet and Symlet não são adequadas para o sistema de marca d'água, pois tem valor de NC inferiores a 0.7 nos parâmetros que variam de 0.02 a 0.09.

Figura 2 - Resultados Quantitativos das Transformadas Sob Ataques



4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram explorados, com sucesso, os modos de inserção e extração de marcas d'água em imagens, utilizando as quatro transformadas da família das Wavelets. Os resultados demonstraram a eficácia dos métodos sob os ataques de degradação de imagem, como: ruído gaussiano, compressão JPEG, filtro mediano e "salt and pepper". Do mesmo modo, as métricas de qualidade, Índice de Similaridade Estrutural (SSIM), o Erro Quadrático Médio (MSE) e a

Correlação Normalizada (NC), em diferentes condições, confirmaram a precisão, a robustez e o desempenho na extração de marca d'água, indicando a Transformada Wavelet Haar como destaque.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAFAS, P.; STATHAKI, T. Digital image watermarking using block-based KarhunenLoeve transform. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING AND ANALYSIS, 2003. ISPA 2003. PROCEEDINGS OF THE, 3., 2003. Anais. . . [S.l.: s.n.], 2003. v.2, p.1072–1075 Vol.2.

OHBUCHI, R.; MUKAIYAMA, A.; TAKAHASHI, S. A Frequency-Domain Approach to Watermarking 3D Shapes. In: 2002. Anais. . . [S.l.: s.n.], 2002. v.21.

ROSA, M. M. da et al. An Energy-Efficient Haar Wavelet Transform Architecture for Respiratory Signal Processing. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, v.68, n.2, p.597–601, 202.

MathWorks. Single-level 2-D discrete wavelet transform. Documentation. Acessado em 11 de setembro de 2023. Online. Disponível em: https://la.mathworks.com/help/wavelet/ref/dwt2.html?s_tid=srchtitle_dwt2%20e%20idwt2_1

GAFSI, M. et al. Hardware implementation of the Haar 2D discrete wavelet transform with an application to image watermarking. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED SYSTEMS AND EMERGENT TECHNOLOGIES (ICASET), 5., 2022. Anais. . . [S.l.: s.n.], 2022. p.324–329.