

Inserção de Marca D'Água em Imagens Digitais com particionamento do dicionário utilizando o algoritmo *Harmony Search*

L. K. S. Gomes, J. G. Araújo, F. Madeiro, E. A. O. Lima
Universidade de Pernambuco
Recife, Brasil
madeiro@poli.br

Resumo—A preocupação com a segurança da informação motiva a criação de sistemas cada vez mais robustos para garantir a confiabilidade e segurança contra ataques aos dados. Nesse contexto, destaca-se o uso da Marca D'Água Digital. Uma das técnicas para inserção da Marca D'Água pode ser feita baseada em quantização vetorial, onde é feito o particionamento do dicionário em dois sub-dicionários a partir de uma chave e a escolha do sub-dicionário no momento da quantização vetorial dependerá do bit da Marca D'Água a ser inserida. Um importante aspecto a se considerar é encontrar a melhor maneira de particionar o dicionário. Neste trabalho avaliamos o desempenho dos Algoritmos Genético e *Harmony Search* na geração das chaves empregadas na etapa do particionamento do dicionário para inserção da Marca D'Água baseada na quantização vetorial em imagens digitais. Os resultados das simulações mostraram vantagens no uso do algoritmo *Harmony Search*, que utilizou aproximadamente 66% a menos de chamadas *fitness* para alcançar resultados de relação sinal-ruído de pico das imagens reconstruídas próximos aos obtidos quando utilizando o algoritmo genético aplicado ao mesmo dicionário.

Palavra Chave—Marca D'água, Quantização Vetorial, Algoritmo Genético, *Harmony Search*.

I. INTRODUÇÃO

O conglomerado de redes em escala mundial de milhões de computadores (*internet*) aumentou significativamente o uso de dados digitais. Isso pode ser observado no crescente acesso a sites de redes sociais para compartilhamento de documentos, imagens, áudio e vídeos digitais [1].

Consequentemente, problemas relacionados à segurança de dados tem recebido considerável atenção por diversos setores da sociedade. Alguns desses problemas são a garantia da propriedade intelectual, autenticidade e integridade dos dados digitais [2] [3].

Uma solução potencial para superar o problema é a autenticação dos dados por meio da inclusão de um código identificador, a marca d'água, como nome ou assinatura do autor, logotipo de uma empresa, números de série etc. em um documento digital [3] [4].

Em geral, a marca d'água é comumente empregada no domínio espacial e no domínio das transformadas, onde destaca-se Transformada Discreta do Cosseno (*DCT*, do inglês, *Discrete Cosine Transform*), Transformada Discreta de Fourier (*DFT*, do inglês, *Discrete Fourier Transform*) e Transformada Discreta Wavelet (*DWT*, do inglês, *Discrete Wavelet Transform*).

Feng-Hsing et al [5] propõem uma técnica de inserção de marca d'água baseada em Quantização Vetorial (*QV*) utilizando a idéia de particionamento do dicionário, utilizando para isso Algoritmo Genético (*AG*).

No presente artigo, apresentamos uma alternativa de melhoramento dessa técnica, acomodando o algoritmo *Harmony Search* (*HS*) [6] na etapa de particionamento do dicionário, focando em aplicações em imagens digitais.

O restante desse artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 nós apresentamos uma breve revisão dos conceitos de *QV* e na Seção 3 do algoritmo *Harmony Search*. Na Seção 4 demonstramos a técnica de inserção e remoção de marca d'água baseada em quantização vetorial. Na Seção 5 apresentamos os resultados das simulações. Finalmente, as conclusões desse artigo serão dadas na Seção 6.

II. QUANTIZAÇÃO VETORIAL

A *QV* [7] pode ser definida como um mapeamento de um vetor x em um vetor pertencente a um subconjunto finito chamado dicionário W .

O dicionário $W = \{w_i; i=1,2,\dots,N\}$ é o conjunto de vetores-código K -dimensionais, também denominados vetores de reconstrução e N o tamanho do dicionário, ou seja, a quantidade de vetores-código.

Em codificação de imagens, a imagem a ser codificada é primeiramente dividida em blocos de tamanho d pixels. Para cada vetor de entrada, será feito o mapeamento para o vetor-código que apresente a menor distorção. O índice do vetor-código é então transferido para o receptor que possui a cópia do dicionário e realiza a decodificação. O esquema é apresentado na Fig. 1.

A taxa de codificação do quantizador vetorial, que mede o número de bits por componente do vetor é medida por

$$R = \frac{\log_2 N}{K}. \quad (1)$$

É importante inferir dessa fórmula que, mantendo o K fixo (constante), a taxa de codificação é diretamente proporcional ao tamanho do dicionário, ou seja, à medida que N aumenta, a taxa também aumenta.

Em codificação de imagens, R é a taxa de compressão expressa em bits por pixel (*bpp*).

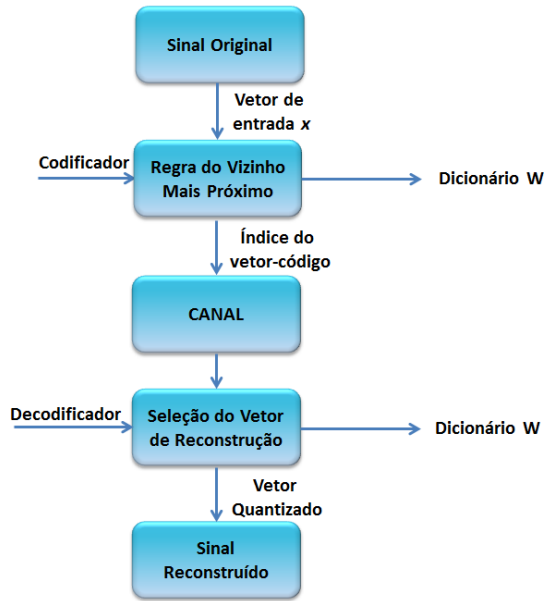


Figura 1. Codificação/decodificação em um sistema de codificação baseado em QV.

III. Harmony Search

Harmony Search (HS) é um algoritmo de busca heurística inspirado no fenômeno artificial da harmonia musical para tentar otimizar (maximizar ou minimizar) uma função objetivo [6].

No algoritmo *HS*, cada instrumento gera uma nota e o conjunto de notas tocadas pela junção dos instrumentos forma a harmonia. As variáveis da função são representadas por instrumentos e seus valores correspondem a nota tocada pelo instrumento. Cada harmonia corresponde a uma possível solução dentro do espaço de busca e pode ser melhorada com a prática.

No cenário musical, a harmonia é avaliada pela estética, assim como no *HS*, o objetivo é encontrar uma solução mais próxima possível do ótimo global. O *HS* armazena um conjunto das melhores harmonias em memória (*HM*), avaliadas através do valor do seu *fitness*.

Considerando o *HMS* o tamanho do *Harmony Memory (HM)*, *Harmony Memory Considering Rate (HMCR)* a probabilidade de se escolher um valor do *HM* na etapa de geração da nova harmonia, *Pitch Adjusting Rate (PAR)* a probabilidade de incrementar ou decrementar a nota e *NI* o número de iterações. O Algoritmo 1 descreve o pseudocódigo do *HM* e as seqüências de passos é ilustrada pela Fig. 2.

IV. MÉTODO DE INSERÇÃO E REMOÇÃO DE MARCA D'ÁGUA BASEADO EM QUANTIZAÇÃO VETORIAL

Em 2000, Lu and Sun [8] propuseram um algoritmo para inserção de marca D'água baseado em Quantização Vetorial. Após, vários pesquisadores publicaram trabalhos sobre marca d'água baseado em quantização vetorial [8] [9] [10] [11] [12].

Considerando o dicionário W contendo N palavras-código, a chave do usuário $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n \mid k_i \in \forall \{0,1\}, 1 \leq$



Figura 2. Diagrama de blocos do treinamento do *HS*.

Algoritmo 1 Pseudocódigo do *Harmony Memory*.

Define uma função objetivo.
 Define a taxa de *HMCR*.
 Define a taxa de *PAR*.
 Inicializa o *HM* de tamanho *HMS* com harmonias aleatórias.

```

while  $t < NI$  do
  while  $i \leq$  número de variáveis do
    if Valor aleatório  $< HMCR$  then
      Escolha um valor a partir do HM para a variável  $i$ .
      if Valor aleatório  $< PAR$  then
        Ajuste o valor adicionando uma certa quantidade.
      end if
    else
      Escolha um valor aleatório.
    end if
  end while
  Aceita a nova harmonia (solução) se melhor.
end while
  Seleciona a melhor solução corrente.

```

$i \leq N$) é utilizada para subdividir o dicionário em dois sub-dicionários C_0 e C_1 , onde $W = C_0 \cup C_1$ e $C_0 \cap C_1 = \emptyset$. Na etapa do particionamento do dicionário, cada palavra código c_i passa a fazer parte do sub-dicionário C_{k_i} . Assim, as palavras-código utilizadas do dicionário C_0 esconderão o bit 0 e as palavras-código utilizadas do dicionário C_1 esconderão o bit 1.

A. Inserção da Marca D'Água

O algoritmo 2 apresenta a sequência de passos para inserção da marca d'água de Feng-Hsing et al [5].

Algoritmo 2 Pseudocódigo da inserção da Marca D'Água.

Utilizando a chave K , particionar o dicionário em dois sub-dicionários, C_0 e C_1 .

Dividir a imagem de cobertura X em blocos de tamanho d pixels.

Para cada vetor de entrada x_i e o bit da marca que se deseja inserir $y_i \in \{0,1\}$ atribuir o índice do vetor-código do sub-dicionário C_{w_i} que possuir a mínima distância euclidiana. O vetor marcado será x'_i .

Repetir até que se tenha inserido a marca em todos os pixels da imagem de cobertura.

Reconstruir a imagem marcada unindo todos os vetores.

O processo de inserção da marca d'água baseada em quantização vetorial é apresentado na Fig. 3

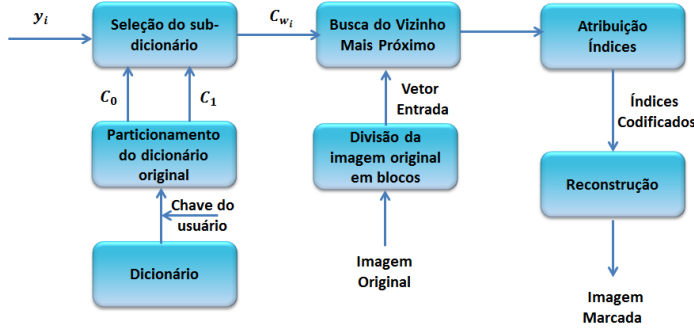


Figura 3. Processo de inserção da marca d'água

B. Extração da Marca D'Água

O algoritmo 3 apresenta a sequência de passos para extrair a marca d'água de uma imagem e esse processo é ilustrado na Fig. 4.

Algoritmo 3 Pseudocódigo da extração da Marca D'Água.

Dividir a imagem de cobertura X em blocos de tamanho d pixels.

Para cada vetor de entrada \vec{x}_i executar a busca pelo vetor-código no dicionário C que possuir a mínima distância euclidiana, considerando c_j a palavra-código obtida, onde $1 \leq j \leq N$.

Buscar na chave o j -ésimo termo da chave, o bit escondido na marca d'água será $y'_i = k_j \in \{0,1\}$.

Repetir os passos 2 e 3 até extrair todos os bits da marca d'água.

C. Particionamento do dicionário harmônico

A forma como o particionamento do dicionário é feito tem papel primordial na imperceptibilidade da marca, isto é, na qualidade da imagem marcada. Assim, foi aplicado o algoritmo

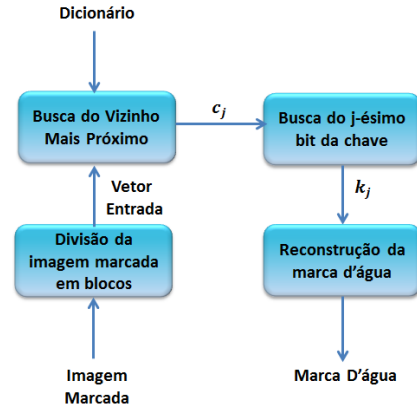


Figura 4. Processo de inserção da marca d'água

HS , buscando otimizar a forma como é feito o particionamento do dicionário.

O algoritmo 4 apresenta os passos para o particionamento do dicionário utilizando HS .

Algoritmo 4 Pseudocódigo do particionamento do dicionário harmônico

Geração de S chaves $\{K_1, K_2, \dots, K_S\}$ com valores aleatórios para inicializar o HM .

Inserir a marca d'água Y na imagem de cobertura X usando as chaves $\{K_1, K_2, \dots, K_S\}$ do HM .

Reconstruir a imagem marcada e avaliar a performance de cada chave através do cálculo do valor do $PSNR$ entre a imagem original e marcada.

Ordenar as chaves do HM de acordo com os valores das avaliações em ordem decrescente do $fitness$.

Gerar uma nova chave.

Se o valor do $PSNR$ obtido através da inserção da marca utilizando a nova chave for maior que o menor $PSNR$ do HM , faça a substituição da nova chave pela chave com menor valor de $PSNR$.

Repita os passos 5 ao 6, até que o critério de parada seja satisfeito.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As simulações foram realizadas tendo como base o algoritmo LBG para o projeto dos dicionários. Todas as simulações foram feitas com imagens no formato pgm . A imagem LENA (Fig. 5a) de dimensão 512×512 pixels, originalmente codificadas a $8bpp$ (256 níveis de cinza) foi usada como imagem de cobertura. A imagem ROSE (Fig. 5b) de dimensão 128×128 pixels com $1bpp$ foi usada como marca d'água.

Para o projeto do dicionário, utilizamos distorção $e = 0.0001$, tamanho $N=256$ e $K = 16$ (correspondente a blocos de imagens de 4×4 pixels). A imagem de cobertura foi decomposta em blocos 4×4 . Para avaliar o desempenho dos algoritmos, foi utilizada como função $fitness$ o valor do Sinal-Ruído-de-Pico($PSNR$), de definição:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{v^2 p}{MSE} \right), \quad (2)$$



Figura 5. A imagem de cobertura (a) e a marca d'água (b) utilizada nos experimentos.

em que v_p corresponde ao valor de pico da amplitude do sinal de entrada e o MSE o erro quadrático médio.

Para o particionamento do dicionário utilizando Algoritmo Genético (*GA*) adotamos os seguintes parâmetros, tamanho da população 10, 1000 iterações, taxa de seleção da população 100%, taxa de cruzamento de 50% e taxa de mutação de 0,1%.

No particionamento utilizando o *HS* foram utilizados os seguintes parâmetros, $HMS=5$, $HMCR=0,95$ e $PAR=0,001$.

Para observar o desempenho dos algoritmos foram realizados 1000 experimentos.

A Fig. 6 ilustra os valores do *PSNR* dos 1000 experimentos. A Tabela I lista a perforce utilizando o *AG* e o *HS* na etapa de particionamento, onde o *APSNR* denota a média dos valores de *PSNR* e o *BPSNR* denota o melhor *PSNR* dos experimentos.

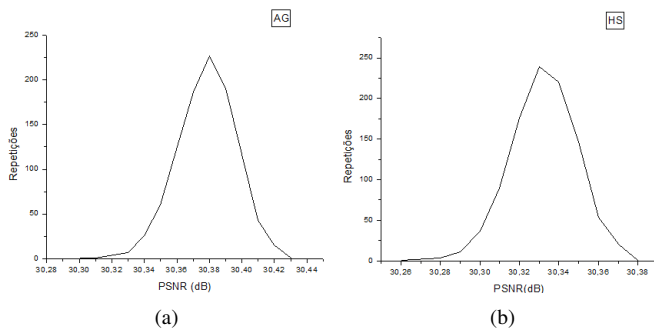


Figura 6. Resultado das 1000 simulações utilizando GA (a) e HS (b)

Tabela I
COMPARATIVO DOS VALORES DE PSNR DAS TÉCNICAS UTILIZADAS

Item	AG	HS
APSNR	30,37db	30,33db
BPSNR	30,43dB	30,38dB

A Fig. 7 ilustra os valores do *PSNR* dos melhores resultados do *GA* e do *HS* ao longo das 1000 iterações, onde o *PSNR* da última iteração foi de 30,43dB no *GA* e de 30,38dB no *HS*.

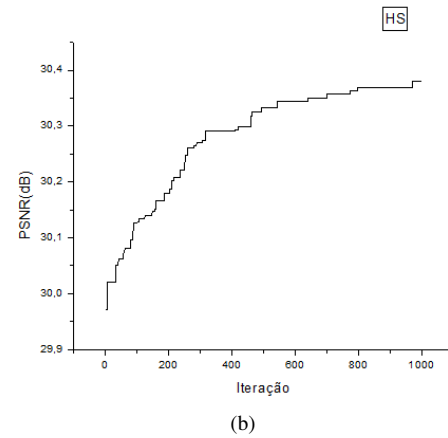
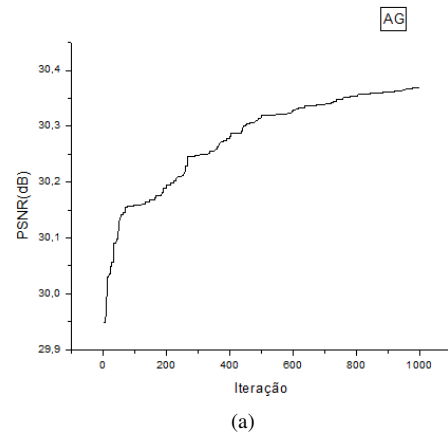


Figura 7. Valores do *PSNR* durante as 1000 iterações do melhor resultado do *GA* e *HS*.

O número total de bits inseridos na imagem foi de 16384, isto é, foi inserido um bit em cada bloco 4x4. Para o melhor resultado de *PSNR*, a quantidade de chamadas *fitness* necessárias foi de 3020 para o *GA*, enquanto para o *HS* conseguimos valores próximos de *PSNR* com 1005 chamadas *fitness*.

VI. CONCLUSÃO

Neste artigo apresentamos uma alternativa para otimizar a técnica de inserção de marca d'água baseada em *QV* utilizando técnicas de inteligência computacional. Foram aplicados o algoritmo *Harmony Search* e genético na geração de chaves para o particionamento do dicionário em sub-dicionários.

Os valores de relação sinal-ruído de pico obtidos utilizando o algoritmo *Harmony Search* foram bastante próximos do algoritmo genético, em média 0,04dB de diferença, porém utilizando um quantitativo aproximadamente 2/3 menor de chamadas *fitness*, diminuindo assim a complexidade e tempo de processamento na inserção de Marcas D'águas em imagens digitais.

Concluímos nos resultados experimentais as vantagens da utilização do algoritmo *Harmony Search* na etapa do particionamento do dicionário.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar uma avaliação da robustez e ataques da técnica de Marca D'água bem como

avaliar outras técnicas de otimização para particionamento do dicionário.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] N. Bhargava, M. Sharma, A. Garhwal, and M. Mathuria, "Digital image authentication system based on digital watermarking," in *Radar, Communication and Computing (ICRCC), 2012 International Conference on*, 2012, pp. 185–189.
- [2] D. A. Zende and M. K. Chavan, "Binary image authentication using zig-zag ordering of watermark," in *Advances in Technology and Engineering (ICATE), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 1–5.
- [3] N. Tiwari, M. Kumar Ramaiya, and M. Sharma, "Digital watermarking using dwt and des," in *Advance Computing Conference (IACC), 2013 IEEE 3rd International*, 2013, pp. 1100–1102.
- [4] S. Katzenbeisser, "On the integration of watermarks and cryptography," in *Digital Watermarking*, ser. Lecture Notes in Computer Science, T. Kalker, I. Cox, and Y. Ro, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2004, vol. 2939, pp. 50–60.
- [5] F.-H. Wang, L. C. Jain, and J.-S. Pan, "Vq-based watermarking scheme with genetic codebook partition," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 30, no. 1, pp. 4 – 23, 2007.
- [6] Z. W. Geem, J. H. Kim, and G. Loganathan, "A new heuristic optimization algorithm: Harmony search," *SIMULATION*, vol. 76, no. 2, pp. 60–68, 2001.
- [7] R. Gray, "Vector quantization," *ASSP Magazine, IEEE*, vol. 1, no. 2, pp. 4–29, 1984.
- [8] Z. M. Lu and S. Sun, "Digital image watermarking technique based on vector quantisation," *Electronics Letters*, vol. 36, no. 4, pp. 303–305, 2000.
- [9] I. J. Cox, M. Miller, and J. Bloom, "Watermarking applications and their properties," in *Information Technology: Coding and Computing, 2000. Proceedings. International Conference on*, 2000, pp. 6–10.
- [10] Z.-M. Lu, J.-S. Pan, and S. he Sun, "Vq-based digital image watermarking method," *Electronics Letters*, vol. 36, no. 14, pp. 1201–1202, 2000.
- [11] H. D. K. M. Lo, "A digital image watermarking scheme based on vector quantisation," *IEICE Trans. Inj Syst*, vol. EWD, pp. 1054 – 1056, 2002.
- [12] J.-S. Pan, H.-C. Huang, and F.-H. Wang, "A vq-based robust multi-watermarking algorithm," in *TENCON '02. Proceedings. 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering*, vol. 1, 2002, pp. 117–120 vol.1.