

Sistema de Inserção Multiplicativa de Marca D'água Multibit Usando Espalhamento Espectral

Rafael Araújo Silva e Joceli Mayer

LPDS: Laboratório de Pesquisa em Processamento Digital de Sinais
Departamento de Engenharia Elétrica - UFSC, Brasil

Resumo—Neste artigo um sistema prático de marca d'água multibit com detecção cega é proposto. O sistema proposto é baseado em multiplexação por divisão de código utilizando espalhamento espectral. Melhores desempenhos em relação aos sistemas de primeira geração são obtidos através da inserção informada. Com inserção informada o sistema proposto explora modelos perceptuais através do uso de uma máscara multiplicativa baseada em wavelet e explora também a informação do conteúdo digital original para melhorar a detecção da marca d'água. O sistema de marca d'água proposto foi implementado para imagens digitais e os resultados obtidos confirmam as melhorias do desempenho em relação às propriedades de capacidade, fidelidade, eficiência e robustez.

Palavras-Chave—Marca D'água, Inserção Informada, Espalhamento Espectral.

Abstract—In this paper a practical blind detection multibit watermarking system is proposed. The proposed system is based on code division multiplexing using spread spectrum. Performance improvements with respect to first generation systems are obtained by means of informed embedding. With informed embedding the proposed system exploits perceptual modeling by using a wavelet-based multiplicative mask and exploits the digital content information to improve watermark detection. The proposed system was implemented for digital image watermarking and the obtained results confirm the performance improvements related to properties of capacity, fidelity, efficiency and robustness.

Keywords—Watermarking, Informed Embedding, Spread Spectrum.

I. INTRODUÇÃO

A representação de dados no formato digital e o advento da Internet trouxeram novos desafios para as práticas de distribuição e reprodução de conteúdos de áudio, imagens, vídeos, etc. Conteúdos no formato digital podem ser reproduzidos e distribuídos para todo o mundo com facilidade, velocidade, fidelidade e baixo custo. Nesse contexto, questões relacionadas à proteção de direitos autorais de conteúdos digitais ainda são um problema para o estabelecimento legal desta nova realidade.

Um sistema de marca d'água tem a finalidade de inserir no sinal que representa um determinado conteúdo digital um outro sinal imperceptível que codifica uma mensagem.

Rafael Araújo Silva e Joceli Mayer estão com o Laboratório de Pesquisas em Processamento Digital de Sinais, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil, 88040-900, Telefone: +55 48 331 7627 Fax: +55 48 9280. E-mails: {rafael.araujo,mayer}@eel.ufsc.br. Este trabalho é financiado pelo CNPq Nos. 552164/01-1 e 550658/02-5

Marca d'água é o nome atribuído ao sinal imperceptível que é inserido no sinal do conteúdo digital transmitindo determinada mensagem. Esta mensagem pode transmitir informações sobre o conteúdo digital como, por exemplo, a identificação do seu proprietário, do seu distribuidor ou do seu comprador, tornando-se assim uma alternativa na busca de solução para os problemas relacionados aos direitos autorais de conteúdos digitais. O grande interesse inicial pelo desenvolvimento de sistemas de marca d'água foi motivado por aplicações voltadas a solucionar os problemas relacionados às questões de direitos autorais [1]. Entretanto, o desenvolvimento dos primeiros sistemas de marca d'água vieram logo seguidos por programas de remoção de marca d'água. O surgimento e a evolução destes programas mostraram que as expectativas iniciais depositadas sobre sistemas de marca d'água foram superestimadas.

Além da proteção contra violação de direitos autorais, inúmeras outras aplicações para sistemas de marca d'água foram propostas nesse meio tempo. Dentre estas, destacam-se aplicações relacionadas à rotulação de cópias, proteção contra reproduções não autorizadas, monitoramento de transmissões, autenticação e indexação de dados, segurança e integridade de dados médicos e legais e inúmeras outras aplicações emergentes para agregar valor aos conteúdos digitais vinculando informações extras através do uso de marcas d'água. Um panorama do estado-da-arte de sistemas de marca d'água é apresentado em [2].

A. Sistema de Marca D'água

O diagrama simplificado de um sistema de marca d'água digital é apresentado na Fig. 1. O primeiro bloco do diagrama se refere ao bloco de inserção da marca d'água. Este bloco apresenta três entradas: o conteúdo digital original C_0 ; a mensagem que se deseja transmitir via marca d'água B ; e uma chave secreta K . O função desta chave secreta K é impossibilitar que terceiros removam ou detectem a existência da marca d'água sem o conhecimento de K . A saída do primeiro bloco é o conteúdo marcado C_w . Este conteúdo marcado após ser distribuído estará sujeito à alterações provenientes de fontes de distorção. Compressão com perdas, ruído, filtragem, conversões Digital/Analogico e Analogico/Digital e distorções geométricas como rotação, translação, reamostragem e recortes são exemplos de distorções introduzidas por operações comuns de processamento de sinais. Programas especializados em remoção de marca d'água como Stirmark, por exemplo, são baseados em combinações de fontes de distorção. O segundo

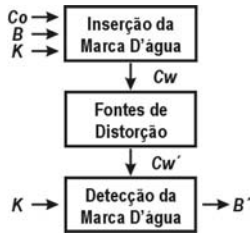


Fig. 1. Diagrama simplificado de um sistema de marca d'água.

bloco apresentado no diagrama representa estas possíveis distorções que aplicadas ao sinal do conteúdo marcado podem comprovar a transmissão da mensagem inserida pela marca d'água. Por fim, o terceiro bloco recebe o conteúdo digital marcado com possíveis distorções Cw' com a função de verificar a presença da marca d'água e extrair a mensagem que esta transmite.

B. Propriedades

Dependendo da aplicação, sistemas de marca d'água apresentarão diferentes características. Tais características dependem de um conjunto de propriedades definidas para sistemas de marca d'água. A seguir são apresentadas importantes propriedades [3] que serão utilizadas na discussão deste artigo.

Fidelidade: refere-se à semelhança perceptual entre o conteúdo original e o conteúdo marcado. Esta propriedade está relacionada ao nível de transparência da marca d'água que é inserida no conteúdo original.

Capacidade: refere-se ao número de bits da mensagem que a marca d'água insere no conteúdo original.

Eficiência: refere-se à eficiência do bloco de inserção. A eficiência mede o percentual de bits da mensagem que são corretamente extraídos do conteúdo marcado na ausência de fontes de distorção Cw .

Robustez: refere-se à eficiência do sistema de marca d'água como um todo. Um sistema com a característica de robustez deve ser capaz de detectar a marca d'água e extrair corretamente sua mensagem na presença de fontes de distorção Cw' .

Inserção Cega: refere-se a inserção da marca d'água de forma independente do conteúdo original. Com *Inserção Informada*, o bloco de inserção explora informações do conteúdo original para obtenção de melhorias das características da marca d'água.

Detecção Cega: refere-se ao bloco de detecção da marca d'água sem o acesso ao conteúdo original ou informações do mesmo. Da outra maneira, teria-se o que é conhecido por *Detecção Informada*.

II. PROPOSTA

A maioria dos sistemas que aparecem na literatura consideram uma marca d'água de 1-bit. Estes sistemas se restringem às aplicações onde a finalidade é se verificar a presença ou ausência da marca d'água. Entretanto, a maioria das aplicações requerem uma marca d'água multibit, ou seja, uma marca d'água que codifique uma mensagem de maior *capacidade*. Na prática, uma mensagem de N -bits pode ser transmitida

através de um sistema de marca d'água de 1-bit utilizando uma codificação direta das mensagens. Nesse sistema cada uma das mensagens de N -bits tem uma respectiva marca d'água associada. Para se extrair a mensagem inserida, o bloco de detecção tem que verificar qual das 2^N possíveis marcas d'água está presente no conteúdo marcado. Infelizmente, este método se torna inviável a medida que o número de bits N da mensagem cresce. Por exemplo, uma mensagem de 16-bits demandaria um processo exaustivo de verificação de 65536 marcas d'água.

O sistema de marca d'água proposto é baseado nas idéias de [4] e [5]. Em [4], *Cox et al* comparam os desempenhos de sistemas de *inserção cega e informada* de marca d'água de 1-bit. Em [5], *O Ruanaidh et al* propõem um sistema de marca d'água multibit de primeira geração baseado em multiplexação por divisão de código utilizando espalhamento espectral. Sistemas de marca d'água de primeira geração são caracterizados pela propriedade de *inserção cega*.

Neste artigo é proposto um sistema de marca d'água multibit com inserção informada e detecção cega baseado em multiplexação por divisão de código utilizando espalhamento espectral. Para avaliar comparativamente o desempenho do sistema proposto, será adotado um sistema de referência elaborado a partir das idéias dos sistemas de marca d'água de primeira geração.

III. SISTEMA REFERÊNCIA

Para simplificar as notações das equações neste artigo, tanto imagem como marca d'água serão representadas como vetores.

A. Geração da Marca D'água

Dentre muitas abordagens existentes para se projetar sistemas de marca d'água, a abordagem baseada em espalhamento espectral [6] é a mais freqüentemente utilizada. Em sistemas de marca d'água por espalhamento espectral cada bit da mensagem \bar{B} de N bits que se deseja transmitir é espalhado alterando-se levemente os valores de um grande número de elementos que constituem o conteúdo original \bar{C}_0 . Esta tarefa de espalhamento espectral é geralmente implementada com a utilização de seqüências pseudo-aleatórias obtidas a partir de geradores de números pseudo-aleatórios. O método congruencial linear é um exemplo tipicamente usado na geração de números pseudo-aleatórios. A partir de um gerador de números pseudo-aleatórios se constrói um conjunto \mathcal{P} de N elementos, onde cada elemento deste conjunto é uma seqüência pseudo-aleatória \bar{P}_j de dimensão M . No sistema que é apresentado M é o número de elementos do conteúdo original que são marcados por espalhamento espectral.

$$\bar{B} = [b_1, b_2, \dots, b_N], b_j \in \{ -1, +1 \} \quad (1)$$

$$\mathcal{P} = \{ \bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_N \} \quad (2)$$

$$\bar{P}_j = [p_{j1}, p_{j2}, \dots, p_{jM}], p_{ji} \in \{ -1, +1 \} \quad (3)$$

Os elementos p_{ji} das seqüências pseudo-aleatórias são números que assumem os valores de -1 ou $+1$ segundo uma função de densidade de probabilidade uniforme de média nula. Neste artigo, a função $rand()$ disponível na biblioteca ANSI

C e no MatLab será utilizada para geração de \mathcal{P} . O estado inicial do gerador de números pseudo-aleatórios define a chave secreta K do sistema de marca d'água. A geração do mesmo conjunto \mathcal{P} nos blocos de inserção e detecção da marca d'água depende do uso da mesma chave K . Com a mensagem B e o conjunto \mathcal{P} , a marca d'água W de dimensão M é obtida pela seguinte operação:

$$\bar{W} = \sum_{j=1}^N b_j \cdot \bar{P}_j \quad (4)$$

B. Inserção da Marca D'água

Neste artigo, imagens monocromáticas de 8 bits por pixel serão utilizadas como conteúdo digital para os sistemas de marca d'água apresentados. A inserção da marca d'água em imagens pode ser realizada nos seus diferentes domínios de representação. Além do domínio espacial, outros domínios podem ser utilizados. Por exemplo, através das transformadas DFT (Transformada Discreta de Fourier), DCT (Transformada Discreta de Cosseno) e DWT (Transformada Discreta de Wavelet) podem ser obtidos domínios freqüencial e espaço-freqüencial. Da mesma forma, existem diferentes métodos para se realizar a inserção da marca d'água. O método de inserção aditiva de marca d'água apresentado na equação (5) é o que aparece nos sistemas de inserção cega.

$$\bar{C}w = \bar{C}o + \alpha \cdot \bar{W} \quad (5)$$

O fator de ganho α que determina a quantidade de energia de marca d'água que é inserida na imagem. O método de inserção aditiva de marca d'água que aparece nos sistemas de primeira geração conforme a equação (5) será adotado para o sistema de referência.

C. Detecção da Marca D'água

O estágio de detecção tem a função de extrair a mensagem inserida na imagem através da marca d'água. Cada bit b_j da mensagem requer uma tomada de decisão: $b_j = -1$ ou $b_j = +1$. Esta decisão binária é tomada com base numa variável de decisão. Neste artigo, a variável de decisão t_k é o resultado da correlação linear entre o vetor imagem marcada $\bar{C}w$ e os vetores de seqüências pseudo-aleatórias \bar{P}_j . A operação de correlação linear é definida na equação (6)

$$t_k = \langle \bar{P}_k, \bar{C}w \rangle = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_{ki} \cdot iw_i \quad (6)$$

onde iw_i e p_{ki} são os respectivos elementos dos vetores imagem marcada e seqüência pseudo-aleatória k . Desenvolvendo a equação (6), obtém-se (7).

$$\begin{aligned} t_k &= \langle \bar{P}_k, \bar{C}w \rangle = \left\langle \bar{P}_k, \left[\bar{C}o + \alpha \cdot \sum_{j=1}^N b_j \cdot \bar{P}_j \right] \right\rangle \\ &= \langle \bar{P}_k, \bar{C}o \rangle + \alpha \cdot b_k \cdot \langle \bar{P}_k, \bar{P}_k \rangle + \alpha \cdot \sum_{j=1, j \neq k}^N b_j \cdot \langle \bar{P}_k, \bar{P}_j \rangle \quad (7) \end{aligned}$$

Assumindo a hipótese de que os vetores da imagem e das seqüências pseudo-aleatórias são todos ortogonais entre si e

sabendo que $\langle \bar{P}_k, \bar{P}_k \rangle = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_{ki}^2 = 1$, o resultado da variável de decisão se resume a $t_k = \alpha \cdot b_k$. A mensagem \bar{B} de N bits é então extraída com os cálculos de t_k seguido por N tomadas de decisão para $k = 1, 2, \dots, N$. O limiar γ é escolhido de modo que se $t_k > \gamma$, $b_k = +$, e se $t_k < \gamma$, $b_k = -1$. Na discussão deste artigo, fixa-se o limiar de $\gamma = 0$.

D. Resultados do Sistema Referência

Nesta sub-seção os resultados do sistema de marca d'água de referência são apresentados. A implementação do sistema segue respectivamente as equações (4), (5) e (7) para as etapas de construção, inserção e detecção da marca d'água. Por simplicidade, optou-se pela implementação de um sistema com a inserção da marca d'água no domínio espacial. Para a obtenção dos resultados, arbitrou-se uma chave secreta K para a inserção de uma mensagem aleatória de 32-bits na imagem da Lena com dimensão de 512x512 pixels. A Fig. 2 mostra os resultados obtidos para $\alpha = 0.2$. Este valor de α resulta numa imagem marcada de alta fidelidade Fig. 2(a). A Fig. 2(b) mostra o valor absoluto da diferença entre os pixels das imagens marcada e original multiplicada por 20 para fins de visualização. A Fig. 2(c) mostra respectivamente a mensagem de 32-bits \bar{B} inserida e a seqüência de resultados da correlação linear t_k entre imagem marcada e cada uma das seqüências pseudo-aleatórias da etapa de detecção e extração da mensagem na ausência de fontes de distorção. A influência de fontes de distorção só será considerada na seção final deste artigo onde se discute a *robustez* do sistema proposto. Olhando para a Fig. 2(c) se observa que, diferentemente do que foi previsto na equação (7), $t_k \neq \alpha \cdot b_k$. Isto evidencia que a consideração de ortogonalidade entre todos os vetores que constituem o conjunto de seqüências pseudo-aleatórias e imagem original não é verdadeira [7]. Veja que para $\alpha = 0.2$ com o limiar de decisão $\gamma = 0$, a condição de não ortogonalidade resulta em erro de bits na mensagem extraída B' . Estes resultados mostram que o sistema de referência, assim como os sistemas de primeira geração, não garante a *eficiência* total. Poderia-se aumentar o valor de α na medida exata de se superar as influências das não ortogonalidades para a *eficiência* total do sistema. Entretanto, o aumento de α está também atrelado a uma redução da *fidelidade* da imagem marcada.

IV. SISTEMA PROPOSTO

A apresentação do sistema proposto mostrará a possibilidade de se obter a garantia da *eficiência* total com alta *fidelidade*.

A. Inserção Informada

A diferença do sistema proposto em relação ao de referência consiste na sua propriedade de *inserção informada*. Em sistemas de marca d'água uma das metas que se almeja é a transparência da marca d'água, ou seja, alta *fidelidade* entre imagens original e marcada. Melhorias relacionadas à *fidelidade* podem ser obtidas explorando-se características do sistema de visão humano. O sistema de visão humano tem sensibilidade variável em função de características de brilho,

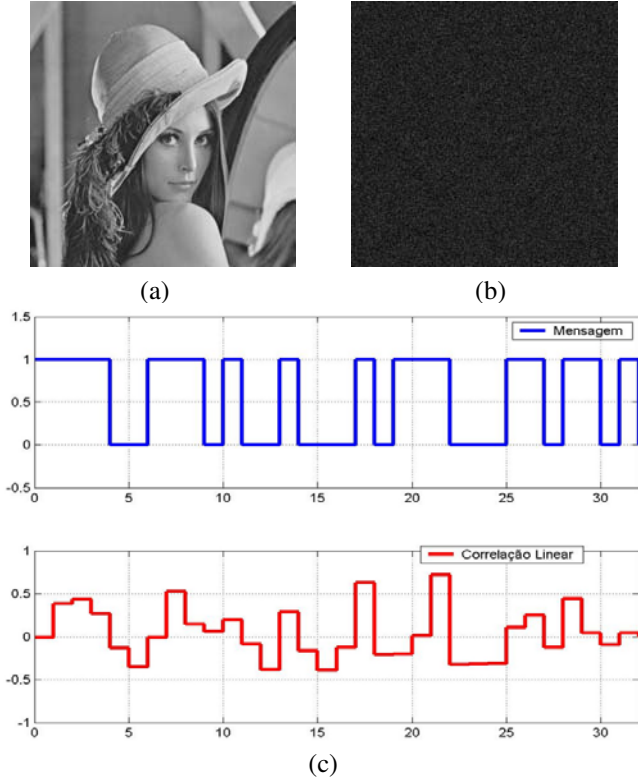


Fig. 2. (a) Imagem marcada $\bar{I}w$ com $\alpha = 0.2$; (b) Marca d'água resultante multiplicada por 20 para fins de visualização; (c) Mensagem binária transmitida pela marca d'água e resultados da correlação linear t_k .

cor e frequências da imagem observada. Sendo assim, diferentes regiões da imagem podem mascarar diferentes quantidades de energia da marca d'água. O método de inserção multiplicativa apresentado na equação (8) aparece freqüentemente na literatura. O operador $*$ que aparece na equação significa a multiplicação dos elementos correspondentes que constituem os vetores operandos.

$$\bar{C}w = \bar{C}o + \alpha \cdot |\bar{C}o| * \bar{W} \quad (8)$$

Observe que com a inserção multiplicativa a quantidade de marca d'água que é inserida se torna dependente do conteúdo da imagem, pois cada elemento recebe uma quantidade de marca d'água proporcional a sua magnitude. Por essa característica, em determinados domínios de representação, o método de inserção multiplicativa se torna mais apropriado para a exploração de características do sistema de visão humano com melhorias relacionadas às propriedades de *fidelidade* e *robustez*. O método de inserção multiplicativa (8) é um caso particular do método de inserção de marca d'água do sistema proposto:

$$\bar{C}w = \bar{C}o + \alpha \cdot \bar{M}s * \bar{W} \quad (9)$$

Com o método (9) a inserção da marca d'água se torna dependente do conteúdo de uma máscara $\bar{M}s$. A Fig. 3 mostra o exemplo de duas máscaras obtidas para a inserção de marca d'água no domínio espacial. A primeira máscara é obtida calculando-se a variância numa janela de 15x15 pixels aplicada à imagem da Lena. A segunda máscara é obtida pela composição da imagem da Lena a partir da IDWT



Fig. 3. Exemplos de máscara multiplicativa para inserção da marca d'água: (a) baseada em variância; (b) baseada em wavelet.

(Transformada Inversa Discreta de Wavelet) considerando apenas os conteúdos das sub-bandas de detalhes HL1, LH1 e HH1. Perceba que a utilização de tais máscaras fará com que as regiões de borda e de textura da imagem recebam uma quantidade de marca d'água maior do que as regiões suaves da imagem. Sistemas projetados desta maneira conseqüentemente apresentam melhoria de *fidelidade*. As referências [8] e [9] propõem máscaras mais sofisticadas para o domínio espacial. Além da melhoria da *fidelidade*, a *inserção informada* também viabiliza a proposição de um sistema com garantia de *eficiência* total. Conhecendo-se o esquema de detecção por correlação linear (6) e os vetores $\bar{C}o$, $\bar{M}s$ e \bar{P}_j para $j = 1, 2, \dots, N$, é possível propor um esquema de inserção de marca d'água que calcule as influências das não ortogonalidades e as compense. A equação (10) mostra o desenvolvimento de (6) considerando-se o método de inserção com máscara multiplicativa.

$$\begin{aligned} t_k &= \left\langle \bar{P}_k, \left[\bar{C}o + \alpha \cdot \sum_{j=1}^N b_j \cdot \bar{M}s * \bar{P}_j \right] \right\rangle \\ &= \langle \bar{P}_k, \bar{C}o \rangle + \alpha \cdot b_k \cdot \langle \bar{P}_k, \bar{M}s * \bar{P}_k \rangle \\ &\quad + \alpha \cdot \sum_{j=1, j \neq k}^N b_j \cdot \langle \bar{P}_k, \bar{M}s * \bar{P}_j \rangle \end{aligned} \quad (10)$$

Sabendo-se que as hipóteses de ortogonalidade $\langle \bar{P}_k, \bar{C}o \rangle = 0$ e $\langle \bar{P}_k, \bar{M}s * \bar{P}_j \rangle = 0$ não são verdadeiras, os resíduos $R_k^{(C_o)} = \langle \bar{P}_k, \bar{C}o \rangle$ e $R_k^{(M_s * P_j)} = \langle \bar{P}_k, \bar{M}s * \bar{P}_j \rangle$ são definidos. Com a simplificação $\langle \bar{P}_k, \bar{M}s * \bar{P}_k \rangle = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M msk_i \cdot p_{ki}^2 = \mu_{M_s}$ o desenvolvimento da equação (10) resulta em

$$t_k = \alpha \cdot b_k \cdot \mu_{M_s} + (R_k^{(C_o)} + R_k^{(M_s * P_j)}) \quad (11)$$

A garantia da *eficiência* total pode ser alcançada com a compensação dos resíduos que interferem na variável de decisão t_k . Como os resíduos resultantes são diferentes para $k = 1, 2, \dots, N$, propõe-se uma mudança no esquema de construção da marca d'água conforme (12).

$$\bar{W}^* = \sum_{j=1}^N \alpha_j \cdot b_j \cdot \bar{P}_j \quad (12)$$

Este esquema de construção da marca d'água difere do esquema apresentado na equação (4). Neste novo esquema cada

seqüência pseudo-aleatória tem seu próprio fator de ganho α_j . Esta alteração no esquema de construção da marca d'água é realizada de modo que se encontre os valores exatos α_j que compensam a interferência causada pelos resíduos $R_k^{(Co)}$ e $R_k^{(Ms * P_j)}$ no cálculo de cada t_k . Os valores de α_j para se ter $t_k = \beta \cdot b_k$ são obtidos com a resolução do seguinte sistema linear. Os elementos da matriz são dados por $a_{ij} = b_j \cdot \langle \bar{P}_i, \bar{M}_s * \bar{P}_j \rangle$.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ a_{N1} & \cdots & & a_{NN} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta \cdot b_1 - R_1^{(Co)} \\ \beta \cdot b_2 - R_2^{(Co)} \\ \vdots \\ \beta \cdot b_N - R_N^{(Co)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

A solução do sistema (13) possibilita a construção da marca d'água conforme a equação (12). A inserção da marca d'água é então realizada com o método de máscara multiplicativa conforme (14).

$$\bar{C}w = \bar{C}o + \bar{M}_s * \bar{W}^* \quad (14)$$

B. Resultados do Sistema Proposto

Para comparação de resultados com o sistema de referência, o sistema de marca d'água proposto foi implementado segundo as equações (13) e (12) para construção, (14) para inserção e (10) para detecção. Com o propósito de comparar os desempenhos dos sistemas, a mesma chave K foi escolhida para a inserção da mesma mensagem \bar{B} de 32 bits na mesma imagem da Lena. Utilizando a máscara que aparece na Fig. 3(b) e $\beta = 0.2$, equivalente a $\alpha = 0.2$ no sistema referência, a Fig. 4 apresenta os resultados obtidos. A Fig. 4(a) mostra a alta fidelidade da imagem marcada resultante. A Fig. 4(b) evidencia que a energia da marca d'água inserida através da máscara multiplicativa fica concentrada nas regiões menos perceptíveis de bordas e texturas. Com relação a garantia da eficiência total, a Fig. 4(c) mostra os excelentes resultados obtidos. Os resultados da correlação linear para $\beta = 0.2$ estão de acordo com o previsto de $t_k = \beta \cdot b_k$. Os leves desvios que diferem t_k do valor teórico são decorrentes dos erros de truncamento e saturação da representação digital de 8 bits por pixel. Desconsiderando estes erros de truncamento e saturação, através do sistema proposto um valor mínimo de $\beta > 0$ é suficiente para garantir a eficiência total resultando em imagens marcadas de altíssima fidelidade.

C. Fontes de Distorção

Nesta seção serão apresentadas algumas considerações sobre a influência de fontes de distorção no desempenho do sistema de marca d'água proposto. Na referência [5] se encontra uma discussão sobre distorções geométricas. Neste artigo apenas fontes de distorção valométricas são consideradas. Fontes de distorção valométricas são descritas pela equação (15).

$$\bar{C}w' = \bar{C}w + \bar{n} \quad (15)$$

O conteúdo marcado $\bar{C}w$ tem seus elementos alterados pelos valores dos elementos do vetor de distorção \bar{n} resultando numa

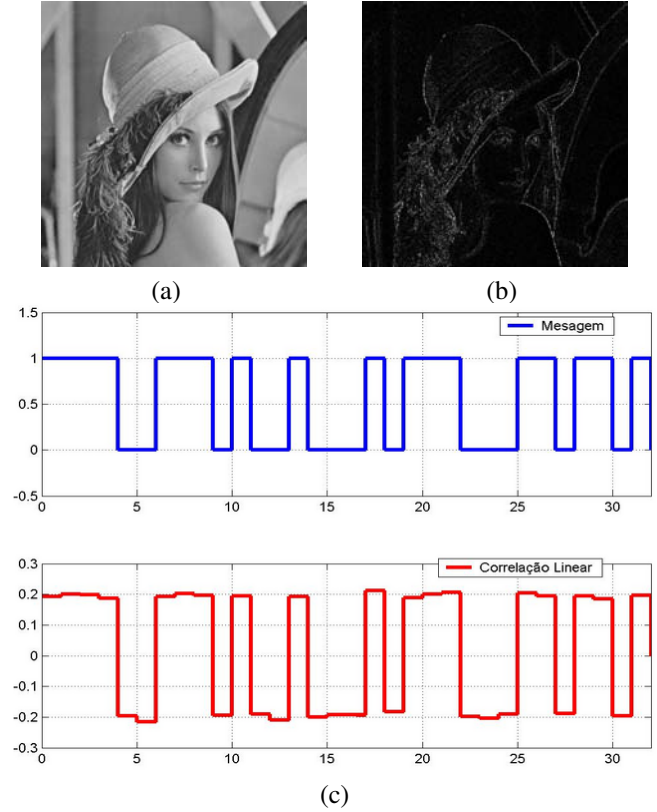


Fig. 4. (a) Imagem marcada $\bar{C}w$ com $\beta = 0.2$; (b) Marca d'água resultante multiplicada por 20 para fins de visualização; (c) Mensagem binária transmitida pela marca d'água e resultados da correlação linear t_k .

versão distorcida do conteúdo marcado $\bar{C}w'$. Um sistema de marca d'água *robusto* é aquele que resiste as fontes de distorção para o qual é projetado. A natureza das fontes de distorção varia de acordo com as diferentes aplicações dos sistemas de marca d'água. Dependendo da aplicação, os conteúdos marcados estarão expostos a diferentes fontes de distorção. Se durante a etapa de inserção da marca d'água fosse possível antecipar os elementos do vetor de distorção \bar{n} , poderia-se incluir um terceiro termo residual $R_k^{(n)}$ na equação (13) visando a garantia da *robustez*. Infelizmente, a antecipação do vetor \bar{n} não é possível, pois este consiste numa variável aleatória. A presença deste vetor de variáveis aleatórias no sistema introduz a necessidade de um tratamento estatístico do problema. A referência [10] faz uma série de análises estatísticas para sistemas de marca d'água. Entretanto, o tratamento estatístico do problema será objeto de trabalho futuro. O exemplo final deste artigo tem o objetivo de mostrar as potencialidades da *robustez* do sistema proposto. A Fig. 5 mostra os resultados obtidos com o sistema proposto para $\beta = 1$. Devido a maior quantidade de energia da marca d'água, naturalmente o imagem marcada com $\beta = 1$ mostrada na Fig. 5(b) apresenta menor fidelidade que a imagem marcada obtida com $\beta = 0.2$. No entanto, comparando a imagem original que é mostrada na Fig. 5(a) e a imagem marcada com $\beta = 1$, pode-se constatar um bom grau de fidelidade. Para o teste de *robustez* do sistema, as seguintes fontes comuns de distorções valométricas foram selecionadas: Ruído branco gaussiano adi-

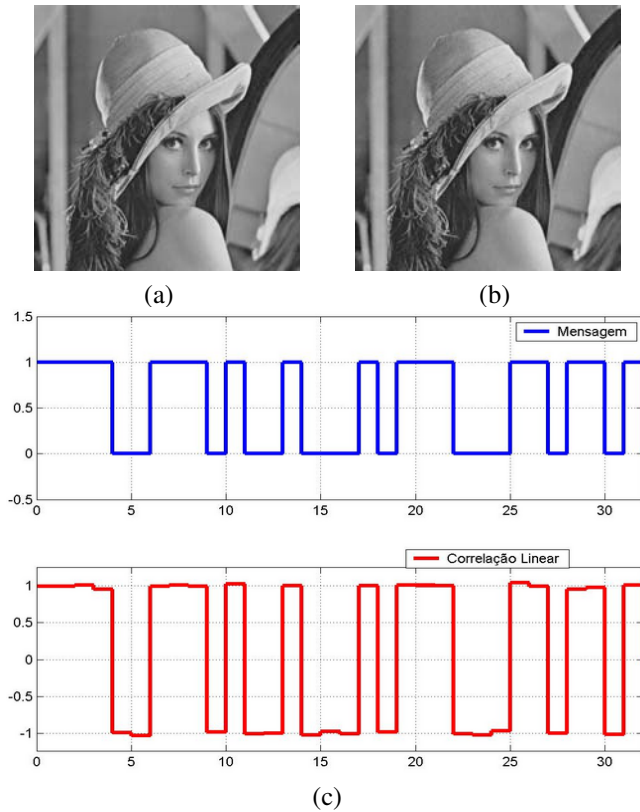


Fig. 5. (a) Imagem marcada C_w com $\alpha = 0.2$; (b) Marca d'água resultante multiplicada por 20 para fins de visualização; (c) Mensagem binária transmitida pela marca d'água e resultados da correlação linear t_k .

tivo (AWGN de 20%); Equalização de histograma; Filtragem linear (Passa-alta); Compressão com perdas (JPEG com fator de qualidade 30). A Fig. 6 mostra as imagens resultantes C_w' das fontes de distorção e a Fig. 7 mostra a influência das fontes de distorção nos resultados da correlação linear. Para todas as fontes de distorção consideradas, os resultados mostram a *robustez* do sistema proposto com a igualdade das mensagens inserida \bar{B} e extraída \bar{B}' .

V. CONCLUSÕES

Comparado aos sistemas de marca d'água de primeira geração, os resultados obtidos com o sistema proposto mostram importantes melhorias de desempenho. Através da *inserção informada* o sistema proposto obteve com êxito as características de alta *fidelidade* e *eficiência* total. Os resultados da última seção mostraram também a *robustez* do sistema proposto com a presença de fontes de distorção valométricas. Estes últimos resultados abrem portas para estudos futuros. O tratamento estatístico de fontes de distorção presentes no sistema de marca d'água proposto promete melhoria no balanço entre as propriedades de *fidelidade* e *robustez*.

REFERÊNCIAS

- [1] I. J. Cox, M. L. Miller, "The first 50 years of electronic watermarking," *Journal of Applied Signal Processing*, vol. 2, pp. 126–132, 2002.
- [2] G. C. Langelaar, I. Setyawan, R. L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 17, no. 5, pp. 20–46, 2000.

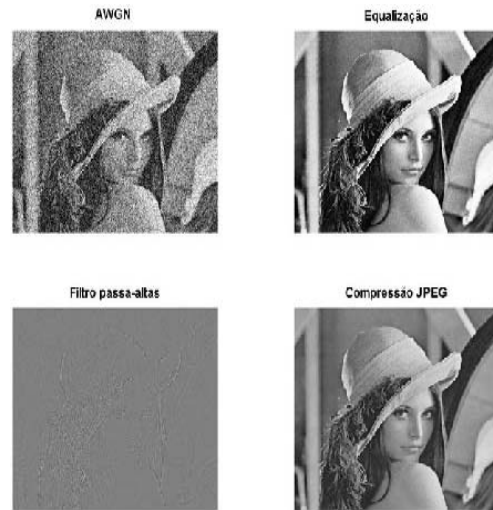


Fig. 6. Imagens resultantes C_w' de fontes de distorção valométricas.

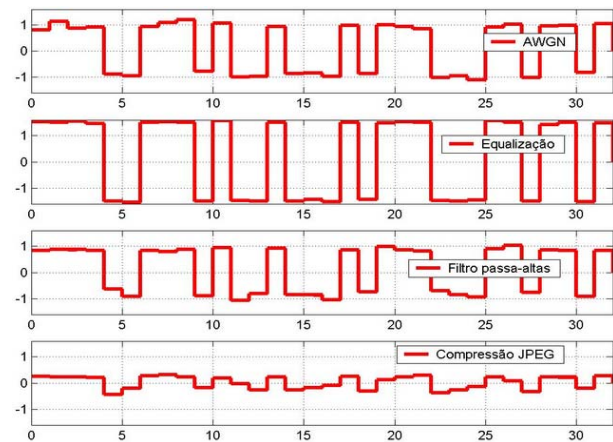


Fig. 7. Influência das fontes de distorção nos resultados da correlação linear.

- [3] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann, 2002.
- [4] I. J. Cox, M. L. Miller, A. L. McKellips, "Informed embedding: Exploiting image and detector information during watermark insertion," in *IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 1–4, 2000.
- [5] J. J. K. O Ruanaidh, S. Pereira, "A secure robust digital image watermarking," *Electronic Imaging: Processing, Printing and Publishing in Colour, SPIE Proceedings*, 1998.
- [6] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, T. Shamon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673–1687, 1997.
- [7] J. Mayer, A. V. Silverio, J. C. M. Bermudez, "On the design of pattern sequences for spread spectrum image watermarking," *Int. Telecommunications Symposium (ITS2002)*, 2002.
- [8] M. Barni, F. Bartolini, A. Piva, "Mask building for perceptually hiding frequency embedded watermarks," in *Proc. 5th IEEE Int. Conf. Image Processing ICIP'98*, vol. 1, pp. 450–454, 1998.
- [9] M. Barni, F. Bartolini, A. Piva, "Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 5, pp. 783–791, 2001.
- [10] J. R. Hernandez, F. Perez-Gonzalez, "Statistical analysis of watermarking schemes for copyright protection of images," in *Proceedings of the IEEE*, 1999, vol. 87:7, pp. 1142–1165.