

DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS: UMA MANEIRA DE AUMENTAR A ROBUSTEZ DE TÉCNICAS DE MARCA D' ÁGUA DIGITAL

IVAN OLIVEIRA LOPES*, ALEXANDRE CÉSAR RODRIGUES DA SILVA†

* *Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP
Votuporanga, SP, Brasil*

† *Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP
Ilha Solteira, SP, Brasil*

Emails: io.lopes@ifsp.edu.br, acrsilva@dee.feis.unesp.br

Abstract— Digital watermarking is a technique that can be utilized for authenticity verification or for the copyright protection of digital data. The finality to which the technique will be utilized is that determines if the method of watermarking must be fragile or robust. The robust watermarking schemes are usually utilized for the copyright protection, so, these schemes must be resistant to attacks. To obtain more robustness, the techniques of watermarking embed the watermark in the points more significant of the data. In this work is presented a technique of watermarking applied to digital images. The technique consists in decomposing a image in part structural and in part of details (textures, edges, noises) that are the components more significant of a image. After the decomposition is done, the watermark is embedded in the part of details, which is added the structural part and then obtained the watermarked image. The process to watermarking image is based in techniques to spread spectrum and utilizes the transformed discrete cosine. Tests were done and demonstrate that the technique proposes proportions good results.

Keywords— Watermarking, Authenticity verification, Copyright protection, Image Decomposition, Robustness.

Resumo— Marca d'água digital é uma técnica que pode ser utilizada para verificação de autenticidade ou para a proteção de direitos autorais de dados digitais. A finalidade para qual a técnica será utilizada é que determina se o método de marca d'água deve ser frágil ou robusto. Os sistemas de marca d'água robustos geralmente são utilizados para a proteção de direitos autorais, pois, estes sistemas devem ser resistentes a ataques. Para alcançar maior robustez, as técnicas de marca d'água inserem a marca nos pontos mais significantes do dado. Neste trabalho é apresentada uma técnica de marca d'água aplicada a imagens digitais. A técnica consiste em decompor uma imagem em parte estrutural e parte de detalhes (texturas, bordas, ruídos), que são os componentes mais significativos de uma imagem. Feita a decomposição, a marca é inserida na parte de detalhes, que é adicionada a parte estrutural e então obtida a imagem marcada. O processo para marcar a imagem é baseado em técnicas de *spread spectrum* e utiliza da transformada discreta do cosseno. Testes foram realizados e demonstram que a técnica proposta proporciona bons resultados.

Palavras-chave— Marca d'água, Verificação de autenticidade, Proteção de direitos autorais, Decomposição de imagens, Robustez.

1 Introdução

Nos últimos anos houve um aumento significativo na utilização de dados digitais. Praticamente todas as pessoas têm algum dispositivo que produz, recebe ou distribui tais conteúdos.

Com tantos dados digitais (imagens, textos, vídeos e áudios) sendo produzidos e com a proliferação do uso da Internet, a proteção a esses dados têm gerado uma grande preocupação.

Para garantir alguma segurança aos dados digitais, técnicas de criptografia podem ser utilizadas. Essas técnicas embaralham os dados não os deixando distinguíveis para pessoas não autorizadas. Para visualizar o conteúdo, uma pessoa autorizada utiliza-se de uma chave para decriptografar o dado, voltando-o para seu estado original.

Essas técnicas são muito efetivas para proteger um dado digital no momento de sua transmissão, porém quando esse dado é decriptografado, ele está novamente vulnerável e sujeito a fraudes.

Visando resolver esse problema e proteger os

dados digitais em seus formatos originais, técnicas de marca d'água digital têm sido utilizadas.

Marca d'água digital é a técnica de inserir uma mensagem em um dado digital, alterando-o, mas de maneira imperceptível, Singh et al. (2013).

Em um sistema de marca d'água digital, a marca que foi inserida, pode ser extraída a qualquer momento, podendo assim ser feita alguma asserção sobre o dado em questão, Tao et al. (2014). Esses sistemas podem ser classificados em duas categorias: frágil e robusto.

Os sistemas de marca d'água frágeis são desenvolvidos com o intuito de garantir autenticidade dos dados digitais. Essa autenticidade é verificada após a extração da marca inserida no dado. Se as marcas (inserida e extraída) forem idênticas, sabe-se que o dado é autêntico.

Na Figura 1, é possível visualizar um exemplo de imagem marcada para a verificação de autenticidade. Na Figura 1(a) visualiza-se a imagem original, enquanto nas Figuras 1(b), 1(c) e 1(d), visualiza-se a imagem marcada, a imagem

que passou por um ataque de recorte e a imagem que passou por um ataque de compressão "JPG", respectivamente. Nas Figuras 1(e), 1(f), 1(g) e 1(h), visualiza-se a marca d'água original, a marca d'água extraída da Figura 1(b), a marca d'água extraída da Figura 1(c) e a marca d'água extraída da Figura 1(d), respectivamente.



(a) Imagem original.



(b) Imagem marcada.



(c) Imagem marcada atacada (recorte).



(d) Imagem marcada atacada (compressão "JPG").



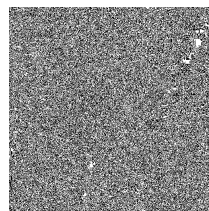
(e) Marca d'água original.



(f) Marca d'água extraída.



(g) Marca d'água extraída após ataque (recorte).



(h) Marca d'água extraída após ataque (compressão "JPG").

Figura 1: Exemplo de imagem marcada para a verificação de autenticidade.

Neste exemplo   possível notar que a alteração da imagem marcada pode ser percebida na marca d'água extraída, onde houve um recorte a marca ficou estragada, já na compressão "JPG", todos os *pixels* foram estragados. Desta forma,   possível verificar que a imagem não é mais autêntica.

Os sistemas de marca d'água robustos têm como principal objetivo prover proteção de direitos autorais, Khan et al. (2012). Nestes sistemas, a marca, ao menos na teoria, permanece no dado marcado mesmo após este ser adulterado. Assim,

se o proprietário de um trabalho digital, se depa-
rar com uma cópia não autorizada de seu trabalho,
poderá provar que é o verdadeiro proprietário do
trabalho, extraindo a informação contida no dado
marcado.

Na Figura 2,   possível visualizar um exem-
plo de imagem marcada para proteção de direitos
autorais. A imagem original pode ser visualizada
na Figura 2(a), a imagem marcada e atacada por
compressão "JPG" pode ser visualizada em 2(b).
As marcas, original e extraída após ataque, po-
dem ser visualizadas nas Figuras 2(c) e 2(d), res-
pectivamente.

Ao contrário do exemplo apresentado na Fi-
gura 1, neste, a marca d'água extraída após ata-
que, continua visível, o que possibilitou verificar que
a imagem   de determinado proprietário.



(a) Imagem original.



(b) Imagem marcada ataca-
cada.



(c) Marca d'água origi-
nal.



(d) Marca d'água ex-
traída após ataque.

Figura 2: Exemplo de imagem marcada para a proteção de direitos autorais.

Existem diversos trabalhos sobre marca
d'água descritos na literatura. O método proposto
neste trabalho, denominado MARDI (Marca
d' gua Robusta via Decomposição de Imagens),
tem como objetivo aumentar a robustez de t cni-
cas de marca d'água digital. E teve como refer n-
cia alguns trabalhos sobre marca d'água, descritos
a seguir:

Cox et al. (1997) introduziu uma das técnicas
mais populares de marca d'água robusta, onde o
sistema se mostrou robusto a vários tipos de ata-
ques. O autor argumenta que esta robustez se
dá devido ao fato de sua inserção se realizar nos
componentes perceptivelmente mais significativos
de uma imagem (texturas, bordas, ruídos). No en-
tanto, estes componentes são menos afetados por
operações de processamento digital de imagens,
como por exemplo, compressão JPEG.

Uma proposta bem similar a de Cox et al.
(1997) foi apresentada por Zhang et al. (2003).
Nesta técnica ao invés de utilizar a Transfor-
mada Discreta do Cosseno (DCT - *Discrete Co-
sine Transform*), os autores utilizam a Transfor-
mada Discreta de *Wavelets* (DWT - *Discrete Wa-
velet Transform*) para alterar o domínio da ima-
gem original. A inserção da marca é realizada nas
regiões de alta atividade da DWT.

Um método utilizando a Modulação por Chaveamento de Frequência (FSK - *Frequency Shift Keying*) foi proposto por Chen and Chen (2005). A FSK é extraída da Transformada Discreta de Fourier (DFT - *Discrete Fourier Transform*). Neste método, a imagem original é dividida em blocos. Uma seleção dos blocos com alta variância é realizada. Visando aumentar a robustez, a marca é inserida nestes blocos.

Mehta and Rajpal (2013), apresenta um método de inserção e extração de marca d'água digital baseado na transformada fracionária discreta do cosseno em duas dimensões (DFrCT) e na técnica de rede neural artificial (RNA), GRNN (*General Regression Neural Network*).

Essas duas técnicas são combinadas para extrair características da imagem que vai receber a marca d'água. Essas características são obtidas pelo treinamento da GRNN que é baseado no relacionamento entre as baixas frequências dos coeficientes da DFrCT e a vizinhança dos *pixels* de cada bloco de imagem, selecionados de acordo com critérios do sistema visual humano.

A seleção apropriada dos pontos onde será aplicada uma marca d'água pode aumentar muito a eficiência do método.

Um método parecido com os de Cox et al. (1997) e Chen and Chen (2005) foi proposto por Lang and Zhang (2014). Nesse trabalho utiliza-se a Transformada de Fourier Fracional (FRFT - *Fractional Fourier Transform*). Para fazer a inserção da marca, a imagem original foi dividida em blocos não sobrepostos. Cada bloco é levado ao domínio da frequência pela FRFT. A marca d'água, no caso uma imagem binária, é inserida nos coeficientes da *Back-Diagonal* da FRFT. Ao fazer a inversa da FRFT e reorganizar os blocos, obtém-se a imagem marcada.

Wang et al. (2013) afirma em seu trabalho que, para conseguir invisibilidade e robustez, marcas d'água digital devem ser inseridas em partes de texturas ou bordas de uma imagem. Sendo assim, sua proposta é aplicar um filtro de detecção de bordas sobre a imagem original. Feito isso, ele divide esta imagem em blocos, seleciona os blocos com maior número de bordas e insere a marca d'água nestes blocos através da DWT.

Mesmo com tantos esforços em desenvolver técnicas de marca d'água robusta, encontrar um sistema realmente robusto a qualquer operação de processamento de imagens, tem sido uma tarefa árdua. Logo, o objetivo deste trabalho é apresentar uma técnica para aumentar a eficiência dos sistemas de marca d'água digital robustas.

Para desenvolver o sistema proposto, que recebeu o nome de MARDI, foi utilizada uma forma de decomposição de imagem proposta por Vese and Osher (2003). A imagem original é dividida em duas partes, parte estrutural e parte de detalhes. A parte estrutural representa áreas homogê-

neas da imagem e a parte de detalhes representa as texturas, bordas e ruídos, ou seja, os componentes mais significativos.

A marca é inserida na parte de detalhes, que é levada ao domínio da frequência, através da DCT e alguns de seus coeficientes (os perceptivelmente mais significativos) vão ser alterados por uma função linear de inserção da marca, assim como no método de Cox et al. (1997).

A motivação é que a inserção da marca, feita na parte de detalhes, proporcione maior robustez a ataques, do que quando a inserção é feita diretamente na imagem original.

2 Método Proposto - (MARDI)

Esta seção descreve uma visão geral do método MARDI, que foi inspirado no método de Cox et al. (1997), porém com a utilização de uma forma de decomposição de imagens em duas partes, a estrutural (suavizada), que representa áreas homogêneas da imagem e a de detalhes, que representa áreas mais significativas da imagem, ou seja, textura, bordas e ruídos. Um exemplo de imagem decomposta em parte estrutural e parte de detalhes pode ser visualizado na Figura 3, onde na Figura 3(a), visualiza-se a imagem original, em 3(b) a imagem decomposta em parte de detalhes e em 3(c) a imagem decomposta em parte estrutural. Na Figura 3(d) visualiza-se a imagem resultante da soma das imagens apresentadas em 3(b) e 3(c).

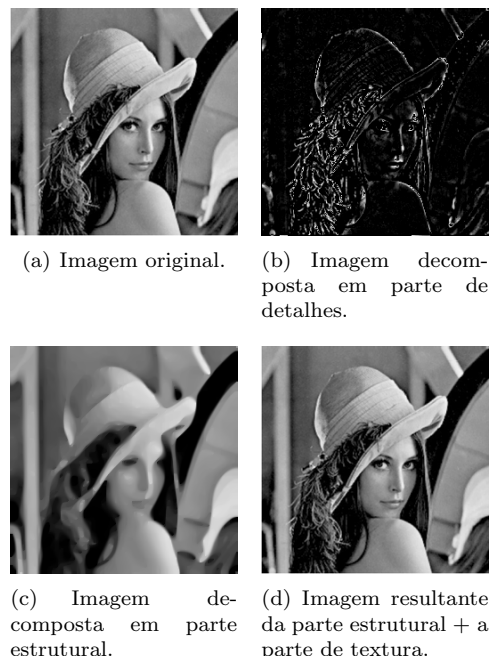


Figura 3: Exemplo de decomposição de imagens.

A diferença entre o método MARDI e o método de Cox et al. (1997), é que em Cox et al. (1997), a marca d'água é inserida nos N maiores coeficientes de uma imagem levada ao domínio da

frequência através da DCT. No método MARDI, primeiro a imagem é decomposta em parte de detalhes e parte estrutural. Como a parte de detalhes possui características mais significantes da imagem, ela é usada para a inserção da marca. Assim, esta parte é levada para o domínio da frequência e seus N maiores coeficientes são utilizados para inserção da marca d'água.

A forma de inserção da marca é apresentada na seção 2.1. O processo de extração é o inverso do processo de inserção.

2.1 Método de Inserção da Marca d'água

O método de inserção da marca é descrito nos seguintes passos:

1. Suavize a imagem original H , obtendo a imagem de estrutura (suavizada) HS ;
2. Obtida a imagem HS , faça a subtração de $H - HS$, gerando a imagem de detalhes (textura) HT ;
3. Efetue a DCT em HT , obtendo a imagem no domínio da frequência HT^{DCT} ;
4. Uma sequência dos N componentes perceptivelmente mais significantes de HT^{DCT} é extraída e denotada por $V = \{v_1, \dots, v_n\}$;
5. A marca d'água é transformada em um vetor $W = \{w_1, \dots, w_n\}$, que será inserido em V , utilizando a equação 1, gerando uma nova sequência $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$

$$v'_i = v_i(1 + \alpha w_i) \quad (1)$$

onde α é um fator escalar, que vai determinar a intensidade em que W vai alterar H ;

6. A sequência $V = \{v_1, \dots, v_n\}$, é substituída pela nova sequência $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$, obtendo HTW^{DCT} , que é a imagem HT marcada no domínio da frequência;
7. A Inversa da DCT é efetuada em HTW^{DCT} , obtendo HTW , que é a imagem HT marcada;
8. Para obter a imagem marcada HW , some $HTW + HS$.

3 Método de Decomposição de Imagens

A ideia de decomposição de imagens surgiu a partir do trabalho de Vese and Osher (2003), que apresenta uma forma de gerar uma imagem de detalhes v e uma imagem suavizada u . Essas imagens são obtidas através da equação 2.

$$F(u, g_1, g_2) = \int_{\Omega} |\nabla u| + \lambda \delta + \mu \epsilon \quad (2)$$

onde, δ representa a equação 3 e ϵ a equação 4.

$$\int_{\Omega} |f - u - \partial_x g_1 - \partial_y g_2|^2 dx dy \quad (3)$$

$$\left[\int_{\Omega} (\sqrt{g_1^2 + g_2^2}) dx dy \right] \quad (4)$$

onde, $\lambda, \mu > 0$, são parâmetros de ajuste, f é a imagem original, u é a imagem suavizada e Ω é o domínio de definição das imagens f e u . A componente de detalhes v é dada por $v = \text{div} \vec{g}$, onde $\vec{g} = (g_1, g_2)$, $g_1 = \frac{1}{2\lambda} \frac{u_x}{|\nabla u|}$, $g_2 = \frac{1}{2\lambda} \frac{u_y}{|\nabla u|}$. Desta forma $f \simeq u + \text{div} \vec{g}$.

Pelo fato da decomposição proposta por Vese and Osher (2003) gerar uma equação diferencial parcial não linear, cuja implementação não é trivial, neste trabalho foi proposta uma simplificação desse processo. Tal simplificação pode ser entendida como uma aproximação do método de Vese and Osher (2003).

Essa aproximação foi feita utilizando uma técnica de suavização de imagens proposta por Rudin et al. (1992), que a partir de uma imagem original f , gera-se uma imagem suavizada u . Uma subtração entre a imagem f e a imagem u é realizada gerando uma imagem de detalhes que é considerada como $\tilde{v}$, e que pode ser entendida como uma aproximação de v .

A suavização proposta por Rudin et al. (1992) é dada pela minimização do funcional:

$$F(u) = \int_{\Omega} |\nabla u| + \lambda \int_{\Omega} |f - u|^2 dx dy \quad (5)$$

onde Ω , u , f , e λ são definidos como na equação 3.

A equação de Euler Lagrange referente à minimização da Equação 5, resultará na equação 6 ou 7, onde:

$$2\lambda(u - f) = \text{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) \quad (6)$$

$$u = f + \frac{1}{2\lambda} \text{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) \quad (7)$$

A discretização da Equação 7, implementada neste trabalho, é a mesma apresentada por Vese and Osher (2003), fazendo $g_1 = g_2 = 0$ na equação 2. O $\text{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right)$ foi discretizado no ponto (ih, jh) por:

$$\text{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) \cong [\beta - \gamma] + \frac{1}{h^2} [\eta - \sigma] \quad (8)$$

onde β, γ, η e σ , representam as equações 9, 10, 11 e 12, respectivamente.

$$\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2h}\right)^2}} \quad (9)$$

$$\frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i-1,j+1} - u_{i-1,j-1}}{2h}\right)^2}} \quad (10)$$

$$\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{h}\right)^2}} \quad (11)$$

$$\frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j-1} - u_{i-1,j-1}}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{h}\right)^2}} \quad (12)$$

Então, o seguinte processo iterativo semi-implícito foi usado para resolver a Equação 7:

$$u_{i,j}^{n+1} = f_{i,j} + \frac{1}{2\lambda h^2} [\theta - \vartheta] + \frac{1}{2\lambda h^2} [\rho - \omega] \quad (13)$$

onde θ, ϑ, ρ e ω , representam as equações 14, 15, 16 e 17, respectivamente.

$$\frac{u_{i+1,j}^n - u_{i,j}^{n+1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j}^n - u_{i,j}^{n+1}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j-1}^{n+1}}{2h}\right)^2}} \quad (14)$$

$$\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i-1,j}^n}{\sqrt{\left(\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i-1,j}^n}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i-1,j+1}^n - u_{i-1,j-1}^n}{2h}\right)^2}} \quad (15)$$

$$\frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j}^{n+1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j}^{n+1}}{h}\right)^2}} \quad (16)$$

$$\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j-1}^n}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j-1}^n - u_{i-1,j-1}^n}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j-1}^n}{h}\right)^2}} \quad (17)$$

A imagem $u \cong u^{n+1}$ obtida na Equação 8 é uma imagem suavizada. A componente v que contém os detalhes é obtida pela diferença entre a imagem original e a imagem suavizada, isto é, $v^{n+1} = f - u^{n+1}$. Um exemplo dessa decomposição foi apresentado na Figura 3.

4 Resultados

Com o objetivo de medir o desempenho do método proposto, vários testes foram realizados. Para isso, o método de Cox et al. (1997) foi escolhido para fazer a inserção da marca d'água. Sendo assim, foi feita uma comparação entre os resultados da marca sendo inserida diretamente na imagem original e os resultados da marca sendo inserida na parte de detalhes da imagem original, empregando o método MARDI.

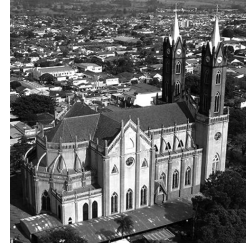
Os resultados apresentados neste artigo, foram utilizando imagens em níveis de cinza, tanto para imagem original H , como para a marca d'água W . O tamanho das imagens originais foi de 512×512 pixels e as marcas W de 65×55 pixels.

Após marcar as imagens, por ambos os métodos, as imagens marcadas passaram por ataques de compressão "JPG". Para verificar a robustez

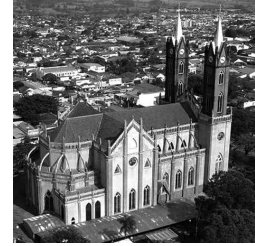
do método MARDI, as marcas foram extraídas das imagens atacadas e comparadas com a marca original. O coeficiente de correlação normalizado (NC) foi utilizado para medir a similaridade entre marca d'água extraída e marca d'água original.

O resultado de NC é um valor entre -1 e 1 . Se a correlação for igual a 1 , as imagens comparadas são idênticas.

Nas Figuras 4 e 5, são apresentadas imagens marcadas atacadas e marcas extraídas pelos dois métodos. Abaixo de cada marca d'água extraída é apresentado o valor de correlação entre a marca d'água original e a extraída após o ataque.



(a) Imagem marcada pelo método de Cox e atacada por compressão "JPG" 90%.



(b) Imagem marcada pelo método de Cox e atacada por compressão "JPG" 30%.

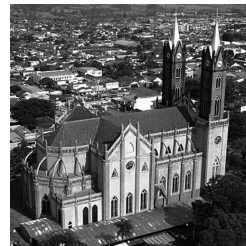


(c) Marca d'água extraída - NC = 0.8180.

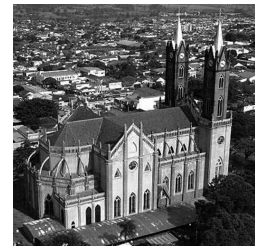


(d) Marca d'água extraída - NC = 0.6046.

Figura 4: Resultados obtidos com a implementação do método de Cox.



(a) Imagem marcada pelo método MARDI e atacada por compressão "JPG" 90%.



(b) Imagem marcada pelo método MARDI e atacada por compressão "JPG" 30%.



(c) Marca d'água extraída - NC = 0.9934.



(d) Marca d'água extraída - NC = 0.7991.

Figura 5: Resultados obtidos com a implementação do método MARDI.

Na Figura 4, são apresentadas as imagens do experimento realizado com a implementação do método de Cox et al. (1997), onde nas Figuras 4(a) e 4 (b) são apresentadas as imagens marcadas e atacadas por compressão "JPG" 90% e 30%,

respectivamente. As Figuras 4(c) e 4 (d) apresentam as marcas extraídas das Figuras 4(a) e 4 (b), respectivamente.

Os mesmos exemplos apresentados na Figura 4, são apresentados na Figura 5. Porém, com imagens do experimento realizado com a implementação do método MARDI. Nas Figuras 5(a) e 5(b) são apresentadas as imagens marcadas e atacadas por compressão "JPG"90% e 30%, respectivamente. As Figuras 5(c) e 5(d) são as marcas d'água extraídas das Figuras 5(a) e 5(b), respectivamente.

É possível notar que os resultados do método MARDI são relevantes, uma vez que, pode-se perceber a melhora na robustez da técnica, tanto visualmente, quanto pelos seus valores de similaridade (NC). Na marca d'água extraída pelo método de Cox et al. (1997), apresentada na Figura 4(c) o NC foi 0.8180. Enquanto que, na marca d'água extraída pelo método MARDI, apresentada na Figura 5(c) o NC foi 0.9934. Nas Figuras apresentadas em 4(d) e 5(d), os valores de NC do método MARDI também foram melhores, 0.6046 no método de Cox et al. (1997), Figura 4(d) e 0.7991 no método MARDI, Figura 5(d).

5 Conclusão

Neste trabalho foi apresentado uma técnica de marca d'água digital robusta denominada MARDI (Marca d'água Robusta via Decomposição de Imagens). A idéia principal do método é decompor uma imagem em parte estrutural e parte de detalhes, e então, inserir uma marca na parte de detalhes.

O objetivo da decomposição foi aumentar a robustez do método de marca d'água digital proposto por Cox et al. (1997). Pelos resultados obtidos, é possível perceber que a decomposição de imagens aumentou a robustez da técnica estudada.

Dado a eficiência do método desenvolvido, pretende-se estender o trabalho, para verificar se a decomposição de imagens pode aumentar a eficiência de outras técnicas de marca d'água digital.

Agradecimentos

CNPq, Processo: 309193/2015-0.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

Referências

Chen, W.-Y. and Chen, C.-H. (2005). A robust watermarking scheme using phase shift keying with the combination of amplitude boost and low amplitude block selection, *Pattern Recognition* **38**(4): 587–598.

Cox, I. J., Kilian, J., Leighton, F. T. and Shamoon, T. (1997). Secure spread spectrum watermarking for multimedia, *Image Processing, IEEE Transactions on* **6**(12): 1673–1687.

Khan, M. I., Soni, S., Acharya, B. and Verma, S. (2012). Implementation of digital watermarking using vhdl, *IJCSC* **3**: 15–21.

Lang, J. and Zhang, Z.-g. (2014). Blind digital watermarking method in the fractional fourier transform domain, *Elsevier: Optics and Lasers in Engineering* **53**: 112–121.

Mehta, R. and Rajpal, N. (2013). General regression neural network based image watermarking scheme using fractional dct-ii transform, *Proceedings of the 2013 IEEE Second International Conference on Image Information Processing*, pp. 340–345.

Rudin, L. I., Osher, S. and Fatemi, E. (1992). Nonlinear total variation based noise removal algorithms, *Physica D: Nonlinear Phenomena* **60**(1): 259–268.

Singh, Y. S., Devi, B. P. and Singh, K. M. (2013). A review of different techniques on digital image watermarking scheme, *International Journal of Engineering Research* **2**(3): 193–199.

Tao, H., Chongmin, L., Zain, J. M. and Abdalla, A. N. (2014). Robust image watermarking theories and techniques: A review, *Elsevier, Journal of applied research and technology* **12**(1): 122 – 138.

Vese, L. A. and Osher, S. J. (2003). Modeling textures with total variation minimization and oscillating patterns in image processing, *Journal of scientific computing* **19**(1-3): 553–572.

Wang, Y., Bai, X. and Yan, S. (2013). Digital image watermarking based on texture block and edge detection in the discrete wavelet domain, *Sensor Network Security Technology and Privacy Communication System (SNS & PCS), 2013 International Conference on*, IEEE, pp. 170–174.

Zhang, X.-D., Feng, J. and Lo, K.-T. (2003). Image watermarking using tree-based spatial-frequency feature of wavelet transform, *Journal of Visual Communication and Image Representation* **14**(4): 474–491.