MỘT THUẬT TOÁN THỦY VÂN ẢNH SỐ MẠNH DỰA TRÊN DWT, DCT, SVD VÀ ĐẶC TRƯNG SIFT

Võ Thành C[1], Võ Phước Hưng[1], Trầm Hoàng Nam[1], Nguyễn Thái Sơn[1], Đỗ Thanh Nghị[2]

[1] Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

[2] Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Cần Thơ

vothanhc@tvu.edu.vn, hungvo@tvu.edu.vn, tramhoangnam@tvu.edu.vn, thaison@tvu.edu.vn, dtnghi@cit.ctu.edu.vn

TÓM TẮT— *Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của Internet, sự trao đổi dữ liệu số như hình ảnh, âm thanh, video và văn bản qua môi trường Internet ngày càng dễ dàng hơn. Vì vậy, làm thế nào để bảo vệ sự toàn vẹn và bản quyền của dữ liệu số đã trở thành vấn đề mang tính cấp thiết. Trong bài báo này, một thuật toán thủy vân ảnh số mạnh dựa trên biến đổi sóng nhỏ rời rạc (DWT), biến đổi cosin rời rạc (DCT), phân tích giá trị riêng (SVD) và đặc trưng SIFT để bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ ảnh số. Trong giải pháp đề xuất, đặc trưng SIFT của ảnh được xác định và dùng để nhúng watermark. Kết quả thực nghiệm cho thấy chất lượng ảnh sau khi nhúng tốt hơn, độ bền vững cao hơn trước các tấn công. Ngoài ra, watermark có thể rút trích từ ảnh được nhúng mà không cần yêu cầu ảnh gốc.*

Từ khóa— *dữ liệu số, thủy vân số, watermark, DWT, DCT, SVD, SIFT.*

I. GIỚI THIỆU

Ngày nay, với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ thông tin và truyền thông, việc trao đổi nội dung số dạng text, image, audio và video qua môi trường Internet ngày càng trở nên phổ biến. Bên cạnh những thuận lợi thì vẫn còn tồn tại nhiều vấn đề liên quan đến nội dung số khi truyền qua môi trường Internet như làm thế nào để bảo vệ sự toàn vẹn của dữ liệu, bản quyền, quyền sở hữu trí tuệ,… [1], [2].

Hiện nay có nhiều giải pháp để bảo vệ nội dung số và có thể chia thành hai loại chính: mật mã (cryptography) và giấu tin (data hiding) [3]. Mật mã là một kỹ thuật mã hóa dữ liệu thành một dạng mà con người không thể hiểu được trước khi gửi đi. Người nhận phải giải mã thông điệp nhận được bằng khóa do người gửi cung cấp. Như vậy thông điệp sau khi giải mã đã trở thành bản sao của thông điệp gốc và nó không được bảo vệ nữa. Ngoài ra trong cryptography sẽ không che dấu sự giao tiếp, có nghĩa là bên thứ ba có thể thấy được dữ liệu mã hóa khi truyền trên mạng, điều này càng gây ra sự tò mò, nghi ngờ và càng làm cho họ tìm cách giải mã các thông tin bí mật đó. Giấu tin là một kỹ thuật giấu thông tin mật vào trong nội dung số sao cho bên thứ ba không phát hiện ra sự thay đổi của nội dung số khi truyền qua Internet. Các thuật toán giấu tin có thể phân thành hai loại là steganography và watermarking. Một thuật toán steganography tốt phải thỏa mãn cả hai tính chất đó là khả năng nhúng cao và chất lượng của nội dung số sau khi giấu tin phải được duy trì. Nếu thông tin mật bị tiết lộ thì xem như steganography bị thất bại. Ngược lại, trong watermarking thì sự tồn tại của thông tin mật có thể được biết. Mục tiêu của watermarking là làm sao để thông tin mật không bị gỡ bỏ hay thay đổi. Đối với watermarking, chuỗi thông tin mật (còn gọi là watermark) sẽ được nhúng vào trong thông điệp gốc để bảo vệ quyền xác thực và quyền sở hữu trí tuệ. Một thuật toán watermarking tốt phải thỏa mãn hai tính chất: tính không cảm thụ (imperceptibility) tức là khó có thể phát hiện ra watermark được nhúng vào trong thông điệp gốc, tính bền vững (robustness) tức là watermark khó bị thay đổi bởi các tấn công.

Các kỹ thuật watermarking trên ảnh số hiện nay được chia thành hai loại dựa vào miền nhúng watermark đó là: miền không gian và miền tần số. Các kỹ thuật dựa trên miền không gian sẽ nhúng watermark vào trong ảnh gốc bằng cách thay đổi trực tiếp giá trị các điểm ảnh của ảnh gốc bằng một công thức cụ thể. Một số kỹ thuật watermarking trên miền không gian như dựa trên sự tương quan (Correlation Based Techinique), LSB (Least Significant Bit) [4]. Các kỹ thuật dựa trên miền không gian thường đơn giản, dễ cài đặt. Tuy nhiên do thay đổi trực tiếp giá trị các điểm ảnh nên chất lượng ảnh sau khi nhúng không cao và watermark không bền vững trước các tấn công. Các kỹ thuật dựa trên miền tần số sẽ chuyển đổi ảnh từ miền không gian sang miền tần số (hay còn gọi là miền chuyển đổi), việc nhúng watermark sẽ được thực hiện bằng cách thay đổi giá trị của các hệ số trong miền chuyển đổi. Các kỹ thuật dựa trên miền tần số là Discrete Cosine Transform (DCT) [5], Discrete Wavelet Transform (DWT) [6], Discrete Fourier Transform (DFT), Singular Value Decomposition (SVD) [7], [8], [9]. Các kỹ thuật dựa trên miền chuyển đổi cho chất lượng ảnh sau khi nhúng tốt hơn và watermark bền vững hơn đối với những phép xử lý ảnh và nén, nhưng không mạnh đối với những tấn công dạng cắt (cropping), thay đổi tỷ lệ (scaling), quay (rotation). Vì vậy hướng tiếp cận bằng cách kết hợp hai hoặc nhiều miền chuyển đổi khi nhúng watermark đem lại kết quả tốt hơn. Một số phương pháp kết hợp thường gặp như DWT-DCT [10], DWT-SVD [11], [12], DCT-DWT-SVD [13], [14], [15], SVD-APBT, DWT-APDCBT-SVD [16].

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giải pháp thủy vân số dựa trên DWT, DCT, SVD và đặc trưng cục bộ bất biến SIFT. Kết quả thực nghiệm cho thấy giải pháp đề xuất tốt hơn một số giải pháp trước đây. Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần II sẽ giới hiệu về SIFT, DWT, DCT và SVD. Giải pháp đề xuất sẽ được trình bày chi tiết trong phần III. Phần IV trình bày về các kết quả thực nghiệm. Kết luận và hướng phát triển được trình bày trong phần V.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

A. Giới thiệu về SIFT

SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [17] là đặc trưng cục bộ bất biến đối với những phép biến đổi tỷ lệ, tịnh tiến, phép quay, và không đổi một phần đối với những thay đổi về góc nhìn, đồng thời nó cũng rất mạnh với những thay đổi về độ sáng, sự che khuất, nhiễu. Phương pháp trích rút đặc trưng SIFT có thể được tóm tắt như sau: (1) Phát hiện các điểm cực trị trong không gian tỷ lệ (Scale-Space extrema detection): Sử dụng hàm sai khác Gaussian (Different of Gaussian - DoG) để xác định tất cả các điểm hấp dẫn tiềm năng mà bất biến với tỷ lệ và hướng của ảnh; (2) Định vị các điểm hấp dẫn (Keypoint localization): Ứng với mỗi vị trí tiềm năng, hàm kiểm tra sẽ được đưa ra để quyết định xem các điểm hấp dẫn tiềm năng có được lựa chọn hay không. Các điểm hấp dẫn được lựa chọn dựa trên việc đo lường tính ổn định của chúng; (3) Xác định hướng cho các điểm hấp dẫn (Orientation assignment): Một hoặc nhiều hướng được gán cho mỗi vị trí điểm hấp dẫn dựa trên hướng gradient cục bộ của ảnh; (4) Mô tả các điểm hấp dẫn (Keypoint descriptor): Các gradient ảnh cục bộ được xác định ở tỷ lệ được chọn trong vùng bao quanh mỗi điểm hấp dẫn. Các gradient được biểu diễn sang một dạng mà cho phép bất biến với sự thay đổi về hình dạng và điều kiện chiếu sáng.

B. Lý thuyết DWT (Discrete Wavelet Transform)

DWT là một kỹ thuật toán học thường được sử dụng trong xử lý tín hiệu và nén ảnh. Trong phép biến đổi DWT hai chiều, một ảnh gốc I sẽ được phân tích thành bốn băng tần có kích thước bằng ½ ảnh gốc: LL (low frequency component in horizontal and vertical direction), LH (low frequency component in horizontal direction and high frequency in vertical direction), HL (high frequency component in horizontal direction and low frequency in vertical direction), HH (high frequency component in horizontal direction and high frequency in vertical direction). Hình 1. biểu diễn cho sự phân tích ảnh gốc I(NxN) thành bốn băng tần LL, LH, HL, HH có kích thước (N/2, N/2).

Hình 1. Một ví dụ của phép biến đổi DWT hai chiều ở mức 1

Các kỹ thuật thủy vân sử dụng phép biến đổi DWT thường nhúng watermark vào một hoặc một số băng tần với các hệ số tương quan khác nhau. Do LL có tần số thấp và chứa các thông tin quan trọng của ảnh nên mọi sử thay đổi nhỏ sẽ ảnh hưởng đến chất lượng hình ảnh. Tương tự băng tần HH có tần số cao nên cũng không bền vững trước các tấn công như nén JPEG. Do đó trong bài báo này các băng tần HL, LH sẽ được sử dụng để nhúng watermark. Sau đó việc xây dựng lại ảnh thủy vân I' từ các băng tần đã nhúng watermark được thực hiện bởi phép biến đổi ngược IDWT (Inverse Discrete Wavelet Transform).

C. Lý thuyết DCT (Discrete Cosine Transform)

DCT là một kỹ thuật chuyển đổi ảnh từ miền không gian sang miền tần số. Trong phép biến đổi DCT, ảnh ban đầu được chia thành các khối có kích thước NxN giống nhau, và phép biến đổi DCT được áp dụng trên các khối NxN theo công thức (1).

$$F(u,v) = \frac{2}{N} C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right) \quad (1)$$

Trong đó: $C(e) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, nếu\ e = 0 \\ 1, ngược\ lại \end{cases}$

Trong công thức biến đổi DCT, *f(x, y)* là giá trị điểm ảnh tại vị trí (x, y) và *F(u, v)* là hệ số DCT ở vị trí (u, v) của ma trận hệ số DCT.

D. Lý thuyết SVD (Singular Value Decomposition)

SVD là một phép biến đổi thường được sử dụng trong xử lý tín hiệu và phân tích thành phần chính. Trong phép biến đổi SVD, một ma trận M được phân tích thành ba ma trận có cùng kích thước với M theo công thức sau:

$$M = U * S * V^T \quad (2)$$

Trong đó:

M: ma trận cấp NxN

U, V: ma trận trực chuẩn cấp NxN

S: ma trận đường chéo không âm cấp NxN

$$S_{NxN} = \begin{bmatrix} \alpha(1,1) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \alpha(N,N) \end{bmatrix} \quad (3)$$

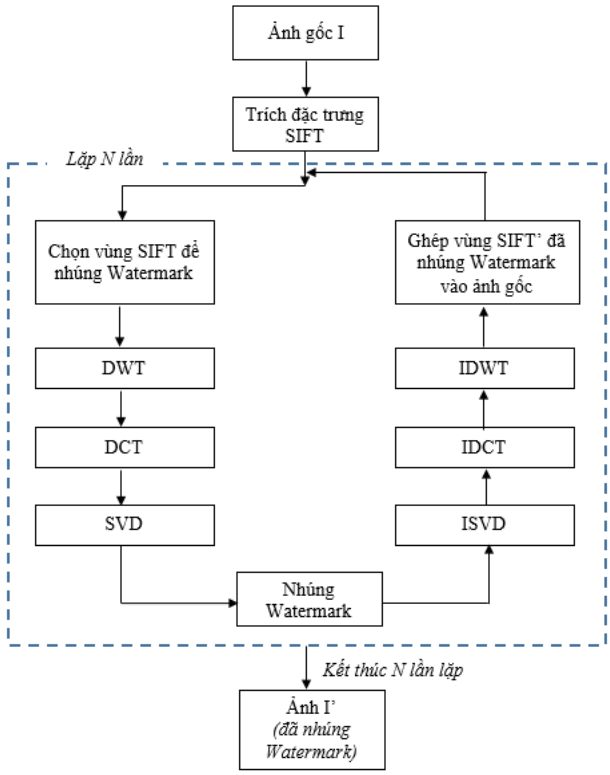
Các phần tử trong ma trận S được gọi là các giá trị riêng, thỏa $\alpha(1,1) \geq \alpha(2,2) \geq \cdots \geq \alpha(N,N) \geq 0$. Các giá trị riêng này có tính ổn định cao và chứa đựng phần lớn thông tin của ảnh.

III. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một thuật toán thủy vân số dựa trên DWT, DCT, SVD và đặc trưng SIFT. Thuật toán đề xuất gồm hai giai đoạn: giai đoạn nhúng watermark vào ảnh gốc và giai đoạn rút trích watermark từ ảnh đã nhúng.

A. Thuật toán nhúng Watermark

Trong phần này chúng tôi sẽ mô tả làm thế nào để nhúng watermark vào trong ảnh gốc. Trước tiên thuật toán SIFT sẽ được áp dụng để tính toán các điểm đặc trưng trên ảnh. Vì số lượng điểm đặc trưng SIFT trên ảnh khá lớn nên sẽ chọn ra N điểm đặc trưng có đường kính vùng mô tả lớn hơn hoặc bằng 64 và các vùng mô tả không chồng lắp lên nhau để nhúng watermark. Watermark sẽ được nhúng vào N vùng có kích thước 64x64 với tâm là điểm đặc trưng..



Hình 2. Sơ đồ nhúng watermark

Đầu vào:

I: ảnh gốc, *W*: watermark, *N*: số vùng nhúng watermark W

Đầu ra:

I': ảnh sau khi nhúng watermark W

Các bước thực hiện:

- *Bước 1*: Áp dụng thuật toán SIFT lên ảnh gốc I và chọn ra N điểm đặc trưng SIFT có đường kính vùng mô tả lớn hơn hoặc bằng 64 và các vùng mô tả không chồng lắp lên nhau.
- *Bước 2:* Lặp i=1 đến N. Nếu i<=N sang bước 3. Ngược lại sang bước 14.
- *Bước 3:* Chọn vùng SIFT để nhúng watermark. Vùng SIFT được chọn có kích thước 64x64 với tâm là điểm đặc trưng SIFT.
- *Bước 4*: Áp dụng DWT để phân giải vùng SIFT thành bốn băng tần LL, HL, LH, HH có kích thước 32x32.
- *Bước 5*: Chia băng tần HL, LH thành các khối có kích thước 4x4 không chồng lắp lên nhau, ta thu được tất cả 128 khối. Ứng với mỗi khối, áp dụng chuyển đổi DCT sẽ được ma trận hệ số DCT có kích thước 4x4.
- *Bước 6*: Ứng với mỗi ma trận hệ số DCT có kích thước 4x4, chọn ra tám hệ số tại các vị trí (2,1), (1,2), (1,3), (2, 2), (3,1), (4,1), (3, 2), (2, 3) để xây dựng ma trận M. Do có 128 ma trận hệ số DCT nên ma trận M được xây dựng từ các hệ số DCT sẽ có kích thước 32x32 (gồm 1024 giá trị).
- *Bước 7:* Áp dụng SVD lên ma trận M, W theo công thức sau:

$$SVD(M)=U*S*V^T \quad (4)$$

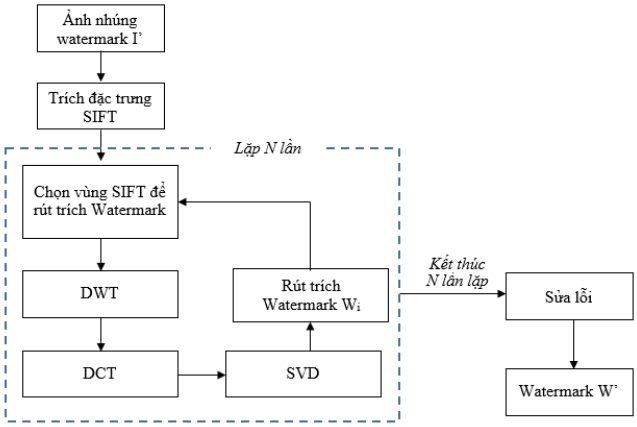
$$SVD(W)=U_w*S_w*V_w^T \quad (5)$$

- *Bước 8:* Nhúng watermark W theo công thức sau: $S'=S+\alpha * S_w$ (6)

- *Bước 9:* Áp dụng ISVD theo công thức sau: $M'=U*S'*V^T$ (7)
- *Bước 10:* Cập nhật lại hệ số cho các ma trận hệ số DCT từ ma trận M'. Quá trình này được thực hiện theo thứ tự ngược lại so với bước 6.
- *Bước 11:* Áp dụng IDCT trên mỗi khối 4x4 sau khi đã cập nhật lại hệ số DCT, ta thu được HL', LH'.
- *Bước 12:* Áp dụng IDWT lên (HH, HL', LH', LL) để được vùng SIFT' đã nhúng Watermark.
- *Bước 13:* Ghép vùng SIFT' vào ảnh I thay cho vùng SIFT trước khi nhúng. Quay lại bước 2.
- *Bước 14:* Kết thúc N lần lặp: thu được ảnh I' chính là ảnh đã nhúng N watermark.

B. Thuật toán rút trích Watermark

Trong giai đoạn rút trích, thuật toán SIFT cũng được áp dụng để tìm ra N điểm đặc trưng có đường kính vùng mô tả SIFT lớn hơn hoặc bằng 64 mà không chồng lắp lên nhau giống như giai đoạn nhúng. Tiếp theo sẽ áp dụng các bước trong thuật toán để rút trích N watermark đã nhúng. Để nâng cao chất lượng của watermark, chúng tôi đề xuất hàm sửa lỗi dựa trên N watermark đã rút trích để đạt kết quả tốt hơn.



Hình 3. Sơ đồ rút trích watermark

Đầu vào:

I': ảnh đã nhúng watermark W, *N*: số vùng nhúng watermark W

Đầu ra:

W': watermark rút trích được từ ảnh I'

Các bước thực hiện:

- *Bước 1*: Áp dụng thuật toán SIFT lên ảnh nhúng I' và chọn ra N điểm đặc trưng SIFT có đường kính vùng mô tả lớn hơn hoặc bằng 64 và các vùng mô tả không chồng lắp lên nhau.
- *Bước 2:* Lặp i=1 đến N. Nếu i<=N sang bước 3. Ngược lại sang bước 9.
- *Bước 3:* Chọn vùng SIFT để rút trích watermark. Vùng SIFT được chọn có kích thước 64x64 với tâm là điểm đặc trưng SIFT.
- *Bước 4*: Áp dụng DWT để phân giải vùng SIFT thành bốn băng tần LL', HL', LH', HH' có kích thước 32x32.
- *Bước 5*: Chia băng tần HL', LH' thành các khối có kích thước 4x4, ta thu được tất cả 128 khối. Ứng với mỗi khối, áp dụng chuyển đổi DCT sẽ được ma trận hệ số DCT có kích thước 4x4.
- *Bước 6*: Ứng với mỗi ma trận hệ số DCT có kích thước 4x4, chọn ra tám hệ số tại các vị trí (2,1), (1,2), (1,3), (2, 2), (3,1), (4,1), (3, 2), (2, 3) để xây dựng ma trận M'. Do có 128 ma trận hệ số DCT nên ma trận M' được xây dựng từ các hệ số DCT sẽ có kích thước 32x32.
- *Bước 7*: Áp dụng SVD lên ma trận M' theo công thức sau.

$$SVD(M')=U'*S'*V'^T \quad (8)$$

- *Bước 8*: Trích watermark W_i theo công thức (9), (10). Sau đó quay lại bước 2.

$$S'_w = (S' - S)/\alpha \quad (9)$$

$$W_i=U_w*S'_w*V_w^T \quad (10)$$

- *Bước 9*: Sửa lỗi watermark theo công thức sau:

$$W_{(i,j)} = \frac{(W_{1(i,j)} + W_{2(i,j)} + \cdots + W_{N(i,j)})}{N} \ (với\ i,j = \overline{1,32}) \quad (11)$$

$$W'_{(i,j)} = \begin{cases} 1\ nếu\ W_{(i,j)} \geq 0.5 \\ 0\ nếu\ ngược\ lại \end{cases} \ (với\ i,j = \overline{1,32}) \quad (12)$$

IV. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng các ảnh mức xám "Babara", "Baboon", "Blonde", "Boat", "Lena", "Pirate" có kích thước 512x512 làm tập dữ liệu thực nghiệm. Ảnh logo nhị phân của Trường Đại học Trà Vinh (TVU, viết tắt của TraVinh University) có kích thước 32x32 được dùng làm watermark.

Hình 4. Các ảnh dùng trong thực nghiệm

Để đánh giá hiệu quả của giải pháp đề xuất, chúng tôi sử dụng PSNR (peak signal-to-noise ratio) và NCC (normalized correlation coefficient). PSNR được sử dụng để đo lường tính không cảm thụ của ảnh sau khi nhúng watermark, tức chất lượng của ảnh đã nhúng watermark. Giá trị của PSNR cao tức chất lượng ảnh nhúng watermark càng tốt. Thường thì giá trị của PSRN lớn hơn 39dB sẽ chấp nhận được vì ở giá trị này thì mắt người sẽ không thể phân biệt được sự thay đổi của ảnh nhúng watermark so với ảnh gốc. NCC thường được sử dụng để đánh giá sự giống nhau giữa watermark gốc và watermark sau khi rút trích. NCC cũng được sử dụng để đo lường độ mạnh của thuật toán trước các tấn công. Để cân bằng giữa chất lượng ảnh sau khi nhúng và tính bền vững của watermark, trong thực nghiệm chúng tôi chọn giá trị của N=9, giá trị α=0.05 để so sánh với các giải pháp trước đây.

Công thức tính PSNR:

$$PSNR = 10\log\left[\frac{512\times512}{\sum_{i=1}^{512}\sum_{j=1}^{512}[I(i,j)-I_W(i,j)]^2}\right] \quad (13)$$

Trong đó:

I: là ảnh gốc, I_w: là ảnh đã nhúng watermark, *(i, j)*: vị trí của điểm ảnh.

Công thức tính NCC:

$$NCC = \frac{\sum_{i=1}^{32}\sum_{j=1}^{32}W(i,j)\times W\prime(i,j)}{\sum_{i=1}^{32}\sum_{j=1}^{32}W(i,j)\times W(i,j)} \quad (14)$$

Trong đó:

W: watermark gốc, *W'*: là watermark rút trích được từ ảnh nhúng watermark, *(i, j)*: vị trí của điểm ảnh.

Bảng 1. Giá trị PSNR và NCC khi chưa tấn công trên các ảnh

	Babara	Baboon	Blonde	Boat	Lena	Pirate
PSNR (dB)	90.18	90.66	89.55	90.18	90.34	90.21
NCC	0.9990	0.9893	1.0000	0.9883	1.0000	1.0000

Bảng 1 trình bày kết quả thực nghiệm trên các ảnh. Kết quả cho thấy chất lượng ảnh sau khi nhúng watermark cao (trên 90dB) và giá trị của NCC trên các ảnh Blonde, Lena, Pirate là 1, nghĩa là watermark được rút trích giống như watermark trước khi nhúng.

Bảng 2. Giá trị PSNR và NCC khi chưa tấn công trên ảnh Lena

	Liu and Tan [8]	Fazli and Moeini [14]	Xiao Zhou et al. [16]	Wan-Li Lyu et al. [6]	Giải pháp đề xuất
PSNR (dB)	53.83	101.97	101.97	84.67	90.34
NCC	1.0000	0.9603	0.9724	0.9820	1.0000

Bảng 2 so sánh kết quả thực nghiệm với các giải pháp khác trên ảnh Lena. Kết quả thực nghiệm cho thấy giải pháp đề xuất cho chất lượng ảnh sau khi nhúng cao hơn (PSNR=90.34), NCC lớn hơn hoặc bằng khi so với [6], [8]. Còn so với [14], [16] thì giá trị PSNR thấp hơn một chút nhưng độ bền vững tốt hơn (NCC=1).

Hình 5. Các dạng tấn công và watermark được rút trích sau tấn công.

Bảng 3. Giá trị NCC của watermark được rút trích dưới những tấn công khác nhau

Attacks	Liu and Tan [8]	Fazli and Moeini [14]	Xiao Zhou et al. [16]	Wan-Li Lyu et al. [6]	Giải pháp đề xuất
salt & peper noise 0.001				0.9803	0.9990
salt & peper noise 0.005	0.9628	0.9993	0.9988	0.9698	0.9990
salt & peper noise 0.02	-	-	-	0.9282	0.9980
JPEG compression (QF=50)	-	-	-	-	0.9971
JPEG compression (QF=100)	-	-	-	0.9818	1.0000

Gaussian filtering 3x3 (0.05)	-	-	-	0.9818	0.9941
Gaussian filtering 3x3 (0.1)	-	-	-	0.9818	0.9932
Gaussian filtering 3x3 (0.2)	-	-	-	0.9818	0.9941
Rotation (2^0)	-	-	-	0.9396	1.0000
Rotation (5^0)	0.8223	1	0.9897	0.9308	1.0000
Rotation (10^0)	-	-	-	0.8861	0.9990
Cropping (25% from Left Up Corner)	-	-	-	0.9743	0.9980
Center Cropping (50%)	-	-	-	0.9803	1.0000
Center Cropping (75%)	-	-	-	0.9803	0.9980
Median filtering 3x3	0.9321	0.9638	0.9793	0.645	0.9990
Median filtering 5x5	0.8510	0.9621	0.9724	-	0.9971
Average filtering 3x3	0.8987	0.9793	0.9741	-	0.9951
Average filtering 5x5	0.8153	0.9586	0.9690	-	0.9951
Scaling 0.9	-	-	-	0.956	1.0000
Scaling 1.2	-	-	-	0.982	0.9961
Shearing x-0%, y-5%	-	-	-	0.672	0.9883
Brightness +50	-	-	-	-	0.9990
Brightness +100	-	-	-	-	0.9961
Enhance Contrast 1.2	-	-	-	-	0.9941

Bảng 4. Giá trị NCC của watermark được rút trích dưới những tấn công kết hợp

Attacks	Liu and Tan [8]	Fazli and Moeini [14]	Xiao Zhou et al. [16]	Giải pháp đề xuất
Gaussian filtering 3x3 (0.01) + Median filtering 3x3	0.9401	0.9995	0.9971	0.9902
Gaussian filtering 3x3 (0.01) + Average filtering 3x3	0.9716	1.0000	0.9964	0.9951
Salt & peper noise (0.01) + Median filtering 3x3	0.9332	0.9631	0.9793	**0.9990**
Salt & peper noise (0.01) + Average filtering 3x3	0.9647	0.9993	0.9867	0.9951
Scaling 0.5 + JPEG compression (QF=50)	0.9462	0.9621	0.9707	**0.9990**
Scaling 2.0 + JPEG compression (QF=50)	0.8942	0.9621	0.9724	**0.9902**
JPEG compression (QF=50) + Cropping (25%)	0.9485	0.8086	0.8569	**0.9922**
Median filtering 3x3 + JPEG compression (QF=50)	0.9455	0.9569	0.9707	**0.9990**
Average filtering 3x3 + JPEG compression (QF=50)	0.8885	0.9707	0.9759	**0.9922**
Trung bình	**0.9369**	**0.958**	**0.9673**	**0.9947**

Kết quả trong bảng 3 cho thấy giải pháp đề xuất mạnh hơn đối với các loại tấn công, đặc biệt là các dạng tấn công làm thay đổi tỷ lệ, phép quay. Còn bảng 4 cho thấy độ bền vững của watermark trước các tấn công kết hợp. Kết quả thực nghiệm chỉ ra giải pháp đề xuất có độ bền vững cao hơn các giải pháp trước đối với một số loại tấn công, một số khác thì thấp hơn một chút. Tuy nhiên, trung bình lại, giá trị NCC của giải pháp đề xuất (0.9947) cao hơn tất cả các giải pháp được so sánh.

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một thuật toán thủy vân ảnh số mạnh được đề xuất để bảo vệ bản quyền ảnh số. Giải pháp đề xuất cho chất lượng ảnh sau khi nhúng cao và mạnh đối với các tấn công trên ảnh. Trong giải pháp đề xuất, N vùng SIFT không chồng lắp nhau được sử dụng để nhúng watermark. Để tăng độ mạnh cho thuật toán, việc kết hợp DWT, DCT và SVD để nhúng watermark đã được thực hiện. Kết quả thực nghiệm cho thấy giải pháp đề xuất cho chất lượng ảnh tốt hơn và mạnh hơn trước các tấn công khi so sánh với các giải pháp trước đây.

VI. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] V. S. Verma and R. K. Jha, "An Overview of Robust Digital Image Watermarking," *IETE Technical Review*, Jun. 2015.

[2] I. Cox, M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich, and T. Kalker, *Digital Watermarking and Steganography*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2007.

[3] A. Khan, A. Siddiqa, S. Munib, and S. A. Malik, "A recent survey of reversible watermarking techniques," *Information Sciences*, vol. 279, pp. 251–272, Sep. 2014.

[4] A. Bamatraf, R. Ibrahim, and M. N. B. M. Salleh, "Digital watermarking algorithm using LSB," in *2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, 2010, pp. 155–159.

[5] F. Ernawan and M. N. Kabir, "A Robust Image Watermarking Technique With an Optimal DCT-Psychovisual Threshold," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 20464–20480, 2018.

[6] W.-L. Lyu, C.-C. Chang, N. T.S, and C.-C. Lin, "Image Watermarking Scheme Based on Scale-Invariant Feature Transform," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 8, no. 10, Oct. 2014.

[7] V. Aslantas, "An optimal robust digital image watermarking based on SVD using differential evolution algorithm," *Optics Communications*, vol. 282, no. 5, pp. 769–777, Mar. 2009.

[8] Ruizhen Liu and Tieniu Tan, "An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 4, no. 1, pp. 121–128, Mar. 2002.

[9] Q. Su, Y. Niu, H. Zou, and X. Liu, "A blind dual color images watermarking based on singular value decomposition," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 219, no. 16, pp. 8455–8466, Apr. 2013.

[10] S. Roy and A. K. Pal, "A robust blind hybrid image watermarking scheme in RDWT-DCT domain using Arnold scrambling," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 3, pp. 3577–3616, Feb. 2017.

[11] A. Mishra, C. Agarwal, A. Sharma, and P. Bedi, "Optimized gray-scale image watermarking using DWT–SVD and Firefly Algorithm," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 17, pp. 7858–7867, Dec. 2014.

[12] C.-C. Lai and C.-C. Tsai, "Digital Image Watermarking Using Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, no. 11, pp. 3060–3063, Nov. 2010.

[13] D. Singh and S. K. Singh, "DWT-SVD and DCT based robust and blind watermarking scheme for copyright protection," *Multimed Tools Appl*, vol. 76, no. 11, pp. 13001–13024, Jun. 2017.

[14] S. Fazli and M. Moeini, "A robust image watermarking method based on DWT, DCT, and SVD using a new technique for correction of main geometric attacks," *Optik*, vol. 127, no. 2, pp. 964–972, Jan. 2016.

[15] A. K. Singh, M. Dave, and A. Mohan, "Hybrid Technique for Robust and Imperceptible Image Watermarking in DWT–DCT–SVD Domain," *National Academy Science Letters*, vol. 37, no. 4, pp. 351–358, Aug. 2014.

[16] X. Zhou, H. Zhang, and C. Wang, "A Robust Image Watermarking Technique Based on DWT, APDCBT, and SVD," *Symmetry*, vol. 10, no. 3, p. 77, Mar. 2018.

[17] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, Nov. 2004.

A ROBUST DIGITAL IMAGE WATERMARKING ALGORITHM BASED ON DWT, DCT, SVD AND SIFT FEATURE

Vo Thanh C, Vo Phuoc Hung, Tram Hoang Nam, Nguyen Thai Son, Do Thanh Nghi

ABSTRACT— *Nowadays, with the rapid development of Internet, transmission digital data such as image, video and text on Internet is convenient. Protecting the integrity and the copyright of digital data is impotant increasingly. In this paper, a robust watermarking algorithm based on DWT-DCT-SVD and SIFT mechanisms is proposed to protect digital image copyright. In the proposed scheme, the SIFT features of the cover image is determined and used for embeding watermark. Experimental results demonstrated that the quality of watermarked images is better; more robustness against various attacks. Moreover, watermark can be extracted correctly from watermarked images without requiring the original version of the cover images.*