

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KỸ THUẬT THỦY VÂN BỀN VỮNG TRÊN NHỮNG MIỀN TẦN SỐ KẾT HỢP

Lê Danh Tài*, Tống Minh Đức*, Tạ Minh Thanh*

* Học Viện Kỹ Thuật Quân Sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

Tóm tắt: Trong bài báo này, tác giả đề xuất lược đồ thủy vân mù (blind watermarking) áp dụng cho ảnh số sử dụng biến đổi DWT (Discrete Wavelet Transform) kết hợp DCT (Discrete Cosine Transform) và SVD (Singular Value Decomposition) dựa trên thống kê. Ý tưởng chính là sử dụng các phép biến đổi DWT kết hợp DCT, SVD biến đổi ảnh số sang miền tần số kết hợp (miền tần số tích chập), thực hiện nhúng nhiều lần các bit nhị phân của một logo bản quyền hoặc thông tin mật vào trong các vùng khác nhau của dữ liệu ảnh. Ngược lại, kỹ thuật trích rút dữ liệu đã ẩn giấu chỉ sử dụng thông tin là ảnh đã được nhúng dữ liệu, được thực hiện dựa trên thống kê tần suất của các bit (0 hoặc 1) trích ra, với bit có tần suất càng cao thì tỉ lệ trích rút chính xác càng lớn. Từ đó, tăng tỉ lệ trích rút thành công các bit được ẩn giấu. Đồng thời tăng cường tính bền vững của dữ liệu được nhúng để chống lại các phép tấn công thủy vân phổ biến như tấn công nhiễu, tấn công nén jpeg, tấn công clipping... Việc khảo sát đánh giá kết quả của lược đồ thủy vân dựa trên các biến đổi tần số DWT, DCT kết hợp SVD sử dụng độ đo PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) để đánh giá chất lượng ảnh trước và sau khi nhúng và độ đo NCC (Normalized Cross-Correlation) để đo độ bền vững của logo trước và sau khi trích rút ra.

Từ khóa: DWT, DCT, SVD, Thủy vân ảnh số, Thủy vân mù, Bảo vệ bản quyền.

Tác giả liên hệ: Lê Danh Tài,
Email: ledanhtai@lqdtu.edu.vn
Đến tòa soạn: 01/2022, chỉnh sửa: 3/2022,
chấp nhận đăng: 4/2022.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

A. Giới thiệu bài toán

Ngày nay, sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin, các sản phẩm đa phương tiện như âm thanh, video, hình ảnh và văn bản được sản xuất một cách nhanh chóng phục vụ nhu cầu giải trí và thương mại. Các sản phẩm đó đem lại nguồn thu nhập khổng lồ cho các nhà sản xuất cũng như người sở hữu chúng. Tuy nhiên, với công nghệ hiện nay, người dùng dễ dàng sao chép, chia sẻ và sửa đổi các sản phẩm đa phương tiện. Hành động sao chép, sửa đổi, chia sẻ khi chưa được phép của tác giả, của người sở hữu hợp pháp là vi phạm luật bản quyền sản phẩm số. Điều này dẫn đến các tranh chấp pháp lý về quyền tác giả, quyền sở hữu hợp pháp đối với sản phẩm đa phương tiện. Vì vậy, những người tạo ra hoặc sở hữu hợp pháp các sản phẩm số này muốn bảo vệ bản quyền sản phẩm của họ bằng cách ẩn giấu thêm thông tin bảo mật, chống lại sao chép, sửa đổi, phân tán bất hợp pháp.

Thủy vân số - Digital Watermarking [1][2] là một giải pháp kỹ thuật cho nhu cầu bảo vệ bản quyền sản phẩm kỹ thuật số. Thông tin bản quyền (như logo, thông tin tác giả, chữ ký điện tử...) được nhúng vào dữ liệu đa phương tiện, mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng của dữ liệu gốc. Ngược lại, thông tin bản quyền có thể được trích rút dựa vào khóa bí mật. Từ đó, chứng minh quyền sở hữu hợp pháp đối với sản phẩm số. Tuy nhiên, kỹ thuật thủy vân phải đảm bảo được tính ẩn, tức là không làm ảnh hưởng tới chất lượng dữ liệu gốc, cũng như tính bền vững của thông tin ẩn giấu trước các tấn công thông thường.

B. Nghiên cứu liên quan

Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã đề xuất các kỹ thuật thủy vân bền vững ứng dụng trong bảo

vệ bản quyền sản phẩm số. Nghiên cứu của M.Saidi và cộng sự [4] đề xuất giấu tin dựa trên biến đổi DCT và Chaotic Map. Các tác giả biến đổi DCT ảnh đầu vào, sử dụng các hệ số DCT trung bình và nhỏ để nhúng thông tin mật theo thứ tự zigzag kết hợp tham số Δ . Giá trị Δ giúp đảm bảo giữ được năng lượng của khối DCT, từ đó hạn chế mất thông tin trong quá trình trích rút.

D. Asatryan và M. Khalili [8] đề xuất một lược đồ thủy văn dựa trên biến đổi DWT và biến đổi Arnold cho bảo vệ bản quyền. Ảnh số được biến đổi DWT ba mức độ cho một kênh màu. Sau đó, nhúng thông tin bản quyền lên miền con LL3. Các thí nghiệm thực hiện trên các không gian màu khác nhau: RGB, YIQ, HSV, YCrCb,... và so sánh hiệu quả của các không gian màu.

D. G. Savakar và A. Ghuli [5] đã đề xuất lược đồ thủy văn lai ghép giữa lược đồ thủy văn mù (blind watermarking) và lược đồ thủy văn không mù (non-blind watermarking). Các kỹ thuật nhúng sử dụng biến đổi tần số DWT và hệ số α . Kỹ thuật đề xuất chống được một số phép tấn công thủy văn phổ biến như xoay ảnh, nén JPEG, thêm nhiễu (Salt Pepper, Gaussian, Spkecle, Poision).

A. K. Abdulrahman và cộng sự [9] đề xuất phương pháp thủy văn sử dụng lai ghép giữa DCT và DWT. Trong đó, tác giả biến đổi đồng thời DCT và DWT cho cả 3 kênh màu (R, G, B) của ảnh gốc I thu được 12 miền con LL, LH, HL, HH tương ứng. Logo bản quyền W được xáo trộn theo biến đổi Arnold. Tiếp theo, thực hiện DCT, biến đổi thành logo mới có kích thước $512 \times 512 \times 3$ (tương ứng 3 kênh màu). Cuối cùng, mỗi kênh màu tạo ra 4 ma trận 512×512 tương ứng với 4 miền con của biến đổi DWT. Để nhúng thủy văn, tác giả sử dụng công thức *alpha blending*: $\hat{I} = I + k * W$. Tuy nhiên, để trích rút thông tin ẩn giấu, cần phải có thêm thông tin là ảnh gốc. Với phương pháp này, lược đồ đề xuất phụ thuộc vào hệ số tỉ lệ k . Đồng thời, việc trích rút thông tin cần yêu cầu dữ liệu ảnh gốc.

M. Hariharalakshmi [3] và các cộng sự đã sử dụng miền tần số kết hợp CWT-SVD cho thủy văn ảnh số. Quá trình xử lý, tác giả tìm cách tính trọng số nhúng tối ưu và sử dụng công thức *alpha blending* để nhúng thông tin. Trước tiên, tác giả áp dụng CWT, sau đó tìm trọng số nhúng tối ưu sử dụng tìm kiếm Cuckoo (Cockoo search). Tiếp theo áp dụng SVD và công thức nhúng $S_w = S + \alpha * W$. Tuy nhiên, với phương pháp này thì việc tìm được trọng số α đòi hỏi thời gian tính toán nhiều hơn do áp dụng tìm

kiếm Cockoo.

Hwang và cộng sự [14] đã sử dụng SVD kết hợp với kỹ thuật điều chế chỉ mục lượng tử QIM (Quantization Index Modulation) đề xuất thuật toán thủy văn mù cho dữ liệu âm thanh. Đây là một giải pháp hợp lý và phù hợp với thực tiễn. Bởi tính khách quan của dữ liệu trích rút, phương pháp hoàn toàn không cần thêm thông tin gì ngoài ảnh đã thủy văn. Ngoài ra, sử dụng SVD là một hướng nghiên cứu đang được phát triển để giảm dữ liệu đầu vào, áp dụng cho các ứng dụng thực tế.

Soumitra Roy và cộng sự [15] đề xuất lược đồ thủy văn trên miền tần số kết hợp DCT-SVD. Trong đề xuất của mình, Roy sử dụng ma trận S tác động lên ma trận W (thông tin cần nhúng) theo phương trình: $S + \alpha * W = U_W S W V_W^T$. Tuy nhiên, đối với phương pháp nhúng này, Roy phải lưu trữ lại các ma trận U_W và V_W^T để phục vụ cho quá trình trích rút dữ liệu sau này. Điều này đòi hỏi lưu trữ lớn khi xử lý với tập dữ liệu có số lượng ảnh lớn.

Ở trong nước, các tác giả Nguyễn Văn Tảo, Bùi Thế Hồng [18] đề xuất giải pháp thủy văn bền vững kết hợp hướng tiếp cận theo miền không gian và hướng tiếp cận theo miền tần số. Các tác giả sử dụng biến DWT và kỹ thuật thủy văn sử dụng ma trận giả ngẫu nhiên. Kết quả thí nghiệm với nhiều hệ số k (hệ số tỉ lệ giữa tính ẩn và tính bền vững của thủy văn) tìm ra được hệ số cho kết quả tốt là giải pháp thủy văn có độ bền vững cao trước các tấn công thông thường. Tuy nhiên, phương pháp cũng có hạn chế là làm giảm 2 lần số bit thủy văn có thể nhúng do sử dụng biến đổi DWT và chỉ sử dụng 1 dải tần số con cho thủy văn.

Tác giả Ngô Văn Sỹ và các cộng sự [17] cũng ứng dụng DWT cho kỹ thuật thủy văn trong bảo vệ bản quyền ảnh màu. Trong nghiên cứu, các tác giả đề xuất giải pháp thủy văn sử dụng biến đổi DWT nhiều mức. Ảnh ban đầu RGB được chuyển sang không gian màu *Lab*. Sau đó, áp dụng biến đổi DWT mức 1 cho thành phần L , tiếp theo sử dụng dải tần số LL để thực hiện biến đổi DWT mức 2 và thực hiện cho đến khi đạt được kết quả mong muốn. Cuối cùng, ở bước nhúng thông tin, các tác giả sử dụng công thức nhúng *alpha blending* $\hat{E} = E + \alpha * W$ với giá trị α để điều chỉnh chất lượng ảnh đầu ra.

Gần đây, tác giả Nguyễn Hiếu Cường và Cao Thị Luyện [19] tiến hành đề xuất lược đồ thủy văn rỗng (zero-watermarking) sử dụng các phép biến đổi DWT, DCT, và SVD. Ở trong lược đồ đề xuất, DWT được biến đổi ở mức 2 và sử dụng phần hệ số thấp

L cho biến đổi SVD thu được ma trận đường chéo S làm đầu vào cho biến đổi DCT ở bước tiếp theo. Trong phần mã hóa (nhúng thông tin) thì các tác giả so sánh tương quan giá trị giữa các vị trí trong ma trận DCT thu được, hình thành một chuỗi khóa K rồi tiến hành XOR với chuỗi thủy vân W . Tuy nhiên, khi làm việc với những ảnh có kích thước lớn thì tốc độ thuật toán sẽ bị ảnh hưởng nhiều.

Qua một số nghiên cứu của các tác giả, kỹ thuật thủy vân số dựa trên miền tần số sử dụng riêng lẻ biến đổi DCT hoặc DWT hoặc SVD hoặc kết hợp DCT-DWT là những giải pháp có nhiều ưu điểm. Đề xuất của Hwang [14] sử dụng biến đổi SVD là thủy vân mù. Các tác giả khác dùng biến đổi DCT, DWT và DCT-DWT đều đề xuất phương pháp thủy vân bán mù (semi-blind watermarking) dựa trên công thức *alpha blending* hoặc kỹ thuật điều chế chỉ số lượng tử QIM Khi trích rút, ngoài ảnh mang thông tin phải cần thêm thông tin là ảnh mang ban đầu hoặc thông tin logo mật ban đầu hỗ trợ. Vì vậy giảm đi tính khách quan trong thực tế.

C. Các đóng góp mới của bài báo

Qua phân tích các nghiên cứu trước đây, các kỹ thuật thủy vân sử dụng biến đổi DCT, DWT, SVD riêng lẻ thỏa mãn được tính ẩn hay tính khó nhận biết (Imperceptibility), tính bền vững (Robustness), độ phức tạp tính toán thấp. Do vậy, câu hỏi đặt ra là khi kết hợp các biến đổi trên thành miền tần số kết hợp hay miền tần số tích chập thì các tính chất trên của thủy vân liệu có còn đảm bảo? Nội dung bài báo này triển khai các giải pháp để đánh giá hiệu quả của các giải pháp thủy vân bền vững trên miền tần số tích chập. Một số đóng góp mới trong bài báo như sau:

- Chúng tôi đề xuất lược đồ thủy vân cho ảnh số trên các miền tần số tích chập mới DWT1D-DCT (One Level DWT - DWT1D), DWT2D-DCT (Two Level DWT - DWT2D), DWT1D-SVD, DWT2D-SVD, DCT-SVD để đánh giá hiệu quả của các miền tần số tích chập đến các phương pháp thủy vân bền vững.
- Cải tiến kỹ thuật nhúng thông tin theo ý tưởng mới nhằm tăng cường tính bền vững của thông tin giấu trên miền tần số. Ở giai đoạn nhúng, chúng tôi thực hiện nhúng lặp lại nhiều lần các bit dữ liệu lên trên các kênh màu hoặc các vùng dữ liệu khác nhau mà vẫn đảm bảo chất lượng của chúng (cụ thể, thực hiện nhúng cùng 1 bit dữ liệu mật lên 3 kênh màu tương ứng). Ở giai

đoạn trích rút thông tin ẩn sẽ được thực hiện dựa trên thống kê tần suất của các bit thu được.

- Từ kết quả thực hiện trên miền tần số tích chập, chúng tôi đánh giá và so sánh được hiệu quả của miền tần số tích chập đề xuất mới có ưu điểm hơn những miền tần số đã được đề xuất trước đây.

Qua thực hiện các thí nghiệm, các miền tần số tích chập mới đề xuất của chúng tôi cho kết quả nhúng tốt và ít ảnh hưởng tới thông tin nhúng. Ngoài ra, thuật toán nhúng tăng cường độ bền vững của ảnh nhúng đạt hiệu quả cao trước một số tấn công thủy vân thường gặp, đồng thời có độ phức tạp tính toán thấp, dễ áp dụng cho nhiều định dạng ảnh. Các thí nghiệm đánh giá hiệu quả của các lược đồ thủy vân sử dụng hai độ đo chính là PSNR và NCC.

D. Bố cục bài báo

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần II giới thiệu về các kỹ thuật biến đổi ảnh trên miền tần số. Phần III trình bày lược đồ thủy vân trên miền tần số tích chập đề xuất. Kết quả thí nghiệm đánh giá, so sánh với lược đồ thủy vân đã đề xuất và các kỹ thuật trước đây được trình bày ở phần IV. Phần V là kết luận đối với lược đồ đề xuất.

II. KỸ THUẬT BIẾN ĐỔI ẢNH TRÊN MIỀN TẦN SỐ

A. Biến đổi Cosine rời rạc DCT

Biến đổi Cosine rời rạc DCT (Discrete Cosine Transform) [4][6][7][10][11][12][15] được sử dụng nhiều trong thủy vân ảnh số. Nó chuyển đổi các tín hiệu hình ảnh từ miền không gian sang miền tần số và ngược lại mà không gây tổn hao chất lượng, hoặc rất ít. Ở đây, chỉ xét biến đổi DCT 2 chiều (2D-DCT hoặc ngắn gọn là DCT) và biến đổi ngược của nó (iDCT). Khi thực hiện DCT, ma trận điểm ảnh thường được chia thành các khối có kích thước 4×4 , 8×8 , 16×16 , nhằm giảm thời gian tính toán, tăng độ chính xác.

B. Biến đổi Wavelet rời rạc DWT

Kỹ thuật biến đổi Wavelet rời rạc DWT (Discrete Wavelet Transform) được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng xử lý ảnh, xử lý tín hiệu, Đặc điểm quan trọng của biến đổi DWT là được sử dụng để phân tích toán học và vật lý một tín hiệu về dạng cơ bản và có thể thực hiện tái tạo đạt độ chính xác cao [6][10].

Biến đổi DWT với ảnh số [8][9][10][13][16] là

phân tích ma trận điểm ảnh thành bốn vùng con riêng biệt LL1, LH1, HL1, HH1 ở các mức tần số thấp, trung bình và cao tương ứng (biến đổi DWT mức 1 - DWT1D). Trong đó, L – biểu diễn giá trị lọc tần số thấp, H – biểu thị giá trị lọc tần số cao. Vùng con LH1 có xu hướng tách ra các đặc tính hàng ngang, trong khi vùng con HL1 có xu hướng tách ra các đặc tính hàng dọc trong ảnh. Vùng con tần số thấp LL1 chứa gần như toàn bộ năng lượng của tín hiệu hình ảnh. Trong khi vùng con tần số cao HH1 chứa các thông tin về kết cấu, cạnh và đường viền của ảnh. Biến đổi DWT có thể tiếp tục áp dụng cho các ma trận miền con tạo thành LL2, LH2, HL2, HH2 (biến đổi DWT mức 2 - DWT2D).

C. Biến đổi Singular Value Decomposition

Biến đổi Singular Value Decomposition (SVD) là phương pháp phân tích ma trận thành 3 ma trận khác nhau (matrix decomposition). SVD được ứng dụng nhiều trong xử lý ảnh, xử lý dữ liệu nhằm giảm số chiều, nén dữ liệu và đặc biệt ứng dụng trong kỹ thuật thủy vân số [12][14][15][19].

Xét ma trận điểm ảnh A có kích thước $m \times n$. Sử dụng SVD, ma trận A được phân tích thành 3 ma trận U, S, V^T theo công thức tổng quát (1):

$$A = USV^T, \quad (1)$$

trong đó, U và V^T là các ma trận trực giao có kích thước lần lượt là $m \times m$ và $n \times n$, S là ma trận đường chéo có kích thước $m \times n$ (Nếu $m = n$ thì S là ma trận đường chéo vuông) với các phần tử trên đường chéo $\{\lambda_{(i,i)}\}$ có giá trị không âm được sắp xếp giảm dần, gọi là các giá trị *singular values* (SVs) thỏa mãn: $\lambda_{(1,1)} \geq \lambda_{(2,2)} \geq \dots \geq \lambda_{(r,r)} \geq 0$ và tất cả các phần tử khác đều $= 0$. Với r là rank của ma trận S , thông thường $r = \min(m, n)$.

Trong biến đổi SVD đối với ảnh số [15][19], ma trận đường chéo S có tính ổn định cao. Có nghĩa là khi có sự thay đổi nhỏ trên ảnh thì ma trận S ít bị ảnh hưởng. Do đó, S được sử dụng để nhúng thủy vân có khả năng chống lại một số tấn công biến đổi ảnh thông thường.

III. ĐỀ XUẤT LƯỢC ĐỒ NHÚNG VÀ TRÍCH RÚT THỦY VÂN

Qua khảo sát một số nghiên cứu trước đây, ở giai đoạn trích rút thủy vân, ngoài ảnh chứa thông tin ẩn giấu và khóa *key* thì còn cần thêm các *thông tin* rõ khác như ảnh gốc, ma trận chứa một phần thông tin mật (logo), thậm chí có những lược đồ đòi hỏi chính

là các thông tin ẩn giấu gốc thì mới có thể trích rút ra được thông tin ẩn. Trong một số ứng dụng thực tế thì điều này không khách quan và đòi hỏi việc lưu trữ lớn.

Trong bài báo này, đề xuất lược đồ dựa trên kỹ thuật thủy vân mù, tức là cần ít nhất thông tin (ảnh chứa thông tin ẩn và khóa *key*) để trích rút được dữ liệu đã ẩn giấu. Kỹ thuật này phù hợp với thực tế và giảm khối lượng lưu trữ mà vẫn đảm bảo tính ẩn, tính bền vững của thủy vân.

Ý tưởng chính của lược đồ đưa ra là kết hợp các phép biến đổi trên miền tần số tích chập với phương pháp nhúng thông tin mật nhiều lần theo quy luật. Ngược lại, việc trích rút chỉ sử dụng duy nhất ảnh chứa thông tin ẩn giấu và khóa *key*, được thực hiện kết hợp thông kê tần suất các bit thu được để tăng xác suất trích rút chính xác. Kỹ thuật thủy vân đề xuất được chia làm hai giai đoạn: giai đoạn 1 là nhúng thông tin mật, giai đoạn 2 là trích rút thông tin mật từ ảnh dữ liệu đầu vào (ảnh đã giấu dữ liệu chưa bị hoặc ảnh bị tấn công thủy vân). Ý tưởng của lược đồ thủy vân như sau:

+ Ở giai đoạn nhúng thủy vân: Trên mỗi kênh màu *ch* của ảnh mang đầu vào sẽ được chuyển đổi về miền tần số kết hợp nhờ sử dụng các phép biến đổi DWT, DCT Hình 1. Trước tiên, áp dụng biến đổi DWT2D (DWT lần 1 cho toàn bộ ma trận giá trị điểm ảnh của kênh màu *ch*, thu được 4 miền con LL1, LH1, HL1, HH1. Lựa chọn HL1 để áp dụng DWT lần 2 thu được 4 miền con LL2, LH2, HL2, HH2). Tiếp theo, chọn băng con HL2 để chia thành các khối có kích thước 4x4 để áp dụng biến đổi DCT. Sau đó, trên mỗi giá trị $E(i, j, ch)$ (giá trị tại vị trí [0,0] của ma trận DCT tương ứng kênh màu *ch*) sẽ được nhúng vào cùng một bit dữ liệu mật. Nghĩa là, bit dữ liệu mật w_k được nhúng lần lượt vào từng giá trị của ba kênh màu tương ứng. Như vậy, một bit w_k được nhúng 3 lần. Việc nhúng bit w_k vào $E(i, j, ch)$ được thực hiện dựa theo công thức (2):

$$\hat{E}(i, j, ch) = \begin{cases} (\lfloor \frac{E(i, j, ch) * Q}{2} \rfloor * 2) / Q & \text{Nếu } w_k = 1 \\ (\lfloor \frac{E(i, j, ch) * Q + 1}{2} \rfloor * 2 - 1) / Q & \text{Nếu } w_k = 0 \end{cases} \quad (2)$$

trong đó, $E(i, j, ch)$ là giá trị DCT tại vị trí [0,0, *ch*], $\hat{E}(i, j, ch)$ là giá trị DCT nhận được sau khi nhúng tại vị trí [0,0, *ch*] của kênh màu *ch*; w_k là bit thông tin mật cần giấu; Q là trọng số nhúng thỏa mãn: $Q > 0$.

+ Ở giai đoạn trích rút thủy vân: thực hiện trích rút và thống kê tần suất bit rút được trên mỗi điểm

ảnh với các kênh màu tương ứng. Do trên mỗi kênh màu đều được nhúng vào cùng một bit thông tin. Vì vậy, thực hiện thống kê tần suất của giá trị bit (0 hoặc 1) được trích ra, bit nào có tần suất lớn hơn 50% thì đó là bit cần được trích rút.

Thống kê bit trích rút được theo công thức (3):

$$votes = \begin{cases} votes + 1, & \text{Nếu } \lfloor (\hat{E}(i, j, ch) * Q) \rfloor / 2 = 0 \\ 0 & \text{Ngược lại} \end{cases} \quad (3)$$

Để xác định bit trích rút sử dụng công thức (4):

$$\hat{w}_k = \begin{cases} 1 & \text{Nếu } votes > \alpha \\ 0 & \text{Ngược lại} \end{cases} \quad (4)$$

trong đó, $votes$ là biến đếm số lần xuất hiện của bit mật được trích rút; α là hệ số thống kê, thông thường $\alpha > 1.5$ hoặc 50%.

A. Quá trình nhúng thủy vân

Quá trình nhúng thủy vân thực hiện biến đổi DWT2D và DCT đối với ảnh ban đầu I . Thông tin mật cần giấu là logo W được biểu diễn ở dạng chuỗi nhị phân $w_k \in \{0, 1\}$, với w_k là bit thứ k của chuỗi. Sau đó, sử dụng công thức (2) để thực hiện nhúng thủy vân W vào trong I . Hình 1 miêu tả các bước của quá trình nhúng thủy vân, cụ thể:

Bước 1: Đối với mỗi kênh màu ch của ảnh đầu vào I , lần lượt thực hiện biến đổi DWT lần 1 thu được (LL1, (LH1, HL1, HH1)) tương ứng.

Bước 2: Thực hiện biến đổi DWT lần 2 đối với HL1 trên mỗi kênh màu, thu được (LL2, (LH2, HL2, HH2)) tương ứng.

Bước 3: Chia HL2 thành các block 4x4 thực hiện DCT đối với mỗi block. Thu được ma trận các hệ số $\hat{E}(i, j, ch)$

Bước 4: Thực hiện nhúng thủy vân w_k vào trong $\hat{E}(i, j, ch)$ theo công thức (2). w_k được nhúng lần lượt trên $\hat{E}(i, j, ch)$ của ba kênh màu thu được $\hat{E}(i, j, ch)$ tương ứng.

Bước 5: Thực hiện iDCT đối với mỗi block $\hat{E}(i, j, ch)$ thu được $HL2_-$.

Bước 6: Thực hiện iDWT đối với (LL2, (LH2, HL2, HH2)) thu được $HL1_-$.

Bước 7: Thực hiện iDWT đối với (LL, (LH, HL1, HH)) thu được $\hat{I}$ là ảnh sau khi nhúng thủy vân.

B. Quá trình trích rút thủy vân

Để trích rút thủy vân được giấu trong ảnh chỉ cần sử dụng duy nhất ảnh đã giấu. Quá trình trích rút

thủy vân được miêu tả chi tiết trong Hình 2. Các bước cụ thể:

Bước 1: Đối với mỗi kênh màu của ảnh đầu vào $\hat{I}$, lần lượt thực hiện biến đổi DWT lần 1 thu được (LL1, (LH1, HL1, HH1)).

Bước 2: Thực hiện biến đổi DWT lần 2 đối với HL1 trên mỗi kênh màu thu được (LL2, (LH2, HL2, HH2)).

Bước 3: Chia HL2 thành các block 4x4 thực hiện DCT đối với mỗi block, thu được ma trận các hệ số $\hat{E}(i, j, ch)$.

Bước 4: Thực hiện lặp đi lặp lại quá trình sau cho tới khi trích rút hết các dữ liệu đã nhúng:

- Gán $votes = 0$

- Thực hiện trích rút bit $temp$ trên cả 3 kênh màu theo công thức (3). Nếu $temp = 1$ thì tăng $votes$ lên 1 đơn vị.

- Kiểm tra $votes$ theo công thức (4). Nếu $votes > \alpha$ thì $\hat{w}_k = 1$, ngược lại thì $\hat{w}_k = 0$. (Thông thường $\alpha > 1.5$ hoặc xét theo tỉ lệ % là $> 50\%$).

Bước 5: Khôi phục logo $\hat{w}$ từ chuỗi $\hat{w}_k$.

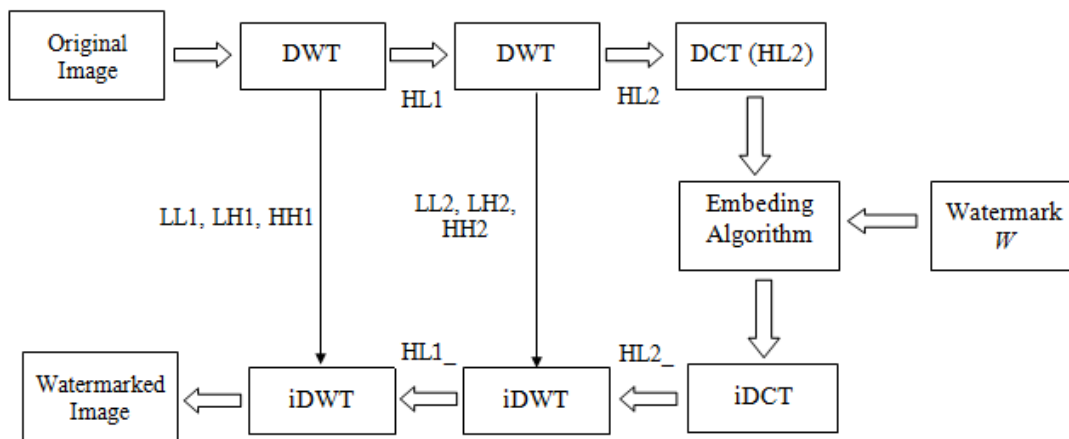
Lược đồ nhúng và trích rút thủy vân đề xuất được thực hiện trên miền tần số với sự kết hợp DWT2D-DCT. Đối với miền tần số DWT2D-SVD, quá trình nhúng và trích rút có thể được tiến hành một cách tương tự, chỉ khác là miền con HL2 được chia thành các khối có kích thước 4x4. Sau đó áp dụng biến đổi SVD và sử dụng giá trị đơn (singular value) tại vị trí $[0, 0, ch]$ của ma trận S để nhúng thông tin.

Đối với các miền tần số kết hợp DWT1D-DCT, DWT1D-SVD, thực hiện biến đổi DWT1D tạo ra các miền con LL1, LH1, HL1, HH1. Chọn miền con HL1 chia thành các khối có kích thước 8x8 và áp dụng biến đổi DCT hoặc SVD tương ứng. Thực hiện nhúng thông tin mật vào giá trị tại vị trí $[0, 0, ch]$ của ma trận DCT hoặc ma trận S tương ứng. Đối với miền tần số kết hợp DCT-SVD, biến đổi DCT được thực hiện trên các khối điểm ảnh có kích thước 4x4. Sau đó lựa chọn giá trị DCT tại vị trí $[0, 0, ch]$ để tạo các ma trận có kích thước 4x4. Tiếp theo áp dụng SVD và cho ma trận 4x4, và nhúng dữ liệu vào giá trị có vị trí $[0, 0, ch]$ của ma trận S . Quá trình nhúng thông tin trong các miền tần số kết hợp trên đều sử dụng công thức (2) và sử dụng công thức (3), (4) để trích rút thông tin.

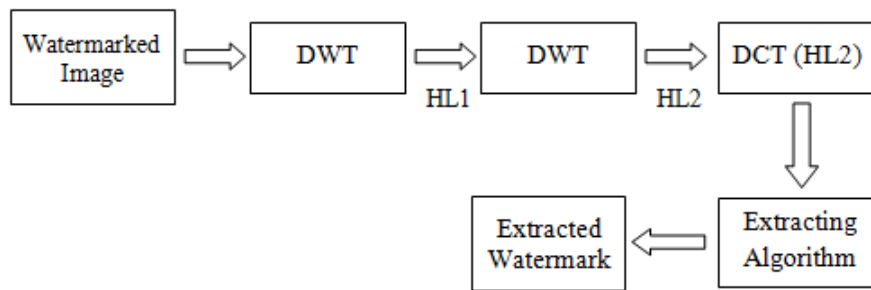
IV. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

A. Môi trường thực nghiệm và công cụ đánh giá

Để đánh giá chất lượng của ảnh sau khi thực hiện nhúng thủy vân, sử dụng công thức tỷ số tín hiệu cực



Hình 1: Lược đồ nhúng thủy vân trên miền tần số kết hợp DWT2D-DCT



Hình 2: Lược đồ trích rút thủy vân trên miền tần số kết hợp DWT2D-DCT

đại trên nhiễu (Peak Signal to Noise Ratio - PSNR) [7][9][12][16]. PSNR được tính bằng công thức:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE} \quad (5)$$

Trong đó:

MAX là giá trị lớn nhất có thể của điểm ảnh. Khi các điểm ảnh được biểu diễn bởi 8 bit, thì giá trị của nó là 255.

MSE (Mean Squared Error) là sai số bình phương trung bình tính trên toàn ảnh tính theo công thức:

$$MSE = \frac{1}{m * n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - \hat{I}(i, j)]^2 \quad (6)$$

Với m, n lần lượt là kích thước của ảnh. $I(i, j)$ là ảnh ban đầu, $\hat{I}(i, j)$ là ảnh đã nhúng thủy vân.

Để đánh giá độ bền vững của thủy vân, thực hiện tính NCC (Normalized Cross-Correlation) của thông tin (logo) được trích rút sau khi bị tấn công thủy vân (biến đổi hình học, thêm nhiễu, nén ảnh, ...) với thông tin (logo) ban đầu. Giá trị của NCC càng gần

giá trị 1.0 thì chứng tỏ độ bền vững của thủy vân càng tốt. Công thức NCC [16] được tính như sau:

$$NCC = \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [W(i, j) \hat{W}(i, j)]}{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [W(i, j)]^2}, \quad (7)$$

Trong đó: $W(i, j)$ là logo ban đầu, $\hat{W}(i, j)$ là logo được trích rút.

Để thực nghiệm, chúng tôi sử dụng máy tính Dell CoreI5 Gen5th, Ram 8Gb, chip 2.4Ghz. Thí nghiệm sử dụng tập hợp gồm 7 ảnh (Hình 3), mỗi ảnh có kích thước 512×512 làm ảnh gốc ban đầu. Logo được sử dụng để nhúng là ảnh nhị phân có kích thước 32×32 . Hệ số $Q > 0$ được thử nghiệm với nhiều giá trị khác nhau để xác định ảnh hưởng của nó tới các lược đồ thủy vân.

Thí nghiệm thực hiện thủy vân theo lược đồ đã đề xuất ở trên DWT2D-DCT. Đồng thời, để tiến hành đánh giá và so sánh hiệu quả, chúng tôi thực hiện thử nghiệm thủy vân với biến đổi DWT kết hợp DCT và



Hình 3: Tập hợp ảnh thí nghiệm (512x512) và logo watermark (32x32)

SVD, bao gồm các miền tần số tích hợp: DWT1D-DCT, DWT1D-SVD, DWT2D-SVD, và DCT-SVD. Đối với mỗi miền tần số trên, kỹ thuật nhúng và trích rút thông tin là giống nhau, chỉ khác nhau ở phần biến đổi dữ liệu sang các miền tần số kết hợp. Sau đó, thực nghiệm so sánh trên các phương pháp kết hợp được đánh giá trên độ đo chính là PSNR và NCC.

Bên cạnh đó, để đánh giá hiệu quả của lược đồ thủy vân đề xuất, chúng tôi đã thực hiện mô phỏng lại lược đồ thủy vân của Soumitra Roy và cộng sự [15]. Ở trong lược đồ của mình, Roy cũng sử dụng miền tần số kết hợp DCT-SVD, tuy nhiên trong kỹ thuật nhúng thì tác giả sử dụng hệ số tỉ lệ α với phép cộng α blending. Đây là phương pháp bắt buộc phải giữ lại một phần thông tin sau khi nhúng (2 ma trận U và V của biến đổi SVD) cùng với dữ liệu ảnh mang ban đầu và ảnh chứa thông tin mật mới có thể khôi phục được thông tin mật đã nhúng. Ngược lại trong phương pháp của chúng tôi, chỉ cần rất ít thông tin là ảnh chứa thông tin mật và hệ số tỉ lệ Q (tương đương α) cũng giúp lấy được thông tin ẩn giấu. Chính vì thế, ở góc độ thực tế khách quan thì lược đồ của chúng tôi đạt được độ tin tưởng tốt hơn.

B. So sánh và đánh giá chất lượng ảnh giấu tin

Các kết quả thí nghiệm ở Hình 4 cho thấy kết quả là các ảnh sau khi nhúng thủy vân theo lược đồ 1 (với $Q = 10$) với giá trị PSNR đo được là $\text{PSNR} \geq 48$ dB (thông thường $\text{PSNR} \geq 30$ dB).

Để đánh giá tác động của trọng số Q đối với các lược đồ thủy vân đề xuất, chúng tôi thực hiện thí nghiệm các phương pháp trên tập hợp ảnh ở Hình 3

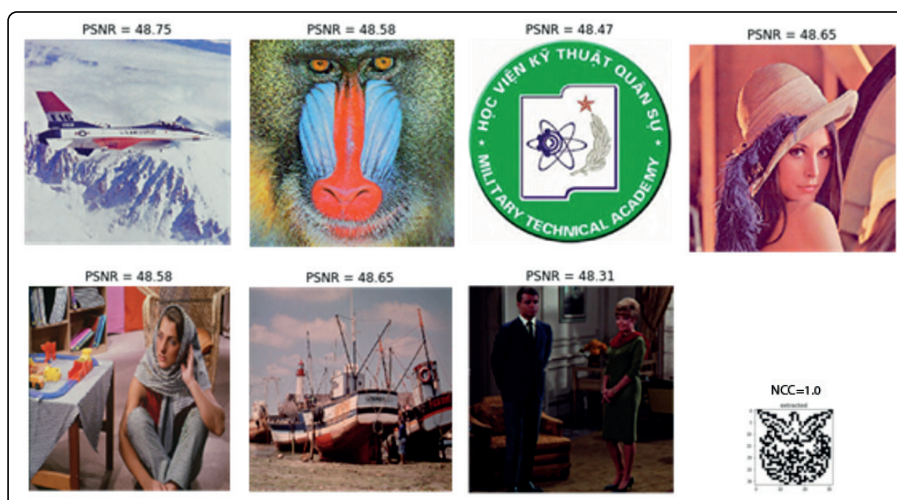
(kích thước 512×512) và logo wm32 (kích thước 32×32) với các giá trị Q khác nhau lần lượt là 10, 20, 50, 100, 200, và 1000. Ngoài ra còn so sánh kết quả thí nghiệm với giá trị PSNR theo lược đồ của Roy [15] theo các hệ số α .

Bảng I thể hiện giá trị đo PSNR[dB] thu được khi thực hiện các phương pháp nhúng thủy vân cho ảnh Lenna (được sử dụng nhiều trong các thí nghiệm thủy vân) và logo wm32 với các giá trị Q khác nhau lần lượt là 10, 20, 50, 100, 200, 1000. Với trọng số Q có giá trị càng cao thì PSNR càng tốt. Ngoài ra, độ chênh lệch chất lượng ảnh PSNR của các phương pháp không nhiều. So sánh với lược đồ của Roy thì phương pháp đề xuất cho giá trị PSNR tốt hơn. Như vậy, các phương pháp thủy vân trên miền tần số kết hợp đề xuất đều có khả năng đảm bảo tốt tính ẩn của thông tin giấu. Tiếp theo, cần đánh giá độ bền vững thông tin giấu của các phương pháp khi bị tác động bởi các phép tấn công thủy vân phổ biến.

C. So sánh và đánh giá độ bền vững thủy vân giữa các phương pháp

Để đánh giá độ bền vững của thủy vân đối với các phương pháp, thực hiện các phép tấn công như thêm nhiễu salt_pepper, nhiễu gaussian, làm mờ, nén ảnh, cắt ảnh ... Sau đó, chúng tôi thực hiện trích rút thông tin logo. Tiến hành đo NCC của logo trích rút được với logo ban đầu để đánh giá tính bền vững của các phương pháp. Giá trị của NCC càng cao (càng gần 1.0) thì chứng tỏ lược đồ đề xuất đạt hiệu quả cao đối với tính bền vững thủy vân.

Trong thực nghiệm, chúng tôi sử dụng một số phép tấn công thông thường như: Salt_Pepper, Gaussian, nén Jpeg, Erase, MediumBlur, Blur, GaussianBlur,



Hình 4: Ảnh nhúng thủy văn và PSNR tương ứng của DWT2D-DCT khi $Q = 10$ và kết quả trích rút logo với giá trị $NCC=1.0$

Bảng I: PSNR[db] của các phương pháp với Q lần lượt 10, 20, 100, 200, 1000 và phương pháp do Roy [15] đề xuất

PSNR						
Method	Q=10	Q=20	Q=50	Q=100	Q=200	Q=1000
DWT1D-DCT	48.76	51.75	55.55	58.52	61.51	68.45
DWT2D-DCT	48.65	51.7	55.49	58.52	61.46	68.54
DCT-SVD	48.49	51.46	55.47	58.5	61.48	68.54
DWT1D-SVD	48.34	51.5	55.55	58.46	61.49	68.49
DWT2D-SVD	48.52	51.51	55.51	58.52	61.48	68.5
PSNR						
Method	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.001$			
Roy Soumitra [15]	26.93	35.75	38.16			

BilateralFilter, Histogram, Color. Đối với tấn công Salt_Pepper được gây nhiễu ngẫu nhiên với mật độ 1000 trên một kênh màu (cả 3 kênh màu sẽ tác động ngẫu nhiên lên xấp xỉ 10^9 vị trí, $\approx 20\%$ nhiễu). Đối với nhiễu Gaussian có độ lệch chuẩn $scale = 0.1$. Đối với tấn công nén sử dụng nén Jpeg10%. Tấn công bằng bộ lọc 2 chiều Bilateral-Filter (cv2.bilateralFilter()¹) sử dụng bộ lọc (10, 75, 75). Tấn công MeidanBlur (lọc trung vị) tác động trực tiếp lên ảnh nhúng thủy văn với kernel size = 5. Với tấn công GaussianBlur sử dụng Gaussian kernel = (7, 7, 0); tấn công Blur có kernel = (3, 3). Đối với tấn công histogram sử dụng hàm cân bằng histogram cv2.equalizeHist().

Hình 5 và Hình 6 cho thấy kết quả trích rút thông tin logo của DWT1D-DCT và DWT2D-DCT. Nhìn trực quan, dễ dàng nhận thấy, lược đồ đưa ra cho kết quả tốt trước các tấn công nén jpeg, erase, thay

đổi color, và tương đối với tấn công histogram. Tuy nhiên, kết quả không tốt đối với các tấn công nhiễu hoặc làm mờ.

Trong các bảng II, III, IV, V và VI cho thấy giá trị đo NCC đối với các phương pháp khi bị tấn công thủy văn. Đối với 03 lược đồ DWT1D-DCT, DWT2D-DCT, DCT-SVD thì việc nhúng và trích rút thông tin khi không bị tấn công đều cho giá trị $NCC = 1.0$. Như vậy, các lược đồ trên đều cho kết quả chính xác. Đối với 02 lược đồ DWT1D-SVD và DWT2D-SVD, khi so sánh với lược đồ của Roy, kết quả là tương đương. Tuy nhiên, việc nhúng và trích rút thông tin khi không bị tấn công đều cho kết quả $NCC < 1.0$ chứng tỏ xảy ra mất mát trong quá trình biến đổi, các lược đồ này có độ chính xác không cao. Khi bị tác động bởi các tấn công, phương pháp sử dụng kết hợp DWT2D-SVD và DCT-SVD thể hiện tính bền vững cao hơn các phương pháp khác.

Bảng VII và VIII so sánh giá trị NCC của lược đồ đề xuất (DWT2D-DCT, DCT-SVD) với lược đồ

¹<https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/filtering.html>



Hình 5: Kết quả sau khi nhúng thông tin thủy vân (DWT1D-DCT)

Bảng II: NCC của phương pháp DWT1D-DCT với $Q = 10$

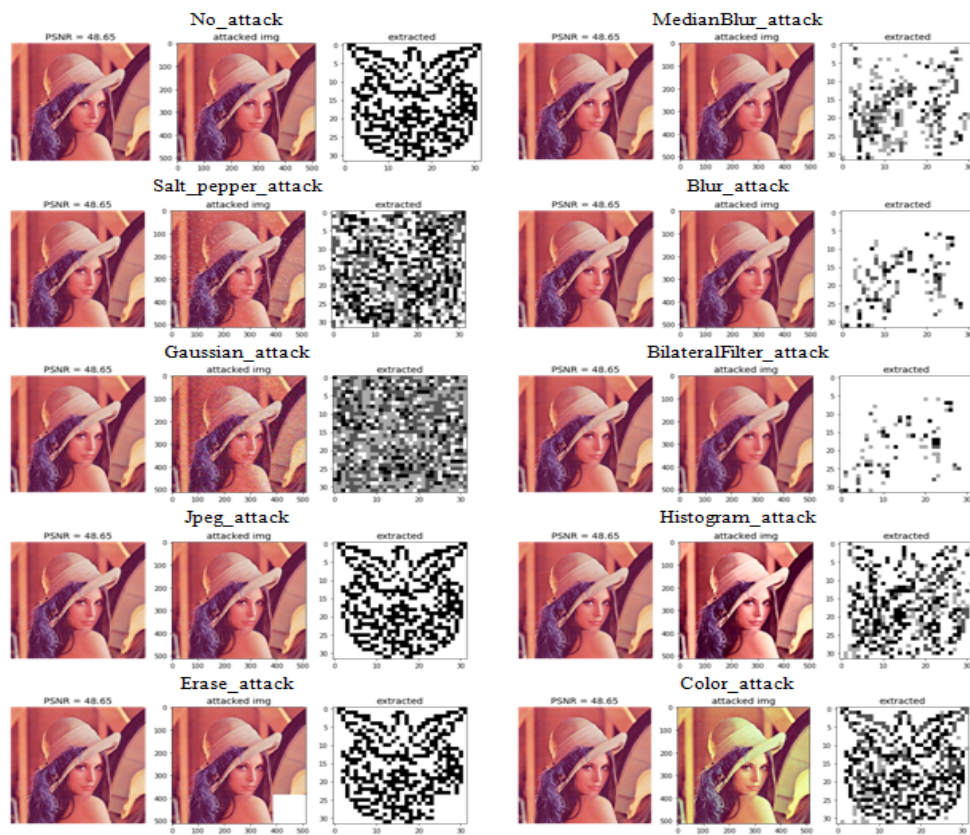
Giá trị NCC của phương pháp DWT1D-DCT							
Att_method	airplane	Baboom	barbara	boats	couple	hvkts	lenna
no_attack	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Salt_pepper	0.96	0.7	0.67	0.82	0.59	0.84	0.79
Gaussian	0	0.02	0	0	0	0.02	0
Jpeg	0	0.09	0.15	0	0.11	0.17	0.16
Erase	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MedianBlur	0.11	0	0.25	0.49	0.21	0.65	0.17
Blur	0	0	0	0	0	0	0
GaussianBlur	0	0.01	0.06	0.01	0	0.05	0.04
BilateralFilter	0	0.04	0.08	0.02	0.02	0.08	0.07
Histogram	0.61	0.24	0.31	0.65	0.36	0.33	0.56
Color	0.96	0.93	0.93	0.91	0.93	0.91	0.96

do Roy Soumitra đề xuất (DCT-SVD) [15] khi bị tấn công thủy vân. Đối với đề xuất của Roy, yêu cầu đầu vào của bài toán là các ảnh xám, logo thông tin mật và hệ số tỉ lệ α . Quá trình nhúng cần phải lưu lại 2 ma trận (U và V là ma trận của SVD) có kích thước bằng kích thước của Logo ẩn giấu. Đây là 2 trong nhiều khóa bắt buộc của lược đồ. Nếu không lưu lại 2 ma trận trên thì sẽ không thể trích rút thành công dữ liệu đã nhúng. Ngoài ra, để trích rút thông tin còn

cần thêm thông tin quan trọng là ảnh gốc ngoài ảnh chứa thông tin mật. Như vậy, cần rất nhiều thông tin để trích rút được dữ liệu đã ẩn giấu. Điều này chắc chắn là sẽ khó khăn khi áp dụng với tập dữ liệu ảnh có số lượng lớn. Còn ngược lại, lược đồ của chúng tôi đề xuất ở trên chỉ cần rất ít thông tin bổ sung để trích rút, nên bảo đảm tính khách quan trong ứng dụng thực tế.

Ngoài ra, đối với các phương pháp sử dụng biến

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KỸ THUẬT THỦY VÂN BỀN VỮNG TRÊN NHỮNG MIỀN TẦN SỐ KẾT HỢP



Hình 6: Kết quả sau khi nhúng thông tin thủy vân (DWT2D-DCT)

Bảng III: NCC của phương pháp DWT2D-DCT với $Q = 10$

Giá trị NCC của phương pháp DWT2D-DCT							
Att_method	airplane	Baboom	barbara	boats	couple	hvkts	lenna
no_attack	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Salt_pepper	0.95	0.8	0.71	0.72	0.14	0.78	0.84
Gaussian	0.07	0.03	0	0.03	0.07	0.01	0.01
Jpeg	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Erase	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
MedianBlur	0.4	0.17	0.42	0.36	0.81	0.83	0.32
Blur	0.13	0	0.03	0	0.11	0.07	0
GaussianBlur	0.06	0	0	0.07	0	0.04	0.01
BilateralFilter	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.05	0
Histogram	0.37	0.34	0.47	0.44	0.23	0.15	0.06
Color	0.91	0.93	0.94	0.92	0.92	0.9	0.96

đối DWT (1 mức và 2 mức) thì phương pháp sử dụng biến đổi 2 mức có độ phức tạp tính toán cao hơn và thời gian xử lý lâu hơn do phải thực hiện thêm một lần đối với biến đổi DWT thuận và DWT ngược trong quá trình thực hiện. Tuy nhiên, đối với các lược đồ DWT có hiệu quả cao hơn so với biến đổi 1 mức. Đặc biệt sử dụng DWT2D có độ bền vững tốt hơn so với biến đổi DWT1D. Đối với DWT2D-DCT và DCT-SVD đều có kết quả cả 2 đều tương đối tốt khi

đánh giá PSNR và NCC. Tuy nhiên, như đã nói ở trên, thí nghiệm thực hiện kiểm thử trên miền con HL của biến đổi DWT, còn lại 3 miền con LL, LH, HH chưa thực hiện kiểm thử. Các miền con trên đều có thể thực hiện nhúng thông tin vào từ đó tăng thêm tần suất thống kê của bit được nhúng vào sẽ giúp tăng độ chính xác của phương pháp. Như vậy, lược đồ sử dụng DWT (DWT2D) còn có khả năng mở rộng và cải tiến để đạt hiệu quả hơn.

Bảng IV: NCC của phương pháp DCT-SVD với $Q = 10$

Giá trị NCC của phương pháp DCT-SVD							
Att_method	airplane	Baboom	barbara	boats	couple	hvkts	lenna
no_attack	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Salt_pepper	0.87	0.61	0.48	0.53	0.2	0.76	0.54
Gaussian	0.04	0.02	0.05	0.04	0	0.04	0
Jpeg	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Erase	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
MedianBlur	0.77	0.22	0.71	0.71	0.97	0.77	0.84
Blur	0.85	0.75	0.79	0.81	0.88	0.55	0.96
GaussianBlur	0.89	0.83	0.89	0.89	0.93	0.62	0.99
BilateralFilter	0.44	0.07	0.12	0.34	0.36	0.31	0.33
Histogram	0.02	0	0.02	0.03	0.15	0	0.03
Color	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Bảng V: NCC của phương pháp DWT1D-SVD với $Q = 10$

Giá trị NCC của phương pháp DWT1D-SVD							
Att_method	airplane	Baboom	barbara	boats	couple	hvkts	lenna
no_attack	0.91	0.99	0.94	0.94	0.96	0.99	0.85
Salt_pepper	0.41	0.52	0.48	0.5	0.43	0.7	0.4
Gaussian	0.01	0.0	0	0	0	0.05	0
Jpeg	0.85	0.31	0.52	0.77	0.79	0.84	0.66
Erase	0.88	0.96	0.94	0.92	0.93	0.96	0.84
MedianBlur	0.15	0	0.27	0.06	0.45	0.36	0.2
Blur	0.06	0	0.01	0.01	0	0.05	0
GaussianBlur	0.08	0.0	0.11	0.01	0.1	0.11	0
BilateralFilter	0.08	0	0.05	0.08	0.03	0.03	0.03
Histogram	0.03	0	0.08	0.07	0	0.07	0
Color	0.87	0.94	0.88	0.92	0.97	0.98	0.75

Trong các phương pháp kết hợp miền tần số, thì miền tần số kết hợp DCT-SVD cũng cho thấy một số điểm mạnh khi chống lại một số tấn công làm mờ. Bảng IV cho thấy miền tần số tích chập DCT-SVD đạt được độ đo NCC có giá trị lớn, thể hiện tính bền vững đối với các phép tấn công MedianBlur, Blur, và GaussianBlur tốt hơn các phương pháp khác. Chứng tỏ, miền tần số kết hợp giữa DCT và SVD cũng có thể làm tăng tính bền vững trước các tấn công.

V. KẾT LUẬN

Lược đồ thủy vân trên miền tần số kết hợp DWT với DCT và SVD sử dụng công thức 2 và 3 là lược đồ thủy vân mù, phù hợp với yêu cầu khách quan trong thực tế bảo vệ bản quyền tác giả. Trong kỹ thuật này, nhúng nhiều lần thông tin mật vào nhiều vị trí khác nhau trên miền tần số kết hợp làm tăng hiệu quả thủy vân, chống lại các phép tấn công thông thường. Việc trích rút dựa trên thống kê tần suất dữ

liệu được trích rút làm tăng tỉ lệ chính xác của đầu ra. Ngoài ra, việc sử dụng thông tin duy nhất (ảnh chứa thông tin mật) để trích rút giúp cho lược đồ dễ triển khai, không đòi hỏi tài nguyên lưu trữ lớn nhưng vẫn đảm bảo hiệu quả ẩn giấu.

Qua các kết quả thí nghiệm, phương pháp DWT2D-DCT đã phát huy được các đặc tính quan trọng của các miền tần số kết hợp, thể hiện tốt hơn so với các phương pháp khác về đánh giá NCC khi bị tác động tấn công. Dữ liệu ảnh sau khi nhúng hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu thực tế. Độ đo PSNR tương đối cao (thực tế chỉ cần từ 30db trở lên). Đối với một số phép tấn công, phương pháp DWT2D-DCT khá bền vững thông qua chỉ số NCC cao. Tuy nhiên, với một số phép tấn công thuộc nhóm Blur hay Filter thì kết quả chưa được tốt. Đây là điểm chưa đạt của lược đồ đề xuất.

Ngoài ra, để tăng cường tính bảo mật của lược đồ thủy vân, thuật toán thủy vân cũng nên áp dụng một số kỹ thuật bảo mật tiền thủy vân như áp dụng các kỹ thuật chuyển đổi cho dữ liệu cần ẩn giấu đầu vào.

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KỸ THUẬT THỦY VÂN BỀN VỮNG TRÊN NHỮNG MIỀN TẦN SỐ KẾT HỢP

Bảng VI: NCC của phương pháp DWT2D-SVD với $Q = 10$

Giá trị NCC của phương pháp DWT2D-SVD							
Att_method	airplane	Baboom	barbara	boats	couple	hvkts	lenna
no_attack	0.97	0.98	0.98	0.94	0.99	0.99	0.93
Salt_pepper	0.56	0.59	0.54	0.42	0.49	0.74	0.42
Gaussian	0	0	0	0	0	0	0
Jpeg	0.96	0.86	0.81	0.9	0.99	0.99	0.9
Erase	0.94	0.96	0.95	0.92	0.96	0.96	0.91
MedianBlur	0.18	0	0.27	0.11	0.53	0.37	0.23
Blur	0.08	0	0.06	0.07	0.09	0.05	0.05
GaussianBlur	0.08	0	0.13	0.08	0.33	0.07	0.12
BilateralFilter	0.06	0.05	0.02	0.06	0	0	0.02
Histogram	0	0	0.04	0.2	0.03	0.07	0.04
Color	0.93	0.9	0.95	0.92	0.98	0.98	0.81

Bảng VII: So sánh giá trị NCC của phương pháp đề xuất DWT2D-DCT (T) với $Q=10$ và phương pháp DCT-SVD của Roy Soumitra (R) [15] với $\alpha = 0.1$

Att_method	airplane		Baboom		barbara		boats		couple		hvkts		lenna	
	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
no_attack	1.0	0.97	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.57	1.0	0.45	1.0	0.32	1.0	1.0
Salt_pepper	0.95	0.94	0.8	0.95	0.71	0.91	0.72	0.57	0.14	0.45	0.78	0.32	0.84	0.96
Jpeg	1.0	0.87	1.0	0.68	1.0	0.81	1.0	0.56	1.0	0.44	1.0	0.27	1.0	0.84
Erase	0.97	0.34	0.97	0.36	0.97	0.28	0.97	0.43	0.97	0.44	0.97	0.39	0.97	0.33
MedianBlur	0.4	0.74	0.17	0.45	0.42	0.67	0.36	0.37	0.81	0.33	0.83	0.37	0.32	0.65
Blur	0.13	0.64	0	0.32	0.03	0.46	0	0.37	0.11	0.5	0.07	0.6	0	0.55
GaussianBlur	0.06	0.7	0	0.4	0	0.54	0.07	0.38	0	0.3	0.04	0.16	0.01	0.67
BilateralFilter	0.08	0.43	0.07	0.25	0.05	0.28	0.04	0.27	0.03	0.38	0.05	0.35	0	0.42
Histogram	0.37	0	0.34	0	0.47	0.04	0.44	0.2	0.23	0.03	0.15	0.07	0.06	0.04
Color	0.91	0	0.93	0	0.94	0	0.92	0	0.92	0	0.9	0	0.96	0

Bảng VIII: So sánh giá trị NCC của phương pháp đề xuất DCT-SVD (T) với $Q=10$ và phương pháp DCT-SVD của Roy Soumitra (R) [15] với $\alpha = 0.1$

Att_method	airplane		Baboom		barbara		boats		couple		hvkts		lenna	
	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
no_attack	1.0	0.97	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.57	1.0	0.45	1.0	0.32	1.0	1.0
Salt_pepper	0.87	0.94	0.61	0.97	0.48	0.95	0.53	0.57	0.2	0.45	0.76	0.32	0.54	0.96
Jpeg	1.0	0.87	1.0	0.68	1.0	0.81	1.0	0.56	1.0	0.44	1.0	0.27	1.0	0.84
Erase	0.97	0.34	0.97	0.36	0.97	0.28	0.97	0.43	0.97	0.44	0.97	0.39	0.97	0.33
MedianBlur	0.77	0.74	0.22	0.45	0.71	0.67	0.71	0.37	0.97	0.33	0.77	0.48	0.84	0.39
Blur	0.85	0.64	0.75	0.32	0.79	0.46	0.81	0.37	0.88	0.5	0.55	0.6	0.96	0.55
GaussianBlur	0.89	0.7	0.83	0.4	0.89	0.54	0.89	0.38	0.93	0.3	0.62	0.16	0.99	0.67
BilateralFilter	0.44	0.43	0.07	0.25	0.12	0.28	0.34	0.27	0.36	0.38	0.31	0.35	0.33	0.42
Histogram	0.02	0	0	0	0.02	0.04	0.03	0.2	0.15	0.03	0	0.07	0.03	0.04
Color	1.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0

Ví dụ như áp dụng các thuật toán xáo trộn sử dụng Arnold transform, mã hóa, ... Khi đó, ở giai đoạn trích rút có thể cung cấp thêm một giá trị khóa k để giúp trích rút được thông tin. Từ đó, tăng cường tính bảo mật của thông tin được ẩn giấu.

Trong lược đồ đề xuất, biến đổi DWT mới chỉ

sử dụng miền con HL để nhúng dữ liệu trên cả 3 kênh màu. Như vậy còn 3 miền con tương ứng với 3 kênh có thể được sử dụng để nhúng thông tin. Do đó, có thể sử dụng các miền con còn lại để tiếp tục nhúng thông tin tăng cường hiệu quả của lược đồ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tạ Minh Thanh, "Distributed Redundant Image Storages and Reconstruction Algorithm to Contents Verification", The International Conference of National Foundation for Science and Technology Development (NAFOSTED), 24/11/2017.
- [2] A. Tefas, N. Nikolaidis, and I. Pitas, "The Essential Guide to Image Processing: Chapter 22 - Image Watermarking: Techniques and Applications", 2nd ed. Elsevier, pp. 597–648, 2009.
- [3] M.Hariharalakshmi, Dr. M. Sivajothi Dr. M. Mohamed Sathik, "Optimal Alpha Blending Based Digital Image Watermarking By Using Cwt And Svd", European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Vol. 7, No. 10, p. 2979-2987, 2020.
- [4] M. Saidi, H. Hermassi, R. Rhouma, and S. Belghith, "A new adaptive image steganography scheme based on DCT and chaotic map", pp. 13493–13510, 2017.
- [5] Savakar, D.G., Ghuli, A., "Robust Invisible Digital Image Watermarking Using Hybrid Scheme", Arab J Sci Eng 44, 3995–4008, 2019.
- [6] F. Ernawan, D. Ariatmanto and A. Firdaus, "An Improved Image Watermarking by Modifying Selected DWT-DCT Coefficients", in IEEE Access, vol. 9, pp. 45474–45485, 2021.
- [7] Tạ Minh Thanh, Nguyen Trung Thanh, "Extended DCT domain for improving the quality of watermarked image", The Seventh International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE 2015), VIETNAM, 2015, 08/10/2015.
- [8] D. Asatryan and M. Khalili, "Colour spaces effects on improved discrete wavelet transform-based digital image watermarking using Arnold transform map," IET Signal Process., vol. 7, no. 3, pp. 177–187, 2013.
- [9] A. K. Abdulrahman and S. Ozturk, "A novel hybrid DCT and DWT based robust watermarking algorithm for color images," Multimed. Tools Appl., 2019.
- [10] Anil Katharotiya, Goyani M Mahesh, "Comparative Analysis between DCT & DWT techniques of Image compression", ResearchGate, 2014
- [11] Moo-Rak Choi, Sung-Jea Ko, Goo-Rak Kwon, Ramesh Kumar Lanna, "Color image interpolation in the DCT domain using a wavelet-based differential value", Springer, 2018.
- [12] Palak Garg, Lakshita Dodeja, Priyanka and Mayank Dave, "Hybrid Color Image Watermarking Algorithm Based on DSWT-DCT-SVD and Arnold Transform," vol. 526. Springer Singapore, 2019.
- [13] A Ukasha, Majdi Elbireki, and M. Abdullah, "Contour Extraction & Compression from Watermarked Image using Discrete Wavelet Transform & Ramer Method", International Conference on Image Processing and Electronics Engineering (ICIPEE'2013), Penang (Malaysia), (2013).
- [14] M. J. Hwang, J. Lee, M. Lee, and H. G. Kang, "SVD-Based adaptive QIM watermarking on stereo audio signals," IEEE Trans. Multimed., vol. 20, no. 1, pp. 45–54, 2018.
- [15] Roy S, Pal AK, "An indirect watermark hiding in discrete cosinet transform-singular value decomposition domain for copyright protection", R. Soc. Open, sci.4:170326, <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170326>, 2017.
- [16] M. F. Mohammed, El Bireki, M. F. L. Abdullah, A. A. M. Ukasha, and A. A. Elrowayati, "Digital image watermarking based on joint (DCT-DWT) and Arnold transform", Int. J. Secur. its Appl., vol. 10, no. 5, pp. 107–118, 2016.
- [17] Ngô Văn Sỹ, Đặng Quốc Hưng, Đỗ Thành Long, "Ứng dụng kỹ thuật thủy văn trên miền DWT trong bảo vệ bản quyền ảnh màu RGB", Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, pp. 59–64, 2014.
- [18] Nguyễn Văn Tảo, Bùi Thế Hồng, "Về một lược đồ thủy văn dựa trên phép biến đổi sóng nhỏ rời rạc và các ma trận số giả ngẫu nhiên", Tạp chí Khoa học và Công nghệ, tập 45, số 3 năm 2007, tr. 27-34.
- [19] Nguyễn Hữu Cường, Cao Thị Luyên, "Một lược đồ thủy văn rời rạc mới dựa trên các phép biến đổi DWT, DCT và SVD", Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san CNTT, 11-2018, pp. 124–132.

EVALUATE THE EFFECT OF THE DIGITAL IMAGE WATERMARKING TECHNIQUE ON THE INTEGRATED FREQUENCY DOMAINS DWT - DCT, DWT - SVD AND DCT - SVD.

Abstract: In this paper, the author proposes a blind watermarking scheme applied to digital images on DWT transforms combining DCT and SVD based on statistics. The main idea is to use DWT transformation and combine DCT, SVD to transform the digital image into the combined frequency domain (convolutional frequency domain), perform multiple embedding of the binary bits of a copyright logo or information. The confidential information into different regions of the image data. In contrast, the technique of extracting the hidden data using only information that the image has embedded in the data is performed based on the frequency statistics of the extracted bits (0 or 1), with the bit having the highest frequency. The higher the ratio, the higher the exact extraction rate. Hence, increasing the success rate of extracting the hidden bit. It also enhances the stability of embedded data to resist common watermarking attacks such as noise attacks, jpeg compression attacks, clipping attacks, etc. The survey and evaluation of the results of the watermarking scheme based on the frequency transformations of DWT, DCT combined with SVD uses the PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) measure to evaluate the image quality before and after embedding and the resolution. Estimate NCC (Normalized Cross-Correlation) to measure the durability of the original logo and after extraction logo.

Keywords: DWT, DCT, SVD, Image Watermarking, Blind Watermarking, Copyright Protection.



Lê Danh Tài tốt nghiệp kỹ sư CNTT và thạc sĩ Khoa học máy tính tại trường Học viện Kỹ thuật quân sự năm 2008 và 2015.

Lĩnh vực nghiên cứu thuộc lĩnh vực an thủy văn, an toàn thông tin, công nghệ mạng.



Tống Minh Đức tốt nghiệp kỹ sư ngành Công nghệ thông tin tại Học viện kỹ thuật quân sự năm 2000. Ông nghiên cứu sinh và nhận bằng tiến sĩ năm 2007 tại trường Đại học Tổng hợp Kỹ thuật điện Xanh Pêtéc-bua – Nga, chuyên ngành Tự động hóa và điều khiển các quy trình công nghệ sản xuất.

Ông là giảng viên của Khoa CNTT trường Học viện kỹ thuật quân sự từ năm 2000. Lĩnh vực nghiên cứu chính là lĩnh vực mật mã, giấu tin, an toàn thông tin.



Tạ Minh Thanh nhận bằng kỹ sư CNTT và Thạc sĩ Khoa học Máy tính vào năm 2005 và 2008. Ông là giảng viên của trường Đại học Lê Quý Đôn từ năm 2005. Năm 2015, ông nhận bằng Tiến sĩ Khoa học Máy tính của Học viện Công nghệ Tokyo, Nhật Bản. Ông được công nhận chức danh Phó giáo sư của Hội đồng Giáo sư nhà nước vào năm 2019. Ông cũng là thành viên của Hiệp hội IPSJ Nhật Bản và Hiệp hội IEEE.

Lĩnh vực nghiên cứu của ông thuộc lĩnh vực thủy văn số, công nghệ mạng, bảo mật thông tin và thị giác máy.