

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT THỦY VÂN TRÊN MIỀN DWT TRONG BẢO VỆ BẢN QUYỀN ẢNH MÀU RGB

NGÔ VĂN SỸ, ĐẶNG QUỐC HÙNG

Trung tâm Nghiên cứu Điện tử, Tin học và Tự động hóa miền Trung

ĐỖ THÀNH LONG

Trường Cao đẳng nghề Quy Nhơn

Bài báo tiếp cận kỹ thuật thủy vân trong miền tần số, áp dụng phép biến đổi wavelet rời rạc đa phân giải nhằm tìm ra sự cân bằng tốt hơn giữa độ bền vững của thủy vân trước các phép tấn công ảnh, tính ẩn của thủy vân phù hợp với mô hình đa kênh của hệ thống thị giác ở người, cũng như dung lượng của thủy vân nhúng. Cụ thể, bài báo đề xuất thuật toán xây dựng hệ thống thủy vân ứng dụng trong việc đóng dấu chủ quyền sở hữu và kiểm tra, xác thực thông tin bản quyền ảnh màu RGB. Nghiên cứu này cũng nhằm áp dụng vào việc bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ cho các tài nguyên số khác. Chương trình MATLAB được sử dụng để xây dựng hệ thống thủy vân.

Từ khóa: thủy vân; bản quyền ảnh số; biến đổi wavelet rời rạc đa phân giải; độ bền vững; tính ẩn; hệ thống thị giác ở người; dung lượng thủy vân.

THE APPLICATION OF WATERMARKING TECHNIQUE IN DWT DOMAIN FOR RGB IMAGES COPYRIGHT PROTECTION

Summary

This article proposes an approach of Watermarking technique in the frequency domain by applying the multi-resolution Discrete Wavelet Transform in order to obtain more robustness in resistance to attacks, invisibility which is compatible with multi-channel model in Human Visual System, as well as capacity of embedded Watermarking. Specifically, the article proposes an algorithm to build a Watermarking system for protecting, tamper proofing, and authenticating RGB image's copyright. This study can be also applied into protecting Intellectual Property of other digital resources. MATLAB Program was used to perform the watermarking task.

Keywords: watermarking; digital images copyright; discrete wavelet transform; robustness; invisibility; human visual system; capacity of watermark.

Đặt vấn đề

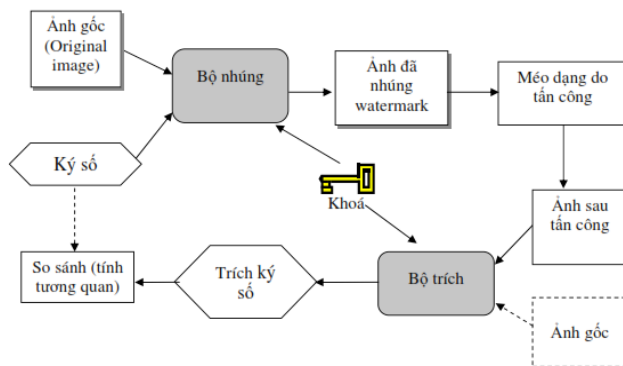
Cuộc cách mạng thông tin kỹ thuật số cùng với sự phát triển của Internet đã làm cho việc trao đổi thông tin liên lạc cũng như việc phân phối và sử dụng các sản phẩm truyền thông trở nên nhanh chóng và dễ dàng hơn. Tuy nhiên, chính điều đó lại làm cho “quyền sở hữu trí tuệ” IPR (*Intellectual Property Right*) bị đe dọa hơn bao giờ hết, bởi nguy cơ dữ liệu số bị sao chép, phát tán mà không mất đi chất lượng và không tốn tiền trả bản quyền cho tác giả của sản phẩm ngày càng tăng lên. Việc sao chép bất hợp pháp các sản phẩm trong các lĩnh vực âm nhạc, phim ảnh, sách báo, tranh ảnh, phần mềm... đã làm suy yếu những ngành công nghiệp này. Nhu cầu được bảo vệ bản quyền sở hữu trí tuệ các sản phẩm số đã trở thành một vấn đề quan trọng và đang nhận được nhiều sự quan tâm

cũng như nghiên cứu của các chuyên gia trên thế giới. Nhiều giải pháp được đưa ra nhằm hạn chế truy cập dữ liệu bằng cách sử dụng một số kỹ thuật mã hóa. Tuy nhiên, kỹ thuật mã hóa không cung cấp phương thức bảo vệ sản phẩm một cách “toàn diện”. Đồng thời, quá trình mã hóa và giải mã cũng gây ra những trở ngại trong quá trình phân phối và xử lý dữ liệu. Thủy văn ra đời mang lại giải pháp tốt hơn cho vấn đề trên, với nhiều ứng dụng trong việc phát hiện xuyên tạc, bảo vệ bản quyền, kiểm soát truy cập dữ liệu đa phương tiện, đặc biệt là trong ảnh số [1, 3, 5]. Một trong số đó là kỹ thuật thủy văn trong miền wavelet rời rạc.

Nội dung nghiên cứu

Tổng quan về thủy văn trên ảnh số

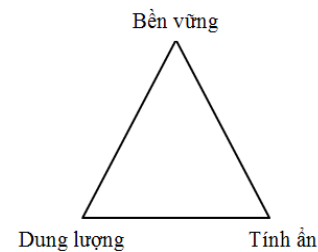
Thủy văn (Watermarking) trên ảnh số là kỹ thuật nhúng “dấu ấn số” (watermark - tin giấu) vào ảnh số, mà tin giấu này có thể được phát hiện và tách ra sau đó, nhằm chứng thực (đánh dấu, xác thực) nguồn gốc hay chủ sở hữu của sản phẩm số này [1, 2, 5, 8] như minh họa ở hình 1.



Hình 1: mô hình tổng quát của thủy văn cho ảnh số

Ảnh gốc ban đầu trước khi đưa lên mạng cần được nhúng thủy văn cùng với khóa bảo mật để bảo vệ bản quyền [4]. Trong quá trình phát tán, ảnh có thể bị méo dạng do các tấn công vô ý hay có chủ ý xâm phạm quyền tác giả. Ảnh này sẽ được chủ sở hữu dùng khóa bảo mật trích ra thủy văn để đối chiếu và xác thực quyền sở hữu [5].

Tùy theo mục đích ứng dụng của thủy văn, những điều kiện cần khác nhau đòi hỏi các bài toán thiết kế khác nhau. Trong thực tế, đối với ảnh số, 3 yêu cầu về tính ẩn, tính bền vững và dung lượng của thủy văn có thể xem như một tam giác (minh họa ở hình 2), nghĩa là nếu cái này bị biến đổi thì hai cái kia cũng bị ảnh hưởng [1, 4, 5, 7, 8].

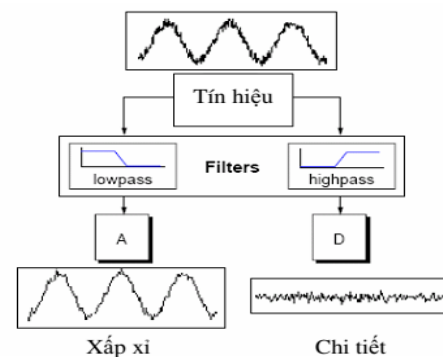


Hình 2: yêu cầu chung của hệ thống thủy văn cho ảnh số

Kỹ thuật thủy văn trong miền DWT đối với ảnh số

Cơ sở phép biến đổi wavelet:

- Biến đổi wavelet rời rạc: với nhiều tín hiệu, nội dung tần số thấp là quan trọng nhất, nó xác định tín hiệu. Trong khi đó, nội dung tần số cao chỉ có tác dụng làm phong phú thêm thông tin của tín hiệu. Đối với tín hiệu ảnh, 2 thuật ngữ cần chú trọng là “xấp xỉ” (là thành phần tỷ lệ cao tương ứng thành phần tần số thấp của ảnh) và “chi tiết” (tương ứng thành phần tần số cao của ảnh, tỷ lệ thấp) là kết quả của phép biến đổi wavelet rời rạc DWT (Discrete Wavelet Transform) [3], như ở hình 3.

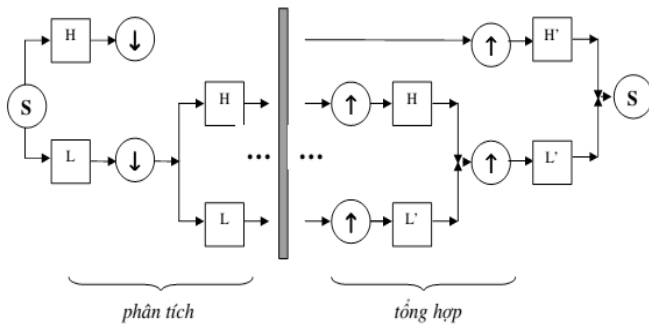


Hình 3: DWT của tín hiệu

- Quá trình phân tích và tổng hợp tín hiệu dùng biến đổi wavelet rời rạc đa phân giải: quá trình phân tích dùng DWT được lặp lại ở thành phần xấp xỉ, do đó một tín hiệu được phân tích thành nhiều thành phần phân giải khác nhau. Về lý thuyết, quá trình phân tích đa mức có thể lặp lại mãi mãi, nhưng trong thực tế, sự phân tích có thể chỉ thực hiện cho đến khi có được thành phần chi tiết phù hợp với chất lượng của tín hiệu cần phân tích (tùy thuộc vào từng ứng dụng cụ thể).

Tín hiệu sau khi phân tích được ứng dụng vào từng mục đích riêng, sau đó cần được tổng hợp lại để có được tín hiệu gốc ban đầu mà không bị mất

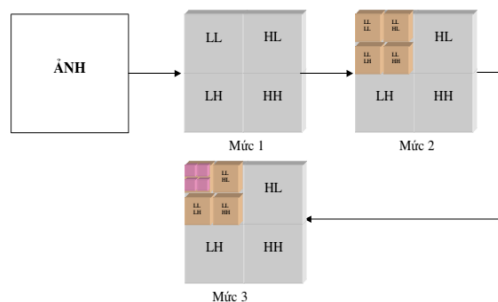
thông tin. Quá trình này gọi là tổng hợp, hay còn gọi là phép biến đổi wavelet nghịch IDWT (*Inverse Discrete Wavelet Transform*) [8].



Hình 4: quá trình phân tích và tổng hợp tín hiệu dùng DWT đa mức

Kỹ thuật thủy vân trong miền wavelet rời rạc:

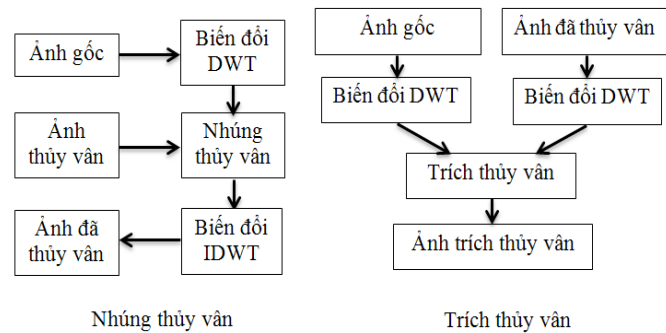
Ý tưởng cơ bản của kỹ thuật này là chuyển ảnh từ miền không gian sang miền tần số. Dùng DWT phân tích ảnh gốc thành bốn băng tần khác nhau: LL, LH, HL, HH. Băng con LL chứa các hệ số xấp xỉ, trong khi các băng con LH, HL và HH chứa các hệ số chi tiết. Để nhận được các hệ số xấp xỉ tốt hơn, băng con LL lại được phân tích tiếp (minh họa ở hình 5). Quá trình này được lặp lại cho đến khi có được kết quả mong muốn với từng ứng dụng (cần xem xét sự phù hợp với dung lượng của thủy vân nhúng) [3, 6, 7].



Hình 5: DWT cho ảnh ở mức 3

Tiếp theo, nhúng thông tin thủy vân vào một hoặc một số wavelet băng con với các hệ số tương quan khác nhau (cần cân nhắc sự hài hòa giữa tính trong suốt của ảnh sau khi nhúng và tính mạnh mẽ của phương pháp). Sau đó tổng hợp lại các băng con để thu được ảnh chứa thủy vân. Cuối cùng thử nghiệm ảnh đã chứa thủy vân qua các phép biến đổi ảnh thông thường rồi tìm lại thủy vân gốc. Phương pháp

này được mô tả ở hình 6 [6].

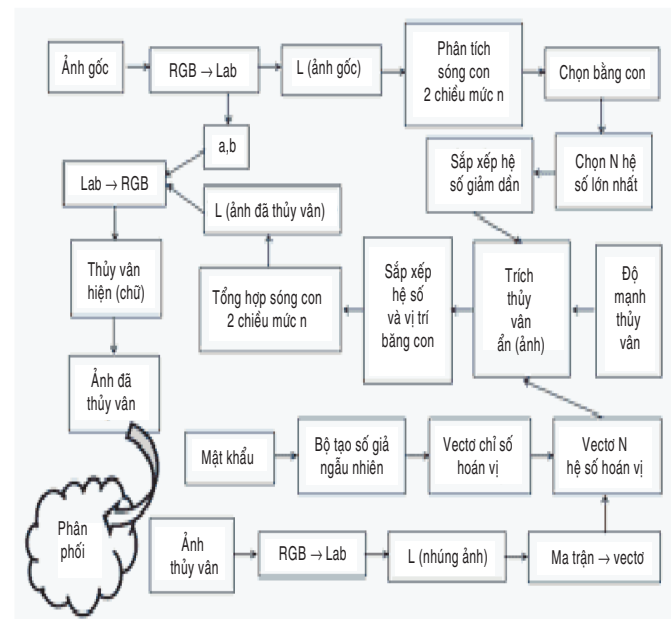


Hình 6: mô hình thủy vân tổng quát dùng DWT

Thuật toán thủy vân trên ảnh màu RGB

Dựa trên mô hình thủy vân tổng quát dùng DWT, bài báo xây dựng một hệ thống thủy vân cho phép khai thác đặc tính đa phân giải của biến đổi wavelet rời rạc, để nhúng và trích thủy vân cho ảnh số, cụ thể là ảnh màu RGB bằng quá trình phân tích và khôi phục wavelet hai chiều.

Thuật toán nhúng:



Hình 7: sơ đồ quá trình nhúng thủy vân cho ảnh màu RGB

Trong phương pháp này, ảnh được sử dụng là ảnh màu RGB. RGB là hệ màu cộng, trong đó ánh sáng đỏ (red), xanh lá cây (green) và xanh lam (blue) tổ hợp với nhau theo nhiều phương thức khác nhau để tạo thành các màu khác nhau. Trước tiên, ảnh từ mô hình màu RGB sẽ được chuyển thành mô

hình màu Lab, gồm ba thành phần thang độ xám: một thành phần độ chói L (luminance), hai thành phần phần màu (chrominance) là a (từ xanh lá đến đỏ) và b (từ xanh dương đến vàng). Các thành phần a và b có ảnh hưởng rất ít tới sự cảm nhận hình ảnh của mắt, trong khi thành phần độ chói L lại có ảnh hưởng rất lớn. Do đó, ta chọn thành phần L để nhúng watermark (để thuận tiện, ta gọi thành phần độ chói L của ảnh cũng chính là ảnh), hai thành phần a, b sẽ được dùng để tổng hợp lại ảnh sau khi nhúng thủy vân, như trình bày cụ thể ở hình 7. Việc áp dụng các phép biến đổi trước khi thủy vân nhằm làm giảm khối lượng xử lý của quá trình thủy vân.

Ảnh gốc được chuyển đổi sang miền tần số bằng phép biến đổi wavelet rời rạc đa phân giải ở mức độ n :

$$n = \left\lceil \frac{1}{2} \log_2 \frac{m_{ag} * n_{ag}}{m_{tv} * n_{tv}} \right\rceil \quad (1)$$

với $m_{ag} * n_{ag}$: kích thước ảnh gốc; $m_{tv} * n_{tv}$: kích thước ảnh thủy vân.

Mức độ biến đổi sóng con n đảm bảo yêu cầu tổng hệ số của băng con lớn hơn hoặc bằng tổng hệ số của thủy vân. Giá trị của n được làm tròn ở phần nguyên bé hơn, và thông thường $3 \leq n \leq 5$ nhằm phù hợp với yêu cầu về dung lượng của thủy vân.

Ảnh thủy vân có kích thước $N = m_{tv} * n_{tv}$, hệ số

này sẽ được hoán vị vị trí bằng bộ tạo số giả ngẫu nhiên được tạo ra từ khóa bí mật (mật khẩu người dùng đặt) [4]. Điều này làm tăng mức độ an toàn và đảm bảo tính bảo mật cho hệ thống thủy vân.

Một tập N hệ số lớn nhất (có chiều dài bằng chiều dài thủy vân) trong băng tần thích hợp của ảnh gốc được chọn ra và nhúng thủy vân theo công thức (2) [2, 3]:

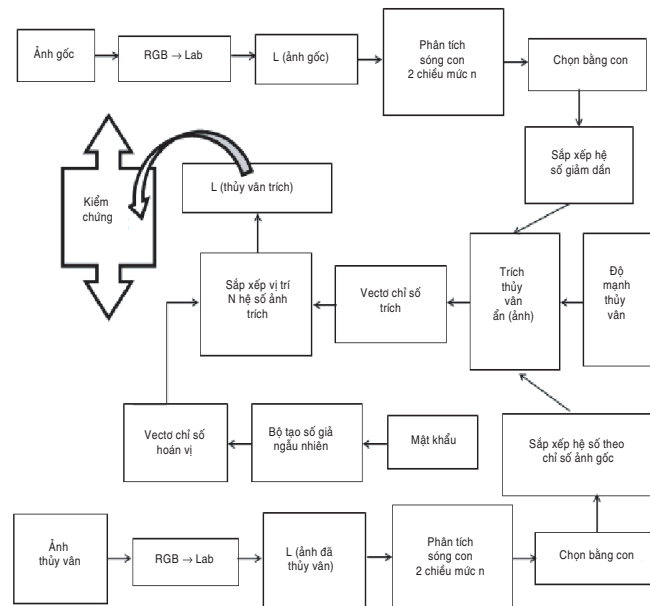
$$C_{adv} = C_{ag} + \alpha * C_{tv} \quad (2)$$

với: C_{adv} : hệ số của ảnh đã nhúng thủy vân; C_{ag} : hệ số sau biến đổi wavelet rời rạc của ảnh gốc; α : độ mạnh của thủy vân; C_{tv} : hệ số của thủy vân gốc.

Độ mạnh của thủy vân α thể hiện mức độ nhúng thủy vân sao cho nó khó bị phát hiện (không hiển thị trên nền ảnh) và ít ảnh hưởng đến cảm nhận

của mắt cũng như ảnh chứa. Để đạt được điều này, chúng ta xem xét các tính chất của hệ thống mắt người HVS (Human Visual System) đối với ảnh trong quá trình nhúng và trích thủy vân [5, 7].

Thuật toán trích:



Hình 8: sơ đồ quá trình trích thủy vân cho ảnh màu RGB

Thuật toán trích cần mặt nạ của ảnh gốc, tức là thủy vân bán mù và kích thước của ảnh thủy vân (thuộc bản quyền của chủ sở hữu) để đối chiếu với thủy vân được trích ra, như trình bày ở hình 8. Ảnh cần trích thủy vân và ảnh gốc được biến đổi tương tự như ở quá trình nhúng, đến khi lấy ra được băng con có chứa thủy vân và băng con tương ứng của ảnh gốc. Các hệ số của ảnh cần trích được sắp xếp lại theo chỉ số sắp xếp thứ tự giảm dần của ảnh gốc, điều này giúp giảm thiểu sự sai lệch về vị trí của các điểm ảnh gây ra.

Quá trình trích được thực hiện theo công thức (3) [2]:

$$C_{tv} = (C_{adv} - C_{ag}) / \alpha \quad (3)$$

với: C_{tv} : hệ số của thủy vân trích; C_{adv} : hệ số sau biến đổi wavelet rời rạc của ảnh cần trích thủy vân.

Kết quả nghiên cứu

Chương trình MATLAB được sử dụng để xây dựng hệ thống thủy vân và kiểm nghiệm thuật toán [9]. Kết quả của thuật toán được đánh giá chủ quan

qua cảm nhận thị giác của người HVS và khách quan qua các đại lượng kỹ thuật: *Mean Square Error* (càng bé càng tốt); *Peak Signal to Noise Ratio* ($PNSR \in [30,50]$, giá trị càng cao thì chất lượng hệ thống thủy văn càng tốt); *Normalized Correlation* ($NC \in [-1,1]$, hệ thống thủy văn có chất lượng tốt khi NC xấp xỉ 1) [2, 5, 7, 8, 9]:

$$MSE = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X(i, j) - X'(i, j))^2 \quad (4)$$

$$PSNR = 10 * \log_{10} \left(\frac{MAX_l^2}{MSE} \right) dB \quad (5)$$

$$NC(W, W') = \frac{\sum_{i=1}^n W(i) * W'(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n W(i)^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n W'(i)^2}} \quad (6)$$

Khảo sát các thông số của thuật toán

Việc khảo sát này nhằm tìm ra các thông số tối ưu thỏa mãn một cách hài hòa giữa ba yêu cầu: tính ẩn, tính bền vững và dung lượng thủy văn [2, 4].

Định dạng ảnh: hệ thống được thiết kế hỗ trợ cho các định dạng ảnh thông dụng trong việc lưu trữ và xử lý của máy ảnh và máy tính, bao gồm: PNG (.png), BITMAP (.bmp), JPEG (.jpg), TIFF (.tif) đều hỗ trợ 24bit màu RGB. Riêng định dạng GIF (.gif) chỉ hỗ trợ tối đa 8 bit màu, nên các tác giả kiến nghị việc nhúng trực tiếp thủy văn vào ảnh ở định dạng GIF mà không cần phải chuyển sang mô hình màu Lab để chọn thành phần độ chói L như thuật toán đã đề xuất.

Độ mạnh thủy văn α (Alpha):

Lena (512x512), Wa (60x60), Wfilter = Haar, Subband = D => Alpha									
Alpha	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4
MSE	0,56299	0,63831	1,7866	2,0076	2,1548	4,6897	18,4023	47,7659	82,5131
PSNR	50,384	49,8387	45,3687	44,8623	44,555	41,1775	35,2403	31,0979	28,7238
NC (embed)	0,99999	0,99998	0,99995	0,99995	0,99995	0,99988	0,99953	0,99879	0,99792
NC (extract)	0,96212	0,96603	0,98802	0,99191	0,00167	0,99601	0,99859	0,99959	0,9998

Giá trị α thích hợp với ảnh đã khảo sát: $0,04 \leq \alpha \leq 0,3$.

Bảng 2: kết quả thay đổi kích thước ảnh gốc

Logo (50x50), Wfilter = Haar, Subband = D => α									
Ori_Im	612x612	864x864	907x640	960x720	1024x679				
Alpha	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	
MSE	0,56665	1,9245	0,3878	1,3177	0,37313	1,2611	0,31409	1,0668	0,31168
PSNR	50,5977	45,2876	52,1763	46,8643	52,4122	47,1232	53,1603	47,8501	53,0563
NC (embed)	0,99999	0,99996	0,99999	0,99996	0,99999	0,99998	0,99999	0,99998	0,99997
NC (extract)	0,91974	0,9642	0,92241	0,98331	0,91288	0,97989	0,92923	0,98344	0,87453

Giá trị α thích hợp với các ảnh đã khảo sát: $\alpha = 0,05$

Bảng 3: kết quả thay đổi kích thước ảnh thủy văn

Lena (512x512), Wfilter = Haar, Subband = D					
Ori_Wa	10x10 (level 5)	30x30 (level 4)	60x60 (level 3)		
Alpha	0,19	0,2	0,03	0,04	0,01
MSE	0,57813	0,96484	0	0,69629	0
PSNR	50,0561	47,8317	Inf	49,2484	Inf
NC (embed)	0,99999	0,99998	1	0,99998	1
NC (extract)	0,98647	0,98893	0,054994	0,93392	0,011713

Nhận xét: việc nhúng thủy văn cần thay đổi giá trị α phù hợp để cho giá trị PSNR của quá trình nhúng đạt xấp xỉ 50 dB, có như vậy mới đảm bảo được yêu cầu về tính ẩn của thủy văn sau khi nhúng, và khả năng xác minh của thủy văn trích phù hợp với HVS.

Họ wavelet (Wfilter): họ wavelet thích hợp với ảnh đã khảo sát: Haar, Db1, Bior1.1, Rbio1.1 (bảng 4).

Bảng 4: kết quả khảo sát họ wavelet

Lena (512x512), Wa (60x60), Subband = D, Alpha=0.04 => Wfilter											
Wfilter	Haar	Db1	Db45	Coif1	Coif5	Sym2	Sym8	Dmey	Bior1.1	Bior6.8	Rbio1.1
MSE	0,63831	0,63831	0,28128	0,75346	0,46897	0,79718	0,57503	0,18952	0,63831	0,46052	0,63831
PSNR	49,8387	49,8387	53,3976	49,1185	51,1776	48,8735	50,2921	55,1124	49,8387	51,2565	49,8387
NC (embed)	0,99998	0,99998	0,99999	0,99998	0,99999	0,99998	0,99998	1	0,99998	0,99999	0,99998
NC (extract)	0,96603	0,96603	x	x	x	x	x	x	0,96603	x	0,96603

Băng tần (Subband): cả bốn băng tần nhúng của ảnh đã khảo sát đều thích hợp, tuy nhiên chọn băng tần D cho kết quả phù hợp với tiêu chuẩn HVS nhất (bảng 5).

Bảng 5: kết quả khảo sát băng tần

Lena (512x512), Wa (60x60), Wfilter = Haar, Alpha=0.04 => Subband				
Subband	A	H	V	D
MSE	0,63867	0,63831	0,63831	0,63831
PSNR	49,8363	49,8387	49,8387	49,8387
NC (embed)	0,99999	0,99998	0,99998	0,99998
NC (extract)	0,96586	0,96602	0,96603	0,96603

Khảo sát ảnh bị tấn công

Để kiểm tra chất lượng của thuật toán, ta tiến hành khảo sát một số loại tấn công vào ảnh đã thủy vân, sau đó đánh giá thủy vân sau khi trích bằng phép đo độ méo dạng tương quan NC và xác minh bằng HVS [5, 7]. Thực hiện việc tấn công ảnh bằng phần mềm riêng biệt (phần mềm chỉnh sửa hình ảnh *PhotoScape*, *High Quality Photo Resizer*, *Adobe Photoshop CS6*), công cụ *Paint Drawing* trên hệ điều hành Window7.

Các tấn công thử nghiệm bao gồm: chiếu sáng ngược; cải thiện màu sắc; làm sắc nét; nhiễu; thủy vân chồng (nhúng ảnh gốc với hai thủy vân có kích thước khác nhau, rồi trích tìm lại thủy vân ban đầu); cắt ảnh; vẽ thêm chi tiết, chèn chữ; nén JPEG.

Bảng 6: kết quả khảo sát tấn công ảnh

Lena (512x512), Wa (60x60), Wfilter = Haar, Subband = D, Alpha = 0,04 - Key = 123456									
Type	No Attack	Backlight (±50)	Color Enhance	Sharpen(12)	Noise(10)	Double	Cut 20%	Cut 35%	Cut 50%
NC	0,96603	0,95864	0,96369	0,91622	0,92983	0,94116	0,87145	0,82516	0,76472
Type	More Cut	Write	Jpeg 100%	Jpeg 95%	Jpeg 90%	Jpeg 85%	Jpeg 80%	Jpeg 75%	Jpeg 70%
NC	0,84	0,88529	0,96273	0,9555	0,94367	0,92906	0,91724	0,90378	0,89419

Nhận xét: phương pháp thực sự hiệu quả với các tấn công ở mức độ thấp và nén JPEG. Đối với các phép biến đổi hình học, nền ảnh bị thay đổi rất lớn, tuy nhiên hệ thống vẫn trích ra được ảnh đã nhúng.

Kết luận

Từ việc nghiên cứu lý thuyết về kỹ thuật thủy vân ảnh số, các vấn đề liên quan đến xử lý ảnh số, phép biến đổi wavelet... nhóm tác giả đã đề xuất giải thuật nhúng và trích thủy vân cho ảnh màu RGB bằng phép biến đổi wavelet rời rạc đa phân giải. Hệ thống thủy vân đề xuất đã được khảo sát thực nghiệm và kết quả đạt được đã đảm bảo hài hòa ba yêu cầu cơ bản của hệ thống thủy vân: tính ẩn đối với mắt của người bình thường (tùy thuộc vào độ mạnh của thủy vân quyết định); tính bền vững của thủy vân trước các tấn công ảnh (hệ thống sử dụng khóa bảo mật, vì thế mặc dù biết được thuật toán thủy vân mà không có khóa thì kẻ tấn công cũng khó lòng trích được thủy vân chính xác. Ngoài ra, thuật toán trích cần mặt nạ của ảnh gốc và kích thước của ảnh thủy vân, điều này chỉ được biết chính xác từ chủ sở hữu); dung lượng của thủy vân được dùng (kích thước của ảnh và thủy vân phải phù hợp với nhau

sao cho mức độ biến đổi wavelet nằm trong khoảng từ 3 đến 5).

Từ kết quả này ta cũng có thể phát triển thủy vân cho dữ liệu đa phương tiện như video bằng cách phân tích file video thành các khung hình (frames). Các khung hình này được chọn để nhúng thủy vân (tương tự như nhúng thủy vân cho ảnh). Sau khi thủy vân xong, ta tổng hợp lại các khung hình để tạo nên file video mới.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Xuân Huy, Trần Quốc Dũng, "Một thuật toán thủy vân ảnh trên miền DCT", *Hội thảo quốc gia về công nghệ thông tin và truyền thông*, 2002.
- [2] Lê Tiến Thường, Nguyễn Thanh Tuấn, "Giải pháp hiệu quả dùng kỹ thuật watermarking cho ứng dụng bảo vệ bản quyền ảnh số", *Tạp chí Bưu chính Viễn thông*, ISSN 0866-7039, tr. 57-64, 2005.
- [3] Anuradha, Rudresh Pratap Singh, "DWT Based Watermarking Algorithm using Haar Wavelet", *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, ISSN 2277-1956/V1N1-01-06.
- [4] Chun Shien Lu, "Towards robust image watermarking: combining content-dependent key, moment normalization, and side-informed embedding", *Signal Processing: Image Communication* 20, pp. 129-150, 2005.
- [5] Chun Shien Lu, Shih Kun Huang, Chwen Jye Sze, Hong Yuan Mark Liao, "A New Watermarking Technique for Multimedia Protection", *Multimedia Image and Video Processing*, pp. 507-530, 2000.
- [6] Gin Der Wu, Pang Hsuan Huang, "Robust Image Watermarking Using Adaptive Structure Based Wavelet Tree Quantization", *Journal of Information Science and Engineering* 26, pp. 1049-1071, 2010.
- [7] Nasseer Moyasser Basheer, Shaymaa Salah Abdulsalam, "Digital Image Watermarking Algorithm in Discrete Wavelet Transform Domain Using HSV Characteristics", *Iraqi Journal of Statistical Science (20), The Fourth Scientific Conference of the College of Computer Science & Mathematics*, pp. 351-368, 2011.
- [8] Nasseer Moyasser Basheer, Shaymaa Salah Abdulsalam, "Digital Image Watermarking Scheme Using Discrete Wavelet Transform Domain, Quantization, and Genetic Algorithm", *Raf. J. of Comp. & Math's.*, vol. 10, no. 1, 2013.
- [9] Pooya Monshizadeh Naini, "Digital Image Watermarking Algorithm in Discrete Wavelet Transform Domain Using HSV Characteristics", *Engineering Education and Research Using MATLAB*, chap. 20.