

GIẤU TIN THUẬN NGHỊCH TRONG ẢNH STEREO VỚI KHẢ NĂNG NHÚNG TIN CAO

Nguyễn Thái Sơn¹, Võ Phước Hưng², Huỳnh Văn Thanh², Đỗ Thanh Nghị³

¹ Khoa Kỹ thuật và công nghệ, Đại học Trà Vinh

² Bộ môn Công nghệ thông tin, Đại học Trà Vinh

³ Khoa Công nghệ thông tin và truyền thông, Đại học Cần Thơ

thaison@tvu.edu.vn, hungvo@tvu.edu.vn, hvthanh@tvu.edu.vn, dtnghi@cit.ctu.edu.vn

TÓM TẮT— Ảnh Stereo là ảnh được thu nhận đồng thời từ cặp CCDs đang được sử dụng rộng rãi để tạo ra ảo giác của độ sâu 3D. Mỗi cặp của ảnh stereo có nhiều cặp khối giống nhau. Có nhiều kỹ thuật giấu tin trong ảnh stereo được đề xuất; tuy nhiên, khả năng nhúng cũng như chất lượng ảnh sau khi nhúng của những kỹ thuật đó còn hạn chế. Trong bài báo này, một phương pháp giấu tin thuận nghịch mới được đề xuất để nhúng những thông tin mật vào những cặp khối giống nhau của ảnh stereo. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng phương pháp đề xuất đạt được khả năng nhúng cao trong khi vẫn bảo đảm chất lượng của ảnh stereo sau khi nhúng tin.

Từ khóa— Ảnh stereo, thuận nghịch, giấu tin, lượng tử hóa hệ số DCT.

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ đa phương tiện, cùng với việc bùng nổ nhu cầu trao đổi thông tin, một lượng rất lớn dữ liệu đa phương tiện được truyền trên Internet. Vì vậy, các dữ liệu số này có thể bị biên tập, chỉnh sửa hoặc nhân bản một cách dễ dàng bởi các kẻ tấn công [5]. Vì vậy, tính an toàn và bảo mật của những dữ liệu số này ngày càng được quan tâm bởi các nhà khoa học ở nhiều lĩnh vực khác nhau. Nhiều giải pháp đã được đề xuất trong thời gian qua để bảo vệ tính an toàn và bảo mật của thông tin truyền đi. Những giải pháp này có thể chia ra làm hai loại, đó là mã hóa thông tin (Cryptography) và giấu tin (Steganography). Trong mã hóa thông tin, dữ liệu sẽ được mã hóa trước khi được truyền đi vì thế dữ liệu truyền đi được bảo mật. Tuy nhiên, bằng cách chuyển đổi dữ liệu sang một phiên bản không có ý nghĩa chúng sẽ càng kích thích sự tò mò của những kẻ tấn công nguy hiểm. Ngược lại, giấu tin là giải pháp nhúng những thông tin mật vào một dữ liệu đa phương tiện (dữ liệu mang tin – cover data), như văn bản, ảnh, audio, hay video, để đảm bảo tính bảo mật của thông tin được nhúng.

Trong các năm qua, nhiều kỹ thuật giấu tin đã được đề xuất [6-8]. Tuy nhiên, hầu hết các phương pháp này đều không có khả năng thuận nghịch, nghĩa là chúng thường ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng của đối tượng mang tin mật bởi vì lượng lớn thông tin được giấu, và các giải pháp này cũng không thể khôi phục lại trạng thái ban đầu của đối tượng mang tin. Điều này không thể chấp nhận trong một số lĩnh vực đặc biệt như y khoa, quân đội hoặc pháp chứng... Vì vậy, nhiều kỹ thuật giấu tin thuận nghịch được đề xuất [1-5, 9, 11] bởi chúng không những giấu được lượng lớn thông tin với chất lượng của ảnh mang tin được đảm bảo mà còn có khả năng khôi phục đối tượng mang tin về định dạng gốc ban đầu (original data) với không có bất kỳ một sự nhiễu nào (without any distortion).

Đa số các giải pháp giấu tin được thực hiện trên đối tượng ảnh mức xám (grayscale images) [1-5, 11]. Trong số đó, có nhiều giải pháp vượt trội có khả năng ứng dụng cao [1, 11] bởi chúng có thể đảm bảo tất cả yêu cầu của một giải pháp giấu tin thuận nghịch như đã đề xuất bên trên. Tuy nhiên, những giải pháp này không thể áp dụng trực tiếp vào các ảnh lập thể (stereo image). Vì vậy, để giấu tin trên ảnh stereo, một số giải pháp mới được đề xuất dựa vào các khối tương đồng chung giữa ảnh bên phải và ảnh bên trái [8, 9]. Theo Yang và Chen [9] để mở rộng khả năng giấu tin, trước khi thực hiện giấu tin cần mã hóa mỗi 3 bit thông tin cần giấu thành một cặp số nguyên trong khoảng $[-1, 1]$ và giấu vào giá trị khác biệt của hai hệ số DCT tương ứng trong hai khối ảnh. Bằng cách làm như vậy, phương pháp này có thể khôi phục lại hoàn toàn ảnh gốc sau khi tách thông tin mật. Tuy nhiên khả năng thông tin được nhúng vẫn còn bị giới hạn. Nguyên nhân chính là phương pháp này phải phụ thuộc vào tần suất xuất hiện của giá trị khác biệt bằng 0 của hai hệ số lượng tử DCT. Hơn nữa, bằng cách phụ thuộc vào phương pháp thay đổi lưu đồ (Histogram Shifting) để giấu tin, phương pháp này dẫn đến hầu như tất cả các cặp hệ số lượng tử DCT phải thay đổi giá trị dẫn đến chất lượng của ảnh chứa tin giảm đáng kể.

Để khắc phục những yếu điểm của những giải pháp giấu tin hiện có trên ảnh stereo, chúng tôi đề xuất một giải pháp giấu tin mới dựa vào việc xây dựng lưu đồ hai chiều của các cặp hệ số DCT. Bằng cách làm này, thì giải pháp đề xuất sẽ giới hạn được việc thay đổi giá trị của các cặp hệ số sao cho bé nhất. Ngoài ra, giải pháp đề xuất cũng khắc phục được sự lệ thuộc vào tần suất của giá trị khác biệt bằng 0 của cặp hệ số DCT, dẫn đến nhiều cặp hệ số được lựa chọn cho việc giấu tin hơn, giúp nâng cao khả năng giấu tin của giải pháp.

II. NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Năm 2014, Yang và Chen [9] đưa ra phương pháp giấu tin thuận nghịch cho ảnh stereo dựa trên miền hệ số DCT. Phương pháp này dựa vào đặc điểm của một cặp ảnh stereo (gồm ảnh bên trái và bên phải) chứa nhiều cặp khối ảnh tương đồng nhau, tác giả đã giấu thông tin mật vào các cặp tương đồng này trên miền hệ số lượng tử DCT. Phương

pháp này có hai quá trình: giấu tin vào ảnh và tách tin từ ảnh mang tin (stego images). Trong quá trình giấu tin, đầu tiên mỗi ảnh sẽ được chia thành các khối 8×8 pixels. Sau đó từng khối ảnh sẽ được chuyển đổi sang miền hệ số DCT và lượng tử chúng. Sau, khi lượng tử, từng khối hệ số lượng tử DCT (DCT-quantized coefficients) sẽ được chia thành ba vùng có tần số DCT khác nhau, vùng thứ nhất chứa hệ số lượng tử DCT với tần số thấp (lower-frequency DCT-quantized coefficients) được gọi là vùng tìm kiếm, vùng thứ hai chứa hệ số lượng tử DCT với tần số trung bình được gọi là vùng giấu tin, vùng còn lại đa số các hệ số có giá trị bằng 0 gọi là vùng không sử dụng, được thể hiện như Hình 1. Dựa vào vùng tìm kiếm, những cặp khối tương đồng của ảnh stereo được xác định. Sau đó, thông tin mật sẽ được giấu vào vùng giấu tin của cặp khối tương đồng này. Quá trình tách tin từ ảnh giấu tin thực hiện tương tự như quá trình giấu tin.

△	△	△	○	○	□	□	□
△	△	○	○	□	□	□	○
△	○	○	□	□	□	○	○
○	○	□	□	□	○	○	○
○	□	□	□	○	○	○	○
□	□	□	○	○	○	○	○
□	□	○	○	○	○	○	○
□	○	○	○	○	○	○	○

Hình 1. Ba vùng hệ số DCT khác nhau của khối 8×8 (hình tam giác: vùng tìm kiếm, hình vuông: vùng giấu tin, hình tròn: vùng không sử dụng)

Để giấu tin vào ảnh, mỗi ảnh được chia thành khối 8×8 pixels không trùng lặp, cứ mỗi khối B^L trong ảnh bên trái, tìm khối tương đồng $CorrB$ từ ảnh bên phải theo công thức sau:

$$Dif(B^R) = \sum_{u,v=0}^{u+v<3} [C_{B^L}(u,v) - C_{B^R}(u,v)]^2 \quad (1)$$

Với $C_B(u,v)$ là giá trị hệ số DCT tại (u,v) trong khối B .

Cặp khối tương đồng nhất được tìm thấy chính là cặp khối có $Dif(B^R)$ nhỏ nhất. Trước khi giấu tin, tính giá trị hệ số lượng tử DCT khác nhau trong vùng giấu tin giữa hai khối tương đồng B^L và $CorrB$ theo công thức sau:

$$Dif B(u,v) = C_{B^L}(u,v) - C_{CorrB}(u,v), \text{ với } 4 < u+v < 8 \quad (2)$$

Sau đó, mỗi $Dif B(u,v) = 0$ (giá trị hệ số DCT khác nhau bằng 0) được dùng để giấu một số nguyên z theo công thức (3). Và $z \in [-1,1]$.

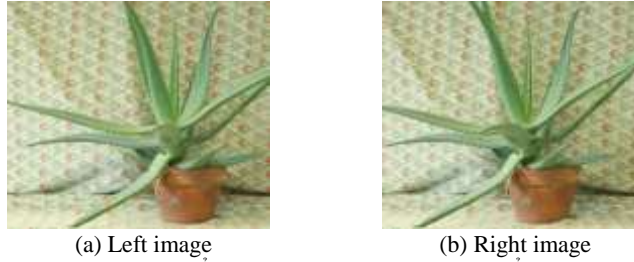
$$Dif' B(u,v) = \begin{cases} Dif B(u,v) + 1, & \text{nếu } Dif B(u,v) > 0 \\ z & \text{nếu } Dif B(u,v) = 0 \\ Dif B(u,v) - 1, & \text{nếu } Dif B(u,v) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Sau đó, giá trị hệ số lượng tử DCT khác nhau mới, $Dif' B(u,v)$, được dùng để cập nhật lại cặp ảnh bên trái và bên phải của ảnh stereo. Bằng cách áp dụng các bước trên thì thông tin mật được giấu vào ảnh stereo. Nhưng theo công thức (3), hầu như từng cặp hệ số lượng tử DCT sẽ bị thay đổi giá trị để giấu thông tin để đảm bảo rằng có thể khôi phục lại phiên bản gốc sau khi thông tin mật đã được tách ra.

III. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

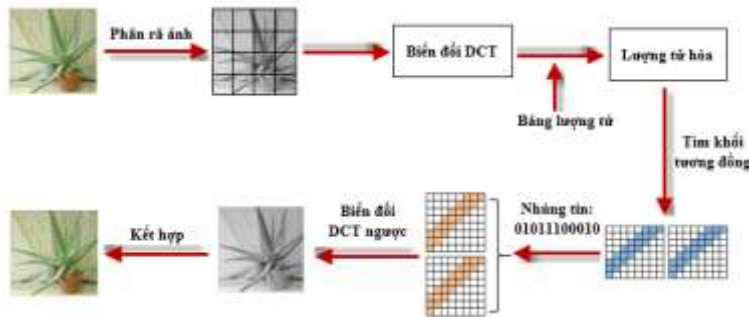
Như đã đề cập ở phần II, chúng tôi nhận thấy rằng phương pháp của Yang và Chen [9] khả năng thông tin được nhúng vẫn còn giới hạn. Vì khả năng nhúng phụ thuộc vào tần suất xuất hiện của giá trị khác biệt bằng 0 của hai hệ số lượng tử hóa DCT cũng như phụ thuộc vào dịch chuyển lược đồ xám của ảnh để giấu tin. Để khắc phục các hạn chế này, chúng tôi đề xuất một giải pháp giấu tin mới dựa vào việc cải tiến lưu đồ dịch chuyển các cặp hệ số lượng tử hóa DCT thành lưu đồ 2 chiều. Phương pháp này sẽ giới hạn được việc thay đổi giá trị của các cặp hệ số và có khả năng nhúng dữ liệu trên mọi cặp hệ số lượng tử hóa DCT, từ đó nâng cao khả năng nhúng thông tin vào ảnh mang tin (cover stereo image). Giải pháp đề xuất cũng gồm hai quá trình chính đó là quá trình giấu tin và tách tin.

A. Quá trình giấu tin



Hình 2. Một ví dụ của ảnh Stereo. (a) Ảnh bên trái của ảnh Stereo, (b) Ảnh bên phải của ảnh Stereo

Dựa trên đặc tính của ảnh stereo image có nhiều khối ảnh giống nhau như hình 2 đồng thời kế thừa định nghĩa vùng tìm kiếm, vùng giấu tin và vùng không sử dụng của khối ảnh lượng tử hóa DCT. Đầu tiên, mỗi ảnh trái và phải được chia thành những khối có kích thước 8×8 trong miền tần số DCT và lượng tử hóa chúng. Tiếp đến, dựa trên vùng tìm kiếm để tìm cặp khối ảnh giống nhau theo một ngưỡng T nào đó. Khi đó dữ liệu sẽ được nhúng vào vùng nhúng dữ liệu. Quá trình giấu tin vào ảnh stereo có thể được mô tả như sơ đồ hình 3.



Hình 3. Lưu đồ quá trình giấu tin trong ảnh Stereo

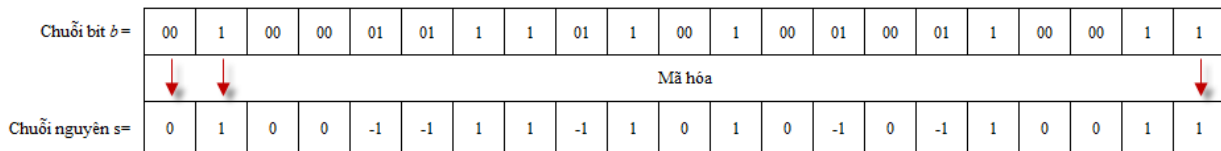
1. Mã hóa thông tin trước khi giấu

Để nâng cao khả năng giấu tin, chúng tôi mã hóa chuỗi bit thông tin cần giấu thành số nguyên tương ứng theo bảng quy luật sau:

Bảng 1. Bảng mã hóa bit dữ liệu

Bit thông tin (b)	Số nguyên mã hóa (s)
00	0
01	-1
1	1

Ví dụ 1: Giả sử ta có chuỗi bit thông tin $b = 0010000010111011001000100011000011$, áp dụng bảng 1 ta có chuỗi nguyên $s = 0100-1-111-11010-10-110011$, được mô tả rõ hơn như hình 4.



Hình 4. Một ví dụ mã hóa bit dữ liệu

2. Tìm cặp khối ảnh tương đồng

Mỗi ảnh được chia thành những khối (8×8) pixels không trùng lặp nhau, tương tự như giải pháp của Yang và Chen [9] tương ứng mỗi khối $Block^L$ trong ảnh bên trái tìm khối tương đồng $CorrBlock$ trong ảnh bên phải theo công thức (1).

3. Nhúng tin

Khi tìm được các cặp khối ảnh tương đồng, tiến hành nhúng tin vào vùng giấu tin (vùng $4 < u+v < 8$) của cặp khối tương đồng ($Block^L, CorrBlock$) theo các bước sau:

Bước 1. Dịch chuyển hệ số lượng tử hóa DCT trong vùng giấu tin của mỗi khối ảnh theo công thức:

$$Block(u, v) = Block(u, v) + 1, \text{ nếu } Block(u, v) > 0 \tag{4}$$

Trong đó: $(4 < u+v < 8)$ với mọi $u, v = 1:8$

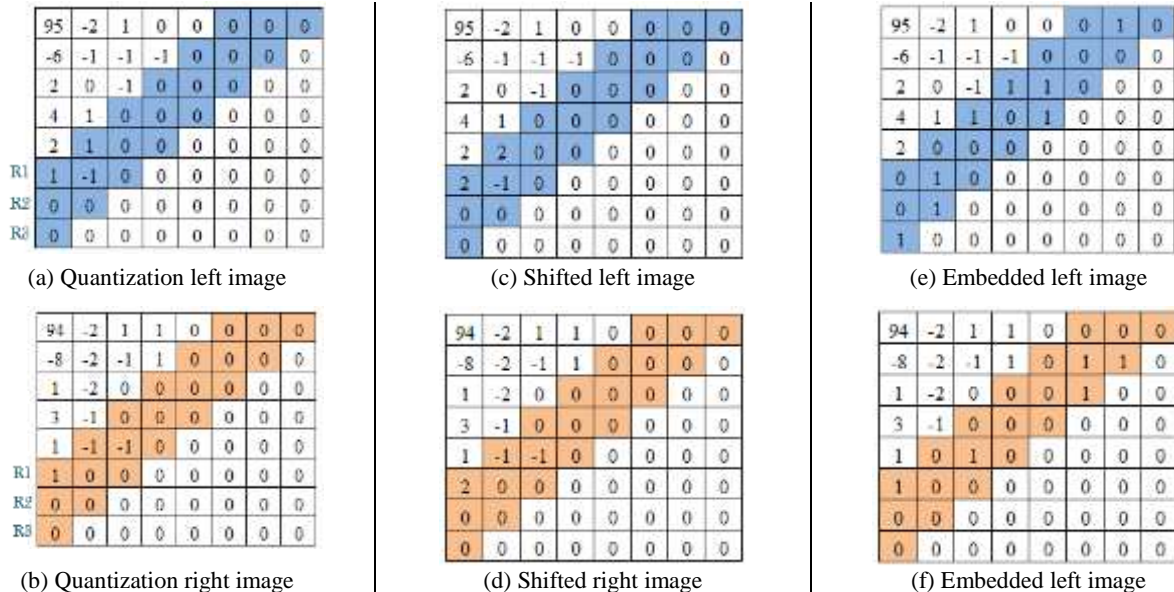
Bước 2. Với mỗi cặp hệ số lượng tử hóa DCT của cặp khối tương đồng ($Block^L, CorrBlock$) ta thực hiện những thông tin như thuật toán 1:

```

Thuật toán 1:
if (4 < u+v < 8)
  if  $Block^L(u,v) = CorrBlock(u,v) = 0$  then
    if s=0 then  $Block^L(u,v) = CorrBlock(u,v) = 0$ 
    else
      if s=-1 then{
         $CorrBlock(u,v) = 1$ ; }
      else  $Block^L(u,v) = 1$ ;
    end
  end
end
end
end

```

Ví dụ 2: Giả sử ta có chuỗi thông tin cần giấu như ví dụ 1 vào khối ảnh tương đồng được tìm thấy như hình 5.a và 5.b



Hình 5. Một ví dụ quá trình nhúng thông tin vào vùng giấu tin R1, R2, R3

B. Quá trình tách tin

Quá trình tách tin thực hiện tương tự như quá trình giấu tin. Đầu tiên, mỗi ảnh mang tin (Stego-image) được chia thành các khối có kích thước 8×8 pixels không trùng lặp, mỗi khối của ảnh mang tin bên trái $sBlock^L$, tìm khối tương đồng của ảnh mang tin bên phải $sCorrBlock$ theo công thức (1). Sau đó, thông tin mật sẽ được tách ra từ cặp khối tương đồng này. Chi tiết được thực hiện qua các bước sau đây:

Bước 1. Chia mỗi ảnh mang tin thành các khối 8×8 pixels

Bước 2. Tìm cặp ảnh tương đồng ($sBlock^L, sCorrBlock$) dựa vào vùng tìm kiếm của mỗi khối và công thức (4).

Bước 3. Tách thông tin đã giấu theo thuật toán 2 như sau:

```

Thuật toán 2:
if (4<u+v<8)
    if BlockL(u,v) ≤ 1 and CorrBlock(u,v) ≤ 1 then
        if sBlockL(u,v)=0
            if sCorrBlock(u,v)=0 then
                b='00'
            else
                b='01';
            end
        else
            b='11';
        end
    end
end
end
    
```

IV. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Để kiểm tra thực nghiệm, chúng tôi tiến hành áp dụng giải pháp được đề xuất ở phần III trên bộ dữ liệu mẫu gồm 4 cặp ảnh stereo lấy từ [10] như Hình 6, dùng các giá trị ngưỡng (threshold) T khác nhau để xác định cặp khối tương đồng cho giấu tin, và sử dụng bảng lượng tử DCT như Hình 7. Từ đó quan sát sự tác động về chất lượng ảnh và khả năng giấu tin khi thay đổi giá trị ngưỡng T . Trong quá trình thực nghiệm này, chúng tôi chọn giá trị T từ 1 đến 5 và dùng tỉ lệ nhiễu ảnh (PSNR) và đo mức độ nhúng bit per pixel (bpp) để đánh giá chất lượng ảnh và khả năng giấu tin của giải pháp đề xuất. Bài viết đã chứng minh được rằng khả năng nhúng tin trên ảnh stereo theo phương pháp của chúng tôi cao hơn phương pháp [9] trong khi vẫn đảm bảo được tính thuận nghịch và chất lượng cao của ảnh mang tin.



Hình 6. Bộ ảnh stereo kiểm tra thực nghiệm

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Hình 7. Bảng lượng tử hóa

Trong kết quả thực nghiệm, để đánh giá chất lượng của ảnh mang tin như hình 8 với ngưỡng ($T=4$), chúng tôi đo độ chính xác của khối ảnh bên trái và khối ảnh bên phải dựa vào phương pháp đo độ nhiễu của ảnh (PSNR) sau khi nhúng tin so với ảnh trước khi nhúng tin. Với PSNR được tính như công thức (5), được dùng để so sánh độ nhiễu ảnh theo giải pháp của chúng tôi so với phương pháp của Yang và Chen [9].

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (5)$$

Trong đó MSE là bình phương độ sai khác từng điểm ảnh của 2 ảnh có kích thước ($M \times N$) và được tính theo công thức (6):

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - x'_{i,j}) \quad (6)$$

Với $x_{i,j}$ là giá trị điểm ảnh của ảnh trước khi giấu tin và $x'_{i,j}$ giá trị điểm ảnh của ảnh sau khi giấu tin.

			
Ảnh trái của Aloe (368×424) PSNR: 37.5 dB	Ảnh phải của Aloe (368×424) PSNR: 38.3 dB	Ảnh trái của Baby1 (368×408) PSNR: 34.0 dB	Ảnh phải của Baby1 (368×408) PSNR: 36.8
			
Ảnh trái của Bowling1 (368×416) PSNR: 31.3 dB	Ảnh phải của Bowling1 (368×416) PSNR: 34.9 dB	Ảnh trái của Flowerpots (368×432) PSNR: 34.3 dB	Ảnh phải của Flowerpots (368×432) PSNR: 37.2 dB

Hình 8. Kết quả thực nghiệm với ngưỡng $T=4$

Bảng 2 trình bày khả năng giấu tin của giải pháp đề xuất so với giải pháp của Yang và Chen với các giá trị ngưỡng T khác nhau. Như có thể thấy trong Bảng 2, giải pháp đề xuất cải thiện đáng kể khả năng giấu thông tin. Mặc dù, lượng thông tin rất lớn được giấu nhưng chất lượng của ảnh mang tin cũng vẫn đảm bảo rất cao so với giải pháp của Yang và Chen [9].

Bảng 2. So sánh kết quả giữa phương pháp đề xuất với phương pháp của Yang và Chen [9]

T	Giải pháp đề xuất		Yang và Chen [9]	
	PSNR	bpp	PSNR	bpp
2	41,9	0,07	41,7	0,04
3	39,5	0,12	39,6	0,05
4	37,9	0,17	38,2	0,07

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo, chúng tôi đề xuất một giải pháp giấu tin thuận nghịch mới cho ảnh stereo. Trong giải pháp này, chúng tôi xây dựng lưu đồ hai chiều cho cặp hệ số DCT đã lượng tử để giấu thông tin. Bằng cách làm như vậy, một lượng lớn thông tin mật có thể nhúng vào ảnh trong khi vẫn đảm bảo được chất lượng của ảnh mang tin luôn ở mức cao. Kết quả thực nghiệm của chúng tôi đã cho thấy rằng, giải pháp đề xuất đã cải thiện đáng kể khả năng giấu tin của giải pháp của Yang và Chen [9], trong khi vẫn đảm bảo chất lượng của ảnh mang tin rất cao. Ngoài ra, giải pháp đề xuất cũng đảm bảo được tính thuận nghịch vì thế có thể áp dụng vào các lĩnh vực đặc biệt như y khoa, quân đội hoặc pháp chứng...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tian J (2003), "Reversible data embedding using a difference expansion". IEEE Trans Circ Syst Video Technology 13(8):890–896.
- [2] Wong K, Tanaka K (2010), "DCT based scalable scrambling method with reversible data hiding functionality". Proc. 4th ISCCSP, pp. 1–4.
- [3] Chang CC, Lin CC, Tseng CS, Tai WL (2007), "Reversible hiding in DCT-based compressed images". Inf Sci 141:123–138.
- [4] Lin CC, Shiu PF (2010), DCT-based reversible data hiding scheme. J Softw 5(2):214–224.
- [5] Zaidoon Kh. AL-Ani et al (2010), "Overview: Main Fundamentals for Steganography". Journal of Computing, Volume 2, Issue 3, March 2010, ISSN 2151-9617.

- [6] Cox IJ, Miller ML, Bloom JA, Fridrich J, Kalker T (2008), *Digital watermarking and steganography*. Morgan Kaufmann Publisher, Burlington, pp. 429–495.
- [7] Katzenbeisser S, Petitcolas FAP (2000), *Information hiding techniques for steganography and digital watermark*. Artech House, Inc, Massachusetts, pp. 3.
- [8] Bai NY, Chiang JY (1998) “*Data hiding using binocular fusion of stereo pairs*”. Proceeding of the eighth national conference in information security, pp. 245-254.
- [9] Wen-Chao Yang, Ling-Hwei Chen (2014), “*Reversible DCT-base data hiding in stereo images*”. *Multimed Tools Appl* DOI 10.1007/s11042-014-1958-6.
- [10] Middlebury Stereo Datasets, <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/>.
- [11] Ni Z, Shi YQ, Ansari N, and Su W (2006), “*Reversible data hiding*,” *IEEE Trans. Circuits Sys. Video Technol.*, 16(3), pp. 354-362.

REVERSIBLE STEGANOGRAPHY IN STEREO IMAGE WITH HIGH EMBEDDING CAPACITY

Nguyen Thai Son, Vo Phuoc Hung, Huynh Van Thanh, Do Thanh Nghi

ABSTRACT— Stereo images captured from a pair of CCDs simultaneously are widely used to create the illusion of 3D depth. Each pair of stereo images has many similar block pairs. Many steganography schemes have been proposed for stereo images; however, their embedding capacity is limited while low image quality. In this paper, a novel reversible steganography scheme is proposed to embed secret data in these similar block pairs. To increase the embedding capacity, each 3-bit secret data is embedded into a pair of middle frequency DCT-quantized coefficients from these similar block pairs. Experimental results demonstrated that the proposed scheme achieves high embedding capacity while maintaining good quality of stereo images. The experimental results also showed that the proposed scheme outperforms some previous schemes in terms of embedding capacity and image quality of stego images.

Keywords— Stereo images, reversibility, steganography, quantized DCT coefficients.