



ISO 9001 : 2008

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
HỘI ĐỒNG KHOA HỌC

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CẤP TRƯỜNG

GIẢI PHÁP GIẤU TIN THUẬN NGHỊCH CHO
ẢNH STEREO DỰA VÀO ĐÁNH GIÁ ĐỘ
TƯƠNG QUAN VÀ DỊCH CHUYỂN LƯU ĐỒ

Chủ nhiệm đề tài:
Chức danh:
Đơn vị:

TS. NGUYỄN THÁI SƠN
Giảng viên
Khoa Kỹ thuật và Công nghệ

Trà Vinh, ngày 02 tháng 08 năm 2017



ISO 9001 : 2008

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
HỘI ĐỒNG KHOA HỌC

BÁO CÁO TỔNG KẾT
ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CẤP TRƯỜNG

GIẢI PHÁP GIẤU TIN THUẬN NGHỊCH CHO
ẢNH STEREO DỰA VÀO ĐÁNH GIÁ ĐỘ
TƯƠNG QUAN VÀ DỊCH CHUYỂN LƯU ĐỒ

Xác nhận của cơ quan chủ quản

(Ký, đóng dấu, ghi rõ họ tên)

Chủ nhiệm đề tài

(Ký, ghi rõ họ tên)

Nguyễn Thái Sơn

Trà Vinh, ngày tháng năm 2017

TÓM TẮT

Trong báo cáo này, một phương pháp mới về giấu tin thuận nghịch sẽ được đề xuất để giấu thông tin mật vào những cặp khối giống nhau của ảnh stereo. Phương pháp này thực hiện giấu tin bằng cách xây dựng lưu đồ dịch chuyển hai chiều (2D histogram shifting) từ các cặp hệ số DCT đã lượng tử. Những cặp DCT đã lượng tử được rút ra từ các cặp khối (8×8 pixels) trái và phải giống nhau trên ảnh stereo. Trong lưu đồ hai chiều, lưu đồ được chia thành 4 hướng khác nhau. Trong khi, các cặp hệ số lượng tử DCT đa số có giá trị dương hoặc giá trị gần bằng không (0), vì vậy tọa độ của chúng luôn ở góc trên bên phải của lưu đồ. Do đó, đây là góc thích hợp nhất để giấu nhiều thông tin mật với khả năng nhúng cao mà vẫn duy trì được chất lượng ảnh stereo. Các kết quả trong phần thực nghiệm sẽ chứng minh rằng phương pháp đề xuất đạt được khả năng giấu tin cao hơn các giải pháp trước đây trong khi vẫn đảm bảo chất lượng của ảnh mang tin.

In this paper, we propose a novel reversible data hiding technique based on two-dimensional histogram shifting for quantized discrete cosine transformation coefficients (QDCT). In the proposed scheme, a two-dimensional histogram is constructed by QDCT coefficients blocks with the size of 8×8 of the left image and the right image. Once most of the QDCT coefficients are located at the top-right corner of the two-dimensional histogram, the QDCT coefficients are selected for embedding data to achieve high embedding capacity. In the embedding procedure, the three main steps, i.e., expanding, shifting, and embedding, are only used for QDCT coefficients in this corner not only to gain embedding capacity, but also to maintain good visual quality of stego images. The experimental results demonstrated that the proposed method is superior to the previous schemes in terms of embedding capacity and image quality.

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN.....	8
PHẦN MỞ ĐẦU	9
1. Tính cấp thiết của đề tài.....	9
2. Tổng quan nghiên cứu.....	10
2.1. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	10
2.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước.....	10
3. Mục tiêu	12
4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu.....	13
PHẦN NỘI DUNG	14
CHƯƠNG 1. Nghiên cứu giấu tin bằng phương pháp thay đổi lưu đồ và các giải pháp giấu tin cho ảnh stereo hiện có.....	14
CHƯƠNG 2. Nghiên cứu xây dựng lưu đồ histogram hai chiều cho việc giấu tin trong ảnh stereo	14
1. Quá trình giấu tin	15
1.1. Tìm cặp khối ảnh giống nhau.....	16
1.2. Giấu tin bằng phương pháp dịch chuyển lưu đồ hai chiều	16
1.3. Ví dụ họa minh họa thuật toán giấu tin	18
2. Quá trình tách tin.....	20
CHƯƠNG 3. So sánh và đánh giá kết quả thực nghiệm của giải pháp mới được đề xuất 22	
3.1. Phương pháp đánh giá hiệu suất thuật toán giấu tin.....	24
3.2. Phương pháp đo khả năng giấu tin.....	24
Phương pháp đo chất lượng ảnh.....	24
3.3. Phân tích kết quả thực nghiệm	25
PHẦN KẾT LUẬN	31

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 4.1 Bảng so sánh chất lượng ảnh (PSNR) và tỉ lệ giấu tin (bpp) của 21 ảnh stereo khi dùng ngưỡng $T = 5$ với QF khác nhau	25
Bảng 4.2 Bảng so sánh chất lượng ảnh (PSNR) và tỉ lệ giấu tin (bpp) của 21 ảnh stereo khi $QF = 75$ với T khác nhau.....	26
Bảng 4.3 Bảng so sánh giá trị trung bình của PSNR và bpp đối với 21 ảnh stereo của hai phương pháp với $QF = 75$	28

DANH MỤC CÁC BIỂU ĐỒ, SƠ ĐỒ, HÌNH ẢNH

Hình 3.1 Một ví dụ của ảnh stereo: (a) Ảnh bên trái, (b) Ảnh phải phải	15
Hình 3.2 Sơ đồ khối quá trình giấu tin vào ảnh stereo	15
Hình 3.3 Ba vùng của một khối 8x8 trong miền DCT	16
Hình 3.4 Lưu đồ dịch chuyển histogram hai chiều để giấu tin với $(x, y) = (0, 0)$...	17
Hình 3.5 Ví dụ về tìm khối tương đồng.....	19
Hình 3.6 Hai khối ảnh sau khi dịch chuyển.....	19
Hình 3.7 Hai khối ảnh trước khi giấu tin.....	20
Hình 3.8 Hai khối ảnh sau khi giấu tin	20
Hình 3.9 Ví dụ về quá trình tách tin và khôi phục ảnh mang tin	22
Hình 4.1 Sáu cặp ảnh stereo trong tập mẫu[34]	23
Hình 4.2 Baboon – thông tin mật	23
Hình 4.3 Biểu đồ so sánh khả năng giấu tin giữa phương pháp đề xuất và phương pháp của Yang khi $T = 30$ và $QF = 75$	29
Hình 4.4 So sánh tính hiệu quả của hai phương pháp khi $T = 20$, $QF = 7$	30

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT, KÝ HIỆU, ĐƠN VỊ ĐO LƯỜNG, TỪ NGẮN HOẶC THUẬT NGỮ

STT	TỪ VIẾT TẮT	TỪ VIẾT ĐẦY ĐỦ
1	2D	2-dimensional
2	3D	3-dimensional
3	AC	Alternating Current
4	AES	Advanced Encryption Standard
5	BPP	Bit Per Pixel
6	CCD	Charge Coupled Device
7	DC	Direct Current
8	DCT	Discrete Cosine Transform
9	DES	Data Encryption Standard
10	DFT	Discrete Fourier Transform
11	DWT	Discrete Wavelet Transform
12	IDCT	Inverse Discrete Cosine Transform
13	LSB	Least Significant Bit
14	PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
15	QF	Quality Factor
16	RSA	Ron Rivest, Adi Shamir, and Leonard Adleman

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành và sự tri ân sâu sắc đối với trường Đại học Trà Vinh, đặc biệt là Khoa Kỹ thuật & Công nghệ của trường đã giành nhiều thời gian cho tôi thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học tại Khoa. Đồng thời, nhà trường đã tạo cho tôi có cơ hội được tìm hiểu và áp dụng những kiến thức sâu rộng của khoa học máy tính vào một đề tài cụ thể. Qua thời gian thực hiện đề tài này tôi tích lũy được nhiều kiến thức mới có giá trị cao có thể áp dụng vào trong việc nghiên cứu và giảng dạy để giúp ích cho công việc hiện tại và sau này của tôi.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Ngày nay, sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ đa phương tiện, cùng với sự bùng nổ của việc trao đổi thông tin trên Internet. Nó hình thành một kênh phân phối dữ liệu số hay dữ liệu đa phương tiện một cách rộng rãi. Chúng ta có thể biên tập, chỉnh sửa hoặc nhân bản thông tin số một cách dễ dàng [1-6]. Điều này dẫn đến những thách thức như phải đối mặt với các mối đe dọa và rủi ro cao. Từ đó, để đảm bảo tính riêng tư và nâng cao khả năng bảo mật của thông tin, chúng ta cần tìm ra các giải pháp phù hợp để bảo vệ thông tin nhạy cảm đó. Một trong những kỹ thuật được dùng đó là giấu tin mật (Steganography). Đó là một hình thức che giấu sự tồn tại của thông tin bên trong một thông tin khác.

Khác với cryptography, steganography là kỹ thuật ẩn đi các thông tin cần giữ bí mật, làm cho những người khác rất khó có thể phát hiện ra thông tin có được giấu bên trong đối tượng thông tin khác hay không. Các đối tượng thích hợp để chứa thông tin cần giấu có thể là các tập tin document, image, video, audio... Đối với cryptography cũng là cách giúp bảo vệ thông tin tránh sự truy cập bất hợp pháp bằng cách dùng các thuật toán mã hóa thông tin. Kỹ thuật này các thông tin cần bảo vệ không được che giấu mà chỉ mã hóa, các đối tượng xấu vẫn thấy được thông tin mật tuy nhiên chúng không thể hiểu được ý nghĩa thật sự của nó.

Gần đây, có nhiều công trình nghiên cứu về phương pháp giấu tin với khả năng khôi phục ảnh mang tin cao dựa trên kỹ thuật thay đổi lưu đồ Histogram trên miền tần số [15-18]. Tuy nhiên, các giải pháp này không thể áp dụng trực tiếp trên ảnh stereo, đồng thời khả năng giấu tin và chất lượng ảnh mang tin vẫn còn có khả năng cải thiện.

Phương pháp thay đổi lưu đồ Histogram là phương pháp kinh điển được sử dụng trong giấu tin với khả năng khôi phục lại ảnh gốc cao. Tuy nhiên, khả năng giấu tin vẫn còn hạn chế và chất lượng ảnh mang tin bị thay đổi nhiều. Trong phương pháp của Yang và Chen xác suất làm thay đổi ảnh khi thông tin được giấu khoảng 2/3 do nhúng các giá trị -1, 0, 1 vào các cặp hệ số khác nhau bằng 0.

Để khắc phục những yếu điểm này, 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, giúp nâng cao khả năng giấu tin của giải pháp.

Với đặc tính của ảnh stereo là có một ảnh bên trái và một ảnh bên phải điều này tạo điều kiện thuận lợi cho việc xây dựng lưu đồ hai chiều để khắc phục

được khả năng nhúng thông tin và tỉ lệ thay đổi ảnh chỉ bằng $\frac{1}{4}$ so phương pháp xây dựng lưu đồ một chiều.

2. Tổng quan nghiên cứu

Các thiết bị công nghệ ngày càng phổ biến, người dùng dễ dàng dùng một máy ảnh ống kính kép (dual-camera) để thu nhận ảnh dạng stereo để tạo ảo giác 3D[8] khi xem. Hơn nữa, với sự lớn mạnh của mạng máy tính và nhu cầu trao đổi thông tin số trên mạng Internet tăng lên từng giây. Vì vậy, các dữ liệu số này có thể dễ dàng bị biên tập, chỉnh sửa hay nhân bản trái phép bởi những kẻ tấn công. Từ các thách thức trên, làm cách nào để đảm bảo tính an toàn và bảo mật những dữ liệu số này trở nên vấn đề ngày càng được quan tâm bởi các nhà khoa học ở nhiều lĩnh vực khác nhau.

2.1. Tình hình nghiên cứu trong nước

Trong các năm qua, Việt Nam có các nhóm nghiên cứu về các giải pháp giấu tin[9 - 11] và thủy vân số trên ảnh [12 - 14] của các được công bố trên các tạp chí cũng như hội thảo trong và ngoài nước. Bên cạnh đó, có các luận án tiến sĩ nghiên cứu giải pháp nâng cao chất lượng thủy vân sử dụng biến đổi Cosine rời rạc trên ảnh JPEG[15] hay luận án tiến sĩ về nghiên cứu một số kỹ thuật phát hiện ảnh giấu tin[16]. Ngoài ra, cũng có các đề tài luận văn về giấu tin chủ yếu dựa vào kỹ thuật LSB của các bạn sinh viên[17]. Tuy nhiên, hầu hết các giải pháp trên thường chỉ áp dụng trên các đối tượng ảnh mức xám (grayscale images) và chưa hỗ trợ cơ chế thuận nghịch (reversible).

2.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Bằng kỹ thuật giấu tin trên miền không gian ảnh, nhiều công trình[18]–[22] thực hiện giấu tin mật trực tiếp vào giá trị các điểm ảnh (pixels) của ảnh mang tin đã được công bố trong các năm qua. Phương pháp giấu tin phổ biến trong miền không gian là thực hiện thay đổi bit có trọng số ít quan trọng nhất (LSB) của các điểm ảnh để giấu tin. Một đề xuất khác dùng miền không gian đã được Tian[20] công bố năm 2003. Tác giả dựa trên sự mở rộng khác biệt (difference expansion) của hai điểm ảnh để nhúng thông tin mật. Đây là một trong các kỹ thuật giấu tin thuận nghịch có khả năng phục hồi ảnh gốc, tuy nhiên phương pháp này có điểm yếu là có khả năng làm cho một số pixel bị vượt ngưỡng (overflow) hoặc dưới ngưỡng (underflow) khi thực hiện giấu thông tin vào các điểm ảnh đó.

Song song đó, các giải pháp giấu tin dựa trên miền tần số như[23 - 28]. Trong các phương pháp này, các tác giả thực hiện giấu các thông tin mật vào giá trị các hệ số (coefficients) của điểm ảnh mang tin sau khi chúng được biến đổi thông qua các phép biến đổi rời rạc như: DFT, DCT và DWT. Chang và các đồng nghiệp[29] đã đề xuất giải pháp giấu tin thuận nghịch dựa trên miền biến đổi tần số DCT của ảnh nén JPEG nhưng bị giới hạn ở khả năng giấu tin. Sau đó, Lin và Shiu[30] đã cải tiến phương pháp của Chang nhằm tăng khả năng giấu tin được nhiều hơn trung bình khoảng ??? bpp.

Hầu hết các kỹ thuật giấu tin thuận nghịch đã được đề xuất [16 - 26] chỉ áp dụng trên ảnh 2D. Bằng cách dùng kỹ thuật stereoscopy có thể để tạo ra ảo giác về độ sâu 3D từ một cặp ảnh 2D (ảnh stereo), Patrizio Campisi[31] đã đề xuất một phương pháp hướng đối tượng cho thủy văn số trên ảnh này. Trong phương pháp này, một bản đồ về độ sâu (depth map) sẽ được tạo ra từ một cặp của ảnh stereo, sau đó thông tin được thủy văn trong miền hệ số lượng tử DWT. Một giải pháp khác về thủy văn số trên ảnh stereo cũng được đề xuất bởi Luo và các đồng nghiệp[32]. 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 khi 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... Ví dụ trong dịch vụ chăm sóc sức khỏe, thông tin cá nhân bệnh nhân có thể được giấu trong ảnh chụp X-quang của bệnh nhân. Các thông tin này khi được tách ra từ ảnh chụp X-quang ở bên người nhận vẫn đảm bảo chính xác và ảnh X-quang cũng không được sai lệch. Do đó, trong những ứng dụng như vậy cần có thuật toán giấu tin thuận nghịch[33], tức là ngoài khả năng giấu được lượng lớn thông tin, chất lượng của ảnh mang tin được đảm bảo, ứng dụng này cần 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).

Để đạt được các mục tiêu trên, năm 2015, Yang và Chen[26] đã đề xuất một phương pháp giấu tin thuận nghịch trên ảnh stereo. Trong phương pháp này, trước khi giấu tin, tác giả thực hiện 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 lượng tử DCT tương ứng trong hai khối ảnh bên trái và phải. 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, báo cáo này đề xuất một giải pháp giấu tin thuận nghịch mới dựa vào việc xây dựng lưu đồ dịch chuyển hai chiều trên các cặp hệ số lượng tử DCT. Với đặc tính của ảnh stereo là có một ảnh bên trái và một ảnh bên phải, điều này tạo điều kiện thuận lợi cho việc xây dựng lưu đồ hai chiều. Lưu đồ này được chia thành bốn hướng, nhưng chỉ chọn một hướng để giấu tin. Điều này khắc phục được khả năng việc thay đổi giá trị của các hệ số lượng tử DCT không liên quan khi giấu thông tin. Bởi, chỉ có một hướng được chọn cho việc giấu thông tin, tỉ lệ thay đổi của ảnh stereo chỉ xấp xỉ bằng $\frac{1}{4}$ so phương pháp xây dựng lưu đồ một chiều. Bằng cách làm như thế, thì giải pháp mới đề xuất sẽ giới hạn được việc thay đổi giá trị của các cặp hệ số lượng tử DCT 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 lượng tử DCT. Từ đó, sẽ có nhiều cặp hệ số được lựa chọn cho việc giấu tin hơn, giúp nâng cao khả năng giấu tin của giải pháp.

3. Mục tiêu

- Tìm hiểu các đặc trưng của ảnh stereo
- Nghiên cứu các giải pháp để nhúng thông tin mật vào ảnh stereo dựa vào các đặc trưng của ảnh.
- Đề xuất giải pháp mới đáp ứng khả năng nhúng thông tin mật cao hơn đồng thời vẫn đảm bảo chất lượng ảnh mang tin và khả năng phục hồi lại ảnh gốc khi thông tin nhúng được lấy ra.
- Đề xuất được phương pháp giấu tin có khả năng chống tấn công bằng cách dùng các kỹ thuật mã hóa thông tin trước khi nhúng.

- So sánh và đánh giá kết quả thực nghiệm của chúng tôi với các giải pháp đã được đề xuất trước về khả năng giấu thông tin, chất lượng ảnh chứa tin và khả năng khôi phục lại ảnh gốc.

4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

4.1. **Đối tượng, địa điểm và thời gian nghiên cứu:** Giấu tin thuận nghịch trên Ảnh stereo [34].

4.2. **Quy mô nghiên cứu :** Đề tài cấp trường thực hiện một năm trên tập ảnh stereo [34].

4.3. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp khảo sát, thu thập các tài liệu, bài báo khoa học về giấu tin

- Phương pháp thực nghiệm: Nghiên cứu và cài đặt giải pháp giấu tin trên ảnh stereo của Yang và Chen [14] để thấy được khả năng giấu tin còn hạn chế của phương pháp dùng kỹ thuật Histogram Shifting 1 chiều mà nhóm tác giả đã dùng.

- Xây dựng mô hình toán: Nghiên cứu xây dựng phương pháp giấu tin bằng kỹ thuật dịch chuyển lưu đồ Histogram hai chiều trên miền tần số thích hợp với đặc trưng của ảnh stereo nhằm tăng khả năng giấu tin.

- Thực nghiệm: Xây dựng thuật toán giấu tin thuận nghịch trên máy tính

- Phương pháp đánh giá, so sánh kết quả đạt được với các giải pháp liên quan

PHẦN NỘI DUNG

CHƯƠNG 1. Nghiên cứu giấu tin bằng phương pháp thay đổi lưu đồ và các giải pháp giấu tin cho ảnh stereo hiện có

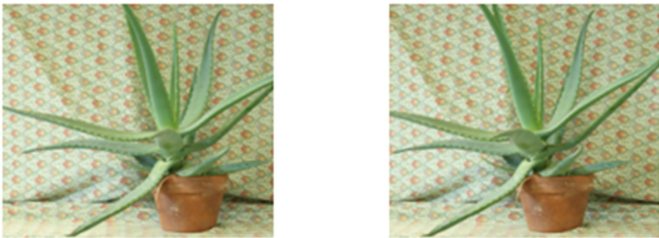
Bằng cách dùng kỹ thuật stereoscopy có thể để tạo ra ảo giác về độ sâu 3D từ một cặp ảnh 2D (ảnh stereo), Patrizio Campisi[31] đã đề xuất một phương pháp hướng đối tượng cho thủy văn số trên ảnh này. Trong phương pháp này, một bản đồ về độ sâu (depth map) sẽ được tạo ra từ một cặp của ảnh stereo, sau đó thông tin được thủy văn trong miền hệ số lượng tử DWT. Một giải pháp khác về thủy văn số trên ảnh stereo cũng được đề xuất bởi Luo và các đồng nghiệp[32]. 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 khi lượng lớn thông tin được giấu, và các giải pháp này cũng không thể khôi phục lại trạng thái ban đầu của đối ảnh mang tin. Điều này không thể chấp nhận trong một số lĩnh vực đặc biệt như y khoa, quân đội hoặc pháp chứng... Ví dụ trong dịch vụ chăm sóc sức khỏe, thông tin cá nhân bệnh nhân có thể được giấu trong ảnh chụp X-quang của bệnh nhân. Các thông tin này khi được tách ra từ ảnh chụp X-quang ở bên người nhận vẫn đảm bảo chính xác và ảnh X-quang cũng không được sai lệch. Do đó, trong những ứng dụng như vậy cần có thuật toán giấu tin thuận nghịch[33], tức là ngoài khả năng giấu được lượng lớn thông tin, chất lượng của ảnh mang tin được đảm bảo, ứng dụng này cần 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). Để đạt được các mục tiêu trên, năm 2015, Yang và Chen[26] đã đề xuất một phương pháp giấu tin thuận nghịch trên ảnh stereo. Trong phương pháp này, trước khi giấu tin, tác giả thực hiện 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 lượng tử DCT tương ứng trong hai khối ảnh bên trái và phải. 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 hậu quả 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.

CHƯƠNG 2. Nghiên cứu xây dựng lưu đồ histogram hai chiều cho việc giấu tin trong ảnh stereo

Như đã đề cập ở phần 2.2, phương pháp của Yang và Chen[26] khả năng thông tin được giấu vẫn còn giới hạn. Vì khả năng giấu tin phụ thuộc vào tần suất xuất hiện của giá trị khác biệt bằng 0 của hai hệ số lượng tử DCT, cũng như phụ thuộc vào kỹ thuật dịch chuyển lược đồ xám của ảnh để giấu tin. Để khắc phục các hạn chế này, luận văn đề xuất một giải pháp giấu tin mới dựa vào việc cải tiến lưu đồ dịch chuyển các cặp hệ số lượng tử DCT thành

lưu đồ hai chiều phù hợp với ảnh stereo. Phương pháp này sẽ giới hạn được việc thay đổi giá trị của các cặp hệ số và có khả năng giấu dữ liệu trên mọi cặp hệ số lượng tử DCT, từ đó nâng cao khả năng giấu tin vào ảnh stereo (cover stereo image). Giải pháp đề xuất cũng gồm hai quá trình chính: quá trình giấu tin và quá trình tách tin.

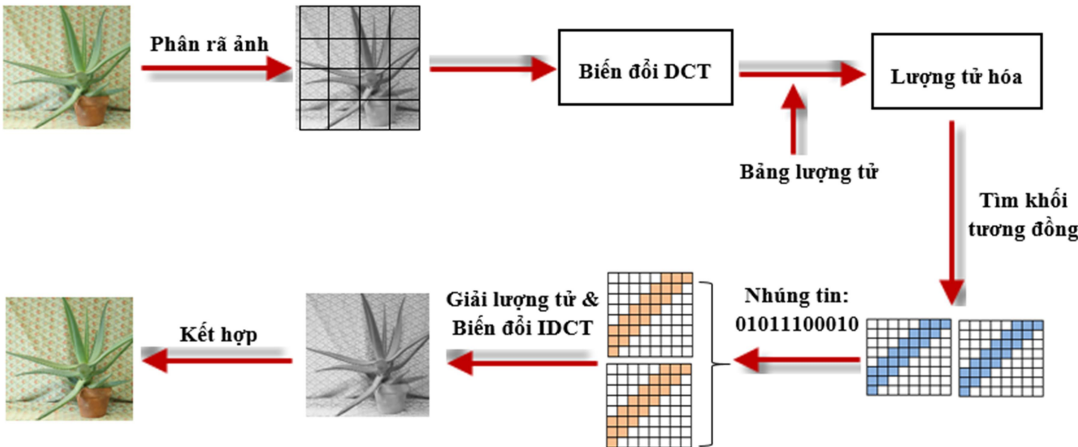
1. Quá trình giấu tin



(a) Ảnh trái (b) Ảnh phải

Hình 0.1 Một ví dụ của ảnh stereo: (a) Ảnh bên trái, (b) Ảnh phải phải

Hình 3.1 là một ví dụ về ảnh stereo. Một ảnh stereo có hai ảnh rất giống nhau (ảnh trái và ảnh phải). Đó đó, giữa hai ảnh trái Hình 3.1(a) và phải Hình 3.1(b) sẽ có nhiều khối ảnh giống nhau. Dựa vào đặc tính giống nhau này, phương pháp đề xuất cũng chia hệ số lượng tử DCT mỗi khối ảnh thành ba vùng sau: vùng tìm kiếm, vùng giấu tin và vùng không sử dụng, giống với phương pháp của Yang[26]. Đầu tiên, mỗi ảnh bên trái và bên phải sẽ được chia thành những khối có kích thước 8×8 pixel trong miền tần số DCT và lượng tử hóa chúng. Tiếp theo, dựa trên vùng tìm kiếm để tìm cặp khối ảnh giống nhau theo một ngưỡng (threshold) T nào đó. Khi đó thông tin mật sẽ được giấu vào vùng giấu tin của những khối ảnh tương đồng đã được chọn. Cuối cùng, thực hiện giải lượng tử và biến đổi DCT ngược để được ảnh mang tin mật (stego-image). Quá trình giấu tin vào ảnh stereo có thể được mô tả như sơ đồ khối Hình 3.2.

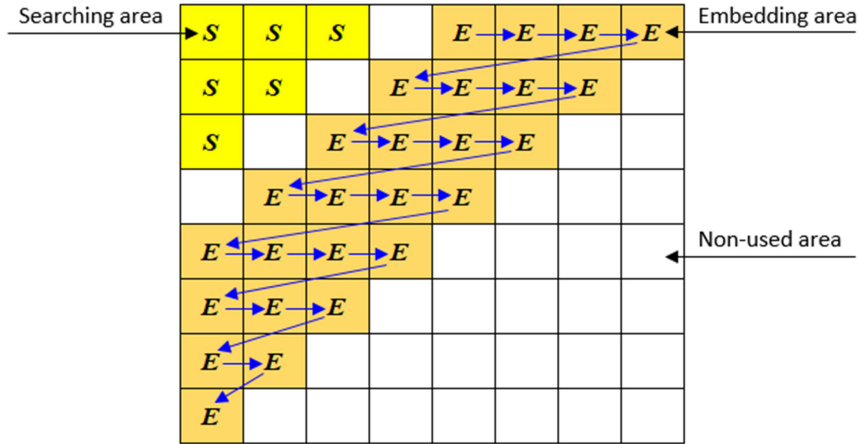


Hình 0.2 Sơ đồ khối quá trình giấu tin vào ảnh stereo

1.1. Tìm cặp khối ảnh giống nhau

Ảnh stereo được chia thành các khối 8×8 pixel không trùng lặp, cứ mỗi khối B^L của ảnh bên trái, dựa vào vùng tìm kiếm như mô tả trong Hình 3.3 để xác định khối tương đồng nhất B^R trong ảnh bên phải theo công thức (3.1).

Cặp khối được gọi là tương đồng nhất khi giá trị khác biệt $Dif(B)$ trong công thức (3.1) là nhỏ nhất. Sau đó, các cặp khối tương đồng nhỏ nhất trong ngưỡng T cho phép được dùng để giấu thông tin mật vào vùng giấu tin của nó.



Hình 0.3 Ba vùng của một khối 8×8 trong miền DCT

(S: Vùng tìm kiếm, E: vùng giấu tin, rỗng: vùng không dùng)

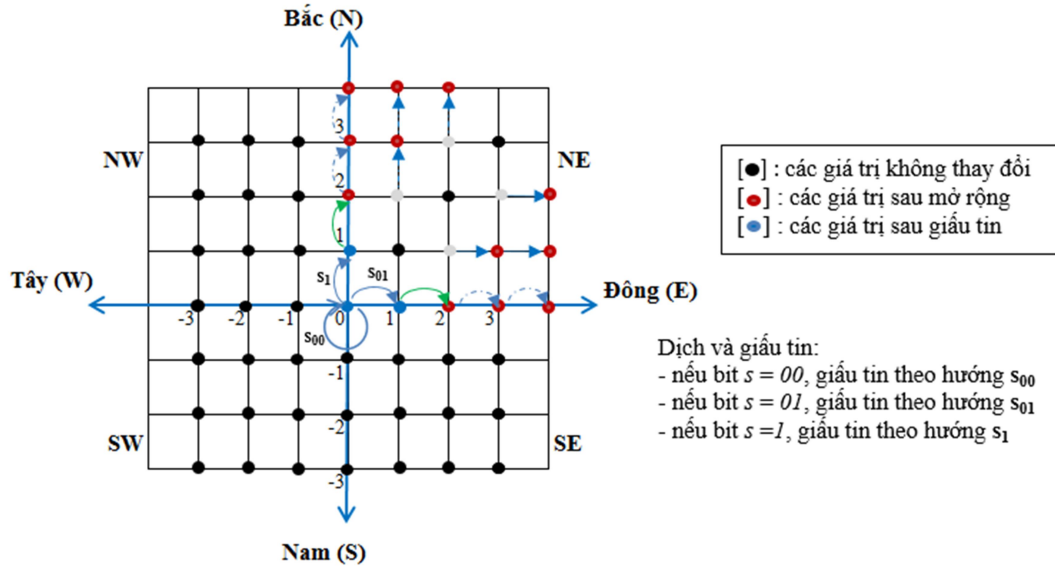
$$Dif(B) = \sum_{\substack{u+v \leq 4 \\ u,v=1}} [C_{B^L}(u, v) - C_{B^R}(u, v)]^2 \quad (3.1)$$

Trong đó, $C(u, v)$ là giá trị hệ số lượng tử DCT tại vị trí (u, v) trong khối ảnh.

1.2. Giấu tin bằng phương pháp dịch chuyển lưu đồ hai chiều

Trong lưu đồ histogram một chiều, $h(x)$ là số lượng thể hiện của đặc trưng x trong một tập mẫu X . Trong nghiên cứu này, tập mẫu X là tập các hệ số lượng tử DCT của cặp khối (8×8 pixels) trái và phải của ảnh stereo và đặc trưng x là giá trị của hệ số lượng tử DCT. Đặc trưng x có thể mang giá trị dương hoặc âm hoặc bằng không. Do ảnh stereo có hai ảnh trái và phải nên thích hợp để xây dựng lưu đồ histogram hai chiều. Trong lưu đồ hai chiều, $h(x, y)$ đại diện cho số lượng thể hiện tương ứng với hai đặc trưng x và y . Trong đó, x là giá trị của hệ số lượng tử DCT của khối ảnh bên trái và y là giá trị hệ số lượng tử DCT của khối ảnh bên phải.

Cơ chế dịch chuyển của lưu đồ histogram hai chiều để giấu thông tin trong trường hợp $h(x, y) = (0, 0)$ được mô tả như trong Hình 3.4.



Hình 0.4 Lưu đồ dịch chuyển histogram hai chiều để giấu tin với $(x, y) = (0, 0)$

Vì hầu hết các hệ số lượng tử DCT trong vùng giấu tin ($6 \leq u + v \leq 9$) đều mang giá trị bằng 0 hoặc mang giá trị dương. Do đó, khi sử dụng phương pháp đề xuất đối với các hệ số này sẽ cho khả năng giấu thông tin và chất lượng ảnh mang tin cao hơn. Thêm vào đó, các hệ số bằng không và dương chỉ thuộc góc trên trái, hướng Đông Bắc (NE), trong lưu đồ Hình 3.4. Điều này có nghĩa là chỉ thực hiện dịch chuyển lưu đồ và giấu tin mật tại gốc này, do đó sẽ đạt được khả năng giấu tin cao trong khi vẫn duy trì được chất lượng ảnh mang tin. Với thứ tự giấu tin được thực hiện theo Hình 3.3. Giả sử chuỗi bit thông tin mật cần giấu là s thì chi tiết về quá trình giấu tin sẽ được mô tả qua các bước sau:

Dữ liệu đầu vào:

- Khối ảnh trái đã lượng tử B_Q^L
- Khối ảnh tương đồng bên phải B_Q^R

Dữ liệu đầu ra:

- Khối ảnh trái $B_Q^{L'}$ và phải $B_Q^{R'}$ đã lượng tử có chứa tin mật s

Bước 1. Mở rộng (Expanding)

Với mỗi cặp khối ảnh đã lượng tử B_Q^L và B_Q^R , thực hiện mở rộng các hệ số lượng tử DCT thuộc vùng giấu tin theo công thức (3.1).

$$\begin{cases} B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) + 1 \\ B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v) \end{cases}, \text{ nếu } \begin{cases} B_Q^L(u, v) > B_Q^R(u, v) \text{ và} \\ [B_Q^L(u, v)] > 1 \end{cases} \\ \begin{cases} B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) \\ B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v) + 1 \end{cases}, \text{ nếu } \begin{cases} B_Q^R(u, v) > B_Q^L(u, v) \text{ và} \\ [B_Q^R(u, v)] > 1 \end{cases} \quad (3.1)$$

Trong đó ký hiệu $[.]$ là thuật toán làm tròn.

Bước 2. Dịch chuyển và giấu tin (Shifting and Embedding)

Bước 2.1. Nếu $[B_Q^L(u, v)] = 0$ và $[B_Q^R(u, v)] = 0$, thông tin mật s sẽ được giấu theo công thức (3.2).

$$\begin{cases} B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) \text{ và } B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v), & \text{nếu } s = 00 \\ B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) \text{ và } B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v) + 1, & \text{nếu } s = 01 \\ B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) + 1 \text{ và } B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v), & \text{nếu } s = 1 \end{cases} \quad (3.2)$$

Bước 2.2. Nếu $[B_Q^L(u, v)] = 0$ và $[B_Q^R(u, v)] = 1$, thông tin mật s sẽ được giấu theo công thức (3.3).

$$\begin{cases} B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) \text{ và } B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v) + 1, & \text{nếu } s = 0 \\ B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) + 1 \text{ và } B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v) + 1, & \text{nếu } s = 1 \end{cases} \quad (3.3)$$

Bước 2.3. Nếu $[B_Q^L(u, v)] = 1$ và $[B_Q^R(u, v)] = 0$, thông tin mật s sẽ được giấu theo công thức (3.4).

$$\begin{cases} B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) + 1 \text{ và } B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v), & \text{nếu } s = 0 \\ B_Q^{L'}(u, v) = B_Q^L(u, v) + 1 \text{ và } B_Q^{R'}(u, v) = B_Q^R(u, v) + 1, & \text{nếu } s = 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

1.3. Ví dụ họa minh họa thuật toán giấu tin

Để hiểu rõ hơn về thuật toán giấu tin được trình bày phần trên. Sau đây sẽ là quy trình thực hiện chi tiết các bước giấu tin vào ảnh stereo. Trong ví dụ này ảnh được chọn để giấu tin như trong Hình 3.1.

Trong ví dụ này ngưỡng được đặt là $T = 5$ và dùng bảng lượng tử chuẩn Q_{50} , sau khi áp dụng công thức (3.1) trên cặp khối ảnh đã lượng tử hóa Hình 3.5(e) và 3.5(f) thì tính được giá trị khác biệt $Dist(B) = 3.8$ nhỏ hơn ngưỡng $T = 5$. Do đó, hai khối B_{15}^L và B_{13}^R trong Hình 3.5(a) và 3.5(b) là cặp khối tương đồng được tìm thấy trong ảnh stereo Hình 3.1

104	102	103	107	123	146	152	152
101	104	102	105	106	112	121	144
96	95	100	105	102	104	132	132
128	101	90	97	109	106	106	106
137	113	90	94	111	105	106	113
112	107	113	115	118	119	119	125
143	148	148	146	148	151	153	156
166	153	141	133	134	139	140	140

(a) Khối ảnh gốc bên trái B_{15}^L

95	106	105	103	108	132	151	152
95	103	105	103	109	109	115	128
101	94	98	101	107	102	110	138
139	122	95	89	105	107	106	107
117	137	99	90	102	108	106	108
110	111	108	114	118	117	120	124
142	147	147	146	146	148	152	154
167	163	146	135	133	138	144	144

(b) Khối ảnh gốc bên phải B_{13}^R

966.125	-40.644	38.6056	13.0334	10.875	-0.0554	0.10961	2.14907
-78.008	-52.711	5.30383	-5.3634	-0.3435	1.82119	-1.3783	-1.0233
88.9735	-22.361	-2.1187	-11.196	-15.921	-1.2373	3.78661	-4.2213
0.50376	-18.01	-8.3074	6.41316	-1.5465	-6.0829	4.5762	-1.4983
-4.375	21.3621	13.6416	30.4382	4.375	-1.5826	1.2497	1.16635
30.2882	-15.065	-12.499	3.25806	-6.6946	5.12631	-0.1919	1.5359
-19.4	-12.87	-3.9634	-2.8844	-5.4468	8.53898	-0.8813	2.55887
19.2475	-7.1823	5.70775	-1.3671	-3.4257	0.70035	-5.8354	1.67128

(c) Biến đổi DCT khối ảnh trái B_D^L

960.125	-25.835	42.9448	2.31462	-2.625	-14.008	-5.7467	-1.3832
-90.967	-46.708	3.76156	-7.5849	1.88569	-0.5317	3.18287	1.56261
81.5496	-27.927	-4.6239	-15.41	-7.8714	11.8398	3.04182	0.65647
-9.1637	-24.959	-10.187	-1.3043	-13.783	0.02935	-5.5786	-3.9634
4.625	24.4402	24.8307	18.2542	-15.125	-3.7706	-6.3615	-3.2681
31.1969	-13.686	1.47936	4.81704	3.54091	7.91178	3.4193	2.13333
-19.031	-16.374	2.79182	-4.5863	7.4547	4.80308	2.62392	0.41951
12.4624	-10.65	0.77476	-10.56	-4.3165	-5.4354	-1.7247	-2.8998

(d) Biến đổi DCT khối ảnh phải B_D^R

60.3828	-3.6949	3.86056	0.81459	0.45313	-0.0014	0.00215	0.03523
-6.5007	-4.3926	0.37884	-0.2823	-0.0132	0.0314	-0.023	-0.0186
6.35525	-1.7201	-0.1324	-0.4665	-0.398	-0.0217	0.05488	-0.0754
0.03598	-1.0594	-0.3776	0.22114	-0.0303	-0.0699	0.0572	-0.0242
-0.2431	0.97101	0.36869	0.54354	0.06434	-0.0145	0.01213	0.01515
1.26201	-0.4304	-0.2273	0.05091	-0.0826	0.04929	-0.0017	0.01669
-0.3959	-0.2011	-0.0508	-0.0332	-0.0529	0.07057	-0.0073	0.02534
0.26733	-0.0781	0.06008	-0.014	-0.0306	0.007	-0.0567	0.01688

(e) Lượng tử DCT khối ảnh trái B_Q^L với Q_{50}

60.0078	-2.3486	4.29448	0.14466	-0.1094	-0.3502	-0.1127	-0.0227
-7.5805	-3.8923	0.26868	-0.3992	0.07253	-0.0092	0.05305	0.02841
5.82497	-2.1482	-0.289	-0.6421	-0.1968	0.20772	0.04408	0.01172
-0.6546	-1.4682	-0.463	-0.045	-0.2702	0.00034	-0.0697	-0.0639
0.25694	1.11092	0.6711	0.32597	-0.2224	-0.0346	-0.0618	-0.0424
1.29987	-0.391	0.0269	0.07527	0.04371	0.07607	0.03026	0.02319
-0.3884	-0.2558	0.03579	-0.0527	0.07238	0.03969	0.02187	0.00415
0.17309	-0.1158	0.00816	-0.1078	-0.0385	-0.0544	-0.0167	-0.0293

(f) Lượng tử DCT khối ảnh phải B_Q^R với Q_{50} **Hình 0.5** Ví dụ về tìm khối tương đồng

Tiếp theo, áp dụng các thuật toán dịch chuyển lưu đồ trong vùng giấu tin của hai khối ảnh lượng tử DCT B_Q^L và B_Q^R sẽ cho kết quả như Hình 3.6(a) và 3.6(b).

60.3828	-3.6949	3.86056	0.81459	0	0	0	0
-6.5007	-4.3926	0.37884	0	0	0	0	-0.0186
6.35525	-1.7201	0	0	0	0	0.05488	-0.0754
0.03598	-1	0	0	0	-0.0699	0.0572	-0.0242
0	1	0	1	0.06434	-0.0145	0.01213	0.01515
1	0	0	0.05091	-0.0826	0.04929	-0.0017	0.01669
0	0	-0.0508	-0.0332	-0.0529	0.07057	-0.0073	0.02534
0	-0.0781	0.06008	-0.014	-0.0306	0.007	-0.0567	0.01688

(a) Khối phải sau khi làm tròn và dịch

60.0078	-2.3486	4.29448	0.14466	0	0	0	0
-7.5805	-3.8923	0.26868	0	0	0	0	0.02841
5.82497	-2.1482	0	-1	0	0	0.04408	0.01172
-0.6546	-1	0	0	0	0.00034	-0.0697	-0.0639
0	1	1	0	-0.2224	-0.0346	-0.0618	-0.0424
1	0	0	0.07527	0.04371	0.07607	0.03026	0.02319
0	0	0.03579	-0.0527	0.07238	0.03969	0.02187	0.00415
0	-0.1158	0.00816	-0.1078	-0.0385	-0.0544	-0.0167	-0.0293

(b) Khối phải sau khi làm tròn và dịch

Hình 0.6 Hai khối ảnh sau khi dịch chuyển

Giả sử chuỗi bit cần giấu $s = 101001001010110110010001000111101$. Các bit s sẽ được giấu tuần tự vào vùng giấu tin ($6 \leq u + v \leq 9$) của cặp khối, với u là tọa độ dòng và v là tọa độ cột. Cụ thể các bit sẽ được giấu vào từng dòng như sau:

- Dòng 1: các bit 1 01 00 1 sẽ được giấu,
- Dòng 2: các bit 00 1 01 01 sẽ được giấu,
- Dòng 3: các bit 1 01 1 sẽ được giấu,

- Dòng 4: các bit 00 1 00 sẽ được giấu,
- Dòng 5: các bit 01 0 0 sẽ được giấu,
- Dòng 6: các bit 01 1 sẽ được giấu,
- Dòng 7: các bit 1 1 sẽ được giấu,
- Dòng 8: các bit 01 sẽ được giấu.

Cuối cùng, sau khi giấu tin mật s vào hai khối ảnh B_Q^L và B_Q^R ở Hình 3.7 thì tạo được hai khối ảnh chứa tin mật sB_Q^L và sB_Q^R như Hình 3.8.

60.3828	-3.6949	3.86056	0.81459	0.45313	-0.0014	0.00215	0.03523
-6.5007	-4.3926	0.37884	-0.2823	-0.0132	0.0314	-0.023	-0.0186
6.35525	-1.7201	-0.1324	-0.4665	-0.398	-0.0217	0.05488	-0.0754
0.03598	-1.0594	-0.3776	0.22114	-0.0303	-0.0699	0.0572	-0.0242
-0.2431	0.97101	0.36869	0.54354	0.06434	-0.0145	0.01213	0.01515
1.26201	-0.4304	-0.2273	0.05091	-0.0826	0.04929	-0.0017	0.01669
-0.3959	-0.2011	-0.0508	-0.0332	-0.0529	0.07057	-0.0073	0.02534
0.26733	-0.0781	0.06008	-0.014	-0.0306	0.007	-0.0567	0.01688

(a) Khối ảnh trái trước khi giấu tin B_Q^L

60.0078	-2.3486	4.29448	0.14466	-0.1094	-0.3502	-0.1127	-0.0227
-7.5805	-3.8923	0.26868	-0.3992	0.07253	-0.0092	0.05305	0.02841
5.82497	-2.1482	-0.289	-0.6421	-0.1968	0.20772	0.04408	0.01172
-0.6546	-1.4682	-0.463	-0.045	-0.2702	0.00034	-0.0697	-0.0639
0.25694	1.11092	0.6711	0.32597	-0.2224	-0.0346	-0.0618	-0.0424
1.29987	-0.391	0.0269	0.07527	0.04371	0.07607	0.03026	0.02319
-0.3884	-0.2558	0.03579	-0.0527	0.07238	0.03969	0.02187	0.00415
0.17309	-0.1158	0.00816	-0.1078	-0.0385	-0.0544	-0.0167	-0.0293

(b) Khối ảnh phải trước khi giấu tin B_Q^R

Hình 0.7 Hai khối ảnh trước khi giấu tin

60.3828	-3.6949	3.86056	0.81459	1.45313	-0.0014	0.00215	1.03523
-6.5007	-4.3926	0.37884	-0.2823	0.98679	0.0314	-0.023	-0.0186
6.35525	-1.7201	0.86758	-0.4665	-0.398	0.97829	0.05488	-0.0754
0.03598	-1.0594	-0.3776	1.22114	-0.0303	-0.0699	0.0572	-0.0242
-0.2431	0.97101	0.36869	1.54354	0.06434	-0.0145	0.01213	0.01515
1.26201	-0.4304	0.77275	0.05091	-0.0826	0.04929	-0.0017	0.01669
0.60407	0.79891	-0.0508	-0.0332	-0.0529	0.07057	-0.0073	0.02534
0.26733	-0.0781	0.06008	-0.014	-0.0306	0.007	-0.0567	0.01688

(a) Khối ảnh trái sau khi giấu tin sB_Q^L

60.0078	-2.3486	4.29448	0.14466	-0.1094	0.64979	-0.1127	-0.0227
-7.5805	-3.8923	0.26868	-0.3992	0.07253	0.99083	1.05305	0.02841
5.82497	-2.1482	-0.289	-0.6421	0.80322	0.20772	0.04408	0.01172
-0.6546	-1.4682	-0.463	-0.045	-0.2702	0.00034	-0.0697	-0.0639
1.25694	2.11092	1.6711	0.32597	-0.2224	-0.0346	-0.0618	-0.0424
2.29987	0.60897	0.0269	0.07527	0.04371	0.07607	0.03026	0.02319
-0.3884	-0.2558	0.03579	-0.0527	0.07238	0.03969	0.02187	0.00415
1.17309	-0.1158	0.00816	-0.1078	-0.0385	-0.0544	-0.0167	-0.0293

(b) Khối ảnh phải sau khi giấu tin sB_Q^R

Hình 0.8 Hai khối ảnh sau khi giấu tin

2. 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. Sau đó, mỗi khối của ảnh mang tin bên trái sB^L , tìm khối tương đồng của ảnh mang tin bên phải sB^R theo công thức (3.1). Cuối cùng, thông tin mật sẽ được tách ra từ cặp khối tương đồng này. Chi tiết quá trình tách tin được thực hiện qua các bước sau đây:

Dữ liệu đầu vào: Ảnh stereo chứa tin mật

Dữ liệu đầu ra: Ảnh stereo gốc và thông tin mật được tách ra

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

Bước 2. Tìm cặp khối tương đồng sB_Q^L và sB_Q^R giữa ảnh bên trái và phải của ảnh mang tin theo công thức (3.1) sau khi đã lượng tử các hệ số DCT. Khi đó, các thông tin mật sẽ được tách ra và khối ảnh trái và phải của ảnh mang tin sẽ được khôi phục về trạng thái gốc. Tiến trình này được thực hiện như sau:

Trường hợp 1.1, nếu $[sB_Q^L(u, v)] = 0$ và $[sB_Q^R(u, v)] = 0$ thì tách được hai bit giầu $s = 00$ và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v)$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v)$;

Trường hợp 1.2, nếu $[sB_Q^L(u, v)] = 0$ và $[sB_Q^R(u, v)] = 1$ thì tách được hai bit giầu $s = 01$ và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v)$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v) - 1$;

Trường hợp 1.3, nếu $[sB_Q^L(u, v)] = 1$ và $[sB_Q^R(u, v)] = 0$ thì tách được bit giầu $s = 1$ và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v) - 1$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v)$;

Trường hợp 2.1, nếu $[sB_Q^L(u, v)] = 0$ và $[sB_Q^R(u, v)] = 2$ thì tách được bit giầu $s = 0$ và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v)$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v) - 1$;

Trường hợp 2.2, nếu $[sB_Q^L(u, v)] = 1$ và $[sB_Q^R(u, v)] = 2$ thì tách được bit giầu $s = 1$ và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v) - 1$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v) - 1$;

Trường hợp 3.1, nếu $[sB_Q^L(u, v)] = 2$ và $[sB_Q^R(u, v)] = 0$ thì tách được bit giầu $s = 0$ và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v) - 1$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v)$;

Trường hợp 3.2, nếu $[sB_Q^L(u, v)] = 2$ và $[sB_Q^R(u, v)] = 1$ thì tách được bit giầu $s = 1$ và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v) - 1$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v) - 1$;

Trường hợp 4.1, nếu $sB_Q^L(u, v) > sB_Q^R(u, v)$ và $[sB_Q^L(u, v)] > 2$ thì dịch ngược và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v) - 1$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v)$;

Trường hợp 4.2, nếu $sB_Q^R(u, v) > sB_Q^L(u, v)$ và $[sB_Q^R(u, v)] > 2$ thì dịch ngược và khôi phục $sB_Q^{L'}(u, v) = sB_Q^L(u, v)$, $sB_Q^{R'}(u, v) = sB_Q^R(u, v) - 1$;

Bước 3. Lặp lại Bước 2 đến khi tất cả các khối được xử lý.

Để hiểu rõ hơn về quá trình tách tin, một ví dụ sẽ được trình bày như trong Hình 3.9.

60.3828	-3.6949	3.86056	0.81459	1.45313	-0.0014	0.00215	1.03523
-6.5007	-4.3926	0.37884	-0.2823	0.98679	0.0314	-0.023	-0.0186
6.35525	-1.7201	0.86758	-0.4665	-0.398	0.97829	0.05488	-0.0754
0.03598	-1.0594	-0.3776	1.22114	-0.0303	-0.0699	0.0572	-0.0242
-0.2431	0.97101	0.36869	1.54354	0.06434	-0.0145	0.01213	0.01515
1.26201	-0.4304	0.77275	0.05091	-0.0826	0.04929	-0.0017	0.01669
0.60407	0.79891	-0.0508	-0.0332	-0.0529	0.07057	-0.0073	0.02534
0.26733	-0.0781	0.06008	-0.014	-0.0306	0.007	-0.0567	0.01688

(a) Khối ảnh mang tin trái đã lượng từ sB_Q^L

60.0078	-2.3486	4.29448	0.14466	-0.1094	0.64979	-0.1127	-0.0227
-7.5805	-3.8923	0.26868	-0.3992	0.07253	0.99083	1.05305	0.02841
5.82497	-2.1482	-0.289	-0.6421	0.80322	0.20772	0.04408	0.01172
-0.6546	-1.4682	-0.463	-0.045	-0.2702	0.00034	-0.0697	-0.0639
1.25694	2.11092	1.6711	0.32597	-0.2224	-0.0346	-0.0618	-0.0424
2.29987	0.60897	0.0269	0.07527	0.04371	0.07607	0.03026	0.02319
-0.3884	-0.2558	0.03579	-0.0527	0.07238	0.03969	0.02187	0.00415
1.17309	-0.1158	0.00816	-0.1078	-0.0385	-0.0544	-0.0167	-0.0293

(b) Khối ảnh mang tin phải đã lượng từ sB_Q^R

60.3906	-3.7025	3.86733	0.81909	1	0	0	1
-6.5035	-4.4164	0.36266	0	1	0	0	-0.0134
6.39946	-1.727	1	0	0	1	0.05179	-0.0735
0.043	-1	0	1	0	-0.0681	0.05621	-0.0167
0	1	0	2	0.0625	-0.0161	0.01503	0.01327
1	0	1	0.05621	-0.0838	0.04984	-0.0022	0.01586
1	1	-0.0503	-0.0387	-0.0496	0.07412	-0.0092	0.0221
0	-0.073	0.05961	-0.014	-0.0335	0.00767	-0.0607	0.01803

(c) Khối ảnh trái sau khi làm tròn

60.0234	-2.354	4.27138	0.15956	0	1	0	0
-7.5821	-3.8683	0.28948	0	0	1	1	0.02624
5.85113	-2.1627	0	-1	1	0	0.04771	0.02244
-0.5991	-1	0	0	0	-0.0013	-0.0709	-0.066
1	2	2	0	-0.2188	-0.0344	-0.0603	-0.0461
2	1	0	0.08253	0.04172	0.07793	0.03189	0.0266
0	0	0.03259	-0.0535	0.07038	0.0381	0.02187	0.00788
1	-0.1159	0.01402	-0.1027	-0.0338	-0.0537	-0.0142	-0.0297

(d) Khối ảnh phải sau khi làm tròn

60.3828	-3.6949	3.86056	0.81459	0.45313	-0.0014	0.00215	0.03523
-6.5007	-4.3926	0.37884	-0.2823	-0.0132	0.0314	-0.023	-0.0186
6.35525	-1.7201	-0.1324	-0.4665	-0.398	-0.0217	0.05488	-0.0754
0.03598	-1.0594	-0.3776	0.22114	-0.0303	-0.0699	0.0572	-0.0242
-0.2431	0.97101	0.36869	0.54354	0.06434	-0.0145	0.01213	0.01515
1.26201	-0.4304	-0.2273	0.05091	-0.0826	0.04929	-0.0017	0.01669
-0.3959	-0.2011	-0.0508	-0.0332	-0.0529	0.07057	-0.0073	0.02534
0.26733	-0.0781	0.06008	-0.014	-0.0306	0.007	-0.0567	0.01688

(e) Khối ảnh trái sau khi khôi phục $sB_Q^{L'}$

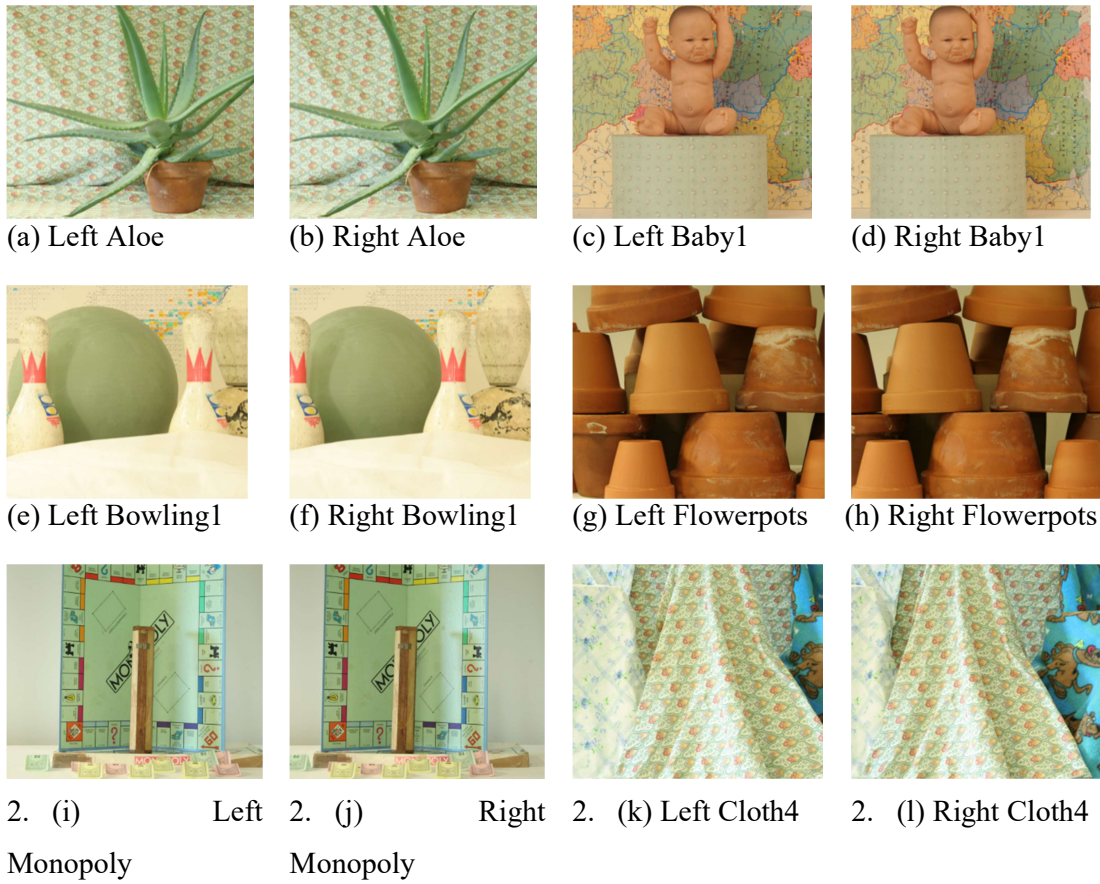
60.0078	-2.3486	4.29448	0.14466	-0.1094	-0.3502	-0.1127	-0.0227
-7.5805	-3.8923	0.26868	-0.3992	0.07253	-0.0092	0.05305	0.02841
5.82497	-2.1482	-0.289	-0.6421	-0.1968	0.20772	0.04408	0.01172
-0.6546	-1.4682	-0.463	-0.045	-0.2702	0.00034	-0.0697	-0.0639
0.25694	1.11092	0.6711	0.32597	-0.2224	-0.0346	-0.0618	-0.0424
1.29987	-0.391	0.0269	0.07527	0.04371	0.07607	0.03026	0.02319
-0.3884	-0.2558	0.03579	-0.0527	0.07238	0.03969	0.02187	0.00415
0.17309	-0.1158	0.00816	-0.1078	-0.0385	-0.0544	-0.0167	-0.0293

(f) Khối ảnh phải sau khi khôi phục $sB_Q^{R'}$ **Hình 0.9** Ví dụ về quá trình tách tin và khôi phục ảnh mang tin

Chuỗi bit bí mật $s = 101001001010110110010001000111101$ đã được tách ra và khôi $sB_Q^{L'}$ và $sB_Q^{R'}$ của Hình 3.9(e) và 3.9(f) sau khi phục hồi giống với hai khối B_Q^L và B_Q^R Hình 3.7(a) và 3.7(b) lúc chưa giấu tin.

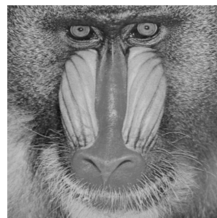
CHƯƠNG 3. So sánh và đánh giá kết quả thực nghiệm của giải pháp mới được đề xuất

Trong chương này, tập dữ liệu dùng để chạy thực nghiệm cho phương pháp đề xuất gồm 21 ảnh stereo được lấy từ tập dữ liệu mẫu (dataset) trên thư viện Middlebury[34]. Trong Hình 4.1 là sáu cặp ảnh stereo được lấy trong tập dữ liệu mẫu.



Hình 0.10 Sáu cặp ảnh stereo trong tập mẫu[34]

Ảnh Baboon trong Hình 4.2 được dùng để phát sinh thông tin mật cho việc chạy thực nghiệm thuật toán giấu tin được đề xuất. Tập dữ liệu mẫu và thông tin mật này cũng được sử dụng trong thuật toán giấu tin của Yang và Chen[26]. Thuật toán được cài đặt trên phần mềm MATLAB phiên bản 8.3 và máy tính dùng bộ xử lý Intel® Core™ i5 3.2GHz, 4GB RAM.



Hình 0.11 Baboon – thông tin mật

3.1. Phương pháp đánh giá hiệu suất thuật toán giấu tin

Để đánh giá tính hiệu quả thuật toán của các phương pháp giấu tin trên ảnh người ta thường dùng hai tiêu chí chính để đo, đó là khả năng giấu tin (embedding capacity) và chất lượng ảnh sau khi được giấu tin (visual image quality). Một số trường hợp, có thể dựa vào thời gian xử lý hoặc phân tích histogram để đánh giá thêm thuật toán. Ngoài ra, đối với các phương pháp giấu tin thuận nghịch, ngoài việc đánh giá dựa vào khả năng giấu tin và chất lượng ảnh mang tin thì cần đánh giá đến khả năng khôi phục ảnh mang tin về trạng thái gốc ban đầu sau khi tin mật được tách ra.

Trong đó, khả năng giấu tin được xác định thông qua số lượng thông tin tối đa có thể giấu được trong ảnh. Còn chất lượng ảnh được xác định bằng độ nhiễu giữa ảnh gốc với ảnh sau khi mang tin. Nói chung, khi đề xuất một phương pháp giấu tin thì cần quan tâm đến sự tương quan giữa khả năng giấu tin với chất lượng ảnh mang tin. Tức là vừa đạt được khả năng giấu tin cao vừa đảm bảo chất lượng ảnh ở mức tốt nhất. Thông thường, chất lượng ảnh nên được duy trì ở mức tối thiểu trên 30 dB.

3.2. Phương pháp đo khả năng giấu tin

Mức độ giấu bit per pixel (bpp) được dùng để đo khả năng giấu tin. Với ảnh có kích thước cao W và rộng H , bpp sẽ được tính theo công thức (4.1).

$$bpp = \frac{\text{tổng số bit được giấu}}{W \times H} \quad (4.1)$$

Trong giải pháp đề xuất trong Chương 3 sẽ dùng giá trị bpp để xác định khả năng giấu tin. Khi giá trị bpp càng lớn đồng nghĩa với khả năng nhúng tin của giải pháp càng cao.

Phương pháp đo chất lượng ảnh

Giá trị peak signal-to-noise ratio (PSNR) được dùng để đo chất lượng ảnh sau khi giấu tin. Giá trị PSNR của ảnh càng lớn thì chất lượng ảnh càng cao và được tính theo công thức (4.2).

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (4.2)$$

Với MSE (mean square error) là bình phương độ sai khác từng điểm ảnh của hai ảnh có kích thước ($W \times H$) và được tính theo công thức (4.3).

$$MSE = \frac{1}{W \times H} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - x'_{i,j})^2 \quad (4.3)$$

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.

3.3. Phân tích kết quả thực nghiệm

Để đánh giá kết quả thực nghiệm của giải pháp đề xuất ở Chương 3, một ngưỡng T được dùng để xác định các cặp khối tương đồng để giấu tin. Hơn nữa, để đánh giá được sự ảnh hưởng của hệ số QF lên chất lượng ảnh và khả năng giấu tin. Kết quả sẽ được thực nghiệm với nhiều hệ số QF khác nhau.

Lúc này, thiết lập ngưỡng $T = 5$, QF thay đổi lần lượt với các giá trị 50, 60, 70, 80, 90. Kết quả về chất lượng ảnh (PSNR) và tỉ lệ giấu tin (bpp) của 21 ảnh stereo mẫu được thể hiện như trong Bảng 4.1. Có thể thấy rằng khả năng giấu tin luôn phụ thuộc vào hệ số QF . Khi đặt hệ số chất lượng QF thấp thì khả năng giấu tin sẽ cao và ngược lại. Hơn nữa, từ kết quả trong Bảng 4.1 đã cho thấy rằng phương pháp đề xuất cho chất lượng ảnh khá tốt với nhiều giá trị QF khác nhau.

Bảng 0.1 Bảng so sánh chất lượng ảnh (PSNR) và tỉ lệ giấu tin (bpp) của 21 ảnh stereo khi dùng ngưỡng $T = 5$ với QF khác nhau

Images	$QF=50$		$QF=60$		$QF=70$		$QF=80$		$QF=90$	
	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp
Aloe	37.268	0.103	40.008	0.064	44.512	0.031	52.763	0.008	71.701	0.001
Baby1	34.391	0.288	36.027	0.241	38.808	0.175	44.290	0.089	57.776	0.013
Baby2	33.490	0.339	35.124	0.282	38.133	0.197	43.870	0.098	54.835	0.029
Baby3	34.102	0.316	35.852	0.259	38.898	0.180	44.146	0.092	58.227	0.010
Bowling1	33.101	0.429	34.308	0.395	36.360	0.346	40.257	0.260	50.289	0.103

Bowling2	34.788	0.272	36.257	0.238	38.732	0.185	43.589	0.108	57.862	0.012
Cloth1	38.332	0.074	41.059	0.045	45.100	0.022	52.810	0.006	69.762	0.000
Cloth2	39.264	0.093	41.893	0.062	46.317	0.031	53.121	0.011	72.031	0.000
Cloth3	37.372	0.129	39.934	0.082	44.458	0.037	52.303	0.009	69.852	0.001
Cloth4	39.743	0.074	42.346	0.050	47.155	0.023	55.695	0.007	Infinite	0.000
Flowerpots	35.049	0.280	36.765	0.231	39.579	0.170	44.447	0.103	55.048	0.029
Lampshade1	32.951	0.437	34.251	0.397	36.482	0.337	40.425	0.258	48.413	0.163
Lampshade2	32.963	0.468	34.310	0.420	36.625	0.348	40.893	0.237	49.459	0.116
Midd1	33.439	0.392	34.581	0.371	36.474	0.342	39.782	0.297	46.393	0.232
Midd2	33.455	0.407	34.619	0.384	36.510	0.352	39.909	0.292	46.925	0.210
Monopoly	36.545	0.203	38.312	0.164	40.967	0.124	45.027	0.085	53.423	0.042
Plastic	33.597	0.443	34.780	0.414	36.644	0.376	40.086	0.309	47.427	0.198
Rocks1	36.487	0.164	38.942	0.114	43.181	0.061	50.326	0.025	63.985	0.004
Rocks2	37.762	0.119	41.028	0.068	46.155	0.030	53.762	0.010	64.842	0.003
Wood1	33.181	0.407	34.588	0.350	37.265	0.250	43.305	0.103	59.586	0.007
Wood2	32.363	0.478	33.732	0.424	36.183	0.332	41.129	0.198	54.104	0.044

Một kết quả so sánh khác về chất lượng ảnh, tỉ lệ giấu tin của 21 ảnh stereo cũng được trình bày trong Bảng 4.2. Kết quả này được thực nghiệm với hệ số $QF = 75$ và các giá trị ngưỡng T khác nhau ($T = 5, 10, 15, 20, 25$). Từ các kết quả trong Bảng 4.2, dễ dàng nhận thấy rằng khi T tăng lên thì tỉ lệ giấu tin nhiều hơn và chất lượng ảnh bắt đầu giảm.

Bảng 0.2 Bảng so sánh chất lượng ảnh (PSNR) và tỉ lệ giấu tin (bpp) của 21 ảnh stereo khi $QF = 75$ với T khác nhau

Images	T=5		T=10		T=15		T=20		T=25	
	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp
Aloe	47.625	0.018	44.033	0.043	42.114	0.065	40.954	0.083	40.208	0.097
Baby1	40.883	0.137	39.098	0.209	38.336	0.247	37.873	0.274	37.480	0.295
Baby2	40.317	0.152	38.305	0.238	37.477	0.284	36.932	0.317	36.616	0.340
Baby3	40.925	0.141	39.070	0.218	38.156	0.265	37.564	0.302	37.221	0.326
Bowling1	37.812	0.315	37.154	0.370	36.795	0.402	36.570	0.421	36.398	0.435

Bowling2	40.539	0.155	39.212	0.211	38.638	0.241	38.265	0.261	38.008	0.278
Cloth1	48.120	0.013	45.111	0.027	43.173	0.042	41.978	0.055	41.037	0.068
Cloth2	48.987	0.021	45.883	0.043	43.673	0.068	42.618	0.086	41.623	0.105
Cloth3	47.639	0.021	43.847	0.054	41.883	0.084	40.784	0.111	40.018	0.132
Cloth4	50.378	0.015	46.616	0.034	44.449	0.053	43.342	0.066	42.729	0.074
Flowerpots	41.381	0.141	39.855	0.201	39.006	0.247	38.501	0.280	38.084	0.306
Lampshade1	38.041	0.303	37.135	0.366	36.684	0.402	36.457	0.426	36.300	0.443
Lampshade2	38.279	0.299	37.204	0.387	36.754	0.430	36.479	0.459	36.268	0.477
Midd1	37.799	0.325	37.331	0.357	37.117	0.375	36.919	0.389	36.809	0.399
Midd2	37.903	0.325	37.357	0.368	37.115	0.389	36.929	0.403	36.794	0.416
Monopoly	42.645	0.106	41.411	0.142	40.625	0.173	40.010	0.201	39.529	0.224
Plastic	38.009	0.348	37.472	0.397	37.249	0.422	37.078	0.440	36.903	0.454
Rocks1	46.118	0.042	42.638	0.084	40.991	0.118	39.867	0.147	39.156	0.172
Rocks2	49.306	0.019	45.270	0.044	42.753	0.076	41.083	0.108	40.049	0.135
Wood1	39.497	0.186	37.629	0.297	36.999	0.352	36.651	0.383	36.475	0.404
Wood2	38.109	0.273	36.720	0.375	36.167	0.427	35.855	0.457	35.702	0.476

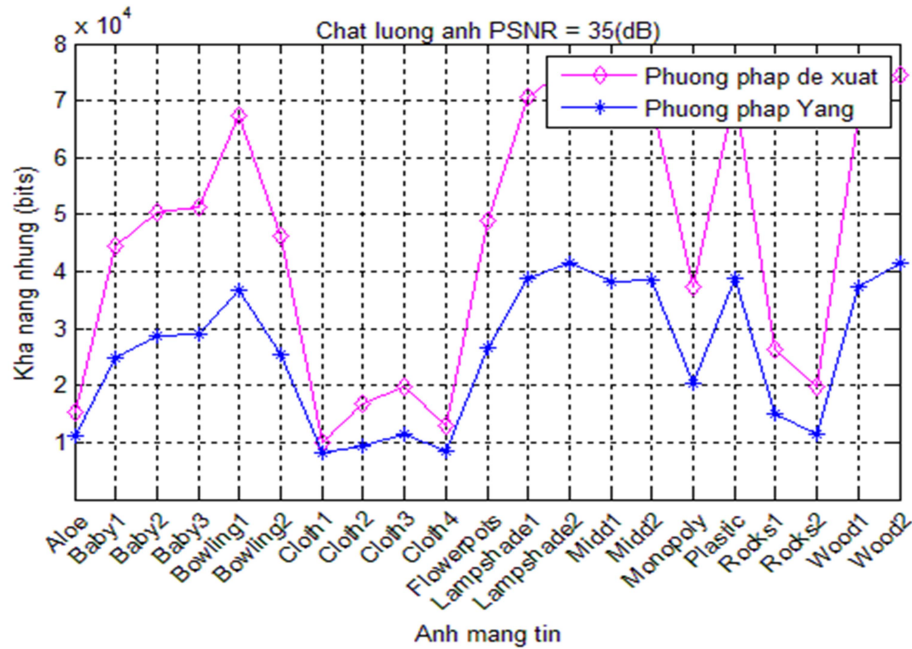
Đề so sánh tính hiệu quả về khả năng giấu tin và chất lượng ảnh của phương pháp đề xuất với phương pháp của Yang và Chen[26] đã công bố trước đó. Trong kết quả thực nghiệm Bảng 4.3, cả hai phương pháp đều sử dụng chung tập ảnh mẫu gồm 21 ảnh stereo lấy từ nguồn[34] và dữ liệu giấu được phát sinh từ ảnh Baboon. Kết quả này giúp so sánh về giá trị trung bình PSNR và tỉ lệ bit được giấu của 21 ảnh stereo khi $QF = 75$ khi ngưỡng T khác nhau. Từ số liệu trong Bảng 4.3, chúng ta có thể thấy rằng giá trị PSNR và tỉ lệ giấu tin của phương pháp đề xuất luôn cao hơn phương pháp của Yang. Kết quả tốt hơn là do hầu hết các hệ số lượng tử DCT có giá trị được chọn để giấu tin chỉ thuộc gốc $\frac{1}{4}$ lược đồ dịch chuyển histogram hai chiều. Hơn nữa, quá trình giấu tin của giải pháp được triển khai cùng lúc trên từng cặp khối tương đồng thay vì thực hiện giấu tin vào giá trị khác biệt của hai khối tương đồng như phương pháp của Yang.

Bảng 0.3 Bảng so sánh giá trị trung bình của PSNR và bpp đối với 21 ảnh stereo của hai phương pháp với $QF = 75$

T	Phương pháp Yang và Chen		Phương pháp đề xuất	
	PSNR	bpp	PSNR	bpp
5	42.354	0.131	42.396	0.160
10	40.324	0.176	40.398	0.213
15	39.258	0.205	39.341	0.246
20	38.598	0.227	38.700	0.270
25	38.140	0.243	38.258	0.288
30	37.808	0.256	37.929	0.303

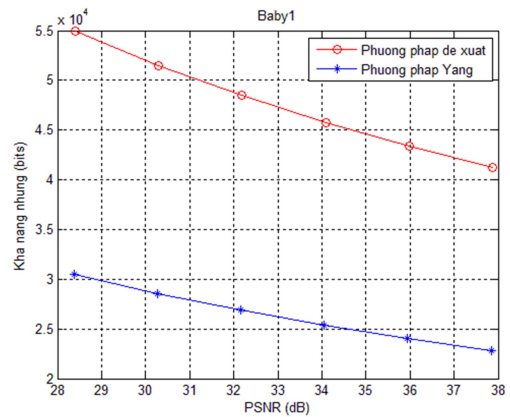
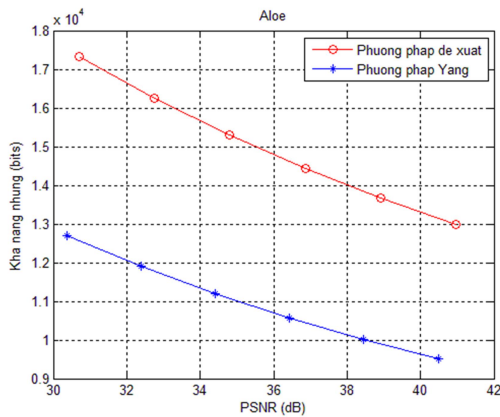
Để khẳng định những ưu điểm vượt trội của giải pháp đề xuất, báo cáo này tiên hành so sánh về khả năng giấu tin của hai giải pháp khi duy trì chất lượng ảnh mang tin ở cùng mức 35 dB. Thực nghiệm cũng thực hiện trên tập 21 ảnh mẫu trên giá trị với tham số $T = 30$ và $QF = 75$. Kết quả so sánh được thể hiện thông qua biểu đồ trong Hình 4.1.

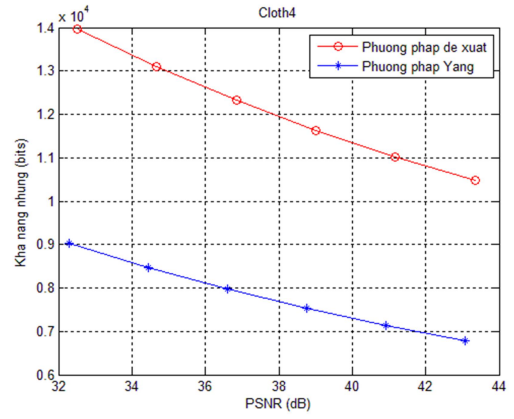
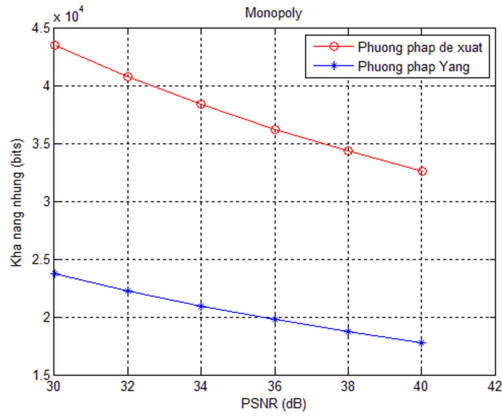
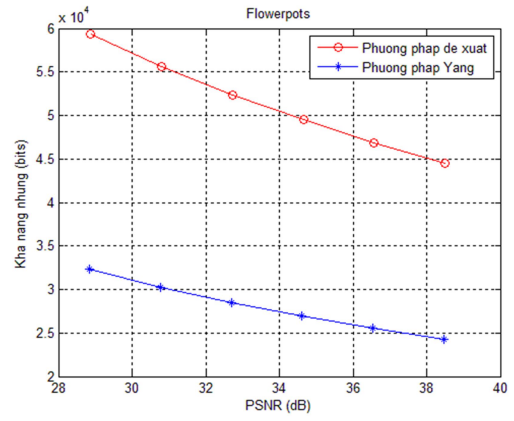
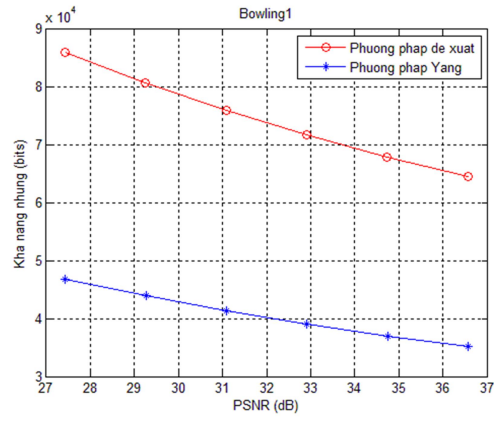
Với trục đứng của biểu đồ thể hiện khả năng giấu tin của từng ảnh (tính bằng bits). Số liệu trong biểu đồ hiển thị rõ tính vượt trội về khả năng giấu tin của phương pháp đề xuất so với phương pháp của Yang. Đặc biệt, ảnh Lampshade2 có khả năng giấu được 75,984 bits, trong khi phương pháp của Yang chỉ có thể giấu được 41,554 bits, tức là tăng 82,6%.



Hình 0.12 Biểu đồ so sánh khả năng giấu tin giữa phương pháp đề xuất và phương pháp của Yang khi $T = 30$ và $QF = 75$.

Cũng có thể so sánh tính hiệu quả của phương pháp trên từng ảnh riêng lẻ. Sau đây sẽ dùng sáu ảnh Aloe, Baby1, Bowling1 Flowerpots, Monopoly và Cloth4 để chạy thực nghiệm. Kết quả được thể hiện thông qua các biểu đồ trong Hình 4.4. Khi quan sát sáu biểu đồ bên dưới, chúng ta thấy rằng khi $T = 20$ và $QF = 75$ thì khả năng giấu tin có xu hướng giảm khi muốn đạt PSNR cao. Tuy nhiên, phương pháp đề xuất luôn duy trì được khả năng giấu tin và chất lượng ảnh ở mức cao hơn phương pháp của Yang.





Hình 0.13 So sánh tính hiệu quả của hai phương pháp khi $T = 20$, $QF = 7$

PHẦN KẾT LUẬN

Trong báo cáo này, một giải pháp giấu tin thuận nghịch mới cho ảnh stereo đã được đề xuất. Trong giải pháp này, lưu đồ dịch chuyển histogram hai chiều cho các cặp hệ số DCT đã lượng tử được xây dựng để giấu thông tin. Bằng cách làm như vậy, một lượng lớn thông tin mật có thể được giấu vào ảnh trong khi vẫn đảm bảo được chất lượng của ảnh mang tin luôn ở mức cao. Kết quả thực nghiệm đã cho thấy rằng, giải pháp đề xuất đã cải thiện đáng kể khả năng giấu tin của giải pháp của tác giả Yang và Chen [24], 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] K.-H. Jung, “A Survey of Reversible Data Hiding Methods in Dual Images,” *IETE Tech. Rev.*, vol. 33, no. 4, pp. 441–452, Jul. 2016.
- [2] A. Khan, A. Siddiqa, S. Munib, and S. A. Malik, “A recent survey of reversible watermarking techniques,” *Inf. Sci.*, vol. 279, pp. 251–272, Sep. 2014.
- [3] M. S. Subhedar and V. H. Mankar, “Current status and key issues in image steganography: A survey,” *Comput. Sci. Rev.*, vol. 13–14, pp. 95–113, Nov. 2014.
- [4] A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, and P. Mc Kevitt, “Digital image steganography: Survey and analysis of current methods,” *Signal Process.*, vol. 90, no. 3, pp. 727–752, Mar. 2010.
- [5] A. Nissar and A. H. Mir, “Classification of steganalysis techniques: A study,” *Digit. Signal Process.*, vol. 20, no. 6, pp. 1758–1770, Dec. 2010.
- [6] J. Zöllner *et al.*, “Modeling the Security of Steganographic Systems,” in *Information Hiding*, vol. 1525, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998, pp. 344–354.
- [7] R. L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman, “A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems,” *Commun. ACM*, vol. 26, no. 1, pp. 96–99, Jan. 1983.
- [8] J. Shade, S. Gortler, L. He, and R. Szeliski, “Layered depth images,” 1998, pp. 231–242.
- [9] D. Van Tuan, T. D. Hien, and P. Van At, “A novel data hiding scheme for binary images,” *ArXiv Prepr. ArXiv12085124*, 2012.
- [10] H. T. H. Thom, H. Van Canh, and T. N. Tien, “Steganalysis for Reversible Data Hiding,” in *Database Theory and Application*, vol. 64, D. Ślęzak, T. Kim, Y. Zhang, J. Ma, and K. Chung, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 1–8.
- [11] H. T. H. Thom, H. V. Canh, and T. N. Tien, “Novel Algorithms to Steganalysis of Uncompressed and Compressed Images,” 2009, pp. 87–92.
- [12] Duc M. Duong, “A New Secure and High Capacity Watermaking Scheme Based on Contourlet Transform,” 2012, pp. 355–358.
- [13] Duc M. Duong, “A novel watermarking scheme against geometrical distortions based on Contourlet transform,” 2011, pp. 1709–1713.
- [14] Duc M. Duong and Duc A. Duong, “A normalization based robust image watermarking scheme in Contourlet domain,” 2013, pp. 490–495.
- [15] Nguyễn Lê Cường, *Nghiên cứu giải pháp nâng cao chất lượng thủy văn sử dụng biến đổi Cosine rời rạc trên ảnh JPEG*, BCKH Tiến sĩ Kỹ thuật, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Hà Nội, 2012.
- [16] Hồ Thị Hương Thơm, *Nghiên cứu một số kỹ thuật phát hiện ảnh giấu tin*, BCKH Luận văn Tiến sĩ, Trường Đại học Công nghệ, Hà Nội, 2012.

- [17] Đỗ Minh Đức, *Nghiên cứu xây dựng một phương pháp giấu tin đơn giản, an toàn*, BCKH luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Công nghệ, Hà Nội, 2011.
- [18] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, “Lossless generalized-LSB data embedding,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 14, no. 2, pp. 253–266, Feb. 2005.
- [19] C.-C. Chang, J.-Y. Hsiao, and C.-S. Chan, “Finding optimal least-significant-bit substitution in image hiding by dynamic programming strategy,” *Pattern Recognit.*, vol. 36, no. 7, pp. 1583–1595, Jul. 2003.
- [20] Jun Tian, “Reversible data embedding using a difference expansion,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 8, pp. 890–896, Aug. 2003.
- [21] R. Kumar and S. Chand, “A reversible high capacity data hiding scheme using pixel value adjusting feature,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 75, no. 1, pp. 241–259, Jan. 2016.
- [22] S. Dadkhah, A. Abd Manaf, Y. Hori, A. Ella Hassanien, and S. Sadeghi, “An effective SVD-based image tampering detection and self-recovery using active watermarking,” *Signal Process. Image Commun.*, vol. 29, no. 10, pp. 1197–1210, Nov. 2014.
- [23] C.-C. Chang, T.-S. Chen, and L.-Z. Chung, “A steganographic method based upon JPEG and quantization table modification,” *Inf. Sci.*, vol. 141, no. 1–2, pp. 123–138, Mar. 2002.
- [24] Y.-K. Lin, “High capacity reversible data hiding scheme based upon discrete cosine transformation,” *J. Syst. Softw.*, vol. 85, no. 10, pp. 2395–2404, Oct. 2012.
- [25] K. Wang, Z.-M. Lu, and Y.-J. Hu, “A high capacity lossless data hiding scheme for JPEG images,” *J. Syst. Softw.*, vol. 86, no. 7, pp. 1965–1975, Jul. 2013.
- [26] W.-C. Yang and L.-H. Chen, “Reversible DCT-based data hiding in stereo images,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 74, no. 17, pp. 7181–7193, Sep. 2015.
- [27] A. Nikolaidis, “Reversible data hiding in JPEG images utilising zero quantised coefficients,” *IET Image Process.*, vol. 9, no. 7, pp. 560–568, Jul. 2015.
- [28] F. Huang, X. Qu, H. J. Kim, and J. Huang, “Reversible Data Hiding in JPEG Images,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 26, no. 9, pp. 1610–1621, Sep. 2016.
- [29] C.-C. Chang, C.-C. Lin, C.-S. Tseng, and W.-L. Tai, “Reversible hiding in DCT-based compressed images,” *Inf. Sci.*, vol. 177, no. 13, pp. 2768–2786, Jul. 2007.
- [30] C.-C. Lin and P.-F. Shiu, “DCT-based reversible data hiding scheme,” 2009, p. 327.
- [31] P. Campisi, “Object-oriented stereo-image digital watermarking,” *J. Electron. Imaging*, vol. 17, no. 4, p. 043024, Oct. 2008.
- [32] T. Luo, G. Jiang, X. Wang, M. Yu, F. Shao, and Z. Peng, “Stereo image watermarking scheme for authentication with self-recovery capability using inter-

view reference sharing,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 73, no. 3, pp. 1077–1102, Dec. 2014.

[33] Zhicheng Ni, Yun-Qing Shi, N. Ansari, and Wei Su, “Reversible data hiding,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 16, no. 3, pp. 354–362, Mar. 2006.

[34] The Middlebury Computer Vision Pages (2006), <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/>