

## GIẤU TIN THUẬN NGHỊCH CHO ẢNH JPEG DỰA TRÊN MỞ RỘNG SỰ KHÁC BIỆT CỦA HỆ SỐ QDCT

Huỳnh Văn Thanh<sup>1</sup>, Nguyễn Thái Sơn<sup>1</sup>, Võ Phước Hưng<sup>1</sup>, Trầm Hoàng Nam<sup>1</sup>, Đỗ Thanh Nghi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

<sup>2</sup> Khoa Công nghệ thông tin và Truyền thông, Đại học Cần Thơ

hvthanh@tvu.edu.vn, thaison@tvu.edu.vn, hungvo@tvu.edu.vn, tramhoangnam@tvu.edu.vn, dtngghi@cit.ctu.edu.vn

**TÓM TẮT:** Bài báo đề xuất một lược đồ giấu tin thuận nghịch trong ảnh JPEG với hiệu suất cao. Đầu tiên, ảnh nén JPEG được chia thành những khối  $8 \times 8$  không trùng lặp chứa các hệ số lượng tử DCT. Các hệ số trong mỗi khối này được xử lý theo thứ tự hình zigzag. Tiếp theo, chúng tôi chỉ ưu tiên xem xét các hệ số AC lượng tử khác không (non-zero quantized AC coefficients) để giấu tin nên giải pháp đề xuất ít làm tăng thêm kích thước của ảnh nén. Hơn nữa, hai hệ số AC liền kề có khuynh hướng gần bằng nhau sẽ tạo ra giá trị khác biệt giữa chúng nhỏ. Khi giấu tin vào giá trị khác biệt nhỏ thì giá trị các hệ số AC thay đổi ít nên chất lượng ảnh mang tin được cải thiện. Kết quả thực nghiệm cho thấy, phương pháp đề xuất đạt được hiệu suất tốt hơn về cả khả năng nhúng và chất lượng ảnh so với các giải pháp trước đây.

**Từ khóa:** Giấu tin thuận nghịch, ảnh JPEG, DCT, hệ số QDCT.

### I. GIỚI THIỆU

Trong thời đại số hoá, ngày càng nhiều thông tin được truyền đi trên môi trường mạng Internet. Khi được trao đổi trong môi trường mạng mở như thế, dữ liệu dễ dàng bị thay đổi hoặc bị chiếm đoạt bởi kẻ tấn công. Nhiều giải pháp được đưa ra để giải quyết vấn đề này. Trong đó, kỹ thuật giấu tin mật được xem là giải pháp bảo vệ thông tin hiệu quả và thu hút nhiều nhà nghiên cứu. Giấu tin mật là kỹ thuật ẩn giấu thông tin mật bên trong một thông tin khác. Vật mang tin có thể là audio, video, image, ... Quá trình giấu tin này sẽ làm cho đối tượng mang tin bị thay đổi so với ban đầu. Đặc biệt trong các lĩnh vực như y khoa, quân đội hay pháp chứng số thì không chấp nhận bất kỳ sự biến dạng nào của vật mang tin. Để bảo toàn cho cả thông tin mật cùng với vật mang tin, thì cần có giải pháp giấu tin thuận nghịch (Reversible Data Hiding - RDH). RDH được xem là trường hợp đặc biệt trong kỹ thuật giấu tin. Tức là, giải pháp cho phép khôi phục hoàn toàn cả đối tượng mang tin và thông tin mật về trạng thái ban đầu [1].

Giấu tin thuận nghịch có thể được xử lý trên ba miền khác nhau như: miền không gian, miền tần số và miền nén. Với phương pháp RDH trên miền không gian, thông tin mật được giấu trực tiếp vào các giá trị tín hiệu gốc của đối tượng mang tin [2]-[6]. Một giải pháp trong miền không gian được đề xuất lần đầu bởi Tian [2]. Bằng cách mở rộng sự khác biệt (Difference Expansion - DE) từng cặp điểm ảnh để giấu một bit thông tin, giải pháp này đảm bảo khả năng khôi phục hoàn toàn cả thông tin mật và ảnh mang tin. Tuy nhiên, khả năng nhúng của [2] chỉ đạt khoảng 0,5 bpp và chất lượng ảnh còn thấp. Một phương pháp khác cải thiện được chất lượng ảnh tốt hơn được đề xuất bởi Ni et al. [3]. Một biểu đồ histogram giá trị (pixel) của ảnh mang tin được xây dựng để nhúng tin. Phương pháp này chọn cặp điểm đỉnh (peak point) và điểm không (zero point) của histogram để tạo không gian nhúng. Kỹ thuật giấu tin dựa trên dịch chuyển lưu đồ (Histogram Shifting - HS) này chỉ làm các giá trị điểm ảnh thay đổi tối đa một đơn vị. Phương pháp [3] cho chất lượng ảnh mang tin đạt ở mức cao, khoảng 48 dB. Trong kỹ thuật giấu tin dùng HS, khối lượng thông tin giấu sẽ phụ thuộc peak point của biểu đồ. Khả năng nhúng của giải pháp này sẽ tăng đối với biểu đồ nhọn (sharp histogram) và giảm đối với biểu đồ phẳng (flat histogram). Nhiều phương pháp nhằm cải tiến biểu đồ được đề xuất sau đó. Ví dụ, Tai et al. [4] xây dựng biểu đồ các giá trị khác biệt (difference histogram) của hai điểm ảnh liền kề. Do hai điểm ảnh liền kề có độ tương quan cao nên sự khác biệt giữa chúng rất nhỏ và gần bằng không sẽ tạo được một biểu đồ nhọn. Ngoài ra, bằng phương pháp dự báo, tức là tìm một điểm ảnh dự báo dựa trên các điểm ảnh lân cận. Sau đó, tính giá trị sai số dự báo để xây dựng biểu đồ sai số dự báo (prediction-error histogram). Khi dự báo càng chính xác thì sai số dự báo càng nhỏ và càng giống nhau nhiều. Có nghĩa là biểu đồ sẽ có peak point cao nên giấu được nhiều thông tin hơn như được đề cập trong [5], [6].

Đối với phương pháp giấu tin trên miền tần số, tín hiệu gốc của đối tượng mang tin được chuyển đổi thành tín hiệu miền tần số để mang thông tin như được giới thiệu trong [7], [8]. Ví dụ, phương pháp của Vo et al. [7] thực hiện chuyển đổi các điểm ảnh gốc thành các hệ số lượng tử DCT (Quantized Discrete Cosine Transformation - QDCT). Sau đó, chọn các hệ số QDCT trong vùng tần số trung bình mỗi khối  $8 \times 8$  để giấu tin. Bằng cách chọn lựa các vùng hệ số QDCT tối ưu nên phương pháp [7] dung hòa (trade-off) được khả năng nhúng và chất lượng ảnh. Một phương pháp thủy văn số (digital watermarking) kết hợp hai phép chuyển đổi DCT và (Singular Value Decomposition - SVD) bảo vệ bản quyền số cho ảnh stereo được đề xuất trong [8]. Phương pháp này chọn các vùng hệ số QDCT thích hợp nhất để mang tin nhằm tăng khả năng chịu sự tấn công hơn. Để đạt được tính bền vững cao, các giải pháp RDH trên miền tần số thường phải được cài đặt phức tạp hơn qua nhiều phép toán chuyển đổi trước khi giấu tin.

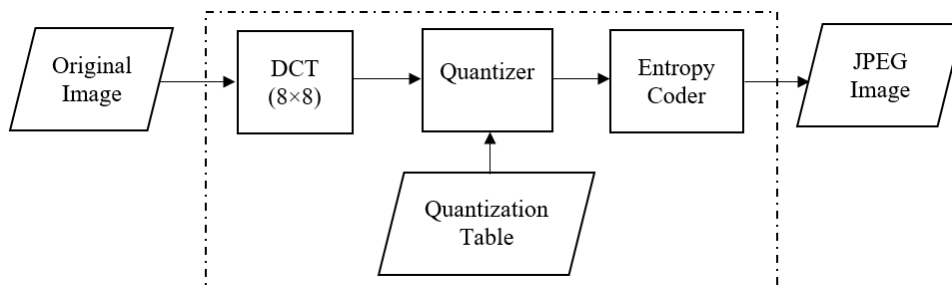
Ngày nay, nhu cầu trao đổi dữ liệu đa phương tiện dạng ảnh số tăng mạnh trên không gian mạng. Để tối ưu hóa việc lưu trữ và cải thiện hiệu suất truyền thông, các dữ liệu đa phương tiện này cần được nén lại. Có nhiều định dạng nén ảnh khác nhau. Trong đó, chuẩn nén ảnh JPEG là phổ biến nhất và được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng thực tiễn. Từ đó, nhiều giải pháp tin cho ảnh JPEG được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm nhiều hơn. Trong giải pháp RDH cho ảnh nén JPEG, không chỉ đòi hỏi khả năng nhúng cao mà còn đảm bảo kích thước của ảnh nén không được tăng

thêm sau khi mang tin. Các giải pháp giấu tin trên ảnh thường không thể áp dụng trực tiếp cho ảnh nén JPEG được. Thứ nhất, do ảnh JPEG không có nhiều thông tin dư thừa để tận dụng giấu tin. Thứ hai, khi có sự thay đổi nhỏ các hệ số QDCT trong quá trình giấu tin, sẽ làm thay đổi lớn giá trị điểm ảnh mang tin trong quá trình giải lượng tử. Hơn nữa, đối với giấu tin thuận nghịch cho ảnh JPEG, chúng ta cần quan tâm không chỉ chất lượng ảnh mà còn liên quan đến sự tăng kích thước ảnh trong quá trình giấu tin. Để không làm tăng thêm kích thước ảnh nén, các phương pháp trong nhóm này cần lựa chọn các hệ số QDCT thích hợp nhất để mang tin để tối ưu kích thước ảnh nén. Giấu tin thuận nghịch cho ảnh JPEG có thể được chia thành bốn phương pháp khác nhau. Phương pháp thứ nhất là dựa trên lossless compression được đề xuất lần đầu bởi Fridrich et al. [9]. Phương pháp dựa trên lossless compression bị giới hạn về khả năng nhúng và làm tăng kích thước ảnh nén nhiều. Phương pháp thứ hai là dựa trên sự thay đổi bảng lượng tử được đề xuất bởi Wang et al. [10]. Bằng cách chia một số phần tử của bảng lượng tử cho một số nguyên, đồng thời nhân số nguyên này cho các hệ số QDCT tương ứng để tạo không gian nhúng dữ liệu nhiều hơn. Tuy nhiên, phương pháp này làm tăng kích thước ảnh nén. Thứ ba, đó là phương pháp dựa trên thay đổi Huffman table được đề xuất bởi Hu et al. [11]. Giải pháp [11] không làm tăng kích thước ảnh nén nhưng khả năng nhúng bị hạn chế. Phương pháp thứ tư là phương pháp thay đổi các hệ số QDCT. Nhóm thứ tư được xem là phương pháp phổ biến hiện nay và có nhiều công trình được công bố trong [12]-[14]. Ví dụ, Huang et al. [12] đề xuất phương pháp RDH cho ảnh JPEG dựa vào kỹ thuật HS các hệ số QDCT. Bằng cách chỉ chọn các hệ số QDCT bằng 1 hoặc -1 để nhúng tin trong khi các hệ số QDCT bằng 0 thì giữ nguyên. Do đó, phương pháp [12] ít làm thay đổi giá trị các hệ số QDCT nên chất lượng ảnh nén tốt hơn và kích thước ảnh nén không tăng. Một ảnh khi nén với chỉ số QF càng thấp thì càng có nhiều khối có hệ số QDCT không mang các giá trị (-3, 3, -4, 4). Một phương pháp cải tiến giải pháp của Huang et al. [12] được đề xuất bởi Xie et al. [13]. Phương pháp [13] chia các khối 8×8 hệ số QDCT thành hai nhóm. Nhóm thứ nhất gồm các khối có hệ số QDCT mang giá trị (-3, 3, -4, 4) và thực hiện giấu tin theo phương pháp của Huang et al. [12] cho nhóm này. Nhóm thứ hai chứa các khối còn lại và áp dụng phương pháp giấu tin mở rộng của Xie et al. Do trong nhóm này không tồn tại các giá trị (-3, 3, -4, 4) nên khi nhúng vào các hệ số QDCT (-1, 1, -2, 2) không làm thay đổi các hệ số còn lại. Do đó, phương pháp này nhúng được nhiều thông tin hơn phương pháp của Huang et al. [12]. Một phương pháp RDH cho ảnh JPEG khác dựa trên HS cũng được đề xuất bởi Liu và Chang [14]. Thay vì, chỉ dùng một số hệ số QDCT khác không để giấu tin, Liu and Chang tận dụng tất cả các hệ số QDCT khác không để giấu thông tin nên phương pháp này đạt được khả năng nhúng lên gấp hai lần phương pháp của Huang et al. [12] khi QF = 90. Tuy nhiên, bằng cách dùng phương pháp HS trực tiếp trên hệ số QDCT để giấu tin dẫn đến giá trị các hệ số này thay đổi rất lớn nên chất lượng ảnh nén giảm đi đáng kể. Để khắc phục hạn chế giải pháp của Liu và Chang [14], chúng tôi đề xuất một giải pháp giấu tin thuận nghịch mới cho ảnh nén JPEG. Giải pháp đề xuất sẽ cải thiện khả năng nhúng và chất lượng ảnh. Bằng cách hạn chế việc làm thay đổi lớn giá trị các hệ số khi mở rộng để mang tin, chúng tôi xây dựng histogram từ các giá trị khác biệt của từng cặp hệ số QDCT liên kề nhau. Bởi vì, trong mỗi khối các hệ số QDCT liên kề có khuynh hướng gần giống nhau nên giá trị khác biệt từng cặp hệ số sẽ nhỏ. Bằng cách làm này, chúng tôi xây dựng được biểu đồ nhon nên sẽ cải thiện được cả về khả năng nhúng cũng như chất lượng ảnh nén.

## II. NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

### A. Tổng quan về nén ảnh JPEG

Quá trình nén ảnh JPEG được mô tả tóm tắt như trong Hình 1. Đầu tiên, ảnh gốc được chia thành các khối 8×8 không trùng lặp. Sau đó, mỗi khối này được áp dụng phép chuyển đổi DCT theo công thức (1) để thu được các hệ số DCT.



Hình 1. Sơ đồ khối quá trình nén ảnh JPEG

$$F(u, v) = \frac{c(u)c(v)}{4} \sum_0^7 \sum_0^7 \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} f(x, y) \quad (1)$$

$$\text{Với } c(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{nếu } u = 0 \\ 1 & \text{ngược lại} \end{cases}$$

trong đó,

$f(x, y)$  là giá trị điểm ảnh tại tọa độ  $(x, y)$  trong khối ảnh  $8 \times 8$ .

$F(u, v)$  là hệ số DCT tại tọa độ  $(u, v)$  trong khối DCT  $8 \times 8$ .

$F(0,0)$  là hệ số DC, phần còn lại là hệ số AC.

Kế tiếp, một bảng lượng tử được áp dụng trên các khối hệ số DCT theo công thức (2), tạo được khối hệ số lượng tử QDCT như được trình bày trong Hình 2.

$$D(u, v) = Round \left( \frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right) \tag{2}$$

46	68	82	82	76	68	94	115
43	58	72	84	81	77	99	109
55	63	81	97	81	77	103	109
57	68	91	95	74	82	111	115
67	78	96	81	72	94	119	118
73	80	89	73	75	108	135	116
79	88	85	68	82	125	141	111
89	94	85	77	97	135	137	93

(a) Khối ảnh gốc

709	-123	22	-31	-37	22	-7.8	4.8
-63	0.1	-21	-56	44	-6.3	-4.9	-0.4
2.4	1	-4.2	27	-6.7	-12	-4.3	0.5
-3	-5.9	19	-11	-8.7	-4.4	4.2	4.3
4.9	11	-2.5	-6.7	-0.4	-1.9	2.2	-0.2
2.2	-0.7	4.1	-6.6	-0.3	1.7	-0.6	-0.7
3.5	6.3	-1.8	-0.4	3.2	2.6	-1.6	0.5
2.6	4	2.5	-0.9	-0.2	-2.2	1.3	0

(b) Khối hệ số DCT

44	-11	2	-2	-2	1	0	0
-5	0	-2	-3	2	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

(c) Khối hệ số QDCT

Hình 2. Ví dụ về lượng tử

### B. Giải pháp giấu tin trong ảnh JPEG của Liu và Chang

Phương pháp của Liu và Chang [14] thực hiện thay đổi các hệ số AC lượng tử khác không để giấu tin. Đầu tiên, ảnh gốc được chia thành các khối 8×8 không trùng lặp. Mỗi khối này được biến đổi DCT và lượng tử chúng thu được khối hệ số lượng tử QDCT. Tiếp theo, các hệ số AC lượng tử khác không (gọi là *a*) trong mỗi khối được duyệt theo hình zigzag và được thay đổi để giấu tin theo quy luật sau:

- (a) Nếu bit nhúng  $s = 0$ , thì  $a = 2a$ .
- (b) Nếu bit nhúng  $s = 1$  và  $a > 0$ , thì  $a = 2a + 1$ .
- (c) Nếu bit nhúng  $s = 1$  và  $a < 0$ , thì  $a = 2a - 1$ .

Lặp lại các bước trên đến khi tin mật được nhúng xong. Tuy nhiên, khi giấu tin bằng cách thay đổi trực tiếp các hệ số AC khác không như quy luật làm cho các hệ số AC thay đổi gấp hai lần giá trị gốc. Điều này dẫn đến chất lượng ảnh nén giảm đi đáng kể. Để khắc phục hạn chế giải pháp của Liu và Chang [14], chúng tôi đề xuất một giải pháp giấu tin thuận nghịch mới cho ảnh nén JPEG như được trình bày ở phần sau đây.

### III. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

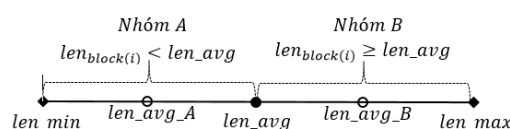
Trong phần này, chúng tôi đề xuất một giải pháp giấu tin mới cho ảnh nén JPEG với khả năng và chất lượng ảnh tốt hơn. Trước khi nhúng, chúng tôi tính giá trị khác biệt giữa hai cặp hệ số QDCT. Sau đó, giá trị khác biệt này được mở rộng để giấu tin. Hai hệ số liền kề nhau sẽ có giá trị khác biệt nhỏ nên việc mở rộng chúng để giấu tin sẽ ít làm thay đổi giá trị các hệ số. Điều này sẽ cải thiện được chất lượng ảnh mang tin. Giải pháp đề xuất của chúng tôi hai quá trình chính: quá trình thứ nhất là nhúng tin, quá trình thứ hai là tách tin và khôi phục ảnh gốc. Chi tiết các quá trình sẽ được trình bày dưới đây.

#### Quá trình giấu tin

Quá trình giấu tin của giải pháp đề xuất gồm các bước sau:

Bước 1. Ảnh gốc được chia thành các khối 8×8 không trùng lặp. Mỗi khối được chuyển đổi DCT và lượng tử hoá theo công thức (1) và (2) để thu được các khối hệ số QDCT.

Bước 2. Để cân bằng giữa khả năng nhúng với chất lượng ảnh, chúng tôi thực hiện thống kê hệ số QDCT khác không để lựa chọn các hệ số thích hợp để giấu tin. Đầu tiên, chúng tôi tính trung bình hệ số QDCT khác không  $len_{avg}$  của các khối trên toàn ảnh. Sau đó, chúng tôi phân loại các khối thành hai nhóm như Hình 3. Trong đó, nhóm bên trái (nhóm A) gồm các khối có số lượng hệ số QDCT khác không nhỏ hơn giá trị trung bình  $len_{avg}$ , nhóm bên phải (nhóm B) gồm các khối còn lại. Tiếp theo, trung bình hệ số QDCT khác không trong nhóm A  $len_{avg\_A}$  và nhóm B  $len_{avg\_B}$  cũng được xác định. Cuối cùng, giá trị  $len_{avg\_A}$  hoặc  $len_{avg\_B}$  được dùng xác định số lượng hệ số AC mỗi khối được chọn để nhúng dữ liệu tùy theo khối thuộc nhóm A hoặc nhóm B.



Hình 3. Phân bố các khối thuộc hai nhóm:  $len_{avg}$  là số lượng trung bình hệ số QDCT khác không toàn ảnh;  $len_{block(i)}$  là số lượng hệ số QDCT khác không của khối thứ *i*;  $len_{avg\_A}$  và  $len_{avg\_B}$  là số lượng hệ số QDCT khác không tương ứng khối trái và phải

Đồng thời, để bảo đảm việc rút trích tin mật thành công, chúng tôi dùng thêm một bản đồ định vị bit (Location Map: LM) để xác định khối thuộc nhóm nào. Bằng cách, nếu khối thứ  $i$  thuộc nhóm bên trái, thì  $LM(i)=0$ . Ngược lại,  $LM(i)=1$ . Sau đó, các giá trị LM,  $len\_agv\_A$  và  $len\_agv\_B$  sẽ được nén lại và gửi qua bên nhận theo một kênh an toàn nào đó hoặc cùng giấu vào ảnh gốc theo kỹ thuật LSB.

Bước 3. Tùy theo khối  $8 \times 8$  thuộc nhóm nào sẽ chọn số lượng hệ số AC để nhúng như được xác định ở Bước 2. Trong mỗi khối các hệ số sẽ được quét theo hình zigzag như Hình 2(c). Tiếp theo, cứ mỗi cặp hệ số AC liền kề  $(x, y)$  sẽ được mở rộng công thức (3).

$$d = \begin{cases} x - y, & \text{nếu } x \text{ và } y \text{ cùng dấu} \\ x + y, & \text{nếu ngược lại} \end{cases} \quad (3)$$

Sau đó, thực hiện giấu tin mật  $s$  theo công thức (4).

$$d' = \begin{cases} 2 \times d + s, & \text{nếu } d \geq 0 \\ 2 \times d - s, & \text{nếu } d < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Cuối cùng, cập nhật lại các hệ số AC theo công thức (5).

$$(x', y') = \begin{cases} (d' + y, y) & \text{nếu } x \text{ và } y \text{ cùng dấu} \\ (d' - y, y) & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (5)$$

Áp dụng các công thức (3) đến (5) cho các cặp còn lại trong khối.

Bước 4. Lặp lại Bước 3 cho đến khi quá trình nhúng tin mật hoàn thành. Cuối cùng, dùng kỹ thuật mã hóa nén để thu được ảnh JPEG có mang tin mật.

#### **Quá trình tách tin và khôi phục ảnh gốc**

Quá trình tách tin thực hiện tương tự và ngược lại với quá trình giấu tin. Khi bên nhận có ảnh nén JPEG có chứa tin mật. Bằng các bước sau, tin mật sẽ được rút ra và ảnh mang tin sẽ được khôi phục hoàn toàn về trạng thái ban đầu.

Bước 1. Trích xuất bản đồ bit LM(i),  $len\_agv\_A$  và  $len\_agv\_B$  dùng để hỗ trợ rút thông tin.

Bước 2. Giải mã ảnh nén JPEG để thu được các khối hệ số lượng tử QDCT. Dựa vào LM(i) để xác định số lượng hệ số AC dùng để mang tin trong mỗi khối. Trong mỗi khối các hệ số sẽ được quét theo hình zigzag. Tiếp theo, cứ mỗi cặp hệ số AC liền kề  $(x', y')$  sẽ được tính giá trị khác biệt theo (6).

$$d' = \begin{cases} x' - y', & \text{nếu } x' \text{ và } y' \text{ cùng dấu} \\ x' + y', & \text{nếu ngược lại} \end{cases} \quad (6)$$

Sau đó, thực hiện trích tin mật  $s'$  theo công thức (7).

$$s' = \begin{cases} d' \bmod 2, & \text{nếu } d' \geq 0 \\ |d'| \bmod 2, & \text{nếu } d' < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Cuối cùng, cập nhật lại các hệ số AC theo công thức (8).

$$(x'', y'') = \begin{cases} \left( \left( \text{sign}(d') \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor + y', y' \right) \right) & \text{nếu } x' \text{ và } y' \text{ cùng dấu} \\ \left( \left( \text{sign}(d') \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor - y', y' \right) \right) & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (8)$$

Áp dụng các công thức (6) đến (8) cho các cặp còn lại trong khối.

Bước 4. Lặp lại Bước 3 cho đến khi quá trình tách tin mật hoàn thành. Cuối cùng, ảnh gốc được khôi phục bằng cách giải lượng tử và biến đổi DCT ngược.

## **IV. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM**

Để đánh giá hiệu suất của giải pháp đề xuất, chúng tôi dùng sáu ảnh chuẩn kích thước  $512 \times 512$  như Hình 4 để làm ảnh mang tin và chuỗi thông tin bí mật cũng được phát sinh ngẫu nhiên. Tập dữ liệu thực nghiệm này được dùng cho cả phương pháp của Liu và Chang [14] và phương pháp được đề xuất.

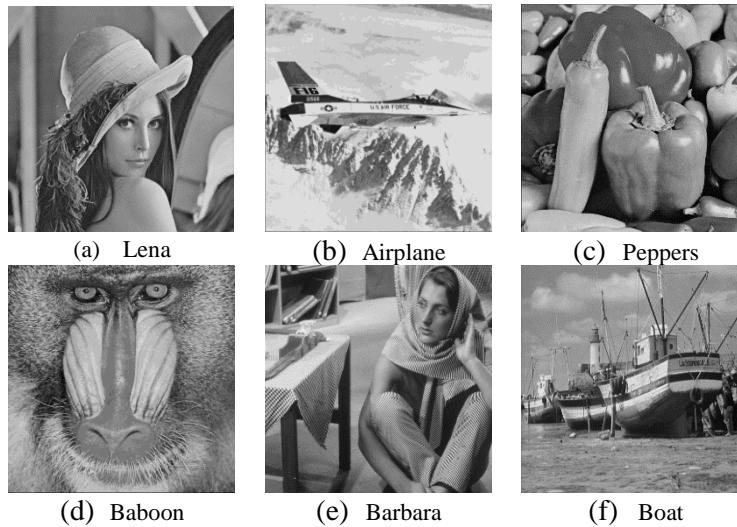
Chúng tôi tiến hành so sánh tính hiệu quả của giải pháp đề xuất với giải pháp trước bằng hai tiêu chí là khả năng nhúng và chất lượng ảnh sau khi nhúng tin mật vào. Trong đó, khả năng nhúng được tính bằng số bit tối đa được nhúng vào ảnh (đơn vị đo là bit). Về chất lượng ảnh nén, chúng tôi dùng tỉ số tín hiệu cực đại trên nhiễu (Peak Signal-to-Noise Ratio - PSNR) để đánh giá. Khi ảnh càng bị nhiễu so với ảnh gốc thì giá trị PSNR (đơn vị đo là dB) càng thấp và ngược lại. Cụ thể, chỉ số PSNR của ảnh kích thước  $m \times n$  được xác định dựa vào công thức (9) và (10).

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (9)$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [I(i,j) - I'(i,j)]^2 \quad (10)$$

Trong đó,  $I(i,j)$  là giá trị điểm ảnh gốc tại tọa độ  $(i,j)$  và  $I'(i,j)$  là giá trị điểm ảnh mang tin tại tọa độ  $(i,j)$

Để thấy được sự tác động của tỷ lệ nén khác nhau lên khả năng nhúng và chất lượng ảnh, chúng tôi thực nghiệm nhiều mức nén với chỉ số QF (Quality Factor) khác nhau. Từ Bảng 1, chúng ta nhận thấy rằng số lượng bit nhúng tối đa của giải pháp đề xuất cao hơn giải pháp [14] trong hầu hết các trường hợp. Với ảnh Lena và Peppers, mặc dù khả năng nhúng của giải pháp đề xuất thấp hơn giải pháp [14] lần lượt là khoảng 3.000 bit và 1.000 bit khi QF=50. Tuy nhiên, khi QF=90, giải pháp của chúng tôi cao hơn giải pháp [14] gần 10.000 bit. Nhìn chung, với QF càng lớn thì khả năng nhúng càng cao và ngược lại. Tóm lại, khả năng nhúng tối đa trung bình của các ảnh thực nghiệm thì giải pháp chúng tôi luôn cao hơn giải pháp của Liu và Chang trong mọi giá trị QF.



Hình 4. Bộ sáu ảnh thực nghiệm

Bảng 1. So sánh khả năng (bits) nhúng của giải pháp

	QF = 50		QF = 60		QF = 70		QF = 80		QF = 90	
	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]
Lena	24,488	27,401	33,676	31,449	38,667	37,786	52,462	47,531	79,690	69,957
Airplane	31,844	30,975	36,042	35,200	43,820	41,587	54,498	51,625	80,448	74,752
Peppers	27,948	29,434	32,064	33,491	43,688	45,036	48,628	49,270	102,568	94,722
Baboon	69,024	63,962	79,588	73,148	95,006	86,396	11,7583	107,011	161,816	148,287
Barbara	45,074	40,358	49,638	45,220	59,917	52,100	71,995	61,469	101,504	80,198
Boat	37,628	38,277	42,164	43,374	52,540	50,873	67,764	62,038	99,492	83,946
<b>Trung bình</b>	<b>39,334</b>	<b>38,401</b>	<b>45,529</b>	<b>43,647</b>	<b>55,606</b>	<b>52,296</b>	<b>68,822</b>	<b>63,157</b>	<b>104,253</b>	<b>91,977</b>

Bên cạnh khả năng nhúng cao, tính hiệu quả của giải pháp đề xuất còn thể hiện ở chất lượng ảnh sau khi nhúng tin. Bảng 2, chúng ta dễ dàng nhận thấy giải pháp đề xuất cho chất lượng ảnh mang tin luôn cao hơn giải pháp của Liu và Chang [14] trong bất kỳ QF.

Bảng 2. So sánh chất lượng ảnh (dB) của giải pháp đề xuất

	QF = 50		QF = 60		QF = 70		QF = 80		QF = 90	
	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]	Đề xuất	Giải pháp [14]
Lena	32,24	31,69	32,27	31,75	32,47	31,85	32,52	31,96	32,63	32,12
Airplane	31,99	31,86	32,09	31,90	32,17	32,00	32,30	32,10	32,35	32,21
Peppers	31,97	31,62	32,02	31,73	32,21	31,60	32,39	32,05	32,55	31,41
Baboon	29,37	28,87	29,34	28,89	29,45	28,92	29,54	28,96	29,66	29,02
Barbara	30,79	30,43	30,78	30,47	30,88	30,53	31,02	30,59	30,92	30,68
Boat	31,03	31,03	31,20	31,06	31,15	31,09	31,38	31,13	31,49	31,20
<b>Trung bình</b>	<b>31,23</b>	<b>30,92</b>	<b>31,28</b>	<b>30,97</b>	<b>31,39</b>	<b>31,00</b>	<b>31,53</b>	<b>31,13</b>	<b>31,60</b>	<b>31,11</b>

## V. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất một giải pháp giấu tin thuận nghịch mới cho ảnh nén JPEG. Thay vì mở rộng trực tiếp các hệ số QDCT để mang tin như các giải pháp trước đây, giải pháp đề xuất thực hiện nhúng dữ liệu vào các giá trị mở rộng khác biệt các hệ số QDCT liền kề. Do các hệ số liền kề có sự khác biệt nhỏ nên giải pháp đề xuất đã cải thiện đáng kể khả

năng giấu tin cũng như chất lượng ảnh so với giải pháp trước đây. 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, doi: 10.1080/02564602.2015.1102099.
- [2] Jun Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 13, No. 8, pp. 890-896, Aug. 2003, doi: 10.1109/TCSVT.2003.815962.
- [3] 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, doi: 10.1109/TCSVT.2006.869964.
- [4] W.-L. Tai, C.-M. Yeh, and C.-C. Chang, "Reversible Data Hiding Based on Histogram Modification of Pixel Differences", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 19, No. 6, pp. 906-910, Jun. 2009, doi: 10.1109/TCSVT.2009.2017409.
- [5] D.-S. Fu, Z.-J. Jing, S.-G. Zhao, and J. Fan, "Reversible data hiding based on prediction-error histogram shifting and EMD mechanism", *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, Vol. 68, No. 10, pp. 933-943, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.aeue.2014.04.015.
- [6] R. M. Rad, K. Wong, and J.-M. Guo, "Reversible data hiding by adaptive group modification on histogram of prediction errors", *Signal Process.*, Vol. 125, pp. 315-328, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.sigpro.2016.02.001.
- [7] P.-H. Vo, T.-S. Nguyen, V.-T. Huynh, and T.-N. Do, "A novel reversible data hiding scheme with two-dimensional histogram shifting mechanism", *Multimed. Tools Appl.*, pp. 1-21, May 2018, doi: 10.1007/s11042-018-5991-8.
- [8] P. H. Vo, T. S. Nguyen, V. T. Huynh, and T. N. Do, "A robust hybrid watermarking scheme based on DCT and SVD for copyright protection of stereo images", in *2017 4th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science*, Hanoi, Vietnam, 2017, pp. 331-335, doi: 10.1109/NAFOSTED.2017.8108087.
- [9] J. Fridrich, M. Goljan, and R. Du, "Lossless data embedding for all image formats", in *Security and Watermarking of Multimedia Contents IV*, 2002, Vol. 4675, pp. 572-583, doi: 10.1117/12.465317.
- [10] 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, doi: 10.1016/j.jss.2013.03.083.
- [11] Y. Hu, K. Wang, and Z.-M. Lu, "An improved VLC-based lossless data hiding scheme for JPEG images", *J. Syst. Softw.*, Vol. 86, No. 8, pp. 2166-2173, Aug. 2013, doi: 10.1016/j.jss.2013.03.102.
- [12] 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, doi: 10.1109/TCSVT.2015.2473235.
- [13] X.-Z. Xie, C.-C. Lin, and C.-C. Chang, "A reversible data hiding scheme for JPEG images by doubling small quantized AC coefficients", *Multimed. Tools Appl.*, Vol. 78, No. 9, pp. 11443-11462, May 2019, doi: 10.1007/s11042-018-6651-8.
- [14] Y. Liu and C.-C. Chang, "Reversible data hiding for JPEG images employing all quantized non-zero AC coefficients", *Displays*, Vol. 51, pp. 51-56, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.displa.2018.01.004.

## REVERSIBLE DATA HIDING FOR JPEG IMAGES BASED ON QDCT COEFFICIENTS DIFFERENCE EXPENSION

**Huynh Van Thanh, Nguyen Thai Son, Vo Phuoc Hung, Tran Hoang Nam, Do Thanh Nghi**

**ABSTRACT:** *In this paper, a high performance reversible data hiding scheme in JPEG images is proposed. The JPEG image is divided into non-overlapping  $8 \times 8$  blocks. In order to require less storage space, we only priority examines quantized non-zero AC coefficients for carry secret bits. In addition, the two adjacent AC coefficients in zigzag scan is nearly the same. This method achieves high visual quality by using modification the difference expansion for secret data embedding. Experimental results confirm that the proposed scheme outperforms previous research approaches in term of embedding capacity and visual quality.*

**Keywords:** *Reversible data hiding, JPEG images, DCT, QDCT coefficients.*