GIẤU TIN THUẬN NGHỊCH BẰNG DỰ BÁO TRÊN NGŨ CẢNH ĐIỂM ẢNH KẾT HỢP EMD

Trần Hoàng Nam¹, Huỳnh Văn Thanh², Võ Thành C³, Dương Ngọc Vân Khanh⁴,
Nguyễn Thái Sơn⁵

REVERSIBLE DATA HIDING BASED ON PIXEL-BASED PIXEL VALUE ORDERING PREDICTOR AND EMD

Tram Hoang Nam¹, Huynh Van Thanh², Vo Thanh C³, Duong Ngoc Van Khanh⁴,
Nguyen Thai Son⁵

Tóm tắt – Trong tham luận này, chúng tôi cải tiến phương pháp giấu tin thuận nghịch của Qu và các cộng sự. Ảnh gốc ban đầu được chia thành các khối 2x2 có trùng lặp, mỗi khối này được dùng để dự báo cho một điểm ảnh. Sau đó, một lưu đồ histogram được xây dựng từ các giá trị sai số giữa điểm ảnh gốc và điểm ảnh dự báo. Để tăng khả năng giấu tin, giải pháp đề xuất sử dụng thêm bảng điều hướng nhúng EMD để thay đổi lưu đồ khi giấu tin. Theo phương pháp của Qu, mỗi điểm ảnh thỏa điều kiện chỉ nhúng được một bit thông tin. Trong giải pháp đề xuất này, bằng cách dùng bảng EMD, mỗi cặp điểm ảnh thỏa điều kiện có khả năng nhúng được ba bit thông tin. Kết quả thực nghiệm cho thấy, phương pháp đề xuất cải thiện khả năng nhúng 1,5 lần trong khi chất lượng ảnh thay đổi không đáng kể.

Từ khóa: dự báo, dịch chuyển histogram, EMD, giấu tin, thuận nghịch.

Abstract – In this paper, we improved the reversible data hiding method of Qu's et al. The original image is divided into overlapped equal-size blocks (2x2). Each of block is used to predict a pixel. Then a histogram is constructed from the different value between the original pixel and

the prediction pixel. In order to increase the capacity, the proposed method combination with EMD table to change the histogram. According to Qu's method, each pixel satisfies only one bit of information is embedded. In our method, by using the EMD table, each pair of eligible pixels can embed three bits of information. Experimental results show that the proposed method increases 1.5 times the hidden performance while the image quality changes negligibly.

Keywords: prediction, histogram shifting, EMD, data hiding, reversible.

I. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin, dữ liệu số ngày càng được lưu trữ và chia sẻ dễ dàng trên môi trường mạng. Các thông tin số này đang đối mặt với việc bị chiếm đoạt hay phá hoại nhằm làm thay đổi nội dung gốc từ những kẻ tấn công. Từ thực trạng đó, vấn đề bảo vệ bản quyền cho các nội dung số này ngày càng được các nhà nghiên cứu quan tâm. Trước đây, phương pháp dùng mật mã (cryptography) là một sự lựa chọn tốt để giải quyết vấn đề này. Mật mã là kỹ thuật chia sẻ thông tin bằng cách chuyển thông tin từ dạng có ý nghĩa thành dạng không thể hiểu được nếu không có chìa khóa giải mã. Tuy nhiên, cách làm này gây sự chú ý, tò mò của kẻ phá hoại để tìm cách bẻ khóa xem thông tin bất hợp pháp. Gần đây, một phương pháp bảo vệ khác được nhiều nhà nghiên cứu xem trọng, đó

^{1,2,3,4,5,6}Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

Email: tramhoangnam@tvu.edu.vn

^{1,2,3,4,5,6}School of Engineering and Technology, Tra Vinh University

là giải pháp giấu tin mật (steganography). Đây là kỹ thuật giấu thông tin cần được bảo vệ vào bên trong một thông tin khác. Kỹ thuật có ưu điểm là thông tin không chỉ được bảo vệ mà còn được che giấu sự tồn tại của nó. Vì vậy, kỹ thuật giấu tin này sẽ bảo vệ an toàn cho các thông tin mật tốt hơn.

Có nhiều kỹ thuật để giấu tin mật vào đối tượng mang tin khác. Các đối tượng mang tin có thể là các tập tin âm thanh, hình ảnh, văn bản... Các phương pháp giấu tin phải đảm bảo rằng, các đối tượng mang tin phải được trong suốt với mắt người dùng, điều này nhằm tránh việc phát hiện có thông tin đang ẩn giấu bên trong đối tượng. Cách chèn thông tin mật như thế sẽ làm cho đối tượng mang tin thay đổi so với ban đầu. Một số phương pháp giấu tin, mà khi rút tin mật ra từ đối tượng mang tin, không có khả năng khôi phục lại vật mang tin, tức là đối tượng mang tin sẽ bị thay đổi so với ban đầu khi chưa mang tin. Phương pháp này được gọi là phương pháp giấu tin không thuận nghịch (irreversible data hiding). Ngược lại, các phương pháp giấu tin, mà đối tượng mang tin sẽ được khôi phục hoàn toàn về trạng thái ban đầu sau khi đã lấy được thông tin mật, được gọi là phương pháp giấu tin thuận nghịch (reversible data hiding) [1]. Kỹ thuật giấu tin không thuận nghịch thường đơn giản, dễ cài đặt. Trong giải pháp này, thông tin có thể được giấu rất nhiều, đồng thời tin được giấu cũng được trích xuất một cách dễ dàng, chính xác. Tuy nhiên, do không thể phục hồi lại đối tượng mang tin trước đó nên không được áp dụng trong các lĩnh vực đặc biệt như: trong y khoa, bản đồ quân sự, chữ kí điện tử... Cho nên, cần phải có các giải pháp giấu tin thuận nghịch để đáp ứng các lĩnh vực này.

Có thể giấu tin trong nhiều đối tượng mang tin khác nhau như được đề cập ở trên. Tuy nhiên, giấu tin trong ảnh được nhiều nhà nghiên cứu thực hiện, bởi tính phổ biến của các ảnh số trên môi trường truyền thông mạng. Giấu tin thuận nghịch trong ảnh có thể kể đến ba phương pháp chính sau: (1) giấu tin dựa vào mở rộng sự khác biệt DE (difference expansion) của các cặp điểm ảnh [1]–[4], (2) giấu tin dựa vào dịch chuyển lưu đồ HS (histogram shifting) của các điểm ảnh [5]–[10] và (3) giấu tin dựa trên phương pháp dự

báo (prediction) cho một điểm ảnh bằng các điểm ảnh lân cận hay còn gọi là dự báo dựa trên ngữ cảnh [11]–[20]. Trong phương pháp DE truyền thống [1], do một cặp điểm ảnh sau khi mở rộng chỉ nhúng được một bit dữ liệu nên khả năng nhúng chưa cao (khoảng 0.5 bpp) và chất lượng ảnh bị ảnh hưởng nhiều. Hơn nữa, cần phải dùng bản đồ định vị (location map) để quản lí các điểm ảnh được nhúng hoặc không nhúng nên cũng ảnh hưởng đến hiệu suất nhúng. Để cải thiện khả năng nhúng, Alattar [2] cải tiến phương pháp DE bằng cách nhóm mỗi ba điểm ảnh để nhúng hai bit dữ liệu. Bên cạnh đó, bằng cách sử dụng kỹ thuật sắp xếp và biến đổi sóng ngắn, Kamstra [3] cũng đã cải tiến hiệu suất của phương pháp DE. Năm 2008, H.J. Kim [4] tiếp tục phát triển kỹ thuật này để có hiệu suất nhúng cao và chất lượng ảnh mang tin tốt hơn. Phương pháp này thực hiện cải tiến bản đồ định vị nhờ sử dụng phân phối Laplace. Phương pháp giấu tin thuận nghịch thứ hai dịch chuyển lưu đồ HS. Trong cách này, đầu tiên một lưu đồ (histogram) thể hiện tần suất các giá trị điểm ảnh được xây dựng. Trong lưu đồ này, sẽ xuất hiện một cột cao nhất, được gọi là peak point được dùng để giấu tin. Để đảm bảo khả năng rút tin và khôi phục ảnh gốc thành công, các cột nằm giữa peak point và zero point cần được dịch chuyển sang phải một đơn vị. Trong phương pháp này, khả năng nhúng sẽ phụ thuộc chiều cao của peak point. Ni và các cộng sự [5] đã đề xuất phương pháp giấu tin dựa vào HS đầu tiên. Trong phương pháp của Ni, tần suất xuất hiện cao nhất của một điểm ảnh nào đó chính là khả năng nhúng tin tối đa. Năm 2009, Gao [7] đề xuất chia ảnh đầu vào thành các khối không trùng lặp, sau đó chỉ nhúng tin vào các khối phù hợp. Ngược lại với phương pháp DE và HS, phương pháp giấu tin ở dạng thứ ba sẽ tìm giá trị dự báo của một điểm ảnh gốc dựa vào các điểm ảnh lân cận. Sau đó, thông tin mật được giấu tin vào giá trị mở rộng khác biệt giữa giá trị điểm ảnh gốc và điểm ảnh dự báo. Li [18] đề xuất chia ảnh gốc thành nhiều khối không trùng lặp và tính giá trị sai khác của giá trị điểm ảnh lớn nhất và nhỏ nhất ở mỗi khối. Nếu sự sai khác này là 1 thì khối được chọn để nhúng thông tin, ngược lại sẽ bỏ qua khối đó. Do đó, khả năng nhúng của phương

pháp này còn hạn chế. Năm 2014, Peng [19] tiếp tục cải tiến phương pháp này bằng cách nhúng thông tin mật vào cả các khối có giá trị sai khác bằng 0 hoặc 1, nên khả năng nhúng được cải thiện. Năm 2015, Qu [20] đưa ra phương pháp giấu tin bằng cách chia ảnh thành các khối nhỏ, sau đó tìm giá trị dự báo của điểm ảnh gốc dựa trên các điểm ảnh lân cận trong mỗi khối này. Sau đó, tính sự khác biệt giữa giá trị dự báo và giá trị gốc. Phương pháp này làm tăng khả năng nhúng đáng kể, đặc biệt là đối với các ảnh mịn (ít có sự khác biệt quá lớn ở các khối). Tuy nhiên, phương pháp này cũng chỉ nhúng được tối đa một bit dữ liệu trên mỗi khối nên khả năng nhúng vẫn còn hạn chế. Nhằm nâng cao khả năng giấu tin của Qu [20], trong khi vẫn duy trì chất lượng ảnh không bị ảnh hưởng nhiều, chúng tôi đề xuất một phương pháp giấu tin thuận nghịch mới dựa trên dự báo và kết hợp cơ chế nhúng EMD. Trong phương pháp này, ảnh gốc ban đầu được thành các khối 2x2 không trùng lặp, để tăng độ chính xác của dự báo chúng tôi dùng ba điểm ảnh còn lại để dự báo cho một điểm ảnh đầu tiên của mỗi khối. Sau khi dự báo xong, chúng tôi tính giá trị sai số dự báo. Cuối cùng, một lưu đồ histogram được xây dựng từ các giá trị sai số này để giấu tin. Bên cạnh đó, để tăng khả năng giấu tin, giải pháp đề xuất còn sử dụng thêm bảng điều hướng nhúng EMD để dịch chuyển lưu đồ sẽ nhúng được ba bit dữ liệu trên mỗi cặp giá trị thỏa điều kiện nhúng.

II. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

A. Giới thiệu bảng điều hướng nhúng (EMD)

Năm 2007, bảng EMD của Zhang [21] được cải tiến bởi Lee [22] bằng cách chuyển chuỗi thông tin mật dạng nhị phân B thành chuỗi thập phân D, theo đó cứ 3 bit của chuỗi nhị phân B sẽ chuyển thành một số thập phân để tạo thành chuỗi D, do đó mỗi giá trị trong chuỗi D sẽ nằm trong đoạn [0,7], sau đó mỗi giá trị D_i trong chuỗi D trước khi nhúng vào cặp điểm ảnh gốc sẽ được định vị trong bảng EMD để xác định giá trị của cặp (X,Y) theo công thức $f(X,Y)=(3X+Y)\bmod 8$. Cuối cùng, cặp giá trị (X,Y) sẽ được nhúng vào hai điểm ảnh khả nhúng. Cụ thể bảng EMD như sau:

Y			
2	6	7	
1	3	4	5
0	0	1	2
	0	1	2
			X

Hình 1: Bảng điều hướng EMD

B. Phương pháp của Qu và các cộng sự

Năm 2015, Qu và các cộng sự [20] đưa ra phương pháp giấu tin thuận nghịch dựa trên tập hợp các điểm ảnh ngữ cảnh C, trong đó mỗi điểm ảnh được tiên đoán bằng một số điểm ảnh lân cận được thể hiện như hình sau:

X	C ₁	C ₄	C ₉
C ₂	C ₃	C ₆	C ₁₁
C ₅	C ₇	C ₈	C ₁₃
C ₁₀	C ₁₂	C ₁₄	C ₁₅

Hình 2: Các điểm ảnh ngữ cảnh

Trong cách tiên đoán của Qu, các điểm ảnh lân cận với điểm ảnh gốc x được sắp xếp theo thứ tự tăng dần và tạo thành một véc tơ $C = (C_1, C_2, \dots, C_{CN})$ với CN là số lượng điểm ảnh lân cận dùng để tiên đoán cho điểm ảnh gốc x. Giả sử $\max(C)$, $\min(C)$ tương ứng là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của các điểm ảnh trong $C = C_1, C_2, \dots, C_{CN}$. Khi đó ta có hai trường hợp xảy ra ở véc tơ C là: $\max(C) = \min(C)$ hoặc $\max(C) \neq \min(C)$. Ta gọi $\hat{x}$ là giá trị dự báo của điểm ảnh x, khi đó $\hat{x}$ được tính theo các công thức (1) hoặc (2) như sau:

Trường hợp $\max(C) \neq \min(C)$:

$$\hat{x} = \begin{cases} \max(C) & \text{nếu } x \geq \max(C) \\ \min(C) & \text{nếu } x \leq \min(C) \\ \text{không tiên đoán} & \end{cases} \quad (1)$$

Trường hợp $\max(C) = \min(C)$:

$$\hat{x} = \begin{cases} \max(C) & \text{nếu } x = \max(C) \text{ và } \max(C) = 254 \\ \min(C) & \text{nếu } x \leq \min(C) \text{ và } \min(C) \neq 254 \\ \text{không tiên đoán} & \end{cases} \quad (2)$$

Với x' là giá trị điểm ảnh sau khi nhúng tin, khi đó quá trình nhúng tin được thực hiện theo công thức (3) hoặc (4) như sau:

Trường hợp $\max(C) \neq \min(C)$:

$$x' = \begin{cases} x - b & \text{nếu } x = \hat{x} \text{ và } x \leq \min(C) \\ x - 1 & \text{nếu } x < \hat{x} \text{ và } x \leq \min(C) \\ x + b & \text{nếu } x = \hat{x} \text{ và } x \geq \max(C) \\ x + 1 & \text{nếu } x > \hat{x} \text{ và } x \geq \max(C) \end{cases} \quad (3)$$

Trường hợp $\max(C) = \min(C)$:

$$x' = \begin{cases} x - b & \text{nếu } x = \hat{x} \text{ và } \min(C) \neq 254 \\ x - 1 & \text{nếu } x < \hat{x} \text{ và } \min(C) \neq 254 \\ x + b & \text{nếu } \min(C) = 254 \end{cases} \quad (4)$$

Theo cách nhúng của Qu và các cộng sự, ta thấy rằng ở mỗi khối, nếu điểm ảnh là khả nhúng ($x=\hat{x}$) thì sẽ nhúng được 1 bit dữ liệu tương ứng. Do đó, để làm tăng khả năng nhúng, chúng tôi đề xuất kết hợp phương pháp nhúng của Qu với bảng điều hướng nhúng EMD. Bằng sự kết hợp này, cứ 2 điểm ảnh khả nhúng ở 2 khối liên tiếp thì chúng sẽ giấu được 3 bit dữ liệu. Do đó, giải pháp của chúng tôi sẽ làm tăng khả năng nhúng lên 1.5 lần so với phương pháp của Qu trong khi chất lượng ảnh mang tin vẫn luôn ở mức cao.

III. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

Trong phần này, chúng tôi tiến hành xây dựng một lược đồ giấu tin thuận nghịch dựa trên dịch chuyển histogram kết hợp với bảng điều hướng nhúng (EMD) để nâng cao khả năng giấu tin. Trong đó, phương pháp dự đoán cho điểm ảnh gốc giống như trong phương pháp PPVO [20]. Quá trình giấu tin gồm các bước như hình sau:

Hình 3: Sơ đồ khối quá trình giấu tin của giải pháp đề xuất

Đầu tiên chúng tôi chia ảnh gốc I ra thành các khối 2x2. Sau đó sử dụng phương pháp tiên đoán cho điểm ảnh gốc x ở từng khối để tìm điểm ảnh tiên đoán $\hat{x}$ tương tự như cách tiên đoán của Qu.

Tiếp theo, chúng tôi tính sự sai khác của điểm ảnh gốc x với điểm ảnh đã tiên đoán của x trong từng khối bằng công thức $\text{dif} = x - \hat{x}$ (5).

Sau đó, với mỗi cặp điểm ảnh đã được tiên đoán $(\hat{X}_u, \hat{X}_v)$ mà có sự sai khác với điểm ảnh gốc bằng không, chúng tôi sẽ tiến hành nhúng 3 bit thông tin mật bằng cách chuyển chuỗi 3 bit đó sang giá trị thập phân D và tham chiếu giá trị thập phân đó vào bảng EMD. Sau khi tham chiếu vào bảng EMD, để có được hai giá trị (X, Y) cần nhúng với $X, Y \in \{0, 1, 2\}$, chúng tôi tiến hành nhúng nó vào cặp điểm ảnh gốc tương ứng của hai khối.

A. Thuật toán nhúng tin

- + Đầu vào: ảnh gốc I, thông tin mật B
- + Đầu ra: ảnh mang tin mật I'

Bước 1: Trước hết, chúng tôi thực hiện chuyển mỗi 3 bit dữ liệu nhúng B thành dãy các số tự nhiên $D=d_1, d_2, \dots, d_{B/3}$. Mỗi số tự nhiên d_i sẽ thuộc trong khoảng từ $[0 - 7]$. Sau đó, ta chuyển dãy D này thành chuỗi điều hướng $W=w_1, w_2, \dots, w_{2*B/3}$ với $w_i \in \{0,1,2\}$ bằng cách tra từng giá trị của d_i vào bảng EMD.

Bước 2: Chia ảnh gốc I thành các khối C có kích thước 2×2 . Trong mỗi khối C đó, tiến hành dự đoán cho điểm ảnh đầu tiên bằng 3 điểm ảnh còn lại.

Bước 3: Tính sự sai khác của điểm ảnh gốc x với giá trị tiên đoán của nó ($\hat{x}$) bởi công thức (5).

Bước 4: Với hai khối có $dif = 0$, ta sẽ nhúng được 3 bit thông tin mật bằng cách nhúng 2 giá trị w_i và w_{i+1} của chuỗi điều hướng W vào hai khối đó. Ngược lại, các khối có $dif \neq 0$ sẽ không được nhúng tin mà sẽ được mở rộng (dịch chuyển histogram) để đảm bảo cho việc trích tin cũng như phục hồi ảnh gốc. Cụ thể với mỗi khối, nếu gọi $\max(C)$ và $\min(C)$ lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất, $\hat{x}$ là giá trị điểm ảnh sau khi mang tin mật hoặc được mở rộng, ta có các trường hợp nhúng tin hoặc mở rộng theo công thức (6), (7), (8) như sau:

Trường hợp: $\max(C) \neq \min(C), x \leq \min(C)$

$$x' = \begin{cases} x - w & \text{nếu } x = \hat{x} \\ x - 2 & \text{nếu } x < \hat{x} \end{cases} \quad (6)$$

Trường hợp $\max(C) \neq \min(C), x \geq \max(C)$

$$x' = \begin{cases} x + w & \text{nếu } x = \hat{x} \\ x + 2 & \text{nếu } x > \hat{x} \end{cases} \quad (7)$$

Trường hợp $\max(C) = \min(C)$

$$x' = \begin{cases} x - w & \text{nếu } x = \hat{x} \\ x - 2 & \text{nếu } x < \hat{x} \end{cases} \quad (8)$$

Lặp lại bước 4 cho đến khi đạt số lượng tin mật cần nhúng (trong trường hợp nhúng ít tin) hoặc tất cả các khối đều được nhúng tin hay mở rộng (trong trường hợp nhúng tối đa), ta ghi nhận lại vị trí p_{end} của điểm ảnh cuối cùng được nhúng. Sau cùng, ta sẽ thu được ảnh mang tin mật I'.

B. Thuật toán rút tin

+ Đầu vào: ảnh mang tin mật I'

+ Đầu ra: ảnh gốc I, thông tin mật B

Bước 1: Chia ảnh I' thành các khối C' có kích thước 2×2 . Trong mỗi khối C' đó, tiến hành dự đoán cho điểm ảnh đầu tiên bằng 3 điểm ảnh còn lại.

Bước 2: Duyệt ảnh I' theo chiều từ vị trí p_{end} đến vị trí đầu tiên. Trong mỗi khối, tính sự sai khác của điểm ảnh gốc x' với giá trị tiên đoán của nó ($\hat{x}'$) bởi công thức: $dif' = x' - (\hat{x}')$ (9)

Bước 3: Với mỗi khối có $dif' = 0$, ta tiến hành rút 1 bit tin mật w_i' (tin mật này ở dạng chuỗi điều hướng EMD). Ngược lại, các khối có $dif' \neq 0$ không mang tin và sẽ được thu hẹp (dịch chuyển histogram) để đảm bảo cho việc phục hồi ảnh gốc. Cụ thể với mỗi khối, gọi $\max(C')$ và $\min(C')$ lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất, x'' là giá trị điểm ảnh sau khi đã rút tin hoặc được thu hẹp, ta có các trường hợp rút tin hoặc thu hẹp theo công thức (10), (11), (12) như sau:

Trường hợp:

$$\begin{aligned} \max(C') \neq \min(C'), x' \leq \min(C') \\ x'' = \begin{cases} \hat{x}', w' = \text{sign}(x' - \hat{x}') & \text{nếu } dif' \in [-2, 0] \\ x' + 2 & \text{nếu } dif' < -2 \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

Trường hợp:

$$\begin{aligned} \max(C') \neq \min(C'), x' \geq \max(C') \\ x'' = \begin{cases} \hat{x}', w' = \text{sign}(x' - \hat{x}') & \text{nếu } dif' \in [-2, 0] \\ x' - 2 & \text{nếu } dif' > 2 \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

Trường hợp $\max(C') = \min(C')$

$$x'' = \begin{cases} \hat{x}', w' = \text{sign}(x' - \hat{x}') & \text{nếu } dif' \in [0, 2] \\ x' + 2 & \text{nếu } dif' < -2 \end{cases} \quad (12)$$

Bước 4: Tiến hành chuyển chuỗi W'_{EMD} sang chuỗi tin mật ban đầu B theo cách sau: Nếu chiều dài len của chuỗi W'_{EMD} là số lẻ thì $len = len - 1$, sau đó ta lần lượt chuyển mỗi 2 bit dữ liệu w'_u, w'_v của chuỗi w'_{EMD} thành dãy thập phân $D=d_1, d_2, \dots, d_{len/2}$ dựa vào bảng điều hướng nhúng EMD. Cuối cùng, ta chuyển mỗi giá trị di của chuỗi D thành 3 bit nhị phân b_x, b_y, b_z để được chuỗi thông tin mật B đã nhúng.

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong phần này, hiệu quả của phương pháp đề xuất được thể hiện bằng cách so sánh nó với IPVO [19] và PPVO [20]. Tập dữ liệu dùng để thực nghiệm cho phương pháp đề xuất là các ảnh xám gồm 9 ảnh phổ biến: Lena, F16, Baboon, Barbara, Boat, Peppers, House, Sailboat và Elaine, Tất cả các ảnh đều có kích thước 512x512 như hình sau:

Hình 4: Tập dữ liệu thực nghiệm

Bảng 1: So sánh khả năng nhúng tối đa

Ảnh	IPVO	PPVO	Đề xuất
Lena	38.000	44.461	66.690
F16	52.000	68.305	102.456
Baboon	13.000	14.360	21.540
Barbara	29.000	32.426	48.639
Boat	26.000	29.430	44.145
Peppers	30.000	36.947	55.824
House	46.000	65.212	97.818
Sailboat	26.000	30.324	45.486
Elaine	24.000	27.490	41.235
Trung Bình	31.556	38.773	58.204

Từ kết quả thực nghiệm ở Bảng 1, ta dễ dàng nhận thấy rằng phương pháp đề xuất có tỉ lệ nhúng tăng hơn 80% so với phương pháp trong IPVO và 50% so với phương pháp trong PPVO,

trong khi chất lượng ảnh vẫn duy trì ở mức cao, bằng mắt thường không thể phân biệt được. Cụ thể chất lượng ảnh của giải pháp đề xuất luôn duy trì ở mức trên 53 dB trong khi PSNR của IPVO và PPVO lần lượt là 51,5 dB và 50,1 dB.

Kết quả thực nghiệm ở Bảng 2 cho thấy ở mức nhúng 10,000 hoặc 20,000 bit giải pháp đề xuất cũng cho chất lượng ảnh tốt hơn so với giải pháp trong IPVO và PPVO. Ngoài ra, đối với ảnh phức tạp như ảnh Baboon, giải pháp đề xuất vẫn có thể nhúng ở mức 20.000 bit với PSNR khoảng 61 bB trong khi IPVO và PPVO lại không thực hiện được.

Bảng 2: So sánh giá trị trung bình của PSNR ở mức nhúng 10.000 bit

Ảnh	Mức nhúng 10.000 bit			Mức nhúng 20.000 bit		
	IPVO	PPVO	Đề xuất	IPVO	PPVO	Đề xuất
Lena	60,5	60,1	64,3	56,5	57,4	61,6
F16	62,9	61,7	63,0	59,0	58,8	61,4
Baboon	53,6	54,2	56,8			55,4
Barbara	60,1	59,6	61,5	55,2	56,4	59,4
Boat	57,3	58,3	60,9	53,9	55,8	58,9
Peppers	59,0	58,6	61,3	54,7	56,4	59,5
House	63,4	64,1	66,5	59,3	61,1	64,5
Sailboat	58,9	59,8	61,1	53,6	56,4	59,6
Elaine	55,3	58,6	61,8	52,6	55,4	59,4
Trung bình	63,0	63,4	66,1	55,6	57,2	59,9

Trong tham luận này, một giải pháp giấu tin thuận nghịch mới được đề xuất dựa trên phương pháp của Qu và các cộng sự [20] bằng cách xây dựng lưu đồ histogram của điểm ảnh đã tiên đoán ở từng khối kết hợp với sử dụng bảng điều hướng nhúng EMD. Nhờ kết hợp phương pháp này mà thông tin được giấu vào ảnh tăng đáng kể so với phương pháp của Qu và các cộng sự [20], trong khi chất lượng ảnh mang tin vẫn rất cao. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng, phương pháp đề xuất đã làm tăng 50% số lượng tin được giấu so với phương pháp cũ và chất lượng ảnh luôn duy trì ở mức trên 53 dB. 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: ảnh

y khoa, bản đồ quân sự, chữ kí điện tử... .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 890–896, Aug. 2003.
- [2] A. M. Alattar, "Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 8, pp. 1147–1156, Aug. 2004.
- [3] L. Kamstra and H. J. A. M. Heijmans, "Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, no. 12, pp. 2082–2090, Dec. 2005.
- [4] H. J. Kim, V. Sachnev, Y. Q. Shi, J. Nam, and H. Choo, "A Novel Difference Expansion Transform for Reversible Data Embedding," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 3, no. 3, pp. 456–465, Sep. 2008.
- [5] Zhicheng Ni, Yun-Qing Shi, N. Ansari, and Wei Su, "Reversible data hiding," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 354–362, Mar. 2006.
- [6] S. Lee, Y. Suh, and Y. Ho, "Reversible Image Authentication Based on Watermarking," in *2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Toronto, ON, Canada, 2006, pp. 1321–1324.
- [7] X. Gao, L. An, X. Li, and D. Tao, "Reversibility improved lossless data hiding," *Signal Processing*, vol. 89, no. 10, pp. 2053–2065, Oct. 2009.
- [8] X. Gao, L. An, Y. Yuan, D. Tao, and X. Li, "Lossless Data Embedding Using Generalized Statistical Quantity Histogram," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 21, no. 8, pp. 1061–1070, Aug. 2011.
- [9] G. Feng and L. Fan, "Reversible data hiding of high payload using local edge sensing prediction," *Journal of Systems and Software*, vol. 85, no. 2, pp. 392–399, Feb. 2012.
- [10] L. An, X. Gao, X. Li, D. Tao, C. Deng, and J. Li, "Robust Reversible Watermarking via Clustering and Enhanced Pixel-Wise Masking," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, no. 8, pp. 3598–3611, Aug. 2012.
- [11] D. M. Thodi and J. J. Rodriguez, "Expansion Embedding Techniques for Reversible Watermarking," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 16, no. 3, pp. 721–730, Mar. 2007.
- [12] Yongjian Hu, Heung-Kyu Lee, and Jianwei Li, "DE-Based Reversible Data Hiding With Improved Overflow Location Map," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 250–260, Feb. 2009.
- [13] V. Sachnev, Hyoung Joong Kim, Jeho Nam, S. Suresh, and Yun Qing Shi, "Reversible Watermarking Algorithm Using Sorting and Prediction," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 19, no. 7, pp. 989–999, Jul. 2009.
- [14] Wei-Liang Tai, Chia-Ming Yeh, and Chin-Chen Chang, "Reversible Data Hiding Based on Histogram Modification of Pixel Differences," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 19, no. 6, pp. 906–910, Jun. 2009.
- [15] W. Hong, T.-S. Chen, and C.-W. Shiu, "Reversible data hiding for high quality images using modification of prediction errors," *Journal of Systems and Software*, vol. 82, no. 11, pp. 1833–1842, Nov. 2009.
- [16] W. Hong, T.-S. Chen, Y.-P. Chang, and C.-W. Shiu, "A high capacity reversible data hiding scheme using orthogonal projection and prediction error modification," *Signal Processing*, vol. 90, no. 11, pp. 2911–2922, Nov. 2010.
- [17] Xiaolong Li, Bin Yang, and Tiejiong Zeng, "Efficient Reversible Watermarking Based on Adaptive Prediction-Error Expansion and Pixel Selection," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 20, no. 12, pp. 3524–3533, Dec. 2011.
- [18] X. Li, J. Li, B. Li, and B. Yang, "High-fidelity reversible data hiding scheme based on pixel-value-ordering and prediction-error expansion," *Signal Processing*, vol. 93, no. 1, pp. 198–205, Jan. 2013.
- [19] F. Peng, X. Li, and B. Yang, "Improved PVO-based reversible data hiding," *Digital Signal Processing*, vol. 25, pp. 255–265, Feb. 2014.
- [20] X. Qu and H. J. Kim, "Pixel-based pixel value ordering predictor for high-fidelity reversible data hiding," *Signal Processing*, vol. 111, pp. 249–260, Jun. 2015.
- [21] X. Zhang and S. Wang, "Efficient Steganographic Embedding by Exploiting Modification Direction," *IEEE Communications Letters*, vol. 10, no. 11, pp. 781–783, Nov. 2006.
- [22] C.-F. Lee, Y.-R. Wang, and C.-C. Chang, "A Steganographic Method with High Embedding Capacity by Improving Exploiting Modification Direction," in *Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2007)*, Kaohsiung, Taiwan, 2007, pp. 497–500.