

NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT DỊCH CHUYỂN HISTOGRAM TRONG QUÁ TRÌNH TÍCH HỢP THÔNG TIN PHỤ VÀO ẢNH GIẤU TIN

A STUDY ON THE HISTOGRAM SHIFTING TECHNIQUE FOR EMBEDDING AUXILIARY INFORMATION IN IMAGE STEGANOGRAPHY

Phạm Thị Hồng Thu

Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Received:25/9/2025; Accepted:2/10/2025; Published:23/10/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu có tiêu đề “Nghiên cứu kỹ thuật dịch chuyển histogram trong quá trình tích hợp thông tin phụ vào ảnh giấu tin” tập trung vào việc tìm hiểu và cải tiến phương pháp giấu tin dựa trên kỹ thuật dịch chuyển histogram (Histogram Shifting – HS). Kỹ thuật này cho phép nhúng các thông tin phụ như siêu dữ liệu (metadata), watermark hoặc dữ liệu bí mật vào ảnh số trong khi vẫn giữ được chất lượng hình ảnh cao và đảm bảo khả năng khôi phục hoàn toàn sau khi trích xuất dữ liệu. Trong nghiên cứu này, các tác giả phân tích cơ sở lý thuyết của kỹ thuật dịch chuyển histogram, xác định các đặc trưng ảnh hưởng đến dung lượng nhúng và độ bền dữ liệu, đồng thời đề xuất một thuật toán cải tiến nhằm tối ưu hóa quá trình nhúng thông tin.

Từ khóa: dịch chuyển histogram, giấu tin thuận nghịch, giấu tin trong ảnh, tối ưu hóa PSNR, nhúng siêu dữ liệu.

Abstract: The study titled “A Study on the Histogram Shifting Technique for Embedding Auxiliary Information in Image Steganography” focuses on exploring and improving the Histogram Shifting (HS)-based data hiding method. This technique enables the embedding of auxiliary information such as metadata, watermarks, or secret data into digital images while preserving high image quality and ensuring perfect reversibility after data extraction. In this research, the authors analyze the theoretical foundations of the histogram shifting technique, identify image characteristics affecting embedding capacity and data robustness, and propose an enhanced algorithm to optimize the embedding process.

Keywords: histogram shifting, reversible data hiding, image steganography, PSNR optimization, metadata embedding

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, giấu tin trong ảnh chiếm tỉ lệ lớn trong các ứng dụng giấu tin trong dữ liệu đa phương tiện bởi vì lượng thông tin được trao đổi bằng hình ảnh là rất lớn. Giấu tin trong ảnh có nhiều ứng dụng trong thực tế, ví dụ như trong việc xác định bản quyền sở hữu, chống xuyên tạc thông tin hay truyền dữ liệu một cách an toàn,...

Giấu tin trên ảnh là một kỹ thuật rất hữu ích và cần thiết để khai thác ngày một hiệu quả các thành tựu của công nghệ thông tin. Đó cũng là một lý do của bài nghiên cứu này, mong muốn giới thiệu và phổ biến những kiến thức rất cơ bản về một kỹ thuật dịch chuyển histogram trong quá trình tích hợp thông tin phụ vào ảnh giấu tin.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Khái quát một số phương pháp histogram liên quan

2.1.1. Phương pháp Hwang: Trước tiên tìm điểm peak đạt cực đại histogram theo công thức: $h(peak)=\max\{h(x)|x\in Z_{255}\}$ (nếu tồn tại nhiều điểm cực đại thì chọn điểm đầu tiên). Sau đó dịch chuyển histogram sang trái và sang phải để tạo thành các cặp histogram (peak-1, peak-2) và (peak+1, peak+2),

cuối cùng sử dụng các cặp trên để nhúng dãy bit dữ liệu.

2.1.2. Phương pháp MF: Phương pháp MF tìm điểm cực đại histogram peak như bước đầu của phương pháp Hwang. Sau đó dịch chuyển histogram sang trái để được cặp histogram (peak, peak-1) và thực hiện nhúng tin trên cặp histogram tìm được.

2.1.3. Phương pháp Li: Trước tiên thực hiện tính hiệu hai điểm ảnh liên tiếp theo đường zig-zag, sau đó thiết lập histogram của các hiệu này. Chọn cặp điểm (PP1, CZP1) (Peak Point, Closest Zero Point) là điểm có giá trị histogram lớn nhất và điểm có histogram rất nhỏ và gần PP1 nhất, nếu không đủ không gian nhúng thì chọn tiếp cặp (PP2, CZP2) sao cho các vùng này không giao nhau.

2.1.4. Phương pháp Qu: Phương pháp Qu sử dụng hai thông số m và n để thiết lập ngưỡng cảnh dự báo. Giả sử ảnh gốc I có kích cỡ M×N. Trước tiên, duyệt (M-m+1) hàng đầu tiên và (N-n+1) cột đầu tiên theo chiều từ trái qua phải từ trên xuống dưới để được dãy K giá trị điểm ảnh: $X=(x_1, x_2, \dots, x_K)$ với $K=(M-m+1) \times (N-n+1)$. Với mỗi $x_i \in X$, phương pháp Qu xét các khối ảnh kích thước m×n mà x_i là phần tử ở góc trái cao nhất.

2.2. Tích hợp thông tin phụ trong dịch chuyển histogram

2.2.1. Thuật toán nhúng tin

Ý tưởng phương pháp đề xuất là chia ảnh I thành 2 miền: I_1 gồm 8 điểm ảnh (vừa đủ để nhúng 8 bit của giá trị $peak$) và I_2 là phần còn lại. Sau đó xây dựng histogram $h(x)$ trên I_2 . Việc nhúng tin được thực hiện bằng phương pháp dịch chuyển histogram trên I_2 (chứ không phải trên I), còn giá trị $peak$ được lưu trữ trên các bit thấp của I_1 . Bằng cách này có thể khắc phục được các nhược điểm của phương pháp Hwang và phương pháp MF.

Thuật toán 1: Nhúng dữ liệu vào ảnh gốc

- **Đầu vào:** Ảnh gốc I và dữ liệu cần nhúng D .

- **Đầu ra:** Ảnh chứa tin I' .

Chi tiết thuật toán như sau:

Bước 1: Chia ảnh thành 2 miền I_1 và I_2 . Ở đây I_1 gồm 8 điểm ảnh đầu của I , I_2 là phần còn lại. Tuy nhiên, về nguyên tắc, I_1 gồm 8 điểm ảnh bất kỳ. Cũng có thể dùng một khóa ngẫu nhiên để chọn các điểm ảnh cho I_1 .

Bước 2: Xây dựng histogram $h(x)$ trên I_2 và xác định các giá trị $peak$, $minL$ và $minR$ theo các công thức:
 $peak = \arg \max\{h(x) + h(x+1) \mid x \in [0, 255]\}$,
 $minL = \arg \min\{h(x) \mid x \in [0, peak]\}$,
 $minR = \arg \min\{h(x) \mid x \in [peak+1, 255]\}$.

Bước 3: Xác định tập thông tin hỗ trợ H được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Tập thông tin hỗ trợ H

Tham số	Ý nghĩa	Độ dài bit lưu trữ
V	8 bit thấp của miền I_1	8
$minL$	Điểm cực tiểu bên trái	8
C_L	Số điểm cực tiểu bên trái	8
M_L	Vị trí các điểm ảnh có giá trị bằng $minL$	$9 \times 2 \times C_L$
$minR$	Điểm cực tiểu bên phải	8
C_R	Số điểm cực tiểu bên phải	8
M_R	Vị trí các điểm ảnh có giá trị bằng $minR$	$9 \times 2 \times C_R$

Bước 4: Xác định dãy bit thực nhúng: $B = H \parallel D$. Ở đây, " $\parallel$ " là phép ghép nối hai chuỗi, D là dãy bit dữ liệu có độ dài:

$$size(D) = h(peak) + h(peak+1) - size(H)$$

Bước 5: Nhúng giá trị $peak$ bằng cách chèn vào các bit thấp của miền I_1 . Kết quả được miền I_1' .

Bước 6: Tạo các cặp histogram ($peak$, $peak-1$) và ($peak+1$, $peak+2$) bằng cách dịch chuyển histogram như sau:

$$I'_{i,j} = \begin{cases} I_{i,j} - 1, & \text{nếu } I_{i,j} \in I_2 \text{ và } minL < I_{i,j} < peak, \\ I_{i,j} + 1, & \text{nếu } I_{i,j} \in I_2 \text{ và } peak+1 < I_{i,j} < minR. \end{cases}$$

Bước 7: Nhúng dãy bit $B = b_1b_2...b_l$ ($L = size(B)$) trên các điểm ảnh có giá trị bằng $peak$ hoặc $peak+1$ như sau:

$$I'_{i,j} = \begin{cases} I_{i,j} - b_k, & \text{nếu } I_{i,j} = peak, b_k \in B, \\ I_{i,j} + b_k, & \text{nếu } I_{i,j} = peak+1, b_k \in B. \end{cases}$$

Sau khi thực hiện bước 7 được I_1' và I_2' . Ảnh chứa tin I' gồm 2 miền I_1' và I_2' .

2.2.2. Thuật toán khôi phục dữ liệu và ảnh gốc

Thuật toán 2. Trích dữ liệu và khôi phục ảnh gốc

- **Đầu vào:** Ảnh chứa tin I' .

- **Đầu ra:** Dữ liệu D và ảnh gốc I .

- **Thuật toán gồm các bước sau:**

Bước 1: Chia ảnh I' thành hai miền I_1' và I_2' như trong thuật toán nhúng.

Bước 2: Trích 8 bit thấp của miền I_1' để được $peak$.

Bước 3: Dựa vào $peak$ để trích dãy bit B được nhúng trong miền I_1' như sau:

$$b_k = \begin{cases} 0, & \text{nếu } (i,j) \in I_2' \text{ và } (I'_{i,j} = peak \text{ hoặc } I'_{i,j} = peak+1), \\ 1, & \text{nếu } (i,j) \in I_2' \text{ và } (I'_{i,j} = peak-1 \text{ hoặc } I'_{i,j} = peak+2). \end{cases}$$

Bước 4: Tách B để nhận được tập thông tin hỗ trợ H và dữ liệu D .

Bước 5: Sử dụng H để khôi phục ảnh gốc như sau:

- Khôi phục I_1 : Chèn giá trị V vào các bit thấp của miền I_1' .

- Khôi phục các điểm trong I_2 có giá trị thuộc khoảng $[minL, minR]$:

$$I_{i,j} = \begin{cases} I'_{i,j} + 1, & \text{nếu } (i,j) \in I_2' \text{ và } minL \leq I'_{i,j} < peak-1, \\ I'_{i,j} - 1, & \text{nếu } (i,j) \in I_2' \text{ và } (peak+2 < I'_{i,j} \leq minR). \end{cases}$$

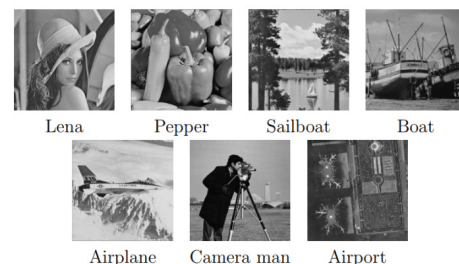
- Khôi phục các điểm trong I_2 có giá trị bằng $minL$, $minR$:

$$I_{i,j} = \begin{cases} minL & \text{nếu } (i,j) \in M_L, \\ minR & \text{nếu } (i,j) \in M_R. \end{cases}$$

Kết quả được ảnh gốc I và dữ liệu D .

2.3. Thử nghiệm kỹ thuật tích hợp thông tin phụ trong dịch chuyển histogram

Tiến hành thử nghiệm trên bộ ảnh mẫu trong hình 1. Các ảnh có kích thước 512×512 , 256×256 và 1024×1024 và được chuyển sang ảnh đa mức xám 8 bit màu. Dữ liệu nhúng D là một dãy bit nhị phân ngẫu nhiên có kích thước là 1000 bit hoặc 2000 bit. Chương trình viết bằng ngôn ngữ MatLab R2012a và chạy trên máy tính Lenovo Ideapad S410p.



Hình 1. Các ảnh thử nghiệm

2.3.1. Khả năng nhúng tin

Khả năng nhúng tin của mỗi phương pháp trên từng ảnh ở mức 1 (nhúng tin trên ảnh gốc) và mức 2 (tiếp tục nhúng tin trên ảnh chứa tin) được trình bày trong bảng 2 và bảng 3.

Bảng 2. Khả năng nhúng tin trên ảnh gốc I

STT	Ảnh thử nghiệm	Hwang	MF	Đề xuất 1
1	Lena	2737	2803	5421
2	Pepper	2628	2662	5243
3	Airplane	7742	9867	14870
4	Boat	3847	3836	7556
5	Sailboat	3543	3657	6739
6	Camera man	6067	5711	10455
7	Airport	22639	22673	44385
	Trung bình	7029	7316	13524

Bảng 3. Khả năng nhúng tin trên ảnh chứa tin

STT	Ảnh thử nghiệm	Hwang	MF	Đề xuất 1
1	Lena	5535	2919	5696
2	Pepper	5263	2712	5854
3	Airplane	7900	15423	15643
4	Boat	7592	3906	7738
5	Sailboat	7109	3707	7364
6	Camera man	6212	11829	12279
7	Airport	44894	22723	45395
	Trung bình	12072	9031	14281

Từ các bảng trên có thể kết luận: khả năng nhúng của phương pháp đề xuất:

Ở mức 1, gấp 1.02 lần so với Hwang và gấp 2 so với MF.

Ở mức 2, gấp 1.97 lần so với Hwang và gấp 1.95 so với MF.

Ở cả hai mức, gấp 1.34 lần so với Hwang và gấp 1.97 so với MF.

2.3.2. So sánh thời gian xác định peak từ ảnh chứa tin

Bảng 4 thống kê thời gian xác định peak từ ảnh chứa tin của mỗi phương pháp trên các ảnh gốc khác nhau. Rõ ràng, tất cả các ảnh dựa trên phương pháp đề xuất đều cho thời gian dò tìm giá trị peak thấp hơn nhiều lần so với hai phương pháp còn lại.

Bảng 4. Thời gian xác định peak (tính bằng giây)

STT	Ảnh thử nghiệm	Hwang	MF	Đề Xuất 1
1	Lena	0.0067	0.9495	0.0000075
2	Pepper	0.0066	0.4912	0.0000074
3	Airplane	0.0088	0.0116	0.0000075
4	Boat	0.0066	0.5799	0.0000075
5	Sailboat	0.0067	0.6357	0.0000075
6	Camera man	0.0095	0.0141	0.0000075
7	Airport	0.0291	0.0897	0.0000075
	Trung bình	0.0106	0.3960	0.0000075
	Tỉ lệ so với đề xuất	1412	52895	1.0

2.3.3. So sánh chất lượng ảnh

Bảng 5. So sánh chất lượng ảnh qua chỉ số PSNR với yêu cầu nhúng là 1000 bit (Đề xuất 1)

STT	Ảnh thử nghiệm	Hwang	MF	Đề Xuất 1
1	Lena	49.5829	49.6472	65.8758
2	Pepper	52.6774	52.9322	68.1498
3	Airplane	49.3946	49.5697	70.1387
4	Boat	49.0837	49.7266	67.3166
5	Sailboat	49.5873	49.6680	67.6195
6	Camera man	58.0589	59.1168	67.7754
7	Airport	54.9699	55.4489	74.7290
	Trung bình	51.9078	52.3013	68.8007

Bảng 6. So sánh chất lượng ảnh qua chỉ số PSNR với yêu cầu nhúng là 2000 bit (Đề xuất 1)

STT	Ảnh thử nghiệm	Hwang	MF	Đề Xuất 1
1	Lena	49.5719	49.6361	62.0944
2	Pepper	52.6551	52.9085	59.7541
3	Airplane	49.3841	49.5588	69.0406
4	Boat	49.0739	49.7153	65.7696
5	Sailboat	49.5763	49.6568	64.8491
6	Camera man	57.9822	59.0192	67.1048
7	Airport	54.9604	55.4383	71.0137
	Trung bình	51.8863	52.2761	65.6609

Kết quả thống kê ở các bảng 5 và bảng 6 cho thấy, phương pháp tích hợp thông tin phụ trong dịch chuyển histogram cho chất lượng ảnh tốt hơn so với hai phương pháp còn lại.

3. Kết luận

Trong nghiên cứu này, tác giả tiến hành phân tích cơ sở lý thuyết của kỹ thuật dịch chuyển histogram, xác định các đặc trưng ảnh ảnh hưởng đến dung lượng giấu tin và độ bền dữ liệu, đồng thời đề xuất thuật toán cải tiến nhằm tối ưu hóa quá trình nhúng thông tin. Phương pháp được xây dựng giúp giảm sai lệch histogram, nâng cao tỷ lệ PSNR, và cải thiện hiệu quả giấu tin thuận nghịch so với các kỹ thuật truyền thống.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyen Kim Sao (2021), *Phát triển một số phương pháp giấu tin thuận nghịch trên ảnh đa cấp xám*, Luận án Tiến sĩ, ĐH Quốc Gia, Hà Nội.
- [2]. Al-Ghadi M. Q. (2018), *Watermarking approaches for images authentication in applications with time constraints*, PhD thesis.
- [3]. Chang C. C., Tai W. L., Lin C. C. (2006), *A Reversible Data Hiding Scheme Based on Side Match Vector Quantization*, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 16, no. 10, pp. 1301-1308.
- [4]. Chen M., Chen Z., Zeng X., Xiong Z. (2009), *Reversible data hiding using additive prediction-error expansion*, MM&Sec '09: Proceedings of the 11th ACM workshop on Multimedia and security, pp. 19-24.
- [5]. Jianjun Li (2018), *Generalized PVO-K Embedding Technique for Reversible Data Hiding*, IJ Network Security, vol. 20, no. 1, pp. 65-77.
- [6]. Li X., Zhang W., Gui X., Yang B. (2013), *A Novel Reversible Data Hiding Scheme Based on Two-Dimensional Difference-Histogram Modification*, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 8, no. 7, pp. 1091-1100.