KỸ THUẬT PHÁT HIỆN ẢNH GIẤU TIN LSB DỰA TRÊN DỊCH CHUYỂN HISTOGRAM

Lý Thị Ngọc Liên, Lưu Ngọc Thiện

Khoa công nghệ thông tin, Trường đại học Lạc Hồng.

Email: thienthan_tinhyeu3883@yahoo.com, o_zone90@yahoo.com.

TÓM TẮT

Nhóm tác giả giới thiệu một kỹ thuật phân tích tin mật dạng LSB dựa trên dịch chuyển histogram. Hệ số tịnh tiến giữa các dịch chuyển histogram được định nghĩa là trị số tương quan yếu giữa mặt phẳng bít ít ảnh hưởng nhất (LSB) và các mặt phẳng bit còn lại, và hệ số này được dùng để phân biệt ảnh mang và ảnh có tin chìm. Thuật toán không chỉ giúp phát hiện ra tin mật bằng cách dùng các thay thế LSB tuần tự hay bất kỳ trong ảnh, mà còn ước lượng số lượng tin được nhúng. Kết quả thí nghiệm cho thấy đối với các ảnh nén thô, thuật toán này có hiệu quả tốt và cải thiện được tốc độ xử lý một cách rõ rệt.

I. GIỚI THIỆU

Như một hình thức liên lạc bí mật mới xuất hiện, mục đích chính của việc giấu tin mật là để truyền tải thông điệp một cách bí mật bằng cách giấu sự tồn tại của thông điệp. Tương tự như giải mã, kỹ thuật phân tích tin mật nhằm mục đích giải mã các tin mật. Kỹ thuật này là nghệ thuật phát hiện ra những thông tin mật được ẩn giấu.

Kỹ thuật tìm tin mật được ứng dụng trong chiến tranh vi tính, phân tích vi tính, theo dõi hoạt động của tội phạm trên Internet và thu thập chứng cứ cho việc điều tra (đặc biệt là trong trường hợp khủng bố quốc tế). Phân tích tin mật cũng được sử dụng để đánh giá, định dạng những chỗ còn yếu và cải thiện mức độ an ninh của các hệ thống giấu tin mật.

Trong bài viết này, nhóm tác giả giới thiệu một kỹ thuật phân tích tin mật dựa trên dịch chuyển histogram. Kỹ thuật này được đề xuất bởi hai tác giả là TaoZhang và Xijian Ping [3] . Kỹ thuật này ứng dụng cho kỹ thuật giấu tin mật LSB. Thuật toán sẽ tìm ra được tin mật bằng cách dùng các thay thế LSB tuần tự hay bất kỳ, đồng thời ước lượng số thông điệp một cách chính xác.

II. DỊCH CHUYỂN HISTOGRAM

Đa phần các hệ thống giấu tin mật không hoàn toàn an toàn và có thể để lại các dấu vết dễ nhận dưới dạng này hay dạng khác. Mặc dù con người khó nhận ra các dấu vết này nhưng

với các kỹ thuật phân tích thống kê, các điểm khác lạ trong ảnh sẽ được phát hiện ra. Sau khi xem xét đặc điểm của kỹ thuật giấu tin mật LSB, chúng tôi đã chọn dịch chuyển histogram làm công cụ phân tích thống kê.

Gọi giá trị cường độ của ảnh $\boldsymbol{I}$ ở vị trí (i,j) là $\boldsymbol{I}(i,j)$, và dịch chuyển ảnh được định nghĩa là: $\boldsymbol{D(i,j) = I(i,j) - I(i,j+1).}$ Dịch chuyển histogram được định nghĩa là histogram của dịch chuyển ảnh D. Thông thường dịch chuyển ảnh được coi là theo phân bố Gausian, nên hàm mật độ xác suất được viết như sau:

$$\boldsymbol{P_{v,\beta} = \frac{v}{2\beta T\left(\frac{1}{v}\right)} exp\left\{-\left(\frac{|x|}{\beta}\right)^{v}\right\}} \qquad (1)$$

Hình 2.1 cho thấy hình chuẩn "Lena" và dịch chuyển histogram

(a) (b)

Hình.2.1 (a) Hình chuẩn "Lena";
(b)Dịch chuyển histogram của "Lena"

III. PHÂN TÍCH TIN MẬT DỰA TRÊN DỊCH CHUYỂN HISTOGRAM

Kỹ thuật giấu tin mật LSB là kỹ thuật giấu tin đơn giản nhất . Kỹ thuật này nhúng thông điệp bí mật trong một tập hợp con mặt phẳng LSB của ảnh. Nhiều công cụ giấu tin mật thông dụng như S-Tools 4, Steganos và StegoDos dựa trên thay thế LSB trong miền không gian.

Các thông điệp bí mật có thể được nhúng vào mặt phẳng LSB bằng cách thay thế bất kỳ hay thay thế tuần tự. Thay thế LSB tuần tự dễ thực hiện hơn nhưng gây vấn đề an ninh nghiêm trọng vì có sự khác biệt thống kê rõ ràng giữa phần được sửa và phần chưa được sửa của ảnh giấu tin mật. Thay thế LSB bất kỳ rải thông điệp mật trong ảnh vì vậy vấn đề an ninh được cải thiện hơn.

Giả sử có một ảnh mang $\boldsymbol{I}$ kích cỡ $M \times N$ pixel. Rõ ràng dung lượng dữ liệu cực đại có thể giấu được theo kỹ thuật giấu tin LSB là $M \times N$ bit. Định nghĩa tỉ lệ nhúng $\boldsymbol{p}$ là tỉ lệ của chiều dài

thông điệp được nhúng với dung lượng cực đại của ảnh.

Gọi dịch chuyển histogram của ảnh là $\boldsymbol{h_i}$, và histogram của ảnh sau khi đã dịch chuyển tất cả bit trong mặt phẳng LSB là $\boldsymbol{f_i}$, và histogram của ảnh sau khi đã cho tất cả bit trong mặt phẳng LSB bằng 0 là $\boldsymbol{g_i}$. Tồn tại mối quan hệ sau giữa $\boldsymbol{h_i}$, f_i *và* $\boldsymbol{g_i}$:

$$\boldsymbol{h_{2i} = f_{2i} = a_{2i,2i} g_{2i}} \qquad (2)$$

$$\boldsymbol{h_{2i+1} = a_{2i,2i+1} g_{2i} + a_{2i+2,2i+1} g_{2i+2}} \qquad (3)$$

$$\boldsymbol{f_{2i+1} = a_{2i,2i-1} g_{2i} + a_{2i+2,2i+3} g_{2i+2}} \qquad (4)$$

trong đó $\boldsymbol{a_{2i,2i+j}}$ là hệ số tịnh tiến từ histogram $\boldsymbol{g_i}$ đến $\boldsymbol{h_i}$. Khi $\boldsymbol{j = 0, 1, -1}$ ta có $\boldsymbol{0 < a_{2i,2i+j} < 1}$, trường hợp khác $\boldsymbol{a_{2i,2i+j} = 0}$, và thỏa mãn:

$$\boldsymbol{a_{2i,2i-1} + a_{2i,2i} + a_{2i,2i+1} = 1} \qquad (5)$$

Từ sự đối xứng tương đối ở $i = 0$ của dịch chuyển histogram, ta có $\boldsymbol{a_{0,1} \cong a_{0,-1}}$. Kết hợp với phương trình $(2 - 5)$, ta có công thức lặp sau để tính hệ số tịnh tiến cho tất cả $\boldsymbol{i}$ dương.

$$\begin{cases} \boldsymbol{a_{0,1} = a_{0,-1} = \dfrac{g_0 - h_0}{2g_0}} \\ \boldsymbol{a_{2i,2i} = \dfrac{h_{2i}}{g_{2i}}} \\ \boldsymbol{a_{2i,2i-1} = \dfrac{h_{2i-1} - a_{2i-2,2i-1} g_{2i-2}}{g_{2i}}, i \geq 1} \\ \boldsymbol{a_{2i,2i+1} = 1 - a_{2i,2i} - a_{2i,2i-1}, i \geq 1} \end{cases} \qquad (6)$$

Vì các thông điệp nhúng thường là các chuỗi bit bất kỳ , đối với ảnh đã có nhúng tin mật đã nhúng mặt phẳng LSB hoàn toàn (tức $\boldsymbol{p} = 100\%$) , mặt phẳng LSB độc lập với các mặt phẳng bit còn lại. Do đó, đối với ảnh đã giấu tin như vậy, ta có:

$\boldsymbol{a_{2i,2i-1} \cong 0.25}$ **,** $\boldsymbol{a_{2i,2i} \cong 0.5}$, $\boldsymbol{a_{2i,2i+1} \cong 0.25}$, $\mathbf{i} > 1$. Liệt kê một vài hệ số tịnh tiến của ảnh gốc "Lena" và hai tấm ảnh giấu tin với tỉ lệ nhúng $p = 50\%$ và $p = 100\%$

Bảng 3.1: Một vài hệ số tịnh tiến

		$a_{2i,2i-1}$	$a_{2i,2i}$	$a_{2i,2i+1}$
Ảnh gốc	i=0	0.2316	0.5368	0.2316
	i=1	0.3115	0.5025	0.1860
	i=2	0.3527	0.4841	0.1632
$p = 50\%$	i=0	0.2451	0.5098	0.2451
	i=1	0.2805	0.5009	0.2186
	i=2	0.3025	0.4934	0.2041
$p = 100\%$	i=0	0.2503	0.4993	0.2503
	i=1	0.2502	0.5004	0.2494
	i=2	0.2508	0.5005	0.2487

Khi phân tích kỹ hơn các hệ số tịnh tiến này, chúng tôi biết rằng đối với một tấm ảnh tự nhiên, có mối tương quan yếu giữa mặt phẳng LSB và các mặt phẳng bit khác. Khi càng có nhiều thông điệp mật được nhúng vào, tương quan càng yếu hơn và cuối cùng mặt phẳng LSB độc lập với các mặt phẳng bit khác. Từ phương trình (3), chúng tôi biết rằng $\boldsymbol{h_{2i+1}}$ gồm 2 phần: $a_{2i,2i+1}g_{2i}$ và $a_{2i+2,2i+1}g_{2i+2}$, và kiểm tra thống kê cho thấy trong các tấm ảnh tự nhiên, 2 phần này đóng góp ngang nhau cho $\boldsymbol{h_{2i+1}}$, tức là:

$$\boldsymbol{a_{2i,2i+1}g_{2i} \cong a_{2i+2,2i+1}g_{2i+2}} \qquad (7)$$

Cho $\boldsymbol{\alpha_i = \frac{a_{2i+2,2i+1}}{a_{2i,2i+1}}}$, $\boldsymbol{\beta_i = \frac{a_{2i+2,2i+3}}{a_{2i,2i-1}}}$ $\boldsymbol{v}$à $\boldsymbol{\gamma_i = \frac{g_{2i}}{g_{2i+2}}}$, và giả thuyết thống kê phương pháp ẩn liệu là đối với một bức hình tự nhiên, biểu thức này thỏa mãn

$$\boldsymbol{\alpha_i \approx \gamma_i} \qquad (8)$$

trong khi hình ảnh giấu thông tin với mặt phẳng LSB nhúng hoàn toàn, có

$$\boldsymbol{\alpha_i \approx 1} \qquad (9)$$

Các thí nghiệm khác chỉ ra rằng với một i đã cho nhất định, giá trị $\boldsymbol{\alpha_i}$ giảm nhẹ so với việc chiều dài của các thông điệp bí mật nhúng khi tỷ lệ nhúng $\boldsymbol{p}$ tăng lên 100%, $\boldsymbol{\alpha_i}$ giảm xấp xỉ xuống 1. Để nghiên cứu ra mối quan hệ chức năng giữa $\boldsymbol{\alpha_i}$ và tỷ lệ nhúng $\boldsymbol{p}$,

chúng tôi đã tạo ra một loạt các hình ảnh giấu thông tin bằng các thông điệp bí mật có tỷ lệ nhúng giao động từ 0 đến 100% trong gia số 5%. Cho hình ảnh giấu thông tin được tạo ra với tỷ lệ nhúng là $\boldsymbol{p}$ như $\boldsymbol{S_p}$, hình được tạo bằng cách đảo ngược tất cả bits trong LSB mặt phẳng là $\boldsymbol{S_p}$ thành $\boldsymbol{R_p}$. Tính giá trị của $\boldsymbol{\alpha_i}$ của tất cả ảnh $\boldsymbol{S_p}$ và $\boldsymbol{R_p}$ (chú ý giá trị $\boldsymbol{\alpha_i}$ đối với $\boldsymbol{R_p}$ bằng với giá trị của $\boldsymbol{\beta_i}$ đối với $\boldsymbol{S_p}$). Tuy nhiên, chúng tôi chú ý rằng trong ảnh $\boldsymbol{S_p}$ chỉ khoảng $\boldsymbol{p/2}$ pixels bị lật bởi nhúng thông điệp trong khi tại $\boldsymbol{R_p}$ khoảng $1 - \boldsymbol{p}/2$ pixels bị lật. Do đó, ảnh $\boldsymbol{R_p}$ tương đương với ảnh giấu thông tin có "tỷ lệ nhúng" $\boldsymbol{2\text{-}p}$. Hình 3.1 trình bày mối quan hệ chức năng giữa $\boldsymbol{\alpha_i}$ với tỷ lệ nhúng khi $\boldsymbol{i = 0}$ trong bức ảnh "Lena".

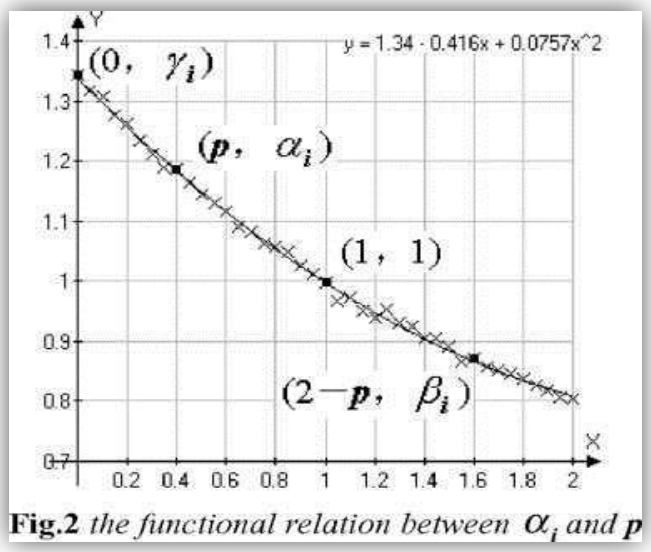


Fig.2 *the functional relation between* α_i *and* p

Hình 3.1: Mối quan hệ chức năng giữa $\boldsymbol{\alpha_i}$ và tỉ lệ nhúng $\boldsymbol{p}$

Chúng tôi lập mô hình mối quan hệ giữa $\boldsymbol{\alpha_i}$ và tỷ lệ nhúng $\mathbf{p}$ sử dụng đa thức bậc hai $\mathbf{y = ax^2 + bx + c.}$ Chúng tôi sẽ trao đổi để tìm cách có được $\mathbf{p}$ ước lượng thông điệp gán giá trị cho bốn điểm chính. Bốn điểm chính lần lượt là $\mathbf{P_1 = (0, \gamma_i)}$, $\mathbf{P_2 = (p, \alpha_i)}$, $\mathbf{P_3 = (1, 1)}$ *và* $\mathbf{P_4 = (2 - p, \beta_i)}$. Giờ ta có phương trình sau :

$$\begin{cases} \mathbf{c = \gamma_i} \\ \mathbf{ap^2 + bp + c = \alpha_i} \\ \mathbf{a(2-p)^2 + b(2-p) + c = \beta_i} \\ \mathbf{a + b + c = 1} \end{cases} \qquad (10)$$

Cho $\mathbf{d_1}$=$\mathbf{1 - \gamma_i}$, $\mathbf{d_2 = \alpha_i - \gamma_i}$ và $\mathbf{d_3 = \beta_i - \gamma_i}$ và phương trình (10) được rút gọn thành:

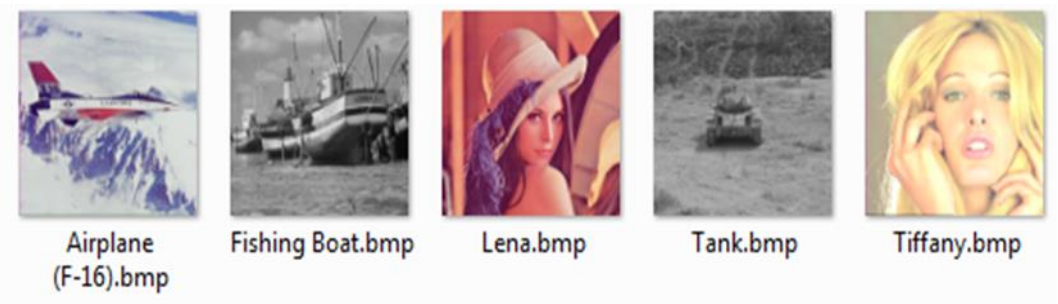
$$\mathbf{2d_1p^2 + (d_3 - 4d_1 - d_2)p + 2d_2 = 0} \qquad (11)$$

Chúng ta có được tỷ lệ nhúng p qua kết quả của phương trình (11). Nếu biệt số của phương trình (11) nhỏ hơn 0, ta có $\mathbf{p} \cong \mathbf{1}$.

Để cải thiện độ chính xác của thuật toán, chúng tôi áp dụng 2 biện pháp: (1) xử lý trước biểu đồ sử dụng công thức $\mathbf{h_{i'}} = \frac{(\mathbf{h_i}+\mathbf{h_{-i}})}{\mathbf{2}}$ và $\mathbf{g_{i'}} = \frac{(\mathbf{g_i}+\mathbf{g_{-i}})}{\mathbf{2}}$ dựa trên tính đối xứng của biểu đồ hình ảnh khác biệt; (2) đối với các giá trị $\mathbf{i}$, ước đoán tỷ lệ nhúng tương đương là $\mathbf{p}$ và lấy giá trị trung bình làm giá trị ước tính cuối của $\mathbf{p}$. Trong các thí nghiệm, chúng tôi chọn $i = 0, 1, 2$ và lấy giá trị trung bình của ba giá trị làm giá trị ước tính cuối của tỷ lệ nhúng.

IV. KẾT QUẢ VÀ THỬ NGHIỆM

Những định dạng ảnh nhóm tác giả sử dụng được tải từ cơ sở dữ liệu ảnh: USC-SIPI [4] kích thước 512x512**.** Đầu tiên, nhóm tác giả tạo ra một loạt các hình ảnh giấu thông tin bằng cách nhúng thông điệp bí mật vào năm bức ảnh sử dụng phương pháp thay thế ngẫu nhiên LSB với tỷ lệ nhúng giao động từ 0 đến 100% trong gia số 10%. Sau đó, nhóm tác giả ước tính tỷ lệ nhúng của các ảnh này.



Hình 4.1 : Tập ảnh thử nghiệm

Bảng 4.1: Liệt kê các kết quả ước tính và cho thấy thuật toán này hiệu quả và đáng tin cậy.

Tên ảnh / Tỉ lệ nhúng	Airplane (F-16)	Fishing Boat	Lena	Tank	Tiffany
0%	4	-31	8	2	10
10%	13	-18	19	4	19
20%	24	-1	30	7	30
30%	38	9	35	11	43
40%	47	9	46	9	48

50%	65	21	56	18	46
60%	64	26	59	24	55
70%	76	54	73	25	56
80%	83	62	82	34	53
90%	83	80	83	59	67
100%	94	90	84	92	73

Trên bảng 4.1 với khả năng giấu tin khoảng 60% trở lên thì chương trình sẽ phát hiện đạt độ chính xác cao nhất.

a) Độ đo đánh giá

Trong những thử nghiệm này, nhóm tác giả sử dụng các độ đo đánh giá [1] là: Precision, recall và f-measure thường được áp dụng trong phân loại dữ liệu. Precision là độ đo chính xác và đúng đắn của việc phân loại. Recall là độ đo tính toàn vẹn của việc phân lớp.

Cụ thể cho bài toán phân loại ảnh có giấu tin và chưa giấu tin, giả sử ta có một tập ảnh đầu vào E (gồm cả ảnh giấu tin và ảnh chưa giấu tin) cần phân thành 2 tập con E_1 (ảnh có giấu tin) và E_2 (ảnh không có giấu tin). Sau khi thực hiện phân lớp chúng ta được bảng sau:

Bảng 4.2: Bảng kết quả phân lớp

		Kết quả phân lớp đúng	
		E_1	E_2
Kết quả phân lớp đạt được	E_1	Tp (True positive)	Fp (False positive)
	E_2	Fn (False negative)	Tn (True negative)

Khi đó precision và recall được tính toán theo công thức sau:

$$\Pr ecision = \frac{tp}{tp + fp} \quad (12)$$

$$\Re call = \frac{tp}{tp + fn} \quad (13)$$

Mặc dù *precsion* và *recall* là những độ đo được dùng rộng rãi và phổ biến nhất, nhưng chúng lại gây khó khăn khi phải đánh giá các bài toán phân loại vì hai độ đo trên lại không tăng/giảm tương ứng với nhau. Bài toán đánh giá có *recall* cao có thể có *precision* thấp và ngược lại. Hơn nữa, việc so sánh mà chỉ dựa trên một mình precision và *recall* không phải là một ý hay. Với mục tiêu này, độ đo *F-measure* được sử dụng để đánh giá tổng quát các bài toán phân loại. *F-measure* là trung bình điều hoà có trọng số của *precision* và *recall* và có công thức:

$$\boldsymbol{F_\beta = (1+\beta^2).\frac{Precision.Recall}{\beta^2.Precision+Recall}} \quad (14)$$

trong đó β là một tham số có giá trị nằm giữa 0 và 1. Nếu β = 1, *F-measure* bằng với precision và nếu β = 0, *F-measure* bằng với *recall*. Giữa đoạn đó, giá trị β càng cao, độ quan trọng của *precision* càng cao so với *recall*. Ta sử dụng giá trị thường được dùng là β = 0.5, nghĩa là:

$$\boldsymbol{F = 2.\frac{precision.recall}{precision+recall}} \quad (15)$$

b) Kết quả thử nghiệm

Để thử nghiệm chương trình, nhóm tác giả sử dụng tập dữ liệu gồm 100 ảnh trong đó 50 ảnh bất kỳ được lấy về từ internet kích thước ảnh là 800x600 và 50 ảnh được lấy về từ cơ sở dữ liệu USC-SIPI [4] kích thước 512x512, 256x256, 1024x1024.

Chọn tập ảnh nhúng 50% gồm 100 ảnh trong đó có 50 ảnh có giấu tin với lượng giấu 50% ($\boldsymbol{E_1}$) và 50 ảnh không giấu tin ($\boldsymbol{E_2}$). Một tập ảnh khác nhúng 100% gồm 100 ảnh với 50 ảnh có giấu với lượng giấu 100% ($\boldsymbol{E_1}$) và 50 ảnh chưa giấu tin ($\boldsymbol{E_2}$).

Bảng 4.3: Kết quả phát hiện cho ảnh được nhúng 50% và ảnh nhúng 100%

	Precision	Recall	Fmeasure
Phát hiện ảnh được nhúng 50%	0.94	0.65	0.76
Phát hiện ảnh được nhúng 100%	0.92	0.64	0.75

Với tỷ lệ phát hiện đúng trên 70%, kỹ thuật phát hiện ảnh có giấu tin LSB dựa trên dịch chuyển histogram có độ chính xác chỉ đạt mức trung bình.

Trên máy tính cá nhân có bộ xử lý Intel® Core™ i3 -2310M, @2.10GHz, tốc độ dò của thuật toán là tốc độ lần lượt đối với ảnh tải về từ internet và cơ sở dữ liệu [4] lần lượt

là 458,544 Kbsvà 494,744 Kbs (Kilo byte trên một giây). Thời gian phát hiện lâu nhất của chương trình là 27 giây 44 và nhanh nhất là 6 giây 88.

Độ chính xác ước lượng tỷ lệ nhúng của thông điệp bí mật bị ảnh hưởng bởi hai yếu tố:

- Phương trình có thỏa mãn hay có ảnh hưởng quan trọng lên tính chính xác của tỷ lệ nhúng đã được tính toán hay không;
- Tính đa dạng của dữ liệu ảnh, tính ngẫu nhiên của các thông điệp bí mật và xử lý nhúng có thể gây ra sai sót trong việc ước lượng tỷ lệ nhúng.

Cần chú ý rằng thuật toán mới cũng có tác dụng đối với kỹ thuật ẩn liệu dựa trên việc thay thế LSB chuỗi. Ngoài ra, thuật toán cũng cho kết quả chính xác hơn về dò tìm các thông điệp ẩn vốn thường nằm rải rác trong mặt phẳng LSB hơn là các thông điệp nhúng sử dụng thay thế LSB chuỗi.

V. KẾT LUẬN

Hệ thống làm được:

Qua quá trình nghiên cứu nhóm tác giả đã xây dựng được công cụ phát hiện ảnh có giấu tin trên các bit ít ảnh hưởng nhất trong ảnh. Qua thử nghiệm thì nhóm cũng đã phát hiện những thông tin mật được ẩn giấu trong ảnh, có thể tách lấy thông tin ẩn khi cần thiết.

Bên cạnh đó những chức năng mở rộng trong chương trình phần nào đáp ứng nhu cầu của người sử dụng:

- Chức năng phát hiện phục vụ việc phát hiện nhanh chóng, chính xác
  - Cho phép chọn ảnh để kiểm tra.
  - Cho phép phóng to để xem ảnh rõ nét.
  - Cho phép chọn tỉ lệ so sánh phù hợp.
  - Cho phép xem histogram của ảnh. Ảnh RGB có thể xem ba biểu đồ histogram: màu đỏ, màu xanh lá cây, màu xanh dương. Đối với ảnh xám có thể xem biểu đồ histogram của ảnh xám đầu vào.
- Chức năng tách tin phục vụ việc tách tin
  - Cho phép tách tệp tin được ẩn giấu trong ảnh và lưu lại dưới dạng .txt. Cho phép tách thông tin được ẩn giấu tối đa bằng khả năng giấu tin tối đa của ảnh.

Hướng phát triển:

Xây dựng chương trình có khả năng tách được những thông điệp giấu có khóa bảo vệ.

Giải mã những thông điệp bị mã hóa sau sau khi tách tin do quá trình giấu đã bị mã hóa cùng với khóa và thông điệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hồ Thị Hương Thơm, Hồ Văn Canh, Trịnh Nhật Tiến (2010), "Phát hiện ảnh giấu tin sử dụng kỹ thuật giấu thuận nghịch dựa trên dịch chuyển Histogram", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên & Công nghệ*, tập 26 (4), trang 261-267.

[2] Phạm Quang Tùng, 2010. *Nghiên cứu kỹ thuật phát hiện ảnh có giấu tin dựa trên biểu đồ tần số sai khác của ảnh*. Đồ án tốt nghiệp Kỹ sư Công nghệ Thông tin, Đại học dân lập Hải Phòng, Hải Phòng, Việt Nam.

[3] TaoZhang, Xijian Ping "Reliable detection of LSB Steganography based on the different image Histogram", *IEEE International Conferenceon Acoustics*, Speech, And Signal Processing, Volume3, April 2003, pp.545-548.

[4] University of Southern California, the USC-SIPI Image Database.

"http://sipi.usc.edu/services/ database/Database.html".