УДК 004.415.24

І.В. Швідченко
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ПРИХОВУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У ЗОБРАЖЕННЯХ

Розглянуто проблеми виявлення факту прихованої передачі інформації. Розглянуто і проаналізовано різні методи стеганоаналізу для графічних файлів.

Ключові слова: стеганографія, стеганоаналіз, контейнер, повідомлення.

This paper is devoted to a problem of detecting the fact of hidden information transfer. Various steganalysis methods for graphic files have been considered and analyzed.

Key words: steganography, steganalysis, cover medium, message.

Вступ

У сучасних комп'ютерних мережах передаються дуже великі потоки мультимедійних повідомлень, які потенційно можуть бути використані для приховування інформації. Враховуючи можливість використання стеганографії для реалізації злочинних намірів, доволі актуальними є питання стеганоаналізу. Стеганоаналіз – наука про вивчення методів виявлення існування секретної інформації у відкритих повідомленнях. У стеганоаналізі розрізняють дві основних стратегії дій противника (стеганоаналітика): активну та пасивну. За активної стратегії противник намагається знищити секретну інформацію у відкритому повідомленні, за пасивної – виявити факт існування і саму секретну інформацію.

Сьогодні найпоширенішим методом стеганографічного приховування є метод заміни найменш значущих бітів. Ідея методу полягає у заміні від одного до чотирьох молодших бітів у байтах колірного подання пікселів вихідного зображення бітами повідомлення, яке приховується. Можливість такої заміни зумовлена наявністю у зображеннях структурної надлишковості. Метод застосовується до растрових зображень, представлених у форматі без компресії. Одним з таких форматів є BMP. Перевагою BMP є висока якість зображення, а також простота формату, що робить його популярним для застосування як контейнера.

Ще один метод стеганографічного перетворення інформації, ґрунтується на використанні особливостей файлів, стиснених із втратою даних. Популярним графічним форматом, що використовує алгоритм стискання даних із втратами, є JPEG. Під час приховування в JPEG-файли інформація приховується не в значення колірних складових окремих пікселів, а в біти квантованих дискретних косинусних коефіцієнтів. З позиції стеганографії файли цього формату уможливлюють приховувати порівняно великі обсяги інформації [1, 2].

У роботі розглянуто методи аналізу, які використовуються для виявлення факту прихованої передачі інформації у графічних файлах BMP- і JPEG-формату.

Методи стеганоаналізу

Найпростішими методами аналізу контейнерів-зображень є **візуальні методи**. Візуальні методи намагаються виявити існування стеганографічного вкраплення за допомогою візуального контролю (неозброєним оком) або за допомогою автоматизованих процесів. Візуальний контроль за допомогою неозброєного ока матиме успіх, коли стеганографічні дані вкраплені у однотонні фрагменти зображення. Автоматизовані комп'ютерні додатки уможливлюють розкласти зображення на його індивідуальні бітові площини. Бітова площина складається з одного біта пам'яті для кожного пікселя у зображенні, і є типовим місцем зберігання інформації, прихованої за допомогою стеганопрограм. Будь-який незвичний зовнішній вигляд у відображенні площини молодшого двійкового розряду буде, ймовірно, означати існування вкраплених стеганографічних даних.

Для методу візуального аналізу бітових площин велике значення має те, який метод використовувався при вкрапленні інформації. Якщо приховування інформації здійснювалося за допомогою методу послідовної заміни (рис. 1, *а*), або методу розподіленого вкраплення (на основі генератора псевдовипадкових чисел) (рис. 1, *б*), то факт приховування може бути встановлений з великою ймовірністю. Також візуально можна визначити наявність вкрапленої інформації у разі використання методу вкраплення повідомлення із заповненням. Оскільки ймовірнісні характеристики повідомлення не збігаються з ймовірнісними характеристиками молодших бітів порожнього контейнера, то під час перегляду бітового зрізу з вкрапленими даними чітко побачимо границю між заповненою і не задіяною вкрапленням частиною (рис. 1, *в*).

а *б* *в*

Рис. 1. Бітові площини стеганоконтейнерів: а – метод послідовної заміни;
б – метод розподіленого вкраплення; *в – метод вкраплення з заповненням*

Існують стеганографічні програми, які використовують метод дописування даних у кінець файла-контейнера завдяки використанню системи маркерів. Усі стандартні програми перегляду, доходячи до маркера "кінець зображення", припиняють роботу, і прихована інформація залишається непізнаною. Цим способом можна розмістити доволі багато інформації. Однак такий метод приховування є уразливим до **методів структурного аналізу**. Виявити зміни у форматі файла даних можливо за допомогою шістнадцятирічного редактора. Використовуючи інформацію заголовка, можна виявити "кінець зображення", а отже, визначити місце розташування позиції вкраплених даних.

Деякі стеганографічні програми залишають після себе сигнатури – певні послідовності байтів, які завжди з'являються у файлі після вкраплення інформації. **Методи сигнатурного аналізу** зображення дають змогу відшукати бітові послідовності, специфічні для певних програм стеганоприховування (рис. 2). Стеганоаналіз на основі сигнатур може вимагати дуже багато часу, тому що спочатку потрібно розпізнати сигнатуру для певної стеганографічної програми з великої вибірки файлів, які були вкраплені за її допомогою. Крім того, повинні бути використані автоматизовані процеси для пошуку усіх потенційних файлів-контейнерів для цієї певної сигнатури.

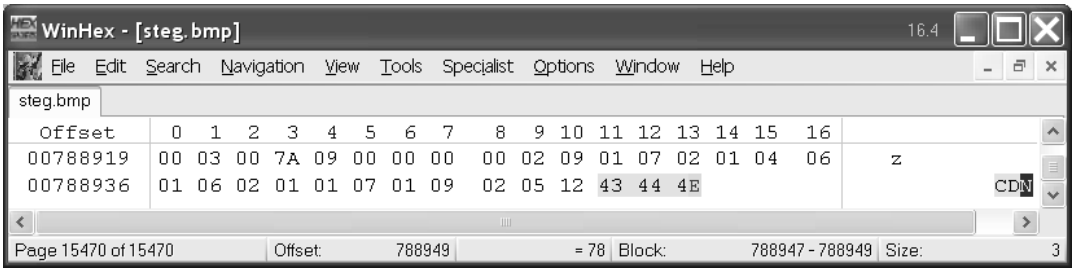


Рис. 2. Перегляд зображення у шістнадцятирічному редакторі на наявність сигнатур.
CDN – сигнатура стеганографічної програми Hiderman

До переваг сигнатурних методів належить можливість отримання результату, який однозначно характеризує застосовану для приховування даних стеганосистему. Основним недоліком є невелика (менше ніж 10 %) кількість стеганопрограм, що залишають у контейнерах свої сигнатури.

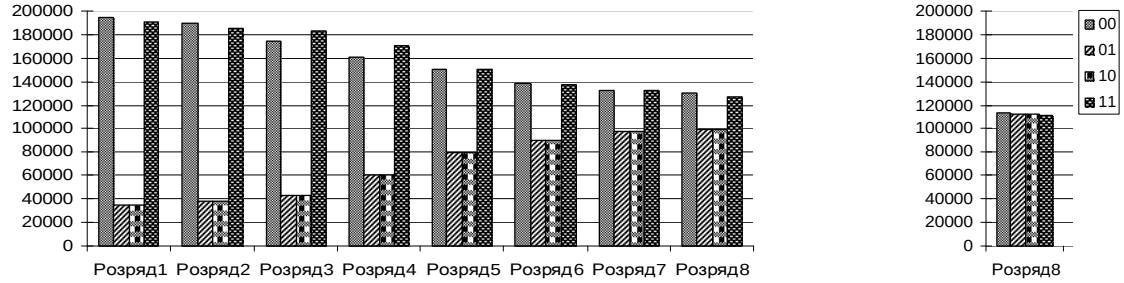
Статистичні методи аналізу намагаються виявити найменші зміни у статистичній поведінці файла, викликані вкрапленою стеганографією. Суть статистичних методів полягає в оцінюванні

ймовірності існування стеганографічного приховування з невідомою стеганосистемою на основі критерію оцінки наближення досліджуваного контейнера до “природного”.

Метод оцінки числа переходів значень молодших бітів у сусідніх елементах контейнера. У методі використовується знання, що між молодшими бітами сусідніх елементів, і між ними та іншими бітами природних контейнерів є кореляційні зв’язки. Аналізуючи графічні файли формату BMP як елементи послідовності, яка аналізується, вибирають найменш значущі біти (НЗБ) пікселів, що розташовуються поряд з колірними складовими зображення. Під час дослідження файлів формату JPEG є молодші біти сусідніх коефіцієнтів ДКП, відмінних від 0 і 1.

Під “переходом” розуміють перехід значення *i*-го елемента послідовності в значення $i+1$ елемента послідовності x, $i=1,2,...,n-1$, n – довжина послідовності. Оскільки послідовності є двійковими, то аналізуються чотири види переходів: з 0 в 0, з 0 в 1, з 1 в 0 і з 1 в 1. За отриманими результатами будується гістограма [3]. Для кожного розряду перший стовпець гістограми показує кількість переходів у потоці НЗБ із 0 в 0, другий стовпець – з 0 в 1, третій стовпець – з 1 в 0, четвертий стовпець – з 1 в 1.

Для порожнього контейнера і контейнера, що містить вкраплену інформацію, кількість переходів у потоці НЗБ буде різною. Розподіл НЗБ стеганоконтейнера має, як правило, випадковий характер. Відповідно кількість переходів у потоці НЗБ для усіх станів буде приблизно однаковою, що не властиво порожньому контейнеру (рис. 3, *а*, *б*).



а *б*

Рис. 3. Гістограма частот переходів бітових значень: а – порожнього контейнера; б – стеганоконтейнера (*восьмий розряд контейнера, в який були внесені зміни*)

Статистичний критерій для оцінки частот переходів бітових значень [3]: файл, що аналізується, розбивається на K блоків однакової довжини, і вибирається деяке порогове значення h_M. Обчислюються значення статистик:

$$M_j = \left[\frac{(m_{00} - m_{01})^2}{2} + \frac{(m_{11} - m_{10})^2}{2} \right], \quad j = 1,2,...K,$$

де m_{ij} – кількість переходів у потоці НЗБ з i в j $(i, j = 0,1)$. У випадку, якщо $M_j < h_M$, вважається, що в j-м блоці міститься прихована інформація.

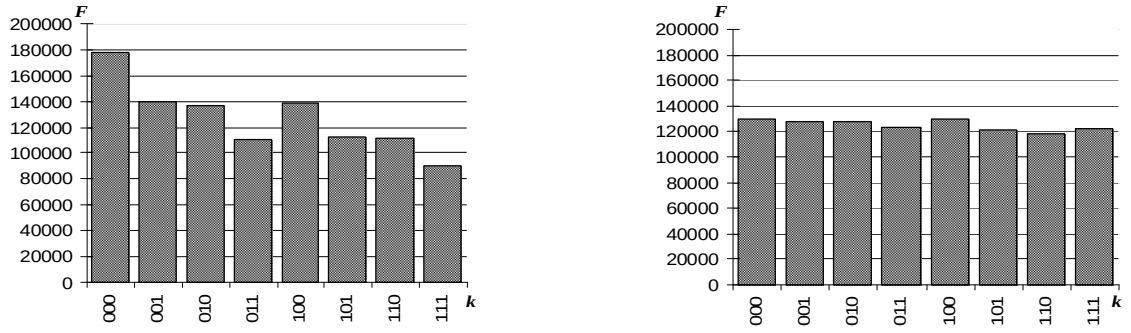
Застосування цього критерію до JPEG-файлів виявилося ефективним за значного заповнення зображень контейнерів. Діапазон зміни значень M_j для пустих контейнерів становив від 40000 до 130000. Після приховування інформації значення M_j зменшувалося до 250–6000.

Метод оцінки частот появи k-бітових серій у потоці НЗБ елементів контейнера. Метод дає змогу оцінити рівномірність розподілу елементів у послідовності, яка досліджується, на основі аналізу частоти появи нулів і одиниць, і серій, що складаються з k бітів [4]. У бітовому поданні послідовності x, що досліджується, підраховується, скільки разів зустрічаються нулі і одиниці ($k=1$), серії-двійки (00, 01, 10, 11: $k=2$), серії-трійки (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111: $k=3$) тощо. На основі результатів будується гістограма.

Для JPEG-зображень гістограма будується за значеннями частот появи бітових серій у потоці НЗБ-коефіцієнтів ДКП, відмінних від – 1, 0, 1.

Для незаповнених BMP- і JPEG-зображень не є характерним, щоб значення частот усіх компонентів знаходились доволі близько (рис. 4, *а*). При вкрапленні інформації значення частот зближаються (рис. 4, *б*). Цей факт використовується під час аналізу.

Результати роботи методу залежать від стеганографічного перетворення і від обсягу даних, що приховуються. Як правило, виявлення факту приховування здійснимо під час заповнення контейнера на 60 % і вище.

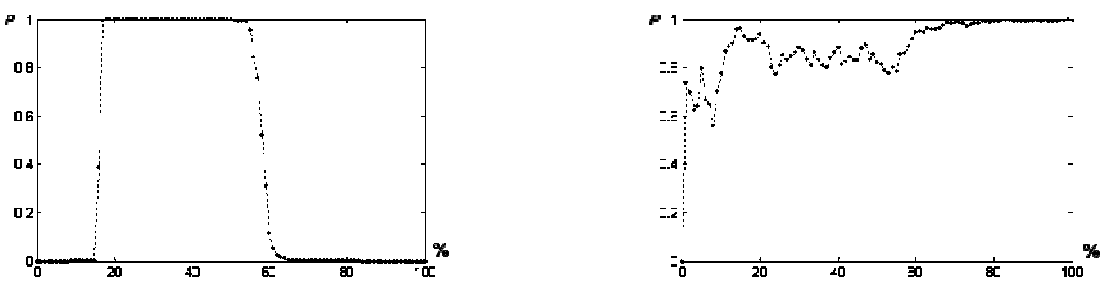


а *б*

Рис. 4. Гістограма частот серії-трійки ($k = 3$) *у потоці НЗБ: а – порожнього контейнера, б – стеганоконтейнера*

Метод аналізу розподілу пар значень на основі критерію c^2 (хі-квадрат). У методі використовується аналіз гістограми, отриманої за елементами зображення і оцінка розподілу пар значень цієї гістограми [1]. Для BMP-файлів пари значень формуються значеннями пікселів зображення, для JPEG – квантованими коефіцієнтами дискретного косинусного перетворення, які відрізняються за молодшим бітом. Молодші біти зображень не є випадковими. Частоти двох сусідніх елементів контейнера мають перебувати досить далеко від значення частоти середнього арифметичного цих елементів. У порожньому зображенні ситуація, коли частоти елементів зі значеннями $2N$ і $2N+1$ близькі за значенням, зустрічається доволі рідко. Під час вкраплення інформації ці частоти зближаються або стають рівними. Ідея атаки c^2 полягає в пошуку цих близьких значень і підрахунку ймовірності вкраплення на основі того, як близько розташовуються значення частот парних і непарних елементів аналізованого контейнера. Особливістю алгоритму є послідовний аналіз усього зображення і відповідно накопичення частот елементів.

Метод c^2 є універсальним, оскільки підходить для аналізу зображень, в які інформація вкраплювалася за допомогою різних стеганографічних програм. Однак результати роботи методу за критерієм c^2 значною мірою залежать від методу приховування даних. За послідовної заміни НЗБ-елементів контейнера і вкраплення повідомлення з заповненням метод виявляє наявність прихованих даних (рис. 5, *а*, *б*), а за псевдовипадкового вибору молодших бітів (розподіленого вкраплення) метод не спрацьовує.

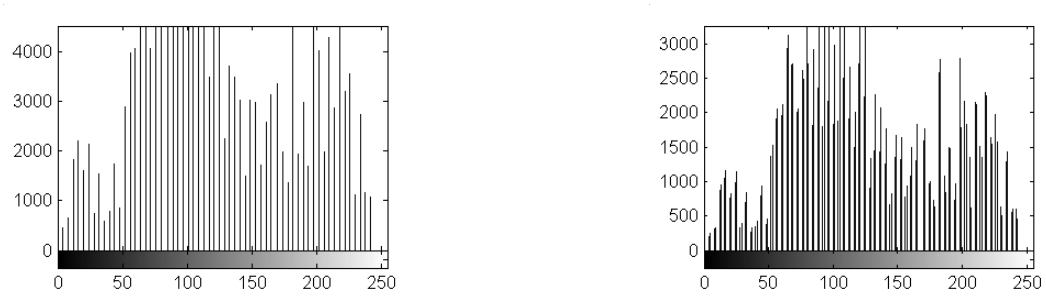


а *б*

Рис. 5. Ймовірність вкраплення за критерієм c^2 *: а – послідовне вкраплення; б – вкраплення з заповненням*

Метод аналізу гістограм, побудованих за частотами елементів зображення. Метод дає змогу оцінити рівномірність розподілу елементів зображення, що аналізується, а також визначити частоту появи конкретного елемента.

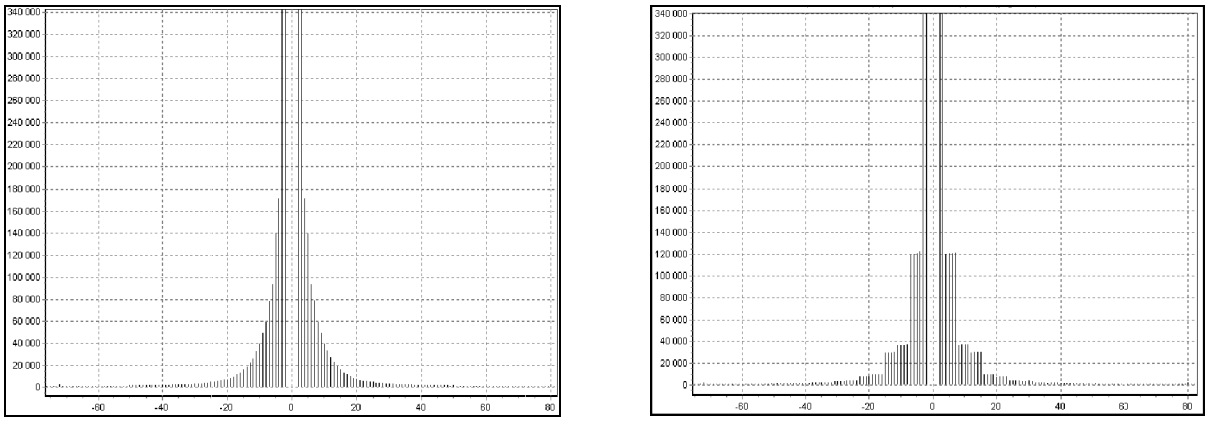
Якщо частоти двох сусідніх елементів BMP-зображення близькі за значенням і/або розташовані з різницею в одиницю (наслідок використання класичного методу НЗБ), то контейнер містить приховані дані (рис. 6, *б*). В іншому випадку контейнер вважається порожнім (рис. 6, *а*) [4].



а *б*

Рис. 6. Гістограма частот пікселів: а – вихідного BMP-зображення; б – BMP-зображення, що містить приховану інформацію

Для зображень в JPEG-форматі будується гістограма частот квантованих коефіцієнтів ДКП. Експериментально виявлено, що огинаюча гістограми порожнього зображення має гладший характер (рис. 7, *а*), порівняно з гістограмами зображень, що містять приховані дані (рис. 7, *б*).



а *б*

Рис. 7. Гістограма частот коефіцієнтів ДКП: а – вихідного JPEG-зображення, б – JPEG-зображення, що містить приховану інформацію

Звичайно, залежно від характеру і рівня стискання зображення гістограми можуть змінюватися – у них можуть з'являтися стрибки і провали, але важливо те, що приховування інформації змінює загальний вигляд гістограм. Більшість стеганографічних програм, що працюють із JPEG, приховують дані у молодших бітах коефіцієнтів ДКП відмінних від 0 і 1. Як наслідок, частоти 0-х і 1-х ДКП не змінюються, в той час, як усі інші частоти або зменшуються, або збільшуються, залежно від алгоритму вкраплення. За значних обсягів приховуваної інформації гістограми часто мають ступеневий характер, що нетипово для "природних" JPEG-зображень.

Метод аналізу розподілу елементів зображення на площині. Метод призначений для визначення залежностей між елементами послідовності, що досліджується.

На площину (поле) розміром $(2^R-1)\times(2^R-1)$, де R – розрядність елемента послідовності, наносяться точки з координатами (x_i, x_{i+1}), x_i – елементи послідовності x, що досліджується, $i=1,2,...,n-1$, n – довжина послідовності [4]. За отриманим результатом проводиться аналіз.

а *б*

Рис. 8. Розподіл на площині елементів: а – вихідного зображення, б – зображення, що містить приховану інформацію

Якщо точки по усьому полю розташовані хаотично, то між елементами послідовності відсутні залежності, що характерно для контейнерів з вкрапленими даними (рис. 8, *б*). У разі порожнього контейнера точки на полі будуть розташовані нерівномірно або утворюватимуть “візерунки” (рис. 8, *а*).

Крім вищенаведених, існують статистичні методи, що ґрунтуються на різних математичних моделях процесу стеганографії. Статистичні методи не є засобом, який дає змогу з 100 % надійністю визначати наявність прихованої інформації. Вони дають можливість стеганоаналітику з певною ймовірністю судити про те, використовувалось стеганографічне перетворення, чи ні.

Висновки

Виявлення прихованої передачі даних, прихованих одним із багатьох існуючих методів стеганографії у різні формати контейнерів, є доволі складним процесом. Для розв’язування цієї задачі необхідний комплексний підхід. Такий підхід спрямований на аналіз всіх можливих методів приховування, починаючи від найпростіших і закінчуючи найскладнішими. Отже, сьогодні актуальним завданням є удосконалення існуючих і створення нових методів стеганоаналізу, а також розробка на їх основі програмного комплексу, за допомогою якого з деякою ймовірністю можна визначити наявність прихованої інформації у контейнері або її відсутність.

1. Аграновский А.В., Балакин А.В., Грибунин В.Г., Сапожников С.А. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ. – М.: Вузовская книга, 2009. – 220 с. 2. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с. 3. Барсуков В.С., Романцов А.П. Оценка уровня скрытности мультимедийных стеганографических каналов хранения и передачи информации // Специальная техника. – 2000. – № 1. 4. Иванов М.А., Чугунков И.В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003.