

## Identification of Application Areas of the Steganalytic Approach Based on the Analysis of Spatial Domain of Digital Contents

Akhmamet'eva A.V.

Odessa National Polytechnic University  
Odessa, Ukraine

**Abstract.** In this paper the identification of application areas of previously developed steganalytic approach based on accounting of quantity of consecutive triads in the matrix of unique colors of digital images, from the point of view of formats of digital contents is carried out. The influence of the size of the digital contents, which are used as containers for the embedding of additional information, on the detection efficiency during steganalysis is analyzed. As a result of fulfilled computational experiments, it has been stated that the developed approach is effective for digital content in losses formats, and it has been turned out a restriction on size of the containers. Results of computational experiments are demonstrated.

**Keywords:** steganalysis, the spatial domain of the container, a digital image, losses format, lossless storage format.

### Identificarea domeniului de utilizare a abordării steganoanalitice, bazată pe analiza domeniului spațial al conținutelor digitale

Ahmametiieva A.V.

Universitatea Națională Politehnică din Odesa,  
Odesa, Ucraina

**Rezumat.** În lucrare se realizează identificarea domeniului de utilizare a abordării steganoanalitice, elaborată anterior, care se bazează pe evidența numărului de tripleți consecutivi în matricea de culori unice ale imaginilor digitale, din punctul de vedere al formatelor de conținut digitale. Se efectuează analiza influenței dimensiunii conținutelor digitale, care sunt utilizați ca containere pentru implementarea unei informații suplimentare, asupra eficienței de detecție în timpul steganoanalizei. Ca rezultat al experimentelor de calcul s-a stabilit că abordarea elaborată este eficientă pentru conținut numerice în formate cu pierderi. De asemenea a fost identificată o restricție privind dimensiunea containerelor și prezentate rezultate ale experimentelor de calcul.

**Cuvinte-cheie:** steganaliză, domeniul spațial de containere, imaginea digitală, format de păstrare cu pierderi, format de păstrare fără pierderi.

### Выявление области применения стеганоаналитического подхода, основанного на анализе пространственной области цифровых контентов

Ахмаметьева А.В.

Одесский национальный политехнический университет  
Одесса, Украина

**Аннотация.** В работе проводится выявление области применения разработанного ранее стеганоаналитического подхода, основанного на учете количества последовательных триад в матрице уникальных цветов цифровых изображений, с точки зрения форматов цифровых контентов. Проводится анализ влияния размера цифровых контентов, используемых в качестве контейнеров для внедрения дополнительной информации, на эффективность детектирования в процессе стеганоанализа. В результате проведенных вычислительных экспериментов установлено, что разработанный подход эффективен для цифровых контентов в форматах с потерями, а также выявлено ограничение на размер контейнеров. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

**Ключевые слова:** стеганоанализ, пространственная область контейнеров, цифровое изображение, формат хранения с потерями, формат хранения без потерь.

### Введение

Бурное развитие информационных и коммуникационных технологий приводит к их широкому распространению в государственных, общественных и бытовых сферах, легко

и быстро на большие расстояния можно передать любую информацию. Если в государственной деятельности применяют защищенные каналы связи, то такие открытые каналы как электронная почта, социальные сети позволяют обмениваться внешне безобидными

данными, поэтому они часто используются с преступными намерениями. Открытый доступ к сети Internet и научным ресурсам позволяет отслеживать новейшие разработки в области защиты информации, стеганографии и стеганоанализа. Применение стеганографических методов и алгоритмов позволяет передавать конфиденциальную информацию по открытым каналам связи, скрывая сам факт ее присутствия в передаваемом контенте. В условиях конкуренции, распространения терроризма скрытая коммуникация может привести к значительным убыткам для компаний и к катастрофическим последствиям терактов для общества в целом.

С целью предотвращения преступных действий с использованием стеганографии чрезвычайно актуально развитие стеганоанализа, направленного на выявления факта присутствия/отсутствия скрытой информации в каком-либо цифровом контенте [1]. В качестве контейнеров в стеганографии могут выступать цифровые изображения (ЦИ), аудио- или видеопоследовательности. Результат погружения дополнительной информации (ДИ), представляющую собой бинарную последовательность, в контейнер будем называть стегано-сообщением (СС).

Одним из наиболее распространенных стеганографических методов являются различные вариации метода модификации наименьшего значащего бита (LSB Matching, LSB Replacement и др.) благодаря простоте реализации и возможности его использования как в пространственной области, так и в области преобразований. Тем не менее, постоянное усовершенствование стеганоаналитических разработок способствует тому, что метод LSB часто применяют с малой скрытой пропускной способностью (СПС), что усложняет процесс стеганоанализа.

Большое количество стеганоаналитических разработок направлены на детектирование наличия/отсутствия ДИ, погруженной методом LSB Matching, в цифровых изображениях. Существуют достаточно эффективные стеганоаналитические методы и алгоритмы [2-5], осуществляющие анализ ЦИ в области преобразования (частотной области, областях сингулярного/спектрального разложений соответствующих матриц и т.д.), однако такие методы имеют ряд недостатков, в частности, дополнительные временные затраты и дополнительное накопление вычислительной погрешности при переводе цифро-

вых контентов в область преобразования и назад.

Стеганоаналитические методы, анализирующие пространственную область цифровых контентов, позволяют избежать указанных недостатков, однако существующие разработки [6-8] зачастую имеют невысокую эффективность, если при погружении ДИ применяется метод LSB Matching с малой СПС. В работах [9-10] автором разработан стеганоаналитический алгоритм, осуществляющий анализ пространственной области цифровых контентов больших размеров в форматах с потерями, имеющего высокую эффективность детектирования наличия/отсутствия ДИ, погруженной даже с малой СПС, однако нерешенной остается задача выявления вложения конфиденциальной информации в ЦИ, хранимые в форматах без потерь, что является чрезвычайно актуальным для развития стеганоанализа, а также в работах [9-10] не проверялось влияние размера цифровых контентов на эффективность детектирования, что может оказаться возможным ограничением для контейнеров.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Целью* работы является выявление области применения для разработанного ранее подхода детектирования наличия/отсутствия ДИ, внедренной методом LSB Matching, основанного на анализе количества последовательных триад в матрице уникальных цветов цифровых контентов, с точки зрения форматов цифровых контейнеров, а также ограничений на размер контейнеров.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие *задачи*:

1. Оценить количество последовательных триад в матрице уникальных цветов незаполненных цифровых контейнеров, хранимых как в форматах с потерями, так и в форматах без потерь;
2. Проанализировать, как изменится количество последовательных триад в СС после погружения в них ДИ;
3. Проверить, возможно ли применение предложенного подхода для стеганоанализа цифровых контентов, если ДИ внедрять в ЦИ малого размера.

## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве контейнеров будем рассматривать цветные ЦИ, хранимые как в формате с потерями (JPG), так и в форматах без потерь (TIFF, BMP). Цифровые изображения представлены в соответствии с цветовой схемой RGB, каждый пиксель которых представлен как триплет значений  $(R, G, B)$  – цвет, где  $R$ ,  $G$ ,  $B$  – значения яркости красной, зеленой и синей цветовой составляющей соответственно. Под уникальными цветами будем понимать все уникальные пиксели (различные триплеты значений  $(R, G, B)$ ) ЦИ, их количество обозначим  $U$ .

В работах [9-10] предложен стеганоаналитический алгоритм для детектирования наличия/отсутствия ДИ, погруженной методом LSB Matching в одну произвольную цветовую составляющую цифровых контентов (ЦИ и цифровые видео), хранимых в форматах с потерями. Предложенный алгоритм основан на формировании для каждого ЦИ/кадра видеопоследовательности матрицы уникальных цветов  $UCT$  размером  $U \times 3$ , содержащей  $U$  упорядоченных уникальных триплетов  $(r_i, g_i, b_i)$ ,  $i = \overline{1, U}$ , после чего проводится анализ содержания в ней Red-, Green- и Blue-триад, где для текущего триплета  $(r_i, g_i, b_i)$  под последовательной Red-триадой понимаем выполнение условия

$$(r_i, g_i, b_i) \in UCT \text{ AND } (r_i - 1, g_i, b_i) \in UCT \\ \text{AND } (r_i + 1, g_i, b_i) \in UCT, i = \overline{1, U};$$

под последовательной Green-триадой понимаем выполнение условия

$$(r_i, g_i, b_i) \in UCT \text{ AND } (r_i, g_i - 1, b_i) \in UCT \\ \text{AND } (r_i, g_i + 1, b_i) \in UCT, i = \overline{1, U};$$

под последовательной Blue-триадой понимаем выполнение условия

$$(r_i, g_i, b_i) \in UCT \text{ AND } (r_i, g_i, b_i - 1) \in UCT \\ \text{AND } (r_i, g_i, b_i + 1) \in UCT, i = \overline{1, U}.$$

Стеганоаналитический подход основан на гипотезе, что незаполненные контейнеры содержат незначительное количество последовательных триад (не более 3%). Погружение ДИ в одну произвольную цветовую состав-

ляющую методом LSB Matching приводит к изменению значений яркости пикселей на  $\pm 1$  или 0 в той цветовой составляющей, куда осуществлялось внедрение. В матрице уникальных цветов  $CC$  в результате внедрения ДИ появятся дополнительные триплеты и возрастет количество последовательных триад. Предполагается значительное увеличение количества Red-триад, если внедрение ДИ осуществляется в красную цветовую составляющую, Green-триад, если ДИ погружается в зеленую цветовую составляющую, Blue-триад, если ДИ погружается в синюю цветовую составляющую.

Проведем вычислительный эксперимент, анализирующий содержание последовательных триад в матрице уникальных цветов незаполненных ЦИ. В качестве контейнеров используется база цифровых изображений (БЦИ), включающая:

1. 203 цветных цифровых изображений из [11] в формате JPG (группа 1);
2. 201 высококачественных ЦИ из [12] в формате JPG (группа 2);
3. 215 изображений, полученных непрофессиональными фотокамерами в формате JPG (группа 3);
4. 167 цветных цифровых изображений из [11] в формате TIFF (группа 4);
5. 190 изображений, полученных непрофессиональными фотокамерами в формате TIFF (группа 5).

В вычислительном эксперименте для каждого незаполненного ЦИ соответствующей группы производится подсчет количества  $\nu$  (в % от общего количества уникальных цветов  $U$ ) Red-, Green- и Blue-триад в матрице уникальных цветов, после чего вычисляется процент значений  $\nu$  в диапазонах  $[0,1)$ ,  $[1,2)$ ,  $[2,3)$ ,  $[3,100]$ ,  $[15,100]$ , а также определяется среднее значение  $\nu$  (*average*  $\nu$ ) и максимальное значение  $\nu$  (*max*  $\nu$ ). Результаты вычислительного эксперимента приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, матрица уникальных цветов незаполненных ЦИ в формате с потерями (группы 1-3) содержит до 3% последовательных триад, при этом максимальное содержание последовательных триад не превышает 12%. Совершенно иная ситуация наблюдается для групп 4-5 (формат без потерь TIFF), где содержание последовательных триад, в отличие от формата с потерями, изначально очень высокое (в среднем 40-60%), что объясняется отсутствием сжатия и, как

следствие, большим разнообразием уникаль- ных цветов.

Таблица 1 – Количество последовательных триад в матрице уникальных цветов незаполненных ЦИ, %

Количество триад, %	Группа 1 (JPG)	Группа 2 (JPG)	Группа 3 (JPG)	Группа 4 (TIFF)	Группа 5 (TIFF)
$0 \leq v < 1$	64.0394	57.8773	52.0930	6.3872	5.2632
$1 \leq v < 2$	25.9442	20.0663	29.3023	0.7984	1.5789
$2 \leq v < 3$	6.8965	13.1012	14.7287	0	0.5263
$v \geq 3$	3.1199	8.9552	3.8760	92.8144	92.6316
$v \geq 15$	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>91.4142</b>	<b>92.6316</b>
max v	9.0766	11.2484	4.6889	76.5276	81.7715
average v	0.9076	1.2469	1.1303	46.5436	54.3850

Следует отметить, что количество Red-, Green- и Blue-триад в матрице уникальных цветов незаполненных ЦИ сопоставимо по значениям, т.е. разница между ними составляет не более чем 1-1.5%.

Проанализируем, как изменится количество последовательных триад в матрице уни-

кальных цветов СС, сформированных погружением ДИ в одну произвольную цветовую составляющую контейнеров из БЦИ с СПС 0.5 бит/пиксель. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Количество последовательных триад в матрице уникальных цветов СС, сформированных внедрением ДИ в одну произвольную цветовую составляющую цифровых контентов с СПС 0.5 бит/пиксель, %

Количество триад, %	Группа 1 (JPG)	Группа 2 (JPG)	Группа 3 (JPG)	Группа 4 (TIFF)	Группа 5 (TIFF)
$0 \leq v < 1$	0	0	0	0	0
$1 \leq v < 2$	0.4926	1.3267	0.1550	0	0
$2 \leq v < 3$	6.2397	3.1509	4.3411	0.5988	0.1754
$v \geq 3$	93.2677	95.5224	95.5039	99.4012	99.8246
$v \geq 15$	<b>55.6650</b>	<b>49.9171</b>	<b>59.8450</b>	<b>96.6068</b>	<b>96.4912</b>
max v	56.9409	54.5763	55.0788	76.5318	81.7239
average v	20.4862	19.0013	21.1475	52.9951	56.4357

Из табл. 2 видно, что погружение ДИ в контейнеры приводит к увеличению количества последовательных триад по всем группам, однако наиболее заметный рост характерен для групп 1-3, соответствующим формату с потерями. Однако в случае контейнеров в форматах с потерями (группа 4, 5) изменения в количестве триад каждого отдельного ЦИ неощутимы.

Наглядной иллюстрацией изменения количества последовательных триад в матрице уникальных цветов служит рис. 1, где в ЦИ (рис. 1, а, в) ДИ внедрялась только в красную (для примера) цветовую составляющую с СПС 0.5 бит/пиксель. На гистограммах (рис. 1, б, г) отражено изменение количества Red-, Green, Blue-триад в СС по сравнению с незаполненными контейнерами.

Как видно из рис. 1, внедрение ДИ в красную цветовую составляющую контейнеров, хранимых в форматах с потерями (рис. 1, а, б), вызывает значительный рост содержания Red-триад, при этом заметно возрастает количество Green- и Blue-триад, однако меньше по сравнению с содержанием Red-триад в матрице уникальных цветов СС. Такой рост связан с увеличением количества уникальных цветов при погружении ДИ и носит случайный характер. Аналогичный характер изменения количества последовательных триад в матрице уникальных цветов наблюдается, если ДИ внедрять в другую цветовую составляющую, например, зеленую. В этом случае значительно возрастет содержание Green-триад в матрице уникальных цветов СС.

Если же в качестве контейнеров выступают ЦИ в формате без потерь, изменения количества последовательных триад незначительные, что видно на рис. 1, в, г. Подобные малые изменения характерны для большинства (92%) ЦИ в форматах без потерь.

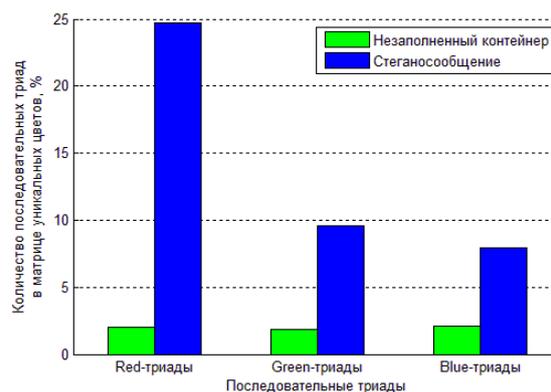
Таким образом, можно сделать вывод, что выдвинутая гипотеза подтверждается, если в качестве контейнеров использовать ЦИ в форматах с потерями, однако не представляется возможным применять разработанный

подход для ЦИ, хранимых в форматах без потерь.

Проверим, как влияет размер изображений на частоту появления последовательных триад в матрице уникальных цветов ЦИ, хранимых в форматах без потерь. Для этого проведем вычислительный эксперимент над ЦИ малого размера (256×256). В эксперименте проверяются следующие цифровые контенты:



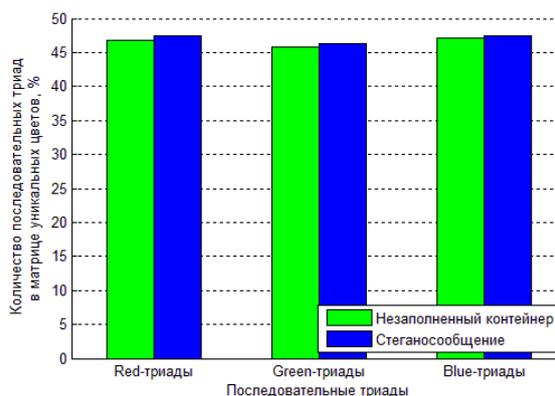
а



б



в



г

**Рис. 1 – Количество последовательных цветовых триад в изображении: а – ЦИ в формате JPG из группы 3; б – количество триад в СС по сравнению с незаполненным контейнером из группы 3; в – ЦИ в формате TIFF из группы 4; г – количество триад в СС по сравнению с незаполненным контейнером из группы 4**

1. 600 изображений размером 256×256 из [12] в формате BMP (группа 6).
2. 560 ЦИ размером 256×256, полученных кадрованием изображений группы 4 (группа 7);
3. 540 ЦИ размером 256×256, полученных кадрованием изображений группы 5 (группа 8);
4. 500 ЦИ размером 256×256, полученных кадрованием изображений группы 1 (группа 9).

В результате кадрования все ЦИ были сохранены в формате TIFF без сжатия.

На базе полученных ЦИ малого размера был проведен вычислительный эксперимент, определяющий количество последовательных триад в незаполненных контейнерах и СС, сформированных внедрением ДИ в одну произвольную цветовую составляющую с СПС 0.5 бит/пиксель. Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что незаполненные ЦИ малого размера, хранимые в форматах без потерь, содержат меньше последовательных триад в матрице уникальных цветов, чем исходные изображения большого размера, что хорошо видно при сравнении среднего значения  $v$ , однако при погружении ДИ также сложно выявить различия в количестве последовательных триад. Экспериментальные данные для группы 6 по характеру схожи с группами 1-3, однако меньше по значениям в

связи с малым размером ЦИ, а, следовательно, и малым количеством уникальных цветов. Следует отметить, что нет никакой информации о том, были ли подвергнуты какой-либо обработке ЦИ группы 6 (как и группы 2), поэтому нельзя с точностью утверждать, что при больших размерах изображений в формате BMP содержание последовательных триад в матрице уникальных цветов будет аналогичным форматам с потерями.

Таблица 3 – Количество последовательных триад в матрице уникальных цветов ЦИ и СС размером  $256 \times 256$ , %

Количество триад, %	Оригинальные ЦИ				СС, сформированные вложением ДИ в одну произвольную цветовую составляющую с СПС 0.5 бит/пиксель			
	Группа 6 (BMP)	Группа 7 (TIFF)	Группа 8 (TIFF)	Группа 9 (JPG)	Группа 6 (BMP)	Группа 7 (TIFF)	Группа 8 (TIFF)	Группа 9 (JPG)
$0 \leq v < 1$	76.8333	7.6543	2.4603	93.6667	6.9444	0.6173	0.0794	100
$1 \leq v < 2$	9.3889	0.6791	0.7937	4.3333	10.3889	0.9877	0.2381	0
$2 \leq v < 3$	4.8889	1.6049	0.4762	0.5	12.5000	1.0493	0.6349	0
$v \geq 3$	8.8889	90.0617	96.2698	1.5	70.1667	97.3457	99.0476	0
$v \geq 15$	<b>0.5556</b>	<b>38.0864</b>	<b>69.2064</b>	<b>0</b>	<b>12.1667</b>	<b>50.6173</b>	<b>71.5079</b>	<b>0</b>
$\max v$	24.2430	59.1751	71.6211	6.4180	47.2287	59.7496	73.1608	0.6662
$average v$	0.9275	14.2270	22.3671	0.2173	7.0790	17.1668	23.2939	0.0091

В результате эксперимента установлено, что при внедрении ДИ в контейнеры малого размера, хранимые в форматах с потерями, матрица уникальных цветов СС практически не содержит последовательных триад, что затрудняет стеганоанализ таких контентов.

Для контейнеров малого размера и СС, сформированных внедрением ДИ в ЦИ малого размера с СПС 0.5 бит/пиксель, был при-

менен стеганоаналитический алгоритм, разработанный в [9], с пороговыми значениями  $T_{low} = 2.5$  и  $T_{up} = 8$ . Результаты детектирования приведены в табл. 4, где для незаполненных контейнеров (НК) определяется только количество «ложных тревог».

Таблица 4 – Ошибки детектирования наличия/отсутствия вложения ДИ в цифровых контентах малого размера, %

Ошибки	Группа 6 (BMP)		Группа 7 (TIFF)		Группа 8 (TIFF)		Группа 9 (JPG)	
	НК	СС	НК	СС	НК	СС	НК	СС
1-го рода	–	7	–	42.41	–	42.41	–	100
2-го рода	1	0	25.24	17.04	31.03	17.04	1.83	0

Таким образом, подход, основанный на подсчете количества последовательных триад в матрице уникальных цветов цифровых контентов, не может применяться для ЦИ, хранимых в форматах без потерь, а также для ЦИ малого размера любых форматов. Однако применительно к изображениям в формате с потерями данный подход достаточно эффективен, даже если внедрение ДИ осуществлено с малой СПС (0.05-0.1 бит/пиксель). Ре-

зультаты экспериментов для ЦИ в форматах с потерями и видеопоследовательностей, проведенных в [9-10] приведены в табл. 5, где в группу V входят 367 видеопоследовательностей размером кадра  $320 \times 240$ , полученных камерами мобильных устройств, в группу Vs – 49 видеопоследовательностей размером кадра  $176 \times 144$ , полученные камерой устаревшей модели мобильного телефона. Мобильные видеопоследовательности сохраня-

ются в форматах с потерями и имеют расширение \*.3gp или \*.mp4. В каждом видеоролике в среднем по 250 кадров.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов подтверждают высокую результативность предложенного подхода для обнаружения ДИ в цифровых контентях, если в качестве контейнеров используются ЦИ или

видеопоследовательности в форматах с потерями (табл. 5, группы 1-3, V). Кроме того, на базе группы Vs, в которую входят видеопоследовательности малого размера кадра в формате с потерями, подтверждена невозможность применения в качестве контейнеров контентом малого размера.

Таблица 5 – Эффективность детектирования наличия/отсутствия ДИ в цифровых контентях, %

	Ошибки	СПС, бит/пиксель						
		0.5	0.25	0.167	0.125	0.1	0.05	0
Группа 1	1-го рода	0	0	0	0	0	1.9704	–
	2-го рода	0	0	0	0	0	0	1.1494
Группа 2	1-го рода	0	0	0.4975	0	2.9851	7.9602	–
	2-го рода	0	0	0	0	0	0	1.6584
Группа 3	1-го рода	0	0	0	0	0	2.3256	–
	2-го рода	0	0	0	0	0	0	0.3101
Группа V	1-го рода	0	0	0	0.2725	0.8174	18.256	–
	2-го рода	0	0	0	0	0	0	0
Группа Vs	1-го рода	79.592	83.673	85.714	95.918	93.848	85.714	–
	2-го рода	1.0204	7.1429	5.1020	13.265	12.245	6.1224	18.367

### III. ВЫВОДЫ

В работе проведены вычислительные эксперименты, направленные на определение области применения разработанного ранее подхода детектирования наличия/отсутствия ДИ, внедренной методом LSB Matching, в цифровых контентях.

Установлено, что разработанный подход дает высокие результаты стеганоанализа ЦИ в форматах с потерями благодаря значительным различиям в количестве последовательных триад в матрице уникальных цветов цифровых контентом. Однако из-за большого содержания триад в незаполненных ЦИ в форматах без потерь внедрение ДИ в одну произвольную цветовую составляющую не влияет на количество последовательных триад в матрице уникальных цветов СС, что не позволяет применять данный подход для стеганоанализа ЦИ, хранимых в форматах без потерь.

Кроме того, для эффективного применения разработанного подхода накладываются ограничения на размер цифровых контейнеров. Как показали результаты вычислительного эксперимента, эффективность детектирования наличия/отсутствия ДИ в ЦИ малого размера, хранимые как в форматах с потерями, так и в форматах без потерь, очень низкая даже для СПС 0.5 бит/пиксель.

### Литература (References)

- [1] Bohme R. Advanced statistical steganalysis. Springer, 2010, pp. 11–78.
- [2] Bobok I.I. Steganoanaliticheskiy metod dlya tsifroovogo signala-konteynera, khranyashchegosya v formate s poteryami [Steganalytic method for the digital signal-container stored in a losses format]. [Modern Information Security], 2011, vol. 2, pp. 50–60. (In Russian)
- [3] Alimoradi D., Hasanzadeh M. The effect of correlogram properties on blind steganalysis in JPEG images. *Journal of computing and security*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 39–46.
- [4] Visavalia Sarita R., Amit Ganatra. Improving blind image steganalysis using genetic algorithm and fusion technique. *Journal of computer science*, 2014, vol. 1, pp. 40–46.
- [5] Yamini B., Sabitha R. Blind steganalysis: to analyse the detection rate of stego images using different steganalytic techniques with support vector machine classifier. *International journal of computer applications*, 2014, no. 2, pp. 22–25.
- [6] Geetha S., Sindhu S., Kamaraj N. Close color pair signature ensemble adaptive threshold based steganalysis for LSB embedding in digital images. *Transactions on Data Privacy*, 2008, vol.1, iss.3, pp. 140–161.
- [7] Mitra S., Roy T., Mazumdar D., Saha A.B. Steganalysis of LSB Encoding in Uncompressed Images by Close Color Pair Analysis. *IIT Kanpur Hackers' Workshop 2004* (ИТКНАСК04),

- 23-24 Feb 2004, pp. 23–24. Doi: 10.1109/ICISIP.2006.4286051
- [8] Rudnitskiy, V., Uzun, I. Steganoanaliticheskiy algoritm dlya izobrazheniy, podvergavshikhnya operatsii szhatiya s poteryami [Steganalysis algorithm for images that have been lossycompressed]. *Zakhyst informatsiyi* [Information Security], 2013, vol. 15, no. 2, pp. 122–127. (In Russian)
- [9] Akhmet'eva A.V. Steganoanaliz tsifrovyykh izobrazheniy, khranyashchikhnya v formate s poteryami [Steganalysis of digital images stored in losses formats]. *Zakhyst informatsiyi* [Information Security], 2016, vol. 23, pp. 135–145. (In Russian)
- [10] Akhmet'eva A.V. Detektuvannya stegano-povidomlen', vbudovanykh metodom LSB Matching u tsyfrovi konteynery v formatakh z vtratamy. *V mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya "Zakhyst informatsiyi i bezpeka informatsiynykh system"* [V International Scientific and Technical Conference "Information security and safety of information systems"], L'viv, 2–3 June 2016, pp. 106–107. (In Ukrainian)
- [11] NRCS Photo Gallery. Available at: <http://photogallery.nrcs.usda.gov> (accessed 26.07.2012).
- [12] WallpapersCraft. Available at: <http://wallpaperscraft.ru/> (accessed 21.11.2014).
- [13] Never-compressed image database. Available at: <http://www.shsu.edu/~qx1005/New/Downloads/> (accessed 21.12.2015).

**Сведения об авторах:**



**Ахметьева Анна Валерьевна**, аспирант кафедры информатики и управления защитой информационных систем, Одесский национальный политехнический университет. Область научных интересов: стеганография, стеганоанализ.  
Email: [anna-odessitka@mail.ru](mailto:anna-odessitka@mail.ru)