

**СТЕГАНОАНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕННОСТИ КОНТЕНТОВ****Введение**

Широкое использование цифровых технологий и компьютерной техники в любой сфере деятельности человека приводит к необходимости защиты информации от утечки или несанкционированного использования и копирования. Ввиду ограничений на применение криптографических средств получили распространение разработки в области стеганографии, позволяющей организовать скрытый канал передачи конфиденциальных данных, который может быть использован злоумышленниками для кражи ценной информации. Поэтому важной задачей является развитие стеганоанализа, направленного на выявление какой-либо дополнительной информации (ДИ) в анализируемом цифровом контенте [1, 2]. Наиболее удобным контейнером в стеганографии является цифровое изображение (ЦИ) благодаря наличию в нем избыточной информации и возможности сокрытия значительного объема данных.

В большинстве современных исследований, посвященных стеганоанализу ЦИ [3 – 5], вычислительные эксперименты проводятся на основе изображений в градациях серого, что не совсем отражает текущее состояние современных медиаконтентов – ведь в качестве контейнеров выбирают цветные изображения, которые легко получить с помощью любых устройств (цифровых фотоаппаратов, смартфонов, планшетов и др.) или из базы изображений [6 – 9]. ЦИ в градациях серого в современном мире достаточно редкое явление, как правило, это профессиональные художественные фото, которых нет (или очень мало) в открытом доступе. С одной стороны, стеганоанализ ЦИ в градациях серого нетрудно применить и для цветных изображений, анализируя каждую цветовую составляющую в отдельности, а с другой стороны, остаются неучтенными особенности цветов изображения – триплетов значений яркости красной, зеленой и синей цветовых составляющих. Именно на основе учета этих особенностей в работах [10, 11] разработан наиболее эффективный в условиях малых значений пропускной способности скрытого канала связи (СПС) стеганоаналитический метод для ЦИ и видео.

Однако при вычислительных экспериментах в [10] рассматриваются только случаи погружения ДИ в одну произвольную цветовую составляющую цветных изображений, что несколько сужает его область применения.

Цель и задачи исследования

Цель работы – усовершенствование стеганоаналитического метода, основанного на анализе последовательных триад цветовых триплетов в матрице уникальных цветов, позволяющего выявлять наличие вложений ДИ в условиях разной степени наполненности цветных ЦИ.

Под разной степенью наполненности ЦИ будем понимать погружение ДИ в одну, две или три цветовые составляющие цветных изображений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать влияние погружения ДИ в пространственную область ЦИ при условии заполнения двух и трех цветовых составляющих;
- провести уточнение параметров оригинального стеганоаналитического метода с учетом анализа последовательных триад цветовых триплетов в матрице уникальных цветов при условии разной степени наполненности ЦИ;
- выявить отличия в количестве последовательных триад цветовых триплетов в матрице уникальных цветов стеганосообщений (СС), полученных на основе контейнеров в формате с потерями, и оригинальных контейнеров в формате без потерь;

- разработать основные шаги стеганоаналитического метода, способного выявлять вложения ДИ в условиях разной степени наполненности ЦИ.

Основные результаты исследований

В качестве контейнеров для стеганопреобразования будем рассматривать цветные ЦИ в формате с потерями, представленные в соответствии с цветовой схемой RGB, где каждый пиксель изображения описывается как триплет значений (r_{mn}, g_{mn}, b_{mn}) , r_{mn}, g_{mn}, b_{mn} – значения яркости (m, n) -го пикселя красной, зеленой и синей цветовых матриц соответственно. Уникальные триплеты ЦИ будем называть уникальными цветами, их количество обозначим U .

Стеганоаналитический метод [10] основан на подсчете количества последовательных Red-, Green- и Blue-триад в матрице уникальных цветов UCT , содержащей U упорядоченных уникальных триплетов (r_k, g_k, b_k) , $k = \overline{1, U}$. Под последовательными Red-, Green- и Blue-триадами будем понимать:

$$(r_k, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k - 1, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k + 1, g_k, b_k) \in UCT, k = \overline{1, U}; \quad (1)$$

$$(r_k, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k - 1, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k + 1, b_k) \in UCT, k = \overline{1, U}; \quad (2)$$

$$(r_k, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k, b_k - 1) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k, b_k + 1) \in UCT, k = \overline{1, U} \quad (3)$$

соответственно. При подсчете количества последовательных триад триплетов в матрице уникальных цветов будем использовать понятие среднего триплета $(r_k, g_k, b_k) \in UCT$, для которого выполняются условия (1), (2) или (3) в зависимости от вида триады.

Пустой контейнер в формате с потерями содержит не более 2,5 % средних триплетов, соответствующих Red-, Green- и Blue-триадам [10], при погружении ДИ их количество значительно возрастает и в случае одной заполненной цветовой составляющей указывает на цветовую матрицу изображения, используемую в процессе стеганопреобразования. С целью выявления характера изменений количества Red-, Green- и Blue-триад при погружении ДИ в две и три цветные составляющие был проведен вычислительный эксперимент на основе 300 ЦИ в формате с потерями, где ДИ погружалась:

- в красную и синюю матрицы;
- в зеленую и синюю матрицы;
- в красную и зеленую матрицы;
- во все три цветные составляющие изображения.

При погружении ДИ значения СПС составляли 0,2 бит/пиксель, 0,1 бит/пиксель.

В ходе вычислительного эксперимента установлено, что возмущения в количестве последовательных триад при погружении ДИ в две и три цветные составляющие ЦИ несколько отличаются от возмущений при вложении ДИ в одну произвольную матрицу: значения количества Red-, Green- и Blue-триад одного изображения между собой находятся в соотношении менее чем в 1,5 раза. Однако в зависимости от СПС и того, какая цветовая составляющая использовалась при стеганопреобразовании, возникает высокая вероятность некорректного выявления СС. В табл. 1 приведены ошибки, возникающие при определении стеганоаналитическим методом [10] СС, сформированного погружением ДИ в две и три цветные составляющие, как СС только с одной заполненной цветовой составляющей.

Ошибки при определении степени наполнения СС, %

Степень наполнения	СПС 0.2 бит/пиксель			СПС 0.1 бит/пиксель		
	Красная	Зеленая	Синяя	Красная	Зеленая	Синяя
Красная и зеленая	0	0.33	0.33	0.67	0	23.67
Красная и синяя	0	0	0.33	0	1.33	1.33
Зеленая и синяя	8	0	0.67	24	0	10.33
Красная, зеленая, синяя	1.33	2.67	9.33	18	12.33	26.33

Как видно из табл. 1, количество ошибок возрастает с уменьшением значения СПС. При этом мы наблюдаем ситуацию, когда выявленная цветовая составляющая как заполненная на самом деле таковой не является: в 23.67 % СС выявлена синяя цветовая составляющая (СС сформированы погружением ДИ в красную и зеленую матрицы при СПС 0,1 бит/пиксель), в 8 и 24 % СС выявлена красная цветовая составляющая (СС сформированы погружением ДИ в зеленую и синюю матрицы при СПС 0,2 и 0,1 бит/пиксель соответственно). В случае же трех заполненных матриц количество Red-, Green- и Blue-триад неравномерно, в 13,33 и 56,67 % СС (при СПС 0,2 и 0,1 бит/пиксель соответственно) определяется только одна матрица, что неверно.

На рис. 1 приведен пример содержания последовательных триад триплетов в ЦИ при условии разной степени наполненности цветовых составляющих.

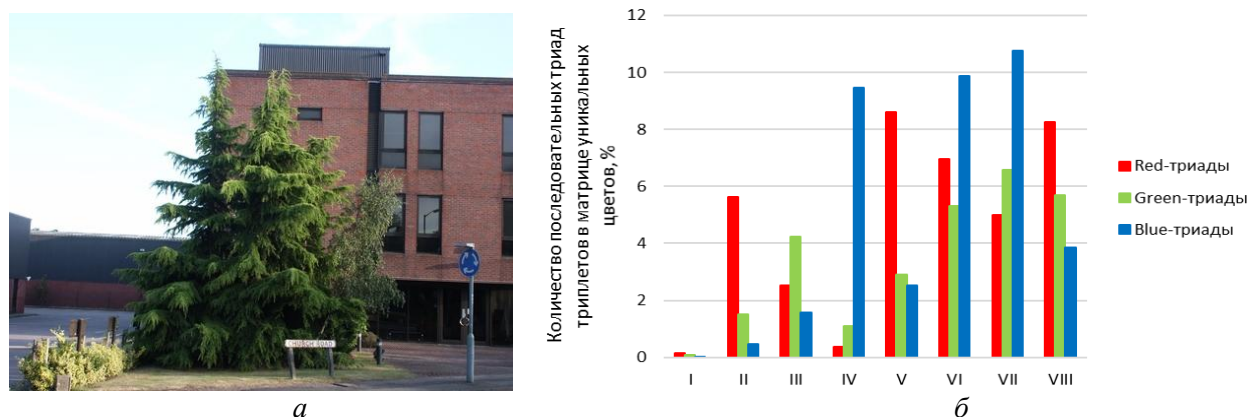


Рис.1. Количество последовательных цветовых триад в изображении: а) ЦИ; б) количество триад в ЦИ и СС, сформированных погружением ДИ при СПС 0.1 бит/пиксель с разной степенью наполненности: I – оригинальный контейнер; II – заполнена красная цветовая составляющая; III – заполнена зеленая цветовая составляющая; IV – заполнена синяя цветовая составляющая; V – заполнены все цветовые составляющие; VI – заполнены красная и синяя цветовые составляющие; VII – заполнены зеленая и синяя цветовые составляющие; VIII – заполнены красная и зеленая цветовые составляющие

Как видно из рис. 1, в случае I однозначно определяется пустой контейнер; в случаях II, III и IV возмущения Red-, Green- и Blue-триад указывают на заполненные красную, зеленую и синюю цветовые составляющие соответственно; в случае V можно заподозрить наличие ДИ в красной матрице, хотя на самом деле заполнены все; в случае VI предполагаются две или три заполненные матрицы; в случае VII может быть выявлена только синяя цветовая составляющая, а зеленая пропущена; в случае VIII количество Red-триад указывает на красную матрицу, хотя заполненной была и зеленая.

С учетом полученных в ходе эксперимента результатов проведем уточнение параметров стеганоаналитического метода [10], а именно величины $V = 1.5$, определяющей величину разрыва между триадами разного вида ЦИ в условиях:

$$pR = \max(pR, pG, pB) \& pR > V \cdot pG \& pR > V \cdot pB; \quad (4)$$

$$pG = \max(pR, pG, pB) \& pG > V \cdot pR \& pG > V \cdot pB; \quad (5)$$

$$pB = \max(pR, pG, pB) \& pB > V \cdot pR \& pB > V \cdot pG; \quad (6)$$

указывающих на красную, зеленую или синюю цветовую составляющую соответственно.

В ходе вычислительного эксперимента при проведении стеганоанализа СС в условиях (4) – (6) значения $V \in [1.25, 2]$ с шагом 0,05, после чего определяются ошибки 1-го (FN) и 2-го рода (FP), где ошибки 1-го рода – пропуск СС, ошибки 2-го рода – определение пустого контейнера как СС. В результате эксперимента на основе 2400 ЦИ (300 контейнеров, 900 СС с одной заполненной матрицей, 900 СС с двумя заполненными матрицами, 300 СС с тремя заполненными матрицами) установлено, что с уменьшением параметра V уменьшаются ошибки 1-го рода, но при этом увеличиваются ошибки 2-го рода: для СПС 0,2 бит/пиксель при $V=1.25$ $FN=0.1111\%$, $FP=0.1852\%$, а при $V=2$ $FN=1\%$, $FP=0\%$; для СПС 0,1 бит/пиксель при $V=1.25$ $FN=1.1111\%$, $FP=0.1852\%$, а при $V=2$ $FN=5\%$, $FP=0\%$ (табл. 2). Таким образом, в стеганоаналитическом методе [10] допустимо принять $V=1.5$, т.к. дальнейшее увеличение V приводит к резкому скачку ошибок 1-го рода. При этом уменьшение параметра V также нецелесообразно, поскольку это приведет к увеличению ошибок при детектировании СС, сформированных погружением ДИ в одну цветовую составляющую.

Таблица 2

Ошибки 1-го и 2-го рода при изменении параметра V стеганоаналитического метода [10], %

СПС 0,1 бит/пиксель								
V	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6
FN	1,1111	1,1111	1,2222	1,2222	1,2222	1,2222	1,4444	1,5556
FP	0,1852	0,1852	0,1852	0,1852	0,1481	0,0741	0,037	0,037
V	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	2
FN	1,7778	2,1111	2,4444	2,7778	3,3333	3,6667	4,2222	5
FP	0,037	0,037	0,037	0	0	0	0	0
СПС 0,2 бит/пиксель								
V	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6
FN	0,1111	0,2222	0,2222	0,3333	0,3333	0,3333	0,5556	0,5556
FP	0,1852	0,1852	0,1852	0,1852	0,1481	0,0741	0,037	0,037
V	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	2
FN	0,5556	0,5556	0,5556	0,5556	0,7778	0,8889	1	1
FP	0,037	0,037	0,037	0	0	0	0	0

Поскольку в результате стеганопреобразования пространственной области все СС сохраняются в формате без потерь, при анализе имеющегося ЦИ неизвестно, какой контейнер был использован: в формате с потерями, или в формате без потерь. Если формат с потерями – можно по крайней мере установить факт наличия или отсутствия в анализируемом контенте ДИ, в случае формата без потерь оригинального контейнера – количество Red-, Green- и Blue-триад в таких ЦИ изначально очень высокое, что не позволит выявить СС [12]. Таким образом, задача определения степени наполненности СС неразрывно связана с определением формата оригинального контейнера. Кроме того, при погружении ДИ в ЦИ в формате без потерь количество последовательных триад триплетов практически не меняется – эту особенность мы будем использовать при усовершенствовании стеганоаналитического метода.

В работе [12] предложен метод выявления факта сжатия ЦИ, также основанный на анализе количества последовательных триад триплетов в матрице уникальных цветов, однако при вычислительных экспериментах рассматриваются только оригинальные контейнеры, и пороговое значение $T_{lim} = 7.5$ [12] может применяться только для отделения пустых цифровых контентов. Если же необходимо выявить исходный формат СС, необходимо изменить подход к выявлению факта сжатия. Поскольку в условиях СС количество средних триплетов разного вида превышает пороговое значение T_{lim} , а в основе обоих методов [10] и [12] лежит подсчет количества Red-, Green- и Blue-триад в матрице уникальных цветов изображения, поэтому выявление факта сжатия анализируемого ЦИ и его стеганоанализ будут проводиться параллельно.

Выполним интеграцию базового стеганоаналитического метода [10] и метода выявления факта сжатия цифровых контентов [12] с целью обеспечения возможности определять СС, сформированные с разной степенью заполнения цветовых составляющих. По результатам стеганоанализа изображения должна быть получена следующая информация: формат оригинального контейнера *format*, степень наполненности СС *degree*, цветовая составляющая *component*, используемая в стеганопреобразовании (при условии одной заполненной цветовой матрицы). Основными шагами усовершенствованного стеганоаналитического метода следующие.

Шаг 1. Формирование матрицы *UCT* размером $U \times 3$ уникальных триплетов цветов (r_k, g_k, b_k) , $k = \overline{1, U}$ для ЦИ *I*.

Шаг 2. Подсчет количества последовательных триад для каждой цветовой составляющей.

2.1 Если для текущего триплета (r_k, g_k, b_k) , $k = \overline{1, U}$ в *UCT* одновременно существуют триплеты $(r_k + 1, g_k, b_k)$ и $(r_k - 1, g_k, b_k)$, то $countR = countR + 1$, *countR* – количество Red-триад в *UCT*;

2.2 Если для текущего триплета (r_k, g_k, b_k) , $k = \overline{1, U}$ в *UCT* одновременно существуют триплеты $(r_k, g_k + 1, b_k)$ и $(r_k, g_k - 1, b_k)$, то $countG = countG + 1$, *countG* – количество Green-триад в *UCT*;

2.3 Если для текущего триплета (r_k, g_k, b_k) , $k = \overline{1, U}$ в *UCT* одновременно существуют триплеты $(r_k, g_k, b_k + 1)$ и $(r_k, g_k, b_k - 1)$, то $countB = countB + 1$, *countB* – количество Blue-триад в *UCT*.

Шаг 3. Вычислить:

$$pR = \frac{countR}{U} \cdot 100, \quad pG = \frac{countG}{U} \cdot 100, \quad pB = \frac{countB}{U} \cdot 100.$$

Шаг 4. Детектирование наличия/отсутствия ДИ.

4.1 Если $pR < T_{low}$ & $pG < T_{low}$ & $pB < T_{low}$,

то *format* = "с потерями",

degree = "пустой контейнер",

component = "нет заполненных цветовых составляющих";

4.2 иначе если $pR = \max(pR, pG, pB)$ & $pR > V \cdot pG$ & $pR > V \cdot pB$,

то *format* = "с потерями",

degree = "одна цветовая составляющая",

component = "красная цветовая составляющая";

4.3 иначе если $pG = \max(pR, pG, pB)$ & $pG > V \cdot pR$ & $pG > V \cdot pB$,

- to format* = "с потерями",
degree = "одна цветовая составляющая",
component = "зелёная цветовая составляющая";
- 4.4 иначе если $pR = \max(pR, pG, pB) \ \& \ pB > V \cdot pR \ \& \ pB > V \cdot pG$;,
to format = "с потерями",
degree = "одна цветовая составляющая",
component = "синяя цветовая составляющая";
- 4.5 иначе если $pR < T_{low}' \ \& \ pG < T_{low}' \ \& \ pB < T_{low}'$,
to format = "с потерями",
degree = "пустой контейнер",
component = "нет заполненных цветовых составляющих";
- 4.6 иначе
- 4.6.1 Погрузить произвольную бинарную последовательность во все цветовые составляющие ЦИ I с СПС 0.25 бит/пиксель, результат I' .
- 4.6.2 Сформировать матрицу UCT' размером $U' \times 3$ уникальных триплетов цветов (r'_k, g'_k, b'_k) , $k = \overline{1, U'}$ для ЦИ I' .
- 4.6.3 Определить количество последовательных триад изображения I' для каждой цветовой составляющей, результат – $countR'$, $countG'$, $countB'$;
- 4.6.4 Вычислить:

$$pR' = \frac{countR'}{U'} \cdot 100, \quad pG' = \frac{countG'}{U'} \cdot 100, \quad pB' = \frac{countB'}{U'} \cdot 100.$$
- 4.6.5 Определить:

$$aR = |pR - pR'|, \quad aG = |pG - pG'|, \quad aB = |pB - pB'|.$$
- 4.6.6 Если $aR < T_{abs} \ \& \ aG < T_{abs} \ \& \ aB < T_{abs}$,
to format = "без потерь",
degree = "не определена",
component = "не определена";
- 4.6.7 иначе *format* = "с потерями",
degree = "две или три цветовые составляющие",
component = "не определена".

На первом этапе предлагаемого метода (шаги 1 – 3) определяется процентное содержание Red-, Green- и Blue-триад pR, pG, pB относительно общего количества уникальных цветов, используемые как для стеганоанализа, так и для выявления факта сжатия ЦИ. Далее полученные значения pR, pG, pB сравниваются с пороговым значением T_{low} , определенным в работе [10] как $T_{low} = 2.5$ (шаг 4.1): непревышение данного порога свидетельствует о пустом контейнере, а также о формате оригинального контейнера с потерями. В том случае, если наблюдается превышение максимального значения из pR, pG, pB над двумя другими в 1,5 раза (параметр V), однозначно определяется заполненная цветовая составляющая (шаги 4,2 – 4,4), и соответственно в процессе стеганопреобразования использовались ЦИ в формате с потерями.

В шаге 4.5 осуществляется сравнение значений pR, pG, pB с порогом T_{low}' , что связано с тем, что некоторые оригинальные контейнеры как в формате с потерями, так и в формате без потерь содержат количество триад в диапазоне от 2,5 % до 4 – 5 %, при этом ЦИ в формате без потерь в таком случае реагируют на возмущения в результате стеганопреобразова-

ния также, как и ЦИ в формате с потерями. В качестве примера таких ЦИ в формате *.tif можно привести изображения из базы McGill [8]. Примем $T_{low}' = 4.5$. Если $pR < T_{low}'$, $pG < T_{low}'$, $pB < T_{low}'$, то такое изображение определяется как незаполненное, его формат – с потерями (в этом случае ошибки определения формата не являются существенными, т.к. возможно выявить наличие ДИ в таких контентях).

Далее для разделения СС от ЦИ в формате без потерь поверх анализируемого изображения во все три цветовые составляющие погружаем некоторую ДИ – произвольную бинарную последовательность, в результате получаем СС I' , для которого определяем процент Red-, Green- и Blue-триад pR' , pG' , pB' и находим абсолютную разность между содержанием средних триплетов анализируемого изображения I и СС I' . Эти значения разности aR , aG , aB сравниваются с пороговым значением T_{abs} , указывающего на величину изменений в количестве последовательных триад триплетов. Использование порога T_{abs} связано с характерной особенностью ЦИ в формате без потерь, содержащих изначально большое количество средних триплетов, при возмущениях цветовых матриц сохранять практически неизменным количество Red-, Green- и Blue-триад. Таким образом, выполнение условия $aR < T_{abs}$ & $aG < T_{abs}$ & $aB < T_{abs}$ указывает на формат без потерь оригинального контейнера и, соответственно, невозможность выявить наличие ДИ в анализируемом изображении. Иначе мы имеем СС с двумя или тремя заполненными цветовыми составляющими. Примем $T_{abs} = 2$.

Для оценки эффективности предложенного стеганоаналитического метода с возможностью выявления факта сжатия оригинального контейнера проведем вычислительный эксперимент, по результатам которого определим ошибки первого и второго рода по следующим критериям:

- Критерий 1 – выявление СС и незаполненных контейнеров среди всех анализируемых ЦИ, включающих 718 контейнеров и 2218 СС с разной степенью наполненности;
- Критерий 2 – выявление цветовой составляющей среди ЦИ, включающих 718 контейнеров и 1318 СС с одной заполненной цветовой составляющей;
- Критерий 3 – определение формата оригинального контейнера среди 2936 ЦИ, изначально хранившихся в формате с потерями, и 355 ЦИ, изначально хранившихся в формате без потерь.

В случае критериев 1 и 2 под ошибками первого рода будем понимать пропуск СС, под ошибками второго рода – определение незаполненного контейнера как СС. В случае критерия 3 под ошибками первого рода будем понимать пропуск факта сжатия при его наличии, под ошибками второго рода – определение несжатого цифрового контента как подвергнутого сжатию. Результаты вычислительного эксперимента приведены в табл. 3.

Таблица 3

Эффективность выявления СС и определения формата оригинальных контейнеров для ЦИ, %

	Критерий 1	Критерий 2	Критерий 3
СПС 0.2 бит/пиксель			
Ошибки 1-го рода	1.8485	0.3035	0.1022
Ошибки 2-го рода	2.3677	0.3549	16.9184
СПС 0.1 бит/пиксель			
Ошибки 1-го рода	9.2425	0.8346	0.0341
Ошибки 2-го рода	2.3677	0.3549	16.9184

Как видно из табл. 3, разработанный стеганоаналитический метод показал высокую эффективность выявления СС, сформированных погружением ДИ в контейнеры, изначально хранимые в формате с потерями, при этом в случае одной заполненной цветовой составляющей

щей (критерий 2) ошибки минимальны. В основном ошибки возникают при выявлении СС с двумя и тремя заполненными цветовыми матрицами с уменьшением значений СПС (1,8485 % ошибок 1-го рода при СПС 0,2 бит/пиксель против 9,2425% ошибок 1-го рода при СПС 0,1 бит/пиксель). Более того, формат СС, сформированных на основе контейнеров в формате с потерями, в большинстве случаев определен верно (ошибки 1-го рода, т.е. пропуск факта сжатия, составляют всего 0,1022 %), однако 16,9184 % из ЦИ, изначально хранимых в формате без потерь, определены как подвергавшиеся сжатию и содержащие ДИ в двух и трех цветовых составляющих, что требует дополнительных исследований для более точного выявления факта сжатия анализируемых ЦИ.

Выводы

Предложено усовершенствование стеганоаналитического метода выявления вложений ДИ, основанного на учете количества последовательных триад триплетов в матрице уникальных цветов ЦИ, путем расширения его области применения, а именно возможности выявлять СС, сформированные с разной степенью наполненности цифровых контентов.

По результатам исследований проанализирован характер изменения последовательных Red-, Green- и Blue-триад в матрице уникальных цветов ЦИ в результате погружения ДИ в две и три цветовые составляющие контейнера, с учетом которого осуществлено уточнение параметров базового стеганоаналитического метода [10]. Результаты экспериментов показали, что для обеспечения корректного выявления СС, сформированных на основе погружения ДИ в две и три цветовые составляющие цветных ЦИ, изначально хранящихся в формате с потерями, необходимо установить, подвергался ли анализируемый контент сжатию, т.к. характер возмущений в результате стеганообразования ЦИ в формате с потерями и ЦИ в формате без потерь различный, что позволило интегрировать стеганоаналитический метод [10] и метод выявления факта сжатия [12].

Результаты экспериментов, направленных на оценку эффективности усовершенствованного стеганоаналитического метода, показали, что предложенные изменения не снижают высокой эффективности при определении заполненной цветовой составляющей изображения при условии заполнения только одной цветовой матрицы ЦИ (ошибки 1-го рода не превышают 1 %), при этом обеспечивая корректное выявление СС, сформированных при погружении ДИ в две или три цветовые составляющие (при СПС 0,2 бит/пиксель ошибки 1-го рода составляют 1,85%, ошибки 2-го рода – 2,37%). Однако при анализе ЦИ, изначально хранящихся в формате без потерь, возникают ошибки 2-го рода, что требует дополнительных исследований для более точного выявления факта сжатия анализируемых ЦИ.

При необходимости точного определения заполненных цветовых составляющих СС разработанный метод можно скомбинировать с существующими стеганоаналитическими методами, анализирующими отдельные цветные матрицы ЦИ.

Список литературы:

1. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин, С.А. Сапожников. – Москва : Вузовская книга, 2009. – 220 с.
2. Bohme R. Advanced statistical steganalysis. – Springer, 2010. – 302 p.
3. Jean-Francois Couchot. Improving Blind Steganalysis in Spatial Domain using a Criterion to Choose the Appropriate Steganalyzer between CNN and SRM+EC / Jean-Francois Couchot, Raphael Couturier, Michel Salomon // ICT Systems Security and Privacy Protection. 32nd IFIP TC 11 International Conference, SEC 2017, Rome, Italy, May 29-31, 2017. – Pp. 327-340. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58469-0_22
4. Wei Huang. Novel cover selection criterion for spatial steganography using linear pixel prediction error / Wei Huang, Xianfeng Zhao // Science China. Information Sciences. – 2016. – Vol. 59. – Pp. 059103:1–059103:3. DOI: [10.1007/s11432-016-5530-z](https://doi.org/10.1007/s11432-016-5530-z)
5. Tomáš Denemark. Improving Selection-Channel-Aware Steganalysis Features / Tomáš Denemark, Jessica Fridrich, Pedro Comesaña-Alfaro // IS&T International Symposium on Electronic Imaging 2016. – Pp. MWSF-080.1-MWSF-080.8.
6. NRCS Photo Gallery: [Электронный ресурс] // United States Department of Agriculture. Washington, USA. Режим доступа: <http://photogallery.nrcs.usda.gov>

7. Uncompressed Color Image Database (UCID) [Электронный ресурс]: Multimedia Phylogeny Datasets. Режим доступа: <http://www.recod.ic.unicamp.br/~oikawa/datasets.html>
8. McGill Calibrated Colour Image Database [Электронный ресурс]: Fred Kingdom's Laboratory at McGill Vision Research. Режим доступа: <http://tabby.vision.mcgill.ca/html/welcome.html>
9. Never-compressed image database [Электронный ресурс]: Sam Houston State University. Режим доступа: <http://www.shsu.edu/qx1005/New/Downloads/>
10. Ахметьяева А.В. Стеганоанализ цифровых изображений, хранящихся в формате с потерями // Захист інформації. – 2016. – Вип. 23. – С.135-145.
11. Akhmetieva A. Steganalysis of digital contents, based on the analysis of unique color triplets // Annales Mathematicae et Informaticae. – 2017. – No.47. – Pp. 3-18.
- 12 Akhmetieva A. Method of detection the fact of compression in digital images as an integral part of steganalysis // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2016. – Т.6. – №4. – С. 357-364.

*Одесский национальный
политехнический университет*

Поступила в редколлегию 12.11.2018