

SIGN-НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СИНГУЛЯРНЫХ ВЕКТОРОВ МАТРИЦЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ КАК ОСНОВА СТЕГАНОАЛГОРИТМА, УСТОЙЧИВОГО К СЖАТИЮ

М.А. Мельник

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: ritochek@yandex.ru

В работе на основе sign-нечувствительности, обеспечивающей нечувствительность сингулярных векторов стандартных блоков матрицы цифрового изображения, отвечающих максимальным сингулярным числам, к произвольным возмущающим воздействиям, разработан полиномиальный степени 2 стеганографический алгоритм, устойчивый к сжатию со значительными коэффициентами. Приведены результаты вычислительного эксперимента, подтверждающие эффективность предложенного алгоритма.

Ключевые слова: сингулярный вектор, сингулярное число, sign-чувствительность, возмущающее воздействие, сжатие, матрица

Введение

Стеганография сегодня переживает этап своего бурного развития. Однако многообразии современных стеганографических методов и алгоритмов (СА) не изменяет требований, предъявляемых к ним, среди которых наиболее важными являются: надежность восприятия формируемого стеганосообщения (СС), являющегося результатом погружения дополнительной информации (ДИ) в непривлекающий внимание контейнер, или основное сообщение (ОС), в качестве которого в настоящей работе рассматривается цифровое изображение (ЦИ); устойчивость к преднамеренным (непреднамеренным) атакам [1, 2], среди которых одно из центральных мест занимает атака сжатием. Согласно [2], под устойчивостью (неустойчивостью) СА будем понимать нечувствительность (чувствительность) к возмущающим воздействиям сформированного им СС.

Проблема создания СА, устойчивых к атаке сжатием, которая является чрезвычайно распространенной благодаря популярности использования форматов с потерями для хранения и передачи цифровых сигналов, является актуальной, но не решенной на сегодняшний день. Чаще всего существующие СА такого плана осуществляют погружение ДИ в частотной области контейнера и, при условии обеспечения надежности восприятия СС, выдерживают лишь незначительное сжатие [3–6].

Согласно общему подходу к анализу состояния и технологии функционирования информационных систем [2, 7], процесс СП можно представить как возмущение ΔF матрицы F контейнера: $\bar{F} = F + \Delta F$, где \bar{F} — матрица СС, а потому СП формально представляется как совокупность возмущений сингулярных чисел (СНЧ) и сингулярных векторов (СНВ) соответствующей матрицы (матриц) ОС [7]. В силу этого о свойствах получаемого СС, в частности, о его чувствительности к атаке сжатием, можно судить по характерным особенностям СНВ и/или СНЧ, свойствам их возмущений, произошедших в ходе погружения ДИ.

В [8] были получены достаточные условия для формального представления СП как совокупности возмущений СНВ матриц, отвечающих контейнеру, обеспечивающие нечувствительность (малую чувствительность) формируемого СС к сжатию: формальным представлением процесса СП должна быть совокупность возмущений левых и/или правых СНВ блоков матрицы контейнера, полученных после ее стандартного разбиения, отвечающих (отвечающего) максимальным СНЧ блоков; при организации СП погружение ДИ должно происходить так, чтобы возмущение обсуждаемого (обсуждаемых) СНВ блоков оставляло его (их) близким к n -оптимальному вектору пространства R^8 . Последнее требование обусловлено следующим. Независимо от возмущающего воздействия, которое претерпевает ЦИ, матрицы его блоков остаются неразложимыми неотрицательными [9], а обсуждаемые СНВ после любого возмущающего воздействия имеют все положительные координаты, поэтому эти векторы является не только нечувствительными, но и sign-нечувствительными к любому возмущающему воздействию [10], причем это свойство им присуще как до, так и после возмущающего воздействия, которое оставляет матрицу блока неразложимой неотрицательной, что возможно лишь в том случае, когда обсуждаемые СНВ близки к n -оптимальному [8]. Использование sign-нечувствительности СНВ блоков матрицы ОС дает принципиальную возможность для разработки СА, устойчивых к сжатию с большими (произвольными) коэффициентами.

Цель исследования и постановка задачи

Везде ниже атака сжатием на СС будет моделироваться путем его пересохранения в среде *Adobe Photoshop* в самый распространенный на сегодня формат с потерями для хранения ЦИ – формат JPEG с различными коэффициентами качества Q . Будем говорить, что сжатие происходит со значительным коэффициентом в случае, когда $Q \leq 7$ [11].

Целью настоящей работы является повышение эффективности организации скрытого канала связи путем разработки нового стеганографического алгоритма, устойчивого к сжатию, в том числе со значительными коэффициентами, на основе полученных в [8] формальных достаточных условий нечувствительности (малой чувствительности) СС к сжатию в случае формального представления СП в виде совокупности возмущений СНВ блоков матрицы ОС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Расширить по сравнению с [8] набор качественных и количественных характеристик СНВ, отвечающих максимальным СНЧ блоков матрицы ЦИ, их возмущений в процессе сжатия с различными коэффициентами;
- 2) Выявить зависимость количественных оценок sign-нечувствительности СНВ, отвечающих максимальным СНЧ блоков ЦИ, от коэффициента сжатия;
- 3) Выявить зависимость количественных оценок sign-нечувствительности СНВ, отвечающих максимальным СНЧ блоков ЦИ, от формата хранения ЦИ;
- 4) На основе полученных количественных оценок sign-нечувствительности СНВ разработать стеганоалгоритм, устойчивый к сжатию со значительными коэффициентами.

Основная часть

Пусть матрица изображения F имеет размеры $m \times n$. Предварительным шагом при организации сжатия является стандартное разбиение F на 8×8 -блоки. Обозначим B — матрицу отдельного блока. Для каждого блока возможно построение нормального

сингулярного разложения [7]: $B = U\Sigma V^T$, где U, V — ортогональные матрицы размера 8×8 , столбцы u_1, \dots, u_8 матрицы U , называемые левыми СНВ, лексикографически положительны [7] (столбцы v_1, \dots, v_8 матрицы V — правые СНВ матрицы B); $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_8)$, $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_8 \geq 0$ — СНЧ. В [7] показано, что невырожденная матрица имеет единственное нормальное сингулярное разложение, если ее СНЧ попарно различны. Далее считаем, что матрицы блоков ЦИ удовлетворяют условию единственности нормального сингулярного разложения.

Близость СНВ блоков матрицы ЦИ (u_1, v_1), отвечающие наибольшим СНЧ (σ_1), к n -оптимальному вектору пространства R^8 [8] приводит к тому, что углы между векторами u_1 и n -оптимальным, v_1 и n -оптимальным, а потому и между u_1 и v_1 для подавляющего большинства блоков изображения имеют малые значения. Sign-нечувствительность u_1 и v_1 влечет за собой нечувствительность этих СНВ к любым возмущающим воздействиям: их отклонение от первоначального положения, в частности, при сжатии, причем с произвольным коэффициентом, в подавляющем большинстве блоков незначительно [8]. Малым при сжатии будет не только отклонение СНВ u_1, v_1 от первоначального положения, но и изменение во взаимном расположении векторов u_1, v_1, n -оптимального. Для комплексной количественной оценки полученного качественного заключения был проведен вычислительный эксперимент, в котором анализировались значения углов между векторами u_1 и n -оптимальным, v_1 и n -оптимальным, u_1 и v_1 для ЦИ, первоначально хранимых в формате без потерь, а затем после сжатия с различными коэффициентами качества Q .

В ходе эксперимента для каждого ЦИ в формате TIF, а затем после сохранения его в JPEG с различными значениями коэффициента качества Q вычислялись средние значения углов между u_1 и v_1 (uv_{sr}), u_1 и n -оптимальным (un_{sr}), v_1 и n -оптимальным (vn_{sr}) по всему изображению. Для i -го ЦИ эти значения обозначались соответственно $uv_{sr}^{(f)}(i)$, $un_{sr}^{(f)}(i)$, $vn_{sr}^{(f)}(i)$, $i = \overline{1,150}$, где верхний индекс f указывает на формат хранения ЦИ (для JPEG-ЦИ он указывает на значение коэффициента качества Q , использованного при сжатии). Результаты проведенного вычислительного эксперимента для наибольшего из рассмотренных возмущающих воздействий ($Q = 2$) отражены на рис. 1, в табл. 1, откуда видно, что для подавляющего большинства ЦИ $uv_{sr}^{(Tif)}(i)$, $un_{sr}^{(Tif)}(i)$, $vn_{sr}^{(Tif)}(i)$ претерпевают при сжатии с $Q = 2$ возмущение, не превосходящее одного градуса (рис. 1), при этом средние значения $abs(uv_{sr}^{(Tif)}(i) - uv_{sr}^{(Q2)}(i))$, $abs(un_{sr}^{(Tif)}(i) - un_{sr}^{(Q2)}(i))$, $abs(vn_{sr}^{(Tif)}(i) - vn_{sr}^{(Q2)}(i))$, $i = \overline{1,150}$, соответственно равны 0.58, 0.45, 0.41. В таблице 1 UV, UN, VN — это средние значения по всем тестируемым изображениям глобальных максимумов гистограмм значений углов между СНВ u_1 и v_1, u_1 и n -оптимальным, v_1 и n -оптимальным соответственно, выраженные в градусах; $UV_{sr}, UN_{sr}, VN_{sr}$ — средние значения по всем тестируемым ЦИ $uv_{sr}^{(f)}(i), un_{sr}^{(f)}(i), vn_{sr}^{(f)}(i)$, $i = \overline{1,150}$, соответственно, выраженные в градусах.

Из таблицы 1 видно, что все рассмотренные в ходе эксперимента характеристики взаимного расположения векторов u_1, v_1, n -оптимального сравнимы для различных форматов и различного качества сжатия. Дополнительным подтверждением этого являются результаты, представленные в таблице 2, полученные в ходе вычислительного эксперимента, в котором тестировалось 300 ЦИ в формате без потерь (TIF), 300 ЦИ в формате JPEG, полученных различными фотокамерами (без привязки к коэффи-

циенту сжатия), 300 изображений в формате JPEG2000, полученных при помощи пересохранения ЦИ из первой группы (TIF) в среде *Adobe Photoshop* с различными коэффициентами качества.

С учетом полученных количественных оценок для возмущений и отклонений предлагается стеганографический алгоритм *SGN*, где в качестве ДИ рассматривается бинарная последовательность p_1, p_2, \dots, p_t , $p_i \in \{0,1\}$, $i = 1, 2, \dots, t$.

Обозначим n -оптимальный вектор n^O . Для погружения 1 бита ДИ используется один 8×8 -блок матрицы ЦИ-контейнера.

Погружение ДИ.

Шаг 1. Матрица F размера $m \times n$ контейнера разбивается стандартным образом на 8×8 -блоки; B — произвольный блок.

Шаг 2. В каждый блок B погружается очередной бит p_i ДИ:

2.1 Для B строится нормальное сингулярное разложение: $B = U\Sigma V^T$; u_1 и v_1 — левый и правый СНВ блока B соответственно, отвечающие максимальному СНЧ σ_1 .

2.2 Погружение p_i :

если $p_i = 1$,

то 2.2.1 $\bar{u}_1 = n^O$, где \bar{u}_1 — возмущенный в ходе СП u_1 ;

2.2.2 Вычисление $\bar{u}_2, \dots, \bar{u}_8$ — возмущенных u_2, \dots, u_8 в процессе приведения левых СНВ к ортонормированному с \bar{u}_1 виду.

иначе 2.2.1 $\bar{v}_1 = n^O$, где \bar{v}_1 — возмущенный в ходе СП v_1 ;

2.2.2 Вычисление $\bar{v}_2, \dots, \bar{v}_8$ — возмущенных v_2, \dots, v_8 в процессе приведения правых СНВ к ортонормированному с \bar{v}_1 виду.

2.3 Формирование блока \bar{B} СС, отвечающего блоку B контейнера:

если $p_i = 1$,

то $\bar{B} = \bar{U}\Sigma V^T$, где $\bar{U} = (n^O, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_8)$,

иначе $\bar{B} = U\Sigma\bar{V}^T$, где $\bar{V} = (n^O, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_8)$.

Декодирование ДИ.

Шаг 1. Матрица СС \bar{F} размера $m \times n$ разбивается стандартным образом на 8×8 -блоки; \bar{B} — произвольный блок.

Шаг 2. Из каждого блока \bar{B} извлекается очередной бит \bar{p}_i ДИ:

2.1 Для \bar{B} строится нормальное сингулярное разложение: $\bar{B} = \bar{U}\Sigma\bar{V}^T$; \bar{u}_1 и \bar{v}_1 — левый и правый СНВ блока \bar{B} соответственно, отвечающие максимальному СНЧ $\bar{\sigma}_1$.

2.2 Извлечение \bar{p}_i . Найти UN_B и VN_B — углы между векторами \bar{u}_1 , n^O и \bar{v}_1 , n^O соответственно:

если $UN_B < VN_B$,

то $\bar{p}_i = 1$,

иначе $\bar{p}_i = 0$.

Эффективность работы СА оценивается по объему восстановленной информации P в соответствии с соотношением:

$$P = \frac{t - \sum_{i=1}^t p_i \oplus \bar{p}_i}{t} \times 100\%,$$

где

\oplus — операция логического исключающего ИЛИ,
 $\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_t, p_i \in \{0,1\}, i = \overline{1,t}$ — декодированное из СС ДИ.

При организации погружения ДИ на шаге 2.2 возмущение матрицы блока в большинстве случаев не приводило к нарушению надежности восприятия (рис. 2) (за исключением случаев, оговоренных ниже), поскольку возмущение u_1, v_1 при их приравнивании к n^0 в подавляющем большинстве блоков незначительно (табл. 1, 2).

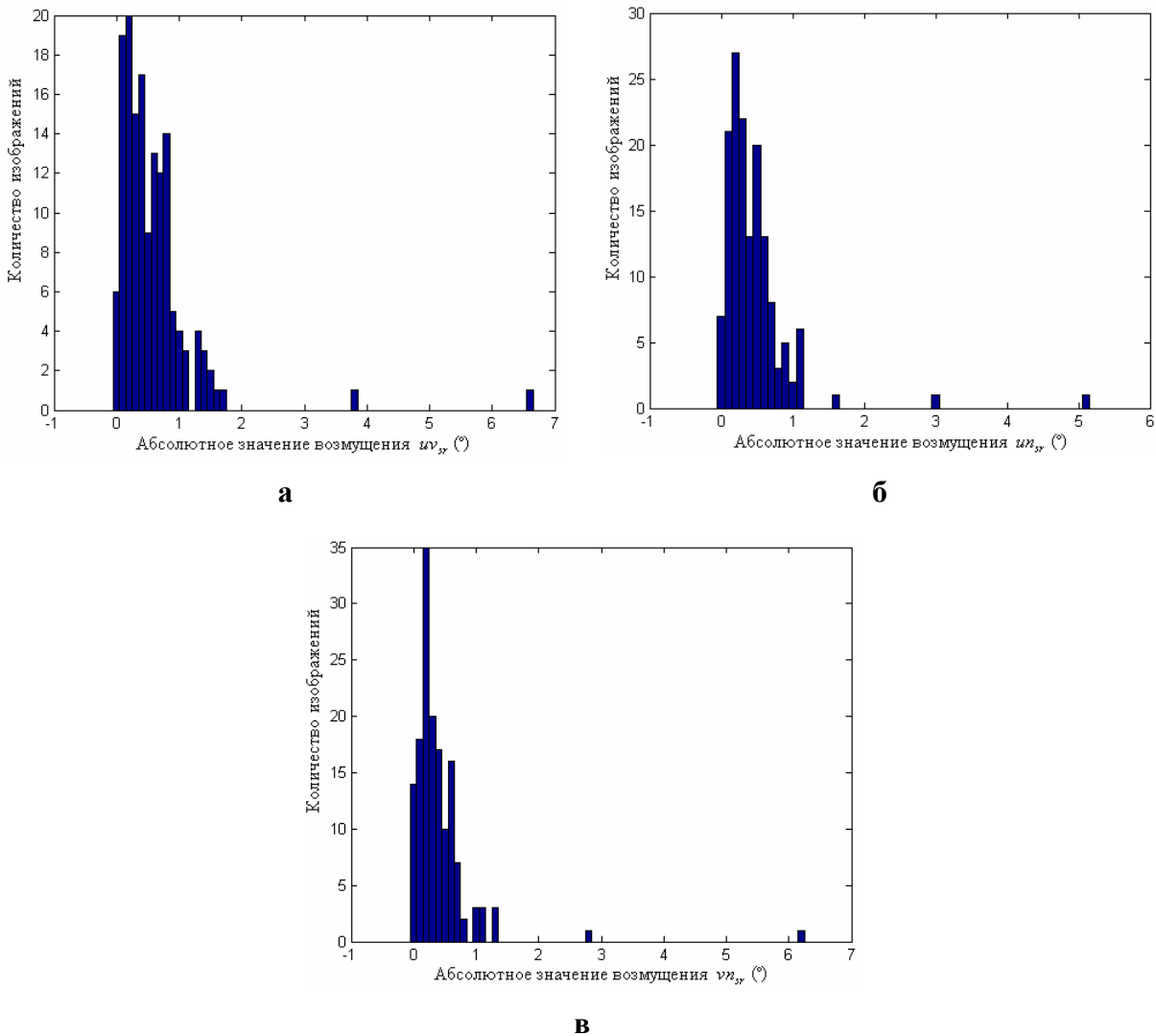


Рис. 1. Результат сжатия ЦИ, хранящегося первоначально без потерь: а – гистограмма значений $abs(uv_{sr}^{(Tif)}(i) - uv_{sr}^{(Q2)}(i))$; б – гистограмма значений $abs(un_{sr}^{(Tif)}(i) - un_{sr}^{(Q2)}(i))$; в – гистограмма значений $abs(vn_{sr}^{(Tif)}(i) - vn_{sr}^{(Q2)}(i)), i = \overline{1,150}$

Таблиця 1.

Характеристики взаємного розположення СНВ u_1, v_1 и n -оптимального вектора

Формат ЦИ		UV	UN	VN	UV_{sr}	UN_{sr}	VN_{sr}
TIF		0.88	0.77	0.66	5.84	4.29	3.76
JPEG	$Q=2$	0.61	0.48	0.31	5.89	4.31	3.74
	$Q=3$	0.65	0.55	0.39	5.91	4.33	3.76
	$Q=4$	0.78	0.58	0.39	5.95	4.36	3.80
	$Q=5$	0.84	0.60	0.51	5.95	4.36	3.81
	$Q=7$	0.85	0.70	0.58	5.88	4.32	3.78
	$Q=9$	0.86	0.74	0.66	5.87	4.32	3.78
	$Q=10$	0.89	0.77	0.69	5.88	4.32	3.72

Таблиця 2.

Характеристики взаємного розположення СНВ u_1, v_1 и n -оптимального вектора при різних форматах хранения ЦИ

Формат ЦИ	UV	UN	VN	UV_{sr}	UN_{sr}	VN_{sr}
TIF	0.90	0.76	0.64	5.89	4.41	3.87
JPEG	0.94	0.80	0.62	5.97	4.31	3.80
JPEG2000	0.91	0.75	0.61	6.30	5.09	4.53

Организация действий шага 2.2.2 при погружении ДИ может происходить, вообще говоря, различными способами. При проведении вычислительного эксперимента в настоящей работе шаг 2.2.2 конкретизировался следующим образом (рассмотрим на примере матрицы U (рис. 3), где u_i^o — вектор-столбец, ортогональный векторам \bar{u}_1 и $u_j^o, j = \overline{2, i-1}$). Обеспечение ортогональности левых СНВ достигалось путем решения системы из 28 линейных алгебраических уравнений с неизвестными $x_i, i = \overline{1, 28}$ (рис. 3):

$$\begin{cases} (\bar{u}_1, u_j^o) = 0, j = 2, \dots, 8, \\ (u_i^o, u_j^o) = 0, i = 2, \dots, 8, j = 2, \dots, i-1, \end{cases} \quad (1)$$

где (\bullet, \bullet) — скалярное произведение векторов-аргументов. Матрица \bar{U} , фигурирующая при формировании матрицы \bar{B} блока СС на шаге 2.3 при погружении ДИ, включает в себя нормализованные векторы-столбцы $\frac{u_j^o}{\|u_j^o\|}, j = 2, \dots, 8$:

$$\bar{U} = \left(\bar{u}_1 \quad \frac{u_2^o}{\|u_2^o\|} \quad \frac{u_3^o}{\|u_3^o\|} \quad \dots \quad \frac{u_8^o}{\|u_8^o\|} \right) = (n^o, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_8).$$



Рис. 2. Иллюстрация результата СП при помощи алгоритма *SGN*: а – ЦИ-контейнер (формат TIF); б – СС (формат TIF)

$$\begin{array}{cccccccc}
 \bar{u}_1^0 & \bar{u}_2^0 & \bar{u}_3^0 & \bar{u}_4^0 & \bar{u}_5^0 & \bar{u}_6^0 & \bar{u}_7^0 & \bar{u}_8^0 \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 \left(\begin{array}{cccccccc}
 1/\sqrt{8} & u_{12} & u_{13} & u_{14} & u_{15} & u_{16} & u_{17} & u_{18} \\
 1/\sqrt{8} & u_{22} & u_{23} & u_{24} & u_{25} & u_{26} & u_{27} & x_{22} \\
 1/\sqrt{8} & u_{32} & u_{33} & u_{34} & u_{35} & u_{36} & x_{16} & x_{23} \\
 1/\sqrt{8} & u_{42} & u_{43} & u_{44} & u_{45} & x_{11} & x_{17} & x_{24} \\
 1/\sqrt{8} & u_{52} & u_{53} & u_{54} & x_7 & x_{12} & x_{18} & x_{25} \\
 1/\sqrt{8} & u_{62} & u_{63} & x_4 & x_8 & x_{13} & x_{19} & x_{26} \\
 1/\sqrt{8} & u_{72} & x_2 & x_5 & x_9 & x_{14} & x_{20} & x_{27} \\
 1/\sqrt{8} & x_1 & x_3 & x_6 & x_{10} & x_{15} & x_{21} & x_{28}
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Рис. 3. Возмущенная в процессе СП матрица *U*

Для проверки эффективности разработанного СА в среде *MathWorks* MATLAB был проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого ЦИ размером 1024×1024 пикселя в формате TIF подвергались СП при помощи алгоритма *SGN*. Полученные СС сохранялись первоначально в формате TIF, после чего производилось декодирование ДИ. Затем СС пересохранялись в формат JPEG в среде *Adobe Photoshop* с разными коэффициентами качества *Q*. Результаты эксперимента для 200 ЦИ приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты декодирования ДИ

Формат СС	TIF	JPEG		
		<i>Q</i> = 10	<i>Q</i> = 5	<i>Q</i> = 2
Среднее значение <i>P</i> , %	95.4	95.2	95.0	94.2

Необходимо отметить, что основным возмущающим воздействием для получаемого при помощи *SGN* стеганосообщения, как свидетельствуют результаты эксперимента (табл. 3), является не процесс сжатия, а процессы округлений, происходящие после СП, связанные с введением значений элементов $\bar{B} = \bar{U}\Sigma V^T$ ($\bar{B} = U\Sigma\bar{V}^T$) в диапазон целых значений от 0 до 255, за счет которых и происходят наибольшие из наблюдаемых возмущения углов между \bar{u}_1, n^o и \bar{v}_1, n^o , приводящие к ошибкам при декодировании ДИ. В последующем процессе сжатия дальнейшее уменьшение объема восстановленной информации практически не происходит. Для иллюстрации в табл. 4 приведены примеры нескольких ЦИ.

Таблица 4.

Объем восстановленной информации при различных форматах СС

№ ЦИ	Формат СС			
	TIF	JPEG		
		Q=10	Q=5	Q=2
1	99.9	99.1	99.1	99.0
2	94.6	93.1	92.8	92.6
3	80.4	80.3	79.7	79.6

Замечание 1. Система (1) может оказаться плохо обусловленной (вырожденной) для некоторых блоков ЦИ-контейнера, что приводит к возникновению артефактов на СС (рис. 4). Как правило, это блоки, отвечающие фоновым областям ЦИ, перепад значений яркости пикселей в их пределах очень незначительный. Такие блоки не используются для погружения ДИ. Как показывает вычислительный эксперимент, количество таких блоков в пределах изображения невелико, и их игнорирование при СП не приводит к значимому снижению скрытой пропускной способности.

Замечание 2. Вычислительная сложность СА *SGN* определяется количеством блоков, получаемых при стандартном разбиении $m \times n$ -матрицы F контейнера: $O(mn)$, а в случае квадратной матрицы — $O(n^2)$.



а



б

Рис. 4. Пример нарушения надежности восприятия СС, формируемого стеганоалгоритмом *SGN*: а – ЦИ-контейнер (формат TIF); б – СС (формат TIF)

Заключение

В работе на основе установленной sign-нечувствительности к произвольным возмущающим воздействиям, в частности, к атаке сжатием СНВ блоков матрицы ЦИ, отвечающих максимальным СНЧ, разработан новый стеганографический алгоритм, эффективный в условиях сжатия со значительными коэффициентами, обеспечивающий надежность восприятия стеганосообщения. Среднее значение объема восстановленной информации разработанным СА при $Q = 2$ превысило 94%.

Недостатком разработанного алгоритма является малая скрытая пропускная способность канала связи, организуемого при помощи этого алгоритма: 1/64 бит/пиксель, над проблемой увеличения которой работает в настоящий момент автор.

Список литературы

1. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ : [монография] / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин, С.А. Сапожников. — М.: Вузовская книга, 2009. — 220 с.
2. Кобозева, А.А. Аналіз захищеності інформаційних систем / А.А. Кобозева, І.О. Мачалін, В.О. Хорошко. — К.: Вид. ДУІКТ, 2010. — 316 с.
3. Грибунин, В.Г. Цифровая стеганография [Текст] : монография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. — М.: СОЛОН-Пресс, 2002. — 272 с.
4. Конахович, Г.Ф. Компьютерная стеганография [Текст]: теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. — Киев : МК-Пресс, 2006. — 288 с.
5. Прохожев, Н.Н. Влияние внешних воздействий на ДС-коэффициент матрицы дискретно-косинусного преобразования в полутоновых изображениях / Н.Н. Прохожев, О.В. Михайличенко, А.Г. Коробейников // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. — 2008. — Вып. 56. — С. 57–62.
6. Шумейко, А.А. Использование квантования Ллойда-Макса для внедрения цифровых водяных знаков / А.А. Шумейко, А.И. Пасько, Т.Н. Тищенко // Інформаційна безпека. — 2010. — № 2(4). — С. 101–108.
7. Кобозева, А.А. Анализ информационной безопасности: монография / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко. — К.: ГУИКТ, 2009. — 251 с.
8. Кобозева, А.А. Нечувствительность стеганосообщения к сжатию и формальные достаточные условия ее обеспечения / А.А. Кобозева, М.А. Мельник // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. — 2012. — Вип. 38. — С. 193–203.
9. Гантмахер, Ф.Р. Теория матриц [Текст] : монография / Ф.Р. Гантмахер. — 5-е изд. — М.: Физматлит, 2004. — 559 с.
10. Кобозева, А.А. Векторная SIGN-чувствительность как основа геометрической модели системы защиты информации / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко // Захист інформації. — 2008. — Том 10, № 3(40). — С. 49–57.
11. Зорило, В.В. Анализ особенностей сингулярных чисел матриц цифровых изображений при разных степенях сжатия для выявления фотомонтажа / В.В. Зорило, А.А. Кобозева // Захист інформації. — 2010. — Том 12, № 3(48). — С. 34–41.

**SIGN-НЕЧУТЛИВІСТЬ СИНГУЛЯРНИХ ВЕКТОРІВ МАТРИЦІ ЗОБРАЖЕННЯ ЯК ОСНОВА
СТЕГАНОАЛГОРИТМУ, СТІЙКОГО ДО СТИСКУ**

М.О. Мельник

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: ritochek@yandex.ru

У роботі на основі sign-нечутливості, що забезпечує нечутливість сингулярних векторів стандартних блоків матриці цифрового зображення, що відповідають максимальним сингулярними числами, до довільних збурюючих дій, розроблений поліноміальний ступеня 2 стеганографічний алгоритм, стійкий до стиснення із значними коефіцієнтами. Наведено результати обчислювального експерименту, що підтверджують ефективність запропонованого алгоритму.

Ключові слова: сингулярний вектор, сингулярне число, sign-чутливість, збурююча дія, стиск, матриця

**SINGULAR VECTORS SIGN-INSENSITIVE AS BASIS TO DEVELOPMENT COMPRESSION-
STABLE STEGANOGRAPHIC ALGORITHM**

Margaret A. Melnik

Odessa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: ritochek@yandex.ru

The paper focuses on new steganographic algorithm development. Proposed algorithm is stable to compression, including high rate compression, and based on singular vectors insensitive of image matrix blocks which corresponding to maximal singular values. Algorithm is polynomial of degree 2. The results of numerical experiments confirm the efficiency of the proposed algorithm.

Keywords: singular vector, singular value, sign-sensitivity, disturbance, compression, matrix