



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СУБПОЛОСНОГО ВНЕДРЕНИЯ ДАННЫХ В ИЗОБРАЖЕНИЕ¹

Е.Г. ЖИЛЯКОВ
А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ
Е.В. БОЛГОВА
В.А. ГОЛОЩАПОВА

*Белгородский государственный
 национальный исследовательский
 университет*

e-mail:
zhilyakov@bsu.edu.ru

В работе выполнен анализ работоспособности метода субполосного внедрения изображений, а также показана эффективность его применения при внедрении одного или нескольких изображений.

Ключевые слова: стеганография, внедрение в изображения, субполосное внедрение, подобласть пространственных частот, искажение

Введение

В процессе обмена информацией между пользователями вычислительных средств зачастую возникает необходимость скрытия факта передачи сведений. Для решения данной задачи в настоящее время широко применяют различные методы стеганографии [1], которые используют для внедрения (скрытия) данных в изображениях-контейнерах путем выполнения преобразований в пространственной или частотной областях. Использование известных методов стеганографии в изображениях показывает [2], что большинство данных методов неустойчивы к внешним разрушающим воздействиям и не позволяют внедрить значительный объем данных.

В данной работе исследован метод субполосного внедрения данных в изображение, в котором реализованы новые подходы к решению указанных проблем. Основные положения метода субполосного внедрения данных в изображения состоят в следующем.

Изображение-контейнер представляется в виде матрицы $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$, яркости его пикселей. Скрытие данных, представленных в виде внедряемых изображений Y_i , $i = 1, 2, \dots, N_y$, осуществляется в различные подобласти пространственных частот (ППЧ) V_{sr} , $s = 1, 2, \dots, S$, $r = 1, 2, \dots, R$, [3] изображения-контейнера. Для отдельной подобласти V_{sr} пространственных частот вычисляются субполосные матрицы A_s и B_r [4]. Для данных матриц A_s и B_r рассчитываются матрицы $Q_{s,1}^A$ и $Q_{r,1}^B$, столбцы которых образованы их собственными векторами [5], соответствующими единичным собственным числам матриц A_s и B_r .

Внедрение и восстановление данных, содержащихся в изображениях Y_i , $i = 1, 2, \dots, N_y$, последовательно осуществляется в выбранные подобласти $V_{s_i r_i}$, $i = 1, 2, \dots, N_y$, на основании следующих соотношений

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}_0 &= \Phi, \quad i = 1, 2, \dots, N_y, \\ K_i &= K_{\text{общ}} \sqrt{\frac{\text{tr}(A_{s_i} \tilde{\Phi}_{i-1} B_{r_i} (\tilde{\Phi}_{i-1})^T)}{\text{tr}(Y_i Y_i^T)}}, \\ \tilde{\Phi}_i &= \tilde{\Phi}_{i-1} - A_{s_i} \tilde{\Phi}_{i-1} B_{r_i} + K_i Q_{s_i,1}^A Y_i (Q_{r_i,1}^B)^T, \end{aligned}$$

¹ Исследования выполнены при поддержке Государственного задания НИУ «БелГУ» на 2014 год (код проекта № 358)



$$\tilde{Y}_i = \frac{1}{K_i} (Q_{s_i,1}^A)^T \tilde{\Phi}_{N_Y} Q_{t_i,1}^B,$$

где $\tilde{\Phi}_i$ – изображение-контейнер, содержащее внедренные данные, tr – операция вычисления следа матрицы, \tilde{Y}_i – результат восстановления данных из отдельных ППЧ V_{s_i} , $K_{общ}$ – коэффициент, позволяющий изменять значения искажений при внедрении в различные ППЧ.

Работоспособность разработанного метода субполосного внедрения можно продемонстрировать с помощью следующих вычислительных экспериментов.

Вычислительные эксперименты по проверке работоспособности метода

При проведении вычислительных экспериментов область пространственных частот (ПЧ) была разбита на 4x4 подобласти (аналогично можно показано, что метод может быть эффективно применен при других разбиениях области ПЧ).

В качестве изображения-контейнера выбраны изображения размерностью 512x512 пикселей, представленные на рисунке 1, и характеризующиеся различным распределением их энергии по подобластям в области ПЧ [6]. На рисунке 2 при разбиении области ПЧ на 4x4 подобласти приведены матрицы, указывающие на наличие информационных и неинформационных [7] подобластей ПЧ анализируемых контейнеров в зависимости от распределения долей их энергии по ППЧ (элемент равен 1, если соответствующая подобласть ПЧ является информационной, 0 – в противном случае).



Рис. 1. Изображения-контейнеры:
а – Контейнер 1, б – Контейнер 2, в – Контейнер 3

1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
а		б		в							

Рис. 2. Информационные и неинформационные подобласти пространственных частот изображений-контейнеров

Для эксперимента по внедрению данных в одну подобласть ПЧ размерность внедряемых изображений 118x118 пикселей (рисунок 3) выбрана исходя из предварительных расчетов количества используемых единичных собственных чисел субполосных матриц, соответствующих разбиению области ПЧ на 4x4 подобласти для изображений размерностью 512x512. В качестве внедряемых изображений выбраны изображения, имеющие различное распределением энергии по подобластям в области ПЧ.

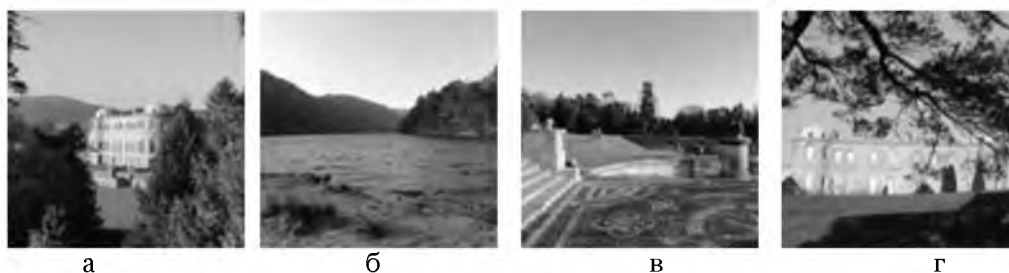


Рис. 3. Внедряемые изображения:

а – изображение И1, б – изображение И2, в – изображение И3, г – изображение И4

Внедрения поочередно были осуществлены в неинформационную подобласть ПЧ V_{sr} трех изображений-контейнеров, где $s=2$, $r=3$, при значении коэффициента $K_{общ}=0.1$. Выбор данной ППЧ обусловлен ее расположением в среднечастотной области.

Результаты скрытного субполосного внедрения в выбранной подобласти ПЧ приведены в таблице 1, в которой указаны соответствующие искажения (нормированные среднеквадратические отклонения, СКО) σ^k изображения-контейнера, содержащего внедренные данные, и искажение σ^g внедренных данных после их восстановления (извлечения) из контейнера.

Таблица 1

Результаты внедрения изображения в отдельную подобласть ПЧ V_{23}

Контейнер Изображение		Контейнер 1	Контейнер 2	Контейнер 3
И1	Искажение σ^k	6.892E-03	1.255E-02	2.279E-02
	Искажение σ^g	4.475E-04	5.013E-04	4.84E-04
И2	Искажение σ^k	6.892E-03	1.255E-02	2.278E-02
	Искажение σ^g	4.734E-04	5.199E-04	5.025E-04
И3	Искажение σ^k	6.890E-03	1.255E-02	2.277E-02
	Искажение σ^g	4.641E-04	5.152E-04	4.923E-04
И4	Искажение σ^k	6.892E-03	1.255E-02	2.279E-02
	Искажение σ^g	4.355E-04	4.939E-04	4.704E-04

Данные, приведенные в таблице 1, показывают, что при применении метода субполосного внедрения для скрытия отдельного изображения в области ПЧ искажения являются незначительными (изображение-контейнер с внедренными данными и восстановленное изображение практически не отличаются от исходных изображений на рисунках 1 и 3).

При проверке эффективности применения разработанного метода для одновременного скрытия нескольких фрагментов внедряемого изображения в различные ППЧ изображения-контейнера в качестве внедряемых использованы изображения размерности 236x236 пикселей, являющиеся увеличенной копией изображений, приведенных на рисунке 3, и которые при внедрении были представлены 4 фрагментами размерности 118x118 пикселей.

Внедрение четырех фрагментов каждого из изображений И1, И2, И3 и И4 было осуществлено в 4 неинформационные среднечастотные подобласти ПЧ с индексами (2,4), (3,3), (3,4) и (4,3) при постоянном значении $K_{общ}=0.1$. Значения искажений σ^k и σ^g , полученных соответственно при внедрении и восстановлении, приведены в таблице 2.



Таблица 2

**Результаты внедрения изображения по фрагментам
в заданные подобласти ПЧ V_{24} , V_{33} , V_{34} и V_{43}**

Изображение \ Контейнер		Контейнер 1	Контейнер 2	Контейнер 3
И1	Искажение σ^k	8.082E-03	1.405E-02	2.743E-02
	Искажение σ^g	1.334E-03	1.874E-03	1.433E-03
И2	Искажение σ^k	8.080E-03	1.404E-02	2.743E-02
	Искажение σ^g	1.367E-03	1.923E-03	1.463E-03
И3	Искажение σ^k	8.080E-03	1.404E-02	2.743E-02
	Искажение σ^g	1.190E-03	1.624E-03	1.248E-03
И4	Искажение σ^k	8.084E-03	1.404E-02	2.744E-02
	Искажение σ^g	9.817E-04	1.374E-03	1.049E-03

Результаты, приведенные в таблицах 1 и 2, демонстрируют высокую работоспособность разработанного метода субполосного внедрения изображения, поскольку полученные искажения изображений-контейнеров и восстановленных данных являются незначительными.

Вычислительные эксперименты по одновременному внедрению нескольких фрагментов изображений

Вычислительные эксперименты, приведенные далее, позволяют оценить результаты внедрения одного и того же изображения в отдельные ППЧ различных изображений-контейнеров и сформулировать рекомендации по выбору значений коэффициента $K_{общ}$. В ходе данных экспериментов были использованы изображения-контейнеры и внедряемые изображения, приведенные на рисунках 1 и 3 размерностью 512x512 и 118x118 пикселей соответственно.

При проведении указанных вычислительных экспериментов в каждом из выбранных контейнеров были использованы все неинформационные подобласти ПЧ (рисунок 2), в которые поочередно были внедрены и затем восстановлены каждое из внедряемых изображений И1, И2, И3 и И4 с использованием различных значений коэффициента $K_{общ} = \{0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1\}$. При этом были вычислены искажения (нормированные среднеквадратические отклонения, СКО) изображений-контейнеров, содержащих внедренные данные, и искажения восстановленных изображений.

В ходе проведения экспериментов всего было осуществлено 888 внедрений, по результатам которых были рассчитаны среднеарифметические значения стандартного отклонения и средних значений вычисленных СКО (таблицы 3 и 4), в которых использованы следующие обозначения:

$\bar{\sigma}_1^k$, $\bar{\sigma}_1^g$ – среднеарифметические значения стандартных отклонений искажений соответственно изображений-контейнеров и восстановленных изображений, которые были вычислены следующим образом:

- вычислить стандартное отклонение на основе четырех значений искажений, полученных при поочередном внедрении изображений И1, И2, И3 и И4 в отдельную выбранную подобласть ПЧ и заданном значении коэффициента $K_{общ}$;

- вычислить среднеарифметическое значения полученных на первом шаге стандартных отклонений для всех подобластей ПЧ выбранного изображения-контейнера при заданном значении коэффициента $K_{общ}$;



\bar{a}_1^k , \bar{a}_1^g – среднеарифметические значения средних значений искажений соответственно изображений-контейнеров и восстановленных изображений (шаги вычислений данных величин аналогичны представленным выше).

Таблица 3

Среднеарифметические значения стандартных отклонений искажений

Коэффициент $K_{общ}$		Контейнер 1	Контейнер 2	Контейнер 3
0.005	$\bar{\sigma}_1^k$	3,33E-04	3,57E-04	4,55E-04
	$\bar{\sigma}_1^g$	1,31E-05	1,56E-05	1,30E-05
0.01	$\bar{\sigma}_1^k$	6,67E-04	7,15E-04	9,10E-04
	$\bar{\sigma}_1^g$	1,17E-05	1,46E-05	1,01E-05
0.05	$\bar{\sigma}_1^k$	3,33E-03	3,57E-03	4,55E-03
	$\bar{\sigma}_1^g$	7,55E-06	1,16E-05	6,54E-06
0.1	$\bar{\sigma}_1^k$	6,67E-03	7,15E-03	9,10E-03
	$\bar{\sigma}_1^g$	7,30E-06	7,11E-06	5,99E-06
0.5	$\bar{\sigma}_1^k$	3,33E-02	3,57E-02	4,55E-02
	$\bar{\sigma}_1^g$	0	0	0
1	$\bar{\sigma}_1^k$	6,67E-02	7,15E-02	9,09E-02
	$\bar{\sigma}_1^g$	0	0	0

Данные, приведенные в таблице 3, показывают, что искажения изображения-контейнера и искажения восстановленных изображений практически не зависят от скрываемых данных – в ходе экспериментов были получены (таблица 3) незначительные величины стандартных отклонений $\bar{\sigma}_1^k$ и $\bar{\sigma}_1^g$ искажений при внедрении различных изображений И1, И2, И3 и И4 в различные подобласти ПЧ при заданном значении коэффициента $K_{общ}$. Изменение среднеарифметических значений стандартных отклонений искажений в зависимости от величины коэффициента $K_{общ}$ отображено на рисунке 4.

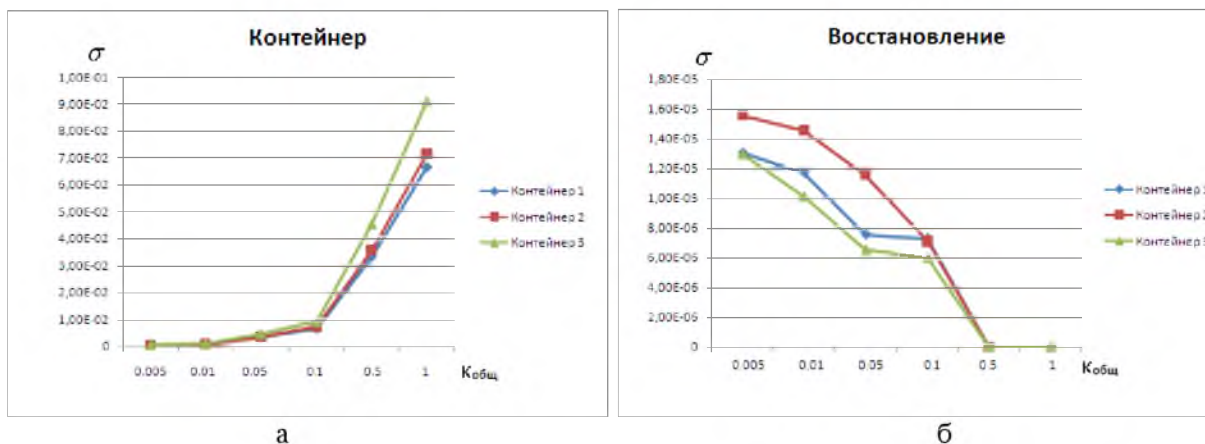


Рис. 4. Зависимость среднеарифметических значений стандартных отклонений искажений от величины коэффициента $K_{общ}$



В таблице 4 приведены результаты вычислений среднеарифметических значений средних величин вычисленных искажений изображений-контейнеров \bar{a}_1^k и внедренных изображений \bar{a}_1^g .

Таблица 4

Среднеарифметические значения искажений

Коэффициент $K_{общ}$		Контейнер 1	Контейнер 2	Контейнер 3
0.005	\bar{a}_1^k	1,025E-02	1,361E-02	1,711E-02
	\bar{a}_1^g	5,143E-03	6,274E-03	5,513E-03
0.01	\bar{a}_1^k	1,025E-02	1,361E-02	1,711E-02
	\bar{a}_1^g	2,583E-03	3,152E-03	2,771E-03
0.05	\bar{a}_1^k	1,027E-02	1,363E-02	1,713E-02
	\bar{a}_1^g	5,503E-04	6,635E-04	5,958E-04
0.1	\bar{a}_1^k	1,032E-02	1,369E-02	1,720E-02
	\bar{a}_1^g	2,333E-04	3,438E-04	2,835E-04
0.5	\bar{a}_1^k	1,197E-02	1,546E-02	1,938E-02
	\bar{a}_1^g	0	0	0
1	\bar{a}_1^k	1,605E-02	1,998E-02	2,496E-02
	\bar{a}_1^g	0	0	0

Данные, приведенные в таблице 4, показывают, что при применении метода субполосного внедрения искажения \bar{a}_1^k изображения-контейнера и искажения \bar{a}_1^g восстановленных изображений являются незначительными. Изменение среднеарифметических значений искажений в зависимости от величины коэффициента $K_{общ}$ отображено на рисунке 5.

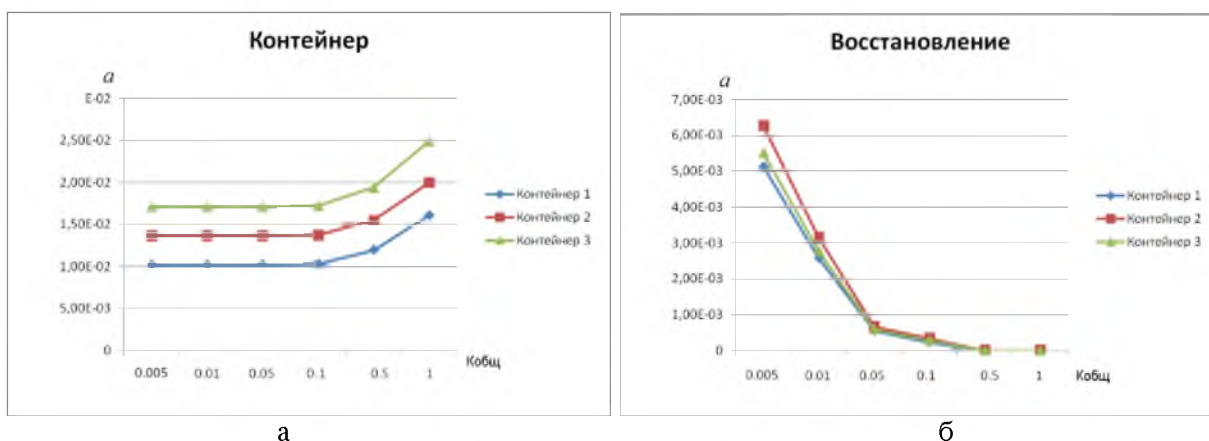


Рис. 5. Зависимость среднеарифметических значений искажений от величины коэффициента $K_{общ}$

Выводы

Результаты, приведенные в таблицах 3, 4 и на рисунках 4, 5, показывают высокую эффективность применения метода субполосного внедрения, обеспечивающего низкий



уровень искажений изображений-контейнеров и восстановленных изображений. Также приведенные данные позволяют сформулировать рекомендации по выбору величины коэффициента $K_{общ}$ – значения коэффициента $K_{общ}$ в интервале [0,1; 0,5] обеспечивают высокую степень восстановления данных при малых искажениях изображений-контейнеров.

Список литературы

1. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 265 с.
2. Конахович Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 288 с.
3. Черноморец, А.А. Метод разбиения частотных субинтервалов на классы в задачах частотного анализа изображений [Текст] / А.А. Черноморец // Информационные системы и технологии. – № 4 (66). – 2011. – С. 31-38.
4. Жилияков, Е.Г. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.Н. Заливин // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – № 2/52 (563) март-апрель. – 2009. – С. 12-22.
5. Черноморец А.А. О свойствах собственных векторов субполосных матриц / А.А. Черноморец, Е.И. Прохоренко, В.А. Голощапова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2009. – № 7 (62). – Вып. 10/1. – С. 122-128.
6. Черноморец, А.А. О частотной концентрации энергии изображений [Текст] / А.А. Черноморец, В.А. Голощапова, И.В. Лысенко, Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2011. – № 1 (96). – Вып. 17/1. – С. 146-151.
7. Жилияков Е.Г. Реализация алгоритма внедрения изображений на основе использования неинформационных частотных интервалов изображения-контейнера / Жилияков Е.Г., А.А. Черноморец, В.А. Голощапова // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2011. – Вып. 1. – С. 96-104.

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF SUBBAND EMBEDDING OF DATA IN THE IMAGE

E.G. ZHILYAKOV

A.A. CHERNOMORETS

E.V. BOLGOVA

V.A. GOLOSHCHAPOVA

*Belgorod State National
Research University*

e-mail:

zhilyakov@bsu.edu.ru

The analysis of operability of a method of subband embedding of images is given in this work, and also efficiency of its application is shown in case of embedding of one or several images

Keywords: steganography, image embedding, subband embedding, special frequency subarea, error