

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES**

УДК 004.932.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2026-11-2-0-1

**Кривчикова А.С.¹
Болгова Е.В.²
Черноморец А.А.²
Ядута А.З.²****МЕТОД СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО СКРЫТИЯ
ИНФОРМАЦИИ В ДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ ОБЛАСТЯХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОГО
ВСТРАИВАНИЯ**

¹) Общество с ограниченной ответственностью "СофтТраст",
ул. Королева, 2а, офис 2/207, г. Белгород, 308033, Россия

²) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: 1855159@bsuedu.ru, bolgova_e@bsuedu.ru, chernomorets@bsuedu.ru

Аннотация

Данная статья посвящена разработке метода стеганографического скрывания информации в детализированных областях изображений на основе псевдослучайного встраивания. Детализированные области изображений характеризуются значительным количеством мелких объектов. Информация, скрытно внедренная в такие области, является менее визуально заметной. Для поиска детализированных областей на полутоновом изображении в работе предложен алгоритм на основе пороговой обработки значений градиента, вычисленных с помощью оператора Собеля. Для внедрения информации в битовом виде в выбранные детализированные области исходного изображения в работе применен метод псевдослучайного встраивания. Для внедрения данных в цветные изображения разработанный метод применяется к выбранным цветовым компонентам. Для проверки работоспособности разработанного метода были проведены вычислительные эксперименты. Полученные изображения-контейнеры, содержащие данные, которые были внедрены на основании разработанного метода, визуально практически не отличались от исходных изображений. Извлеченные из изображений-контейнеров данные совпали с внедряемыми данными. Проведенные вычислительные эксперименты продемонстрировали высокую степень скрытности внедрения данных на основании разработанного метода, а также проиллюстрировали, что разработанный метод имеет преимущество в скрытности внедрения данных в выбранные исходные изображения по сравнению с анализируемыми известными методами.

Ключевые слова: стеганографическое скрывание; цифровые изображения; детализированные области; градиент; псевдослучайное встраивание; скрытность внедрения

Для цитирования: Кривчикова А.С., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Ядута А.З. Метод стеганографического скрывания информации в детализированных областях изображений на основе псевдослучайного встраивания // Научный результат. Информационные технологии. – Т.11, №2, 2026. – С. 4-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2026-11-2-0-1

**Krivchikova A.S.¹
Bolgova E.V.²
Chernomorets A.A.²
Yaduta A.Z.²****A METHOD OF INFORMATION STEGANOGRAPHIC HIDING
IN THE IMAGE DETAILED AREAS BASED
ON PSEUDORANDOM EMBEDDING**

¹) SofTrust Ltd, 2a Koroleva St., Office 2/207, Belgorod, 308033, Russia

²) Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: 1855159@bsuedu.ru, bolgova_e@bsuedu.ru, chernomorets@bsuedu.ru

Abstract

This article is devoted to the development of a method of the information steganographic hiding in the image detailed areas based on pseudorandom embedding. Detailed image areas are characterized by a significant number of small objects. Hiddenly embedded information in such areas is less visually noticeable. To search the detailed areas in a grayscale image, an algorithm based on threshold processing of gradient values calculated using the Sobel operator is proposed. The pseudorandom embedding method is used to embed information in bit form into selected detailed areas of the source image. To embed data in color images, the developed method is applied to selected color components. Computational experiments were conducted to verify the operability of the developed method. The resulting container images containing the data, which were embedded based on the developed method, visually practically did not differ from the original images. The data extracted from the container images matched the embedded data. The performed computational experiments demonstrated a high degree of secrecy of data embedding based on the developed method, and also illustrated that the developed method has an advantage in the secrecy of data embedding in selected source images compared to the analyzed known methods.

Keywords: steganographic hiding; digital images; detailed areas; gradient; pseudorandom embedding; embedding stealth

For citation: Krivchikova A.S., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Yaduta A.Z. A Method of Information Steganographic Hiding in the Image Detailed Areas Based on Pseudorandom Embedding // Research result. Information technologies. – Т.11, № 2, 2026. – P. 4-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2026-11-2-0-1

ВВЕДЕНИЕ

Одним из развивающихся в настоящее время направлений компьютерной обработки цифровых изображений является стеганографическое скрытие информации в изображениях с целью ее внедрения в изображения без видимых изменений для человеческого восприятия. Стеганографические методы применяются для защиты авторских прав на мультимедийные данные, для встраивания данных в медицинские снимки, а также в других областях деятельности человека [1-3].

В настоящее время существует значительное количество методов стеганографического скрытия информации в пространственной области цифровых изображениях: метод замены наименее значащего бита (LSB), метод псевдослучайного встраивания, метод замены цветовой палитры и др.. Широко применяется метод LSB, который заключается в замене младших бит двоичного представления значений пикселей изображения на значения бит внедряемой информации и позволяет скрытно внедрить большой объем данных. Метод псевдослучайного встраивания заключается в том, что генерируется псевдослучайная последовательность индексов пикселей, в которые планируется осуществить внедрение, затем в соответствии с данной последовательностью выполняется изменение наименее значащего бита пикселей на основании значений внедряемых бит данных. Известны, также другие методы стеганографического скрытия в пространственной и частотных областях изображения, однако, многие из них не учитывают структуру изображения-контейнера, что может вызывать его значительные искажения в результате внедрения информации [1-8].

Для повышения скрытности внедрения в работе предлагается метод, основанный на внедрении информации в детализированные области изображения на основе псевдослучайного встраивания. Под детализированными областями изображения обычно понимают его фрагменты, обладающих значительным количеством мелких объектов, небольших элементов и деталей других объектов, наличием выраженной текстурированной поверхности. Информация, скрытно внедренная в такие области, является менее визуально заметной, так как искажения, вносимые при встраивании информации, во многих случаях, практически не обнаруживаются на фоне исходной структуры изображения-контейнера. Внедрение данных в детализированные области позволяет снизить визуальные искажения изображения-контейнера [9-11].

В качестве детализированных областей выделяют фрагменты изображений, характеризующиеся наличием следующих элементов:

- текстурированные поверхности: листва деревьев, трава, песок, ткань и т.п.;
- границы объектов, сложные архитектурные элементы и т.п.;
- случайные шумы, определяющие зернистость фотографии, блики, сложные узоры и др.

ВЫДЕЛЕНИЕ ДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для поиска детализированных областей на полутоновом изображении в работе предлагается следующий алгоритм на основе вычисления градиента с помощью оператора Собеля (рисунок 1), что позволяет выбрать области изображений со значительным количеством границ на небольшом участке изображения [12, 13].

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

а

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

б

Рис. 1. Маски оператора Собеля:

а – в вертикальном направлении, б – в горизонтальном направлении

Fig. 1. The Sobel operator masks:

a – in the vertical direction, b – in the horizontal direction

1. Вести исходное изображение, размерности $N_1 \times N_2$ пикселей. Если изображение цветное, то преобразовать его в полутоновое изображение. Представить анализируемое изображение в виде матрицы I_0 , размерности $N_1 \times N_2$, значений яркости его пикселей.

2. Создать изображение I , в котором в двоичном представлении значения каждого пикселя изображения I_0 младшему биту присвоено значение 0.

3. Вычислить значения модуля вектора градиента в каждом пикселе изображения I , представить вычисленные значения в виде матрицы G :

3.1. Вычислить оценки частных производных в каждом пикселе изображения I в горизонтальном и вертикальном направлениях с помощью оператора Собеля; представить вычисленные значения оценок частных производных в виде матриц G_x и G_y ;

3.2. Вычислить модуль вектора градиента для каждого элемента матрицы G :

$$G(n_1, n_2) = \sqrt{G_x^2(n_1, n_2) + G_y^2(n_1, n_2)}, \quad n_1 = 1, 2, \dots, N_1, \quad n_2 = 1, 2, \dots, N_2.$$

4. Вычислить m_G среднее значение элементов матрицы G .

5. Разбить матрицу G на блоки $B_{k_1 k_2}$, $k_1 = 1, 2, \dots, K_1$, $k_2 = 1, 2, \dots, K_2$, размерности $M_1 \times M_2$ элементов (предлагаются следующие значения $M_1 = M_2 = 64$).

6. Задать начальное значение счетчика детализированных областей i_B :

$$i_B = 0.$$

7. Выполнить для каждого блока $B_{k_1 k_2}$, $k_1 = 1, 2, \dots, K_1$, $k_2 = 1, 2, \dots, K_2$, матрицы G следующие действия:

7.1. Вычислить $m_{k_1 k_2}$ среднее значение элементов блока $B_{k_1 k_2}$;

7.2. Вычислить $\sigma_{k_1 k_2}^2$ дисперсию элементов блока $B_{k_1 k_2}$;

7.3. Определить значение элементов строки с номером i_B матрицы D координат детализированных областей в зависимости от результатов сравнения полученных значений $m_{k_1 k_2}$ и $\sigma_{k_1 k_2}^2$ с вычисленным на шаге 4 значением m_G и пороговым значением T_σ , например, $T_\sigma = 100$:

если выполняется следующее условие:

$$m_{k_1 k_2} > m_G, \text{ и } \sigma_{k_1 k_2}^2 > T_\sigma,$$

ТО ВЫПОЛНИТЬ:

$$\begin{aligned} i_B &\Leftarrow i_B + 1, \\ D(i_B, 1) &= (k_1 - 1)M_1 + 1, \\ D(i_B, 2) &= (k_2 - 1)M_2 + 1. \end{aligned}$$

8. Конец.

В результате работы данного алгоритма формируется матрица D , размерности $i_B \times 2$, элементы которой содержат координаты детализированных областей исходного изображения I_0 .

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЕ СКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ В ДЕТАЛИЗИРОВАННЫХ ОБЛАСТЯХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОГО ВСТРАИВАНИЯ

Для внедрения информации в битовом виде в выбранные детализированные области исходного изображения в работе применяется метод псевдослучайного встраивания [1, 3]. Для этого перед скрыванием информации вычисляется псевдослучайная последовательность детализированных областей.

Непосредственно перед внедрением в выбранные детализированные области осуществляется вычисление количества бит V_{data} внедряемых данных и максимального объема V_{max} битовых данных, которые можно скрыть в исходном полутоновом изображении на основании разработанного метода:

$$V_{max} = \frac{M_1}{2} \frac{M_2}{2} i_B.$$

В случае если полученный максимальный объем V_{max} меньше объема V_{data} подготовленных данных для скрывания в изображении, то осуществляется «аварийное» завершение алгоритма.

В противном случае, выполняется преобразование внедряемых данных в бинарный вид, а также формируется псевдослучайная последовательность детализированных областей.

Непосредственно скрывание информации в каждой выбранной детализированной области из псевдослучайной последовательности происходит на основании метода замены наименее значащего бита (метод LSB) при обработке центральных пикселей детализированной области, индексы которых находятся в диапазонах $[M_1/4, 3M_1/4]$ и $[M_2/4, 3M_2/4]$ по каждой из координат соответственно.

Для извлечения информации выполняются действия, аналогичные описанным выше.

Следует отметить, что приведенный метод стеганографического скрывания информации в детализированных областях изображений может быть применен для внедрения в цветные изображения на основании скрытого внедрения в каждую из цветовых компонент изображения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Программная реализация разработанного метода стеганографического скрывания информации в детализированных областях изображений на основе псевдослучайного встраивания выполнена средствами языка Python [14, 15]. Основные окна графического пользовательского интерфейса разработанной программной реализации приведены на рисунке 2.

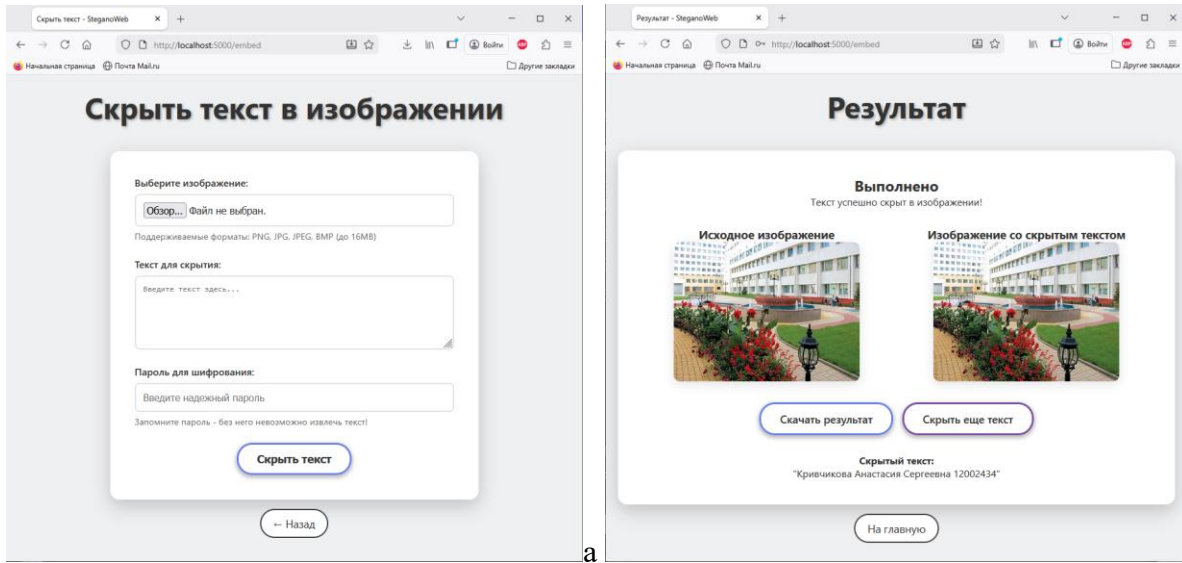


Рис. 2. Основные окна графического пользовательского интерфейса разработанной программной реализации: а – окно скрытного внедрения текста, б – окно отображения полученных результатов

Fig. 2. The graphical user interface main windows of the developed software implementation: a – a window for text hidden embedding, b – a window for the results displaying

Для проверки работоспособности разработанного метода стеганографического скрытия информации в детализированных областях изображений на основе псевдослучайного встраивания, а также сравнительного оценивания результатов внедрения, полученных на основании разработанного метода и известных методов: метод LSB, метод псевдослучайного встраивания и метод замены цветовой палитры, были проведены вычислительные эксперименты.

Для оценивания искажения изображения-контейнера K , содержащего внедренные данные, относительно исходного изображения I , размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, вычислены следующие показатели [16, 17]:

- пиковое отношение сигнала к шуму ($PSNR$):

$$PSNR = 10 \log_{10} (L^2 / MSE),$$

где L – наибольшее значение пикселей, $L=255$,

MSE – среднеквадратичная ошибка:

$$MSE = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} (I(i, j) - K(i, j))^2,$$

- индекс структурного сходства ($SSIM$), позволяющий учитывать структурные изменения информации с точки зрения человеческого восприятия:

$$SSIM = \frac{(2\mu_1\mu_2 + c_1)(2\sigma_{12} + c_2)}{(\mu_1^2 + \mu_2^2 + c_1)(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + c_2)},$$

где μ_1, μ_2 – средние значения яркости пикселей изображений I и K ;

σ_1^2, σ_2^2 – дисперсии значений яркости пикселей изображений I и K ;

σ_{12} – ковариация значений яркости пикселей изображений I и K ;

$$c_1 = (k_1 L)^2, \quad c_2 = (k_2 L)^2, \quad L = 255,$$

$$k_1 = 0,01, \quad k_2 = 0,03.$$

При проведении вычислительных экспериментов скрытное внедрение текстовой информации осуществлено в изображения, полученные из открытых источников интернет. Изображения И1, И2, И3, И4 и И5, в которые осуществлено скрытное внедрение приведены на рисунке 3.



Рис. 3. Исходные изображения
Fig. 3. Source images

Размерности изображений, приведенных на рисунке 3, имеют значения 500×375 , 850×567 , 476×260 , 396×259 и 400×288 пикселей соответственно.

При проведении вычислительных экспериментов на основании разработанного метода размер выделяемых детализированных областей выбран равным 64×64 пикселя, пороговое значение T_σ выбрано равным 100.

Для внедрения была подготовлена текстовая информация, объем которой в битовом представлении равен 27520 бит.

Для внедрения указанного объема данных на основании разработанного метода на исходных изображениях было выделено 9 детализированных областей.

Результаты выделения детализированных областей на основании разработанного метода на исходных изображениях (рисунок 3) приведены на рисунке 4.

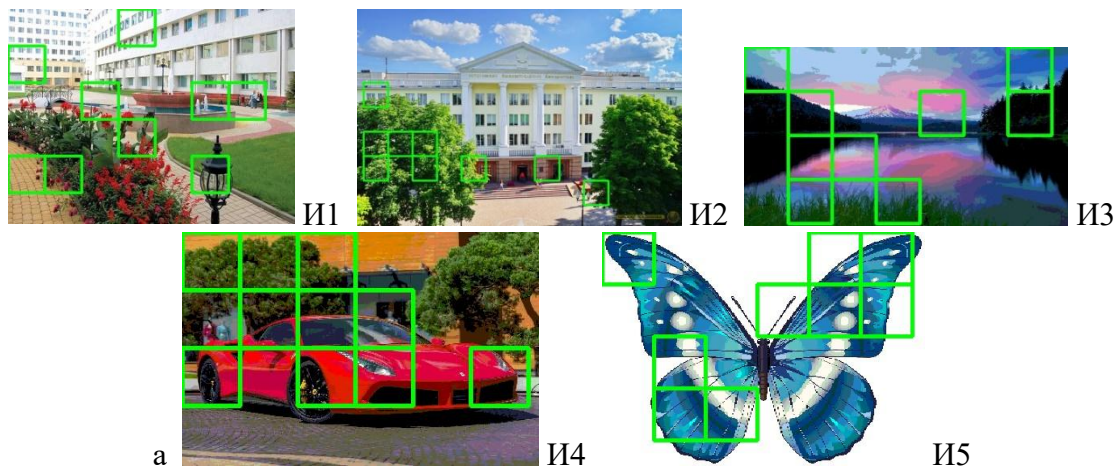


Рис. 4. Детализированные области, выделенные на основании разработанного метода
Fig. 4. Detailed areas selected based on the developed method

При проведении вычислительных экспериментов на основании разработанного метода скрытное внедрение данных, объемом 27520 бит, было осуществлено в выделенные детализированные области, приведенные на рисунке 4.

Отметим, что полученные изображения-контейнеры, содержащие данные, которые были внедрены на основании разработанного метода стеганографического скрытия информации в детализированных областях изображений на основе псевдослучайного встраивания, визуально

практически не отличались от исходных изображений. Извлеченные данные совпали с внедряемыми данными.

При проведении вычислительных экспериментов данные, объемом 27520 бит, также были внедрены в соответствующие исходные изображения на основании следующих известных методов скрытного внедрения: метод LSB, метод псевдослучайного встраивания, метод замены цветовой палитры.

Отметим, что в ходе вычислительных экспериментов при применении анализируемых методов извлеченные данные совпали с внедряемыми данными.

Результаты оценивания искажений изображения-контейнера, содержащего внедренные данные, относительно исходного изображения при скрытном внедрении данных на основании анализируемых методов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Оценивание искажений изображения-контейнера (пиковое отношение сигнала к шуму *PSNR*)

Table 1

The container image distortion estimation (peak signal-to-noise ratio *PSNR*)

Изображение	Метод LSB	Метод псевдослучайного встраивания	Метод замены цветовой палитры	Разработанный метод
И1	69,28	71,40	24,32	72,37
И2	71,42	72,55	29,98	74,49
И3	67,73	67,86	19,87	69,79
И4	67,00	67,96	21,24	69,03
И5	68,97	69,16	25,79	69,37

Таблица 2

Оценивание искажений изображения-контейнера (индекс структурного сходства *SSIM*)

Table 2

The container image distortion estimation (structural similarity index measure *SSIM*)

Изображение	Метод LSB	Метод псевдослучайного встраивания	Метод замены цветовой палитры	Разработанный метод
И1	0,99992	0,99994	0,84096	0,99996
И2	0,99994	0,99997	0,90924	0,99999
И3	0,9997	0,9996	0,7415	0,9999
И4	0,9998	0,9998	0,7313	0,9999
И5	0,9998	0,9997	0,908	0,9999

Данные, приведенные в таблицах 1 и 2, иллюстрируют, что разработанный метод стеганографического скрытия информации в детализированных областях изображений на основе псевдослучайного встраивания имеет преимущество по скрытности внедрения данных в выбранных исходных изображениях по сравнению с анализируемыми известными методами.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в данной статье разработан метод стеганографического скрытия информации в детализированных областях изображений на основе псевдослучайного встраивания. Детализированные области изображений характеризуются значительным количеством мелких объектов, небольших элементов и деталей других объектов, наличием выраженной

текстурированной поверхности. Информация, скрытно внедренная в такие области, является менее визуально заметной на фоне исходной структуры изображения-контейнера, тем самым, внедрение данных в детализированные области позволяет снизить визуальные искажения изображения-контейнера.

Для поиска детализированных областей на полутоновом изображении в работе предложен алгоритм на основе пороговой обработки значений градиента, вычисленных с помощью оператора Собеля.

Для внедрения информации в битовом виде в выбранные детализированные области исходного изображения в работе применен метод псевдослучайного встраивания. Перед скрыванием информации вычисляется псевдослучайная последовательность детализированных областей. Скывание информации в каждой детализированной области, выбранной из псевдослучайной последовательности, происходит на основании метода замены наименее значащего бита при обработке центральных пикселей детализированной области. Для внедрения данных в цветные изображения разработанный метод применяется к заданным цветовым компонентам.

Для проверки работоспособности разработанного метода были проведены вычислительные эксперименты. Полученные изображения-контейнеры, содержащие данные, которые были внедрены на основании разработанного метода, визуально практически не отличались от исходных изображений. Извлеченные из изображений-контейнеров данные совпали с внедряемыми данными. Для оценивания искажений изображений-контейнеров применены пиковое отношение сигнала к шуму и индекс структурного сходства, значения которых продемонстрировали высокую степень скрытности внедрения данных на основании разработанного метода. Были проведены сравнительные вычислительные эксперименты, которые проиллюстрировали, что разработанный метод имеет преимущество в скрытности внедрения данных в выбранные исходные изображения по сравнению с анализируемыми известными методами.

Список литературы

1. Шелухин О.И., Канаев С.Д. Стеганография. Алгоритмы и программная реализация. – М.: Горячая линия. Телеком, 2024. – 592 с.
2. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. – М.: Солон-пресс, 2016. – 262 с.
3. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – Киев: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
4. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Голощапова В.А. Реализация алгоритма внедрения изображений на основе использования неинформационных частотных интервалов изображения-контейнера // Вопросы радиоэлектроники. – 2011. – 4(1). – С. 96-104.
5. Болгова Е.В., Черноморец А.А. О методе субинтервального скрытного внедрения данных в изображения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45. – № 1. – С. 192-201.
6. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Голощапова В.А. О субполосном внедрении в цветные изображения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2015. – № 1(198). С. 158-162.
7. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Гахова Н.Н. Исследование устойчивости стеганографии в изображениях // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2014. – 1(172). – С. 168-174.
8. Кривчикова А.С., Черноморец А.А. О методах стеганографического скрывания информации в изображениях [Электронный ресурс]. – Электрон. журн. – Международный студенческий научный вестник, 2024. – №6. – URL: <https://eduherald.ru/article/view?id=21658> (дата обращения 14.02.2026).
9. Области визуальной детализации и области визуального покоя [Электронный ресурс]. – URL: <https://render.ru/ru/articles/post/11003> (дата обращения 22.12.2025).
10. Семенищев Е.А., Тазетдинова Д.И., Писарев А.В., Жук С.В., Тарасов Д.А. Разработка и исследование методов выделения высокодетализированных объектов на изображениях // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 374-377.

11. Торопов И.А., Семенищев Е.А., Раевская Л.Н., Толстова И.В. Исследование методов обнаружения объектов с высокой детализацией на изображении сцены // Информационные системы и технологии: управление и безопасность. – 2012. – № 1. – С. 267-273.
12. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
13. Muthukrishnan, R. Алгоритмы выделения контуров для сегментации изображений [Электронный ресурс] / R. Muthukrishnan, M. Radha. – URL: <https://masters.donntu.ru/2014/fknt/metelytsia/library/article11.htm> (дата обращения 22.12.2025).
14. Beazley D.M. Python Essential Reference. 4th Edition. Addison-Wesley Professional, 2009. – 717 с.
15. Фёдоров Д. Ю. Программирование на языке высокого уровня Python. – М.: Издательство Юрайт, 2022. – 210 с.
16. Al-Najar Y.A.Y., Soong D.C. Comparison of Image Quality Assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI. International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2008. – Vol. 3. – Iss. 8.
17. Шубников В.Г., Беляев С.Ю. Подавление шума и оценка различий в изображениях // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 3(174). – С. 58-66.

References

1. Sheloukhin O.I., Kanaev S.D. Steganography. Algorithms and Software Implementation. – Moscow: Goryachaya Liniya. Telecom, 2024. – 592 p.
2. Gribunov V.G., Okov I.N., Turintsev I.V. Digital Steganography. – Moscow: Solon-Press, 2016. – 262 p.
3. Konakhovich G.F., Puzyrenko A.Yu. Computer Steganography. Theory and Practice. – Kyiv: MK-Press, 2006. – 288 p.
4. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Goloshchapova V.A. Computer Implementation of the Image Embedding Algorithm Based on Non-Informative Frequency Intervals of Container Image // Voprosy Radioelektroniki. – 2011. – 4(1). – P. 96-104.
5. Bolgova E.V., Chernomorets A.A. On the method of subinterval data hidden embedding in images // Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. – 2018. – Vol. 45. – No. 1. – P. 192-201.
6. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Goloshchapova V.A. About subband embedding in colored images// Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. – 2015. – No. 1(198). – P. 158-162.
7. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Gakhova N.N. Investigation of the steganography stability in images // Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies. – 2014. – 1(172). – P. 168-174.
8. Krivchikova A.S., Chernomorets A.A. On methods of steganographic concealment of information in images [Electronic resource]. – Electronic journal – International student scientific bulletin, 2024. – No. 6. – URL: <https://eduherald.ru/article/view?id=21658> (date of access 02/14/2026).
9. Areas of visual detail and areas of visual rest [Electronic resource]. – URL: <https://render.ru/ru/articles/post/11003> (date of access 12/22/2025).
10. Semenischev E.A., Tazetdinova D.I., Pisarev A.V., Zhuk S.V., Tarasov D.A. Development and study of methods for identifying highly detailed objects in images // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2012. – No. 6. – P. 374-377.
11. Toropov I.A., Semenischev E.A., Raevskaya L.N., Tolstova I.V. Study of methods for detecting highly detailed objects in a scene image // Information Systems and Technologies: Management and Security. – 2012. – No. 1. – P. 267-273.
12. Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing. 3rd edition, corrected and supplemented. – Moscow: Tekhnosfera, 2012. – 1104 p.
13. Muthukrishnan, R. Contour Detection Algorithms for Image Segmentation [Electronic resource] / R. Muthukrishnan, M. Radha. – URL: <https://masters.donntu.ru/2014/fknt/metelytsia/library/article11.htm> (date of access 12/22/2025).
14. Beazley D.M. Python Essential Reference. 4th Edition. Addison-Wesley Professional, 2009. – 717 p.
15. Fedorov D. Yu. High-Level Programming in Python. – Moscow: Yurait Publishing House, 2022. – 210 p.
16. Al-Najar Y.A.Y., Soong D.C. Comparison of Image Quality Assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI. International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2008. – Vol. 3. – Iss. 8.

17. Shubnikov V.G., Belyaev S.Yu. Noise Reduction and Difference Assessment in Images // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnical University. Computer Science. Telecommunications. Management. – 2013. – No. 3(174). – P. 58-66.

Кривчикова Анастасия Сергеевна, старший инженер-программист, Общество с ограниченной ответственностью "СофтТраст", г. Белгород, Россия

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Ядута Анна Зауровна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Krivchikova Anastasia Sergeyevna, middle software engineer, SoftTrust Ltd, Belgorod, Russia

Bolgova Evgenia Vitalyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Chernomorets Andrey Alekseyevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Yaduta Anna Zaurvna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Modeling, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia