

## ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 004.932

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-3-31-37

Юдин Д.А.<sup>1</sup>  
Щепилова Д.В.<sup>2</sup>  
Дружкова И.В.<sup>2</sup>

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СКРЫТНОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ  
ИНФОРМАЦИИ КОДИРУЕМОЙ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
КОМПОНЕНТАХ МОНОХРОМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: yuddim@yandex.ru, shchepilova@bsu.edu.ru, 984546@bsu.edu.ru*

### Аннотация

В статье предлагается один из возможных подходов к скрытию информации в графических данных, использующий избыточность монохромной модели изображения. Внедрение строится на субполосном анализе энергии изображения и изменении компонент в адаптивно выбираемой пространственной области частот.

**Ключевые слова:** стеганография; изображение; субполосный анализ; идентификатор.

UDC 004.932

Yudin D.A.<sup>1</sup>  
Shchepilova D.V.<sup>2</sup>  
Druzhkova I.V.<sup>2</sup>

**DATA CONCEALING IN GRAYSCALE IMAGES  
SPATIAL DOMAIN**

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 46 Kostukova St., Belgorod, 308012, Russia

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: yuddim@yandex.ru, shchepilova@bsu.edu.ru, 984546@bsu.edu.ru*

### Abstract

In this article we are proposing one approach to concealing information in images. This approach uses the redundancy in grayscale image model to make up data vessels. To initiate this approach we are implementing subband analysis which allows us to determine power components and change them, constructing data vessels, in spectral domain with high fidelity.

**Keywords:** steganography; images; subband analysis; data vessels.

Задача надежной защиты информации от несанкционированного доступа является одной из самых актуальных и полностью не решенных [8-13].

Развитие глобальных компьютерных сетей и средств мультимедиа ведет к совершенствованию технологий, предназначенных для обеспечения безопасности передачи данных по каналам связи. Эти технологии, в частности, методы стеганографии, учитывая неточности устройств оцифровки, приводят к избыточности. Избыточность позволяет скрывать идентификаторы в структуре данных, используя неточности представления и восприятия. При этом, в отличие от криптографии, методы стеганографии позволяют скрыть сам факт передачи информации.

Большинство разработок направлено на использование контейнеров-изображений при стеганографическом кодировании [1, 8-13]. Это обусловлено рядом причин:

- естественность восприятия информации, кодовым представлением которой является изображение [3];
- многие изображения хранятся без потерь, иными словами без сжатия, что приводит к избыточности хранимых графических данных, которую можно использовать для кодирования;
- размер большинства изображений заранее известен и фиксирован, соответственно встраивание не должно его увеличить, так как факт будет обнаружен;
- в большинстве изображений присутствуют области, имеющих структуру, которую можно использовать для встраивания информации [6];
- система человеческого зрения слабо чувствительна к незначительным изменениям цветов изображения, яркости, контрастности, искажениям вблизи контуров и содержащих шум [6].

Все методы, предназначенные для сокрытия данных, можно разделить по принципам, лежащим в их основе, на форматные и неформатные. Форматные методы сокрытия (форматные стеганографические системы) – это такие методы (системы), которые основываются на особенностях формата хранения графических данных. Неформатные методы – это методы, использующие непосредственно сами данные, которыми изображение представлено в этом формате [5].

В данной статье описывается неформатный метод стеганографии: кодирование в субполосах изображения, где идентификатор побитно кодируется в структуре данных, внося изменения в ограниченную субполосу стегоконтейнера.

Стоит отметить, что предложенная схема кодирования отличается от [2] тем, что кодирование осуществляется не при помощи одного собственного вектора, а при помощи матрицы собственных векторов, выступающих как сигнально-кодовая конструкция (СКК).

В отличие от [7] заключается в том, что кодирование происходит в знаке, иными словами одному сегменту соответствует один бит информации, а не набор из чисел с плавающей точкой.

Большинство изображений не являются случайным процессом с равномерным распределением. Известно, что большая часть энергии и информации воспринимаемой человеком в изображении сосредоточена в ограниченной части пространственных частот. Поэтому и возможно проводить декомпозицию изображения на субполосы с целью определения полосы кодирования.

Вычисление энергетического спектра изображения позволяет получить представление о распределении его энергии по так называемым пространственным частотным интервалам [3]. Известно, что алгоритмы, использующие преобразование Фурье и БПФ, не позволяют вычислять точные значения энергетических характеристик в заданных частотных интервалах. Умение точно определять долю энергии изображения в отдельном частотном диапазоне обеспечивает возможность более сосредоточенного выбора параметров при осуществлении преобразований визуальной информации. Это и обеспечивает субполосный анализ и синтез [3].

Контейнер-изображение будет рассматриваться как массив данных разбитый на подблоки  $S$  размерностью  $M \times N$ . В работе используются квадратные подблоки  $8 \times 8$ , соответственно объем графических данных составит  $S = 64$  пикселей. В качестве элементов массива данных – пикселей

$F = \left\{ f_{i,k} \right\}, i, k = 1, 2, \dots, M$  выступают несжатые растровые данные полутонового изображения.

Частотное пространство предлагается неравномерно разбить на субинтервалы каждый подблок стегоконтейнера в соответствии с выражениями [4]:

$$(2R + 1)\Omega_0 = \pi, \quad (1)$$

где  $R$  – количество частотных интервалов;

$$R = \left\lfloor \frac{n-2}{4} \right\rfloor, \quad (2)$$

где  $\lfloor \cdot \rfloor$  – операция выделения целой части;

$\Omega_0$  – нулевой частотный интервал частотного пространства:

$$\Omega_0 = \frac{2\pi}{S}. \quad (3)$$

Ширина остальных частотных интервалов, не считая нулевого, является вдвое большей и равна [4]:

$$\Omega = \frac{4\pi}{S}. \quad (4)$$

Для вычисления энергетического спектра изображения используется субполосная матрица с элементами вида [2]:

$$a_{ik} = \begin{cases} \frac{\sin[\nu_2(i-k)] - \sin[\nu_1(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{\nu_2 - \nu_1}{\pi}, & i = k \end{cases}, i, k = 1, 2, \dots, M. \quad (5)$$

Поскольку, матрица является симметрической, то данные матрицы можно представить, используя ее собственные числа и собственные векторы, в следующем виде:

$$A = QLQ^T. \quad (6)$$

где  $Q$  – матрица собственных векторов;  $L$  – диагональная матрица

Стоит отметить, что использование соотношения (6) позволяет получить собственные числа близкие к единице. Так как в данной работе будут использоваться квадратные подблоки, то предлагается не использовать вторую субполосную матрицу. Так же известно [3, 7] Низкочастотная субполоса  $\Omega_0$  содержит большую часть энергии изображения и информативных компонент, следовательно, кодирование в ней нецелесообразно. Высокочастотные субполосы наиболее подвержены воздействию со стороны различных алгоритмов обработки, будь то сжатие или НЧ фильтрация. Таким образом, для вложения сообщения наиболее подходящими являются среднечастотные субполосы пространственных частот изображения [3]. Частотная субполоса  $\Omega_0$  в синтезе не используется [7], соответственно расчёт  $Q$  и  $L$  для него осуществлять нецелесообразно.

Так как проекций матриц собственных векторов несколько, выбирается та матрица, у которой среднее значение энергии. Далее стеганографическое кодирование будет производиться с помощью кодирования в знаки определенных коэффициентов матрицы  $\Phi$ , полученной по следующей формуле прямого преобразования:

$$\Phi = Q^T \cdot F \cdot Q, \quad \Phi\{\varphi_{i,k}\}, i = 1, 2, \dots, N, k = 1, 2, \dots, M, \quad (7)$$

где  $\Phi$  – матрица коэффициентов субполосного изображения

В каждый блок внедряется бит информации, используя следующий подход:

$$\tilde{\Phi} = e_m \cdot \Phi, \quad (8)$$

где  $e_m$  – кодовое отображение двоичного бита контрольной информации,  $e_m \in \{-1, 1\}$ , определяемое по формуле:

$$e_m = 2b_m - 1, b_m = 1, \dots, K \quad (9)$$

где  $b_m$  – бит информации в двоичной системе счисления,  $b_m \in \{0, 1\}$ ;  $K$  – количество внедряемых бит;  $S$  – объем скрытно кодируемой информации.

$$\tilde{F} = F - Q\Phi Q^T + Q\tilde{\Phi} Q^T \quad (10)$$

где  $\tilde{F}$  – синтезированное изображение

Для процесса декодирования вначале вычисляется двухмерный скаляр преобразование по формуле:

$$\alpha = \langle \tilde{F}, Q \rangle = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \tilde{f}_{i,k} q_{i,k}. \quad (11)$$

Декодирование происходит аналогичным образом, то есть поиском определенных коэффициентов и извлечением из них знака:

$$\tilde{e}_m = \text{sign}(\alpha), \quad (12)$$

где  $\tilde{e}_m$  – ортонормальный бит

Решение о декодированном сигнале принимается в соответствии с выражением:

$$\tilde{b}_m = \begin{cases} 0, & \tilde{e}_m < 0 \\ 1, & \tilde{e}_m > 0 \end{cases}. \quad (13)$$

Для оценки эффективности предоставленного алгоритма предлагается оценить его скрытность и стойкость.

Для оценки скрытности существует множество критериев, наиболее известными из них являются: критерий минимума квадрата среднеквадратичного отклонения (MSE), пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR), нормированная корреляция (NC).

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (\tilde{f}_{ik} - f_{ik})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N f_{ik}^2}}, \quad (14)$$

где  $f_{ik}$  – пиксель исходного изображения  $F = \{f_{ik}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$   $k = 1, 2, \dots, N$ ;  $\tilde{F}$  – преобразованное изображение.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE}, \quad (15)$$

где MAX – это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения. Когда пиксели имеют разрядность 8 бит, MAX = 255.

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N \tilde{f}_{ik} \cdot f_{ik}}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N f_{ik}^2}. \quad (16)$$

Для оценки скрытности было проведен вычислительный эксперимент, моделирующий кодирование информации в изображения входные данные для эксперимента, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

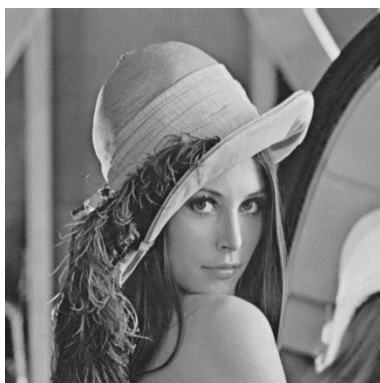
**Входные данные вычислительного эксперимента**

Table 1

**Coding parameters**

Параметры изображения	Значение	Параметры кодирования	Значение
Размер изображения	512x512	Размер подблока изображения	64x64
Формат изображения	TIFF	Количество бит, кодируемое в одном подблоке К	64
Глубина цвета	8 бит	Всего закодировано бит I	4096

При проведении эксперимента в изображения (рисунок) были закодированы последовательности бит, имеющие нормальный закон распределения.



а)



б)

Рис. Результат кодирования в монохромном изображении: а) тестовое изображение «Lena»; б) тестовое изображение «Cameraman»

Fig. Grayscale images with concealed id: a) test image “Lena”; b) test image “Cameraman”

С учетом функционального назначения стеганосистемы, вводятся следующие показатели эффективности для оценки ее стойкости:

Пропускная способность – отношение количества бит  $M$  встраиваемой в контейнер информации к общему объему  $V$  контейнера:

$$P = \frac{M}{V}. \quad (17)$$

Вероятность ошибочного извлечения информационных данных сообщения:

$$BER = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M b_m \oplus \tilde{b}_m. \quad (18)$$

В исследовании были использованы различные монохромные изображения, в которые было закодировано  $10^6$  бит. Результаты моделирования по каждому изображению были усреднены и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты оценки кодирования идентификаторов в монохромном изображении

Table 2

The results of assessment of stealth in a monochrome image

Изображение	Оценки				
	MSE	PSNR	NC	P	BER
№1	0.17838	55.61725	0.99999	0.015625	0.0000016
№2	0.14879	56.40483	0.99999	0.015625	0.0000012

Таким образом, кодирование в субполосах изображения позволяет осуществить встраивание идентификаторов и реализовать, таким образом, стеганографическую защиту информации.

Использование субполосных представлений, позволяет разрабатывать и совершенствовать стеганографические алгоритмы кодирования информации.

### Список литературы

1. Технология скрытного кодирования геоданных в снимках земной поверхности / Жилияков Е.Г., Лихолоб П.Г., Балабанова Т.Н., Лихогодина Е.С. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. № 2 (223). выпуск 37. – Белгород: ГиК, 2016. С. 182-189.
2. Лихолоб П.Г., Лихогодина Е.С., Щепилова Д.В. Исследование искажений, вызванных внедренной в изображение защитной информацией // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций Материалы 18-й Международной научно-технической конференции. 2015. С. 123-126.
3. Жилияков Е.Г., Веселых Н.К. Сжатие изображений на основе субполосного анализа/синтеза // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2014. №21-1 (192).

4. Жилияков Е. Г., Черноморец А.А., Лысенко И.В. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2007. – Вып. 4. – С. 115-123.
5. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – М.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
6. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. – М: Солон-Пресс, 2009. – 265 с.
7. О частотной концентрации энергии изображений / Черноморец А.А., Голощапова В.А., Лысенко И.В., Болгова Е.В. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2011. Т. 1. № 17-1. С. 103.
8. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. О стеганографии в мультимедийных данных // Материалы XV международной научно-методической конференции: «Информатика: проблемы, методология, технологии». 2015. С. 95-99.
9. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Голощапова В.А. О субполосном внедрении в цветные изображения // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 2015. Т. 33. № 1-1(198). С. 158-162.
10. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Гахова Н.Н. О субполосном внедрении информации в подобласти пространственных частот изображения-контейнера // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014. № 9. С. 85-87.
11. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. О субполосном скрытии информации в мультимедийных данных // Материалы XVI Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» / Под редакцией Тюкачева Н.А. 2016. С. 129-134.
12. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Павлов В.Ф. Об объеме внедряемых в изображения данных Информационные системы и технологии. 2015. № 2(88). С. 81-88.
13. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Голощапова В.А. Оценка эффективности субполосного внедрения данных в изображение Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2014. № 30-1. С. 200.

### Reference

1. Technology covert encoding of geodata in the images of the earth's surface / Zhilyakov E.G., Likhohob P.G., Balabanova T.N., Likhogodina E.S.//Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika. -Belgorod: GiK. № 2 (223). vypusk 37. 2016g. S. 182-189.
2. Likhohob P.G., Likhogodina E.S., Shchepilova D.V. Research of distortions caused by embedded security information. //Problemy peredachi i obrabotki informatsiy v setyakh i sistemakh telekommunikatsiy Materialy 18-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2015. S. 123-126.
3. Zhilyakov E.G., Veselykh N.K. Image compression based on subband analysis / synthesis / Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika. 2014. №21-1 (192).
4. Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A., Lysenko I.V. The method of determining the exact values of the energy shares of images in given frequency intervals // Voprosy radioelektroniki. Ser. RLT. – 2007. – Вып. 4. – С. 115-123.
5. Konakhovich GF, Puzyrenko A.Yu. Computer Steganography. Theory and practice. – Moscow: MK-Press, 2006. – 288 p.
6. Gribunin V.G., Okov I.N., Turintsev I.V. Digital steganography. – М.: Solon-Press, 2009. – 265 p.
7. About power concentration of images in spectral domain / Chernomoretz A.A., Goloshchapova V.A., Lysenko I.V., Bolgova E.V. // Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika. 2011. Т. 1. № 17-1. S. 103.
8. Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A., Bolgova E.V. About Steganography in Multimedia Data. Materials of the XV International Scientific and Methodical Conference: "Informatics: Problems, Methodology, Technologies". 2015. pp. 95-99.
9. Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A., Bolgova E.V., Goloshapova V.A. About subband introduction in color images // Scientific statements of BelSU. Ser. Economy. Computer science. 2015. Vol. 33. No. 1-1 (198). Pp. 158-162.
10. Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A., Bolgova E.V., Gakhova N.N. On the subband introduction of information in the subregion of spatial frequencies of the image-container, Neurocomputers: development, application. 2014. No. 9. P. 85-87.
11. Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A., Bolgova E.V. On the subband information concealment in multimedia data // Proceedings of the XVI International Scientific and Methodical Conference "Informatics: Problems, Methodology, Technologies". Edited by N. Tyukachev. 2016. P. 129-134.
12. Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A., Bolgova E.V., Pavlov V.F. On the amount of data to be introduced into images Information systems and technologies. 2015. № 2 (88). Pp. 81-88.
13. Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A., Bolgova E.V., Goloshapova V.A. Estimation of the efficiency of subband introduction of data into the image Scientific statements of BelSU. Ser. History. Political science. Economy. Computer science. 2014. No. 30-1. С 200.

**Юдин Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики  
**Щепилова Дина Васильевна**, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий  
**Дружкова Ирина Викторовна**, студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**Yudin Dmitriy Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Technical cybernetics department  
**Shchepilova Dina Vasilyevna**, postgraduate student, Department of information and telecommunication systems and technologies

**Druzhkova Irina Viktorovna**, student, Department of information and telecommunication systems and technologies