

ЗАЩИТА ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

Д. М. ЛИПНИЦКИЙ, канд. техн. наук, доц. В. С. САДОВ
(Белорусский государственный университет, Минск)

Предложены алгоритмы стеганографического встраивания и извлечения цифровых водяных знаков (ЦВЗ), встраиваемых в цифровой оригинал полиграфической продукции, с целью защиты авторских прав на нее. Встроенный ЦВЗ устойчив к искажениям, вносимым в изображения в процессе их печати и сканирования, и визуально незаметен. Стойкость алгоритма извлечения к геометрическим искажениям достигается за счет использования алгоритма восстановления исходной геометрии изображения путем сопоставления особых точек искаженной копии изображения-контейнера и изображения-оригинала. Приведены результаты тестирования стойкости алгоритма как к смоделированным искажениям канала печати и сканирования, так и к искажениям, вносимым в изображения при использовании реальных печатающего и сканирующего устройств. Также рассмотрено влияние процесса встраивания на качество изображения.

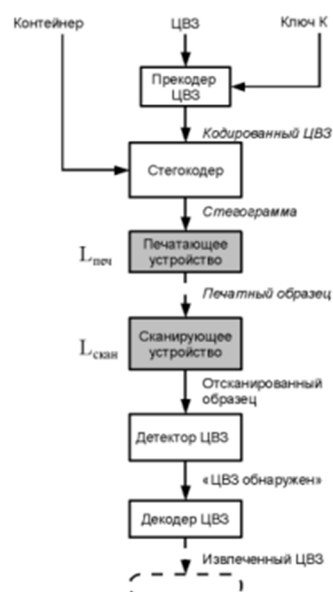
Ключевые слова: стеганографическое встраивание, полиграфическая продукция, цифровые водяные знаки, особые точки изображения.

Введение. На сегодняшний день изображения и фотографии широко используются во многих сферах нашей жизни как в цифровом виде, так и в виде полиграфической (печатной) продукции. С расширением сферы применения изображений и увеличением объемов их использования увеличивается и частота нарушений авторских прав. Авторское право на изображение, как и на любой продукт творческой деятельности человека, возникает сразу же после его создания. Одним из методов, используемых для защиты авторских прав, является применение цифровых водяных знаков [1]. ЦВЗ представляют собой невидимые метки, встраиваемые в цифровой сигнал и позволяющие однозначно идентифицировать автора. Встраивание ЦВЗ осуществляется методами стеганографии.

Алгоритмы встраивания ЦВЗ в большинстве случаев подразумевают встраивание их в сигналы (в нашем случае изображения), существующие исключительно в цифровой форме, однако не менее важной является задача защиты авторских прав на их напечатанные копии. Большинство алгоритмов стеганографического встраивания не учитывают возможные искажения, которым подвергаются изображения в процессе их печати и сканирования и которые приводят к невозможности извлечения встроенной информации.

Цель данной работы: проанализировать особенности процессов печати и сканирования изображений с выявлением основных типов искажений, которые при этом возникают, и предложить алгоритм встраивания и извлечения ЦВЗ, стойкий к выявленным типам искажений.

Обобщенная модель стеганосистемы. Рассмотрим модель стеганосистемы встраивания и извлечения ЦВЗ в полиграфическую продукцию в общем виде (рисунок 1) [1]. Система включает в себя стандартные блоки, характерные для систем встраивания и извлечения информации [2], а также дополнительные, включающие в себя печатающее и сканирующее устройства, которые образуют вместе канал печати-сканирования.



**Рисунок 1. – Обобщенная модель стеганосистемы
скрытного встраивания информации
в полиграфическую продукцию**

Процесс выглядит следующим образом: вначале ЦВЗ, представленное в виде последовательности бит, кодируется прекодером при помощи ключа K , затем закодированный ЦВЗ встраивается в цифровое изображение-контейнер. Цифровое изображение со встроенным ЦВЗ (стегограмма) используется для создания печатной копии в печатающем устройстве.

При необходимости извлечения ЦВЗ, печатный образец оцифровывается при помощи сканирующего устройства. В отсканированной копии далее осуществляется обнаружение и извлечение ЦВЗ при помощи соответственно детектора и декодера. Обнаруженный ЦВЗ, который однозначно идентифицирует автора, может быть использован для подтверждения его авторских прав.

Главными требованиями, которые предъявляются к системам встраивания и извлечения ЦВЗ, являются требования незаметности факта встраивания и стойкости к преднамеренным и случайным атакам на нее [1].

Искажения изображения при печати и сканировании. Процессы печати и сканирования изображения вносят в него определенные неизбежные искажения. Их можно разделить на два типа: искажения значений пикселей и геометрические искажения.

Искажения значений пикселей после прохождения канала печати-сканирования можно смоделировать совокупностью следующих преобразований [3]:

- сглаживанием гауссовым фильтром с параметром σ_s :

$$y_\sigma(n_1, n_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_s^2} \sum_{m_1=-3\sigma_s}^{3\sigma_s} \sum_{m_2=-3\sigma_s}^{3\sigma_s} x(n_1 - m_1, n_2 - m_2) \exp\left(-\frac{m_1^2 - m_2^2}{2\sigma_s^2}\right), \quad (1)$$

где $y_\sigma(n_1, n_2)$ – точка сглаженного изображения;

$x(n_1, n_2)$ – точка изображения до преобразования.

- наложением белого шума $\xi(n_1, n_2)$ с математическим ожиданием $M_\xi = 0$ и среднеквадратичным отклонением σ_ξ :

$$y_\xi(n_1, n_2) = y_\sigma(n_1, n_2) + \xi(n_1, n_2), \quad (2)$$

где $y_\xi(n_1, n_2)$ – точка зашумленного изображения.

Сглаживание может возникать по причине расплывания красок, растискивания, дробных коэффициентов изменения разрешения при печати. Шумы возникают вследствие наличия примесей в красках, неоднородности нанесения красок и самого распечатываемого материала, муара и шумов матрицы сканера.

Геометрические искажения заключаются в несоответствии положения точек исходного изображения и отсканированного, что приводит к невозможности извлечения ЦВЗ. Математически их можно описать совокупностью аффинных преобразований точек на плоскости [4]

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$ – вектор, описывающий положение исходной точки;

$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ 1 \end{bmatrix}$ – вектор, описывающий новое положение точки;

a_{ij} и t_i – коэффициенты матрицы преобразования.

К аффинным преобразованиям относятся поворот, сдвиг, масштабирование, скос и отражение.

Геометрические искажения характеризуются точностью нанесения растровых точек на распечатываемый материал, которая, в свою очередь, зависит от качества печатной формы (для офсетной технологии), качества самого материала, красок, точности печатного механизма, величины давления печатного механизма на бумагу, различных деформаций в механизме печати. Также подобные искажения вызываются неправильным позиционированием изображений при сканировании, несоответствием разрешений сканирования и печати, несовершенством механизма сканирования.

Описание алгоритма встраивания ЦВЗ. Предлагаемый алгоритм встраивания ЦВЗ основан на использовании особых точек для компенсации геометрических искажений и встраивании ЦВЗ в частотную область с применением метода расширения спектра.

Преимуществом использования особых точек для восстановления геометрии изображения является отсутствие необходимости встраивания дополнительной информации в контейнер, что уменьшает его искажения.

Непосредственно встраивание производится путем модификации среднечастотных коэффициентов поблочного дискретного косинусного преобразования (ДКП) синей компоненты изображения. Такой выбор обоснован возникновением искажений преимущественно в высокочастотной области [5], а также слабой восприимчивостью зрительной системы человека к изменениям синей компоненты изображения [6].

Метод расширения спектра придает устойчивость встраиваемой информации к шумам и позволяет распределить возникающие искажения по контейнеру.

В общем виде алгоритм предполагает выполнение следующих шагов:

- формирование ЦВЗ с использованием псевдослучайной последовательности;
- встраивание ЦВЗ в частотную область контейнера;
- компенсация геометрических искажений;
- извлечение ЦВЗ.

Формирование ЦВЗ. Исходный ЦВЗ представляется в виде последовательности бит B размера K . Генерируется M -последовательность длиной N бит с помощью генератора псевдослучайных последовательностей (ПСП).

На основе полученной ПСП длиной N генерируется новая последовательность W , где каждые k -е N чисел W_k , соответствующие одному биту ЦВЗ $B(k)$, вычисляются по формуле

$$W_k(i) = P(-1)^{B(k)} M(i), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где P – сила встраивания. Чем больше эта величина, тем выше стойкость к искажениям и заметность встраивания.

Встраивание ЦВЗ. Сначала из исходного изображения I размером $N_1 \times N_2$ выделяется синяя компонента I_b . Далее она разбивается на блоки размером 8×8 пикселей.

Каждый из полученных блоков изображения подвергается двумерному дискретному косинусному преобразованию в соответствии с формулой [7]

$$F(u, v) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} p(x, y) \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{2W}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)\pi v}{2H}\right), \quad (5)$$

где

$$C(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{W}}, & u = 0; \\ \frac{2}{\sqrt{W}}, & 1 \leq u \leq W - 1; \end{cases} \quad (6)$$

$$C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{H}}, & v = 0; \\ \frac{2}{\sqrt{H}}, & 1 \leq v \leq H - 1; \end{cases} \quad (7)$$

$p(x, y)$ – пиксель исходного изображения с координатами (x, y) ;

W – ширина окна;

H – высота окна.

В ходе ДКП получается набор матриц F коэффициентов размером 8×8 .

Далее, перед встраиванием сообщения в контейнер, осуществляется псевдослучайная перестановка блоков F с помощью генератора псевдослучайных чисел с начальным заполнением S_1 . Делается это с целью разнесения бит ЦВЗ по разным частям контейнера, что повышает устойчивость к локальным искажениям изображения.

Далее осуществляется аддитивное встраивание бит сформированной ранее последовательности W в среднечастотные коэффициенты блоков F_s (рисунок 2), при этом последовательность W также разбивается на блоки W_m , так, чтобы их количество равнялось N_s (количеству блоков изображения). Выбранные

коэффициенты каждого блока вытягиваются в зигзагообразной развертке $F_m(i)$ и аддитивно складываются с соответствующими отсчетами $W_m(i)$.

221	-11	19	1	19	-6	21	-37
-50	20	-2	-24	-37	3	-36	-9
7	7	23	14	-15	30	14	0
-3	0	-10	-20	-18	19	-4	19
12	-52	-9	22	17	15	-8	1
-7	7	23	-19	6	-1	8	1
8	6	-7	-2	-3	0	-15	0
-16	0	27	-5	3	2	-6	-9

Рисунок 2. – Среднечастотные коэффициенты ДКП

В результате получаем модифицированные блоки F' , которые подвергаются обратному ДКП в соответствии с формулой

$$p(x, y) = \sum_{u=0}^{W-1} \sum_{v=0}^{H-1} F(u, v)C(u)C(v) \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{2W}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)\pi v}{2H}\right). \quad (8)$$

Полученная модифицированная матрица I_B' совмещается с остальными компонентами изображения I_R и I_G , в результате чего получается заполненный контейнер I' .

Блок-схема алгоритма встраивания представлена на рисунке 3.

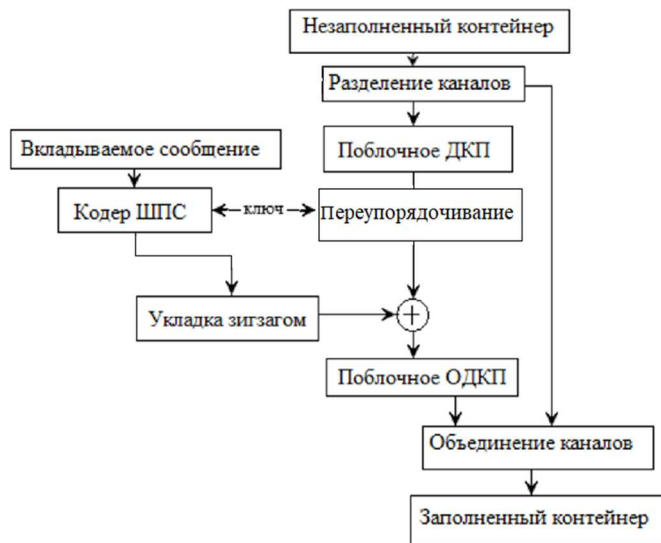


Рисунок 3. – Блок-схема процесса встраивания ЦВЗ

Компенсация геометрических искажений. После получения заполненного контейнера, перед извлечением ЦВЗ, происходит процесс компенсации геометрических искажений, путем отыскания обратного преобразования положения точек искаженного изображения относительно геометрии незаполненного оригинала в соответствии с правилом:

- поиск особых точек и их дескрипторов с применением алгоритма SIFT [8] в заполненном контейнере, полученном после прохождения канала печати-сканирования;
- сопоставление полученных особых точек с набором особых точек S_2 . В результате образуются пары соответствующих точек с максимально близкими дескрипторами;
- нахождение аффинного преобразования заполненного контейнера-изображения, которое позволяет скомпенсировать геометрические искажения, возникшие в процессе печати-сканирования.
- применение найденного преобразования для восстановления исходной геометрии изображения.

Данная процедура основана на использовании детекторов и дескрипторов особых точек изображения для сопоставления точек на оригинальном и заполненном контейнерах. Особой точкой является точка изображения, окрестность которой отличается от близлежащих точек по некоторой выбранной мере. Для описания

особой точки используют дескрипторы особых точек, которые позволяют находить соответствия между изображениями. Для этого детектору необходимо наличие оригинального изображения, вернее набора его особых точек. Таким образом, набор особых точек незаполненного контейнера вместе с дескрипторами можно выделить на этапе встраивания и использовать в качестве ключа S_2 при извлечении ЦВЗ.

Выбор данного подхода обоснован следующими преимуществами:

- при использовании детекторов особых точек нет необходимости встраивать в изображение-контейнер дополнительную информацию для нахождения обратного преобразования, что повышает пропускную способность алгоритма встраивания/извлечения ЦВЗ;

- стойкость алгоритмов детектирования особых точек при внесении искажений в контейнер;

- независимость данного подхода от используемого алгоритма встраивания и извлечения информации.

Блок-схема алгоритма компенсации геометрических искажений представлена на рисунке 4.

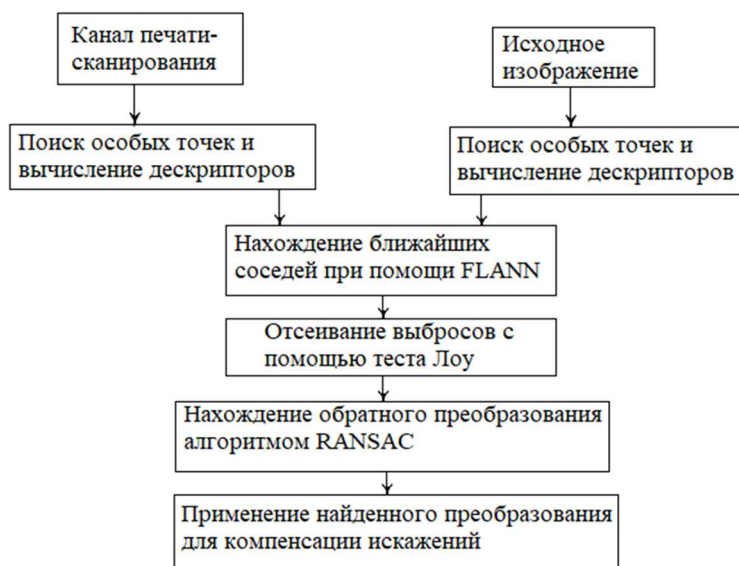


Рисунок 4. – Блок-схема алгоритма компенсации геометрических искажений

Сначала на оригинальном и отсканированном изображениях с помощью выбранного детектора и дескриптора осуществляется поиск особых точек и их описание.

Следующим шагом является нахождение соответствий между найденными особыми точками оригинального и искаженного изображений.

Для каждой особой точки оригинального изображения на отсканированной копии находится по два наиболее близких соответствия.

Для сопоставления особых точек применяется алгоритм поиска k ближайших соседей, основанный на использовании K -мерных деревьев [8] и реализованный в библиотеке FLANN.

Далее отбрасываются плохие соответствия при помощи теста Лоу [8], который заключается в проверке неравенства

$$dist(m) < \alpha \cdot dist(n), \tag{9}$$

где m – ближайшая точка;
 n – ближайшая точка после m ;
 α – некоторое значение от 0 до 1;
 $dist$ – рассчитанное расстояние.

Точка считается хорошей, если её дескриптор значительно более схож с дескриптором оригинальной точки, нежели дескрипторы всех остальных точек, что уменьшает вероятность случайного совпадения.

Далее происходит непосредственно компенсация геометрических искажений отсканированной копии. Для этого находится преобразование положения точек отсканированного изображения к положению точек оригинала вида (1). Для нахождения матрицы преобразования используется алгоритм RANSAC [9].

Алгоритм RANSAC работает следующим образом. По нескольким случайно выбранным парам точек строится гипотеза – преобразование, описывающее трансформацию отсканированного изображения к геометрическому положению оригинального изображения.

Оставшиеся пары точек проверяются на соответствие гипотезе путем вычисления ошибки оценки преобразования. Если ошибка превышает некоторый порог, то точки отсеиваются.

После получения достаточного количества точек, которые соответствуют гипотезе, процесс повторяется несколько раз для уточнения. После многократного случайного построения различных гипотез выбирается та, которой удовлетворяет наибольшее число пар особых точек.

Также после получения конечной модели происходит отсеивание соответствий с наибольшей ошибкой оценки преобразования.

Последним шагом является применение найденного преобразования к отсканированной копии изображения.

Извлечение ЦВЗ. Алгоритм извлечения начинается с выделения в полученном после компенсации геометрических искажений изображении I'' синей компоненты I_B'' . Далее I_B'' разбивается на блоки размером 8×8 пикселей. Каждый блок подвергается ДКП по формулам (5)–(7) и получается набор блоков того же размера F' .

Далее осуществляется перестановка блоков с помощью генератора ПСП с начальным значением S_1 . В итоге получаем набор блоков F_S' .

Из блоков F_S' в зигзагообразном порядке извлекаются среднечастотные коэффициенты в виде последовательности W_m' .

С помощью генератора ПСП и ключа S_1 генерируется последовательность M длиной N , которая используется для извлечения бит исходного сообщения B .

Извлечение осуществляется путем определения знака скалярного произведения блоков $W_m'(i)$ длиной N и последовательности M . Процесс извлечения можно описать выражением

$$\delta = \sum_{i=1}^N W'(i)M(i), \quad (10)$$

бит ЦВЗ определяется следующим образом:

$$B(i) = \begin{cases} 1, & \delta < 0; \\ 0, & \delta \geq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Блок-схема алгоритма извлечения представлена на рисунке 8.

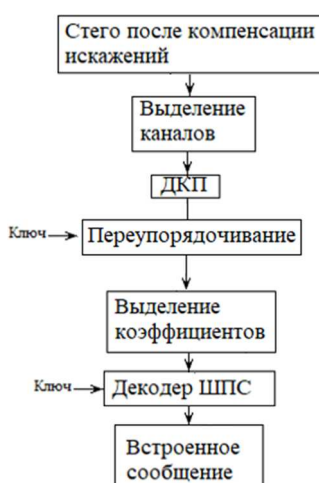


Рисунок 5. – Блок-схема алгоритма извлечения ЦВЗ

Результаты экспериментов. Для тестирования работы алгоритма была написана программа на языке программирования Python с применением библиотеки OpenCV для нахождения и описания особых точек изображений и библиотек *skimage* и *numpy* для преобразований изображений.

Сначала было проведено исследование стойкости встраивания к смоделированным искажениям. В качестве искажений выступили: масштабирование в 2,5 раза, поворот на 86° , сглаживание фильтром Гаусса с $\sigma = 7$ и наложение гауссова шума с $\sigma = 19$ и нулевым средним. Для тестирования было использовано цветное изображение размером 1024×768 пикселей, представленное на рисунке 6.

Рисунок 6. – Изображение для тестирования Koala



Тесты проводились при полном заполнении контейнера при различных параметрах силы встраивания P и длины ПСП N . В качестве оценки стойкости выступало отношение количества правильно принятых бит сообщения к длине сообщения в битах. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Точность извлечения при применении искажений

N	P					
	10	15	20	25	30	35
	Точность извлечения, %					
100	78	84	94	95	98	98
200	86	92	97	98	99	100
300	87	95	99	99	100	100
400	89	99	98	100	100	100
500	92	99	99	99	100	100
600	95	99	100	100	100	100
700	94	98	100	100	100	100
800	97	100	99	100	100	100
900	98	99	99	100	100	100
1000	99	100	100	100	100	100
1100	99	100	100	100	100	100
1200	98	100	100	100	100	100

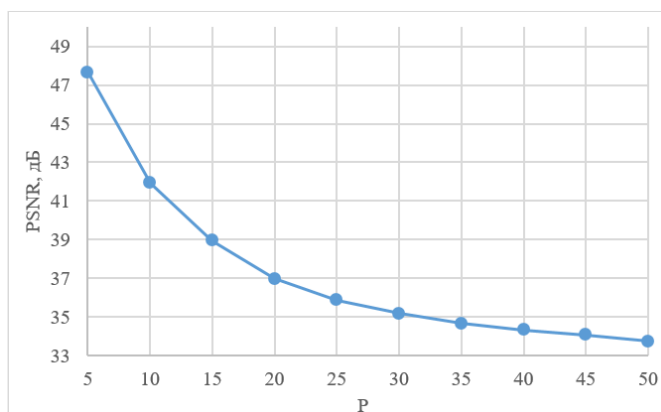
Для оценки искажения контейнера при встраивании в него информации было использовано пиковое отношение сигнала к шуму ($PSNR$) [1]:

$$PSNR = 10 \cdot \lg \left(\frac{N \max(I)^2}{\sum_{x=1}^N (I - I')^2} \right), \tag{12}$$

где N – количество пикселей изображения;
 I – пиксели незаполненного контейнера;
 I' – пиксели заполненного контейнера.

На искажение изображения влияет параметр силы встраивания P , соответственно, тестирование производилось измерением $PSNR$ при различных значениях этого параметра. Результаты показаны на графике (рисунок 7).

Рисунок 7. – Зависимость $PSNR$ от силы встраивания P



Встраивание остается визуально незаметным при силе $P = 20$, при дальнейшем увеличении параметра P возникает шум синего цвета, заметный на темных и однородных участках изображения (рисунок 8).



$a - P = 20$ (PSNR = 36,9); $b - P = 30$ (PSNR = 34,6)

Рисунок 8. – Визуальное сравнение искажений при встраивании

Незаметность можно улучшить путем уменьшения силы встраивания P . Уменьшение стойкости при этом не так важно, так как её можно компенсировать увеличением длины N ПСП, пожертвовав при этом объемом встраиваемой информации.

Последний эксперимент состоял в тестировании устойчивости алгоритма встраивания и извлечения к искажениям реальной системы «принтер – сканер». В качестве принтера и сканера использовалось МФУ Konica Minolta bizhub 364e с разрешением печати 1200 dpi и сканирования 600 dpi. На основе результатов предыдущих экспериментов для проведения тестирования была выбрана сила встраивания $P = 20$ как максимальная из минимально заметных и длина псевдослучайной последовательности $N = 500$. Каждый из используемых контейнеров был заполнен максимальным количеством встраиваемых бит, которые возможно встроить при заданных параметрах данным алгоритмом (таблица 2).

Таблица 2. – Количество встраиваемых бит в каждое изображение

Название	Разрешение	Количество бит
Napoleon	1200 × 800	660
Lena	512 × 512	180
Koala	1024 × 768	540
Desert	1024 × 768	540
MilkyWay	650 × 478	212

Из всех пяти изображений удалось корректно извлечь все встроенные биты информации.

Заключение. В статье предложен алгоритм стеганографического встраивания цифровых водяных знаков в полиграфическую продукцию. Представлены результаты исследования стойкости данного алгоритма к искажениям процессов печати и сканирования изображения как смоделированным в компьютерной среде, так и к реальным, при визуальной незаметности встраивания. При необходимости возможно варьирование параметров алгоритма для достижения возможности встраивания большего объема информации либо увеличения стойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митекин В. А., Сергеев А. В., Федосеев В. А. и др. Модели стеганографической системы и обобщенного алгоритма встраивания ЦВЗ в полиграфические изделия // Компьютерная оптика. – 2007. – Т. 31, № 4. – С. 95–100.
2. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография: учеб. пособие. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 264 с.
3. Глузов Н. И., Митекин В. А., Сергеев А. В. и др. Алгоритм извлечения скрытой информации из отсканированных полиграфических изделий // Вестник СГАУ. – 2008. – № 2 (15). – С. 216–220.
4. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2000. – 168.
5. Lin C.-Y., Chang S.-F. Distortion modeling and invariant extraction for digital image print-and-scan process // International Symposium on Multimedia Information Processing (ISMIP 99). – Taipei, Taiwan, Dec. 1999. – URL: <https://www.ee.columbia.edu/ln/dymm/publications/99/cylin-modelscan.pdf>.
6. Шиффман Х. Р. Ощущение и восприятие. – Изд. 5-е. – СПб.: Питер. 2003. – 928 с.

7. Loeffler C., Ligtenberg A., Moschytz G. Practical Fast 1-D DCT Algorithms with 11 Multiplications // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1989. – Vol. 2. – Glasgow, UK. – P. 988–991. – DOI: [10.1109/icassp.1989.266596](https://doi.org/10.1109/icassp.1989.266596).
8. Lowe D. G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60. – P. 91–110. – DOI: [10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94](https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94).
9. Fischler M. A., Bolles R. C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Communications of the ACM. – 1981. – Vol. 24, iss. 6. – P. 381–395. – DOI: [10.1145/358669.358692](https://doi.org/10.1145/358669.358692).

REFERENCES

1. Mitekin, V. A., Sergeev, A. V., Fedoseev, V. A., & Bogomolov, D. M. (2007). Modeli steganograficheskoj sistemy i obobshhennogo algoritma vstraivaniya CVZ v poligraficheskie izdelija [Steganography system model and the generalized algorithm embedding a digital watermark in printing products]. *Komp'yuternaja optika [Computer optics]*, 31(4), 95–100. (In Russ.).
2. Gribunin, V. G., Okov, I. N., & Turincev, I. V. (2009). *Cifrovaja steganografija [Digital steganography]*. Moscow: Solon-Press. (In Russ.).
3. Glumov, N. I., Mitekin, V. A., Sergeev, A. V., & Fedoseev, V. A. (2008). Algoritm izvlechenija skrytoj informacii iz otskanirovannyh poligraficheskikh izdelij [An algorithm for extracting invisible information from scanned polygraphic products]. *Vestnik SGAU [Herald of Samara State Aerospace University]*, 2(15), 216–220. (In Russ.).
4. Gruzman, I. S., Kirichuk, V. S., Kosyh, V. P., Peretjagin, G. I., & Spektor, A. A. (2000). *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij v informacionnyh sistemah [Digital image processing in information systems]*. Novosibirsk: NGTU (In Russ.).
5. Lin, C. Y., & Chang, S. F. (1999). Distortion modeling and invariant extraction for digital image print-and-scan process. Taipei. In *International Symposium on Multimedia Information Processing*. URL: <https://www.ee.columbia.edu/ln/dvmm/publications/99/cylin-modelscan.pdf>.
6. Shiffman H. R. (2003). *Oshhushhenie i vosprijatie [Sensation and perception]*. St.-Petersburg: Piter. (In Russ.).
7. Loeffler, C., Ligtenberg, A., & Moschytz, G. (1989). Practical Fast 1-D DCT Algorithms with 11 Multiplications. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, (2), 988–991. IEEE. DOI: [10.1109/icassp.1989.266596](https://doi.org/10.1109/icassp.1989.266596).
8. Lowe, G. D. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, (60), 91–110. DOI: [10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94](https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94).
9. Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24(6), 381–395. DOI: [10.1145/358669.358692](https://doi.org/10.1145/358669.358692).

Поступила 25.10.2023

PROTECTION OF POLIGRAPHIC PRODUCTS USING DIGITAL WATERMARKS

D. LIPNITSKI, V. SADOV
(Belarusian State University, Minsk)

The article proposes algorithms for steganographic embedding and extraction of digital watermarks (DWM) embedded in the digital original of printed products in order to protect copyrights to them. The built-in digital image is resistant to distortions introduced into images during printing and scanning and is not visually noticeable. The resistance of the extraction algorithm to geometric distortions is achieved through the use of an algorithm for restoring the original geometry of the image by comparing the special points of the distorted copy of the container image and the original image. The results of testing the robustness of the algorithm both to simulated distortions of the printing and scanning channel, and to distortions introduced into images when using real printing and scanning devices are presented. The impact of the embedding process on image quality is also considered.

Keywords: steganographic embedding, poligraphic products, digital watermarks, image feature points.