



Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2017, Том 8, № 4, С. 145 – 149

Свидетельство  
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010  
[http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/  
ejournal@pnu.edu.ru](http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru)

УДК 681.323(075)

© 2017 г. Г. И. Бахрушина, канд. физ.-мат. наук,  
В. О. Спиридонов

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

А. П. Бахрушин, канд. техн. наук

(Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема, Биробиджан)

## РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЦИФРОВОГО МАРКИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, УСТОЙЧИВОГО К JPEG -СЖАТИЮ, НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА КОХА-ЖАО

В данной статье предлагается алгоритм цифрового маркирования изображений, являющийся модификацией хорошо известного алгоритма Коха-Жао. Разработана программа на алгоритмическом языке C++, реализующая данный алгоритм. Проведено исследование алгоритма на устойчивость к ряду наиболее распространенных атак, которым может подвергаться изображение в процессе передачи, в частности, большое внимание уделено устойчивости алгоритма по отношению к такой атаке как JPEG сжатие.

**Ключевые слова:** цифровое маркирование изображений, цифровой водяной знак (ЦВЗ), дискретное косинусное преобразование (ДКП), обратное дискретное косинусное преобразование, JPEG сжатие, пиковое отношение сигнала к шуму, коэффициент корреляции Пирсона.

## G. I. Bahrushina, V. O. Spiridonov, A. P. Bahrushin DEVELOPMENT AND CODE REALIZATION OF DIGITAL IMAGE WATERMARKING METHOD, ROBUSTING TO JPEG COMPRESSION, BASED ON KOCH-ZHAO ALGORITHM

The algorithm of the digital image watermarking, that is modification of well-known algorithm of Koch E., Zhao J., is offered in this work. The program is worked out in algorithmic language C++, realizing this algorithm. The algorithm has been tested on robustness against a row of the most widespread attacks which may occur in the process of image transmission and, in particular, large attention was devoted to stability of algorithm in relation to such attack as JPEG compression.

**Keywords:** digital image watermarking, digital watermark, Discrete Cosine Transform (DCT), Inverse Discrete Cosine Transform (IDCT), JPEG compression, Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Normalized Correlation Coefficient (NC)

## Введение

В течение нескольких последних десятилетий, в связи с бурным развитием информационных технологий и компьютерных сетей, особенно остро встала проблема защиты информации. Исследователи из разных стран все больше внимания уделяют разработке более эффективных методов цифрового маркирования, используемых, в частности, для защиты изображений.

В данной работе предлагается алгоритм цифрового маркирования, который является модификацией известного алгоритма Коха-Жао.

Цифровой водяной знак (ЦВЗ) в предлагаемом алгоритме внедряется, в отличие от алгоритма Коха-Жао [1, 2], не во всю спектральную область, полученную после разбиения исходного изображения на блоки и выполнения дискретного косинусного преобразования (ДКП) каждого блока, а в наиболее однородную ее часть, и не в среднечастотные коэффициенты блоков ДКП, а в низкочастотные.

## Внедрение ЦВЗ

Пусть имеется исходное полутоновое изображение размера  $N \times N$ , где  $N$  является степенью двойки, и бинарное изображение ЦВЗ размера  $(N/16) \times (N/16)$ .

Для внедрения ЦВЗ необходимо выполнить следующие шаги.

1. Исходное изображение сканируется окном размера  $(N/2) \times (N/2)$  с заданным шагом  $h$ . Для каждого положения окна вычисляются математическое ожидание и дисперсия яркостей пикселей изображения. Выбирается область с наименьшей дисперсией (наиболее однородная область), фиксируются координаты ее верхнего левого угла –  $(i, j)$ .

2. Найденная область разбивается на блоки размера  $8 \times 8$ , и каждый блок подвергается ДКП.

3. Изображение ЦВЗ преобразуется в одномерный массив бит из нулей и единиц. Размер этого массива совпадает с числом блоков ДКП выделенной однородной области.

4. После перехода в частотную область в цикле обрабатываем все блоки, внедряя в каждый из них ровно один бит ЦВЗ.

5. Для каждого блока выполняется обратное ДКП. В результате получаем маркированное изображение – изображение с внедренным ЦВЗ.

6. Определяем качество внедрения ЦВЗ (незаметность) с помощью PSNR – отношения пикового значения сигнала к шуму.

Рассмотрим более подробно процесс внедрения одного бита ЦВЗ в отдельный блок ДКП.

В блоке выбираются два низкочастотных коэффициента  $I_1$  и  $I_2$  (см. рис. 1). Для внедрения нуля необходимо выполнение условия

$$|I_1| - |I_2| > P,$$

где  $P$  – задаваемый коэффициент силы встраивания.

Если это условие не выполняется, то два коэффициента модифицируем так, чтобы оно выполнялось – увеличиваем модуль первого коэффициента и уменьшаем модуль второго. Для внедрения единицы необходимо, чтобы выполнялось условие

$$|I_1| - |I_2| < -P.$$

Если данное условие не выполняется, то, наоборот, модуль первого коэффициента уменьшаем, а модуль второго увеличиваем, пока условие не будет выполнено.

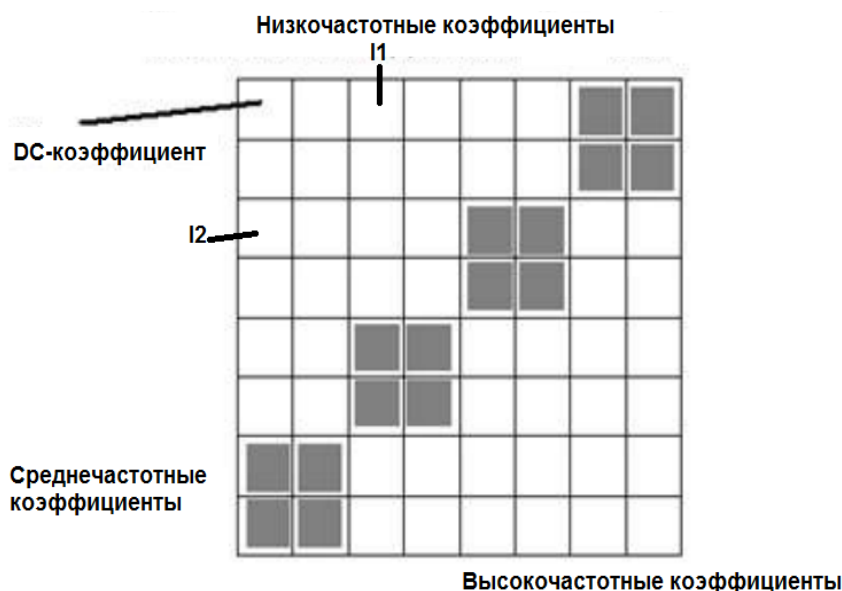


Рис.1. Выбор двух низкочастотных компонент

Если это условие не выполняется, то два коэффициента модифицируем так, чтобы оно выполнялось – увеличиваем модуль первого коэффициента и уменьшаем модуль второго.

Для внедрения единицы необходимо, чтобы выполнялось условие

$$|I1| - |I2| < -P.$$

Если данное условие не выполняется, то, наоборот, модуль первого коэффициента уменьшаем, а модуль второго увеличиваем, пока условие не будет выполнено.

## Извлечение ЦВЗ

Для извлечения ЦВЗ необходимо выполнить следующие шаги.

1. Нахождение на маркированном изображении области внедрения ЦВЗ по ранее зафиксированным координатам левого верхнего угла области (i, j).
2. Разбиение области на блоки размера 8×8.
3. Применение ДКП к каждому блоку.
4. Извлечение одного бита ЦВЗ из каждого блока.
5. Преобразование последовательности извлеченных битов в изображение ЦВЗ.
6. Вычисление коэффициента корреляции Пирсона NC, характеризующего качество извлечения ЦВЗ (соответствие извлеченного ЦВЗ внедренному).

Рассмотрим более подробно процесс извлечения одного бита ЦВЗ из отдельного блока. В каждом отдельном блоке выбираются два низкочастотных коэффициента в тех же позициях, что и при внедрении, и происходит проверка условия

$$|I1'| > |I2'|,$$

где  $I1'$  и  $I2'$  – модифицированные значения коэффициентов.

Если оно выполняется, то в этот блок был внедрен ноль, если нет – была внедрена единица.

## Программная реализация алгоритма

Язык реализации - C++.

Среда разработки: visualstudio .

Использованные библиотеки: stbimage, easybmp, Winform.

Программа может работать в двух режимах – с атаками и без атак.

Скриншот работы программы в режиме без атак при значении усиливающего коэффициента  $P=15$  представлен на рис.2.

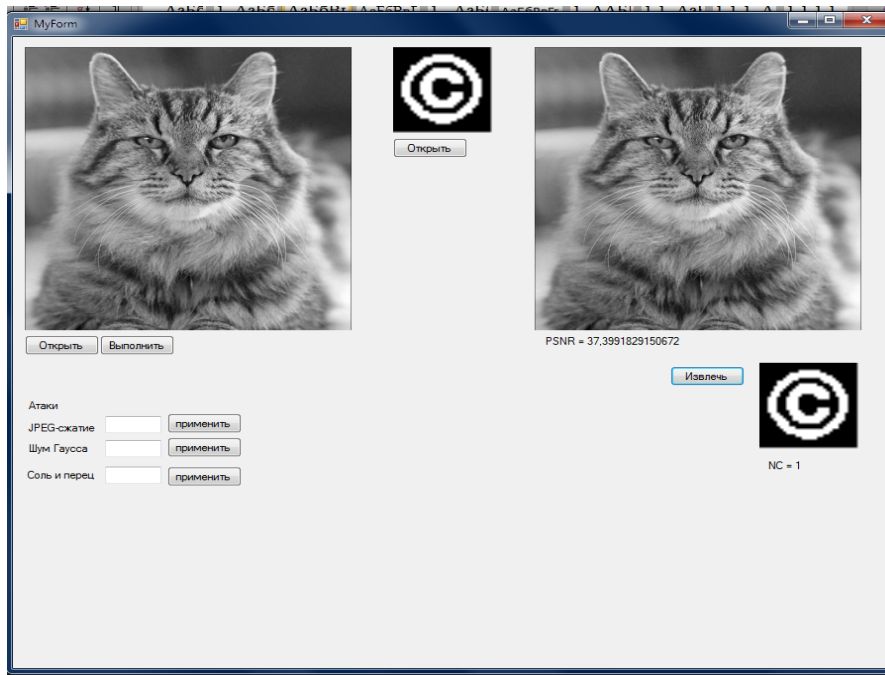


Рис.2. Скриншот работы программы в режиме без атак ( $P=15$ )

На рис.3 представлен скриншот работы программы с атакой JPEG-сжатие при коэффициенте качества  $Q=20$  (чем меньше  $Q$ , тем сильнее сжатие).

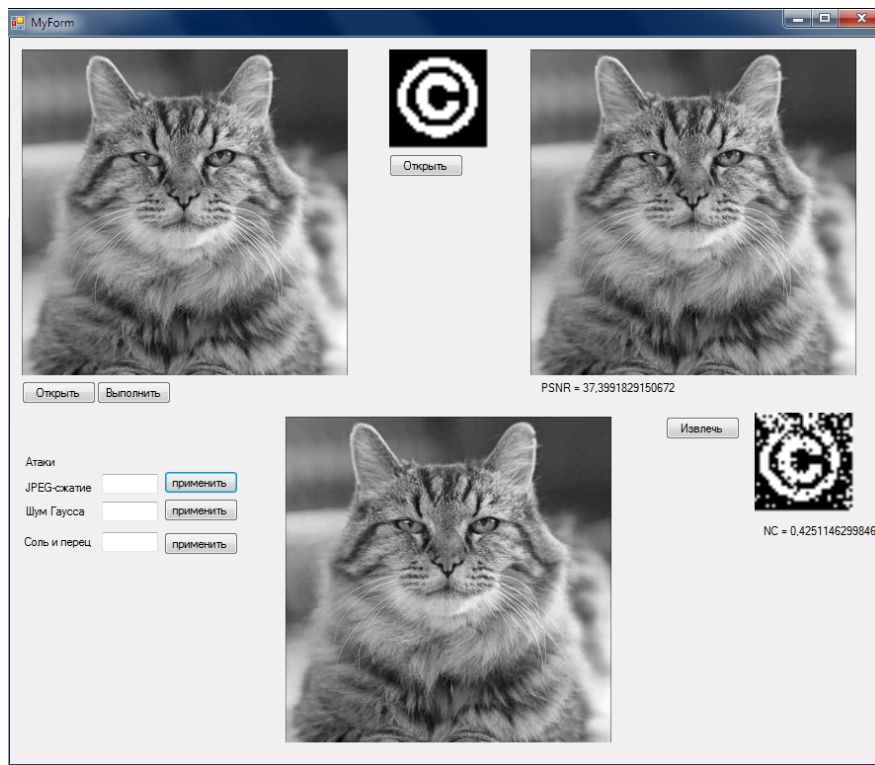


Рис.3. Скриншот работы программы при атаке JPEG-сжатие

## Экспериментальное исследование алгоритма

При выполнении экспериментальных исследований использовались три полутоновых изображения размера  $512 \times 512$  и бинарный ЦВЗ размера  $32 \times 32$ . Шаг сканирования равнялся единице.

Разработанный алгоритм был исследован на устойчивость к следующим видам атак:

- шум «Соль и перец»;
- сжатие JPEG;
- «шум Гаусса».

В результате экспериментов выяснилось, что разработанный алгоритм устойчив к JPEG-сжатию и к атаке «Шум Гаусса», но недостаточно устойчив к атаке «Соль и перец».

На рис. 4 представлен график зависимости  $NC_{от Q}$  при сжатии.



Рис.4. Устойчивость алгоритма к JPEG сжатию

Кроме того, был проведен специальный эксперимент, обосновывающий целесообразность модификации алгоритма Коха-Жао.

Качество внедрения было выше для всех использованных изображений при внедрении в область с минимальной дисперсией по сравнению с внедрением в область с максимальной дисперсией.

Качество извлечения в обоих случаях было одинаковым.

## Список литературы

- [1] Конахович Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. – М.: «МК-Пресс», 2006. – 288 с.
- [2] Koch E., Zhao J. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling // IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. 1995. P. 123-132.

*E-mail:*

*Бахрушина Г. И. – gal\_bah@mail.ru*