

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ИЗОБРАЖЕНИЕ С ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ПОВОРОТАМ НА ФИКСИРОВАННЫЕ УГЛЫ

DIGITAL WATERMARK IMPLEMENTATION IN IMAGE WITH INCREASED RESISTANCE TO TURNS AT FIXED ANGLES

**A. Shoberg
S. Chepurko**

Summary. The proposed algorithm is used to obtain partial turning resistance. The traditional method of implementation of the watermark is described. The proposed method for the implementation of the watermark is described. In the proposed method, the Arnold transform is excluded and the coefficients at which the watermark is applied are changed. The results of the comparison of the traditional and the proposed methods for the introduction of watermark are presented. The cross-correlation coefficient (between two square matrices) was calculated. The proposed method has characteristics in terms of resistance to turns and reflections higher than the traditional one.

Keywords: image processing, digital watermarks, discrete wavelet transform, discrete cosine transform, frequency domain.

Шоберг Анатолий Германович

*К.т.н, доцент, Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск)
shoberg@rambler.ru*

Чепурко Сергей Александрович

*Аспирант, Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск)
chepurkojm@gmail.com*

Аннотация. Предлагается модификация алгоритма внедрения цифрового водяного знака в изображение для повышения устойчивости к повороту. Описывается традиционный способ внедрения. В предлагаемой модификации исключается преобразование Арнольда и изменяются коэффициенты преобразования, используемые для внедрения. Приведены результаты сравнения, традиционного и предлагаемого способов внедрения цифрового водяного знака. Предлагаемая модификация имеет характеристики устойчивости к поворотам выше, чем традиционный алгоритм.

Ключевые слова: обработка изображений, цифровые водяные знаки, дискретное вейвлет-преобразование, дискретное косинусное преобразование, частотная область.

Введение

Один из популярных методов защиты мультимедийной информации заключается во встраивании меток — цифровых водяных знаков (ЦВЗ) в данные. Цифровые водяные знаки — это технология, предназначенная для внедрения идентификационной информации [1–3]. ЦВЗ тем или иным способом позволяет контролировать использование авторских материалов. Они используются для защиты от копирования и несанкционированного использования. Примерами могут служить различные фотографии, аудио и видеозаписи. В отличие от обычных водяных знаков, ЦВЗ могут быть не только видимыми, но и невидимыми. Невидимые ЦВЗ анализируются специальным декодером, который выносит решение про их корректность. ЦВЗ могут вмещать в себя некоторый аутентичный код, информацию о владельцах и др. [4,5].

Значительное количество методов внедрения ЦВЗ основано на идее обработки изображений в частотной области, переход в которую осуществляется, как правило, с использованием дискретного косинусного преоб-

разования (ДКП) или дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) [6,7].

В традиционном методе предлагается производить внедрение в заданный частотный поддиапазон амплитудно-частотного спектра (АЧС) исходного изображения, полученного с помощью ДКП и ДВП. Использование ДВП позволяет повысить энергию в используемом частотном диапазоне. Переход в частотную область обеспечивает высокую устойчивость алгоритма к таким атакам, как низкочастотная фильтрация изображения и JPEG сжатие. Также, при переходе с помощью обратного ДКП и ДВП в пространственную область энергия ЦВЗ распределяется по всему изображению, что позволяет уменьшить ее значение. В результате снижения уровня энергии ЦВЗ на основе коэффициента внедрения уменьшается степень искажения исходного изображения [8,9].

Большинство методов встраивания ЦВЗ являются неустойчивыми к геометрическим преобразованиям, таким как поворот изображения. Даже небольшие геометрические преобразования могут привести к невозможности извлечения ЦВЗ [10–13]. Для снижения влияния

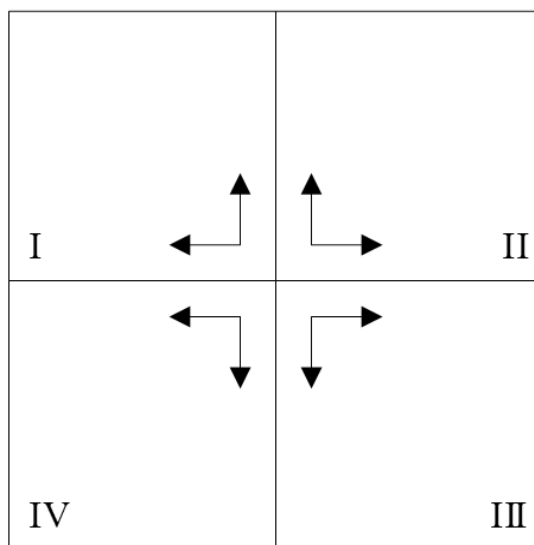


Рис. 1. Направления обработки при внедрении ЦВЗ

ряда аффинных преобразований предлагаются различные методы [14,15].

Исходный алгоритм внедрения ЦВЗ

Алгоритм внедрения ЦВЗ был предложен в статье [16]. Алгоритм основан на расширении спектра методом прямой последовательности [15,16]. Он предполагает выполнение соотношения размера стороны изображения-контейнера к размеру стороны квадратной матрицы изображения ЦВЗ равное 16. Таким образом, для встраивания ЦВЗ размера 32x32 необходим контейнер размера 512x512. Внедрение происходит в коэффициенты средних частот блока ДКП.

Алгоритм внедрения ЦВЗ содержит следующие шаги. Первоначально осуществляется декомпозиция исходного изображения с помощью одноуровневого ДВП. Далее используется только низкочастотный поддиапазон. Этот LL поддиапазон разбивается на блоки размером 8x8 пикселей. К каждому такому блоку применяется ДКП. Далее производится скремблирование водяного знака с помощью десяти итераций преобразования Арнольда [19,20] и его перевод в одномерную последовательность битов.

На следующем шаге производится генерация двух псевдослучайных последовательностей seq_0 и seq_1 на основе секретного ключа Key . Множество значений $\{1,0\}$, из элементов которого состоят псевдослучайные последовательности seq_0 и seq_1 , отображается во множество $\{-1,1\}$. Соответственно, $1 \rightarrow (-1)$ $0 \rightarrow 1$. Для внедрения ЦВЗ используются следующие формулы:

$$L' = L + (\alpha \times seq_1),$$

если внедряемый бит ЦВЗ равен единице;

$$L' = L + (\alpha \times seq_0),$$

если внедряемый бит ЦВЗ равен нулю. Здесь α – коэффициент внедрения, а L' и L — значения интенсивности пиксела до и после внедрения. После внедрения следует восстановить изображение путем выполнения обратного ДКП для каждого блока размера 8x8 и применением обратного ДВП ко всему изображению.

Модификация алгоритма

Модифицированный алгоритм предполагает выполнение соотношения к размеру ЦВЗ в два раза большее, чем было в исходном алгоритме. Следовательно, для встраивания ЦВЗ размера 32x32 необходим контейнер размера 1024x1024. Внедрение происходит в эмпирически подобранные коэффициенты средних и высоких частот блока ДКП. Общее количество используемых коэффициентов — 26.

Для повышения устойчивости к поворотам исходное изображение разбивается на 4 части [21,22]. В исходном алгоритме направления обработки традиционные (слева направо и сверху вниз). В предлагаемой модификации направления обработки изменяются, как показано на рис. 1. Это эквивалентно следующим действиям. К полученным частям применяются следующие преобразования: часть 1 — отражение по горизонтали, затем отражение по вертикали; часть 2 — отражение по вертикали; часть 3 — отражение по горизонтали; часть 4 — без преобразований. При записи осуществляются обратные действия.

Таблица 1. Варианты аффинных преобразований изображения-контейнера

Изображение контейнер	Без изменений				Отражение (горизонталь)			
	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
Угол поворота	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
N	0	1	2	3	4	5	6	7
Изображение контейнер	Отражение (вертикаль)				Отражение (горизонталь и вертикаль)			
Угол поворота	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
N	8	9	10	11	12	13	14	15
Изображение контейнер	Транспонирование				Транспонирование относительно вспомогательной диагонали			
Угол поворота	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
N	16	17	18	19	20	21	22	23

$N = 0$ — исходное изображение — контейнер; извлеченный водяной знак сравнивается с оригиналом на основе коэффициента взаимной корреляции, если значение этого коэффициента меньше 0.8 последовательно осуществляются отражения и транспонирования с поворотами на углы кратные 90°; если ни разу коэффициент не был больше 0.8, выбирается максимальный.

$N = 1$ — исходное изображение — контейнер подается повернутым на 90° против часовой стрелки, далее как в предыдущем случае.

Таблица 2. Значения пикового соотношения сигнал / шум

Преобразование	Среднее значение PSNR		Изменение PSNR, %
	Традиционный	Модифицированный	
Без преобразования	100,000	100,000	0,0
Поворот на 90°	53,521	54,224	1,3
Поворот на 180°	49,393	100,000	50,6
Поворот на 270°	54,309	54,224	-0,2
Отражение по горизонтали	49,465	100,000	50,5
Отражение по вертикали	48,860	100,000	51,1
Транспонирование относительно главной диагонали	54,175	54,224	0,1
Транспонирование относительно вспомогательной диагонали	54,442	54,224	-0,4

Все последующие шаги выполняются над получившимися частями исходного изображения, отдельно над каждой частью. Эти шаги совпадают последовательностью действий при традиционном алгоритме за исключением использования преобразования Арнольда. Оно не применяется к внедряемому ЦВЗ. Все последующие шаги выполняются над получившимися частями исходного изображения, отдельно над каждой частью.

Для извлечения ЦВЗ выполняются следующие шаги: разделение исходного изображения на 4 части; поворот полученных частей изображения по алгоритму, описанному выше; применение одноуровневого ДВП к маркированному изображению; разбиение LL поддиапазона на блоки размера 8x8; применение ДКП к каждому блоку,

полученному на предыдущем шаге; вычисление корреляции между псевдослучайными последовательностями seq_0 и seq_1 и коэффициентами блоков ДКП.

Результаты моделирования

После внедрения ЦВЗ сравнивался оригинал с полученными изображениями с использованием традиционного и модифицированного методов. Вычислялся коэффициент взаимной корреляции (между двумя квадратными матрицами). Проверялись влияние поворотов, отражений и транспонирования матриц изображений на коэффициент взаимной корреляции между оригинальным ЦВЗ и полученным из сохраненного изображения-контейнера.

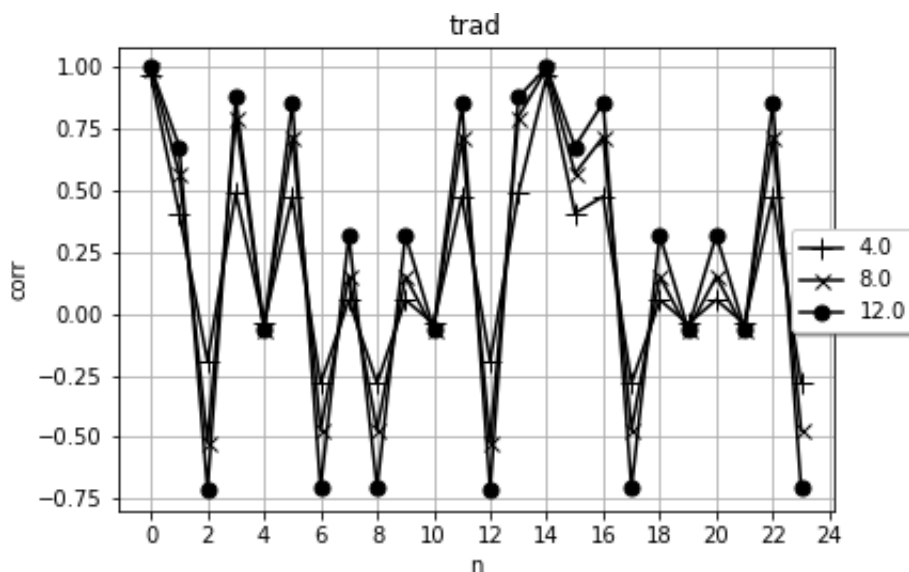


Рис. 2. Коэффициенты взаимной корреляции для оригинального и извлеченного ЦВЗ (традиционный метод)

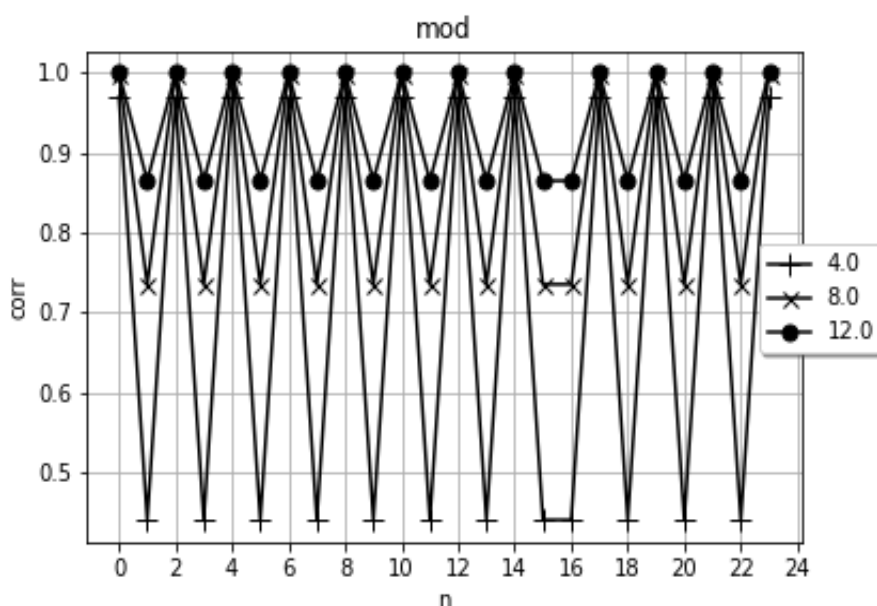


Рис. 3. Коэффициенты взаимной корреляции для оригинального и извлеченного ЦВЗ (предлагаемый метод)

В изображения внедрялись ЦВЗ на основе исходного и предлагаемого алгоритмов. Из каждого полученного изображения после извлечения ЦВЗ производилось сравнение между ЦВЗ оригиналом и извлеченным на основе коэффициента взаимной корреляции. Корреляция вычислялась многократно с выполнением ряда аффинных преобразований. Каждому варианту присваивался номер. Все трансформации сведены в табл. 1. Последовательность действий для вариантов следующая. Два первых номера описаны ниже.

Для измерения уровня искажения изображения использовалось пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR), вычисляемое в децибелах. Сравнивались значения PSNR между оригинальным внедренным изображением и полученным из сохраненного контейнера для традиционного и модифицированного методов.

В табл. 2 представлены значения соотношения сигнал / шум и изменение данного измеряемого коэффициента.

Предлагаемый модифицированный алгоритм позволяет извлекать ЦВЗ в большинстве случаев с более высоким качеством. В двух случаях наблюдается незначительное ухудшение.

При исследовании взаимной корреляции для и его извлеченной копии рассматривались получаемые изображения на основе трех значений коэффициента внедрения — 4, 8, 12. Значения коэффициента взаимной корреляции для традиционного метода представлены на рис. 2.

Для традиционного метода: среднее значение—0.201547, стандартное отклонение —0.520198. В связи с наличием отрицательных значений коэффициента взаимной корреляции вычислены абсолютные значения: среднее — 0.462448, стандартное отклонение — 0.312041.

На рис. 3 представлены графики для предлагаемого метода.

В данном случае среднее значение — 0.834917, стандартное отклонение — 0.199608.

Полученные результаты показывают, что предлагаемый модифицированный метод имеет лучшие характе-

ристики устойчивости к поворотам и отражениям, чем традиционный.

Заключение

Предлагается модифицированный алгоритм внедрения цифровых водяных знаков на основе использования ДКП и ДВП. Было разработано программное обеспечение и проведено моделирование разработанного алгоритма. Сравнение производилось на основе коэффициента взаимной корреляции и пикового отношения сигнал / шум. Традиционный и предлагаемый алгоритмы имеют практически одинаковые характеристики внедрения водяных знаков по вычислительной сложности и времени выполнения. Предлагаемый метод имеет повышенную устойчивость водяного знака к поворотам и отражениям изображения-контейнера. Предлагаемый метод позволяет извлечь цифровой водяной знак с ориентацией 0 и 90 градусов против часовой стрелки при выполнении 8 основных вращений и отражений изображения контейнера, что сокращает время автоматического сравнения исходного и извлеченного цифровых водяных знаков.

Предполагается дальнейшее исследование предложенного алгоритма и улучшение его характеристик, связанное, в частности, с изменением набора используемых частотных составляющих ДКП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. — М.: Солон-Пресс, 2009. — 265 с.
2. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — К.: МК-Пресс, — 2006. — 288 с.
3. Lu C.-S. Multimedia security: Steganography and digital watermarking techniques for protection of intellectual property — Hershey: Idea Group Publishing, — 2005. — 255 p.
4. Аграновский А.В., Балакин А.В., Грибунин В.Г., Сапожников С.А. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ — М.: Вузовская книга, — 2009. — 220 с.
5. Cox I.J., Miller M.L., Bloom J.A. Digital Watermarking and Steganography — Oxford: Morgan Kaufmann, — 2002. — 594 p.
6. Xia X.G., Boncelet C.G., Arce G.R. Wavelet transform based watermark for digital images // Optics Express. — 1998. — Vol. 3. — № 12. — P. 497–511.
7. Zhu W., Xiong Z., Zhang Y.Q. Multiresolution watermarking for images and video // IEEE transactions on circuits and systems for video technology. — 1999. — Vol. 9. — № 4. — P. 545–550.
8. Asatrian D.G. Combined Spatial and Frequency Domain Watermarking // Proc. Of 7-th Int.Conf. on Computer Science and Information Technologies. — 2009. — P. 323–326.
9. Deb K., Sajib Al-Seraj M., Hoque H., Sarker I. Combined DWT-DCT based digital image watermarking technique for copyright protection // 7-th International Conference on Electrical & Computer Engineering. — 2012. — P. 458–461.
10. Anfinogenov S., Korzhik V., Morales-L. G. Robust digital watermarking system for still images // Proc. of FedCSIS. — 2012. — C. 685–689.
11. Ruanaidh J.A secure robust digital image watermark // Electronic Imaging: Processing and Publishing in Color, Proc. SPIE, Zurich, Switzerland. — 1997. — Vol. 59. — № 1. — P. 39–47.
12. Земцов А.Н. Робастный метод цифровой стеганографии на основе дискретного косинусного преобразования // Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». — Вып. 12: межвуз. сб. науч. ст. — ВолгГТУ. — 2011. — № 11. С. 141–144.
13. Liu H., Liu J., Huang J., Huang D., Shi Y.Q. A robust DWT-based blind data hiding algorithm // Proceedings IEEE International Symposium on Circuits and Systems. — 2002. — Vol. 2. — P. 672–675.
14. Bas P., Chassery J.M., Macq B. Geometrically invariant watermarking using feature points // IEEE transactions on image Processing. — 2002. — Vol. 11. — № 9. — P. 1014–1028.

15. O'Ruanaidh J.-J.K., Pun T. Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking // Proceedings., International Conference on Image Processing.— 1997.— vol. 1.— P. 536–539.
16. Liu P.F., Liang B.Z., Peng C. A DWT-DCT Based Blind Watermarking Algorithm for Copyright Protection // 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology.— 2010.— Vol. 7.— P. 455–458.
17. Cox I.J., Kilian J., Shamoon T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia // IEEE transactions on image processing.— 1997.— Vol. 6.— № 12.— P. 1673–1687.
18. Fridrich J. Combining low-frequency and spread-spectrum watermarking // Mathematics of Data/Image Coding, Compression, and Encryption.— International Society for Optics and Photonics,— 1998.— Vol. 3456.— P. 2–13.
19. Kuang T.L. Image Encryption Using Arnold Transform Technique and Hartley Transform Domain // Ninth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing.— 2013.— P. 84–87.
20. Бахрушина Г.И., Коржавин В.А. Использование дискретных преобразований при разработке устойчивых алгоритмов цифрового маркирования изображений // Ученые заметки ТОГУ.— 2016.— Т. 7.— № 4.— С. 7–24.
21. Shoberg A.G., Shoberg K.A. A data representation based on block wavelet transform in modified form // International multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FarEastCon).— 2018.— P. 1–4.
22. Shoberg A.G., Shoberg K.A. Influence of execution of orthogonal block transform types and results of comparison // International Conference «Information Technologies in Business and Industry», Journal of Physics: Conference Series.— 2018.— Vol. 1015.— P. 1–4.

© Шоберг Анатолий Германович (shoberg@rambler.ru), Чепурко Сергей Александрович (chepurkojm@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Тихоокеанский государственный университет