

М. В. Гришин, А. Ю. Тропченко, Ван Цзянь

МАРКИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПУТЕМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Рассматриваются методы маркирования изображений цифровыми водяными знаками, например, с целью авторизации мультимедийной продукции. Предлагаемый метод маркирования основан на алгоритме Корви, но цифровой водяной знак помещается в спектральную область, тем самым обеспечивается его повышенная устойчивость при сжатии или при преобразовании маркированного изображения. Представлены количественные характеристики, подтверждающие эффективность данного метода в сравнении с известными методами.

Ключевые слова: цифровой водяной знак, маркирование, вейвлет.

В последнее время возникла необходимость разработки технологии защиты авторского права, в том числе защиты от копирования мультимедиаинформации. Одним из таких способов является цифровое маркирование данных. При этом необходимо создать алгоритмы, которые позволяли бы „подписывать“, или маркировать, мультимедийные данные без потери информации и качества воспроизведения, однако при этом в любой момент можно было бы определить, кому принадлежат авторские права на тот или иной мультимедийный продукт. Данные, скрыто встроенные в мультимедийные продукты, называют „цифровым водяным знаком“, ЦВЗ [1].

Задача встраивания и выделения ЦВЗ из мультимедийной информации решается с помощью стегосистемы, которая состоит из следующих основных элементов:

- прекодера — устройства, предназначенного для преобразования скрываемого сообщения к виду, удобному для встраивания в сигнал-контейнер;
- стегакодера — устройства, предназначенного для вложения ЦВЗ в мультимедийную информацию;
- стегадетектора — устройства, предназначенного для определения наличия стегосообщения;
- декодера — устройства, восстанавливающего скрытое сообщение.

Целью маркирования является возможность последующего определения:

- владельца объекта маркирования;
- изменений, произведенных над объектом маркирования;
- легальности прав на использование объекта маркирования.

В настоящей работе рассматриваются так называемые „прозрачные“ ЦВЗ, которые обладают следующими свойствами: устойчивостью, невидимостью, криптостойкостью, малой вероятностью ошибки, инвертируемостью, возможностью извлечения без сравнения с оригиналом, большим числом внедряемых битов, вычислительной эффективностью [2—7].

В общем виде проблема маркирования изображений рассматривается как проблема передачи сигнала малой мощности (ЦВЗ) в широкополосном сигнале (изображении), визуально не воспринимаемого и устойчивого к искажениям, которые могут появиться в процессе передачи информации.

Известно достаточно много методов добавления ЦВЗ [6—9]. В частотной области изображения ЦВЗ могут формироваться с использованием дискретно-косинусного преобразования, преобразования Фурье или вейвлет-преобразования (рис. 1).

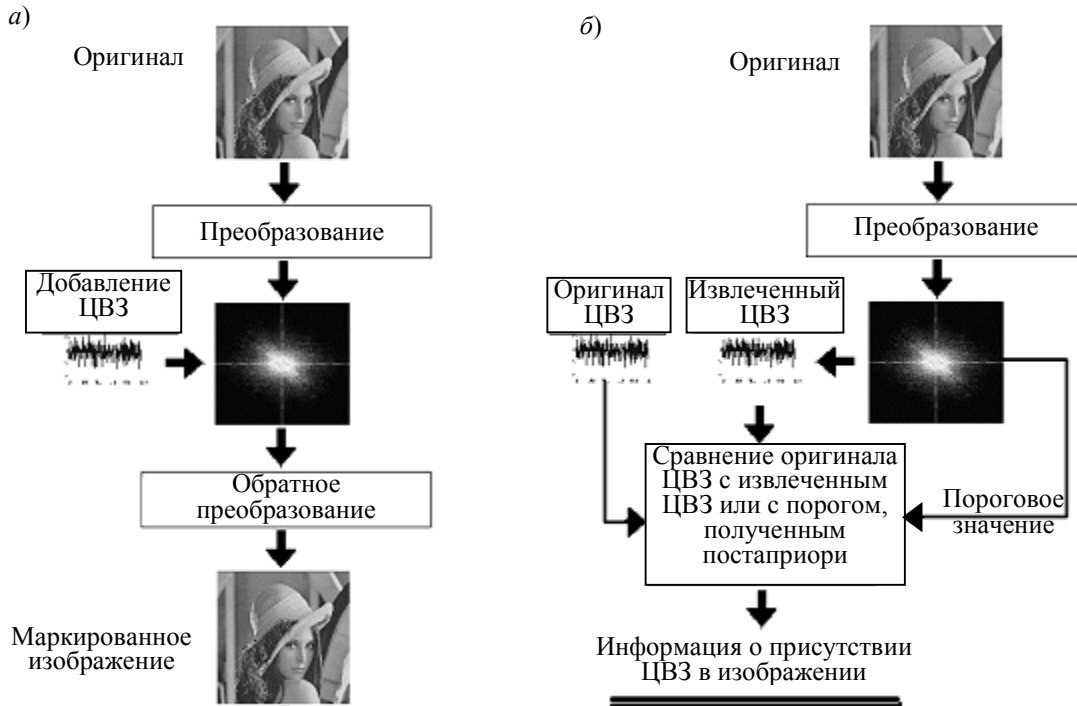


Рис. 1

Обычно водяной знак (W) можно представить как сигнал, который накладывается на изображение с помощью процедуры добавления:

$$W = \begin{cases} w(k), \\ w(k) \in U, \end{cases}$$

где $k \in W^d$, W^d определяет размерность водяного знака: $d = 1, 2, 3$ (как правило, $d = 1$ для аудиосигналов, 2 — для неподвижных изображений, 3 — для видеоданных).

ЦВЗ гораздо меньше самого изображения, поэтому он многократно добавляется в трансформированные области изображения. Наиболее информативная часть спектра ЦВЗ помещается в наиболее значимую для восприятия часть сигнала, что обеспечивает устойчивость ЦВЗ. Схема маркирования изображений на основе вейвлет-преобразования показана на рис. 1.

Процесс маркирования включает три стадии:

- 1) исходное изображение подвергается вейвлет-преобразованию 3-го уровня;
- 2) субполосы разделяются на непересекающиеся блоки и для каждого из них вычисляется „всплеск“ S , который представляет собой числовое значение восприимчивости каждого из блоков;
- 3) к изображению применяется обратное вейвлет-преобразование 3-го уровня для получения маркированного изображения.

Подобный алгоритм маркирования был предложен в работе [2]. Исходное изображение подвергается n -уровневому вейвлет-преобразованию для получения низкочастотной составляющей изображения. Именно в низкочастотную часть сигнала (LL-подуровень) и помещается цифровой водяной знак. Известен метод маркирования изображений в пространственной

области (метод Корви), основанный на перемешивании пикселей исходного изображения и пикселей ЦВЗ при распространении его на всю область исходного изображения [8].

В настоящей работе предлагается модифицированный метод маркирования цифровых изображений, основанный на применении алгоритма Корви не к пространственным, а к частотным компонентам изображения и ЦВЗ. Подобный алгоритм сводится к следующему.

1. Выполняется трехуровневое вейвлет-преобразование маркируемого изображения, при этом маркированию подлежит только низкочастотная, аппроксимирующая составляющая (LL-подуровень).

2. В качестве ЦВЗ выбирается черно-белый логотип, размер которого не должен превышать размеров аппроксимирующей составляющей вейвлет-преобразования.

3. Внедрение ЦВЗ выполняется следующим образом:

$$f'(x, y) = f_{\text{mean}} + [(f(x, y) - f_{\text{mean}}) + (1 + w(x, y)\alpha)],$$

где f_{mean} — среднее значение коэффициентов LL-подуровня; $f'(x, y)$ — маркированный коэффициент LL-подуровня с координатами (x, y) ; $f(x, y)$ — исходный коэффициент LL-подуровня с теми же координатами (x, y) ; $w(x, y)$ — отчет цифрового знака в позиции (x, y) ; α — коэффициент, определяющий кратность вложения ЦВЗ.

Предложенный метод маркирования показывает хорошую устойчивость к атакам различного типа. Хотя для выделения ЦВЗ требуется оригинал изображения, хранить его целиком нет необходимости — маркируется только аппроксимирующая составляющая вейвлет-преобразования, и для восстановления ЦВЗ потребуется оригинал только аппроксимирующей составляющей.

Для исследования устойчивости предложенного алгоритма маркирования были выполнены эксперименты по внедрению ЦВЗ в изображения и извлечению ЦВЗ из них после внесения различных искажений: сжатия по стандарту JPEG, зашумления, масштабирования. Критерием устойчивости являлся коэффициент взаимной корреляции между оригиналом ЦВЗ и извлеченным ЦВЗ. В процессе исследования маркировалось изображение типа „портрет“ размером 480×480 точек. Маркируемое изображение подвергалось трехуровневому преобразованию Хаара. В качестве ЦВЗ использовалось изображение кота размером 32×32 точки. Коэффициент α брался равным 20, что обеспечивало компромисс между невосприимчивостью ЦВЗ и его устойчивостью к атакам.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 2—4, где приняты следующие обозначения: 1 — алгоритм пространственного маркирования, 2 — алгоритм маркирования в частотной области, полученной ДКП, 3 — маркирование с использованием вейвлет-преобразования.

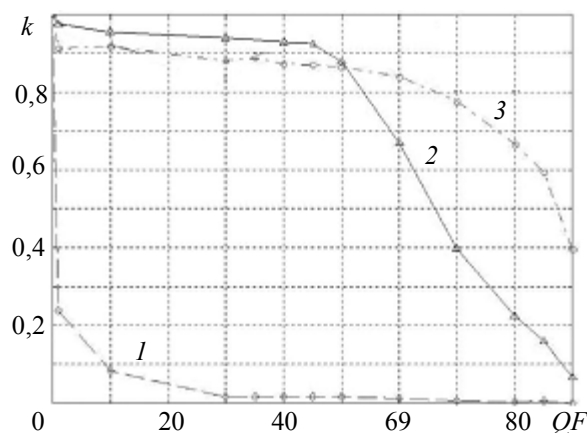


Рис. 2

На рис. 2 сравнивается качество извлечения ЦВЗ из маркированного изображения, сжатого JPEG-алгоритмом с различными значениями коэффициента сжатия QF (k — коэффициент корреляции).

Из рис. 2 видно, что метод, основанный на пространственном маркировании, не обладает устойчивостью к JPEG-сжатию. Уже при $QF > 1$, что соответствует практически нулевому уровню вносимых искажений, ЦВЗ становится сильно зашумленным и смазанным, а при увеличении коэффициента сжатия до значений, соответствующих $QF=5$, ЦВЗ перестает распознаваться. В случае использования частотных алгоритмов маркирования ЦВЗ извлекается достаточно хорошо даже при $QF=60$.

На рис. 3 сравнивается качество извлечения ЦВЗ из маркированного изображения, искаженного гауссовым шумом различного уровня (E).

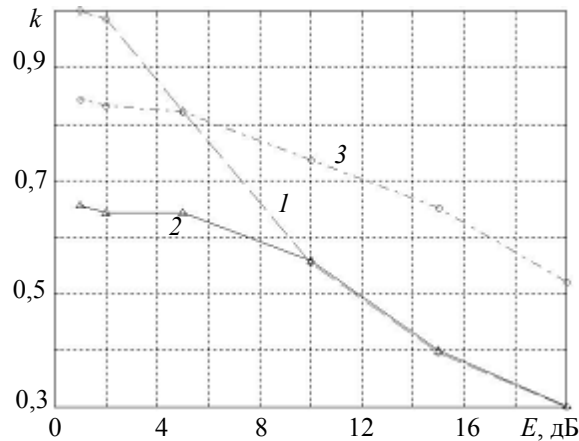


Рис. 3

Как следует из рис. 3, пространственный алгоритм маркирования также показывает неудовлетворительные результаты при извлечении ЦВЗ из зашумленного маркированного изображения. Алгоритм, основанный на ДКП, показывает удовлетворительные результаты при уровне шума до 6 дБ. Алгоритм маркирования, основанный на вейвлет-преобразовании, выдерживает уровень зашумления до 10 дБ. Отметим, что при уровне зашумления выше 15 дБ оригинал изображения уже теряет свою ценность.

На рис. 4 сравнивается качество извлечения ЦВЗ из масштабированного маркированного изображения (m — коэффициент масштабирования).

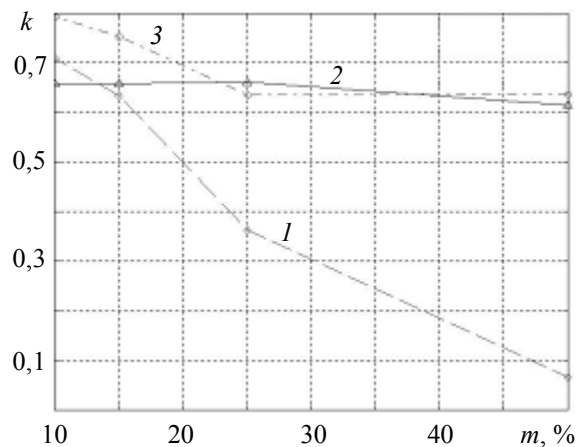


Рис. 4

Согласно рис. 4, как и ранее, алгоритм маркирования в пространственной области показывает худшие результаты (качество ЦВЗ уменьшается пропорционально коэффициенту масштабирования). Частотные алгоритмы показывают лучшие результаты извлечения. Можно заключить, что любое изменение масштаба одинаково изменяет качество извлекаемого логотипа для частотных алгоритмов.

Таким образом, на основе выполненных экспериментов можно заключить, что для цифровых изображений, подвергаемых сжатию, для защиты авторских прав наиболее подходят методы вейвлет-маркирования на основе предложенного модифицированного метода Корви.

Именно при использовании этого метода цифровая подпись помещается в значимую для восприятия часть преобразованного изображения, которую алгоритмы сжатия позволяют сохранить наиболее полно, кроме того, при восстановлении ЦВЗ требуется не оригинал изображения, а малая его часть. При использовании других алгоритмов маркирования ЦВЗ помещается в шумовые составляющие преобразованного изображения, которые при сжатии желательнее устранить. Это приводит к существенной потере информации о размещенном в них ЦВЗ, и даже при извлечении ЦВЗ на основе статистических алгоритмов возникают ошибки.

Таким образом, можно заключить, что алгоритмы маркирования, подобные модифицированному методу Корви, скрывающие ЦВЗ в значимой для восприятия части вейвлет-преобразования, обладают достаточной устойчивостью к методам цифровой обработки сигнала и могут быть адаптированы в сочетании с алгоритмами сжатия изображений [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ruanaidh J. J., Dowling W. J., Boland F. M.* Watermarking digital images for copyright protection // *IEEE Vision, Signal and Image Proc.* 1996. Vol. 143, N 4. P. 250—256.
2. *Kobayashi.* Digital Watermarking: Historical Roots. IBM Research Reports, Tokyo Research Laboratories, 1997.
3. *Voyatzis G., Nikolaidis N., Pitas I.* Digital watermarking: an overview // 9th Europ. Signal Proc. Conf. Island of Rhodes, Greece, 1998. P. 9—12.
4. *Voloshynovskiy S., Pereira S., Iquise V., Pun T.* Attack Modelling: Towards a Second Generation Watermarking Benchmark. Preprint. University of Geneva, 2001. 58 p.
5. *Cox J., Miller M., McKellips A.* Watermarking as communications with side Information // *Proc. IEEE.* 1999. Vol. 87, № 7. P. 1127—1141.
6. *Bender W., Gruhl D., Morimoto N., and Lu A.* Techniques for data hiding // *IBM Systems J.* 1996. Vol. 35. P. 313—336.
7. *Taubman D., Ordentlich E., Weinberger M., Seroussi G.* Embedded block coding in JPEG 2000 // *Signal Proc. Image Communication.* 2002. N 17. P. 49—72.
8. *Ramkumar M.* Data Hiding in Multimedia — Theory and Applications. 1999.
9. *Hsu C.-T., Wu J.-L.* Hidden digital watermarks in images // *IEEE Transact. on Image Proc.* 1999. Vol. 8, N 1. P. 58—68.

Сведения об авторах

Михаил Викторович Гришин

— канд. техн. наук, доцент; Департамент эксплуатации „Макро-Регион“ МТС, Санкт-Петербург; E-mail: ckyznetsov@gmail.com

Александр Ювенальевич Тропченко

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники; E-mail: tau@dl.ifmo.ru

Ван Цзянь

— аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники; E-mail: wangjian119@sohu.com

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
01.03.10 г.