

УДК 004.622

МЕТОДЫ МАРКИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

А.Ю. Тропченко, Ван Цзянь

Рассматриваются методы маркирования изображений цифровыми водяными знаками, например, для авторизации продукции мультимедиа. Для совмещения реализованных алгоритмов сжатия изображений на основе вейвлет-преобразования с алгоритмами защиты авторских прав наиболее подходит метод вейвлет-маркирования Ли Хуа. Именно в этом методе цифровая подпись помещается в восприимчиво значимую часть преобразованного изображения, которую рассмотренные алгоритмы сжатия стараются сохранить наиболее полно.

Ключевые слова: цифровой водяной знак, маркирование, вейвлет, устойчивость.

Введение

Проблема защиты авторского права на мультимедиа-информацию привела к необходимости разработки технологии защиты авторского права и технологии защиты от копирования мультимедиа-информации. Одной из таких технологий является цифровое маркирование данных. При этом необходимо создать алгоритмы, которые позволяли бы подписывать или маркировать мультимедиа-данные без потери информативности и качества воспроизведения, однако при этом в любой момент можно было бы определить, кому принадлежат авторские права на тот или иной мультимедиа-продукт. Данные, скрыто встроенные в мультимедиа-продукты, называют цифровым водяным знаком – ЦВЗ [1, 2].

Задача встраивания и выделения сообщений из другой информации решается стегосистемой, которая состоит из следующих основных элементов:

- прекодера – устройства, предназначенного для преобразования скрываемого сообщения к виду, удобному для встраивания в сигнал-контейнер (контейнером называется информационная последовательность, в которой прячется сообщение);
- стегокодера – устройства, предназначенного для осуществления вложения скрытого сообщения в другие данные с учетом их модели;
- стегодетектора – устройства, предназначенного для определения наличия стегосообщения;
- декодера – устройства, восстанавливающего скрытое сообщение.

Цель маркирования заключается в определении в дальнейшем:

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

В работе рассматриваются так называемые прозрачные ЦВЗ, которые обладают следующими свойствами: устойчивостью; невидимостью; криптостойкостью; малой вероятностью ошибки; инвертируемостью; возможностью извлечения ЦВЗ без сравнения с оригиналом; большим числом внедряемых бит; вычислительной эффективностью.

Методы маркирования в частотной области

В общем виде проблема маркирования изображений рассматривается как проблема передачи слабого сигнала малой мощности ЦВЗ в широкополосном сигнале (изображении) таким образом, чтобы быть визуально невосприимчивым и устойчивым к искажениям, которые могут появиться в процессе передачи информации.

Известно достаточно много методов добавления ЦВЗ. В частотной области изображения ЦВЗ могут формироваться с использованием дискретных косинусных преобразований (DCT), преобразования Фурье (DFT) или вейвлет-преобразования (DWT) [1–3].

Обычно водяной знак (W) можно представить как сигнал, который накладывается на изображение через процедуру добавления:

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

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

ЦВЗ гораздо меньше изображения, поэтому он многократно добавляется в трансформированные области изображения (степень повторяемости определяет устойчивость ЦВЗ и так называемую силу вложения). Наиболее информативная часть спектра логотипа помещается в восприимчиво значимую часть сигнала, что обеспечивает устойчивость ЦВЗ. Схема маркирования изображений на основе вейвлет-преобразования показана на рис. 1.

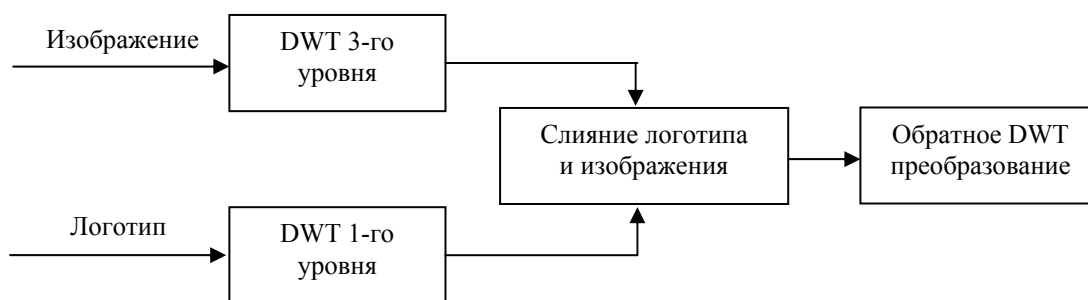


Рис. 1. Схема маркирования изображений на основе вейвлет-преобразования

Процесс маркирования производится в три этапа:

- 1) исходное изображение подвергается вейвлет-преобразованию 3-го уровня, а ЦВЗ-логотип – вейвлет-преобразованию 1-го уровня;
- 2) субполосы разделяются на непересекающиеся блоки, и для каждого из них вычисляется величина вложения, которая представляет собой числовое значение восприимчивости каждого из блоков для определения пригодности блока для встраивания элементов ЦВЗ и производится слияние;
- 3) к изображению применяется обратное вейвлет-преобразование 3-го уровня для получения маркированного изображения.

Алгоритм маркирования Ли Хуа

Данный алгоритм маркирования был предложен в работах [4, 5]. В своей основе ЦВЗ представляет бинарную последовательность, состоящую из нулей и единиц: $w_i \in \{0,1\}$. Исходное изображение подвергается n -уровневому вейвлет-преобразованию для получения низкочастотной составляющей изображения. Именно в низкочастотную часть сигнала, так называемую LL- субполосу, и помещается ЦВЗ.

Процесс добавления цифрового знака можно представить следующим образом (рис. 2). Низкочастотная составляющая сигнала обходится скользящим окном 3×1 , тем самым выбирая очередные 3 частотных коэффициента для маркирования. Выбранные коэффициенты b_1, b_2, b_3 сортируются по возрастанию, затем диапазон от $\min |b_j|$ до $\max |b_j|, j=1, 2, 3$ разбивается на интервалы длиной l :

$$l = a \frac{\max |b_i| - \min |b_j|}{2},$$

где $i, j=1, 2, 3$; a – весовой множитель, задающий устойчивость или силу встраивания ЦВЗ. Затем средний коэффициент тройки квантуется к значению, кратному l , таким образом, чтобы представить один из отчетов цифрового знака w_i . При этом интервал разбивается на $2/a$ подынтервалов, каждый из подынтервалов имеет 2 границы: l_k и l_{k+1} . Ассоциируем единичному отчету цифрового знака все нечетные границы, а нулевому отчету цифрового знака – все четные границы подынтервалов. Центральный коэффициент отсортированной тройки модифицируется таким образом, чтобы лежать на границе, соответствующей значению отчета цифрового знака w_i . И, в заключение, измененный коэффициент заносится на свое место в низкочастотную LL-субполосу изображения.

Извлечение цифрового знака осуществляется без использования оригинала изображения. После сортировки определяется центральный элемент скользящего окна. Он квантуется для получения так называемой точки восстановления, т.е. определяется, на четной или нечетной границе интервала лежит центральный коэффициент. Полученное таким образом значение бита фиксируется как очередной отчет цифрового знака w_i .

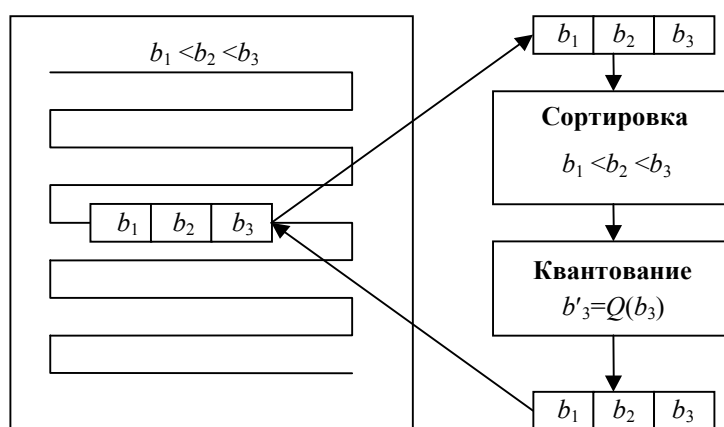


Рис. 2. Схема маркирования по алгоритму Ли Хуа

Заключение

Устойчивость данного метода зависит от числа уровней декомпозиции изображения. Экспериментально авторами было установлено, что достаточно хорошая устойчивость наблюдается при пятиуровневом и двухуровневом вейвлет-преобразовании изображения (рис. 3, 4). Следовательно, для совмещения сжатия изображений на основе вейвлет-преобразования с алгоритмами защиты авторских прав наиболее подходит метод вейвлет-маркирования Ли Хуа, который достаточно эффективен. Именно в этом методе цифровая подпись помещается в восприимчиво значимую часть преобразованного изображения, которую рассмотренные алгоритмы сжатия стараются сохранить наиболее полно. Другие же алгоритмы маркирования помещают цифровую подпись в шумовые составляющие преобразованного изображения. Эти составляющие сжимаются наиболее сильно, что приводит к существенной потере информации в них, так что даже алгоритмы маркирования, извлекающие ЦВЗ на основе статистических расчетов, допускают ошибки в определении цифрового знака.

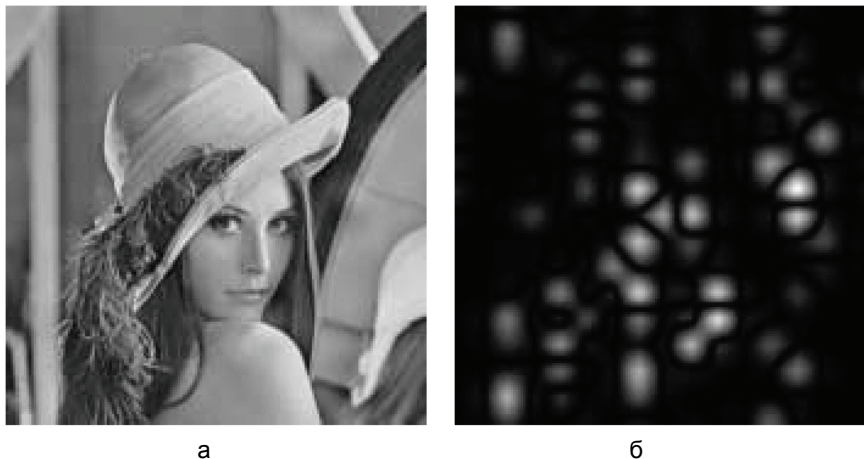


Рис. 3. Маркированное (а) и разностное изображения (б) с параметрами маркирования: $a = 0,5$; $L = 5$; $N = 80$, где L – число уровней декомпозиции, N – длина цифрового знака



Рис. 4. Маркированное (а) и разностное (б) изображения с параметрами маркирования: $a = 0,2$; $L = 2$; $N = 5380$

Таким образом, алгоритмы маркирования, подобные методу Ли Хуа, скрывающие цифровую подпись в восприимчиво значимой части преобразованного изображения, могут быть адаптированы для применения совместно с алгоритмами сжатия изображений.

Литература

1. Ruanaidh J.J., Dowling W.J., Boland F.M. Watermarking digital images for copyright protection// IEEE proceeding on Vision, Signal and Image Processing, 1996. – № 8. – P. 250–256.
2. Kobayashi. Digital Watermarking: Historical Roots. IBM Research Reports, Tokyo Research Laboratories, 1997.
3. Voloshynovskiy S., Pereira S., Iquise V., Pun T. Attack Modelling: Towards a Second Generation Watermarking Benchmark // Preprint University of Geneva, 2001. – 58 p.
4. Xie L.H., Arce G.R. A Class of Authentication Digital Watermarks for Secure Multimedia Communication // IEEE Transaction on Image Processing, 2001. – № 10(11). – P. 1754–1764.
5. Xie L.H., Arce G.R. Joint Wavelet Compression and Authentication Watermarking // International Conference on Image Processing (ICIP'98), Oct.4–7, 1998. – V. 2. – P. 427–431.

Тропченко Александр Ювенальевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, tau@d1.ifmo.ru

Ван Цзянь – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, wangjian119@sohu.com