

Методы цифрового маркирования неподвижных изображений

77-48211/612552

08, август 2013

Батура В.А.

УДК 004.056

СПбГУ информационных технологий, механики и оптики, Россия, Санкт-Петербург
batu-vladimir@yandex.ru

Введение

Защита информации во все времена была одной из первостепенных задач. С возникновением вычислительной техники данная проблема стала ещё более актуальной. Одной из сфер защиты информации является защита авторских прав на мультимедийную продукцию. Сегодня, используя средства вычислительной техники, злоумышленниками легко может быть осуществлено незаконное распространение графической, аудио и видеоинформации. Тем самым, правообладателю наносится как материальный, так и моральный ущерб.

Одним из самых эффективных средств защиты авторских прав на мультимедийную продукцию являются методы цифровой стеганографии, которые основываются на цифровой обработке сигналов. Цифровая стеганография – это наука о незаметном и надёжном скрытии одних битовых последовательностей в других, имеющих аналоговую природу [1]. Цифровое маркирование (ЦМ) – наиболее распространённый и широко исследуемый в данной науке метод защиты авторских прав.

Цифровое маркирование заключается во встраивании в объект защиты (контейнер) невидимых меток – цифровых водяных знаков (ЦВЗ) [1, 2]. Контейнер со встроенным в него ЦВЗ принято называть “стеганоконтейнером”. Наиболее широко ЦВЗ используются для защиты фото, видео и аудиоинформации. В данной статье проведена обобщенная классификация методов цифрового маркирования неподвижных изображений, приводятся их основные достоинства и недостатки. В данной статье рассмотрены лишь некоторые методы цифрового маркирования неподвижных изображений ввиду их большого разнообразия. Особое внимание уделено методам, различающимся по области встраивания ЦВЗ.

1 Классификация методов цифрового маркирования неподвижных изображений

Не смотря на то, что цифровое маркирование, как и цифровая стеганография в целом возникло совсем недавно (в 90-х годах XX века), оно уже насчитывает большое количество разнообразных методов [1, 2, 3], обобщённая классификация которых приведены на рисунке 1.

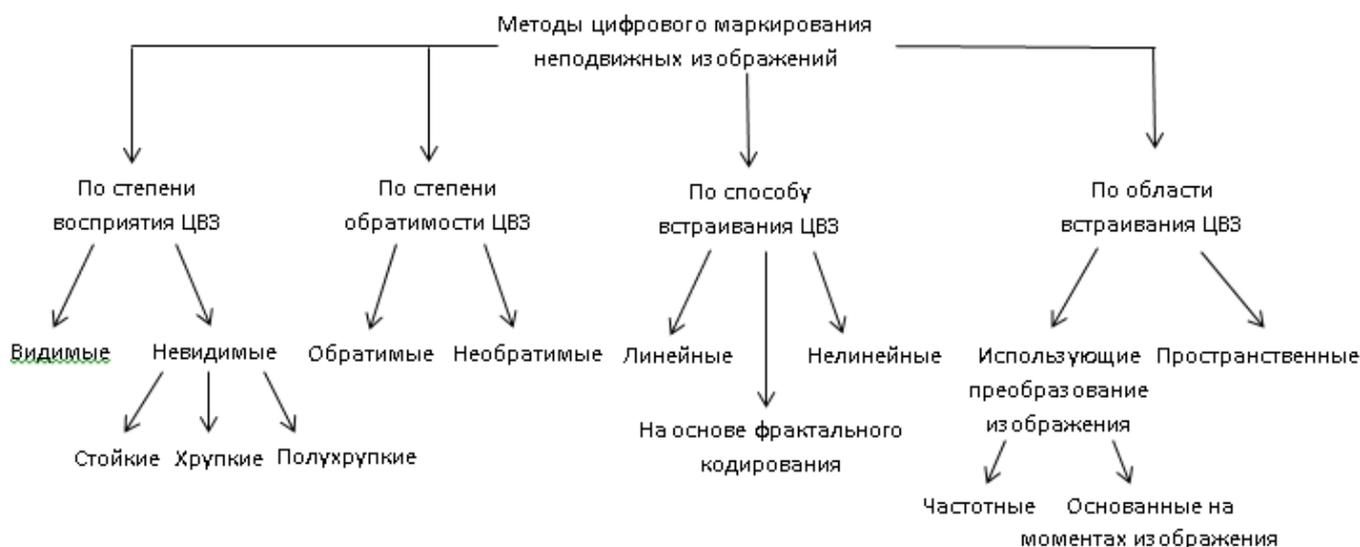


Рис. 1. Классификация методов цифрового маркирования неподвижных изображений

2 Методы цифрового маркирования по степени восприятия ЦВЗ

По степени восприятия алгоритмы цифрового маркирования классифицируют в соответствии со степенью восприятия используемого водяного знака. ЦВЗ подразделяют на видимые и невидимые [1, 2, 3]. Видимые алгоритмы встраивают видимый водяной знак, невидимые алгоритмы – невидимый, соответственно.

В свою очередь невидимые алгоритмы подразделяют в соответствии с типом невидимого водяного знака на стойкие (робастные), хрупкие и полухрупкие [1, 2, 3].

Робастные алгоритмы должны обеспечивать встраивание ЦВЗ, стойкого к различным атакам: JPEG-сжатию, аффинным преобразованиям, шумам различного типа и другим видам атак [1, 2]. Такой водяной знак используют для определения авторства.

Хрупкие алгоритмы имеют узкоспециализированную область применения – аутентификация сигнала, заключающуюся в отражении его изменений и выявления их местоположения. При этом подобные алгоритмы допускают некоторую модификацию контента (например, JPEG-сжатие) [1].

Полухрупкие алгоритмы встраивают полухрупкий водяной знак, обладающий избирательной стойкостью. Например, он может допускать сжатие изображения, но запрещать вырезку или вставку в него фрагмента [1].

3 Методы цифрового маркирования по степени обратимости

По обратимости методы цифрового маркирования подразделяют на необратимые и обратимые [4].

Необратимые методы встраивают ЦВЗ, вызывая при этом необратимые искажения контейнера. Одна из главных задач при разработке подобных алгоритмов – максимально снизить уровень вносимых искажений.

Обратимые позволяют извлечь водяной знак и при этом полностью восстановить первоначальный вид контейнера [4, 5]. Применение данных алгоритмов особенно актуально для проверки подлинности медицинских и военных изображений, категорически не допускающих искажений [6].

В свою очередь обратимые алгоритмы подразделяют на две разновидности [4, 5]:

а) Методы, основанные на модификации гистограммы изображения, при которых выбранную яркость делают пустой с последующим обратимым внедрением ЦВЗ.

Преимуществом гистограммных методов являются [5]:

- простота реализации;
- небольшое количество информации, необходимой для декодера;
- гарантированное качество изображения.

Однако емкость встраивания ограничена количеством вхождений точек максимума яркости [5]. Это является недостатком гистограммных методов.

б) Методы, основанные на преднамеренной регулировке значения разности между соседними парами пикселей. Данная разновидность обратимых методов цифрового маркирования является одной из самых ранних [7]. Метод основывается на преобразовании значений яркости в пространственной области изображения в частотные коэффициенты вейвлет-преобразования [5].

Преимуществом данного метода является возможность встраивания большего количества информации. Однако стоит учитывать, что при увеличении количества встраиваемой информации может привести к сильному ухудшению качества изображения после маркирования. Кроме того, дополнительная информация () о парах пикселей ,непригодных для встраивания, уменьшает емкость встраивания.

4 Методы цифрового маркирования по способу встраивания ЦВЗ

В литературе [1] по способу встраивания различают следующие методы цифрового маркирования:

- линейные методы (аддитивные алгоритмы) – заключаются в линейной модификации исходного изображения, а ее извлечение в декодере

производится корреляционными методами. При этом ЦВЗ обычно складывается с изображением-контейнером, либо «вплавляется» (fusion) в него;

- нелинейные алгоритмы на основе скалярного или векторного квантования, где под квантованием понимается процесс сопоставления большого (возможно и бесконечного) множества значений с некоторым конечным множеством чисел;

- методы, использующие фрактальное кодирование, особенностью которого является поиск последовательности аффинных преобразований (поворот, сдвиг, масштабирование), позволяющих аппроксимировать блоки изображения малого размера (ранговые) блоками большего размера (доменами).

5 Методы цифрового маркирования по области встраивания

По области встраивания алгоритмы цифрового маркирования подразделяются на пространственные [1,2,3] и методы, основанные на преобразовании изображения, которые в свою очередь подразделяются на частотные и методы, основанные на моментах изображения [1, 2, 3, 8]. Каждая разновидность методов обладает своими преимуществами и недостатками.

5.1 Пространственные методы

Пространственные алгоритмы внедряют ЦВЗ в области исходного изображения. Их преимуществом является то, что для внедрения ЦВЗ нет необходимости выполнять вычислительно громоздкие линейные преобразования изображений. ЦВЗ внедряется за счет манипуляций яркостью или цветовыми составляющими изображения [1]. Однако данные алгоритмы обладают слабой стойкостью к общим операциям обработки изображения и другим атакам [2, 9]. Для преодоления данного недостатка в последние годы стало применяться сингулярное разложение (singular value decomposition) матрицы пикселей изображения, нашедшее свое применение, например в работе [10], где в частности указаны его основные преимущества:

- не фиксированный размер матрицы сингулярного разложения;
- отсутствие значительных отклонений особых значений изображения при добавлении к нему небольшого возмущения;
- сингулярные значения представляют собой внутренние алгебраические свойства изображения.

Однако использование сингулярного разложения привело к возникновению двух проблем [9]:

- низкий уровень незаметности ЦВЗ, поскольку при модификации хотя бы одного сингулярного значения все значения в матрице пикселей изображения будут изменены;
- возможность ложного срабатывания стеганодетектора.

Не смотря на то, что в работе [9] были достигнуты определенные успехи в устойчивости внедренного ЦВЗ, он все еще обладает слабой стойкостью к размытию, масштабированию, низкочастотной и среднечастотной фильтрации.

Таким образом, пространственные методы на данный момент не являются самыми надёжными. Большой стойкостью обладают методы, использующие преобразование изображения.

5.2 Методы цифрового маркирования, использующие преобразование изображения

Частотные методы встраивают ЦВЗ в частотную область изображения, используя ортогональные преобразования для декомпозиции изображения-контейнера [2] и перераспределения его энергии [1]. После декомпозиции ЦВЗ встраивается в определенные спектральные коэффициенты контейнера. В результате применения соответствующего преобразования наибольшая энергия изображения сосредотачивается в низкочастотной области, наименьшая – в высокочастотной [1]. Поэтому алгоритмы сжатия с потерями пренебрегают информацией в высокочастотных областях. Следовательно, необходимо избегать внедрением ЦВЗ в высокочастотную область изображения, поскольку встроенный водяной знак будет уничтожен сжатием. Встраивание ЦВЗ необходимо осуществлять в среднечастотные и низкочастотные области преобразования изображения-контейнера [1, 8].

Наибольшую сложность представляет внедрение ЦВЗ в низкочастотную область, содержащую большую часть энергии изображения, потому что неоптимальное внедрение может привести к значительному искажению контейнера. Данная сложность является одновременно и преимуществом, поскольку любая попытка злоумышленника извлечь ЦВЗ из низкочастотной области также приведёт к значительному искажению изображения. Таким образом, при встраивании ЦВЗ в частотную область изображения необходимо соблюдение компромисса между объемом встраиваемого ЦВЗ и качеством стеганоконтейнера [8].

В качестве преобразования могут быть использованы дискретное косинусное преобразование (ДКП), дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), преобразование Фурье и др. На рисунке 2 [1] представлены некоторые алгоритмы в соответствии с величиной выигрыша от кодирования, где наибольший выигрыш даёт преобразование Карунена-

Лоэва (ПКЛ). Под выигрышем от кодирования понимается степень перераспределения дисперсий коэффициентов преобразования [1].

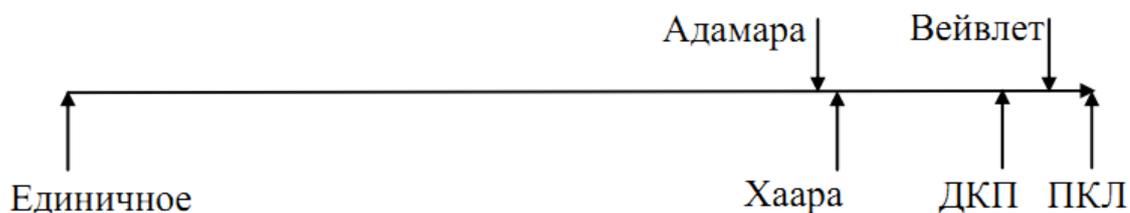


Рис. 2. Распределение некоторых преобразований в соответствии с выигрышем от кодирования

На данный момент наибольшей популярностью пользуются ДКП, применяющееся в сжатии JPEG, и ДВП, применяющееся в сжатии JPEG2000, соответственно. Алгоритм встраивания должен учитывать особенности сжатия.

Стоит отметить возможную перспективность использования дискретного преобразования Адамара (ДПА), отмеченную в работе [11]. В ней автор утверждает, что методы, использующие ДПА в сочетании с учётом характеристик зрительной системы человека в дальнейшем могут обеспечивать лучшую производительность и незаметность внедрённого ЦВЗ, а также хорошую устойчивость против независимого от платформы сжатия (JPEG или JPEG 2000) в низкокачественном факторе и с высокой полезной нагрузкой.

5.2.1 Частотные методы на основе цифровой голографии

Одним из направлений частотных методов цифрового маркирования являются методы, использующие в качестве ЦВЗ цифровые голограммы. Примером цифровых голограмм могут быть:

- голограмма Фурье, представляющая собой Фурье-преобразование ЦВЗ, встраиваемого в частотную область со сдвигом относительно центра координат [12].
- голограмма Френеля, представляющая собой пропускающую голограмму, при регистрации которой регистрирующая среда находится в области дифракции Френеля рассеянного объектом излучения [13].

Выбор голограмм в качестве ЦВЗ может быть обусловлен тем, что некоторые свойства голограмм, например то, что каждая точка голограммы содержит информацию обо всем изображении, открывают широкие возможности для внедрения голограмм в качестве скрытых ЦВЗ. При выборе типа голограммы стоит учитывать, что голограммы

Фурье устойчивы к случайным геометрическим искажениям [12], а голограммы Френеля обладают большей устойчивостью к JPEG-сжатию, чем голограммы Фурье [13].

Таким образом, достоинством частотных методов встраивания является их относительно хорошая устойчивость к сжатию и шуму. К недостатку стоит отнести высокую вычислительную сложность и слабую устойчивость некоторых методов к геометрическим атакам (например, поворот, масштабирование и т. д.) [8].

5.3 Методы, основанные на моментах изображения

В данных методах цифрового маркирования ЦВЗ встраивается в моменты изображения. Моменты изображений представляют собой дескрипторы особенностей изображений [14]. Методы, основанные на моментах изображения, обычно используются в схемах цифрового маркирования для того чтобы обеспечить устойчивость водяного знака к геометрическим преобразованиям [8], приводящим к десинхронизации водяного знака с контейнером и, как следствие, невозможности обнаружения ЦВЗ детектором [15].

В литературе [14] моменты подразделяются на две категории:

- ортогональные моменты (моменты Чебышева, Лежандра, Цернике);
- неортогональные моменты (геометрические моменты).

Ортогональные моменты, по сравнению с неортогональными менее чувствительны к шуму и инвариантны к линейным преобразованиям. В области цифрового маркирования наиболее часто используются моменты Цернике и Чебышева [14].

На данный момент недостатками существующих методов, основанных на моментах, являются [8]:

- небольшой объем скрываемых данных;
- низкий уровень безопасности;
- низкая точность локализации фальсификации изображения.

Заключение

В статье была приведена обобщённая классификация методов цифрового маркирования неподвижных изображений. Цифровое маркирование – динамично развивающаяся область цифровой стеганографии. На сегодняшний день существует большое количество методов внедрения ЦВЗ, каждый из которых обладает своими достоинствами и недостатками, которые надо учитывать при использовании того или иного метода для защиты мультимедийных данных от незаконного распространения и модификации.

Список литературы

1. Грибунин, В.Г. Цифровая стеганография / В.Г.Грибунин, И.Н.Оков, В.И.Турицев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 272 с.
2. Конахович, Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф.Конахович, А.Ю.Пузыренко. – К.: “МК-Пресс”, 2006. – 288 с.
3. Хорошко, В.О. Основы компьютерной стеганографии: Учебное пособие для студентов и аспирантов / В.О. Хорошко, О.Д. Азаров, М.Э. Шелест, - Винница:ВДТУ, 2003.-143 с.
4. Wang, Z.-H. Histogram-shifting-imitated reversible data hiding / Z.-H. Wang, C.-F. Lee, C.-Y. Chang // The Journal of Systems and Software. – 2013. – Vol. 86. – P. 315– 323.
5. Huang, H.-C. Hierarchy-based reversible data hiding / H.-C. Huang, F.-C. Chang // Expert Systems with Applications. – 2013.- Vol. 40. – P. 34–43
6. Gu, Q. A novel reversible robust watermarking algorithm based on chaotic system / Q. Gu, T. Gao // Digital Signal Processing. – 2013. – Vol. 23. – P. 213–217
7. Tian, J. Reversible data embedding using a difference expansion / J. Tian // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2003. - Vol. 13, № 8. - P. 890–896.
8. Elshoura, S.M. A secure high capacity full-gray-scale-level multi-image information hiding and secret image authentication scheme via Tchebichef moments / S.M. Elshoura, D.B. Megherbi // Signal Processing: Image Communication. – 2013. – Vol. 28. – P. 531–552
9. A dual color images watermarking scheme based on the optimized compensation of singular value decomposition / Q. Sua, Y. Niub, Y. Zhaoa, S. Panga, X. Liu // Int. J. Electron. Commun. (AEÜ). – 2013. – Vol. 67. – P. 652–664
10. A blind dual color images watermarking based on singular value decomposition / Q.Su, Y.Niu, H.Zou, X.Liu // Applied Mathematics and Computation. – 2013. – Vol. 219. - P. 8455–8466
11. Maity, S.P. Perceptually adaptive spread transform image watermarking scheme using Hadamard transform / S.P. Maity, M.K. Kundu // Information Sciences. – 2011. – Vol. 181. – P. 450–465
12. Смирнов, М.В. Голографический подход к встраиванию голографических водяных знаков в фотоизображение / М.В. Смирнов // Оптический журнал. – 2005. – том 72, № 6, С. 51-56
13. Гендин, В.Г. Формирование и идентификация скрытых голографических водяных знаков в JPEG-изображениях / В.Г. Гендин // Труды конференции ГрафиКон - 2010. СПб: СПбГУ ИТМО. 2010. С. 344-345.
14. Elshoura, S.M. Analysis of noise sensitivity of Tchebichef and Zernike moments with application to image watermarking / S.M. Elshoura, D.B. Megherbi // J. Vis. Commun. Image R. – 2013. – Vol. 24. – P. 567–578