

Формирование и идентификация скрытых голографических водяных знаков в JPEG-изображениях

Владислав Гендин

Кафедра Компьютерной Фотоники и Видеоинформатики

Санкт-Петербургский Государственный Университет Информационных Технологий Механики и Оптики,

Санкт-Петербург, Россия

vlad.gendin@gmail.com

Аннотация

В работе рассматривается метод внедрения синтезированных на компьютере голограмм Фурье и Френеля в JPEG-изображения в виде водяного знака, совпадающего по размеру с изображением-приемником, в частотной области с предварительным уменьшением динамического диапазона голограммы и исследуется устойчивость восстановления водяного знака из JPEG-изображения с различным коэффициентом компрессии.

Keywords: Водяные знаки, Цифровая голография, JPEG

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы активно развиваются методы защиты цифровых изображений путем внедрения в них скрытых водяных знаков. Скрытые водяные знаки могут предотвратить подмену фотографии на документах или выявить факт подмены на этапе проверки. Скрытые водяные знаки необходимы для защиты авторских прав на изображения, поскольку возможно идентифицировать авторство изображения по водяному знаку.

Некоторые свойства голограмм, например то, что каждая точка голограммы содержит информацию обо всем изображении, открывают широкие возможности для внедрения голограмм в качестве скрытых водяных знаков.

Поскольку в настоящее время изображения чаще всего распространяются в формате JPEG, то рассмотрим метод внедрения скрытых голографических знаков в JPEG-изображения.

2. СИНТЕЗ ГОЛОГРАММ ФРЕНЕЛЯ И ФУРЬЕ

Голограмма Френеля – пропускающая голограмма, при регистрации которой регистрирующая среда находится в области дифракции Френеля рассеянного объектом излучения. Голограмма образуется благодаря интерференции объектной волны в зоне дифракции Френеля с опорной плоской волной.

Распределение интенсивности в плоскости записи голограммы (x, y) представляет собой свертку исходного распределения амплитуд в объекте $u(\xi, \eta)$ и квадратической фазовой функции пространственного распространения волны

$$h(x, y) = u(\xi, \eta) \otimes \left[\frac{1}{i\lambda d} \exp\left(\frac{2\pi i}{\lambda}\right) \exp\left[i \frac{\pi}{\lambda d} (ax^2 + ay^2)\right] \right], \quad (1)$$

где a – размер пикселя ПЗС матрицы камеры, λ – длина волны источника, d – расстояние от объекта до плоскости регистрации голограммы, \otimes – свертка.

В выражении (1) не учитывается угол между опорной и объектной волной, т.е. синтезируется соосная голограмма. Результат синтеза голограммы Френеля представлен на рис. 1, б. Исходный объект, голограмма которого синтезировалась, представлен на рис. 1, а.

Голограмму Фурье можно определить как голограмму плоского объекта, записываемого с помощью опорного точечного источника, расположенного в плоскости объекта, параллельной плоскости голограммы.

Голограмма Фурье может быть рассчитана исходя из того, что преобразование Фурье объектов, имеющих сдвиг в частотной области относительно начала координат, соответствует интерференции волны, рассеянной объектом, с опорной волной [1]

$$h(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \{ \gamma H(\xi - N, \eta - M) + \gamma H(-\xi - N, -\eta - M) \}, \quad (2)$$

где \mathcal{F}^{-1} – оператор обратного преобразования Фурье, γ – коэффициент усиления, N и M сдвиги относительно начала координат.

Для уменьшения возмущений в изображении-приемнике при синтезе голограмм Фурье и Френеля исходное изображение умножается на произвольный фазовый множитель [1]

$$\mu(x, y) = \exp(i\xi(x, y)), \quad (3)$$

где $\xi(x, y)$ – случайная фаза (нормальное распределение).

Результат синтеза голограммы Фурье объекта, представленного на рис. 1, а, представлен на рис. 1, с.

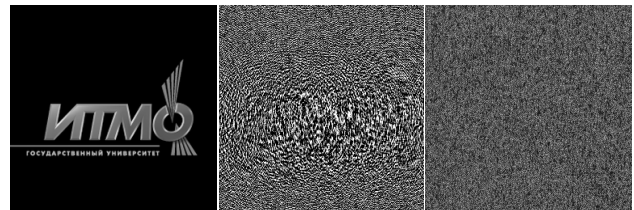


Рис 1: Исходный объект (а), результат синтеза голограммы Френеля (б) и Результат синтеза голограммы Фурье (с).

3. ВСТРАИВАНИЕ ВОДЯНЫХ НАКОВ В JPEG-ИЗОБРАЖЕНИЯ

Внедрение водяного знака в изображение-приемник $g(x, y)$ осуществляется в частотной области. Для этого выполняются следующие действия:

1. Изображения конвертируется в формат BMP.

2. Выполняется преобразование Фурье исходного изображения и голограммы водяного знака.
3. Для уменьшения возмущений, вызываемых внедрением водяного знака, выполняется преобразование динамического диапазона спектра голограммы в интервал от 0 до 16 для 8-битного изображения. Этого диапазона достаточно для точного восстановления голограммы.
4. Спектр исходного объекта складывается с Фурье-образом голограммы с уменьшенным динамическим диапазоном.
5. Выполняется обратное преобразование Фурье.
6. Полученное изображение конвертируется в JPEG формат.

Процесс, описанный в пунктах 2–5 аналитически можно представить следующим образом:

$$s(x, y) = \mathfrak{I}^{-1}\{\mathfrak{I}\{g(x, y)\} + \mathfrak{R}\{\mathfrak{I}\{h(x, y)\}\}\}, \quad (5)$$

где $s(x, y)$ – результирующее изображение с внедренным водяным знаком, \mathfrak{R} – оператор изменения динамического диапазона, $g(x, y)$ – распределение амплитуд в исходном объекте.

На рис. 2, b, c представлены результаты внедрения водяного знака на основе голограмм Френеля и Фурье в изображение, представленное на рис. 2, a.

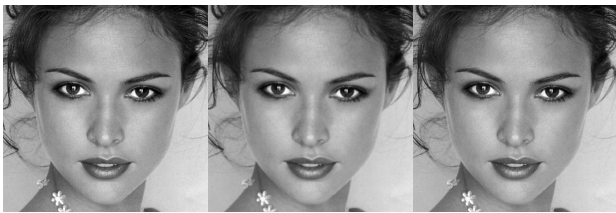


Рис 2: Исходное изображение-контейнер (a), изображение с внедренным водяным знаком на основе голограммы Френеля (b) и на основе голограммы Фурье (c).

Для идентификации водяного знака достаточно применить один из методов для восстановления соответствующей голограммы. Для голограммы Фурье – преобразование Фурье, для голограммы Френеля – метод Френеля [3].

Результаты восстановления голограмм Френеля и Фурье представлены на рис. 3.

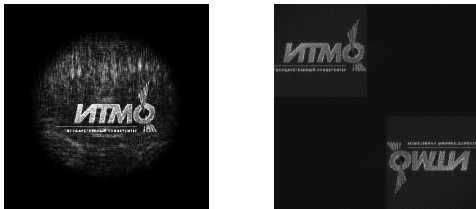


Рис 3: Результат восстановления голограммы Френеля (a) и голограммы Фурье (b).

Поскольку изображение с внедренным водяным знаком может подвергаться JPEG-сжатию с различной степенью качества, то необходимо провести исследование устойчивости восстановления водяного знака из JPEG-изображения с различной степенью качества.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ЗНАКА ИЗ ИЗОБРАЖЕНИЯ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ КАЧЕСТВА JPEG-СЖАТИЯ

Для количественного сравнения результатов восстановления введем критерий качества восстановленного изображения. Таким критерием может служить коэффициент корреляции исходного водяного знака и результата восстановления водяного знака из изображений, подвергнутых JPEG-сжатию с различным коэффициентом компрессии.

На графике, приведенном на рис. 4, представлены зависимости коэффициента корреляции от коэффициента компрессии JPEG-сжатию.

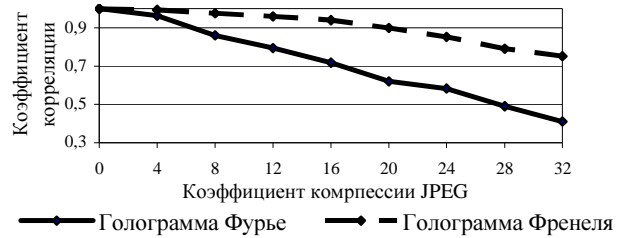


Рис. 4. Сравнение устойчивости методов к JPEG-сжатию.

Из графика видно, что к воздействию JPEG-сжатию голограмма Френеля более устойчива, чем голограмма Фурье.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе методы компьютерного внедрения голографических водяных знаков показали достаточную эффективность и устойчивость восстановления водяного знака. Внедрение в качестве водяного знака голограммы Френеля показало большую устойчивость JPEG-сжатию, чем внедрение голограммы Фурье. Поэтому можно рекомендовать использование в качестве водяных знаков голограмм Френеля в тех случаях, когда изображение будет подвергаться JPEG-сжатию, например при распространении в сети интернет.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михаил Смирнов, “Голографический подход к встраиванию голографических водяных знаков в фотоизображение,” *Оптический журнал*, том 72, № 6, с. 51-56, 2005.
- [2] Сергей Балтийский, Игорь Гуров и др., “Современные методы цифровой голографии” /В кн.: *Проблемы когерентной и нелинейной оптики* /Под ред. И.П. Гурова и С.А.Козлова. С. 91-117, 2004.
- [3] Владислав Гендин, “Формирование и идентификация изображений со встроенными водяными знаками методом цифровой голографии” *Труды научно-технического центра Фотоники и оптоинформатики* /Под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. С. 406-415, 2009.

7. ОБ АВТОРЕ

Владислав Гендин, аспирант СПбГУ ИТМО, кафедра Компьютерной Фотоники и Видеоинформатики. Адрес электронной почты: vlad.gendin@gmail.com.