

АЛГОРИТМ ВСТРАИВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ЕДИНИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ МАТРИЦЫ ДИСКРЕТНО- КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

О.В. Михайличенко, Н.Н. Прохожев

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Г. Коробейников

В статье предлагается метод встраивания цифровых водяных знаков в область дискретно-косинусного преобразования, обладающий повышенной устойчивостью к внешним воздействиям. Отличительной особенностью метода является использование единичного коэффициента матрицы ДКП для кодирования бита встраиваемой информации. Приводится сравнительная оценка устойчивости данного метода к основным внешним воздействиям на изображение контейнер. На основании практического применения даются рекомендации по выбору областей и параметров встраивания.

Ключевые слова: стеганография, алгоритмы частотной области, цифровые водяные знаки

Введение

Построение устойчивой стеганосистемы является актуальной и до конца не решенной задачей. Устойчивость к разного рода внешним воздействиям является ключевой характеристикой для алгоритмов, на основе которых строятся стеганосистемы решающие задачу защиты авторских прав. Целью данной работы является разработка алгоритма обладающего повышенной устойчивостью к одному из видов внешних воздействий – к JPEG сжатию с потерями.

Стеганографические алгоритмы на основе ДКП

Все современные алгоритмы, в основе которых лежит ДКП, можно классифицировать по выбору областей встраивания с псевдослучайным и качественным выбором, по количеству коэффициентов участвующих в кодировании бита скрываемой информации: на 2-х коэффициентные, 3-х коэффициентные и использующие множество коэффициентов. Несмотря на заявления авторов большинства алгоритмов, устойчивость алгоритмов по некоторым внешним воздействиям явно недостаточная для построения надежной стеганосистемы. Как показывает анализ устойчивости, алгоритмы не могут успешно противостоять такому распространенному воздействию, как JPEG сжатие с коэффициентом качества ниже 50, масштабированию и усредняющей фильтрации с размером окна фильтра 3х3 пикселя и более [1]. Если разного рода фильтрации и зашумления являются достаточно специфическими видами воздействий, то сжатие и масштабирование широко практикуются при использовании изображений. При исходных размерах большинства современных цифровых изображений, часто превышающих 10 мегапикселей, сжатие с низким коэффициентом качества не является препятствием для коммерческого использования такого изображения. Поэтому, наличие алгоритма устойчивого к JPEG сжатию с потерями, является одним из условий построения устойчивой стеганосистемы внедрения ЦВЗ в графические контейнеры.

Деградирующее воздействие JPEG сжатия на матрицу ДКП

Чтобы понять причины недостаточной устойчивости стеганоалгоритмов к JPEG сжатию, рассмотрим природу деградирующего воздействия JPEG сжатия на матрицу ДКП в целом. Основные потери информации происходят на этапе квантования. Коэффициенты ДКП квантуются матрицей квантования стандарта JPEG представленной на

рис. 1. Матрица была разработана исходя из психофизической модели человеческого зрения, с целью минимизировать видимые искажения в результате сжатия изображения.

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 16 | 11 | 10 | 16 | 24 | 40 | 51 | 61 |
| 12 | 12 | 14 | 19 | 26 | 58 | 60 | 55 |
| 14 | 13 | 16 | 24 | 40 | 57 | 69 | 56 |
| 14 | 17 | 22 | 29 | 51 | 87 | 80 | 62 |
| 18 | 22 | 37 | 56 | 68 | 109 | 103 | 77 |
| 24 | 35 | 55 | 64 | 81 | 104 | 113 | 92 |
| 49 | 64 | 78 | 87 | 102 | 121 | 120 | 101 |
| 72 | 92 | 95 | 98 | 112 | 100 | 103 | 99 |

Рис. 1. Коэффициенты матрицы квантования стандарта JPEG

При квантовании и последующем восстановлении коэффициенты матрицы ДКП изменяют свои значения. Такие изменения могут нарушить целостность встроенной информации.

Кодирование информации осуществляется созданием определенного неравенства между коэффициентами матрицы ДКП, в которые производится встраивание. Нарушение этого неравенства неизбежно приводит к безвозвратной потере информации. Неравенство может быть нарушено в двух случаях: неравенство превращается в равенство и знак неравенства изменяется. Превращение неравенства в равенство, в свою очередь, также возможно в двух случаях: когда коэффициент становится равны друг другу и когда они обнуляются. При больших значениях коэффициента силы встраивания, модификация коэффициентов осуществляется путем их изменения на значительную величину, что уменьшает вероятность их равенства. Несмотря на то, что такой подход приводит к сильным искажениям изображения контейнера, он дает ощутимое увеличение устойчивости, что, как правило, используется в алгоритмах с качественным выбором областей встраивания. Следует так же отметить, что преимущество в устойчивости к JPEG имеют алгоритмы с 2-х коэффициентным кодированием, поскольку использование меньшего количества коэффициентов позволяет изменять их на большую величину без серьезных потерь качества изображения. Однако, предотвратить обнуление коэффициентов возможно только путем увеличения их значений, что имеет очень ограниченные возможности независимо от алгоритма встраивания. Изменение знака неравенства между коэффициентами обусловлено разностью значений между коэффициентами матрицы квантования. Если кодирующая разность между коэффициентами незначительна по отношению к величинам самих коэффициентов, а величины соответствующих коэффициентов матрицы квантования значительны, то знак неравенства может поменяться в случае, если неравенство между квантуемыми коэффициентами нарушает кодирующее неравенство.

Разработанный алгоритм повышенной устойчивости

Очевидный путь повышения устойчивости – это использование коэффициентов матрицы ДКП в областях низкочастотных компонент. Проведенные исследования показывают, что, несмотря на изменение характера вносимых искажений, уровень этих самых искажений остается одинаковым [2]. Если искажения не достигают уровня визуализации, то встраивание в коэффициенты низкочастотных компонент вполне оправдано. Однако, использование для этих целей коэффициентов близких к DC коэффициенту все же не рекомендуется, поскольку это может приводить к серьезной деградации всего

пиксельного блока. Не целесообразно, также, ограничивать область допустимых коэффициентов исключительно их принадлежностью к определенной частотной группе компонент, как это делает большинство авторов. Если взглянуть на матрицу квантования JPEG, то можно заметить, что квантующие коэффициенты для коэффициентов матрицы ДКП одной частотной области могут отличаться более чем в два раза. При такой селекции, устойчивость внедренной информации будет зависеть лишь от псевдослучайного выбора конкретных коэффициентов. Таким образом, целесообразно определять рамки области коэффициентов матрицы ДКП, пригодных для встраивания информации, значениями соответствующих коэффициентов матрицы квантования JPEG.

При воздействии JPEG коэффициенты матрицы ДКП изменяют свои значения. Значения могут меняться, как в сторону увеличения кодирующего неравенства, так и в сторону его уменьшения. Зависит это от нескольких факторов, таких как, значения самих коэффициентов матрицы ДКП, величины разницы между кодирующими коэффициентами, значениями соответствующих коэффициентов квантования. Определить заранее поведение коэффициентов матрицы ДКП при JPEG сжатии достаточно сложно, поскольку коэффициент силы встраивания задается пользователем, а коэффициенты, в которые производится встраивание, выбираются псевдослучайным образом. Для исключения такой неопределенности предлагается использовать один коэффициент матрицы ДКП и некоторое пороговое значения, для однозначного кодирования встраиваемого бита, как описано в формуле.

Кодирование:

$$\begin{cases} |\Omega_b(u,v)| < 0.5P, & \text{при } m_b = 0; \\ |\Omega_b(u,v)| > 1.5P & \text{при } m_b = 1. \end{cases}$$

Считывание:

$$\begin{cases} m_b = 0 & \text{при } |\Omega_b(u,v)| < P; \\ m_b = 1 & \text{при } |\Omega_b(u,v)| > P. \end{cases}$$

где $\Omega_b(u,v)$ – коэффициент матрицы ДКП с координатами u,v ; P – коэффициент силы встраивания; m_b – бит встраиваемой информации.

Здесь пороговое значение играет роль «виртуального коэффициента», который не подвержен влиянию JPEG сжатия, что позволяет исключить ситуацию, когда изменения коэффициентов направлены в сторону уменьшения кодирующего неравенства между ними. Выбор величины порогового значения определяется устойчивостью встроенной информации, чем больше величина, тем выше устойчивость. Стоит предостеречься от использования слишком больших значений порогового коэффициента, поскольку это может сильно сказаться на качестве изображения. Целесообразно выбирать значения порогового коэффициента близким к среднему значению соответствующих коэффициентов матрицы ДКП.

Результаты сравнительного анализа устойчивости разработанного алгоритма

Для сравнительного анализа был выбран алгоритм Кох, как наиболее устойчивый алгоритм со случайным выбором областей встраивания. Уровень вносимых искажений при встраивании устанавливался одинаковым по параметру пикового соотношения сигнал/шум (PSNR). Величина искажений выбиралась субъективно с условием отсутствия визуализации артефактов внедрения. В качестве изображений контейнеров были выбраны 10 полутоновых естественных изображений разрешением 512×512 . Размер внедряемого ЦВЗ соответствовал максимальной пропускной способности контейнеров. Устойчивость измерялась параметром BER(Bit Error Rate) [3].

Результаты сравнительного анализа устойчивости алгоритма к JPEG сжатию с потерями представлены на рис. 2

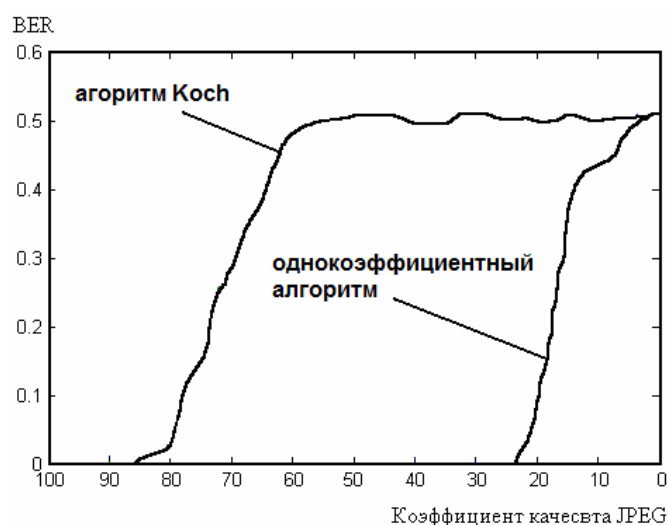


Рис. 2. Устойчивость алгоритмов к JPEG сжатию с потерями

Как и ожидалось, однокоэффициентный алгоритм демонстрирует хорошую устойчивость к JPEG сжатию, что обусловлено как использованием устойчивых коэффициентов матрицы ДКП, так и однокоэффициентной природой алгоритма

Устойчивость к фильтрации позволяет говорить об устойчивости данного алгоритма к этому виду воздействия, см. таблицу.

| Фильтр | Koch, BER | Однокоэффициентный алгоритм, BER |
|----------------|-----------|----------------------------------|
| Низкочастотный | 0.008 | 0.018 |
| Усредняющий | 0.42 | 0.24 |
| Контрастный | 0 | 0.022 |

Таблица. Устойчивость встроенной информации к фильтрации

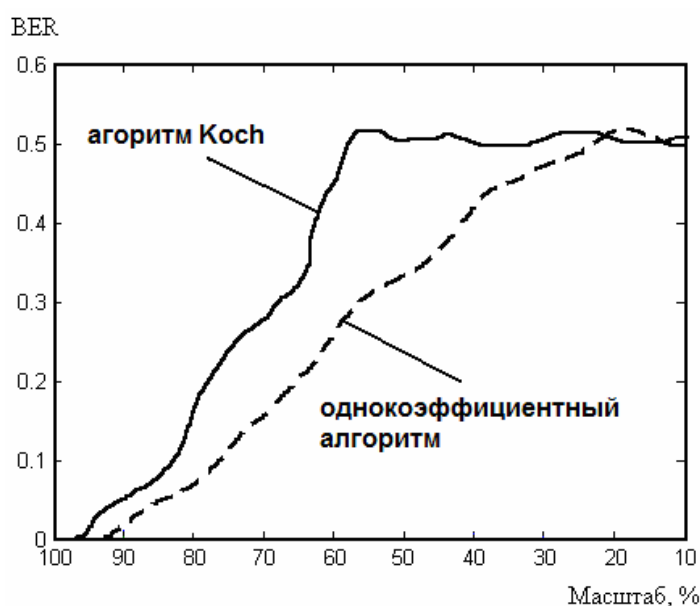


Рис. 3. Устойчивость алгоритмов к масштабированию

Наиболее опасная усредняющая фильтрация оказывает меньшее воздействие, чем на алгоритм Кох, в силу использования низкочастотных областей для встраивания.

Результаты устойчивости алгоритмов к масштабированию приведены на рис. 3.

Сильного выигрыша в устойчивости к масштабируемости у однокоэффициентного алгоритма не наблюдается, поскольку особенности масштабирования никак не учитывались при разработке данного алгоритма. Небольшое преимущество перед алгоритмом Кох можно также объяснить использованием низкочастотных областей для встраивания.

Выводы

Был создан алгоритм повышенной устойчивости к JPEG сжатию. Достигнутый уровень устойчивости позволяет противостоять этому воздействию во всем диапазоне качества JPEG сжатия в рамках коммерческого использования изображения-контейнера. Использование данного алгоритма, в качестве ядра устойчивой стеганосистемы, будет гарантировать сохранность внедренной информации, даже если изображение-контейнер подвергать сжатию с низким коэффициентами качества JPEG. При этом устойчивость к остальным внешним воздействиям будет на уровне современных стеганографических алгоритмов.

Литература

1. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – М: Издательство МК-Прес, 2006. – 288 с.
2. Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Коробейников А.Г. Использование стеганографических алгоритмов частотной области в условиях атак на изображение-контейнер. – Дивноморск. САПР, 2008.
3. Коробейников А.Г., Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В. Выбор коэффициентов матрицы дискретно-косинусного преобразования при построении стеганографических систем, основанных на алгоритмах частотной области. – М.: Вестник приборостроения, 2008. – №10.