



ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ КОМПОНЕНТЫ ЯРКОСТИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В работе рассматривается компонента яркости цифровых изображений в цветовом пространстве YCbCr, оценивается пригодность её модулирования для встраивания цифровых водяных знаков. Анализируются некоторые варианты незаметного для зрительного аппарата человека встраивания в изображения с глубиной квантования 8 и 10 бит.

Ключевые слова: цифровой водяной знак, видеопоток, цифровое изображение, блочное кодирование, компонента яркости.

Krotova E. L., Shipitsin S. P.

ESTIMATION OF THE SUITABILITY OF A LUMA COMPONENT OF DIGITAL IMAGE IN STEGANOGRAPHIC METHODS OF INFORMATION PROTECTION

The paper concentrates on a luma component of digital images in YCbCr color space, estimates the suitability of its modulation for digital watermarking. Analyzes some options of invisible to the human visual system embedding in images with 8 and 10 bits depth quantization.

Keywords: digital watermark, video stream, digital image, block coding, luma component.

В связи с необходимостью обеспечения авторских и смежных прав при массовом предоставлении медиа контента в последние годы всё более широко используются стеганографические методы защиты информации, которые позволяют избежать или пресечь не-

контролируемое распространение проприетарного контента. Такое применение стеганографии получило название «цифровые водяные знаки» (ЦВЗ), которые позволяют при их внедрении в предоставляемый файл предотвратить его несанкционированное копиро-



Рис. 1. Исходное изображение в формате jpeg

вание, локализовать точку утечки информации или однозначно определить злоумышленника. Работа большинства современных систем встраивания цифровых водяных знаков в видеопотоки предполагает изменение основного потока данных [1], т.е. изображения, непосредственно выводимого на экран. Такой подход приводит к необходимости соблюдать два диаметрально противоположных требования: с одной стороны, ЦВЗ должен обладать достаточно большим информационным объёмом, чтобы быть устойчивым к атакам и распознаваться в соответствующих детекторах; с другой стороны, для потребителя наиболее важно качество предоставляемого контента, а значит, заметные невооружённым глазом изменения изображения неприемлемы. Компонента яркости видеопотока представляется наиболее привлекательной для встраивания ЦВЗ, поскольку в процессе сжатия сохраняет максимальный информационный объём [2]. Этим обуславливается возможность внесения более масштабных изменений при сохранении первоначального качества изображения.

Важно оценить изменения компоненты яркости с точки зрения визуальной заметности, поскольку именно эта характеристика, в конечном счёте, повлияет на восприятие изображения потребителем. Следует учитывать

глубину квантования, с которой закодировано видео, так как не все уровни компонента изображения используются по прямому назначению. Так, при квантовании с разрядностью 8 бит из 256 доступных уровней только 220 используются для передачи сигнала яркости (диапазон 16-235), а остальные - для сигналов синхронизации. При 10-битном кодировании используется 877 уровней [3].

Рассмотрим один из методов встраивания ЦВЗ, предполагающих модуляцию яркости: наложение монохромного изображения-ЦВЗ на кадр видеопотока с инкрементом компоненты яркости в блоках, соответствующих контуру изображения, и декрементом - в со-

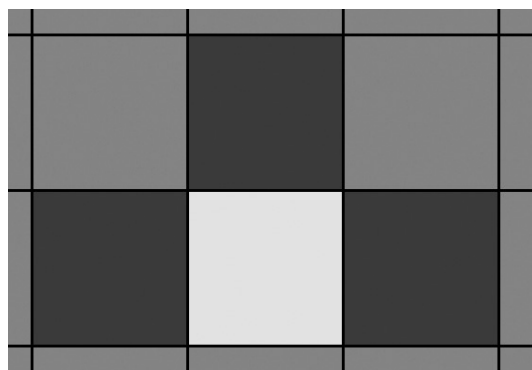


Рис. 2. Встраиваемое изображение размером в 4 пикселя. Тёмно-серым показан декремент яркости, светло-серым – инкремент

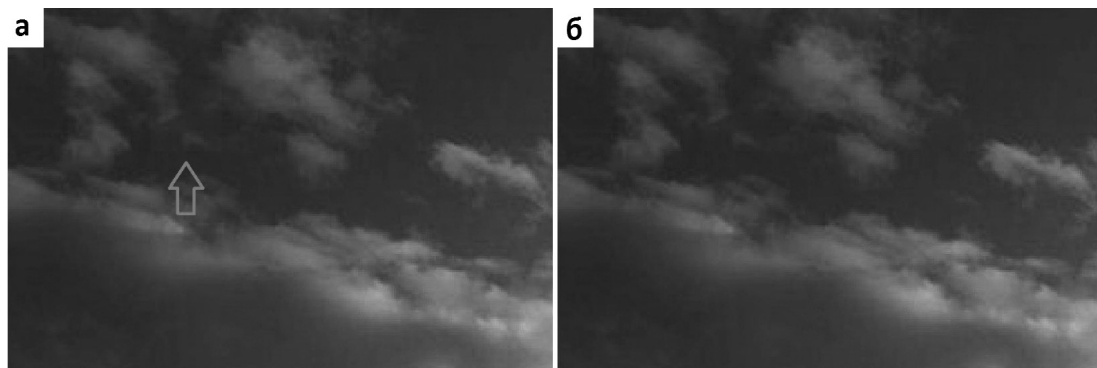


Рис. 3. Встраивание ЦВЗ при: а – 8-битном кодировании, б – 10-битном кодировании

седних [4]. Поскольку наиболее популярные в настоящее время блочные стандарты сжатия – AVC и HEVC – в первом приближении основаны на стандарте JPEG, можем для анализа воспользоваться изображением в формате jpeg (рис. 1). Переведём его в цветовое пространство YCbCr, сформируем некоторое изображение-ЦВЗ (рис. 2) и произведём встраивание в соответствии с данным алгоритмом.

Сначала проверим заметность встраивания для 8-битной кодировки. Для этого выделим отдельно компоненту яркости изображения в градациях серого (рис. 3), где $Y=0$ – чёрный цвет (минимальный уровень яркости), $Y=1$ – белый цвет (максимальный уровень яркости). Следующим шагом увеличим или уменьшим на $\Delta_Y = 1/220 \approx 0,00455$ значения яркости тех пикселей, которые участвуют в процессе встраивания (рис. 3, а). Для представления каждого пикселя ЦВЗ будем использовать блоки 32×32 .

Изменения видны невооружённым глазом, что говорит о неприемлемости подобного встраивания для использования в клиентоориентированных системах.

Аналогичным образом проверим заметность встраивания для 10-битной кодировки (рис. 3, б). Единственным отличием будет $\Delta_Y = 1/877 \approx 0,00114$. В этом случае внесённые изменения незаметны, что связано с возросшей глубиной квантования.

Следует отметить, что блочные артефакты, являющиеся недостатком соответствующих алгоритмов сжатия, в данном случае работают в пользу незаметности ЦВЗ, поскольку частично маскируют изменения яркости конкретного блока. На (рис. 4) продемонстрировано встраивание ЦВЗ в блоки основного для данного изображения размера 8×8 . Видно, что в зависимости от расположения блоков изменения заметны в различной степени, поэтому для подобного рода встраивания необходимо производить дополнительный анализ артефактов исходного изображения.

Способность зрения различать изменения яркости (т.е. контрастная чувствительность) существенно возрастает при увеличении уровня фоновой яркости⁵. Это означает, что в тёмных областях изображения изменения яркости будут куда менее заметны, чем в светлых. На (рис. 5, а) продемонстрировано



Рис. 4. Встраивание ЦВЗ в блоки 8×8 .
Стрелки указывают на блоки с инкрементом яркости

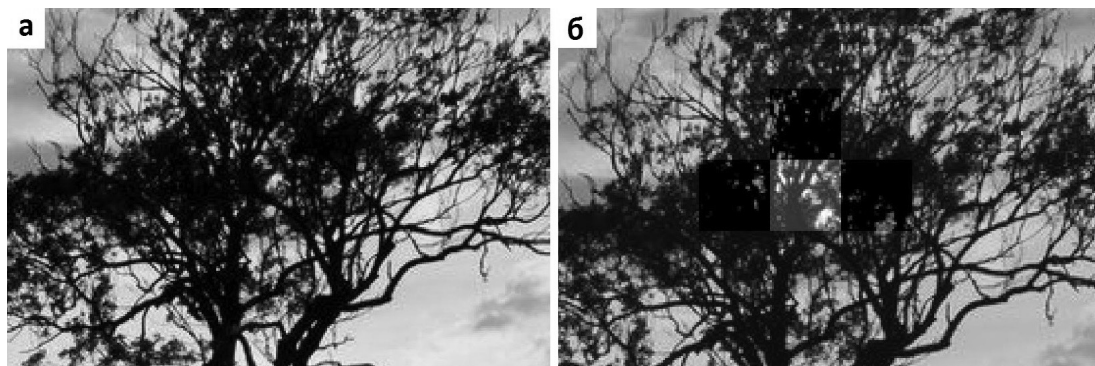


Рис. 5. Встраивание ЦВЗ в тёмную высококонтрастную область: а – изображение со встроенным ЦВЗ, б – маска встраивания (контрастность увеличена)

встраивание в тёмную область изображения с глубиной квантования 8 бит. Для наглядности на (рис. 5, б) показана маска встраивания ЦВЗ. Указанный пример также демонстрирует эффективность изменения высококонтрастных областей изображения.

Применение современных систем встраивания цифровых водяных знаков в видеопотоки неизбежно приводит владельцев авторского контента к необходимости балансировать на тонкой грани между устойчиво-

стью встраиваемого сообщения и качеством предоставляемого видеоконтента. Между тем, встраивание ЦВЗ в компоненту яркости изображения посредством её модуляции позволяет при соблюдении некоторых рекомендаций, описанных выше, сохранить визуальный ряд в неизменном виде, а также обеспечить достаточно большой информационный объём для наибольшей устойчивости внедряемого сообщения к информационным атакам.

Примечания

1. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
2. Richardson I.E. An introduction to High Efficiency Video Coding (FULL) [electronic resource] / I.E. Richardson. – Electronic data. – Aberdeen: Vcodex Ltd, 2013. – Mode of access: <https://www.vcodex.com/press.asp>. – Title screen.
3. ITU-T. Recommendation H.265. – [Geneva], 2014. – 518 p.
4. Шипицин С.П. Встраивание цифровых водяных знаков в видеопотоки, сжатые с использованием древовидных структур кодирования. В кн.: Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: материалы XXXII студенческой международной науч.-практ. конф., Новосибирск, 26 мая 2015 г. / АНС «СибАК». – Новосибирск: Изд. «СибАК». — 2015. — № 5 (31). – С. 124 – 129.
5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2012. – 1104 с.

Кротова Елена Львовна, кандидат физико-математических наук, доцент, Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, факультет ПМиМ, кафедра ВМ, г. Пермь. E-mail: lenkakrotova@yandex.ru

Шипицин Сергей Павлович, студент, ПНИПУ, ЭТФ, кафедра АТ. E-mail: s.p.shipitsin@gmail.com

Krotov Elena, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Perm National Research Polytechnic University, PMiM Faculty, Department of ВМ, Perm . E-mail: lenkakrotova@yandex.ru

Shipitsyn Sergei, a student Perm National Research Polytechnic University. E-mail: s.p.shipitsin@gmail.com