



Для осуществления процессов задействуются следующие ресурсы: трудовые ресурсы администратора сайта (g_1), трудовые затраты сотрудников заказчика ЖК (g_2), трудовые ресурсы проектной организации (g_3), трудовые ресурсы подрядной строительной организации (g_4). Задействование того или иного ресурса обозначено на схемах пунктирной линией.

Переходы между состояниями имеют между собой отношения сопутствия и предшествования. Отношение предшествования обозначено синей стрелкой, отношение сопутствия - зеленой линией.

Литература

1. Сюсин И.А. Управление деятельностью виртуального посреднического оператора в сфере услуг, 2015.
2. Иващенко А.В., Корчивой С.А., Прохоров С.А. Инфраструктурные модели цифровой экономики / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 20, № 6(2), 2018.
3. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами: учебник / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009.

И.И. Зимарева, А.А. Столбова

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

(Самарский университет)

В связи с бурным развитием технологий мультимедиа встает вопрос защиты авторских прав и интеллектуальной собственности, представленной в цифровом виде. Примерами могут являться фотографии, аудио и видеозаписи. Преимущества, которые дают представление и передача сообщений в цифровом виде, могут оказаться перечеркнутыми легкостью, с которой возможно их воровство или модификация. Поэтому в современном мире активно разрабатываются различные способы защиты информации [1].

Один из наиболее эффективных технических средств защиты мультимедийной информации заключается во встраивании в защищаемый объект невидимых меток – цифровых водяных знаков (ЦВЗ). Термин «digital watermarking» был впервые применен в работе [2] в 1997 году. Наиболее подходящими объектами защиты при помощи ЦВЗ являются неподвижные изображения, файлы аудио и видеоданных.

Актуальность разработки программных средств, осуществляющих защиту информации посредством встраивания цифровых водяных знаков, можно объяснить многочисленными возможными атаками на мультимедийные системы с их последующим изменением.



Система, реализуемая в рамках данной работы, позволяет проводить автоматизированное встраивание ЦВЗ в полутоновое изображение при помощи дискретного вейвлет-преобразования с использованием вейвлета Хаара и аддитивного алгоритма встраивания.

Рассмотрим шаги алгоритма внедрения ЦВЗ в исходное изображение:

- 1) Применение прямого трехуровневого дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) к оригинальному изображению и разбиение его на 10 частотных областей: LL3, LH3, HL3, HH3, LH2, HL2, HH2, LH1, HL1, HH1;
- 2) Внедрение ЦВЗ путем модификации частотных значений области LL3 оригинального изображения по следующей формуле [3]:

$$c'_i = c_i + \alpha * w_i, \quad (1)$$

где c_i – частотный коэффициент, подлежащий изменению; c'_i – измененный коэффициент; w_i – встраиваемый элемент ЦВЗ; α – коэффициент силы встраивания (весовой коэффициент).

- 3) Применение обратного трехуровневого ДВП с использованием модифицированных коэффициентов низких частот и получение изображения с внедренным ЦВЗ (маркированного изображения).

Для оценки уровня искажений маркированного изображения относительно исходного в работе использовалась метрика PSNR (PeakSignal-to-NoiseRatio) – пиковое отношение сигнала к шуму, рассчитываемое по формуле [4]:

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{MAX_I^2}{\sigma} \right) = 20 \lg \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{\sigma}} \right), \quad (2)$$

где MAX_I – максимальное значение, принимаемое пикселем изображения I, σ – среднеквадратическое отклонение.

Типичные значения метрики PSNR для встроенных водяных знаков в изображения лежат в пределах от 30 до 40 дБ. Чем выше значение метрики, тем лучше качество маркированного изображения и более высокая незаметность скрытого ЦВЗ. Высокий ЦВЗ указывает на меньшие искажения.

Среднеквадратичное отклонение для двух изображений I и K размера $m \times n$ вычисляется по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2, \quad (3)$$

где I является зашумленным приближением K.

На базе разработанных алгоритмов реализована автоматизированная система внедрения цифровых водяных знаков в изображения, структурная схема



которой представлена на рисунке 1 и показывает, что система состоит из трех основных подсистем: файловой, подсистемы преобразования и визуализации.

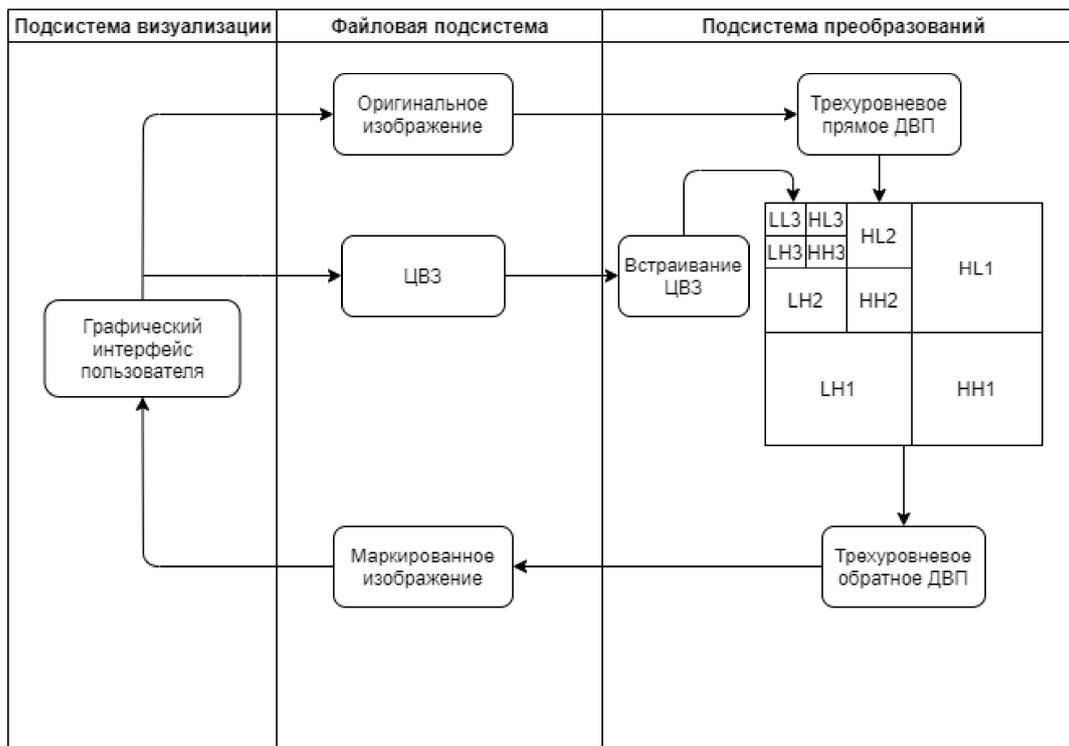


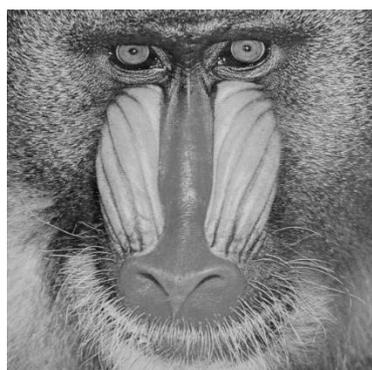
Рисунок 1 – Структурная схема системы

Файловая подсистема необходима для загрузки изображений и ЦВЗ. Подсистема преобразований включает в себя инструмент для проведения преобразований над контейнером и хранит математический аппарат для обеспечения работоспособности программы. Подсистема визуализации включает графический интерфейс пользователя.

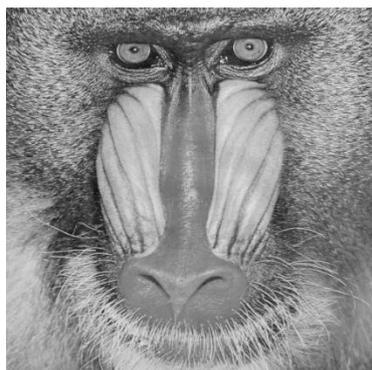
Взаимодействие пользователя с системой подразумевает под собой выполнение следующих действий:

- загрузка оригинального изображения-контейнера;
- загрузка изображения ЦВЗ;
- установка коэффициента встраивания α ;
- получение маркированного изображения.

Для апробации реализованных алгоритмов внедрения ЦВЗ в качестве изображения-контейнера использовалось квадратное полутоновое изображение Mandrill размера 512×512 пикселей, а в качестве ЦВЗ – полутоновое изображение «Самарский университет» размера 64×64 . На рисунке 2 представлены результаты работы программы при использовании значения усиливающего коэффициента $\alpha = 0,08$.



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Результаты работы программы при $\alpha = 0,08$: а) Оригинальное изображение-контейнер; б) Маркированное изображение; в) Водяной знак

В результате сравнения оригинального изображения-контейнера и маркированного изображения при $\alpha = 0,0$ значение метрики $PSNR = 27,47$. Это говорит о довольно хорошей незаметности ЦВЗ в маркированном изображении, однако при данном значении усиливающего коэффициента значение метрики не попадает в диапазон оптимальных значений. Проведем исследования зависимости значения метрики $PSNR$ от значения усиливающего коэффициента α .

Результаты исследования зависимости пикового отношения сигнала к шуму от усиливающего коэффициента α , полученные с использованием изображения Mandrill и ЦВЗ «Самарский университет», представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения $PSNR$ при различных значения α

α	$PSNR$, дБ
0,003	55,99
0,005	51,55
0,009	46,45
0,030	35,99
0,080	27,47
0,100	25,53
0,500	11,55
0,800	7,47
1,000	5,53

На основании полученных данных построен график зависимости метрики сравнения $PSNR$ от усиливающего коэффициента α , представленный на рисунке 3. В результате анализа полученных значений выявлено, что допустимые значения метрики $PSNR$ получены при значениях усиливающего коэффициента α , принимающего значения в диапазоне от 0,003 до 0,03.

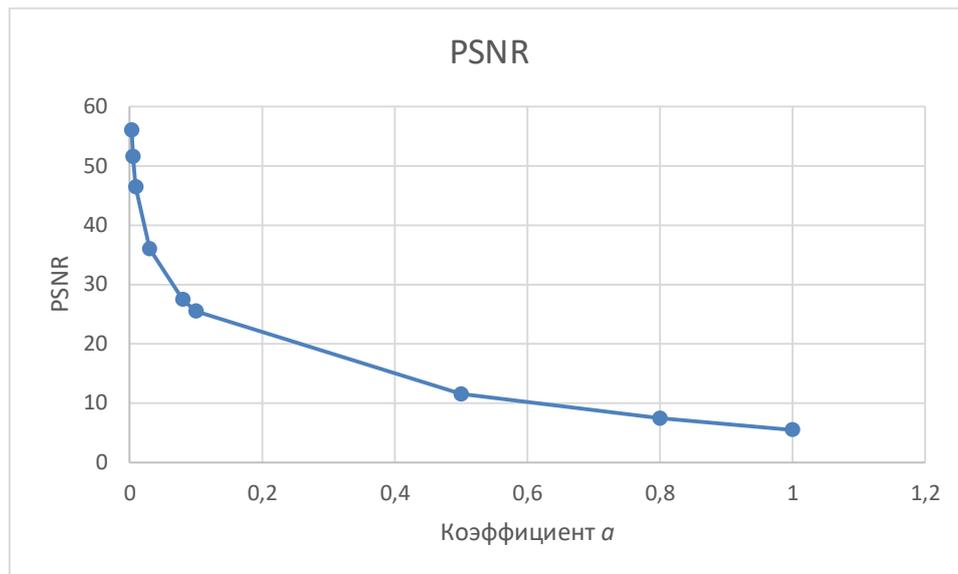


Рисунок 3 – Зависимость величины PSNR от усиливающего коэффициента α

Таким образом, в результате данного исследования разработаны и реализованы в виде автоматизированной системы алгоритмы встраивания ЦВЗ в изображения на основе дискретного вейвлет-преобразования. Показано, что при увеличении усиливающего коэффициента α снижается качество изображения с внедренным ЦВЗ, а, следовательно, он становится более заметным.

Литература

1. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография [Текст]: Издательство «СОЛОН-Пресс», 2009 - 256 с.
2. Osborne C., van Schyndel R., Tirkel A. A Digital Watermark [Текст]: IEEE In-tern. Conf. on Image Processing, 1994. с. 86-90.
3. Cox, I. J., Kilian, J., Leighton, F. T., & Shamoon. TSecure spread spectrum watermarking for multimedia [Текст]: IEEE Transactions on Image Processing, 1997. с. 1673–1687.
4. Sara U., Akter M., Uddin M. S. Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study //Journal of Computer and Communications. – 2019. – Т. 7. – №. 3. – С. 8-18.