

Обзор алгоритма внедрения цифрового водяного знака в видео-контент с использованием дискретного вейвлет-преобразования

Микулич Дмитрий Анатольевич

*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема
магистрант*

Аннотация

В данной статье дан обзор алгоритма внедрения цифрового водяного знака в видео-контент с использованием дискретного вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: цифровой водяной знак, видео, дискретное вейвлет-преобразование, стеганография.

A review of the algorithm for inserting a digital watermark into video content using a discrete wavelet transform

Mikulich Dmitry

*Priamursky Sholom-Aleichem State University
student*

Abstract

This article provides an overview of the algorithm for inserting a digital watermark in video content using discrete wavelet transform.

Keywords: digital watermark, video, discrete wavelet transform, steganography

Использование цифровых водяных знаков (ЦВЗ) обусловлено (в большей степени) необходимостью выполнять защиту от несанкционированного доступа или от копирования. В связи с интенсивным развитием мультимедийных технологий вопрос защиты интеллектуальной собственности и авторских прав на информацию, которая представлена в цифровом виде. В качестве примеров можно упомянуть аудио-файлы, фотографии и видеозаписи. Очевидно, что все достоинства, обеспечиваемые представлением и передачей информации в цифровом виде, могут быть обесценены при их несанкционированном изменении или воровстве. Следовательно, необходимыми являются разработки разнообразных защитных методов (как технического, так и организационного характера). Одним из самых перспективных направлений в этой области является встраивание невидимых меток (цифровых водяных знаков) в объект защиты. Практически все ведущие мировые фирмы заинтересованы и активно занимаются разработками подобного рода.

Следует отметить, что в настоящее время появилось множество исследований, посвященных внедрению цифровых водяных знаков в видео-данные, в частности, в потоковое видео, которые находят отражение при

рассмотрении проблем, связанных с защитой информации и информационной безопасностью. Так А.П. Бахрушиным для синхронизации процессов внедрения и поиска цифровых водяных знаков был использован спектральный анализ видеок кадров, основанный на системе импульсных функций. Теория вейвлет-преобразований для вставки ЦВЗ в видеопоток в режиме реального времени рассматривалась такими исследователями, как М.Ю. Литвиновым и А.К. Григорьяном [1]. Тем же Ф.П. Бахрушиным, совместно с Р.И. Цой и Г.И. Бахрушиной [2] были разработаны методы, направленные на защиту видеопродукции и являющиеся устойчивыми к геометрическим атакам. Р.Т. Файзуллин и Д.А. Сагайдак [3] рассматривался метод, позволяющий формировать цифровой водяной знак для электронных и физических документов. Исследователем В.Н. Копенковым [4,5] были описаны эффективные алгоритмы, в основе которых лежит локальное дискретное вейвлет-преобразование с базисом Хаара. Очень интересная работа, посвященная защите информационного содержания цифровых фотографий при помощи метода многократной маркировки цифровыми водяными знаками была представлена Э.С. Клышинским и Ю.А. Белобоковой [6]. Алгоритмом, осуществляющим встраивание в файлы формата MPEG-4 цифрового водяного знака занимались И.В. Иванов, С.В. Радаев, а также Д.А. Кирюхин [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Следует отметить и труды зарубежных ученых в этой сфере (разработка, исследование и усовершенствование способов внедрения ЦВЗ в видео). Так М. Джиангом и другими учеными было проведено исследование, целью которого было изучение внедрения ЦВЗ в видео, закодированное с помощью кодека MPEG-2. Алгоритмами внедрения в потоковое видео занимались ученые [8], изучали особенности использования ЦВЗ в цифровом видео с целью идентификации кадров.

Как уже было сказано, популярность приложений, в основе которых лежит использование цифрового видео, диктует необходимость защищать авторские права, а также реализовывать комплекс мер, связанных с предотвращением незаконного копирования и распространения информации.

Одним из наиболее хорошо изученных направлений в данной области является методика вставки данных аутентификации, таких как информации о владельце и логотипа, в цифровое медиа без нарушения его качества. В случае возникновения споров об авторском праве существует возможность извлечения данных аутентификации из контента, что является достаточно авторитетным доказательством права владения.

Одним из таких методов вставки является использование цифрового водяного знака в качестве данных аутентификации. ЦВЗ может быть вставлен в мультимедиа объект с возможностью его последующего извлечения для доказательства права владения. В качестве объекта обычно выступают изображение, аудио или видео. Алгоритмы вставки цифрового водяного знака должны отвечать критериям незаметности, а также надежности при попытке атак всех видов, направленных на его удаление или изменение.

Большая часть алгоритмов использования цифрового водяного знака ориентированы на неподвижные изображения или видеоролики. Часть алгоритмов разработана для несжатого видео, однако существуют алгоритмы вставки цифровых водяных знаков непосредственно в сжатое видео. В связи с присущим структуре видеокадров избыточности, видеосигналы являются достаточно восприимчивыми к атакам, таким как усреднение кадра, подмена кадров, удаление кадров и атакам, связанными со статистическим анализом кадров.

Технология использования цифровых водяных знаков в видео-контенте обладает рядом особенностей. Одним из главных требований к таким алгоритмам является достижение необходимой надежности. Большинство используемых методик внедрения ЦВЗ в видео-контент подобны технологиям, применяемым для статических изображений. Однако внедрение ЦВЗ в видео-ролики влечет за собой ряд трудностей, отсутствующих при внедрении цифровых водяных знаков в статическое изображение.

Все методы внедрения ЦВЗ в видео могут быть разделены на две большие группы: пространственные и частотные в соответствии с областью применения. Для алгоритмов первой группы характерным является модификация (изменение) значений цвета пикселей соответствующих кадров (фреймов) видео-контента. Напротив, алгоритмы второй группы оперируют коэффициентами, полученными в результате частотного преобразования либо фрейма целиком, либо единичных блочных областей фрейма.

При этом наиболее часто используются следующие преобразования:

- дискретное косинусное преобразование (DCT);
- дискретное преобразование Фурье (DFT);
- дискретное вейвлет-преобразование (DWT).

Ниже будет представлен алгоритм внедрения цифрового водяного знака в видео-контент с использованием дискретного вейвлет-преобразования и PCA. Под PCA (Principal Component Analysis) понимается в области цифровых изображений методика линейного преобразования, дающая возможность передачи большего объема информации об изображении для основных компонентов. Другими словами, PCA является методом идентификации шаблонов данных и выражения данных таким способом, чтобы легче было выявить сходства и различия между ними. После идентификации данные подвергаются сжатию, за счет чего происходит уменьшение количества измерений без существенных потерь информации. В итоге данные отображаются как бы в новой системе координат, в которой данные, обладающие максимальной ковариацией, совмещаются и в дальнейшем используются в качестве основного компонента.

Данное преобразование, например, нашло широкое применение при встраивании цифрового водяного знака в каждый из каналов цвета каждого из фреймов видео-ролика. К основным преимуществам данного алгоритма можно отнести возможность встраивания одного или нескольких ЦВЗ в

каждый из каналов цвета изображения, за счет чего удается существенно повысить надежность ЦВЗ.

Прежде, чем приступить к описанию непосредственно реализованного алгоритма, необходимо кратко описать принципы дискретного вейвлет-преобразования (DWT) с использованием фильтра Хаара (2-х уровневого).

Данное преобразование широко применяется в приложениях цифровой обработки сигналов. 2-D дискретное вейвлет-преобразование осуществляет разложение изображения или видеокadra на вспомогательные изображения, из которых три детализированных и одно приближенное. 2-D вейвлет преобразование является композицией 1-D вейвлет-преобразований в горизонтальном и вертикальном направлениях. Данным преобразованием частотный диапазон изображения разделяется на приближенные поддиапазоны: низкого разрешения (*LL*), а также три уточняющих (детализированных) поддиапазона – горизонтального (*HL*), вертикального (*LH*) и диагонального (*HH*).

Поддиапазоны 2-х уровневого дискретного вейвлет-преобразования представлены на рисунок 1.1.

Цифровой водяной знак может быть встроен как в область низких, так и в область высоких частот. Благодаря вейвлет-преобразованию подобного типа повышается робастность (надежность) цифрового водяного знака. Вместе с тем, видео со встроенным ЦВЗ становится подверженным различного рода атакам из-за низких появления таких характеристик, как фильтрация, наличие геометрических искажений, а также потеря сжатия.

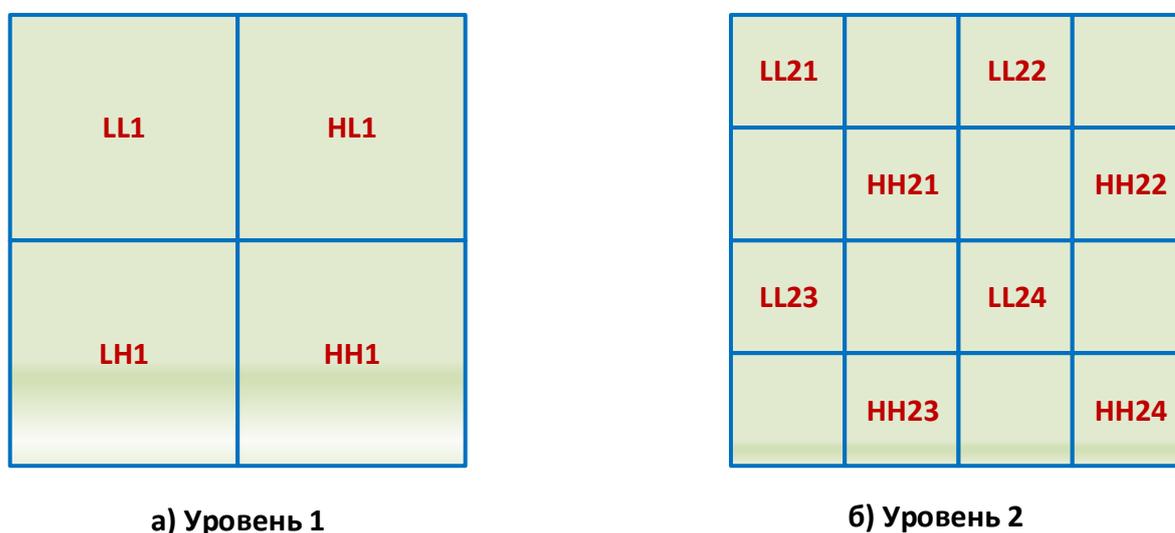


Рисунок 1.1 – Подобласти 2-х уровневого дискретного вейвлет-преобразования

Для алгоритма внедрения цифрового водяного знака в видео-контент с использованием дискретного вейвлет-преобразования и PCA было разработано приложение в вычислительной среде Matlab R2014a, выполняющее встраивание цифрового водяного знака в видео-контент, а

также извлечение этого ЦВЗ из видео. Ниже будут детально описаны все шаги этого алгоритма.

Весь процесс алгоритма можно разделить на две части: внедрение ЦВЗ в видео и извлечение ЦВЗ из видео.

При внедрении цифровых водяных знаков производится деление исходного видео на фреймы. В каждом из фреймов выбирается компонент яркости (который, в общем случае, различен для каждого из фреймов), к массиву данных компонент применяется дискретное вейвлет-преобразование, разбивая его на четыре диапазона (полосы). Данные полосы с помощью еще одного вейвлет-преобразования снова делятся на разные поддиапазоны, к которым затем можно применить РСА. Для каждого из полученных поддиапазонов вычисляется ковариационная матрица, после чего осуществляется преобразование в РСА-компоненты. Далее берется изображение цифрового водяного знака. Этот массив W делится на четыре части: p_1, p_2, p_3, p_4 . Каждая из частей встраивается в соответствующий поддиапазон. Применив обратное РСА-преобразование над каждым из модифицированных поддиапазонов, получают модифицированный вейвлет-диапазон. Используя обратное вейвлет-преобразование над вейвлет-диапазонами, получают фреймы. Объединив фреймы со встроенными в них ЦВЗ, достигается получение модифицированного видео с ЦВЗ.

Структурная схема данного процесса представлена на рисунок 1.2.

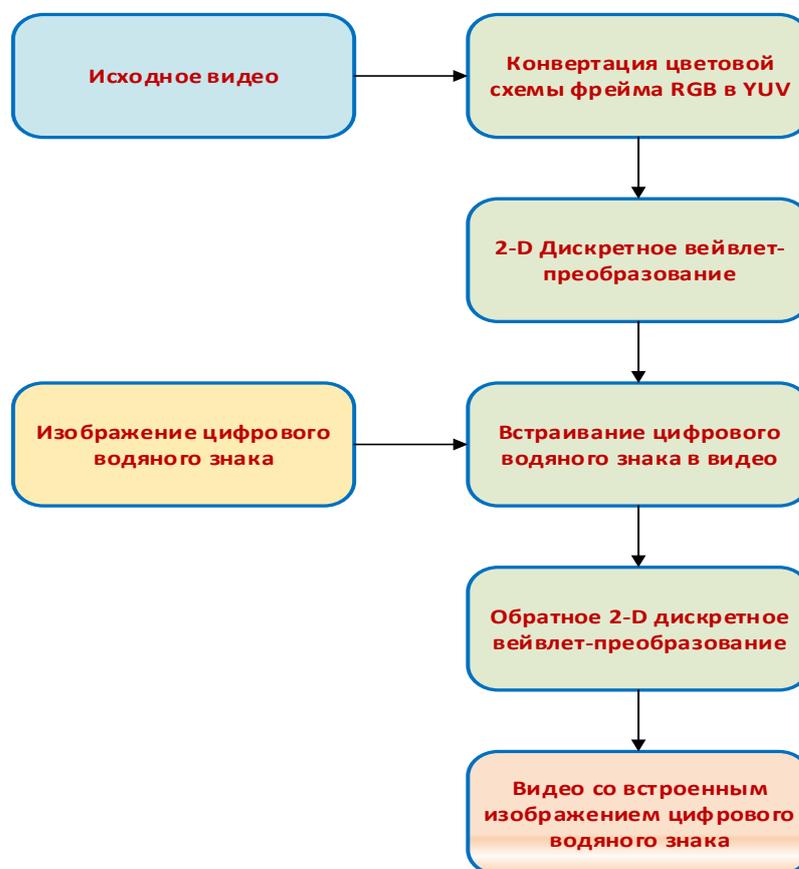


Рисунок 1.2 – Встраивание ЦВЗ в видео

Фактически, весь алгоритм встраивания ЦВЗ в видео может быть разделен на следующие этапы:

1. Исходное изображение разбивается на фреймы в цветовой схеме RGB, затем производится конвертация каждого из фреймов в цветовую схему YUV.

Как известно, RGB является аддитивной цветовой моделью, описывающей методику кодирования цвета для цветовоспроизведения. В данном случае, аддитивной ее можно назвать потому, что определенный цвет получается за счет добавления к черному цвету. Изображение в этой цветовой модели содержит в себе три канала. Например, смешивание основных цветов (в качестве основных цветов выбраны красный, зеленый и синий) красного (R) и синего (B) дает пурпурный цвет (M, magenta), смешивание зеленого (G) и синего (B) цветов дает циановый цвет (C, cyan), смешивание красного (R) и зеленого (G) цветов дает желтый цвет (Y, yellow). Если смешать все три цветовых компонента, то получается белый цвет (W, white).

YUV является цветовой моделью, в которой для представления цвета используется три компонента – яркость (Y), а также два цветоразностных (U и V).

Модификация в RGB и обратно осуществляется в соответствии с выражениями (1.1) и (1.2):

$$R = Y + 1,13983 \cdot (V - 128);$$

$$G = Y - 0,39465 \cdot (U - 128) - 0,58060 \cdot (V - 128); \quad (1.1)$$

$$B = Y + 2,03211 \cdot (U - 128).$$

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B;$$

$$U = -0,14713 \cdot R - 0,28886 \cdot G + 0,436 \cdot B + 128; \quad (1.2)$$

$$V = 0,615 \cdot R - 0,51499 \cdot G - 0,10001 \cdot B + 128.$$

где R, G, B - соответственно, интенсивности красного, зеленого и синего цветов;

Y - компонент яркости;

U, V - цветоразностные компоненты.

Данная модель достаточно высоко востребована в хранении и обработке данных, а также в телевидении. В компоненте яркости содержится изображение в оттенках серого («черно-белое»), а в оставшихся двух компонентах находится информация, которая необходима для восстановления требуемого цвета. Данный подход был весьма полезен на заре появления цветного телевидения для того, чтобы обеспечить совместимость со старыми черно-белыми телевизорами.

Итак, в цветовой модели YUV существует один компонент, представляющий яркость (сигнал яркости), а также два компонента, представляющих цвет (сигнал цветности). Передача яркости обеспечивается с соблюдением тончайших деталей, тогда как часть деталей в компонентах цветоразностного сигнала, который не обладает данными о яркости, может быть удалена с помощью понижения разрешения отсчетов (усреднения или

фильтрации). Для достижения этого существует несколько способов, другими словами, ряд форматов, позволяющих выполнить сохранение изображения в цветовой схеме YUV.

2. Выполняется 2-D дискретное вейвлет-преобразование над компонентами яркости полученной цветовой схемы YUV.

3. Изображение цифрового водяного знака в формате RGB преобразуется в вектор $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, состоящий из нулей и единиц.

4. Производится деление данного вектора P снова на n частей. После чего необходимо выполнить встраивание каждой из частей в соответствующий поддиапазон LL и HH . Пиксели цифрового водяного знака вкладываются с интенсивностью x в максимальный коэффициент M_i в каждый из блоков Y_i . Соответствующее выражение имеет вид (1.3):

$$M_i = M_i + x \cdot W \quad (1.3)$$

где x - интенсивность внедрения цифрового водяного знака.

Данный фрагмент алгоритма реализован в скрипте «WM_Input.m» и уже был приведен в пункте 2 алгоритма.

5. Выполняется 2-D обратное дискретное вейвлет-преобразование для получения компонента яркости кадра (Y) со вложенным в него цифровым водяным знаком.

В завершении необходимо выполнить преобразование из цветовой схемы YUV в RGB модифицированного видео.

Процесс извлечения цифрового водяного знака из каждого из фреймов видео следующий: видео с внедренным в него ЦВЗ делится на фреймы, в каждом из фреймов производится преобразование цветовой схемы RGB в схему YUV. Далее выбирается компонент яркости (Y) каждого из фреймов и над данным массивом выполняется 1-D дискретное вейвлет-преобразование, разбивая его на диапазоны (полосы). С помощью еще одного 1-D дискретного вейвлет-преобразования каждый из диапазонов делится на соответствующие поддиапазоны, к которым может быть применен метод PCA. Для каждого из поддиапазонов осуществляется вычисление ковариационной матрицы. После этого каждый из поддиапазонов преобразуется в компоненты PCA. Изображение цифрового водяного знака (цветовая схема – RGB) модифицируется (бинаризируется) в вектор, состоящий из нулей и единиц. Данный вектор W делится на четыре части p_1, p_2, p_3, p_4 . Каждая из частей встраивается в соответствующий поддиапазон. С помощью обратного PCA для каждого из поддиапазонов получают диапазоны вейвлетов. Применив к ним обратное дискретное вейвлет-преобразование, можно получить изображения цифрового водяного знака. Наконец, восстановив цветовую схему RGB для каждого из изображений, получают совокупность цифровых водяных знаков.

Структурная схема данного процесса представлена на рисунок 1.3.

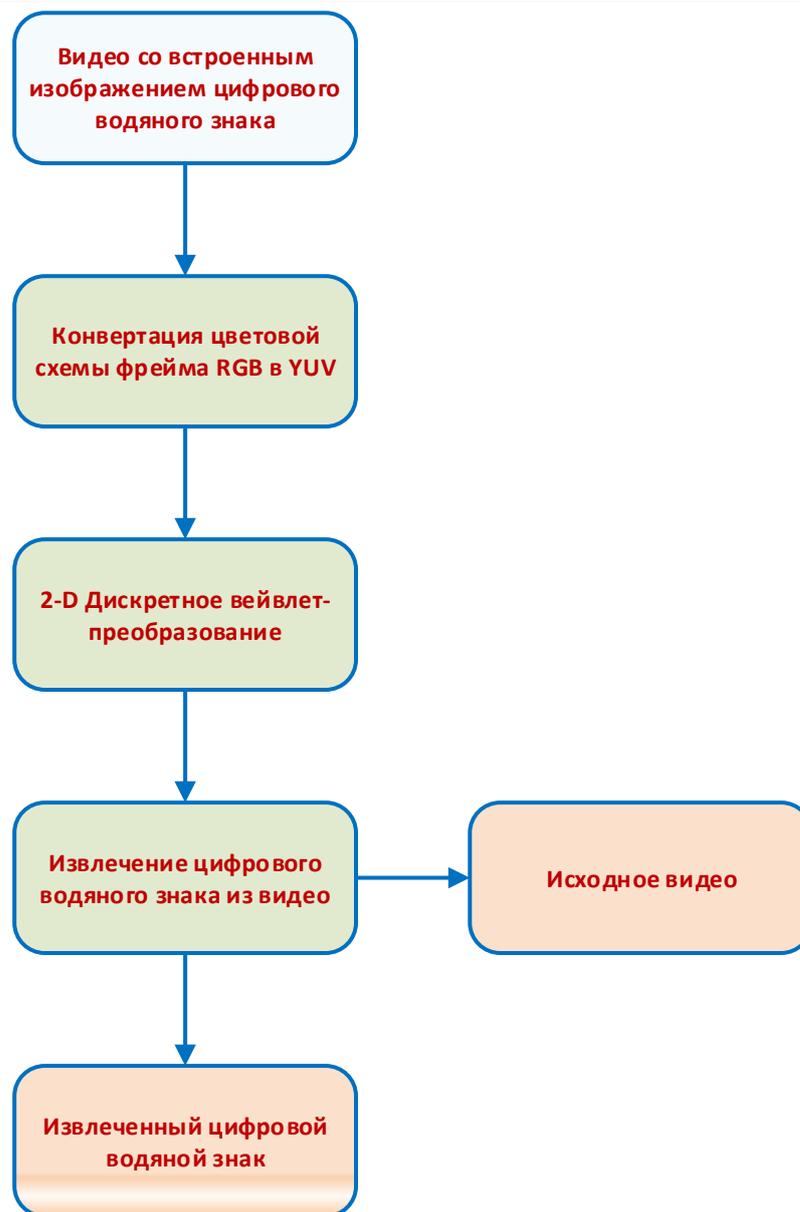


Рисунок 1.3 – Извлечение ЦВЗ из видео

Таким образом, этапы извлечения ЦВЗ из видео-контента следующие:

1. Видео со встроенными в него цифровыми водяными знаками разбивается на фреймы, для каждого из которых выполняется преобразование цветовой схемы из RGB в YUV.

2. Выполняется 2-D дискретное вейвлет-преобразование. В результате соответствующие *LL* и *HH* диапазоны делятся на $n \times n$ неперекрывающихся поддиапазонов.

3. Для извлечения цифрового водяного знака используется следующее выражение (1.4):

$$W = \frac{M_i^1 - M_i}{x} \quad (1.4)$$

4. Извлеченный из видео цифровой водяной знак сравнивается с оригинальным в соответствии с выражением (1.5):

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W(i, j) \cdot W'(i, j)}{\sum_i \sum_j W(i, j)^2} \quad (1.5)$$

где NC - нормализованная корреляция. Значение NC , равное единице, свидетельствует о том, что исходное изображение цифрового водяного знака и извлеченное изображение цифрового водяного знака идентичны, в противном случае NC равно нулю.

Следует отметить, что эффективность вышеописанного алгоритма может быть оценена с точки зрения степени незаметности внедрения цифрового водяного знака в видео, а также надежности при возможных атаках. Фрейм с внедренным цифровым водяным знаком может быть подвергнут атакам различного типа, таким, как гамма-коррекция, гистограмма выравнивания, коррекция контрастности. В случае атак геометрического типа алгоритм тестируется на изменение размера кадра, поворот кадра, обрезку кадра. Для оценки любой системы внедрения цифровых водяных знаков в видео может быть использована величина пикового отношения сигнала к шуму ($PSNR$), используемой в качестве общей меры визуальной оценки качества внедрения цифровых водяных знаков в видео.

Для определения пикового отношения сигнала к шуму используется выражение (1.6):

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (1.6)$$

где для вычисления MSE (среднеквадратическая ошибка) между оригинальным и искаженным фреймом (размер $m \times n$) применяется формула (1.7):

$$MSE = \left(\frac{1}{m \cdot n} \right) \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [I(i, j) - I'(i, j)] \quad (1.7)$$

где I и I' , соответственно, значения пикселей в точке (i, j) оригинального и искаженного фрейма. Чем больше значение $PSNR$, тем больше степень невидимости внедренного водяного знака в видео-контент. $PSNR$ измеряется в дБ.

Коэффициент нормировки NC дает представление о степени надежности внедренного цифрового водяного знака, его пиковое значение равно единице. Для вычисления NC можно использовать выражение (1.8):

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W(i, j) \cdot W'(i, j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j W(i, j)^2} \cdot \sqrt{\sum_i \sum_j W'(i, j)^2}} \quad (1.8)$$

где W и W' , соответственно, изображение исходного цифрового водяного знака и извлеченного ЦВЗ.

Следующим этапом исследования планируется разработка программной системы в MatLab, реализующей алгоритм синхронизации для внедрения цифрового водяного знака в видеоизображение.

Библиографический список

1. Григорьян А.К., Литвинов М.Ю. Применение вейвлет-преобразования для внедрения ЦВЗ в видео-поток в режиме реального времени // Защита информации. 2010. №47. № 4.
2. Бахрушин А.П. Разложение сигналов по системам единичных импульсов и дельта-функций // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2013. № 1 (12). С. 044-050.
3. Leelavathy N., Prasad E. V., Srinivas Kumar S. Video Watermarking Techniques: A Review // International Journal of Computer Applications. 2014. Vol. 104. № 6.
4. Prachi V. Powar, S.S. Agrawal. Implementation of digital video watermarking scheme based on FPGA // International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems (IJECS). 2013. Vol 1. № 1. Pp. 99-104.
5. Venugopala P. S. , H. Sarojadevi, Niranjana N. Chiplunkar and Vani Bhat. Video Watermarking by Adjusting the Pixel Values and Using Scene Change Detection // Signal and Image Processing (ICSIP), 2014 Fifth International Conference on, pp. 259-264. IEEE, 2014.
6. Mahasak K., Ganokratanaa Tr. The Evolutionary Computation Video Watermarking Using Quick Response Code Based on Discrete Multiwavelet Transformation // Recent Advances in Information and Communication Technology, pp. 113-123. Springer International Publishing, 2014.
7. Аграновский А.В., Балакин А.В., Грибунин В.Г., Сапожников С.А. Стеганография, цифровые водяные знаки и стегоанализ. М.: Вузовская книга, 2009. 220 с.
8. He Y., Yang G., Zhu N. A real-time dual watermarking algorithm of H.264/AVC video stream for Video-on-Demand service // AEU – International Journal of Electronics and Communications. 2014. V. 66,I.4. P. 305–312.