



УДК: 004.056.55

© 2018 г. **С.В. Белим**, д-р физ.-мат. наук,
П.Г. Черепанов

(Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского)

ВСТРАИВАНИЕ В ВИДЕОПОТОК ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ, УСТОЙЧИВЫХ К ИЗМЕНЕНИЮ ЦВЕТОВОЙ СХЕМЫ

В статье предложен алгоритм встраивания цифровых водяных знаков в видео-контейнер с использованием трехмерного дискретного косинусного преобразования и голограммы. Для встраивания рассматривается и используется YUV цветовая схема. Проведены компьютерные эксперименты. Показано, что предложенный метод встраивания цифровых водяных знаков устойчив к изменению цветовой схемы.

Ключевые слова: цифровые водяные знаки, видеопоток, дискретное косинусное преобразование, цветовые схемы.

DOI: 10.22250/isu.2018.58.3-12

Введение

Проблема устойчивости цифровых водяных знаков в видеопотоке к разного рода атакам становится одной из наиболее актуальных в рамках решения проблемы выявления фактов несанкционированного копирования информации. Основной целью злоумышленника при этом является уничтожение цифрового водяного знака с минимальными изменениями контейнера. Наиболее распространенный подход состоит в изменении формата контейнера, т.е. его структуры, в который встроена идентифицирующая информация. Встраивание цифровых водяных знаков основывается на алгоритмах стеганографии. В связи с этим актуальной является задача разработки стеганографических методов, устойчивых к преобразованиям формата контейнера. В данной статье рассматривается алгоритм встраивания в видеопоток, поэтому в дальнейшем будем рассматривать только видеофайлы.

Наиболее распространенным является подход, когда видеопоток разбивается на отдельные кадры, каждый из которых рассматривается как изображение и

используется в виде независимого контейнера для стеганографической вставки [1, 2]. Такой подход обладает наибольшим быстродействием и возможностью распараллеливания вычислений. Однако при этом возникает проблема синхронизации кадров, что требует введения дополнительной информации, позволяющей однозначно упорядочить извлеченную информацию. В качестве такой дополнительной информации могут использоваться статистические характеристики кадра [3, 4], специальные метки синхронизации [2] или избыточное кодирование [5]. Покадровое встраивание цифровых водяных знаков обладает достаточно низкой устойчивостью к изменению формата, так как отдельные части цифрового водяного знака локализованы в достаточно малой области, вследствие чего становится высокой вероятность изменения большого количества битов одновременно.

Для устойчивости к изменению формата видеофайла встраиваемые данные должны равномерно распределяться по всему видеопотоку, чтобы снизить вероятность повреждения большого количества битов цифрового водяного знака одновременно. Также необходимо использовать методы формирования цифрового водяного знака, позволяющие восстанавливать его по неполному набору данных.

Первая проблема решается с помощью представления видеопотока в качестве трехмерного объекта и использования в стеганографических алгоритмах трехмерных преобразований. Применение трехмерного дискретного косинусного преобразования к видеопотоку впервые было предложено в статье [6], однако не нашло применения в силу высоких требований к ресурсам. Позже, в связи с развитием аппаратной части вычислительных комплексов, был проведен ряд исследований в данном направлении, ориентированных на изучение распределения коэффициентов дискретного косинусного преобразования и его влияния на качество кодирования видеопотока [7 – 10]. Также было разработано несколько алгоритмов встраивания стеганографических вставок в видеопоток как в трехмерный объект – на основе статических и динамических временных компонентов небольшой волны вдоль оси времени [11], на основе трехмерного преобразования Фурье [12, 13], на базе трехмерного вейвлет-преобразования [14 – 16]. Стеганографические вставки на основе трехмерного дискретного косинусного преобразования предложены в работах [17, 18]. В этих статьях использованы методы модуляции яркости изображения (QIM) и модуляции размытия изображения (RDM).

Для решения задачи восстановления встроеного цифрового водяного знака могут быть использованы методы кодирования с исправлением ошибок. Однако встраиваемая информация традиционно представляет собой некоторый графический объект, что делает более уместным использование цифровой голографии, позволяющей восстановить изображение по участку голограммы [19].

Данная статья посвящена разработке метода встраивания в видеопоток цифровых водяных знаков, устойчивых к преобразованию формата видеофайла.

1. Постановка и решение задачи

Рассмотрим задачу встраивания цифровых водяных знаков в видеопоток с YUV цветовой моделью и ее разновидностями. Данная модель получила широкое применение среди видеокодеков и используется в основных видеостандартах NTSC, PAL, SECAM. В YUV цветовой модели для каждой точки определены три компоненты – яркость (Y) и две цветоразностных (U и V). Компонента яркости (Y) представляет собой черно-белое изображение, а цветоразностные компоненты (U и V) содержат информацию для восстановления цвета изображения. В дальнейшем ограничимся только одной компонентой – яркостью, так как она подвержена наименьшим изменениям при перекодировании видеопотока.

В качестве алгоритма встраивания будем использовать модифицированный до трехмерного случая метод Жао и Коха [20]. Будем взаимодействовать с видеопотоком как с трехмерным набором точек, где первый набор определяет номер кадра, а второй и третий – положение точки на кадре. Для встраивания разобьем весь видеопоток на наборы из N кадров. Далее каждый такой набор разделим на области по $N \times N$ пикселей, слева-направо, сверху-вниз. Таким образом, получим набор блоков размером $N \times N \times N$. Если какие-то блоки не будут заполнены полностью, то они откидываются и не принимаются во внимание при встраивании и извлечении. Обозначим каждый полученный блок как f^i , где i – порядковый номер данного блока, и высчитаем для каждого из блоков спектральные коэффициенты дискретно косинусного преобразования. Значение спектрального коэффициента дискретно-косинусного преобразования для точки (ν, ν, κ) обозначим как $f_{\nu, \nu, \kappa}$.

Значение яркостной компоненты в изначальном кадре для точки (x, y, z) обозначим как $f_{x, y, z}^i$.

В итоге получим следующее выражение:

$$f_{\nu, \nu, \kappa}^i = \left(\zeta(\nu) \cdot \zeta(\nu) \cdot \zeta(\kappa) / \sqrt{\frac{8}{N^3}} \right) \times \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{z=0}^{N-1} f_{x, y, z}^i \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot \nu \cdot (2 \cdot x + 1)}{2 \cdot N}\right) \times \cos\left(\frac{\pi \cdot \nu \cdot (2 \cdot y + 1)}{2 \cdot N}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot \kappa \cdot (2 \cdot z + 1)}{2 \cdot N}\right), \quad (1)$$

где $\zeta(\nu)$, для произвольной точки ν вычисляется следующим образом:

$$\zeta(\nu) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{если } \nu > 0, \\ 1, & \text{если } \nu = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В результате получим набор трехмерных матриц коэффициентов дискретно-косинусного преобразования (ДКП) для выделенных блоков в исходном ви-

деопотоке. Каждый такой набор можно использовать для сокрытия одного бита информации. В окрестности точки $(0,0,0)$ расположены коэффициенты низкочастотных компонент, несущие информацию об основной части видеопотока. Встраивание в эту область приводит к заметным визуальным искажениям. В окрестности точки (N, N, N) расположены коэффициенты высокочастотных компонент, соответствующие мелким деталям. Встраивание в эту область наименее визуально заметно. Однако данный набор коэффициентов подвергается наибольшим изменениям при обработке видеопотока, связанной с изменением формата видеофайла. Чтобы обеспечить максимальное соотношение устойчивости встраивания к заметности, будем встраивать цифровой водяной знак (ЦВЗ) в область среднечастотных компонент.

Для этого выберем две точки из соответствующей области – (ν_1, ν_1, κ_1) , (ν_2, ν_2, κ_2) . Экспериментальным образом определим величину порога разности модулей коэффициентов P , которая позволит достигнуть максимального соотношения заметности встраивания ЦВЗ к устойчивости ЦВЗ. В качестве ЦВЗ будем использовать битовое сообщение m , где i -й бит встраиваемого ЦВЗ обозначим как m_i .

Для встраивания сообщения в блок $f_{\nu, \nu, \kappa}^i$ сначала вычислим значения вспомогательных функций:

$$\omega_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) = |f_{\nu_1, \nu_1, \kappa_1}^i|, \quad (3)$$

$$\omega_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2) = |f_{\nu_2, \nu_2, \kappa_2}^i|, \quad (4)$$

$$Z_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) = \begin{cases} -1, & \text{если } f_{\nu_1, \nu_1, \kappa_1}^i < 0, \\ 1, & \text{если } f_{\nu_1, \nu_1, \kappa_1}^i \geq 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$Z_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2) = \begin{cases} -1, & \text{если } f_{\nu_2, \nu_2, \kappa_2}^i < 0, \\ 1, & \text{если } f_{\nu_2, \nu_2, \kappa_2}^i \geq 0. \end{cases} \quad (6)$$

Для встраивания ЦВЗ проведем пересчет коэффициентов ДКП:

$$\varpi_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) = \begin{cases} P + \omega_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2) + 1, & \text{если } (\omega_1 - \omega_2) \leq P \text{ и } m_i = 0, \\ \omega_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1), & \text{если } (\omega_1 - \omega_2) > P \text{ и } m_i = 1, \end{cases} \quad (7)$$

$$\varpi_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2) = \begin{cases} P + \omega_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) + 1, & \text{если } (\omega_1 - \omega_2) \geq P \text{ и } m_i = 1, \\ \omega_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2), & \text{если } (\omega_1 - \omega_2) < P \text{ и } m_i = 0, \end{cases} \quad (8)$$

$$\tilde{f}_{\nu_1, \nu_1, \kappa_1}^i = Z_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) \cdot \tilde{\omega}_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1), \quad (9)$$

$$\tilde{f}_{\nu_2, \nu_2, \kappa_2}^i = Z_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2) \cdot \tilde{\omega}_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2). \quad (10)$$

Чтобы получить результирующий видеопоток, осуществим обратное ДКП:

$$\begin{aligned} \tilde{f}_{x,y,z}^i = & \sum_{\nu=0}^{N-1} \sum_{\nu=0}^{N-1} \sum_{\kappa=0}^{N-1} \left(\zeta(\nu) \cdot \zeta(\nu) \cdot \zeta(\kappa) / \sqrt{\frac{8}{N^3}} \right) \cdot \tilde{f}_{\nu,\nu,\kappa}^i \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot \nu \cdot (2 \cdot x + 1)}{2 \cdot N}\right) \times \\ & \times \cos\left(\frac{\pi \cdot \nu \cdot (2 \cdot y + 1)}{2 \cdot N}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot \kappa \cdot (2 \cdot z + 1)}{2 \cdot N}\right), \end{aligned} \quad (11)$$

и соберем полученные матрицы в видеопоток: слева-направо, сверху-вниз.

Чтобы извлечь ЦВЗ, требуется тем же самым способом разбить полученный видеопоток на блоки $N \times N \times N$, и применить к ним ДКП. Извлечение символа m_i встроенного ЦВЗ происходит по следующему правилу:

$$\omega_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) = |f_{\nu_1, \nu_1, \kappa_1}^i|, \quad (12)$$

$$\omega_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2) = |f_{\nu_2, \nu_2, \kappa_2}^i|, \quad (13)$$

$$m_i = \begin{cases} 0, & \text{если } \omega_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) > \omega_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2), \\ 1, & \text{если } \omega_1^i(\nu_1, \nu_1, \kappa_1) < \omega_2^i(\nu_2, \nu_2, \kappa_2). \end{cases} \quad (14)$$

В результате получается следующий алгоритм встраивания ЦВЗ в трехмерную область.

Шаг 1. Выделить в исходном видеопотоке наборы по N кадров.

Шаг 2. Каждый набор кадров разделить на блоки размером $N \times N \times N$.

Шаг 3. Для каждого блока выполнить ДКП (1) и получить трехмерную матрицу коэффициентов.

Шаг 4. Произвольно выбрать две точки, лежащие на второстепенной диагонали $(0, 0, N) - (N, N, 0)$, т.е. из области среднечастотных компонент.

Шаг 5. Вычислить оптимальное значение порога P , которое позволяло максимизировать отношение незаметности встраивания к надежности встраивания.

Шаг 6. Встроить каждый бит цифрового водяного знака в соответствующую матрицу коэффициентов ДКП (9), (10).

Шаг 7. Применить обратное ДКП (11) и получить модифицированный набор блоков.

Шаг 8. Собрать из модифицированного набора блоков набор из N кадров.

Шаг 9. Собрать из полученных кадров видеопоток.

Конец алгоритма.

Чтобы извлечь ЦВЗ, требуется выполнить первые шаги 1-3 алгоритма и применить выражение (14) к каждой из полученных матриц коэффициентов.

2. Получение голограммы цифрового водяного знака

Как уже было предложено и доказано в предыдущей работе [23], чтобы повысить устойчивость видеопотока к модификациям, можно встраивать не сам

цифровой водяной знак, а его цифровую голограмму. Данный эффект достигается за счет одной из физических особенностей голограммы, которая заключается в том, что каждая из точек голограммы содержит в себе данные обо всех точках исходного изображения. Таким образом, можно восстановить с некоторыми потерям все изображение по любой из частей голограммы. Для построения цифровой голограммы необходимо разделить когерентный луч света на два луча – объектный и опорный. Объектный луч необходимо направить на исходное ЦВЗ, чтобы его отражение пошло на результирующую фотопластинку, а опорный луч сразу отправить на данную пластинку. И зафиксировать на фотопластинке интерференцию полученных лучей света. Для повышения надежности голограммы произведем масштабирование в два раза больше по каждой из осей относительно исходного ЦВЗ. Далее найдем интенсивность света от каждой точки водяного знака:

$$\varepsilon_{oo}(\tilde{x}, \tilde{y}) = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^N I(x, y) \times 3 \times \cos \frac{d}{\lambda}, \quad (15)$$

где под точкой водяного знака и точкой голограммы подразумеваются координаты пикселей в изображениях; (\tilde{x}, \tilde{y}) – положение пикселя в голограмме; (x, y) – положение пикселя в исходном ЦВЗ; $I(x, y)$ – интенсивность света исходного водяного знака; λ – длина волны. Расстояние между точками водяного знака и голограммы:

$$d = \sqrt{(x * 2 - \tilde{x})^2 + (y * 2 - \tilde{y})^2 + (z * 2 - \tilde{z})^2}, \quad (16)$$

где $(z * 2 - \tilde{z})^2$ равно единице, так как голограмма является двумерной.

В результате получаем следующий алгоритм построения цифровой голограммы ЦВЗ.

Шаг 1. Для каждой точки голограммы положить интенсивность опорного луча света, равной половине исходной интенсивности, т.е. 128.

Шаг 2. Взять длину волны источника света.

Шаг 3. Для каждой из точек голограммы вычислить интенсивность объектного света, т.е. вычислить значение формулы (15).

Шаг 4. Сложить вычисленную интенсивность объектного света с интенсивностью опорного света в каждой из точек голограммы.

Для восстановления исходного цифрового водяного знака необходимо применить те же шаги, но положить интенсивность опорного луча равной 0.

3. Компьютерный эксперимент

В рамках компьютерного эксперимента исследовалась устойчивость предложенного алгоритма встраивания цифрового знака к изменению цветовой схемы. В качестве контейнера был взят видеопоток с форматом .mp4 с разрешением

(512×512) кодек h.264 и цветовой моделью YUV422p. В данный видеопоток встраивалось монохромное изображение знака "©". Для встраивания использовался канал яркости (Y). Эксперимент последовательно проводился с встраиванием самого цифрового знака и его цифровой голограммы. После чего производилась перекодировка цветовой модели видеофайла в YUV420. Величина размера блока была выбрана $N = 8$, так как большое количество различных алгоритмов обработки видеоизображений использует блоки $(8 \times 8 \times 8)$, что повышает устойчивость алгоритма к преобразованиям. Величина порога будет определена экспериментальным путем.

В качестве критерия надежности цифрового водяного знака использовалась нормированная корреляция, которая является стандартным методом в качестве оценки корреляции между двумя изображениями [21]. Данная мера принимает значения от 0 до 1, где 1 получается тогда и только тогда, когда изображения в точности совпадают. Эта мера имеет вид $NC = \frac{\sum_i \sum_j W(i, j) \cdot \tilde{W}(i, j)}{\sum_i \sum_j [W(i, j)]^2}$, где $W(i, j)$ и

$\tilde{W}(i, j)$ – значения яркости пикселя во встроеном и извлеченном водяном знаке.

В качестве меры незаметности водяного знака вычислялось пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR) между исходным и закодированным видеопотоками, который является стандартом измерения искажений [22]. Данная мера измеряется в децибелах. Чем больше значение данной меры, тем меньше искажений внесено в изображение. При более 40 db искажения практически не заметны человеческому взгляду. Данная мера определяется в виде $PSNR = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{MSE}}$,

где $MSE = \frac{1}{MK} \sum_i \sum_j (P(i, j) - \tilde{P}(i, j))^2$; $P(i, j)$ и $\tilde{P}(i, j)$ – значения яркости пикселя в исходном видеопотоке и с водяным знаком соответственно; M и K – ширина и высота кадров в видеопотоке.

В табл. 1 представлены усредненные результаты соотношения PSNR к значению NC для различных значений порога P и для рассматриваемого метода с встраиванием как цифрового водяного знака, так и его голограммы. Как видно из полученных результатов, оптимальным значением порога является $P = 37$, так как при данном значении достигается наибольшее произведение нормированной корреляции и пикового отношения сигнала к шуму.

В табл. 2 представлены усредненные результаты значений PSNR для всех рассматриваемых методов с непосредственным встраиванием цифрового водяного знака и встраиванием его голограммы. Также приведены результаты для встраивания цифрового водяного знака с помощью вейвлет-преобразования [6, 7].

Таблица 1

Величина порога	PSNR	NC
Предложенный метод (без голограммы)		
$P = 36$	36.2609db	0.568
$P = 37$	36.1839db	0.5897
$P = 38$	36.1064db	0.6132
Предложенный метод (с голограммой)		
$P = 36$	36.2609db	0.9589
$P = 37$	36.1839db	0.9639
$P = 38$	36.1064db	0.9656

Таблица 2

Метод	Значение PSNR
Предложенный метод (с голограммой)	36.1839db
Предложенный метод (без голограммы)	36.1839db
Работа [6]	32.5876db
Работа [7]	35.4263db

Как показывают результаты экспериментов с разными методами, при значении порога $P = 37$ предложенный метод вносит меньшее искажение, чем методы на основе вейвлет-преобразований (табл. 2), а вносимые предложенным методом искажения все равно визуально различимы на светлых фрагментах.

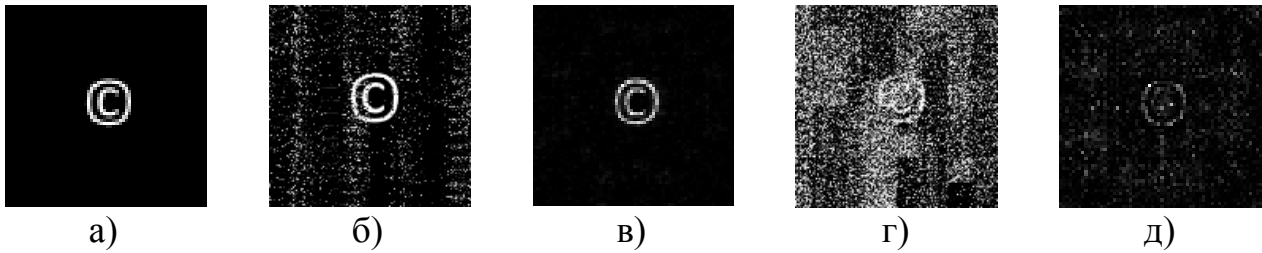
В табл. 3 приведены значения нормированной корреляции между исходным цифровым водяным знаком и извлеченным из видеофайла после изменения цветовой модели.

Таблица 3

Название цветовой модели	Значение нормированной корреляции (с голограммой)	Значение нормированной корреляции (без голограммы)
YUV420	0.3738	0.2424

Полученные результаты показывают видимый прирост метода с голограммой по сравнению с методом без голограммы. Получить данный прирост позволяет физическое свойство голограммы, которое дает возможность восстановить исходное изображение даже по ее части.

Визуальные искажения цифрового водяного знака вследствие изменения цветовой модели представлены на рисунке, где а) – исходное изображение цифрового водяного знака; б) – извлеченный цифровой водяной знак без голограммы; в) – извлеченный цифровой водяной знак с использованием голограммы; г) – извлеченный цифровой водяной знак после преобразования в YUV420 модель; д) – извлеченный цифровой водяной знак после преобразования в YUV420 модель с использованием голограммы. Из рисунка видно, что предложенный метод с голограммой позволяет достичь визуально различимого прироста надежности извлеченного водяного знака после перекодирования видеопотока.



4. Результаты

Полученные результаты показывают, что предложенный метод является устойчивым к атакам изменения цветовой модели и перекодирования видеопотока. Этот эффект объясняется тем, что встраивание происходит в канал яркости, который содержит “черно-белое” изображение. Встраивание в U или V цветоразностную компоненту будет приводить к меньшим визуальным искажениям, что не имеет смысла, так как данный подход уязвим, а данные компоненты подвержены сжатию в различных цветовых моделях, что вызывает потери в извлекаемом ЦВЗ. Кроме того, как показывают сравнения с работами [6, 7], предложенный метод позволяет достигнуть большей надежности и незаметности встраивания. Однако встраивание визуально различимо на светлых фрагментах изображений. Данная особенность накладывает ограничение на область применения метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lin E.T., Delp E.J.* Temporal synchronization in video watermarking // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2004. – V. 52(10). – P. 3007-3022.
2. *Delannay D., Macq B.* Classification of watermarking schemes robust against loss of synchronization // Proceedings of SPIE 5306, Security, Steganography and Watermarking of Multimedia Contents VI. – 2004. – P. 581-591.
3. *Chen C., Ni J., Huang J.* Temporal statistic based video watermarking scheme robust against geometric attacks and frame dropping // Digital Watermarking. – Springer, 2009. – P. 81-95.
4. *Sun S.W., Chang P.C.* Video watermarking synchronization based on profile statistics // Proceedings of IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on Security Technology. – 2003. – P. 410-413.
5. *Мутекин В.А., Федосеев В.А.* Метод встраивания информации в видео, стойкий к ошибкам потери синхронизации // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, N3. – С.564-573.
6. *Roese J., Pratt W., Robinson G.* Interframe cosine transform image coding // IEEE Transaction on Communication. – 1977. – V. 25(11). – P. 1329-1339.
7. *Bauer M., Sayood K.* Video coding using 3 dimensional DCT and dynamic code selection // Proceedings of Data Compression Conference. – 1995. – P. 451.
8. *Servais M., G. de Jager.* Video compression using the three dimensional discrete cosine transform (3D-DCT) // Proceedings of the South African Symposium on Commun. and Signal Process. – 1997. – P. 27-32.
9. *Chan R.K.W., Lee M.C.* 3D-DCT quantization as a compression technique for video sequences // Proc. of International Conf. on Virtual Sys. and MultiMedia. – 1997. – P. 188-196.

10. *Bozinovic N., Konrad J.* Motion analysis in 3D DCT domain and its application to video coding // Signal Processing: Image Communication. – 2005. – V. 20. – P. 510-528.
11. *Swanson M., Zhu B., Tewfik A.T.* Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models // IEEE Journal on Sel. Areas in Comm. – 1998. – V. 16(4). – P. 540-550.
12. *Deguillaume F., Csurka G., O'Ruanaidh J., Pun T.* Robust 3D DFT video watermarking // Proc. SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content II. – 2000. – V. 3971. – P. 346-357.
13. *Liu H., Chen N., Huang J., Haung X., Shi Y.Q.* A robust DWT-based video watermarking algorithm // IEEE International Symposium on Circuits and Systems. – 2002. – P. 631-634.
14. *Kucukgoz M., Harmanci O., Mihcak M.K., Venkatesan R.* Robust Video Watermarking via Optimization Algorithm for Quantization of Pseudo-Random Semi-Global Statistics // Proc. SPIE, Security, Steganography, and Watermarking of Mult. Cont. VII. – 2005 – V. 5681.
15. *Campisi P., Neri A.* Video watermarking in the 3DDWT domain using perceptual masking // IEEE Int. Conference on Image Processing. – Italy, Genoa, 2005.
16. *Campisi P.* Video watermarking in the 3D-DWT domain using quantization-based // IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing. – Shanghai, China. – 2005.
17. *Lim J.H., Kim D.J., Kim H.T., Won C.S.* Digital video watermarking using 3D-DCT and Intra-Cubic Correlation // Proc. SPIE, Security and Watermarking Contents III. – 2001 – V. 4314 – P. 54-72.
18. *Campisi P. Neri A.* 3D-DCT video watermarking using quantization-based methods // 15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2007). – Poznan, Poland, 2007.
19. *Смирнов М.В.* Голографический подход к встраиванию голографических водяных знаков в фотоизображение // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72, № 6. – С. 51-56.
20. *Koch E., Zhao J.* Towards robust and hidden image copyright labeling // IEEE Workshop on Non-linear Signal and Image Processing. – 1995. – P. 452-455.
21. *Navas K.A., Sasikumar M., Sreevidya S.* A benchmark for medical image watermarking // Proceedings of 14th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing, Maribor, Slovenia – 2007. – P. 237-240.
22. *Huynh-Thu Q., Ghanbari M.* Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment // Electronics Letters. – 2008. – Vol. 44, No. 13. – P. 800-801,
23. *Белим С.В., Черепанов П.Г.* Встраивание цифровых водяных знаков в видеопоток на основе трехмерного дискретного косинусного преобразования // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 5. – С. 28-34.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.

E-mail:

Белим Сергей Викторович – sbelim@mail.ru;

Черепанов Павел Григорьевич – pcherepanov@gehtsoft.com.