

ВЫБОР БЛОКОВ В ВИДЕОПОТОКЕ ДЛЯ ВСТРАИВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

С.В. Белим

д.ф.-м.н., профессор, e-mail: sbelim@mail.ru

П.Г. Черепанов

аспирант, e-mail: pcherepanov@gehtsoft.com

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Аннотация. В статье предложен метод выбора кадров для встраивания цифровых водяных знаков в видеофайлы. Видеопоток представляется как трёхмерный объект. Для встраивания цифровых водяных знаков используется метод Коха–Жао, обобщённый на трёхмерный случай. Основная цель предлагаемого метода состоит в снижении видимых искажений от встраивания данных. Для отбора кадров выполняется их статистический анализ. В качестве основного параметра выбрана дисперсия интенсивности цветов отдельных пикселей. Проведён компьютерный эксперимент. Для оценки уровня заметности вычисляется отношение шума к основному сигналу. Опытным путём определено пороговое значение дисперсии, выше которого встраивание является наименее заметным.

Ключевые слова: цифровые водяные знаки, стеганография видеофайлов, дискретное косинусное преобразование.

Введение

При встраивании цифровых водяных знаков в изображение или видеофайл ставятся две основные задачи — устойчивость и незаметность. Целью данной статьи является повышение незаметности цифровых водяных знаков в видеофайлах. Заметность встроенной информации обусловлена визуальными эффектами от встраивания.

Наибольшее распространение для видеофайлов получил алгоритм встраивания, являющийся логическим продолжением подхода, развитого для изображений. Видеопоток разбивается на отдельные кадры, после чего производится встраивание частей цифрового водяного знака в последовательность изображений [1,2]. Несмотря на высокую скорость работы, такой подход обладает существенными недостатками. Основной из них связан с проблемой синхронизации кадров и требует встраивания дополнительной информации для однозначного извлечения цифрового водяного знака. В качестве таких дополнительных данных могут выступать статистические характеристики кадра [3,4] и специальные метки синхронизации [2], также может применяться избыточное кодирование [5]. В связи с тем, что части цифрового водяного знака локализованы

в достаточно малой области, покадровое встраивание приводит к заметным визуальным эффектам при переходе от одного кадра к другому.

Для снижения видимости эффектов от встраивания цифрового водяного знака нужно использовать стеганографические алгоритмы, обеспечивающие равномерное распределение встраиваемой информации по всему видеопотоку. В этом случае локальное изменение данных приводит к изменениям во всех кадрах и становится визуально менее заметным.

Одним из возможных решений, распределяющим цифровой водяной знак по всем кадрам равномерно, является представление видеопотока как трёхмерного объекта и построение стеганографических алгоритмов на основе трёхмерных преобразований. Трёхмерное дискретное косинусное преобразование впервые было использовано в статье [6]. В дальнейшем оно применялось в основном для оценивания качества кодирования видеопотока на основе исследования распределения коэффициентов преобразования [7–10]. Алгоритмы встраивания стеганографических вставок в видеопоток как трёхмерный объект были разработаны на основе различных технологий: статических и динамических временных компонентов небольшой волны вдоль оси времени [11], на основе трёхмерного преобразования Фурье [12, 13], на базе трёхмерного вейвлет-преобразования [14–16], на базе трёхмерного дискретного косинусного преобразования [17–19].

В данной статье предложен алгоритм выбора блоков для встраивания цифрового водяного знака в видеофайл, снижающий визуальные эффекты.

1. Метод встраивания цифровых водяных знаков

Для встраивания цифрового водяного знака будем использовать модель YUV видеопотока. Каждый пиксель определяется тремя цветовыми координатами: яркостью (Y) и двумя цветоразностными компонентами (U, V). Структура видеоизображения задаётся в чёрно-белом представлении распределением яркостной компоненты. Две оставшиеся координаты U и V позволяют восстановить цвет. Для встраивания цифрового водяного знака будем использовать только яркостную компоненту, так как изменение двух других компонент существенно сказывается на визуальном восприятии видеоизображения.

Представим видеопоток как трёхмерный объект. Первые две координаты будут определять положение точки на кадре, а третья — номер кадра. Встраивание информации будем осуществлять в частотную область. Для этого используем трёхмерное дискретное косинусное преобразование. Разобьём видеопоток на одинаковые трёхмерные блоки размером $N \times N \times N$. В каждый блок попадут пиксели из N идущих подряд кадров. Причём из каждого кадра будет задействовано N^2 пикселей. Значение интенсивности в точке (x, y, z) для i -го блока будем обозначать через $f_{x,y,z}^i$, а спектральные коэффициенты дискретного косинусного преобразования в точке (u, v, k) — $f_{u,v,k}^i$. Трёхмерное дискретное косинусное преобразование может быть записано в следующем виде:

$$f_{u,v,k}^i = \frac{\xi(u)\xi(v)\xi(k)}{\sqrt{8/N^3}} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{z=0}^{N-1} f_{x,y,z}^i \cos\left(\frac{\pi u(2x+1)}{2N}\right) \times$$

$$\times \cos\left(\frac{\pi v(2y+1)}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi k(2z+1)}{2N}\right).$$

Здесь

$$\xi(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{if } u > 0 \\ 1, & \text{if } u = 0. \end{cases}$$

Результатом данного преобразования будет набор трёхмерных матриц спектральных коэффициентов размером $N \times N \times N$.

Для встраивания скрытого сообщения будем использовать принцип, предложенный в методе Коха–Жао [20]. При этом в каждую матрицу спектральных коэффициентов встраивается ровно один бит цифрового водяного знака. Для снижения визуальных искажений, обусловленных встраиванием сообщения, встраивание надо производить в среднечастотную область. В низкочастотных компонентах, расположенных в окрестности элемента $(0, 0, 0)$, содержатся основные данные видеопотока. Высокочастотные компоненты, соседние с элементом (N, N, N) , отвечают мелким деталям изображений кадров и наиболее чувствительны к встраиванию.

Для встраивания одного бита в блок выберем два коэффициента из среднечастотной области (u_1, v_1, k_1) и (u_2, v_2, k_2) . Кроме этого, необходимо задать пороговое значение P . Цифровой водяной знак m запишем в виде последовательности бит. Пусть значение i -го бита равно m_i . Вычислим вспомогательные функции:

$$\begin{aligned} \omega_1^i(u_1, v_1, k_1) &= |f_{u_1, v_1, k_1}^i|, \\ \omega_2^i(u_2, v_2, k_2) &= |f_{u_2, v_2, k_2}^i|, \\ Z_1^i(u_1, v_1, k_1) &= \begin{cases} -1, & \text{if } f_{u_1, v_1, k_1}^i < 0 \\ 1, & \text{if } f_{u_1, v_1, k_1}^i \geq 0. \end{cases} \\ Z_2^i(u_2, v_2, k_2) &= \begin{cases} -1, & \text{if } f_{u_2, v_2, k_2}^i < 0 \\ 1, & \text{if } f_{u_2, v_2, k_2}^i \geq 0. \end{cases} \end{aligned}$$

Для того чтобы встроить бит m_i в блок $f_{u,v,k}^i$, изменим коэффициенты дискретного косинусного преобразования:

$$\begin{aligned} \Omega^i(u_1, v_1, k_1) &= \begin{cases} P + \omega_2^i(u_2, v_2, k_2) + 1, & \text{if } (\omega_1 - \omega_2) \leq P \text{ and } m_i = 0, \\ \omega_1^i(u_1, v_1, k_1), & \text{if } (\omega_1 - \omega_2) > P \text{ and } m_i = 1. \end{cases} \\ \Omega^i(u_2, v_2, k_2) &= \begin{cases} P + \omega_1^i(u_1, v_1, k_1) + 1, & \text{if } (\omega_1 - \omega_2) \geq P \text{ and } m_i = 1, \\ \omega_2^i(u_2, v_2, k_2), & \text{if } (\omega_1 - \omega_2) < P \text{ and } m_i = 0. \end{cases} \\ F^i(u_1, v_1, k_1) &= Z_1^i(u_1, v_1, k_1) \cdot \Omega^i(u_1, v_1, k_1), \\ F^i(u_2, v_2, k_2) &= Z_2^i(u_2, v_2, k_2) \cdot \Omega^i(u_2, v_2, k_2). \end{aligned}$$

После чего произведём обратное дискретное косинусное преобразование

$$F_{x,y,z}^i = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\xi(u)\xi(v)\xi(k)}{\sqrt{8/N^3}} F_{u,v,k}^i \cos\left(\frac{\pi u(2x+1)}{2N}\right) \times$$

$$\times \cos\left(\frac{\pi v(2y+1)}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi k(2z+1)}{2N}\right),$$

Полученные блоки объединим в видеопоток в обратном порядке.

Извлечение цифрового водяного знака осуществляется аналогично встраиванию. Видеопоток разбивается на трёхмерные блоки, к которым применяется дискретное косинусное преобразование. Для определения значения i -го бита цифрового водяного знака m_i используется соотношение

$$\begin{aligned}\omega_1^i(u_1, v_1, k_1) &= |F_{u_1, v_1, k_1}^i|, \\ \omega_2^i(u_2, v_2, k_2) &= |F_{u_2, v_2, k_2}^i|, \\ m_i &= \begin{cases} 0, & \text{if } (\omega_1^i(u_1, v_1, k_1) \geq \omega_2^i(u_2, v_2, k_2)), \\ 1, & \text{if } (\omega_1^i(u_1, v_1, k_1) < \omega_2^i(u_2, v_2, k_2)). \end{cases}\end{aligned}$$

2. Снижение видимости цифровых водяных знаков

В простейшем случае блоки формируются из последовательных кадров, а разбиение кадров осуществляется слева-направо и сверху-вниз. Однако компьютерный эксперимент показал, что при наличии на кадрах видеопотока больших областей равномерной заливки или заливки, близкой к равномерной, появляются визуальные эффекты, позволяющие легко определять наличие цифрового водяного знака. Избавиться от этих визуальных эффектов можно, выбирая блоки, которые по своей структуре делают встраивание наименее заметным. Данная операция легко выполняется в ручном режиме, но требует поиска характеристик блоков для автоматизации процесса.

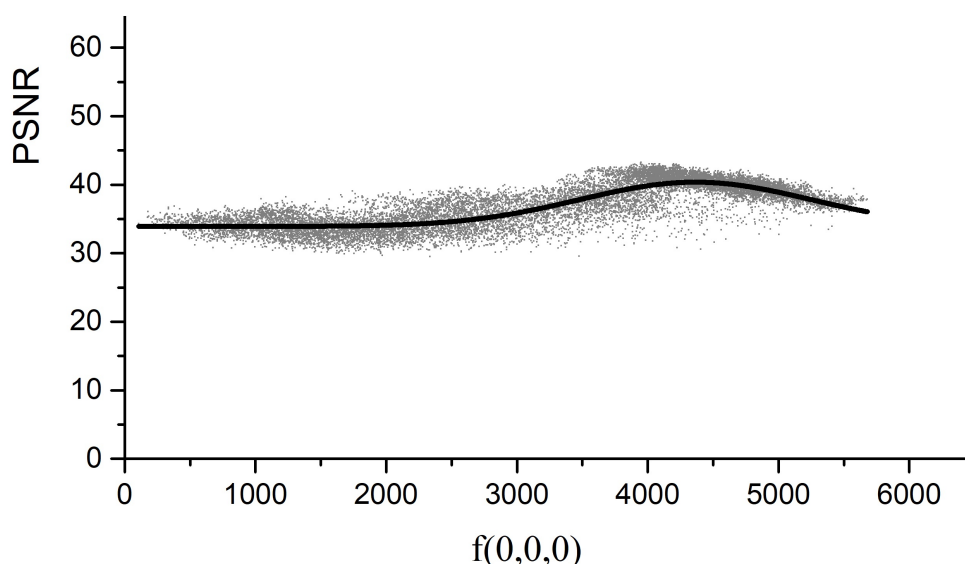


Рис. 1. Зависимость $PSNR$ блока со встроенным сообщением от $f(0,0,0)$

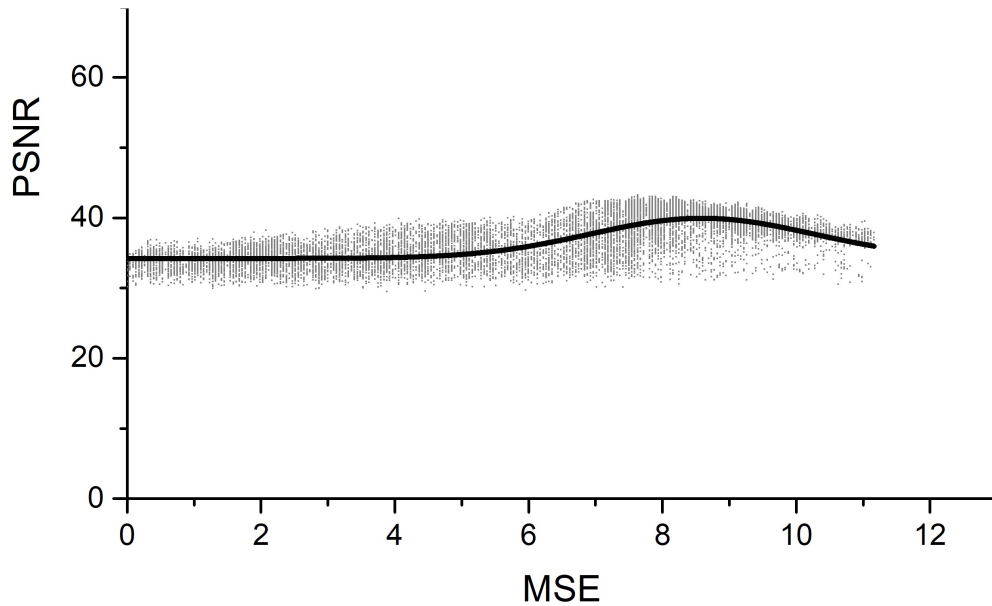


Рис. 2. Зависимость $PSNR$ блока со встроенным сообщением от MSE_0

Для оценки влияния встроенного цифрового водяного знака на видеопоток может быть использована [21] величина отношения сигнала к шуму ($PSNR$)

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{MSE}},$$

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 в видеопотоке со встроенным водяным знаком соответственно, а M и K — ширина и высота кадров в видеопотоке. Единицей измерения $PSNR$ служит децибел (db).

Введём две характеристики блоков видеопотока. Первым параметром будет нулевой коэффициент дискретного косинусного преобразования $f(0, 0, 0)$. Данная характеристика показывает яркость фона участка кадров, входящих в блок. Для участков кадров с ярким фоном можно ожидать более заметного эффекта от встраивания. Вторым параметром будет служить среднеквадратичное отклонение яркости пикселей, входящих в блок от среднего значения

$$MSE_0 = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [P(i, j) - P_0]^2,$$

где $P(i, j)$ — значения яркости пикселей, а P_0 — среднее значение яркости

пикселей, входящих в блок,

$$P_0 = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P(i, j).$$

Проведём компьютерный эксперимент для определения зависимости $PSNR$ блока с встроенным цифровым водяным знаком от $f(0, 0, 0)$ и MSE_0 . На рис. 1 приведена зависимость $PSNR$ блока от $f(0, 0, 0)$. На рис. 2 приведена зависимость $PSNR$ блока от MSE_0 .

На обоих рисунках точками показаны значения для отдельных блоков, а сплошной линией — аппроксимированное значение. Как видно, на обоих графиках присутствует явно выраженный максимум, который позволяет проводить отбор блоков. Необходимо выбирать блоки, параметры которых лежат близко к максимуму. Таким образом, визуальные эффекты от встраивания цифровых водяных знаков могут быть снижены с помощью отбора блоков для встраивания информации.

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. Митекин В.А., Федосеев В.А. Метод встраивания информации в видео, стойкий к ошибкам потери синхронизации // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38, № 3. С. 564–573.
6. Roesse J., Pratt W., Robinson G. Interframe cosine transform image coding // IEEE Transaction on Communication. 1977. V. 25, No. 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., de Jager G. 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. No. 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, No. 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. P. 5681.
15. Campisi P., Neri A. Video watermarking in the 3D-DWT domain using perceptual masking // IEEE Int. Conference on Image Processing. Genoa, Italy. 2005.
16. Campisi P. Video watermarking in the 3D-DWT domain using quantization-based methods // IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing. 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). 2007. P. 2544–2548.
19. Cherepanov P.G., Belim S.V. Robust Algorithm of Embedding of Digital Water Marks in a Video Stream // Proceedings of the Workshop on Data, Modeling and Security (DMS 2017). CEUR Workshop Proceedings. 2017. V. 1965. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1965/paper12.pdf> (дата обращения: 26.10.2018).
20. Koch E., Zhao J. Towards robust and hidden image copyright labeling // IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. 1995. P. 452–455.
21. Huynh-Thu Q., Ghanbari M. Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment // Electronics Letters. 2008. V. 44, No. 13. P. 800–801.

SELECTION OF BLOCKS IN A VIDEO STREAM FOR EMBEDDING DIGITAL WATERMARKS

S.V. Belim

Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor, e-mail: sbelim@mail.ru

P.G. Cherepanov

Postgraduate Student, e-mail: pcherepanov@gehtsoft.com

Dostoevsky Omsk State University

Abstract. The article proposes a method for selecting blocks for embedding digital watermarks in video files. The video stream is represented as a three-dimensional object. For embedding digital watermarks, the Koch-Zhao method is used, which is generalized to the three-dimensional case. The main goal of the proposed method is to reduce visible distortions from embedding data. For the selection of blocks, their statistical analysis is performed. The variance of the color intensity of individual pixels is chosen as the main parameter. A computer experiment is conducted. To assess the level of visibility, the ratio of noise to the main signal is calculated. The threshold value of the variance above which the embedding is the least noticeable is experimentally determined.

Keywords: digital watermarks, video steganography, discrete cosine transform.

Дата поступления в редакцию: 17.11.2018