

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
COMPUTER SIMULATION**

УДК 004.838.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-7

Черноморец А.А.
Болгова Е.В.
Черноморец Д.А.**О СКРЫТОМ ВНЕДРЕНИИ ДАННЫХ В ВИДЕОПОТОК
НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО СУБПОЛОСНОГО АНАЛИЗА**Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия*e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru, bolgova_e@bsu.edu.ru, chernomorets_d@bsu.edu.ru***Аннотация**

Работа посвящена разработке основных теоретических положений метода скрытного внедрения данных на основе трехмерного субполосного анализа. Рассмотрена задача скрытного внедрения данных в отдельные блоки кадров видеопотока. Приведено описание подобласти пространственных частот при трехмерном косинус преобразовании. Предложены понятия части и доли квадрата нормы блока кадров при косинус преобразовании, соответствующие заданной подобласти пространственных частот, а также соотношения для их вычисления на основании значений элементов соответствующих субполосных матриц. Приведены соотношения, являющиеся основой построения проекций блока кадров на собственные векторы субполосных матриц, образующих трехмерный ортонормированный базис, а также соотношения, которые являются основой для проведения субполосного синтеза блока кадров на основе измененных в соответствии с внедряемыми данными проекциями блока кадров. Сформулированы основные этапы метода скрытного субполосного внедрения данных в блоки кадров видеопотока. Рассмотренный метод скрытного субполосного внедрения данных в заданный блок кадров на основе трехмерного субполосного анализа может быть применен для повышения скрытности внедренных данных.

Ключевые слова: скрытное внедрение, блок кадров, субполосный анализ, субполосные матрицы, собственные векторы, косинус преобразование, проекции блока кадров.

Для цитирования: Черноморец А.А., Болгова Е.В., Черноморец Д.А. О скрытном внедрении данных в видеопоток на основе трехмерного субполосного анализа // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №2, 2021. – С. 47-55. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-7

Chernomorets A.A.
Bolgova E.V.
Chernomorets D.A.**ON HIDDEN DATA EMBEDDING INTO THE VIDEO STREAM BASED
ON THREE-DIMENSIONAL SUBBAND ANALYSIS**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru, bolgova_e@bsu.edu.ru, chernomorets_d@bsu.edu.ru***Abstract**

The paper is devoted to the development of the main theoretical provisions of the method of hidden data embedding based on three-dimensional subband analysis. The problem of hidden data embedding in separate blocks of video stream frames is considered. The description of the spatial frequencies subdomain of the three-dimensional cosine transform is given. The concepts of the part and the fraction of the square of the norm of a frames block with a cosine transform

corresponding to a given spatial frequencies subdomain, as well as formulas for their calculation based on the corresponding subband matrices elements values, are proposed. The formulas that are the basis for constructing the frames block projections on the eigenvectors of subband matrices forming a three-dimensional orthonormal basis are given, as well as the formulas that are the basis for conducting sub-band synthesis of a frames block based on the frames block projections modified in accordance with the embedding data. The main stages of the method of hidden subband data embedding in video stream frames blocks are formulated. The considered method of hidden subband data embedding into a given frames block based on three-dimensional subband analysis can be used to increase the secrecy of embedded data.

Keywords: hidden embedding, frames block, subband analysis, subband matrices, eigenvectors, cosine transform, frames block projections.

For citation: Chernomoretz A.A., Bolgova E.V., Chernomoretz D.A. On hidden data embedding into the video stream based on three-dimensional subband analysis // Research result. Information technologies. – Т.6, №2, 2021. – P. 47-55. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-7

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях высокого уровня развития средств создания, передачи, хранения мультимедийных данных достаточно актуальным является создание информационных систем, обеспечивающих защиту авторских прав на созданные звуковые записи, цифровые изображения, видеозаписи.

В существующих системах защиты авторских прав на мультимедийную продукцию, зачастую, для идентификации автора применяют скрытное внедрение данных в звуковые записи, изображения, а также в кадры видеопотока. При внедрении в видеопоток в большинстве случаев скрытное внедрение данных осуществляется в отдельные кадры видеопотока (рисунок 1) на основании методов внедрения в изображения [1-5].

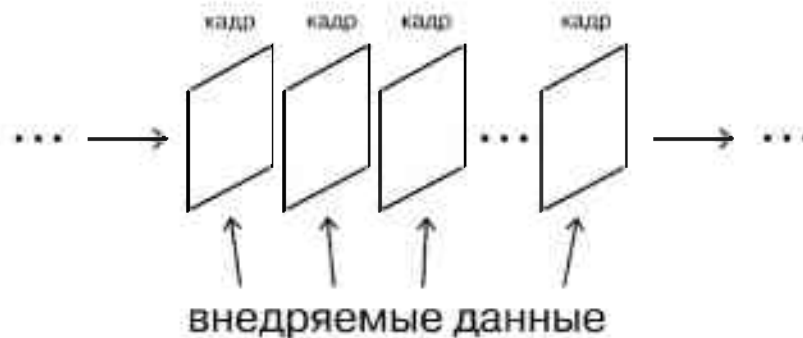


Рис. 1. Скрытное внедрение данных в отдельные кадры видеопотока
Fig. 1. Hidden data embedding into individual frames of a video stream

Для повышения скрытности внедряемых данных одним из подходов является скрытное внедрение данных в блоки кадров видеопотока (рисунок 2). В данном случае видеопоток представляется в виде последовательности блоков кадров, при этом каждый блок кадров рассматривается как единый контейнер, в который осуществляется скрытное внедрение данных.

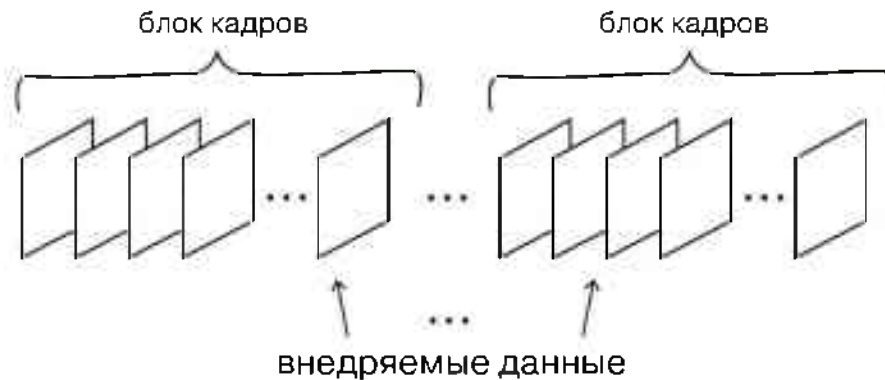


Рис. 2. Скрытное внедрение данных в блоки кадров видеопотока
Fig. 2. Hidden data embedding into video stream frames blocks

Представим отдельный блок кадров в виде трехмерной матрицы $\Phi = (f_{ijk})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $j = 1, 2, \dots, N_2$, $k = 1, 2, \dots, N_3$, значений пикселей на кадрах блока, где $N_1 \times N_2$ – размерность кадра, N_3 – количество кадров в блоке. Адекватной теоретической основой многих задач обработки трехмерных данных, в частности значений пикселей блока кадров видеопотока, является их частотное представление на основе результатов косинус преобразования по дискретным данным [6-9].

$$f_{ijk} = \frac{8}{\pi^3} \int_0^\pi \int_0^\pi \int_0^\pi F^\Phi(u, v, w) \cos(u(i - \frac{1}{2})) \cos(v(j - \frac{1}{2})) \cos(w(k - \frac{1}{2})) du dv dw, \quad (1)$$

где $F^\Phi(u, v, w)$ – частотная характеристика, получаемая в результате косинус преобразования [7-9]:

$$F^\Phi(u, v, w) = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_3} f_{ijk} \cos(u(i - \frac{1}{2})) \cos(v(j - \frac{1}{2})) \cos(w(k - \frac{1}{2})), \quad (2)$$

u, v, w – нормированные пространственные круговые частоты, принимающие значения в области определения косинус преобразования D_π (рисунок 3) [7, 9, 10],

$$(u, v, w) \in D_\pi, \quad (3)$$

$$D_\pi = \{(u, v, w) | 0 \leq u, v, w < \pi\}. \quad (4)$$

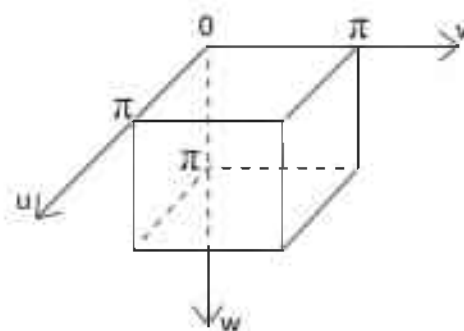


Рис. 3. Область D_π определения трехмерного косинус преобразования

Fig. 3. The definition domain D_π of the three-dimensional cosine transform

Для применения субполосного анализа/синтеза [11-13] в задаче скрытного внедрения данных в блок кадров Φ , основанного на анализе распределения квадрата нормы его косинус-преобразования по подобластям пространственных частот области определения косинус-преобразования, разобьем область D_π на $R_1 \times R_2 \times R_3$ подобластей $V_{r_1 r_2 r_3}$, $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$, $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$, $r_3 = 1, 2, \dots, R_3$, следующего вида (рисунок 4):

$$V_{r_1 r_2 r_3} = D_{r_1}^u \cap D_{r_2}^v \cap D_{r_3}^w, \quad (5)$$

где трехмерные субполосы $D_{r_1}^u$, $D_{r_2}^v$ и $D_{r_3}^w$ трехмерного пространства пространственных частот имеют вид:

$$D_{r_1}^u = [u_{r_1,1}, u_{r_1,2}), \quad 0 \leq u_{r_1,1} < u_{r_1,2} < \pi, \quad r_1 = 1, 2, \dots, R_1, \quad (6)$$

$$D_{r_2}^v = [v_{r_2,1}, v_{r_2,2}), \quad 0 \leq v_{r_2,1} < v_{r_2,2} < \pi, \quad r_2 = 1, 2, \dots, R_2, \quad (7)$$

$$D_{r_3}^w = [w_{r_3,1}, w_{r_3,2}), \quad 0 \leq w_{r_3,1} < w_{r_3,2} < \pi, \quad r_3 = 1, 2, \dots, R_3, \quad (8)$$

$$u_{r_1,1} = (r_1 - 1) \frac{\pi}{R_1}, \quad u_{r_1,2} = r_1 \frac{\pi}{R_1}, \quad (9)$$

$$v_{r_2,1} = (r_2 - 1) \frac{\pi}{R_2}, \quad v_{r_2,2} = r_2 \frac{\pi}{R_2}. \quad (10)$$

$$w_{r_3,1} = (r_3 - 1) \frac{\pi}{R_3}, \quad w_{r_3,2} = r_3 \frac{\pi}{R_3}. \quad (11)$$

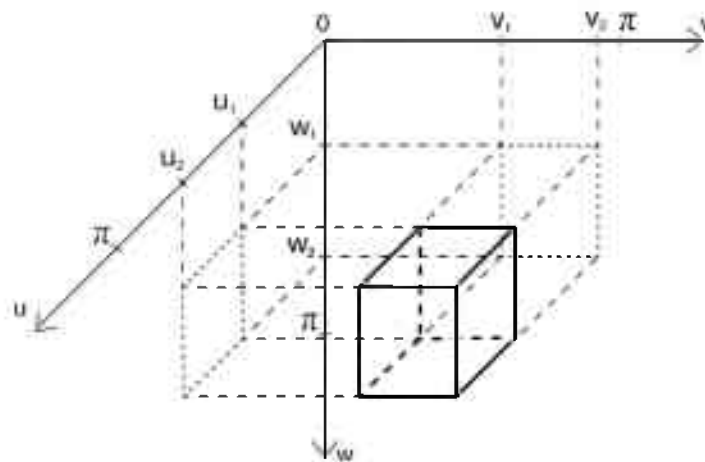


Рис. 4. Подобласть пространственных частот при трехмерном косинус преобразовании
Fig. 4. The spatial frequencies subdomain of the three-dimensional cosine transform

Для анализа информативности подобластей пространственных частот с позиции значимости соответствующих им данных для представления блока кадров рассмотрим понятие доли квадрата нормы блока кадров Φ .

На основании равенства Парсевала для косинус-преобразования справедливо следующее равенство для квадрата нормы блока кадров Φ :

$$\|\Phi\|^2 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_3} f_{ijk}^2 = \frac{8}{\pi^3} \int_0^\pi \int_0^\pi \int_0^\pi (F^\Phi(u, v, w))^2 du dv dw. \quad (12)$$

Часть $E_{r_1 r_2 r_3}(\Phi)$ квадрата нормы блока кадров Φ при косинус-преобразовании, соответствующей заданной подобласти пространственных частот $V_{r_1 r_2 r_3}$, вычислим на основании следующего соотношения:

$$E_{\text{norm}}(\Phi) = \frac{8}{\pi^3} \iiint_{(u,v,w) \in V_{i_1 i_2 i_3}} (F^\Phi(u, v, w))^2 du dv dw. \quad (13)$$

Очевидно, что для квадрата нормы блока кадров Φ справедливо следующее равенство:

$$\|\Phi\|^2 = \sum_{k_1=1}^{R_1} \sum_{j_1=1}^{R_2} \sum_{i_1=1}^{R_3} E_{\text{norm}}(\Phi). \quad (14)$$

На основании соотношений (12) и (13) долю $P_{V_{i_1 i_2 i_3}}(\Phi)$ квадрата нормы блока кадров Φ , соответствующую заданной подобласти пространственных частот $V_{i_1 i_2 i_3}$, предлагается вычислять следующим образом:

$$P_{V_{i_1 i_2 i_3}}(\Phi) = \frac{E_{V_{i_1 i_2 i_3}}(\Phi)}{\|\Phi\|^2}. \quad (15)$$

Для вычисления значений части $E_{V_{i_1 i_2 i_3}}(\Phi)$ квадрата нормы блока кадров Φ при косинус-преобразовании, соответствующей заданной подобласти пространственных частот $V_{i_1 i_2 i_3}$, преобразуем выражение (13) следующим образом – подставим (2) в (13) и выполним преобразования:

$$\begin{aligned} E_{V_{i_1 i_2 i_3}}(\Phi) &= \frac{8}{\pi^3} \iiint_{(u,v,w) \in V_{i_1 i_2 i_3}} \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{j_1=1}^{N_2} \sum_{k_1=1}^{N_3} f_{i_1 j_1 k_1} \cos(u(i_1 - \frac{1}{2})) \cos(v(j_1 - \frac{1}{2})) \cos(w(k_1 - \frac{1}{2})) \cdot \\ &\cdot \sum_{i_2=1}^{N_1} \sum_{j_2=1}^{N_2} \sum_{k_2=1}^{N_3} f_{i_2 j_2 k_2} \cos(u(i_2 - \frac{1}{2})) \cos(v(j_2 - \frac{1}{2})) \cos(w(k_2 - \frac{1}{2})) du dv dw = \\ &= \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{j_1=1}^{N_2} \sum_{k_1=1}^{N_3} \sum_{i_2=1}^{N_1} \sum_{j_2=1}^{N_2} \sum_{k_2=1}^{N_3} f_{i_1 j_1 k_1} f_{i_2 j_2 k_2} g_{i_1 i_2}^n h_{j_1 j_2}^{i_2} z_{k_1 k_2}^{i_3}, \end{aligned} \quad (16)$$

где

$$g_{i_1 i_2}^n = \frac{2}{\pi} \int_{u \in D_{i_1}^n} \cos(u(i_1 - \frac{1}{2})) \cos(u(i_2 - \frac{1}{2})) du, \quad (17)$$

$$h_{j_1 j_2}^{i_2} = \frac{2}{\pi} \int_{v \in D_{j_2}^{i_2}} \cos(v(j_1 - \frac{1}{2})) \cos(v(j_2 - \frac{1}{2})) dv, \quad (18)$$

$$z_{k_1 k_2}^{i_3} = \frac{2}{\pi} \int_{w \in D_{k_2}^{i_3}} \cos(w(k_1 - \frac{1}{2})) \cos(w(k_2 - \frac{1}{2})) dw. \quad (19)$$

В работах [12-15] показано, что элементы (17)-(19) могут быть вычислены следующим образом: значения элементов $g_{i_1 i_2}^n$, $i_1, i_2 = 1, 2, \dots, N_1$, могут быть представлены, применяя значения (9), в виде:

$$g_{i_1 i_2}^n = a_{i_1 i_2}^n + \tilde{g}_{i_1 i_2}^n, \quad (20)$$

где

$$a_{i_1 i_2}^n = \begin{cases} \frac{\sin(u_{i_1,2}(i_1 - i_2)) - \sin(u_{i_1,1}(i_1 - i_2))}{\pi(i_1 - i_2)}, & i_1 \neq i_2, \\ \frac{u_{i_1,2} - u_{i_1,1}}{\pi}, & i_1 = i_2. \end{cases} \quad (21)$$

$$\tilde{g}_{i_1 i_2}^n = \frac{\sin(u_{i_1,2}(i_1 + i_2 - 1)) - \sin(u_{i_1,1}(i_1 + i_2 - 1))}{\pi(i_1 + i_2 - 1)}. \quad (22)$$

Значения элементов $h_{j_1 j_2}^{r_2}$, $j_1, j_2 = 1, 2, \dots, N_2$, и элементов $z_{k_1 k_2}^{r_3}$, $k_1, k_2 = 1, 2, \dots, N_3$, также могут быть вычислены на основании соотношений (20) и (21) при подстановке значений частот $\nu_{r_1, 1}$, $\nu_{r_2, 2}$ (10) и $w_{r_3, 1}$, $w_{r_3, 2}$ (10) соответственно.

Элементы $g_{i_1 i_2}^{r_1}$, $i_1, i_2 = 1, 2, \dots, N_1$; $h_{j_1 j_2}^{r_2}$, $j_1, j_2 = 1, 2, \dots, N_2$, $z_{k_1 k_2}^{r_3}$; $k_1, k_2 = 1, 2, \dots, N_3$, (17)-(19) образуют субполосные матрицы косинус преобразования $G_{r_1} = (g_{i_1 i_2}^{r_1})$, $i_1, i_2 = 1, 2, \dots, N_1$; $H_{r_2} = (h_{j_1 j_2}^{r_2})$, $j_1, j_2 = 1, 2, \dots, N_2$, и $Z_{r_3} = (z_{k_1 k_2}^{r_3})$, $k_1, k_2 = 1, 2, \dots, N_3$, соответствующих заданной подобласти пространственных частот $V_{r_1 r_2 r_3}$ вида (5).

Субполосные матрицы косинус-преобразования $G_{r_1} = (g_{i_1 i_2}^{r_1})$, $i_1, i_2 = 1, 2, \dots, N_1$; $H_{r_2} = (h_{j_1 j_2}^{r_2})$, $j_1, j_2 = 1, 2, \dots, N_2$, и $Z_{r_3} = (z_{k_1 k_2}^{r_3})$, $k_1, k_2 = 1, 2, \dots, N_3$, а также их собственные числа и собственные векторы представляют собой математический инструмент субполосного анализа/синтеза блока кадров видеопотока.

В работах [14-15] показано, что субполосные матрицы G_{r_1} , H_{r_2} и Z_{r_3} являются вещественными, симметрическими матрицами, следовательно, они имеют полные наборы ортонормированных собственных векторов и соответствующие собственные числа.

Обозначим, $\bar{q}_i^{r_1} = (q_{i_1 i_2}^{r_1})$, $i_1, i_2 = 1, 2, \dots, N_1$; $\bar{u}_j^{r_2} = (u_{j_1 j_2}^{r_2})$, $j_1, j_2 = 1, 2, \dots, N_2$; $\bar{w}_k^{r_3} = (w_{k_1 k_2}^{r_3})$, $k_1, k_2 = 1, 2, \dots, N_3$, – наборы собственных векторов субполосных матриц G_{r_1} , H_{r_2} и Z_{r_3} .

Элементы $\gamma_{ijk}^{r_1 r_2 r_3}$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $j = 1, 2, \dots, N_2$, $k = 1, 2, \dots, N_3$, значения которых предлагается вычислять на основании следующего соотношения,

$$\gamma_{ijk}^{r_1 r_2 r_3} = \sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{j_1=1}^{N_2} \sum_{k_1=1}^{N_3} f_{i_1 j_1 k_1} q_{i_1 i_2}^{r_1} u_{j_1 j_2}^{r_2} w_{k_1 k_2}^{r_3}, \quad (23)$$

можно считать значениями проекций блока кадров Φ в трехмерном ортонормированном базисе, составленном из собственных векторов $\bar{q}_i^{r_1}$, $i = 1, 2, \dots, N_1$; $\bar{u}_j^{r_2}$, $j = 1, 2, \dots, N_2$, и $\bar{w}_k^{r_3}$, $k = 1, 2, \dots, N_3$, субполосных матриц G_{r_1} , H_{r_2} и Z_{r_3} , соответствующих заданной подобласти пространственных частот $V_{r_1 r_2 r_3}$.

Для восстановления значений элементов $f_{i_1 j_1 k_1}$, $i_1 = 1, 2, \dots, N_1$, $j_1 = 1, 2, \dots, N_2$, $k_1 = 1, 2, \dots, N_3$, блока кадров Φ предлагается использовать следующее соотношение:

$$f_{i_1 j_1 k_1} = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_3} \gamma_{ijk}^{r_1 r_2 r_3} q_{i_1 i_2}^{r_1} u_{j_1 j_2}^{r_2} w_{k_1 k_2}^{r_3}. \quad (24)$$

Соотношение (23) является основой представления используемого для скрытного внедрения блока кадров Φ в виде множества его проекций в трехмерном ортонормированном базисе, составленном из собственных векторов субполосных матриц.

Соотношение (24) является основой для проведения субполосного синтеза блока кадров на основе измененных в соответствии с внедряемыми данными проекциями блока кадров в трехмерном ортонормированном базисе.

Метод скрытного субполосного внедрения данных в заданный блок кадров на основе трехмерного субполосного анализа-синтеза разработан в соответствии с основными положениями метода скрытного субполосного внедрения данных в изображения [10, 16]:

- выбор подобласти пространственных частот, в которую рекомендуется скрытно внедрять данные, предлагается осуществлять на основе анализа значений долей $P_{r_1 r_2 r_3}(\Phi)$ (15) квадрата

нормы блока кадров Φ , соответствующих различным подобластям пространственных частот $V_{\text{чпк}}$ вида (5);

- выбор неинформативных проекций блока кадров в трехмерном ортонормированном базисе, составленном из собственных векторов субполосных матриц, которые соответствуют выбранной подобласти пространственных частот, предлагается осуществлять на основании анализа распределения квадратов значений соответствующих проекций (23);

- изменение значений выбранных для скрытного внедрения проекций предлагается осуществлять на основании внедряемых данных, представленных в двоичном виде, в соответствии с требованиями метода скрытного субполосного внедрения данных в изображения [10, 16];

- синтез блока кадров, содержащего внедренные данные, предлагается осуществлять в соответствии с соотношением (24),

- извлечение внедренных данных также осуществляется в соответствии с методом скрытного субполосного внедрения данных в изображения.

Предлагаемый метод скрытного субполосного внедрения данных в заданный блок кадров на основе трехмерного субполосного анализа-синтеза позволяет повысить скрытность внедрения.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрены основные положения метода скрытного внедрения данных в видеопоток на основе трехмерного субполосного анализа. Для повышения скрытности внедряемых данных предложено осуществлять скрытное внедрение данных в отдельные блоки кадров видеопотока. Сформулированы основные теоретические положения субполосного анализа при трехмерном косинус преобразовании с позиций решения задачи скрытного внедрения. Приведены соотношения, являющиеся основой построения проекций блока кадров Φ на собственные векторы субполосных матриц, образующих трехмерный ортонормированный базис, а также соотношения, которые являются основой для проведения субполосного синтеза блока кадров на основе измененных в соответствии с внедряемыми данными проекциями блока кадров. Сформулированы основные этапы метода скрытного субполосного внедрения данных в блоки кадров видеопотока.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00657.

Список литературы

1. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М.: Солон-пресс, 2016. – 262 с.
2. Конахович Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. – Киев: «МК-Пресс», 2006. – 288 с.
3. Аграновский А.В. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ / А.В. Аграновский. – М.: Вузовская книга, 2009. – 220 с.: ил.
4. Cox I.J. Digital watermarking and steganography / I.J. Cox., M. Miller, J. Bloom., J. Fridrich, T. Kalker. – Morgan Kaufmann, 2007. – 593 p.
5. Hartung F. Multimedia. Watermarking Techniques / F. Hartung., M. Kutter // Proceedings IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information. – 1999. – 87(7). – Pp. 1079-1107.
6. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Л.А. Залманзон. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 496 с.
7. Болгова Е.В. О сосредоточенности энергии косинусного преобразования [Текст] / Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. – 2017. – № 9(258). – Вып. 42. – С. 111-121.
8. Черноморец А.А. О равенстве Парсеваля для косинусного преобразования Фурье изображений [Текст] / Черноморец А.А., Болгова Е.В., Ходырева А.А. IV международная научно-практическая конференция: Фундаментальная наука и технологии - перспективные разработки. – North Charleston, 2014. – С. 160-163.

9. Черноморец А.А. Об анализе данных на основе косинусного преобразования [Текст] / А.А. Черноморец, Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. – 2015. – № 1(198). – Вып. 33/1. – С. 68-73.
10. Болгова Е.В. О методе субинтервального скрытного внедрения данных в изображения [Текст] / Е.В. Болгова, А.А. Черноморец // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45. – № 1. – С. 192-201.
11. Черноморец Д.А. Представление изображений на основе базиса собственных векторов субполосных матриц косинус-преобразования / Д.А. Черноморец, Е.В. Болгова, А.А. Черноморец, А.А. Барсук // Научный результат. Информационные технологии. – 2019. Т. 4. – № 1. – С. 3-8.
12. Жилияков, Е.Г. Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений: Монография [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец. – Белгород: Изд-во ГИК, 2009. – 146 с.
13. Жилияков, Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным: моногр. [Текст] / Е.Г. Жилияков. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.
14. Жилияков, Е.Г. О субполосном анализе изображений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец // ГрафиКон`2013: 23-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению: 16–20 сентября, 2013 г., Владивосток, Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН: Труды конференции. – С. 230-233.
15. Жилияков, Е.Г. О частотном анализе изображений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2010. – Вып. 1. – С. 94-103.
16. Zhilyakov E.G. Hidden data embedding method based on the image projections onto the eigenvectors of subinterval matrices / E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomoretz., E.V. Bolgova., I.I. Oleynik., D.A. Chernomoretz // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – 7(3.19). – P. 72-80.

References

1. Gribunin V.G. Digital steganography / V.G. Gribunin, I.N. Okov, I.V. Turintsev. – M.: Solon-press, 2016. 262 p.
2. Konakhovich G.F. Computer steganography. Theory and practice / G.F. Konakhovich, A.Yu. Puzyrenko. – Kiev: «МК–Press», 2006, 288 p.
3. Agranovskiy A.V. Steganography, digital watermarks and steganoanalysis / A.V. Agranovskiy. – M.: Vuzovskaya kniga, 2009. 220 p.
4. Cox I.J. Digital watermarking and steganography / I.J. Cox., M. Miller, J. Bloom., J. Fridrich, T. Kalker. – Morgan Kaufmann, 2007. – 593 p.
5. Hartung F. Multimedia. Watermarking Techniques / F Hartung., M. Kutter // Proceedings IEEE, Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Information. – 1999. – 87(7). – Pp. 1079-1107.
6. Zalmanzon L.A. Fourier, Walsh, Haar transforms and their application in control, communication and other fields / L.A. Zalmanzon. – M.: Science. Ch. ed. physical-mat. lit., 1989. – 496 p.
7. Bolgova E.V. About cosine transform energy concentration / E.V. Bolgova // Belgorod State University Scientific Bulletin Economics Information technologies. – 2017. – № 9(258). – Issue. 42. – P. 111-121.
8. Chernomoretz A.A. On Parseval's equality for the cosine Fourier transform of images / A.A. Chernomoretz, E.V. Bolgova, Khodyreva A.A. // IV international scientific and practical conference: Fundamental science and technology - promising. – North Charleston, 2014. – P. 160-163.
9. Chernomoretz A.A. On the analysis of data based on the cosine transformation / A.A. Chernomoretz, E.V. Bolgova // Belgorod State University Scientific Bulletin Economics Information technologies. – 2015. – № 1(198). – Issue. 33/1. – P. 68-73.
10. Bolgova E.V. On the method of subinterval data hidden embedding in images / E.V. Bolgova, A.A. Chernomoretz // Belgorod State University Scientific Bulletin Economics Information technologies. – 2018. – Т. 45. – № 1. – P. 192-201.
11. Chernomoretz D.A. Images presentation based on subband cosine transform matrix eigenvectors basis / D.A. Chernomoretz, E.V. Bolgova, A.A. Chernomoretz, A.A. Barsuk // Research result. Information technologies. – 2019. – Т. 4. – № 1. – P. 3-8.
12. Zhilyakov E.G. Variational algorithms for image analysis and processing based on frequency representations: Monograph // E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomoretz. – Belgorod: GIK, 2009. – 146 p.
13. Zhilyakov E.G. Variational methods of analysis and construction of functions from empirical data: Monograph / E.G. Zhilyakov. – Belgorod: BelGU Publishing House – 160 p.

14. Zhilyakov E.G. About subband image analysis / E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomorets // *GrafiKon'2013: 23rd International Conference on Computer Graphics and Vision: September 16–20, 2013, Vladivostok, Institute of Automation and Control Processes FEB RAS: Proceedings of the conference.* – P. 230-233.

15. Zhilyakov E.G. On frequency analysis of images/ E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomorets // *Questions of radio electronics. Ser. EVT.* – 2010. – Issue. 1. – P. 94-103.

16. Zhilyakov E.G. Hidden data embedding method based on the image projections onto the eigenvectors of subinterval matrices / E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, I.I. Oleynik, D.A. Chernomorets // *International Journal of Engineering & Technology.* – 2018. – 7(3.19). – P. 72-80.

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Черноморец Дарья Андреевна, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Chernomorets Andrey Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Chernomorets Darya Andreevna, postgraduate student of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies