УДК 621.397

А.А. Черноморец, Е.В. Болгова

chernomorets@bsu.edu.ru

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, г. Белгород

ОБ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

Одним из направлений развития информационно-телекоммуникационных систем (ИТС) является совершенствование методов минимизации затрат на хранение и передачу информации, в первую очередь, мультимедийной, поскольку значительный объем передаваемой в ИТС информации связан с обработкой речевых сигналов и изображений. Для уменьшения объема битовых представлений речевых сигналов и изображений применяют различные преобразования, такие как преобразования Адамара, Хаара, Фурье, Карунена-Лоэва, вейвлет-преобразование, среди которых одним из наиболее распространенных является дискретное косинусное преобразование (ДКП) [1].

ДКП является ортогональным преобразованием, разновидностью дискретного преобразования Фурье, дискретным вариантом непрерывного косинусного преобразования. ДКП применяется, в основном, в алгоритмах сжатия информации с потерями (алгоритм JPEG сжатия изображений) [2], а также в алгоритмах стеганографического скрытия данных в коэффициентах данного преобразования [3]. Модифицированный алгоритм ДКП (преобразование с перекрытием) применяется в форматах MP3, AC-3, AAC для сжатия аудио сигналов [1].

ДКП позволяет переходить от пространственного и временного представления сигналов к их спектральному представлению и обратно. В матрице (векторе) коэффициентов ДКП коэффициенты, соответствующие низкочастотным компонентам сигнала, определяют значения элементов ближе к левому верхнему углу матрицы, и коэффициенты, соответствующие высокочастотным компонентам, – ближе к правому нижнему углу. Поскольку человек менее восприимчив к изменениям высокочастотных компонент звуков и изображений [4], то, следовательно, ДКП позволяет определить множество частотных интервалов области нормированных частот, в которых данные можно удалить без существенной потери информации, содержащейся в сигналах. В данной работе исследуется преобразование, примененное к вектору или матрице произвольной размерности.

Для создания эффективных методов сжатия сигналов на основе ДКП представляет интерес получение интегральной оценки суммы квадратов коэффициентов одномерного и двумерного ДКП, соответствующих заданным частотным инте рвалам.

На основании применения интегральных оценок представляется возможным снизить вычислительную сложность алгоритмов вычисления коэффициентов ДКП. Также, в отдельных случаях, для определения эффективности косинусных преобразований необходимо знать точные значения (оценки) коэффициентов ДКП в отдельных частотных интервалах.

Рассмотрим первоначально случай одномерного сигнала.

Интегральная оценка одномерного дискретного косинусного преобразования

Коэффициенты y_n, $n = 0,1,\dots,N-1$, одномерного дискретного косинусного преобразования сигнала, задаваемого вектором $\vec{f} = (f_1\ f_2\ \dots\ f_N)^T$, обычно определяется выражением

$$y_n = \alpha_n \sum_{i=1}^{N} f_i \cos(\frac{\pi n}{N}(i-\frac{1}{2})),\ n = 0,1,\dots,N-1,$$

$$\alpha_n = \begin{cases} 1/\sqrt{N}, n = 0, \\ \sqrt{2/N}, n = 1,2,\dots,N-1. \end{cases}$$

Интегральную оценку S_U суммы квадратов коэффициентов дискретного косинусного преобразования в частотной области U,

$$U = \{\, u_1 \le u < u_2 \,\},$$

$$0 \le u_1 < u_2 < \pi,$$

принадлежащей области нормированных частот D_π^1,

$$U \subset D_\pi^1,\quad D_\pi^1 = \{u \mid 0 \le u < \pi\},\quad (1)$$

найдем в следующем виде

$$S_U = \int_{u \in U} F^2(u)du,\qquad (2)$$

где $F(u)$ – косинусное преобразование, определенное в области нормированных частот D_π^1,

$$F(u) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sum_{i=1}^{N} f_i \cos(u(i-\frac{1}{2})).\quad (3)$$

Выражение (2) с учетом представления (3) будет иметь вид

$$S_U = \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{N} f_i f_k \left(\frac{2}{\pi} \int_{u \in U} \cos(u(i-\frac{1}{2}))\cos(u(k-\frac{1}{2}))du \right).(4)$$

Можно показать, что значение интеграла (4) при

$$i - k \ne 0,$$

$$i+k-1\neq 0,$$

определяется следующим выражением,

$$\frac{\sin(u_2(i-k))-\sin(u_1(i-k))}{\pi(i-k)}+\frac{\sin(u_2(i+k-1))-\sin(u_1(i+k-1))}{\pi(i+k-1)}.$$

Очевидно, в случае, когда частотная область D_π^1 (1) представлена в виде объединения R равновеликих частотных интервалов U_r, $r=1,2,...,R$,

$$U_r=\{u\mid\ u_1^r\le u<u_2^r\}, \qquad (5)$$

$$u_1^r=(r-1)\frac{\pi}{R},\quad u_2^r=r\frac{\pi}{R},\ r=1,2,...,R,$$

значение интегральной оценки (2) в частотном интервале U_r определяется следующим соотношением

$$S_{U_r}=S_r=\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} f_i f_k g_{ik}^r=\vec{f}^{\,T}G_r\vec{f}=\vec{f}^{\,T}(A_r+H_r)\vec{f}, \qquad (6)$$

где матрица $G_r=(g_{ik}^r)$, $i=1,2,...,N$, $k=1,2,...,N$, является суммой субполосной [5] матрицы $A_r=(a_{ik}^r)$, $i=1,2,...,N$, $k=1,2,...,N$, и квазисубполосной матрицы $H_r=(h_{ik}^r)$, $i=1,2,...,N$, $k=1,2,...,N$, значения элементов которых в частотном интервале U_r, $r=1,2,...,R$, определяются соотношениями

$$h_{ik}^r=\begin{cases}\dfrac{\sin(\sigma r(i+k-1))-\sin(\sigma(r-1)(i+k-1))}{\pi(i+k-1)}, & i+k-1\neq 0,\\[2mm] \dfrac{\sigma}{\pi},\quad i+k-1=0, & \sigma=\dfrac{\pi}{R},\end{cases} \qquad (7)$$

$$g_{ik}^r=a_{ik}^r+h_{ik}^r,\ i=1,2,...,N,\ k=1,2,...,N. \qquad (8)$$

Рассмотрим расширение исходного дискретного сигнала $\vec{f}$ с помощью добавления справа нулей до длины сигнала N_0 отсчетов. Обозначим, $S_r^{(N_0)}$ – сумму квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих заданному частотному интервалу U_r (при длине сигнала N_0 отсчетов).

Очевидно, что величина интегральной оценки S_r (6), $r=1,2,...,R$, обладает следующим свойством: сумма $S_r^{(N_0)}$ квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих частотному интервалу U_r, приближается к значению S_r с увеличением значения N_0.

Покажем справедливость данного свойства на примере сигнала, приведенного на рис. 1. Длина сигнала была выбрана N=256 отсчетов, количество частотных интервалов R=8.

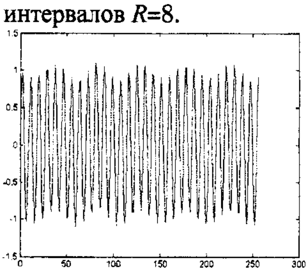
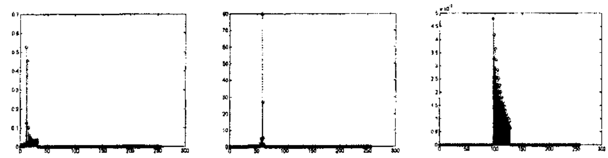


Рис. 1. Исследуемый сигнал (количество отсчетов 256)

На рис. 2 для сигнала, изображенного на рис. 1, приведены значения квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих частотным интервалам U_1, U_2 и U_4 при $R=8$.



а б в

Рис. 2. Значения квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих частотным интервалам U_1 (а), U_2 (б) и U_4 (в) при R=8

В табл.1 в качестве примера приведены результаты вычислений значений S_r, $r=1,2,...,R$, в частотных интервалах U_r, $r=1,2,...,R$, и соответствующих сумм $S_r^{(N_0)}$ квадратов коэффициентов ДКП при R=8. В таблице также указано среднеквадратическое отклонение δ_1 множества значений $S_r^{(N_0)}$ относительно множества значений S_r, $r=1,2,...,R$,

$$\delta_1=\sqrt{\sum_{r=1}^{R}(S_r-S_r^{(N_0)})^2/\sum_{r=1}^{R}S_r^2}\,. \qquad (9)$$

Таблица 1

Суммы $S_r^{(N_0)}$ квадратов коэффициентов ДКП и их интегральные оценки S_r

R	S_r	Длина исходного сигнала, 256	Длина расширенного нулями сигнала		
			512	1024	2048
		$S_r^{(256)}$	$S_r^{(512)}$	$S_r^{(1024)}$	$S_r^{(2048)}$
1	1,8899	1,7721	1,8772	1,8844	1,8873
2	125,05	126,2	124,91	124,99	125,02
3	2,3123	1,5926	2,4645	2,3737	2,3395
4	0,1942	0,0609	0,1961	0,1949	0,1945
5	0,0797	0,0129	0,08	0,0798	0,0797
6	0,0489	0,0036	0,049	0,0489	0,0489
7	0,0371	0,0009	0,0372	0,0371	0,0371
8	0,0327	0,0001	0,0328	0,0328	0,0327
сумма	129,64	129,64	129,64	129,64	129,64
δ_1		0,0109	0,0016	0,0006	0,0002

Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что расширение сигнала нулями до длины 2048 отсчетов позволяет получить суммы $S_r^{(2048)}$ квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих частотным интервалам U_r, $r=1,2,...,8$, с незначительным среднеквадратическим отклонением от их интегральной оценки. Сумма интегральных оценок S_r, $r=1,2,...,8$, во всех частотных интервалах совпадает с энергией сигнала, вычисленной как сумма квадратов значений его отсчетов.

Интегральная оценка двумерного дискретного косинусного преобразования

Рассмотрим двумерное дискретное косинус-преобразование изображения в цифровом виде (произвольного дискретного двумерного сигнала), задаваемого матрицей $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1,2,...,N_1$, $k = 1,2,...,N_2$, элементы которой соответствуют яркости отдельных пикселей изображения. Коэффициенты двумерного ДКП обычно определяется выражением:

$$y_{n_1 n_2} = \alpha_{n_1}\alpha_{n_2}\sum_{i=1}^{N_1}\sum_{k=1}^{N_2} f_{ik}\cos(\frac{\pi n_1}{N_2}(i-\frac{1}{2}))\cos(\frac{\pi n_2}{N_2}(k-\frac{1}{2})),$$

$$n_1 = 0,1,...,N_1-1,\ n_2 = 0,1,...,N_2-1,$$

$$\alpha_{n_1} = \begin{cases} 1/\sqrt{N_1}, n_1 = 0, \\ \sqrt{2/N_1}, n_1 = 1,2,...,N_1-1, \end{cases}$$

$$\alpha_{n_2} = \begin{cases} 1/\sqrt{N_2}, n_2 = 0, \\ \sqrt{2/N_2}, n_2 = 1,2,...,N_2-1. \end{cases}$$

Рассмотрим область нормированных частот D_π^2,

$$D_\pi^2 = \{(u,v) \mid 0 \le u,v < \pi\}.$$

Представим указанную частотную область D_π^2 в виде объединения R_1R_2 равновеликих частотных интервалов $\Delta_{r_1r_2}$, $r_1 = 1,2,...,R_1$, $r_2 = 1,2,...,R_2$,

$$\Delta_{r_1r_2} = \{(u,v) \mid \ u_1^{r_1} \le u < u_2^{r_1},\ v_1^{r_2} \le v < v_2^{r_2}\}, \quad (10)$$

$$u_1^{r_1} = (r_1-1)\frac{\pi}{R_1},\quad u_2^{r_1} = r_1\frac{\pi}{R_1},\ r_1 = 1,2,...,R_1,$$

$$v_1^{r_2} = (r_2-1)\frac{\pi}{R_2},\quad v_2^{r_2} = r_2\frac{\pi}{R_2},\ r_2 = 1,2,...,R_2.$$

Представляет интерес получение и анализ интегральной оценки $S_{r_1r_2}$ квадратов коэффициентов двумерного дискретного косинусного преобразования в частотном интервале $\Delta_{r_1r_2}$ в следующем виде

$$S_{r_1r_2} = \iint\limits_{(u,v)\in\Delta_{r_1r_2}} F^2(u,v)dudv, \quad (11)$$

где $F(u,v)$ – двумерное косинусное преобразование, определенное в области нормированных частот D_π^2,

$$F(u,v) = \frac{2}{\pi}\sum_{i=1}^{N_1}\sum_{k=1}^{N_2} f_{ik}\cos(u(i-\frac{1}{2}))\cos(v(k-\frac{1}{2})). \quad (12)$$

Выражение (11) с учетом представления (12) будет иметь вид

$$S_{r_1r_2} = \sum_{i_1=1}^{N_1}\sum_{k_1=1}^{N_2}\sum_{i_2=1}^{N_1}\sum_{k_2=1}^{N_2} f_{i_1k_1}f_{i_2k_2}I_{\Delta_{r_1r_2}},$$

где

$$I_{\Delta_{r_1r_2}} = \iint\limits_{(u,v)\in\Delta_{r_1r_2}} \frac{4}{\pi^2}\cos(u(i_1-\frac{1}{2}))\cos(v(k_1-\frac{1}{2}))\cdot$$

$$\cdot\cos(u(i_2-\frac{1}{2}))\cos(v(k_2-\frac{1}{2}))dudv. \quad (13)$$

Интеграл $I_{\Delta_{r_1r_2}}$ (13), учитывая вид частотной области $\Delta_{r_1r_2}$ (10), можно вычислить следующим образом:

$$I_{\Delta_{r_1r_2}} = g_{i_1i_2}^{r1}g_{k_1k_2}^{r2},$$

где

$$g_{i_1i_2}^{r1} = a_{i_1i_2}^{r1} + h_{i_1i_2}^{r1}, \quad (14)$$

$$g_{k_1k_2}^{r2} = a_{k_1k_2}^{r2} + h_{k_1k_2}^{r2}, \quad (15)$$

$$a_{i_1i_2}^{r1} = \begin{cases} \dfrac{\sin(\sigma_1r_1(i_1-i_2)) - \sin(\sigma_1(r_1-1)(i_1-i_2))}{\pi(i_1-i_2)}, \\ \qquad\qquad i_1-i_2 \ne 0, \\ \dfrac{\sigma_1}{\pi},\ i_1-i_2 = 0, \end{cases} \quad (16)$$

$$h_{i_1i_2}^{r1} = \begin{cases} \dfrac{\sin(\sigma_1r_1(i_1+i_2-1)) - \sin(\sigma_1(r_1-1)(i_1+i_2-1))}{\pi(i_1+i_2-1)}, \\ \qquad\qquad i_1+i_2-1 \ne 0, \\ \dfrac{\sigma_1}{\pi},\ i_1+i_2-1 = 0, \end{cases} \quad (17)$$

$$\sigma_1 = \frac{\pi}{R_1},$$

$$a_{k_1k_2}^{r2} = \begin{cases} \dfrac{\sin(\sigma_2r_2(k_1-k_2)) - \sin(\sigma_2(r_2-1)(k_1-k_2))}{\pi(k_1-k_2)}, \\ \qquad\qquad k_1-k_2 \ne 0, \\ \dfrac{\sigma_2}{\pi},\ k_1-k_2 = 0, \end{cases} \quad (18)$$

$$h_{k_1k_2}^{r2} = \begin{cases} \dfrac{\sin(\sigma_2r_2(k_1+k_2-1)) - \sin(\sigma_2(r_2-1)(k_1+k_2-1))}{\pi(k_1+k_2-1)}, \\ \qquad\qquad k_1+k_2-1 \ne 0, \\ \dfrac{\sigma_2}{\pi},\ k_1+k_2-1 = 0, \qquad \sigma_2 = \dfrac{\pi}{R_2}. \end{cases} \quad (19)$$

Таким образом, интегральную оценку $S_{r_1r_2}$ можно представить в следующем виде

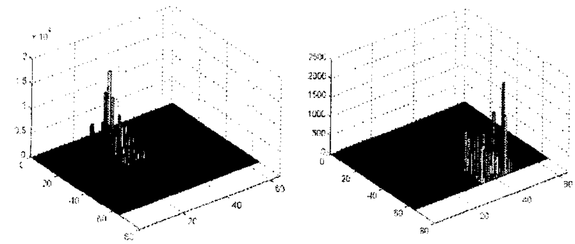
$$S_{r_1r_2} = \sum_{i_2=1}^{N_1}\left(\sum_{k_1=1}^{N_2}\left(\sum_{i_1=1}^{N_1} g_{i_1i_2}^{r1}f_{i_1k_1}\right)\left(\sum_{k_2=1}^{N_2} g_{k_1k_2}^{r2}f_{i_2k_2}\right)\right).$$

Данное соотношение позволяет получить матричную форму записи для вычисления интегральной оценки $S_{r_1r_2}$ квадратов коэффициентов двумерного дискретного косинусного преобразования в частотном интервале $\Delta_{r_1r_2}$, $r_1 = 1,2,...,R_1$, $r_2 = 1,2,...,R_2$,

$$S_{r_1r_2} = tr(G_{r_1}^T\Phi G_{r_2}\Phi^T), \quad (20)$$

где $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1,2,...,N_1$, $k = 1,2,...,N_2$, – исходное изображение, $G_{r_1} = (g_{i_1i_2}^{r1})$, $i_1,i_2 = 1,2,...,N_1$, $G_{r_2} = (g_{k_1k_2}^{r2})$, $k_1,k_2 = 1,2,...,N_2$, – G-субполосные матрицы, соответствующие заданному частотному интервалу, значения элементов которых вычисляются на основании соотношений (14)-(19), tr – след матрицы.

В качестве наглядного примера на рисунке 3 для известного изображения «Lena», размерностью 64×64 пикселей, приведены значения квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих отдельным частотным интервалам при $R_1 = R_2 = 4$.



а б

Рис. 3. Значения квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих частотному интервалу Δ_{22} (а) и Δ_{43} (б) при $R_1 = R_2 = 4$

Рассмотрим расширение исходного изображения Ф с помощью добавления нулевых строк и столбцов к матрице данного изображения до количества N_{01} и N_{02} строк и столбцов соответственно.

Обозначим, $S_{r_1r_2}^{(N_{01}N_{02})}$ – сумму квадратов коэффициентов двумерного ДКП, соответствующих заданному частотному интервалу $\Delta_{r_1r_2}$, $r_1 = 1,2,...,R_1$, $r_2 = 1,2,...,R_2$ (при размерности анализируемого изображения N_{01} x N_{02} пикселей).

Очевидно, что величина интегральной оценки $S_{r_1r_2}$ (20), $r_1 = 1,2,...,R_1$, $r_2 = 1,2,...,R_2$, обладает следующим свойством: сумма $S_{r_1r_2}^{(N_{01}N_{02})}$ квадратов коэффициентов двумерного ДКП, соответствующих частотному интервалу $\Delta_{r_1r_2}$, приближается к значению $S_{r_1r_2}$ с увеличением значений N_{01} и N_{02}.

Покажем справедливость данного свойства при $R_1 = R_2 = 4$ на примере изображения, приведенного на рисунке 4. Первоначально, размерность изображения была выбрана 256x256 пикселей.

Рис. 4. Исследуемое изображение (размерность 256x256 пикселей)

В табл. 2 в качестве примера приведены результаты вычислений значений $S_{r_1r_2}$, $r_1 = 1,2,...,R_1$, $r_2 = 1,2,...,R_2$, в частотных интервалах $\Delta_{r_1r_2}$ и соответствующих сумм $S_{r_1r_2}^{(N_{01}N_{02})}$ квадратов коэффициентов ДКП при $R_1 = R_2 = 4$. В таблице также указано среднеквадратическое отклонение δ_2 множества значений $S_{r_1r_2}^{(N_{01}N_{02})}$ относительно множества значений

$$S_{r_1r_2},\ r_1 = 1,2,...,R_1,\ r_2 = 1,2,...,R_2,$$

$$\delta_2 = \sqrt{\sum_{r_1=1}^{R_1}\sum_{r_2=1}^{R_2}(S_{r_1r_2} - S_{r_1r_2}^{(N_{01}N_{02})})^2 \Big/ \sum_{r_1=1}^{R_1}\sum_{r_2=1}^{R_2} S_{r_1r_2}^2}\ . \quad (21)$$

Таблица 2

Суммы $S_{r_1r_2}^{(N_{01}N_{02})}$ квадратов коэффициентов ДКП и их интегральные оценки $S_{r_1r_2}$

r_1	r_2	$S_{r_1r_2}$	Размерность исходного изображения, 256x256	Размерность изображения расширенного нулями		
				512x512	1024x1024	2048x2048
		(e+6)	$S_{r_1r_2}^{(256,256)}$ (e+6)	$S_{r_1r_2}^{(512,512)}$ (e+6)	$S_{r_1r_2}^{(1024,1024)}$ (e+6)	$S_{r_1r_2}^{(2048,2048)}$ (e+6)
1	1	54,66	54,767	54,609	54,638	54,652
1	2	3,325	3,259	3,3207	3,3234	3,3247
1	3	1,844	1,8198	1,8439	1,8441	1,8442
1	4	1,389	1,3666	1,3897	1,3895	1,3894
2	1	6,429	6,4305	6,4377	6,4329	6,4309
2	2	2,357	2,3593	2,3667	2,3623	2,36
2	3	1,499	1,5115	1,5018	1,5005	1,4998
2	4	1,277	1,2756	1,2813	1,2793	1,2783
3	1	2,810	2,8006	2,8134	2,812	2,8113
3	2	1,858	1,8617	1,8593	1,859	1,8589
3	3	1,403	1,3958	1,4048	1,404	1,4036
3	4	1,274	1,281	1,2813	1,2779	1,2762
4	1	2,273	2,2647	2,2753	2,2744	2,274
4	2	1,657	1,6749	1,667	1,6621	1,6599
4	3	1,404	1,3975	1,4098	1,4075	1,4062
4	4	1,298	1,3039	1,3077	1,303	1,3007
сумма		86,77	86,77	86,77	86,77	86,77
δ_2			0.00233	0.001	0.0005	0.0003

Результаты, приведенные в табл. 2, показывают, что расширение изображения нулями до размерности 2048x2048 пикселей позволяет получить суммы $S_{r_1r_2}^{(2048,2048)}$ квадратов коэффициентов двумерного ДКП, соответствующих частотным интервалам $\Delta_{r_1r_2}$, $r_1 = 1,2,3,4$, $r_2 = 1,2,3,4$, с незначительным среднеквадратическим отклонением от их интегральной оценки. Сумма интегральных оценок $S_{r_1r_2}$, $r_1 = 1,2,3,4$, $r_2 = 1,2,3,4$, во всех частотных интервалах совпадает с энергией изображения, вычисленной как сумма квадратов значений яркости его пикселей [6].

Результаты, приведенные в табл. 2, показывают, что расширение изображения нулями до размерности 2048×2048 пикселей позволяет получить суммы

$S^{(2048,2048)}_{r_1 r_2}$ квадратов коэффициентов двумерного ДКП, соответствующих частотным интервалам $\Delta_{r_1 r_2}$, $r_1 = 1,2,3,4$, $r_2 = 1,2,3,4$, с незначительным среднеквадратическим отклонением от их интегральной оценки. Сумма интегральных оценок $S_{r_1 r_2}$, $r_1 = 1,2,3,4$, $r_2 = 1,2,3,4$, во всех частотных интервалах совпадает с энергией изображения, вычисленной как сумма квадратов значений яркости его пикселей [6].

Очевидно, что расширение нулями одномерного сигнала или изображения позволяет получить интерполяцию косинусного преобразования на основе большего количества коэффициентов ДКП.
Следовательно, предложенные в работе интегральные оценки коэффициентов ДКП могут быть использованы для вычисления аппроксимации значений суммы квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих заданным частотным интервалам, что может быть использовано при разработке эффективных методов сжатия речевых сигналов и изображений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00257-а.

Список литературы

1. Сергеенко В.С. Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах: Учеб. пособие / В.С. Сергеенко, В.В. Баринов. - М.: ИП "РадиоСофт", 2009. - 360 с.

2. Ватолин Д. С. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. С. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.

3. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.

4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.

5. Жиляков Е.Г. Методы анализа и построения функций по эмпирическим данным на основе частотных представлений / Е.Г. Жиляков. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.

6. Жиляков Е.Г. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах / Е.Г. Жиляков, А.А. Черноморец, И.В. Лысенко // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. РЛТ. – 2007. – Вып. 4. – С. 115-123.

Поступила в редколегію 25.03.2013

Рецензент: д.-р. техн. наук, проф. Маторин С.И., национальный исследовательский университет «Белгородский государственный университет», Белгород.

ОБ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.А. Черноморец, Е.В. Болгова

В работе предложены интегральные оценки коэффициентов дискретного косинусного преобразования, которые могут быть использованы для вычисления аппроксимации значений суммы квадратов коэффициентов ДКП, соответствующих заданным частотным интервалам. Указанные оценки могут быть использованы при разработке эффективных методов сжатия речевых сигналов и изображений.

***Ключевые слова:** дискретное косинусное преобразование, сигнал, изображение, интегральная оценка, среднеквадратическое отклонение*

ABOUT INTEGRAL ESTIMATES OF DCT COEFFICIENTS OF SIGNALS AND IMAGES

Chernomorets A.A., Bolgova E.V.

In this work integral estimates of DCT coefficients are proposed. They can be used for an approximate computation of the sum of squares of DCT coefficients which correspond to given frequency intervals. The estimates can be used also for the development of efficient methods of compression of voice signals and images.

***Keywords:** DCT, signal, image, integral estimate, standard deviation*