

ПРИМЕНЕНИЕ СУБПОЛОСНЫХ МАТРИЦ КОСИНУС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ НА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Е. В. ПЕТРОВА, Д. В. ПЕТРОВ, А. А. ЧЕРНОМОРЕЦ

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, Белгород, Россия
E-mail: petrov@bsu.edu.ru*

Изложен подход к решению задачи повышения визуального качества контуров объектов на изображениях земной поверхности, основанный на применении субполосных матриц косинус-преобразования. В частности, предлагается метод выбора субполосных компонентов изображения, соответствующих контурам объектов. Приводятся результаты вычислительных экспериментов по применению предложенного метода для обработки нескольких изображений.

Ключевые слова: *выделение контуров, обработка изображений, субполосные матрицы, частотный анализ, косинус-преобразование*

Введение. В современном мире автоматизация процессов анализа изображений земной поверхности является актуальной задачей. Так, одно из важных направлений в этой области — повышение визуального качества контуров на аэрокосмических снимках, т.е. на изображениях земной поверхности, полученных в результате аэрофотосъемки или съемки с искусственных спутников Земли. Решение этой задачи является не только основой для других задач, таких как построение контурных карт (векторизации цифровых изображений земной поверхности), но и одним из этапов задачи кластеризации объектов на изображениях земной поверхности.

В настоящей статье рассматривается один из возможных подходов к решению задачи автоматизации процесса повышения визуального качества контуров на изображениях земной поверхности, базирующийся на анализе изображений в частотной области с использованием математического аппарата субполосных матриц на основе косинус-преобразования.

Применение субполосных матриц для анализа изображений. Существуют различные способы представления изображения в частотной области. Например, методы на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП), дискретного преобразования Фурье (ДПФ), вейвлет-преобразования и др. [1—3]. Подобные преобразования могут применяться либо к отдельным частям изображения, либо к изображению в целом. Теоретические основы применения субполосных матриц косинус-преобразования и преобразования Фурье для анализа изображений в частотной области рассматриваются в работах [4—6]. В данной статье выбор сделан в пользу косинус-преобразования вследствие того, что областью его определения является частотная область $[0, \pi)$, тогда как широко используемое экспоненциальное преобразование Фурье определено на большей по размеру области $[0, 2\pi)$. Таким образом, косинус-преобразование обеспечивает высокую концентрацию энергии исследуемого отрезка данных в узкой частотной подобласти, что позволяет анализировать значения энергии в меньшей области нормированных частот, чем при преобразовании Фурье. Кроме того, косинус-преобразование позволяет работать только с вещественными числами, а не с комплексными, как преобразование Фурье, что упрощает проведение расчетов.

Рассмотрим основные аспекты анализа изображений с помощью субполосных матриц косинус-преобразования. Изображения определяются как матрицы некоторой размерности,

например $\Phi = \{f_{ij}\}$, где f_{ij} , $i = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, M$, — значения яркости изображения в соответствующих пикселях. Субполосный анализ в рамках косинус-преобразования основан на следующем частотном представлении элементов изображения Φ :

$$f_{ij} = \frac{4}{\pi^2} \int_0^\pi \int_0^\pi F^\Phi(u, v) \cos\left(u\left(i - \frac{1}{2}\right)\right) \cos\left(v\left(j - \frac{1}{2}\right)\right) dudv, \quad (1)$$

где $F^\Phi(u, v)$ — результат косинус-преобразования изображения Φ :

$$F^\Phi(u, v) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{ij} \cos\left(u\left(i - \frac{1}{2}\right)\right) \cos\left(v\left(j - \frac{1}{2}\right)\right); \quad (2)$$

u, v — пространственные частоты, принимающие значения в диапазоне $0 \leq u, v < \pi$ (область определения двумерного косинус-преобразования).

На рис. 1 приведен пример разбиения области определения косинус-преобразования (а) на подобласти пространственных частот (б).

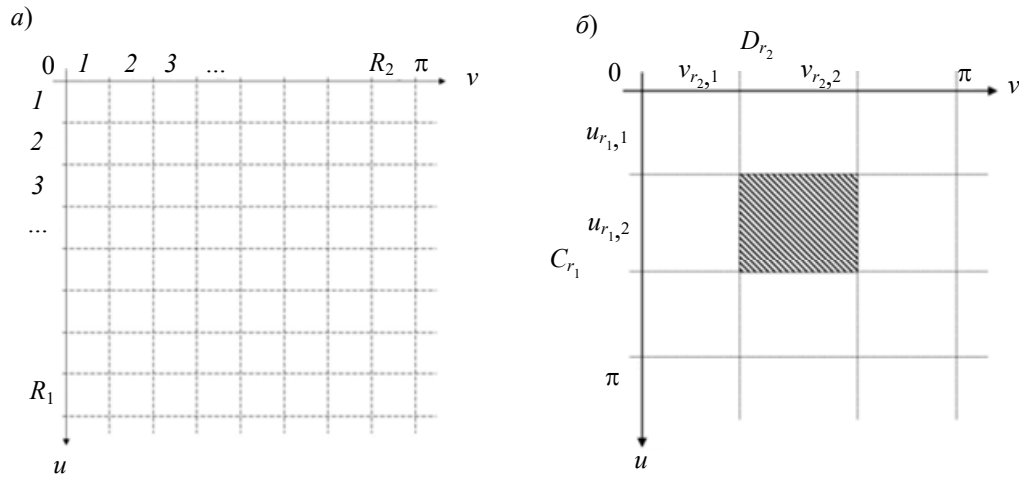


Рис. 1

Пусть $V_{r_1 r_2}$ — подобласть пространственных частот (ПЧ), получаемая при разбиении области определения косинус-преобразования на $R_1 \times R_2$ прямоугольных непересекающихся подобластей (см. рис. 1, а) и определяемая как

$$V_{r_1 r_2} = \left\{ (u, v) \mid 0 \leq u_{r_1,1} \leq u \leq u_{r_1,2} < \pi, 0 \leq v_{r_2,1} \leq v < v_{r_2,2} < \pi \right\}, \quad (3)$$

$$r_1 = 1, 2, \dots, R_1, \quad r_2 = 1, 2, \dots, R_2.$$

Подобласть ПЧ $V_{r_1 r_2}$ есть результат пересечения двух субполос пространственных частот C_{r_1} и D_{r_2} (см. рис. 1, б):

$$V_{r_1 r_2} = C_{r_1} \cap D_{r_2}. \quad (4)$$

Субполосе ПЧ C_{r_1} вида

$$C_{r_1} = \left\{ u \mid 0 \leq u_{r_1,1} \leq u \leq u_{r_1,2} < \pi \right\} \quad (5)$$

соответствует субполосная матрица косинус-преобразования $G_{r_1} = (g_{in}^{r_1})$, $i, n = 1, 2, \dots, N$, элементы которой определяются на основе следующих соотношений:

$$g_{in}^{r_1} = a_{in}^{r_1} + \tilde{g}_{in}^{r_1}; \quad (6)$$

$$a_{in}^{r_1} = \begin{cases} \frac{\sin(u_{r_1,2}(i-n)) - \sin(u_{r_1,1}(i-n))}{\pi(i-n)}, & i \neq n; \\ \frac{u_{r_1,2} - u_{r_1,1}}{\pi}, & i = n; \end{cases} \quad (7)$$

$$\tilde{g}_{in}^{r_1} = \frac{\sin(u_{r_1,2}(i+n-1)) - \sin(u_{r_1,1}(i+n-1))}{\pi(i+n-1)}. \quad (8)$$

Соответствующие субполосе D_{r_2} вида

$$D_{r_2} = \{v \mid 0 \leq v_{r_2,1} \leq v \leq v_{r_2,2} < \pi\} \quad (9)$$

элементы субполосной матрицы H_{r_2} определяются аналогично выражениям (6)—(8).

Субполосные матрицы косинус-преобразования G_{r_1} и H_{r_2} являются вещественными симметричными матрицами.

Применение математического аппарата субполосных матриц на основе косинус-преобразования позволяет производить различные преобразования над изображениями и другими сигналами. Например, как изложено в работах [7, 8], с их помощью можно производить фильтрацию шумов или выделение контуров.

При реализации операций по фильтрации шумов и выделению контуров объектов на изображении применяются так называемые субполосные компоненты изображения.

Под субполосным компонентом понимается компонент $Y_{r_1 r_2}$ изображения Φ , соответствующий заданной подобласти ПЧ $V_{r_1 r_2}$, определяемый следующим соотношением:

$$Y_{r_1 r_2} = G_{r_1} \Phi H_{r_2}. \quad (10)$$

При субполосном анализе в рамках заданного преобразования результат выделения или фильтрации различных подмножеств субполосных компонентов $Y_{r_1 r_2}$ изображения Φ применяется для исследования различных свойств исходного изображения [9—11].

Применение субполосных матриц для решения задачи повышения визуального качества контуров на изображениях земной поверхности. Основной проблемой применения субполосного анализа к решению поставленной задачи является выбор подмножества субполосных компонентов $Y_{r_1 r_2}$, соответствующих контурам объектов на изображении. Выбор соответствующих субполосных компонентов предлагается осуществлять путем оценивания долей энергии косинус-преобразования изображения, соответствующих подобластям ПЧ $V_{r_1 r_2}$. Метод вычисления долей энергии $P_{r_1 r_2}$ на основе математического аппарата субполосных матриц косинус-преобразования состоит в следующем.

Пусть изображение представлено в виде матрицы яркости его пикселей $\Phi = (f_{jk})$, $j = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$. Тогда доля энергии $P_{r_1 r_2}$ косинус-преобразования изображения, соответствующая подобласти ПЧ $V_{r_1 r_2}$ вида (3), рассчитывается на основе следующего соотношения:

$$P_{r_1 r_2}(\Phi) = \frac{E_{r_1 r_2}(\Phi)}{E(\Phi)} = \frac{\text{tr}(G_{r_1} \Phi H_{r_2} \Phi^T)}{\text{tr}(\Phi \Phi^T)}, \quad (11)$$

где $E(\Phi) = \Phi^2 = \text{tr}(\Phi \Phi^T)$; tr — операция вычисления следа матрицы; G_{r_1} и H_{r_2} — субполосные матрицы косинус-преобразования, соответствующие подобласти ПЧ $V_{r_1 r_2}$.

Метод выбора субполосных компонентов изображения, соответствующих контурам объектов, состоит в следующем.

Рассмотрим множество $S = \{s_i\}$, $i = 1, 2, \dots, R$ (где $R = R_1 R_2$), упорядоченных по убыванию величины долей $P_{r_1 r_2}$ энергии изображения, соответствующих подобластям ПЧ $V_{r_1 r_2}$:

$$s_i = P_{r_1 r_2}(\Phi), \quad i = (r_1 - 1)R_1 + r_2, \\ s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_R.$$

Пусть m — число в диапазоне от 0 до 1, $m \in [0, 1]$.

Необходимо найти такое подмножество $X = \{x_i\}$, $i = 1, 2, \dots, K$ (где $K \leq R$), следующих подряд (начиная с первого) элементов множества S , что сумма энергии, сосредоточенной в подобластях ПЧ, соответствующих этому подмножеству, будет не меньше чем $m \cdot 100\%$ от энергии изображения.

Покажем, что различным подмножествам X множества S , соответствующих различным диапазонам

$$D_{ij} = [m_i, m_j], \quad i \in [1, Q], \quad j \in [1, Q], \quad m_i \in [0, 1], \quad (12)$$

значений долей энергии изображения, соответствуют субполосные компоненты, отражающие различные свойства исходного изображения.

Сформируем следующие субполосные компоненты $Y_{(m_1, m_2)}$ изображения Φ :

$$Y_{(m_1, m_2)} = \sum_{k=i_1}^{i_2} Y_k, \quad (13)$$

где Y_k — субполосные компоненты вида (10), соответствующие подобластям ПЧ, которые задают значения долей энергии s_i множества S ; индексы i_1 и i_2 определяются как наименьшие значения, при которых выполняются следующие условия:

$$\sum_{j=1}^{i_1} s_j \geq m_1 \sum_{j=1}^R s_j; \quad \sum_{j=1}^{i_2} s_j \geq m_2 \sum_{j=1}^R s_j. \quad (14)$$

Вычислительные эксперименты. Продемонстрируем некоторые свойства субполосных компонентов вида (13) на примерах изображений земной поверхности.

Рассмотрим изображения Φ_1 и Φ_2 (рис. 2, а, б соответственно).

а)



б)

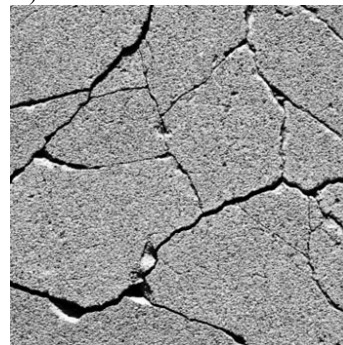


Рис. 2

Разобьем область определения косинус-преобразования на 8×8 подобластей $V_{r_1 r_2}$, $r_1 r_2 = 1, 2, \dots, 8$, вида (4). Вычислим доли энергии $P_{r_1 r_2}$ для всех подобластей ПЧ $V_{r_1 r_2}$ на основе выражения (11) — результаты вычисления для изображения, приведенного на рис. 2, а, представлены в табл. 1, для изображения, приведенного на рис. 2, б, — в табл. 2.

Таблица 1

r_2	P_i , при r_1							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$9,81 \cdot 10^{-1}$	$3,91 \cdot 10^{-3}$	$1,66 \cdot 10^{-3}$	$7,00 \cdot 10^{-4}$	$3,32 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$5,97 \cdot 10^{-5}$	$3,52 \cdot 10^{-5}$
2	$4,26 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$4,93 \cdot 10^{-4}$	$2,83 \cdot 10^{-4}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$	$3,62 \cdot 10^{-5}$	$1,35 \cdot 10^{-5}$	$5,80 \cdot 10^{-6}$
3	$1,83 \cdot 10^{-3}$	$6,04 \cdot 10^{-4}$	$3,69 \cdot 10^{-4}$	$2,42 \cdot 10^{-4}$	$9,25 \cdot 10^{-5}$	$2,94 \cdot 10^{-5}$	$1,26 \cdot 10^{-5}$	$4,30 \cdot 10^{-6}$
4	$6,73 \cdot 10^{-4}$	$3,85 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$6,09 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$	$7,60 \cdot 10^{-6}$	$2,80 \cdot 10^{-6}$
5	$2,90 \cdot 10^{-4}$	$1,72 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$6,83 \cdot 10^{-5}$	$2,86 \cdot 10^{-5}$	$9,16 \cdot 10^{-6}$	$3,95 \cdot 10^{-6}$	$1,63 \cdot 10^{-6}$
6	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$4,94 \cdot 10^{-5}$	$4,86 \cdot 10^{-5}$	$2,22 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$	$3,52 \cdot 10^{-6}$	$1,92 \cdot 10^{-6}$	$8,55 \cdot 10^{-7}$
7	$6,88 \cdot 10^{-5}$	$1,94 \cdot 10^{-5}$	$1,94 \cdot 10^{-5}$	$8,41 \cdot 10^{-6}$	$4,40 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-6}$	$5,51 \cdot 10^{-7}$
8	$4,20 \cdot 10^{-5}$	$7,95 \cdot 10^{-6}$	$6,52 \cdot 10^{-6}$	$3,57 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^{-6}$	$8,25 \cdot 10^{-7}$	$5,09 \cdot 10^{-7}$	$3,84 \cdot 10^{-7}$

Таблица 2

r_2	P_i , при r_1							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$9,29 \cdot 10^{-1}$	$5,97 \cdot 10^{-3}$	$2,31 \cdot 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-3}$	$7,27 \cdot 10^{-4}$	$4,09 \cdot 10^{-4}$	$2,19 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$
2	$1,20 \cdot 10^{-2}$	$5,33 \cdot 10^{-3}$	$2,15 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$	$6,79 \cdot 10^{-4}$	$3,44 \cdot 10^{-4}$	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$9,18 \cdot 10^{-5}$
3	$5,03 \cdot 10^{-3}$	$3,29 \cdot 10^{-3}$	$2,21 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$7,37 \cdot 10^{-4}$	$3,65 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-4}$	$8,65 \cdot 10^{-5}$
4	$3,03 \cdot 10^{-3}$	$2,62 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$1,31 \cdot 10^{-3}$	$6,83 \cdot 10^{-4}$	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$1,41 \cdot 10^{-4}$	$6,37 \cdot 10^{-5}$
5	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-3}$	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$9,17 \cdot 10^{-4}$	$5,27 \cdot 10^{-4}$	$2,28 \cdot 10^{-4}$	$9,27 \cdot 10^{-5}$	$5,03 \cdot 10^{-5}$
6	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$	$8,24 \cdot 10^{-4}$	$5,88 \cdot 10^{-4}$	$2,98 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$6,23 \cdot 10^{-5}$	$3,36 \cdot 10^{-5}$
7	$6,30 \cdot 10^{-4}$	$5,73 \cdot 10^{-4}$	$4,52 \cdot 10^{-4}$	$3,18 \cdot 10^{-4}$	$1,83 \cdot 10^{-4}$	$8,66 \cdot 10^{-5}$	$4,02 \cdot 10^{-5}$	$2,45 \cdot 10^{-5}$
8	$3,56 \cdot 10^{-4}$	$3,04 \cdot 10^{-4}$	$2,75 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$5,84 \cdot 10^{-5}$	$3,23 \cdot 10^{-5}$	$1,89 \cdot 10^{-5}$

Для наглядного представления приведенных в табл. 1, 2 данных на рис. 3, а, б, построены соответствующие трехмерные диаграммы (для повышения наглядности значение доли энергии, соответствующей подобласти V_{11} , не отображено).

а)

б)

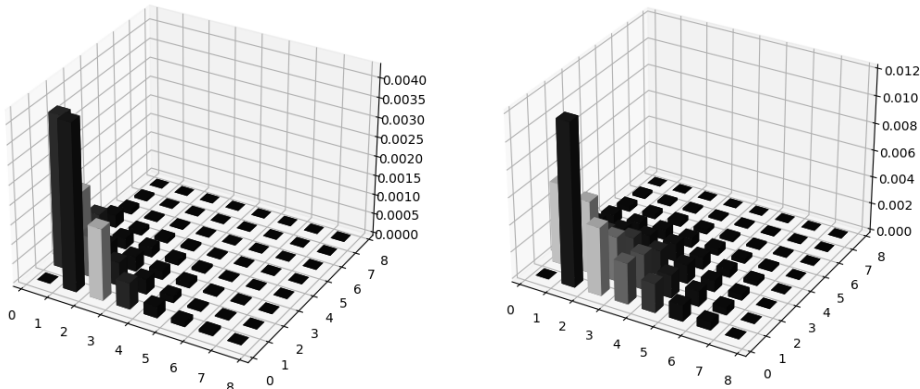


Рис. 3

Упорядочим полученные для изображений Φ_1 и Φ_2 значения долей энергии вида (11) по убыванию: рис. 4, а, б (для повышения наглядности значение доли энергии, соответствующей подобласти V_{11} , не отображено на графиках).

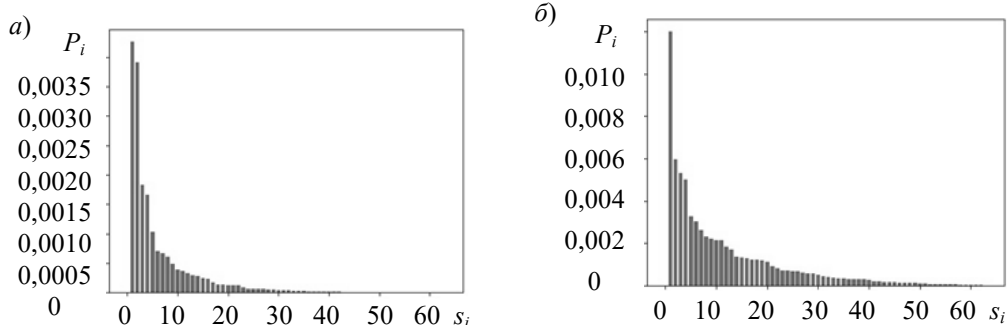


Рис. 4

Можно показать, что диапазонам долей энергии вида (12) изображения Φ_1 —

$$D_{11} = (0; 0,985), D_{12} = (0,985; 0,995), D_{13} = (0,995; 0,9995), \\ D_{14} = (0,9995; 0,9998), D_{15} = (0,9998; 1)$$

и изображения Φ_2 —

$$D_{21} = (0; 0,935), D_{22} = (0,935; 0,965), D_{23} = (0,965; 0,985), \\ D_{24} = (0,985; 0,9995), D_{25} = (0,9995; 1)$$

соответствуют подмножества X_{ij} , $i = 1, 2$; $j = 1, 2, \dots, 5$, подобластей ПЧ, обозначенные на рис. 5, а, б соответствующими индексами.

<p>а)</p> <pre>[[11 12 12 12 13 13 14 15] [12 12 13 13 13 14 14 15] [12 13 13 13 13 14 14 15] [13 13 13 13 14 14 15 15] [13 13 13 14 14 15 15 15] [13 14 14 14 15 15 15 15] [13 14 14 15 15 15 15 15] [15 15 15 15 15 15 15 15]]</pre>	<p>б)</p> <pre>[[21 22 23 24 24 24 24 25] [22 22 23 24 24 24 24 25] [22 22 23 23 24 24 24 25] [23 23 23 23 24 24 25 25] [23 23 23 24 24 24 25 25] [24 24 24 24 24 25 25 25] [24 24 24 24 24 25 25 25] [25 25 25 25 25 25 25 25]]</pre>
---	---

Рис. 5

На рис. 6 приведены субполосные компоненты изображения Φ_1 (см. (13)), соответствующие подмножествам X_{1j} , $j = 1, 2, \dots, 5$, подобластей пространственных частот, при этом предварительно была проведена их пороговая обработка и инвертирование; здесь а — диапазон D_{11} , б — диапазон D_{12} , в — диапазон D_{13} , г — диапазон D_{14} , д — диапазон D_{15} , е — исходное изображение.

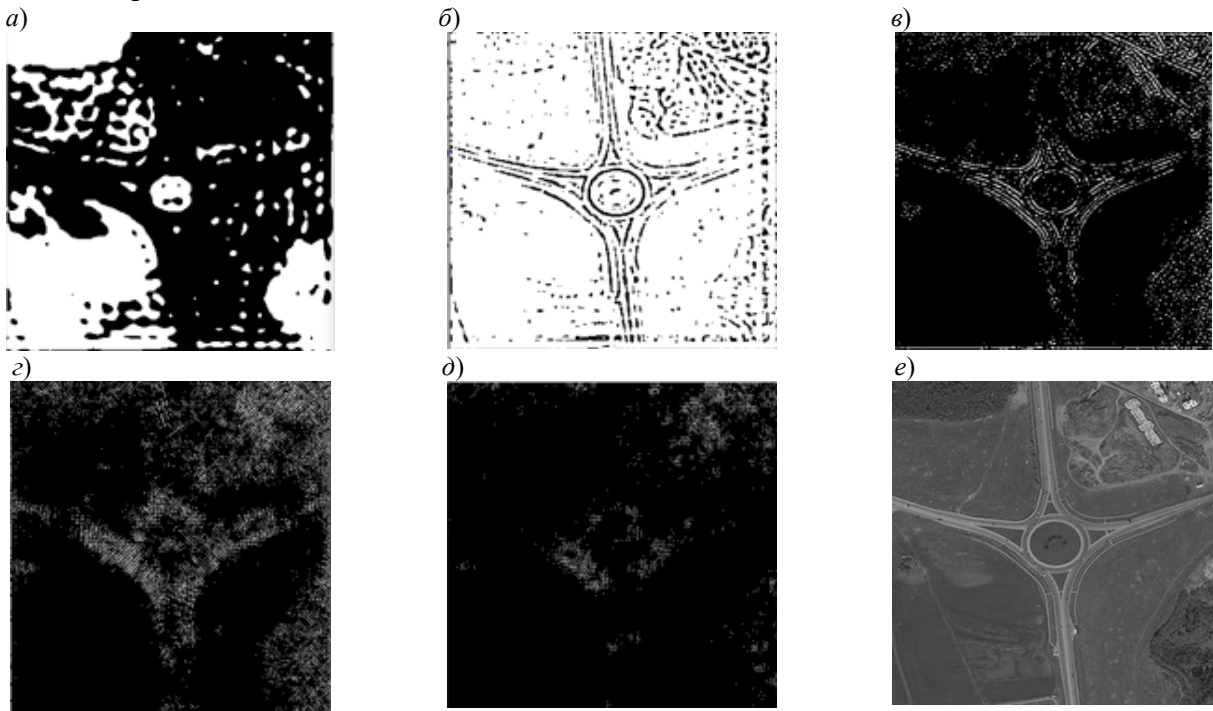


Рис. 6

На рис. 7 приведены субполосные компоненты изображения Φ_2 (см. (13)), соответствующие подмножествам X_{2j} , $j = 1, 2, \dots, 5$, подобластей пространственных частот, при этом также предварительно была проведена их пороговая обработка и инвертирование; здесь а — диапазон D_{21} , б — диапазон D_{22} , в — диапазон D_{23} , г — диапазон D_{24} , д — диапазон D_{25} , е — исходное изображение.

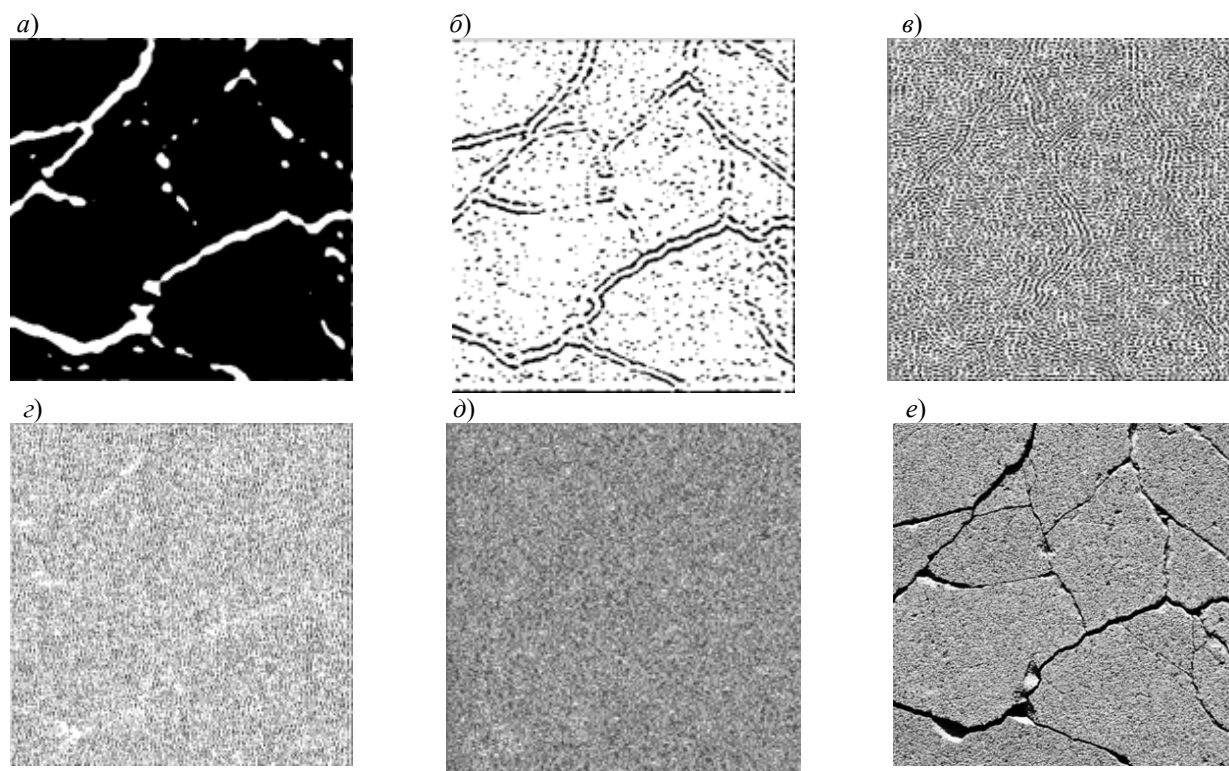


Рис. 7

Результаты, представленные на рис. 6 и 7, показывают, что субполосные компоненты, соответствующие подмножествам X_{11} и X_{21} подобластей пространственных частот для диапазонов $D_{12} = (0,985; 0,995)$ и $D_{22} = (0,935; 0,965)$, соответствуют контурам объектов исходных изображений Φ_1 и Φ_2 . Поэтому данные диапазоны можно использовать для решения задачи повышения визуального качества контуров на изображениях земной поверхности.

Заключение. Проведенное исследование показывает, что субполосные матрицы косинус-преобразования могут быть использованы для решения задачи автоматизации процесса повышения визуального качества контуров объектов на изображениях земной поверхности. В дальнейшем предполагается провести исследования по применению морфологических операций замыкания и размыкания как последующего этапа процесса повышения визуального качества контуров на изображениях с целью удаления слабо выделенных контуров и усиления остальных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганин А. Н., Гущина О. Н., Хрящев В. В. Анализ применения адаптивного дискретного косинусного преобразования в некоторых задачах цифровой обработки изображений // Успехи современной радиоэлектроники. 2011. № 2. С. 72—80.
2. Пьянкова Т. П., Яшина М. В. Исследование свойств двумерных дискретных преобразований в компьютерном зрении // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. № 1. С. 96—102.
3. Ракицкий В. А. Дискретное косинус-преобразование как средство компьютерной обработки информации // Проблемы информатизации и управления. 2019. Т. 2, № 62. С. 52—56.
4. Желяков Е. Г., Черноморец А. А. Об оптимальном выделении субполосных компонент изображений // Информационные системы и технологии. 2013. №1 (75). С. 5—11.
5. Желяков Е. Г., Черноморец А. А., Болгова Е. В. О разложении изображений по собственным векторам субполосных матриц // Научные ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. Экономика. Информатика. 2014. № 15 (186). С. 185—189.

6. Жилияков Е. Г., Черноморец А. А., Белов А. С., Болгова Е. В. О субполосных свойствах изображений // Научные ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. Экономика. Информатика. 2013. № 7 (150). С. 175—182.
7. Болгова Е. В. О собственных числах субинтервальных матриц косинусного преобразования // Научные ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. Экономика. Информатика. 2017. № 2 (251). С. 92—101.
8. Болгова Е. В. Свойства субинтервальных матриц двумерного косинусного преобразования // Информационные системы и технологии. 2017. № 6 (104). С. 19—28.
9. Черноморец А. А., Болгова Е. В., Петина М. А., Коваленко А. Н., Петрова Е. В. Построение субполосных компонент изображений в рамках косинус-преобразования // Сб. избранных статей по материалам науч. конф. ГНИИ „Нацразвитие“. 2019. С. 261—267.
10. Черноморец А. А., Болгова Е. В., Черноморец Д. А. О квазисубполосных матрицах косинус-преобразования // Научный результат. Информационные технологии. 2019. Т. 4, № 3. С. 11—19.
11. Черноморец Д. А., Болгова Е. В., Черноморец А. А., Барсук А. А. Представление изображений на основе базиса собственных векторов субполосных матриц косинус-преобразования // Научный результат. Информационные технологии. 2019. Т. 4, № 1. С. 3—8.

Сведения об авторах

- Елена Вадимовна Петрова** — аспирант; Белгородский государственный национальный исследовательский университет, кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий; E-mail: sergeeva_ev@bsu.edu.ru
- Денис Васильевич Петров** — канд. техн. наук; Белгородский государственный национальный исследовательский университет, кафедра математического и программного обеспечения информационных систем; E-mail: petrov@bsu.edu.ru
- Андрей Алексеевич Черноморец** — д-р техн. наук, доцент; Белгородский государственный национальный исследовательский университет, кафедра прикладной информатики и информационных технологий; E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

Поступила в редакцию
25.03. 2021 г.

Ссылка для цитирования: Петрова Е. В., Петров Д. В., Черноморец А. А. Применение субполосных матриц косинус-преобразования для повышения визуального качества контуров объектов на аэрокосмических снимках // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 7. С. 542—550.

USING SUBBAND COSINE TRANSFORM MATRICES TO IMPROVE THE VISUAL QUALITY OF OBJECTS CONTOURS IN AEROSPACE IMAGES

E. V. Petrova, D. V. Petrov, A. A. Chernomorets

*Belgorod National Research University, 308015, Belgorod, Russia
E-mail: petrov@bsu.edu.ru*

An approach to solving the problem of improving the visual quality of objects contours in the earth's surface images is presented. The described approach is based on the use of subband cosine transform matrices. A method is proposed for selecting subband image components corresponding to the object contours. In computational experiments, the described method is applied to several images processing. Results of the experiments are presented.

Keywords: edge extraction, image processing, subband matrices, frequency analysis, cosine transform

REFERENCES

1. Ganin A.N., Gushchina O.N., Khryashchev V.V. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2011, no. 2, pp. 72–80. (in Russ.)
2. Pyankova T.P., Yashina M.V. *Telekommunikatsii i informatsionnyye tekhnologii*, 2019, no. 1, pp. 96–102. (in Russ.)
3. Rakitsky V.A. *Informatization and management problems*, 2019, no. 62(2), pp. 52–56. (in Russ.)
4. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. *Information Systems and Technologies*, 2013, no. 1(75), pp. 5–11. (in Russ.)
5. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. *Belgorod State University Scientific Bulletin*.

- Economics. Information Technologies*, 2014, no. 15(186), pp. 185–189. (in Russ.)
6. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Belov A.S., Bolgova E.V. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information Technologies*, 2013, no. 7(150), pp. 175–182. (in Russ.)
 7. Bolgova E.V. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information Technologies*, 2017, no. 2(251), pp. 92–101. (in Russ.)
 8. Bolgova E.V. *Information Systems and Technologies*, 2017, no. 6(104), pp. 19–28. (in Russ.)
 9. Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Petina M.A., Kovalenko A.N., Petrova E.V. *Natsrazvitiye (National Development)*, Materials of the Conf. of the State Scientific Research Institute "National Development", 2019, pp. 261–267. (in Russ.)
 10. Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Chernomorets D.A. *Scientific Result. Information Technology*, 2019, no. 3(4), pp. 11–19. (in Russ.)
 11. Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Barsuk A.A. *Scientific Result. Information Technology*, 2019, no. 1(4), pp. 3–8. (in Russ.)

Data on authors

- Elena V. Petrova** — Post-Graduate Student; Belgorod National Research University, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies; E-mail: sergeeva_ev@bsu.edu.ru
- Denis V. Petrov** — PhD, Associate Professor; Belgorod National Research University, Department of Mathematical and Software Support of Information Systems; E-mail: petrov@bsu.edu.ru
- Andrey A. Chernomorets** — Dr. Sci., Professor; Belgorod National Research University, Department of Applied Informatics and Information Technologies; E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

For citation: Petrova E. V., Petrov D. V., Chernomorets A. A. Using subband cosine transform matrices to improve the visual quality of objects contours in aerospace images. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 7. P. 542–550 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-7-542-550