

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБСТВЕННЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ  
ОБЪЕКТОВ НА МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

*Предложен метод восстановления геометрических форм объектов, представленных на растровых изображениях дистанционного зондирования, зафиксированных в произвольном количестве спектральных интервалов излучения – носителя видовой информации. Метод обеспечивает компенсацию искажающего влияния аппаратной функции датчика изображения на пространственное распределение его яркости и тем самым – выявление непосредственных (собственных) геометрических форм объектов, визуализированных на изображениях.*

*Ключевые слова: растровое изображение, гомоморфная фильтрация, векторная декомпозиция, ортогонализация, информативность.*

**В.М.КОРЧИНСЬКИЙ, О.С.БУШАНСЬКА**  
Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, Україна

**РЕКОНСТРУКЦІЯ ВЛАСНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФОРМ  
ОБ'ЄКТІВ НА БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ  
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ**

*Запропоновано метод відновлення геометричних форм об'єктів, поданих на растрових зображеннях дистанційного зондування, що зафіксовані у довільній кількості спектральних інтервалів випромінювання – носія видової інформації. Метод забезпечує компенсацію спотворюючого впливу апаратної функції датчика зображення на просторовий розподіл його яскравості і тим самим – визначення безпосередніх (власних) геометричних форм об'єктів, візуалізованих на зображеннях.*

*Ключові слова: растрове зображення, гомоморфна фільтрація, векторна декомпозиція, ортогоналізація, інформативність.*

**V.M.KORCHINSKY, A.S.BUSHANSKAYA**  
Dnepropetrovsk National University, Ukraine

**RECONSTRUCTION OF OWN GEOMETRICAL FORMS OF OBJECTS  
ON MULTISPECTRAL RASTER IMAGES OF REMOTE SENSING**

*The method of restoration of geometrical forms of the objects presented on raster images of remote sensing, the spectral intervals of radiation fixed in any quantity - the carrier of the specific information is offered. The method of vector representation of obtained in such way is offered also. The comparative analysis of selfdescriptiveness the offered ways of vectoring.*

*Results can be used at image processing and the thematic analysis of the specific data of Earth remote sensing.*

*Keywords: homomorphic analysis, raster image, vector decomposition, orthogonalization, self descriptiveness.*

**Постановка проблемы**

Современные средства дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей, формирующие видовые данные, фиксируют соответствующие изображения в значительном количестве спектральных интервалов электромагнитного излучения – носителя видовой информации (главным образом, в оптическом и инфракрасном диапазонах). Совокупность распределений яркости зафиксированных изображений образует многомерный геометрический объект – многоспектральное изображение (МСИ). Геометрические формы объектов, визуализированных на таких изображениях, искажены вследствие влияния аппаратной функции датчика изображения (для изображений, зафиксированных в коротковолновых диапазонах излучения – носителя видовой информации – собирающей линзы). Интерпретация МСИ для распознавания представленных на них объектов и их тематической интерпретации затруднены, главным образом, вследствие: 1) наличия таких искажений; 2) необходимости обработки и интерпретации огромных объемов видовой информации, содержащейся в МСИ. Поэтому актуальна проблема реконструкции собственных геометрических форм визуализированных объектов в сочетании с редукцией размерности

преобразованных таким образом видовых данных, сопровождающейся потерей содержащейся в них информации, несущественной для достоверной интерпретации полученных изображений.

### Анализ публикаций

В настоящее время основным методом компенсации искажающего влияния частотных характеристик канала передачи цифровых сигналов в общем случае является их гомоморфная фильтрация (см., напр., [1]). Известные приложения такой фильтрации связаны, главным образом, с обработкой речевых (одномерных) сигналов. Возможности гомоморфной фильтрации многомерных сигналов, к которым относятся распределения яркости МСИ, в настоящее время в полной мере не исследованы. Существующие методы уменьшения размерности МСИ базируются на векторизации составляющих таких изображений, одновременно зафиксированных в различных спектральных интервалах излучения – носителя видовой информации, которая сводится к аппроксимации распределений яркости исходных растровых изображений совокупностью графических примитивов [2–4]. Альтернативный подход к проблеме снижения размерности первичных видовых данных базируется на ликвидации корреляционной связи между распределениями яркости изображений отдельных спектральных каналов и сводится к представлению пространства данных в виде суммы взаимно ортогональных собственных подпространств, а соответствующей корреляционной матрицы – в виде линейной комбинации ортогональных проекторов на эти подпространства. В традиционной форме этот подход реализован методом главных компонент (МГК) [5, 6], в рамках которого ликвидируются наименее значимые в информационном отношении проекции с последующим обратным преобразованием в пространство данных. Применение МГК в такой постановке требует значительных вычислительных ресурсов во многих трудноформализуемых случаях приводит к утрате вычислительной устойчивости [7].

### Цели исследования

Цель статьи состоит в разработке метода реконструкции (восстановления) собственных геометрических форм объектов, визуализированных на МСИ, сформированных в коротковолновых диапазонах излучения – носителя видовой информации, в сочетании с понижением размерности полученных изображений и обеспечением контролируемого уровня достоверности их тематического анализа.

### Основная часть

Как известно, распределение яркости изображения, сформированного оптической системой его датчика в коротковолновом приближении, представляет собой свертку “собственной” яркости визуализированного объекта  $I_0(\mathbf{r})$  и аппаратной функции  $F(\mathbf{r})$ . Посредством  $\mathbf{r}$  обозначен радиус-вектор точки изображения [8]. Двумерное преобразование Фурье функции  $F(\mathbf{r})$  позволяет трактовать ее как идеальный фильтр нижних пространственных частот с частотой среза  $2/2\pi^2\lambda d$ , где  $D$  – диаметр апертуры датчика,  $\lambda$  – длина волны излучения,  $d$  – расстояние от фазового центра датчика до плоскости изображения. Применение стандартной процедуры гомоморфной фильтрации, обобщенной на двумерное представление  $F(\mathbf{r})$ , позволяет определить распределение “собственной” яркости объекта, визуализирующее его геометрическую форму.

Редукция размерности полученного изложенным способом изображения базируется на идеях метода, предложенного в работе [9].

Как известно, растровое изображение задается на прямоугольной сетке, каждая ячейка которой имеет числовой уровень яркости., тем самым представляя собой матрицу размерности  $n \times m$ , где  $n, m$  – размерности раstra по горизонтальной и вертикальной осям. Упорядочивая растровые представления изображения каждого спектрального канала вдоль строк (либо столбцов), сформируем векторы размерности  $\mathbf{x}_{n-m}^{(i)}$ , где  $i = \overline{1, k}$ ,  $k$  – количество спектральных составляющих МСИ. На основе множества полученных векторов, образуем матрицу  $\mathbf{M}_{n-m \times k}$ .

Как известно, произвольная матрица  $\mathbf{S}_{p \times q}$  с рангом  $q$ , может быть представлена в виде произведения матрицы  $\mathbf{Q}_{p \times q}$  с попарно ортогональными столбцами и верхнетреугольной матрицы  $\mathbf{R}_{q \times q}$  (так называемое  $qr$ -представление) [10]. Существует ряд методов реализации  $qr$ -представлений [9]. Однако, вследствие неизбежных ошибок при их численной реализации полная ортогональность столбцов матрицы  $\mathbf{M}_{n-m \times k}$  не достигается (скалярные попарные произведения векторов  $\mathbf{x}_{n-m}^{(i)}, \mathbf{x}_{n-m}^{(j)}, i \neq j$ , не строго равны нулю).

Альтернативный способ ортогонализации полученных указанным способом векторных представлений изображений спектральных каналов – составляющих МСИ состоит в использовании сингулярного разложения матрицы  $\mathbf{M}_{n \times m \times k}$ :  $\mathbf{M}_{n \times m \times k} = \mathbf{U}_{n \times m \times k} \cdot \mathbf{S}_{k \times k} \cdot \mathbf{V}_{k \times k}^T$ , где  $\mathbf{U}_{n \times m \times k}$ ,  $\mathbf{V}_{k \times k}$  – унитарные матрицы,  $\mathbf{S}_{k \times k}$  – диагональная матрица сингулярных чисел [11].

Многочисленные компьютерные эксперименты показали, что наиболее эффективным по критерию минимизации попарных скалярных произведений столбцов матрицы  $\mathbf{M}_{n \times m \times k}$  применительно к видовым данным дистанционного зондирования Земли является сингулярное разложение этой матрицы.

Для оценки информационной значимости полученных в результате ортогонализации изображений для их последующей реставрации использовались их информационные энтропии (в отличие от МГК, в котором для этого используются собственные значения корреляционной матрицы уровней яркости изображений спектральных каналов – составляющих МСИ [5, 6]).

Реконструкция распределений яркости изображений после исключения информационно малозначимых компонент, реализуется операциями, обратными к выполненным на этапе ортогонализации.

Ниже приведены результаты применения предложенного метода понижения размерности МСИ.

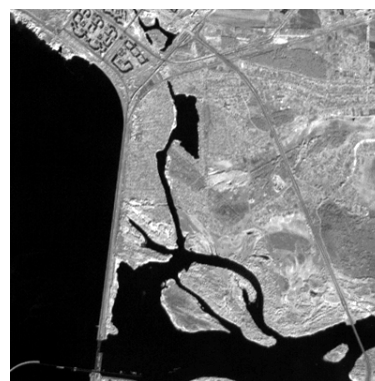
На рис. 1–6 представлены изображения шести спектральных каналов МСИ с размерностью  $400 \times 400$  пикселей и указанием соответствующих длин волн излучения – носителя видовой информации.



**Рис. 1. Изображение канала  
0.52 мкм – 0.60 мкм**



**Рис. 2. Изображение канала  
0.63 мкм – 0.69 мкм**



**Рис. 3. Изображение канала  
0.78 мкм – 0.86 мкм**



**Рис. 4. Изображение канала  
1.60 мкм – 1.70 мкм**



**Рис. 5. Изображение канала  
2.145 мкм – 2.185 мкм**



**Рис. 6. Изображение канала  
2.360 мкм – 2.430 мкм**

Рис. 7–12 иллюстрируют ортогонализированные изображения, полученные изложенным методом с использованием сингулярного разложения матрицы  $\mathbf{M}_{160000 \times 6}$ , и соответствующие изображениям, приведенным на рис. 1- 6.



Рис. 7 Проекция изображение канала 0.52 мкм – 0.60 мкм



Рис. 8. Проекция изображения канала 0.63 мкм – 0.69 мкм



Рис. 9. Проекция изображения канала 0.78 – 0.86 мкм



Рис. 10. Проекция изображения канала 1.60 мкм – 1.70 мкм

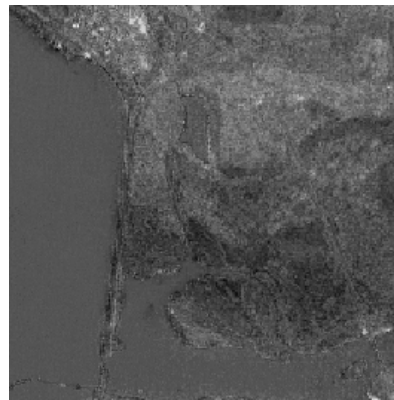


Рис. 11. Проекция изображения канала 2.145 мкм – 2.185 мкм

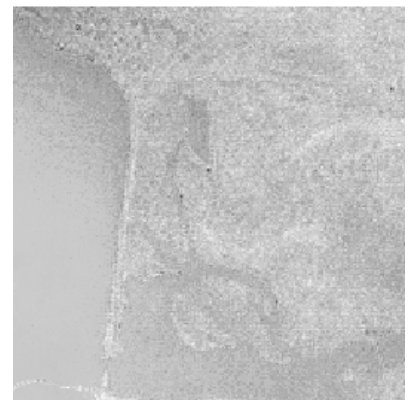


Рис. 12. Проекция изображения канала 2.360 мкм – 2.430 мкм

Таблица 1.

Информационные энтропии проекций изображений спектральных каналов

Проекция изображения канала	0.52 мкм-0.60 мкм	0.63 мкм-0.69 мкм	0.78 мкм-0.86 мкм	1.60 мкм-1.70 мкм	2.145 мкм-2.185 мкм	2.360 мкм-2.430 мкм
Энтропия, бит	2.4614	0.2723	1.5921	1.0756	0.2473	0.1169

Таким образом, проекции изображений спектральных каналов 0.63 мкм – 0.69 мкм, 2.145 мкм – 2.185 мкм, 2.360 мкм – 2.430 мкм являются наименее значимыми в информационном отношении. После их исключения была проведена реконструкция МСИ, результат которой для каналов 0.52 мкм – 0.60 мкм и 2.360 мкм – 2.430 мкм представлен на рис. 13, 14.



Рис. 13. Реконструированное изображение канала 0.52 мкм – 0.60 мкм

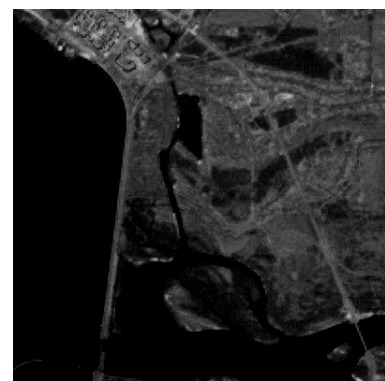


Рис. 14. Реконструированное изображение канала 2.360 мкм – 2.430 мкм

Нетрудно видеть, что исключение ряда проекций незначительно сказалось на виде реконструированных изображений при практическом сохранении их информационной значимости – значения информационных энтропий равны соответственно 2.2513 бит и 2.1156 бит. Между тем, объем МСИ после редукции его размерности уменьшился на 42 %.

### **Выводы и перспективы дальнейших исследований**

В работе предложен эффективный метод реконструкции собственных геометрических форм объектов на многоспектральных растровых изображениях и снижения размерности первичных видовых данных, зафиксированных в растровых форматах компьютерной графики. В сравнении с известными способами редукции размерности первичных видовых данных метод практически сохраняет информационную значимость редуцированных изображений, существенную для их тематической интерпретации, с выявлением непосредственных геометрических форм визуализированных объектов.

Перспективы дальнейших исследований по проблематике данной работы связаны с совмещением в одном графическом объекте изображений различных спектральных каналов МСИ с различным пространственным и радиометрическим разрешением.

### **Список использованной литературы**

1. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолшо, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Л.А. Залманзон. – М. Наука, 2001. – 496 с.
2. Батраков А.С. Трехмерная компьютерная графика / А.С. Батраков, В.П. Иванов. – М.: Радио и связь, 2005. – 224 с.
3. Бузовский О.В. Компьютерная обработка изображений / О.В. Бузовский, А.А. Болдак, М.Х. Мохаммед Руми. – К.: Корнійчук, 2001. – 180 с.
4. Sun W. Fractal Analysis of Remotely Sensed Images: A Review of Methods and Applications / W.Sun, G.Xu, P.Gong, S.Liang // International Journal of remote Sensing. – 2006. – Vol. 27. – № 2. – P. 4963-4990.
5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С.Эдинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
6. Muresan D.D. Adaptive Principal Components and Image Denoising // Proceedings 2003 International Conference on Image Processing (ICIP). – 2003. – Vol. 1. – P. 101-104.
7. Россиев А.А. Итерационное моделирование неполных данных с помощью многообразий малой размерности / А.А. Россиев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 256 с.
8. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 2: Многократное рассеяние, турбулентность, шероховатые поверхности и дистанционное зондирование: Пер. с англ. / А.Исимару – М.: Мир, 1981. – 318 с.
9. Корчинский В.М. Многомерное векторное представление распределений яркости многоспектральных растровых изображений дистанционного зондирования Земли / В.М. Корчинский // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2014. – № 3 (50). С. 90-93.
10. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры / Д.В. Беклемишев. – М.: Высшая школа, 1998. – 320 с.
11. Баландин М.Ю. Методы решения СЛАУ большой размерности / М.Ю. Баландин, Э.П. Шурина. – Новосибирск: НГТУ, 2000. – 70 с.