

2. Кравцов С. Л., Мухо И. Н. Распознавание классов объектов, расположенных в однородной области изображения // Анализ цифровых изображений: Сб. науч. тр. — Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2002.—Вып. 1.—С. 79—84.
3. Кравцов С. Л., Орешкина Л. В. Обнаружение и распознавание классов объектов на изображениях дистанционного зондирования // Первый белорусский космический конгресс. 28—30 октября 2003 г. Материалы конгресса. Объединенный ин-т проблем информатики НАН Беларуси. — Минск, 2003.—С. 140—142.
4. Кравцов С. Л., Орешкина Л. В. Распознавание классов объектов на изображениях дистанционного зондирования // Анализ цифровых изображений: Сб. науч. тр. — Минск: Объединенный ин-т проблем информатики НАН Беларуси, 2003.—Вып. 2.—С. 84—96.

## PROCESSING OF REMOTE SENSING DATA FOR DETECTION AND RECOGNITION OF OBJECT CLASSES

S. L. Kravtsov, L. V. Oreshkina

We developed a procedure for detection and recognition of object classes on the basis of contours, squares and brightness of objects on remote sensing images. We consider some features of detection of objects in relation to their location on terrestrial and water surfaces and to a kind of remote sensing data.

УДК 528.8

© В. И. Волошин<sup>1</sup>, В. М. Корчинский<sup>2</sup>, А. А. Негода<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

<sup>2</sup>Дніпропетровський національний університет

<sup>3</sup>Національне космічне агентство України, Київ

## ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПАНХРОМНЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Пропонується методика підвищення інформативності панхромних цифрових знімків ДЗЗ шляхом вейвлетної декомпозиції з використанням мультиспектральних знімків території нижчого розрізнення та подальшого синтезу результатів декомпозиції.

Одним из путей повышения информативности панхромных цифровых изображений, полученных с космических аппаратов (КА), с позиций их интерпретации и дешифрирования является включение в них информационных компонентов соответственных многоспектральных изображений, полученных в различных спектральных диапазонах электромагнитного излучения — носителя видеинформации. В работе предложена методика повышения радиометрического разрешения панхромных цифровых снимков, основанная на вейвлет-технологии обработки двумерных цифровых сигналов.

В качестве количественной меры информативности принята сигнальная энтропия, определенная выражением

$$E = - \sum_{i=0}^{N-1} p_i \log_2 p_i,$$

где

$$p_i = - n_i / \sum_{i=0}^{N-1} n_i;$$

$n_i$  — количество пикселов с уровнем яркости  $i$ ,

суммирование производится по всему множеству уровней яркости, определяемому ее динамическим диапазоном  $0, 1, \dots, N - 1$ . Полная информативность изображения размерностью  $M \times L$  пикселов составляет  $I = MLE$ .

Сигнальная энтропия связана с вероятностью распознавания соотношением [1, 4]

$$P_{\text{pac}} = \exp \left[ -k_{\Sigma} \frac{d \sqrt{m}}{L \sqrt{E} S} \right], \quad (1)$$

где  $d$  — линейное разрешение при абсолютном контрасте,  $k_{\Sigma}$  — коэффициент распознавания формы объекта,  $L$  — линейный размер объекта;  $M$  — медиана кодов яркости (МКЯ),  $S$  — средний квадратичный разброс кодов яркости по полю снимка (СКОЯ),  $m$  — среднее значения кодов яркости.

Как известно, вейвлет-декомпозиция двумерного цифрового сигнала заключается в его иерархическом представлении в виде суммы аппроксимирующей и набора детализирующих составляющих, обладающих различными пространственными масштабами [1, 3]. Вейвлет-разложение распределения

яркости цифрового изображения после  $N$  этапов декомпозиции определяется выражением

$$f(\mathbf{r}) = f_N^{(a)}(\mathbf{r}) + \sum_{k=1}^N [f_k^{(h)}(\mathbf{r}) + f_k^{(v)}(\mathbf{r}) + f_k^{(d)}(\mathbf{r})], \quad (2)$$

где  $f_k^{(a)}(\mathbf{r})$  — функция распределения яркости аппроксимирующей составляющей на  $k$ -м уровне декомпозиции,  $f_k^{(h)}(\mathbf{r})$ ,  $f_k^{(v)}(\mathbf{r})$ ,  $f_k^{(d)}(\mathbf{r})$  — функции распределения яркости детализирующих компонент на  $k$ -м уровне декомпозиции соответственно в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях цифрового изображения.

Координатное описание распределений яркости в соответствии с общими принципами вейвлет-преобразований можно представить в виде

— для аппроксимирующего компонента

$$f_N^{(a)}(\mathbf{r}) + \sum_{\alpha} A_{N,\alpha}^{(a)} \Phi_{N,\alpha}(\mathbf{r}),$$

— для детализирующих компонентов

$$\begin{aligned} f_k^{(h)}(\mathbf{r}) &= \sum_{\alpha} h_{\alpha}^{(k)} \Psi_{k,\alpha}^{(h)}(\mathbf{r}), & f_k^{(v)}(\mathbf{r}) &= \sum_{\alpha} v_{\alpha}^{(k)} \Psi_{k,\alpha}^{(v)}(\mathbf{r}), \\ f_k^{(d)}(\mathbf{r}) &= \sum_{\alpha} d_{\alpha}^{(k)} \Psi_{k,\alpha}^{(d)}(\mathbf{r}), \end{aligned}$$

где  $\Phi_{N,\alpha}(\mathbf{r})$ ,  $\Psi_{N,\alpha}^{(h)}(\mathbf{r})$ ,  $\Psi_{N,\alpha}^{(v)}(\mathbf{r})$ ,  $\Psi_{N,\alpha}^{(d)}(\mathbf{r})$  — координатные функции вейвлет-базиса соответственно для аппроксимирующего и детализирующих компонентов на  $N$ -м уровне декомпозиции,  $A_{N,\alpha}^{(a)}$ ,  $h_{\alpha}^{(k)}$ ,  $v_{\alpha}^{(k)}$ ,  $d_{\alpha}^{(k)}$  — соответствующие коэффициенты разложения,  $\alpha = (n, m)$  — мультииндекс, указывающий суммирование по всему полю цифрового изображения.

Предлагаемая методика повышения радиометрического разрешения панхромных цифровых снимков включает следующие шаги.

1. Уравнивание разрядности первичных панхромного и многоспектрального изображений.

2. Установление уровня  $N$  вейвлет-декомпозиции.

3. Вейвлет-декомпозиция на уровне  $N$  первичного панхромного снимка — выделение детализирующих компонентов в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях с наборами коэффициентов  $H_{\text{пан}}^{(k)}$ ,  $V_{\text{пан}}^{(k)}$ ,  $D_{\text{пан}}^{(k)}$ , где  $k = 1, \dots, N$ .

4. Вейвлет-декомпозиция на уровне  $N$  изображений спектральных каналов первичного многоспектрального снимка — выделение детализирующих компонентов в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях с наборами коэффициентов  $H_n^{(k)}$ ,  $V_n^{(k)}$ ,  $D_n^{(k)}$ , где  $k = 1, \dots, N$ , ( $n$  — номер спектрального канала).

5. Определение наиболее информативных изображений детализирующих компонентов спектральных каналов в горизонтальном, вертикальном и диаго-

нальном направлениях с наборами коэффициентов  $H_{\text{опт}}^{(k)}$ ,  $V_{\text{опт}}^{(k)}$ ,  $D_{\text{опт}}^{(k)}$ .

6. Формирование линейных форм вейвлет-коэффициентов детализирующих компонентов в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях:  $H_{\text{синг}}^{(k)} = aH_{\text{пан}}^{(k)} + bH_{\text{опт}}^{(k)}$ ,  $V_{\text{синг}}^{(k)} = aV_{\text{пан}}^{(k)} + bV_{\text{опт}}^{(k)}$ ,  $D_{\text{синг}}^{(k)} = aD_{\text{пан}}^{(k)} + bD_{\text{опт}}^{(k)}$ .

7. Вейвлет-реконструкция — формирование синтезированного цифрового изображения на основе аппроксимирующего компонента первичного панхромного изображения, полученного на уровне декомпозиции  $N$ , и детализирующих компонентов с коэффициентами  $H_{\text{синг}}^{(k)}$ ,  $V_{\text{синг}}^{(k)}$ ,  $D_{\text{синг}}^{(k)}$ ,  $k = 1, \dots, N$  на основе выражения (2).

Уровень вейвлет-декомпозиции  $N$ , коэффициенты линейных форм  $a$ ,  $b$  и порядок вейвлет-фильтра определяются по критерию максимизации сигнальной энтропии синтезированного изображения, и тем самым — вероятности распознавания:  $P_{\text{pac}}(N, a, b) \rightarrow \max$ .

Ниже представлены результаты применения предлагаемой методики. На рис. 1 приведено первичное панхромное изображение размерностью  $400 \times 400$  пикселей, полученное с КА «Ikonos» (линейное разрешение 1 м), на рис. 2 — соответствующее многоспектральное изображение такой же размерности (линейное разрешение 4 м), на рис. 3 — результирующее изображение, рис. 4 иллюстрирует зависимость сигнальной энтропии изображений спектральных каналов многоспектрального снимка от уровня декомпозиции, из которого следует, что оптимальным является ее девятый уровень.

Значения сигнальных информативностей пространственных компонент изображений спектральных каналов на оптимальном уровне декомпозиции приведены в табл. 1, в соответствии с данными которой для формирования детализирующих компонентов синтезируемого изображения были выбраны: для горизонтального и диагонального направлений — синий спектральный канал, для вертикального направления — красный спектральный канал.

При построении результирующего изображения, синтезированного по изложенной методике (рис. 3) использовался вейвлет-базис Добеши четвертого порядка, который, как показали проведенные исследования, обеспечивает наибольшую сигнальную энтропию синтезированного изображения. Сравнительные показатели информативности первичного панхромного и синтезированного цифровых изображений приведены в табл. 2, данные которой свидетельствуют о существенном увеличении информативности синтезированного изображения в сравнении с первичным панхромным изображением, что

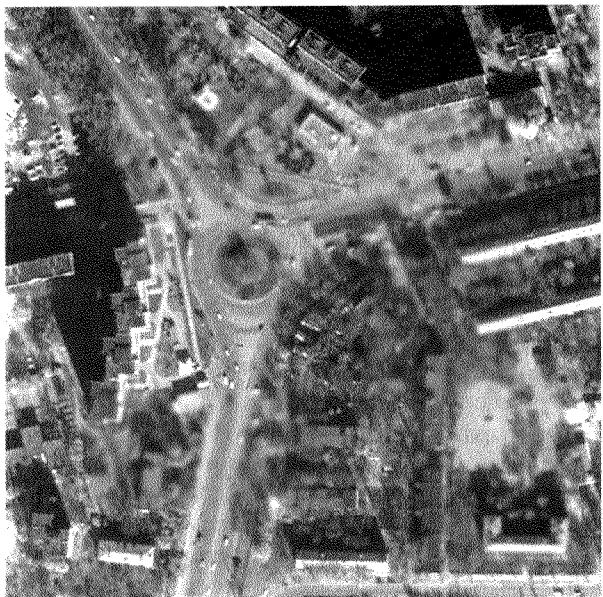


Рис. 1. Первичный панхромный снимок



Рис. 2. Первичный многоспектральный снимок

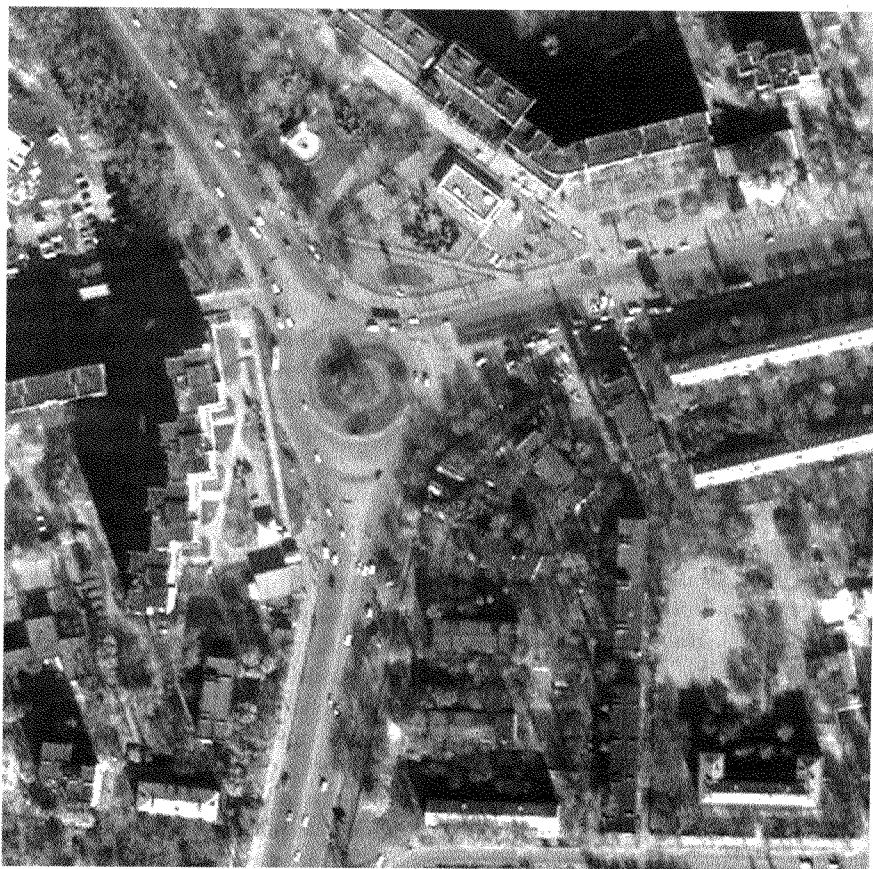


Рис. 3. Синтезированное изображение

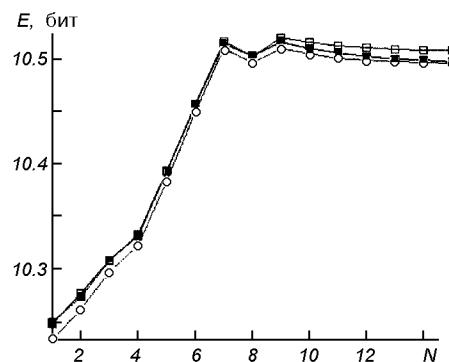


Рис. 4. Зависимость сигнальной энтропии изображений спектральных каналов многоспектрального снимка от уровня декомпозиции

Таблица 1. Информативности пространственных составляющих спектральных каналов после вейвлет-декомпозиции

Пространственная составная	I, кбит		
	Красный канал	Зеленый канал	Синий канал
Горизонтальная	1233.8	931.6	17332
Вертикальная	1031.2	1.238	375.07
Диагональная	1705.1	1735.6	27616

подтверждается также на уровне визуального восприятия.

Расчеты вероятностей распознавания по синтезированному изображению в соответствии с выраже-

Таблица 2. Показатели информативности первичного панхроматического и синтезированного цифровых изображений

Изображение	Сигнальная энтропия, бит	Динамический диапазон	СКОЯ	МКЯ
Первичное панхроматическое	39.71	232	55.28	103.5
Синтезированное	47.54	256	72.38	102.0

нием (1) показывают ее возрастание на 2-4 %, причем этот эффект наиболее выражен применительно к малоразмерным объектам.

1. Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование // Успехи физ. наук.—2001.—171, № 5.—С. 465—501.
2. Травникова Н. П. Эффективность визуального восприятия. — М.: Машиностроение, 1985.—128 с.
3. Чуи К. Введение в вейвлеты: Пер. с англ. — М.: Мир, 2001.—414 с.
4. Ye J. C., Bresler Y., Moulin P. Fourier Descriptors for Parametric Shape Estimation in Inverse Scattering Problems // Proc. of SPIE.—2000.—4052, N 4.—Р. 309—320.

#### ENHANCEMENT OF INFORMATIVENESS OF PANCHROMATIC SPACE DIGITAL IMAGES

V. I. Voloshyn, V. M. Korchinski, O. O. Negoda

We offer a procedure for the enhancement of information density of panchromatic space image by means of wavelet decomposition of the image and multispectral images with lower resolution for the surveyed territory with following synthesis of decomposition results.

© Е. И. Капустин<sup>1</sup>, А. И. Кириллов<sup>1</sup>, Е. И. Махонин<sup>2</sup>, К. Ф. Волох<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ,  
<sup>2</sup>Національне космічне агентство України, Київ

### СОЗДАНИЕ СТРУКТУРЫ АРХИВА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НАЦИОНАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА УКРАИНЫ

Розглядається створення архіву даних дистанційного зондування Землі в рамках Національного космічного агентства України, процедура надходження інформації в архів та отримання її користувачами.

Одиночные космические системы ДЗЗ обычно не решают всех задач, связанных с наблюдением тех или иных объектов (районов поверхности Земли), и, как правило, являются частью систем мониторинга. Многие процессы, происходящие на Земле, протекают медленно — десятилетия и более. Среди

них эрозия почв, образование оврагов, состояние лесов, движение пустынь, изменение русел рек, границ морей. Для изучения этих процессов, оценки их природы и состояния необходима информация о состоянии Земли за много лет, в связи с чем приобретает актуальность задача накопления ре-