

УДК 514.18+681.32

В. И. Волошин¹, В. М. Корчинский²

¹Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

²Дніпропетровський національний університет

Повышение информативности видовых данных дистанционного зондирования Земли

Надійшла до редакції 17.10.05

Пропонується методика підвищення інформативності цифрових знімків ДЗЗ на основі первинних багатоспектрального та панхромного зображень шляхом спільного використання перетворення первинного багатоспектрального зображення у кольорову систему з розділенням інформації про яскравість та колір та вейвлет-технології оброблення цифрових зображень.

Повышение пространственного разрешения многозональных космических снимков относится к числу наиболее существенных задач предварительной обработки видовых данных ДЗЗ [1]. Одним из наиболее эффективных способов ее решения является синтез цифровых изображений, в которых совмещены информационные компоненты (концепция Data Fusion) первичных многоспектральных и панхромных видовых данных (соответственно спектральная информация и высокое пространственное разрешение), на основе вейвлет-технологий обработки двумерных цифровых сигналов с оптимизацией по характеристикам визуального качества [2].

Предлагается метод повышения информативности многоспектральных космических снимков, основанный на оптимизируемой вейвлет-технологии синтеза цифровых изображений с использованием промежуточного преобразования первичных многозональных RGB-снимков в одну из цветовых систем растровой компьютерной графики, обеспечивающих разделение информации о яркости и информации о цветоразностных компонентах.

Совмещению данных предшествует преобразование первичного многоспектрального изображения (с относительно невысоким пространственным разрешением) в одну из цветовых систем с разделением яркостного и цветоразност-

ных компонентов (изложение ведется на примере системы YIG). Такое преобразование используется как один из способов совмещения видовых данных с повышением визуального качества синтезируемого многоспектрального снимка без учета количественных показателей его информативности (яркостный компонент последнего совпадает с яркостным компонентом панхромного изображения, а цветоразностные компоненты — с цветоразностными составляющими первичного многоспектрального снимка). В отличие от этого в данной статье указанное преобразование является лишь первым этапом предлагаемого метода повышения информативности многоспектральных цифровых снимков.

Непосредственно совмещение данных производится на основе формирования линейных форм детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразований первичного панхромного снимка и только яркостной компоненты многоспектрального изображения с последующей вейвлет-реконструкцией. Цветоразностные компоненты первичного многоспектрального снимка при этом сохраняются неизменными, что обеспечивает сохранение спектрального разрешения.

Как известно [3, 4], основной принцип вейвлет-анализа изображений состоит в представлении их распределений яркости в виде суммы аппроксимирующей и детализирующих состав-

ляющих, представляющих компоненты различных пространственных масштабов. После N этапов такой декомпозиции распределение яркости первичного изображения $f(\mathbf{r})$ (\mathbf{r} — радиус-вектор поля снимка) может быть представлено в виде

$$f(\mathbf{r}) = f_N^{(a)}(\mathbf{r}) + \sum_{k=1}^N f_k^{(d)}(\mathbf{r}),$$

где $f_N^{(a)}(\mathbf{r})$, $f_k^{(d)}(\mathbf{r})$, $k = 1, \dots, N$ — аппроксимирующая и детализирующие составляющие.

Предлагаемый метод синтеза многоспектральных изображений с повышенным пространственным разрешением на основе первичных многозональных и панхромных снимков включает следующие основные шаги.

1. Представление первичного многоспектрального RGB -изображения в одной из цветовой систем, в которых реализуется разделение информации о яркости и цветовой информации (например, HSV , YIG , $YCbCr$; дальнейшее изложение ведется на примере системы YIG):

$$f_{RGB}(\mathbf{r}) \longrightarrow f_{YIG}(\mathbf{r}).$$

2. Вейвлет-декомпозиция первичного многоспектрального изображения до заданного уровня N компоненты яркости (применительно к системе HSV — компонент V , для систем YIG и $YCbCr$ — компонент Y)

$$f_{YIG}(\mathbf{r}) = f_{YIG,N}^{(a)}(\mathbf{r}) + \sum_{k=1}^N f_{YIG,k}^{(d)}(\mathbf{r}).$$

3. Вейвлет-декомпозиция до уровня N первичного панхромного изображения:

$$f_p(\mathbf{r}) = f_{p,N}^{(a)}(\mathbf{r}) + \sum_{k=1}^N f_{p,k}^{(d)}(\mathbf{r}).$$

4. Формирование линейных комбинаций вейвлет-коэффициентов детализирующих составляющих:

$$C_{\text{син},k}^{(d)} = aC_{YIG,k}^{(d)} + bC_{p,k}^{(d)},$$

где a , b — коэффициенты, подлежащие определению.

5. Вейвлет-реконструкция — формирование синтезированного цифрового изображения на основе аппроксимирующей составляющей первичного многозонального снимка и полученных указанным способом детализирующих составляющих.

6. Преобразование синтезированного изображения в цветовую систему RGB :

$$F_{YIG}(\mathbf{r}) \longrightarrow F_{RGB}(\mathbf{r}),$$

где $F_{YIG}(\mathbf{r})$ — распределение яркости изображения, сформированного посредством вейвлет-реконструкции (п. 5).

Отметим принципиально важный момент — преобразованию на этапе вейвлет-реконструкции подвергается только компонент яркости при сохранении цветоразностных компонентов первичного многоспектрального снимка.

Для оценки информационного качества синтезированных изображений использовались следующие показатели:

1. Сигнальная энтропия, предложенная в работе [2]:

$$E = - \sum_{n=0}^{255} p_n \log_2 p_n,$$

где $p_n = nN_n / \sum_{m=0}^{255} mN_m$, N_n — количество пикселей с уровнем яркости n ($n = 0, \dots, 255$).

2. Среднее значение контраста

$$C = \left| \frac{C_i - \Sigma C_j}{C_i + \Sigma C_j} \right|,$$

где C_i — уровень яркости i -го пикселя, ΣC_j — сумма кодов яркости пикселей, смежных с i -м.

3. Предельная пространственная частота $\Omega_{\text{гр}}$

$$\Omega_{\text{гр}}^2 = \frac{E}{\log_2 [\Sigma n_i k_i + 1]},$$

где k_i — количество спектральных каналов, n_i — динамический диапазон кодов яркости соответствующего спектрального канала изображения в цветовой системе RGB , N - и M -размерности изображения в горизонтальном и вертикальном направлениях.

4. Среднее квадратичное отклонение кодов яркости

$$\sigma = \sqrt{\Sigma [C_i - M(C)]^2 \cdot p_i},$$

где $M(C) = \Sigma C_i \cdot p_i$ — среднее значение, p_i — частота i -го кода яркости в изображении.

Данные показатели использовались как управляющие параметры при определении уровня вейвлет-декомпозиции N и коэффициентов линейных форм a , b , сформулированного как многокритериальная оптимизационная задача максимизации сигнальной энтропии, среднего значения контраста, среднего квадратичного откло-

нения уровней яркости и предельной пространственной частоты эквивалентного пространственного фильтра. Решение данной оптимизационной задачи производилось по методике, предложенной в работе [5].

На цветной вклейке (рис. IV) представлены первичные видовые данные и изображение, синтезированное предложенным методом.

Применительно к изображениям, представленным на рис. IV, б, в, повышение сигнальной энтропии, среднего значения контраста, среднего квадратичного отклонения уровней яркости и предельной пространственной частоты эквивалентного пространственного фильтра составило соответственно 6.9, 67.9, 1.4, 23.8 %.

Как показали проведенные численные эксперименты, для первичных изображений, зафиксированных в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах, наиболее эффективной промежуточной цветовой системой является цветовая метрика YIG как по критериям информативности, так и в отношении визуального качества синтезированных изображений.

1. Волошин В. И., Корчинский В. М. Повышение информационной значимости видовых данных дистанционного зондирования Земли // Пятая Украинская конфе-

ренция по комическим исследованиям: Сб. тезисов, 4—11 сентября 2005 г., НЦУИКС, Евпатория. — К.: Ин-т космических исследований НАНУ—НКАУ, 2005.—С. 146.

2. Волошин В. И., Корчинский В. М., Негода А. А. Повышение информативности панхромных цифровых изображений дистанционного зондирования Земли // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 5/6.—С. 178—181.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам: Пер. с англ. — Москва—Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004.—464 с.
4. Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование // Успехи физ. наук.—2001.—171, № 5.—С. 465—501.
5. Han S. P. A Globally convergent method for nonlinear programming // J. Optimization Theory and Applications.—1977.—22.—P. 297—302.

INCREASE OF INFORMATION SIGNIFICANCE OF EARTH'S REMOTE SENSING SPECIFIC DATA

V. I. Voloshin, V. M. Korchinski

We propose a method for the informative enhancement of digital images on the basis of initial multispectral and panchromatic images by sharing transformation of the initial multispectral image into colour palette with division of brightness/color information and image processing wavelet technology.