

УДК 515.2:528.71

В.В. ГНАТУШЕНКО, В.Ю. ШЕВЧЕНКО
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ЗЛИТТЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ НА ОСНОВІ HSV-ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА ВЕЙВЛЕТ-ДЕКОМПОЗИЦІЇ

Розроблено алгоритм, який дозволяє підвищити інформативність мультиспектрального сканерного зображення. Результати показують, що в порівнянні з класичним методом злиття HSV, він дозволяє не тільки поліпшити просторове розрізнення первинного зображення, але також усунути основний недолік HSV-алгоритму, а саме колірні спотворення в локальних областях. Це досягається, зокрема, за рахунок використання інформації, яку містить зображення інфрачервоного діапазону, та з селективним включенням до мультиспектрального зображення тільки просторових компонент панхроматичного зображення.

Ключові слова: злиття, HSV-перетворення, сканерне зображення, дискретне вейвлет-перетворення, адаптивна гістограмна еквалізація.

V.V. HNATUSHENKO, V.J. SHEVCHENKO
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University

FUSION OF HIGH RESOLUTION SPACE IMAGES USING HSV-TRANSFORM AND WAVELET DECOMPOSITION

Annotation

To improve the spatial quality in multispectral satellite images by injecting high spatial details from the panchromatic image using two hybrid techniques namely HSV-transform and wavelet-decomposition. This process of injecting information from the high spatial resolution panchromatic image into the low spatial resolution multispectral image to get a high spatial and spectral quality satellite image is known as Pan-Sharpener. The final pan-sharpened image is required to retain the natural color of the multi-spectral input image with minimum spectral distortion and enhanced spatial details of the panchromatic image. The traditional HSV fusion, as a spatial domain method, mostly achieves the good spatial quality but the spectral distortion. The proposed technique by merging two approaches performs better than the existing techniques. This higher quality is due to a selective incorporation into the multispectral image of just the spatial detail of the panchromatic image missing in the former, instead of performing a whole substitution. Testing of the proposed algorithm has confirmed its high efficiency. The results can be used in preprocessing photogrammetric data of high spatial resolution.

Keywords: remote sensing, panchromatic and multispectral images, HSV-transform, wavelet-decomposition, high spatial resolution.

Постановка проблеми. Об'єкти з високою витратою енергії (атомні та теплові електростанції, системи міського і промислового теплопостачання, нафтогазові промисли, металургійні підприємства), а також високоенергетичні явища (землетруси, вулканічні виверження, лісові пожежі) є потенційно небезпечними як з позиції безпосередньої безпеки населення, так і з позиції забруднення навколишнього середовища. Всі ці об'єкти і явища характеризуються підвищеною тепловіддачею в навколишнє середовище і, в результаті, підвищеною інтенсивністю довгохвильового випромінювання. Це відкриває можливість широкого застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), використовуючи інфрачервоний (ІЧ) діапазон електромагнітних хвиль для моніторингу цих об'єктів.

За прийнятою класифікацією ІЧ область спектру умовно ділиться на 4 діапазони: ближній (0.76 - 3.0 мкм); середній (3 - 6 мкм); дальній (6 - 15 мкм) і дуже далекий (> 15 мкм). Особливий інтерес представляє зйомка в середньому та дальньому ІЧ-діапазонах. У зазначених діапазонах поширюється власне випромінювання об'єктів земної поверхні, при цьому інтенсивність ІЧ випромінювання обумовлена тепловим станом. Тому зйомка називається тепловою інфрачервоною, що найбільш повно відображає суть методу.

Більшість сучасних супутникових систем, що ведуть спостереження за Землею, таких як SPOT, IKONOS, QuickBird, WorldView-2 та інші, володіють можливістю отримання мультиспектральних і панхроматичних зображень різної просторової здатності, при цьому WorldView-2 — це перший комерційний апарат з восьмиканальним (червоний, зелений, синій, ближній інфрачервоний-1 (NIR-1), фіолетовий (або прибережний - coastal), жовтий, «крайній червоний (red edge), ближній інфрачервоний-2 (NIR-2)) спектрометром високого розрізнення. Спектральні канали супутника WorldView-2 можуть забезпечити більш високу точність при детальному аналізі стану рослинності, виділення об'єктів, берегової лінії та прибережної акваторії.

Однією з проблем комплексного використання даних дистанційного зондування Землі, одержуваних різними космічними системами є спільна обробка зображень, сформованих у різних спектральних діапазонах і з різним просторовим дозволом [1, 2].

Аналіз публікацій по темі дослідження. Для того щоб ефективно використовувати ці дані, в даний час розроблено велику кількість методів отримання синтезованих мультиспектральних зображень із збільшенням просторового розрізнення за рахунок їх об'єднання з панхроматичним зображенням високої здатності в одному кольоровому знімку. Для позначення цієї процедури найчастіше застосовується термін «злиття зображень» (в англійській літературі - image fusion, а також image sharpening, resolution merge) [1-4]. Попередню обробку зображень виконують відомими методами «pan-sharpening», заснованими на наступних перетвореннях: RGB, HSV, Brovey перетворення, аналіз головних компонент та інші. Одним з найбільш перспективних і потужних математичних апаратів для обробки та аналізу аерокосмічних зображень виступає двовимірне вейвлет-перетворення [5]. Його використання дозволяє отримати фотограмметричні сканерні зображення, що мають більш високу просторову і спектральну якість, ніж зображення, отримані з використанням традиційних методів, а також методів, які використовують дискретне вейвлет-перетворення (ДВП), в цілях збереження спектральної якості первинного мультиспектрального зображення.

Формулювання цілей статті. Таким чином, виникає необхідність розробки алгоритму отримання синтезованих мультиспектральних зображень із збільшенням просторового розрізнення (з використанням даних інфрачервоної спектральної зони, яка дозволяє отримувати важливу інформацію про події, що відбуваються в фізичних, хімічних і біологічних процесах; оперативно виявляти надзвичайні ситуації: пожежу; землетруси і т.д.) за рахунок об'єднання з панхроматичним зображенням високої здатності в одному кольоровому знімку.

Основна частина. В роботі були практично реалізовані такі методи обробки, як зважене усереднення, адаптивна гістограма еквалізація, метод HSV, двовимірне вейвлет-перетворення. Схема алгоритму представлена на рис. 1 і включає в себе кілька етапів перетворення як мультиспектрального, так і панхроматичного зображень. Реалізація цього методу наступна:

1. Завантаження фотограмметричних сканерних зображень, отриманих з супутника WorldView-2: панхроматичне – PAN, мультиспектральне RGB в істинній композиції (R, G, B) та кольорову композицію (NIR, B, R).

2. Виконання масштабування (resampling) мультиспектрального (RGB) зображення та кольорової композиції (NIRBR) до розмірів панхроматичного (PAN) зображення методом лінійної інтерполяції.

$$F_i = wPAN_i + (w-1)RGB_i, \quad (1)$$

де w – ваговий коефіцієнт.

3. Здійснення адаптивної гістограмої еквалізації RGB- та NIRBR-зображень, за допомогою якої можливо відкоригувати первинні зображення, вирівнявши інтегральні площі ділянок з різною яскравістю.

4. Створення повнокольорових зображень, значення пікселів яких представлені в кольоровій системі HSV (hue - колірний тон, saturation – насиченість, volume - яскравість).

5. Застосування до яскравісної компоненти V вейвлет-перетворення, розкладання на апроксимуючі та деталізуючі коефіцієнти:

$$\begin{aligned} a^{(i+1)}(n_1, n_2) &= \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{N-1} g(k_1)g(k_2)a^{(i)}(2n_1-k_1, 2n_2-k_2); \\ d_1^{(i+1)}(n_1, n_2) &= \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{N-1} g(k_1)h(k_2)a^{(i)}(2n_1-k_1, 2n_2-k_2); , \\ d_2^{(i+1)}(n_1, n_2) &= \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{N-1} h(k_1)g(k_2)a^{(i)}(2n_1-k_1, 2n_2-k_2); \\ d_3^{(i+1)}(n_1, n_2) &= \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{N-1} h(k_1)h(k_2)a^{(i)}(2n_1-k_1, 2n_2-k_2). \end{aligned} \quad (2)$$

де $a_n^{(i)}$ і $d_n^{(i)}$ є апроксимуючими та деталізуючими коефіцієнтами i -го рівня, g і h – коефіцієнти низькочастотних та високочастотних фільтрів, n – максимальний рівень деталізації, k - порядковий номер коефіцієнтів.

6. Заміна в матриці компоненти V коефіцієнтів апроксимації (cA) RGB-, (cA) IRGB-зображень на коефіцієнти cA' Pan. При цьому коефіцієнти деталізації зображень HSV_{RGB}, HSV_{IRGB} залишаються без змін.

7. Застосування зворотного вейвлет-перетворення матриці, отриманої на попередньому кроці, що дозволяє створити нові компоненти інтенсивності, врахувавши високу просторову здатність PAN зображення та початкову інтенсивність компонент. Отримуємо результат HSV_w .

8. На завершальному етапі перетворення отриманого зображення в кольорову модель RGB, щоб отримати нове NIRBR зображення кольорової композиції, яка в значній мірі зберігає спектральну здатність первинного зображення.

9. Отримання результату FUSION у вигляді чотирьохканального зображення RGBNIR підвищеної просторової здатності з мінімізацією кольорних спотворень.

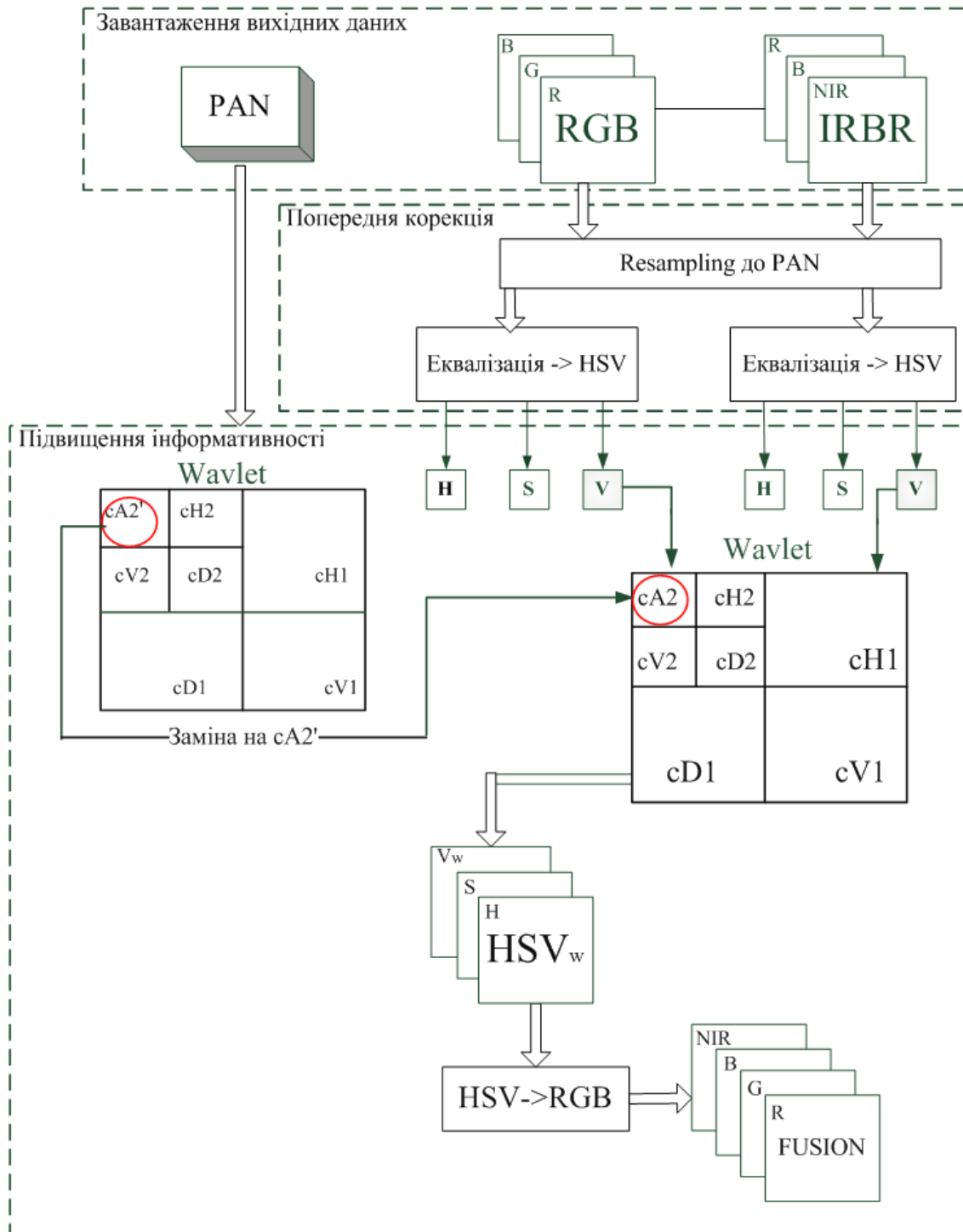


Рис.1. Схема алгоритму

В ролі показника оцінки якості цифрових зображень часто використовується індекс якості SSIM, який визначає структурну схожість зображень:

$$SSIM = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x}^2 + \bar{y}^2)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}, \quad (3)$$

де дисперсія та коваріація дорівнюють, відповідно

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad \sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2,$$

\bar{x} , \bar{y} — середні значення інтенсивностей x , y відповідно.

У таблиці 1 наведено розраховані значення ентропії і коефіцієнта SSIM, розраховані для первинних (мультиспектрального, панхроматичного) та синтезованого зображень (розмір зображення 1000*1001).

Таблиця 1

| Зображення | Значення ентропії | Значення SSIM |
|--|-------------------|---------------|
| Панхроматичне (Pan) | 7.3535 | 1 |
| Мультиспектральне (Mul) | 7.4022 | 0.68 |
| Зображення за запропонованим алгоритмом (Fusion) | 7.5118 | 0.92 |

При порівнянні різних методів пропонується також використовувати відносну безрозмірну глобальну помилку (ERGAS), яка обчислює «кількість» спектральних спотворень фотограмметричних сканерних зображень. Розраховується ERGAS наступним чином:

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2} \quad (4)$$

де h/l — відношення між піксельними розмірами панхроматичного та багатоспектрального зображень (наприклад, $1/4$ для IKONOS); $\mu(n)$ — середнє n -каналу; N — кількість спектральних каналів (смуг).

У таблиці 2 наведені значення ERGAS для синтезованих мультиспектральних зображень, отриманих окремо відомими методами злиття (HSV, Wavelet) і запропонованим у роботі алгоритмом. У результаті обробки реальних зображень було виявлено, що класичні методи дозволяють вирішувати завдання підвищення просторового розрізнення, однак, всі вони більшою чи меншою мірою вносять спотворення передачі кольору. Крім того, аналіз результатів свідчить про те, що синтезоване зображення з максимальною деталізацією (інформативністю) досягається при комплексуванні за запропонованою технологією з попередньою еквалізацією вихідних зображень.

Таблиця 2

| Метод | Метрика ERGAS |
|-------------------------|---------------|
| HSV | 6.8427 |
| Wavelet | 2.9924 |
| Запропонований (Fusion) | 1.7295 |

На рисунку 3 представлені зображення: до обробки – панхромне (рис.3а), мультиспектральне (рис.3б), і мультиспектральне зображення після обробки запропонованим у роботі алгоритмом (рис.3в).

Висновки і перспективи подальшого дослідження. Аналіз отриманих результатів свідчить, що запропонований алгоритм перевершує можливості класичних методів підвищення просторової здатності багатоканальних сканерних зображень (інформативність підвищується при зменшенні кольорних спотворень). Взагалі, досвід застосування методів ДЗЗ, які використовують ГЧ-діапазон електромагнітних хвиль, показав, що цей напрям дозволяє розпізнавати об'єкти не тільки по їх формі і внутрішній структурі (як це робиться при візуальному дешифруванні даних дистанційних вимірювань), а

по набору дистанційно вимірювальних кількісних характеристик. Це є найважливішою науковою задачею, рішення якої дозволить перейти до використання формалізованих підходів при виявленні та моніторингу потенційно небезпечних об'єктів і явищ.

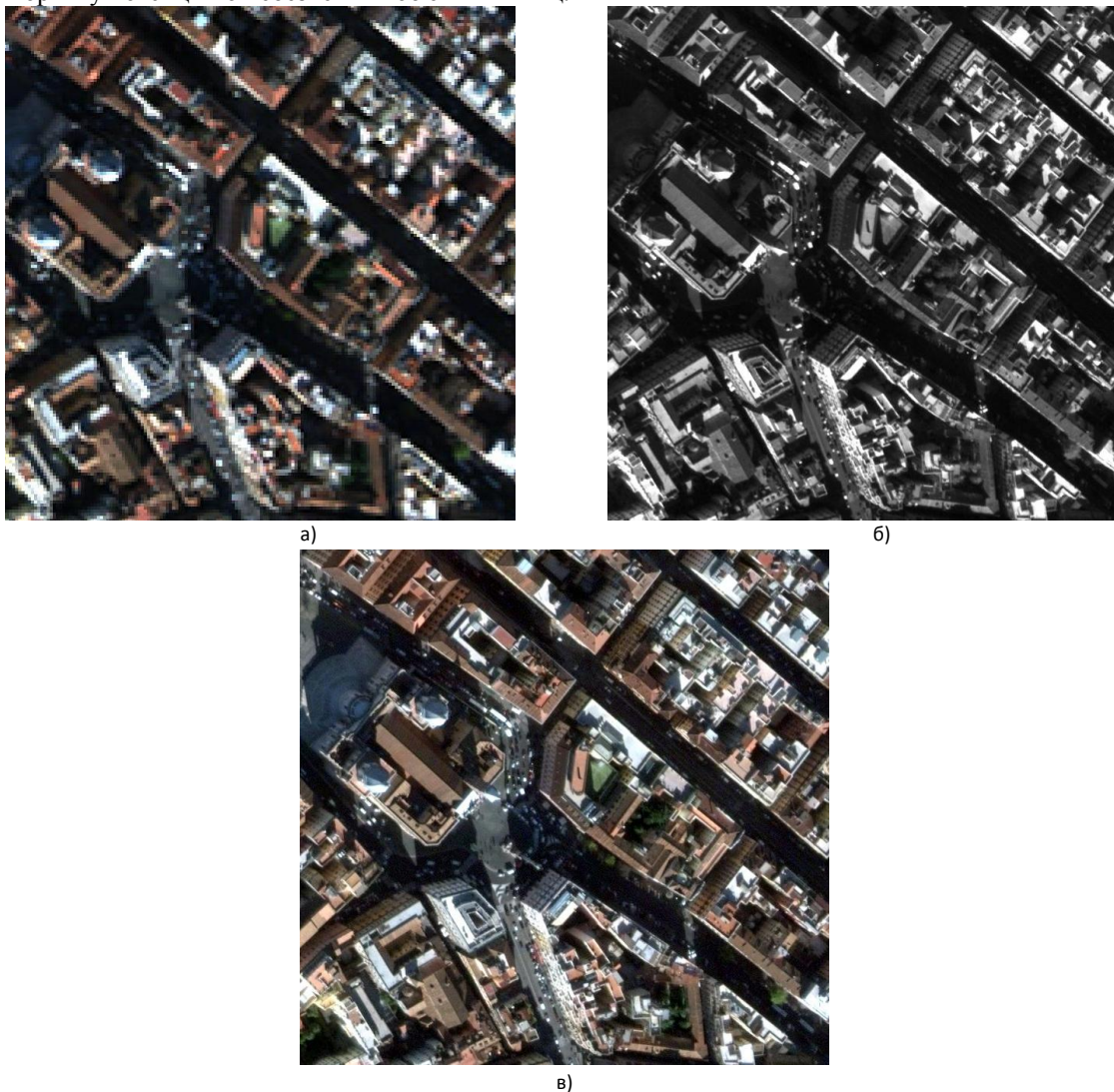


Рис.3. Приклад зображень:

а) первинне мультиспектральне, б) первинне панхромне, в) синтезоване після обробки запропонованим алгоритмом

Література

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Часть 1 - М.: Техносфера, 2010. - 560 с.
2. Коберниченко В.Г. Методы синтеза изображений на основе данных дистанционного зондирования Земли различного разрешения / В.Г. Коберниченко, В.А. Тренихин // Успехи радиоэлектроники. — 2007. — № 4. — С. 22 –31.
3. Hnatushenko V. Computer technology more informative multispectral images of the earth surface / V. Hnatushenko, A. Safarov // Applied Geometry and Engineering Graphics. - K.: KNUBA, 2012. - Vol. 89. – С. 140-144.
4. Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J.L. Van Genderen // International journal of remote sensing. – 1998. – Vol. 19. – No. 5. – P. 823-854.
5. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов : Пер. с англ. – М.:Мир, 2005. – 671с., ил.