

ТЕХНОЛОГІЯ ЗЛИТТЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ ТА БІКУБІЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

В даній статті пропонується метод формування нового синтезованого мультиспектрального зображення із збільшенням просторового розрізнення. Метою дослідження є створення нової технології для поліпшення зображення з використанням бікубічної інтерполяції, комплексного вейвлет-перетворення та використання кольорової моделі HSV. Запропонований алгоритм з використанням стаціонарного та дискретного вейвлет-перетворень. Запропонований алгоритм був протестований на еталонних супутникових зображеннях. Кількісні показники (PSNR та RMSE) та візуальні результати показали перевагу запропонованого методу у порівнянні з існуючими методами покращення просторового розрізнення. Результати роботи можуть бути використані при подальшому розпізнаванні об'єктів та тематичній обробці знімків.

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

В.В. ГНАТУШЕНКО, В.Ю. ШЕВЧЕНКО
Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ТЕХНОЛОГИЯ СЛИЯНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ И БИКУБИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

В данной статье предлагается метод формирования нового синтезированного мультиспектрального изображения с увеличением пространственного разрешения. Целью исследования является создание новой технологии для улучшения изображения с использованием бикубической интерполяции, комплексного вейвлет-преобразования и использования цветовой модели HSV. Предложен алгоритм с использованием стационарного и дискретного вейвлет-преобразований. Предложенный алгоритм был протестирован на эталонных спутниковых изображениях. Количественные показатели (PSNR и RMSE) и визуальные результаты показали преимущество предложенного метода по сравнению с существующими методами улучшения пространственного разрешения изображений. Результаты работы могут быть использованы при дальнейшем распознавании объектов и тематической обработке снимков.

Ключевые слова: слияние, HSV-преобразование, сканерное изображение, дискретное вейвлет-преобразование, стационарное вейвлет-преобразования, адаптивная гистограммная эквалізація, бикубическая интерполяція.

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

IMAGE FUSION TECHNOLOGY USING WAVELET TRANSFORMATIONS AND BICUBIC INTERPOLATION

This article discusses to improve the spatial quality in multispectral satellite images. The aim was the satellite image resolution enhancement technique based on the interpolation of the high-frequency sub bands obtained by complex wavelet transform, the input image, bicubic interpolation and using HSV color model. The proposed resolution enhancement technique uses stationary and discrete wavelet transforms to decompose the input image into different sub bands. Then, the high-frequency sub band images and the input low-resolution image have been interpolated, followed by combining all these images to generate a new resolution-enhanced image by using inverse DWT. In order to achieve a sharper image, an intermediate stage for estimating the high-frequency sub bands has been proposed. The proposed technique has been tested on satellite benchmark images. The quantitative (PSNR and RMSE) and visual results show the superiority of the proposed technique over the conventional and state-of-art image resolution enhancement techniques. The results can be used to develop new technologies for the improvement of spatial resolution.

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

Постановка проблеми

Актуальною областю сучасних наукових досліджень є синергетична обробка (злиття) фотографічних даних декількох каналів з метою одержання штучного зображення із покращеними

показниками інформативності у порівнянні із первинними знімками та їх подальший аналіз [1]. Під підвищенням інформативності аерокосмічного зображення в даній роботі розуміється підвищення його роздільної здатності для того, щоб на ньому було можливим бачити те, що не видно на знімках низького розрізнення. Однією з задач, що виникають при сумісній обробці зображень різних каналів є передискретизація (інтерполяція). До завдання передискретизації ставляться високі вимоги по точності, оскільки кожне перетворення веде до накопичення помилки. Зазначимо, що інтерполяція зображення може привести до сильного розмиття останнього. В даний час при обробці зображень використовуються, в основному, білінійна і бікубічна інтерполяції. Основною перевагою цих методів є висока швидкість реалізації, однак їхнє застосування приводить до досить сильних артефактів, що при усе зростаючих вимогах до якості інтерполяції істотно обмежує область їхнього застосування. Недолік методу білінійного перетворення — оптична щільність пікселя є штучною і не відповідає реальності. Проведені дослідження підтвердили необхідність розробки більш ефективного методу передискретизації сканерних зображень з урахуванням специфіки їхнього формування.

Аналіз публікацій по темі дослідження

На даний час існують різні методи об'єднання фотограмметричних зображень, що дозволяють підвищити інформативність багатоспектральних знімків [2-4]. Нажаль, використання відомих методів підвищення просторового розрізнення багатоканальних зображень не дає прийняттого результату. Спільною та основною проблемою, пов'язаною зі злиттям сканерних зображень, отриманих сучасними аерокосмічними системами, є істотне колірне порушення. Причиною таких спотворень є той факт, що існуючі алгоритми, головним чином, розроблялися для об'єднання зображень супутника SPOT. На відміну від відповідних характеристик зазначеного космічного апарату довжина панхром-хвилі сучасних супутників (Worldview-2, Worldview-3 та ін.) була розширена від видимого до ближнього інфрачервоного діапазону.

Формулювання цілей статті

Тому виникає необхідність у новій технології підвищення просторової розрізненості супутникових зображень з урахуванням фізичних механізмів фіксації видової інформації. Крім того, оскільки при вирішенні основної задачі виникає потреба у якості проміжного етапу проводити перерахунок цифрових зображень на іншу растрову сітку, то існує необхідність також в розробці ефективного методу інтерполяції.

Основна частина

В роботі практично реалізовані такі методи обробки, як бікубічна інтерполяція, адаптивна гістограмна 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.

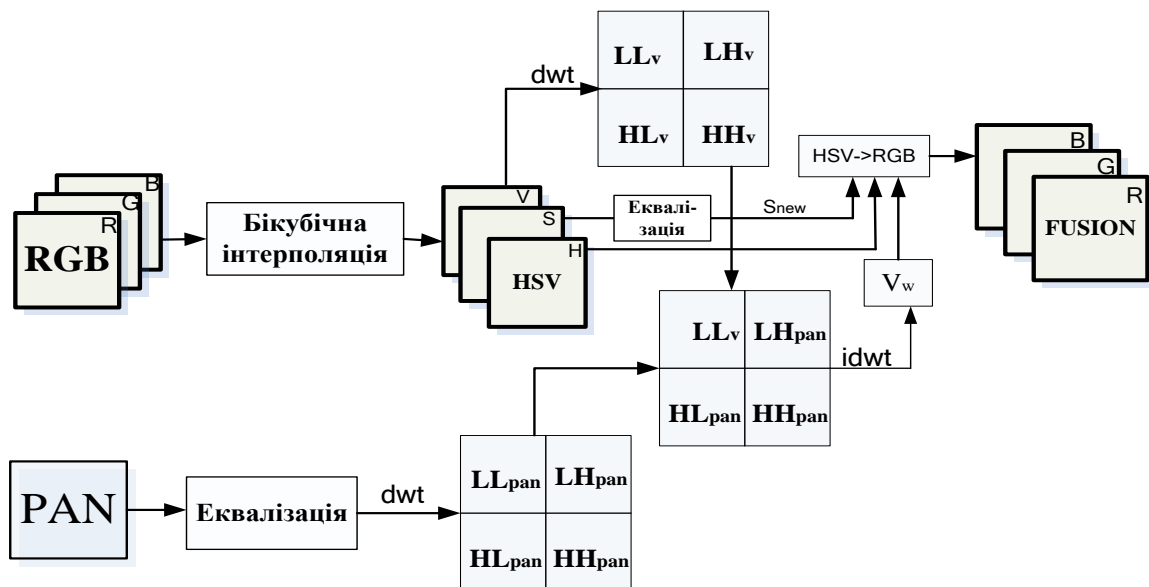


Рис.1. Схема алгоритму

Реалізація розробленого методу наступна:

1. Завантаження фотограмметричних сканерних зображень, отриманих з супутника: панхроматичне – PAN і мультиспектральне (RGB).
2. Здійснення адаптивної гістограмної еквалізації PAN-зображення, за допомогою якої можливо відкоригувати первинні зображення, вирівнявши інтегральні площі ділянок з різною яскравістю.
3. Застосування вейвлет-перетворення до зображення, одержаного на етапі 2.
4. Масштабування RGB-зображення на основі бікубічної інтерполяції, яка дає можливість отримати більш якісне зображення в порівнянні з білінійною інтерполяцією. Схема алгоритму представлена на рис. 2.

$$v(x,y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} \cdot P_{ij}, \quad (1)$$

де a_{ij} – коефіцієнт, P – інтенсивність зображення, яке масштабується.

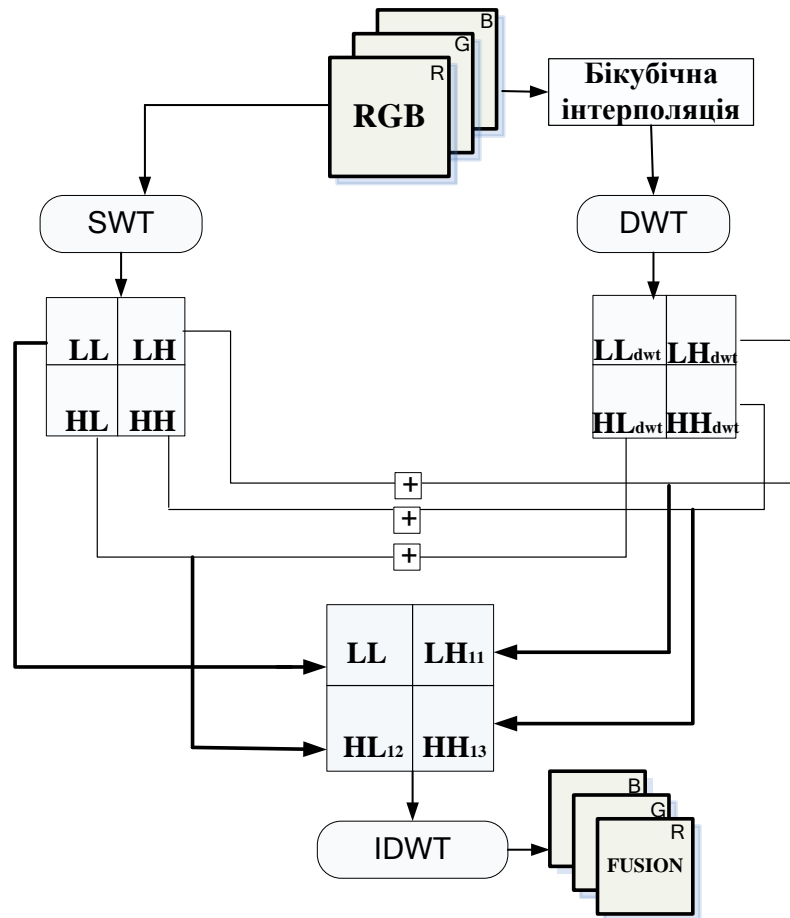


Рис.2. Схема інтерполяційного алгоритму

В результаті використання бікубічної інтерполяції при масштабуванні мультиспектрального зображення до розмірів панхроматичного отримуємо нечітке зображення (“розмите”), тому пропонується використовувати комплексне вейвлет-перетворення (DWT і SWT), за допомогою якого можна відновити високочастотні компоненти, які забезпечують зображення з хорошою чіткістю.

4.1. Застосування до мультиспектрального зображення (RGB) стаціонарного вейвлет-перетворення (SWT), яке розкладає його на апроксимуючі (LL) та деталізуючі (LH, HL, HH) компоненти.

4.2. Наступним етапом є застосування бікубічної інтерполяції до мультиспектрального зображення, а після нього – дискретного вейвлет-перетворення (DWT) з розкладанням на апроксимуючі (LL_{dwt}) та деталізуючі (LH_{dwt}, HL_{dwt}, and HH_{dwt}) компоненти:

$$W_{\theta}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \theta_{j_0, m, n}(x, y); \quad (2)$$

$$W_{\varphi}(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \theta^i_{j, m, n}(x, y); \quad (3)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_m \sum_n W_{\theta}(j_0, m, n) \cdot \theta_{j_0, m, n}(x, y) + \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{i=H,V,D} \sum_{j=j_0} \sum_m \sum_n W_{\varphi}(j, m, n) \theta^i_{j, m, n}(x, y) \quad (4)$$

де $f(x,y)$ – вхідне зображення, $W_{\theta}(j_0, m, n)$ – апроксимуючі коефіцієнти, $W_{\varphi}(j, m, n)$ – деталізуючі коефіцієнти.

4.3. На завершальному етапі додаємо різницю зображення, що містить високочастотні компоненти. В результаті отримуємо більш чітке зображення.

5. Перетворення одержаного на етапі 2 зображення з формату RGB в кольорову систему HSV (hue – колірний тон, saturation – насиченість, volume – яскравість) [5].

6. Застосування до компоненти S адаптивної гістограмної еквалізації. Отримуємо результат S_{new} .

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

8. Заміна в матриці компоненти V коефіцієнтів деталізації (LH_v , HL_v , HH_v) RGB-зображень на коефіцієнти (LH_{pan} , HL_{pan} , HH_{pan}) PAN.

9. Застосування оберненого 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 V_w .

10. На завершальному етапі перетворюємо зображення $HS_{new}V_w$ в RGB, щоб отримати нове кольорове зображення, яке в значній мірі зберігає спектральну здатність первинного зображення. Отримання остаточного результату FUSION підвищеної просторової здатності з мінімізацією колірних спотворень.

Запропонований алгоритм був протестований на супутникових зображеннях Worldview-2. На рисунку 3 представлені фрагменти зображень: первинне панхромне (рис.3а), мультиспектральне (рис.3б), і мультиспектральне зображення після обробки запропонованим у роботі алгоритмом (рис.3в).



а)



б)



в)

Рис.3. Приклад зображень:

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

Не тільки візуальне порівняння, але і кількісні показники підтвердили переваги запропонованого методу. Для отримання кількісних результатів були розраховані показники PSNR та ERGAS. Найбільш часто використовується пікове відношення сигнал-шум ($PSNR$), яке означає співвідношення між максимумом можливого значення сигналу і потужністю шуму, що спотворює значення сигналу:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{L^2}{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I_r(x, y) - I_f(x, y))^2} \right), \quad (5)$$

де L — кількість рівнів яскравості зображення; M і N — кількість рядків та стовпців в зображенні. Безрозмірна глобальна похибка у синтезі (ERGAS):

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{RMSE(k)}{\mu(k)} \right)^2}, \quad (6)$$

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

Значення ERGAS вище ніж 3 відповідає одержаному зображенню низької якості. Якщо ERGAS менше за три, то якість зображення вважається задовільною.

У табл. 1 наведено розраховані коефіцієнти PSNR та ERGAS, розраховані для первинного (мультиспектрального) та синтезованого зображень (розмір фрагментів зображень 256*256).

Таблиця 1

Кількісні показники	PAN	MUL	Оброблене зображення (Fusion)
ERGAS	-	4,06	2,41
PSNR	13,6512	11,9751	20,9323

Висновки і перспективи подальшого дослідження

Аналіз отриманих результатів свідчить, що запропонований метод на основі комплексного вейвлет-перетворення та бікубічної інтерполяції підвищує інформативність аерокосмічних зображення, що дозволяє класифікувати (розрізнити) деталі зображення на всіх його ділянках. Наші подальші дослідження будуть присвячені удосконаленню запропонованої технології при обробці багатоканальних цифрових зображень із залученням інформації, отриманої в інфрачервоному діапазоні.

Список використаної літератури

1. Schowengerdt R. Remote sensing: models and methods for image processing / R. Schowengerdt. – New York: Academic Press, 2007. – 560 p.
2. Zhu. Y. Wavelet Domain Image Interpolation via Statistical Estimation / Y. Zhu, S. Schwartz, M.T. Orchard, // 2001 Int. Conf. on Image Processing (7-10 October 2001, Thessaloniki, Greece). – New York: The Printing House, 2001. – Vol. 3. – P. 840–843.
3. Temizel A. Image Resolution Enhancement using Wavelet Domain Hidden Markov Tree and Coefficient Sign Estimation / A. Temizel // ICIP 2007 (16-19 September 2007, Sun Antonio, USA). – Danvers: Copyright Clearance Center, 2007. – Vol. 5. – P. V-381–V-384.
4. Chuandai D. MAP-Based Image Superresolution Reconstruction / Dong Chuandai, Song Daojin, Li Hongkui, Liu Xueting // International Journal of Computer Science and Engineering. – 2008. – Vol. 2. – № 3. – P. 125–128.
5. Гнатушенко В.В. Злиття аерокосмічних зображень високого просторового розрізнення на основі HSV-перетворення та вейвлет-декомпозиції / В.В. Гнатушенко, В.Ю. Шевченко // Вісник ХНТУ. – Херсон, 2014. – № 2 (47). – С. 100-105.