

## МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

к.т.н. В.В. Гнатушенко, к.т.н. В.В. Гнатушенко  
(подав д.т.н., проф. Д.В. Голкін)

*У роботі пропонується метод злиття зображень з різними спектральними характеристиками та еквівалентною розрізнявальною здатністю з метою отримання панхроматичного зображення більш високого просторового розрізнення. Розроблена методика, що базується на врахуванні міжканального піксельного зсуву одночасно отриманих зображень у різних спектральних діапазонах.*

**Загальна постановка проблеми та її зв'язок із науково-практичними завданнями.** Технічні можливості сучасних супутників обмежують досягнути якість зображень дистанційного зондування. У багатьох випадках кожен користувач має вибір між панхроматичним зображенням високого просторового розрізнення з нестачею спектральної інформації і зображеннями, отриманими в декількох спектральних діапазонах з більш низькою роздільною здатністю. Зрозуміло, що загальна проблема підвищення роздільної здатності для мультиспектральних зображень може бути вирішена відповідно до припущення, що доступні як мультиспектральні, так і панхроматичне зображення однієї ділянки земної поверхні. Але висока вартість одержання множинних наборів даних часто усуває цей підхід.

**Аналіз останніх досліджень.** Більшість алгоритмів, пов'язаних із просторовим поліпшенням цифрових зображень, заснована на їх лінійній локальній обробці і зводиться до згортки зображення з ковзною маскою [1 – 3]. В алгоритмічному відношенні дана операція здійснює локальне усереднення (у загальному випадку з різними вагами) кожного пікселя цифрового зображення по множині навколишніх його пікселів, що задається розміром маски. За допомогою цих методів досягнуті істотні результати в області контрастування зображень, усунення періодичних шумів, виділення контурів. Великі перспективи мають методи просторового поліпшення, що полягають у злитті зображень панхроматичного і мультиспектральних каналів. У результаті синтезується нове зображення з більш високим просторовим розрізненням, ніж вихідне мультиспектральне зображення, яке теоретично зберігає інформативні характеристики останнього. Але ефективне застосування цих методів пов'язано із забезпеченням ряду умов, виконання яких вимагає попередньої

обробки мультиспектрального зображення: 1) геоприв'язки вихідних панхромного і мультиспектрального зображень або гарантованого представлення ними однієї ділянки земної поверхні; 2) зображення повинні мати однакові розмірність і проекції пікселів на земну поверхню. Виконання другої вимоги здійснюється шляхом збільшення просторової частоти мультиспектрального зображення, що призводить до його просторового перекручування, особливо істотного для малорозмірних об'єктів.

Значні перспективи застосування мають методи підвищення просторового розрізнення мультиспектральних зображень, засновані на їхньому розкладанні на компоненти різних просторових масштабів у межах одного пікселя, відомі під назвою методів просторового змішаного аналізу (Spectrum Mixture Analysis). Ці методи засновані на тому, що яскравість елемента поверхні, що покривається миттєвим полем зору сенсора для кожного спектрального каналу, являє собою суму яскравостей компонент різних просторових масштабів, що являють собою зображення об'єктів із різними випромінювальними здатностями. Виділення зображення заданого масштабу можливо лише у випадку попереднього завдання випромінювальних здатностей відповідних об'єктів для всіх спектральних каналів. Прикладна значимість цих методів інтерпретації відеоданих дистанційного зондування обмежується необхідністю великої кількості апріорних даних щодо складу, кількості просторових компонентів кожного елемента дозволу і їхніх випромінювальних здатностей.

Одним із напрямків обробки цифрових зображень, що найбільш динамічно розвиваються, є фільтрація на основі локалізованих спектральних базисів, відома під назвою вейвлет-перетворень [4]. На принципах вейвлет-фільтрації заснований ряд методів виділення малорозмірних об'єктів на цифрових знімках шляхом заглушення на них просторових низькочастотних шумів. Реалізуючі чисельні алгоритми, однак, зводяться до погано обумовлених систем лінійних рівнянь, що вимагає застосування складних методів регуляризації з використанням апріорних даних про геометричні форми малорозмірних об'єктів і призводить до істотного підвищення часових витрат на обробку. Деякі автори [2, 3, 5] для підвищення розрізнення пропонують використовувати метод сплайн-інтерполяції, тим самим розширюючи спектр просторових частот зображення, збільшуючи частоту дискретизації і зменшуючи розмір пікселя. Потім використовується метод зняття розмиття зображення за допомогою операції деконволюції з регуляризацією, але чіткість зображення все одно залишає бажати кращого.

**Формулювання цілей статті.** Ціль роботи полягає в тому, щоб одержати панхроматичне зображення більш високого просторового розрізнення без втрати спектральної інформації та погіршення візуальних характеристик.

**Основна частина та результати дослідження.** Наш підхід використовує властивість багатоспектрального набору даних — зсув між відповідними пікселями одночасно зафіксованих зображень. Наприклад, для зображень, отриманих КА ряду SPOT (Франція), зазначений максимальний зсув не перевищує третьої частини пікселя [6]. Це значення описує радіус окружності, куди потрапляють усі відповідні пікселі різних діапазонів. Фактичний зсув змінюється рівномірно в межах кожної решітки. Спектральні смуги двох діапазонів видимої області довжин хвиль ( $S_1$ ,  $S_2$ ) покривають майже той же самий спектральний діапазон, що і панхроматична смуга ( $P$ ) і обоє з них показують подібні характеристики. Тому процес злиття переміщених пікселів діапазонів  $S_1$  і  $S_2$  стає майже прямим. Крім того, для стадії виконання й перевірки мається можливість порівняння досягнутого результату з діапазоном  $P$  (якщо доступний) як з еталоном. Використання додаткового третього діапазону ближньої інфрачервоної області спектра ( $H$ ) пов'язано з наявністю результуючого зображення  $S_{12}$  з більш високим розрізненням і може бути здійснено за допомогою однієї з відомих процедур злиття [1], [2]. Кінцеве зображення  $S_H$  зберігає більшість очевидних особливостей діапазону ближнього інфрачервоного діапазону, але з кращою роздільною здатністю, використовуючи додаткову інформацію діапазонів видимих частот спектра.

Таким чином запропонований процес підвищення роздільної здатності складається з трьох кроків:

1) обчислення локального зсуву між відмінними спектральними діапазонами;

2) просторове злиття видимих діапазонів довжин хвиль і перевірка в дискретних координатах пікселя з подвоєним просторовим розрізненням первісних даних;

3) злиття результуючого зображення більш високого просторового розрізнення  $S_{12}$  із зображенням ближнього інфрачервоного діапазону.

Вимірювання зсуву ґрунтується на обчисленні кореляції між різними спектральними діапазонами. Обчислення використовує суб-зображення реальних образів, тому що зсув варіює по напрямку й особливо залежить від ПЗЗ елемента. Щоб одержати більш гострий пік кореляції і виключити вплив різних спектральних гістограм, зображення дискретизують. Для інтерполяції використовується функція Kaiser-Sinc, тому що дослідження для SPOT зображень показали, що це призводить до кращих результатів, ніж, наприклад, кубічні чи В-сплайн інтерполятори [5]. Нарешті, середнє обох інтерпольованих зображень призводить до одержання нового синтетичного зображення  $S_{12}$ . Для випадку використання цього зображення при одержанні  $S_H$  процедура повинна бути організована щодо системи координат зображення  $H$ .

Використовуємо результат попередньої стадії (зображення з більш високим розрізненням S12), щоб об'єднати високу просторову інформацію зі спектральним змістом ближнього інфрачервоного діапазону. Відомо кілька методів, що комбінують ближній інфрачервоний діапазон із зображенням видимого діапазону довжин хвиль із більш високим розрізненням [1, 7, 8], однак найбільш надійною є процедура високочастотної фільтрації. Пропонується комбінація відфільтрованих НЧ версії зображення з невисоким розрізненням і ВЧ версії зображення більш високого розрізнення. Таким чином зберігається спектральна інформація Н і вводиться просторова інформація зображення S12. Частота зрізу НЧ фільтра повинна бути обрана якомога нижче, щоб мінімізувати вплив на третій діапазон. Прийнятне значення для частоти зрізу – частота Найквіста багатоспектрального діапазону Н.

Описаний алгоритм було застосовано до трьох багатоспектральних зображень, одержаних з космічного апарату SPOT-3 (рис. 1).

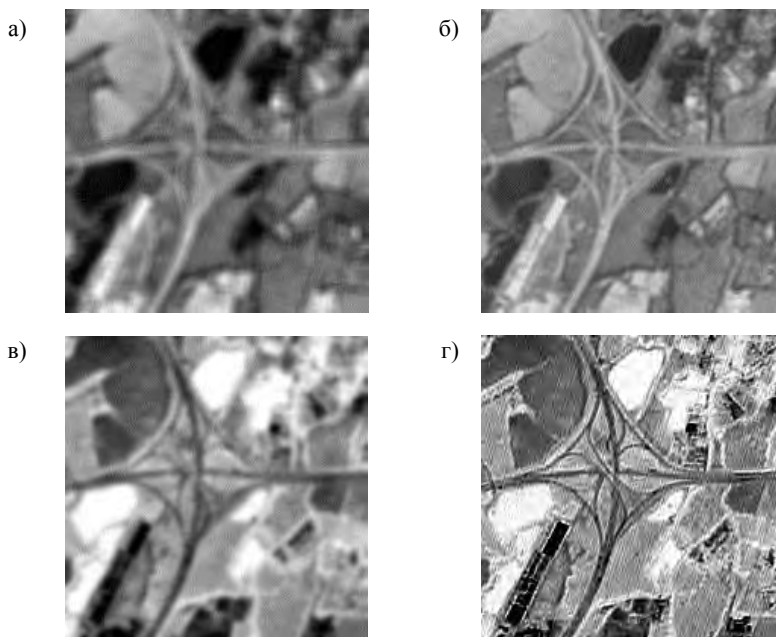


Рис. 1. Приклад використання запропонованого алгоритму

На рис. 1, а, б наведені фрагменти діапазону S1 та результуючого зображення S12 із просторовою роздільною здатністю 20 і 10 м відповідно. На рис. 1, в, г подані відповідно реальне зображення ближнього інфрачервоного діапазону Н і заключне зображення SH, що використовує просторову інформацію S12.

Порівняння результатів на рисунках доводить ефективність запропонованого алгоритму. Нові зображення (S12, SH) здаються більш чіткими з більш вираженими на них штучними структурами.

**Перспективи подальших досліджень.** Подальші дослідження будуть пов'язані з узагальненням алгоритму до гіперспектральних супутникових зображень.

**Висновки.** Запропонований новий метод об'єднання мультиспектральних зображень дистанційного зондування дав змогу підвищення просторової роздільної здатності космічних знімків без допоміжного використання реального панхроматичного зображення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Под ред. Т.С. Хуанга. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
2. Cliché G., Bonn F., and Teillet P. Integration of the SPOT panchromatic channel into multispectral mode for image sharpness enhancement. // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 1985. – Vol. 51. – № 3. – P. 811 – 816.
3. Welch R., Ehlers M. Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data. // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 1987. – Vol. 53. – № 3. – P. 301 – 303.
4. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // *Успехи физических наук*. – 2001. – Т. 171, № 5. – С. 465 – 501.
5. Johnston R., Alwesh N., Lane R.G. and Bones P.J. SPOT Image Interpolation. // *Proceedings of DICTA / IVCNZ '97 (1997)*. – P. 183 – 188.
6. Henry C., Juvigny A., and Serradeil R. High resolution detection sub-assembly of the SPOT camera: On-orbit results and future developments. // *Acta Astronautica*. – 1988. – Vol. 17, № 5. – P. 545 – 551.
7. Price J.C. Combining panchromatic and multispectral imagery from dual resolution satellite instruments. // *Remote Sensing of Environment*. – 1987. – Vol. 21. – P. 119 – 129.
8. Toutin Th. Review Paper: Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods // *International Journal of Remote Sensing, Canada*, 24, 2003.

Надійшла 10.02.2004

**ГНАТУШЕНКО Володимир Володимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедри електронних засобів телекомунікацій Дніпропетровського національного університету. У 1999 році закінчив Дніпропетровський національний університет. Область наукових інтересів – обробка зображень.

**ГНАТУШЕНКО Вікторія Володимирівна**, канд. техн. наук, асистент кафедри інформаційних технологій і систем Національної Металургійної Академії України. У 1999 році закінчила Дніпропетровський національний університет. Область наукових інтересів – ідентифікація підписів, нейромережні алгоритми.