

# Оптимізація просторової розрізненості багатоспектральних растрових зображень на основі вейвлет перетворень

Гордієнко О.М.

Дніпропетровський національний університет, Україна  
gan@itn.com.ua

## Анотація

Досліджується вплив запропонованого критерію оптимізації на зміну спектрального та просторового розрізнення растрових зображень проєкційної природи, синтезованих на засадах вейвлет-аналізу.

## 1. Вступ

Вейвлет-перетворення є одним з основних методів суміщення декількох зображень у одному (синтезованому) зображенні (image fusion) для збільшення, з позицій розпізнавання, інформативності [1, 2]. Найбільш характерним прикладам застосування цих технологій є підвищення просторової розрізненості первинних багатоспектральних цифрових зображень шляхом суміщення їх апроксимаційних компонент, одержаних на основі вейвлет-декомпозиції з деталізуючими коефіцієнтами відповідних панхромних зображень. У роботі [3] ця проблема вейвлет-синтезу таких зображень була сформульована як оптимізаційна задача за критерієм максимізації сигнальної ентропії. В даній роботі пропонується новий варіант цієї методики, який враховує не лише інформаційний критерій, а й низку кількісних параметрів синтезованого зображення, суттєвих для його аналізу та інтерпретації.

## 2. Кількісні характеристики синтезованих зображень

Розподіл яскравості кожного спектрального каналу синтезованого зображення можна подати у вигляді

$$F(\vec{r}) = M_L^{(a)}(\vec{r}) + \sum_{k=1}^L [b_k M_k^{(d)}(\vec{r}) + c_k P_k^{(d)}(\vec{r})], \quad (1)$$

де  $M_k^{(a)}(\vec{r})$ ,  $M_k^{(d)}(\vec{r})$ ,  $P_k^{(d)}(\vec{r})$  – відповідно апроксимуюча, деталізуюча компоненти первинного багатоспектрального зображення та деталізуюча компонента первинного панхромного зображення, отримані на  $k$  рівні вейвлет-декомпозиції. Через  $b_k$ ,  $c_k$  позначені вагові коефіцієнти, які підлягають визначенню за критерієм максимальної інформативності синтезованого зображення.

Використовуємо наступні кількісні характеристики цифрових зображень:

### 1. Сигнальна ентропія

$$E = -\sum_{n=0}^{255} p_n \log_2 p_n, \quad (2)$$

де  $p_n = nQ_n / \sum_{m=0}^{255} mQ_m$ , через  $Q_n$  позначено кількість пікселів з рівнем яскравості  $n$  ( $n=0, \dots, 255$ ).

Зазначимо, що в рамках означення (2) величина  $E$  збільшується при збільшенні кодів яскравості.

### 2. Інтегральна інформативність

$$I = N \cdot M \cdot E, \quad (3)$$

де  $N$ ,  $M$  кількість пікселів в горизонтальному та вертикальному напрямках зображення.

3. Медіана множин кодів яскравості зображення. Збільшення відношення медіани до середнього значення цієї множини пов'язані зі збільшенням тонового контрасту [4, 5].

4. Гранична просторова частота  $\Omega_{cp}$  еквівалентної синтезованому зображенню

умовної іконічної системи. За аналогією з роботою [6] зв'язок між  $\Omega_{ep}$  та інформативністю для цифрових багатоспектральних зображень означаємо співвідношенням

$$\Omega_{ep}^2 = \frac{I}{N \cdot M \cdot \log_2 \left[ \sum_{(i)} n_i k_i + 1 \right]}, \quad (4)$$

де  $k_i$  – кількість спектральних каналів,  $n_i$  – динамічний діапазон кодів яскравості відповідного спектрального каналу. Значущість цієї характеристики впливає з фізичного механізму фіксації зображень іконічними системами, в основі якого лежить фокусування випромінювання носія відеоінформації від об'єкту на сенсорному середовищі. Процес формоутворення зображення може бути поданий як обробка інтенсивності цього випромінювання фільтром нижніх частот с граничною частотою  $\Omega_{ep}$ , причому мінімальний лінійний розмір об'єкту, який ще розрізняється на зображенні складає  $\Omega_{ep}^{-1}$ . Таким чином, збільшення  $\Omega_{ep}$  означає підвищення просторового розрізнення, а синтез зображення, шляхом суміщення в ньому інформаційних складових первинних зображень, може бути трактовано як результат оброблення первинного багатоспектрального зображення цифровим фільтром з  $\Omega_{ep}$ , відмінною від граничної просторової частоти, що відповідає первинному зображенню.

5. *Умовна ентропія* [7]. Показник, який є мірою залежності одного зображення ( $Y$ ) відносно іншого ( $X$ ) та визначається як:

$$H(Y|X) = \sum_{i=1}^n p(x_i) H(Y|x_i), \quad (5)$$

де  $H(Y|x_i) = -\sum_{j=1}^m p(y_j|x_i) \log_2 p(y_j|x_i)$  – часткова умовна ентропія,  $p(y_j, x_i)$  – умовна

ймовірність, яка описується за допомогою матриці:

$$p(y_j, x_i) = \begin{bmatrix} p(y_1|x_1) & p(y_2|x_1) & \dots & p(y_m|x_1) \\ p(y_1|x_2) & p(y_2|x_2) & \dots & p(y_m|x_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p(y_1|x_n) & p(y_2|x_n) & \dots & p(y_m|x_n) \end{bmatrix}.$$

Слід зазначити, що чим менше значення  $H(Y|X)$  тим менше нових відомостей міститься у  $Y$  зверх тих які містяться у  $X$ .

### 3. Методика вейвлет-синтезу складених багатоспектральних зображень

З урахуванням інформаційної значущості, наведених вище кількісних показників цифрових зображень, визначення множин вагових коефіцієнтів  $a = \{a_k, k = \overline{1, L}\}$ ,  $b = \{b_k, k = \overline{1, L}\}$  на рівні декомпозиції  $L$  у виразі (1), за яких здійснюється формування кожного із спектральних каналів синтезованого зображення, формулюємо як оптимізаційну задачу

$$\frac{E(a, b, L) \cdot M(a, b, L)}{S(a, b, L)} \rightarrow \max \quad (6)$$

при обмеженні

$$\Omega_{ep}^{(c)}(a, b, L) \geq \Omega_{ep}^{(m)}, \quad (7)$$

де  $S(a, b, L)$ ,  $M(a, b, L)$  – середньо-квадратичне значення та медіана кодів яскравості синтезованого зображення;  $\Omega_{ep}^{(c)}$ ,  $\Omega_{ep}^{(m)}$  – гранична просторова частота відповідно синтезованого та первинного багатоспектрального зображення.

При розв'язанні оптимізаційної задачі (6), (7) використано ортогональний вейвлет Добеші 8 порядку.

На Рис. 1, 2 наведені первинні панхромне та мультиспектральне зображення. На Рис. 3, 4 наведені зображення, отримані за вирішення оптимізаційної задачі.

Відповідні результати та оцінки синтезованих зображень наведені у Таблиці 1 (у стовпцях подані



Рис 1: Первинне панхромне (PAN) зображення.



Рис 2: Первинне мультиспектральне (MUL) зображення.



Рис 3: Синтезоване (SYN) зображення за оптимальним ентропійним критерієм: вейвлет Добеші 8 порядку, 10 рівень декомпозиції.



Рис 4: Синтезоване (SYN) зображення за оптимальним штучним критерієм: вейвлет Добеші 8 порядку, 9 рівень декомпозиції.

Таблиця 1: Оцінка параметрів первинних та синтезованих зображень

Параметри	1	2	3	4
Сигнальна ентропія	7.4184	12.2080	13.5272	13.4840
Граничне значення частоти	0.9709	1.1104	1.1304	1.1286
Середнє значення	120.5879	124.3855	115.0483	119.7467
Середнє квадратичне значення	49.5932	48.2725	68.4654	70.9343
Медіана	116.000	116.000	108.000	114.000
Відносна ентропія (SYN PAN)	–	–	4.088446	6.608378
Відносна ентропія (SYN MUL)	–	–	5.704099	5.894837

значення кількісних показників для: 1 – первинного панхромного зображення, 2 – первинного мультиспектрального зображення, 3 – синтезованого зображення за оптимальним ентропійним критерієм, 4 – синтезованого зображення за (6), (7)). Аналіз цих даних доводить, більшу ефективність критерію (6) для отримання синтезованих зображень в частині збільшення просторової розрізненості. Зазначено також, що за використання запропонованого критерію зменшується оптимальне значення рівня декомпозиції. Підвищення просторового розрізнення підтверджується значеннями умовної ентропії, наведених у Таблиці 1, відносно відповідних первинних зображень. Крім того, більше значення відносної ентропії синтезованого зображення за введеним критерієм, відносно первинного панхромного зображення, на відміну від синтезованого зображення за ентропійним критерієм, свідчить про більшу ефективність методу синтезу за критерієм (6) в отриманні зображення з високою просторовою розрізненістю.

Використання запропонованого критерію оптимізації вейвлет-синтезу дозволяє також досягти розширення динамічного діапазону яскравості зображення в цілому, що підтверджується Рис. 5, на якому наведено графіки розподілу кодів яскравості для панхромного (PAN), синього піддіапазону первинного мультиспектрального зображення (MUL (B)) та синього піддіапазону синтезованого багатоспектрального зображення (SYN (B)).

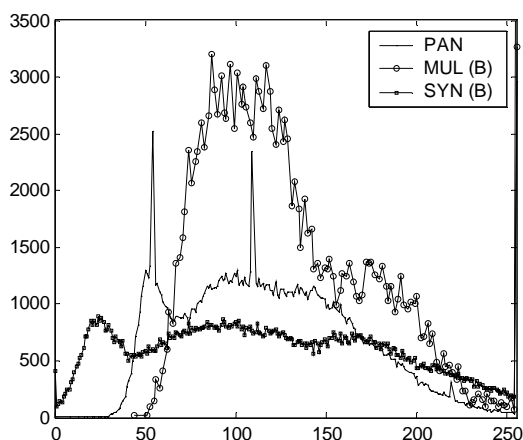


Рис 5: Порівняння діапазонів розподілу кодів яскравості зазначених зображень.

## 4. Висновки

Сформульовано оптимізаційну постановку проблеми синтезу багатоспектральних цифрових зображень на основі первинних панхромних та багатоспектральних цифрових знімків з використанням вейвлет-технології обробки фотографічних даних.

Запропонована методика визначення параметрів вейвлет-синтезу забезпечує збільшення просторової розрізненості синтезованих багатоспектральних зображень та їхнього динамічного діапазону у порівнянні з первинними багатозональними цифровими знімками.

## 5. Література

- [1] Tang Zhi Wei, Wang Jian Guo, Huang Shu Li. The Wavelet Transform Application For Image Fusion, *Proc. of SPIE*, Vol. 4058, №4, 2000, p. 462-469.
- [2] Zhou, I., Civco, D.I., Silander, J.A. A wavelet transform method in merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, №4, 1998, p.743-757.
- [3] Корчинський В.М., Гордієнко О.М. Підвищення інформативності проєкційних растрових зображень // *Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійської державної агротехнічної академії* – Вип. 4, т. 25. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – с. 33-37.
- [4] Лобанов А.Н., Жмуркин И.Г. Автоматизация фотограмметрических процессов. – М.: Недра, 1980. – 240 с.
- [5] Filho O.M., Neto H.N. Digital Image Processing. – L.: Brasport, 2000. – 388 p.
- [6] Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. т. 2: Многократное рассеяние / турбулентность / шероховатые поверхности и дистанционное зондирование. Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 318 с.
- [7] Жураковский Ю.П. Полтораки В.П. Теорія інформації та кодування. – К.: Вища школа, 2002. – 248 с.