

## ДЕКОРЕЛЯЦІЯ ПРОСТОРОВИХ РОЗПОДІЛІВ ЯСКРАВОСТІ В ОБРОБЦІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна*

*Запропоновано метод обробки багатоспектральних знімків із застосуванням QR-ортогоналізації на основі процесу Грама-Шмідта. Даний метод може бути реалізований трьома різними алгоритмами та дає якісні результати обробки за критерієм максимуму інформаційної ентропії.*

**Постановка проблеми.** Сучасні оптичні комплекси дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) фіксують багатоспектральні зображення (БСЗ), кожен окремих канал яких має самостійну інформаційну значущість щодо об'єкту зондування. Це ставить завдання збільшення інформативної значущості окремих каналів БСЗ з метою покращення візуальної якості БСЗ в цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основою методів збільшення інформативної значущості БСЗ, одержаних засобами ДЗЗ, є декореляція розподілів яскравості зображень окремих каналів БСЗ [1]. З геометричної точки зору декореляція означає ортогоналізацію багатомірних векторів, які подають розподіли яскравості зображень, отриманих у різних спектральних діапазонах – складових БСЗ. Існуючі на даний час методи такої ортогоналізації базуються, в основному, на аналізі головних компонент [2, 3], який не гарантує повної ортогоналізації. До числа найбільш ефективних методів декореляції просторових розподілів яскравості зображень належить метод ортогоналізації багатомірного векторного подання таких зображень на основі процесу Грама-Шмідта [1].

**Формулювання цілей та завдання статті.** Метою даної статті є розробка методу обробки БСЗ, що забезпечує збільшення інформативної значущості окремих каналів багатоспектрального растрового зображення та заснований на декореляції просторових розподілів яскравості цих зображень з використанням ортогоналізації Грама-Шмідта.

**Основна частина.** Для довільної матриці  $A$  розміром  $M \times N$  існують та єдині матриці  $Q$  розміром  $M \times N$  з ортогональними стовбцями та верхньотрикутна матриця  $R$  розміром  $N \times N$  з позитивними діагональними елементами такі, що

$$A = QR. \quad (1)$$

Розкладання (1) має назву  $QR$  - розкладання матриці  $A$  [3]. Класичним методом побудови  $QR$  - розкладання є процес ортогоналізації Грама-Шмідта, спрямований на отримання ортонормованого базису  $q_1, \dots, q_n$  підпростору, натягнутого на вектори-стовбці  $a_1, \dots, a_n$ . Вектори-стовбці  $q_1, \dots, q_n$  та  $a_1, \dots, a_n$  - це відповідно матриці  $Q$  та  $A$ .

Нехай заданий довільний набір векторів  $\{x_i\}_{i=1}^m$  у просторі  $R^n$ . Для побудови ортогонального набору векторів  $\{q_i\}_{i=1}^m$  покладемо  $q_1 = x_1$  та  $\rho_{jk} = (x_k, q_j)$ , тоді у відповідності з процесом ортогоналізації Грама-Шмідта [1]

$$q_k = x_k - \sum_{i=1}^{k-1} \rho_{ik} q_i. \quad (2)$$

В розроблюваному алгоритмі використовується узагальнений варіант розкладання Грама-Шмідта, де шукані вектори  $q_i$  ортогональні та при цьому не нормовані.

Ефективність розроблюваного методу оцінювалася за критерієм максимуму інформаційної ентропії [4],  $E = - \sum_{k=0}^{N-1} p_k \cdot \log_2 p_k$ , де  $p_k$  - частота

$k$ -го рівня яскравості,  $N$  – кількість числових рівнів яскравості, а геометричні структури отриманих зображень відносно первинних та отриманих різними способами між собою - за критерієм максимуму індексу структурної схожості

[5],  $S = \frac{(\mathbf{A} - \overline{\mathbf{A}}) \times (\mathbf{B} - \overline{\mathbf{B}})}{\|\mathbf{A} - \overline{\mathbf{A}}\|_2 \cdot \|\mathbf{B} - \overline{\mathbf{B}}\|_2}$ , де рискою зверху позначені середні значення рівнів

яскравості зображень; через  $\|\bullet\|_2$  - норми Фробеніуса матриць; символ  $\times$  позначає поелементний добуток матриць (матриці  $\mathbf{A}$  та  $\mathbf{B}$  мають однакову розмірність).

Метод розроблено із використанням вейвлет технологій оброблення двовимірних цифрових сигналів та технології об'єднання зображень "image fusion". Вейвлет розкладання здійснено до першого рівня за вейвлет базисом Добеші першого ступеню. Запропонований метод наведений у трьох різновидах

#### Спосіб 1.

1. Вейвлет розкладання всіх зображень вихідних каналів БСЗ.
2. Формування матриць, кількість яких визначається кількістю каналів БСЗ, що піддаються обробці, розміром  $G \times H$ , де  $G$  - це довжина вектору-стовбцю, у який витягнуто кожен з матриць деталізуючих коефіцієнтів, отриманих на попередньому етапі алгоритму,  $H=3$ , що відповідає кількості векторів-стовбців деталізуючих коефіцієнтів для кожного окремого каналу БСЗ.
3. QR-ортогоналізація на основі процесу Грама-Шмідта<sup>1</sup> із застосуванням матриць, сформованих на попередньому етапі, в результаті чого для кожного з вихідних каналів на основі векторів їх деталізуючих компонент отримано матриці  $Q$  ортогональних векторів-стовбців та  $R$  QR-розкладання.
4. Вейвлет реконструкція, на вхід якої поступають незмінна апроксимуюча частина, а вектори-стовбці горизонтальних, вертикальних та діагональних деталізуючих коефіцієнтів замінюються відповідними ортогоналізованими векторами-стовбцями, які масштабуються у матриці відповідного розміру.

Спосіб 2 повторює алгоритм першого способу, окрім етапів 2 та 3, опис яких наведений нижче:

2. Формування трьох матриць, кількість яких відповідає кількості векторів-стовбців деталізуючих коефіцієнтів для кожного окремого каналу БСЗ. Кількість стовбців кожної з матриць визначається кількістю каналів БСЗ, що піддаються обробці, відповідно кількість строк матриці - це довжина вектору-стовбцю, у який витягнуто кожен з матриць деталізуючих коефіцієнтів, отриманих на попередньому етапі алгоритму.

<sup>1</sup> Тут і надалі під терміном ортогоналізація та QR-ортогоналізація мається на увазі QR-ортогоналізація на основі процесу Грама-Шмідта у загальному випадку без вимоги нормалізації векторів

3. QR-ортогоналізація із застосуванням матриць, сформованих на попередньому етапі, в результаті чого окремо для горизонтальної, вертикальної та діагональної деталізуючих частин зображень всіх каналів БСЗ обчислюються відповідні ортогональні між собою нові горизонтальні, вертикальні та діагональні частини.

#### Спосіб 3.

1. Вейвлет розкладання всіх зображень вихідних каналів БСЗ.
2. Формування матриці, в якій стовбцями є горизонтальні, вертикальні та діагональні частини послідовно зображень всіх каналів БСЗ у порядку зниження їх просторової розрізненості, окрім зображення першого каналу.
3. QR-ортогоналізація із застосуванням матриці, сформованої на попередньому етапі, в результаті чого отримано матриці Q1 ортогональних векторів-стовбців та R1 QR-розкладання.
4. Формування наступної матриці: значення першого стовбцю формуються як середнє-арифметичне горизонтальних деталізуючих коефіцієнтів вейвлет розкладання зображень всіх вихідних каналів, окрім першого; значення другого стовбцю - як середнє-арифметичне вертикальних деталізуючих коефіцієнтів вейвлет розкладання зображень всіх вихідних каналів, окрім першого; значення третього стовбцю - як середнє-арифметичне діагональних деталізуючих коефіцієнтів вейвлет розкладання зображень всіх вихідних каналів, окрім першого; наступними стовбцями поточної матриці є всі стовбці матриці Q1 ортогональних векторів-стовбців, отриманої на попередньому етапі, які входять до складу поточної матриці без змін.
5. QR-ортогоналізація із застосуванням матриці, сформованої на попередньому етапі, в результаті чого отримано матриці Q2 ортогональних векторів-стовбців та R2 QR-розкладання.
6. Заміна першого стовпця матриці Q2 вектором-стовпцем горизонтальних деталізуючих коефіцієнтів вейвлет розкладання зображення першого каналу БСЗ, другого стовпця матриці Q2 вектором-стовпцем вертикальних деталізуючих коефіцієнтів вейвлет розкладання зображення першого каналу БСЗ, третього стовпця матриці Q2 вектором-стовпцем діагональних деталізуючих коефіцієнтів вейвлет розкладання зображення першого каналу БСЗ.
7. QR-ортогоналізація із застосуванням матриці, сформованої на попередньому етапі, в результаті чого отримано матриці Q3 ортогональних векторів-стовбців та R3 QR-розкладання.
8. Вейвлет реконструкція, на вхід якої поступають незмінна апроксимуюча частина, а у якості горизонтальних, вертикальних та діагональних деталізуючих коефіцієнтів для кожного майбутнього зображення каналу обираються відповідні ортогональні стовбці матриці Q3. В результаті вейвлет реконструкції синтезуються нові зображення, відповідні вихідним зображенням каналів БСЗ.

У якості тестового зображення взяте растрове БСЗ, зафіксоване оптичним комплексом Aster (космічного апарату Terra) у дев'яти спектральних діапазонах електромагнітного проміння - носія видової інформації з довжинами хвиль: перший канал 0.52 мкм - 0.60 мкм; другий канал 0.63 мкм - 0.69 мкм; третій канал 0.78 мкм - 0.86 мкм; четвертий канал 1.60 мкм - 1.70 мкм; п'ятий канал

2.145 мкм - 2.185 мкм; шостий канал 2.185 мкм - 2.225 мкм; сьомий канал 2.235 мкм - 2.285 мкм; восьмий канал 2.295 мкм - 2.365 мкм; дев'ятий канал 2.360 мкм - 2.430 мкм. На рис. 1 як приклад наведені зображення, отримані у третьому, сьомому та дев'ятому спектральних інтервалах.

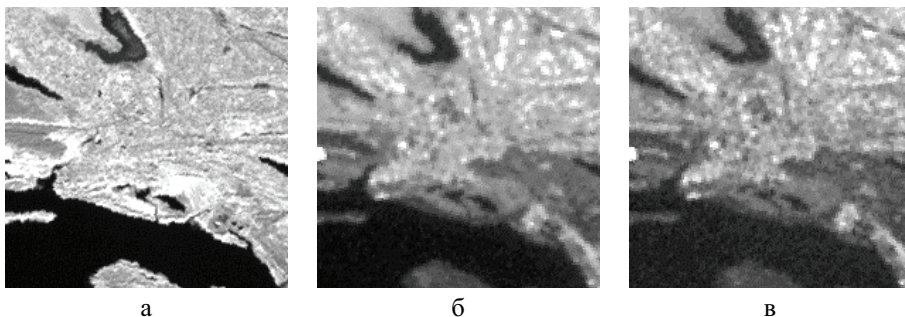


Рис. 1. Вихідне растрове БСЗ: а) третій канал, б) сьомий канал, в) дев'ятий канал

В результаті застосування кожного з описаних способів алгоритму до вихідних зображень були отримані нові зображення, які не наведені у статті через їх великий обсяг. Для вихідних та отриманих зображень були розраховані значення інформаційної ентропії. У таблиці 1 наведені відповідні дані для третього, сьомого, дев'ятого спектральних каналів.

Таблиця 1

Значення інформаційної ентропії				
Спосіб / № каналу	Е	Е1	Е2	Е3
3	4.9739	6.2590	7.2882	7.3009
7	4.7105	5.4133	7.5234	7.5185
9	4.4914	4.8236	7.4611	6.9481

Умовні позначення таблиці 1: Е - інформаційна ентропія вихідних зображень; Е1, Е2, Е3 - значення інформаційної ентропії зображень, перетворених відповідно першим, другим та третім способами.

Значення індексу структурної схожості були отримані для пар вихідних та отриманих в результаті обробки зображень для кожного каналу. Дані розрахунків були зведені до таблиць, одна з яких наведена нижче.

Таблиця 2

Значення індексу структурної схожості				
Третій канал	Первинне	СП 1	СП 2	СП 3
Первинне	1	0.9996	0.9699	0.9286
СП 1	0.9996	1	0.9695	0.9288
СП 2	0.9699	0.9695	1	0.9371
СП 3	0.9286	0.9288	0.9371	1

Умовні позначення в таблиці 2: СП - спосіб перетворення.

**Висновки.** Порівняльний аналіз розглянутих способів за значеннями інформаційної ентропії по каналах показав, що найбільші значення інформаційної ентропії спостерігаються при застосуванні другого та третього способів. Але, виходячи із розрахунків індексу структурної схожості, найкраще геометрична структура зображення зберігається при застосуванні першого способу.

Перспективи подальших досліджень за проблематикою роботи пов'язані з порівняльним аналізом обсягів обчислювальних ресурсів, необхідних для реалізації різних способів ортогоналізації.

### **Література**

1. *Pohl C.* Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C.Pohl, J.L. Van Genderen J.L. // International journal of remote sensing. – 1998. – Vol. 19. – No. 5. – P. 823-854.

2. *Lee J. S.* Principal components transformation of multifrequency polarimetric SAR imagery / J.S.Lee, K.Hoppel // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. – 1992. – No. 30. – P. 686-696.

3. *Gonsales R.C.* Digital Image Processing / R.C.Gonsales, R.E.Woods, S.L. Eddins. – N.-Y.: Prentice Hall, 2004. – 616 p.

4. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон: Пер. с англ. – М.: ИИЛ, 1963. – 830 с.

5. *Wang Z.* Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Z.Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, and E.P. Simoncelli // IEEE Trans. Image Processing. – 2004. – vol. 13. – P. 600 – 612.

### **ДЕКОРЕЛЯЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЯРКОСТИ В ОБРАБОТКЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*О. В. Спиринцева*

Предложен метод обработки многоспектральных снимков с применением QR-ортогонализации на основе процесса Грама-Шмидта. Метод реализуется тремя способами алгоритма и дает качественные результаты по критерию максимума информационной энтропии.

### **DECORRELATION OF SPATIAL INTENSITY DISTRIBUTION IN MULTISPECTRAL RASTER IMAGE PROCESSING**

*O. V. Spirintseva*

Method for multispectral snap-shot processing using QR-orthogonalisation on Gram-Schmidt process base is offered. The method is implemented and gives qualitative processing results with respect to information entropy maximum test.