УДК 528.8:004

Д.М. Свинаренко

МЕТОДИ ОБРОБКИ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ОРТОГОНАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ

Анотація. Запропоновано метод підвищення якості растрових фотограмметричних зображень, що дозволяє збільшити просторову розрізненість первинних зображень.

Ключові слова:мультиспектральне зображення, ортогоналізація, просторова розрізненість, показники якості.

Постановка проблеми. Однією з основних проблем оброблення видових даних дистанційного зондування, одержаних з аерокосмічних носіїв, є те, що ці дані мають різну просторову розрізненість. Зображення окремих спектральних каналів, отримані з одного апарату, можуть відрізнятися за цим показником у десятки разів. Тому, постає проблема отримання усієї множини даних, що мали б найбільшу просторову розрізненість, з метою більш якісного тематичного аналізу в автоматизованих системах.

Аналіз останніх досліджень. На теперішній час відома низка способів підвищення якості цифрових даних стосовно розподілів яскравості растрових зображень [1 - 3]. Усі вони розвинені без урахування специфіки видових даних дистанційного зондування, забезпечення збереження геометричних структур первинних видових даних в зображеннях. Це зумовлює актуальність розроблення нових способів попередньої обробки цифрових аерокосмічних зображень з урахуванням зазначених факторів.

Метою роботи є розроблення нового методу обробки растрових зображень дистанційного зондування, що базується на різних алгоритмах ортогоналізації даних та додозволяє покращити якісні показники зображень.

Основна частина. З позицій прикладної геометрії багатоспектральне растрове зображення, подане на прямокутній решітці $N \times M$ пікселів, може бути представлене у вигляді множини векторів, що

 ISSN 1562-9945

належать евклідовому простору $\mathbf{R}^K$, де $K = N \cdot M$. Далі множину цих векторів позначаємо через $\left\{\mathbf{e}_k : k = \overline{1, S}\right\}$, де S – кількість фіксованих спектральних каналів. Приймемо, що зображення з найвищою просторовою розрізненістю (тобто отримане найбільш короткохвильовому спектральному інтервалі проміння – носія видової інформації) подається вектором $\mathbf{e}_1$ цього простору.

Загальний обсяг подання вихідного цифрового фотограмметричного зображення з 256-ма рівнями яскравості на піксел у загальному випадку дорівнює $N \cdot M \cdot K \cdot n$ біт, де K – кількість спектральних каналів, n – кількість двійкових розрядів, якою кодуються рівні яскравості пікселів. З урахуванням характеристик сучасних сенсорних пристроїв дистанційного зондування Землі з аерокосмічних носіїв використання усього обсягу первинних видових даних з позицій ідентифікації геометричних форм візуалізованих об'єктів є надлишковим. Це зумовлює актуальність розроблення методів редукції (зменшення) вимірності вихідних видових даних до рівня, достатнього для досягнення заданого рівня достовірності розпізнавання.

Один із способів такої редукції забезпечується на основі методу головних компонент [4]. У даній статті викладені альтернативні способи ортогоналізації багатовимірних векторів, які подають розподіли яскравості окремих спектральних каналів багатоспектральних зображень. Перевагою ортогоналізації є декореляція цих розподілів, що забезпечує можливість незалежного оброблення відповідних зображень з наступним синтезом утвореного у такий спосіб «штучного» багатоспектрального зображення з підвищеними інформаційними показниками. Крім того методи ортогоналізаціїї дозволяють здійснити стиснення даних, подавлення шумів та ін. Зазначимо у цьому зв'язку, що метод головних компонент забезпечує лише часткову ортогоналізацію розподілів яскравості зображень спектральних каналів – складових первинного багатоспектрального зображення [5, 6].

У лінійній алгебрі розвинені декілька способів ортогоналізації множин векторів, заданих у багатовимірних просторах. Найбільш поширені серед них – процес Грама-Шмідта, метод «відбиття» Хаусхолдера, метод «обертання» Гівенса [7].

Суміщення первинних зображень на основі процесу ортогоналізації Грама-Шмідта реалізується побудовою на основі множини K -

вимірних векторів $\left\{\mathbf{e}_k : k = \overline{1, S}\right\}$ множини попарно ортогональних векторів $\left\{\mathbf{u}_k : k = \overline{1, S}\right\}$ з наступною заміною вектора $\mathbf{u}_1$ вектором $\mathbf{e}_1$ та оберненим перетворенням.

Традиційна реалізація процесу ортогоналізації векторів передбачає їхню одночасну нормалізацію, тобто виконання умови $\|\mathbf{u}_n\| = 1$, $n = \overline{1, S}$ (тут і далі подвійні прямі дужки позначають норму відповідного вектора).

Пропонується узагальнений спосіб процесу ортогоналізації Грама-Шмідта без вимоги нормалізації отримуваних векторів, який подається співвідношеннями:

$$\mathbf{u}_1 = \mathbf{e}_1;$$

$$\mathbf{u}_k = \mathbf{e}_k - \sum_{i=1}^{k-1} \frac{(\mathbf{u_i} \cdot \mathbf{e_k})}{\|\mathbf{u}_i\|} \cdot \mathbf{u}_i; \ k = \overline{2, S}, \tag{1}$$

де дужками позначено скалярні добутки векторів. Надалі вектор $\mathbf{u}_1$ замінюється вектором, утвореним з панхромного зображення, чи зображення, отриманого у діапазоні з найкоротшою довжиною хвилі проміння, та здійснюється обернене перетворення.

Другий запропонований метод ортогоналізації вихідних видових багатоспектральних даних базується на відомому у лінійній алгебрі QR-поданні матриць. Підставою для використання такого підходу є подання розподілів яскравості растрових зображень, одержаних у різних спектральних інтервалах проміння - носія видової інформації у вигляді двовимірних масивів числових даних (рівнів яскравості). Кожний з них упорядковується по стовпцях, на основі яких формується матриця з розмірністю $NM \times K$, де $N \times M$ - вимірність растрових зображень, отриманих у різних спектральних діапазонах, K – кількість цих діапазонів. Далі здійснюється QR-перетворення сформованої матриці, у результаті чого вона подається у вигляді добутку матриць $\mathbf{Q}_{NM \times K}$ та $\mathbf{R}_{K \times K}$. Відмітимо, що стовпці матриці $\mathbf{Q}_{NM \times K}$ попарно ортогональні. Після цього перший стовпець матриці $\mathbf{Q}_{NM \times K}$ замінюється упорядкованим зазначеним способом масивом рівнів яскравості зображення, отриманого у діапазоні з найкоротшою довжиною хвилі проміння – носія видової інформації, з наступним оберненим QR-перетворенням.

 ISSN 1562-9945

Ще один метод використовує сингулярне перетворення, тобто подання довільної матриці A розмірності ($N \times M$)у вигляді:

$$A = U\,S\,V^T \tag{2}$$

де $U - (N \times N)$ та $V - (M \times M)$- ортогональні квадратні матриці, що задовольняють критерію ортогональності:

$$\begin{aligned} VV^T &= V^T V = E_{N \times N}, \\ UU^T &= U^T U = E_{M \times M} \end{aligned}, \tag{3}$$

де **E** – одиничні матриці відповідних розмірностей.

Матриця **S** складається з квадратного діагонального блоку розмірності $r \times r\;(r = \min(N, M))$з невід'ємними елементами на головній діагоналі і, якщо $N \neq M$, з додаткових нульових рядків або стовпців:

$$\begin{gathered} S = [S';0], \text{ якщо } N < M\,, \\ S = [S';0]^T, \text{ якщо } M < N\,, \\ S = S', \text{ якщо } M = N\,. \\ S' = diag\begin{Bmatrix} s_1, s_2, \ldots, s_r; \\ s_1 \geq s_2 \geq \ldots \geq s_r \end{Bmatrix} \end{gathered} \tag{4}$$

Числа s_i, $i = 1,2,\ldots,r$ називаються сингулярними числами матриці **A** , що однозначно визначаються матрицею **A** . Процес ортогоналізації та перетворення матриць здійснюється за алгоритмом, аналогічним за QR-перетворення.

На рисунку 1 представлене первинне зображення одного зі спектральних каналів (червоного) багатоспектрального зображення (подано в тонах сірого). На рисунках 2-5 відповідно зображення червоного каналу після здійснення прямого та оберненого перетворення за методом головних компонент, ортогоналізацією Грама-Шмідта, QR-перетворенням, сингулярним перетворенням.

Рисунок 1 – Первинне зображення

Рисунок 2 – Зображення, отримане за застосування методу головних компонент

Рисунок 3 – Зображення, отримане за застосування ортогоналізації Грама-Шмідта

Рисунок 4 – Зображення, отримане за застосування QR-перетворення

 ISSN 1562-9945

Рисунок 5 – Зображення, отримане за застосування сингулярного перетворення

В таблиці 1 подані значення сигнальної ентропії відповідних зображень [8] та рівня адаптації зорової системи (LQ).

В таблиці 2 подані значення наступних, найпоширеніших об'єктивних показників якості зображень [9, 10] (для пар зображень - первинного та отриманого за застосування одного з методів ортогоналізації): AD – середня різниця, NK – нормована кореляція, CQ – якість кореляції, MD – максимальна різниця, IF – точність зображення, MSE – середньоквадратична похибка, PMSE –максимальна середньоквадратична похибка, NAE – нормована абсолютна похибка, NMSE – нормована середньоквадратична похибка, SNR – відношення сигнал/шум, PSNR – максимальне відношення сигнал/шум.

Таблиця 1

Показник	Зображення Рис. 1	Зображення Рис. 2	Зображення Рис. 3	Зображення Рис. 4	Зображення Рис. 5
Ентропія	6.7837	6.1623	7.2117	7.2030	6.3451
LQ	0.8148	0.8148	0.9194	0.8410	0.8125

Таблиця 2

	Зображення Рис.1- Зображення Рис.2	Зображення Рис.1- Зображення Рис.3	Зображення Рис.1- Зображення Рис.4	Зображення Рис.1- Зображення Рис.5
AD	0.5893	3.4679	0.7997	0.9679
NK	1.0304	0.7626	0.9722	1.0331
CQ	148.648	110.0163	140.2579	149.0446
MD	104	113	143	205
IF	0.9883	0.9314	0.9842	0.9809
MSE	0.5893	3.4679	0.7997	0.9679
PMSE	9.0621e-06	5.3332e-05	1.2298e-05	1.4885e-05
NAE	0.0928	0.2528	0.1052	0.1119
NMSE	0.0117	0.0686	0.0158	0.0191
SNR	19.3345	11.6369	18.0084	17.1793
PSNR	-1.6135	-9.3111	-2.9396	-3.7686

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отримані результати дозволяють усвідомити переваги одного з варіантів ортогоналізації за інформаційними критеріями. Перспективи подальших досліджень за проблематикою роботи пов'язані з узагальненням запропонованих методів ортогоналізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – Москва: Техносфера, 2006.–616с.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера.– 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Бузовский О. В. Компьютерная обработка изображений / О. В. Бузовский, А. А. Болдак, М. Х. Мохаммед Руми. – К.: Корнійчук, 2001. – 180 с.
4. Свинаренко Д.М. Класифікація геометричних форм растрових проекційних зображень дистанційного зондування землі на основі їхніх головних компонент/ Д.М. Свинаренко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Випуск № 85. – К.:КНУБА, 2010. – С.301-305.
5. Faugeras O. The Fundamental Matrix: Theory, Algorithms, and Stability Analysis / Q. Luong, O. Faugeras. // International Journal of Computer Vision. - 1996. № 17 (1). - P. 43-76.
6. Баландин М.Ю. Методы решения СЛАУ большой размерности / М.Ю.Баландин, Э.П.Шурина. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 72 с.
7. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре / И.М.Гельфанд. – М.: Наука, 1974. – 272 с.
8. Корчинський В.М. Інформативність афінно-інваріантної геометричної моделі проекційних зображень в їх морфологічному аналізі / В.М.Корчинський // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів / Праці сьомої Всеукраїнської міжнародної конференції (UkrObraz'2004). – К.: Ін-т кібернетики НАН України, 2004. – С.53-56.
9. Мирошников М.М. Дальнейшее развитие методологических основ иконики / Мирошников М.М., Нестерук В.Ф.// Труды ГОИ им. С.И.Вавилова. – т.64, вып. 198. – Л. – 1987. – С. 5 – 11.
10. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. / Шлихт Г.Ю. //– М., Издательство ЭКОМ, 1997. – 336 с.

 ISSN 1562-9945