

УДК 515.18 + 621.372.542

ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ МЕТОД КОМПРЕСІЇ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРОЕКЦІЙНОЇ ПРИРОДИ

Корчинський В.М., д.т.н.,

korchins50k@i.ua, ORCID: 0000-0001-6621-0631

Свинаренко Д.М., к.т.н.,

svynarenko_dnu@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3179-9129

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

Запропоновано метод компресії цифрових зображень проекційної природи, отриманих у довільній кількості спектральних інтервалів проміння – носія видової інформації або за різних позиційних умов формоутворення, оптимізований за критеріями збереження заданих рівнів сигнальної енергії зображень та їхньої структурної схожості.

Метод використовує подання множини таких зображень у вигляді єдиного багатовимірного геометричного об'єкту, що описується двовимірним масивом даних, упорядкованим за растром та спектральними інтервалами та включає попередню обробку шляхом сингулярного розкладу зазначеного масиву.

Власне компресія здійснюється на основі розкладів інформаційних складових зображень, поданих максимальними сингулярними числами, по дискретних ортонормованих функціональних базисах, обнуленні частини коефіцієнтів розкладу та наступній реконструкції цифрових кодів яскравості зображень. Визначення порогів обнулення коефіцієнтів розкладів цифрових рівнів яскравості різних спектральних каналів сформульовано у вигляді двокритеріальної оптимізаційної задачі досягнення наперед заданих відношень сигнальних енергій компресованого і вихідного зображень та індексів їх структурної схожості.

Реалізація запропонованого методу включає наступні етапи: попарна ортогоналізація розподілів цифрових кодів яскравості зображень спектральних каналів на основі їхніх сингулярних розкладів; збереження складових розподілів яскравості з максимальними сингулярними числами; компресія ортогоналізованих представлень за зазначеними критеріями; реконструкція кодів яскравості компресованих зображень спектральних каналів функціональним перетворенням, оберненим стосовно використаного на етапі розкладу розподілів яскравості безпосередньо зафіксованих багатоспектральних зображень.

Зіставлення різних дискретизованих функціональних базисів як основи для компресії розподілів яскравості показало найбільше ефективність за зазначеними критеріями дискретного функціонального базису Хаара.

Ключові слова: багатоспектральне зображення, ортогоналізація,

сигнальна енергія, індекс структурної схожості, ортонормований базис.

Постановка проблеми. Розглядаються цифрові ізопланатичні зображення, зафіксовані у довільній кількості спектральних діапазонів електромагнітного проміння – носія видової інформації. Збереження та перетворення розподілів яскравості таких зображень для наступного автоматизованого аналізу потребують значних обчислювальних ресурсів. У зв'язку з цим актуальна проблема компресії (стиснення) таких зображень за умови збереження рівня інформативності, необхідного для їх достовірної інтерпретації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням компресії цифрових сигналів як способу зменшення їх інформаційної надмірності присвячена значна кількість досліджень. Усі вони базуються на розкладі вихідного сигналу по одному з ортогональних дискретних базисів, обмеженні кількості коефіцієнтів розкладу та наступним оберненим перетворенням [1 – 3]. Застосування цих методів обмежене відсутністю кількісних критеріїв визначення порогу обмеження коефіцієнтів розкладів, який забезпечує контрольований рівень інформативності скомпресованих сигналів.

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає у розробці методу компресії растрових цифрових зображень, зафіксованих у довільній кількості спектральних інтервалів проміння – носія видової інформації або за різних позиційних умов фіксації, оптимального за критеріями максимізації енергетичних характеристик скомпресованих сигналів та збереження їхньої структурної схожості з вихідними зображеннями.

Основна частина. Сукупність растрових зображень, поданих на растрі розміром $N \times M$ пікселів та зафіксованих у k спектральних інтервалах, розглядаємо як єдиний багатовимірний геометричний об'єкт – багатоспектральне зображення (БСЗ).

Використаємо запропоноване у роботі [4] подання рівнів яскравості БСЗ у вигляді матриці $\mathbf{A}_{L \times k}$, де $L = N \cdot M$, кожний стовпець якої отриманий упорядкуванням кодів яскравості зображень k -го спектрального каналу по стовпцях растру: $\mathbf{A}_{L \times k} = [\mathbf{X}_{L \times 1}^{(1)}, \mathbf{X}_{L \times 1}^{(2)}, \dots, \mathbf{X}_{L \times 1}^{(k)}]$.

Наступний етап пропонованого методу полягає в ортогоналізації стовпців $\mathbf{M}_{n \cdot m \times k}$ з метою їхньої декореляції. Його необхідність пов'язана з тим, що інформаційна надмірність растрових зображень пов'язана із кореляцією між близькими пікселями [5]. Ортогоналізація здійснювалася шляхом сингулярного розкладу матриці $\mathbf{A}_{L \times k}$:

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{V}^T, \quad (1)$$

де \mathbf{U} - матриця розмірності $L \times k$ з ортогональними стовпцями, яку далі розглядаємо як конкатенацію k векторів $\mathbf{U} = [\mathbf{Y}_{L \times 1}^{(1)}, \mathbf{Y}_{L \times 1}^{(2)}, \dots, \mathbf{Y}_{L \times 1}^{(k)}]$; \mathbf{S} - діагональна матриця розмірності $k \times k$, яка містить сингулярні числа s_1, s_2, \dots, s_k матриці \mathbf{A} .

З кожним сингулярним числом пов'язана певна частка інформативності рівнів яскравості, розташованих у стовпцях матриці \mathbf{A} :

$$\lambda_n = \frac{s_n}{\sum_{k=1}^k s_k}, \quad n = \overline{1, k}. \quad \text{З цього випливає, що при використанні лише } q$$

найбільших сингулярних чисел забезпечує компресію вихідного БСЗ з частковою втратою інформативності. Помилка при реконструкції

$$\text{розподілів яскравості БСІ при цьому складає } \sum_{n=1}^k s_n - \sum_{n=1}^q s_n.$$

Далі здійснюється розклад кожного стовпця матриці $\mathbf{U}_{L \times k}$ по заданому дискретному ортонормованому базису (використовувалися базиси Уолша, Хаара та Хартлі [6]):

$$\mathbf{Y}^{(k)}(n) = \sum_{p=1}^L c_p^{(k)} \cdot \varphi_p(n), \quad (2)$$

де $\varphi_p(n)$ - базисні функції; $c_p^{(k)}$ - коефіцієнти розкладу; $n = \overline{1, L}$.

Сформуємо перетворену множину коефіцієнтів розкладу (2): $C_p^{(k)} = c_p^{(k)}$ при $p = \overline{1, P}$; $C_p^{(k)} = 0$ при $p \geq P$. Власне компресія здійснюється оберненим перетворенням

$$\mathbf{Y}_c^{(k)}(n) = \sum_{p=1}^L C_p^{(k)} \cdot \varphi_p(n). \quad (3)$$

Визначення порогу P обнуління коефіцієнтів розкладу (2) формулюємо як оптимізаційну задачу збереження у відновлених векторах $\mathbf{Y}_c^{(k)}$ заданих рівнів інформаційної енергій та індексу структурної схожості за його означенням у роботі [7].

Тестування запропонованого методу здійснювалося з використанням ортонормованих базисів Уолша, Хартлі та Хаара.

Далі наведені результати тестування на прикладі БСЗ, отриманих сканером Aster з космічного апарату Terra.

На рисунках 1-4 подані чотири зображення з суттєво різним просторовим розрізненням.



Рис.1. Зображення спектрального каналу
0.52 мкм – 0.60 мкм



Рис.2. Зображення спектрального каналу
0.78 мкм – 0.86 мкм



Рис.3. Зображення спектрального каналу
1.60 мкм – 1.70 мкм



Рис.4. Зображення спектрального каналу
2.36 мкм – 2.43 мкм

Сингулярні числа відповідного БСЗ: $s_1 = 9.5282 \cdot 10^4$, $s_2 = 2.1476 \cdot 10^4$, $s_3 = 1.1149 \cdot 10^4$, $s_4 = 0.5393 \cdot 10^4$. Частка інформативності, що міститься у перших двох зображеннях, складає 12.4 %. Була здійснена реконструкція розподілів яскравості по лише перших двох сингулярних числах, після чого здійснений розклад отриманих зображень по ортонормованим базисам Хаара з порогом обнуління коефіцієнтів розкладу, який забезпечує збереження ≥ 90 % інформаційної ентропії та коефіцієнту структурної схожості ≥ 0.95 . На рисунках 5 – 8 наведені реконструйовані зображення.



Рис.5. Реконструйоване зображення спектрального каналу 0.52 мкм – 0.60 мкм



Рис.6. Реконструйоване зображення спектрального каналу 0.78 мкм – 0.86 мкм



Рис.7. Реконструйоване зображення спектрального каналу 1.60 мкм – 1.70 мкм



Рис.8. Реконструйоване зображення спектрального каналу 2.36 мкм – 2.43 мкм

Інформаційні обсяги вихідного та компресованого БСЗ складають відповідно 1250 Кбайт та 468.75 Кбайт.

У таблиці 1 подані частки сигнальних енергій, збережених у компресованих зображеннях, стосовно вихідних зображень.

Таблиця 1

Частки збережених сигнальних енергій у компенсованих зображеннях

Зображення			
Рис. 5 / Рис. 1	Рис. 6 / Рис. 2	Рис. 7 / Рис. 3	Рис. 8 / Рис. 4
0.9527	0.9241	0.93372	0.9432

У таблиці 2 наведені індекси структурної схожості між парами зображень, наведених на рисунках 1 - 4 та відповідними компресованими зображеннями (рисунки 5 – 8).

Таблиця 2

Індекси с структурної схожості

Зображення							
Рис. 1	Рис. 5	Рис. 2	Рис. 6	Рис. 3	Рис.7	Рис. 4	Рис. 8
0.9727		0.9637		0.9537		0.9832	

Дані таблиць свідчать про високий рівень схожості зображень та збереження їхньої геометричної структури, що підтверджується й на рівні візуального сприйняття.

Зазначимо, що найбільш ефективним за критерієм максимізації ступеня компресії при наведених обмеженнях щодо рівня збереженої сигнальної енергії та індексу структурної схожості виявився ортонормований базис Хаара.

Висновки. Запропоновано новий метод компресії цифрових зображень проєкційної природи, отриманих у довільній кількості спектральних інтервалів проміння – носія видової інформації. Подальші дослідження за проблематикою статті будуть спрямовані на збільшення пропускну здатності інформаційних каналів передачі багатоспектральних цифрових зображень дистанційного зондування та їх завадостійке кодування.

Література

1. Ватолин Д., Ракушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
2. Федосеев В.А. Компрессия изображений с помощью дискретных ортогональных преобразований, определенных на развертках двумерных областей. *Компьютерная оптика*. 2005. № 28. С. 132 – 135.
3. Voloshin V. I., Korchinsky V.M., Kharitonov M.M. A Novel Method For Correction Of Distortions And Improvement Of Information Content In Sattelite-Acquired Multispectral Images. *Advances and Challengers in*

- Multisensor Data and Information Processing*, 2007. P. 315-323.
4. Корчинский В.М., Свиначенко Д.Н. Повышение пространственного и радиометрического разрешения многоспектральных цифровых изображений дистанционного зондирования на основе их аналитических сигналов. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2020. Том 3. № 2.1. С.156 – 163.
 5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
 6. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. М: Наука, 1989. 496 с.
 7. Wang Z., Bovik A.K, Sheikh H.R., Simoncelli E.R. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, *IEEE Transactions on Image Processing*. 2004, Vol. 13, №, 4. P. 600-612.

OPTIMIZED COMPRESSION METHOD FOR MULTISPECTRAL DIGITAL IMAGES OF PROJECTION NATURE

Volodymyr Korchynskyi, Dmytro Svyachenko

A method for compressing digital images of a projection nature obtained in an arbitrary amount of spectral radiation ranges - a carrier of specific information or under various positional conditions of formation, optimized according to the criteria for preserving the specified levels of signal image energy and their structural similarity, is proposed.

The method uses the representation of a set of such images in the form of a single multidimensional geometric object, which is described by a two-dimensional data array ordered by raster and spectral intervals and includes preprocessing by means of singular decomposition of the specified array. Actual compression is carried out by means of decomposition the constituent images, represented by maximum singular numbers, according to discrete orthonormal functional bases, zeroing out part of the decomposition coefficients and subsequent reconstruction of the digital brightness codes of images. The determination of the thresholds for zeroing the decomposition coefficients of images digital levels is formulated in the form of a two-criteria optimization problem of obtaining the given ratios of signal energies of the compressed and initial images and indices of their structural similarity.

The implementation of the proposed methods includes the following steps: pairwise orthogonalization of distributions of digital brightness codes of images in different spectral channels based on singular decompositions; preservation of the constituent distributions of brightness with maximum singular numbers; compression of orthogonalized representations according to

the specified criteria; reconstructing the brightness codes of compressed images of spectral channels by a functional transformation reversed by the one used at the stage of decomposition of brightness distributions of directly recorded multispectral images.

Comparison of various discretized functional bases as the basis for compression showed the greatest efficiency in the specified criteria of the discrete functional basis of Haar.

Key words: multispectral image, orthogonalization, signal energy, structural similarity index, orthonormed basis.

References

1. Vatolin D., Rakushnyak A., Smirnov M., & Yukin V. (2003). *Methods of data compression*. Moscow.: DIALOG-MIFI [in Russian].
2. Fedoseev, V.A. (2005) Compression of images using discrete orthogonal transformations determined on sweeps of two-dimensional regions. *Computer optics*, 28, 132 – 135 [in Russian].
3. Voloshin V. I., Korchinsky V.M. & Kharitonov M.M. (2007) A Novel Method For Correction Of Distortions And Improvement Of Information Content In Sattelite-Acquired Multispectral Images. *Advances and Challengers in Multisensor Data and Information Processing*, 2, 315-323.
4. Korchinsky V.M., & Svinarenko D.N. (2020) Increasing the spatial and radiometric resolution of multispectral digital images of remote sensing based on their analytical signals. *Applications of mathematical modeling*, 3 (2.1), 156 – 163 [in Russian].
5. Showengerdt R.A. (2007) *Remote sensing. Models and methods for image processing*. London – New York: ELSEVIER.
6. Zalmanzon, L.A. (1989). *Fourier, Walsh, Haar transformations and their application in management, communication and other fields*. Moscow: Nauka [in Russian].
7. Wang Z., Bovik A.K, Sheikh H.R. & Simoncelli E.R. (2004) Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, *IEEE Transactions on Image Processing*, 13 (4), 600-612.