

УДК 515.18 + 621.372.542

МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ АРТЕФАКТІВ НА БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ 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 (м. Дніпро, Україна)*

Запропоновано метод зменшення графічних завад (артефактів) на цифрових зображеннях проекційної природи, отриманих у довільній кількості спектральних інтервалів проміння – носія видової інформації або за різних позиційних умов формоутворення. Алгоритмічною основою пропонованого методу є компресія розподілів яскравості зображень спектральних каналів, оптимізована за критеріями мінімізації відхилення відношення сигнальних енергій скомпресованого зображення та шуму від заданого значення.

Множина зображень різних спектральних каналів подається у вигляді єдиного багатовимірного геометричного об'єкту, що описується двовимірним масивом даних, упорядкованим за растром та спектральними інтервалами.

Пригнічення артефактів з одночасною компресією цифрових кодів яскравості зображень реалізована на основі розкладів цих кодів по дискретних ортонормованих функціональних базисах, обнулінні частини коефіцієнтів розкладу та наступній реконструкції розподілів яскравості зображень. Визначення порогів обнуління коефіцієнтів розкладів цифрових рівнів яскравості сформульовано у вигляді оптимізаційної задачі досягнення наперед заданого відношення сигнальних енергій скомпресованого сигналу і залишкового шуму.

Реалізація пропонованого методу включає наступні етапи: суміщення кодів яскравості зображень спектральних каналів у єдиному двовимірному графічному об'єкті (растровому зображенні); розгортка Пеано-Гільберта об'єднаного зображення з отриманням одновимірного цифрового сигналу; компресія цифрових значень розгортки за зазначеними критеріями; реконструкція кодів яскравості скомпресованих зображень спектральних каналів функціональним перетворенням, оберненим стосовно використаного на етапі розкладу розподілів яскравості безпосередньо зафіксованих зображень спектральних каналів.

Зіставлення різних дискретизованих функціональних базисів як основи для компресії розподілів яскравості показало найбільшу ефективність за зазначеними критеріями дискретного функціонального

базису Уолша.

Ключові слова: багатоспектральне зображення, відношення «сигнал/шум», ортонормований дискретний функціональний базис.

Постановка проблеми. Розглядаються цифрові ізопланатичні зображення, зафіксовані у довільній кількості спектральних діапазонів електромагнітного проміння – носія видової інформації. Формоутворення таких зображень супроводжується формуванням на них графічних завад (артефактів), наявність яких утруднює тематичний аналіз та інтерпретацію зображень. Велика кількість спектральних каналів, у яких фіксуються багатоспектральні видові дані, потребує значних обчислювальних ресурсів для їх автоматизованого аналізу. У зв'язку з цим актуальна двоєдина проблема компенсації артефактів на таких зображеннях у поєднанні з компресією (стисненням) зображень за умови збереження рівня інформативності, необхідного для їх достовірної інтерпретації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням зменшення рівня графічних завад на растрових зображеннях присвячена значна кількість досліджень [1, 2]. Усі вони базуються на різних варіантах лінійної та нелінійної цифрової фільтрації цифрових кодів яскравості зображень. Відомі методи компресії цифрових сигналів базуються на їх розкладі по одному з ортогональних дискретних функціональних базисів [3, 4]. Питання, пов'язані з перетворенням рівня завад за такої компресії не розглядалися.

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає у розробці методу компенсації графічних завад на растрових цифрових зображеннях, зафіксованих у довільній кількості спектральних інтервалів проміння – носія видової інформації, оптимального за критеріями максимізації відношення «сигнал/шум», шляхом компресії вихідних зображень з контрольованим рівнем збереження їх інформативності.

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 запропонований у роботі [4] метод суміщення інформаційних складових БСЗ у вигляді матриці $\mathbf{C}_{N \times M}$ з наступною редукцією її розмірності шляхом лінійної розгортки Пеано-Гільберта [5].

Наступний етап пропонованого методу полягає у розкладі отриманої розгортки $\mathbf{R}(n)$, де $n = \overline{1, N \cdot M}$, по заданому дискретному ортонормованому базису (використовувалися базиси Уолша, Хартлі та дискретне косинусне перетворення [6]):

$$\mathbf{R}(n) = \sum_{i=1}^L c_i \cdot \varphi_i(n), \quad (1)$$

де $\varphi_i(n)$ - базисні функції; c_i - коефіцієнти розкладу; $L = N \cdot M$.

Сформуємо перетворену множину коефіцієнтів розкладу (1): $C_i = c_i$ при $i = \overline{1, P}$; $C_i = 0$ при $i \geq P$. Власне компресія здійснюється оберненим перетворенням

$$\mathbf{R}_{compr}(n) = \sum_{j=1}^L C_j \cdot \varphi_j(n). \quad (2)$$

Визначення порогу P обнуління коефіцієнтів розкладу (1) формулюємо як оптимізаційну задачу за критеріями мінімізації відхилення відношення сигнальних енергій скомпресованого зображення та шуму (SNR) від заданого значення та збереження у залежності $\mathbf{R}_{compr}(n)$ наперед визначеного енергетичного рівня інформативного сигналу.

Реконструкція перетворених зображень спектральних каналів здійснюється оберненим відображенням Пеано-Гільберта з наступним перетворенням, оберненим до перетворення (1).

Тестування запропонованого методу здійснювалося з використанням ортонормованих базисів Уолша, Хартлі та дискретного косинусного перетворення.

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

На рис. 1-3 подані три зображення з суттєво різним просторовим розрізненням та адитивним гаусівським шумом. На рисунку 4 наведене суміщене зображення цих спектральних каналів.

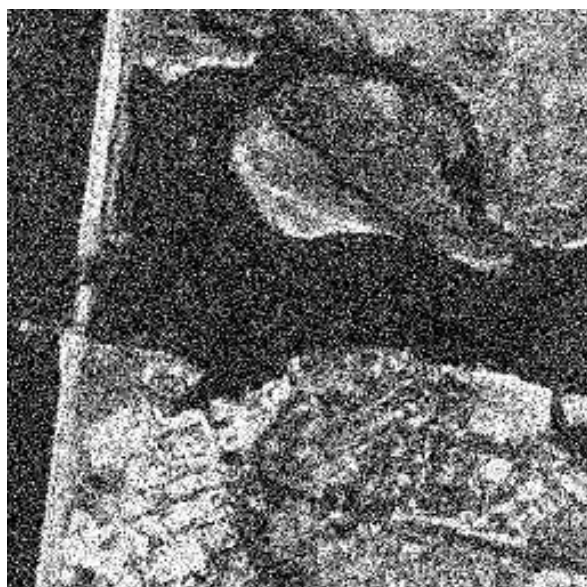


Рис.1. Зображення спектрального каналу
0.52 мкм – 0.60 мкм



Рис.2. Зображення спектрального каналу
1.60 мкм – 1.70 мкм

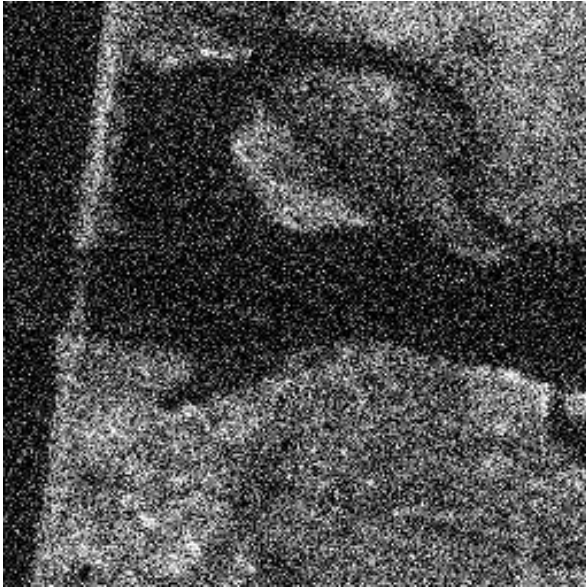


Рис.3. Зображення спектрального каналу 2.36 мкм – 2.43 мкм

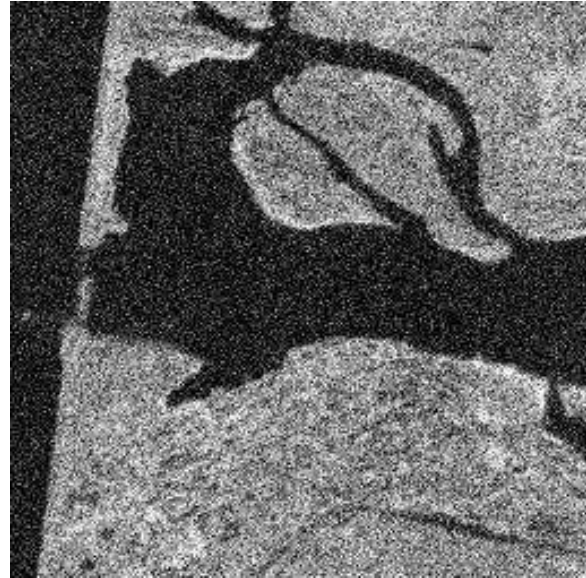


Рис.4. Суміщене зображення спектральних каналів

На рис. 5 – 8 наведені відновлені зображення за використання базису Хартлі.

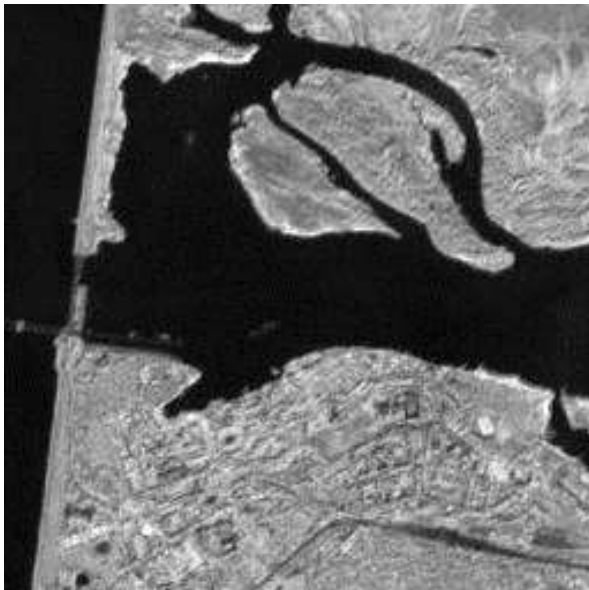


Рис. 5. Реконструйоване суміщене зображення спектральних каналів



Рис. 6. Реконструйоване зображення спектрального каналу 0.52 мкм – 0.60 мкм

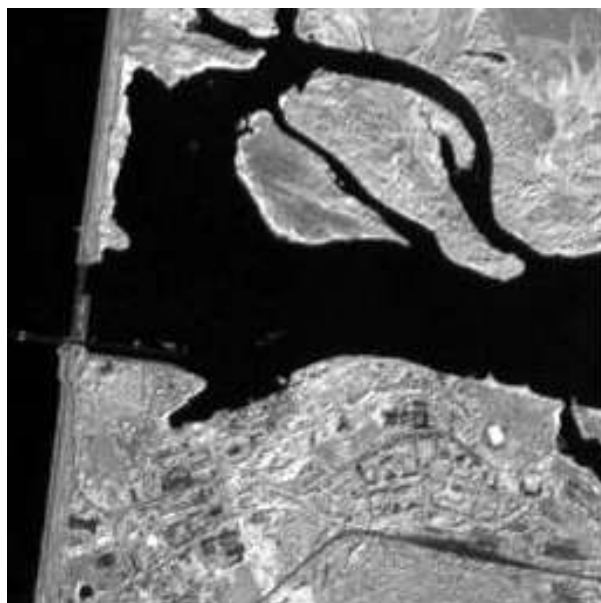


Рис. 7. Реконструйоване зображення спектрального каналу 1.60 мкм – 1.70 мкм

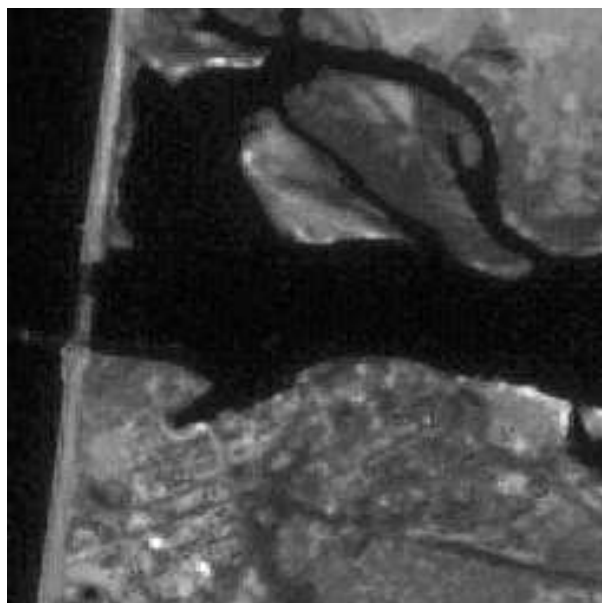


Рис. 8. Реконструйоване зображення спектрального каналу 2.36 мкм – 2.43 мкм

Слід відмітити, що на рівні візуального сприйняття відмінність зображень, відновлених з використанням базисів Уолша, Хартлі та дискретного косинусного перетворення, несуттєва. Однак, в інформаційному відношенні та за характеристиками пригнічення шуму (збільшення SNR) найбільш ефективним виявилось перетворення Уолша. У таблиці 1 наведені значення основної інформаційної характеристики первинного та відновленого БСЗ – інформаційних ентропій (H_W перетворення Уолша, H_H перетворення Хартлі, H_{DCT} дискретного косинусного перетворення)

Таблиця 1

Інформаційні ентропії первинного та відновленого зображень

Рівень збереження сигнальної енергії	Ентропія вихідного зображення, біт	H_W , біт	H_H , біт	H_{DCT} , біт
0,8	3.2197	3.5215	3.5023	3.5107
0,9		3.5365	3.5047	3.5098
0,95		3.5825	3.5826	3.5234
0,99		3.5985	3.5808	3.5789

У таблиці 2 подані індекси структурної схожості, визначені за методикою роботи [7], між парами зображень, наведених на рисунках 1 - 3 та відповідними компресованими зображеннями (рис. 6 – 8).

Таблиця 2

Індекси с структурної схожості

Перетворення	Рис.1	Рис. 6	Рис. 2	Рис. 7	Рис. 3	Рис.8
Уолша	0.9727		0.9637		0.9537	
Хартлі	0.9613		0.9534		0.9418	
Дискретне косинусне	0.9701		0.9598		0.9497	

У таблиці 3 наведені значення відношення «сигнал/шум» у децибелах вихідних SNR_{in} та відновлених SNR_{out} зображень спектральних каналів за використання перетворень Уолша, Хартлі та дискретного косинусного перетворення.

Таблиця 3

Значення відношення «сигнал/шум» вихідних та відновлених зображень спектральних каналів

Перетворення	Канал 0.52 мкм – 0.60 мкм		Канал 1.60 мкм – 1.70 мкм		Канал 2.36 мкм – 2.43 мкм	
	SNR_{in} , дБ	SNR_{out} , дБ	SNR_{in} , дБ	SNR_{out}	SNR_{in} , дБ	SNR_{out}
Уолша	3.1924	12.1283	2.9415	10.3297	2.1522	7.9716
Хартлі	3.1924	9.3498	2.9415	9.0173	2.1522	6.7813
Дискретне косинусне	3.1924	11.4123	2.9415	9.8791	2.1522	7.5562

Слід відмітити збільшення відношення «сигнал/шум» зі зменшенням довжин хвиль проміння – носія видової інформації.

Дані таблиць свідчать про високий рівень схожості зображень та збереження їхньої геометричної структури з одночасним збільшенням SNR.

Висновки. Запропоновано новий метод пригнічення артефактів на багатоспектральних цифрових зображеннях проекційної природи. Подальші дослідження за проблематикою статті будуть спрямовані на збільшення пропускну здатності інформаційних каналів передачі багатоспектральних цифрових зображень дистанційного зондування та її достовірності.

Література

1. Даджен Д., Мерсеро Р.М. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 428 с.
2. Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 336 с.
3. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ. М.: Связь, 1980. 248 с.
4. Корчинський В.М., Свинаренко Д.М. Оптимізаційний метод компресії багатоспектральних цифрових зображень проєкційної природи. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць*. Запоріжжя: МДПУ, 2022, Вип. 24. С. 119-126.
5. Александров В.В., Горский Н.Д. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход. Л.: Наука, 1985. 326 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.

METHOD OF FILTERING ARTIFACTS ON MULTISPECTRAL DIGITAL IMAGES OF PROJECTION NATURE

Korchynskyi Volodymyr, Svynarenko Dmytro

A method is proposed to reduce graphic interference (artifacts) on digital images of projection nature, obtained in an arbitrary number of spectral intervals of radiation – the range of specific information or under different positional conditions of projection. The algorithmic basis of the proposed method is the compression of the brightness distributions of spectral bands, optimized according to the criteria for minimizing the deviation of the ratio of signal energies of the compressed image and noise from a given value.

The set of images of different spectral bands is represented as a single multidimensional geometric object, which is described by a two-dimensional data mass ordered by raster and spectral intervals.

Suppression of artifacts with simultaneous compression of digital image brightness codes is implemented on the basis of decompositions of these codes according to discrete orthonormal functional bases, zeroing of part of the expansion coefficients and subsequent reconstruction of image brightness distributions. Determination of the thresholds for zeroing the expansion coefficients of digital brightness levels in the form of an optimization problem

for achieving a given ratio of signal energies of the compressed signal and residual noise.

The implementation of the proposed method includes the following steps: combining the brightness codes of spectral bands in a single two-dimensional graphic object (raster image); Peano-Hilbert scan of the combined image with the receipt of a one-dimensional digital signal; compression of digital sweep values according to the specified criteria; reconstruction of the brightness codes of compressed images of spectral bands by a functional transformation inverse to that used at the stage of decomposition of the brightness distributions of directly recorded images of spectral bands.

Comparative analysis of various discrete functional bases as a basis for compression of brightness distributions showed the greatest efficiency in terms of the criteria of the discrete functional basis of Walsh.

Keywords: multispectral image, signal-to-noise ratio, orthonormal discrete functional basis.

References

1. Dudgeon D., Mercero R.M. (1988). *Digital processing of multidimensional signals*. Moscow: Mir. 428 p. [in Russian].
2. Bates R., McDonnell M. (1989) *Restoration and reconstruction of images*. Moscow: Mir. 336 p. [in Russian].
3. Ahmed N., Rao K.R. (1980). *Orthogonal transformations in digital signal processing*. Moscow: Svyaz. 248 p. [in Russian].
4. Korchynskyi V.M., Svyarenko D.M. (2022). Optimization method of compression of multispectral digital images of projection nature. *Modern problems of modeling*, 24, 119-126.
5. Aleksandrov V.V., Gorsky N.D. (1985) *Representation and image processing. Recursive approach*. Leningrad: Nauka. 326 p. [in Russian].
6. Zalmanzon, L.A. (1989). *Fourier, Walsh, Haar transformations and their application in management, communication and other fields*. Moscow: Nauka. 496 p. [in Russian].
7. Wang Z., Bovik A.K, Sheikh H.R. (2004) Simoncelli E.R. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4), 600-612.