

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

UDK 528.8:004

V.V. Hnatushenko^{1,2}, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
Vik.V. Hnatushenko², Cand. Sci. (Tech.), Associate
Professor,
O.O. Kavats², Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
V.Yu. Shevchenko¹

1 – O. Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: vvgnat@ukr.net
2 – National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine

PANSHARPENING TECHNOLOGY OF HIGH RESOLUTION MULTISPECTRAL AND PANCHROMATIC SATELLITE IMAGES

В.В. Гнатушенко^{1,2}, д-р техн. наук, проф.,
Вік.В. Гнатушенко², канд. техн. наук, доц.,
О.О. Кавац², канд. техн. наук, доц.,
В.Ю. Шевченко¹

1 – Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: vvgnat@ukr.net
2 – Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ЗЛИТТЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНОГО ТА ПАНХРОМАТИЧНОГО СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВИСОКОЇ РОЗРІЗНЕНОСТІ

Purpose. To increase the spatial resolution of multispectral satellite images and prevent the spectral distortion in the local area.

Methodology. Technology based on HSV-, ICA- and Wavelet-transforms involves the loading of primary different spatial resolution images of the same scene; conversion of primary images after the spectral correction to the HSV color space; wavelet decomposition of the resulting images; wavelet formation of the synthesized RGB-image in which the contribution of the corresponding low-frequency components of the image is taken into account by means of linear forms. Determination of their coefficients is formulated as an optimization problem under the criterion of maximizing the information characteristics, such as entropy. Then the following activities take place: a direct ICA-transform of the obtained RGB-image, replacement of the first ICA-component of the image by the primary panchromatic image, application of the inverse ICA-transform. The result is a synthetic multispectral image of high spatial resolution.

Findings. The new technology based on HSV, ICA- and wavelet transforms has been developed to increase information content of aerospace multichannel images. The effectiveness of the proposed method has been tested on the eight-channel satellite Worldview-2 images. The results indicate that the synergistic processing of multichannel scanner data using the proposed information technology gives better results, and the synthesized image is more informative and details objects without color distortion. The resulting synthesized images are characterized by a great contrast and clarity on the boundaries of “the object of interest - the background”.

Originality. The already known methods to improve the quality of multichannel images, such as Gram-Schmidt process, Brovey transform, principal component analysis, independent component analysis, IHS-algorithm and others do not take into account the construction peculiarities of modern scanning devices, appropriate structures and data formats, which leads to colors distortion of the original image. In contrast to the above-mentioned methods, the proposed method allows to save the spectral information of original multi-channel images at higher spatial resolution. Furthermore, it is possible to avoid color distortion and achieve a more detailed digital image, especially in the areas where objects of interest are shaded.

Practical value. Information technology can be used in the space image processing to increase the spatial resolution of multispectral satellite images. In addition, the use of the proposed technology can effectively carry out further recognition and real-time monitoring of the military equipment dislocation, construction of infrastructure facilities, etc.

Keywords: *photogrammetric, satellite, multichannel, panchromatic image, HSV, ICA, wavelet-transform, histogram equalization, spatial resolution*

Introduction. To date, a number of space-borne sensors have produced voluminous image datasets of varying spatial, spectral and temporal resolutions. The panchromatic (P) and multispectral (MS) images acquired by satellites are not of the same resolution. The MS images have a high spectral and low spatial resolution while the P image has a high spatial resolution, in which spectral diversity is missing. Pansharpening, a branch of image fusion, may be defined as the process of synthesizing multispectral images at a higher spatial resolution, and is receiving ever-increasing attention from the remote sensing community [1, 2]. Pansharpening techniques have become very important for various remote sensing applications, such as enhancing image classification, temporal change-detection studies, and image segmentation studies.

Statement of the research problem. Many papers have discussed the limitations of the various fusion methods [3–7]. However, there is no perfect algorithm that is optimal under all conditions. For geographic condition monitoring, visual interpreting and classification, a significant problem is color distortion. The already known methods for improving spatial resolution of multichannel images, including Gram-Schmidt process, principal component analysis (PCA), independent component analysis (ICA), IHS-algorithm and others do not include the features of modern scanning devices, appropriate structures and data formats scanning systems. The reason for color distortion is the fact that the existing algorithms were mainly designed to combine SPOT satellite images. Unlike the relevant characteristics of the above-mentioned spacecraft, the wavelength range of panchromatic modern satellites (IKONOS, QuickBird, Worldview-2, Worldview-3, etc.) has been extended from visible into near infrared spectrum. In addition, modern scanner systems are more sophisticated and have more than four channels (e.g. WorldView has eight channels).

The formulation of article purposes. It is necessary to develop the pansharpening technology for multichannel images, which combines aspects of methods to obtain a better trade-off between spectral fidelity and spatial resolution enhancement.

The basic material. We used 16-bit standard level 2 WorldView-2 multi-sequence datasets, including single band panchromatic and 8-band MS images. In the present study, the panchromatic and MS images are captured at the same time with the same sensor. Hence, pansharpening was carried out directly without further registration. WorldView-2 satellite is the first commercial satellite to carry a very high spatial resolution sensor with one P and eight MS bands. The MS bands (Band1 = Coastal, Band2 = Blue, Band3 = Green, Band4 = Yellow, Band5 = Red, Band6 = Red Edge, Band7 = Near-Infrared 1, Band8 = Near-Infrared 2) cover the spectral range from 400–1050 nm at a spatial resolution of 1.84 m, while the panchromatic band covers the spectrum from 450–800 nm with spatial resolution of 0.46 m. The original size of the MS image is 1600*1600 pixels.

The first step is to download multichannel image in RGB color space and image resampling. Fig.1 shows 400*400 detail of the whole scene of the original panchromatic image

and RGB composition (Band 5-3-2) from satellite World View-2. Image resampling is a process in which new pixel values are interpolated from existing pixel values, whenever the raster's structure is modified during, for example, projection, datum transformation, or cell resizing [1]. There are many resampling methods available through a number of platforms, including image-processing software. Bilinear interpolation, nearest neighbour, and cubic convolution are most commonly used resampling methods in remote sensing. We used bicubic resampling.



a



b

Fig. 1. Satellite images of WorldView-2: a – panchromatic; b – multichannel

A characteristic feature of many images obtained in real scanner satellite system is a significant proportion of dark areas and the relatively small number of areas with high brightness. That is why one of the first steps of the algorithm is histogram equalization of images. As the histogram equalization leads to equalization of integrated spaces of evenly distributed brightness ranges, discrete form of brightness scale transformation is as follows

$$z'_i = z_m \sum_{k=0}^i p(z_k), \quad (1)$$

where z'_i is the value of the converted brightness scale corresponding to the output brightness scale; $p(z_k)$ is normalized histogram of the original image brightness ($k = 0..255$).

Equalization was performed on the original panchromatic and multichannel images respectively. Fig. 2 shows the brightness histogram of panchromatic images before and after equalization. The algorithm scheme is shown in fig. 3.

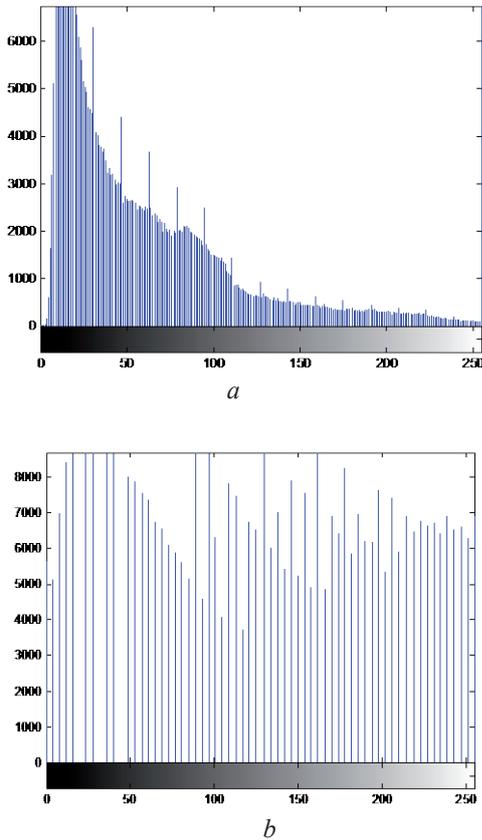


Fig. 2. Brightness histogram of panchromatic image: a – before equalization; b – after equalization

The next step of the technology is to convert panchromatic and multichannel images to the HSV color space, corresponding to the hue, saturation and intensity. Conversion of RGB image to the HSV color model is carried out by non-classical relations, as follows

$$\begin{bmatrix} V \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}; \quad H = \arctg \left[\frac{V_2}{V_1} \right];$$

$$S = \sqrt{(V_1)^2 + (V_2)^2}.$$

This modification avoids spectral distortion.

One of the most advanced and powerful mathematical tools for pansharpening aerospace images is wavelet transform [1, 4]. Nevertheless, the separate application of wavelet transform often leads to artifacts in the synthesized ima-

ge. To avoid this problem, the paper combines wavelet transform with the HSV color model. The images are subjected to the first level of decomposition, because of which approximate and detailing matrix coefficients are obtained for each of the images. The obtained detailing coefficients of both images form a linear combination based on the numerical values of the coefficients of the linear combination of forms (a, b)

$$\begin{cases} App_i^N = c_i^N, \\ Det_i = \sum_{l=1}^N (\{a^i d_p^{l1} + b^i d_i^{l1}\}, \{a^i d_p^{l2} + b^i d_i^{l2}\}, \{a^i d_p^{l3} + b^i d_i^{l3}\}) \end{cases}$$

where App_i^N and Det_i are approximating and detailing wavelet components of the new multispectral image. Subscript indicated the appropriate multispectral channel ($i = \{R, G, B\}$) or panchromatic image (P).

Then wavelet reconstruction of the first level is performed. The input data for the implementation of wavelet reconstruction are approximating coefficients obtained after wavelet decomposition of the synthesized color images, which are taken without changes, and the formed linear combinations used as detailing coefficients. The next step is the search of the arguments that are the coefficients of the linear combination forms with which the entropy for the new synthesized image reaches maximum values. Thus, as a result of wavelet reconstruction, by maximizing the entropy function, we obtain images synthesized using wavelets, which are multichannel images with high information content. The use of Daubechies wavelets of no lower than sixth order [8] is most effective.

In the inverse transform from the HSV color space to the RGB-space, we choose H and S components of multichannel component images and the resulting V after wavelet-transformation.

In [8] it is proved that the method using independent component analysis as one of the steps of the technology leads to higher resolution of multichannel image. Therefore, the last step of the pansharpening technology is the application of independent component analysis method. ICA is seen as an extension of principal components analysis to the problem of blind separation of independent sources from their linear mixtures. As you know, concepts such as uncorrelated and Gaussian (normal) data distribution pattern are closely related with PCA, while ICA is associated with statistical independence and non-Gaussian distribution. In addition, the axes do not need be necessarily orthogonal. The model used in the analysis of independent components can be represented as

$$y = Hx,$$

where y is m-dimensional random vector, x is n-dimensional random vector with independent components, H is unknown display $Rn \rightarrow Rm, m \geq n$.

ICA task is formulated as a problem of finding such a projection of vector y on a linear space of vectors x , components of which would be statistically independent. This analysis is performed only on some statistical sample values of the random vector y .

In the technology, after conversion, we offer substitution of the first ICA component of multichannel image by panchromatic image after equalization. The next step after the replacement is the inverse ICA transformation.

Fig. 4 shows the synthesized image obtained as a result of application of the new technology based on HSV-, ICA-, wavelet- transformations. It should be noted that the resulting synthesized images are even visually different from the original multichannel images due to the better clarity and more detailed objects.



Fig. 4. The resulting image after the new technology application

Many methods are available to evaluate both the spectral and spatial quality of pansharpened images, but there is currently no consensus in the literature regarding which quality index is the best.

Decorrelation methods of spatial brightness distribution are based on the calculation of statistical parameters of digital images, determination of which is complicated when there are large volumes of raw data. In addition, these methods only take into account the contribution of spectral information contained in the original multichannel images.

Numerous indexes and methods were used for image fusion assessment, such as correlation coefficient, standard deviation, RMSE, spectral distortion, bias index. To make it comparable with other fusion algorithms, both visual analysis and quantitative analysis are employed for more objective assessment of each algorithm.

Visual “quality” of the image can be evaluated according to the criteria of maximum information content characteristics. Entropy is a concept in information theory. Entropy is used to measure the amount of information. It is defined in terms of the probabilistic behavior of a source of information

$$E(x) = -\sum_{k=0}^{N-1} p_k \cdot \log_2 p_k,$$

where N is the number of brightness levels; p_k is frequency of k th level of sample brightness x ; k is the level of brightness, which belongs to the interval $[0, 255]$, $\sum p_k = 1$.

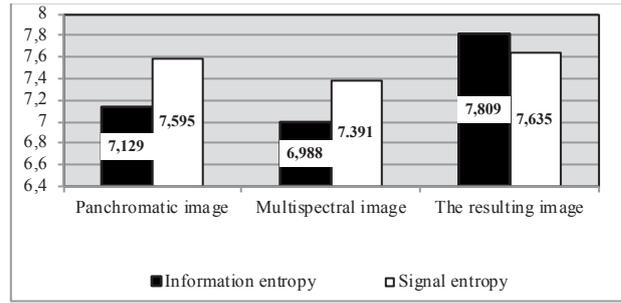


Fig. 5. Graphical representation of entropy values for images

The correlation coefficient is an important indicator reflecting the difference between the fused image and the original image

$$CORR = \frac{2P_{xy}}{P_x + P_y},$$

where $P_{xy} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_1(i, j) p_2(i, j)$; $P_x = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_x(i, j)^2$, $x, y = 1, 2, 3$; $p_x : x^{th}$ – color components.

Table 1 shows the CORR values for the Gram-Shmidt, wavelet, HSV, PCA, and the new image fusion technology. The correlation coefficients associated with the other methods are given below, which show that these methods may enhance the detail of the image but result in much loss of spectral information. These results point out one of the main advantages of our technology: original spectral information is maintained, while image detail is enhanced.

Table 1

Correlation value CORR

Methods	R	G	B
PCA	0.75	0.79	0.87
Gram-Shmidt	0.86	0.85	0.84
HSV	0.48	0.57	0.54
Wavelet	0.78	0.82	0.79
New technology	0.95	0.94	0.96

The structural similarity image quality paradigm is based on the assumption that the human visual system is highly adapted for extracting structural information from the scene. The value measure of the structural similarity is calculated as follows [9]

$$SSIM = \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \right) \left(\frac{2\bar{X}\bar{Y}}{(\bar{X})^2 + (\bar{Y})^2} \right) \left(\frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \right);$$

$$\bar{X} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij}, \bar{Y} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij};$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{X})^2;$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{Y})^2;$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{X})(y_{ij} - \bar{Y}),$$

where $SSIM$ is structural similarity (quality) index; $X = \{x_{ij}\}$, $Y = \{y_{ij}\}$ are compared images; M , N are the sizes of the

image; σ_{xy} is covariance between x and y , and σ_x^2 and σ_y^2 are standard deviations.

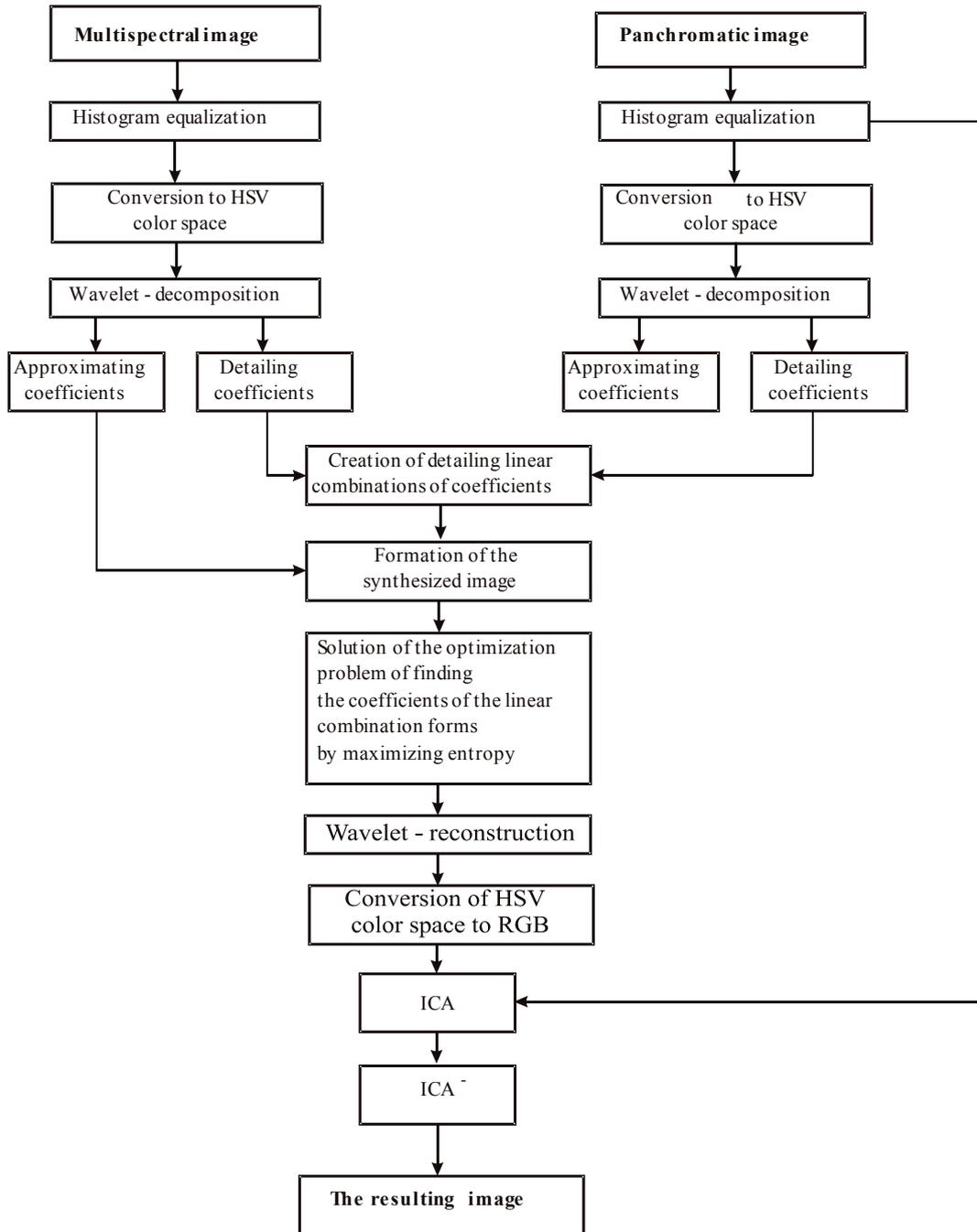


Fig. 3. Algorithm scheme

Table 2 shows value of SSIM of the pansharpening results.

In determining the “visual” image as synthesized image, relative dimensionless global error (ERGAS) can be used, which calculates the “amount” of spectral distortion of photogrammetric scanner images

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left(\frac{RMSE(n)}{\mu(n)} \right)^2},$$

where $\frac{h}{l}$ is the relationship between pixel size of panchromatic and multi-image (eg, $\frac{1}{4}$); $\mu(n)$ is radiance of each spectral band n ; N is the total number of spectral bands.

Table 3 shows ERGAS obtained by already known pansharpening methods (PCA, Gram-Shmidt, HSV, Wavelet) and the synthesized images developed technology. It is clear from its determination that low ERGAS index values represent high quality of the fused images.

Table 2

The value of SSIM

Methods	R	G	B
PCA	0.51	0.49	0.47
Gram-Shmidt	0.46	0.45	0.44
HSV	0.48	0.57	0.55
Wavelet	0.49	0.52	0.47
New technology	0.61	0.63	0.67

This paper performs a comparative analysis of the brightness histogram of the primary multichannel image

and the image, processed using the proposed technology. Table 4 shows the separate histograms for R, G, B channels

Table 3

The value of ERGAS

Methods	ERGAS
PCA	2.21
Gram-Shmidt	1.95
HSV	2.48
Wavelet	1.89
New technology	1.58

Table 4

Image histograms

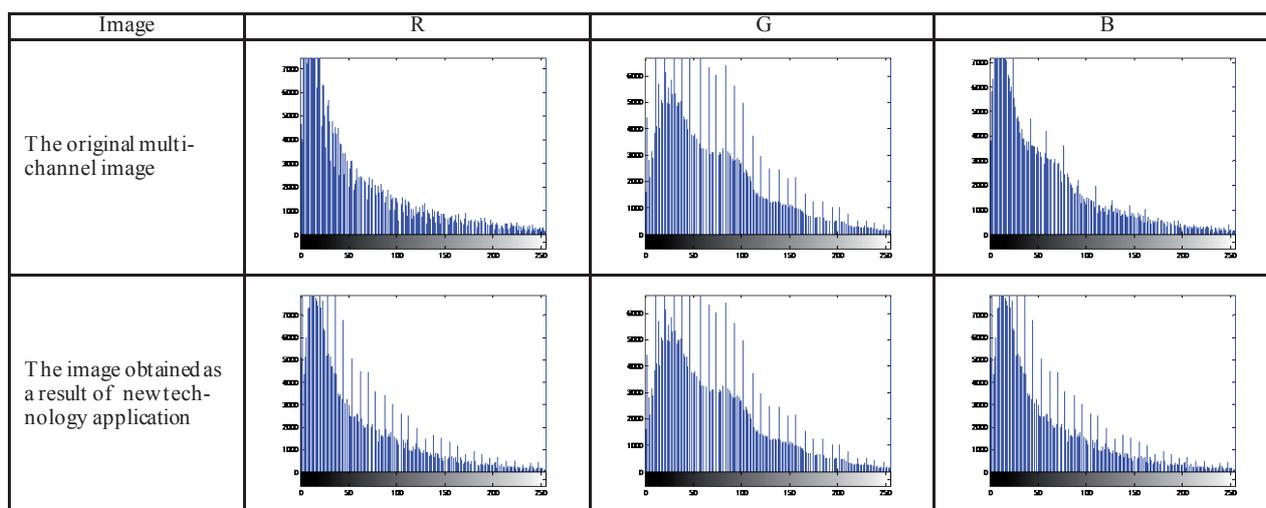


Table 4 shows that the shape of the histogram obtained as a result of using the proposed technology is most similar to the histogram of the original image. There are many fluctuations in the original histogram. The proposed technology smoothes this peak and maintains the general shape of the histogram well.

Conclusions. In this article, a new technology based on HSV-, ICA- and Wavelet-transforms for automated fusion of multispectral and panchromatic satellite images has been proposed. Wavelet transform is employed as a post-processing stage to remove block distortions and improve the spatial resolution enhancement. The experimental results on WorldView-2 data set have demonstrated the superior performance of the proposed pansharpening scheme. Visual and quantitative indicators are employed for evaluation. The characteristics indicate that aggregations of photogrammetric images obtained using the new pansharpening technology lead to improved quality and quantitative indicators of multichannel images. Compared with the existing methods, the proposed fusion can increase spatial fragmentation of the multichannel color image without distortion.

Future activities will add further selection criteria to provide an image fusion framework. It will optimize data and image pansharpening techniques and provide an overview of the possible results from which the user can choose the best one. In addition, we notice that the proposed pansharpening technology can easily process image fusion and restoration when the source images are corrupted by noise, the effect of which will be studied in the further research.

References / Список літератури

- Schowengerdt, R. (2007), *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*, Academic Press, New York.
- Pohl, C. and Van Genderen, J.L. (1998), "Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, no. 5, pp. 823–854. <http://dx.doi.org/10.1080/014311698215748>
- Blum, R.S. and Liu, Z. (2006), *Multi-sensor Image Fusion and Its Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, NW.
- Rubén Javier Medina Daza; Carlos Pinilla Ruiz and Luis Joyanes Aguilar (2013), "Two-dimensional fast Haar wavelet transform for satellite-image fusion", *Journal Appl. Remote Sensing*, no. 7(1), 073698 (Sep. 24, 2013). <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.7.073698>
- Li, S., Kwok, J.T. and Wang, Y. (2002), "Using the discrete wavelet frame transform to merge Landsat tm and Spot panchromatic images", *Information Fusion*, Vol. 3, pp. 17–23. Doi: 10.1016/S1566-2535(01)00037-9
- Gonzalez-Audicana, M., Saleta, J.L., Catalan, R.G., and Garcia, R. (2004), "Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition", *IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing*, vol. 42, no. 6, pp. 1291–1299, Jun. 2004. Doi: 10.1109/TGRS.2004.825593
- Chen, F., Guan, Z., Yang, X. and Cui, W. (2011), "A novel remote sensing image fusion method based on inde-

pendent component analysis”, *International Journal of Remote Sensing*, no.32, pp. 2745–2763.

Doi: 10.1080/01431161003743207

8. Hnatushenko, V., Kavats, A. and Safarov, O. (2013), *Doslidzhennia vplyvu kharakterystyk veivletiv na efektyvnist obiednannia fotohrammetrychnykh zobrazhen* [The Influence on the Efficiency Characteristics of Wavelets Association Photogrammetric Images], *Applied Geometry and Engineering Graphics, Proceedings of the Taurian State Agro-Technical University, Melitopol*.

Гнатушенко В.В. Дослідження впливу характеристик вейвлетів на ефективність об'єднання фотограмметричних зображень / В.В.Гнатушенко, О.О. Кавац, О.О.Сафаров // „Прикладна геометрія та інженерна графіка“, Праці Таврійського державного агротехнічного університету – 2013. – Вип. №4. – Т. 56. – С. 33–40.

9. Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R. and Simoncelli, E.P. (2004), “Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 13, no. 4, pp. 600–612. <http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>.

Мета. Основною метою роботи є збільшення просторової розрізненості мультиспектральних супутникових знімків з виключенням спектральних спотворень у локальних областях.

Методика. Технологія на основі HSV-, ICA- та Wavelet-перетворень включає отримання вхідних зображень різного просторового розрізнення однієї й тієї ж сцени; переведення після спектральної корекції первинних зображень у кольоровий простір HSV; вейвлет-декомпозиція отриманих зображень; вейвлет-формування синтезованого RGB-зображення, за якого внесок відповідних низькочастотних складових зображень урахується за допомогою лінійних форм. Визначення їх коефіцієнтів формується як оптимізаційна задача за критерієм максимізації інформаційної характеристики, зокрема ентропії. Потім здійснюється пряме ICA-перетворення отриманого RGB-зображення; заміна першої компоненти ICA-зображення первинним панхроматичним зображенням; зворотне ICA-перетворення. У результаті одержуємо синтезоване багатоспектральне зображення підвищеної просторової розрізненості.

Результати. Розроблена нова технологія підвищення інформативності аерокосмічних багатоканальних знімків на основі HSV, ICA- та вейвлет-перетворень. Проведене тестування ефективності запропонованого методу на восьмиканальних знімках з супутника Worldview-2. Отримані результати свідчать про те, що синергетична обробка сканерних багатоканальних даних за допомогою запропонованої інформаційної технології дає більш якісний результат, а синтезоване зображення має підвищену інформативність і деталізацію об'єктів без кольорних спотворень. Отримані синтезовані зображення відрізняються більшим контрастуванням та чіткістю на границях „об'єкт інтересу – фон“.

Наукова новизна. На відміну від відомих способів підвищення якості багатоканальних зображень, таких як Грама-Шмідта, Брові, PCA, аналіз незалежних компонент, IHS-алгоритм та ін., що не враховують особли-

вості побудови сучасних скануючих пристроїв, відповідних структур і форматів даних, що призводить до викривлення кольорів первинного зображення, запропонований метод дозволяє зберегти спектральну інформацію оригінального багатоканального зображення при підвищенні просторової розрізненості. Крім того, з'являється можливість уникнути кольорових спотворень і досягти більшої деталізації цифрового зображення, особливо в ділянках затінення об'єктів інтересу.

Практична значимість. Інформаційна технологія може бути застосована при обробці аерокосмічних зображень для збільшення просторової розрізненості мультиспектральних супутникових знімків. Крім того, використання запропонованої технології надає можливість ефективно проводити подальше розпізнавання та оперативний моніторинг дислокації військової техніки, об'єктів будівництва інфраструктури тощо.

Ключові слова: фотограмметричне, супутникове, багатоканальне, панхроматичне зображення, HSV, ICA, вейвлет-перетворення, еквалізація гістограми, просторова розрізненість

Цель. Основной целью работы является увеличение пространственного разрешения мультиспектральных спутниковых снимков с исключением спектральных искажений в локальных областях.

Методика. Технология на основе HSV-, ICA- и Wavelet-преобразований включает получение входящих изображений различного пространственного разрешения одной и той же сцены, перевод после спектральной коррекции первичных изображений в цветовое пространство HSV; вейвлет-декомпозицию полученных изображений; вейвлет-формирование синтезированного RGB-изображения, при котором вклад соответствующих низкочастотных составляющих изображений учитывается с помощью линейных форм. Определение их коэффициентов формулируется как оптимизационная задача по критерию максимизации информационной характеристики, например, энтропии. Затем проводится прямое ICA-преобразование полученного RGB-изображения; замена первой компоненты ICA-изображения первичным панхроматическим изображением; обратное ICA-преобразование. В результате получаем синтезированное многоспектральное изображение повышенного пространственного разрешения.

Результаты. Разработана новая технология повышения информативности аэрокосмических многоканальных снимков на основе HSV, ICA- и вейвлет-преобразований. Проведено тестирование эффективности предложенного метода на восьмиканальных снимках со спутника Worldview-2. Полученные результаты свидетельствуют о том, что синергетическая обработка сканерных многоканальных данных с помощью предложенной информационной технологии дает более качественный результат, а синтезированное изображение имеет повышенную информативность и детализацию объектов без цветовых искажений. Полученные синтезированные изображения отличаются большим контрастированием и четкостью на границах „объект интереса – фон“.

Научная новизна. В отличие от известных способов повышения качества многоканальных изображений, таких как Грамма-Шмидта, Брови, РСА, анализ независимых компонент, ИHS-алгоритм и др., которые не учитывают особенностей построения современных сканирующих устройств, соответствующих структур и форматов данных, что приводит к искажению цветов оригинального изображения, предложенный метод позволяет сохранить спектральную информацию оригинального многоканального изображения при повышении пространственного разрешения. Кроме того, появляется возможность избежать цветовых искажений и добиться большей детализации цифрового изображения, особенно в участках затенения объектов интереса.

Практическая значимость. Информационная технология может быть применена при обработке аэро-

УДК 622. 276.53

**О.В. Паневник, д-р техн. наук, проф.,
О.Я. Дубей**

космических изображений для увеличения пространственного разрешения мультиспектральных спутниковых снимков. Кроме того, использование предложенной технологии позволяет эффективно проводить дальнейшее распознавание и оперативный мониторинг локализации военной техники, объектов строительства инфраструктуры и т.д.

Ключевые слова: *фотограмметрическое, спутниковое, многоканальное, панхроматическое изображение, HSV, ICA, вейвлет-преобразования, эквализация гистограммы, пространственное разрешение*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.М. Корчинським. Дата надходження рукопису 10.03.15.

Державний вищий навчальний заклад „Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу“, м. Івано-Франківськ, Україна, e-mail: gidro@nung.edu.ua; helga.rocks1@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТИСКУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ВЗДОВЖ СТОВБУРА НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

**O.V. Panevnyk, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
O.Ya. Dubei**

State Higher Educational Institution “Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas”, Ivano-Frankivsk, Ukraine, e-mail: gidro@nung.edu.ua, helga.rocks1@gmail.com

DETERMINATION OF THE PRESSURE AND TEMPERATURE DISTRIBUTION ALONG THE OIL WELL BORE

Мета. Уточнення відомого методу розрахунку розподілу тиску та температури свердловинної продукції вздовж стовбура свердловини, що даватиме більш коректні результати.

Методика. На основі методів Поетманна-Карпентера та Баксенделла запропоновано новий підхід до вирішення диференціальних рівнянь за допомогою числового методу Адамса-Крилова. У разі використання тих самих диференціальних рівнянь, але за рахунок різного підходу до їх вирішення, отримані результати, що більш точно описують реальні процеси у свердловині. Виконані комп'ютерні обчислення, що наочно демонструють суттєву розбіжність у розподілі термодинамічних параметрів при однакових вихідних даних у випадку застосування первинної та похідної методик.

Результати. Виявлені певні недоліки в результатах, що отримані за відомими методами, а саме: нелінійність функції температури залежно від глибини й поява стрибкоподібної зміни температури нафти в точці підвісу насоса. У вигляді графіків зміни тиску та температури вздовж стовбура свердловини унаочнено відмінність між отриманими кривими, причому на ділянці між гирлом і точкою підвісу насоса, що є більш цікавою при розрахунках, відхилення досягає 23% для тиску та майже 4% для температури. Використання числових методів розрахунку усунуло зазначені недоліки та підвищило якість отримуваних даних.

Наукова новизна. Полягає у видозміні відомого методу визначення розподілу тиску та температури вздовж стовбура свердловин таким чином, що він забезпечує більш адекватні результати в порівнянні з попереднім методом.

Практична значимість. Усунення неточностей у запропонованих методиках Поетманна-Карпентера та Баксенделла дасть змогу отримати точніші дані по розподілу термодинамічних параметрів у свердловині при теоретичному дослідженні процесів, що мають місце під час експлуатації нафтових свердловин.

Ключові слова: *нафтова свердловина, вибійний тиск, пластова температура, газоводонафтовий потік, нелінійне диференціальне рівняння*

Постановка проблеми. При реалізації багатьох технологічних задач, пов'язаних з видобуванням нафти, необхідно знати розподіл тиску та температури вздовж стовбура свердловини. Використання кривих розподілу

тиску газоводонафтового потоку при штангово-насосній експлуатації свердловин дозволяє повніше врахувати умови їх відпомповування, забезпечити найбільш оптимальний режим роботи устаткування. Саме тому перед тим, як безпосередньо приступати до розрахунку