

УДК 528.8:004

В.В. ГНАТУШЕНКО¹, О.О. КАВАЦ², Ю.О. ВОДОЛАЗСЬКИЙ²

¹Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара;

²Національна металургійна академія України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКАЦІЙ IHS – ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ЯКІСТЬ ЗЛИТТЯ ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У роботі досліджується вплив модифікацій IHS-перетворення на якість злиття багатоканальних фотограмметричних зображень надвисокого просторового розрізнення. Найкращі результати з мінімізацією кольорних спотворень синтезованого зображення дозволяє отримати метод, коли насиченість компонент адаптивно регулюється в межах максимально досяжної області насичення.

Ключові слова: панхроматичне, мультиспектральне зображення, модифікація, IHS – перетворення, методи злиття, просторова розрізненість, SSIM, MSSIM, Quality index, інформаційна та сигнальна ентропія.

V.V. HNATUSHENKO¹, O.O. KAVATS², Y.O. VODOLAZSKY²

¹O. Honchar Dnepropetrovsk National University

²National Metallurgical Academy of Ukraine

RESEARCH MODIFICATIONS IHS - CONVERSION QUALITY IMAGE FUSION PHOTOGRAMMETRIC

Annotation

The information content of a single image is mainly limited by the spatial and spectral resolution of the imaging system. As panchromatic images have higher spatial resolution than multispectral. It is appropriate to use fusion methods, leading to better quality of object recognition and better "understanding" of their properties. There are many classical fusion methods (HSV, Brovey, Grama-Schmidt, PC) of photogrammetric data, the main drawback of which is the distortion of the synthesized color images. IHS-fusion method has several modifications. The paper examines the impact of HIS-modifications becoming a fusion of photogrammetric quality images. In this study the different formulas of transformation matrix IHS it as well as the effectiveness of the based image fusion and the performance of these methods. The IHS transformations based fusion show different results corresponding to the formula of IHS transformation that is used. Saturation component is adjusted adaptively within the maximum attainable saturation range. Consequently, all desired intensity substitutions during the image fusion process can be achieved. Good experimental results show the feasibility of the proposed method. Further research will focus on the development of information fusion technology photogrammetric images using infrared data.

Keywords: remote sensing, panchromatic and multispectral images, modification, IHS, fusion, SSIM, MSSIM, Quality index, information and signal entropy.

Постановка проблеми. Космічні знімки широко використовуються в самих різних областях людської діяльності — будівельні та проектні роботи, міський та земельний кадастр, планування і управління розвитком територій, містобудування і т.д. Зображення високої і надвисокої роздільної здатності знаходять застосування в різних прикладних областях і дозволяють вирішувати найрізноманітніші завдання. Актуальною областю наукових досліджень є обробка фотограмметричних даних декількох каналів з метою одержання штучного (синтезованого) зображення із покращеними показниками інформативності у порівнянні із первинними знімками та його подальший аналіз.

Аналіз останніх досліджень. При тематичній обробці даних ДЗЗ колір використовується не тільки для відображення мультиспектральних знімків, але і для вилучення з них необхідної інформації [1]. Оскільки панхроматичні (PAN) знімки володіють більш високою просторовою здатністю ніж мультиспектральні (MUL), є доцільним використання методів злиття, які призводять до підвищення якості подальшого розпізнавання об'єктів і більш якісного «розуміння» їх властивостей [2]. Існує багато класичних методів злиття (HSV, Brovey, Grama-Schmidt, PC) фотограмметричних даних, основними недоліками яких є викривлення кольору синтезованих зображень. Одним з найвідоміших методів є IHS-злиття, що має декілька модифікацій, які розглядаються у роботі [3].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Виникає необхідність дослідження впливу модифікацій методу злиття IHS на якість одержаного мультиспектрального зображення більш високого просторового розрізнення з мінімізацією кольорових спотворень.

Основна частина. Метод IHS дозволяє трансформацію кольорового простору мультиспектрального зображення та перехід з кольорового простору RGB (red, green, blue) до IHS (intensity, hue, saturation), після чого канал I замінюється каналом панхроматичного (PAN) зображення і проводиться зворотна трансформація кольорового простору. Принципова схема методу IHS наведена на рисунку 1 і складається з наступних трьох етапів:

- 1) перетворення значення мультиспектрального зображення (R, G, B) кожного пікселя у простір IHS (інтенсивність, тон, насиченість);
- 2) заміна отриманої компоненти інтенсивності i відповідним значенням інтенсивності панхроматичного зображення i' ;
- 3) перетворення отриманої кольорової моделі (i', h, s) з новим значенням у простір RGB для отримання нових значень RGB (r', g', b') .

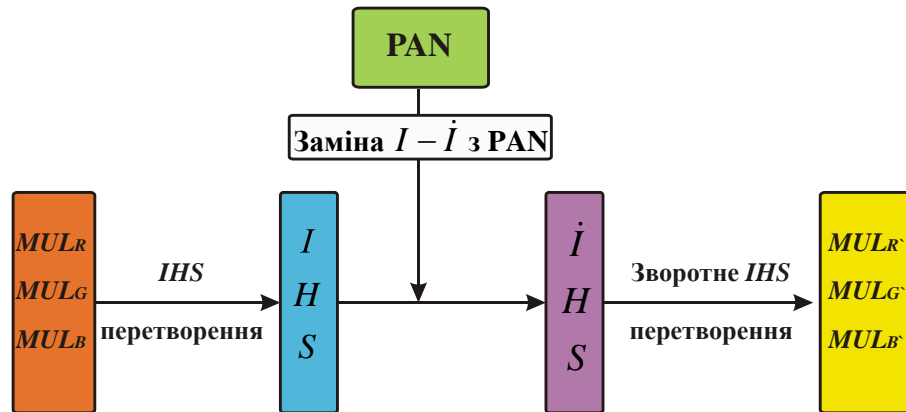


Рис.1. Принципова схема методу IHS при перетворення мультиспектрального зображення

Існує декілька модифікацій заміни інтенсивності IHS - перетворення, основними з яких є лінійна та нелінійна. Математичне подання лінійного RGB - IHS і IHS - RGB перетворень має наступний вигляд:

$$[i, h, s]^T = A \times [r, g, b]^T, \quad (1)$$

$$\text{де } A = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -\sqrt{2}/6 & -\sqrt{2}/6 & 2\sqrt{2}/6 \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 2 \end{bmatrix}$$

$$[r', g', b']^T = B \times [i', h', s']^T, \quad (2)$$

$$\text{де } B = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix}.$$

За вищевказаних перетворень відбувається заміна $i = i' + \delta$ в IHS-простір наступним чином:

$$[r', g', b']^T = B \times [i', h, s]^T = B \times [i + \delta, h, s]^T = [r, g, b]^T + [\delta, \delta, \delta]^T. \quad (3)$$

У свою чергу математичне представлення нелінійної моделі RGB - IHS перетворення, має наступний вигляд:

$$a = \frac{(2b - g - r)/2}{\sqrt{(b - g)^2 + (b - r)(g - r)}}; \quad i = \frac{r + g + b}{3}; \quad (4)$$

$$h = \begin{cases} \cos^{-1}(a) & \text{if } b \leq g; \\ 360^\circ - \cos^{-1}(a) & \text{if } b > g; \end{cases} \quad s = 1 - \frac{3 \times \min(r, g, b)}{r + g + b}$$

де $h \in [0^\circ, 360^\circ]$ та $i, s \in [0, 1]$.

Зворотне нелінійне IHS - RGB перетворення може бути описано таким чином:

1) Сектор RG ($0^\circ \leq h < 360^\circ$):

$$\begin{aligned} b &= i(1-s); \\ r &= i[1 + s \cos h / \cos(60^\circ - h)]; \\ g &= 3i - (r + b). \end{aligned} \quad (5)$$

2) Сектор GB ($120^\circ \leq h < 240^\circ$):

$$\begin{aligned} h &= h - 120^\circ; \\ r &= i(1-s); \\ g &= i[1 + s \cos h / \cos(60^\circ - h)]; \\ b &= 3i - (r + b). \end{aligned} \quad (6)$$

3) Сектор BR ($240^\circ \leq h < 360^\circ$):

$$\begin{aligned} h &= h - 240^\circ; \\ g &= i(1-s); \\ b &= i[1 + s \cos h / \cos(60^\circ - h)]; \\ r &= 3i - (r + b). \end{aligned} \quad (7)$$

При використанні вищевказаних перетворень по сектору GB, при перетворенні інтенсивності $i' = \gamma \times i$ за нелінійною моделлю IHS має наступний вигляд:

$$\begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i'(1-s) \\ i'[1 + s \cos h / \cos(60^\circ - h)] \\ 3i' - (r' + b') \end{bmatrix} = \frac{i'}{i} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \gamma \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для секторів RG і BR можуть бути зроблені подібні висновки при використанні наведених вище співвідношень. В цілому, поєднання виразів (3) і (8) призводить до загального рівняння злиття зображень, описаного виразом (1). Зокрема, якщо інтенсивність i замінюється на $i' = i + \delta$ в лінійному просторі IHS, ефект полягає в зміщенні значення RGB на величину δ так, що $[r', g', b']^T = [r, g, b]^T + [\delta, \delta, \delta]^T$. І якщо інтенсивність i замінюється на $i' = \gamma \times i$ в нелінійному IHS просторі, то $[r', g', b']^T = \delta \times [r, g, b]^T$.

Дослідження впливу модифікацій методу IHS відбувалися на первинних мультиспектральних знімках, отриманих супутником надвисокого просторового розрізнення WorldView-2 (рис. 2 а,б). Після перетворень мультиспектрального зображення за лінійною та нелінійною IHS-моделлями були отримані зображення, яке навіть візуально у порівнянні з первинним знімком відрізняються більшою чіткістю (рис. 2 в,г). З метою визначення впливу IHS-перетворення на якість мультиспектрального зображення у роботі отримано кількісні оцінки інформативності первинного та синтезованих мультиспектральних зображень за двома модифікаціями IHS-перетворення, а саме: інформаційна та сигнальна ентропія, RMSE, SSIM, MSSIM, Quality index та інші. Методи декореляції просторових розподілів яскравості засновані на обчисленні статистичних параметрів цифрових зображень, визначення яких утруднено при великих обсягах первинних даних. Також за таких методів враховується лише внесок спектральної інформації, що міститься в первинних мультиспектральних зображень.

Візуальну «якість» зображення можна оцінити за критеріями максимуму характеристик інформативності, до яких відносяться інформаційна ентропія:

$$E(x) = - \sum_{k=0}^{N-1} p_k \cdot \log_2 p_k, \quad (9)$$

де N — кількість рівнів яскравості; p_k — частота k -го рівня яскравості вибірки x ;

k — рівень яскравості, який належить інтервалу $[0, 255]$, $\sum p_k = 1$.

Сигнальна ентропія має наступний вигляд:

$$E_{\text{сигн.}}(x) = - \sum_{i=0}^{N-1} p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (10)$$

де N — кількість рівнів яскравості;

$p_i = \frac{i \cdot x_i}{\sum_{j=0}^{255} j \cdot x_j}$ є аналогом частоти, частота i -го рівня яскравості вибірки x ;

i — рівень яскравості, який належить інтервалу $[0, 255]$, $\sum p_i = 1$.

У таблиці 1 наведено значення інформаційної та сигнальної ентропії, отримані для первинних мультиспектрального та панхроматичного знімків, а також для синтезованих зображень за усіма вказаними IHS-модифікацій (розмір зображень 4604*4600). У таблиці 2 вказані значення найбільш відомих характеристик якості для первинного мультиспектрального зображення. У таблиці 3 та 4 наведено обчислені значення зазначених характеристик для синтезованих зображень, отриманих відповідно за лінійним та нелінійним IHS. Графічне подання отриманих значень інформаційної наведено на рисунках 3-6.

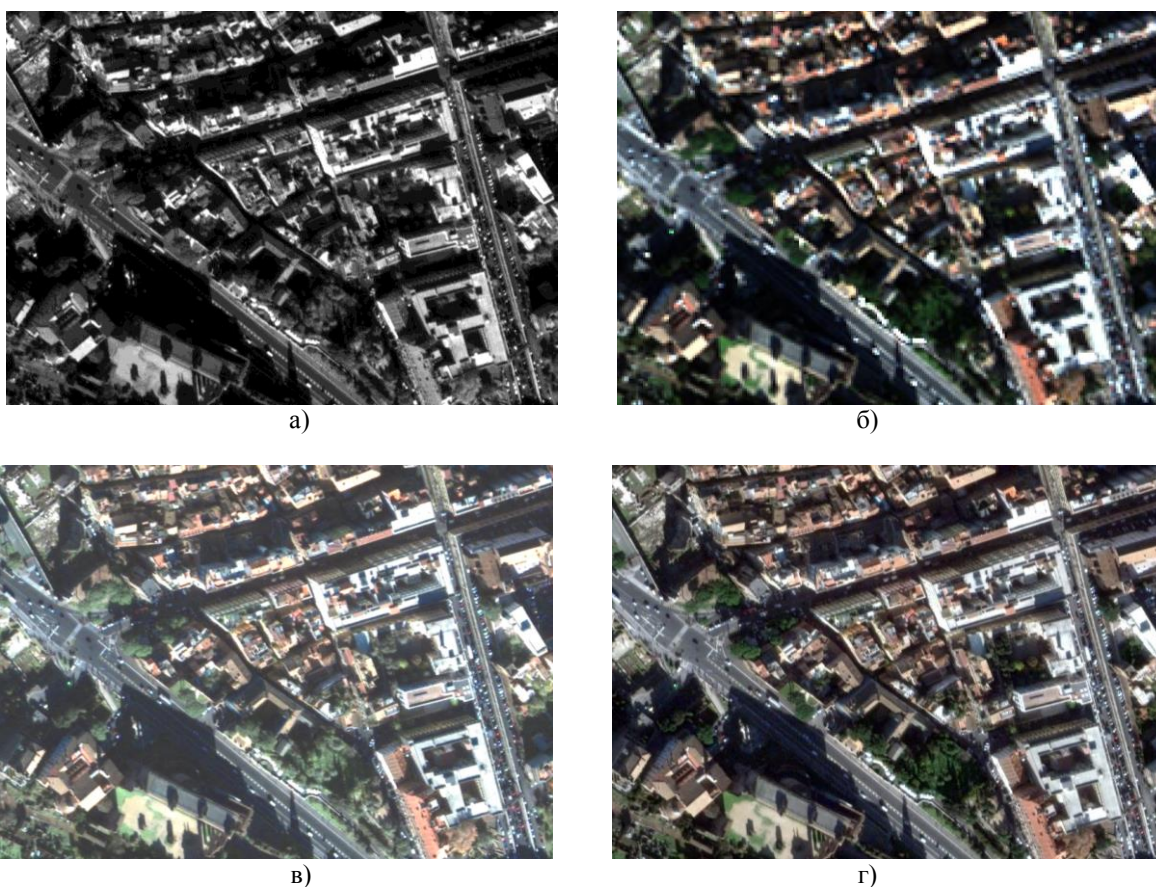


Рис.2.Фотограмметричні зображення:

а) первинне панхроматичне; б) первинне мультиспектральне;

в) зображення, опрацьоване лінійною моделлю IHS; г) зображення, опрацьоване нелінійною моделлю IHS

Таблиця 1

Значення інформаційної та сигнальної ентропії

Зображення	Значення інформаційної ентропії	Значення сигнальної ентропії
Панхроматичне зображення	7.1028	7.5410
Первинне мультиспектральне зображення	7.0070	7.1952
Тестове мультиспектральне зображення	7.2457	7.5259
Перетворене за лінійною IHS-моделлю	7.1445	7.5608
Перетворене за нелінійною IHS-моделлю	7.2496	7.7946

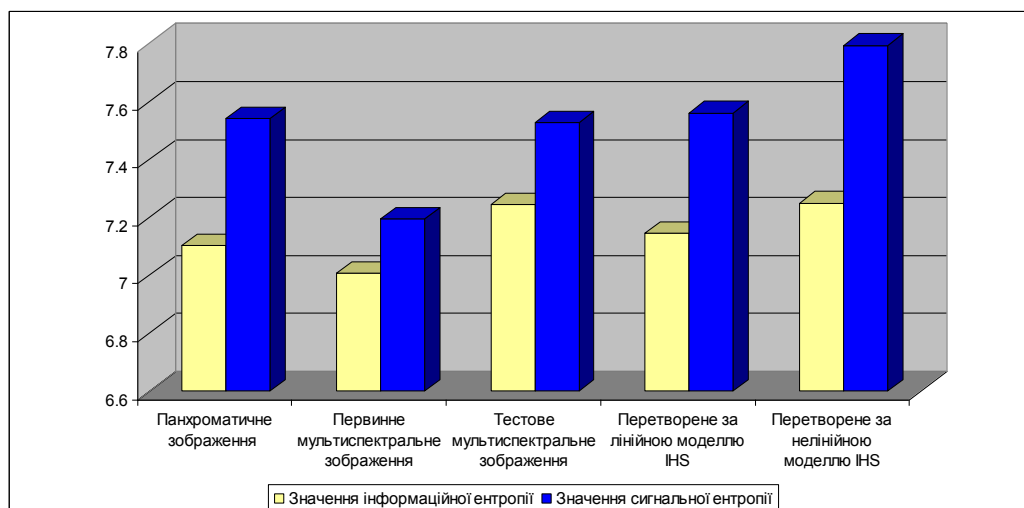


Рис.3. Графічне представлення значень інформаційної та сигнальної ентропії

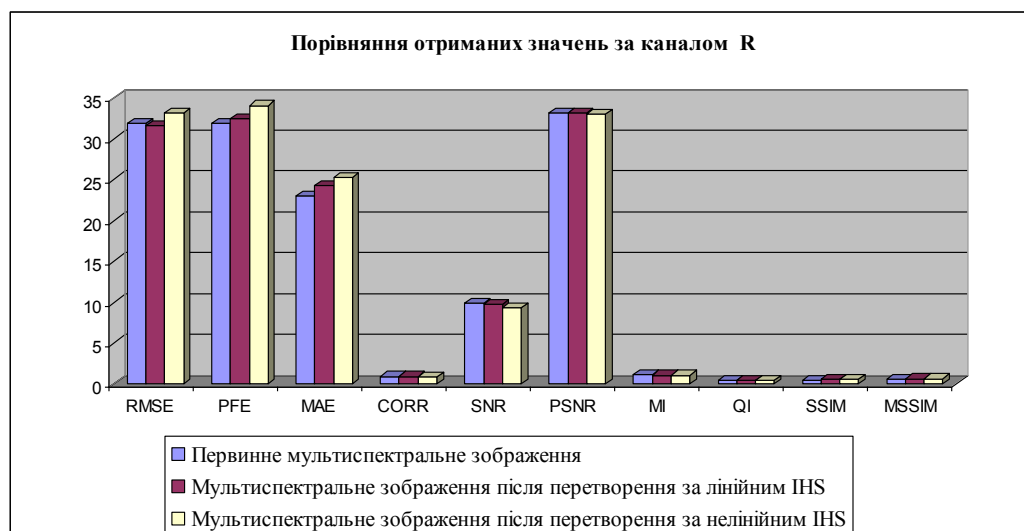


Рис.4. Графічне представлення порівняння отриманих значень за каналом R

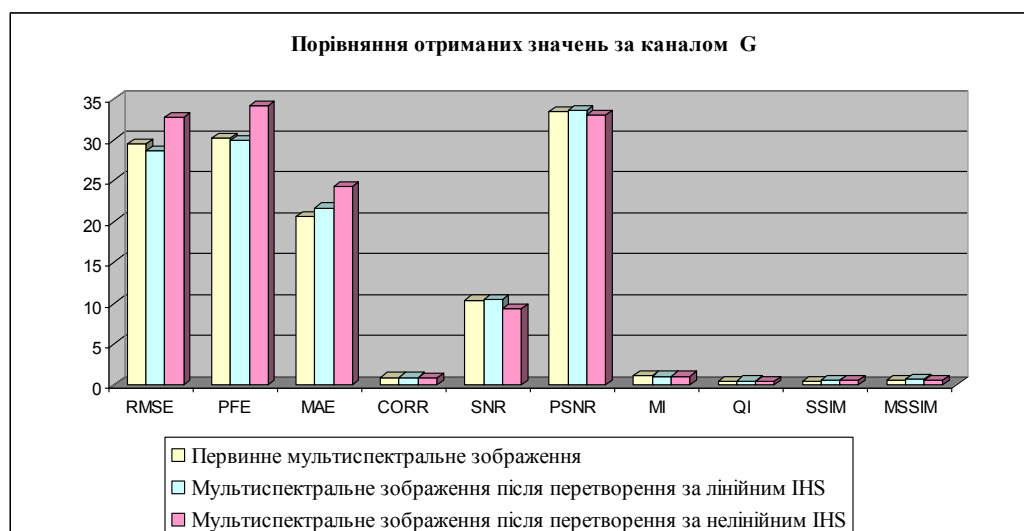


Рис.5. Графічне представлення порівняння отриманих значень за каналом G

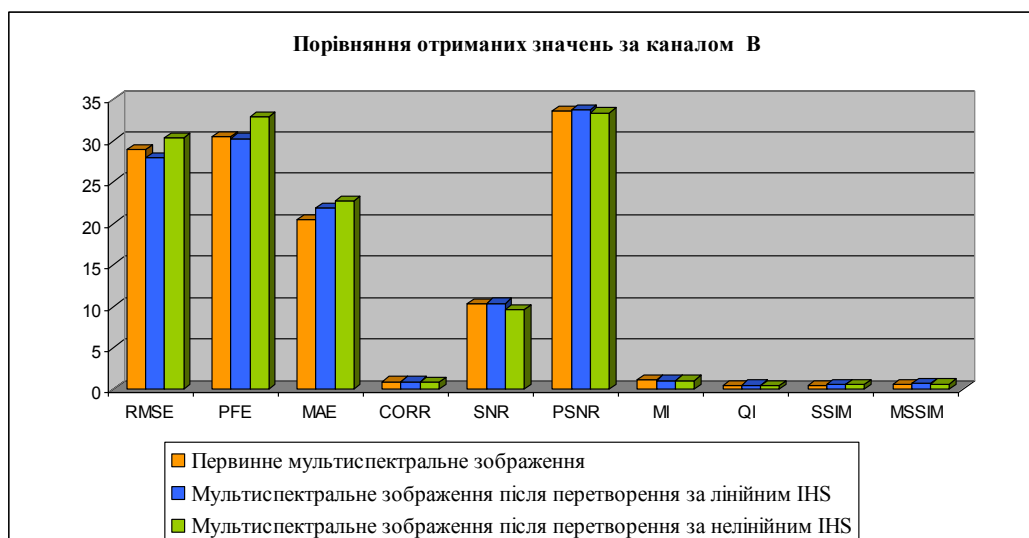


Рис.6. Графічне представлення порівняння отриманих значень за каналом В

Таблиця 2

Значення характеристик для первинного мультиспектрального зображення

Метрика / Канал	R	G	B
Root mean square error (RMSE)	31.831	29.467	28.883
Percentage fit error (PFE)	31.864	30.222	30.485
Mean absolute error (MAE)	23.045	20.583	20.482
Correlation (CORR)	0.946	0.953	0.952
Signal to noise ration (SNR)	9.934	10.393	10.318
Peak signal to noise ration (PSNR)	33.136	33.471	33.558
Mutual information (MI)	1.127	1.129	1.125
Quality index (QI)	0.403	0.440	0.414
Measure of structural similarity (SSIM)	0.465	0.499	0.474
MSSIM	0.598	0.632	0.612

Таблиця 3

Значення характеристик для синтезованого зображення, отриманого за лінійним IHS

Метрика / Канал	R	G	B
Root mean square error (RMSE)	31.534	28.584	27.935
Percentage fit error (PFE)	32.442	29.846	30.246
Mean absolute error (MAE)	24.210	21.650	21.840
Correlation (CORR)	0.939	0.951	0.948
Signal to noise ration (SNR)	9.778	10.502	10.387
Peak signal to noise ration (PSNR)	33.177	33.604	33.703
Mutual information (MI)	1.091	1.098	1.093
Quality index (QI)	0.493	0.532	0.520
Measure of structural similarity (SSIM)	0.559	0.599	0.581
MSSIM	0.666	0.702	0.689

Таблиця 4

Значення характеристик для синтезованого зображення, отриманого за нелінійним IHS

Метрика / Канал	R	G	B
Root mean square error (RMSE)	33.085	32.715	30.352
Percentage fit error (PFE)	34.037	34.160	32.862
Mean absolute error (MAE)	25.302	24.217	22.722
Correlation (CORR)	0.932	0.935	0.935
Signal to noise ration (SNR)	9.361	9.329	9.666
Peak signal to noise ration (PSNR)	32.969	33.017	33.343
Mutual information (MI)	1.091	1.083	1.092
Quality index (QI)	0.493	0.479	0.503
Measure of structural similarity (SSIM)	0.566	0.542	0.558
MSSIM	0.669	0.650	0.671

Висновки та перспективи подальших досліджень. Порівняння значень табл. 2-4 свідчить про те, що у результаті обробки мультиспектральних знімків за допомогою лінійного та нелінійного IHS-перетворень кореляція зменшується, погрішності знижуються, синтезовані зображення мають більш високу якість та збільшену інформативність у порівнянні з первинними знімками. Інформаційна та сигнальна ентропія синтезованих зображень за IHS-перетворенням значно перевищують відповідні значення, обчислені для первинного мультиспектрального зображення. Візуальний аналіз переконливо свідчить, що синтезоване зображення за лінійною IHS-моделлю на відміну від нелінійного перетворення призводить до кольорових спотворень та нереалістичного сприйняття мультиспектрального зображення.

Наші подальші дослідження будуть присвячені удосконаленню запропонованої технології підвищення просторового розрізнення даних при обробці багатоканальних цифрових зображень із залученням інформації, отриманої в інфрачервоному діапазоні.

Література

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Часть 1 / Р.А. Шовенгердт // М.: Техносфера, 2010. - 560 с.
2. Гнатушенко В.В. Новый алгоритм підвищення інформативності фотограметричних зображень / В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац // Вестник «Херсонского национального технического университета». Херсон – 2013, №2(47). С. 100-105.
3. Chien Chun-Liang. Image Fusion With No Gamut Problem by Improved Nonlinear IHS Transforms for Remote Sensing / Chun-Liang Chien, Wen-Hsiang Tsai // IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 52, NO. 1, JANUARY 2014.
4. Гнатушенко В.В. Комп'ютерні технології підвищення інформативності багатоспектральних зображень земної поверхні / В.В. Гнатушенко, О.О. Сафаров // Прикладна геометрія та інженерна графіка. - К.: КНУБА, 2012. - Вип. 89. – С. 140-144.
5. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах // И.С. Грузман и др. Учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
6. Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J.L. Van Genderen // International journal of remote sensing. – 1998. – Vol. 19. – No. 5. – P. 823-854.
7. Yuhendra Sumantyo, Hiroaki Kuze. Performance Analyzing of High Resolution Pan-sharpening Techniques: Increasing Image Quality for Classification using Supervised Kernel Support Vector Machine. [Електронний ресурс] <http://scialert.net/abstract/?doi=rjit.2011.12.23>.