



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

FUZIUNEA IMAGINII PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA IMAGINILOR MULTISPECTRALE PRIN SATELIT

Ahmed AK. TAHIR, Shamal AL-DOHUKI

IMAGE FUSION FOR RESOLUTION IMPROVEMENT OF MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

This paper presents a comparative study concerning the techniques of image fusion that aim at the improvement of the spatial resolution of multispectral satellite images for remote sensing applications. Three methods are used, Hue-Saturation-Intensity color transform (HSI), Principal Component Analysis (PCA), and Brovey technique. Two datasets of two satellites having different resolution and different resolution ratio are used, LANDSAT7 and IKONOS. The measurement of Trade-Off-Value, which is a measure of the degree of resolution improvement and spectral property preservation, is used to evaluate the given methods. The results have shown the superiority of the Brovey method for the LANDSAT7 dataset and the superiority of HSI for the IKONOS dataset.

Keywords: image fusion, remote sensing, Hue-Saturation-Intensity transform (HSI), Principal Component Analysis (PCA), Brovey technique

Cuvinte cheie: fuziune a imaginii, teledetecție, transformare a culorii nuanță-saturație-intensitate transformata (HSI), Analiza componentei principale (PCA), tehnica Brovey

1. Introducere

Fuziunea imaginii este o tehnică de injectare de informații despre cea mai detaliată imagine (rezoluție spațială înaltă) în imaginea mai puțin detaliată (rezoluție spațială redusă). În teledetecție, fuziunea

imaginii este de o importanță vitală pentru îmbunătățirea rezoluției spațiale a imaginilor multispectrale (imagini cu rezoluție redusă) pentru interpretarea vizuală și pe calculator, [1]. Rolul fuziunii imaginii este de a fuziona (injecta) detaliile din imaginea de înaltă rezoluție (imaginea pancromatică) în imaginea de rezoluție mică (imaginea multispectrală), fără a denatura proprietatea spectrală originală. În scopul realizării unei fuziuni a imaginii rezonabile, două condiții trebuie să fie disponibile.

Prima este aceea că banda de frecvență pancromatică trebuie să acopere benzile de frecvență ale imaginilor multispectrale.

A doua condiție este ca imaginile fuzionate trebuie să fie înregistrate geometric.

Metodele de fuziune a imaginii sunt clasificate, în general, ca fiind metode de fuziune de bandă unică sau multiplă. În cazul metodelor de fuziune de bandă multiplă precum HSI, Brovey PCA, PCA standardizat și analiza componentelor independente (ICA) într-un anumit moment sunt implicate mai mult de o bandă spectrală, [2, 3, 4]. În fuziunea de bandă unică, cum ar fi transformata de undă, transformata Fourier și descompunerea valorii singulare, doar o singură bandă este implicată, [5, 6, 7].

Acest articol presupune un studiu comparativ între metodele de fuziune de bandă multiplă, HSI, Brovey și PCA.

2. Metode de fuziune a imaginii de bandă multiplă

Procedurile majore de fuziune a imaginii de bandă multiplă sunt prezentate în (figura 1). Următoarele subcapitole prezintă o scurtă descriere privind bazele teoretice ale metodelor de bandă multiplă, în mod specific, metodele HSI, Brovey și PCA.

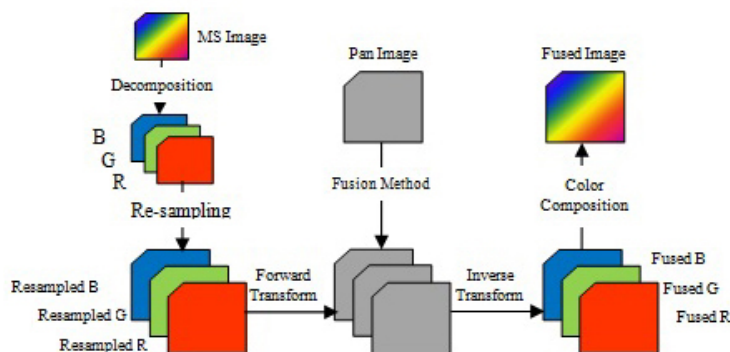


Fig. 1 Schema sinoptică a procedurilor fuziunii

2.1 Nuanță-saturație-intensitate (HSI)

Transformarea HSI este o transformare de culoare folosită de obicei pentru îmbunătățirea imaginii. Ea transformă spațiul de culoare RGB pentru noul spațiu care descrie proprietățile fizice ale culorilor RGB, [8]. Componenta Nuanță (H) descrie culoarea dominantă, componenta Saturație (S) descrie puritatea culorii și componenta Intensitate (I) descrie luminozitatea culorii. Această metodă a fost utilizată pe scară largă în aplicațiile de procesare a imaginii și de vizualizare pe calculator, inclusiv fuziunea de imagine. Matricile transformate dinainte (RGB în HSI) și transformata inversă (HSI în RGB) pot fi găsite în [8]. Procedurile de fuziune HSI sunt:

1. Înainte de transformata HSI (RGB-în-HSI).
2. componenta Intensitate este înlocuită cu imaginea pancromatică, care este de înaltă rezoluție.
3. Transformata HSI inversă (HSI-to-RGB).

2.2 Metoda Brovey

Metoda Brovey a fost introdusă de Bob Brovey în 1990 [1]. Aceasta include normalizarea benzilor multispectrale și multiplicarea cu banda pancromatică. Formula metodei Brovey poate fi găsită în [1].

2.3 Analiza componentei principale (PCA)

Analiza componentelor principale (PCA) este o transformare liniară care transformă un spațiu multi-dimensional al imaginilor corelate, într-un alt spațiu de imagini necorelate, numite imaginile componente principale. Aceasta a fost folosită în domeniul teledetecției pentru analiza și clasificarea imaginilor multispectrale, [9]. Aceasta a fost de asemenea folosită ca o metodă de fuziune pentru îmbunătățirea rezoluției spațiale a imaginilor satelitare multispectrale. Punerea în aplicare a PCA pentru fuziunea imaginii necesită:

1. Calculul matricei eigenvector din matricea de covarianță a imaginilor multispectrale inter-relaționate, folosind metoda Jacobi, [2].
2. Rotirea spațiului imaginii corelată cu componenta spațiu necorelat PCA folosind matricea eigenvector.
3. Înlocuirea primului component cu imaginea pancromatică urmată de PCA invers.

3. Rezultate

Metodele (HSI, Brovey, PCA) au fost aplicate la două seturi de date diferite captate de Landsat7 și IKONOS. Pentru Landsat7, rezoluția spațială a senzorului multispectral este de 30 m, iar pentru senzorul pancromatic este de 15 m. Astfel, factorul de coeficient-rezoluție este 2. Pentru IKONOS, rezoluția spațială a senzorului multispectral este de 4 m și pentru senzorul pancromatic este de 1 m. Astfel, factorul de coeficient-rezoluție este de 4. Figura 2 prezintă imagini originale multispectrale, pancromatice și fuzionate pentru setul de date Landsat7. Figura 3 prezintă aceleași rezultate pentru IKONOS. În (figura 2), dimensiunea imaginii multispectrale originale este un sfert din imaginea pancromatică, deoarece coeficientul-rezoluție este 2. În (figura 3), dimensiunea imaginii multispectrale originale este a opta parte din imaginea pancromatică deoarece coeficientul-rezoluție este 4. Inspecția vizuală (figura 2), arată că rezoluția a fost îmbunătățită prin toate cele trei metode. Acest lucru poate fi văzut prin compararea imaginilor HSI, BROV și PCA cu imaginile originale redimensionate. Cu toate acestea, imaginile HSI și BROV arată o mai bună îmbunătățire a rezoluției pentru imaginile PCA cu mai puține distorsiuni a proprietăților spectrale.

Inspecția vizuală (figura 3), prezintă aceleași rezultate pentru setul de date IKONOS, cu excepția faptului că imaginea HSI este puțin mai bună decât imaginea BROV. Totuși, rezoluția a fost îmbunătățită prin toate cele trei metode. Acest lucru poate fi văzut prin compararea imaginilor HSI, BROV și PCA cu imaginea color MS eşantion. Cu toate acestea, imaginile HSI și BROV arată o mai bună îmbunătățire a rezoluției, cu o mai bună conservare a proprietăților spectrale decât a imaginii PCA.

4. Evaluarea cantitativă

În abordarea cantitativă, de obicei, evaluarea metodelor de fuziune pentru îmbunătățirea rezoluției și conservarea proprietăților spectrale se face prin intermediul unor măsurători standard, cum ar fi coeficientul de corelare, diferența de imagine, eroarea de deviație standard, eroarea de entropie, eroarea medie și funcția de sensibilitate la contrast (LCR), [2,10]. Cu toate acestea, în această lucrare măsurarea valorii de compromis (T.O.V), care a fost introdusă de [2] a fost utilizată. Această măsură pare a fi mai intuitivă deoarece ia în considerare factorii de îmbunătățire a rezoluției și conservarea

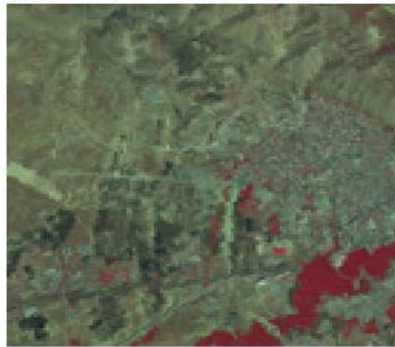
LANDSAT7



MS Color Image



Panchromatic Image



MS Color Image-Resampled



Fused MS Color Image-HSI



Fused MS Color Image-Brovey



Fused MS Color Image-PCA

Fig. 2 Imaginile originale și fuzionate pentru setul de date Landsat7

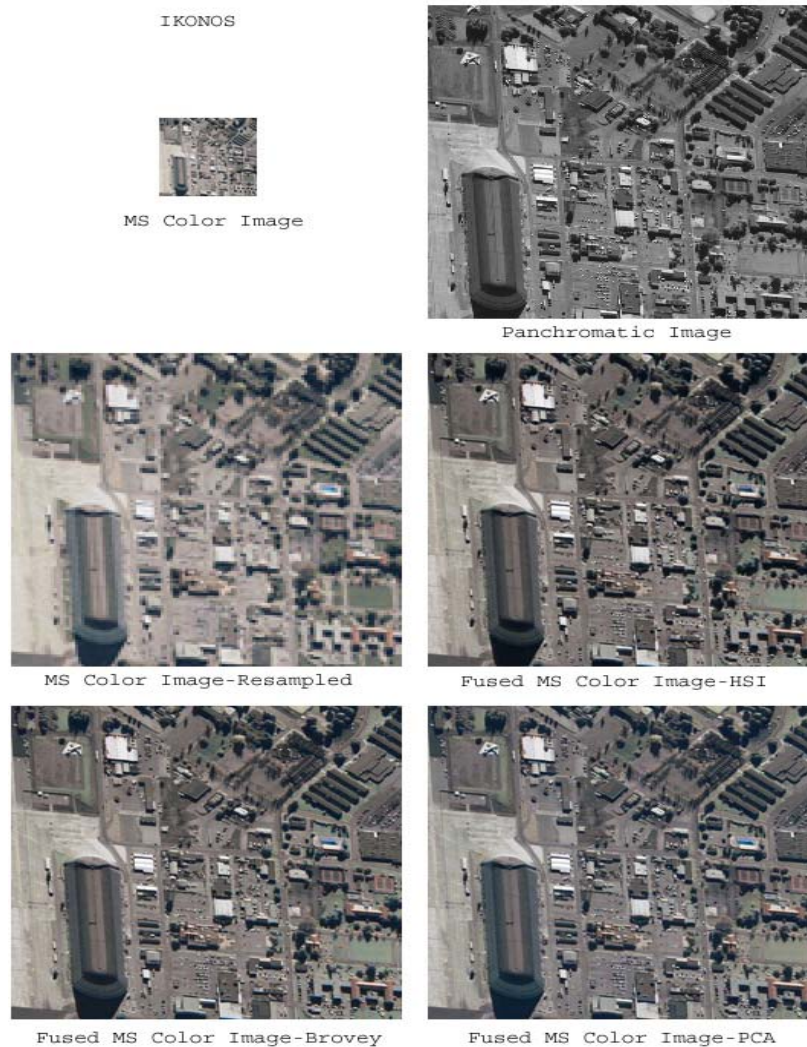


Fig. 3 Imaginile originale și fuzionate pentru setul de date IKONOS

spectrale. Tabelele (1, 2, 3) arată măsurătorile de evaluare T.O.V pentru benzile unice și media măsurătorilor T.O.V. pentru cele două seturi de date, folosind cele trei metode (HSI, Brovey și PCA). În conformitate cu aceste tabele, măsurătorile T.O.V pentru setul de date Lansadt7 sunt mai mari decât cele ale setului de date IKONOS, pentru

toate cele trei metode. Totuși, pentru Landsat7 metoda Brovey este cea mai bună și metoda PCA este cea mai rea. Pentru IKONOS, metoda HSI este cea mai bună și metoda Brovey este cea mai rea.

Având în vedere faptul că raportul dintre rezoluția imaginii pancromatice și imaginea multispectrală este de 4 pentru satelitul IKONOS și 2 pentru satelitul Landsat7, acest lucru duce la concluzia că SIS este mai eficient pentru un coeficient de rezoluție mai mare.

Tabel 1. Măsurători de evaluare pentru metoda HSI

Transformarea HIS					
Imagini Landsat-7			Imagini IKONOS		
Banda spectrală	T.O.V	Media T.O.V	Banda spectrală	T.O.V	Media T.O.V
IR-Band	0.642	0.759	R-Band	0.744	0.702
G-Band	0.847		G-Band	0.71	
B-Band	0.788		B-Band	0.654	

Tabel 2. Măsurători de evaluare pentru metoda Brovey

Metoda Brovey					
Imagini Landsat-7			Imagini IKONOS		
Banda spectrală	T.O.V	Media T.O.V	Banda spectrală	T.O.V	Media T.O.V
IR-Band	0.711	0.788	R-Band	0.737	0.68
G-Band	0.876		G-Band	0.684	
B-Band	0.776		B-Band	0.619	

Tabel 3. Măsurători de evaluare pentru metoda PCA

Transformarea PCA					
Imagini Landsat-7			Imagini IKONOS		
Banda spectrală	T.O.V	Medie T.O.V	Bandă spectrală	T.O.V	Medie T.O.V
IR-Band	0.594	0.671	R-Band	0.685	0.687
G-Band	0.701		G-Band	0.685	
B-Band	0.719		B-Band	0.69	

5. Concluzii

Mai multe tipuri de concluzii au fost relevate și sunt menționate mai jos:

1 - În general, transformata HSI și metoda Brovey au produs o îmbunătățire a rezoluției spațiale, cu o bună conservare a proprietăților spectrale.

2 - Conform măsurătorilor de evaluare în tabelele (1,2,3), metoda Brovey este superioară pentru datele satelitare pentru factorul de coeficient-rezoluție joasă și metoda HSI care este superioară pentru datele satelitare pentru factorul de coeficient-rezoluție înaltă. Astfel, factorul de coeficient-rezoluție trebuie să fie luat în considerare atunci când este selectată o metodă de fuziune.

3 - Metoda PCA a arătat cele mai slabe rezultate în general. Acest lucru se poate datora faptului că metoda PCA este dependentă de transformata de date.

4 - Măsurătoarea de evaluare T.O.V s-a dovedit a fi una eficientă, deoarece este legată, atât de gradul de îmbunătățire al rezoluției, cât și a gradului de conservare a proprietății spectrale.

Prof.Dr. Ahmed AK TAHIR
Head of the Computer Science Dept,
College of Science, University of Duhok,
Kurdistan Region of Iraq.
Tel: +964 (0) 750 457 7899
E-Mail: a.ak.tahir.58@gmail.com

Mr. Shamal AL-DOHUKI
Formerly research assistant at the Computer Science Dept.,
College of Science, University of Duhok,
Kurdistan Region of Iraq.
PhD student at Kent State University, USA, since 2013
E-Mail: saldohuk@kent.edu

Traducere: Prof.Dr.Ing. Steluța ANGHELUȘ, Prof. Marcela URS



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

IMAGE FUSION FOR RESOLUTION IMPROVEMENT OF MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

Ahmed AK. Tahir, Shamal M. A. Taha

FUZIUNEA IMAGINII PENTRU ÎMBUNĂȚĂȚIREA IMAGINILOR MULTISPECTRALE PRIN SATELIT

Această lucrare prezintă un studiu comparativ privind tehnicile de fuziune a imaginii, care au drept scop îmbunătățirea rezoluției spațiale ale imaginilor multispectrale prin satelit, pentru aplicații de teledetecție. Sunt utilizate trei metode de transformare a culorii nuanță-saturație-intensitate (HSI), analiza componentelor principale (PCA) și tehnica Brovey. Sunt utilizate două seturi de date provenite de la doi sateliți, LANDSAT7 și IKONOS, care au rezoluții diferite și sunt folosiți coeficienți de rezoluție diferiți. Măsurarea valorii de compromis, care este o măsură a gradului de îmbunătățire a rezoluției și conservarea proprietății spectrale, este utilizată pentru a evalua metodele date. Rezultatele au arătat superioritatea metodei Brovey pentru setul de date LANDSAT7 și superioritatea HSI pentru setul de date IKONOS.

Cuvinte cheie: fuziune a imaginii, teledetecție, transformare a culorii nuanță-saturație-intensitate transformata (HSI), Analiza componentei principale (PCA), tehnica Brovey

Keywords: image fusion, remote sensing, Hue-Saturation-Intensity transform (HSI), Principal Component Analysis (PCA), Brovey technique

1. Introduction

Image fusion is a technique of injecting information of the high detailed image (high spatial resolution) into the low detailed image (low spatial resolution). In remote sensing, image fusion is of vital

importance for improving the spatial resolution of multispectral images (low resolution images) for visual and computer based interpretation, [1]. The role of image fusion is to fuse (inject) details from the high resolution image (panchromatic image) into the low resolution image (multispectral image) without distorting the original spectral property. In order to achieve reasonable image fusion, two conditions must be available. The first is that the waveband of panchromatic must cover the wavebands of the multispectral images. The second is that the fused images must be registered geometrically.

Methods of image fusion are categorized, in general, to multiband and single band fusion methods. In multiband fusion methods such as HSI, Brovey PCA, Standardized PCA and Independent Component Analysis (ICA) more than one spectral band is involved at a time, [2, 3, 4]. In the single band fusion such as wavelet transform, Fourier transform and Singular Value decomposition, only one band is involved, [5, 6, 7].

This article involves a comparative study among the fusion methods of multiband, HSI, Brovey and PCA.

2. Methods of Multiband Image Fusion

The major procedures of multiband image fusion are shown in (figure 1). The following subsections present brief description concerning the theoretical background of the multiband methods, specifically the methods of HSI, Brovey and PCA.

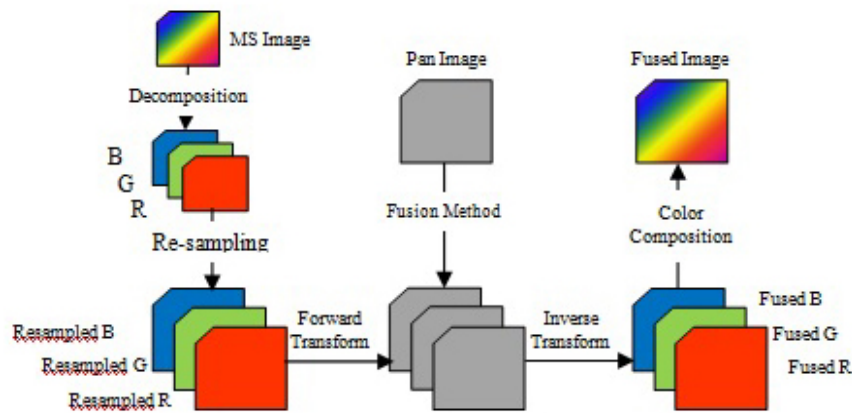


Fig.1 Block diagram of Fusion procedures

2.1 Hue-Saturation-Intensity (HSI)

The HSI transformation is a color transformation usually used for image enhancement. It transforms RGB color space to new space describing the physical properties of the RGB colors, [8]. The Hue component (H) describes the dominant color, Saturation component (S) describes the purity of the color and Intensity (I) describes the brightness of the color. It has been used widely in the applications of image processing and computer vision including image fusion. The matrices of forward transform (RGB to HSI) and the inverse transform (HSI to RGB) can be found in [8]. The procedures of HSI Fusion are:

1. Forward HSI transform (RGB-to-HSI).
2. Intensity component is replaced by the panchromatic image which is of high resolution.
3. Inverse HSI transform (HSI-to-RGB).

2.2 Brovey Method

Brovey method was introduced by Bob Brovey in 1990 [1]. It includes normalization of multispectral bands and multiplication by the panchromatic band. The formula of Brovey method can be found in [1].

2.3 Principal Component Analysis (PCA)

The Principal Component Analysis (PCA) is a linear transformation that transforms a multi-dimensional space of correlated images to another space of uncorrected images called the principal component images. It has been used in the field of remote sensing for multispectral image analysis and classification, [9]. It has also been used as a fusion method for improving spatial resolution of multispectral satellite images. The implementation of PCA for image fusion requires:

1. Calculation of Eigen-vector matrix from the covariance matrix of inter-related multispectral images using Jacobi method, [2].
2. Rotation of the correlated image space to uncorrelated PCA component space using Eigen-vector matrix.
3. Replacing the first component by the panchromatic image followed by Inverse PCA

3. Results

The methods (HSI, Brovey, PCA) were applied to two different datasets taken by Landsat7 and IKONOS. For Landsat7, the spatial

resolution of multispectral sensor is 30 m and for panchromatic sensor is 15 m. Thus the resolution-ratio factor is 2. For IKONOS, the spatial resolution of multispectral sensor is 4 m and for panchromatic sensor is 1 m. Thus the resolution-ratio factor is 4. Figure 2 shows the original multispectral, panchromatic and fused images for the Landsat7 dataset. Figure 3 shows the same results for IKONOS dataset. In (figure 2), the size of the original multispectral image is quarter of the panchromatic image because the resolution-ratio is 2. In (figure 3) the size of the original multispectral image is eighth of the panchromatic image because the resolution-ratio is 4. Visual inspection of (figure 2) shows that the resolution was improved by all three methods. This can be seen by comparing HSI, BROV and PCA images to the Original-Resampled image. However, HSI and BROV images show better improvement in the resolution PCA images with less distortion of spectral properties.

Visual inspection of (figure 3), shows the same results for the IKONOS dataset with the exception that HSI image is slightly better than BROV image. However, the resolution was improved by all three methods. This can be seen by comparing HSI, BROV and PCA images to the MS Color resampled image. However, HSI and BROV images show better improvement in the resolution with better preservation of spectral properties than PCA image.

4. Quantitative Evaluation

In the quantitative approach usually the evaluation of the fusion methods for resolution improvement and spectral properties preservation is made via some standard measurements, such as correlation coefficient, image difference, standard deviation bias, entropy bias, mean bias and Contrast Sensitivity Function (CSF), [2,10]. However, in this work the measurement of Trade-Off-Value (T.O.V) which was introduced by [2] was used. This measure seems to be more intuitive as it considers the factors of resolution improvement and spectral property preservation. Tables (1, 2, 3) show the evaluation measures T.O.V for the single bands and the average T.O.V for the two datasets using the three methods (HSI, Brovey and PCA). According to these tables, T.O.V measures for the Landsat7 dataset are higher than those of the IKONOS dataset for all the three methods. However, for Landsat7 dataset Brovey is the best and PCA is the worst. For IKONOS dataset, HSI is the best and Brovey is the worst. Given the fact that the resolution ratio between the panchromatic image and the multispectral.

LANDSAT7



MS Color Image



Panchromatic Image



MS Color Image-Resampled



Fused MS Color Image-HSI



Fused MS Color Image-Brovey



Fused MS Color Image-PCA

Fig. 2 Original and fused images for the Landsat7 dataset

IKONOS



MS Color Image



Panchromatic Image



MS Color Image-Resampled



Fused MS Color Image-HSI



Fused MS Color Image-Brovey



Fused MS Color Image-PCA

Fig. 3 Original and fused images for the IKONOS dataset

image is 4 for the IKONOS satellite and 2 for the Landsat7 satellite, this leads to the conclusion that HIS is more efficient for higher resolution-ratio

Table 1. Evaluation measures for HSI method

HIS Transformation					
Landsat-7 Images			IKONOS Images		
Spectral Band	T.O.V	Average T.O.V	Spectral Band	T.O.V	Average T.O.V
IR-Band	0.642	0.759	R-Band	0.744	0.702
G-Band	0.847		G-Band	0.71	
B-Band	0.788		B-Band	0.654	

Table 2. Evaluation measures for Brovey method

Brovey Method					
Landsat-7 Images			IKONOS Images		
Spectral Band	T.O.V	Average T.O.V	Spectral Band	T.O.V	Average T.O.V
IR-Band	0.711	0.788	R-Band	0.737	0.68
G-Band	0.876		G-Band	0.684	
B-Band	0.776		B-Band	0.619	

Table 3. Evaluation measures for PCA method

PCA Transformation					
Landsat-7 Images			IKONOS Images		
Spectral Band	T.O.V	Average T.O.V	Spectral Band	T.O.V	Average T.O.V
IR-Band	0.594	0.671	R-Band	0.685	0.687
G-Band	0.701		G-Band	0.685	
B-Band	0.719		B-Band	0.69	

5. Conclusions

Several conclusions were pointed out which are mentioned below:

1 - Generally, HSI transform and Brovey methods produced better improvement in the spatial resolution with good preservation of the spectral properties.

2 - According to the evaluation measures in tables (1, 2, 3), Brovey method is more superior for satellite dataset of low resolution-ratio factor and HSI is more superior for satellite dataset of high resolution-ratio factor. Thus the resolution-ratio factor must be considered when a fusion method is selected.

3 - PCA has shown the worst results in general. This might be due to the fact that PCA is data dependent transform.

4 -The evaluation measure T.O.V has shown to be an efficient measure since it is related to both, the degree in the resolution improvement and the degree of spectral property preservation.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Pohl C. and Van Genderen J. L. 1998: "Multisensor Image Fusion In Remote Sensing: Concept, Methods And Application", *INT. J. Remote Sensing*, Vol. 19, No. 5, Pp (823-854).
- [2] Al-Duhoki Shamal, "Improving Spatial Resolution Of Satellite Images Through Image Fusion Techniques", *MSC Thesis, University of Duhok, Kurdistan Region of Iraq*, 2008.
- [3] Jing Yang, Ying Li, Jonathan Cheung-Wai Chan and Qiang Shen, "Image Fusion for Spatial Enhancement of Hyperspectral Image via Pixel Group Based Non-Local Sparse Representation", *Remote Sens.* 2017, 9, 53; doi:10.3390/rs9010053, Pp (1-19).
- [4] Hnatushenko V.V. and Vasyliev V.V, "Remote Sensing Image Fusion Using ICA and Optimized Wavelet Transform", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B7, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic*.
- [5] Garguet-Duport B., Girel J., Chassery J. and Pautou G., "The use of multiresolution analysis and wavelet transform for merging SPOT Panchromatic and Multispectral image data", *Photogrammetric engineering and remote sensing* 1996, vol. 62, Pp (1057-1066).
- [6] Ehlers M., Greiwe A. and Tomowski D., 2006:" On segment image fusion", *1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006)*, Salzburg University, Austria, July 4-5, 2006, Volume No. XXXVI – 4/C42, Pp (924-936).
- [7] Haidawati Nasir, Vladimir Stankovic and Stephen Marshall, " Singular Value Decomposition Based Fusion for Super-Resolution Image Reconstruction", *Signal Processing: Image Communication*, 27 (2012), Pp(180-191).
- [8] Choi M., Kim R. Y., Cho N. I. and Kim H. O., " An Improved Intensity-Hue-Saturation Method for IKONOS Image Fusion", *amath.kaist.ac.kr / research / paper / 06-9.pdf*, 2006
- [9] Tahir AK. Ahmed, "Improving Visual Interpretation of MultiSpectral Datasets through Interactive Manipulation of feature Space", *PhD Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London*, 1991.
- [10] Sivagami R., Vaithyanathan V., Sangeetha V., Ahmed Ifjaz M., Abraham Sundar K, and Lakshmi Divya K., "Review of Image fusion Techniques and Evaluation Metrics for remote Sensing Application", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 8(35), DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i35/86677, December 2015, Pp (1-7).