

一种基于结构相似度的 IHS 变换融合算法

王晓艳,刘 勇,蒋志勇

(兰州大学资源与环境学院,甘肃 兰州 730000)

摘要:由于 IHS 色彩空间表现的颜色更加符合人眼的视觉规律,因此,IHS 变换在遥感影像融合中被广泛应用。针对传统的 IHS 变换融合算法进行融合实验时有较大的色彩畸变问题,提出了一种基于结构相似度(Strucral Similarity SSIM)的 IHS 变换融合算法。对影像进行 IHS 变换之后,计算原始多光谱影像 I 分量与全色波段影像的 SSIM 矩阵,并由该 SSIM 矩阵确定对应不同区域的新的亮度分量 I'。实验结果表明,该算法在增强影像空间分辨率的同时,能很好地保持其光谱特征。

关 键 词:图像融合;IHS 变换;SSIM;遥感

中图分类号:TP 753 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2011)05-0670-07

引 用 格 式:Wang Xiaoyan,Liu Yong,Jiang Zhiyong. An IHS Fusion Method based on Structural Similarity[J]. Remote Sensing Technology and Application,2011,26(5):670-676. [王晓艳,刘勇,蒋志勇. 一种基于结构相似度的 IHS 变换融合算法[J]. 遥感技术与应用,2011,26(5):670-676.]

1 引 言

遥感数据融合是指将不同传感器获得的同一区域的不同分辨率图像的信息融合在一起,并利用它们在时空上的相关性及信息熵的互补性获得对地表景物更加全面、更加清晰的描述,增强遥感影像目视解译的准确性,提高数据的使用效率^[1]。目前,研究人员已提出了多种遥感数据融合算法,这些算法各有其适用的数据源,并针对不同的具体应用^[2-9]。

IHS 色彩空间由于其表现的颜色更加符合人眼的视觉规律,因此,IHS 变换在遥感影像融合中被广泛应用。标准 IHS 变换融合的基本思想是将原始多光谱影像进行 IHS 变换,用全色波段影像替换 I 分量,然后进行 IHS 逆变换,返回到 RGB 空间,获得融合影像。在以全色波段替换 I 分量时,为了有效地减少色彩畸变,通常先将全色波段作直方图匹配,使之与 I 分量有相同的灰度分布,这种方法称为改进的 IHS 变换融合算法。这两种融合算法都能有效提高影像的空间分辨率,但同时会产生较大的色彩畸变。

目前,许多学者基于 IHS 变换发展了一些新的融合算法。Ling 等^[10]提出了一种适于高分辨率遥感影像的 FFT 加强的 IHS 变换融合算法并取得了较好的效果,但是该算法中对全色波段影像进行高通滤波

时,如何选择合适的滤波器仍是一个问题;Zhang 等^[11]提出了一种 IHS 与小波变换相结合的融合算法,该算法对高分辨率的 IKONOS 和 QuickBird 影像有较好的融合效果,但是该融合算法要求全色波段影像和多光谱影像有很高的配准精度。为了克服 IHS 变换融合算法的缺点,本文提出了一种基于结构相似度的 IHS 变换融合算法,首先对多光谱影像进行 IHS 变换,通过判断全色波段与多光谱影像 I 分量的结构相似度,确定是否对 I 分量进行改变。该算法融合规则的制定直接在空间域进行,简单快捷。实验结果表明,该算法能使融合影像具有较高的空间分辨率,同时又能很好地保持原始多光谱影像的光谱特征。

2 基于结构相似度的 IHS 变换融合算法

2.1 IHS 变换

常用的色彩空间有 RGB 色彩空间和 IHS 色彩空间,RGB 色彩空间常用于计算机彩色显示器的显示系统中,由多光谱图像的 3 个波段合成的彩色图像实际上显示在 RGB 空间中。而 IHS 色彩空间包含亮度 I(Intensity)、色度 H(Hue)、饱和度 S(Saturation)三要素,它所表现的颜色更加符合人眼的视觉系统,所以在图像融合中被广泛使用。

2.2 结构相似度 SSIM

图像像素之间存在很强的相关性,而且这些相

关信息携带着关于图像结构的重要信息^[12]。Wang 等^[13-14]认为,人眼视觉的主要功能是提取背景中的结构信息,并在此基础上,给出一种符合人眼视觉系统特性的图像质量客观评判标准:结构相似度。

设 I 、 P 为待比较的两幅图像,则它们之间的结构相似度 $SSIM(I, P)$ 定义为:

$$SSIM(I, P) = \frac{(2\mu_I\mu_P + C_1)(2\sigma_{IP} + C_2)}{(\mu_I^2 + \mu_P^2 + C_1)(\sigma_I^2 + \sigma_P^2 + C_2)} \quad (1)$$

其中: μ_I 、 μ_P 、 σ_I^2 、 σ_P^2 、 σ_{IP} 分别表示图像 I 、 P 的均值、方差、协方差。 $C_1 = (K_1L)^2$, $C_2 = (K_2L)^2$, K_1 、 K_2 为远小于 1 的常数, L 为影像像素值的动态范围。

若采用固定大小的窗口,求窗口内两影像的 $SSIM$ 作为窗口中心像素值,然后逐像素移动窗口,遍布整个图像,则可以得到两影像的结构相似度矩阵。通常对窗口内元素的均值及方差的计算采用如下两种方式:

2.2.1 均值窗口

均值窗口内 μ_I 、 μ_P 、 σ_I 、 σ_P 、 σ_{IP} 的定义如下:

$$\begin{cases} \mu_I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i \\ \mu_P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \\ \sigma_I = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_i - \mu_I)^2 \right)^{1/2} \\ \sigma_P = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \mu_P)^2 \right)^{1/2} \\ \sigma_{IP} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_i - \mu_I)(P_i - \mu_P) \end{cases} \quad (2)$$

采用此种定义所求出的 $SSIM$, 进行可视化表现时通常会出现方块效应。

2.2.2 高斯窗口

高斯窗口内采用中心对称高斯权重函数 $w = \{\omega_i \mid i = 1, 2, \dots, N\}$ 来控制窗口内每个像元对均值及方差的贡献,其中 ω_i 满足 $\sum_{i=1}^N \omega_i = 1$ 。在高斯窗口内,对 μ_I 、 μ_P 、 σ_I 、 σ_P 、 σ_{IP} 的定义变为:

$$\begin{cases} \mu_I = \sum_{i=1}^N (\omega_i \cdot I_i) \\ \mu_P = \sum_{i=1}^N (\omega_i \cdot P_i) \\ \sigma_I = \left(\sum_{i=1}^N \omega_i (I_i - \mu_I)^2 \right)^{1/2} \\ \sigma_P = \left(\sum_{i=1}^N \omega_i (P_i - \mu_P)^2 \right)^{1/2} \\ \sigma_{IP} = \sum_{i=1}^N \omega_i (I_i - \mu_I)(P_i - \mu_P) \end{cases} \quad (3)$$

采用该窗口所求出的 $SSIM$, 可有效消除方块效应。

2.3 基于结构相似度的 IHS 变换融合算法

人眼在观察图像时,实际上是提取了图像的结构信息,因而结构失真真是图像质量评估中至关重要的因素。近年来,结构相似度被广泛应用于图像融合的效果评价^[15-18]。图像融合是为了更好地理解、识别图像,而结构信息直接与图像内容相关,因而本文提出了一种基于结构相似度的 IHS 变换融合方法。本算法的基本思想是首先对原始多光谱影像进行 IHS 变换,得到 I、H、S 分量。比较 I 分量与全色波段的结构相似度,在二者结构相似度较低的区域(对应影像的高频区域),使用全色波段影像替换 I 分量;而在二者结构相似度较高的区域(对应影像的低频区域),对 I 分量不做改变,记得到的新的亮度分量为 I' 。最后采用 I' 、H、S 进行 IHS 反变换得到融合影像,融合算法流程见图 1。

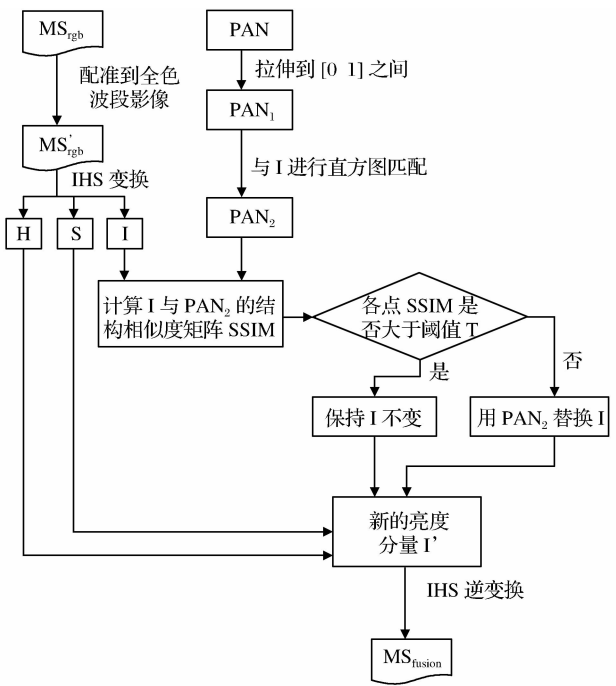


图 1 融合算法流程图

Fig. 1 Schematic diagram for the fusion method

3 融合实验数据

为了说明该算法的有效性,分别采用 SPOT 全色波段与多光谱影像以及 ALOS 全色波段与多光谱影像进行融合实验。

3.1 SPOT 多光谱及全色波段影像

该 SPOT 影像为内蒙古阿拉善左旗吉兰泰盐池,采用 4、3、2 波段合成。由于盐池中含盐量及盐析出程度的不同,盐池各部分在影像上呈现不同的

色调。在全色波段上盐池的各边界清晰可辨,而多光谱影像中空间分辨率较低,但是却包含了丰富的光谱信息,其色调的变化也反映了各盐池的状态。图 2 为原始多光谱影像及全色波段影像。

3.2 ALOS 多光谱及全色波段影像

该 ALOS 影像为青海省某地区农场,采用 4、3、2

波段合成。影像中包含大块的农田,处于生长期的农作物在影像上呈红色,部分作物已收割,收割后的裸地在影像上呈暗灰色;影像中还有部分居民地,在全色波段上建筑物清晰可辨,而在多光谱影像上较为模糊;各地块分界处为防护林,影像上呈深红色调。图 3 为试验所采用的原始多光谱影像及全色波段影像。

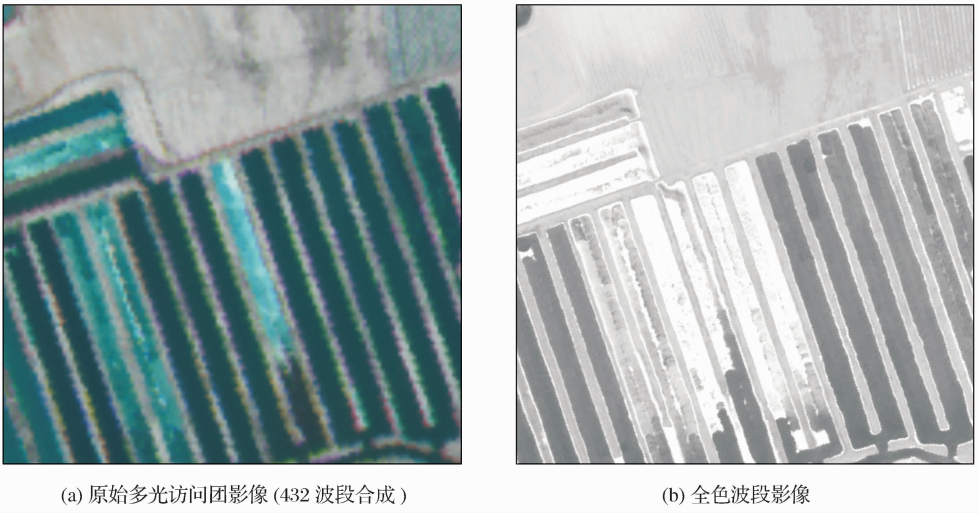


图 2 SPOT 原始多光谱及全色波段影像

Fig. 2 Original multispectral and panchromatic image

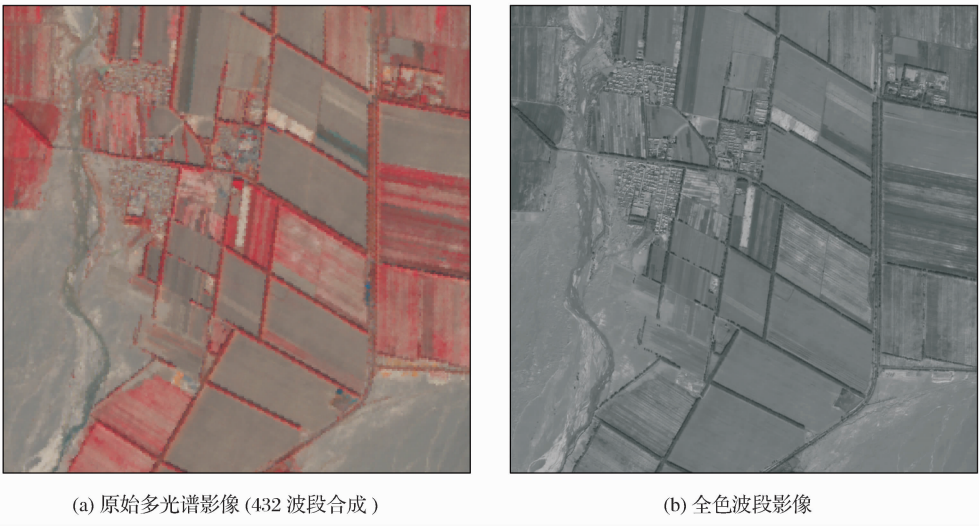


图 3 ALOS 原始多光谱及全色波段影像

Fig. 3 Original multispectral and panchromatic image

4 融合方法及效果评价

4.1 融合方法

本文分别采用标准 IHS 变换融合算法、改进的 IHS 变换融合算法以及本文提出的基于结构相似度的 IHS 变换融合算法,对影像进行了融合实验。在基于结构相似度的 IHS 变换融合算法中,滑动窗口

的大小取为 7×7 ,对窗口内元素的均值及方差的计算采用了均值窗口和高斯窗口两种方式,取计算出的影像中各点的结构相似度的均值作为阈值 T 。以下称采用均值窗口的基于结构相似度的影像融合算法为本文算法 1,称采用高斯窗口的基于结构相似度的融合算法为本文算法 2。图 4、图 5 为各种融合算法的结果影像。

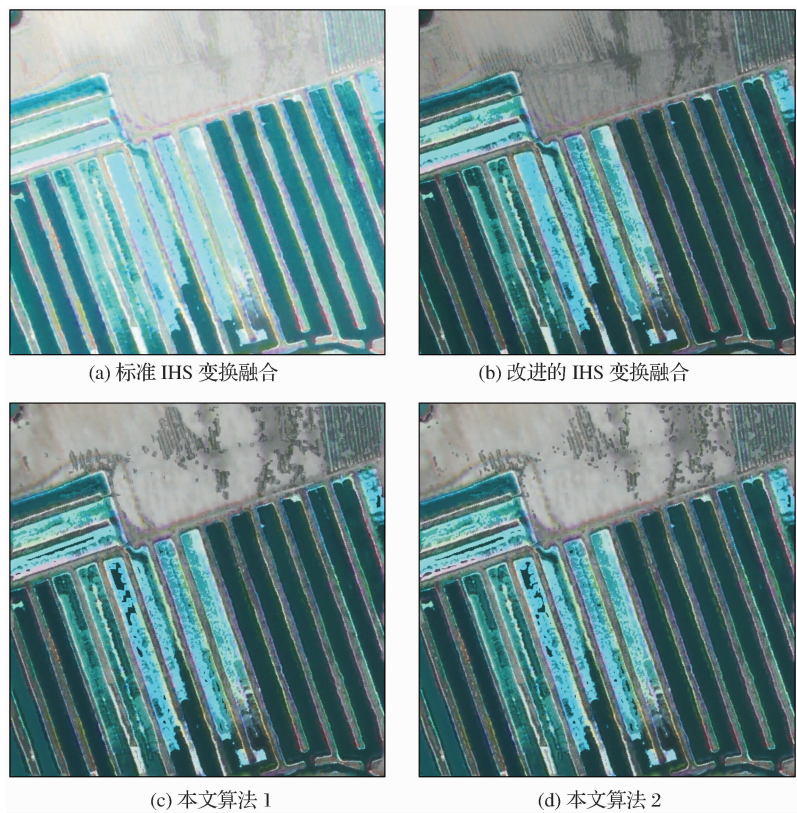


图 4 SPOT 影像各种融合结果影像

Fig. 4 Different fusion results of SPOT image

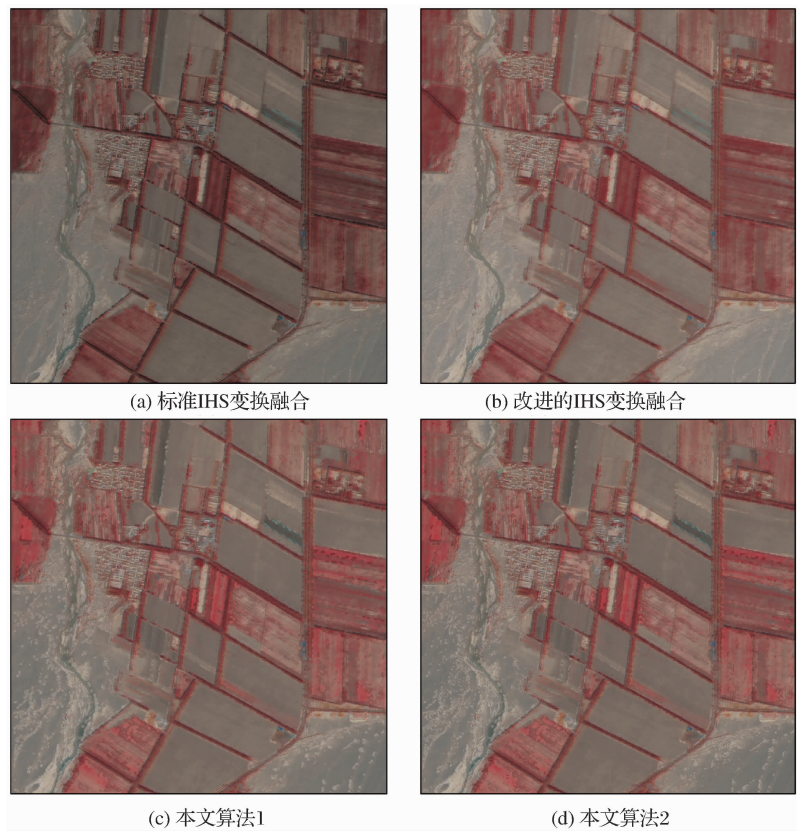


图 5 ALOS 影像各种融合结果影像

Fig. 5 Different fusion results of ALOS image

从主观视觉效果来看,以上几种融合算法在提高空间分辨率方面都取得了较好的效果,SPOT 影像中盐池的边界,在原始多光谱影像中空间分辨率较低,影像上比较模糊,与全色波段影像融合之后,该部分空间细节特征明显加强。ALOS 影像中的居民地,经过融合之后,建筑物清晰可辨。在光谱特征的保持上,两图中的(a)、(b)色调与原始多光谱影像相比发生了较大变化,而(c)、(d)较好地保持了原始影像的光谱特征。

为了客观地评价各种融合算法的效果,采用光谱偏差、相关系数、均方根误差、峰值信噪比、信息熵等参数对融合结果进行了客观评价。其中,光谱

偏差反映了融合图像和原始图像在光谱信息上的差异,光谱偏差值越小,则光谱信息保持得越好;相关系数能反映融合图像与原始多光谱影像光谱特征相似程度,即融合图像保持光谱特性的能力,融合图像与原多光谱图像相关系数越大,融合结果就更好地保持了原多光谱图像的光谱特征;均方根误差 RMSE 反映了两影像像素值的差异, RMSE 越小,图像的融合质量越高;峰值信噪比 PSNR 表现了两幅图像的相似程度, PSNR 值越高,说明融合效果越好。信息熵反映图像所包含信息量的大小,熵越大,所含的信息越丰富;各种融合结果的评价见表 1、表 2。

表 1 SPOT 影像不同融合结果的统计评价参数对比

Table 1 The contrast between different fusion results of SPOT

		光谱偏差	均方根误差	峰值信噪比	相关系数	信息熵
本文算法 1	R	15.86	27.15	19.49	0.85	4.88
	G	24.68	44.14	15.25	0.55	4.88
	B	25.88	47.27	14.67	0.46	4.62
本文算法 2	R	15.24	26.76	19.61	0.86	4.89
	G	23.86	43.84	15.33	0.56	4.89
	B	25.06	47.02	14.72	0.46	4.63
标准 IHS 变换融合	R	47.48	55.06	13.35	0.70	5.20
	G	73.50	84.17	9.66	0.48	4.96
	B	77.15	89.16	9.16	0.44	4.76
改进的 IHS 变换融合	R	20.00	31.05	18.32	0.78	4.84
	G	32.07	47.75	14.59	0.41	4.73
	B	33.37	50.88	14.03	0.31	4.49

表 2 ALOS 影像不同融合结果的统计评价参数对比

Table 2 The contrast between different fusion results of ALOS

		光谱偏差	均方根误差	峰值信噪比	相关系数	信息熵
本文算法 1	R	7.34	13.82	25.35	0.57	3.99
	G	5.30	9.93	28.22	0.87	4.36
	B	5.03	9.42	28.68	0.84	4.21
本文算法 2	R	6.89	13.51	25.55	0.59	4.01
	G	4.98	9.74	28.40	0.87	4.35
	B	4.72	9.23	28.86	0.84	4.20
标准 IHS 变换融合	R	23.31	29.04	18.90	0.25	4.09
	G	16.49	19.33	22.44	0.85	4.38
	B	15.62	18.37	22.88	0.82	4.25
改进的 IHS 变换融合	R	14.10	17.66	23.23	0.28	3.84
	G	10.66	13.07	25.84	0.85	4.52
	B	10.12	12.42	26.28	0.82	4.38

4.2 试验结果评价

从表1、表2可见,本文提出的算法各波段与原始多光谱影像的相关系数较大,而光谱偏差远小于其他几种算法;比较各种融合影像与原始多光谱影像的均方根误差和峰值信噪比,可以看出,本文给出的基于 SSIM 的图像融合结果具有较低的 RMSE 及较高的 PSNR,很好地保持了原始多光谱影像的光谱特征,色彩畸变最小,其中采用高斯窗口的 SSIM 融合效果更优于采用均值窗口的融合;计算 SSIM 时,采用高斯窗口来控制窗口内各像素对窗口均值和方差的贡献,在兼顾周围像素的同时突出了中心像素的作用,得到了更好的融合效果,只是其运算复杂度略高于均值窗口。比较各融合结果图像的信息熵,可以看出标准 IHS 变换融合及改进的 IHS 变换融合具有略高的信息熵,但是二者是以较大的光谱扭曲为代价的。

5 结 语

本文采用多光谱影像的亮度分量 I 与全色波段影像 P 的 SSIM 矩阵来表征影像的不同区域特征,在结构相似度较低的高频区域,使用 P 替换 I,使得融合影像在高频区域分辨率得到了显著的提高;而在 I 与 P 具有较高结构相似度的低频区域,保持亮度值 I 不变,以减少不必要的融合影像的色彩畸变。分别采用内蒙古吉兰泰盐池的 SPOT 影像和青海某农场的 ALOS 影像作为实验影像进行融合实验,并与传统的 IHS 变换融合及改进的 IHS 变换融合进行比较。试验结果表明,该算法在提高融合影像分辨率的同时,能很好地保持原始多光谱影像的光谱特性,是一种理想的遥感影像融合方法。在计算 SSIM 时,选择高斯窗口来控制窗口内每个像元对窗口内像元均值、方差的贡献,可以得到更好的融合效果。

参考文献(References):

- [1] Ehlers M. Multisensor Image Fusion Techniques in Remote Sensing[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1991, 46(1): 19-30.
- [2] Chen C M, Hepner G F, Forster R R. Fusion of Hyperspectral and Radar Data Using the IHS Transformation to Enhance Urban Surface Features[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 58(1): 19-30.
- [3] Cliche G, Bonn F, Teillet P. Integration of the SPOT Pan Channel into its Multispectral Mode for Image Sharpness Enhancement[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1985, 51(3): 311-316.
- [4] Li S, Kwok J T, Wang Y. Using the Discrete Wavelet Transform to Merge Landsat TM and SPOT Panchromatic Images[J]. Information Fusion, 2002, 3(1): 17-23.
- [5] Chen Y, Blum R S. A New Automated Quality Assessment Algorithm for Image Fusion[J]. Image and Vision Computing, 2009, 27: 1421-1432.
- [6] Miao Q G, Shi C, Xu P F, et al. A Novel Algorithm of Image Fusion Using Shearlets[J]. Optics Communications, 2011, 284: 1540-1547.
- [7] Yang S Y, Wang M, Jiao L C, et al. Image Fusion based on a New Contourlet Packet[J]. Information Fusion, 2010, 11: 78-84.
- [8] Yin S F, Cao L C, Ling Y S, et al. One Color Contrast Enhanced Infrared and Visible Image Fusion Method[J]. Infrared Physics & Technology, 2010, 53: 146-150.
- [9] Guo Q, Chen S Y, Leung H, et al. Covariance Intersection based Image Fusion Technique with Application to Pansharpening in Remote Sensing[J]. Information Sciences, 2010, 180: 3434-3443.
- [10] Ling Y, Ehlers M. FFT-Enhanced IHS Transform Method for Fusing High-resolution Satellite Images[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 61(6): 381-392.
- [11] Zhang Y, Hong G. An IHS and Wavelet Integrated Approach to Improve Pan-sharpening Visual Quality of Natural Colour Ikonos and QuickBird Images[J]. Information Fusion, 2005, 6(3): 225-234.
- [12] Di Hongwei, Liu Xianfeng. Image Fusion Quality Assessment based on Structural Similarity[J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(5): 766-771. [狄红卫, 刘显峰. 基于结构相似度的图像融合质量评价[J]. 光子学报, 2006, 35(5): 766-771.]
- [13] Wang Z, Bovik A C. A Universal Image Quality Index[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(3): 81-84.
- [14] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [15] Yang C, Zhang J Q, Wang X L, et al. A Novel Similarity based Quality Metric for Image Fusion[J]. Information Fusion, 2008, 9: 156-160.
- [16] Zheng Y, Qin Z. Objective Image Fusion Quality Evaluation Using Structural Similarity[J]. Tsinghua Science & Technology, 2009, 14: 703-709.
- [17] Liu Tingxiang, Huang Limei, Bao Wendong. Study on Texture Information Evaluation of Image Fused by CBERS-02B and SPOT-5 Panchromatic Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(1): 103-108. [刘廷祥, 黄丽梅, 鲍文东. 基于 CBERS-02B 和 SPOT-5 全色波段的图像融合纹理信息评价研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(1): 103-108.]
- [18] Jing Juanjuan, Lv Qunbo. Research on the Assessment of Fusion Image[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36: 313-317. [景娟娟, 吕群波. 图像融合效果评价方法研究[J]. 光子学报, 2007, 36: 313-317.]

An IHS Fusion Method based on Structural Similarity

Wang Xiaoyan,Liu Yong,Jiang Zhiyong

(College of Earth and Environmental Sciences,Lanzhou University,Lanzhou 730000,China)

Abstract: IHS(Intensity-Hue-Saturation) color space is more consistent with human visual system than RGB color space,so IHS transform has been used widely in image fusion. The most significant problem of the traditional IHS transform fusion method is that the fused image usually has a notable deviation in visual appearance and in spectral values from the original image. In this paper,we propose a new IHS transform fusion method based on Structural Similarity (SSIM). First,the multispectral image was transform from RGB color space to IHS color space,then we calculate the SSIM matrix between the intensity component of the multispectral image and the panchromatic image. The new intensity component is determined based on the SSIM. Experimental results indicate that this method is effective in preserving spectral and spatial information.

Key words: Image fusion;IHS transform;SSIM;Remote sensing