

SPOT5 全色波段与 ASTER 多光谱影像融合方法的比较研究

罗慧芬^{1,2} 苗放³ 叶成名³

(1. 山西师范大学现代文理学院地理系, 临汾, 041000; 2. 山西师范大学地理科学学院, 临汾, 041000; 3. 成都理工大学地球物理学院, 成都, 610059)

摘要: 多源遥感影像数据融合可以将不同来源数据包含的优势信息重构为新的信息载体, 进而为解决实际问题提供更丰富的信息。与 TM, CBERS-1 等影像数据相比, ASTER 多光谱影像在短波红外波段具有更强的优势, 因此将其与 SPOT5 全色波段进行融合可为解决实际问题提供更多的细微信息。本文选取主成分分析变换 (Principal component analysis, PCA)、比值变换 (Brovey)、格兰姆-施密特变换 (Gram-Schmidt, GS) 和小波变换 4 种融合方法进行对比研究, 实验结果表明 PCA 变换和 GS 变换适用于这两种影像融合。

关键词: SPOT5 全色波段; ASTER 多光谱; 影像融合; 评价

中图分类号: TP751 **文献标志码:** A

Comparison Between SPOT5 Pan and ASTER Multispectral Image Fusion Method

Luo Huifen^{1,2}, Miao Fang³, Ye Chengming³

(1. Department of Geological Sciences, Modern College of Arts and Sciences of Shanxi Normal University, Linfen, 041000, China; 2. College of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, 041000, China; 3. College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China)

Abstract: Remote sensing image fusion is one of the effective ways to solve multi-source remote sensing data integrated performance. ASTER multi-spectral image is better at spectral information than TM and CBERS-1, except for the lack of spatial resolution. The fusion of SPOT pan and ASTER multispectral is significant. Here, we choose the PCA transform, Brovey transform, Gram-Schmidt (GS) transform and wavelet transform fusion method to compare. The results show that the PCA transform and GS transform are suitable for the fusion of SPOT5 pan and ASTER multi-spectral image.

Key words: SPOT5 pan; ASTER multispectral image; image fusion; evaluation

引 言

遥感影像提供由不同空间、时间、辐射分辨率和不同谱段电磁波谱构成的数据, 由于成像原理的不同以及技术条件的限制, 单个传感器的数据不能充分反映目标对象的诸多特性^[1]。遥感技术发展日新

月异,多种类型的传感器可用于地表观测,使得为同一地区提供多种不同分辨率、不同成像模式的数据成为可能。有效地利用和处理多源遥感影像数据是当前遥感应用领域的重要课题之一。遥感影像融合是解决多源数据信息充分利用的有效途径之一,因此多源遥感影像融合的研究已成为遥感图像处理与应用的一个研究热点^[2]。目前国内外学者对各种遥感影像融合方法及融合后的效果进行了深入研究。从国内研究现状来看,文献[3-6]先后采用不同的方法在 SAR 与可见光影像融合方法进行了研究,并对融合方法作出评价;文献[7-12]先后将小波变换以及小波变换结合其他方法运用于图像融合,并对融合结果进行评价;文献[13-15]在 IKONOS 全色与多光谱数据融合方面进行了比较研究。影像融合的质量直接影响数据使用的可靠性,本文以 SPOT5 全色波段和 ASTER 多光谱影像作为数据源,采用 4 种不同的融合方法进行比较。首先采用主观定性分析,然后在计算 4 种融合方法各项定量指标的基础上,对所采用的融合方法进行对比研究。最后综合定性和定量评价的结果,筛选出适用于 SPOT5 全色波段和 ASTER 可见光近红外波段融合的最优方法。

1 遥感影像融合方法和原理

遥感影像融合技术有基于像素级、基于特征级和决策级 3 大类^[16]。基于像素级融合方法目前主要有主成分分析(Principal component analysis, PCA)方法、比值变换(Brovey)方法、格兰姆-施密特变换(Gram-Schmit, GS)融合方法、小波变换法、IHS 变换法和 HPF 融合方法等;特征级融合方法主要有基于聚类分析法、Bayesian 理论、Dempster-Shafer 方法、神经网络方法和专家系统方法等融合算法;决策级融合方法主要有基于最大似然法(Maximum likelihood, ML)、贝叶斯标准方法(Bayesianian criteria, BC)和证据理论法(Dempster shafer, D-S)等^[2]。本文主要选取 PCA 变换、Brovey 变换、GS 变换和小波变换这 4 种基于像素级的影像融合方法进行实验。

1.1 主成分分析变换融合

PCA 变换法即为 K-L 变换,其流程图如图 1 所示。首先对原始多光谱数据进行变换,然后第一主成分分量图像(PCI)用遥感数据源的高空间分辨率图像替代,利用线性变换实现数据压缩,将多波段图像信息压缩在一幅图像上,最后通过 PCA 逆变换得到融合影像。

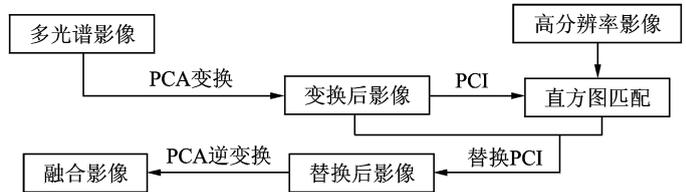


图 1 PCA 变换融合流程图

Fig. 1 Flow chart of PCA transform fusion

1.2 比值变换融合

Brovey 变换融合也被称为色彩标准化的融合,首先把 3 个多光谱波段影像数据进行归一化处理,然后将归一化结果与高分辨影像乘积,即

$$DN_{fuse} = (DN_{b1} / DN_{b1} + DN_{b2} + DN_{b3}) * DN_{pan} \tag{1}$$

式中:DN_{fuse}为融合后影像的像元亮度(Digital number, DN)值;DN_{b_i}(i=1,2,3)为多光谱影像中第 i 波段像元的 DN 值;DN_{pan}为高分辨率影像的 DN 值。

1.3 Gram-Schmidt 变换融合

GS 融合的工作原理如下:首先从低分辨率多光谱影像的波段中复制出一个全色波段;然后对复制出的全色波段和多波段进行 GS 变换,其中全色波段被作为第一个波段;其次将高空间分辨率的全色波

段替换 GS 变换后的第一个波段;最后通过 GS 反变换得到融合图像,其流程图如图 2 所示。

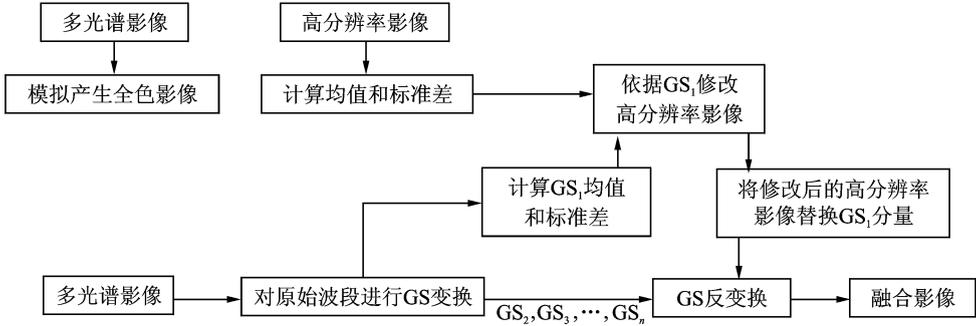


图 2 GS 变换融合流程图^[16]

Fig. 2 Flow chart of PCA transform fusion^[16]

1.4 小波变换法

小波变换融合是首先对目标图像进行预定尺度的分解,分别获得相应尺度的低频轮廓图像和高频细节纹理图像,然后将高分辨率图像代替目标图像的高频细节纹理图像,最后对替换后图像进行小波重组,得到最终融合结果^[17],其融合流程图如图 3 所示。

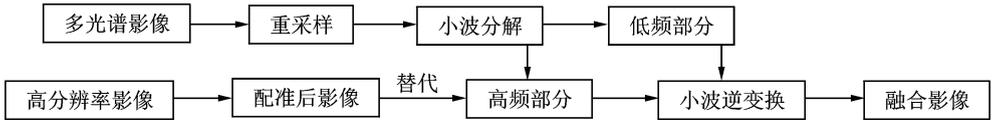


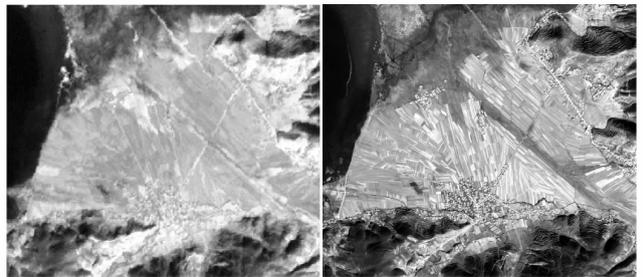
图 3 小波变换融合流程图^[2]

Fig. 3 Flow chart of wavelet transform fusion^[2]

2 遥感影像融合实验

2.1 数据来源及预处理

2002 年 5 月,法国空间研究中心发射的 SPOT5 卫星,搭载了 3 种成像传感器,其中全色波段影像的分辨率为 2.5 m 和 5 m,文中选用 2.5 m 全色波段的 SPOT5 影像作为高分辨率影像。ASTER 影像从可见光到热红外总共 14 个波段。其中,波段 1~3 是可见光和近红外波段,空间分辨率为 15 m;波段 4~9 是短波红外波段,空间分辨率为 30 m;波段 11~14 是热红外波段,空间分辨率为 90 m。为了确保融合质量,融合前应对目标图像进行预处理,即几何精纠正,实验中以 SPOT5 全色波段作为参考影像对 ASTER 多光谱进行几何纠正,实验数据如图 4 所示。



(a) ASTER 321假彩色合成
(a) ASTER 321 false color

(b) SPOT5 全色波段
(b) SPOT5 panchromatic image

图 4 原始影像数据

Fig. 4 Original image

2.2 图像融合

本次研究中选取了如上所述的 4 种方法,其中 PCA 变换、GS 变换和小波变换能够完成所有多波段的融合;Brovey 变换只能选取 3 个波段进行融合,试验中选取 ASTER 的 3 个波段分别是:波段 3(0.76~0.86 μm)、波段 2(0.61~0.69 μm)、波段 1(0.52~0.60 μm),图 5 为 4 种方法融合后的影像。

3 遥感影像融合方法的性能评价

3.1 主观定性分析

通过目视判别,从图 5 可知融合后的影像含有的纹理细节信息更多,且容易识别,既保留着 ASTER 多光谱影像的光谱信息,又具有与 SPOT5 全色波段影像相近的高分辨率。

从光谱分辨率的角度来比较融合结果与原多光谱可看出,Brovey 变换在色彩亮度上有所增强,视觉效果较好;GS 变换和 PCA 变换与原多光谱影像在色彩上基本保持不变;小波变换法在色彩保真度上有所下降,整体色彩偏暗。从空间分辨率的角度来看,GS 变换比其他 3 种方法的效果要好;PCA 变换和小波变换的效果次之;Brovey 变换效果相对较差,其图像反差较小,导致某些地物的细节处不是很清晰。

3.2 客观定量分析

本文在客观定量分析研究中主要选取均值、标准差、信息熵、平均梯度(清晰度)和相关系数等 5 个参数对融合效果进行比较,各项指标的详细描述如表 1 所示。表达式中, A 和 B 表示图像的行列号; \bar{M} 为影像的平均灰度值; p_i 为每个像素在整幅图像中的概率, N 为图像的灰度级别; $\frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x_i}$ 和 $\frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y_i}$ 分别为融合影像在 x 和 y 方向上像元的差值; \bar{f} 和 \bar{a} 分别为融合后图像与原图像的均值。

均值和相关系数可以对融合后影像的光谱分辨率进行评价;标准差、信息熵和平均梯度可以反映空间分辨率,即融合后影像识别地物细节的能力,融合影像质量定量评价结果如表 2 所示。

通过对比融合后影像的各项指标可以发现,PCA 融合与原始图像的均值相比较,差值的绝对值最小,其次为小波变换融合;从标准差可以看出,PCA 融合和 GS 融合的标准差较大,融合影像的地物识别能力较强;从信息熵中可以看出,GS 融合的值最大,说明该方法融合的影像信息量最为丰富,融合质量较高;Brovey 融合的值最小,融合质量不足;从平均梯度来看,Brovey 融合平均梯度最高,图像细节较丰富,清晰度较高,小波变换的平均梯度较小,说明其融合影像细节不够丰富;从各波段与原多光谱影像的相关系数可得出,PCA 融合和小波融合与原始多光谱影像的相关系数较

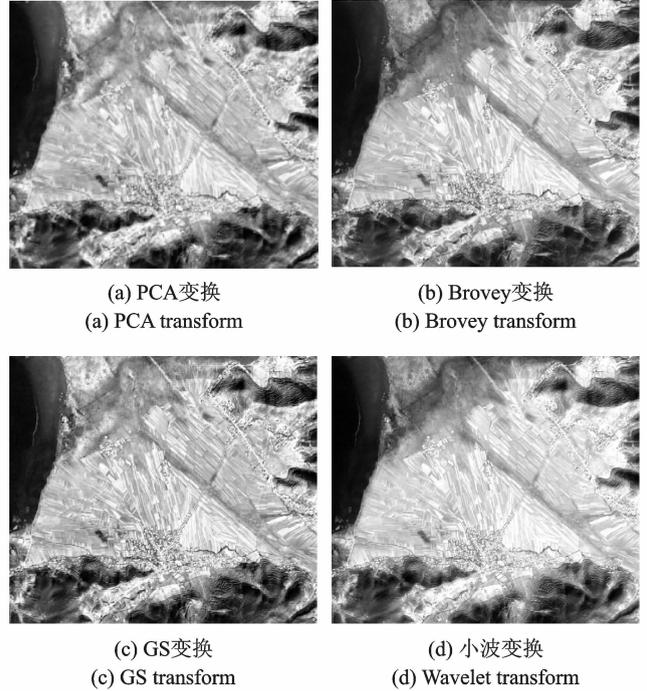


图 5 不同融合方法对比图

Fig. 5 Comparison diagram of different fusion methods

大,说明融合影像的光谱信息与原始图像差别最小,GS融合效果次之,Brovey变换效果最差。

表 1 定量评价指标

Tab. 1 Quantitative evaluation index

指标	性能描述	表达式
均值	图像像素的灰度平均值;反映图像的整体辐射状况; m 变化越小光谱保真性越好	$m = \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B DN(i, j) / (A * B)$
标准差	反映图像灰度相对于灰度平均值的离散情况和图像信息量大小;Std值越大,图像反差越大,地物识别能力越强	$Std = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B (DN(i, j) - \bar{M})^2}{A \times B}}$
信息熵	可以评价图像信息量丰富程度; H 越大表明融合信息量丰富,融合质量越好	$H = - \sum_{i=0}^N p_i \log p_i$
平均梯度	反映图像细节边缘变化的敏锐程度; \bar{G} 值越大,图像的细节越丰富,图像的清晰度也就越高	$\bar{G} = \frac{1}{(A-1)(B-1)} \sum_{i=1}^{A-1} \sum_{j=1}^{B-1} \sqrt{\frac{(\frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x_i})^2 + (\frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y_i})^2}{2}}$
相关系数	反映原始影像与融合影像的光谱相似程度;Cor的值越大光谱保真度越高,融合效果越好($0 < Cor < 1$)	$Cor = \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B [F(x_i, y_i) - \bar{f}][A(x_i, y_i) - \bar{a}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B [F(x_i, y_i) - \bar{f}]^2 [A(x_i, y_i) - \bar{a}]^2}}$

表 2 融合影像质量评价结果

Tab. 2 Quality evaluation results of the fused image

图像	均值	标准差	信息熵	平均梯度	相关系数	
SPOT 全色波段	80.48	22.06	6.266 3			
原始 ASTER	Band 1	45.571	9.927	4.506 7		
	Band 2	30.454	13.182	5.245 7		
	Band 3	36.664	12.181	4.875 6		
PCA 融合	Band 1	43.548	10.537	5.231 1	7.804 5	0.778
	Band 2	38.503	13.563	5.529 1	8.676 4	0.748
	Band 3	35.10	11.394	5.257 9	8.132 9	0.751
Brovey 融合	Band 1	32.542	8.068	4.898 0	9.453 9	0.605
	Band 2	24.827	8.450	4.851 1	7.908 1	0.782
	Band 3	21.648	7.001	4.483 3	7.601 2	0.739
GS 融合	Band 1	56.270	10.475	5.232 8	7.828 8	0.783
	Band 2	43.387	13.502	5.530 7	8.732 9	0.754
	Band 3	38.337	11.344	5.256 3	8.189 8	0.710
小波变换	Band 1	43.614	9.282	4.980 6	7.941 1	0.856
	Band 2	46.222	12.330	5.359 4	7.488 3	0.855
	Band 3	42.125	10.87	5.175 5	7.572 7	0.788

综合各项指标,PCA 融合和 GS 融合的各项指标优于其他方法;小波变换融合方法的光谱保真性强,但图像细节不够丰富;Brovey 融合后信息量的丰富程度不足。从以上的分析结果可看出,客观定量评价结果与主观定性评价结果基本一致。

3.3 ASTER 波段分辨率不同对融合质量的影响

ASTER 可见光近红外波段的空间分辨率比值(即全色波段与多光谱波段的空间分辨率比值)为 1:6,而短波红外波段的空间分辨率比值是 1:12。通常情况下,随着空间分辨率的下降,融合的质量也下降^[18]。对于图像融合,多数情况要求保持图像的光谱信息^[19-20]。本文以 PCA 融合、GS 变换融合和小波变换融合为例,用光谱变形程度的评价指标来分析空间分辨率之比对融合效果的影响,统计结果如表 3 所示。从表 3 可得知,由于空间分辨比值的下降,融合质量也下降;从整体效果来看,小波变换融合光谱保真度优于 PCA 融合和 GS 变换融合。

表 3 多光谱不同分辨率对融合质量的影响

Tab. 3 Effect of multispectral different resolutions on fusion quality

指标	ASTER									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
相关系数	PCA	0.778	0.748	0.751	0.621	0.655	0.649	0.654	0.655	0.649
	GS	0.783	0.754	0.710	0.647	0.663	0.652	0.665	0.673	0.665
	小波	0.856	0.855	0.788	0.721	0.775	0.772	0.780	0.782	0.682

4 结束语

多源遥感影像数据融合可以将不同来源数据包含的优势信息重构为新的信息载体,提高遥感影像的空间分辨率,进而为实际问题提供更丰富的信息。目前成熟的融合算法已经有很多种,但是不同传感器获取的数据需要有针对性地选择不同的算法。本文选取 PCA 变换、Brovey 变换、GS 变换和小波变换 4 种融合方法对 SPOT5 全色波段和 ASTER 多光谱影像进行融合方法的对比研究,分析融合后影像的各项指标,筛选出适用于这两种影像融合的方法。结果表明,PC 变换的光谱保真度较高,融合影像的地物识别能力较强;GS 变换融合影像信息量最为丰富,融合质量较高,地物识别能力较好;小波变换融合光谱与原始图像相差较小,保真度较高,但图像细节不够丰富;Brovey 融合后视觉效果较好,但图像反差较小,地物识别能力差。综合各项指标,PCA 融合和 GS 融合的各项指标优于其他方法,适用于 SPOT5 全色波段与 ASTER 多光谱影像融合。

参考文献:

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2004.
Zhao Yingshi. Analysis and application of remote sensing and methods[M]. Beijing: Scientific Publishing House, 2004.
- [2] 赵书河. 多源遥感影像融合技术与应用[M]. 南京:南京大学出版社,2008.
Zhao Shuhe. Fusion and application of remote sensing multi-source images[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2008.
- [3] 贾永红,李德仁,孙家炳,等. 四种 HIS 变换用于 SAR 与 TM 影像复合的比较[J]. 遥感学报,1998,2(2):103-106.
Jia Yonghong, Li Deren, Sun Jiabing, et al. Comparison of IHS transformation for integrating SAR and TM images[J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(2):103-106.
- [4] 李晖晖,郭磊,刘航. 基于不同类型小波变换的 SAR 与可见光图像融合研究[J]. 光子学报,2006,35(8):1263-1266.
Li Huihui, Guo Lei, Liu Hang, et al. Evaluation of multisensor image fusion using different wavelet transform[J]. Acta Photonica Sinica, 2006,35(8):1263-1266.
- [5] 许星,李映,孙谨秋,等. 基于 Curvelet 变换的 SAR 与 TM 图像融合研究[J]. 西北工业大学学报,2008,26(3):395-398.
Xu Xing, Li Ying, Sun Jinqiu, et al. An algorithm for image fusion based on Curvelet transform[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2008,26(3):395-398.
- [6] 蔡怀行,雷宏. SAR 与可见光图像融合效果客观评价[J]. 科学技术与工程,2011,11(15):3456-3461.

- Cai Huaihang, Lei Hong. Objective evaluation of image fusion of SAR and optical image[J]. *Science Technology and Engineering*, 2011,11(15):3456-3461.
- [7] 孙家炳,刘继琳,李军. 多源遥感影像融合[J]. *遥感学报*, 1998,2(1):47-50.
Sun Jiabing, Liu JiLin, Li Jun. Multi-source remote sensing image data fusion[J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998,2(1):47-50.
- [8] 李军. 多源遥感影像融合的理论、算法和实践[D]. 武汉:武汉测绘科技大学, 1999.
Li Jun. The theory, algorithm and practice of multi-source remote sensing image fusion[D]. Wuhan: Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1999.
- [9] 刘贵喜,杨万海. 基于小波分解的图像融合方法及性能评价[J]. *自动化学报*, 2002,28(6):927-934.
Liu Guixi, Yang Wanhai. A wavelet-decomposition-based image fusion scheme and its performance evaluation[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2002,28(6):927-934.
- [10] 陶观群,李大鹏,陆光华. 基于小波变换的不同融合规则的图像融合研究[J]. *光子学报*, 2004,32(2):221-224.
Tao Guanqun, Li Dapeng, Lu Guanghua. On image fusion based on different fusion rules of wavelet transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004,32(2):221-224.
- [11] 陈春香,常化文,宗学宝,等. 基于色彩空间与小波变换的图像融合[J]. *桂林工学院学报*, 2007,27(3):417-421.
Chen Chunxiang, Chang Huawen, Zong Xuebao, et al. Image fusion based on color space model and wavelet transform[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2007,27(3):417-421.
- [12] 孙小丹. 基于小波低频分量微调的 IHS 变换融合及其应用[J]. *遥感技术与应用*, 2011,26(3):328-332.
Sun Xiaodan. An IHS transform fusion method based on adjustment to wavelet low-frequency component and its application [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011,26(3):328-332.
- [13] 孙丹峰. IKONOS 全色与多光谱数据融合方法的比较研究[J]. *遥感技术与应用*, 2002,17(1):41-45.
Sun Danfeng. Study on fusion algorithms of IKONOS pan and multi-spectral images[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2002,17(1):41-45.
- [14] 宋刚贤,潘滔君,朱文娟. IKONOS 影像的最佳融合技术研究[J]. *测绘科学*, 2009,34(2):106-108.
Song Gangxian, Pan Jianjun, Zhu Wenjuan. Study on optimum fusion technology of IKONOS image[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2009,34(2):106-108.
- [15] 何海鹏,何国金. IKONOS 高分辨率遥感影像融合方法比较研究[J]. *科技导报*, 2009,27(5):33-37.
He Haipeng, He Guojin. Comparison of image fusion algorithms for IKONOS high spatial resolution satellite image[J]. *Science & Technology Review*, 2009,27(5):33-37.
- [16] Laben C A, Brower B V. Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening[P]. US6011875, US, 2000.
- [17] 何国金,李克鲁,胡德永,等. 多卫星遥感数据的信息融合:理论、方法与实践[J]. *中国图象图形学报*, 1999,4(9):744-749.
He Guojin, Li Kelu, Hu Deyong, et al. Information fusion of multisensor satellite remote sensing data: Theory, methodology and experiment[J]. *Journal of Image and Graphics*, 1999,4(9):744-749.
- [18] 王忠武,吕磊,赵忠明. 空间分辨率之比对遥感图像融合质量的影响[J]. *光电工程*, 2009,36(4):103-107.
Wang Zhongwu, Lü Lei, Zhao Zhongming. Effect of spatial resolution ratio on optical remote sensing image fusion quality [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2009,36(4):103-107.
- [19] Alparone L, Aiazzi B, Baronti S, et al. Spectral information extraction from very-high resolution images through multiresolution fusion[J]. *Proceedings of the SPIE(S0277-786X)*, 2004,5573:1-8.
- [20] Aiazzi B, Alparone L, Baronti S, et al. Spectral information extraction by means of Ms+Pan fusion [C]// *Proceedings of ESA-EUSC 2004-Theory and Applications of Knowledge-Driven Image Information Mining with Focus on Earth Observation*. Madrid, Spain: European Space Agency, 2004:143-150.

作者简介:



罗慧芬(1981-),女,博士,讲师,研究方向:遥感技术及其应用,E-mail:luohuif@foxmail.com。



苗放(1958-),男,教授,博士生导师,研究方向:空间信息技术,E-mail:miaofang@126.com。



叶成名(1978-),男,博士,副教授,研究方向:遥感技术及其应用,E-mail:yechengming@cdut.edu.cn。

