

CBERS-02B 星 HR 与多光谱影像融合及评价

李俊杰, 李杏朝, 傅俏燕, 黄世存, 王奇

(中国资源卫星应用中心, 北京 100073)

摘要: CBERS-02B 星搭载了高分辨率全色相机 HR 和多光谱传感器 CCD, HR 影像可以与 CCD 影像融合, 优势互补形成新的影像, 既保持 HR 的高空间分辨率又保持 CCD 的光谱分辨率, HR 影像同样可以与其它传感器影像融合形成新的影像。本文使用 6 种不同的融合方法融合 HR 与多光谱 CCD 以及 SPOT 5 多光谱影像, 并对融合结果进行了定性和定量评价, 得到了 HR 与 SPOT 5 多光谱影像融合较好的方法, 表明了 HR 与其它传感器影像融合潜力, 同时也对 HR 和 SPOT 5 多光谱融合影像及与 CCD 融合影像进行了初步的对比分析。

关键词: CBERS-02B; 融合; 评价; HR; SPOT 5

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)02-0043-05

0 引言

影像融合按照其水平和特点可以分为像素级、特征级和决策级融合^[1], 本文讨论的是像素级的影像融合方法。对不同卫星和不同传感器的遥感影像进行融合, 可以取长补短, 产生新的融合影像。比较常见的影像融合是高分辨率全色影像和低分辨率多光谱影像的融合^[2~5], 生成的新融合影像既具有全色影像的高分辨率, 也一定程度上保持了多光谱影像的光谱信息。

我国于 2007 年 9 月 19 日发射成功的中巴地球资源卫星 (CBERS-02B 星) 也搭载有高分辨率的全色相机 HR 和多光谱相机 CCD, 其 HR 相机得到的全色影像空间分辨率可达 2.36 m, 是我国目前民用领域最高分辨率遥感影像。CBERS-02B 星上的高空间分辨率全色影像既可以与低分辨率的多光谱 CCD 影像 (空间分辨率 19.5 m) 融合, 也可以与其它卫星上不同传感器的影像进行融合, 如 SPOT 5 星的 10 m 多光谱影像。

本文用 6 种不同的融合方法, 对 CBERS-02B 星 HR 影像和 SPOT 5 多光谱影像进行融合, 以及同

一区域的 CBERS-02B 星 HR 影像和 CCD 影像融合, 从空间分辨率和光谱保持 2 个方面定性定量评价不同融合方法的融合结果, 得到了适合 HR 与 SPOT 多光谱影像融合的方法, 表明 HR 影像具有与其它传感器融合进行优势互补的潜力, 同时也对 HR 影像和 SPOT 融合结果及与 CCD 的融合结果进行了初步的比较。

1 影像融合实验

CBERS-02B 星的有效载荷包括多光谱传感器 CCD、高分辨率相机 HR 和宽视场成像仪 WFI。多光谱传感器 CCD 有 5 个波段, 论文使用其中的 2、3、4 波段用于融合; HR 有 1 个全色波段; SPOT 5 多光谱影像 XS 有 4 个波段 (3 个可见光近红外波段, 1 个短波红外波段), 论文中用于与 HR 影像融合的是 SPOT 5 多光谱影像的前 3 个波段。表 1 为这些影像的光谱范围及空间分辨率, 从中可以看出, CCD 和 XS 的对应波段 (B2 对 XS1, B3 对 XS2, B4 对 XS3) 的光谱范围基本一致, 同时 CCD 和 XS 的 3 个多光谱波段的波段光谱范围也基本和 HR 的波段光谱范围重合。

表 1 用于融合的 SPOT 5 和 CBERS-02B 星多光谱和全色波段的光谱范围和空间分辨率

卫星和波段	SPOT 5 (多光谱 XS)			CBERS-02B (多光谱 CCD)			CBERS-02B (全色)
	XS1	XS2	XS3	B2	B3	B4	HR
光谱范围/ μm	0.49 ~ 0.61	0.61 ~ 0.68	0.78 ~ 0.89	0.52 ~ 0.59	0.63 ~ 0.69	0.77 ~ 0.89	0.5 ~ 0.8
空间分辨率/m	10	10	10	19.5	19.5	19.5	2.36

选取同一个区域(北京)的 HR、XS 和 CCD 影像,以 HR 影像为参考,对 XS 和 CCD 影像进行了配准,配准精度控制在 0.5 个像元(指 XS 的像元或 CCD 的像元)以内。对 3 种影像数据进行裁减用于融合实验,得到北京东五环五方桥附近区域影像,影像大小分别为 512×512 (HR), 128×128 (XS), 64×64 (CCD)。CBERS-02B 星 HR 和 CCD 影像时相为 2007-11-10, SPOT 5 的 XS 影像时相为 2006-9-28。

像素级的影像融合方法有很多种,本文选取了 6 种常用的融合方法,分别用于 CBERS-02B 星 HR 影像和多光谱 CCD 影像以及 SPOT 5 多光谱影像的融合。这 6 种融合方法依次是 HSV (Hue, Saturation, Value)、GS (Gram-Schmidt)、高通滤波 (High Pass Filter, HPF)、Brovey、基于亮度的平滑调节 (Smoothing Filter-based Intensity Modulation, SFIM)^[6] 和小波变换融合方法。融合方法的实现主要借助于遥感图像处理软件 ERDAS 和 ENVI, 以及数据处理软件 Matlab。其中 HPF 和 Brovey 融合方法是使用 ERDAS 的融合模块直接实现的, HSV 和 GS 融合方法是使用 ENVI 中的影像增强功能中对应的融合功能实现,而 SFIM 融合方法在 ERDAS 和 ENVI 中没有现成的模块,利用其它功能间接实现。小波变换是使用 Matlab 编程实现,本文中,小波变换融合采用基于 Mallat 算法的简单叠加方法,小波函数使用的是 Matlab 小波函数库中的双正交小波函数 Bior 4.4。

HR 和 XS 融合使用的是 Brovey、HPF、SFIM 和

小波变换融合方法, HR 和 CCD 的融合使用的是 Brovey、HPF、HSV 和 GS 融合方法。HR 和 XS 的融合结果以及 HR 和 CCD 的融合结果图见插页彩片 25 和 26。

2 融合算法性能评价

2.1 定性评价

首先采用目视判读的方法对融合结果进行空间细节保持和光谱保持两方面的评价。

在评价 HR 与 XS 影像融合结果之前需要说明的是由于 HR 和 XS 影像的时相并不一致,相差大概 1 h,影像的左上角一块区域在此间内发生了一些明显的变化。就空间细节这方面来看,对于 HR 和 XS 影像的融合结果,小波和 SFIM 方法效果最好,其次是 HPF 和 Brovey 法的融合结果。小波和 SFIM 的融合结果图像清晰度好、反差明显,相比 HPF 和 Brovey 法的融合结果目视要好很多,而 HPF 和 Brovey 法的融合影像看起来好像上面有一层灰蒙蒙的雾。光谱保持方面,HPF 融合影像的色调最为接近多光谱 XS 影像,目视融合影像和多光谱影像比较难以判别光谱保持的好坏,可以引入灰度剖面进行分析。对多光谱影像和融合影像取相同的剖面线,比较剖面线上灰度值的变化,如图 1 所示。与 XS 影像对应波段的灰度值变化最为接近的光谱畸变小,HPF 方法融合结果与多光谱剖面曲线吻合得最好,其次是小波、SFIM 和 Brovey 方法的融合结果。

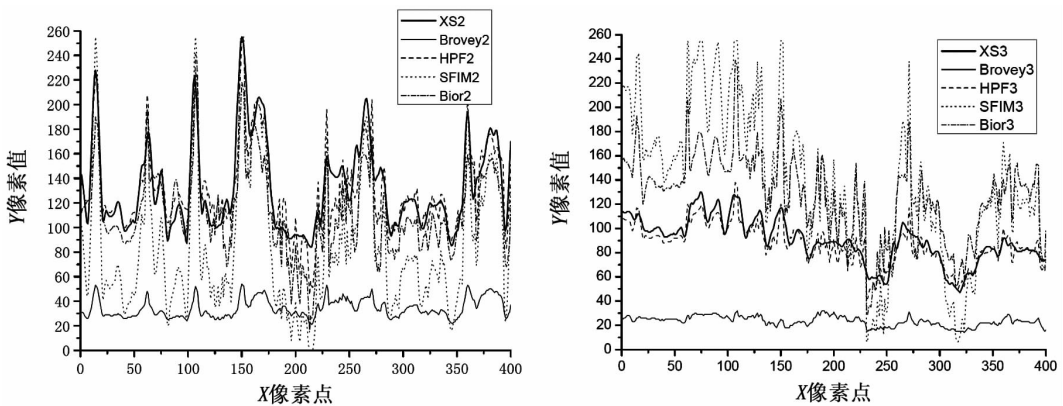


图 1 SPOT5 多光谱数据与融合结果灰度值剖面比较

(左: XS2; 右: XS3)

HR 和 CCD 影像的融合结果空间细节方面 HSV 方法明显好于其它 3 种,其次是 HPF、Brovey 和 GS 方法的融合结果。光谱保持方面,HPF 法融合结果最好,其次是 GS、Brovey 和 HSV 方法融合影像, HSV 方法融合结果对光谱的扭曲最大,色调相对于 CCD 影像完全变了。

对于 HR 和 XS 影像的融合结果与 CCD 融合结果的比较,只考虑 Brovey 和 HPF 方法,可以看出 HR 和 XS 影像的融合结果空间细节更为清楚,颜色更为鲜艳,图像整体视觉感受更佳。

目视判读的定性评价缺点在于有较大的主观性,不同的人会有不同的评价结果,因此还要进行融

合结果的定量评价。

2.2 定量评价

2.2.1 空间细节保持

空间细节保持的定量评价采用对比度和高频信息的相关系数 2 个指标,二者都是基于灰度共生矩阵计算的,图像的灰度共生矩阵表达了图像灰度关于方向、相邻间隔及变化幅度的综合信息。在灰度共生矩阵的基础上抽取出图像的纹理特征参数,称为二次统计量,再进行进一步的分析就可以很好地理解图像的纹理特性。经过正规化处理的灰度共生矩阵是抽取二次统计量纹理特征系数的基础。计算图像对比度 f 的公式为

$$f = \sum_{n=0}^{L-1} n^2 \left\{ \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i, j) \right\} \quad (1)$$

式中, i 和 j 为图像的灰度值, $|i - j| = n$; L 为图像灰度阶数(例如 8 bit 图像, $L = 2^8$); $P(i, j)$ 为归一化的灰度共生矩阵。图像的对比度是用于评价图像

纹理的参数,可理解为图像的清晰程度,即纹理的清晰程度。图像中,纹理的沟纹越深,其对比度越大,图像就越清晰,视觉效果越好。

高频信息的相关系数由 Zhou^[7] 提出,考虑到影像的空间细节信息主要保留在影像的高频部分,首先对融合影像和高分辨率全色影像高通滤波,计算滤波后两影像之间的相关系数,相关系数理想值为 1,相关系数值越高表示融合影像的空间细节越接近于全色影像。

高通滤波器使用拉普拉斯高通滤波器,滤波器矩阵如式(2)所示:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

HR 和 XS 影像不同方法融合结果的空间细节保持定量指标计算结果如表 2 所示。

表 2 北京 HR 与 XS 影像 4 种不同融合结果的空间细节保持和光谱保持定量统计分析

融合方法	对比度			相关系数(空间)			相关系数(光谱)		
	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3
Broyey	403.59	247.12	303.06	0.949	0.945	0.900	0.817	0.903	0.827
HPF	469.06	386.95	353.89	0.960	0.970	0.970	0.920	0.916	0.913
SFIM	534.68	334.67	463.09	0.843	0.851	0.870	0.938	0.960	0.935
Bior4.4	443.12	440.58	516.17	0.868	0.866	0.861	0.897	0.887	0.854
GS	156.25	117.34	111.27						
HR		548.58							

就对比度而言,不同方法融合结果的波段比对应的多光谱波段的值都要高很多,说明融合影像的各个波段的空间细节信息相比对应的多光谱波段有了很大的提高,而相对于 HR 影像,融合结果的对比度普遍要低一些,这可能是由于 HR 和 XS 时相不一致,导致融合结果对某些细节信息没有表现出来。就融合结果对比度值来看,由高到低依次是小波(Bior4.4)、SFIM、HPF 和 Broyey 方法;高频信息的相关系数这个指标由高到低依次是 HPF、Broyey、小波和 SFIM 方法。对比度值的高低和高频信息相关系数的高低出现了相互矛盾的排序结果,这是因为 HPF 方法是把高频信息直接注入到多光谱波段中,

而 Broyey 方法也是对多光谱波段归一化之后直接乘以全色波段,这两种方法必然导致融合结果与全色波段的高频信息相关系数非常高,接近于 1,而 SFIM 和小波的融合算法均不是直接利用了全色的高频信息。因此,对于相关系数这个指标,应该把 Broyey 和 HPF 方法分为一组, SFIM 和小波方法分为一组,每组各自排序,这样我们得到 HR 和 XS 影像融合结果的空间细节保持定量评价的排序,由好到差依次是小波、SFIM、HPF 和 Broyey 方法。

HR 和 CCD 影像不同方法的融合结果的空间细节保持定量指标计算结果如表 3 所示。对比度值不同方法的融合结果由高到低依次是 HSV、HPF、

表 3 北京 HR 与 CCD 影像的 4 种不同融合结果的空间细节保持和光谱保持定量统计分析

融合方法	对比度			相关系数(空间)			相关系数(光谱)		
	B2	B3	B4	B2	B3	B4	B2	B3	B4
Broyey	600.12	384.07	519.44	0.963	0.974	0.971	0.516	0.756	0.667
HPF	625.08	653.27	618.62	0.982	0.993	0.992	0.769	0.759	0.743
HSV	686.75	669.82	689.40	0.868	0.866	0.869	0.592	0.689	0.490
GS	488.86	389.79	509.66	0.973	0.990	0.990	0.674	0.708	0.679
CCD	45.70	20.67	19.93						
HR		548.58							

Brovey 和 GS,不同方法融合结果的对比度值明显高于原多光谱波段,HSV 和 HPF 方法融合结果的对比度高于 HR 影像,这说明融合结果相比 HR 影像增加了新的细节纹理信息。高频信息相关系数这个指标,GS、HPF 和 Brovey 这 3 种方法的值都非常高,接近于 1,基于上文讨论过的原因,对于融合时直接使用全色波段的高频信息的方法分为一类使用相关系数排序,而其它融合方法分为一类排序,GS、HPF 和 Brovey 法分为一组,相关系数大小是 $GS > HPF > Brovey$,HSV 单独一组。因此对于 HR 和 CCD 影像,不同融合方法结果空间细节保持定量评价由好到坏依次是 HSV、HPF、Brovey 和 GS。

HR 和 XS 影像的融合结果与 HR 和 CCD 影像的融合结果对比,相同的融合方法(如 Brovey 和 HPF),相关系数和对比度的值 HR 和 CCD 的融合结果都要高于 HR 和 XS 影像的融合结果,这主要是由于 HR 和 XS 影像时相不一致。

2.2.2 光谱保持

本文主要采用相关系数来评价影像光谱质量,遥感影像融合后,融合结果的光谱特性应与原始多光谱数据尽可能保持一致,这样才能保证融合前基于光谱特性可分的目标在融合后仍然可分。

相关系数(C)定义为

$$C = (f, g) = \frac{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f) \times (g_{i,j} - e_g)]}{\sqrt{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f)^2] \times \sum_{i,j} [(g_{i,j} - e_g)^2]}} \quad (3)$$

式中, $f_{i,j}$ 和 $g_{i,j}$ 分别是像元 (i, j) 在影像 f 和 g 中的灰度值; e_f 和 e_g 分别是影像 f 和 g 影像的灰度值均值。融合影像和原始影像相关系数的理想值为 1,值越大表明光谱质量越好。

HR 和 XS 影像不同方法融合结果的光谱细节保持定量指标计算结果如表 2 所示,相关系数值由大到小依次是 SFIM、HPF、小波和 Brovey,因此融合影像光谱保持的定量评价结果由好到坏依次是 SFIM、HPF、小波和 Brovey。

HR 和 CCD 影像不同方法融合结果的光谱细节保持定量指标计算结果如表 3 所示,相关系数值由大到小依次是 HPF、GS、Brovey 和 HSV,因此融合影像光谱保持的定量评价结果由好到坏依次是 HPF、GS、Brovey 和 HSV。

HR 和 XS 影像的融合结果与 HR 和 CCD 影像的融合结果对比,相同的融合方法(如 Brovey 和 HPF),光谱的相关系数 HR 和 XS 影像的融合结果明显要高于 HR 和 CCD 影像的融合结果。

3 结论

(1)就 HR 与 SPOT 5 多光谱影像 XS 的 4 种不同方法融合而言,综合以上的分析,空间细节保持方面,较好的方法依次是小波、SFIM 和 HPF;同时考虑空间细节保持和光谱保持,较好的方法依次是 HPF、小波和 SFIM。对于 HR 与 CCD 的融合,就空间细节保持方面,较好的方法依次是 HSV、HPF 和 Brovey;同时考虑空间细节和光谱保持,较好的方法依次是 HPF、GS 和 Brovey。

(2)HR 与 SPOT 5 多光谱影像的融合,文中用到的 4 种方法得到的融合影像效果都不错,既增强了融合影像的细节,又保持了光谱信息,使融合影像相对于原来的全色和多光谱影像有了更好的目视效果和可读性,这表明 HR 与 SPOT 5 多光谱影像融合可以优势互补,有较大应用潜力,同时 HR 与其它传感器影像的融合也有很大的应用空间。

(3)CBERS-02B 上 HR 与 CCD 的融合,文中用到的 4 种方法得到的融合影像效果也非常不错,既有高分辨率影像的空间信息,也有多光谱影像的光谱信息,影像相对全色和多光谱有较好的目视效果,但是相对与 HR 与 XS 的融合影像还是有些不足,融合影像的颜色不如 HR 与 XS 融合影像自然丰富,某些地方斑块效应比较明显,这主要是由于 HR 和 CCD 影像 1:8 的分辨率之差所导致的。对于 HR 和 CCD 影像的融合,有 2 个方面值得进一步研究并改进,首先是 HR 和 CCD 的配准,分辨率差别太大,导致配准精度难于保证,直接影响融合结果;二是现有的成熟融合算法并不完全适合 HR 与 CCD 的融合,需要改进现有算法或发展新的融合算法适应 CBERS-02B 星 HR 和 CCD 数据的特点。

参考文献:

- [1] Pohl C, Van Genderen J L. Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concept, Methods and Applications [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5): 823-854.
- [2] 朱长青,王倩,杨晓梅. 基于多进制小波的 SPOT 全色影像和多光谱遥感影像融合[J]. 测绘学报, 2000, 29(2): 132-136.
- [3] 李均力,贾永红. 基于分辨率退化模型的全色和多光谱遥感影像融合方法[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2004, 29(4): 302-306.
- [4] 刘春,陈能. 基于小波变换的快鸟遥感影像数据融合[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2004, 32(10): 1371-1375.
- [5] 邓磊,陈云浩,李京. 一种基于小波变换的可调节遥感影像融合方法[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(1): 34-38.
- [6] Liu J G. Smoothing Filter Based Intensity Modulation: A Spectral

Preserving Imaging Fusion Technique for Improving Spatial Details [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21 (18): 3461 - 3472.

[7] Zhou J, Civco D L, Silander J A. A Wavelet Transform Method to Merge Landsat TM and SPOT Panchromatic Data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4): 743 - 757.

FUSION AND EVALUATION OF CBERS - 02B HR AND MULTI - SPECTRAL IMAGES

LI Jun - jie, Li Xing - chao, Fu Qiao - yan, Huang Shi - cun, Wang Qi
(China Center for Resources Satellite Data and Application, Beijing 100073, China)

Abstract: CBERS - 02B satellite has a high resolution camera HR and a multi - spectral sensor CCD. HR and CCD images can be fused to form a new image which can preserve high spatial resolution of HR and high spectral resolution of CCD. HR image can also be fused with images of other sensors. The authors used six methods to fuse HR, CCD and SPOT 5 multi - spectral images and evaluated the fusion results qualitatively and quantitatively. As a result, relatively ideal methods for fusing HR and SPOT 5 multi - spectral images were found. The results indicate the potential capability of HR images for being fused with images of other sensors. A comparison has also been made between the HR & SPOT 5 multi - spectral fusion image and the HR & CCD fusion image.

Key words: CBERS - 02B; Fusion; Evaluation; HR; SPOT 5

第一作者简介: 李俊杰(1983 -),男,主要从事资源环境遥感研究工作。

(责任编辑: 李 瑜)

(上接第 29 页)

[4] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 32 - 42.

[5] Burges C J C. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition[J]. Knowledge Discovery and Data Mining, 1998, 2 (2): 121 - 167.

[6] 邓 非. IDAR 数据与数字影像的配准和地物提取研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.

[7] Baatz M, et al. eCognition User Guide 4[Z]. Copyright 2000 - 2004 Definiens Zmage. Made in Germany, 2004.

[8] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: A Library for Support Vector Machines[EB/OL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>, 2001.

[9] 傅文杰, 洪金益, 朱谷昌. 基于 SVM 遥感矿化蚀变信息提取研究[J]. 国土资源遥感, 2006, (2): 16 - 19.

OBJECT - ORIENTED BUILDING EXTRACTION OF MULTI - SOURCE REMOTE SENSING IMAGERY BASED ON SVM

ZHANG Feng^{1,2}, XUE Yan - li², LI Ying - cheng², Ding Xiao - bo²

(1. Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

Abstract: On the basis of analyzing the Support Vector Machine (SVM) classification technique and the features of LIDAR data and aerial imagery, this paper has put forward a new building extraction method based on object - oriented SVM, which integrates multi - source information of aerial imagery and Light Detection and Ranging (LIDAR) data. Tests show that the extraction accuracy is improved by using this method. Moreover, the proposed object - oriented building extraction method not only proves to be effective but also can update GIS database quickly and accurately.

第一作者简介: 张 峰(1980 -),男,硕士研究生,主要从事 GPS 数据处理和数字摄影测量方面的研究。

(责任编辑: 刁淑娟)