

一种针对环境一号卫星 A 星高光谱与 CCD 数据融合的方法

熊文成^{①,②}, 魏斌^①, 孙中平^①, 申文明^①, 游代安^①

(① 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100029; ② 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 利用我国自主研制的环境一号小卫星 A 星上搭载的 CCD 相机与高光谱成像仪(HSI), 以洪河国家级湿地为研究区, 进行融合实验。先分析了两种载荷的特点, 然后根据载荷特点, 设计并评价了两种载荷数据融合的方法。结果表明, 由于 A 星 CCD 相机与高光谱成像仪成像条件相似, 可以对两个载荷的数据进行融合, 得到具备较高分辨率与光谱分辨率的数据, 为后续高精度分类制图、目标识别、信息提取等应用提供高质量数据源。

关键词: 环境卫星; 融合; 高光谱; 多光谱; 评价

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.06.016

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)118-0079-04

A Method of HJ-1A High Spectral Imager and CCD Data Fusion

XIONG Wen-cheng^{①,②}, WEI Bin^①, SUN Zhong-ping^①, SHEN Wen-ming^①, YOU Dai-an^①

(① *Satellite Environment Application Center, Ministry of Environment Protection, Beijing 100029;*

② *Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Abstract: The paper tried to fuse Hyper Spectral Imager(HSI) and CCD data of HJ-1A Satellite which was developed by China independently. At first, we chose Honghe wetland as study area, and analyzed the data features of the two sensors; then we designed a fusion method based on these features and evaluated the fusion result. Finally, The paper reached the conclusions: (1) Due to the similarity of the imaging condition, the CCD and HSI data can be registered with each other well and then can be fused to acquire the data with higher spatial and spectral resolution. (2) The fused data can be applied to high-precision classification, target-identification and features extraction.

Key words: HJ-1 satellite; data fusion; HIS; CCD; evaluation

1 引言

我国自主研制的环境一号小卫星 A 星和 B 星已在轨运行 1 年多, 下传了大量的各种载荷数据。如何拓展各载荷数据应用潜力, 已成为一个研究的方向。

对于一套光学遥感器系统而言, 图像空间分辨率和光谱分辨率是一对矛盾。在给定信噪比的条件下, 较高光谱分辨率往往意味着不能同时具有高空间分辨率。因而相对于高空间分辨率数据, 当前的

高光谱遥感数据, 尤其是航天高光谱遥感数据的空间分辨率还不能达到很高。因此环境一号小卫星 A 星上搭载的 CCD 相机与高光谱成像仪(HSI) 正是一个中分辨率多光谱相机, 一个低分辨率高光谱成像仪(具体参数见表 1)。所以, 研究高光谱遥感数据与高空间分辨率数据之间的有效结合具有十分现实的意义。数据融合技术就是研究如何将具有不同空间分辨率和光谱特性的遥感数据进行融合处理, 其目的就是有效地综合利用现有的遥感数据。

收稿日期: 2010-07-14 修订日期: 2010-09-20

基金项目: 国家科技支撑计划“基于环境一号等国产卫星的遥感监测关键技术及软件研究”项目中“环境一号卫星遥感数据处理关键技术及软件研发研究”(2008BAC34B02)支持。

作者简介: 熊文成(1981~), 男, 江西丰城人, 工程师, 主要从事环境遥感图像处理及应用研究。

E-mail: Wencheng11@sina.com

表 1 环境一号卫星 A 星参数表

有效载荷	波段号	光谱范围 (μm)	空间 分辨率(m)	幅宽(km)
CCD 相机	B01	0.43—0.52	30	360(单台) 700(二台)
	B02	0.52—0.60		
	B03	0.63—0.69		
	B04	0.76—0.9		
高光谱成像仪(HSI)		0.45—0.95 (115 个波段)	100	50

文献中常见的融合方式可以归纳为基于彩色空间的图像融合、基于数学/统计学的图像融合、基于多分辨率分析的图像融合及其智能图像融合方法^[1]。基于彩色空间的图像融合主要包括 RGB 彩色合成方法、HSI 变换, Brovey 变换等; 基于数学/统计学的图像融合包括比值运算, 加法乘法融合, PCA(主成分分析法)法融合, HPF(高通滤波)融合, 贝叶斯估计融合, EM(期望值最大值)融合, 基于非负矩阵分解的图像融合; 基于多分辨率分析的图像融合主要包括金字塔变换融合, 小波变换融合; 智能图像融合方法主要包括基于神经网络的图像融合, 基于模糊理论的图像融合。很多文献也是基于应用目标对各种融合算法进行交叉使用, 并使用各种图像处理的方法来辅助融合的进行。但是, 这些传统的方法较少考虑高光谱图像经过与高空间分辨率图像的融合后, 其光谱特征和波形的变化情况。针对波形的畸变情况, 童庆禧^[2]提出基于图像光谱复原的空间域遥感数据融合(spatial fusion based spectral reversion, SFSR)模型。Gary D R 等也提出基于光谱分解的高光谱与高空间分辨率数据融合的方法^[3~4]。这些方法不仅提高图像空间解析度, 同时还应尽可能保持高光谱数据原有的光谱特性^[5]。但由于这些融合方式主要是针对高空间分辨率的全色波段和高光谱数据, 而环境星 CCD 为 4 波段, 因此并不适合环境一号卫星 A 星 CCD 数据与高光谱数据的融合。本次研究充分利用 CCD 数据 4 个波段信息, 与高光谱数据进行光谱融合以增强高光谱数据的空间分辨率以及尽量减少高光谱数据的光谱畸变。

2 数据处理

本文选取了 2009 年 8 月 5 日环境一号 A 星 CCD 与高光谱成像仪(HSI)同时成像的洪河国家级湿地自然保护区影像。对两景影像先进行标定, 再分析两者在光谱域上的特点, 根据两者的特点设计

融合算法, 最后对融合算法进行评价。

2.1 平场域定标

为对环境一号卫星 A 星 CCD 及高光谱数据进行融合处理, 首先要使得两个传感器的数据相对归一化, 以便于相互比较。因此对数据进行定标和大气校正, 获取地面的地表反射率。本次研究采用光谱反演的统计学模型平场域定标法, 对数据进行处理。

平场域法是选择图像中一块面积大且亮度高而光谱响应曲线变化平缓的区域, 利用其平均光谱辐射值来模拟飞行时大气条件下的太阳光谱。将每个象元的 DN 值与该平均光谱辐射值的比值作为地表反射率, 以此来消除大气的影

$$\rho_{\lambda} = R_{\lambda} / F_{\lambda}$$

式中: ρ_{λ} 为相对反射率; R_{λ} 为象元辐射值; F_{λ} 为定标点(平场域)的平均辐射光谱。

使用平场域法消除大气影响并建立反射率光谱图像有两个重要前提: ①平场域自身的平均光谱没有明显的吸收特征; ②平场域辐射光谱重要反映的是当时大气条件下的太阳光谱。根据研究区特点, 本次研究选取的平场域如图 1 所示:

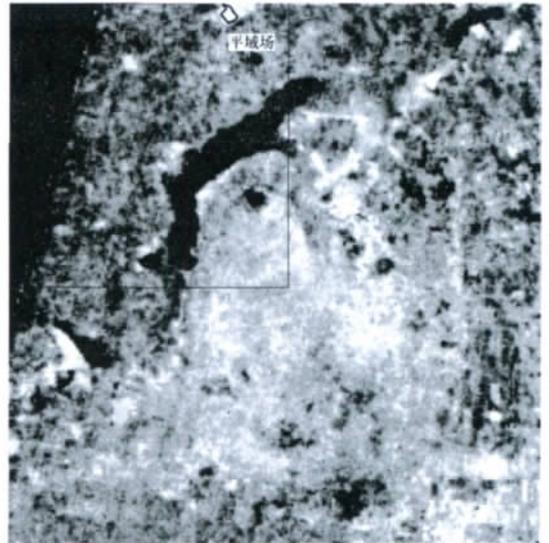


图 1 洪河湿地定标平场域区域范围图

2.2 定标结果光谱分析

对定标后的图像选取典型地物, 分析高光谱数据与 CCD 数据的地物波谱曲线。从图 2~图 6 中可以看出: ①从相对反射率的值分析可知, 林地具有较高的反射率, 并且近红外的反射峰比较明显, 符合地面光谱仪的测量, 其他典型地物波谱与测试值的波形形态也相似; ②典型地物 CCD 波谱和 HSI 波谱具有相似的走势, 一致性较高; ③由于高光谱辐射分辨率要大于 CCD(辐射分辨率表现为可分辨的灰

度阶梯数。HSI 为无符号整型, CCD 为字节型), 因此相对反射率一般要高于 CCD, 并且高光谱比 CCD 典型地物的波谱具有更为精细的波谱特征。

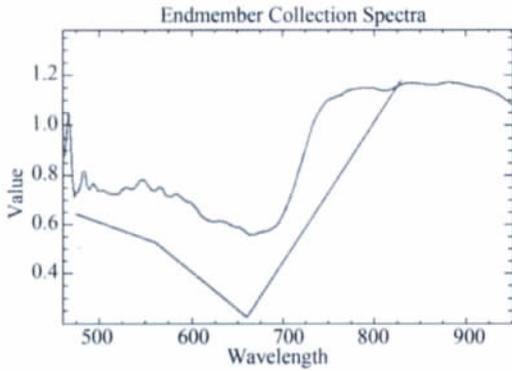


图 2 林地波谱(上为 HSI, 下为 CCD)

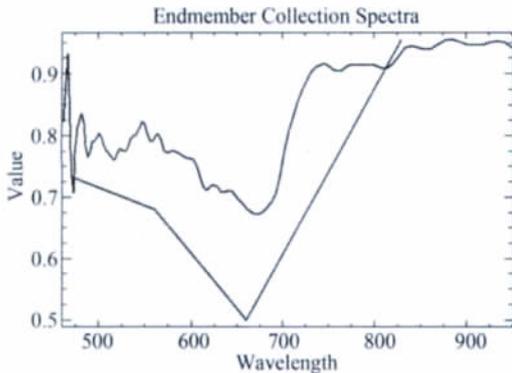


图 3 沼泽波谱(上为 HSI, 下为 CCD)

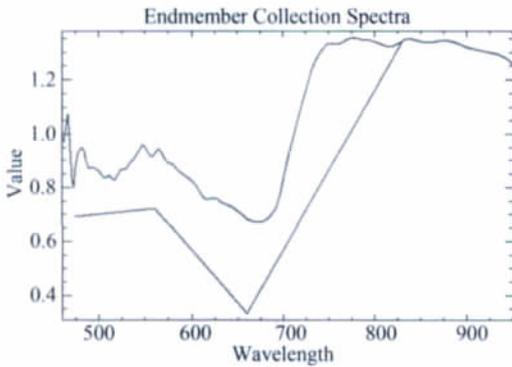


图 4 灌丛波谱(上为 HSI, 下为 CCD)

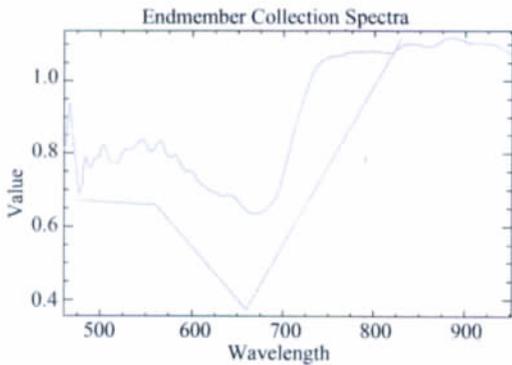


图 5 草甸波谱(上为 HSI, 下为 CCD)

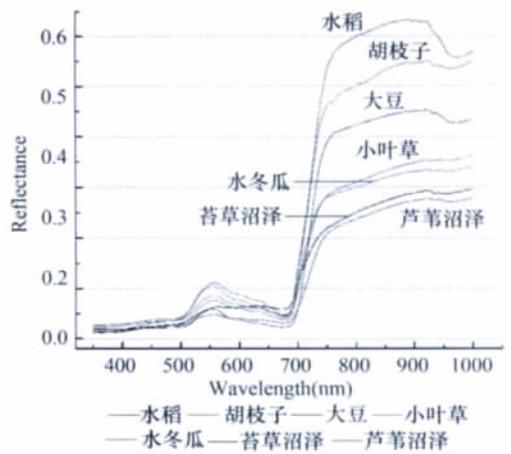


图 6 洪河湿地地面典型地物波谱测量 (标注为以 900nm 处先后顺序排列)

2.3 融合算法设计

由于 A 星上 CCD 数据、高光谱数据为同一时刻获取的数据, 因此经过平场域定标后的数据应该完全吻合, 但由于两个光学系统的中心波段设置、成像系统信号响应方式等的不同, 两个光学系统实际存在一定系统偏差。本次融合算法研究就是利用两个光学系统成像的同时性, 消除两者之间的系统偏差, 再利用较高空间分辨率的 CCD 数据为基础数据, 在光谱域插值、融合, 得到基于 A 星成像特点的 CCD 与高光谱融合数据。

根据 CCD 与高光谱数据的光谱特点, 设计具体的光谱融合算法为:

(1) CCD 原始数据 CCD_{30} 重采样至高光谱成像仪的空间分辨率 100m, 得到 CCD_{100} ; 然后将 CCD_{100} 的 4 个波段在高光谱 115 个光谱谱段上进行插值, 得到 $CCD_{100-115}$;

$$CCD_{100} = \text{congrid}(CCD_{30})$$

$$CCD_{100-115} = \text{interpol}(CCD_{100}, 4, 115)$$

式中 Congrid 表示在空间 2 维尺度上进行插值; interpol 表示在光谱的一维尺度上进行插值。

(2) 由于高光谱与 CCD 在光谱上的响应动态范围不同, 依据 CCD 数据的动态范围对高光谱数据进行归一化, 得到归一化后的 HSI_{NM} ;

$$Mult = \frac{\{Max(CCD_{100-115}[m, n, *]) - Min(CCD_{100-115}[m, n, *])\}}{\{Max(HSI[m, n, *]) - Min(HSI[m, n, *])\}}$$

$$HSI_{NM}[m, n, *] = (HSI[m, n, *] - Min(HSI[m, n, *])) * Mult + Min(CCD_{100-115}[m, n, *])$$

式中, Mult 为 CCD 与 HSI 的动态范围比值,

$CCD_{100-115}[m,n,*]$ 为矩阵 $CCD_{100-115}$ 第 m 数; n 为行数,所有波段的值,其余表示意义相同。

(3) CCD 数据 ($CCD_{100-115}$) 与高光谱数据 (HSI_{NM}) 在各个像素点上的差值,得到系统差值 ($\Delta_{100-115}$);

$$\Delta_{100-115} = HSI_{NM} - CCD_{100-115}$$

(4) CCD 数据 (CCD_{30}) 4 个波段在 115 个光谱谱段上进行插值,得到高光谱 CCD 数据 (CCD_{30-115}),系统差值 ($\Delta_{100-115}$) 100m 分辨率尺度插值到 30m 分辨率,得到 Δ_{30-115} ;

$$CCD_{30-115} = \text{interpol}(CCD_{30}, 4, 115)$$

$$\Delta_{30-115} = \text{congrid}(\Delta_{100-115})$$

(5) 插值后的 CCD 数据 (CCD_{30-115}) 加上两个

光学成像系统系统差值 (Δ_{30-115}), 得到 CCD 与 HSI 融合图像 (CCD_HSI)。

$$CCD_HSI = CCD_{30-115} + \Delta_{30-115}$$

2.4 融合结果及评价

2.4.1 主观评价

从三波段 RGB 颜色合成的视觉效果上看,融合后的图像基本上在空间分辨率和颜色表征方面能达到融合前 CCD 数据的性能。细节纹理上,融合后的图像在细节纹理上比融合前高光谱更清晰,尤其是不同植被类型的边界,融合后图像更为清晰。颜色上,由于融合后图像按照 CCD 的响应动态范围进行了光谱上的归一化,可以看出融合后图像颜色更为鲜艳。

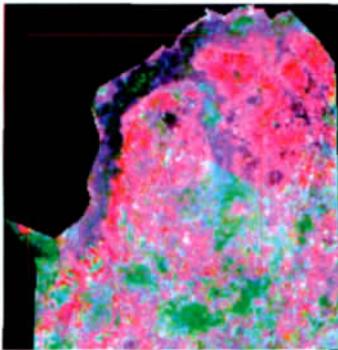


图 7 光谱融合后(R-100, G-70, B-40)

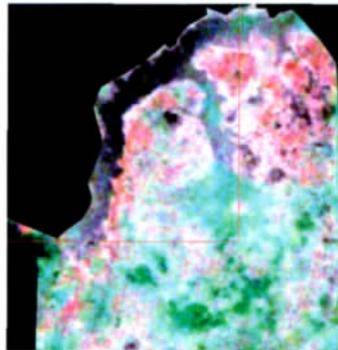


图 8 光谱融合前高光谱重采样数据(R-100, G-70, B-40)

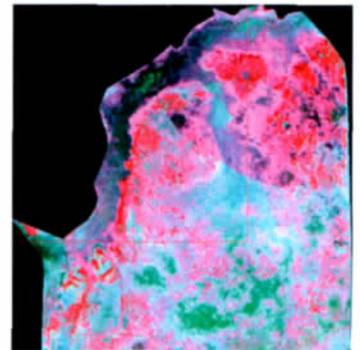


图 9 光谱融合前 CCD 数据(R-4, G-3, B-2)

2.4.2 融合前后光谱比较

任意选择几个有代表性的地物点,对融合前高光谱数据和融合后数据的波谱进行比较。从波形

的对比中可以看出融合前高光谱数据与融合后数据波峰波谷位置上基本一致,但融合后数据光谱的动态范围较原始波谱有较大提升。

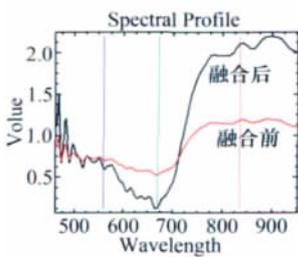


图 10 林地波谱

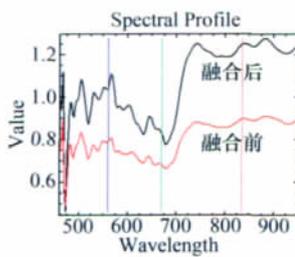


图 11 草甸波谱

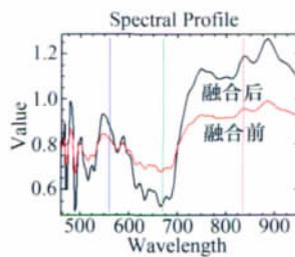


图 12 灌木波谱

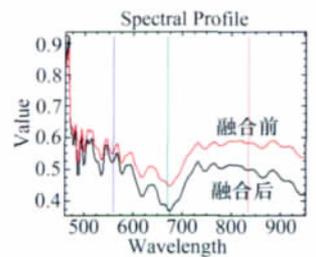


图 13 沼泽波谱

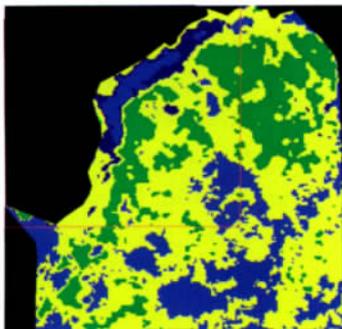


图 14 融合前高光谱数据 SAM 分类

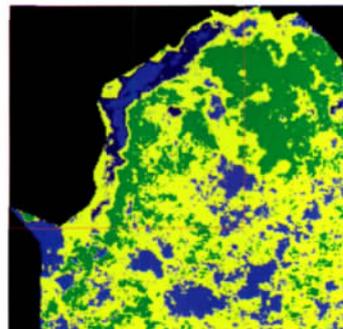


图 15 融合后数据 SAM 分类 (下转第 108 页)

6 结束语

珠江三角洲地区在过去的二十多年时间里经历了急速的城市发展,土地利用的快速变化必然会引起珠江河口以及临近海岸水域的水质环境进一步恶化,研究珠江三角洲地区土地利用变化及其水质环境效应有很大的意义。本文旨在阐述应用多源遥感数据及多目标空间分析手段,研究珠江三角洲地区土地利用变化驱动的非点源污染与该区水质环境演

变的方法。充分利用不同遥感数据特点,有效融合高、低空间分辨率数据,进一步提高土地利用变化动态遥感监测能力。充分利用珠江三角洲地区近年来土地利用土地覆盖研究成果,将有助于分析非点源污染驱动因子与珠江河口及邻近水域水质环境的恶化趋势。然而,这些土地利用类型的变化,将如何影响流域尺度的水质环境变化是我们进一步关注并进行细化研究的重点内容,本文将不详细论述。

致谢:感谢由 USGS 和 NASA 提供的遥感数据。

参考文献

- [1] 陈利顶,傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. 环境科学,2000,21(2):98-100.
- [2] 陈水森,彭沛全,王娟,杨素悦. 基于 GIS 的珠江口沿岸咸酸化遥感研究[J]. 农业环境与发展,1999(1):1-2.
- [3] 樊风雷,王云鹏. 基于遥感数据的珠江三角洲核心区域土地利用时间序列变化分析[J]. 农业现代化研究,2008,29(2):223-226.
- [4] 郝芳华,陈利群,刘昌明,等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报,2004,18(3):6-8.
- [5] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶. 非点源污染的管理及控制[J]. 环境科学,1998,19(5):87-91.
- [6] 胡伟平,何建邦. GIS 支持下珠江三角洲城镇建筑面积覆盖变化遥感监测分析[J]. 遥感学报,2003,7(3):201-207.
- [7] 秦明周. 土地利用分类及其影响因素研究[J]. 地域研究与开发,1997,16(1).
- [8] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报,2000,55(2):151-160.
- [9] 叶嘉安,黎夏. 珠江三角洲经济发展城市扩张与农田流失研究—以东莞为例[J]. 经济地理,1999,19(1):67-72.
- [10] 张淑荣,陈利顶,傅伯杰. 农业区非点源污染敏感性评价的一种方法[J]. 水土保持学报,2001,15(2):56-59.
- [11] 张巍,郑一,王学军. 水环境非点源污染的不确定性及其分析方法[J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1290-1296.
- [12] Asadi SS, Vuppala P, Reddy MA. Evaluation and mapping of impacts of land use/land cover on groundwater quality using remote sensing and GIS techniques[J]. Research Journal of Chemistry and Environment,2007,11(1):63-69.
- [13] Bolstad, PV, Swank, WT. Cumulative impacts of landuse on water quality in a southern appalachian watershed[J]. Journal of American Water Resources Association,1997,33(3):519-533.
- [14] Fan, F., Q. Weng, Y. Wang. Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on landsat TM /ETM+ imagery[J]. Sensors,2007(7):1323-1342.
- [15] Novotny V, Olem H. Water Quality: Prevention Identification, and Management of Diffuse Pollution[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company,1993.

(上接第 82 页)

2.4.3 融合前后分类效果评价

利用光谱角填图技术对融合前高光谱数据和融合后数据进行分类。从图 14、15 中可以看出:融合前高光谱 SAM 分类图斑较大,而融合后图像 SAM 分类的图斑较为细碎。这主要是融合后图像在空间尺度上更为细化地对地物进行了表达。

利用环境一号 A 星高光谱数据与 CCD 数据进行融合可以结合 CCD 高空间分辨率和高光谱高光谱分辨率的优势,获取具有较高空间分辨率和光谱分辨率的融合数据。融合数据能对下一步信息提取、精细分类制图、目标识别提供较高质量的数据源,并开拓了环境一号 A 星的数据的应用范围。

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,2003.
- [2] 董庆禧,张兵,郑兰芬. 高光谱遥感[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [3] Gary D R, Harry N G, Schott J R. Evaluation of two applications of spectral mixing models to image fusion[J]. Remote Sensing of Environment,2000(71):272-281.
- [4] Harry N G, John R S. Application of spectral mixture analysis and image fusion techniques for image sharpening[J]. Remote Sensing of Environment,1998(63):85-94.
- [5] 董广军,张永生,范永弘. PHI 高光谱数据和高空间分辨率遥感图像融合技术研究[J]. 红外与毫米波学报,2006,25(2):123-126.