

基于环境减灾小卫星数据的森林火灾迹地检测算法研究

魏然^①, 刘良明^①, 曹庭进^②, 周正^①

(^① 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079; ^② 四川省第一测绘工程院, 四川 630100)

摘要:森林火灾迹地是森林火灾的基本描述因子之一,是评估森林火灾严重程度的重要资料。本文基于环境减灾小卫星数据的特性,提出将 GEMI 指数作为火灾迹地检测指数;为了降低利用单幅影像进行火灾迹地检测时云污染现象对检测精度造成的影响,构建时序 GEMI 指数合成方法;并进一步提出适用于环境减灾小卫星数据的基于时序合成 GEMI 影像的火灾迹地检测算法;最后,将算法应用于 2009 年 4 月发生在中国黑龙江的森林火灾,检测结果表明该算法能准确地反映出森林火灾过火区域。

关键词:火灾迹地;环境减灾卫星;GEMI

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.012

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2012)120-0062-05

A Study of Algorithm of Forest Fire Burn Scar Detection Based on HJ Satellite Data

WEI Ran^①, LIU Liang-ming^①, CAO Ting-jin^②, ZHOU Zheng^①

(^① School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079;

^② First Surveying and Mapping Engineering Institute of Sichuan Province, Sichuan 630100)

Abstract: Forest fire burn scar is one of the basic description factors of forest fire and important information to assess the intensity of forest fire. Based on the features of HJ satellite data, this paper proposed GEMI as the burn scar detection index. In order to reduce impact on detection accuracy which is caused by cloud contamination when using single image, a time series GEMI images synthesis method is constructed; applying to HJ satellite data, a burn scar detection algorithm based on the composed GEMI image has also been developed. Finally, a case study is carried out for the forest fire occurred in April 2003 in Heilongjiang, China. The detection results shown that this algorithm can reflect the fire area accurately.

Key words: burn scar; HJ satellite; GEMI

1 引言

森林火灾是一种突发性强、破坏性大、处置救助较为困难的自然灾害,它不仅造成树木死亡、降低林分密度、破坏森林结构,而且还烧毁林区的生产生活设施,造成生命财产损失。森林火灾迹地是森林火灾的基本描述因子之一,对估算由火灾造成的温室气体的排放量以及更好地了解火灾后植被格局有着

至关重要的作用。鉴于火灾迹地在生态系统管理以及全球变化研究中起到的重要作用,有必要进行火灾迹地检测,从而掌握灾情信息并准确估计灾害对生态环境、生命安全、经济造成的影响。20 世纪 80 年代随着卫星遥感应用技术的开发,利用卫星在全球或区域尺度上对火灾迹地面积进行检测在国内外受到越来越广泛的重视,在森林火灾迹地检测方面开展了许多研究和应用^[1~7]。我国是森林火灾很严

收稿日期:2011-04-06 修订日期:2011-07-14

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2011CB302306)和中央高校基本科研业务费专项资金共同资助。

作者简介:魏然(1985~),男,博士研究生,主要方向:灾害遥感监测与遥感图像处理。

E-mail: ranranwei1985@163.com

重的国家,国家林业局统计数据指出,仅 2009 年,全国共发生森林火灾 8808 起,其中重大火灾 35 起,特大火灾 1 起,火场总面积 319.72 万亩,受害森林面积 68.97 万亩^[8]。为适应防灾减灾新的形式和要求,我国提出了遥感卫星星座计划,并于 2008 年 9 月 6 日成功发射环境与灾害监测预报小卫星星座 A、B 星(HJ-1A/1B),该星座系列卫星的成功发射标志着利用我国自主研发的卫星开展我国及周边国家、地区的灾害监测研究是可行的,所以亟需研究适应新型传感器特性的火灾迹地检测算法。

2 环境与灾害监测预报小卫星介绍

环境与灾害监测预报小卫星星座建设拟采用分步实施战略,首次发射的两颗光学小卫星(HJ-1A/1B 星)和一颗合成孔径雷达小卫星(即“2+1”方案),初步形成对我国灾害和环境进行监测的能力。在 HJ-1A 和 HJ-1B 卫星上均装载有设计原理完全相同的 CCD 相机,联合完成对地刈幅宽度为 700km、地面像元分辨率为 30m、4 个谱段的推扫成像。在 HJ-1B 卫星上还装载一台红外多光谱相机(IRS),完成对地幅宽为 720km、地面像元分辨率为 150m/300m、近短中长 4 个红外光谱谱段的成像^[9]。

火灾发生时,火点向空间辐射出大量的能量,火点像元的中红外波段亮温明显高于正常像元,HJ-1B 上搭载的红外多光谱相机(IRS)包含反映这一特性的中红外通道(3.50 μm ~3.90 μm),以及反映地表温度的热红外通道(10.5 μm ~12.5 μm)。其中红外通道 150m 和热红外通道 300m 的空间分辨率相较于主流火灾监测传感器又有明显优势。

火灾发生后,火灾迹地在红波段和近红外波段的反射率相较于正常植被有明显异变。HJ-1A 和 HJ-1B 上搭载的 CCD 相机包含火灾迹地检测所需的波长范围分别为 0.63 μm ~0.69 μm 的红波段和 0.76 μm ~0.90 μm 的近红外波段,并且,两颗卫星的轨道完全相同,相位相差 180°,组网后重访周期仅为 2 天,又满足了动态实时检测火灾迹地对时间分辨率的要求。所以具有中高空间分辨率、高时间分辨率、宽观测幅宽性能的环境减灾卫星在火灾迹地检测应用中具有其独特的优越性。

3 火灾迹地检测原理与算法

3.1 环境减灾卫星数据构建指数的特性分析

基于遥感的火灾迹地检测原理主要是利用火灾发生后火灾迹地在光谱上反映出的异常变化进行火

灾迹地的识别,这种光谱异变主要表现为:由于植被燃烧后生物量和水分损失所导致的火灾迹地像元在近红外波段表现出吸收增强,光谱反射率有明显下降;由于火灾迹地所覆盖的植被遭到破坏,叶绿素含量明显降低,在红光波段表现出吸收有所下降,但反射率有所增强。鉴于灾害前后近红外和红光波段的反射率的差异变化,常规的检测算法往往利用这两个波段所构建的特征指数,如 NDVI、GEMI^[10] 等来进行火灾迹地检测,指数构建公式如式(1)和(2)所示:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

$$GEMI = \eta(1 - 0.25\eta) - \frac{\rho_{RED} - 0.125}{1 - \rho_{RED}} \quad (2)$$

$$\text{其中 } \eta = \frac{2(\rho_{NIR}^2 - \rho_{RED}^2) + 1.2\rho_{NIR} + 0.5\rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + 0.5}, \text{ 针}$$

对环境减灾卫星,红光波段 ρ_{RED} 为 HJ-CCD 传感器上的第三波段的反射率;近红外波段 ρ_{NIR} 为 HJ-CCD 传感器上的第四波段的反射率。

选取多次森林火灾事件发生前后的环境减灾卫星数据,统计由这些数据生成的 NDVI 和 GEMI 指数影像上火灾迹地和正常植被的指数最大值、最小值、众数、均值、标准差特征,分析环境减灾卫星的火灾迹地检测指数的特性,统计结果具体见表 1:

表 1 火灾迹地与灾前植被的指数统计特征

指数		NDVI(*100)	GEMI(*100)
灾前植被	最大值	32	56
	最小值	23	53
	众数	25	53
	均值	27.284	54.730
	标准差	2.926	1.511
火灾迹地	最大值	27	48
	最小值	18	43
	众数	22	45
	均值	22.538	46.769
	标准差	5.544	2.006

所用的 NDVI 和 GEMI 统计数据在进行辐射定标时都将结果乘以了 100,对精度有一定的损失,但是对数据的使用和分析影响不大,而且数量级增大后更能体现出特征参数的差异性。表 1 中,火灾迹地的 NDVI 和 GEMI 均值都与灾前正常植被指数均值有明显差异,说明两种指数都能反映出同一区域在火灾发生前后的差异特性,但火灾迹地的

GEMI 标准差小于 NDVI 标准差,说明 GEMI 相较于 NDVI 能排除周围环境对指数造成的影响,能更好地代表火灾迹地这一类地物的特征,所以选取 GEMI 作为构建环境减灾卫星火灾迹地检测算法的特征指数。

3.2 时序 GEMI 指数合成方法构建

利用单幅 GEMI 影像进行火灾迹地检测时,往往会受到云覆盖的影响,从而降低检测精度。植被在正常情况下的指数特征是连续的,而云层位置在不同时相影像上是不断变化的,利用这一特性,将贯穿整个灾害过程的时序 GEMI 影像基于相应的方法进行合成,使经过该方法合成后的影像既保留正常区域的指数特征,又剔除云覆盖的影响,同时又能突出火灾迹地在影像上的异常特征。

在不同时相的 HJ-CCD 数据构造的 GEMI 影像上分别选取待区分的不同地表特征的若干像元,包括火灾迹地、正常植被、水体、云阴影、云覆盖火灾迹地等 5 大类。统计各种地物 GEMI 指数的值域分布特性,为了便于分析,GEMI 值都乘以 100。统计结果如图 1:

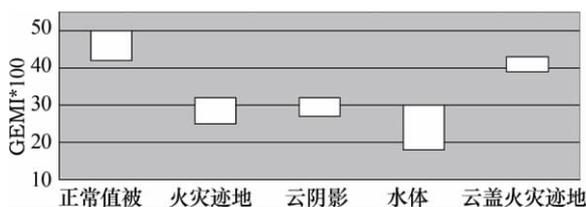


图 1 各类地物 GEMI 值域范围统计

图 1 中,云覆盖火灾迹地与火灾迹地的 GEMI 值域没有重叠区间,且火灾迹地 GEMI 值远小于云盖火灾迹地,可以进行多时相指数最小值合成,从而剔除云盖污染影响,并且,由于正常植被指数值明显高于火灾迹地的值,经最小值合成后正常植被与火灾迹地仍然易于区分;从图中还可以看出,火灾迹地的 GEMI 值域分别与云阴影和水体的指数值域有重叠区间,如果仅利用最小值合成的影像不能有效区分云阴影、水体和火灾迹地。由于在火灾迹地检测时可以先进行水体掩膜,使水体像元不参与火灾迹地检测,所以,使合成指数能区分云阴影覆盖地物和火灾迹地是另一关键问题。

云阴影覆盖地物相较于正常地物在红光和近红外通道的反射率均有一定程度的降低,但不改变所覆盖地物的反射率特性;而火灾迹地与同区域正常植被相比在光谱上表现出明显异变:近红外波段吸收增强,光谱反射率有明显的下降,而红光波段的吸收下降,反射增强。由于 NDVI 能有效反映这两个

波段的特征变化,考虑分析云阴影、火灾迹地与同区域正常植被的 NDVI 值域分布特性,同样 NDVI 值都乘以 100,统计结果如图 2 所示:

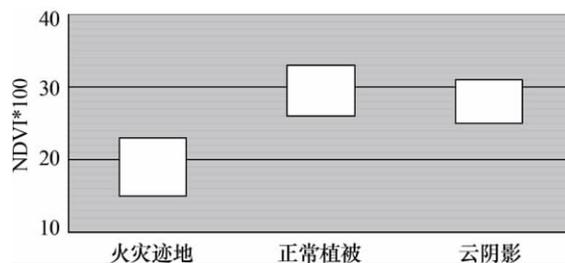


图 2 特征地物 NDVI 值域范围统计

图 2 中几种特征地物所反映的特性与上文分析类似,云阴影覆盖像元相较于正常植被像元的 NDVI 值没有明显变化;而火灾迹地像元的 NDVI 值明显小于正常植被像元,因此考虑在 GEMI 最小值合成的基础上结合 NDVI 来构建合成方法。

综合以上分析,合成时首先逐像元提取多时相 GEMI 影像的前三小值;计算这三值所属影像的同一像元的 NDVI 标准差(STD),当标准差小于阈值(Th,取值 0.2),则认为该像元光谱特性未发生明显改变,属正常植被覆盖区域,取此前三小 GEMI 值的均值作为合成值,这样,即使有云阴影覆盖像元 GEMI 值被选入前三小值,也能削弱合成 GEMI 影像中火灾迹地与云阴影覆盖地物的相似性;当标准差大于阈值,则认为该像元光谱特性发生异变,取此前三小 GEMI 值的最小值作为合成值,从而突出合成 GEMI 影像中火灾迹地与正常植被的差异。具体合成流程如图 3 所示。

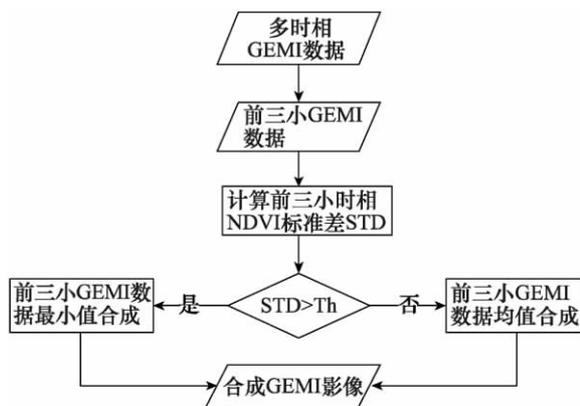


图 3 时序 GEMI 指数合成方法流程图

3.3 基于时序合成 GEMI 的火灾迹地检测算法研究

基于时序合成 GEMI 的火灾迹地检测算法的基本思路是种子点扩散算法,首先进行时序 GEMI 影像合成,要求输入时序影像数不少于 5 幅;再将相

同地区同次火灾的时序火点作为初始火灾迹地种子点,并在合成后的 GEMI 影像上进行种子点扩散算法,实现火灾迹地检测。具体步骤如下:

①根据 3.2 章节提出方法进行多时相 GEMI 影像合成;

②将火点作为初始种子点,在合成 GEMI 影像上,以种子点为中心,统计 3×3 窗口(非水体、无云覆盖)GEMI 均值与标准差,将所有窗口内的均值平均值(M_s)与标准差平均值(SD_s)作为火灾迹地 GEMI 统计特征;

③逐一计算植被缓冲区内的所有种子点为中心的 3×3 窗口内的 GEMI 的均值 M_w 与标准差 SD_w ;

④比较 SD_w 与 SD_s 的关系,判断 $SD_w < N1 * SD_s$ (其中 $N1$ 为一个固定参数,取值 0.4)是否成立。如果成立,说明窗口内像元的光谱性质比较接近,对整个窗口进行判断,进一步同时满足公式 $M_w \geq M_s - N2 * SD_s$ 和 $M_w \leq M_s + N2 * SD_s$ (其中 $N2$ 也是一个固定参数,取值 1),则整个窗口内都判为火灾迹地;如果不成立,说明窗口内像元的光谱差异较大,须逐个对窗口内像元的 GEMI 值 $GEMI_{pixel}$ 进行判断,若同时满足公式 $GEMI_{pixel} > M_w - SD_w$ 和 $GEMI_{pixel} < M_w + SD_w$ 的像元判为火灾迹地;

⑤将新判断出的火灾迹地作为新种子点加入种子点集,并剔除已进行过判断的种子点;

⑥返回步骤(4),循环直至所有种子点都处理完。

算法流程如图 4。

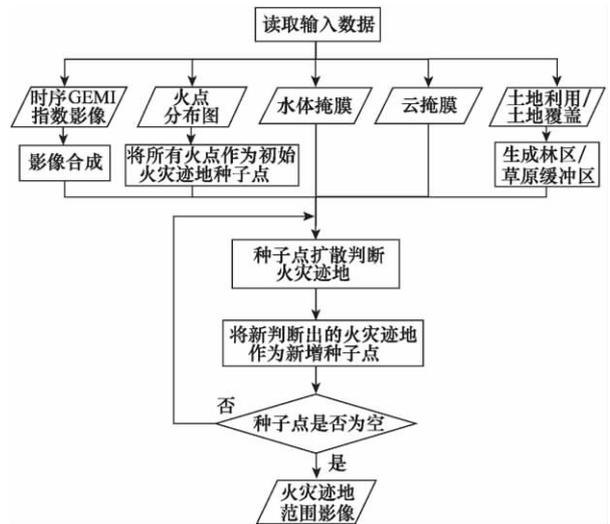


图 4 基于时序 GEMI 合成指数火灾迹地检测流程图

4 算法实验与分析

本文针对 2009 年 4 月 27 日发生在黑龙江省森工总局沾河林业局伊南河林场的森林草甸火灾进行火灾迹地检测实验。

利用时相上覆盖本次火灾过程的 2009 年 4 月 26 日、27 日、29 日和 5 月 3 日、10 日、14 日的共 6 景 HJ-CCD 数据生成时序 GEMI 影像,结合此次火灾同期 HJ-IRS 数据检测的综合火点分布影像,进行火灾迹地检测实验。图 5 为时序 HJ-CCD 影像受灾扩张图。

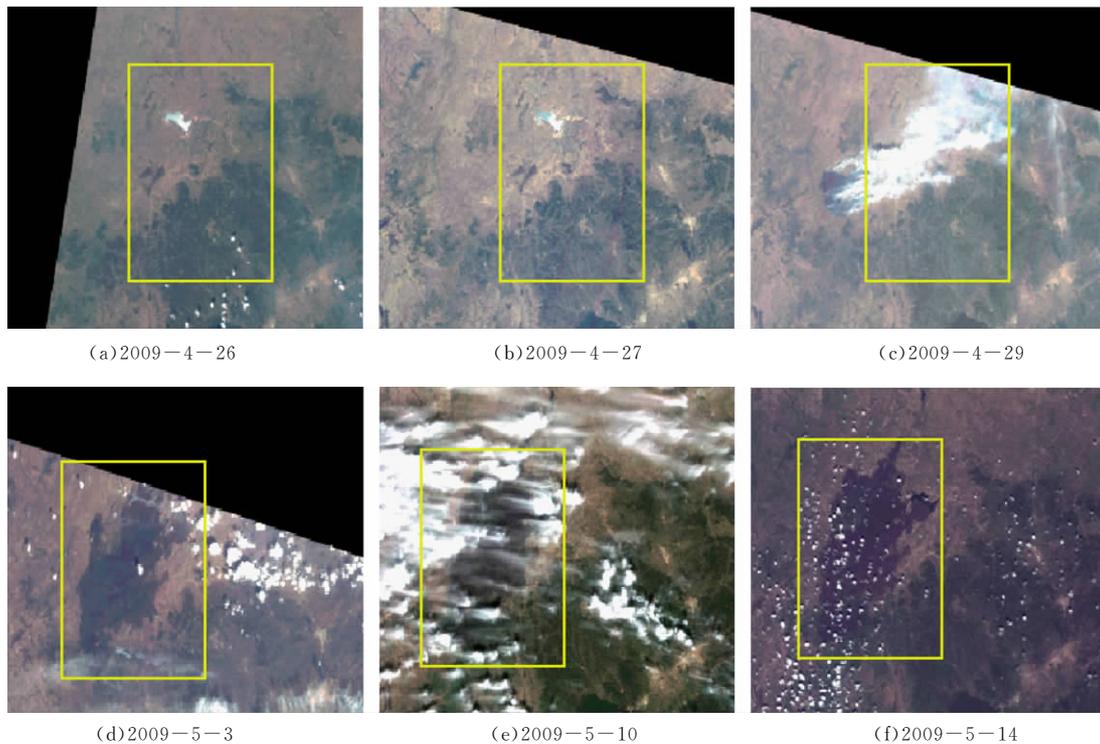
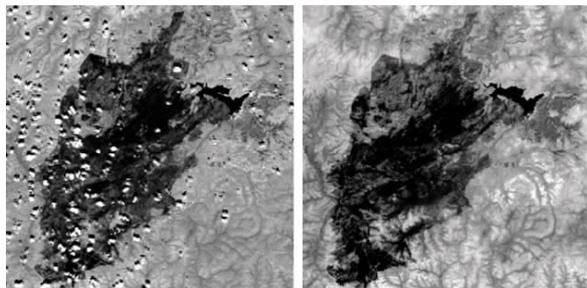


图 5 HJ-CCD 同一区域火灾迹地面积扩张真彩图(band3(R)、band2(G)、band1(B))

应用章节 3.2 所述的合成方法对时序 GEMI 影像进行合成,单幅 GEMI 影像与合成后 GEMI 影像对比如图 6 所示。图 6 中,相较于单幅 GEMI 影像,合成 GEMI 影像剔除了云覆盖影响,并削弱云阴影区域与火灾迹地区域 GEMI 值的相似性,较为完整地反映出火灾迹地区域。

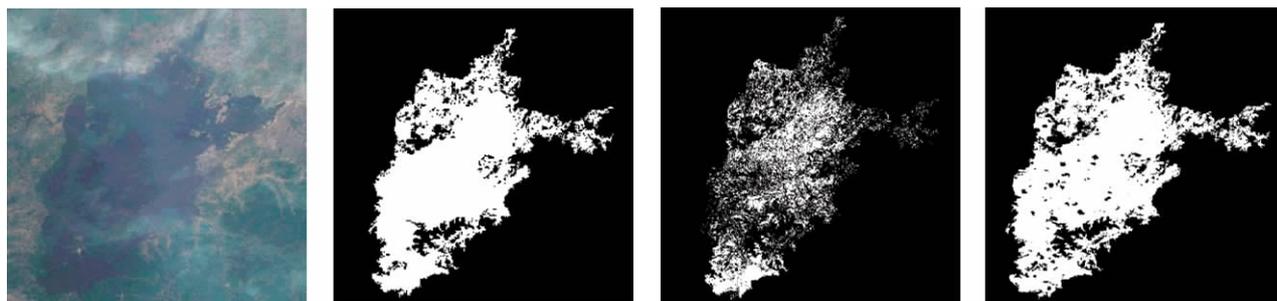


(a)2009-5-14 的 GEMI 影像 (b)合成 GEMI 影像

图 6 单幅 GEMI 影像与合成 GEMI 影像

分别应用章节 3.3 提出的检测算法、NDVI 差

值法和单幅 GEMI 指数检测算法进行火灾迹地检测实验。其中,将 4 月 27 日和 5 月 14 日的 NDVI 影像分别作为灾前和灾后时相的数据进行 NDVI 差值法检测,差值阈值取为 0.3。应用 5 月 14 日的 GEMI 影像进行单幅 GEMI 火灾迹地检测,检测结果如图 7。图 7(a)为灾后 5 月 20 日无云遮盖且能较真实地反映出火场过火状况的 HJ-CCD 影像,与不同检测算法的检测结果图对比可以看出,图 7(d)中,单幅 GEMI 检测受影像质量(云污染)的影响,检测结果不能完全反映灾情;图 7(c)中,NDVI 差值算法主要依靠经验固定阈值,检测结果在时空变异环境下出现了较为严重的漏检问题。图 7(b)中,由于利用时序合成的 GEMI 影像并采取种子点扩散的动态阈值算法,本文提出算法的检测结果既有效地减少了云污染的问题,又规避了固定阈值造成的漏检问题。



(a)灾后 2009-5-20 的 HJ-CCD 影像 (b)本文算法检测结果 (c)NDVI 差值检测结果 (d)单幅 GEMI 检测结果

图 7 火灾迹地检测结果

5 结束语

本文研究了环境减灾卫星数据所构造的不同火灾迹地检测指数的特性,针对单幅影像检测结果易受云和云阴影的影响以及常规检测算法中采用固定阈值而造成的漏检和过检问题,构建适用于环境数据的时序 GEMI 指数合成方法,并提出基于合成 GEMI 指数的火灾迹地自动检测算法。得出以下结论:

针对环境减灾小卫星数据,GEMI 相较于 NDVI 能排除周围环境对指数造成的影响,所以选取

GEMI 作为构建环境减灾卫星火灾迹地检测指数,能更好地识别火灾迹地。

本文提出的时序 GEMI 合成方法能有效剔除单幅影像中云覆盖影响,削弱云阴影覆盖区域与火灾迹地 GEMI 值的相似性,并能突出火灾迹地与正常植被的差异特性。

基于时序 GEMI 合成指数的火灾迹地自动检测算法,能较为准确地检测出过火区域,与常规 NDVI 差值算法采用固定阈值相比,算法能自动获取火灾迹地的 GEMI 统计特征,较好地规避了由于使用经验固定阈值造成的漏检现象。

参考文献

[1] 周小成,汪小钦,高中灵. 基于知识的多时相 TM 图像森林火烧迹地快速提取方法[J]. 灾害学,2005,20(2):22-26.
 [2] 高中灵,汪小钦,周小成. 火烧迹地信息遥感快速提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2005(4):38-41.
 [3] 谭明艳,陈仲新,等. 利用 MODIS 识别草原火灾迹地方法的研究[J]. 遥感学报,2007(5):340-349.
 [4] Fraser R H,Li Z,Cihlar J. Hotspot and NDVI differencing synergy(HANDS):A new technique for burned area mapping over boreal forest[J]. Remote Sensing of Environment,2000(74):362-376.

(下转第 102 页)

成。而地质领域常用的简化的黑暗像元法大气校正并不能有效地体现反射率的差异,特别是短波红外波段的反射率。因此对 ASTER 图像进行了基于大气辐射传输方程的 FLAASH 大气校正,得到的反射率图像可以通过典型地物的光谱曲线评价其大气校正是有效的。将波段比值组合应用到 FLAASH 校正后的反射率图像上,比值组合 $b_2/b_1, b_4/b_3, (b_5 + b_7)/b_6 \rightarrow \text{RGB}$ 能有效地区分出常规假彩色合成图像中无法分开的灰岩和红粘土,显示出 ASTER 波段比值彩色合成技术在红粘土提取中的作用。

在选择特征波段比值组合以及将其应用到遥感

图像上之前,需要对感兴趣的红粘土光谱曲线特征做光谱分析,并将遥感图像做精确的大气校正,使图像光谱曲线能反映出已知地物的光谱特征。ASTER 图像的 FLAASH 校正结果能达到恢复地物反射率的目的,但统计信息表明其反射率有负值,在应用波段比值之前需要去除负值,使波段比值每个区间值对应的地质意义更加明确。

单一的波段比值图像显示地物的能力很弱,而将这三个单波段比值图像进行合适顺序的彩色合成,能产生跟矿区红粘土分布一致的结果图像,达到提取目标红粘土的目的。

参考文献

- [1] Kalinowski A., Oliver S., Aster mineral index processing manual[J]. Remote Sensing Applications Geoscience Australia, 2004: 1-36.
- [2] 陈赶良, 杨柏林. 黔桂地区微细浸染型金矿蚀变信息提取机理[J]. 环境遥感, 1996, 11(2): 88-93.
- [3] 王砚耕, 陈履安, 李兴中, 等. 贵州西南部红粘土型金矿特征及其分布规律[J]. 贵州地质, 2000, 17(1): 2-13.
- [4] Pazner Micha, Zhang. X., Comparison of lithologic mapping with ASTER, Hyperion, and ETM data in the southeastern chocolate mountains, USA[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2007, 73(5): 555-561.
- [5] Sabreen Gad, T. K., ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian-Nubian shield, the Neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt[J]. GR Letter, 2007(11): 326-335.
- [6] Mustard, J. F., Sunshine, M. J., Spectral analysis for earth science: Investigations using remote sensing data[J]. Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual for Remote Sensing, 1998(3): 251-306.
- [7] 冯学仕, 郭振春. 黔西南地区金矿产出模式及找矿潜力[J]. 贵州地质, 2002, 19(2): 109-111.
- [8] 范二川. 贵州贞丰红旗坡红粘土型金矿床成矿作用浅析[J]. 贵州地质, 2002, 19(1): 31-36.
- [9] 王砚耕, 陈履安, 李兴中, 等. 区域地质——贵州西南部红粘土型金矿[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2000: 7-10.
- [10] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 274.
- [11] JASON L. Perry, Robert K. Vincent, Chapter 12, remote sensing and spectral geology[J]. Review in Economic Geology, 2009(16): 143.
- [12] 郑伟, 曾志远. 遥感图像大气校正的黑暗像元法[J]. 国土资源遥感, 2005(1): 8-11.
- [13] 吕凤军, 郝跃飞, 李川平, 等. 基于 FLAASH 模块的遥感数据大气校正应用研究[J]. 河北地质, 2007, (2): 23-26.
- [14] ERSDAC. ASTER Reference Guide Version 1.0[Z]. Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 2003.
- [15] 吕凤军, 郝跃飞, 石静, 等. ASTER 遥感数据蚀变遥感异常提取研究[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 271-276.
- [16] Massironi *, M., Bertoldi, L., Calafa, P., Interpretation and processing of ASTER data for geological mapping and granitoids detection in the Saghro massif (eastern Anti-Atlas, Morocco)[J]. Geosphere, 2008, 4(4): 736-759.
- [17] 王建平. 基于遥感的河南卢氏西部地区蚀变信息提取与分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(6): 111-115.

(上接第 66 页)

- [5] Stroppiana D, Pinnock S, Pereira J M C, et al. Radiometric analysis of SPOT-VAGETATION images for burnt area detection in northern Australia[J]. Remote Sensing of Environment, 2002(81): 21-37.
- [6] Li R R, Kaufman Y J, Hao W M, et al. A technique for detecting burn scar using MODIS data[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(6): 1300-1308.
- [7] Chuvieco E, Ventura G, Martin M P, et al. Assessment of multi temporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping[J]. Remote Sensing of Environment, 2005(94): 450-462.
- [8] 国家林业局. 2009 年全国林业经济运行状况报告[EB/OL]. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/58/content-435929.html>
- [9] 郭朝辉, 亓雪勇, 龚亚丽, 祝令亚. 环境减灾卫星影像森林火灾监测技术方法研究[J]. 遥感信息, 2010(4): 85-88.
- [10] Pinty B, Verstraete M M. GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites [J]. Vegetation, 1992 (101): 15-20.