

# MODIS 数据在林火监测中的应用研究

高懋芳<sup>1</sup>, 覃志豪<sup>1,2</sup>, 刘三超<sup>3</sup>

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093; 2. 中国农业科学院农业资源区划研究所, 北京 100081; 3. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 提出了 MODIS 在林火监测中的应用方法, 其核心是利用 MODIS 热红外波段亮度温度阈值与植被指数相结合进行火点识别。对中、蒙、俄三国交界地区进行实例应用, 结果表明, 该方法能有效检测火点, 减小由裸土、水体和云引起的误判。

**关键词:** MODIS; 林火监测; 植被指数; 亮度温度

**中图分类号:** TP 75; S 762.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2005)02-0060-04

## 0 引言

目前遥感监测火灾主要利用 NOAA - AVHRR 影像, 如 Kaufman 用固定阈值法检测火点<sup>[1]</sup>; Flasse 提出用邻近像元分析法来确定火点<sup>[2]</sup>; Chuvieco 在利用阈值法检测火点后, 通过限制归一化植被指数 (NDVI) 的阈值来去掉明显不是植被的区域, 以减少误判<sup>[3]</sup>。Boles 等以阿拉斯加地区为例, 对利用 AVHRR 进行火灾监测的 3 种方法进行了比较分析<sup>[4]</sup>。Dozier 提出了一种基于 NOAA/AVHRR 的亚像元高温点的探测方法<sup>[5]</sup>。

利用 AVHRR 进行火灾监测取得了很大的成就, 但由于其辐射分辨率较低, 热红外波段在 325 K 左右就达到饱和, 不利于高温点的检测, 且 AVHRR 只有 5 个波段, 不利于各波段间相互验证。

MODIS 是新型的中等光谱分辨率的对地观测系统, 拥有 36 个波段, 波谱范围为 0.4 ~ 14.4  $\mu\text{m}$ , 影像空间分辨率为 250 m、500 m、1  $\text{km}$ <sup>[6]</sup>, 在林火监测应用中比 AVHRR 更具优势: ① MODIS 有专门用于描述火点热能发射特点的热红外通道, 数据为 12 bit, 故饱和温度比较高; ② 影像波段多, 可以结合不同波长数据进行火点分析; ③ 时间分辨率高, 每天可分别获得白天和晚上覆盖全球的影像; ④ NASA 对 MODIS 数据实行全球免费接收, 并且数据采用对地直接广播方式传输, 数据获取方便快捷。

本文在 NOAA - AVHRR 林火监测研究的基础上, 提出 MODIS 数据在林火监测中的应用方法, 并通过一个实例应用来验证该方法的可用性。

## 1 林火监测原理与火点识别方法

MODIS 林火监测原理与 AVHRR 相同, 都是根据着火点比周围温度高来判断火点。其判断基础是热辐射强度与温度和波长的关系。

对于黑体辐射源, 普朗克公式给出了其辐射强度与温度、波长的关系<sup>[7]</sup>。根据普朗克公式, 高温点在中红外波段的辐射能量比热红外波段大, 因此, 中红外比热红外对高温点的反映更敏感。基本的火灾检测即是根据此原理用 4  $\mu\text{m}$  和 11  $\mu\text{m}$  波段的亮温, 以及两波段的亮温差  $\Delta T$  作为阈值判断标准。

MODIS 有两个 4  $\mu\text{m}$  波段, 即 21 和 22 波段, 尽管 21 波段比 22 波段的饱和温度高, 但由于 22 波段信噪比高, 且有较小的误差, 因此, 通常是 4  $\mu\text{m}$  波段的亮温由 22 波段获得, 只有当 22 波段饱和或数据丢失时才会用 21 波段来代替。11  $\mu\text{m}$  波段的亮温由 31 波段获得<sup>[1]</sup>。中心波长为 0.65  $\mu\text{m}$ 、0.85  $\mu\text{m}$  的红光和近红外波段, 常用来去除云的影响, 并可计算归一化植被指数 (NDVI); 中心波长为 2.1  $\mu\text{m}$  的第 7 波段, 常用来去除由水引起的误判。

在火点判断中, 有些裸土区特别是沙漠地区, 白天地表的亮度温度可能会达到 50  $^{\circ}\text{C}$  以上, 如果单纯

收稿日期: 2004-08-07; 修订日期: 2004-12-13

基金项目: MODIS 数据产品开发、验证与应用示范项目(2003DKA1T006); 国家自然科学基金项目“用 MODIS 数据反演地表温度的算法及其参数确定”(40471096); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB309404)。

利用亮温阈值,就可能错判为火点。本文结合 NOAA/AVHRR 进行火灾监测的经验<sup>[3]</sup>,以及引起误判的原因,提出先计算研究区域的植被指数,只有植被指数超过一定值的地表才可能是森林火点,然后再做进一步的分析。这种方法不但可以去除很多地面不是植被的区域而引起的误判,而且因为亮温的阈值比固定阈值法要低,可以有效地减少漏判的比率。

### 1.1 辐射量计算

由于得到的数据是影像的灰度值(DN值),首先要计算传感器接收到的辐亮度。MODIS是在轨道标,不同波段、不同时刻的定标参数都不同,因此要分别计算,从MODIS数据的头文件中可以读到每一波段的增益量(scales)和漂移量(offsets),根据下面的公式来计算辐亮度 $L(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$

$$L = (DN - offset) \cdot scales \quad (1)$$

式中,DN为图像的灰度值,分别对1、2、21、22、31波段进行运算。

### 1.2 亮度温度计算

亮度温度是传感器在卫星高度所观测到的辐亮度相对应的温度。根据普朗克公式计算21、22、31波段的亮度温度<sup>[8]</sup>

$$M = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (2)$$

式中,M为黑体的辐射出射度( $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$ ),在数值上等于式(1)中的辐亮度L乘以 $\pi$ ;h为普朗克常数( $J \cdot s$ );k为玻耳兹曼常数( $J \cdot K^{-1}$ );c为光速( $m \cdot s^{-1}$ ); $\lambda$ 为所求波段中心波长( $\mu m$ );T为绝对温度(K),由式(2)可反解出T

$$T = \frac{hc}{\lambda k \ln\left(\frac{2\pi hc^2}{M\lambda^5 + 1}\right)} \quad (3)$$

由此,可计算出第21、22和32波段亮度温度,即 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 和 $T_{32}$ 。

### 1.3 去云影响

由于厚云所遮盖的地区探测不到火点,可能会引起漏判,因此,首先要去除受云影响的区域,标志为不可知,以备其它方法或其它时段影像进行探测。与下垫面相比,云在可见光和近红外波段的反射率较高,在热红外波段的亮度温度一般较低,因此,结合云在可见光近红外以及热红外波段不同的光谱特征,可以用以下方法来检测受云影响的区域<sup>[9]</sup>:

白天:当 $\rho_1 + \rho_2 > 0.9$ 或 $T_{32} < 265 K$ 或 $\rho_1 + \rho_2 > 0.7$ ,并且 $T_{32} < 285 K$ 之一成立时,就定义为云区。

晚上: $T_{32} < 265 K$ 就定义为云区。

式中, $\rho_1$ 、 $\rho_2$ 分别表示MODIS数据第1、2波段的反射率, $T_{32}$ 表示第32波段的亮温值。

### 1.4 植被指数

选取NDVI作为判断地表植被的标准,地表有植被的区域一般NDVI较大,这些地区才可能发生火灾。利用MODIS分辨率为250m的第1、2波段计算NDVI。计算公式如下

$$NDVI = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1) \quad (4)$$

式中, $\rho_1$ 和 $\rho_2$ 分别为MODIS数据第1、2两个波段的反射率。由于MODIS热红外波段空间分辨率为1km,因此,计算出来的NDVI要重采样成1km才能与亮度温度数据匹配计算。Boles S. H.利用AVHRR监测火灾时,对1994年和1996年影像分别取阈值0.3、0.4<sup>[4]</sup>。MODIS数据的波谱分辨率高,MODIS-NDVI比AVHRR-NDVI对植被的响应更敏感,NDVI值的范围更宽<sup>[8]</sup>,根据研究区植被覆盖面积比较广的特点,采用阈值 $NDVI \geq 0.3$ 。

### 1.5 火点判断

火点判断流程及检测标准如图1所示。

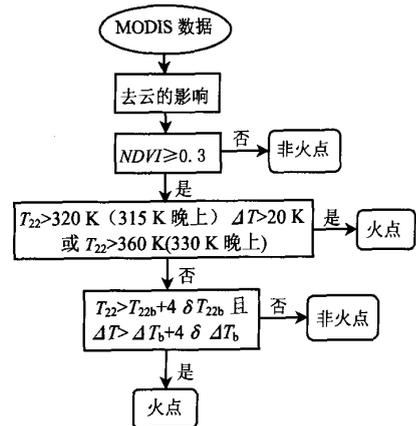


图1 火点判断流程

数据经云检测和NDVI计算等预处理后便进入火点判断阶段。该阶段分两步进行,首先是绝对阈值判断法,识别出温度很高(白天22波段亮温高于360K),明显是火点的区域;然后,进行相对阈值判断,主要针对绝对阈值判断法可能漏判的火点进行。若满足 $T_{22} < 320 K$ (315 K,括号内代表晚上影像的亮温阈值,下同)且 $\Delta T < 20 K$ (10 K)则定义为背景像元,在这些背景像元内,计算出22波段亮温的均值 $T_{22b}$ 和标准差 $\delta T_{22b}$ ,以及22、32两个波段亮温均值和标准差 $\Delta T_b$ 、 $\delta \Delta T_b$ <sup>[9]</sup>,根据这些参数继续检测火点。

## 2 实例应用

研究区为中国、俄罗斯、蒙古三国交界地带,范围为 47°38' ~ 53°17'N, 104°52' ~ 118°43'E', 时相为 2003 年 7 月 8 日上午 10 点半。插页彩片 12 为研究区 7、5、4 波段合成图,其中白色是云,青色是火燃烧后形成的烟。该区位于俄罗斯远东地区,地表覆盖差异明显;贝加尔湖东侧森林覆盖面积大,人烟稀少,是火灾多发地区;呼伦湖周围地区颜色发黄,植被相对比较稀少。

从 MODIS 1B 数据中找到定标参数,用式(1)对  $DN$  值进行定标计算,得到 1、2 两波段反射率  $\rho_1$ 、 $\rho_2$ , 根据 1.3 中的方法去除掉受厚云影响的区域;由  $\rho_1$ 、 $\rho_2$  得到研究区  $NDVI$  分布图,并通过限制  $NDVI$  阈值去掉水体、裸土等不可能发生火灾区域;最后,利用 2.5 中的火点判断方法检测出火点位置。

### 2.1 研究区 $NDVI$ 分布

图 2 为研究区  $NDVI$  分布直方图。图中 0.05 附

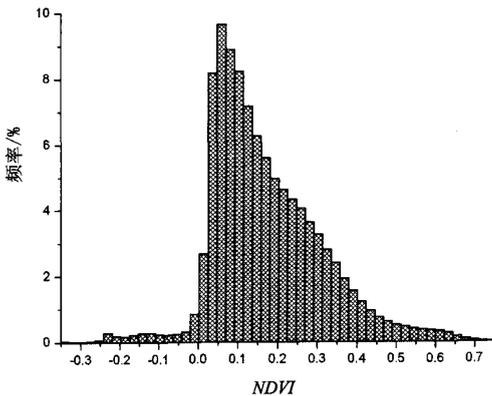


图 2 研究区  $NDVI$  分布直方图

近有一个峰值,主要是因为研究区东南部有大片的沙漠, $NDVI$  值比较集中;在 0.1 ~ 0.3 范围内为植被比较稀疏的地区; $NDVI > 0.3$  则为植被覆盖较多的地区,主要位于俄罗斯境内,是火灾多发地区。图中坐标的左边出现了部分负值,这是因为在云、水、部分裸土等地区, $NDVI$  可能会小于零<sup>[9]</sup>,从插页彩片 12 中也可以看出,研究区内有明显被云覆盖的区域,还有一部分水面,东南部是一块裸土区。

### 2.2 研究区火点分布图

检测出的研究区火点图叠加到由 7、5、4 波段合成的彩色图上,结果如插页彩片 13 所示。研究区内共有 33 个着火区,插页彩片 13 可以看出火点的位置位于植被比较茂密的地区,且大多数火点有明显

由西北向东南束状分布的烟雾带,初步判断这些地区为火势较大的明火区,检测出来的少部分火点没有相应烟的痕迹,由于缺乏实地验证资料,根据有关文献初步判断<sup>[8]</sup>,这些地区可能是闷烧区或者是着火面积较小(即火区  $< 1$  个像元)的区域。

## 3 结论

提出的基于 MODIS 数据的火点检测方法原理清晰,根据热红外波段的亮度温度检测出异常高温点。根据归一化植被指数去除地表不是植被,或植被稀少不足以引起火灾的区域。检测过程相对简单,不但可以有效地检测出火点,而且可以减少因裸土或城市热岛而引起的误判。实例证明,该方法是完全可行的,做出的火灾监测结果是令人满意的。

由于资料和时间限制,有些问题有待于进一步研究:①由于 MODIS 空间分辨率比较低,因此混合像元问题比较明显,有必要研究混合像元中燃烧区域所占的比例及温度;②研究中没有考虑到明火区和闷烧区的区别,这对于火灾过程中释放的气体及烟尘的数量,灾后损失评估都有很重要的意义;③  $NDVI$  取值不但因不同的季节和地区而不同,而且还与火烧的强度有关,若植被损害的程度高,即使是火烧区域, $NDVI$  值也会很小。

## 参考文献

- [1] Kaufman Y J, Justice C O, Flynn L P, et al. Potential global fire monitoring from EOS - MODIS [J]. Journal of Geophysical Research, 1998, (103): 32215 - 32238.
- [2] Flasse S P, Ceccato P. A Contextual Algorithm for AVHRR fire detection [J]. INT. J. Remote Sensing, 1996, (17): 419 - 424.
- [3] Chuvieco E, Martin M P. A simple method for fire growth mapping using AVHRR channel 3 data [J]. INT. J. Remote Sensing, 1994, (15): 3141 - 3146.
- [4] Boles S H, Verbyla D L. Comparison of Three AVHRR - Based Fire Detection Algorithms for Interior Alaska [J]. Remote Sensing of Environment 2000, (72): 1 - 16.
- [5] Dozier J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution [J]. Remote Sensing of Environment. 1981, (11): 221 - 229.
- [6] Masuoka E, Fleig A, Wolfe R E, et al. Key Characteristics of MODIS Data Products [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36, (4): 1313 - 1323.
- [7] 赵英时,等. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] 刘良明, 梁益同, 马慧云, 等. MODIS 和 AVHRR 植被指数关系的研究 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2004, (29): 307 -

310.

[9] Giglio L, Descloitres J, Justice C O, et al. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm For MODIS[J]. Remote Sensing of En-

vironment, 2003, (87): 273 - 282.

[10] 刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

## A STUDY OF FOREST FIRE DETECTION BASED ON MODIS DATA

GAO Mao - fang<sup>1</sup>, QIN Zhi - Hao<sup>1,2</sup>, LIU San - chao<sup>3</sup>

(1. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

**Abstract:** A new algorithm is proposed in this paper for fire detection with MODIS data. The crux of this algorithm is to combine brightness temperature of thermal infrared (TIR) bands with vegetation index derived from visible and near infrared (VNIR) bands for fire spot detection. Applications in China - Mongolia - Russia border area indicate that the algorithm is capable of detecting fire spots as well as reducing false alarms caused by non - vegetation areas.

**Key words:** MODIS; Forest fire detection; Vegetation index; Brightness temperature

第一作者简介: 高懋芳(1980 - ),女,硕士,主要从事热红外遥感应用,农业灾害的遥感监测与 GIS 应用等方面的研究。

(责任编辑: 周树英)

=====  
(上接第 39 页)

[13] Li Jiang, Ram M Narayanan. Intergated Spectral and Spatial Information Mining in Remote Sensing Imagery[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42: 673 - 685.

[14] Sun Wanxiao, Volker Heidt, etc. Information Fusion for Rural Land - Use Classification With High - Resolution Satellite Imagery[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 41: 883 - 890.

## THE APPLICATION OF THE WAVELET TEXTURE METHOD TO THE CLASSIFICATION OF SINGLE - BAND, SINGLE - POLARIZED AND HIGH - RESOLUTION SAR IMAGES

ZHU Jun - jie, GUO Hua - dong, FAN Xiang - tao, ZHU Bo - qin

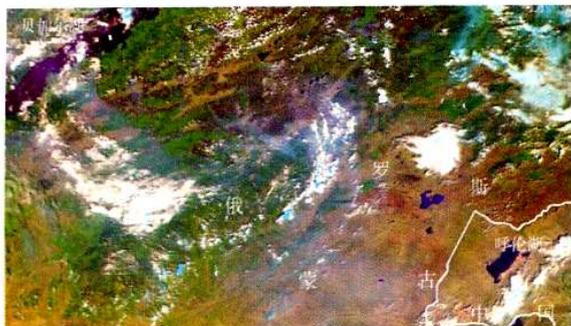
(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** This paper has classified the high - resolution SAR images obtained along the Huaihe River in July 2003. The authors first analyzed the high - resolution SAR image and pointed out the disturbing factors. After filtering the noise, the SAR image was decomposed with wavelet transform and the energy of the textures was computed by selecting a small window. Finally, the BP algorithm was used to classify the textures. The results indicate that, with the wavelet texture classification method, the high classification precision for the single - band, single - polarized and high - resolution SAR images can be obtained. This paper has also analyzed the shortages of the texture classification method for high - resolution SAR images and pointed out the research direction of the high - resolution SAR image classification.

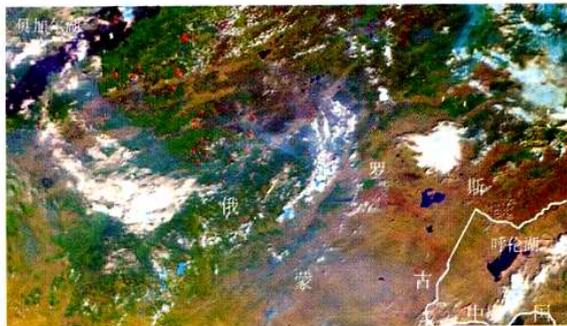
**Key words:** High resolution; SAR; Wavelet transform; Texture

第一作者简介: 朱俊杰(1974 - ),男,中国科学院遥感应用研究所,研究方向为微波遥感。

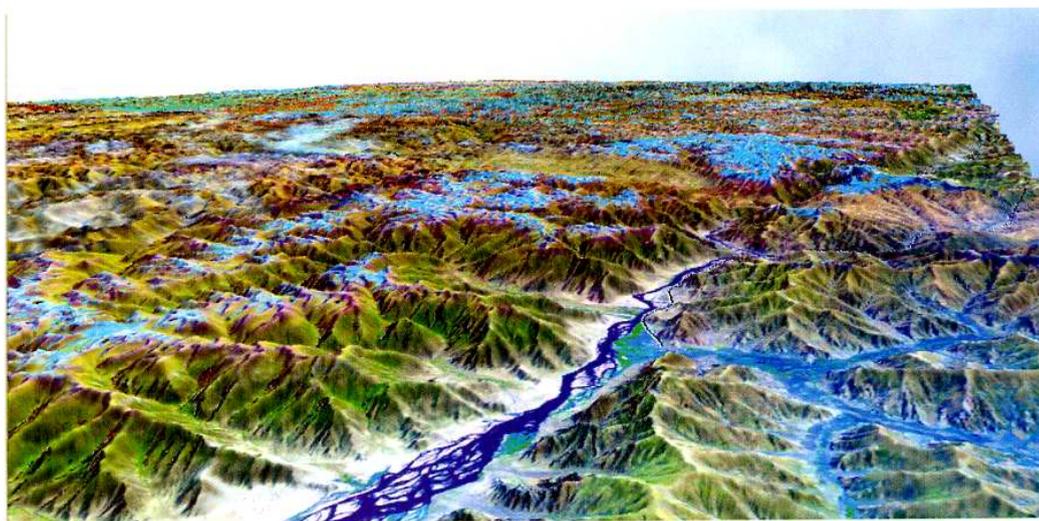
(责任编辑: 肖继春)



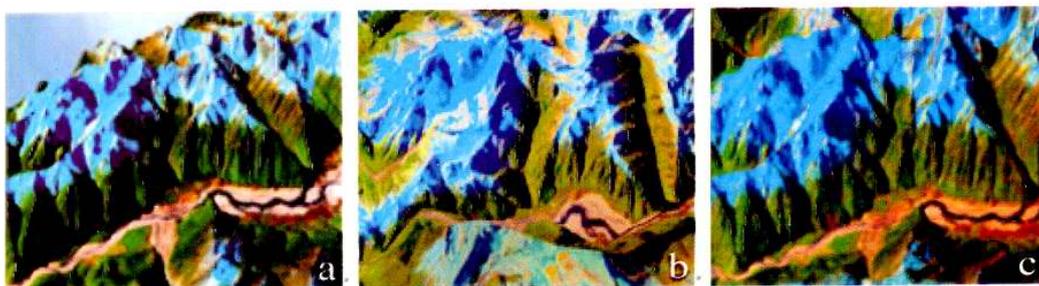
彩片 12 MODIS 7、5、4 合成图像



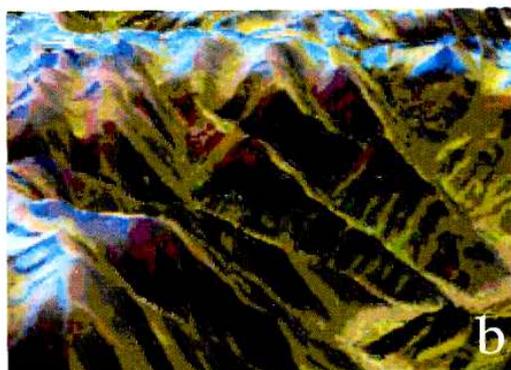
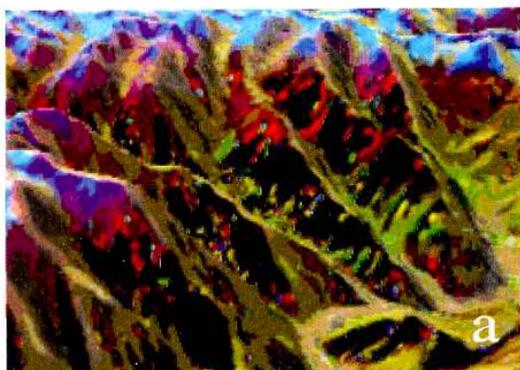
彩片 13 火点分布图(红点为检测出的火点)



彩片 14 合并分割法制作的大规模 3D 遥感影像 (数据库模式)



彩片 15 大规模 3D 遥感影像细节对比



彩片 16 遥感信息损失对比  
(彩片 14~16 见李远华一文)