

# GF-4 PMI 影像着火点自适应阈值分割

刘树超, 李晓彤, 覃先林, 孙桂芬, 刘倩

中国林业科学研究院资源信息研究所 国家林业局林业遥感与信息技术实验室, 北京 100091

**摘要:** 为探究具有单中波红外通道的高分四号卫星 (GF-4) PMI 数据在林火监测中的应用方法, 通过对覆盖近年发生森林火灾的多景 GF-4 PMI 影像分析, 采用“劈窗法”构建 GF-4 PMI 数据的着火点自适应阈值检测算法; 在云南省玉龙纳西族自治县、俄罗斯阿穆尔州和俄罗斯外贝加尔边疆区等 3 个实验区进行了着火点检测应用, 并以目视解译的着火点结果为参照资料, 对该算法的着火点检测精度进行了评价。结果表明, 该算法在这 3 个实验区的着火点检测准确率均高于 80.0%, 基于着火点检测精度验证设定的综合评价指标高于 0.780, 可应用于 GF-4 PMI 影像着火点的检测。

**关键词:** 高分四号 (GF-4), 劈窗法, 自适应方法, 着火点, 阈值检测

**引用格式:** 刘树超, 李晓彤, 覃先林, 孙桂芬, 刘倩. 2020. GF-4 PMI 影像着火点自适应阈值分割. 遥感学报, 24(3): 215-225

Liu S C, Li X T, Qin X L, Sun G F and Liu Q. 2020. Adaptive threshold method for active fire identification based on GF-4 PMI data. Journal of Remote Sensing(Chinese), 24(3): 215-225[DOI: 10.11834/jrs.20208297]

## 1 引言

森林火灾是森林生态系统主要的干扰因素之一, 会造成森林资源的损失, 破坏当地的生态系统。遥感卫星能够监测和记录全球地表植被信息, 在森林火灾监测中起重要作用。国内外目前应用于植被燃烧监测的卫星数据主要包括空间分辨率优于 500 m 的中高分辨率卫星数据 (如 Landsat、ASTER、HJ 和 Sentinel-2 等) 和 1000 m 级的中低空间分辨率卫星数据 (如 MODIS、AVHRR、Himawari 和 FY 等)。前者在植被燃烧监测中能够检测燃烧面积小的火点, 具有体现火场细节的优势, 但卫星重访周期较长, 难以满足火情连续、快速监测的需求; 后者的重访周期短、响应迅速, 每天可以实现多次火情监测服务, 但因空间分辨率的限制导致小火被遗漏, 进而酿成更大损失。国内外专家学者针对所用卫星数据的波谱特性, 研究形成了多种植被着火点的检测算法, 按构建这些检测算法所用的波谱特性, 可以归纳为基于反射特性检测方法和基于亮温特性检测方法。前

者如: 朱亚静等 (2011) 基于 ETM+ 数据提出了 NDFI (Normalized Differential Fire Index) 识别高温目标; 何阳等 (2016) 针对 Landsat 8 OLI 数据提出的 NBRS (Normalized Burn Ratio Short-wave) 火点检测算法等; 这些检测算法主要利用林火与其他类别在短波红外的反射差异, 并结合在可见光和近红外等波段的反射差异构建。而后者如: Wang 等 (2007) 利用 MODIS 数据提出的基于烟羽掩膜的火点检测算法; Giglio 等 (2016) 基于 MODIS 数据提出的上下文相联合的检测方法; 陈洁等 (2017) 针对 Himawari-8 数据提出的自适应阈值火点检测算法等; 这些检测算法主要利用林火与其他类别在中波红外通道和远红外通道的亮温特性差异来构建检测判识条件, 并结合可见光和近红外的反射特性消除干扰信息。

高分四号卫星 (GF-4) 于 2015-12-29 在中国西昌卫星发射中心成功发射, 是中国首颗地球静止轨道高分辨率对地观测光学遥感卫星, 也是当时全世界地球同步轨道分辨率最高的民用卫星。其搭载的全色及多光谱相机 (简称 PMS) 空间分

收稿日期: 2018-07-19; 预印本: 2018-10-25

基金项目: 机载光学全谱段数据处理及林火预警技术研究 (编号: CAFYBB2018SZ009); 基于数据挖掘的森林扰动信息卫星遥感监测与评价技术 (编号: D040402); 高分森林灾害监测应用示范系统 (二期) (编号: 21-Y30B02-9001-19/22/06)

第一作者简介: 刘树超, 1992 年生, 男, 硕士研究生, 研究方向为光学遥感影像处理和森林火灾监测。E-mail: LiuShuchao1992@163.com

通信作者简介: 覃先林, 1969 年生, 男, 研究员, 研究方向为森林覆盖变化及林火预警监测技术。E-mail: noaags@ifrit.ac.cn

分辨率为 50 m, 中波红外相机 (简称 IRS) 空间分辨率为 400 m, 具有典型的高分辨率多光谱卫星数据特性; GF-4 卫星又具有气象卫星的地球同步轨道、面阵凝视成像以及分钟级获取同一区域序列图像等特性 (胡昌苗等, 2018)。GF-4 卫星白天成像的 PMI 影像 (简称 GF-4 PMI) 包含 PMS 相机获取的 5 个通道数据和 IRS 相机获取的 1 个中波红外通道的数据, 不能直接采用上述方法来检测该数据中的着火点。本文旨在利用该数据研究形成着火点检测的新方法, 为森林火灾监测提供一种新的技术手段。

## 2 数据与方法

### 2.1 实验数据

GF-4 卫星具有高空间分辨率和高时间分辨率的优势, 其载荷有效技术指标如表 1 所示。

表 1 GF-4 卫星有效载荷技术指标

Table 1 Payload technical index of GF-4 satellite

有效载荷	谱段号	光谱范围/ $\mu\text{m}$	空间分辨率/m	幅宽/km	重访时间/s
全色多光谱相机 (PMS)	1	0.45—0.90	50	>400	20
	2	0.45—0.52			
	3	0.52—0.59			
	4	0.63—0.69			
	5	0.77—0.89			
中波红外相机 (IRS)	6	3.50—4.10	400		

选用 12 景 2017 年和 2018 年发生森林火灾时的 GF-4 PMI 影像, 其中 8 景作为实验组数据, 用于着火点自适应阈值检测算法模型的构建; 其余 4 景影像作为验证组数据, 对本文提出的着火点检测算法精度进行验证。所选用的 GF-4 PMI 数据如表 2 所示。

表 2 选取的高分四号卫星数据

Table 2 Acquisition of GF-4 satellite data

研究区	火灾发生时间	实验组/景	验证组/景
云南省丽江市玉龙县	2017-01-21	5	1
俄罗斯外贝加尔边疆	2018-04-24	0	1
俄罗斯阿穆尔州	2017-05-08	2	1
	2018-04-09	1	1

同时, 选择覆盖这些实验区的空间分辨率为 300 m 的土地覆盖类型数据, 用于地物类型的判断; 以及 30 m 的 TM 几何精校正影像, 用于 GF-4 PMI 数据的几何精校正处理。

### 2.2 实验区

所选用的 GF-4 PMI 影像分别覆盖了云南省丽江市玉龙纳西族自治县 (简称玉龙县)、俄罗斯阿穆尔州和俄罗斯外贝加尔边疆区等 3 个区域。玉龙县位于云南省西北部, 地理范围位于  $99^{\circ}23'E-100^{\circ}32'E$ ,  $26^{\circ}34'N-27^{\circ}46'N$ , 其中山区和半山区占全县面积的 95%, 该县境内在 2017-01-21 发生了森林大火。俄罗斯阿穆尔州位于俄罗斯联邦的东南部, 地理范围为  $119^{\circ}39'E-134^{\circ}55'E$ ,  $48^{\circ}51'N-57^{\circ}04'N$ , 属于温带地区, 该州的森林覆盖面积为 2190 万 ha, 占该州面积的 73%, 阿穆尔州在 2017 年 5 月和 2018 年 4 月均发生过森林大火。俄罗斯外贝加尔边疆区位于俄罗斯西伯利亚的东南部, 地理范围为  $107^{\circ}44'E-122^{\circ}06'E$ ,  $49^{\circ}09'N-58^{\circ}26'N$ , 该区域在 2018 年 4 月发生过森林大火。

### 2.3 卫星火点检测方法

物体温度高于绝对零度时都会向外辐射能量, 称为热辐射。温度升高会导致物体的热辐射增强, 出现热异常的现象, 地表物体未燃烧时的背景辐射和燃烧时的热异常辐射存在明显的差异。依据普朗克黑体辐射定律, 森林火灾发生时的最大辐射波长位于中波红外通道, 卫星传感器的中波红外通道能够通过通过对高温着火点辐射的高度吸收来区分着火点与非着火点 (田国良等, 2014; Allison 等, 2016), 这是本研究进行森林火灾着火点检测的理论基础。

对选取的 GF-4 PMI 影像进行辐射定标、物理量计算等处理。利用着火点在实验组 GF-4 PMI 数据的可见光、近红外波段的反射率特性和中波红外波段的亮温特征, 构建着火点自适应阈值检测算法模型, 并利用验证组数据对该算法进行着火点检测和精度评价。技术流程如图 1 所示。

### 2.4 GF-4 数据预处理

对选取的 GF-4 PMI 影像进行辐射定标、物理量计算、几何精校正和波段重组等处理, 用于后续着火点检测模型的构建和精度评价。

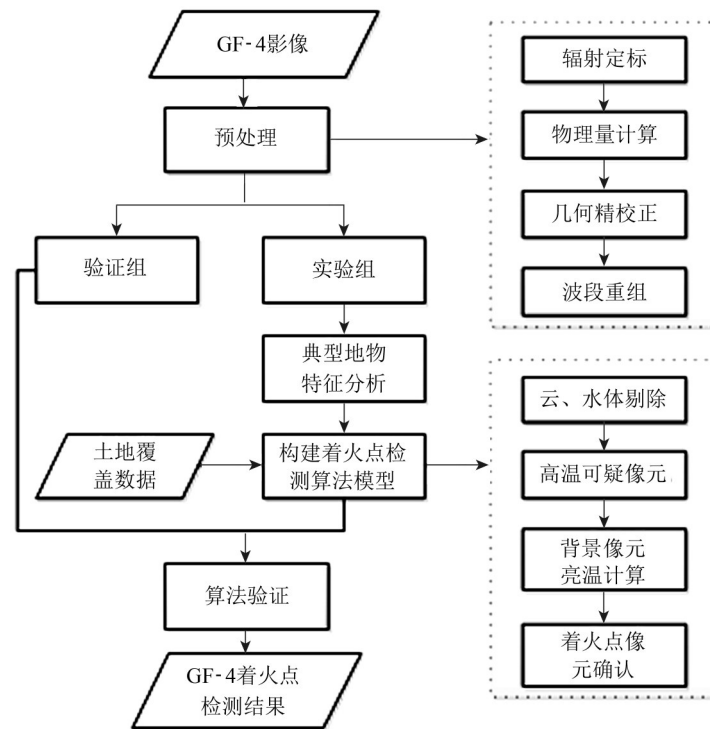


图1 技术流程图

Fig. 1 Flowchart of fire detection method

(1) 辐射定标。利用式 (1), 对选取的 GF-4 PMI 数据分别进行辐射定标, 计算得到表观辐亮度 (吴亮和姚昆, 2018)。

$$L = M_{\lambda} \cdot DN + A_{\lambda} \quad (1)$$

式中,  $L$  为表观辐亮度,  $DN$  为像元灰度值,  $M_{\lambda}$  为增益系数,  $A_{\lambda}$  为偏移量; 增益系数和偏移量可以从中国资源卫星应用中心公布的 GF-4 PMI 数据绝对定标系数文件中获得。

(2) 物理量计算。利用式 (2) 将由式 (1) 计算出的全色和多光谱波段的表观辐亮度转换为表观反射率; 利用式 (3) 将由式 (1) 计算出的中波红外波段的表观辐亮度转换为亮温 (覃先林和易浩若, 2004)。

$$R = \frac{\pi \cdot L \cdot d_s^2}{E \cdot \cos\theta} \quad (2)$$

式中,  $R$  为表观反射率,  $d_s$  为日地天文单位距离,  $E$  为太阳辐射照度,  $\theta$  为太阳天顶角。

$$T = \frac{C_2 \cdot v}{\ln\left(1 + \frac{C_1 \cdot v^3}{L}\right)} \quad (3)$$

式中,  $T$  为亮温,  $L$  为表观辐亮度,  $v$  为中心波长的倒数 ( $1/\lambda$ )。其中,  $C_1 = 1.1910659 \times 10^8 (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-4})$ ,  $C_2 = 1.438833 \times 10^4 (\mu\text{m} \cdot \text{K})$ 。

(3) 几何精校正。在几何精校正处理中, 以 30 m 分辨率的 TM 几何精校正影像为基准, 采用影像对影像的方法, 对由式 (2) 计算出的表观反射率图像或由式 (3) 生成的亮温图像进行几何精校正。

(4) 波段重组。对几何精校正处理后的 GF-4 PMI 影像的全色波段、多光谱波段和近红外波段进行重采样处理, 将其空间分辨率转换为 400 m, 再与由中波红外计算得到的亮温数据进行波段重组, 生成具有 6 个波段的新影像文件, 组合后新影像的 6 个波段顺序依次为: 全色、蓝光、绿光、红光、近红外和中波红外。

## 2.5 典型地物特征分析

采用目视解译的方式, 从实验组影像中共选取了着火点、烟、火烧迹地、雪、云、植被、裸地、水体和阴影等 9 种类别; 其中着火点、烟和火烧迹地的样本数像元数为 200 个, 其余每一类样本像元数为 300 个, 统计分析得到典型地物类别的光谱曲线和亮温信息。

## 2.6 着火点检测算法

以 GF-4 PMI 数据的中波红外影像为主, 结合其可见光、近红外波段的反射率信息, 提出了基

于GF-4 PMI数据的着火点自适应阈值检测算法。该算法流程主要包括：

(1) 云检测：利用云区在白天的反射率特性及中波红外通道计算的亮温值特点，利用式(4)将云区检测并掩膜。

$$\begin{cases} R_4 + R_5 > 0.70 \\ T < 285 \text{ K} \end{cases} \quad (4)$$

式中， $R_4$ 为红光波段的反射率， $R_5$ 为近红外波段的反射率； $T$ 为中波红外波段的亮温值。

(2) 水体检测：利用归一化差分水体指数NDWI (Normalized Difference Water Index)、近红外波段的反射率和中波红外波段的亮温相结合，来检测和掩膜影像中的水体 (徐涵秋, 2005)。其中，利用式(5)计算NDWI，利用式(6)来检测水体。

$$\text{NDWI} = \frac{R_3 - R_5}{R_3 + R_5} \quad (5)$$

$$\begin{cases} R_5 < 0.17 \\ \text{NDWI} > 0.10 \\ T < 305 \text{ K} \end{cases} \quad (6)$$

式中， $R_3$ 为绿光波段的反射率。

(3) 高温可疑像元：结合土地覆盖类型图，将在植被区域内亮温值大于315 K的像元设定为高温可疑像元。

(4) 背景像元的亮温统计：以高温可疑像元为初始窗口中心，设置初始窗口大小为 $5 \times 5$ ，计算窗口内背景像元亮温的平均值和方差；计算时需要从背景像元中排除云、水体和其余高温可疑像元。若窗口内背景像元数不足窗口内总像元数的20%，则将窗口依次扩大到 $7 \times 7, 9 \times 9, \dots, 21 \times 21$ ；若最终仍未满足要求，则放弃判定该像元，标记为非火点像元。

(5) 着火像元确认：如果高温可疑像元满足条件式(7)，则将该像元判定为火点像元。

$$T_{\text{bg}} > T_{\text{bg}} + 3 \cdot \delta T_{\text{bg}} \quad (7)$$

式中， $T_{\text{bg}}$ 表示背景像元的亮温均值， $\delta T_{\text{bg}}$ 表示窗口中背景像元亮温间的标准差。

## 2.7 精度评价方法

由于缺乏这3个实验区森林火灾发生时的空间分辨率更高的卫星影像和现地火情实况资料，因此，本文将验证组影像目视解译得到的着火点结果作为真实值，与建立的自适应阈值着火点检测算法得到的检测结果进行对比，利用准确率( $P$ )、漏检率( $M$ )、以及综合评价指标( $F$ )来进行检测方法精度的评定； $P$ 、 $M$ 和 $F$ 的计算分别如

式(8)一式(10)所示(何阳等, 2016)

$$P = Y_y / (Y_y + Y_N) \quad (8)$$

$$M = N_y / (Y_y + N_y) \quad (9)$$

$$F = \frac{2 \times P \times (1 - M)}{1 + P - M} \quad (10)$$

式中， $Y_y$ 是算法检测为真实着火点的像元个数， $Y_N$ 是算法错误检测为着火点的像元个数， $N_y$ 是算法漏检的着火点像元个数， $P$ 是准确率， $M$ 是漏检率， $F$ 是综合评价指标。

## 3 结果与分析

### 3.1 目视着火点解译结果

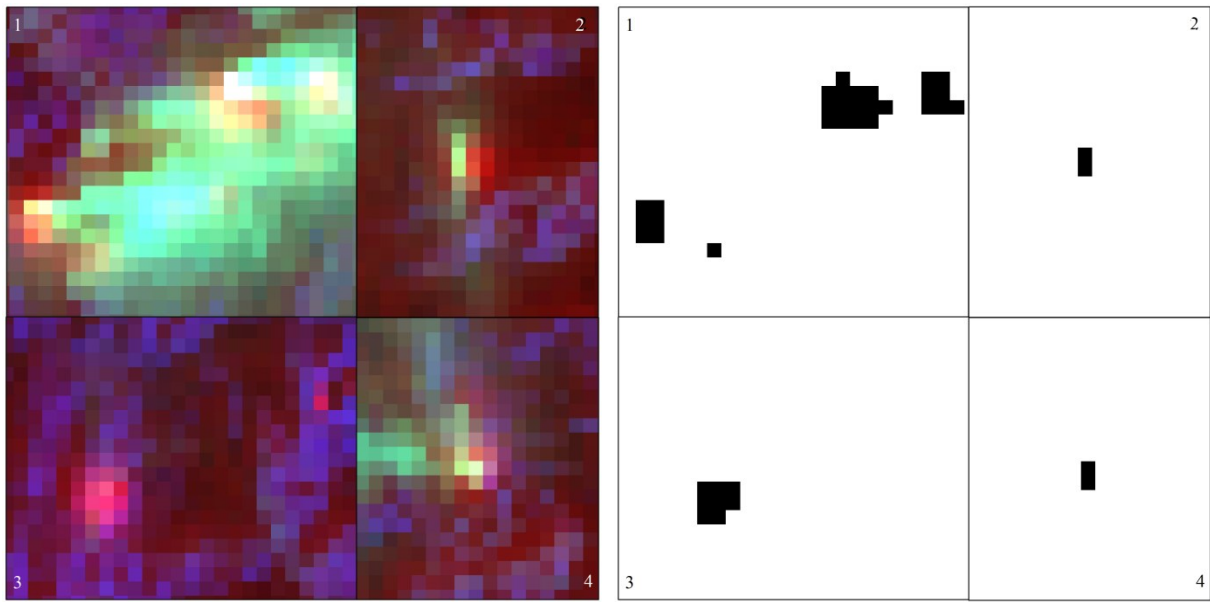
对4景验证组的GF-4 PMI数据分别进行着火点目视解译，得到着火点目视解译结果图(图2—图5)，每幅图的图(a)为采用波段6、4、5合成的GF-4 PMI影像，图(b)为目视着火点解译的结果图，黑色部分表示着火点像元。这些着火点目视解译结果将用于后续检测方法的精度验证。

### 3.2 典型类别的光谱曲线和亮温分析

利用试验组的卫星数据提取着火点、烟、火烧迹地、雪、云、植被、裸地、水体和阴影等9种典型类别的信息特征，统计分析得到典型类别的光谱曲线和亮温信息，分别如图6和表3所示。

从图6中各地物反射率分析结果来看，在可见光和近红外波段，云和雪的反射率较高，明显区别于其他类别；水体对光线的吸收作用使其在各波段反射率较低，可以利用近红外波段反射率低的特点和与其他波段构建指数来识别；着火点在各波段的反射率较低，与其他类别差异不明显，在GF-4的可见光和近红外波段不易进行识别。

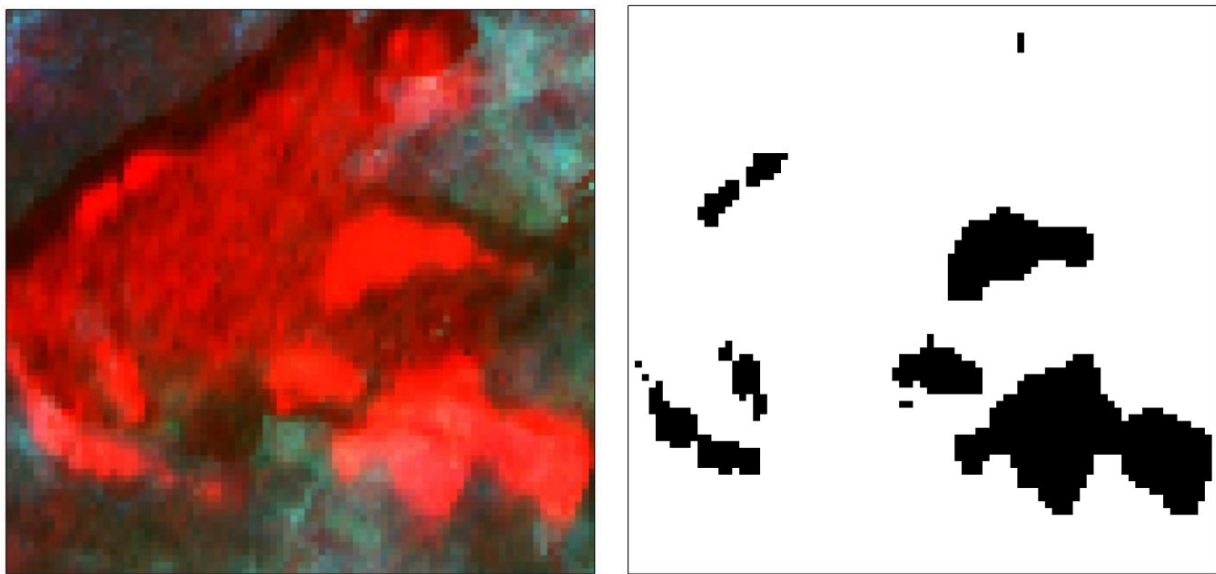
从表3中典型地物亮温统计结果得出，在所选的9种样本类别中，着火点的亮温均值最大，与其他类别的亮温均值差异比较明显；烟和火烧迹地的亮温均值较高，虽均低于着火点的亮温均值，但是在典型类别的样本统计分析过程中，发现这两类样本像元中存在少数像元的亮温值高于着火点像元的亮温最小值而引起误检为着火点的现象；而裸地的亮温值变化区间较大，与着火点的亮温值区间存在着交叉范围(Dennison等, 2011)。因此，在着火点检测中，排除将裸地误判为着火点的误差是提升火点算法检测精度的一项重要技术环节，本算法中采用土地覆盖类型图来排除影像中的裸地像元，仅对植被区的影像进行着火点的检测分析。



(a) 波段6、4、5合成的GF-4 PMI影像  
 (a) GF-4 PMI image composed of band 6, band 4 and band 5  
 (b) 目视着火点解译的结果图  
 (b) Visual interpretation result of forest fires

图2 云南省玉龙县2017-01-21森林火灾的着火点目视解译结果图(图中1—4表示该影像上的4处火场)

Fig.2 Visual interpretation result of forest fires of Yulong county, Yunnan province on January 21, 2017  
 (Number 1—4 means 4 different fire places)



(a) 波段6、4、5合成的GF-4 PMI影像  
 (a) GF-4 PMI image composed of band 6, band 4 and band 5  
 (b) 目视着火点解译的结果图  
 (b) Visual interpretation result of forest fires

图3 俄罗斯外贝加尔边疆区2018-04-24森林火灾的着火点目视解译结果图

Fig.3 Visual interpretation result of forest fire in Russia's outer Baikal frontier on April 24, 2018

### 3.3 着火点检测结果

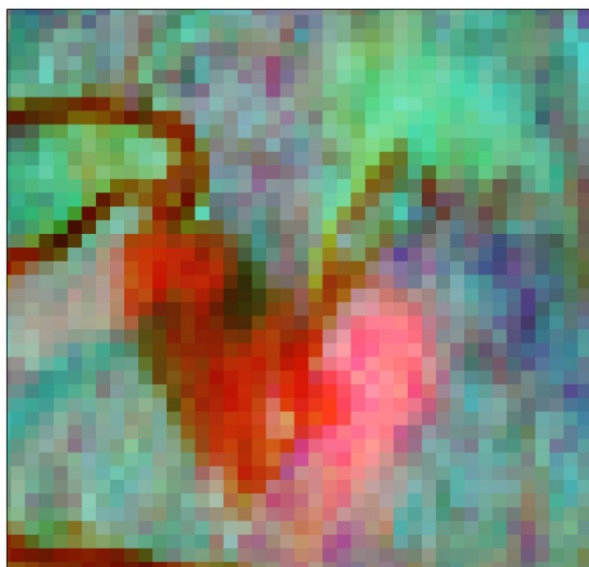
将本文算法在 ENVI5.3+IDL8.5 环境中编程实现，分别对验证组的4景影像进行着火点的检测，结果分别如图7—图10所示。每幅图的图(a)为算法检测的着火点像元结果，以红色显示，背景

是采用波段4、3、2合成的GF-4影像；图(b)为算法检测出的着火点与目视解译的着火点结果对比图，黑色部分表示目视解译的着火点，红色线条区域表示算法检测的着火点。

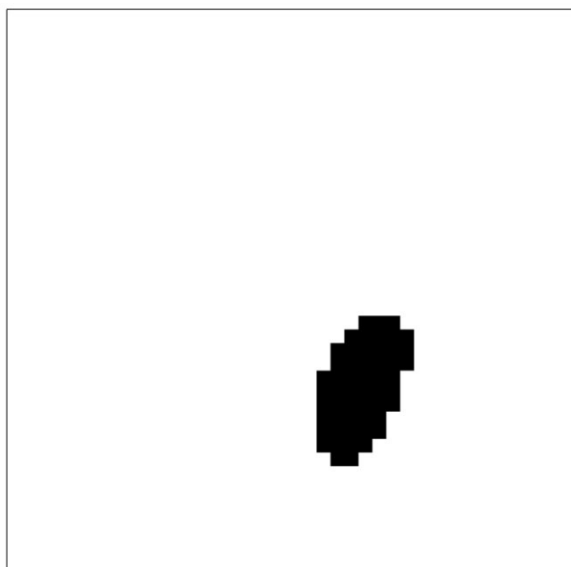
2017-01-21 云南省玉龙县的森林火灾中，本

文算法在 GF-4 PMI 影像上检测到 4 处火场，共 40 个着火点像元，从影像中可以看到虽然有烟的遮挡，该算法仍透过烟检测出部分着火点像元。在覆盖俄罗斯外贝加尔边疆区 2018-04-24 的 GF-4 PMI 影像中，本文算法共检测到 672 个着火点像

元，在燃烧后的火烧迹地内仍检测到高温着火点。在覆盖俄罗斯阿穆尔州 2017-05-08 的 GF-4 PMI 影像上，该算法共检测出 43 个着火点像元；在该州 2018-04-09 的 GF-4 PMI 影像中检测到多处火场，共 1071 个着火点像元。

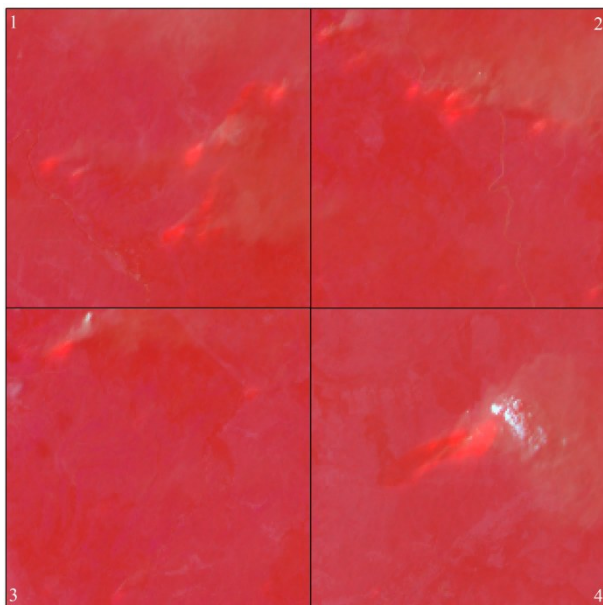


(a) 波段 6、4、5 合成的 GF-4 PMI 影像  
(a) GF-4 PMI image composed of band 6, band 4 and band 5

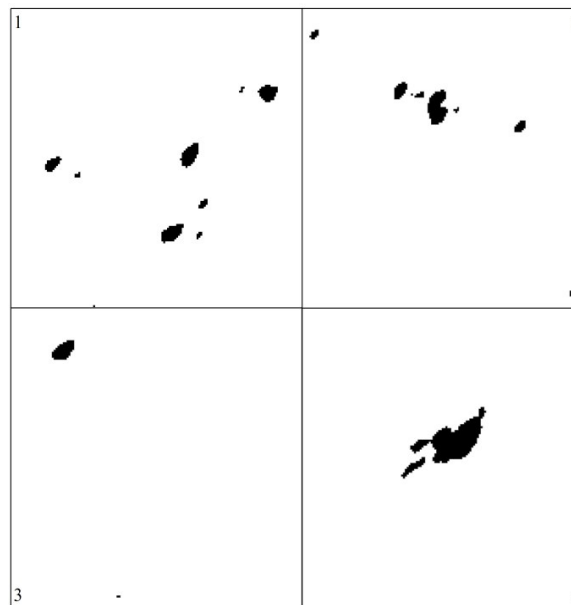


(b) 目视着火点解译的结果图  
(b) Visual interpretation result of forest fires

图 4 俄罗斯阿穆尔州 2017-05-08 森林火灾的着火点目视解译结果图  
Fig.4 Visual interpretation result of forest fire in Amur, Russia on May 8, 2017



(a) 波段 6、4、5 合成的 GF-4 PMI 影像  
(a) GF-4 PMI image composed of band 6, band 4 and band 5



(b) 目视着火点解译的结果图  
(b) Visual interpretation result of forest fires

图 5 俄罗斯阿穆尔州 2018-04-09 森林火灾的着火点目视解译结果图(图中 1—4 表示该影像上的 4 处火场)  
Fig.5 Visual interpretation result of forest fire in Amur, Russia on April 9, 2018 (Number 1—4 means 4 different fire places)

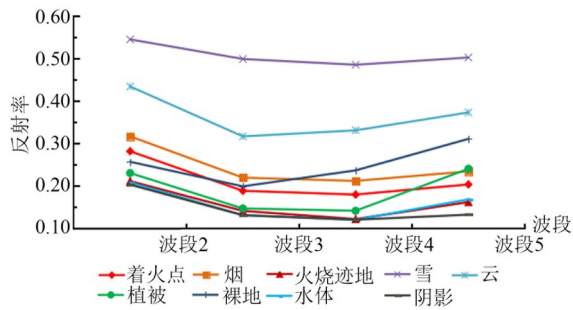


图 6 GF-4 典型类别的反射率曲线

Fig.6 The apparent reflectance curves of typical features extracted by GF-4 data

表 3 GF-4 典型类别的亮温统计表

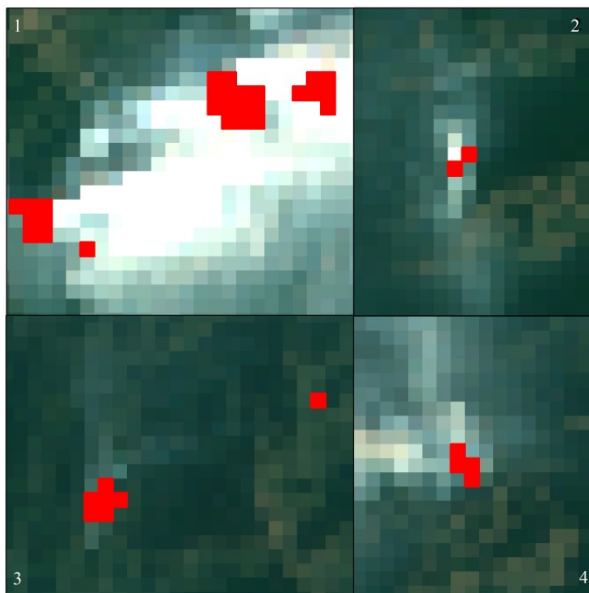
Table 3 The statistics analysis of brightness temperature of typical features extracted by GF-4 data

类别	最大值/K	最小值/K	均值/K	标准差
着火点	356.61	315.97	338.86	12.74
烟	318.21	292.30	303.51	6.69
火烧迹地	316.60	290.40	301.39	5.42
雪	283.42	241.63	262.60	16.82
云	283.42	247.24	265.32	14.73
植被	304.80	290.60	296.67	3.07
裸地	324.14	282.73	301.24	16.89
水体	299.21	289.68	295.62	3.43
阴影	286.46	268.71	277.26	4.94

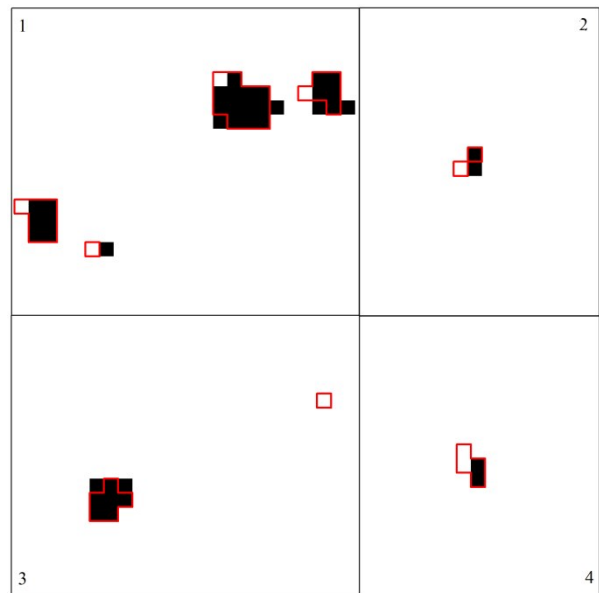
### 3.4 精度验证

目前国际上已有森林干扰产品的发布, 如 MODIS 火监测产品和 Landsat 森林干扰产品; 但 MODIS 火监测产品的空间分辨率较低, Landsat 森林干扰产品的获取时间周期较长, 均不适用与本文算法检测结果的对比验证; 今后若在相同时间能够获取更高空间分辨率的森林干扰产品, 可与本文算法的检测结果进行对比验证且验证结果更准确。本文利用验证组 4 景 GF-4 影像的着火点检测结果, 与着火点目视解译结果进行对比的方法来进行精度评价, 精度评价结果如表 4 所示。

从表 4 着火点检测结果精度评价中可以得出, 该算法在云南省丽江市玉龙县的着火点检测准确率为 80.0%, 漏检率为 20.0%, 综合评价指标为 0.781; 在俄罗斯外贝加尔边疆和阿穆尔州的着火点检测准确率分别是 99.1%、97.7% 和 92.4%, 漏检率分别为 24.3%、22.2% 和 14.5%, 综合评价指标分别为 0.858、0.866 和 0.889。通过 4 景验证影像检测的着火点精度评价对比得出, 该算法在俄罗斯外贝加尔边疆区的森林火灾着火点检测中, 准确率优于 90%, 漏检率低于 15%, 其综合指标值最高, 达到了 0.889; 而在云南省丽江市玉龙县的着火点检测准确率虽然最低, 但仍达到了 80.0%, 表明在这 3 个实验区用该算法检测得到的着火点结果比较可靠。



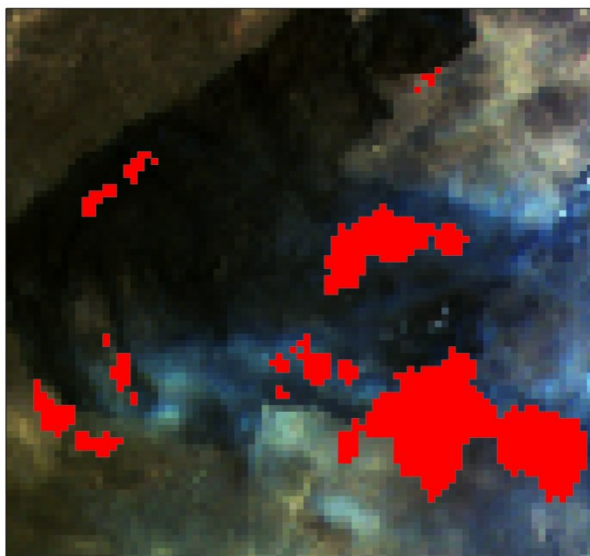
(a) 火点检测结果图  
(a) Results of fire detection



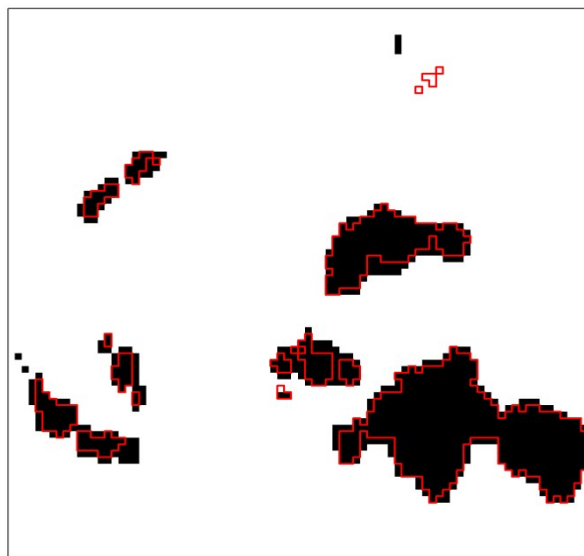
(b) 目视着火点解译结果  
(b) Results of true points

图 7 云南省玉龙县 2017-01-21 火点检测结果图及与目视着火点解译结果对比图

Fig.7 Results of fire detection and compared with true points of Yulong county, Yunan province on January 21, 2017



(a) 火点检测结果图  
(a) Results of fire detection

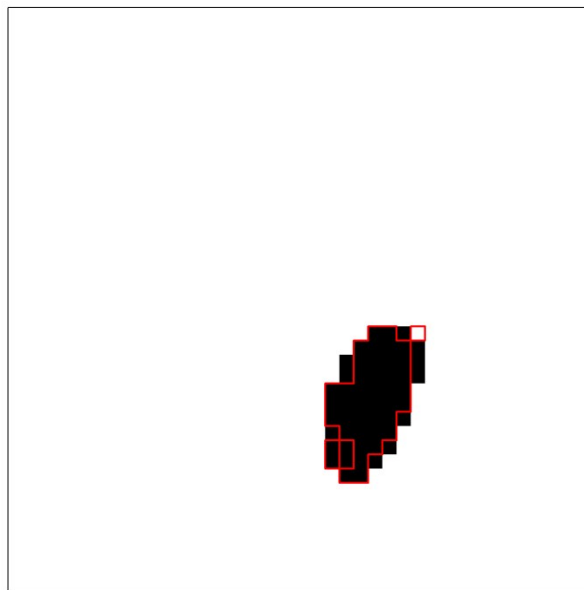


(b) 目视着火点解译结果  
(b) Results of true points

图8 俄罗斯外贝加尔边疆2018-04-24火点检测结果图及与目视着火点解译结果对比图  
Fig.8 Results of fire detection and compared with true points of Russia's outer Baikal frontier on April 24, 2018



(a) 火点检测结果图  
(a) Results of fire detection



(b) 目视着火点解译结果  
(b) Results of true points

图9 俄罗斯阿穆尔州2017-05-08的火点检测结果图及与目视着火点解译结果对比图  
Fig.9 Results of fire detection and compared with true points of Amur, Russia on May 8, 2017

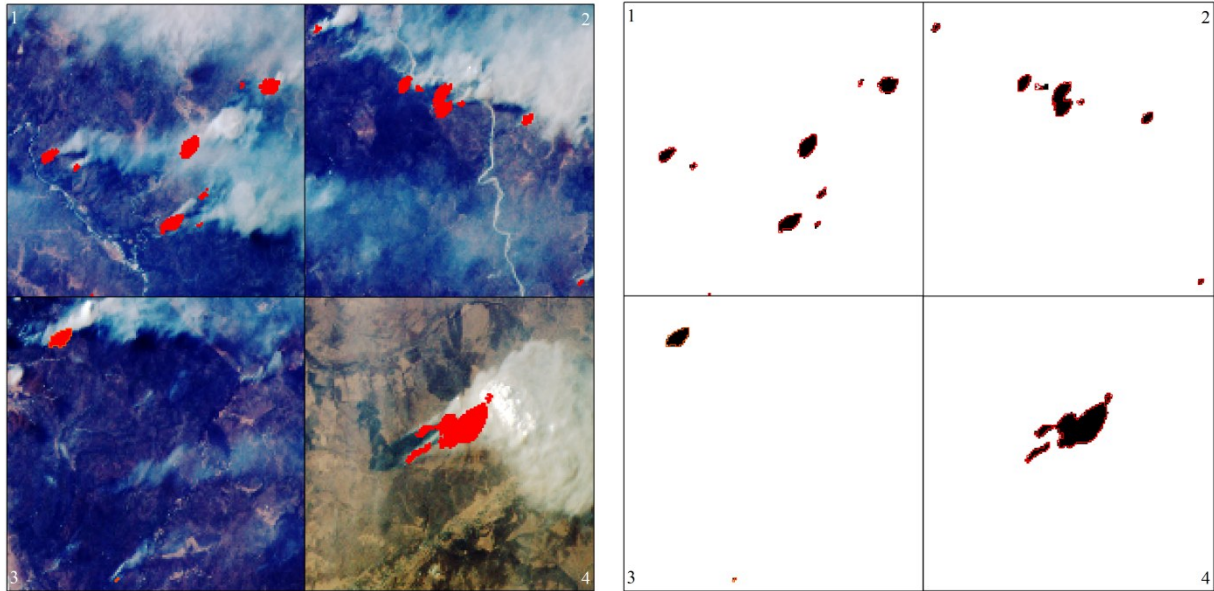
对比着火点检测结果与着火点目视解译结果, 可以看到错误检测的着火点像元主要位于火场边缘, 其主要原因是火场边缘热效应的影响, 着火点向外发射热辐射, 火场面积越大, 热辐射越强, 在着火点附近形成了温度场, 使本文算法在着火

点检测中产生了错误检测 (覃先林和易浩若, 2004)。另外, 从表4中得出本文算法的漏检率高于14%, 分析其主要原因: 一方面是由于烟的影响, 尤其是森林火灾产生的浓烟不仅具有较高的亮温值, 还会遮挡着火点, 降低辐射到卫星传感



器的能量,影响一些低温闷烧火点的检测,出现漏检;另一方面是阈值选择的影响,本算法通过对典型地物类别的统计分析,在前期云、水体和

高温可疑像元的识别中采用固定阈值,部分亮温较低的着火像元因达不到设定的待判识条件,出现漏检(何全军和刘诚,2008)。



(a) 火点检测结果图

(a) Results of fire detection

(b) 目视着火点解译结果

(b) Results of true points

图 10 俄罗斯阿穆尔州 2018-04-09 的火点检测结果图及与目视着火点解译结果对比图

Fig.10 Results of fire identification and compared with true points of Amur, Russia on April 9, 2018

表 4 着火点检测结果精度验证表

Table 4 The validation result of forest fire points detection

研究区	火灾发生时间	检测着火点 像元总数	正确检测着 火点像元数	错误检测着 火点像元数	漏检着火 点像元数	准确率 $P$ ( $\times 100\%$ )	漏检率 $M$ ( $\times 100\%$ )	综合指标 $F$
云南省丽江市玉龙县	2017-01-21	40	32	8	8	80.0	20.0	0.781
俄罗斯外贝加尔边疆	2018-04-24	672	666	6	214	99.1	24.3	0.858
俄罗斯阿穆尔州	2017-05-08	43	42	1	12	97.7	22.2	0.866
	2018-04-09	1071	989	82	167	92.4	14.5	0.889

## 4 结 论

基于 GF-4 PMI 数据具有单中波红外通道的特点,利用其可见光、近红外波段的反射率和中波红外波段的亮温信息,结合土地覆盖类型数据,采用“劈窗法”构建了一种着火点自适应阈值检测算法,并在选择的 3 个实验区进行了着火点检测和精度评价,结果表明,该着火点检测算法的准确率高于 80.0%,综合评价指标高于 0.780。本算法可以实现对 GF-4 PMI 影像的着火点检测,检测结果具有一定的可靠性;但目前该算法存在漏检率偏高的问

题,今后还需在减少浓烟对着火点检测的影响和算法前期的阈值选择等方面进行优化。

GF-4 卫星具有短时间内迅速成像的能力,在森林火灾发生时可以快速获取大量时间序列的 GF-4 PMI 影像;如何利用时序的 GF-4 PMI 影像检测火场蔓延变化,将是今后研究的另一重点技术问题。

## 参考文献(Reference)

Allison R S, Johnston J M, Craig G and Jennings S. 2016. Airborne optical and thermal remote sensing for wildfire detection and monitoring. *Sensors*, 16(8): 1310 [DOI: 10.3390/s16081310]

- Chen J, Zheng W and Liu C. 2017. Application of grassland fire monitoring based on Himawari-8 geostationary meteorological satellite data. *Journal of Natural Disasters*, 26(4): 197-204 (陈洁, 郑伟, 刘诚). 2017. Himawari-8 静止气象卫星草原火监测分析. *自然灾害学报*, 26(4): 197-204 [DOI: 10.13577/j.jnd.2017.0423]
- Dennison P E and Matheson D S. 2011. Comparison of fire temperature and fractional area modeled from SWIR, MIR, and TIR multispectral and SWIR hyperspectral airborne data. *Remote Sensing of Environment*, 115(3): 876-886 [DOI: 10.1016/j.rse.2010.11.015]
- Giglio L, Schroeder W and Justice C O. 2016. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178: 31-41 [DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.054]
- He Q J and Liu C. 2008. Improved algorithm of self-adaptive fire detection for MODIS data. *Journal of Remote Sensing*, 12(3): 448-453 (何全军, 刘诚). 2008. MODIS 数据自适应火点检测的改进算法. *遥感学报*, 12(3): 448-453 [DOI: 10.11834/jrs.20080361]
- He Y, Yang J, Ma Y, Liu J B, Chen F, Li X P and Yang Y F. 2016. A method for fire detection using Landsat 8 data. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 35(5): 600-608, 624 (何阳, 杨进, 马勇, 刘剑波, 陈甫, 李信鹏, 杨轶斐). 2016. 基于 Landsat-8 陆地卫星数据的火点检测方法. *红外与毫米波学报*, 35(5): 600-608, 624 [DOI: 10.11972/j.issn.1001-9014.2016.05.015]
- Hu C M, Bai Y and Tang P. 2018. Automatic cloud detection for GF-4 series images. *Journal of Remote Sensing*, 22(1): 132-142 (胡昌苗, 白洋, 唐婷). 2018. GF-4 序列图像的云自动检测. *遥感学报*, 22(1): 132-142 [DOI: 10.11834/jrs.20186401]
- Qin X L and Yi H R. 2004. A method to identify forest fire based on MODIS data. *Fire Safety Science*, 13(2): 83-89 (覃先林, 易浩若). 2004. 基于 MODIS 数据的林火识别方法研究. *火灾科学*, 13(2): 83-89 [DOI: 10.3969/j.issn.1004-5309]
- Tian G L, Liu Q H and Chen L F. 2014. *Thermal Remote Sensing*. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry: 478-520 (田国良, 柳钦火, 陈良富). 2014. *热红外遥感*. 2 版. 北京: 电子工业出版社: 478-520)
- Wang W T, Qu J J, Hao X J and Sommers W T. 2007. An improved algorithm for small and cool fire detection using MODIS data: a preliminary study in the southeastern United States. *Remote Sensing of Environment*, 108(2): 163-170 [DOI: 10.1016/j.rse.2006.11.009]
- Wu L and Yao K. 2018. Land surface temperature retrieval of Landsat 8 images based on split window algorithm. *Power Systems and Big Data*, 21(4): 18-25 (吴亮, 姚昆). 2018. 基于劈窗算法的 Landsat8 影像地表温度反演. *电力大数据*, 21(4): 18-25 [DOI: 10.19317/j.cnki.1008-083x.2018.04.004].
- Xu H Q. 2005. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*, 9(5): 589-595 (徐涵秋). 2005. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. *遥感学报*, 9(5): 589-595 [DOI: 10.3321/j.issn:1007-4619.2005.05.012]
- Zhu Y J, Xing L X, Pan J, Meng T, Wen J C, Wang H H, Qiao Z M and Huang J C. 2011. Method of identifying high-temperature target using shortwave infrared remote sensing data. *Remote Sensing Information*, (6): 33-36, 41 (朱亚静, 邢立新, 潘军, 孟涛, 闻久成, 王红红, 乔振民, 黄竞铖). 2011. 短波红外遥感高温地物目标识别方法研究. *遥感信息*, (6): 33-36, 41 [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.06.007]

## Adaptive threshold method for active fire identification based on GF-4 PMI data

LIU Shuchao, LI Xiaotong, QIN Xianlin, SUN Guifen, LIU Qian

*Institute of Forest Resources Information Technique, Chinese Academy of Forestry, Forestry Remote Sensing, Beijing 100091, China*

**Abstract:** GF-4 is China's first geostationary orbit optical remote sensing satellite with high-resolution ground observation. Compared with other meteorological satellites, it has a single medium-wave infrared channel with the characteristics of high spatial and temporal resolution. To explore the application of GF-4 panchromatic multispectral and medium wave infrared (PMI) in forest fire detection and provide a new method for forest fire monitoring in China.

Yulong autonomous county of Yunnan province, the Amur region and the outer Baikal frontier of Russia were selected as experimental areas. During the forest fires in the experimental areas in 2017 and 2018, 12 scene images of GF-4 PMI were obtained, of which 8 scene images were used as the experimental group, and 4 scene images were used as the verification group. Statistical analysis was performed on the typical characteristics of the experimental group images, and the 'split window method' was used to construct an adaptive threshold

detection algorithm, then the detection algorithm was used to detect the images of the verification group and compared with the results by visually interpreted.

The results showed that the detection of forest fire points in Yulong autonomous county of Yunnan province, the accuracy of the algorithm in this paper was 80.0%, the omission detection rate was 20.0%, and the comprehensive evaluation index, which was based on the verification of fire detection, was 0.781. The detection of forest fire points in the outer Baikal frontier of Russia, the accuracy of the algorithm detection was 99.1%, the omission detection rate was 24.3%, and the comprehensive evaluation index was 0.858. The forest fire of 2017 in the Amur region, the accuracy of the algorithm detection was 97.7%, the omission detection rate was 22.2%, and the comprehensive evaluation index was 0.866. The forest fire of 2018 in the Amur region, the accuracy of the algorithm detection was 92.4%, the omission detection rate was 14.5%, and the comprehensive evaluation index was 0.889.

The accuracy of the fire points detection in these three experimental areas was higher than 80.0%, the comprehensive evaluation index set based on the accuracy verification of the fire point detection was higher than 0.780. This algorithm could realize the fire point detection of GF-4 PMI images, and the algorithm had a higher accuracy rate of fire point detection in a large range of forest fire, but the omission detection rate of the algorithm was high and needs to be further optimized. The experimental results showed that the proposed algorithm was reliable, which could provide a method reference for forest fire monitoring in China.

**Key words:** GF-4, split-window method, adaptive method, fire point, threshold detection

**Supported by** the Projects of Study on Airborne Optical Full Spectrum Data Processing and Forest Fire Warning Application Technology (No. CAFYBB2018SZ009); Monitoring and Evaluation Technology for Forest Disturbance Information of Satellite Remote Sensing Based on Data Mining (No. D040402); Demonstration Subsystem for Forest Disaster Monitoring Application of High Resolution (II) (No. 21-Y30B02-9001-19/22/06)