

基于 GF-4 PMI 数据的亮温差校正火点检测方法研究

王尧^{1,2}, 王世新^{1,2*}, 周艺^{1,2}, 王福涛^{1,2*}, 王振庆^{1,2}

1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要 高分四号 PMI 可为防灾减灾提供稳定数据, 其搭载的中红外传感器可以很好地应用于快速火灾监测中。但由于缺少传统火灾监测的热红外波段, 高分四号提供的光谱信息大多作为灾中监测的辅助数据, 且现有的火点识别研究所构建的火点自适应阈值检测算法受单一波段的影响, 错检率和漏检率均偏高。为进一步探究高分四号数据在林火监测中的应用方法, 提高火点识别精度, 本研究分析高分四号数据的特点, 结合单通道红外光谱的火点监测方法, 应用上下文思想提出一种基于双时相影像的亮温差校正火点检测的方法来进一步提高检测精度。该方法使用灾前和灾中两期影像, 具体分为时间尺度上基于空间插值的亮温补偿获取, 空间尺度上的上下文自适应阈值分割以及火点判识三个部分。首先将两期影像做差值处理, 并将潜在火点周围动态邻域内其他无污染像元的亮温差作为采样点进行空间插值, 随后将插值结果带入灾前影像中得到灾中未发生火灾时的背景亮温, 最后利用判别条件进行火点判别和虚警剔除, 得到最终火点检测结果。其中在灾中背景亮温的预测研究对比了反距离加权插值(inverse distance weigh)、简单克里金插值(simple kriging)和普通克里金插值(ordinary kriging)三种插值方法, 从拟合结果来看普通克里金插值既体现了像素区域的波动性又有一定的平滑效果避免峰值过高, 是较为理想的拟合结果。实验以目视解译的火点数据为参照验证了山西沁源县和内蒙古呼伦贝尔新巴尔虎左旗地区的两起火灾, 对比最新提出的单时相火点检测算法, 研究结果表明引进的亮温差校正数据可以更好地拟合背景亮温, 减少错误误差至 3%, 并保持综合评价指标 F_{β} 分数在 0.9 以上。该方法有效结合了高分四号空间和时间的信息, 未来可用于高分四号 PMI 数据自动化火点检测与快速提取。

关键词 高分四号; 火点检测; 温度补偿; 克里金

中图分类号: S762.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)11-3595-07

引言

在各种灾害中, 火灾是最经常、最普遍地威胁公众安全和社会发展的主要灾害之一^[1]; 其中, 森林火灾作为一种突发性强, 破坏性大的自然灾害, 对森林以及人类带来极大的危害和损失。尤其是 2016 年 12 月印发实施的《全国森林防火规划(2016—2025)》, 更是将森林火灾防控问题提高到了国家战略层面, 其中明确指出要建立健全科学防火和依法治火机制, 全面提升森林火灾综合防控能力, 因此对火灾发生前的风险评判以及发生后的快速识别具有极其重要的意义。

目前, 卫星遥感数据由于其监测频次快, 空间覆盖范围广, 已经成为监测和处理森林火灾的重要数据来源。20 世纪

80 年代, 伴随着遥感技术的深入发展, 出现了利用多个卫星平台协同监测森林火灾的研究。根据平台的不同, 可以将火灾监测的方法分为单时相和多时相两大类。具体而言, 单时相监测是利用火灾发生时空间温度的差异及光谱信息进行监测, 常用方法如单波段阈值法、多波段阈值法以及上下文法等。其中, 单波段和多波段阈值法的优点是简单快速且有一定的鲁棒性, 但忽略了季节的差异性及区域的异质性; 上下文法是指利用空间上下文信息对火点进行提取, 目前广泛使用的全球火点产品的生产就是基于 Giglio 等^[2]提出的上下文法的模型改进和发展而来, 该方法能够降低部分较小火点的漏检精度。相比于单时相监测, 多时相监测则是通过利用同步卫星高重访率的特性, 用多幅历史影像与当前影像相结合进行火点识别。与极轨卫星相比, 地球静止卫星的高时间分

收稿日期: 2020-10-13, 修订日期: 2021-02-27

基金项目: 国家重点研发计划专项课题(2017YF080504101, 2016YFC0803004)资助

作者简介: 王尧, 女, 1996 年生, 中国科学院空天信息创新研究院硕士研究生 e-mail: wangyao184@mails.ucas.ac.cn

* 通讯作者 e-mail: wangsx@radi.ac.cn; wangft@aircas.ac.cn

分辨率不仅能够更好地排除掉虚警问题,同时还能补偿其在空间分辨率上的不足,因而在全球的火灾监测中具有明显的优势。如 Filizola 等^[3-4]利用欧洲 MSG SEVIRI 传感器,提出了适合同步卫星的 RST-FIRES 算法,且成功地用于火灾监测;Jang 等^[4]提出了一种组合算法,并基于 Himawari-8 数据监测韩国的小型森林火灾。

与国外相比,国内学者利用遥感数据对火点进行提取的研究起步虽然较晚,但是经过多年的发展,也取得了丰富的成果,如火点指数法、最大类间差法等。并且用 AVHRR 数据及 MODIS 数据发展了适用于中国区域的火点探测算法,随着近些年国产卫星的陆续发射,出现了诸多针对国产卫星数据的火灾监测算法,具体如 Li 等^[5-6]分别提出适用于 HJ-1B 卫星的火灾监测归一化火点指数以及时空探测模型, Lin 等^[7]基于 FY-3C VIRR 数据,通过引入“动态阈值”和“红外梯度”特性以增强算法的性能,使其适合于 VIRR 仪器。

目前,随着“高分专项”全面启动,高分卫星数据为我国的灾害监测提供了一个全新的平台,其主要研究通过获取火烧迹地高分辨率遥感影像,从而对森林火灾受害程度和灾后植被恢复等进行评价与支持^[8]。高分四号卫星作为一颗静止卫星,其搭载的中波红外相机(IRS)具有按秒成像的能力,并且具有较高温度饱和点,因而对于热异常及地物动态变化监测具有重要的应用前景。刘超树等^[9]采用“劈窗法”构建高分四号的火点自适应阈值检测算法,该算法的检测准确率高于 80%,能被应用于高分四号影像的火点检测。总体而言,国内外学者对于火点提取的研究日趋成熟,但是也存在以下问题:一是对于新发射的卫星传感器数据火点提取算法研究较少;其二是基于单时相多时相的火灾探测都有不足之处。为此,本文结合高分四号数据,首先对其在不同场景下的火灾监测潜力进行评价,其次构建了亮温差校正思想的火点检测方法,通过引入灾前影像的时间信息来获得较为准确的亮温拟合数据,最后通过精确率、虚警率、漏警率和总体分类精度等指标对火点探测结果进行精度评价。

1 实验部分

1.1 研究区概况

本研究选取山西省沁源县和内蒙古呼伦贝尔市新巴尔虎左旗地区作为实验区。沁源县位于 112.3E, 26.5N, 以超 56.7% 的森林覆盖率位居山西省之首;新巴尔虎左旗毗邻两国一盟四旗市位于东经 117°33'—120°12', 北纬 46°10'—49°47', 春季干旱多大风, 边境线屡见火情。

1.2 数据处理及技术路线

高分四号卫星是我国自主研制的第一颗,也是目前世界上地球同步轨道分辨率最高的对地观测卫星。该卫星具有普查、凝视、区域、机动查巡四种工作模式,可以长时间驻留在固定区域上空,对我国境内及周边地区进行近实时高频次的监测以及热点区域持续观测。其上搭载的全色多光谱相机(PMS)空间分辨率优于 50 m、单景成像幅宽优于 500 km、中波红外相机(IRS)空间分辨率优于 400 m、单景成像幅宽优于 400 km。具体卫星参数如表 1 所示。

表 1 高分四号卫星参数

参数	可见光波段	中红外波段
光谱范围	0.45~0.90 μm	
	0.45~0.52 μm	
	0.52~0.59 μm	3.50~4.1 μm
	0.63~0.69 μm	
	0.77~0.89 μm	
瞬时视场	50 m	400 m
单景成像区域	500 km×500 km	400 km×400 km
视场角(FOV)	0.8°×0.8°	0.66°×0.66°
观察能力	分钟级	秒级

本文研究所需数据包括高分四号 PMS 和 IRS 两个传感器(PMI)的影像。在进行火点提取前,需要对原始数据进行一系列预处理过程,包括辐射定标、大气校正、几何校正和亮温反演及反射率计算。具体技术流程图见图 1。

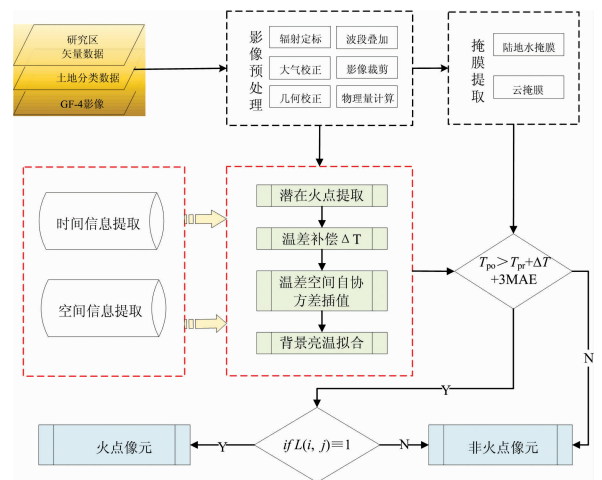


图 1 技术流程图

Fig. 1 Flowchart of fire point detection method

2 研究原理与方法

2.1 理论基础

热异常是探测森林草原等生物质燃烧的典型特征之一,传统用于森林火灾探测的卫星主要是利用其传感器热红外通道对于温度的敏感性来进行识别与探测,其数据遵循普朗克三定律,其中维恩位移定律表达式如式(1)所示。

$$\lambda_{\max} = b/T \quad (1)$$

式(1)中, λ_{\max} 为物体的辐射波, T 为亮度温度值, b 是值为 $2.897\ 768\ 5 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ 的常数。

根据以上定律,可以得到物体的辐射波长仅与温度有关,且温度越高,辐射波长向着短波方向移动。此外,根据维恩位移定律,物体辐射时,其波长的峰值也会随着温度的变化而改变,温度升高则峰值向短波方向过渡,温度降低则峰值向长波方向过渡。一般而言,森林热源燃烧时的温度超过 500 K。Robinson^[10]、Pereira^[11]等经实验研究得出林火的辐射峰值大致在 3.7 μm 附近^[11-12],而高分四号中红外波段

波长范围为 3.5~4.1 μm , 饱和温度为 360 K, 可以满足基本的林火监测要求。

2.2 火点判别方法

通过利用两期高分四号影像数据中的时间空间信息, 构建了一套亮温差校正的火点检测方法, 并将其用于区域内火点的识别。

具体而言, 首先定义背景亮温为未发生火灾下的亮温, 火点的探测是基于明火发生时的当前亮温与背景亮温的差值来进行判断。其次, 以目标亮温为中心的周围 5×5 至 21×21 的动态窗口内进行差值处理, 并将窗口内满足条件的点作为样本点进行插值, 从而得到当前火灾发生时与火灾发生前的补偿亮温, 之后将补偿亮温与灾前亮温相加得到校正后的亮温作为目标像元的新背景亮温, 最后进行火点判定和虚警剔除。但是在进行上述操作步骤前, 需要对区域内云及水体像元进行掩膜处理, 从而得到可用来替代探测像元背景亮温的无污染像元。具体识别过程如以下六部分组成。

2.2.1 云像元识别

由于光学传感器波段的电磁波无法穿透云层, 因此云层所在区域的像元亮温较低, 此外, 受云层的影响, 可见光和近红外波段的反射率增高。高精度的云掩膜在一定程度上可以降低由非火灾区域所产生的误差。为了提取区域内的云像元, 本文采用式(2)和式(3)组合识别云像元^[12]。

$$\rho_{\text{Red}} + \rho_{\text{NIR}} > 0.7 \quad (2)$$

$$T > 285 \text{ K} \quad (3)$$

式(2)和式(3)中, ρ_{Red} 和 ρ_{NIR} 分别为 PMS 传感器上 4 和 5 波段的反射率, T 为 IRS 传感器的近红外亮温。

2.2.2 水体识别

与云像元相同, 水体同样属于污染信息, 需要对其进行掩膜处理。目前基于多光谱数据识别水体的常用方法有阈值法、多波段算法、谱间关系法、区域生长法等。在前人研究的基础上, 本文采用式(4)和式(5)对水体进行提取^[13]。

$$\text{NDWI} = \frac{R_3 - R_5}{R_3 + R_5} > 0.1 \quad (4)$$

$$\rho_{\text{NIR}} > 0.15 \quad (5)$$

2.2.3 潜在火点识别

经过多次实验, 最终设定 325 K 作为潜在火点像元的提取阈值, 以最大程度上得到区域内所有的异常高温点。具体而言, 首先以各潜在点为中心选取窗口, 计算背景亮温。初始窗口设为 5×5 , 若参与计算的无污染像元低于窗口总体像元个数的 20%, 则扩大窗口至 7×7 , 但受制于地物的差异性, 窗口上限为 21×21 。

2.2.4 背景亮温计算

选定合适窗口后, 为了获取准确的背景亮温, 加入前一期灾前的影像信息。可以发现在无污染像元的情况下, 相邻时相的两期影像既具有空间异质性, 又有空间连续性, 尤其是单个像元在时间上表现出强相关性。

由于高分四号卫星数据在灾前具有时间上的不确定性, 两期影像的太阳高度角的不同, 为了补偿两期影像的亮温, 构建温差补偿值 ΔT , 如式(6)所示。

$$\Delta T(i, j) = \{t \mid T_{\text{po}} - T_{\text{pr}}\} \quad (6)$$

式(6)中, T_{po} 是灾中像元亮温的集合, T_{pr} 是灾前像元亮温的集合。对于每一个用于计算的潜在像元窗口内, 将计算的有效像元的温差补偿值作为采样数据, 并利用半变异函数法对采样数据进行拟合, 从而得到潜在火点与灾前数据的温差补偿值 ΔT_{ij} , 之后将 ΔT_{ij} 与灾前的亮温相加得到潜在火点的背景亮温的预测值 T_{pred} 。

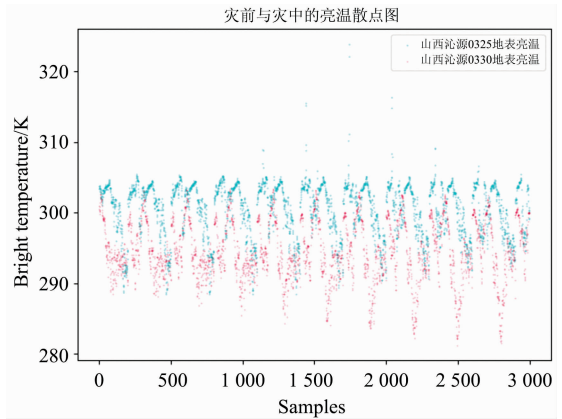


图 2 山西沁源县灾前与灾中地表亮温散点图

Fig. 2 Scatter plots of surface brightness temperature before and during the disaster in Qinyuan, Shanxi province

潜在火点的温差补偿计算在本研究对比了三种空间插值方法得到的结果, 选择普通克里金插值法 (ordinary kriging, OK), 该方法不仅考虑了采样的已知点与预测点的距离关系, 同时考虑了它们之间的自相关关系, 其能够很好地反映两期影像中相同空间内的温度差。克里金插值的优势在于其不仅考虑已知点和预测点之间的距离关系, 同时考虑已知点之间的自相关关系。式(7)为克里金计算公式。

$$\hat{t}_0 = \sum_{m=1}^n \lambda_m t_m \quad (7)$$

式(7)中, \hat{t}_0 是点 (x_0, y_0) 处的估计值, 也就是潜在火点位置对应的补偿亮温, 即 t_0 等于 $\Delta T(x_0, y_0)$ 。 λ_m 为权重系数, 是用于满足点 (x_0, y_0) 处的估计值与真实值差最小的一套最优系数。

2.2.5 火点识别

式(8)可以用来将潜在火点判断为真实火点。

$$T_{\text{po}} > T_{\text{pred}} + 3\delta \quad (8)$$

式(8)中, δ 为窗口中背景像元的平均绝对偏差。

2.2.6 虚警剔除

基于光谱信息的火点提取流程, 在大尺度区域内, 虚警率通常较高。已有研究表明裸土在光谱维度难以与火点进行区分, 因此采用已有土地分类结果, 将裸地赋值为 1, 非裸地赋值为 0, 从而得到二值化的裸地分布图; 之后, 利用式(9)对 2.2.5 节火点识别结果的基础上进行裸地信息的去除。

$$\text{if } L(i, j) = 1, \text{ then exclude} \quad (9)$$

3 精度评价

针对实验区的火点识别结果, 本研究以目视解译的火点

结果作为真值构建区域火点识别精度评价体系。体系包括精确率(precision, P)、虚警率(false alarm, F)，漏警率(missing alarm, M)，总体分类精度(overall accuracy, OA)以及评价指标 F_β 分数，具体计算公式如式(10)—式(13)所示。

$$P(c_{ij}) = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}} \quad (10)$$

$$R(c_{ij}) = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}} \quad (11)$$

$$M(c_{ij}) = \frac{N_{FN}}{N_{TP} + N_{FN}} \quad (12)$$

$$F_\beta = (1 + \beta^2) \frac{PR}{(\beta^2 P) + R} \quad (13)$$

式中 N_{TP} 是正确识别的火点数, N_{FP} 是未被正确识别的火点数, N_{TN} 是被正确识别的非火点数, N_{FN} 是未被正确识别的非火点数。 β 是 F 分数的权重, 本文中其值为 2。

4 结果与讨论

4.1 背景亮温拟合结果

本研究通过结合高分四号 PMS 和 IRS 传感器数据分别对山西沁源县和大兴安岭新巴尔虎左旗两个区域进行火点检测。同时, 对两个区域进行人工目视解译, 将解译得到的火点数据与当地发生火灾时的其他文本数据作为验证数据。

遥感图像检测火点像元的方法本质是一个二分类问题。地表火灾会引起该区域辐射能量的急剧骤升, 与自然状态下的背景像元辐射能量形成较大的差异, 一般的单时相影像火点判别条件中背景亮温的估算由自适应窗口内的均值替代, 多时相的火点判别则是基于大量的前期影像训练完成的 DTC(diurnal temperature cycles)模型用于拟合当前背景亮温。本研究在单时相火点判别的基础上增加一期灾前影像的时间信息用于拟合当前火点的亮温值, 一方面可以保持单个像元在时间上的连续性同时不破坏其空间性, 另一方面可以减少用于拟合亮温曲线的数据量, 得到较为准确的背景亮温, 整体符合高分四号卫星用于快速灾情应急的定位。

本研究对比灾前的亮温值, 并对两期影像的亮温差进行

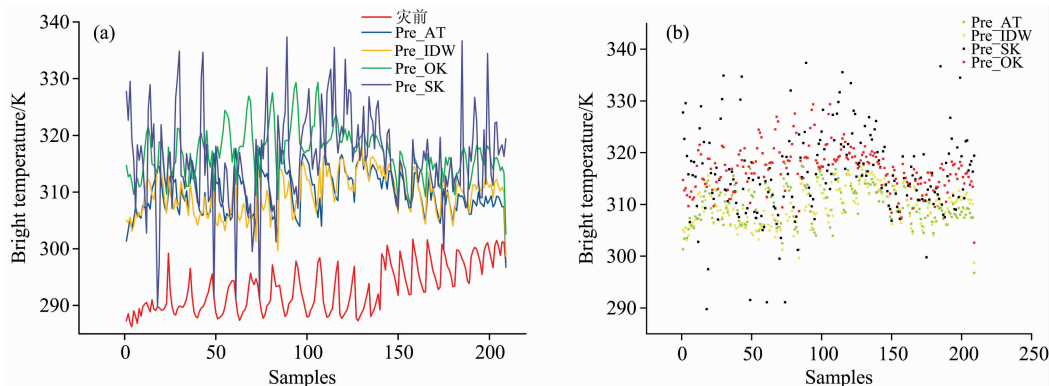


图 3 不同插值方法拟合背景亮温对比图

Fig. 3 Comparison chart of fitted background brightness temperature with different interpolation methods

预估。图 3 和图 4 分别是山西沁源县潜在火点像元采用不同模型拟合形成的亮温曲线及对比结果。可以发现两期影像的亮温拟合结果中, 基于单时相窗口得到的背景亮温峰值峰谷与灾前亮温相反, 曲线波动不大, 整体拟合值较低, 且对于背景温度较高的区域有平滑作用, 直方图亮温分布在 310 K 两侧, 在计算中对于一些低温火点的识别则不够准确。简单克里金插值得到的结果能体现区域性, 有突出的峰值且有对应于高亮温的像素点, 但该模型假设未知点的属性值相对于平均值的偏差是已知点的属性值相对于平均值的偏差的加权求和, 并且需要提前知道区域的期望值, 因此用于预估的期望值可能有偏差, 从直方图来看简单克里金计算得到的数据单峰分布更明显, 从表 2 插值统计结果来看普通克里金插值在数据分布上与反距离加权插值保持一致。但相比于反距离加权固定的权值, 普通克里金的权重更依赖于空间, 因此且其正太分布更为明显, 是较为理想的拟合结果。图 3 中 Pre_{AT} , Pre_{IDW} , Pre_{OK} 和 Pre_{SK} 分别代表自适应阈值分割方法、反距离加权、简单克里金以及普通克里金插值的亮温差校正方法得到的背景亮温拟合值。

4.2 实验结果及精度验证

2019 年 3 月 29 日和 2019 年 4 月 20 日, 山西沁源县王陶乡王陶村和大兴安岭新巴尔虎左旗孟克西里地区发生火灾。基于对应时间的高分四号 PMI 数据, 本文通过使用提出的亮温差校正的火点提取方法对两起火灾区域的火点进行提取, 并将其与单时相自适应阈值分割获得的火点提取结果进

表 2 单时相自适应阈值与三种插值方法拟合亮温值统计表
Table 2 Statistical table of adaptive threshold method and three interpolation methods about fitting bright temperature values

亮温拟合方法	平均值	标准差	最大值	最小值
Pre_{AT}	292.94	4.17	301.70	286.25
Pre_{IDW}	309.93	3.78	317.85	296.74
Pre_{OK}	309.69	3.65	318.05	298.70
Pre_{SK}	315.80	8.10	337.33	289.76

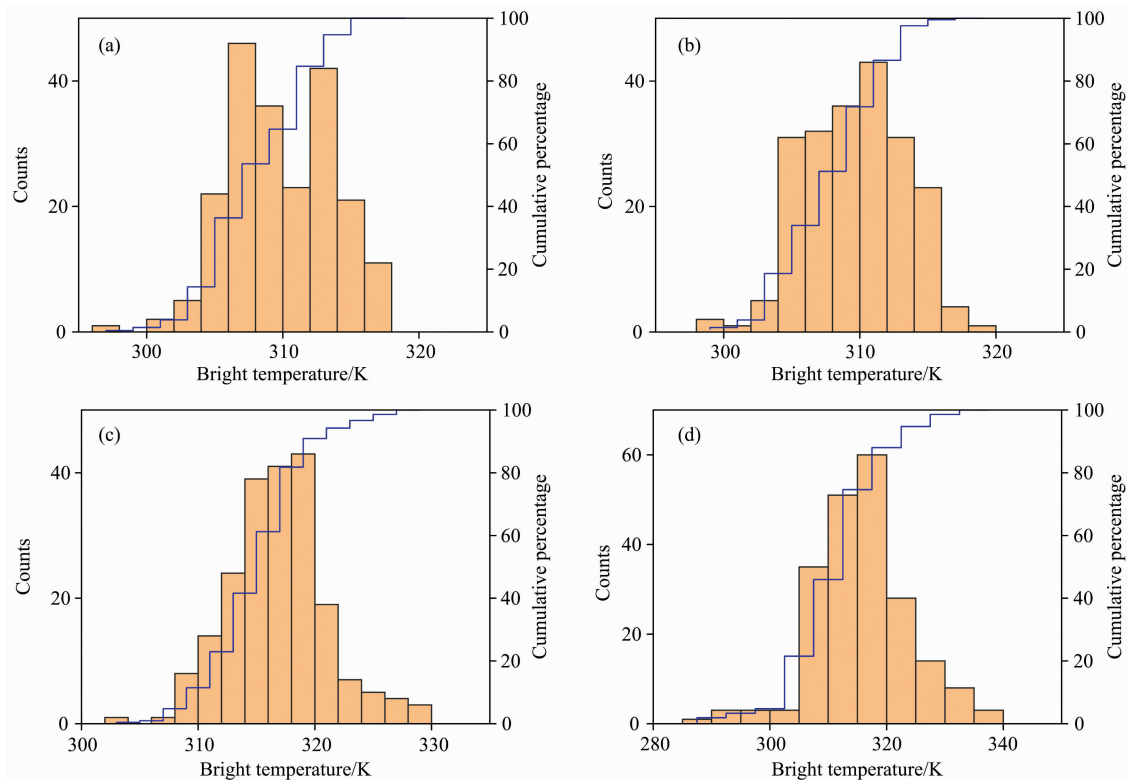


图 4 潜在火点的背景亮温拟合直方图及概率分布

(a): 自适应阈值拟合直方图及概率分布; (b): IDW 亮温差校正直方图及概率分布;

(c): 简单克里金亮温差校正直方图及概率分布; (d): 简单克里金亮温差校正直方图及概率分布

Fig. 4 Histogram and probability distribution of background brightness temperature fitting in potential fire points

(a): Histogram and probability distribution AT fitting; (b): Histogram and probability distribution IDW fitting;

(c): Histogram and probability distribution OK fitting; (d): Histogram and probability distribution SK fitting

行对比,如图 5 和图 6 所示。从两个区域的信息表,表 3 和表 4 可以看出对于较小的火区,各检测结果均接近真实值,在大兴安岭火区较大的地方,单时相的检测方法错分多,双时相插值得到的结果均一定程度减少了错分像元,其中普通克里金插值拟合得到的火点识别结果更与真实值接近。需要注意的是,受烟雾的影响,在高分四号的多光谱影像中,目视解译的火点信息较难提取,因为顺风向的火点极容易被烟雾掩盖。

表 3 GF-4/PMI 大兴安岭新巴尔虎左旗双时相不同插值方法及单时相火点检测信息表

Table 3 GF-4/PMI Fire point detection of dual phase methods and single phase methods in New Barhu Right Banner Inner Mongolia

	自适应阈值分割	反距离加权	简单克里金	普通克里金	目视解译
火点数	323	304	198	230	276
非火点数	144	163	269	237	—
漏分	19	2	74	53	—
错分	66	47	5	7	—

表 4 GF-4/PMI 山西省沁源县双时相不同插值方法及单时相火点检测信息表

Table 4 GF-4/PMI Fire point detection of dual phase methods and single phase methods in Qinyuan, Shanxi Province

	自适应阈值分割	反距离加权	简单克里金	普通克里金	目视解译
火点数	193	187	163	172	171
非火点数	16	22	46	37	—
漏分	2	2	17	4	—
错分	24	18	9	5	—

通过对比不同方法得到的火点检测结果和真实值结果,可以发现基于中红外信息的火点提取方法在结果方面具有一致性,其有相同的轮廓,且在火线附近的火点会出现不同程度的错检。从表 5 的统计数据来看,单期影像的自适应阈值方法的错检率在两个区域的错检率分别为 18%和 13%,内蒙古呼伦贝尔市新巴尔虎左旗的火灾受检像元多,错检率也略高于山西沁源的火灾。分析其错检原因,主要是在林火蔓延的过程中由于地面覆盖物的遮挡,传感器入瞳处接收到的信息大部分是树冠的辐射信息,而这种信息正是火点识别的关键,通常对于树冠火来说,地形、温度、风向等外在因素

也会影响火的蔓延趋势并对环境产生影响。此外,由于植被遮挡以及火焰尺度等因素,最终观测到的火点与遥感图像中对应的实际位置有偏差。本研究提出的亮温差校正的算法,错检率相较于前一算法均有明显的降低,并且检查像素数量越多,错检率越低。漏检一方面是由于在自适应窗口下,对

于较大的火灾中心点,用于计算的可用像元由于附近的像素受火场蔓延的辐射影响亮温普遍升高,因此背景场亮温偏高。另一方面由于云和水由固定阈值确定,云像元是造成火点像元遗漏的重要原因,并且对于一些焖烧的低温点也可能存在漏检的情况。

表 5 着火点不同方法检测结果精度验证表

Table 5 The validation result of forest fire points detection in different methods

	内蒙古				山西			
	AT	IDW	OK	SK	AT	IDW	OK	SK
P	0.931 1	0.931 2	0.807 9	0.699 27	0.988 3	0.988 3	0.976 6	0.900 5
R	0.795 6	0.845 4	0.969 5	0.974 74	0.875 6	0.903 7	0.970 9	0.944 7
M	0.204 3	0.154 6	0.030 5	0.025 25	0.129 4	0.096 3	0.0290	0.055 2
F_{β}	0.819 5	0.861 2	0.932 2	0.903 55	0.891 7	0.925 9	0.973 1	0.93 67

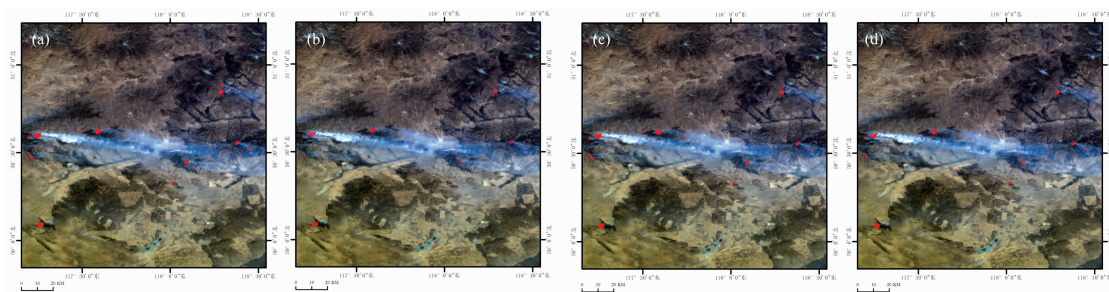


图 5 大兴安岭新巴尔虎左旗 2019-04-21 森林火灾火点检测图

(a): 自适应阈值分割结果; (b): IDW 亮温差校正结果; (c): 简单克里金亮温差校正结果; (d): 普通克里金亮温差校正结果

Fig. 5 Results of forest fires detection of New Barhu Right Bannerin Inner Mongolia on April 21, 2019

(a): Results of AT; (b): Results of IDW; (c): Results of simple Kriging; (d): Results of ordinary Kriging

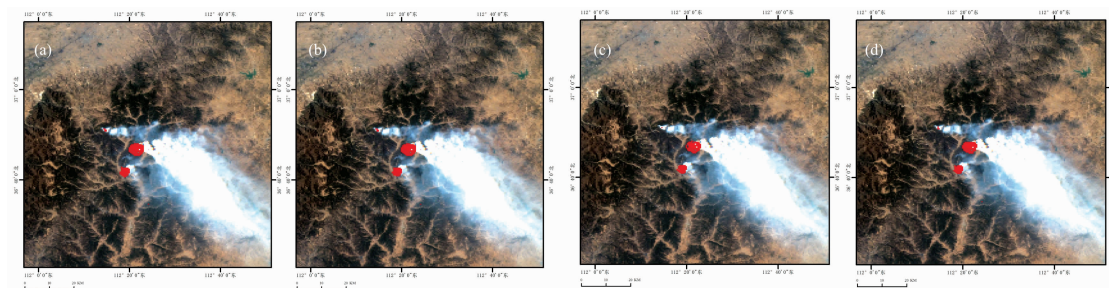


图 6 山西沁源 2019-03-31 森林火灾火点检测图

(a): 自适应阈值分割结果; (b): IDW 亮温差校正结果; (c): 简单克里金亮温差校正结果; (d): 普通克里金亮温差校正结果

Fig. 6 Results of forest fires detection of Qinyuan, Shanxi province on March 31, 2019

(a): Results of AT; (b): Results of IDW; (c): Results of simple Kriging; (d): Results of ordinary Kriging

5 结 论

高分四号卫星是我国第一颗地球同步轨道分辨率最高的对地观测卫星,以其高频次的拍摄特点和灵活机动模式,为防灾减灾提供强有力的信息保障。

在已有单波段火点检测的基础上,结合灾前数据,构建亮温差校正的火点检测方法,并与单时相的火点检测方法进行对比。相比而言,本文所提出的方法考虑了相邻两时相之

间的相关关系,并且采用地统计学的插值方法降低空间异质性对于背景亮温估算的影响,从而得到较为准确的背景亮温,最后通过空间上下文的整合,将前期的准确信息反馈至当前像元。

整体而言,相较于部分多时相火点提取的方法需要大量训练样本来说,本文所提出的方法不受灾前影像选取时间的约束,具有较强的稳定性。两个实验区研究结果表明,研究提出的算法相较于单波段的上下文算法能显著降低火线周围的错检率,且综合分类评价指数在 0.9 以上,验证了本文所

提出的方法能够正确检测到火灾,且可靠性较高。但是,由于高分四号影像缺少热红外(11 μm)波段,使得单波段火点探测受到一定的限制。在今后的研究中,需要进一步提高检

测精度,并且检验该方法在其他卫星及地区的适用性从而为灾中迅速决策以及灾后的评估和植被恢复提供有效信息。

References

- [1] SHU Li-fu, TIAN Xiao-rui, LI Hong(舒立福, 田晓瑞, 李 红). World Forestry Research(世界林业研究), 1998, (6): 41.
- [2] Giglio L, Descloitres J, Justice C O. Remote Sensing of Environment, 2003, 87(2-3): 273.
- [3] Filizzola C, Corrado R, Marchese F. Remote Sensing of Environment, 2016, 186: 196.
- [4] Jang E, Kang Y, Im J. Remote Sensing, 2019, 11(3): 271.
- [5] LI Jia-guo, GU Xing-fa, YU Tao(李家国, 顾行发, 余 涛). Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics(北京航空航天大学学报), 2010, 36(10): 1221.
- [6] Lin L, Meng Y, Yue A. Remote Sensing, 2016, 8(5): 403.
- [7] Lin Z Y, Chen F, Li B, et al. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. , 2017, 55: 6420.
- [8] RAO Yue-ming, WANG Chuan, HUANG Hua-guo(饶月明, 王 川, 黄华国). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2020, 24(5): 559.
- [9] LIU Shu-chao, LI Xiao-tong, QIN Xian-lin, et al(刘树超, 李晓彤, 覃先林, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2020, 24(3): 215.
- [10] Robinson J M. International Journal of Remote Sensing, 1991, 12(1): 3.
- [11] Pereira M C, Setzer A W. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(11): 2061.
- [12] LIU Xin-yan, SUN Lin, YANG Yi-kun(刘心燕, 孙 林, 杨以坤). Acta Optica Sinica(光学学报), 2019, 39(1): 0128001.
- [13] XU Han-qiu(徐涵秋). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2005, (5): 589.

Research on Fire Point Monitoring Based on GaoFen-4 Satellite Data With Bright Temperature Difference Correction

WANG Yao^{1,2}, WANG Shi-xin^{1,2*}, ZHOU Yi^{1,2}, WANG Fu-tao^{1,2*}, WANG Zhen-qing^{1,2}

1. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract GF-4 can provide stable data for disaster prevention and mitigation, and its mid-infrared sensor can be well applied in rapid-fire monitoring. Because of lacking far-infrared, the spectral information that GF-4 provided is supplementary data as usual. Affected by a single band, the commission error and omission error of the adaptive threshold method is high. Therefore, to probe the potential of GF-4 data and improve the accuracy of fire point recognition, this study analyzed the characteristics of GF-4 data and proposed a fire point detection method with brightness temperature difference correction based on dual temporal image. The method mainly includes three parts: brightness temperature compensation acquisition based on Kriging interpolation on temporal scale, adaptive threshold segmentation on a spatial scale based on contextual information, and fire point detection, with two images-before and during the fire event. Firstly, the difference between the two images is processed. Moreover, we use this difference of non-polluted pixels in the dynamic neighborhood around the potential fire point as the sampling data for spatial interpolation and then substitute the result of the previous step into the first image. Finally, using discrimination conditions for fire point discrimination and false alarm elimination get the final results. The study also compares three spatial interpolation acquisitions: Inverse Distance Weigh, Simple Kriging and Ordinary Kriging. From the fitting results, the Ordinary Kriging can reflect the volatility of the pixel area and has a certain smoothing effect to avoid peaks of background brightness temperature, which is the better method. The study area contains two fires in Qinyuan, Shanxi Province and New Barhu Right Bannerin, Inner Mongolia. Results show that compared with the traditional single time phase algorithm, introducing brightness temperature difference correction data can better fit the background brightness temperature, reducing the commission error to 3% and obtaining comprehensive evaluation index F_{β} above 0.9. This developed method could be used to support automatic fire point detection and extraction in future studies.

Keywords GaoFen-4; Fire point detection; Temperature compensation; Kriging

* Corresponding author

(Received Oct. 13, 2020; accepted Feb. 27, 2021)