

# 基于时相变化的晴空条件下 Himawari-8 AHI 火点检测

鄢俊洁, 瞿建华, 冉茂农, 张芳芳

华云星地通科技有限公司, 北京 100081

**摘要:** Himawari-8 静止气象卫星具有高空间分辨率、高观测频次和高时效特点, 对于火点检测具有很强优势。对 Himawari-8 卫星的  $3.9\ \mu\text{m}$  和  $11.2\ \mu\text{m}$  两通道亮温进行了连续时相变化研究, 得出两通道的亮温在时间上的变化差值稳定且规律明显。根据两通道的亮温时相特征, 考虑白天可见光对  $3.9\ \mu\text{m}$  通道的影响, 并结合火点产生时引起的亮温变化特征, 提出了适用于晴空条件下改进的火点检测算法。在多处进行了此算法的实验, 例如 2018-11-27 T 16: 40 (UTC 时) 河北张家口市桥东区一化工厂附近发生的严重爆炸起火事件以及 2019-02-28 澳大利亚西南部发生的火灾事件, 均快速有效的检测到了火点。实验表明, 改进的火点检测算法能很好的进行火点检测, 并能解决晨昏交界、冰雪下垫面、常规火源点、太阳耀光等火点检测的难题。

**关键词:** 遥感, Himawari-8, AHI, 火点判识算法, 高观测频次, 时相变化, 亮温

**引用格式:** 鄢俊洁, 瞿建华, 冉茂农, 张芳芳. 2020. 基于时相变化的晴空条件下 Himawari-8 AHI 火点检测. 遥感学报, 24(5): 571-577

Yan J J, Qu J H, Ran M N and Zhang F F. 2020. Himawari-8 AHI fire detection in clear sky based on time-phase change. Journal of Remote Sensing(Chinese), 24(5): 571-577[DOI:10.11834/jrs.20209122]

## 1 引言

火灾发生时产生  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等有害气体和颗粒物, 会影响大气辐射传输, 引起大气污染, 加速温室效应, 同时也是危害人民生命财产安全的重要灾害之一。火点信息及时获取是提高火灾预警的重要环节。一般突发性火灾通常具有火势较猛、燃烧速度快、危害性强等特点; 一些火灾发生地地处偏远、人烟稀少的原始、半原始林区, 无法及时发现; 还有一些火灾发生在夜晚, 人们不易察觉。而卫星遥感具有较高的空间、时间分辨率及其覆盖范围广的优势, 能够及时检测火点具体位置、蔓延方向以及估算燃烧速度和过火面积等。因此, 遥感技术是进行火灾检测的重要手段, 对火灾的快速检测和评估可以发挥重要作用, 对环境改善和治理提供强有力的支持。

目前, 国内外火点检测模型主要有: Dozier 模型 (Dozier Method)、阈值模型 (Threshold Method)、上下文模型 (Contextual Method) 和可燃物覆盖模

型 (Fuel Mask Method) 等。Dozier 模型是应用 NOAA/AVHRR 数据进行亚像元温度场分析的理论模型, 是 Dozier (1981) 提出的最早的火点判识模型。该模型为后期发展的火灾判识模型奠定了理论基础。阈值模型是利用对高温火点的通道反应以及经验统计来定义阈值条件以识别火点。前人的研究中主要是利用 AVHRR 第 3 和第 4 通道亮温值和这两个通道的亮温差进行阈值条件设定提取火点 (Flannigan 和 Vonder Haar, 1986; Kaufman 等, 1989; 何全军和刘诚, 2008)。上下文模型是通过待测点辐射与背景辐射之差来判识火点。背景辐射是根据待测点的周围点所构成的背景窗口中得到。背景窗口范围大小的选取是模型能否成功的关键。如果背景窗口范围太小, 会使得大火灾中的像元漏掉; 如果范围太大精度有可能达不到。可燃物覆盖模型首先引用归一化植被指数 (NDVI) 消除裸地的干扰, 然后结合上下文模型的判识理念进行火点判识 (Boles 和 Verbyla, 2000)。

阈值模型法和上下文模型法是目前广泛使用

收稿日期: 2019-04-30; 预印本: 2019-07-14

第一作者简介: 鄢俊洁, 1980 年生, 女, 高级工程师, 研究方向为气象卫星数据处理与应用。E-mail: yanjj@cma.gov.cn

的火点检测方法。但是在业务应用中也存在局限性和限制性。首先,虽然阈值模型法是最直接的火点检测的方式,但是在实际应用中,阈值与地表类型、地表温度、仪器灵敏度、空间分辨率有着密切的关系,对于大范围甚至全球来说,需要设置不同的阈值。同时,城市的炼钢厂、太阳能光伏电站等常规热点的存在也影响着检测的结果。

极轨卫星观测时段相对固定、频次低,无法提供火点的全时段信息。而静止卫星观测频次高,覆盖范围广,对于火灾连续检测具有很强的优势。Himawari-8 (H8) 是日本种子岛航天中心于2014-10-07发射的新一代静止气象卫星,堪称世界上最先进的静止气象卫星 (Bessho等, 2016)。星上携带的传感器是目前最先进的16通道可见红外成像仪AHI (Advanced Himawari Imager) (Griffith, 2016), 其中可见光3个通道,其最高空间分辨率500 m,近红外和红外13个通道,空间分辨率为2 km,每10 min完成一次全圆盘观测,能够不间断地、高观测频次地获取地表信息,在火灾连续检测方面极具优势。其第7通道(3.74—3.96  $\mu\text{m}$ )和第14通道(11.0—11.30  $\mu\text{m}$ )是用于火点检测的主要波段。国内外很多学者开展了H8火灾检测研究。郑伟等(2016)、陈洁等(2017)应用H8卫星进行了秸秆焚烧、草原火的动态检测研究,火点定位误差在1个像元以内。H8高观测频次特征在连续检测火灾方面极具优势,可以实时跟踪检测火情信息,如检测火点移动路径、方向与过火面积等(Wickramasinghe等, 2016; 肖武平, 2015)。

基于H8的高观测频次特征,本文对火点检测算法进行了研究,提出了一种改进的阈值检测模型,一方面可以解决晨昏交界的问题,另一方面也能解决常规热点的问题。

## 2 改进的算法原理与方法

### 2.1 晴空非火点像元的温度时序特征分析

维恩位移定律反应了黑体辐射波长与黑体温度之间的关系,即黑体辐射光谱中最强的波长( $\lambda_{\text{max}}$ )与黑体绝对温度( $T$ )成反比

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

式中, $b$ 是维恩位移常数,取值为2897.8  $\mu\text{m}\cdot\text{K}$ , $T$ 为黑体的辐射温度。当黑体的温度逐渐升高,黑体辐射光谱的辐射峰值向短波方向移动。森林草原等生物质燃烧的主要温度范围为600—1300 K,

对应的辐射峰值波长在中红外3—5  $\mu\text{m}$ 范围内,而地表常温(约300 K)的辐射峰值波长在11  $\mu\text{m}$ 左右(杜品等, 2018)。H8卫星第7通道波长范围为3.74—3.96  $\mu\text{m}$ ,处于对高温热源比较敏感的4  $\mu\text{m}$ 波长附近;而14通道对应波长范围为11.0—11.30  $\mu\text{m}$ ,该通道对地表常温变化敏感,而对高温的响应相对迟缓。因此这两个通道可以满足火点识别的需求。

基于H8全天的142景数据(其中每天的02:40:00—02:50:00与14:40:00—14:50:00两个时间段,卫星不做观测),对不同纬度多种下垫面的晴空像元进行了全天的亮温跟踪监测。图1是2019-02-17、2019-03-08、2019-03-15(UTC)晴空像元3个全天的两通道亮温及其亮温差的变化曲线,图1中的断点表示该时次为无效观测。从图1中可以看出,两通道白天亮温均大于夜晚,且白天时两通道亮温差异较大,第7通道亮温大于第14通道亮温,但差异稳定且规律明显;而夜晚几乎无差异。分析可知,白天受太阳光的影响,两通道的亮温都比夜晚大,正午时太阳天顶角最小,热量集中,两个通道的亮温都比较大,从正午向两边,天顶角逐渐变大,亮温也随着变小。夜晚时,由于没有太阳的影响,两通道亮温也逐渐降低。这也说明了第7通道受热比第11通道更敏感,成为火点检测的依据。为了实现火点检测时的准确性与精确性,白天和夜晚需要分别进行检测。另外,Schroeder等(2014)指出NPP/VIIRS中波红外波段(3.55—3.93  $\mu\text{m}$ )受太阳反射能量影响,会导致亮温增大,这样就会降低晴空时火点像元和无火像元之间的辐射分离。因此,晴空时H8第7通道(3.74—3.96  $\mu\text{m}$ )亮温较大也可能受到反射的影响。

### 2.2 晴空火点像元的温度时序特征分析

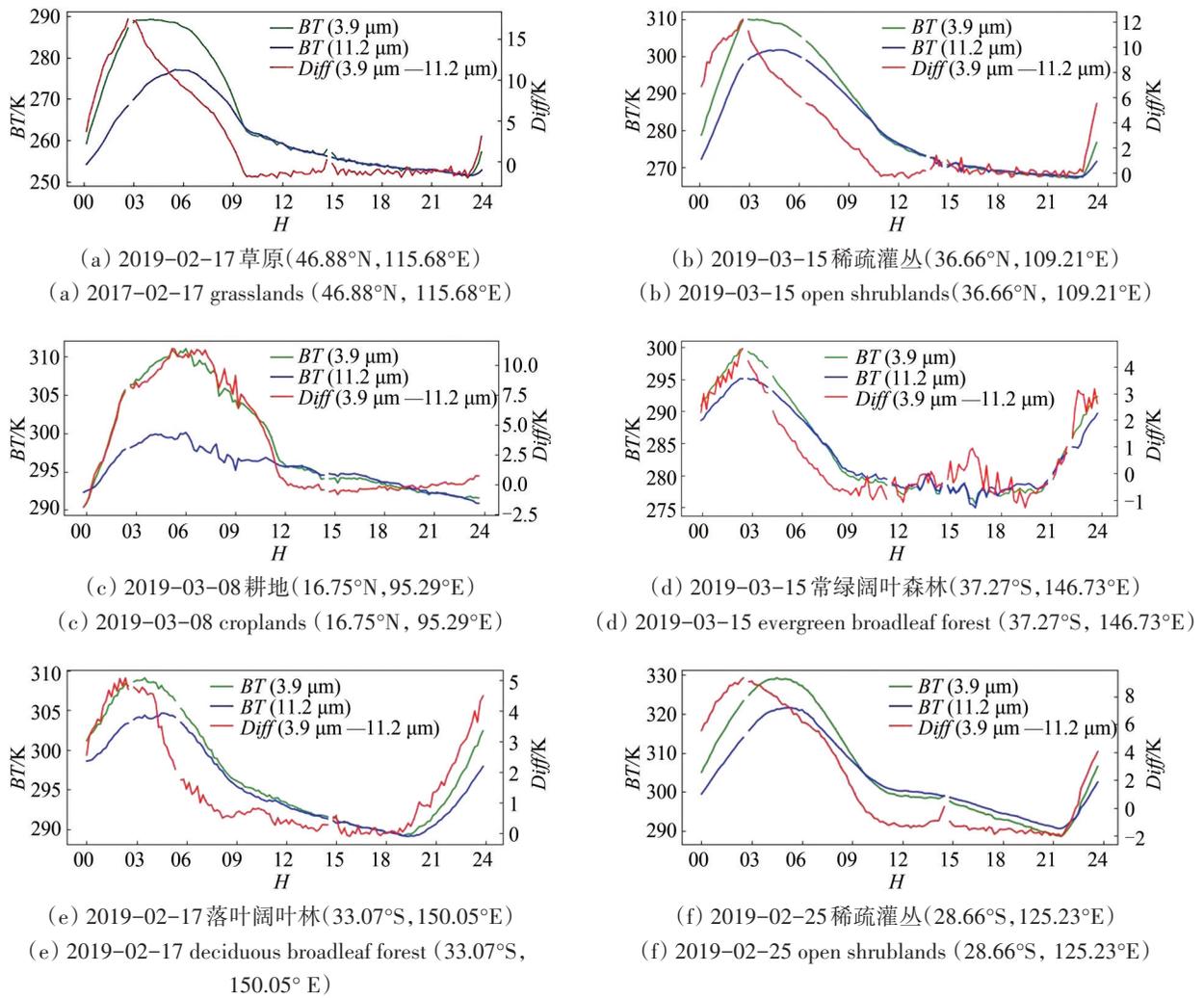
图2(a)为澳大利亚西南部某一地点发生火灾时两个通道全天的亮温变化曲线,图2(b)为附近晴空像元无火灾时的亮温变化曲线。从图2中可以看出,当火灾发生时,3.9  $\mu\text{m}$ 通道亮温迅速升高,而11.2  $\mu\text{m}$ 通道亮温变化较缓。火灾燃烧过程中,3.9  $\mu\text{m}$ 通道亮温由一天中的最大值为330 K左右增加到近400 K。

### 2.3 改进的火点判识算法

前人(Flannigan和VonderHaar, 1986; Kaufman等, 1989)提出的阈值模型火灾检测方法是根据要检测火点的时次影像的通道亮温进行波段组合

运算, 设置阈值进行该时次火点的检测。该种检测方式既未充分考虑火灾发生前后, 对火敏感的通道亮温差异大的特点, 也未消除白天可见光对

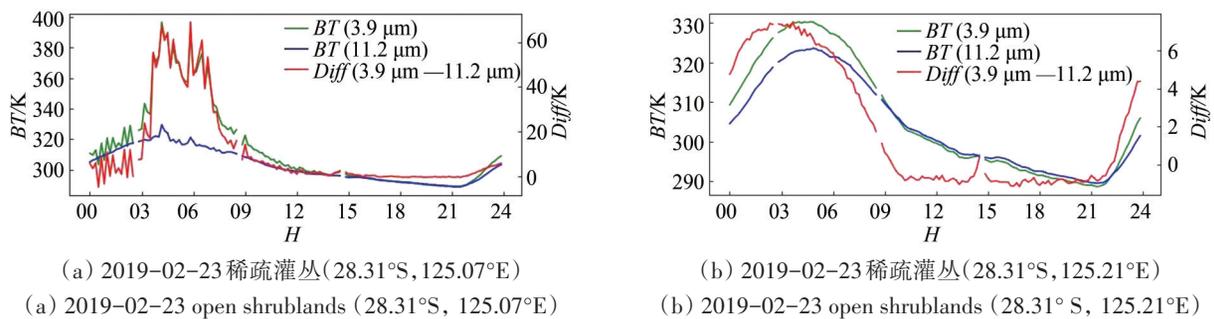
3.9  $\mu\text{m}$  通道的影响。本文在以往阈值模型的基础上, 结合 H8 的高观测频次特点, 对火点判识算法进行改进。



BT: 亮温 H: 小时, UTC 时 Diff: 亮温差

图 1 北纬和南纬晴空像元不同下垫面全天的亮温变化曲线

Fig.1 The bright temperature change curves of clear sky pixels of the north latitude and the south latitude with different underlying surfaces



BT: 亮温 H: 小时, UTC 时 Diff: 亮温差

图 2 晴空像元有火灾与无火灾时两通道亮温变化曲线

Fig.2 Bright temperature curves of two channels in clear sky pixels with and without fire

基于上述火点和非火点像元温度时序特征分析, 提出改进的阈值模型, 根据对火敏感的通道亮温的时相变化, 即利用相邻时次的通道亮温差值, 并结合其他波段的特性, 进行波段组合运算, 设定阈值来实现晴空条件下陆地火点的检测。改进后的阈值模型充分发挥了H8高观测频次的优势。研究中使用的H8 L1数据经过了大气纠正、辐射校正等处理。

改进的火点检测算法如下:

(1) 新产生火点像元识别: 满足以下条件为当前时次新产生的火点像元。

$$\begin{cases} \Delta T_{3.9}^{t_2-t_1} = T_{3.9}^{t_2} - T_{3.9}^{t_1} \\ \Delta T_{11}^{t_2-t_1} = T_{11}^{t_2} - T_{11}^{t_1} \\ \Delta T_{3.9,11}^{t_1} = T_{3.9}^{t_1} - T_{11}^{t_1} \\ \Delta T_{3.9,11}^{t_2} = T_{3.9}^{t_2} - T_{11}^{t_2} \\ \Delta T_{3.9,11}^{t_2-t_1} = \Delta T_{3.9,11}^{t_2} - \Delta T_{3.9,11}^{t_1} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $T_{3.9}^{t_1}$ 、 $T_{3.9}^{t_2}$  分别表示前一时次与当前时次H8第7通道 ( $3.9 \mu\text{m}$ ) 的亮温值;  $T_{11}^{t_1}$ 、 $T_{11}^{t_2}$  分别表示前一时次与当前时次H8第14通道 ( $11.2 \mu\text{m}$ ) 的亮温值。

$$\begin{cases} T_{3.9}^{t_1} > V_{3.9} \\ T_{3.9}^{t_2} > V_{3.9} \\ \Delta T_{3.9}^{t_2-t_1} > V_{3.9}^1 \quad (\text{白天}) \text{ 或 } \Delta T_{3.9}^{t_2-t_1} > V_{3.9}^2 \quad (\text{夜晚}) \\ \Delta T_{3.9,11}^{t_2-t_1} > V_{3.9,11} \\ \Delta T_{11}^{t_2-t_1} > V_{11} \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $V_{3.9}$ 、 $V_{3.9}^1$ 、 $V_{3.9,11}$ 、 $V_{11}$  为相应的参考阈值, 这些值是通过研究区域长时间序列的亮温统计得到。其中, 1) 阈值  $V_{3.9}$  通常是晴空时的亮温值, 设定该阈值可用于去除厚云的部分干扰; 2) 阈值  $V_{3.9}^1$  用于火点判识, 通常根据所选区域先验火点的亮温统计设定, 且值  $\Delta T_{3.9}^{t_2-t_1}$  可消除白天可见光对  $3.9 \mu\text{m}$  通道的影响; 3) 阈值  $V_{3.9,11}$  用于火点判识, 且当前一时次被小块云覆盖的像元, 在当前时次无云覆盖时, 会将该像元误判为火点像元, 设置阈值  $V_{3.9,11}$  可用于剔除这种伪火点; 4) 阈值  $V_{11}$  用于剔除伪火点,  $\Delta T_{11}^{t_2-t_1}$  可表示相邻时次的地表变化, 经过研究发现, 火点发生前后  $\Delta T_{11}^{t_2-t_1}$  不会发生太大变化。

(2) 连续火点像元识别: 前一时次判断出的火点满足以下条件为连续火点像元。利用时间维度信息检测火点是本文的亮点。式(3)对新发生的火点判识比较敏感, 能够快速检测出当前时次新产生的火点, 但对连续火点的像元识别不敏感。

即某一像元在前后时次均是火点时, 仅仅依靠式(2)可能会漏判该连续火点, 需要增加式(4)进一步补充完善。

$$\begin{cases} T_{3.9}^{t_2} > V_{3.9} \\ \Delta T_{3.9}^{t_2-t_1} > V_{3.9}^2 \quad (\text{白天}) \text{ 或 } \Delta T_{3.9}^{t_2-t_1} > V_{3.9}^2 \quad (\text{夜晚}) \\ \Delta T_{3.9,11}^{t_2} > V_{3.9,11}^2 \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $V_{3.9}$ 、 $V_{3.9}^2$ 、 $V_{3.9,11}^2$  为判断连续火点时相应的参考阈值。其中, 1) 阈值  $V_{3.9}$  与式(2)中的对应; 2) 阈值  $V_{3.9}^2$  表示连续火点像元在第7通道 ( $3.9 \mu\text{m}$ ) 的亮温变化最小值, 否则认为不是连续火点; 3) 阈值  $V_{3.9,11}^2$  用于火点判识。对前一时次判识出的火点像元, 用式(4)进行再次判识, 满足式(4)时, 则表示在当前时次为连续火点。将式(3)与式(4)判识出的火点进行合并, 即为当前时次判识出的所有火点。

改进后的阈值模型可以剔除晨昏交界、冰雪下垫面以及常年高温点的干扰, 但还无法避免太阳耀光的影响。因此需要进一步过滤火点。当初步判识为火点像元的可见光、近红外反射率大于0.3,  $3.9 \mu\text{m}$  通道亮温大于  $305^\circ$ , 并且耀光角小于  $30^\circ$  时, 则该像元为耀光点, 剔除火点属性(陈洁等, 2017)。

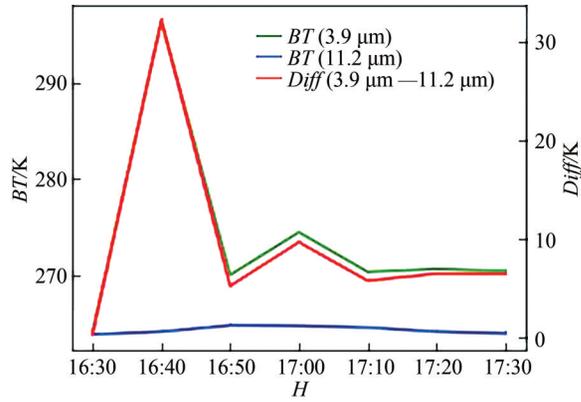
### 3 应用个例分析

利用本文改进的火点检测算法, 对火灾事件进行了连续检测, 并对南半球检测到的大范围火灾用MOD14产品进行了对比分析。

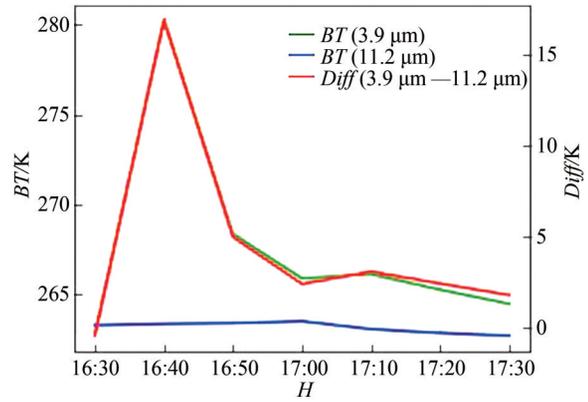
对2018-11-27 (UTC) 河北张家口市桥东区河北盛华化工有限公司附近发生的一起严重爆炸起火事件进行了火点检测。使用改进的火点检测算法阈值设置(白天)为: (1)  $T_{3.9}^{t_1} > 260 \text{ K}$ ,  $T_{3.9}^{t_2} > 260 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9}^{t_2-t_1} > 15 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9,11}^{t_2-t_1} > 12 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{11}^{t_2-t_1} > -1 \text{ K}$  用于判识当前时次新产生的火点; (2)  $T_{3.9}^{t_2} > 260 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9}^{t_2-t_1} > -5 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9,11}^{t_2-t_1} > 10 \text{ K}$  用于判识当前时次的连续火点。经检测带有火点的时次共1个, 即火点发生的时间为16:40, 当地时间凌晨40分; 检测到的火点像元有4个, 经纬度分别为 ( $114.93^\circ \text{E}$ ,  $40.81^\circ \text{N}$ )、( $114.96^\circ \text{E}$ ,  $40.81^\circ \text{N}$ )、( $114.95^\circ \text{E}$ ,  $40.78^\circ \text{N}$ ) 和 ( $114.98^\circ \text{E}$ ,  $40.78^\circ \text{N}$ )。图3是爆炸事件发生前后的两通道亮温变化曲线。图4是基于H8 2 km全圆盘数据, 以火点 ( $114.93^\circ \text{E}$ ,  $40.81^\circ \text{N}$ )

为中心像元提取的 25×25 窗口进行的相邻时次两通道亮温差图像显示。从图 3 中可以看出，本次火灾突发性强，持续时间短，10 min 内得到有效控制。

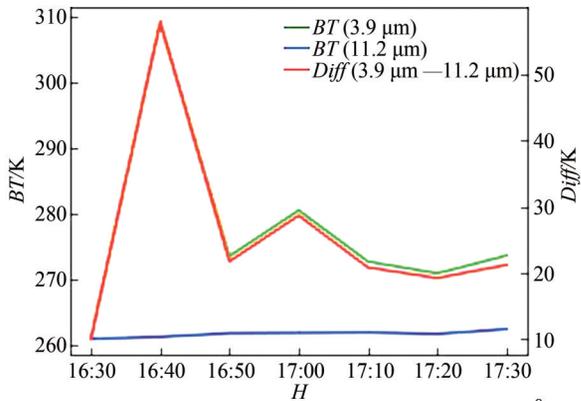
火灾发生时 3.9 μm 波段亮温迅速升高，与前一时刻相比亮温差最高可达 48.09 K，最小也为 17.35 K，非常有利于检测到火灾。



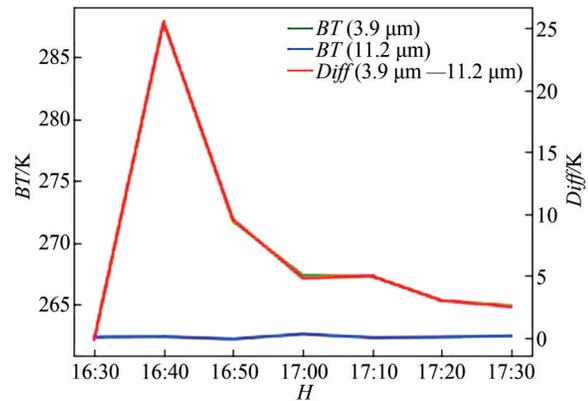
(a) 经纬度(114.93°E, 40.81°N); 行列号(799, 1757)  
(a) (40.81° N, 114.93° E); (799 line, 1757 sample)



(b) 经纬度(114.96°E, 40.81°N); 行列号(799, 1758)  
(b) (40.81° N, 114.96° E); (799 line, 1758 sample)



(c) 经纬度(114.95°E, 40.78°N); 行列号(800, 1757)  
(c) (40.78° N, 114.95° E); (800 line, 1757 sample)



(d) 经纬度(114.98°E, 40.78°N); 行列号(800, 1758)  
(d) (40.78°N, 114.98°E); (800 line, 1758 sample)

H:时分, UTC时; BT:亮温; Diff:亮温差

图3 张家口市爆炸事件前后两通道亮温变化曲线

Fig.3 Bright temperature curve of two channels before and after the explosion in Zhangjiakou City

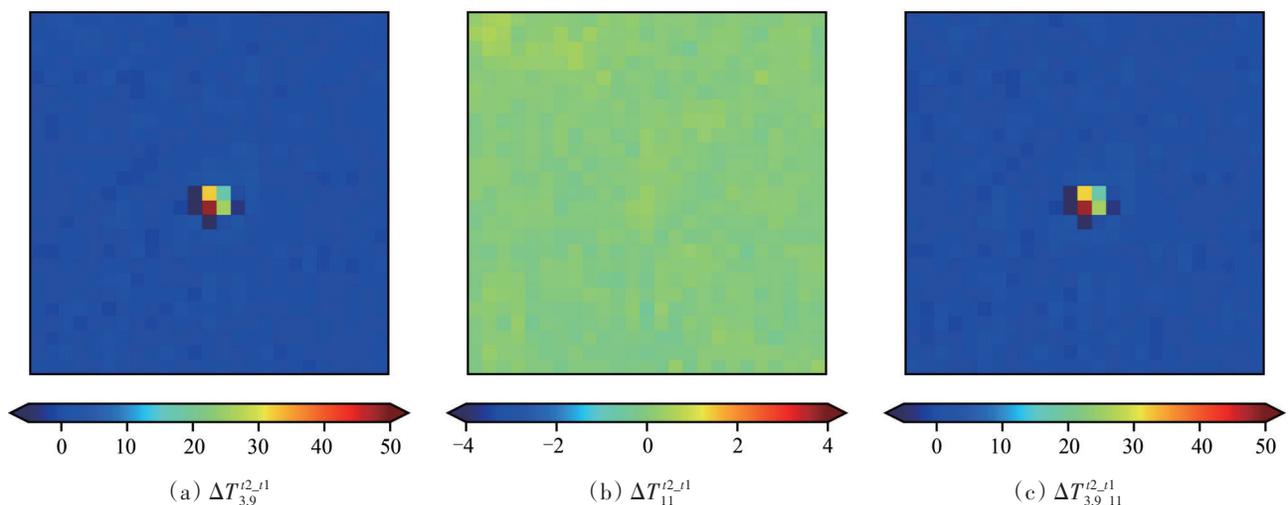
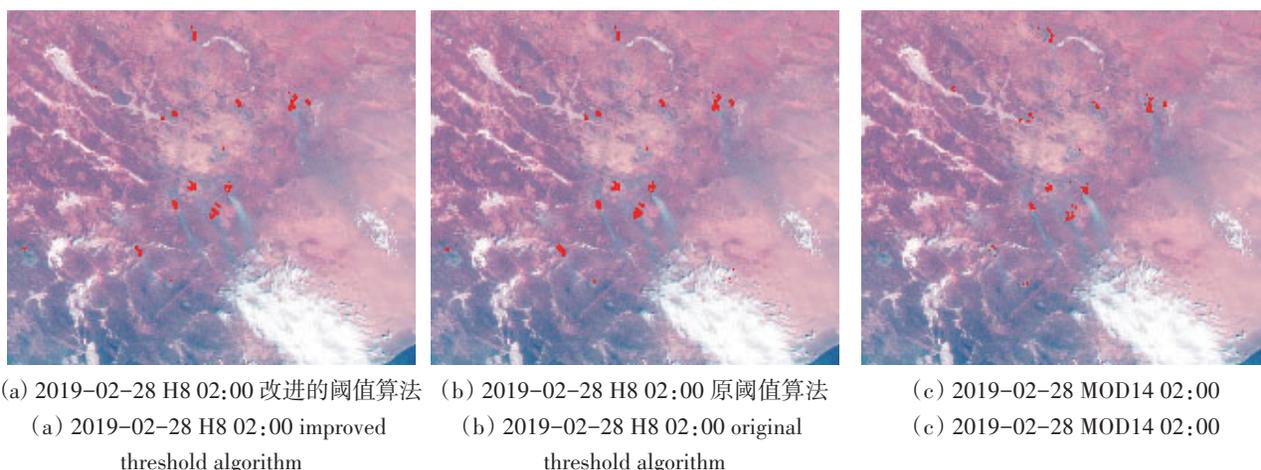


图4 张家口市火灾发生时相邻时次通道亮温差火点图像展示(全圆盘 25×25 窗口)

Fig.4 The image display of the bright temperature difference fire point (full disk 25×25 window) in the adjacent time channel when the fire occurs in Zhangjiakou City

采用本文火点检测算法对2019-02-28澳大利亚西南部发生的火灾进行了检测,并用MOD14 1 km分辨率火点产品进行了对比。MOD14 1 km分辨率火点L2产品的FireMask数据集中的像元亮度值7、8、9分别代表低置信度、中置信度、高置信度检测火点。本文将下载的5 min段数据首先转换到H8 2 km全圆盘对应区域,然后裁剪两种数据时间相近的对应区域进行对比分析。转换时选择置信度值最大时对应的亮度值作为在全圆盘中的值。使用改进的火点检测算法阈值设置(白天)为:(1)  $T_{3.9}^{i1} > 320 \text{ K}$ ,  $T_{11.2}^{i2} > 320 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9,11.2}^{i1} > 6 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9,11.2}^{i2} > 3 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{11.2}^{i2} > -1 \text{ K}$ 用于判识当前时次新产生的火点;2)  $T_{3.9}^{i2} > 320 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9}^{i2} > -5 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9,11.2}^{i2} > 10 \text{ K}$ 用于判识当前时次的连续火点。原阈值算法条件为:  $T_{3.9}^{o1} > 325 \text{ K}$ ,  $T_{11.2}^{o1} > 310 \text{ K}$ ,  $\Delta T_{3.9,11.2}^{o1} > 10 \text{ K}$ 。图5是原阈值算法(Flannigan和vonder Haar, 1986)和本文改进的阈值算法(式(2)、式(3)

和式(4))的火点检测结果与MOD14火点产品的对比图。从图5中可以看出,3者检测火点位置信息具有很高的-致性。在数目方面,本文改进的阈值算法共检测到火点148个,MOD14火点有124个,平均相对误差为19%;原阈值算法检测到的火点有170个,平均相对误差为37%,误判的点比较多,云也有被误判为火点,且 $T_{3.9}^{i2}$ 设置的阈值要足够大,否则误判的云会更多,从而可以说明改进的阈值算法效果更好。在整个澳大利亚地区,运用上述改进的阈值算法条件检测的结果几乎没有云的误判,而原有阈值法在澳大利亚东北部有大批量的云被误判为火点,可以得出改进的阈值算法在大范围火点检测中具有更好的适用性。同时,与MODIS火点产品相比,H8具有更高的空间分辨率,且每10 min一次的观测频率在进行火点检测时极具优势。



图左上角经纬度(28.409°S, 121.749°E),行列号(4210, 1866);右下角经纬度(32.563°S, 125.866°E),行列号(4397, 2084)

图5 H8与MOD14检测火点显示,背景为H8 AHI 2000 m RGB合成(通道3-2-1)

Fig.5 H8 and MOD14 detect fire point display, the background of the figure is H8 AHI 2000 m RGB synthesis (channel 3-2-1)

由以上个例火点检测可知,改进后的火点检测算法能有效的应用到火灾检测中,可充分发挥Himawari-8观测频次密集的优势,快速有效的获取火点位置。

## 4 结论

本文通过对具有高空间分辨率、高观测频次和高时效特点的H8静止气象卫星火点检测研究,提出了基于时相变化的晴空条件下H8/AHI火点检测方法,主要结论如下:

(1) 通过研究H8卫星3.9  $\mu\text{m}$ 和11.2  $\mu\text{m}$ 两通

道的连续时相变化,得出白天时受温度升高的影响两通道的亮温存在差异,差值稳定且规律明显;而夜晚时两通道亮温几乎无差异。当火灾发生时,3.9  $\mu\text{m}$ 通道在时相上的亮温变化明显,亮温会迅速升高,而11.2  $\mu\text{m}$ 通道亮温变化较小,由此提出了根据时相变化设置阈值检测火点,以此成为本文火点检测的依据。

(2) 本文改进的火点检测算法,考虑了白天可见光对3.9  $\mu\text{m}$ 通道的影响,并结合火灾发生时引起的亮温变化时相特征,充分发挥了H8高观测频次的优势,并能剔除晨昏交界、冰雪下垫面、

常年高温点以及太阳耀光的干扰, 在区域火灾检测中可快速准确定位火点的信息。在检测当前火点的同时, 还能判断出是否有连续火点。

(3) 随着多源高分辨率遥感影像的出现, 多传感器集成检测火点具有很大的应用前景, 它能弥补单一传感器的不足, 加强火点遥感检测的效率和精度。

## 参考文献 (References)

- Bessho K, Date K, Hayashi M, Ikeda A, Imai T, Inoue H, Kumagai Y, Miyakawa T, Murata H, Ohno T, Okuyama A, Oyama R, Sasaki Y, Shimazu Y, Shimoji K, Sumida Y, Suzuki M, Taniguchi H, Tsuchiyama H, Uesawa D, Yokota H and Yoshida R. 2016. An introduction to Himawari-8/9-Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 94(2): 151-183 [DOI: 10.2151/jmsj.2016-009]
- Boles S H and Verbyla D L. 2000. Comparison of three AVHRR-based fire detection algorithms for interior Alaska. *Remote Sensing of Environment*, 72(1): 1-16 [DOI: 10.1016/s0034-4257(99)00079-6]
- 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]
- Dozier J. 1981. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sensing of Environment*, 11: 221-229 [DOI: 10.1016/0034-4257(81)90021-3]
- Du P, Liu M X, Xu T T and Song Y. 2018. Application of Himawari-8 data in monitoring forest fire. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 54(6): 1251-1258 (杜品, 刘明旭, 徐婷婷, 宋宇. 2018. 利用 Himawari-8 数据监测森林火情初探. *北京大学学报(自然科学版)*, 54(6): 1251-1258) [DOI: 10.13209/j.0479-8023.2018.082]
- Flannigan M D and Vonder Haar T H. 1986. Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR. *Canadian Journal of Forest Research*, 16(5): 975-982 [DOI: 10.1139/x86-171]
- Griffith P C. 2016. Advanced Himawari Imager (AHI) design and operational flexibility//12th Annual Symposium on New Generation Operational Environmental Satellite Systems. [s.l.]: AMS
- He Q J and Liu C. 2008. Improved Algorithm of Self-adaptive Fire Detection for MODIS Data, 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)
- Kaufman Y J, Tucker C J and Fung I Y. 1989. Remote sensing of biomass burning in the tropics. *Advances in Space Research*, 9(7): 265-268 [DOI: 10.1016/0273-1177(89)90173-7]
- Schroeder W, Oliva P, Giglio L and Csizsar I A. 2014. The New VIIRS 375m active fire detection data product: algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143: 85-96 [DOI: 10.1016/j.rse.2013.12.008]
- Wickramasinghe C H, Jones S, Reinke K and Wallace L. 2016. Development of a multi-spatial resolution approach to the surveillance of active fire lines using Himawari-8. *Remote Sensing*, 8(11): 932 [DOI: 10.3390/rs8110932]
- Xiao W P. 2015. Japanese first next-generation weather satellite Himawari-8 enters geostationary orbit. *Space International*, (2): 87-91 (肖武平. 2015. 日本首颗新一代气象卫星向日葵-8 入轨. *国际太空*, (2): 87-91)
- Zheng W, Wang M, Chen J and Liu C. 2016. Application of Himawari-8 satellite data in environmental monitoring: a case study of cyanobacteria blooms and straw incineration monitoring//2016 Annual Meeting of the Chinese Society of Environmental Sciences. Haikou: CSES (郑伟, 王萌, 陈洁, 刘诚. 2016. Himawari-8 卫星资料在环境监测中的应用——以蓝藻水华和秸秆焚烧监测为例//2016 中国环境科学学会学术年会. 海口: 中国环境科学学会)

# Himawari-8 AHI fire detection in clear sky based on time-phase change

YAN Junjie, QU Jianhua, RAN Maonong, ZHANG Fangfang

HUAYUN ShineTek, Beijing 100081, China

**Abstract:** Himawari-8 is suitable in fire detection because of its high spatial resolution, observation frequency, and time efficiency. This paper proposes an improved fire detection algorithm based on the continuous phase change at the 3.9 and 11.2  $\mu\text{m}$  measurements by Himawari-8 satellite. The brightness temperature change is stable and evident on the basis of the results on brightness temperature change in different latitudes under clear sky conditions in one day. The brightness temperature at the 3.9  $\mu\text{m}$  channel changes faster than that at the 11.2  $\mu\text{m}$  channel under the continuous phase change for 10 min when a fire occurs. The proposed improved fire detection algorithm for clear sky conditions considers the visible spectral effect at the 3.9  $\mu\text{m}$  channel during day time. Experiments on this algorithm are conducted in several places, such as the serious explosive fire near a chemical plant in Qiaodong District, Zhangjiakou City, Hebei Province, at 16:40 (UTC) on November 27, 2018 and a fire incident in southwestern Australia on February 28, 2019, and the proposed algorithm quickly and effectively detects the occurrence of fire. Results shows that the proposed algorithm can perform fire detection well during winter, night time, and daytime.

**Key words:** remote sensing, Himawari-8, AHI, fire detection, high-frequency observation, phase change, brightness temperature