

Himawari-8 静止气象卫星时序法火点探测

陈洁, 郑伟, 刘诚, 唐世浩

国家卫星气象中心, 北京 100081

摘要: 随着新一代静止气象卫星的发射, 高频次和高时效的观测特性对于火点探测具有独特优势。本文基于 Himawari-8 新一代静止气象卫星高频次观测特点, 提出有利于火情初期火点判识的时序探测方法。与传统的极轨气象卫星遥感火情监测采用的上下文法不同, 时序探测法判识火点的方法依据为探测像元亮温在观测时间上的差异。研究结果显示, 在无云及无异常热源条件下, 相邻时次中红外亮温差异较小, 当前后时次亮温差达到 3K 时, 可判识出火点, 而上下文法的阈值均在 6 K 以上, 时序法的火点判识阈值较上下文法明显降低, 探测相应的亚像元火点面积减小一倍以上, 从而提高了火情判识的灵敏度, 实现火点早期发现。本文介绍了时序法火点判识方法, 并以黑龙江桦川县的星地同步观测实验进行验证, 研究表明, 时序法较上下文法在初发火点探测灵敏度方面有明显优势, 时序法和上下文法的结合可提高气象卫星对火情发展过程的监测能力。

关键词: 遥感, Himawari-8, 静止气象卫星, 时序法, 火点探测

引用格式: 陈洁, 郑伟, 刘诚, 唐世浩. 2021. Himawari-8 静止气象卫星时序法火点探测. 遥感学报, 25(10): 2095-2102

Chen J, Zheng W, Liu C and Tang S H. 2021. Temporal sequence method for fire spot detection using Himawari-8 geostationary meteorological satellite. National Remote Sensing Bulletin, 25(10): 2095-2102 [DOI: 10.11834/jrs.20219176]

1 引言

气象卫星火点判识依据为含有明火的中红外通道像元亮温较背景异常偏高(戎志国等, 2007; 缪婷婷和沈润平, 2013)。背景亮温采用火场周围的亮温, 当火情发生后, 像元自身包含了明火和背景环境的总辐射能量, 从该像元中无法得到背景亮温。当前极轨气象卫星火点判识中背景亮温估算主要使用上下文法(contextual), 即在空间范围利用被探测像元周边像元的平均亮温作为火情发生前的背景亮温, 判断该像元亮温是否偏高到出现火点程度(Kaufman等, 1998; Boles和Verbyla, 2000; Giglio等, 2003; Matson和Schneider, 1984; Hassini等, 2009; Northrop Grumman Space and Mission Systems Corporation, 2011; Calle等, 2006; Wickramasinghe等, 2016; Schroeder等, 2014; Guang和Xu, 2017)。这一方法假设前提为周边像元与被探测像元下垫面类型和植被覆盖度相同。但在不同下垫面类型或植被覆盖度差异较大, 以及云

覆盖等情况下, 会影响背景亮温的估算精度, 尤其对小火点的判识, 背景亮温的偏差会造成火点判识灵敏度降低。作为新一代静止气象卫星的Himawari-8(以下简称“H8”)携带有分辨率为2 km的中红外通道载荷, 对火点等高温热点具有较好的反应, 且观测时间间隔为10 min, 该观测特点对卫星遥感火情监测具有十分重要的意义(陈洁等, 2017; https://www.researchgate.net/publication/303435223_An_Introduction_to_Himawari-89-Japan%27s_New-Generation_Geostationary_Meteorological_Satellites [2019-06-03])。由于静止气象卫星观测角度固定, 图像上的同名像元前后时次定位几乎不变。从静止气象卫星中红外通道亮温时间序列曲线分析, 仅在太阳辐射条件下, 10 min内的像元亮温差异很小, 可考虑利用相邻时次亮温作为背景亮温, 当某时次的亮温变率超过阈值时, 认为有明火发生, 本文称之为时序法。与上下文法的区别在于, 时序法判识火点依据是探测像元亮温在时间上的差异, 而不是上下文法中空间上的差异。相邻10 min

收稿日期: 2019-06-03; 预印本: 2020-10-18

基金项目: 国家重点研发计划(编号:2018YFC1506500)

第一作者简介: 陈洁, 1983年生, 男, 高级工程师, 研究方向为卫星遥感生态环境与灾害监测评估应用。E-mail: chenjie@cma.gov.cn

的中红外通道亮温差异一般不到0.5 K（具体变化值因观测时间而异），若按高于6倍计算也不大于3 K。目前国家卫星气象中心的静止卫星火点判识方法（陈洁，2017），采用6 K阈值，而时序法的阈值相比该阈值减小了一半，这将极大提高火点探测的灵敏度。

介绍H8静止气象卫星时序法判识火点的原理和方法，并利用黑龙江桦川县地面秸秆焚烧试验对时序法判识火点进行验证，通过个例分析。结果显示，时序法对于火点发生初期的判识中十分有效，灵敏度比上下文法有较大提升，两种判识方法结合，可实现火情初期、发展及减弱过程的全方位监测。

2 基本原理

目前，卫星遥感火点判识大都采用上下文法，包括国外的MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectral Radiometer）、VIIRS（Visible and Infrared Imaging Radiometer Suite）等全球火点监测和中国风云系列火点监测系统（李亚军等，2017），该方法使用简单，但在灵敏度上存在局限性。国家卫星气象中心目前采用的空间相对阈值为6 K，可探测像元万分之一面积比例的火点。由于气象卫星热红外传感器的分辨率为公里级别，该灵敏度在小火点判识时容易出现漏判。利用亚像元明火面积估算公式（刘诚等，2004），当亮温阈值到3 K时，可提取像元十万分之六的明火面积，即火点判识所需的最小面积提高近1倍，如图1所示。

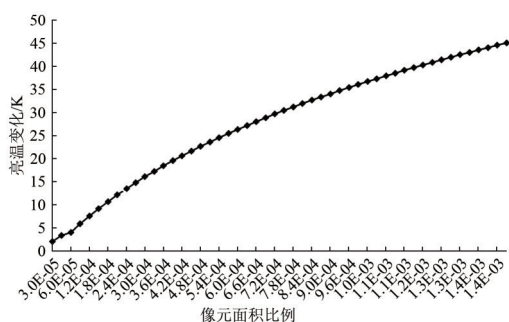


图1 火点像元面积比例与亮温变化关系图

Fig. 1 The relationship between the fire spot area ratio of the pixel and the changing of the brightness temperature

时序法主要利用被判识像元在时间序列上的亮温变化率来确定该像元是否存在火情，公式为

$$\Delta\Delta = \Delta T/\Delta u \quad (1)$$

式中， $\Delta\Delta$ 是亮温变化率， ΔT 是前后时次的亮温

差， Δu 是前后观测时次时间差。通过分析变化率与常规背景变化率的比较，得到判识像元内是否存在其他释放的热源信息。当前静止气象卫星10 min即可获取一次观测，而地表温度在该时间段内的变化较小，一般不到0.5 K，利用同一像元前后时次的亮温变化阈值，可提高卫星遥感火点判识灵敏度。地表下垫面在没有火情状态下，地表加热能量主要来自太阳，根据热导方程式为

$$\nabla^2 v - \frac{1}{\kappa} \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

式中， v 是热力学温度， t 是时间， κ 是导热系数，与材料的热导系数、密度、比热或者热容量有关（Henry，1948）。地表温度的变化由周期性的太阳辐射驱动，它提供了周期热通量。太阳辐射对地表的加热作用，公式为

$$-\kappa \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} = (1 - \rho) v_s^4 - \varepsilon \sigma v^4 + I(t) \quad (3)$$

式中， v_s 是有效天空长波辐射温度， I 是透过大气到达地面的入射太阳辐射， κ 是导热系数， x 是渗入地表距离， t 是时间。第1项和第3项分别为天空和太阳入射的辐射通量，第2项为地表输出的发射辐射通量。太阳辐射 I 是太阳光谱区（大部分为可见光和近红外区）地表反射率、太阳赤纬、黄纬和局地斜率的函数（Kahle和Rowan，1980），公式为

$$I(t) = (1 - A) \cdot S_0 \cdot C \cdot H(t) \quad (4)$$

式中， A 是地表反射率， S_0 是太阳常数， C 是云对太阳辐射减弱的因子。

$$H(t) = \begin{cases} M \cdot Z(t) \cdot \cos Z'(t), & \text{白天} \\ 0, & \text{黑夜} \end{cases} \quad (5)$$

式中， $Z'(t)$ 是倾斜地表的局地天顶角， $Z(t)$ 是天顶角， M 是大气衰减，它是天顶角 Z 的函数。时间 t 与太阳角度有关。针对白天晴空大气，理想状态地表温度变化主要由太阳照射引起，到达地表被吸收的有效太阳辐射公式可转换为

$$I(\phi) = (1 - A) \cdot S_0 \cdot \delta \cdot \varepsilon \cdot \sin(\phi) \quad (6)$$

式中， ε 为大气透过率， δ 为地表吸收率， ϕ 为太阳高度角。

针对特定时间的固定区域，假设 A 、 ε 和 δ 为常量，下垫面类型保持不变，则地表吸收的能量只与太阳高度角 ϕ 有关，随着太阳高度角的增大，吸收的能量也逐渐增多，即地表吸收的能量与太阳高度角的三角函数成正比。利用不同时段前后

时次的温度变化率与非着火状态的背景变化率相比较, 得出判识像元的增温 (或降温) 过程中, 是否有火情存在。

3 时序法火点判识方法

像元存在火情时, 很少出现整个像元完全燃烧的现象, 卫星遥感火点判识主要针对亚像元火点判识及面积估算 (刘诚 等, 2004), 亚像元信息提取也是时序法优势的体现。时序法通过比较前后时次的亮温差异来判断是否属于热异常从而提取火点信息。判识流程如图 2 所示:

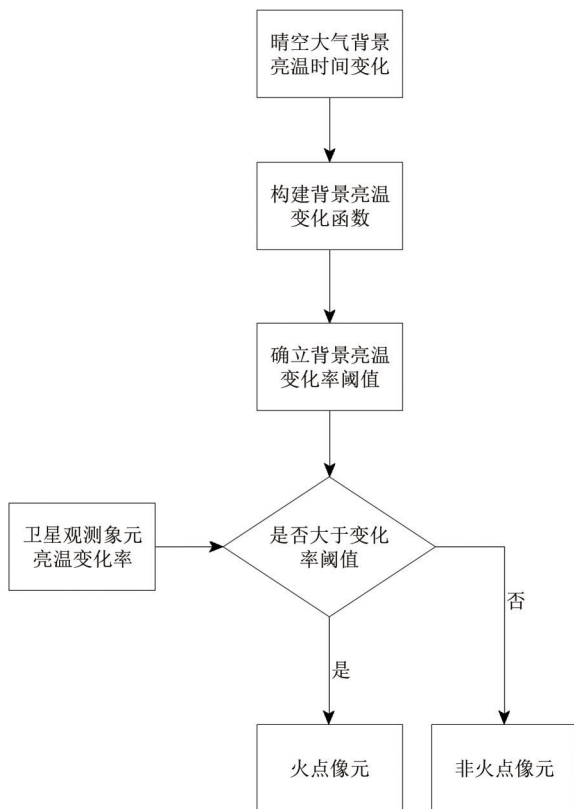


图 2 时序法流程图

Fig. 2 The flow chart of temporal sequence method

利用 H8 2016-03-29 T 06:00 至 2016-03-30 T 06:00 (北京时间) 24 h 数据制作的晴空条件下东北未着火林区像元中红外 (中心波长 4.05 μm) 像元亮温时序变化曲线图 (图 3)。从 H8 中当日前后观测时次的中红外亮温差中可见 (图 4), 中红外通道相邻时次亮温变化幅度有一定的日变化规律, 其中从凌晨到上午期间的增温幅度较大, 最大幅度超过 1 K, 从中午到傍晚期间的变化幅度较小, 最大幅度小于 0.5 K。

3.1 构建背景亮温时序变化函数

为判断晴空条件下背景像元在任意时刻的亮温变化是否属于异常情况, 需要获取背景亮温的常规时序变化, 构建背景亮温的时序变化函数。背景亮温的构建方法为情况大气条件下, 利用背景亮温的时间序列变化, 建立常态化的亮温时序变化函数。时间尺度一般需要日周期 24 小时的连续分钟级观测。当亮温变化超过正常振幅时, 被认为存在云或者异常热象元, 此时背景亮温需重新构建。对于固定区域, 地表接受的太阳辐射与太阳高度角相关, 结合图 3 中的晴空大气下垫面中红外亮温变化数据分析, 下垫面亮温变化与太阳角度变化可简化成 3 个时间段: (1) 白天升温时段, (2) 白天降温时段, (3) 夜间降温时段。得到理想状态的变温曲线, 如图 5 所示。结合地表增温基本原理, 即辐射能量与太阳高度角呈正相关, 地表背景亮温与太阳高度角的关系可描述为

$$T = \begin{cases} (T_{\max} - T_{\min}) \cdot \sin(\phi) + T_{\min} & \left(0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}\right) \\ (T_{\max} - T_1) \cdot \sin(\phi) + T_1 & \left(\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq \pi\right) \\ -\frac{T_1 - T_{\min}}{\pi} \cdot \phi + (2 \cdot T_1 - T_{\min}) & (\pi \leq \phi \leq 2\pi) \end{cases} \quad (7)$$

式中, T 是瞬时亮温; T_{\max} 是日最高亮温; T_{\min} 是日最低亮温; T_1 是太阳高度角下降至 0° 时的亮温。

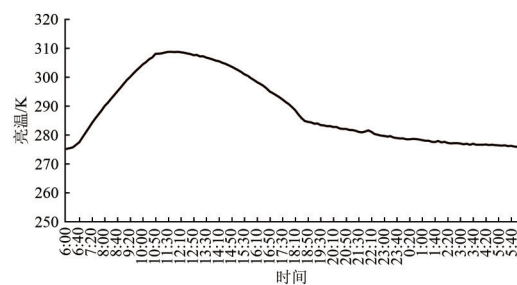


图 3 中红外亮温时序变化
(2016-03-29 T 06:00 — 30 T 06:00)

Fig. 3 Temporal series of mid-infrared bright temperature
(2016-03-29 T 06:00 — 30 T 06:00)

3.2 构建亮温时序变化率阈值

不同季节, 单日内亮温变化绝对值存在差异, 为减少因不同时间、不同地区带来的差异, 将亮温差异值转换成亮温变化率。利用式 (7), 可估算像元任意时段亮温变化率。根据不同纬度、不同下垫面类型日温度变化温差未达 60 K 的特性 (孟

翔晨等, 2019), 假设满足不同地区、不同季节的最大温差 60 K 的条件。建立符合白天理想状态的亮温变化率曲线 (降温阶段取绝对值), 如图 6 所示。

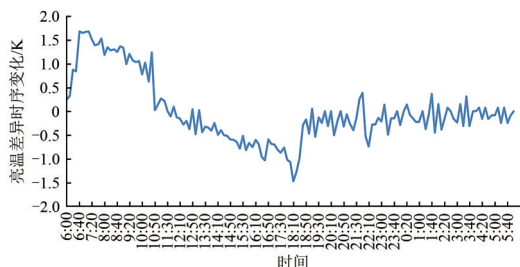


图 4 中红外亮温差异时序变化
(2016-03-29 T 06:00 — 30 T 06:00)

Fig. 4 Temporal series of mid-infrared bright temperature difference (2016-03-29 T 06:00 — 30 T 06:00)

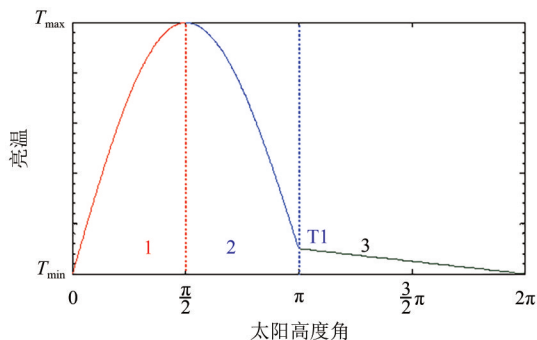


图 5 理想状态晴空地表亮温随太阳高度角变化图

Fig. 5 The change of surface brightness temperature with solar altitude angle under ideal clear sky conditions

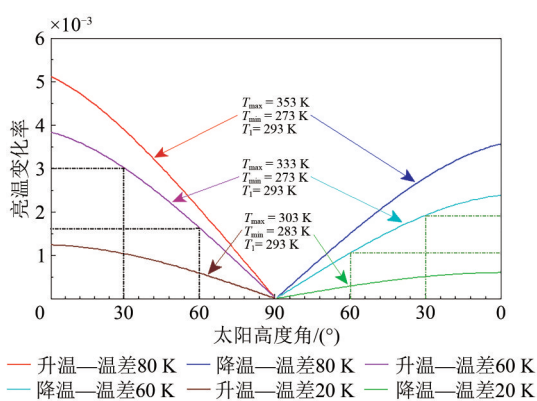


图 6 不同太阳高度角的亮温变化率曲线

Fig. 6 The bright temperature rate of changing curve with difference solar altitude angle

将白天时间通过高度角等分成 6 个区间, 各阶段最大假设阈值选取:

假设条件: $T_{\max} = 333 \text{ K}$ (60°C), $T_{\min} = 273 \text{ K}$

(0°C), 温差 60 K。

升温阶段: 太阳高度角在 $0^\circ-30^\circ$, 亮温增长变化率为 0.35%; 太阳高度角在 $30^\circ-60^\circ$, 亮温增长变化率为 0.3%; 太阳高度角在 $60^\circ-90^\circ$, 亮温增长变化率为 0.2%。

降温阶段: 太阳高度角在 $90^\circ-60^\circ$, 亮温增长变化率为 0; 太阳高度角在 $60^\circ-30^\circ$, 亮温增长变化率为 0.1%; 太阳高度角在 $30^\circ-0^\circ$, 亮温增长变化率为 0.2%。

以温差 60 K 为例, 升温阶段最大变化率小于 0.4%, 降温阶段最大变化率小于 0.3%。时序法判识过程中在升温阶段, 若实际升温率超过 N 倍的最大变化率, 可认为像元存在高温异常信息 (升温速度高于正常升温); 在降温阶段, 若 M 倍的实际降温低于最大变化率, 可认为像元存在高温异常信息 (降温速度慢于正常降温, 甚至出现逆向升高), 此处的 N 倍和 M 倍分别为温差在 60 K 条件下 (图 6 中的变化率曲线), 升温 and 降温过程的倍数阈值, 该阈值倍数用于确定判识时刻是否有加热源 (火点) 存在。

3.3 时序法火点判识

(1) 判识条件。当像元的时序变化率满足以下条件时判定为火点, 公式为

$$\Delta\Lambda > \Delta T_4 \cdot \Delta\Lambda_{bg} \quad (8)$$

式中, $\Delta\Lambda$ 是亮温变化率, ΔT_4 为中红外通道亮温系数, 即升温阶段的 N 倍和降温阶段的 M 倍数; $\Delta\Lambda_{bg}$ 为背景变化率阈值, 该参数通过 60 K 亮温假设条件的亮温变化率曲线函数计算得到, 如图 6 所示。

(2) t 时刻预估值计算方法。若在 t 时刻有云而获取不到该时刻的亮温值时, 中红外通道在 t 时刻的估算值将根据像元亮温时序变化的三段函数计算得到, 如在白天升温阶段, 像元亮温值在 t 时刻的估算公式为

$$PT(t) = Q \cdot \sin((t - t_0)/\Delta t \cdot \pi/180) \quad (9)$$

式中, $PT(t)$ 是 t 时刻的亮温, Q 为像元中红外通道日最大增温幅度, t 、 t_0 分别为当前时间和增温开始时间, 单位为分钟, 取当地地方时。 $\Delta t = (t_{\max} - t_0) / 90$; t_{\max} 为当日最高亮温的时间。获取前后两次亮温及其变化率的基础上, 再通过判识条件判断火点。

4 验证及分析

2018-04-21—27, 国家卫星气象中心在黑龙江省佳木斯市桦川县开展了针对气象卫星遥感东北地区秸秆焚烧火点的星地同步观测实验。卫星观测数据来自H8静止气象卫星。实验期间, 共完成了多次卫星遥感秸秆焚烧火点的天地同步观测, 并对时序法火点判识效果进行检验。利用其中两次情况天气的观测结果进行时序法和上下文法火点判识精度的对比分析。

(1) 过程一。2018-04-23, 晴空, 实验区经纬度为47.013°N和130.691°E, 实验当日点火4次, 分别为9:00、10:00、13:00和15:00(北京时)。人工点燃的秸秆火点呈分散分布, 如图7所示。当日卫星观测中红外亮温数据(08:00—17:40)及亮温变化率, 如图8所示。从中红外通道亮温变化分析, 燃烧期间, 中红外有不同程度的变化, 其中10:30的火势最大, 亮温变化非常明显, 13:00的火势较小, 但在亮温值上也有反应。



图7 黑龙江省桦川县秸秆焚烧现场图片

Fig. 7 Photo of straw burning site in Huachuan county, Heilongjiang province

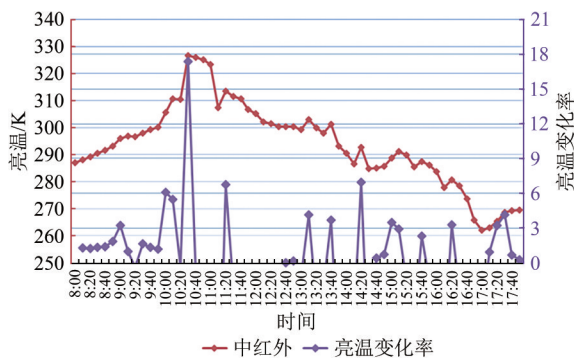


图8 黑龙江省桦川县秸秆焚烧亮温及亮温变化率

Fig. 8 Bright temperature and rate of straw burning site in Huachuan county, Heilongjiang province

利用时序法和上下文法针对当日监测分别进行了判识, 结果如表1所示。对于时序法, 当亮温变化率大于3 K时, 可被判识为有火点; 上下文法中, 空间温差大于6 K被判识为火。图9(a)—图9(c)分别为当日09:00、10:00和10:30的H8中红外图, 颜色越黑表示亮温越高, 黄色十字星为实验区位置。利用上下文法分析, 从图9(a)上可见, 图中实验区相比周边略偏高3.2 K, 该值在上下文法中远未达火点阈值, 无法判识为火点; 图9(b)中亮温较周边偏高6.8 K, 该值通过阈值线, 可判识出火点; 图9(c)中亮温较周边偏高25 K, 该阈值远超上下文法中火点判识阈值, 特性非常明显。但在时序法中, 09:00的卫星影像可判识出火势较弱的火点。

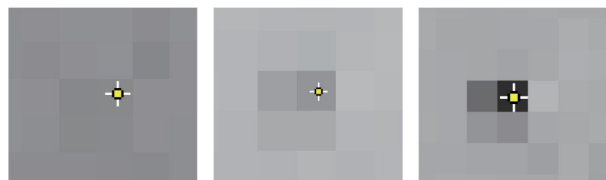
表1 时序法、上下文法火点判识分析

Table 1 Sequential and contextual methods of fire spot identified analysis

时间	地面是否有火	准确性		
		时序法	上下文法	联合
9:00	有	准确	漏判	准确
9:10	有	漏判	漏判	漏判
10:00	有	准确	准确	准确
10:10	有	准确	准确	准确
10:20	有	准确	准确	准确
10:30	有	准确	准确	准确
10:50	有	漏判	准确	准确
11:00	有	漏判	准确	准确
11:10	有	漏判	准确	准确
11:20	有	准确	准确	准确
11:30	有	漏判	准确	准确
11:40	有	漏判	准确	准确
11:50	有	漏判	准确	准确
13:10	有	准确	漏判	准确
13:40	有	准确	准确	准确
14:20	有	准确	漏判	准确
15:00	无	误判	—	误判
15:10	有	准确	漏判	准确
17:20	有	准确	漏判	准确
17:30	无	误判	漏判	误判

统计结果显示, 时序法准确11次, 漏判7次, 误判2次; 上下文法准确12次, 漏判7次, 误判1次。联合判识, 准确17次, 误判2次, 漏判1次。

从判识结果分析, 时序法判识的火点时间都是上下文法漏判的时次, 即时序法在火点初期即能监测到信息, 在小火点判识中优势明显。从该过程可以发现, 若单独使用上下文法, 无法获取早期的火情, 而使用时序法可较好的弥补该缺陷。若火点判识中采用时序法和上下文法联合的方法, 即火情判识初期采用时序法, 中期采用上下文法, 后期时序法和上下文法共同使用, 则准确率接近90%。



(a) 09:00 影像 (b) 10:00 影像 (c) 10:30 影像
(a) 09:00 image (b) 10:00 image (c) 10:30 image

图9 上下文法火点判识结果

Fig. 9 The result of fire judgment using contextual method

(2) 过程二。2018-04-25, 晴天, 实验区经纬度为 46.76°N 和 130.39°E , 当日点火一次, 燃烧时间为13:30—15:00, 现场过火如图10所示。当日卫星观测数据及太阳高度角变化信息如图11所示。当日结果见表2, 时序法判识出3次, 当前后时次均有火时, 出现两次漏判, 而上下文法由于火势较小, 空间亮温差未到判识阈值无法提取火点。



图10 黑龙江省桦川县秸秆焚烧现场图片

Fig. 10 Photo of straw burning site in Huachuan county, Heilongjiang province

通过以上两个实验过程的分析结果可见, 当火情发生初期, 即便火点像元亮温较周边像元增量较小(低于上下文法的火点判识阈值), 仍可被

时序法探测到。而上下文法需要火点像元亮温增量到一定幅度(6—8 K左右), 远高于时序法阈值, 因此, 时序法在对初发火点的判识效果较上下文法有明显优势。但当受到云区干扰或火场发展变化过程中, 时序法有可能出现误判, 此时, 结合上下文法, 将有效补充时序法的不足, 整体提高卫星遥感对火情过程的监测能力。

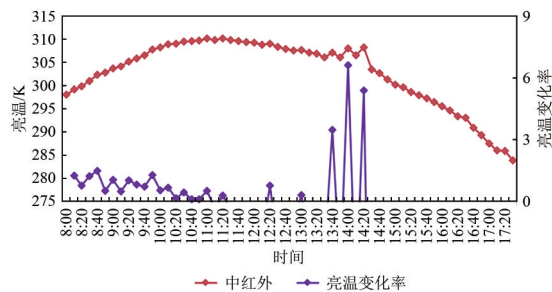


图11 黑龙江省桦川县秸秆焚烧亮温及变化率

Fig. 11 Bright temperature and rate of straw burning site in Huachuan county, Heilongjiang province

表2 时序法、上下文法火点判识分析

Table 2 Sequential and contextual methods of fire spot identified analysis

时间	地面是否有火	准确性		
		时序法	上下文法	联合
13:40	有	准确	漏判	准确
13:50	有	漏判	漏判	漏判
14:00	有	准确	漏判	准确
14:10	有	漏判	漏判	漏判
14:20	有	准确	漏判	准确

5 结论

本文利用静止气象卫星高观测频次的特点, 提出了基于静止气象卫星时间序列的火点判识方法。通过理论假设及实地验证结果显示, 时序法的灵敏度较高, 相比上下文法, 在火情发生初期的小火点监测中有明显优势, 时序法火点判识阈值较上下文法降低50%左右, 可探测的亚像元火点面积也相应减小50%以上, 因而对小火点判识的灵敏度明显提高, 在及时发现森林草原火情早期的初发火点方面能发挥较大作用。

时序法的技术难点在于像元定位精度及易受其他因素干扰, 如云覆盖等。在有云覆盖时, 即使微弱的薄云, 也将难以满足时序判识条件。此外在火点连续监测中也存在不足, 若将时序法和

上下文法的结合使用,可大幅度提高探测精度和时效。针对时序法中存在的问题以及与上下文法结合使用的研究仍需研究者进一步探索。

参考文献(References)

- 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]
- Calle A, Casanova J L and Romo A. 2006. Fire detection and monitoring using MSG Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(G4): G04S06 [DOI: 10.1029/2005JG000116]
- 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]
- Giglio L, Descloitres J, Justice C O and Kaufman Y J. 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87(2/3): 273-282 [DOI: 10.1016/s0034-4257(03)00184-6]
- Guang X and Xu Z. 2017. Real-time wildfire detection and tracking in Australia using geostationary satellite: Himawari-8. *Remote Sensing Letters*, 8(11): 1052-1061. [DOI: 10.1080/2150704X.2017.1350303]
- Hassini A, Benabdelouahed F, Benabadi N and Belbachir A H. 2009. Active fire monitoring with level 1.5 MSG satellite images. *American Journal of Applied Sciences*, 6(1): 157-166 [DOI: 10.3844/ajassp.2009.157.166]
- Henry R L. 1948. The transmission of powder films in the infra-red. *Journal of the Optical Society of America*, 38(9): 775-789 [DOI: 10.1364/JOSA.38.000775]
- Kahle A B and Rowan L C. 1980. Evaluation of multispectral middle infrared aircraft images for lithologic mapping in the East Tintic Mountains, Utah. *Geology*, 8(5): 234-239 [DOI: 10.1130/0091-7613(1980)8<234:EOMMIA>2.0.CO;2]
- Kaufman Y J, Justice C O, Flynn L P, Kendall J D, Prins E M, Giglio L, Ward D E, Menzel W P and Setzer A W. 1998. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D24): 32215-32238 [DOI: 10.1029/98JD01644]
- Li Y J, Zheng W, Chen J and Liu C. 2017. Fire Monitoring and application based on meteorological satellite. *Aerospace Shanghai*, 34(4): 62-72 (李亚军, 郑伟, 陈洁, 刘诚. 2017. 气象卫星遥感火情监测应用. *上海航天*, 34(4): 62-72) [DOI: 10.19328/j.cnki.1006-1630.2017.04.008]
- Liu C, Li Y J, Zhao C H, Yan H and Zhao H M. 2004. The method of evaluating sub-pixel size and temperature of fire spot in AVHRR data. *Journal of Applied Meteorological Science*, 15(3): 273-280 (刘诚, 李亚君, 赵长海, 阎华, 赵洪森. 2004. 气象卫星亚像元火点面积和亮温估算方法. *应用气象学报*, 15(3): 273-280) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-7313.2004.03.003]
- Matson M and Schneider S R. 1984. Fire Detection Using the NOAA-Series Satellite. NOAA Technical Report NESDIS 7. NOAA
- Meng X C, Liu H and Cheng J. 2019. Evaluation and characteristic research in diurnal surface temperature cycle in China using FY-2F data. *Journal of Remote Sensing*, 23(4): 570-581 (孟翔晨, 刘昊, 程洁. 2019. 基于FY-2F数据的中国区域地表温度日变化模型评价及特征研究. *遥感学报*, 23(4): 570-581) [DOI: 10.11834/jrs.20197330]
- Miao T T and Shen R P. 2013. Automatic extraction algorithm of forest fire points from MODIS imagery based on background information. *Science of Surveying and Mapping*, 38(5): 49-50, 60 (缪婷婷, 沈润平. 2013. 基于背景信息的MODIS林火自动提取算法. *测绘科学*, 38(5): 49-50, 60) [DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2013.05.008]
- Rong Z G, Liu C, Sun H, Ma L J, Lu N M, Liu J J, Zhang Y X, Zhong S Q, Zhang Y, Zhang P, Zhang J S, Li Y J, Zhang X Q, Ma R S and Wang J H. 2007. Sensitivity experiment for fire detecting using satellites' data and new detection channel selection for fire remote sensing. *Advances in Earth Science*, 22(8): 866-871 (戎志国, 刘诚, 孙涵, 马轮基, 卢乃锰, 刘京晶, 张玉香, 钟仕全, 张艳, 张鹏, 张甲坤, 李亚君, 张行清, 马瑞升, 王君华. 2007. 卫星火情探测灵敏度试验与火情遥感新探测通道选择. *地球科学进展*, 22(8): 866-871) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.2007.08.013]
- Schroeder W, Oliva P, Giglio L and Csizsar I A. 2014. The new VIIRS 375 m 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]

Temporal sequence method for fire spot detection using Himawari-8 geostationary meteorological satellite

CHEN Jie, ZHENG Wei, LIU Cheng, TANG Shihao

National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081, China

Abstract: Wild fires, especially large-scale wild fires, in forests, grasslands and farmlands have a significant influence on crop productivity, atmospheric pollution, biodiversity, climate change and public health. In recent years, the increasing events of forest fires in China, US, Australia, and Amazon Rain Forests and grassland fires in Mongolia have caused a large number of causality. Due to its great influences, growing emphasis has been placed on the monitoring of wild fires based on remote sensing products, such as using MODIS, NOAA and other polar orbit meteorological satellites. With the launch of a new generation of geostationary meteorological satellites, the characteristics of high frequency and real-time observation have obvious advantages for fire spot detection. Based on the high frequency observation characteristics of Himawari-8 that a new generation geostationary meteorological satellite, the objectives of this paper proposes a temporal sequence detection method to extract the initial fire spot of fire behavior. This method of geostationary meteorological satellite will greatly improve the method of fire identification, give full play to the advantage of temporal sequential, and realize the early detection of fire by remote sensing.

The method of study for identifying fire points is based on the pixel temperature brightness difference in observation times and its rate, which is different from the conventional contextual method used in remote sensing fire monitoring of polar orbit meteorological satellites. According to the brightness temperature change value of detected pixel at the same position and different time, when the brightness temperature change value of the current and subsequent times exceeds the threshold, the pixel can be identified as a fire point. The change of observation methods has brought about a great improvement in monitoring sensitivity and timeliness in fire monitor.

The results showed that under the condition of cloud-free and no abnormal heat source, the mid-infrared bright temperature have little difference between the adjacent times. Generally, the brightness temperature change of minute interval is less than 0.5 K. When the bright temperature rate between the current time and later time reaches 3K, the fire spot can be identified, while the threshold of contextual method is above 6 K. Compared with the contextual method, the temporal sequential method reduces the threshold of recognition by half and increases the sensitivity by more than twice. The fire spot detection threshold of the temporal sequential method is significantly lower than that of the contextual method.

This paper introduces the method of temporal sequence for fire spot detection, and verifies it with the satellite and ground synchronous observation experiment in huachuan county, heilongjiang province. The conclusion demonstrated that this method is benefit to find early fire spot. If the threshold of contextual method is used alone, the early fire is difficult to be obtained, but the method of temporal sequence can make up for this defect. Temporal sequence method is used in the early stage of fire identification, context method is used in the middle stage. The combination of the temporal sequence method and the fluctuation of contextual can improve the meteorological satellite monitoring ability of fire development process.

Key words: remote sensing, Himawari-8, geostationary meteorological satellite, temporal sequence method, fire detection

Supported by National Key Research and Development Program of China(No. 2018YFC1506500)