

一种增强的基于上下文火点遥感影像识别方法

李亚春^{1,2)} 张旭晖¹⁾ 吴洪颜¹⁾ 高苹¹⁾ 夏德深²⁾

¹⁾(江苏省气象科学研究所, 南京 210008) ²⁾(南京理工大学计算机系 603 教研室, 南京 210094)

摘要 传统的火点遥感影像识别方法大多采用阈值法,但阈值的选择受区域、季节以及云天状况等多种因素的限制,因而在实际监测中往往效果不佳。针对这些问题,提出了一种增强的基于上下文信息的火点遥感影像识别方法,考虑了火点与其相邻像元之间的内在联系,在火点背景像元的确定及真实火点的判据选择等方面做了改进,在此基础上确定一组火点判据。该方法基本不受区域、时间等因素的限制,对面积较小的火点识别较为敏感,在实验中取得了较好的效果。

关键词 上下文 火点 识别 遥感

中图分类号: TP751.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)09-1627-06

An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm Based on Remote Sensing Images

LI Ya-chun^{1,2)}, ZHANG Xu-hui¹⁾, WU Hong-yan¹⁾, GAO Ping¹⁾, XIA De-shen²⁾

¹⁾(Meteorological Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210008)

²⁾(603 Laboratory Computer Department of Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract Most of the present satellite-based fire detection methods are based thresholds. The thresholds adopted in these methods are generally limited to a specific area, or certain seasonal weather conditions, therefore the actual effects are sometimes unsatisfactory especially in the detection of small-scale mountain forest fire. In response to these problems, an enhanced contextual algorithm for detection of forest fire(ECFDA) was introduced in this paper. Based on the relationships between the fire pixel and its background pixels, this algorithm made improvements on the confirmation of the neighbouring pixels of potential fire and established a criterion for the detection of fire. This method was adaptive to different areas and seasons and was sensitive to small-scale mountain forest fire. The results in our experiments have confirmed the potential of this method.

Keywords contextual, forest fire, detection, remote sensing

1 引言

森林火灾已日益成为破坏森林资源与和谐环境的重大威胁。近年来,由于气候变暖而导致的干旱加剧以及人类活动等原因,许多地方森林火灾都呈上升的趋势^[1]。因此加强林火监测具有重要的现实意义。虽然卫星遥感监测林火还存在许多不足,

但仍然是大范围林火监测的一个有效且经济的工具和手段^[2]。

NOAA 极轨气象卫星在林火监测方面具有两个优点:一是能提供全天观测资料,二是装载的甚高频探测仪 AVHRR 光谱覆盖范围从可见光(0.58 ~ 0.68 μm)、近红外(0.725 ~ 1.10 μm)、中红外(3.55 ~ 3.93 μm)到两个热红外波段(10.5 ~ 12.5 μm)都能对林火监测提供有用信息^[3]。林火的明火温度可

基金项目:江苏省社会发展项目(BS2006088);江苏省气象局重点项目(200307)

收稿日期:2006-01-20;改回日期:2006-07-14

第一作者简介:李亚春(1966 ~),男,高级工程师,硕士。主要从事卫星遥感应用、图像处理与模式识别等研究,已发表论文 10 余篇。

E-mail: yachun_li@sohu.com

达1000K左右,其发射的热辐射波谱峰值约在 $3.7\mu\text{m}$ 附近,因此NOAA/AVHRR的 $3.7\mu\text{m}$ 波谱段(3通道)对火非常敏感,它甚至能探测到前沿锋线仅50m长的明火区^[4]。其他通道对火的敏感程度要相对低一些。基于AVHRR火点探测基本原理,国内外学者提出了各种不同的火灾遥感识别方法。Kaufman等人^[5]于1990年就提出了基于三、四通道亮温的阈值法,随后Kennedy等人^[6]对此方法进行改进,考虑到三通道因亮土或太阳耀斑等产生高反照率而出现的饱和现象,他们引入了二通道反照率的限制阈值。此后的算法大多是在阈值法的基础上进行改进^[7,8]的。阈值法虽然原理简单,计算简便,但在实际应用中的效果还不够理想,而且无论是单通道还是多通道阈值法,阈值的选取大多是凭经验而受限于特定的地区和季节,因而在不同时段和地区的火灾监测中有时会出现较多的漏测或误测^[9]。此外,在业务中要在短时间内选出合适的阈值往往很困难。

基于上下文的火点遥感识别方法(CFDA)能够较好地解决这些问题。就遥感图像中地面目标的识别而言,由于各种地物都有其特定环境,目标与目标间、目标与背景间都具有内在关联。通常,一类目标的存在可以确定或排除其邻域中另一类目标出现的可能性。例如,造船厂不会设置在没有水域的地方;机场一类的组合目标,其跑道、滑行道、停机坪、指挥塔台等各个组合单元都是按一定的关系进行位置配置的;对于火点目标,火灾不会发生于水体或云层中间,火点的温度与其周围环境有明显差异等,把这样一些由周围环境所传递的信息,称为上下文信息。基于上下文的火点遥感识别方法正是基于这一思想:即要判别一个像元是否为火点,应当寻找火点与其周围背景像元在热特性、反照率等上下文信息的差异。如果两者之间的反差足够大,那么就将其判定为火点,否则就不是火点。这一算法与传统的阈值法的主要区别在于火点判据是建立在相对的上下文信息上而不是绝对的一个阈值。也就是说这一算法是自适应的,能够在不同的环境下自动识别和监测火点。最早见到将基于上下文思想用于火点遥感识别的是在Justice等人^[10]的文章中。此后,Flasse等人^[11]将此方法用于NOAA/AVHRR的火点识别,Louis等人^[9]则应用于EOS/MODIS的火点识别,均取得了较好的效果。Flasse等人提出的CFDA算法主要有两步:

(1) 选择疑似火点。定义遥感影像上的异常高温像元点为疑似火点。类似于传统的火点识别方法,通过设置一定的阈值条件,选择感兴趣的所有疑似火点。

(2) 确认真实火点。定义疑似火点中用算法识别出的“真”火点为真实火点。选择从 3×3 到 15×15 的动态窗口,将窗口中疑似火点的邻近像元中非疑似火点作为背景,统计背景像元中亮温均值、均方差等特征信息,将疑似火点与背景进行比较,设置一组阈值,以判别出真实火点。规定窗口中至少有25%的像元为背景且至少要有3个背景像元用于计算,否则该疑似火点被认定为非火点。

CFDA算法在不同的环境中都取得了不错的效果,但仍有15%的像元被误检,其原因主要是云及背景像元的干扰。本文提出了一种增强的基于上下文火点遥感识别方法(ECFDA),在火点背景像素的确定及真实火点的判据选择等方面做了改进,使得算法性能得到进一步提高。

2 ECFDA 算法设计

基于上下文的火点识别算法实际上将模式识别中的排除法和确认法结合了起来。首先用排除法试图将基本不可能成为火点的像元点全部排除在外,而留下所有疑似火点,然后通过确认法的原则在这些疑似火点中进行真火点的鉴别。由于CFDA算法在选择疑似火点时,阈值的选取要求尽可能包括所有可能的火点(高温像元点),其范围要比真实火点大得多,因此温度阈值只要足够低,反照率阈值只要足够高即可,阈值选取十分容易。CFDA算法中相对困难的是真实火点的确认,而这一步较为关键的是背景像元点的确定。本文对此做了一些改进。此外,虽然基于上下文的目标识别算法一般不限于特定条件的地区,但算法的效率和表现依然会受到大气和云天状况等的影响,因此,为减少大气和云天状况对火点识别的干扰,本实验首先进行大气校正以及云和水体的剔除等预处理。

2.1 预处理

定量遥感反演研究必须从遥感器所接受到的大气-陆地混合信号中提取出陆表目标物体的贡献部分,消除所观察目标非相关的信息。因此定量遥感首先要解决的核心问题是大气校正。在众多的大气校正方法中,6S(second simulation of the satellite

signal in the solar spectrum)模型是建立在辐射传输理论基础之上,模式综合考虑了地形、气象、光谱等多个要素进行模拟计算,适用于多种卫星及波段范围,不受研究对象及目标物类型、背景等的影响,应用范围广,精度较高。本实验就采用6S模式进行大气校正。模型中主要参数分别为:几何条件为当时的太阳天顶角和卫星天顶角,大气模型、水汽含量、臭氧含量、光学厚度都根据当时情况选择和计算,气溶胶模型选用大陆型。

云和水体的识别主要采用阈值法。通过试验,本实验中云的识别采用以下阈值:

$$\rho_1 > 30\%, T_4 < 270K, \rho_2 - \rho_1 < 0 \quad (1)$$

水体的识别采用以下阈值:

$$\rho_1 < 15\%, T_5 > 270K, \rho_2 - \rho_1 < 0 \quad (2)$$

式中, T_i 表示第 i 通道的亮度温度, ρ_j 表示第 j 通道的反照率。

2.2 疑似火点的判别

与 CFDA 算法一样, ECFDA 也通过选择适当的阈值选取疑似火点。根据实验结果,把满足下列条件的像元点称为疑似火点:

$$T_3 > 312K \text{ 且 } T_3 - T_4 > 14K \quad (3)$$

式中, T_i 表示第 i 通道的亮度温度。之前我们在阈值法中,上述两个阈值一般取 $T_3 > 320K$ 和 $T_3 - T_4 > 8K$ 。与之相比较,本算法中 T_3 的取值较小,这是为了将尽可能多的疑似火点选入我们关心的范围内以供进一步的处理,从而减少漏检的可能。 $T_3 - T_4$ 的取值又显得相对较高,这是为了尽量将非火点像元排除在外。经过筛选,留下了最大范围的疑似火点以供继续判别确认。

考虑到 NOAA/AVHRR 第3通道会出现饱和现象,从而将具有较高反照率的亮土或太阳耀斑等误判为火点,因此加上第2通道的反照率阈值进行进一步筛选,将高反照率的像元点从疑似火点中剔除,使得疑似火点的范围有所缩小,减少了计算量。根据经验,第2通道反照率满足以下条件的为非火点,将其从疑似火点中剔除:

$$\rho_2 > 20\% \quad (4)$$

式中, ρ_2 表示第2通道的反照率。

2.3 火点背景的选择

CFDA 算法中选择火点背景时采用了从 3×3 到 15×15 的动态窗口,这主要是考虑到业务应用中监测大范围火灾的需要,而实际生活中更多的是面积相对较小的山林火灾。况且大范围的森林火灾在

卫星遥感图上即使用阈值法也是很容易发现的。因此, ECFDA 算法着眼于小范围的山林火灾检测,选用大小分别为 3×3 和 5×5 的两个窗口,且规定窗口中背景像元的个数要超过 80%。也就是说,对于 3×3 窗口,一般可以检测出最大范围约 1 个像元大小(约 1km^2)的火点,对于 5×5 窗口,则可以检测出最大范围约 5 个像元大小(面积约 5km^2)的林火,这样既满足了实际林火监测的需要,同时也大大减少了算法的计算时间。

具体在选择窗口时,要先根据 2.2 节中方法判别疑似火点,以疑似火点像元为中心,先选用 3×3 窗口,计算窗口中背景像元个数,若不符合背景像元个数超过 80% 的要求,则选用 5×5 窗口继续判别,若仍不符合要求,则该疑似火点被剔除并认定为非火点,若符合要求则继续进行后面的步骤。由于本文选用的窗口较小,且规定的背景像元个数较多,因此该方法仅对面积相对较小的火灾敏感,而对大范围森林火灾未必适用。这可以通过选择更大的窗口来解决这一问题。

在 CFDA 算法中,某一窗口中的火点背景为除去疑似火点的所有像元点,因而背景像元中既包含了陆地或植被,同时也包含了云或水面。因此,计算的背景信息特征值如均值、均方差等势必受到影响,进而干扰目标识别的判据和算法效果。为此,本研究在火点背景中剔除了云和水体的像元点,从而确保背景像元的相对均一。

2.4 真实火点的确认

NOAA/AVHRR 每一像元获取的是下垫面约 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 范围内的积分辐射值,由于火点的热辐射作用,必然会影响到火点相邻像元的辐射温度,从而影响到相邻像元在红外通道上的亮温值。从理论上讲,相邻像元受到火点影响的程度与其跟火点的距离有关,一般距离越近,影响越大,距离越远,影响越小。对于面积较小的单像元火点,一般的遥感解译方法都较容易发生误检和漏检,其主要原因可能是单像元火点的识别更易受到干扰。为此,本文引入亮温梯度的概念,在算法中通过比较火点像元与邻近像元之间的温度梯度差异,增加用于火点识别的特征信息,提高单一像元火点的识别能力。图 1 为在一个 3×3 窗口中火点对相邻像元的热辐射影响示意图,图中的中心像元为火点,邻近像元为背景,其中沿坐标轴方向的 4 个邻近像元因距离中心火点近受到的热辐射影响要大,而沿对角线方向的

4 个邻近像元则受影响较小。图 2 为相应窗口中各像元的亮温。

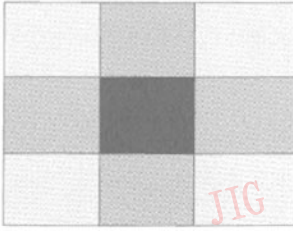


图 1 3 × 3 窗口中火点及相邻像元示意图
Fig. 1 Schematic of fire pixel and its backgrounds in a 3 × 3 window

$t(i,1)$	$t(i,2)$	$t(i,3)$
$t(i,8)$	$t(i,0)$	$t(i,4)$
$t(i,7)$	$t(i,6)$	$t(i,5)$

图 2 3 × 3 窗口中各像元的亮温
Fig. 2 Schematic of pixel brightness temperature in a 3 × 3 window

定义火点与背景像元之间的亮温差为亮温梯度, 设沿坐标方向邻近像元的亮温梯度为 $\nabla T_{\text{neighbour1}}$, 对角线方向邻近像元的亮温梯度为 $\nabla T_{\text{neighbour2}}$, 则其计算式为

$$\nabla T_{\text{neighbour1}} = t(i,0) - \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k t(i,2j) \quad (5)$$

$$\nabla T_{\text{neighbour2}} = t(i,0) - \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l t(i,2j-1) \quad (6)$$

式中, k, l 分别为窗口中火点沿坐标方向和对角线方向的背景像元。在不考虑其他环境因素影响的情况下, 受中心火点的热辐射影响, 沿坐标方向邻近像元的亮温梯度均值一般应大于对角线方向邻近像元的亮温梯度均值, 因而两方向梯度间存在以下关系:

$$\nabla T_{\text{neighbour2}} > \nabla T_{\text{neighbour1}} > 0 \quad (7)$$

在规定了背景像元后, 即可计算疑似火点背景像元的以下相关特征信息:

① 三通道平均亮温和三、四通道亮温差平均值。背景像元的三、四通道亮温差平均值为

$$\bar{d}_{3,4}^{\text{back}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (t_3(j) - t_4(j)) \quad (8)$$

式中, n 为背景像元的个数, $t_3(j)$ 和 $t_4(j)$ 分别为第 j

个背景像元的三、四通道亮温。背景像元的三通道平均亮温 T_3^{back} 的计算式与式(8)类似。

② 三通道亮温标准差 $\delta_{T_3^{\text{back}}}$ 和三、四通道亮温差值的标准差 $\delta_{T_{3,4}^{\text{back}}}$ 。背景像元的三、四通道亮温差值的标准差为

$$\sigma_{T_{3,4}^{\text{back}}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (d_{3,4}^{\text{back}}(j) - \bar{d}_{3,4}^{\text{back}})^2} \quad (9)$$

式中, $d_{3,4}^{\text{back}}$ 为背景像元的三、四通道亮温差。背景像元的三通道亮温标准差 $\delta_{T_3^{\text{back}}}$ 的计算与此类似。

在计算得到上述疑似火点和背景像元的特征信息后, 建立以下一组判据将真实火点从疑似火点中判别出来:

$$T_3^{\text{PF}} > \nabla T_3^{\text{neighbour2}} > \nabla T_3^{\text{neighbour1}} > 0 \quad (10)$$

$$T_3^{\text{PF}} - [T_3^{\text{back}} + 2\sigma_{T_3^{\text{back}}}] > 3K \quad (11)$$

$$\bar{d}_{3,4}^{\text{PF}} > \bar{d}_{3,4}^{\text{back}} + 2\sigma_{T_{3,4}^{\text{back}}} \quad (12)$$

式中, PF 表示疑似火点像元, T_3^{PF} 为疑似火点三通道亮温值, $d_{3,4}^{\text{PF}}$ 为疑似火点的三、四通道亮温差。

3 实验与结果分析

卫星遥感影像图是多维数字图像, NOAA/AVHRR 提供的影像数据包括了每一像元点的经纬度、像元点各个光谱通道的探测值等信息, 通过运用相应的转换公式可以将这些信息转换成我们感兴趣的数据, 如将经纬度转换为屏幕坐标, 从通道信息中提取可见光反照率、红外亮温等物理量, 然后将这些物理量线性转换成灰度值。假定一幅遥感数字图像 $f(x, y)$ 某一红外通道所有像元中红外亮温最大值为 T_{max} , 最小值为 T_{min} , 用下式可将其转换成 256 灰度级图像:

$$\frac{h(x, y)}{256} = \frac{T(x, y) - T_{\text{min}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} \quad (13)$$

式中, $h(x, y)$ 为像元 (x, y) 对应的灰度值, $T(x, y)$ 为像元 (x, y) 对应的亮温值。类似地, 可将其他通道转换成相应的灰度值。每个光谱通道分量都可表现为相应的灰度图, 若将多通道分量组合即可表现为彩色图像。本文采用常用的遥感影像彩图表现方法, 即将 4、2、1 通道分别对应于 R、G、B 分量组合而成。

实验选择了江苏省范围的 NOAA/AVHRR 遥感影像图进行火点识别, 以检验 ECFDA 方法的正确性和实用性。从 2005 年 4 月份至 11 月份, 江苏省范围内发生的一百多起山林火灾中近 89% 都能检

测出来,但同时约有15%的非火点像元被误检。其中在4月份清明前后,由于百姓上山焚烧祭奠引发山火,一时江苏境内火警频频。4月4日和5日,省内苏州、无锡、南京等地发生的十多起规模稍大的山林火灾,用本算法都及时检测出来了。图3为2005年4月4日14时的火点监测图。图中红色矩形框表示本算法监测到的火点并且已得到验证,蓝色矩形框表示监测到的火点但尚未得到证实。图3中共检测到18起火点,其中有2起为误检,误检率为11%。

作为对比,用CFDA算法对同一时相的遥感影

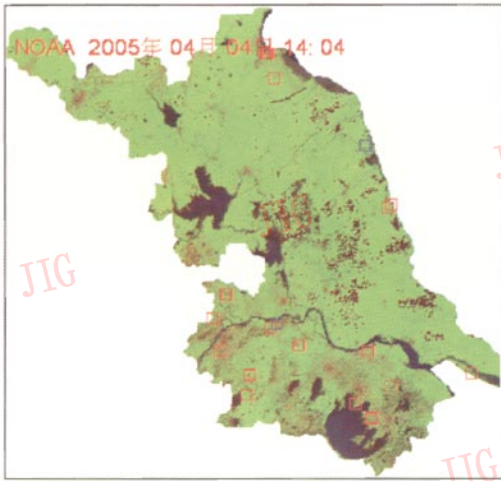


图3 2005-04-04 14时04分 ECFDA 火点识别图
Fig. 3 Fire spots detection image at 2005-04-04T14:04 using the ECFDA algorithm in Jiangsu province

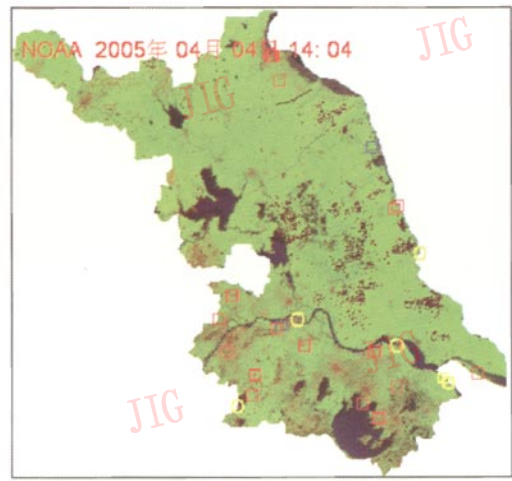


图4 2005-04-04 14时04分 CFDA 火点识别图
Fig. 4 Fire spots detection image at 2005-04-04T14:04 using the CFDA algorithm in Jiangsu province

4 讨论

基于上下文的火点遥感识别方法,其效果主要取决于背景像元的选择及相关信息统计。本文提出的增强算法(ECFDA)在选择火点背景时首先剔除云和水体,以确保背景的均一性,同时在相关特征信息的统计及判别指标的选择上也有所改进,使算法性能得到进一步提高。虽然本算法还需进一步验证,但初步实验表明该方法能有效地识别范围较小的山林火灾,具有较好的应用前景。

与阈值法相比较,本算法虽然避免了在不同地区和时间挑选不同阈值的麻烦,但要比阈值法消耗较多的计算时间。根据实验,在省一级范围内进行火点识别,在通常疑似火点不是太多的情况下,在目

像进行了火点识别(见图4)。与图3相比,图4中用CFDA算法共检出火点24处,比用ECFDA算法多了6处火点,用黄色圆圈表示。CFDA算法多检出的6处火点均为误检,因而在这—时相的遥感图上CFDA算法的误检率比ECFDA算法高25%。另外,由图可见,这些黄色圆圈所表示的6处误检火点均临近水体,说明背景像元中的水体确实对CFDA算法的效果产生了重要影响。ECFDA算法将这些水体排除在背景像元之外,进一步提高了算法的性能。

前较为通用的个人电脑上也仅需花费不到1min时间,这种速度在业务应用中是完全能够接受的。此外,由于ECFDA算法着眼于小范围的山林火灾检测,选用的两个窗口较小,且规定参与计算的背景像元数较多,这样对于范围较大的森林火灾可能无法取得理想的效果。算法中也没有完全排除阈值法,有时在实际监测中也会出现一些误判。这些都有待进一步改进和提高。

参考文献(References)

- 1 Wang Yan-qiu, Ji Ju-zhi, Wei Song-lin, et al. Assessment of forest fire in Harbin City using AVHRR data [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(5): 127 ~ 131. [王艳秋,姬菊枝,魏松林等.利用资料对哈尔滨市森林火灾的判别分析[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(5): 127 ~ 131.]
- 2 Justice C O, Kendall J D, Dawty P R, et al. Satellite remote sensing

- of fires during the SAFARI campaign using NOAA/AVHRR data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**: 23851 ~ 23863.
- 3 Robinson J M. Fire from space: Globalfire evaluation using infrared remote sensing[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, **12**(1): 3 ~ 24.
- 4 Belward A, Gregoire J M, D' Souza G, *et al.* In-situ real-time fire detection using NOAA/AVHRR data[A]. In: *Proceedings of the 6th AVHRR Data Users Meeting*[C], Belgirate, Italy, 1993: 333 ~ 339.
- 5 Kaufman Y J, Tucker C J, Fung I. Remotesensing of biomass burning in the tropics[J]. *Journal Geophysical Resesearch*, 1990, **95**: 9927 ~ 9939.
- 6 Kennedy P J, Belward A S, Grego ire J M. An improved approach to fire monitoring in west Africa using AVHRR data[J]. *International Journal Remote Sensing*, 1994, **15**(11): 2235 ~ 2255.
- 7 Felber, Bartelt P. Definition of forest fire hazard variables of the nearest neighbour forecasting model[A]. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*[C], Luao, Portugal, 2002: 100 ~ 103.
- 8 Li Zhan-qing, Josef C, Louis M, *et al.* Monitoring fire activities in the boreal ecosystem[J]. *Journal of Geophysical Resesearch*, 1997, **102**: 29611 ~ 29624.
- 9 Louis C, Jacques D, Christopher O J, *et al.* An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, **87**(2 ~ 3): 273 ~ 282.
- 10 Justice C O, Dowty P (editor). IGBP-DIS satellite fire detection algorithm work shop technical report[R]. IGBP-DIS Working Paper, 9, NASA/GSFC, Greenbelt, Maryland, USA. , 1993: 88
- 11 Flasse S P, Ceccato P. A contextual algorithm for AVHRR fire detection[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, **17**(2): 419 ~ 424.