

文章编号:1005-0523(2011)04-0014-05

基于改进的均值漂移的森林火灾图像提取技术

蒋先刚,梁青,沈涛

(华东交通大学基础科学学院,江西 南昌 330013)

摘要:为了解决呈红色山地路面等对火灾图像提取的干扰问题,考虑林区图像的R通道直方图的分布曲线,采用一种基于均值漂移改进算法,自适应地得到背景与火灾,山地路面的分割阈值 T_1 。通过阈值分割将火灾和山地路面从背景图像中分割出来,再利用改进算法对R通道占比率直方图进行处理,自适应地得到火灾与山地路面的分割阈值 T_2 ,从而实现火灾的自适应阈值分割并结合平滑直方图曲线去噪法进一步完善分割效果。在对均值漂移算法进行改进后,阈值的获取自适应性更强,实验表明该方法具有良好的分割效果和运算效率。

关键词:图像分割;森林火灾;色彩空间;均值漂移;直方图

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

森林火灾是对林业、环境破坏性较大的灾害之一。传统的火灾监测方法包括感烟、感温、感光探测以及红外探测,现在采用比较多的是卫星监测。由于传统方法的局限性导致无法有效及时地探测到火灾的发生。随着计算机技术的不断发展,基于图像视觉的火灾探测技术也逐步被应用。

对于森林火灾探测技术,着火区域能否被准确地提取是关键。目前基于视频的火灾图像分割算法有帧差法、背景差分法等。帧差法的基本思想是通过前后两帧图像相减来提取变化区域,鉴于云台上的摄像头在监测采集图像时俯角和水平视角是不断变化的,若对于视角的不同位置每5度记录一幅图像,用帧差法识别监控范围的火灾需要存储1 000多幅图像,在监控过程中,需要考虑对应不同方位的背景图而获取着火区域以致于无法达到实时处理效果,而单帧图像分割法能很好地克服这一点,这主要包括有阈值分割法、边缘检测法、区域生长法等,但是这些方法在分割火灾区域图像时多数是在图像灰度化的基础上进行的,这将过早地丢失了火焰的彩色信息,从而导致无法准确地区分火与火焰接近的高亮物体,有学者提出了基于彩色信息的火灾图像分割算法,如W.B.Hornig等^[1-3]采用HSI彩色模型分割火焰图像,对 H, S, I 分量分别采用经验阈值来提取火焰区域。Tai-Fang Lu利用HSI空间的 I 分量来区分火与非火区域,当背景亮度较低时才能取得较好的效果。Dengyi Zhang等人采用HSV颜色空间分割火焰区域,同样对 H, S, V 分量分别采用经验阈值分割。由于这些算法大多数过分依赖经验阈值,需要通过对大量火灾图像进行实验来获取经验阈值,而且火灾图像在获取过程中因天气、环境等变化,阈值需要不断被调整。若选取的阈值不合适,就很难准确提取出火焰区域,给后续的火灾特征提取和识别增加难度。

为此,该文利用均值漂移改进算法对图1的 R 分量直方图进行统计分析而自适应得到阈值 T_1 ,用其对图1进行阈值分割而得到图2,再利用均值漂移改进算法对图2的 R 分量占比率直方图进行处理得到阈值 T_2 ,将其对图2进行 R 分量占比阈值分割最终得到火焰区域如图3所示,下面具体介绍本文涉及的火焰区域获取和分析的各关键技术。

收稿日期:2011-02-24

作者简介:蒋先刚(1958—),男,教授,主要研究方向为数字图像处理与模式识别。



图1 原森林山火图片
Fig.1 Original forest flame



图2 经R分量阈值分割后的森林山火图片
Fig.2 Forest flame image segmented by R-channel thresholds



图3 在图2基础上经R分量占比率阈值分割后的着火区域图片
Fig.3 Flame image segmented by thresholds of R occupying ratio based on fig.2

1 R分量阈值和R分量占比率阈值

根据火灾图像的颜色分布特征,在对火灾图像进行分割提取时常使用林区图像的R分量信息。针对大量包含呈红色的山地路面等的火灾图像,通过分析可以认为图像存在背景、山地路面、着火区三大区域,由于山地路面和土地的颜色大体呈现红色,因此其R分量分为高,低两级,故此类森林区火灾图像的R通道直方图呈现两个峰形状,类似于图4(a)所示,从左到右两波峰区域分别代表背景区,山地路面与着火区。因此,该文针对图1进行着火图像分割提取,如果能得到背景与山地路面和着火区之间的谷底值即图4(a)中圆圈标注点值,就能依照阈值将背景与呈红色山地路面和着火区从图像中分割出来。

依自适应所得阈值将呈红色的山地路面等和着火区域从图像中分割出来后,还需将山地路面等与着火区域分割开,通过实验分析可知着火区域与山地路面的R分量值相差不大,但是着火区域的G,B分量相对山地路面区的G,B分量明显偏大,为此引入R分量占比率的概念,其计算式由式(1)给出:

$$R_s = \frac{R}{R+G+B+C} \tag{1}$$

式中:R,G,B分别代表红绿蓝颜色分量;R_s表示红色分量占比率,为保证式子有意义但又不影响计算结果,一般取调整常数C尽量小。

由式(1)可以得到R分量占比率的值域范围为[0,1],那么在统计直方图时需要将值域放大至整数范围,其转化公式如(2):

$$R'_s = C_1 R_s \tag{2}$$

式中:R'_s为转换后的R分量占比率;C₁为转换加权系数。

依上述,着火区域的R分量占比率相对呈红色山地路面的明显偏小,针对图2进行R分量占比率直方图统计如图4(b)所示,着火区域与呈红色山地路面的R分量占比率值同样分布在两个波峰区域,如能得到两波峰之间的波谷值则能将着火区与呈红色山地路面分割开来。

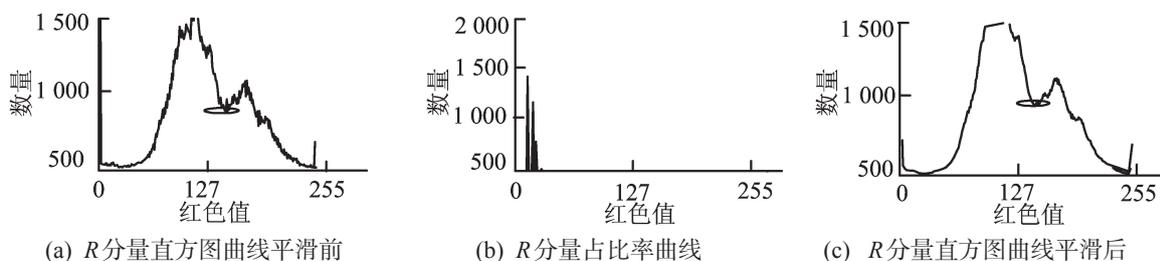


图4 林区图像在颜色空间的各类直方图
Fig.4 Various histogram of forest image in color space

针对R分量及R分量占比率的阈值求取,该文采用了一种均值漂移的改进算法,其基本思想是自左向右或自右向左分别对两类直方图进行波峰或波谷的求取,直到找到所需分割阈值,下面介绍用均值漂移的

改进算法自适应获取阈值的具体过程。

2 均值漂移^[4]的改进算法获取直方图的分割阈值

均值漂移是一种非参数密度梯度估计过程,最早由 Fukunaga 和 Hosteler 提出。定义核函数 $k(x)$ 为搜索窗。当搜索窗处于曲线的波峰或波谷时, $k(x)$ 是对称核,对于 $x \geq 0$, 有

$$k(x) = ck(\|x\|^2) \quad (3)$$

式中:函数 $k(x)$ 被称为 $k(x)$ 的剖面; c 是归一化常数。给定 d 维空间 R^d 中 n 个数据点 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, 由核 $k(x)$ 计算点 x 的多变量均值移动向量 $m_k(x)$:

$$m_k(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i k\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (4)$$

式中: h 是搜索窗的宽度,在实际编程过程中,利用的是 R 通道直方图和 R 占比率直方图分别作为特征空间,用 R 分量或 R 分量占比频率代替了概率密度,而 $k\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)$ 则用搜索窗左角点和搜索窗中其余点的 R 分量或 R 分量占比频率之差来代替。

考虑搜索方向和类型而引入两个参数:方向参数 $trend$ 用来表示对直方图进行搜索的方向,其值为 1 表示自左向右搜索,为 -1 则自右向左搜索;另一个参数 pw 表示搜索对象是波峰还是波谷,其值为 1 表示为波峰,为 -1 则为波谷,其上述各式经改进后如下:

给定一个搜索窗宽度 h 及一个最大循环次数变量 $count$,在这个搜索窗内的数据点为 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, $k(x)$ 表示 x 的 R 分量或 R 分量占比频率频数,则其均值移动向量 $m_k(x)$ 如式(5):

$$m_k(x) = trend \left[\frac{\sum_{i=1}^h x_i pw(k(i) - k(x))}{\sum_{i=1}^h pw(k(i) - k(x))} - x \right] \quad (5)$$

由 $\{y_j\}_{j=1,2,\dots}$ 表示核 $k(x)$ 的连续位置序列,如果 $x=y_j$ 是核的当前位置,则搜索窗的下一中心位置 y_{j+1} 是

$$y_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^h x_i pw(k(i) - k(x))}{\sum_{i=1}^h pw(k(i) - k(x))} \quad j=1, 2, \dots \quad (6)$$

第 j 个均值移动向量可以迭代计算:

$$m_k(y_j) = trend(y_{j+1} - y_j) \quad (7)$$

收敛条件是 $\sum_{i=1}^h pw(k(i) - k(x)) > 0$ 并且 $m_k(x) > 0$ 或 $acount > count$ 。找到的收敛点 x_i 在直方图曲线的峰顶点或者谷底点附近 $\pm h/2$ 范围内,在得到这个值之后,取

$$X_T = \max(k(i)pw) \quad i = x_i - h/2 + 1, \dots, x_i + h/2 \quad (8)$$

这样,均值漂移改进算法的具体实现描述如下:① 选择一个搜索窗宽度 h 和初始位置 p_f ; ② 选择一个最大循环次数变量 $count$; ③ 通过式(6)计算下一个窗口中心位置,并且通过式(7)计算当前窗口中心的

均值移动向量;④若 $\sum_{i=1}^h pw(k(i)-k(x)) > 0$ 并且 $m_k(x) > 0$, 则退出循环;否则 $acount++$, 返回步骤(3)直到 $acount > count$;⑤找到一个收敛不动点。在不动点 $\pm h/2$ 范围内求最大或最小值就是局部峰值或谷底值。

如图4(a)所示,在对图1的R分量直方图使用均值漂移算法时,实验可知图中圆圈标志点即为所需分割阈值,那么初值选取范围为自左向右的第一个波峰至第一个波谷之间,对其使用自左向右,寻找谷底的均值漂移算法,得到背景与山地路面,着火区域之间的分割阈值 T_1 即为图中圆圈标志点值。同理,再进一步提取呈红色山地路面等与着火区域之间的分割阈值 T_2 ,即对图2的R分量占比率直方图进行处理,如图4(b)对其使用自右向左,寻找谷底的均值漂移算法,其初值选取范围为自右向左的第1个波峰至第2个波谷之间。

2.1 改进均值漂移算法对林火图像提取^[5]

以上算法的实验及实际工程应用环境是 Windows XP 操作系统,开发软件为 Delphi 7,平均每幅 640×480 图像的分割时间为 200 ms。实验参数在实验中调整,其中均值移动搜索窗宽度为 8, R 分量阈值的初始位置为 133, R 分量占比率阈值的初始位置为 0.44, 最大循环次数变量 $count = 15$, R 分量占比率转化加权系数 $C_i = 25$ 。针对图4(a),利用自左向右均值漂移改进算法求取 R 分量的分割阈值 T_1 即图中的圆圈标注点,对图1按照 T_1 分割后的结果图如图2所示,再对图2统计 R 分量占比率直方图如图4(b)所示,依自右向左均值漂移改进算法自适应求出呈红色山地路面与着火区域的分割阈值 T_2 ,对图2进一步按照 T_2 处理后的图片如图3所示。

由图2、图3可见,处理后的图片中虽然将大部分的森林和呈红色土地去掉了,但还有许多噪点边缘区域,是分割阈值不精确所致^[8],其主要原因是改进的均值漂移算法在寻找波峰或波谷时,在移动窗口 $h=8$ 内的 R 分量直方图曲线上存在很多毛刺点,如图4(a)所示,致使当该算法求得收敛点以后,在其 $\pm h/2$ 范围内求局部最大或最小值时出现误差,从而得到不精确的波峰或波谷值,所以需引入如何平滑直方图曲线而消除噪点的技术。

2.2 平滑直方图曲线法去除噪点^[6-7]

针对 R 分量直方图曲线的局部跳跃而不光滑性,致使改进的均值漂移算法求波峰或波谷值时产生误差,因此考虑引进加权平均值的方法来进一步改进,其方法是在求得 R 分量直方图后,对其重新加权赋值,比如当 $R=i$ 时,其像素 R 分量频数由式(9)给出:

$$Rh[i] = \text{round}((Rh[i-2] + Rh[i-1] + 2Rh[i] + Rh[i+1] + Rh[i+2])/6) \quad (9)$$

式中: $Rh[i]$ 为 $R=i$ 的像素频数, $2 \leq i \leq 253$ 。

图4(c)是对图4(a)平滑后的 R 分量直方图曲线,由平滑前后的 R 直方图曲线明显可以看出在所需分割阈值即圆圈标记处直方图曲线的平滑性明显加强,依照平滑后的 R 直方图曲线对图1处理后的图像如图5所示。再对图5进一步利用 R 分量占比率阈值处理后的图像如图6所示。



图5 依平滑后 R 分量直方图曲线处理的着火区域分割效果图

Fig.5 Effect of flame image based on the thresholds of R-channel histogram after smoothing

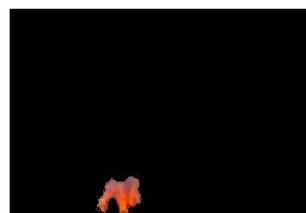


图6 在图5基础上经 R 分量占比率阈值分割后的着火区域分割效果图

Fig.6 Effect of flame image segmented by thresholds of R occupying ratio based on fig.5

如图2、图5依 R 分量直方图曲线平滑前后的阈值分割效果图所示,图5中已将林火图像中的几乎所有

森林背景全部去除,只剩下呈红色山地路面及着火区域,在图2、图5基础上进一步分别利用 R 分量占比阈值处理得到着火区域图如图3、图6所示,图6中疑似着火区域的获取更加准确,可见 R 直方图曲线平滑后所得的自适应阈值 T_1 更为精确。

3 结论

利用改进的均值漂移算法分别对 R 分量直方图和 R 分量占比率直方图进行自适应阈值的提取,既保留了图像的彩色信息又克服了经验阈值选取的复杂性及不稳定性,移动窗口区域的使用保证了合理阈值提取的鲁棒性,移动窗口的尺寸应小于直方图曲线相邻波峰波谷之间的距离,一般取两相邻波峰波谷距离的 $1/4$ 。该方法处理速度迅速并能较好地克服呈红色山地路面、呈红色的庄稼地、红顶房屋及移动中的红旗等对火灾图像提取的干扰,同时考虑了由于直方图曲线的不平滑性,分割效果图存在噪声点,实验中引入了直方图曲线平滑去噪法,使均值漂移算法在阈值获取上更加精确,图6是依平滑后 R 分量直方图曲线处理的着火区域分割的最终效果图,说明该方法有一定的可行性,能够取得良好的林火图像分割效果,在分割后的着火区域的分析上,通过疑似着火区域内的一阶、二阶、三阶颜色矩的分析和几何特征分类将进一步验证森林火灾发生的真实性而发生警报。

参考文献:

- [1] 方维. 火灾图像分割技术的研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2010.
- [2] 陈晓娟,卜乐平,李其修. 基于图像处理的明火火灾探测研究[J]. 海军工程大学报,2007,19(3):6-11.
- [3] 程鑫,王大川,尹东良. 图像型火灾火灾的探测原理[J]. 火灾科学,2005,14(4):239-244.
- [4] 音勇,王云,刘丹平. 血细胞图像分割的改进MEANSHIFT方法[J]. 计算机工程与应用,2010,46(6):178-181.
- [5] 减晶. 基于支持向量机的火灾探测系统研究[J]. 沈阳理工大学学报,2009,1(3):54-56.
- [6] 崔宝霞,乔继斌. 基于Cr、Cb色彩空间的森林火灾图像分割方法[J]. 沈阳工业大学学报,2009,31(1):89-92.
- [7] 蒋先刚. 基于Delphi的数字图像处理工程软件设计[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [8] 行小帅,潘进,焦李成. 基于免疫规划的K-means聚类算法[J]. 计算机学报,2003,26(5):605-610.

Technology Research on Forest Flame Image Extraction and Recognition Based on Improved Meanshift Algorithm

Jiang Xiangang, Liang Qing, Shen Tao

(School of Basic Sciences, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to solve the flame image extraction problem disturbed by the red land, the distribution curve of R-channel forest image histogram is investigated. Adaptive segment thresholds T_1 of background and forest flame and the red land is obtained by using a method based on improved meanshift algorithm. The forest flame and the land with red color are separated from the background area image by the adaptive segment thresholds, and then occupation ratio curve of R channel image histogram is processed by using the same algorithm and adaptive segment thresholds T_2 of segmenting forest flame and the red land is obtained. The method of smoothing histogram curve is introduced to get more accurate threshold. Experimental results show that this adaptive threshold segmentation method is rapid and has better segmentation effect and calculation efficiency.

Key words: image segmentation; forest flame; color space; mean-shift; histogram