

# 基于火焰特征的火灾图像识别算法研究

陈泓宇 王彬 (通讯作者)

(吉林工程技术师范学院 吉林长春 130052)

摘要: 火灾的初发阶段是最容易控制的, 传统火焰探测方式的老旧以及传感器设备灵敏度的问题, 使火焰探测的实时性降低。图像型的火灾检测手段, 主要在于对火焰图像数据的分析与处理。提出利用 Sobel 算子边缘检测的方法, 对火焰的尖角特征、面积变化率和圆弧度进行图像识别并计算, 来判定是否为火灾。实验结果表明, 该算法使得火灾火焰的识别准确度有效提高, 减少了识别过程中的误判。

关键词: 火焰探测; Sobel 算子; 边缘检测; 图像识别

[中图分类号]TP30 [文献标识码]A

Research on fire image recognition algorithm based on flame characteristics

CHENHong-yu, Wang Bin

(Jilin Engineering Normal University, Changchun Jilin 130052, China)

Abstract: The initial stage of fire is the easiest to control. The outdated traditional flame detection method and the sensitivity of sensor equipment reduce the real-time performance of flame detection. The image-based fire detection method mainly lies in the analysis and processing of the flame image data. A method of edge detection using Sobel operator is proposed to identify and calculate the sharp corner feature, area change rate and circular arc of the flame to determine whether it is a fire. The experimental results show that the algorithm effectively improves the recognition accuracy of fire flames and reduces the misjudgment in the recognition process.

Keywords: Flame detection; Sobel operator; Edge detection; Image recognition

近几年国内外的专家与科研机构进行了大量有关火灾火焰检测方面的研究与应用。随着微电子硬件行业的快速发展, 数字图像处理技术和自动控制精度得到了飞跃式的提高。大空间建筑火灾的早期扑救工作取得了一定的研究成果, 实践证明采用图像型火灾探测系统的方法, 是实现智能探测和快速灭火的有效方案之一<sup>[1]</sup>。它相较于传统检测方法的优势在于检测速度快、精度高, 对解决高大空间建筑火灾难题具有重要的研究价值。

早期火灾预警主要基于红外线传感器, 最早由日本的日探开发<sup>[2]</sup>, 其探测装置的原理是对环境中的红外线进行监测。其他方法是基于图像的特征处理, 主要选取火焰特征<sup>[3]</sup>, 提出先进行模型迭代, 再依据火焰强度得出燃烧强度, 操作方法是根据 RGB 通道的模型色度来提取。后续研究者在此基础上, 提出了许多改进方法, 如 chen 等人更改了通道颜色限制, 提高了算法的准确性; Celik 修改了颜色特征的选取规则, 自定义新的规则, 降低了计算时间; Borges 提出建立一套火灾检测的颜色模型, 用颜色指标表示模型的置信度。喻丽春<sup>[4]</sup>等改进了 Mask R-CNN 算法的损失函数并且完成了特征融合, 提高了火灾火焰识别的准确率和定位精度。

本文提出由 Sobel 算子实现边缘检测, 由该算法达到对火灾火焰的提取及其尖角识别的目的。当拍摄到的火焰图片模糊不清, 或距离过远导致成像的火焰太小, 此时尖角数目少, 单纯采用尖角识别来判断是用其它特征加以判断, 如面积变化率与圆弧度。本文提出一种基于火焰特征的图像识别算法, 对火焰的尖角识别、计算面积变化率以及圆弧度, 来确定火灾, 该方法有较强的实用性。

## 1 火焰边缘检测与提取

颜色与亮度是火焰图像最明显的特征之一, 火焰颜色特性为初步火焰识别提供了剔除图像背景的充分判据, 本设计在图像预处理的过程中, 通过在仿真实验中得到的火焰参数设置目标区域内的 RGB 阈值以及亮度阈值, 从而获得初步的目标区域:

$$L = 0.299R + 0.587G + 0.114B > T \quad (1)$$

各颜色分量的关系:

$$R \geq G \geq B \quad (2)$$

红色分量的阈值:

$$R > T \quad (3)$$

式中 L 表示亮度, T 表示亮度阈值, R、G、B 分别表示红、绿、蓝三个通道的颜色分量。当图像的目标亮度值大于在仿真学习过程中获得的亮度阈值时, 并且红、绿、蓝三个通道的颜色分量满足式  $R \geq G \geq B$  和式  $R > T$  时可以初步判断为疑似目标。继续对图像进行识别需要利用颜色特性把火焰的轮廓分割处理, 本文采用边缘检测的方法把疑似目标和背景图像进行分割, 进而可以把火焰区域提取出来, 该方法突出了火焰图像的红色分量在初步目标提取和剔除背景图像过程中的重要性。

本算法依托 Sobel 算子来实现边缘检测, 其算子主要基于一阶微分。第一步是对数据进行加权平均或邻域平均, 其次进行一阶微分处理, 达到检测边缘点的目的<sup>[5]</sup>。Sobel 的核心在于利用窗口算子, 如图所示, 其中 (b) 为垂直边缘检测, (c) 为水平边缘检测。

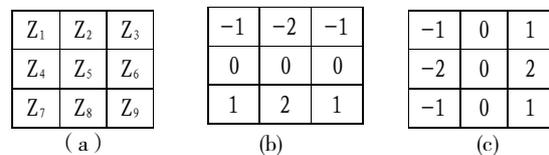


图 1 窗口算子

Sobel 检测器可按 (4) 式近似得到一个邻域中心点处的梯度:

$$g = \{ [(Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3)]^2 + [(Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3)]^2 \}^{1/2} \quad (4)$$

式中 g 代表边缘检测算子。算法原理为: 图像的轮廓清晰是由于其边缘附近亮度变化大, 因此选取边缘点时, 可以将灰度大于某个值的像素点作为边缘点。

通过该算法可得到火焰的大致轮廓和目标区域，接着二值化处理图像，提取出火焰，如图 2 所示，目标区域已框出。

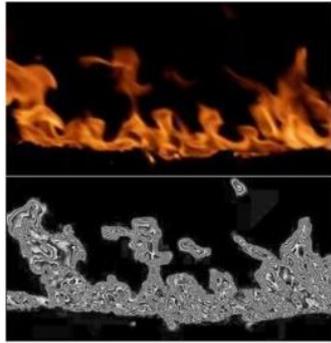


图 2 火焰原图与提取出的图像

2 火焰尖角的识别

火灾早期阶段的火焰处于非常不稳定的状态，火焰的不稳定性造成了大量的浮动角和不规则角。一般而言，干扰源的尖角数目，只是在一定范围内波动，比如稳定的光源，还有一些干扰源的尖角数目甚至基本没有变化，例如，蜡烛，白炽灯和车灯等。火焰的尖角呈现出无规则的跳动是火焰边缘抖动的一个明显的特征<sup>[1]</sup>。火焰尖角在图像中，最突出的特征就是顶点高于周围的像素点并且两相邻之间的像素点的斜率呈现出一定的变化规律，顶点就是提取的边缘曲线的局部极值点。

当然由于采集过程中硬件噪声和外界环境的影响，并不是所有的局部极值点都是尖角，所以要设置一个合适的阈值过滤掉图像采集过程中产生的噪声，这个阈值又要能表示出火焰的尖角特性。尖角的宽度和高度都应该设置一个上限，以防止摄像头在成像时随机产生的尖角噪声。

在图像中尖角由众多像素点以一定的规律排列组成的，尖角在形态上必须满足一定的条件时才能列为图像检测的疑似处理对象，可以根据公式 (5) 来判断一个点是否是一个尖角，尖角的狭长程度可以通过该比值的大小来控制：

$$\frac{f(n)}{f(n-1)} \quad (5)$$

式中  $f(n)$  为尖角中某一行的像素点数， $f(n-1)$  为上一行的像素点数。

经实验发现，当现实中的火焰面积较小或由于距离摄像头较远导致火焰在图像中的成像较小时，火焰在图像中所占的像素点也相对较少，火焰尖角像素数的比例不再满足正常情况下所设置的阈值。这个时候的尖角判据阈值需要根据尖角面积和火焰面积的比值进行调整，剔除由于毛刺和噪声产生的尖角，使尖角判据在实际应用中具有更强的自适应能力。经过参考该领域的研究数据发现，大部分火焰尖角面积与火焰面积具有一定的比例关系，其比值在 1% 左右<sup>[2]</sup>。当火焰尖角的尖角面积与火焰面积小于 1% 时大部分是由于噪声引起的毛刺，因此可以把面积的比值作为区分火焰尖角和噪声的依据之一。

图 3 显示了火焰的尖角识别，其中尖角的位置经边缘检测算法处理后由小圆圈圈出。实验结果表明：在没有外部因素影响时，蜡烛火焰的图像一般只有一个尖角，即使受到外界因素(如风)的影响，蜡烛的火焰图像也不会超过三个尖角，比较容易区分。从理论上讲，汽车车灯图像应该是没有尖角的，由于某些原因(例如光的反射)，汽车车灯图像也可能出现一些锐角，这也很容易识别。相比之下，火焰图像的尖角数量远大于一些干扰源的尖角数量，并且其尖角数量和变化速度很快。

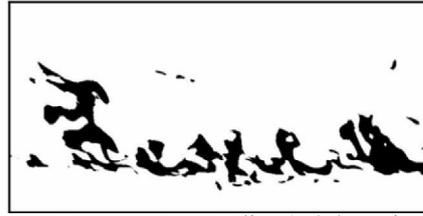


图 3 对处理后的图像进行尖角识别

为检验该算法，对从时间  $k$  开始的 3 组 5 个连续的帧进行分析，包括纸张燃烧的火焰、蜡烛火焰和电灯泡的火焰，它们尖角数目的变化如表 1 所示。纸张燃烧的火焰尖角数随时间而变化，这种变化呈现出 irregularity，锐角数目不均匀。相反，蜡烛火焰和电灯泡的尖角数量变化较小，它们的形状也相对稳定。因此，利用尖角的变化率可以快速识别火灾，剔除干扰源的影响。

表 1 火焰及一些常见干扰源的尖角数目统计

探测图像	K	K+1	K+2	K+3	K+4
纸张燃烧	2	10	6	11	15
蜡烛	1	2	1	1	2
白炽灯	1	2	1	2	1

3 火焰形体变化特征判据

3.1 火焰的面积变化率

在发生火灾时，燃烧会产生大量的热能，随着时间的推移，火焰区域逐渐扩大。火焰的面积变化率可用于确定火灾是否在不断地扩散，可以通过阈值分割获得火焰的面积。对火焰图像进行二值化处理，并计算火焰区域的面积，该面积可以由火焰像素之和表示，然后，将通过火灾区域的面积变化来确定火灾的存在。假设在时间  $i$  处火焰面积为  $A_i$ ，在时间  $i+k$  处为  $A_{i+k}$ ，则火灾区域的面积变化率可以用公式 (6) 表示：

$$\Delta A_i = \frac{dA}{di} = \frac{A_{i+k} - A_i}{k} \quad (6)$$

其中  $\Delta A_i$  代表面积变化率。

因为图像中火焰区域的面积等于其像素点的总和，所以在时间  $i$  处的火焰面积用像素点数量表示为  $B_i$ ，在时间  $i+k$  处用像素点数量表示为  $B_{i+k}$ ，所以公式 (6) 可以表示为：

$$\Delta A_i = \frac{dB}{di} = \frac{B_{i+k} - B_i}{k} \quad (7)$$

根据公式 (7)，可以获得火焰的面积变化率，其可以用于消除规则干扰源的影响。表 2 表示图像处理连续 4 帧图像中的火焰区域和一些规则干扰源的面积统计。

表 2 火焰和一些规则干扰源的面积统计

物体	1	2	3	4
火焰	16054	21989	24656	27896
白炽灯	860	859	862	855
烛光	675	688	669	691
烟头	50	51	53	52

3.2 圆弧度

考虑到火焰的形状是不规则的，可以用圆弧度来区分大多数形状良好的干扰源，如手电筒、汽车灯、白炽灯、太阳等，圆弧度表示了物体的复杂程度，外型越复杂的物体圆弧度越大，其计算公式为：

$$e = \frac{L^2}{4\pi * S} \quad (8)$$

(下转第 83 页)

(上接第 74 页)

式中 L 代表边界周长, S 代表区域面积。

很明显, 圆的圆弧度是最小的, 等于 1, 形状越接近圆, 圆弧度 e 就越接近 1。如果图像形状不规则, 则 e 大于 1。表 3 列出了火灾图像和一些常见的规则干扰源的圆弧度计算结果。

表 2-3 火焰和一些规则干扰源的圆弧度统计

物体	K	K+1	K+2	K+3	平均值
火焰	10.6	11.5	12.8	9.5	11.1
蜡烛	1.1	1.0	1.1	0.9	1.0
太阳	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5
车灯	1.1	1.2	1.1	1.3	1.2

#### 4 结语

由于传统型火灾传感器老旧, 已不能满足现代火灾火焰探测要求, 作者在图像型检测的基础上, 提出用 Sobel 算子边缘检测的方法, 提取火焰的尖角特征, 并计算火焰面积变化率和圆弧度, 来综合判断火灾是否发生, 实际仿真计算结果表明, 该方法在火灾识别上成功率很高, 并且有较强的实用性。

#### 参考文献:

[1] 闵永林. 大空间智能消防水炮灭火系统研究[D]. 上海大学, 2010.

[2] 冯引安, 李引贤, 侯瑞宁. 图像型火源定位研究[J]. 系统仿真技术, 2009(3): 182-186.

[3] 李明. 大空间早期火灾的双波段图像型探测方法的研究[D]. 天津大学, 2007.

[4] 喻丽春, 刘金清. 基于改进 Mask R-CNN 的火焰图像识别算法[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(21): 194-198.

[5] Wang Jun-ming, Yang Yong-yue, Fu Gui-quan. Research of multi-recognition fire image detecting system [J]. Industry Control Computer, 2008, 21(2): 50-51.

作者简介: 陈泓宇 2001-, 男, 从事电力系统及其自动化研究  
大学生创新创业训练计划项目 创新训练项目 立项国家级