

【文章编号】 1004-1540(2009)01-0055-04

# 火灾探测中动态火焰的数字图像处理

段 悦,袁昌明

(中国计量学院 质量与安全工程学院,浙江 杭州 310018)

**【摘 要】** 通过模拟火灾实验,利用移动的 CCD 摄像头实现图像的动态获取与传输.重点研究火焰图像的阈值处理、边缘检测、链码提取等图像处理算法,并且运用 Matlab 语言编程处理实验图像,计算出火焰图像的面积、周长、圆弧度等特征值,从而总结得出火灾发生时具有火焰面积增大、边缘抖动等特征,获得了早期火灾探测的重要判据.

**【关键词】** 火灾图像;阈值处理;边缘检测;链码提取;特征值计算

**【中图分类号】** TP751

**【文献标识码】** A

## Digital image processing of dynamical flame in fire detection

DUAN Yue, YUAN Chang-ming

(College of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Fire experiments were conducted and the flame images were gathered dynamically by a moving CCD camera. The algorithms of threshold processing, edge extraction and boundary chain code abstraction were studied. By programming with Matlab software, the features of fire, such as the flaming area becoming larger with the fire and fire edge fluctuation were summarized. The criteria of early fire detection is extracted.

**Key words:** fire image; threshold processing; edge extraction; boundary chain code abstraction; characteristic value

火灾是最常见的灾害之一,它往往给人们的生命财产造成巨大损失.火灾的预防与监测一直是人类与火灾斗争过程中关注的焦点.

火灾探测技术主要是基于火灾过程中伴随的物理现象:发光、发热、强辐射、声音等基本特征,利用各类传感器及信号处理技术实现火灾的早期探测.传统的火灾探测器主要分为感烟式、感温式、感光式、气敏式以及复合式等类型<sup>[1]</sup>.其中感烟式、感温式和感光式火灾探测器

发展较成熟,运用最为普遍.但以上各种传统火灾探测器采集的数据或信息往往比较单一,且受到空间高度、粉尘、气流速度、腐蚀性环境等多种因素的影响,容易发生误报、迟报、漏报或失效等问题.

随着数字通信技术、计算机技术的发展,数字图像处理技术获得了广泛的应用,因此,人们提出了利用图像处理技术进行火灾的监控与报警<sup>[2]</sup>.图像型火灾探测技术针对性地克服了常规火灾探

测技术的一些主要弱点,有效地综合烟、温、光等主要火灾参数,同时对火灾中多个相关参数综合判断.图像型火灾探测技术是利用摄像头对现场进行监视,对摄取的连续图像由图像采集卡转换为数字图像输入计算机,根据火灾图像特征进行处理和分析,从而达到探测火灾的目的<sup>[3]</sup>.图像型火灾探测技术可以有效解决大空间、大面积、空间结构复杂的建筑物,如高层住宅、停车场、大型仓库等火灾预防与探测,具有探测距离远、监测范围广、误报率低、智能化和可视化程度高等优点<sup>[4]</sup>.

本文通过模拟火灾实验,利用移动的 CCD 动态实时获取监测空间中的火焰图像,主要研究火焰图像的数字处理技术,得出火灾火焰的图像特征,获得早期火灾探测的判据.

## 1 模拟火灾实验

模拟实验在一较空旷房间进行,以模拟大空间场所环境.在房间的不同方位和定点位置模拟火灾,主要燃烧物为报纸、三合板等无爆炸危险的物质.利用世林一体彩色机 SR200AP CCD 摄像头和专业图像采集卡 AT-A110,获取从无到有,从大到小直至熄灭整个过程的多幅不稳定发展火

焰图像.同时作为对照,还拍摄了一定时间段中的蜡烛火焰图像.拍摄过程中 CCD 摄像头沿一定路线移动,以获取不同角度火焰动态图像.在 WindowsXP 操作系统平台下,采用 Matlab7.0 软件编程,进行火焰图像的处理.

## 2 火焰图像处理

早期火灾发生阶段,火焰从无到有,其图像在面积变化、边缘变化、形体变化、整体移动等方面很有规律.提取这些特征信息能够很好地将火灾图像与其它干扰源图像区分开来,是图像型火灾探测的基础.通过比较发生火灾前后图像各像素点的灰度值差别找出火灾发生的可疑区域,再对预处理后得到的二值化图像进行边缘检测,提取边界链码,计算出火灾图像的特征值,如面积、周长、圆形度等.用特征值可以定量地表示出火灾图像在面积、边缘、中心位置的变化.

### 2.1 图像预处理

在火灾探测系统中,大部分时间处于无疑似火源状态,运用背景差分法<sup>[5,6]</sup>进行预处理,检测图像的状态是否改变,可进行有无异常情况的判断.图 1 所示为蜡烛模拟实验,而火焰图像则直接设定为火灾状态,进行下一步处理.

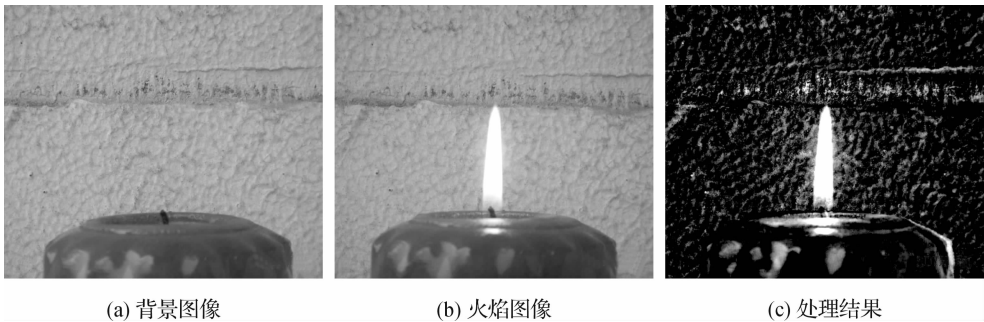


图 1 背景差分法处理的图像

Figure 1 Images processed by background subtraction

由于火焰图像获取过程中 CCD 摄像头处于移动状态,获取的图像存在抖动模糊等图像退化的问题,因此需运用图像复原技术<sup>[6]</sup>进行处理,尽可能恢复图像的本来面目.利用顺序统计滤波器<sup>[7]</sup>处理抖动图像,最大值滤波效果较好,

中值滤波、中点滤波以及最小值滤波等处理结果不理想,图 2 为最大值滤波和最小值滤波结果比较,最大值滤波图像有较清晰的火焰轮廓,基本符合边缘检测的图像要求.故采用最大值滤波后的图像进行边缘检测.

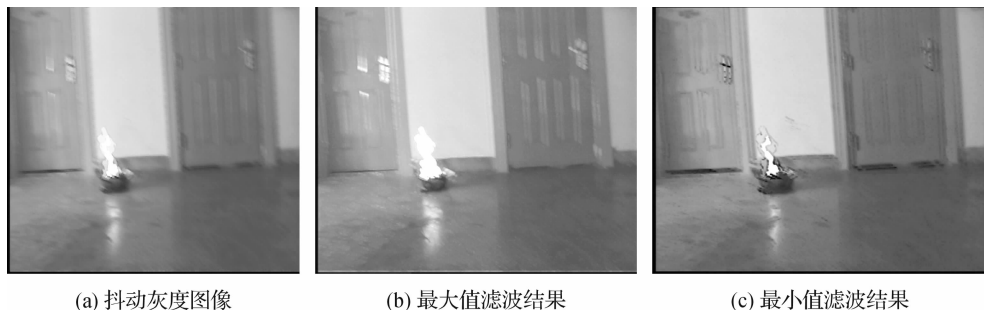


图 2 顺序统计滤波器结果比较

Figure 2 Results comparisons of order statistics filters

### 2.2 阈值处理

由于火焰在图像中呈现为高亮度区域,所以要将获得的灰度图像进行二值化处理,再用边缘算子提取边缘.由于实验在白天进行,实验环境较

亮,因此采用灰度直方图和 Otsu 法相结合的方法确定阈值,如图 3.为提取火焰而忽略墙壁门窗等高亮度区域,阈值  $T_h$  应增大一些,因此火焰图像灰度值选取 230 左右.

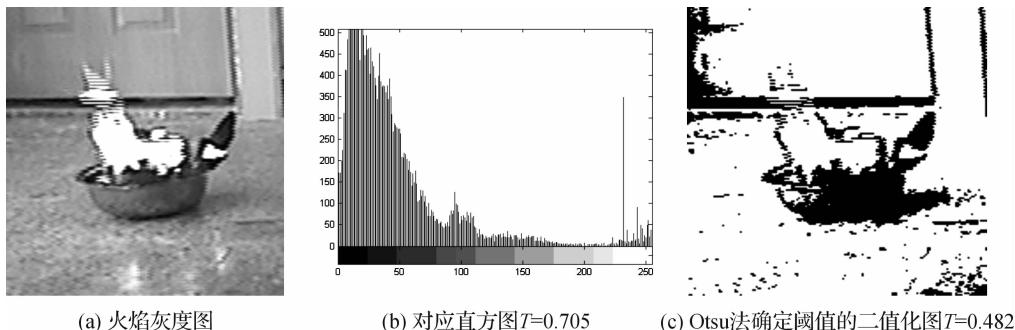


图 3 灰度直方图与 Otsu 法确定阈值的二值化图

Figure 3 Binary images of threshold defined by gray bar chat and Otsu method

### 2.3 边缘检测

有效提取火焰图像边缘,是为了准确计算火焰图像的面积、圆弧度等特征值.其基本思想是先检测图像中的边缘点,再按照某种策略将边缘点连接成轮廓,从而构成分割区域<sup>[8]</sup>.通过对同一幅火焰图片利用各种边缘检测算子提取边缘,可以发现,LOG 算子和 canny 算子对火焰边

缘响应效果最好,检测到的边缘光滑,且连贯性强. Prewitt 算子、Roberts 算子、sobel 算子提取的边缘较模糊,噪声点较多,且出现边缘间断.图 4 所示为 LOG 算子和 canny 算子提取的边缘.因此,为了得到连续且平滑的目标边界,便于后续处理,本设计最终选取 LOG 算子和 canny 算子检测边缘.

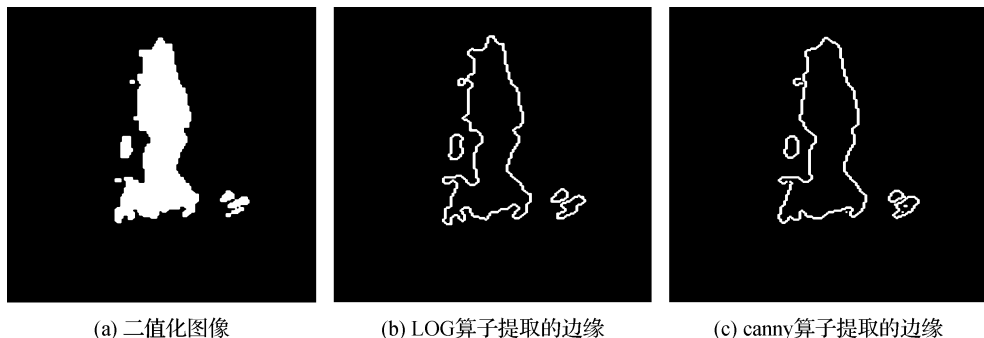


图 4 边缘检测结果比较

Figure 4 Results comparison of edge detection

## 2.4 面积计算

通过对一系列连续火焰图像二值化处理后统计图中像素点等于1的点,可计算出火焰的面积.面积的计算公式<sup>[9]</sup>如下:

$$A_s = \sum_{(x,y) \in S} f(x,y)$$

式中, $S$ 表示某个需要进行度量的连通域, $f(x,y)$ 为像素值.

经计算多幅连续发展火焰的二值化图像, $S_1 = 558.5$ , $S_2 = 676.5$ , $S_3 = 1\ 858.4$ , $S_4 = 3\ 494.8$ , $S_5 = 4\ 677.6$ ,可见,随着火势的发展,火焰面积表现出逐渐增大的变化趋势.

同时,采用蜡烛做了对照实验,经计算三幅连续蜡烛火焰的二值化图像, $S_1 = 12\ 110$ , $S_2 = 15\ 501$ , $S_3 = 12\ 432$ ,面积基本不变.

## 2.5 圆形度计算

由于稳定光源向摄像头靠近也会出现面积逐渐增大的结论,所以单纯依靠面积判据,尚不具备足够的可靠性,还需要计算火灾火焰的其它特征.边缘抖动是火焰区别于其他高温光亮物体的重要特征之一,圆形度可以用来衡量火灾火焰的边缘抖动.求解圆形度首先要对边缘提取链码<sup>[6,7]</sup>,再求解图像面积和周长<sup>[9]</sup>,最后由面积和周长计算出圆形度.

一幅发展火焰图像经计算,面积 $S = 3\ 166.5$ ,链码为: $f_{cc}: [2\ 1\ 6\ 6\ 6\ 4\ 2]$ ,采样点的步长为50.周长: $L_s = N_e + \sqrt{2} \times N_0 = (6 + \sqrt{2} \times 1) \times 50 = 370.7$ .圆形度: $\rho_c = 4\pi A_s / L_s^2 = 4\pi \times 3\ 166.5 \div 370.7^2 = 0.289$ .一幅蜡烛火焰图像经计算,面积 $S = 17\ 735$ ,链码为: $f_{cc}: [2\ 2\ 2\ 1\ 6\ 6\ 6\ 6\ 6\ 6\ 4\ 2\ 2]$ ,采样点的步长为50.周长: $L_s = N_e + \sqrt{2} \times N_0 = (12 + \sqrt{2} \times 1) \times 50 = 670.7$ .圆形度: $\rho_c = 4\pi A_s / L_s^2 = 4\pi \times 17\ 735 \div 670.7^2 = 0.495$

## 3 结论与展望

通过模拟实验可以得出两点结论:

1)火灾中的火焰不稳定,随着火势发展,火焰面积逐渐增大,而蜡烛等稳定光源的面积基本保持不变.所以面积的不断增大可以作为火灾探测的判据之一.

2)蜡烛的圆形度明显大于不稳定火焰的圆

形度.高温物体和灯光及稳定火焰的边缘较稳定,圆形度较大;而发展火焰由于边缘抖动而形状复杂,圆形度较小.所以,边缘抖动、圆形度较小可以作为火灾探测的另一重要判据.

对于图像型火灾探测技术而言,图像的信息量大,背景复杂,图像处理的算法比较繁琐,如何提高探测的快速性与可靠性是设计中应当考虑的重点.在后序工作中,可以将获得的火灾火焰图像特征通过融合技术,如神经网络法<sup>[10]</sup>,综合运用于火灾探测的实际中,以提高预报的准确性和可靠性.

如何有效地综合图像型火灾探测技术和智能机器人<sup>[11]</sup>技术,以解决大空间、大面积、空间结构复杂的建筑物火灾的火焰动态监测难题,是火灾探测技术的发展方向之一.在未来的研究中,可以考虑利用机器人技术实现火灾的移动式监测,使装有CCD摄像头的智能机器人(小车)沿特定路线巡视,以有效覆盖建筑物的每个角落,提高火灾预警的效率.

## 【参 考 文 献】

- [1] 吕普轶,李金,吴利予,等.火灾视频图像的边缘自动检测研究[J].应用科学,2003,30(8):51-56.
- [2] 范华忠,张伯虎,冯艳.图像处理技术在火焰目标提取中的应用[J].电光与控制,2006,13(1):99-104.
- [3] 金华彪.基于数字图像处理的火灾探测技术[J].消防科学与技术,2002(3):46-47.
- [4] 卢结成,吴龙标,宋卫国.一种火灾图像探测系统的研究[J].仪器仪表学报,2001,22(4):437-440.
- [5] 金华彪,夏雨人,张振伟.数字图像处理在火灾探测技术领域的应用[J].微型电脑应用,2003,19(5):25-27.
- [6] 姚敏.数字图像处理[M].北京:机械工业出版社,2006:89-273.
- [7] GONZALEZ R C, WOODS R E.数字图像处理(MATLAB版)[M].阮秋琦,阮宇智,译.北京:电子工业出版社,2003:103-329.
- [8] 鲍宗泛,李红华.关于图像边缘检测的laplace算子的改进[J].中国计量学院学报,2000,11(2):169-172.
- [9] 朱虹.数字图像处理基础[M].北京:科学技术出版社,2005:151-153.
- [10] 冯会真,夏哲雷,林志一.基于神经网络的图像边缘检测方法[J].中国计量学院学报,2006,17(4):289-291.
- [11] 赵子恺.LEGO机器人的编程控制[J].中国计量学院学报,2004,15(1):44-48.