

基于模糊聚类的图像型火灾检测

梁俊山^a, 王慧琴^{a,b}, 胡燕^{a,b}, 邹婷^a, 吴萌^{a,b}

(西安建筑科技大学 a. 信息与控制工程学院; b. 管理学院, 西安 710055)

摘要: 提出一种基于模糊聚类的图像型火灾检测算法。建立火焰颜色模型, 利用像素运动累积法获取疑似目标的闪烁频率, 借助有监督模糊聚类法合并同一疑似火焰区域中的不连通部分, 依据火焰的运动特征进行火灾判定。实验结果表明, 该算法误报率较低, 运行效率较高, 适用于多种场景的火灾检测。

关键词: 火灾检测; 颜色模型; 模糊聚类; 闪烁频率

Image Type Fire Detection Based on Fuzzy Clustering

LIANG Jun-shan^a, WANG Hui-qin^{a,b}, HU Yan^{a,b}, ZOU Ting^a, WU Meng^{a,b}

(a. School of Information and Control Engineering; b. School of Management,
Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

【Abstract】 This paper proposes an image type fire detection algorithm based on fuzzy clustering. Flame color model is established. The pulsation frequency of fire-like regions is obtained by pixel motion accumulation method. The fire-like regions which are not connected but belong to the same flame are merged with supervisory and fuzzy clustering. A judgment is made by the movement characteristics of flame. Experimental results demonstrate that the algorithm has low misstatement rate and high efficiency, it can be used in most environments of fire detection.

【Key words】 fire detection; color model; fuzzy clustering; pulsation frequency

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.064

1 概述

据统计, 火灾的发生频率居各灾害之首, 造成的直接损失约为地震的 5 倍。现有的火灾探测器需安装在着火点附近, 易受粉尘、电磁等干扰, 造成火灾的漏判和误判。图像型火灾探测方法利用图像信息检测火灾, 其图像监测的关键器件不受空间高度、工作环境的限制, 已成为大空间火灾探测的有效手段。文献[1]用火焰颜色特征和改进的直方图反向投影法实现火灾检测。该方法在背景简单、火焰颜色突出时检测较好, 但过分依赖火焰样本, 不能有效排除干扰。文献[2-3]利用混合高斯背景模型提取前景目标, 根据火焰的静态和动态特征完成火灾识别。文献[4]使用累积时间导数方法检测运动目标, 再利用颜色特征排除干扰。这些方法可较好地排除同火焰颜色相似的干扰物, 但由于火焰焰心区域运动缓慢、颜色饱和度较低, 上述方法无法分割出焰心区域, 严重影响了火灾探测的准确性。为此, 本文提出一种基于模糊聚类的图像型火灾检测算法。

2 火焰区域的检测

2.1 火焰颜色模型

目前的火焰像素检测方法只强调利用像素各颜色分量值的范围来识别火焰像素。如文献[5]定义了一种火焰像素颜色判别规则: $R > R_t$, $R \geq G > B$, $S \geq (255 - R) \times S_t / R_t$ 。其中, R 、 G 、 B 分别表示 RGB 色彩空间红色分量、绿色分量及蓝色分量; R_t 表示在 t 时刻红色分量的阈值; S_t 表示在 t 时刻像素颜色饱和度, 认为火焰颜色是从红色变化到黄色。文献[6]统计了不同光照条件下的火焰视频图像, 给出了火焰像素各通道的范围, 其中, R 的范围为 190~255; G 的范围为 113~255; B 的范围为 0~80。

本文建立了基于 RGB 色彩空间的火焰颜色模型, 公式

如下:

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } \begin{cases} (R_{(i,j)} > R_t) \&\& \\ (R_{(i,j)} \geq G_{(i,j)} > B_{(i,j)}) \&\& \\ (R_{(i,j)} - B_{(i,j)} > 100) \&\& \\ (Y_{(i,j)} \geq Y_t) \end{cases} \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

当 $g(i, j)$ 为 1 时, 表示像素 (i, j) 具有火灾火焰的颜色特性, 否则 $g(i, j)$ 为 0, $R_{(i,j)}$ 、 $G_{(i,j)}$ 、 $B_{(i,j)}$ 分别表示像素 (i, j) 的 R 、 G 、 B 分量的值, R_t 表示火焰像素红色分量的阈值。

该模型不仅强调了像素各颜色分量值的范围, 而且给出了 R 与 B 的关系, 并增加火焰像素的亮度特征。火焰像素 R 的最小值比 B 的最大值大 110。由此得到火焰像素的一个新判别条件: $R - B > 100$ 。在实验中发现, 当 $R - B > 100$ 时, 分割效果最好。在图像中, 火焰区域比其周围偏亮。 $Y_{(i,j)}$ 表示用式(2)将 RGB 图像灰度化后像素的亮度值, Y_t 是由实验得到的火焰像素亮度阈值。

$$Y_{(i,j)} = 0.21267 \times R_{(i,j)} + 0.71516 \times G_{(i,j)} + 0.07217 \times B_{(i,j)} \quad (2)$$

2.2 火灾火焰的闪烁特性

闪烁特性是火灾火焰区别于其他干扰物的一个重要的动态特征, 其闪烁频率在 1 Hz ~ 10 Hz^[7]。在较短的时间内, 火

基金项目: 西安市碑林区科技计划基金资助项目(GX1104); 陕西省科学技术研究发展计划基金资助项目(2011K17-04-01); 西安建筑科技大学青年科技基金资助项目(QN1025)

作者简介: 梁俊山(1981—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 火灾探测; 王慧琴, 教授、博士生导师; 胡燕, 博士研究生; 邹婷, 硕士研究生; 吴萌, 博士研究生

收稿日期: 2011-08-04 **E-mail:** liangjunshan0714@163.com

灾火焰在一个区域附近闪烁。本文以 15 帧图像为一组, 利用火焰的闪烁特性排除诸如车灯、行人等的干扰。首先, 建立像素运动累积矩阵 S , 矩阵元素 $S(i, j)$ 表示图像中像素 (i, j) 是火焰像素的次数。定义图像中火灾火焰像素的集合 FC , 当像素 $(i, j) \in FC$ 时, 表明该像素满足式(1), 是火焰像素。然后利用式(1)判断第 1 帧图像的各个像素是否为火焰像素, 若像素 $(i, j) \in FC$, 则矩阵 S 中与其对应位置处的元素 $S(i, j)$ 加 1, 否则不变, 如式(3)所示:

$$S(i, j) = \begin{cases} S(i, j) + 1 & \text{if } (i, j) \in FC \\ S(i, j) & \text{others} \end{cases} \quad (3)$$

利用上述方法对其余的 14 帧进行同样的操作。由于火焰在一个区域附近闪烁, 火焰像素在像素运动累积矩阵 S 中的值将大于 2 并小于 13。不大于 2 的像素认为是快速移动物体的像素, 而不小于 13 的像素认为是缓慢运动物体的像素, 据此将 S 二值化, 如式(4)所示:

$$S(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (s(i, j) > 2 \ \& \ s(i, j) < 13) \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (4)$$

该方法不仅无需背景建模就能检测运动像素, 还可以检测运动像素的频率。

2.3 基于模糊聚类的火焰检测

由于背景复杂及检测到的是火焰边缘像素, 导致在像素运动累积矩阵 S 中检测到的本属于同一着火点的区域被分成多个不连通的小区域, 如图 1(b)所示, 这给随后的特征提取和火灾识别带来困难。为此, 本文提出一种新的有监督模糊聚类法, 找到包括属于同一着火区域但并不连通的区域的最小矩形, 如图 1(c)所示。

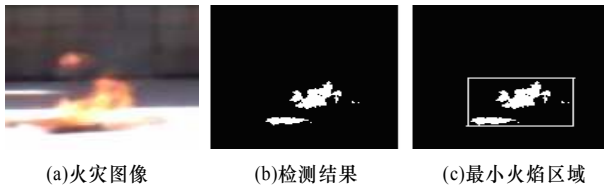


图 1 火灾检测图像

首先标记像素运动累积矩阵 S , 然后找到 2 个连通区域的边缘点间的最短距离 d , 计算方法为:

$$d = \sqrt{(i_m - i_n)^2 + (j_m - j_n)^2} \quad (5)$$

其中, (i_m, j_m) 和 (i_n, j_n) 分别为 2 个连通区域边缘点的坐标。

当距离 d 小于某一阈值时, 将这 2 个连通区域合并, 否则认为是 2 个独立火焰区域。合并只需记录 2 个连通区域所有边界点的坐标以及这 2 个连通区域的最左边、最右边 2 个像素点的列坐标和最上边、最下边 2 个像素点的行坐标。前者用来继续合并属于同一火焰区域的其余连通区域, 后者用来求出包括已找到的火焰区域的最小矩形。

分割火焰过程为: 将本组 RGB 图像与 S 中包括火焰的矩形对应的区域依据式(2)灰度化, 再用式(1)中的亮度阈值 Y_i 将该区域二值化, 得到完整火焰区域。火焰的焰心亮度比边缘的高, 在图像中使用亮度阈值分割可以得到包括焰心的完整火焰区域。

在复杂环境中, 该方法得到的火焰区域含有少量背景像素, 少数几帧图像中火焰区域不完整。但由于这是由 15 帧图像得到的包括火焰的区域, 此缺陷对后面的火焰识别产生的影响可忽略。

本文提出的有监督模糊聚类法根据各连通区域边缘点的

坐标聚类, 不存在经典 C 均值聚类算法和模糊 C 均值聚类算法存在对初始聚类中心过分依赖以及需要预先知道实际聚类数目的问题^[8], 且无需重复迭代计算, 提高了算法的鲁棒性, 降低了时间复杂度。火焰分割结果对比如图 2 所示。

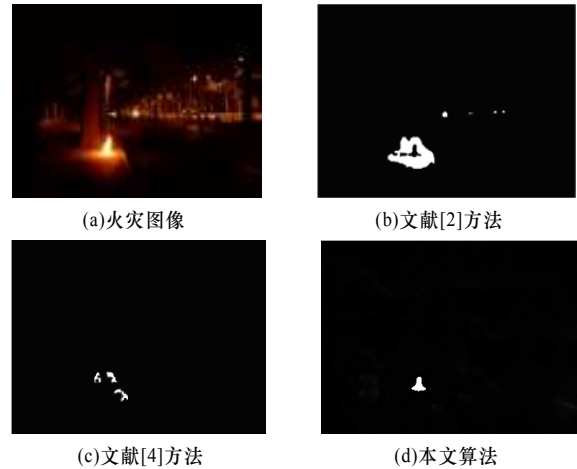


图 2 火焰分割结果对比

可以看出, 文献[2]方法分割出的火焰区域比实际的火焰区域大, 不能检测出焰心区域, 快速移动的车灯也被分割出来。文献[4]方法检测出的火焰区域不完整且执行腐蚀、膨胀操作后, 火焰的边缘严重失真, 还会使一些噪声放大。腐蚀、膨胀操作很难确定需要执行的操作次数, 且这 2 种形态学操作时间复杂度高。本文算法分割出了焰心区域, 火焰的边缘也完整, 且排除了快速移动的车灯等干扰物。

3 多特征火灾识别

由于空气流动、燃料不同以及干扰物都会影响分割的准确性, 因此本文选取了相关性、面积变化率和圆形度 3 个火焰特征作为火灾识别依据, 对检测出来的疑似火焰区域做进一步判定, 识别火灾。

(1) 相关性

在火焰序列图像中, 火焰区域在几何上具有连续性, 在时间上具有相关性。相关性反映两窗口内图像强度分布的表面起伏特征是否相似^[9]。由于火焰的无规则运动, 致使相邻 2 帧图像中火焰区域的相关性在一定范围内波动。相关性可排除颜色均匀的干扰物, 如晃动的红色衣服等。

(2) 面积变化率

由于火灾火焰的闪烁, 导致可疑火焰区域的面积大小持续改变。而非火焰物体的面积随机变化的可能性较小。面积变化率^[10]可排除快速移动及闪烁的物体, 如移动中的车灯。

(3) 圆形度

火灾火焰的形状不规则, 而非火焰干扰物形状比较规则。形状的复杂程度用圆形度^[10]来表示。圆形度可排除形状规则的干扰物, 如白炽灯、蜡烛。

依次判断疑似火灾火焰是否满足相关性、面积变化率及圆形度的要求, 若都满足则为火灾火焰, 否则为干扰物。

4 实验结果与分析

为验证算法有效性, 本文选用 4 段视频, 利用 Microsoft Visual C++6.0 和开放源代码计算机视觉库(OpenCV)开发工具实现本文算法。每段视频的场景及检测结果截图如图 3 所示。其中, 图 3(a)是在强阳光下有行人走动的复杂环境中的实验; 图 3(b)的场景为夜间, 燃料为柴油, 干扰为白炽灯、环形灯、探照灯、警灯; 图 3(c)和图 3(d)是从 <http://signal>

ee.bilkent.edu.tr/VisiFire 网站下载的视频。

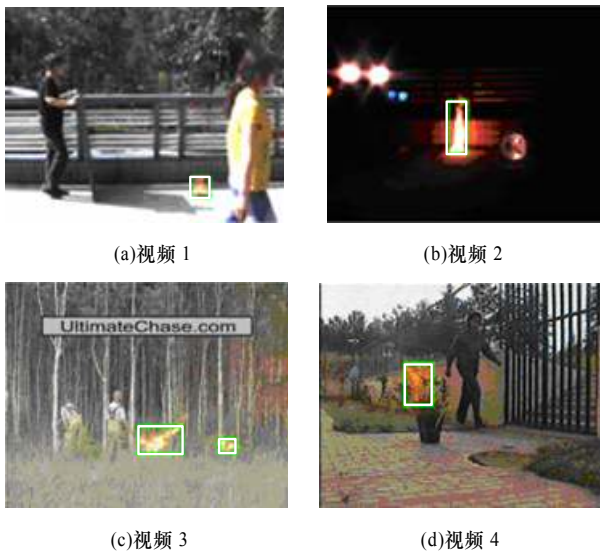


图3 火灾视频检测结果

本文算法每次从视频中获取连续 15 帧图像为一组进行识别, 实验结果如表 1 所示。

表1 火灾视频检测指标

视频	样本组数	识别组数	误判组数	误报率/(%)	正确识别率/(%)	每组运行时间/s
视频 1	1 720	1 619	2	0.12	94.13	5.30
视频 2	1 306	1 279	4	0.31	97.93	3.05
视频 3	16	15	0	0.00	93.75	1.40
视频 4	45	42	0	0.00	93.33	1.70

可以看出, 本文算法在光照条件复杂、干扰物众多的环境中, 误报率很低, 正确识别率较高, 运行时间最长为 5.3 s, 这是因为强阳光下视频中的光线条件及场景最为复杂, 但其远小于 GB1563 1-2008《特种火灾探测器》标准规定的 20 s。笔者还在室内有灯光和白天自然光条件下进行了 10 天的连续监控实验, 没有出现火灾误报。

5 结束语

图像型火灾检测具有非接触性的优势, 不受空间高度、

气流速度等限制, 可有效解决大空间火灾预警问题。本文提出一种基于模糊聚类的图像型火灾检测方法, 根据颜色检测出可疑的火焰像素, 获取火焰的闪烁频率, 采用有监督模糊聚类法获得火焰区域, 提取疑似火焰区域的相关性、面积变化率和圆形度等特征, 实现火灾综合判定。但本文火灾识别算法的阈值是线性的, 所以仍可能存在误报问题, 如何进一步提高火灾识别算法的准确性是下一步的研究方向。

参考文献

- [1] Wirth M, Zaremba R. Flame Region Detection Based on Histogram Backprojection[C]//Proc. of CRV'10. Ottawa, Canada: [s. n.], 2010.
- [2] 陈娟. 基于多特征融合的视频火焰探测方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.
- [3] 袁非牛, 廖光焯, 张永明, 等. 计算机视觉火灾探测中的特征提取[J]. 中国科学技术大学学报, 2006, 36(1): 39-43.
- [4] Qi Xiaojun, Ebert J, Shipley J. Computer Vision Based Method for Fire Detection in Color Videos[J]. International Journal of Imaging and Robotics, 2009, 2(S09): 22-34.
- [5] Chen Thou-Ho, Kao Cheng-Liang, Chang Sju-Mo. An Intelligent Real-time Fire-detection Method Based on Video Processing[C]//Proc. of the 37th Annual IEEE International Carnahan Conference on Security Technology. [S. l.]: IEEE Press, 2003.
- [6] Chakraborty I, Paul T K. A Hybrid Clustering Algorithm for Fire Detection in Video and Analysis with Color Based Thresholding Method[EB/OL]. (2010-12-01). <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ACE>.
- [7] Hamins A, Yang J C, Kashiwagi T. An Experimental Investigation of the Pulsation Frequency of Flames[C]//Proc. of the 25th Symposium on Combustion. Pittsburgh, USA: [s. n.], 1992.
- [8] 周晚辉, 刘文萍. 基于 Type-2 模糊聚类的图像分割算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(24): 211-213.
- [9] 王振会, 汤达章, 傅德胜. 图像相关分析法判别因子的比较与实验[J]. 气象科学, 1992, 12(1): 72-79.
- [10] 杨娜娟, 王慧琴, 马宗方. 基于支持向量机的图像型火灾探测算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(4): 1129-1131.

编辑 顾姣健

(上接第 195 页)

可以看出, 图 7 的传统双线性插值法得到的结果变形最为严重。由于主景图像(甲虫部位)并不是中心区域, 图 6 中甲虫明显发生了变形, 而且其变形大小不一, 甲虫右半边明显比左半边变形严重。而使用本文算法得到的图 5, 可以看到主景图像(甲虫)没有变形失真, 同时维护了图像内容的完整性。

4 结束语

本文提出一种基于 Sobel 算子和均匀插值的非线性缩放算法, 通过图像能量区分出图像的强势区域和弱势区域, 解决了图像主体不位于中心以及边缘过渡失真等问题。下一步将对插值算法进行改进, 以减少算法带来的伪信号和锯齿现象。

参考文献

- [1] 丁勇, 王翔, 严晓浪. 边缘自适应的四点分段抛物线图像缩放[J]. 浙江大学学报, 2010, 44(9): 1637-1642.

编辑 顾姣健

- [2] 任卫军, 褚洪东, 贺昱曜. 可变区域的视频图像幅型比非线性缩放算法[J]. 电视技术, 2008, 32(2): 41-42.
- [3] 田敏雄, 沈庆宏, 曹凤莲, 等. 基于图像空间变换和插值运算的投影仪梯形校正法[J]. 电子测量技术, 2007, 30(3): 10-12.
- [4] Zimet L. Digital Processing of Analog Television[D]. Palo Alto, California, USA: Stanford University, 2002.
- [5] Walkinson J. The Engineer's Guide to Decoding & Encoding[Z]. Snell & Wilcox Inc., 1994.
- [6] 郑峰, 沈庆宏, 韩涛. 一种可变缩放因子非线性缩放方案的研究与实现[J]. 电子测量技术, 2010, 33(2): 5-7.
- [7] 徐敏杰, 沈庆宏. 基于彩色图像势能的非线性缩放算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(10): 2823-2837.
- [8] 霍宏涛, 林小竹, 何薇. 数字图像处理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [9] 江雯, 陈更生, 杨帆, 等. 基于 Sobel 算子的自适应图像缩放算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(7): 214-216.

