

基于图像特征的火灾火焰识别方法

王媛彬, 马宪民

(西安科技大学 电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要:针对火灾火焰识别算法复杂和对环境要求高的特点,提出了基于图像特征的火灾火焰识别方法。首先采用颜色模式预判断火灾图像,排除不具有火焰颜色的物体,然后采用图像灰度化和二维熵最大阈值法进行预分割,得到火焰疑似区域,再通过提取火焰纹理特征和形状特征等对火焰图像进行分析、决策,最终判断出是否有火焰产生。实验结果表明,该方法具有较高的探测率,能降低误报漏报率且抗干扰能力强。

关键词:火灾; 火焰识别; 图像特征

中图分类号:X913.4, TP391.41 **文献标志码:**A

文章编号:1009-0029(2012)02-0126-03

随着计算机技术的发展,基于数字图像处理和计算机视觉的视频火灾检测方法已成为火灾检测领域的重要手段。基于视频的火灾检测方法克服了传统检测技术覆盖范围小、有效探测距离短等不足,使大空间的火灾检测成为可能。近年来,人们对视频火灾检测也进行了深入的研究,主要集中于火焰颜色分析和面积分析上,以设定的色彩空间阈值来提取火焰燃烧区域,以面积判据来剔除周围的干扰等,这些方法探测率高、抗干扰能力强,但算法复杂,对环境要求苛刻,在嵌入式系统中实现困难。

针对上述问题,笔者提出的方法是首先采用颜色模式对火灾图像预判断,对图像灰度化和预分割后再通过提取火焰形状特征和纹理特征等对火焰图像进行分析、决策,最终判断出是否有火焰产生。整个系统的工作过程,如图1所示。

1 基于颜色的火灾图像预判断

颜色提供了视觉上最直接的判断信息,因此图像中的颜色信息十分重要。基于火焰具有强烈的视觉特征,首先利用颜色特征过滤掉不具有火焰颜色的目标。由摄像机采集的火灾视频图像都是基于RGB颜色模型的,笔者以动态火焰图像为例,从包含动态火灾场景的样本图像中建立一种基于单峰高斯的RGB概率模型。利用RGB概率模型可以进行火焰像素探测。若假定每个像素的RGB通道分布是独立的,则此高斯概率分布可以用式(1)估计。

$$P_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{(I_i(x,y) - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), i \in \{R, G, B\} \quad (1)$$

式中: $I_i(x,y)$ 为第 i 个通道的颜色值; μ_i 为 $I_i(x,y)$ 的平

均值; σ_i 为其标准差。

为了估计每个颜色空间的 μ_i 和 σ_i , 从12幅火灾视频里取100帧图像。一个像素的全部概率分布可用式(2)估计。

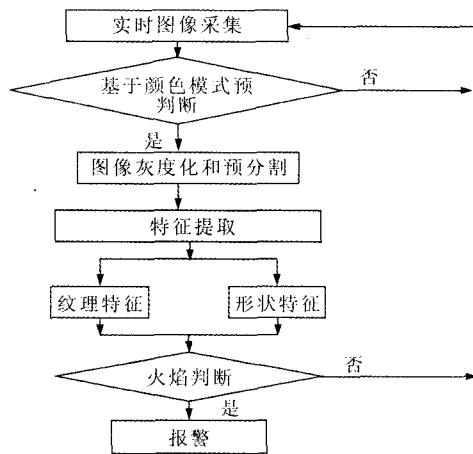


图1 火焰识别流程图

$$p(I(x,y)) = \prod_{i \in \{R,G,B\}} p_i(I_i(x,y)) \quad (2)$$

若 $P(I(x,y)) > \tau$, 判断为火焰, 若 $P(I(x,y)) < \tau$, 判断为非火焰。为克服 $I_i(x,y)$ 需要存储区域的缺点, 借助文献[5]的方法, 式(1)中的 μ_i 和 σ_i 可以按式(3)、式(4)估算。

$$\mu_i(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i(x) \quad (3)$$

$$\sigma_i(x) = \arg\max_{i=1, \dots, N-1} |I_i^{t+1} - I_i^t| \quad (4)$$

R, G, B 各通道的 μ_i 和 σ_i 求出后, 代入式(1)可以得到 $P(I(x,y))$ 的值。

在式(2)中, 若一个坐标为 (x,y) 的像素的3个概率分布的乘积大于阈值 τ , 就看作火焰像素。经过颜色决策后, 疑似火灾区域被探测出来了, 不具有火焰颜色的目标被排除了。但是, 若有干扰的颜色与火焰概率模型相近, 就会有误报。因而还需要结合其他判据去排除误报。

2 数字图像处理

在对图像经过颜色预判断后, 再对图像进行灰度化和阈值分割。

为了使火焰在图像中更加突出, 更有利于火焰和背景区域的区分, 笔者采用了不同于常规灰度化的算法, 其转换关系见式(5)。

$$Gray(i, j) = 1.8R(i, j) - 0.6G(i, j) - 0.2B(i, j) \quad (5)$$

火焰及一些发热源的温度高于背景环境温度,致使其成像灰度值比周边环境高,可以通过阈值对图像进行预分割,提取主要的检测对象。为了突出目标(火焰),笔者采用二维最大熵阈值法进行图像分割,该法结合了图像的灰度信息和邻域信息,通过使图像的二维熵达到最大,得到所需要的二维阈值。图 2(a)为一帧火焰原始图像,图 2(b)是根据式(5)灰度化后的结果,图 2(c)为阈值分割效果图。其中,最佳阈值向量选取为(199,191),最大熵为 11.12。

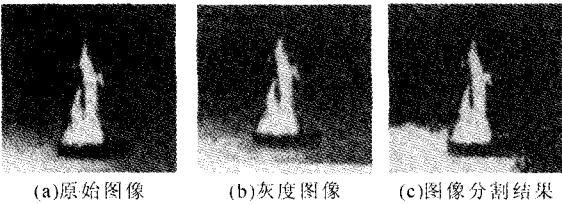


图 2 图像灰度化和图像分割

3 火焰图像特征及其提取

在经过颜色预判和图像预分割后,得到了火焰的疑似区域。为了分类识别火焰和干扰物,提高识别精度,对火焰进行特征提取,主要考虑了纹理特征和形状特征。

3.1 纹理特征

许多物体与火焰具有相近的色彩值,所以色彩特征不可能准确地识别出火焰。它们之间的差异就是颜色值的空间分布与组合不同,即具有不同的纹理。因此,纹理分析在计算机视觉、数字图像处理以及模式识别中起着重要的作用。纹理特征是一种不依赖于颜色或亮度的反映图像中同质现象的视觉特征,它是所有物体表面共有的内在特性。灰度共生矩阵是进行纹理分析的方法之一。利用灰度共生矩阵可以得到一系列的纹理特征统计量,如反差、逆差矩、能量等。设灰度级为 l ,典型的参数定义如下:

(1)反差,见式(6)。

$$f_1 = \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=0}^{l-1} |i-j|^k P_{ij} \quad (6)$$

(2)逆差矩,见式(7)。

$$f_2 = \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=0}^{l-1} \frac{P_{ij}}{1+|i-j|^k} \quad (7)$$

(3)能量,反映图像灰度分布的均匀性。当 P_{ij} 数值分布较集中时,能量较大;反之,则能量较小。见式(8)。

$$f_3 = \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=0}^{l-1} P_{ij}^2 \quad (8)$$

式中: k 为常数, $k \geq 1$; (i, j) 为图像中任一点的灰度值; P_{ij} 为灰度值 (i, j) 出现的概率。

根据火灾火焰图像 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个方向的灰度共生矩阵,分别计算出每一方向的反差、逆差矩、能量等三个纹理特征统计量,然后取四个方向的平均值作为识

别判据。为验证方法的有效性,选取连续 5 帧火灾火焰图像及其他干扰源下的图像,表 1~3 分别为反差、逆差矩、能量等 3 个纹理特征的统计结果。

表 1 火焰及其他干扰物图像的反差特征值

图像	1	2	3	4	5	平均值
火焰	0.336 6	0.328 5	0.288 3	0.302 4	0.305 3	0.312 2
烟头	0.123 3	0.125 6	0.126 4	0.128 8	0.125 5	0.125 9
手电	0.032 2	0.035 1	0.034 8	0.035 2	0.033 6	0.034 1
车灯	0.041 2	0.042 6	0.039 9	0.042 2	0.042 5	0.041 7

表 2 火焰及其他干扰源图像的逆差矩特征值

图像	1	2	3	4	5	平均值
火焰	0.001 5	0.001 8	0.001 6	0.001 6	0.001 8	0.001 7
烟头	0.003 9	0.003 9	0.003 9	0.003 9	0.003 9	0.003 9
手电	0.000 35	0.000 36	0.000 35	0.000 36	0.000 36	0.000 36
车灯	0.000 24	0.000 25	0.000 25	0.000 24	0.000 24	0.000 24

表 3 火灾火焰及其他干扰源图像的能量特征值

图像	1	2	3	4	5	平均值
火焰	0.021 5	0.020 8	0.019 9	0.020 6	0.020 8	0.020 7
烟头	0.011 2	0.011 8	0.011 3	0.012 1	0.011 5	0.011 6
手电	0.046 5	0.046 8	0.046 1	0.046 6	0.046 6	0.046 5
车灯	0.002 1	0.002 3	0.002 2	0.002 4	0.002 4	0.002 3

从表 1~3 可以看出,火灾火焰图像的反差特征、逆差矩特征和能量特征与其他情况有明显差别,据此可以排除烟头、手电、车灯等常见的干扰源,从而可以降低系统的误报率,提高可靠性。

3.2 形状特征

为了提高识别精度,提取纹理特征以后,再通过提取火焰的形状特征进行识别。

(1)圆形度。圆形度用来描述物体边界的复杂程度。由于火灾火焰形状不规则,而大部分干扰源如手电、烟头等形状规整程度高,以圆形度作为火灾判据之一,可以做早期的判断,排除规则发亮物体的干扰。圆形度 C 的计算见式(9)。

$$C = \frac{4\pi S}{L^2} \quad (9)$$

式中: L 为区域周长,可以根据其边界链码得到; S 为区域面积,根据区域内亮点个数得到。

圆形物体的圆形度最大,值为 1,目标物体的形状越复杂其圆形度值就越小。表 4 为火焰和一些常见干扰源的圆形度计算结果。

表 4 火焰和干扰源图像的圆形度值

图像	1	2	3	4	5	平均值
火焰	0.235 5	0.197 7	0.294 8	0.189 6	0.273 2	0.2382
烟头	0.643 3	0.554 7	0.638 6	0.542 5	0.542 1	0.5842
手电	0.873 5	0.779 2	0.678 3	0.776 9	0.778 5	0.7773
车灯	0.509 6	0.584 4	0.601 6	0.512 8	0.598 8	0.5614

(2) 偏心率。也称伸长度,描述物体形状的紧凑性。往往用于区分细长物体和近似规则的干扰物体。火焰在燃烧时形状不固定,有时呈现细长型,有时呈现扁宽型,而干扰区域形状很少会出现这种形状,所以可以利用偏心率来反映火焰区域的拉伸程度,表征火焰区域和宽高比较固定的干扰源的差别。偏心率计算见式(10)。

$$T=\min,(w,h)/\max(w,h) \tag{10}$$

式中: w 和 h 分别为宽、高值。

表 5 为 5 帧火焰以及干扰物图像的偏心率。

表 5 火焰和干扰源图像的偏心率值

图像	1	2	3	4	5	平均值
火焰	0.235 5	0.320 1	0.423 2	0.294 5	0.334 7	0.321 6
烟头	0.875 3	0.864 5	0.902 1	0.912 2	0.886 3	0.888 1
手电	0.936 6	0.887 5	0.893 3	0.879 4	0.912 5	0.901 9
车灯	0.624 3	0.537 6	0.554 2	0.617 6	0.653 1	0.597 4

4 火焰识别

在实验中,分别对 200 帧图片中的火焰特征进行计算,对得到的反差、逆差矩、能量、圆形度和偏心率进行统计。通过假设检验得出合适的置信区间,以此作为标准界定来判断是否满足火焰特征。见式(11)。

$$\mu=\frac{\bar{x}-0.05}{\sqrt{0.05\times0.95/X}},\bar{x}=\frac{\sum x_i}{X} \tag{11}$$

式中: x_i 为误点数; X 为样本总数。

为了测试上述算法的可靠性和准确性,笔者模拟了早期火灾发生时的报警情况,结果如表 6 所示。

表 6 测试结果

类型	材料	放置状态	实验次数	报警次数	误报次数	漏报次数
早期火灾	纸片	固定距离	20	20	0	0
	木条	固定距离	20	20	0	0
	布条	固定距离	20	19	1	0
干扰源	烟头	固定/晃动	20	1	1	0
	手电	固定/晃动	20	1	1	0
	车灯	固定/晃动	20	2	2	0

由表 6 可见,该算法具有较高的灵敏度和可靠性,抗干扰能力强,能较好地识别火灾火焰和干扰源。但系统还是有一定误报,可以结合火焰的动态特征、频闪特征等提高识别精度,以便更好地用于火灾探测领域。

5 结 论

相比传统的火灾检测,图像型火灾探测具备更多优势。针对火焰图像特点,笔者首先基于颜色模式对图像进行预判断,剔除不具有火焰颜色的物体,其次通过图像分割获得火焰疑似区域,在分析图像视觉特征的基础上,根据提取的纹理特征和形状特征将火焰和干扰源区分开来。通过对大量图像进行实验,取得了较好的识别效果。如果将火焰的动态特征和频谱特性结合起来,可进一步提高探测率和识别精度。

参考文献:

[1] Phillips W,Shah M,Lobo N V. Flame recognition in video[J]. Pattern Recognition Letters,2002,23(13):319-327.
 [2] Yamagishi H, Yamaguchi J. A contour fluctuation data processing method for fire flame detection using a color camera[C]// IEEE 26th Annual Conference on IECON of the Industrial Electronics Society, Nagoya, Japan, 2000.
 [3] 袁非牛,廖光焯,张永明. 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] 张进华,庄健,杜海峰,等. 一种基于视频多特征融合的火焰识别算法[J]. 西安交通大学学报,2006,40(7):811-814.
 [5] Celik T, Demirel H, Ozkaramanli H, et al. Fire detection using statistical color model in video sequences[J]. Visual Communication & Image Representation, 2007, 30(18): 176-185.
 [6] 都俊松. 图像处理与模式识别在火灾探测领域的应用[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2007.
 [7] Wang D. Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking[J]. IEEE Transaction on Circuits and System for Video Technology, 2003,8(5):539-545.
 [8] 王柯,方陆明,付蓼萍. 森林火灾图像几何特征提取识别的算法研究[J]. 浙江林业科技,2009,29(6):38-40.
 [9] 辛颖,薛伟. 基于图像处理的贮木场火灾检测方法[J]. 消防科学与技术,2010,29(12):1051-1053.

Recognition of fire flame based on image futures

WANG Yuan-bin, MA Xian-min

(Electrical and Control Engineering Institute, Xi'an University of Science and Technology, Shannxi Xian 710054, China)

Abstract: Due to the disadvantages of flame recognition, such as the complexity of algorithm and high requirement on the environment, a method for recognizing flame based on image futures was presented. Firstly, the image was preprocessed based on the color mode, objects without flame color futures were smoothed out, then the image was pre-segmented by graying and 2-D max entropy method, and the candidate region was obtained, thirdly the texture futures and shape futures were extracted to analyze the image, and decision about whether there is flame was made. The experiment results demonstrated that the algorithm has high detection rate, can reduce the false positive rate and has strong anti-jamming capability.

Key words: fire; flame recognizing; image characteristic

作者简介:王媛彬(1977—),女,河南平顶山人,西安科技大学电气与控制工程学院讲师,硕士,主要从事图像处理、火灾探测方面的研究工作,陕西省西安市雁塔路 58 号,710054。

收稿日期:2011-10-12