

文章编号: 1006-2467(2008) 12-1979-04

面向红外视频图像的火焰识别

汪 锦¹, 于伟华², 韩 豹¹

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240;
2. 北京理工大学 信息科学技术学院, 北京 100081)

摘要: 针对红外图像的火焰识别, 采用基于粒子群优化算法的二维最大熵阈值选取方法, 选取最佳阈值对红外图像进行分割, 使可疑区域从背景中分离出来。选择物体的高度作为特征量, 采用标准模板序列, 设计两层模糊分类器分析物体的高度变化和灰度分布, 给出可疑目标隶属于火焰的评价。实验证明, 这种结合火焰动、静特性的算法鲁棒性强, 识别率及灵敏度较高, 适用于广范围的火灾监控。

关键词: 红外图像; 两层模糊分类器; 火焰识别; 粒子群优化算法

中图分类号: TP 391.4 文献标识码: A

Fire Detection Based on Infrared Video Image

WANG Jin¹, YU Wei-hua², HAN Tao¹

(1. School of Electronic, Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology Beijing 100081, China)

Abstract: Flame detection and recognition is a kernel issue in the automatic fire surveillance system. An effective algorithm was put forward to recognize flame object in infrared video sequence. Otsu thresholding based on particle swarm optimization algorithm is used for segmentation of the image, after that the fire colored objects will be picked up. Next, a double-deck fuzzy system is employed to analyze the difference of objects' height and gray scale distribution, and then the membership degree is given to the flame. The experimental results prove that the method can effectively extract flame object from complex background.

Key words: infrared image; double-deck fuzzy system; flame detection; particle swarm optimization

传统的火焰检测方法是通过火焰探测器对火焰产生的某些微粒子进行电离或光谱分析来达到识别的目的, 然而这类探测器有效探测距离很短, 不适用于户外火灾的监测。近年来, 基于数字图像处理的视觉检测使得火焰智能监测成为可能。例如: 文献[1, 2]中利用色彩视频序列图像中物体的颜色和抖动信

息来确定火焰的存在; 文献[3]中用颜色掩膜技术来处理类似火焰颜色的区域, 这些算法主要针对色彩摄像机拍摄的图片, 在其色彩空间对可疑区域进行分析。文献[4]中以物体边界的尖点作为火灾的判据, 该算法能有效识别近距离火焰目标, 然而对于远距离较小的火点, 其边界轮廓较平滑, 难以检测火焰

收稿日期: 2007-11-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60774052)

作者简介: 汪 锦(1981-), 男, 湖北黄冈人, 硕士生, 主要研究方向为视觉检测。

于伟华(联系人), 女, 讲师(博士), E-mail: ywhbit@bit.edu.cn

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

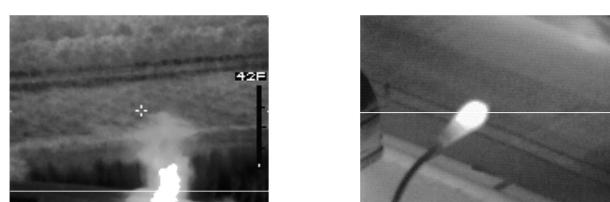
尖点。文献[5]中提出了一种度量轮廓脉动信息的距离模型,该模型在规格化的傅里叶描述子空间能够准确地度量这种时空闪烁特征。

鉴于红外热像仪对物体的温度敏感,其用于自动消防系统有利于提高监测火灾的灵敏度,这是其优于普通色彩摄像机的特性。但由于热红外图像反映的是目标及场景的热辐射,难免受到复杂背景的干扰,如日照下的房顶、汽车等深色吸热物体。针对上述问题,本文提出以物体高度为特征量,采用模糊隶属度法分析物体对火焰这类事物的隶属程度,对于第1层模糊分类器分类结果的中间状态,则送入第2层模糊分类器再分类,即在灰度空间分析物体的灰度分布情况,从而综合评定物体对于火焰的归属情况,以达到从复杂的背景中提取火焰目标的目的。

1 火焰的静态和动态特性

1.1 灰度分布

对火焰的研究表明,燃烧中的火焰有极强的热辐射能力,外焰外围可形成一个较宽的热辐射层,这个热辐射层的灰度分布呈很明显的梯度分布,越靠近火焰其灰度值越大,如图1(a)和(b)分别为火焰和干扰红外图像。图2(a)和(b)分别为图1中白色横线所在行像素的灰度分布序列图。图2(a)所示的火焰单行像素灰度分布图中有一个顶端较平坦的峰,其对应火焰实体部分,包括外焰和焰心,而两侧的单调曲线则对应热辐射区域的灰度分布。从单行像素来看,热辐射区域的宽度明显大于火焰本身的宽度 W_1 ,而图2(b)所示非火焰的发热物体,热辐射能力比较小,其辐射区域的宽度窄,此时 $W_2 \approx W_1$ 。



(a) 火焰 (b) 非火焰目标

图 1 火焰与干扰的红外图像

Fig. 1 Flame and non-flame object

1.2 频闪特性

燃烧的火焰存在着闪烁现象,频率为0.5~20 Hz。由于受常规视频采集卡帧率的限制(一般在25帧),加上火焰频闪与燃料射流和周围空气之间的剪切力相关,直接对火焰进行频谱分析难以达到好的效果。但火焰跳跃闪烁导致其高度、形状、面积、周长等特征都会不断发生变化,其中火焰高度的相对稳

定性最差。本文选取序列图像中火焰高度和时域变化作为动态特征量来增大可识别距离,实现大范围的火焰检测。

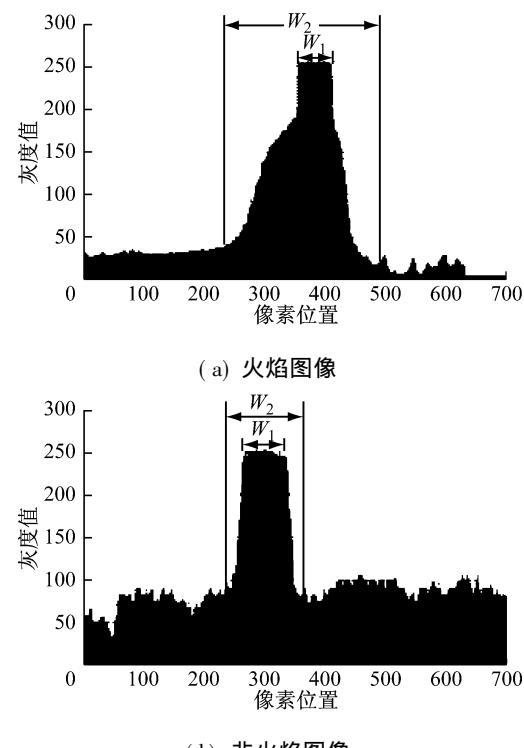
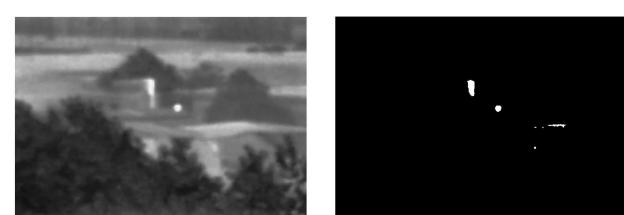


图 2 火焰与干扰目标的单行像素灰度分布对比
Fig. 2 Comparison of the gray scale distribution of flame and non-flame objects

2 图像处理方法

2.1 数据预处理

分析频闪特性,需要对图像进行预处理,主要包括:阈值分割和边界提取。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,因此可以通过阈值对图像进行预分割,提取主要的检测对象。本文采用二维最大熵阈值选取法并结合粒子群优化算法^[9]快速搜索最佳阈值。图3所示为阈值分割效果图。图中,最佳阈值向量选取为(199, 191),最大熵为11.12。



(a) 分割前 (b) 分割后

图 3 阈值分割效果图

Fig. 3 The results of image segmentation

图像经过阈值分割后,对各区域进行平滑处理。

去除物体边界毛刺. 然后边界跟踪获取物体的边界链码^[7]. 链码包含物体的丰富信息, 如边界点的坐标、曲率、斜率、周长、面积等重要的特征. 在获取边界链码后, 很容易计算物体的高度.

2.2 模糊评判原理

由于监控环境的复杂性和干扰物体热辐射的不稳定性, 使得相邻帧图像的边缘灰度不稳定, 对目标物体的识别存在模糊性. 本文采用模糊数学的隶属度来评价目标物体归属于“火焰”的程度.

2.2.1 选择隶属度函数 本文选取可疑目标的高度作为特征量, 对物体多次采样测量, 获取物体的高度序列, 将其各项除以序列的最小值进行量化处理, 从而作为标准火焰模板, 设为 H^* . 分析隶属度之前, 先将其他序列同样做量化处理, 设为 H . 然后计算序列各项与火焰模板对应项之比 $y_i = H_i^*/H_i$, 序列中各项的隶属度函数采用半升梯形函数的直线函数. 根据经验设置最优参数 $a=0.95$, 最差参数 $b=0.85$, 则各项隶属度函数:

$$\zeta_i = \begin{cases} 0, & 0 \leq y_i \leq b \\ \frac{y_i - b}{a - b}, & b < y_i < a \\ 1, & y_i \geq a \end{cases}$$

因此, 两个序列之间的模糊隶属度为

$$\mu_d = \sum_{i=1}^n \zeta_i w_i$$

其中, w_i 为第 i 项的权重, 对于物体高度序列, 各项的意义作用相同, 故各项权重都等于 $1/n$.

2.2.2 构建两层模糊分类系统 根据隶属度 μ_d 的归属区间, 可用模糊语言对其进行分类, 但当其落入“可能是, 也可能不是”的模糊状态时, 无法明确地评价其归属, 需要借助于灰度分布特性来进一步辨识.

本文采用 ζ 计算静态特性的隶属度 μ_s , 此时, 可以设经验参数 $a=2.0$, $b=1.0$; $y=w_r/w$. 其中: w_r 为辐射区的宽度; w 为目标物宽度. w_r 、 w 的确定方法: 首先用预处理步骤中获取的最佳阈值, 在还未经阈值分割的源图像中找到发热物体的实体部分, 然后从实体部分的某一点向两边水平展开搜索, 设定一个搜索步长, 计算前后点之间的斜率, 斜率接近于 0 的部分可以看成是发热物体的实体部分(灰度较稳定), 由此可以确定发热体的边界点, 接下来搜索过程中将判断斜率的符号变化, 直到斜率反号, 即为辐射区的边界点处(辐射区灰度分布的单调性).

这种将动态特性与静态特性相结合分析的方法构成了一个两层的模糊分类系统, 归纳起来, 模糊规则如下:

- (1) $\mu_d \geq 0.65$, 是火焰;
- (2) $\mu_d \leq 0.45$, 不是火焰;
- (3) $0.45 < \mu_d < 0.65$ 且 $\mu_s \geq 0.65$, 是火焰;
- (4) $0.45 < \mu_d < 0.65$ 且 $\mu_s < 0.65$, 不是火焰.

2.2.3 选择模糊集的标准模式 物体符合“火焰”这类事物的评价好坏很大程度上取决于标准模式的选择, 火焰的燃烧情况比较复杂, 无法找到一个统一的标准模式. 由于静态干扰物体的高度序列较火焰相对稳定得多, 故静态干扰物体的模式很容易确定. 本文由火焰和非火焰模糊子集构成了整个论域 U , 两模糊子集互为余集, 若设目标对于第 i 个“非火焰”模板的隶属度为 μ_{di} , 则目标对于“火焰”的隶属度可表示为

$$\mu_f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - \mu_{di})$$

其中, N 为“非火焰”模板的个数. 从该表达式可以看出, 目标对于“火焰”的隶属度可以通过“非火焰”模板进行计算. 鉴于“非火焰”模板容易选取, 所以可以用“非火焰”模板构建模板库. 又由于干扰物体的高度都是比较稳定的, 其高度序列各项值都较为接近. 因此, 为了简化计算和省去构建模板库的一些问题, 可定义一个标准“非火焰”模板序列, 该模板序列各项值都等于 1, 即 $h=\{1, 1, \dots, 1\}$. 需要注意的是, 在计算目标对于“非火焰”的隶属度之前, 应先计算标准“非火焰”模板序列各项与目标序列对应项之比 y_i , 这里与计算对于“火焰”的隶属度略有不同.

3 实验与数据分析

本文的实验均在固定式 HY701F 红外热像仪和 HikVision 视频采集卡平台下进行, 软件开发平台为 Visual C++ 6.0, 图像大小为 704×480 .

对图 4 所示的 4 个目标分 5 个时间段分别采样, 采样率为 8 Hz, 采样时间 5 s, 拍摄距离 300~1 000 m. 分别获取 5 个长度为 40 的高度序列, 成像面积(像素)分别约为 3 000, 2 500, 400, 1 800, 各目标与“火焰”的隶属度可由 $\mu_f = 1 - \mu_d$ 计算得到. 限于篇幅, 针对图 4 所示的 4 个目标分别只列出 1 幅高度序列图, 如图 5 所示.

表 1 中的火焰 A 和 B, 干扰物 A 和 B 分别对应图 4 所示的 4 个目标. 经过第 1 层分类器处理, 火焰 A 的 5 次采样计算的动态隶属度均落入区间 $\mu_d > 0.65$, 因此可以确认为火焰. 火焰 B 的第 4 次采样序列计算的隶属度值落入 $0.45 < \mu_d < 0.65$ 区间, 需要送入第 2 层分类器, 分析灰度分布, 取最后 1 幅图

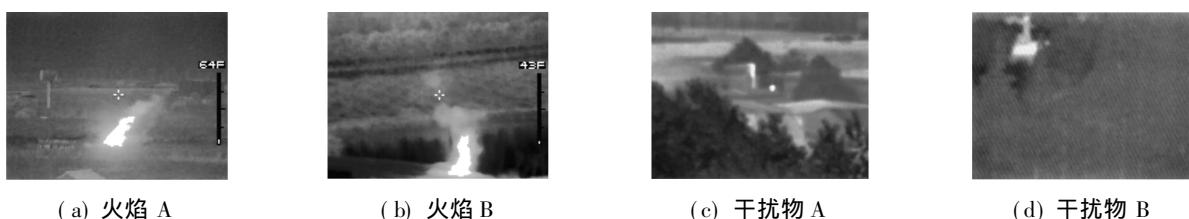


图 4 实验目标红外图像

Fig. 4 Images of the target (The number of target' pixel are respectively about 3 000(a), 2 500(b), 400(c), 1 800(d), the distance ranges from 300 meters to 1 000 meters)

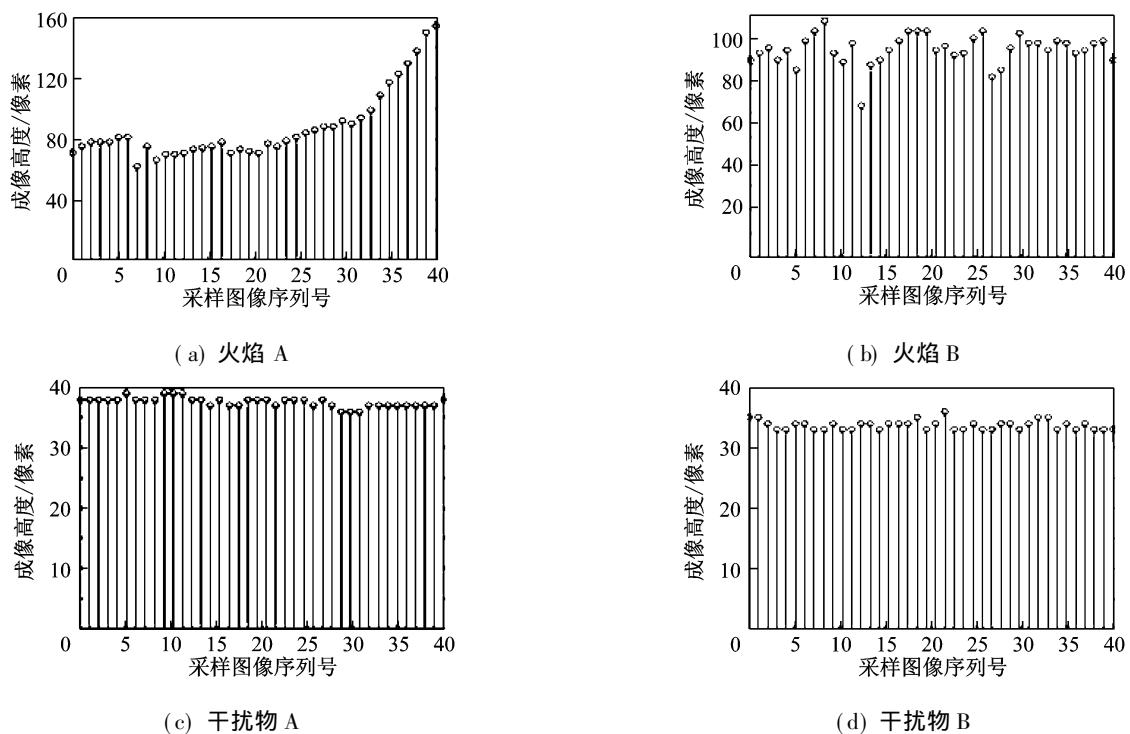


图 5 目标高度序列

Fig. 5 Sequence of the targets' height

表 1 第 1 层分类器产生的隶属度数据

Tab. 1 Membership degree analyzed by the first-deck classifier

	目标序列号				
	1	2	3	4	5
火焰 A	0.909	0.895	0.790	0.867	0.870
火焰 B	0.802	0.728	0.931	0.621	0.879
干扰物 A	0.039	0.024	0.053	0.028	0.035
干扰物 B	0.097	0.104	0.084	0.017	0.029

像, 分析得 $w_r = 196$, $w = 54$, $y = w_r / w = 3.63$, 则 $\mu_s = 1$, 因此综合隶属度 $\mu = 1$, 可以确认为火焰. 而干扰物 A 和 B 的 5 次采样数据送入第 1 层分类器, 其动态隶属度均落入区间 $\mu_d < 0.45$, 因此可以确认为非火焰. 综合分析表 1 中的分类结果, 火焰目标的 10 个序列样本对于“火焰”的隶属度均在 0.75 以上, 而干扰目标物的 10 个序列样本对于“火焰”的隶

属度均在 0.15 以下. 由此可见, 运用模糊数学的隶属度法, 具有很强的抗干扰能力, 可以很好地将火焰目标从复杂的背景中提取出来.

4 结语

本文针对火焰的动态闪烁特性, 以火焰成像高度作为动态特征量, 分析采样时间内物体的高度变化, 以及在灰度空间分析物体的灰度分布, 运用模糊隶属度法计算物体对于“火焰”的隶属度, 通过隶属度评价可以有效地将火焰从复杂的背景中提取出, 达到识别、定位的目的. 算法抗干扰能力强, 识别率高, 具有较高的实用价值. 由于本算法选取物体高度做为特征量, 高度对于火焰的频闪很敏感, 所以算法的可识别灵敏度较高, 对于一定面积的小目标也能有效地识别.

(下转第 1987 页)

玩家需求 R_5 、 R_6 、 R_7 、 R_8 的评估值与评价均值的绝对偏差较大, 是因为 30 名玩家对这几个需求的评价相差较大, 平均值不能体现评价分值之间的差别, 而本文评估方法充分地考虑了玩家评价分值之间的差异, 因此导致在这些玩家需求上, 两者之间的绝对偏差较大。

需要说明的是: 当参与调查的玩家数量越多时, 玩家需求评估过程的矩阵计算量会增大, 同时所获得的玩家需求重要度就越准确, 越能接近所有玩家的普遍需求。

5 结语

本文针对玩家需求信息的模糊性和不确定性, 提出了基于模糊集和熵的玩家需求评估方法, 最大限度地包含了玩家语言中的模糊信息。实例分析证明, 该评估方法可以从少量的、模糊的、不确定的玩家信息中, 获取客观的、定量的、准确的玩家意愿, 具有较高的准确性和可靠性。本文的评估方法能给网络游戏设计者和游戏运营商提供一定的借鉴作用。本文所做的玩家需求评估是建立在玩家需求静态不变的假设前提下, 在后续研究中, 可以对网络游戏玩家消费需求特点的动态性作进一步的分析。

参考文献:

- [1] Choi D, Kim J. Why people continue to play online games: In search of critical design factors to increase customer loyalty to online contents [J]. *Cyber Psychology & Behavior*, 2004, 7(1): 11-24.
- [2] Lee S C, Sub Y H, Kim J K, et al. A cross-national market segmentation of online game industry using SOM [J]. *Expert Systems with Applications*, 2004, 27(4): 559-570.
- [3] Chen K T, Huang P, Lei C L. Game traffic analysis: An MMORPG perspective [J]. *Computer Networks*, 2006, 50(16): 3002-3003.
- [4] Gabriel J, Barry I P. Matching games to gamers with quality function deployment [J]. *TQM & Business Excellence*, 2003, 14(11): 959-967.
- [5] Chan L K, Wu M L. A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example [J]. *The International Journal of Management Science*, 2005, 33(2): 119-139.
- [6] Zadeh L A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1999, 100(s): 9-34.
- [7] Shuiabi E, Thomson V, Bhuiyan N. Entropy as a measure of operational flexibility [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 165(3): 696-707.

(上接第 1982 页)

参考文献:

- [1] Phillips W, Shah M, Lobo N V. Flame recognition in video [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2002, 23(1-3): 319-327.
- [2] Healey G, Slater D, Lin T, et al. A system for real-time fire detection [C] // *Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*. New York: IEEE, 1993: 605-606.
- [3] Horng W B, Peng J W, Chen C Y. A new image-based real-time flame detection method using color analysis [C] // *IEEE International Conference on Networking, Sending and Control*. Tucson: IEEE, 2005: 100-105.
- [4] 吴龙标, 宋卫国, 卢结成. 图像火灾监控中一个新颖的火灾判据 [J]. 火灾科学, 1997, 6(2): 61-65.
WU Long-biao, SONG Weiguo, LU Jie-cheng. A new criterion of fire recognition for image's fire monitoring and controlling system [J]. *Fire Safety Science*, 1997, 6(2): 61-65.
- [5] 袁非牛, 廖光煊, 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.
YUAN Fei-niu, LIAO Guang-xuan, ZHANG Yong-ming, et al. Feature extraction for computer vision based fire detection [J]. *Journal of University of Science and Technology of China*, 2006, 36(1): 39-43.
- [6] Du Feng, Shi Wen-kang, Chen Liang-zhou, et al. Infrared image segmentation with 2-D maximum entropy method based on particle swarm optimization (PSO) [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, 26: 597-603.
- [7] Freeman H. Computer processing of line-drawing image [J]. *Computing Surveys*, 1974, 6(1): 57-97.