

基于空间区域生长和模糊推理的视频烟雾检测

高彦飞^a, 王慧琴^a, 胡 燕^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: 提出基于空间区域生长和模糊推理的视频烟雾检测方法。研究火灾烟雾颜色特性、扩散特征, 采用三帧法与三通道区域生长分割算法分割出第 1 帧、第 2 帧图像的烟雾疑似区域, 分析该疑似区域的图像光流主方向, 求得 2 幅图像的主方向角比率, 通过模糊逻辑智能分析器检测火灾是否发生。实验结果表明, 该方法的检测速度较快, 抗干扰能力较强。

关键词: 模糊推理; 烟雾检测; 三通道区域生长; 主方向角比率

Video Smoke Detection Based on Space Region Growing and Fuzzy Inference

GAO Yan-fei^a, WANG Hui-qin^a, HU Yan^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 the video smoke detection method based on space region growing and fuzzy inference. It analyses the fire smoke color characteristic and diffusion characteristics, and uses the three frames method and three-channel region growing segmentation algorithm to segment the smoke suspected area of the first frame image and the second frame image. It analyses the image light flow main direction of the suspected regions, and obtains the two images primary orientation angle ratio. This paper also uses the fuzzy logic intelligent analyzer to test whether the fire has happened. Experimental results show that the detection speed is faster, and can resist the interference.

【Key words】 fuzzy inference; smoke detection; three-channel region growing; primary orientation angle ratio

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.094

1 概述

大空间和户外火灾探测是消防领域新的研究课题。在大空间的室内环境中(一般可定义为 8 m 以上), 当烟雾上升至一定高度, 就会被周围存在的空气所冷却, 停留在一个空气层面中不再上升, 而且在开放的大空间中, 由于有热障区域的存在, 因此烟雾及火灾产生的热量就不会到达热障以后的空间, 使得传统的汽敏型、感温型、感烟型、感光型等火灾探测技术受到限制。

视频火灾探测技术为快速、准确探测火灾提供一种新的手段, 其主要原理是, 通过判断火灾发生时火焰和烟雾的图像特征实现火灾探测。在火灾发生初期, 由于火焰并不明显, 其典型的物理现象是烟雾和阴燃, 因此利用烟雾特征更容易实现早期火灾报警。

国内外学者在该领域开展一些研究, 文献[1]提出一种基于烟雾动态特征分析实时火灾检测算法, 该算法利用烟雾区域整体移动的相对稳定性, 图像的能量变化特性、烟雾面积的增长特征来实现对火灾的早期检测。文献[2]提出基于能量和颜色烟雾检测系统, 在求得图像序列的能量变化比率和烟雾的混合参数的基础上, 采用贝叶斯分类器进行检测。以上算法的共同特点是, 通过能量变化、面积变化等对烟雾进行检测, 其前提条件是在背景图像中, 必须有较强的边缘和纹理成分。

当燃烧材料不同时, 烟雾面积增长特性并不能用合适的参数准确描述, 从而限制算法的应用范围。基于以上内容, 本文提出基于空间区域生长和模糊推理的视频烟雾检测。

2 基于三帧法和三通道区域生长的烟雾图像分割

三帧法可有效抑制动态背景, 如光照变化带来的影响, 能有效去除与烟雾颜色相似的静止背景干扰。其缺点是不能提取所有相关的特征像素点, 在运动实体内部, 容易产生空洞。三通道区域生长利用像素点像素值之间的相近性、空间位置的相邻性, 不仅可以很好地填充运动实体内部空洞, 而且能够增加烟雾特征像素点, 将这 2 种分割算法组合, 可以准确地实现分割烟雾图像。三帧差与三通道区域生长框图如图 1 所示^[3]。



图 1 三帧差与三通道区域生长框图

2.1 三帧法获取初始种子的方法

利用彩色 CCD 摄像头采集视频, 截取视频的三帧连续图片, 采用三帧法提取运动区域, 去除与烟雾颜色相近的静

基金项目: 陕西省教育厅专项基金资助项目(08JK319); 陕西省科学技术研究发展计划基金资助项目(2011K17-04-01); 西安市碑林区科学技术基金资助项目(GX1104); 西安建筑科技大学青年科技基金资助项目(QN1025)

作者简介: 高彦飞(1985—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图形图像处理, 图像型火灾探测; 王慧琴, 教授、博士生导师; 胡 燕, 工程师、博士研究生

收稿日期: 2011-07-27 **E-mail:** gaoyanfei0000@sina.com

止区域干扰。在多运动目标下，得到提取的图元不止一块，实际上，并不需要对所有的图元都进行分析，而只需要选择面积最大的若干图元进行分析。因为如果图元是干扰，所以理所当然应该被过滤掉而不予考虑。如果是烟雾，那么烟雾的面积是在不断扩散的，以此可以对两者进行区分。一般情况下，烟雾扩散的速度是比较快的，在很短的时间内，烟雾区域可成为移动区域中面积比较大的部分。因此，只选择面积较大的若干图元进行分析，这样并不影响系统判断的准确性，并且可以减少计算量，提高代码执行效率。以下称被选定的图元为可疑图元。

图元成为可疑图元的算法为：计算所有的图元的面积，找出其中面积最大值 a_{max} ，第 i 个图元成为可疑图元必须满足如下条件^[4]：

$$a_i \geq \frac{1}{50} a_{max} \tag{1}$$

根据式(1)求得每个可疑图元的质心，将该质心作为前 2 帧图像的种子点进行区域生长。

2.2 三通道区域生长

利用区域生长算法分割烟雾图像，首先对图像进行预处理。通常采用 $0.3R+0.59G+0.11B$ 或 $(R+G+B)/3$ 线性组合将彩色图像转换成灰度图，在此基础上，进行分割及识别处理，但这会将完全不同颜色值转换为相同的灰度值，会丢失图像颜色证据。区域生长是根据像素点灰度值相似性以及空间的相邻性准则，将种子点聚合成更大区域的分割算法，可以将与烟雾具有相同灰度值的像素点(干扰像素)分割出来，该算法容易产生过分割现象，给特征提取及识别带来影响。

本文采用在三通道分别进行区域生长算法可以避免以上问题。三通道区域生长流程如图 2 所示。

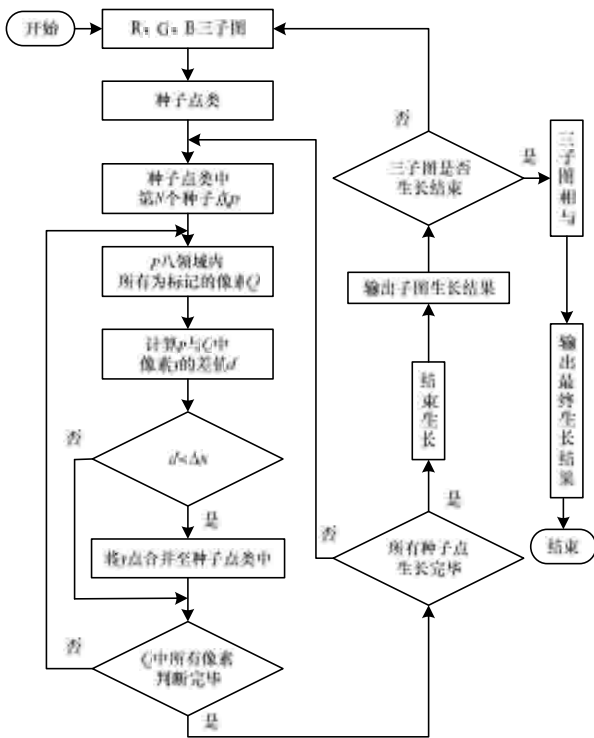


图 2 三通道区域生长流程

由图 2 可知，在灰度图中，烟雾像素点与干扰像素具有相近的像素值，但大多的烟雾颜色为白色、灰色和黑色，并且这 3 种烟雾图像的 R、G、B 各分量最大值与最小值差值为 15~20，而大多干扰像素点其 R、G、B 分量与烟雾像素点对

应分量的像素值差值不为 15~20。利用任何像素与种子之间的像素值绝对差必须小于 20 的准则，在彩色图像的 R、G、B 三通道分别进行区域生长分割，然后将三通道的生长结果做与运算，作为最终的烟雾图像分割结果。这样在任何通道中进行区域生长，烟雾像素点都可以被分割出来，然而干扰像素则不然，在进行相与运算后，可将干扰像素去除，烟雾分割更加准确。

2.2.1 生长规则

任何像素和种子之间的像素值绝对差必须小于 20，这个数字是根据烟雾像素值差值为 15~20 得到。当种子类中再没有种子点的时候停止生长。

2.2.2 生长过程

从种子类中取出种子点 p ，寻找 p 的 8 邻域内所有未标记像素 Q ，利用下式计算种子点与 Q 中每个像素点 s 的绝对差 d ，如果 $d < 20$ ，将 s 纳入种子点类中，否则继续下一个邻域像素点的判断。当 Q 中每个像素点都判断完毕后，从种子点类中取出下一个种子点进行相同的操作，直至种子类中全部种子生长完毕为止。

$$\begin{cases} \text{种子点} & \text{if } |p-s| \leq 20 \\ \text{背景点} & \text{else} \end{cases} \tag{2}$$

在三通道内，根据相同的算法进行区域生长，而后将三通道生长结果相与，以获得第 1 帧图片的烟雾疑似区域。同理可获得第 2 帧图片的烟雾疑似区域。

3 图像光流主方向的分析

早期出现的烟雾通常情况为向上扩散，因为烟雾图像的光流主方向也是向上的，所以首先计算疑似区域中每个像素点的主运动方向，然后统计主运动方向为向上的像素点个数与主运动方向非向上的像素点个数的比率，该比率就是主方向角比率 β ^[5]，将下式作为烟雾识别的判断依据：

$$\beta = \frac{\sum_{\theta=1}^3 \theta_{\text{main}}(\theta)}{\sum_{\theta=4}^8 \theta_{\text{main}}(\theta)} \tag{3}$$

通过大量实验表明，烟雾图像的主方向角比率 $\beta \geq 2.0$ ，而其他干扰图像 $\beta < 2.0$ 。在本文求得的连续三帧图像中，第 1 帧、第 2 帧图像疑似区域主方向角比率为 β_1 、 β_2 ，将其作为模糊推理的输入特征。

4 模糊推理

火灾燃烧机理和发展过程都具有非线性的特性。在燃烧过程中，获得的各种参数信息往往也是不精确、不完全的。因此，利用模糊理论，推理相邻 2 帧烟雾图像的主方向角比率 β_1 、 β_2 和火灾发生情况之间的关系，可以有效提高火灾检测的准确性，降低误报率^[6]。

设主方向角比率为论域， $U=[0, \infty)$ ，经过大量实验测试得出图像存在烟雾模糊子集的隶属函数如下：

$$\mu_{\text{smoke}}(\beta) = \begin{cases} 0 & \beta < 0 \\ \frac{1}{2}\beta & 0 \leq \beta < 2 \\ 1 & \beta > 2 \end{cases} \tag{4}$$

4.1 模糊化

根据隶属函数可得主方向角比率 β 取值区间为 $[0, \infty)$ ，但是当 β 等于 2 时，就可确定有烟雾出现，因此， β 取值区间为 $[0, 2]$ 。

β_1 、 β_2 语言变量词集的可取形式如下：

$$\{DB, DM, Cof, UM, UB\} \quad (5)$$

其中, DB 表示主方向趋势向上可能性最小; UB 表示主方向趋势向上可能性最大; DB、DM、Cof、UM 主方向趋势向上可能性依次增大。

取 β 的语言变量词集和量化等级为:

$$\{DB, DM, Cof, UM, UB\} \quad (6)$$

$$\{0.1, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0\} \quad (7)$$

4.2 模糊规则与反模糊

对于疑似区域来说, 若 β_1 等于 2.0, 且 β_2 等于 2.0, 则判定有烟雾出现; 若 β_1 等于 0.1, 且 β_2 等于 0.1, 则判定没有烟雾出现。

根据上述分析可以建立如下形式的模糊推理规则:

(1)if $\beta_1=UB$ and $\beta_2=UB$ then $S=UB$;

(2)if $\beta_1=DM$ and $\beta_2=UM$ then $S=Cof$;

...

经模糊推理运算可得到模糊控制规则如图 3 所示, 其中数据为对应情况下 S 的取值。

$\beta_2 \backslash \beta_1$	S	DB	DM	Cof	UM	UB
DB		DB	DB	DM	Cof	Cof
DM		DB	DB	DM	Cof	UM
Cof		DM	DM	Cof	UM	UM
UM		DM	Cof	UM	UB	UB
UB		Cof	Cof	UM	UB	UB

图 3 模糊控制规则

若模糊逻辑分析器的输出是一个模糊集, 本文采用最大隶属度模糊决策算法将模糊量转化为 UB、UM、Cof、DM、DB 中的某一精确量。当精确量为 UB 时, 判定有烟雾出现, 其他精确量判定为没有烟雾出现。

5 实验结果与分析

本文将在多种场景下拍摄的烟雾视频作为测试图片, 利用本文检测算法对视频分别进行实验, 在大部分实验中, 检测效果良好, 尤其是在抗干扰方面取得较为满意的效果。在提取烟雾主方向角比率特征时, 对烟雾疑似区域每个像素点进行运动估计。烟雾图像及其光流主方向仿真如图 4 所示, 人物图像及其光流主方向仿真如图 5 所示。在图 4 中, 烟雾图像的主方向角比率为 3.917, 在图 5 中, 人物走动图像的主方向角比率为 0.828。其中, 图 4(a)、图 5(a)均表示原视频截图, 图 4(b)、图 5(b)表示疑似区域像素点的运动估计, 将向上运动颜色标为深灰色, 向下运动颜色标为浅灰色。通过模糊推理智能分析器很容易判别出是否有烟雾出现。测试结果如表 1 所示。



(a)烟雾图像 (b)烟雾光流图像

图 4 烟雾图像及其光流主方向仿真



(a)人物图像 (b)人物光流图像

图 5 人物图像及其光流主方向仿真

表 1 检测结果

视频类型	实验组数	报警数	正确率/(%)
烟雾	1 325	1 253	94.57
人与烟	1 154	1 062	92.03
火与烟	1 214	1 135	93.49
人走动	1 124	10	99.11
马路汽车	1 235	3	99.75

由表 1 可知, 对于不同的视频类型, 检测正确率有所不同。对于干扰(人物、火焰)和烟雾同时存在的视频, 干扰会使得烟雾分割的准确性受到影响, 进而影响检测的正确性。对于干扰视频(人走动, 马路汽车等), 利用三通道区域生长分割出运动区域, 但其主方向角比率不符合烟雾特性, 故检测正确率较高。对于烟雾视频, 在烟雾浓度比较小的情况下, 存在漏报。

6 结束语

本文提出基于空间区域生长和模糊推理的视频烟雾检测。通过提取烟雾的主方向角比率, 并利用模糊推理实现视频烟雾的检测, 实验结果表明, 该检测算法具有较好的抗干扰能力, 但同时会存在一些误报漏报。今后将尝试引入烟雾图像的能量变化等特征, 通过多特征的有效融合进一步提高烟雾检测的准确率。

参考文献

- [1] 王欣刚, 魏 峥, 刘东昌, 等. 基于烟雾动态特征分析的实时火灾检测[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11): 9-12.
- [2] Jayavardhana G, Slaven M, Marimuthu P. Smoke Detection in Video Using Wavelets and Support Vector Machines[J]. Fire Safety Journal, 2009, 44(4): 1110-1115.
- [3] 范 伟. 基于区域生长的彩色图像分割算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(13): 192-193, 196.
- [4] 吴爱国, 杜春燕, 李 明. 基于混合高斯模型与小波变换的火灾烟雾探测[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(8): 1622-1626.
- [5] 袁非牛, 张永明, 刘士兴, 等. 基于累积量和主运动方向的视频烟雾检测[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(4): 808-813.
- [6] 诸 静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

编辑 刘 冰