

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 9  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年9月 第17卷 第9期(总第197期)

## 目次

### 图像处理和编码

- 自适应阈值 HMRF 模型超分辨率重建 ..... 朱虹, 刘薇, 姚杰, 欧阳光振, 刘小乾(1049)
- 亮度补偿变换矩阵的颜色恒常性算法 ..... 袁兴生, 王正志(1055)
- 小波变换和稀疏冗余表示的混合图像去噪 ..... 李慧斌, 刘峰(1061)
- 基于运动信息自适应的快速运动估计算法 ..... 李子印, 杨齐(1069)
- 融合纹理特征的两阶段聚类分割算法 ..... 王改华, 李德华(1075)
- 利用纹理和边缘特征的 Criminisi 改进算法 ..... 任澍, 唐向宏, 康佳伦(1085)

### 图像分析和识别

- 激光焊接对接拼缝测量的微景深方法 ..... 王平江, 黄雅婷, 齐江飞, 彭芳瑜, 李斌, 唐小琦(1092)
- 基于码本模型和多特征的早期烟雾检测 ..... 姜明新, 王洪玉, 蔡兴洋(1102)
- 结合局部特征和全局信息的自适应活动轮廓模型 ..... 朱晓舒, 孙权森, 夏德深(1109)
- 高斯颜色模型在瓷片图像分类中的应用 ..... 郑霞, 胡浩基, 周明全, 樊亚春(1115)
- 区域生长的轮对图像分割 ..... 史倩, 吴开华(1122)
- 图像搜索结果的滑动窗口多标记传播聚类 ..... 谷瑞军, 陈圣磊, 陈耿, 汪加才(1128)

### 图像理解和计算机视觉

- 中介相似性量度的图像匹配 ..... 周宁宁, 吕文杰(1135)
- 自适应字典学习的多聚焦图像融合 ..... 严春满, 郭宝龙, 易盟(1144)
- 摄像机几何约束及人体定位 ..... 陶霖密, 于亚鹏, 邸慧军, 孙洛(1150)

虚拟现实与增强现实

针对层次式累进网格模型的动态评估与调整 ..... 王丹华, 卢威, 潘金贵(1158)

医学图像处理

结合形状与纹理特征的椎间盘退化辅助诊断..... 郝世杰, 蒋建国, 郭艳蓉, 詹曙, 李鸿(1168)

改进的核磁共振图像分割与偏移场恢复耦合模型

..... 王顺风, 冀晓娜, 张建伟, 陈允杰, 方林, 詹天明(1175)

遥感图像处理

光学遥感图像低可观测区域舰船检测 ..... 周伟, 关键, 何友(1181)

非下采样 Contourlet 变换与脉冲耦合神经网络相结合的 SAR 与多光谱图像融合

..... 金星, 李晖晖, 时丕丽(1188)

“计算机视觉前沿论坛”专栏征文通知 ..... (1196)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第9期

2012年9月16日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京9718信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa.ac.cn

电话:010-64807995 010-82614429

网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第0346号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京399信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,

CAS China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational

Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board

of Journal of Image and Graphics

(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)

E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers

and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation

(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 9 September 2012

## Contents

### Image Processing and Coding

- Adaptive threshold HMRF model for super-resolution reconstruction  
..... Zhu Hong, Liu Wei, Yao Jie, Ouyang Guangzhen, Liu Xiaoqian(1049)
- Color constancy algorithms with luminance-compensation transform matrix ..... Yuan Xingsheng, Wang Zhengzhi(1055)
- Hybrid image denosing method based on wavelet transform as well as on a sparse and redundant representations model  
..... Li Huibin, Liu Feng(1061)
- Fast motion estimation algorithm based on motion information adaptation ..... Li Ziyin, Yang Qi(1069)
- Texture feature fusion-based two-stage clustering segmentation algorithm ..... Wang Gaihua, Li Dehua(1075)
- Improved Criminisi algorithm with the texture and edge features ..... Ren Shu, Tang Xianghong, Kang Jialun(1085)

### Image Analysis and Recognition

- Seam measurement based on micro depth of field lens for laser welding  
..... Wang Pingjiang, Huang Yating, Qi Jiangfei, Peng Fangyu, Li Bin, Tang Xiaoqi(1092)
- Early smoke detection based on codebook model and multiple features ..... Jiang Mingxin, Wang Hongyu, Cai Xingyang(1102)
- Adaptive active contour model integrating global and local image fitting energy ..... Zhu Xiaoshu, Sun Quansen, Xia Deshen(1109)
- Porcelain shard images classification based on Gaussian color model ..... Zheng Xia, Hu Haoji, Zhou Mingquan, Fan Yachun(1115)
- Image segmentation for wheel set measurement based on region growing ..... Shi Qian, Wu Kaihua(1122)
- Sliding window multi-label propagation clustering for searched images  
..... Gu Ruijun, Chen Shenglei, Chen Geng, Wang Jiakai(1128)

### Image Understanding and Computer Vision

- Image matching based on the medium similarity measure ..... Zhou Ningning, Lv Wenjie(1135)
- Multi-focus image fusion using adaptive dictionary learning method ..... Yan Chunman, Guo Baolong, Yi Meng(1144)
- Geometric constraints of locating cameras and people ..... Tao Linmi, Yu Yapeng, Di Huijun, Sun Luo(1150)

### Virtual Reality and Augmented Reality

- Dynamic evaluation and modification methods against aggressive mesh hierarchy models  
..... Wang Danhua, Lu Wei, Pan Jingui(1158)

### Medical Image Processing

- Computer aided diagnosis on intervertebral disc degeneration with shape and texture features  
..... Hao Shijie, Jiang Jianguo, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong(1168)
- Improved coupled model for MR images segmentation and bias restoration  
..... Wang Shunfeng, Ji Xiaona, Zhang Jianwei, Chen Yunjie, Fang Lin, Zhan Tianming(1175)

### Remote Sensing Image Processing

- Ship detection from low observable regions in optical remote sensing imagery ..... Zhou Wei, Guan Jian, He You(1181)
- SAR and multispectral image fusion algorithm based on pulse coupled neural networks and non-subsampled Contourlet transform  
..... Jin Xing, Li Huihui, Shi Pili(1188)

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)09-1102-07

论文引用格式: 姜明新,王洪玉,蔡兴洋. 基于码本模型和多特征的早期烟雾检测[J]. 中国图象图形学报,2012,17(9):1102-1108.

## 基于码本模型和多特征的早期烟雾检测

姜明新<sup>1,2</sup>, 王洪玉<sup>1</sup>, 蔡兴洋<sup>1</sup>

1. 大连理工大学电子信息与电气工程学部, 大连 116024;
2. 大连民族学院信息与通信工程学院, 大连 116600

**摘要:** 提出一种基于码本模型和多特征的早期烟雾检测算法。首先,利用码本模型进行前景提取;然后,结合烟雾的颜色模型和形状特征模型检测前景中的疑似烟雾区域;最后,利用烟雾的动态特性,有效地降低误检率,提高算法的鲁棒性。通过 ROC 曲线对比,实验结果表明,该算法具有良好的烟雾检测能力。同时,能够满足实时性要求,具有较高的实用价值。

**关键词:** 烟雾检测;码本模型;多特征;ROC 曲线

### Early smoke detection based on codebook model and multiple features

Jiang Mingxin<sup>1,2</sup>, Wang Hongyu<sup>1</sup>, Cai Xingyang<sup>1</sup>

1. Faculty of Electronics Information and Electrical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China
2. College of Information & Communication Engineering, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China

**Abstract:** An early smoke detection algorithm based on codebook model and multiple features is presented in this paper. First, the foreground is obtained by using the codebook algorithm. Second, the model of color distribution and the model of shape features of smoke are applied to detect the suspected smoke area in the foreground. Finally, the false alarm rate is reduced effectively by using dynamic features in the diffusion process of smoke. Comparing with other algorithms using ROC curve, the experimental results show that our algorithm has good detection performance and achieves real-time requirement which is very important for many applications.

**Key words:** smoke detection; codebook model; multiple features; ROC curve

## 0 引言

烟雾是火灾产生的早期表现,如果能将监控场景中的烟雾准确及时的检测出来,则会在很大程度上提高火灾预警成功率,将损失减小到最低。

传统的烟雾检测是通过传感器对温度,气体成分等物理量的变化进行监测,进而做出相应的判断。传感器受到空气流动的限制,对于较大空间的烟雾检测,效果并不理想。由于视频监控不受空间距离

和场景的限制,基于视频进行烟雾检测的方法受到越来越多国内外学者的关注<sup>[1-5]</sup>。文献[6]提出了一种基于 RGB 分量运算和位屏蔽压缩的颜色特征模型,并通过小波变换去除动态干扰,检测场景中的烟雾。文献[7]根据烟雾的颜色信息获取前景中的烟雾区域。文献[8]提出基于累积量和主运动方向的视频烟雾检测方法。这几种算法都只考虑烟雾在某一方面的特性,造成在一些场景中的误检率偏高。

提出一种基于码本模型和多特征的早期烟雾检测算法。该算法利用码本模型提取前景信息,根据

收稿日期:2011-11-22;修回日期:2012-03-28

基金项目:国家自然科学基金项目(61172058);中央高校基本科研业务费专项基金项目(DC10010103);辽宁省教育厅基金项目(L2012476)

第一作者简介:姜明新(1979—),女,讲师,现为大连理工大学信号与信息处理专业在读博士研究生,主要研究方向为计算机视觉、图像处理。E-mail:jmx@mail.dlut.edu.cn

烟雾的颜色特征和形状的不规则性,从前景区域中筛选出疑似烟雾区域。结合烟雾在大气中扩散的动态特性,对非烟雾区域进行剔除,有效地避免了干扰区域对烟雾检测的影响。实验结果表明,该算法计算复杂度较低,能够满足实时性要求,同时具有较高的准确率和较低的误警率。

## 1 复杂背景建模与前景检测

在监控设备静止的条件下,运动目标的检测方法主要有光流法、帧差法和背景减除法。背景减除法是比较常用的一种前景检测方法,基本思想是建立背景模型,将当前帧与背景图像进行差分比较实现对前景的检测。很多文献采用混合高斯模型(MOG)对背景进行建模,获取前景信息。混合高斯模型是在像素域的时间尺度上对像素进行分类,很难将其学习效率控制在既不过检也不漏检的理想状态,常常会造成误判。

采用码本模型对背景进行建模,码本模型是由Kim提出的<sup>[9]</sup>,该模型的基本思想是对图像序列进行学习,根据每个像素点连续采样值的颜色距离和亮度范围为每个像素点生成一个码本,然后根据前景点和背景点在图像序列中的分布特性分离出背景码字,利用背景码字构造出背景,再利用背景减除法检测运动目标。该算法抗干扰能力强,误检率低,计算复杂度小,适合做实时检测。

### 1.1 码本背景模型描述

假设  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  是一个像素的序列采样值,其中  $x_t (t = 1, \dots, N)$  是当前像素  $t$  时刻的RGB向量值,定义其亮度值  $I = R + G + B$ 。设  $C = (c_1, c_2, \dots, c_L)$  为该像素的码本,码本中含有  $L$  个码字。每个码字  $c_i (i = 1, \dots, L)$  由两部分组成:  $\text{aux}_i = (\overset{\vee}{I}_i, \overset{\wedge}{I}_i, f_i, \lambda_i, p_i, q_i)$  和  $v_i = (\bar{R}_i, \bar{G}_i, \bar{B}_i)$ , 其中  $\overset{\vee}{I}_i, \overset{\wedge}{I}_i$  表示码字中最小和最大亮度值;  $f_i$  表示码字出现的频率;  $\lambda_i$  表示训练中该码字没有出现的最大时间间隔;  $p_i$  和  $q_i$  分别表示该码字第一次出现和最后一次出现的时间。 $R, G, B$  分别为  $R, G, B$  通道的亮度值。此处引入两个概念:颜色失真度和亮度函数。

颜色失真度定义为

$$\text{colordist}(x_t, v_i) = \frac{\|x_t\|^2 \|v_i\|^2 - \langle x_t, v_i \rangle^2}{\|v_i\|^2} \quad (1)$$

式中,  $\|x_t\|^2 = R^2 + G^2 + B^2$ ,  $\|v_i\|^2 = \bar{R}_i^2 + \bar{G}_i^2 + \bar{B}_i^2$ ,  $\langle x_t, v_i \rangle^2 = (\bar{R}_i R + \bar{G}_i G + \bar{B}_i B)^2$ 。

亮度函数定义为

$$\text{brightness}(I, \langle \overset{\vee}{I}, \overset{\wedge}{I} \rangle) = \begin{cases} \text{true} & I_{\text{low}} \leq \|x_t\| \leq I_{\text{hi}} \\ \text{false} & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

为了判断前景和背景,运动目标检测中亮度变化有一个范围,对于每个码字,其范围为  $[I_{\text{low}}, I_{\text{hi}}]$ 。

码本背景建模的详细过程为

1) 初始化,将每个像素的码本置空,即  $L = 0$ 。

2) 对于训练视频中的每个像素的采样值中的每个  $x_t = (R, G, B)$  定义其亮度值  $I = R + G + B$ , 并根据条件

$$\text{colordist}(x_t, v_m) \leq \varepsilon_1$$

$$\text{brightness}(I, \langle \overset{\vee}{I}_m, \overset{\wedge}{I}_m \rangle) = \text{true}$$

找出与其匹配的码字  $c_m$ 。

3) 如果码本为空或者找不到匹配的码字,则令  $L = L + 1$ , 并创建一个新的码字  $c_L$ , 即

$$\begin{cases} v_L = (R, G, B) \\ \text{aux}_L = (I, I, 1, t-1, t, t) \end{cases} \quad (3)$$

如果有码字  $c_m$  满足上述两个条件,其内容为

$$\begin{cases} v_m = (\bar{R}_m, \bar{G}_m, \bar{B}_m) \\ \text{aux}_m = (\overset{\vee}{I}_m, \overset{\wedge}{I}_m, f_m, \lambda_m, p_m, q_m) \end{cases} \quad (4)$$

那么将该码字更新为

$$\begin{cases} v_m = \left( \frac{f_m \bar{R}_m + R_t}{f_m + 1}, \frac{f_m \bar{G}_m + G_t}{f_m + 1}, \frac{f_m \bar{B}_m + B_t}{f_m + 1} \right) \\ \text{aux}_m = (\min\{\overset{\vee}{I}_m, I_t\}, \max\{\overset{\wedge}{I}_m, I_t\}, f_m + 1, \max\{\lambda_m, t - q_m\}, p_m, t) \end{cases} \quad (5)$$

4) 训练结束后,计算该像素每个码字没有再次出现的最大时间间隔,对于每个码字  $c_i (i = 1, \dots, L)$

$$\lambda_i = \max\{\lambda_i, (N - q_i + p_i - 1)\} \quad (6)$$

利用  $\lambda$  消除冗余码字,得到最能代表真实背景的初始码本  $M = \{c_k \mid c_k \in C, \lambda_k \leq T_M\}$  ( $k$  为码字的索引),  $T_M$  通常取训练帧数的一半。

### 1.2 基于码本模型的前景提取

假设目标检测过程中新输入像素为  $x_i = (R, G, B)$  其对应的码本为  $M$ 。减背景操作  $BGS(x)$  可以大致分为3步:

1) 当前像素的亮度  $I = R + G + B$ , 定义布尔变量  $\text{match} = 0$ , 并给阈值变量  $\varepsilon_2$  赋值。

2) 根据条件  $colordist(x_i, v_m) \leq \varepsilon_2$ ,  $brightness(I, \langle I_m^v, I_m^a \rangle) = true$ , 从码本  $M$  中找出与当前像素相匹配的码字  $c_m$ , 如果能够找到码字  $c_m$ , 则  $match = 1$ , 否则,  $match = 0$ 。

3) 判断前景运动目标像素

$$BGS(x_i) = \begin{cases} foreground & match = 0 \\ background & match = 1 \end{cases} \quad (7)$$

图1为利用码本模型进行前景检测的实验结果图。从图1中可以看出码本模型能够很好地检测出前景, 但前景中包含非烟雾区域(运动的人), 需要进一步结合烟雾的颜色模型、形状特征以及动态特征剔除这些干扰。



(a) Behind the Fence 原始视频图像 (b) 前景检测结果

图1 利用码本模型进行前景检测的结果

Fig. 1 The result of foreground detection based on codebook model

## 2 改进的烟雾区域颜色模型

烟雾的颜色大部分趋近于白色和灰色, 带有水分的树枝燃烧, 会偏向于青蓝色。如果在 RGB 通道上直接对烟雾进行分析, 白色和灰色的烟雾在 3 个通道上的数值较为平均, 而青烟则会在 B 通道上值偏大。由于亮度信息对烟雾检测本身并没有太大的影响, 可以将每个像素点的 RGB 通道的值进行归一化, 将绝对阈值转化为相对阈值。归一化过程为

$$\begin{cases} r = \frac{I_r(x, y)}{I_r(x, y) + I_g(x, y) + I_b(x, y)} \\ g = \frac{I_g(x, y)}{I_r(x, y) + I_g(x, y) + I_b(x, y)} \\ b = \frac{I_b(x, y)}{I_r(x, y) + I_g(x, y) + I_b(x, y)} \end{cases} \quad (8)$$

归一化完成后, 获得  $r$ 、 $g$ 、 $b$  的值, 通过对大量的测试视频进行分析统计, 可以获得不同烟雾像素点的  $r$ 、 $g$ 、 $b$  数值的分布范围。鉴于篇幅考虑, 本文仅列举 4 组实验视频的统计数据, 如表 1—表 3 所示。

表 1 烟雾颜色特性在归一化  $r$  通道下的分布

Table 1 The distribution of the color feature of smoke in the normalized  $r$  component

测试视频	$r$ 值在不同区间的分布比例					
	0.260 ~ 0.275	0.275 ~ 0.290	0.290 ~ 0.305	0.305 ~ 0.320	0.320 ~ 0.335	0.335 ~ 0.350
Behind the Fence	0.154	0.230	0.281	0.207	0.076	0.018
Shorter Isyam Night	0.003	0.372	0.479	0.083	0.032	0.020
Parking Lot	0.191	0.382	0.161	0.081	0.075	0.047
Waste Basket	0.006	0.098	0.309	0.282	0.177	0.104

表 2 烟雾颜色特性在归一化  $g$  通道下的分布

Table 2 The distribution of the color feature of smoke in the normalized  $g$  component

测试视频	$g$ 值在不同区间的分布比例					
	0.270 ~ 0.285	0.285 ~ 0.300	0.300 ~ 0.315	0.315 ~ 0.330	0.330 ~ 0.345	0.345 ~ 0.360
Behind the Fence	0.239	0.384	0.227	0.052	0.035	0.020
Shorter Isyam Night	0.001	0.023	0.109	0.250	0.370	0.186
Parking Lot	0.002	0.025	0.157	0.271	0.401	0.122
Waste Basket	0.006	0.013	0.091	0.203	0.487	0.178

表3 烟雾颜色特性在归一化  $b$  通道下的分布  
Table 3 The distribution of the color feature of smoke in the normalized  $b$  component

测试视频	$b$ 值在不同区间的分布比例					
	0.290 ~ 0.305	0.305 ~ 0.320	0.320 ~ 0.335	0.335 ~ 0.350	0.350 ~ 0.365	0.365 ~ 0.380
BehindtheFence	0.001	0.055	0.171	0.382	0.217	0.141
ShorterIsyamNight	0.004	0.018	0.093	0.634	0.211	0.003
ParkingLot	0.025	0.050	0.099	0.171	0.377	0.242
WasteBasket	0.018	0.143	0.322	0.404	0.076	0.033

虽然不同场景中烟雾的颜色信息存在差异,但通过大量的统计可以发现视频中烟雾区域在归一化  $rgb$  通道下存在一定的分布比例,可以通过计算得到3个置信度较高的置信区间。通过归一化  $rgb$  通道的3个置信区间可以剔除前景区域中不符合烟雾颜色特征的像素点。

如图2所示,可以看出改进的烟雾区域颜色模型对检测结果的影响,能够进一步确定前景中的疑似烟雾区域。



图2 利用改进的颜色模型进行烟雾检测的实验结果  
Fig. 2 The result of smoke detection using the improved color model

### 3 烟雾区域的形状模型

如果前景区域中存在与烟雾颜色相近的移动目标,仅利用烟雾的颜色模型无法剔除这些干扰。由于烟雾本身具有扩散的性质,加上大气本身的流动,烟雾的形状呈现出一种不规则性。通过对烟雾的形状特征进行建模,来剔除与烟雾颜色相近但形状特征不同的干扰区域。

在监控视频中,烟雾区域的不规则性将表现在2维视频图像上。2维空间中,烟雾区域的不规则度定义为

$$\Omega_{dim2} = \frac{C}{\sqrt{4\pi \times A}} \quad (9)$$

式中, $C$ 为烟雾区域的周长, $A$ 为烟雾区域的面积。

随着平面形状复杂性的升高,不规则度也将随之增大。通过对大量实验视频的数据统计,可以计算出烟雾的不规则度分布在一个置信度较高的置信区间中,在实验中的统计计算结果  $\Omega_{dim2} \in [3.150, 6.886]$ 。如果前景中有连通区域的形状不规则度落于这个区间,则判定此连通区域具有类烟雾形状的特性。

如图3所示,当监控场景中存在与烟雾颜色相近的移动目标(火箭)时,在利用码本模型和烟雾颜色模型检测的基础上,结合烟雾的形状特征,可以去除火箭的干扰,在很大程度上降低烟雾检测的误警率。

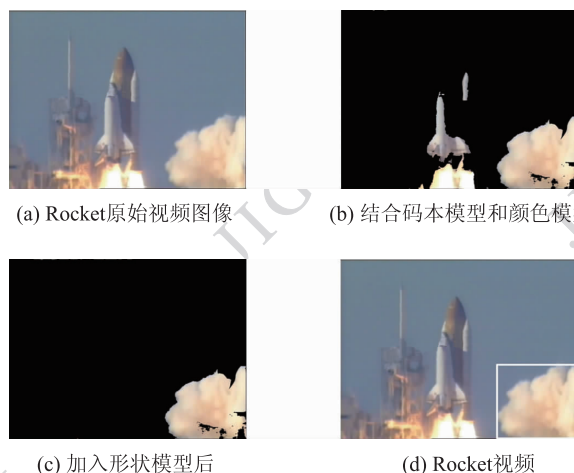


图3 加入形状模型检测烟雾的实验结果  
Fig. 3 The result of smoke detection after adding the shape model

### 4 烟雾区域的动态模型

#### 4.1 早期烟雾区域的增长率

由于烟雾在大气的作用下会产生扩散,所以早期烟雾有逐渐增多的趋势,通过计算监控视频中疑似烟雾区域面积的增长率,可以有效地排除部分非

烟雾区域的干扰。

设在  $t$  时刻,疑似烟雾区域的面积为  $A_t$ ,  $\tau$  时间间隔后,该区域的面积为  $A_{t+\tau}$ ,那么  $\tau$  时间间隔内烟雾的增长率为

$$v = \frac{A_{t+\tau} - A_t}{\tau} \quad (10)$$

通过计算每隔  $\tau$  时间间隔下  $v$  的大小,可以判断出该疑似烟雾区域是否具有早期规模增长的动态特性。如图 4 所示,夜间路灯开启时,由于路灯区域的颜色和形状与烟雾相似,此时,结合早期烟雾的增长率,可以快速剔除静态光源产生的干扰,有效降低误警率。如果不结合烟雾早期增长率进行判定,视频场景中会出现误警,如图 4(a)所示。结合早期烟雾增长率,就不会将路灯误报为烟雾,检测结果如图 4(b)所示。

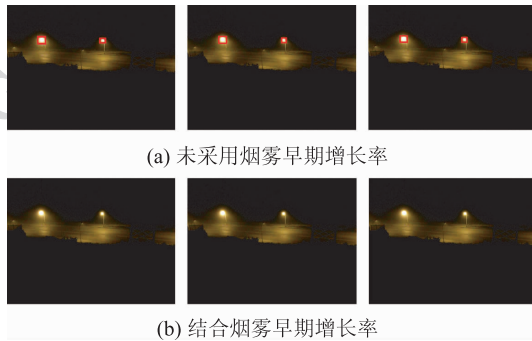


图 4 结合烟雾早期增长率进行烟雾检测的结果

Fig. 4 The results of smoke dection combining the expansion feature of early smoke

#### 4.2 烟雾区域中心位置变化的稳定性

虽然烟雾在早期具有规模扩大的特性,但是在火源位置保持不变的情况下,烟雾区域的变化也具有相对的稳定性,利用每个时刻烟雾区域中心位置的变化来描述这种相对稳定性。

在监控视频中,提取连续多帧中烟雾区域的中心点,通过计算多帧中心点的密集程度来判断疑似区域是否具有中心位置的相对稳定性。以一块疑似烟雾区域为例来说明此过程,在连续的  $N$  帧图像中,提取  $N$  个该疑似烟雾区域的中心像素点坐标  $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  帧烟雾区域中心像素点坐标的统计平均值为

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \\ \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \end{cases} \quad (11)$$

$x$  方向和  $y$  方向的统计标准差为

$$\begin{cases} \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \\ \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \end{cases} \quad (12)$$

如果  $x$  方向和  $y$  方向的统计标准差小,则说明  $N$  帧中疑似烟雾区域的中心像素点坐标密集程度高,具有烟雾区域的相对稳定性。而快速移动的目标(如行驶汽车的灯光),则不具有烟雾区域的这个动态特征,其  $x$  方向和  $y$  方向的统计标准差值比较大。

如图 5 所示,在夜间场景中,由于车辆的灯光和烟雾具有相似的颜色和形状特征,需要结合烟雾的动态模型,才能对此干扰予以剔除,降低误警率。实验视频中,从汽车驶入监控场景,每隔 15 帧截取一帧,从实验结果可以看出,车辆行驶的过程中,车辆灯光高速移动,而烟雾不具备高速移动的特性。如果不结合烟雾中心变化的稳定性进行检测,就会造成误警,如图 5(a)所示。加入烟雾中心变化稳定性这一判定条件,则不会发生误警,如图 5(b)所示。

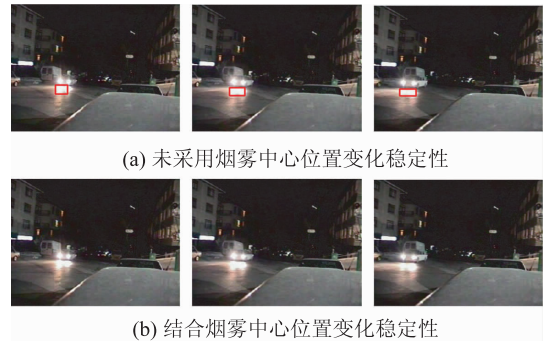


图 5 结合烟雾中心位置变化稳定性进行烟雾检测的结果

Fig. 5 The results of smoke detection combing the sability feature of the center of smoke region

## 5 实验结果分析

为了验证本文烟雾检测算法的鲁棒性和有效性,对多组实验视频进行测试,视频大小  $320 \times 240$ 。选用的实验视频涵盖了多种场景下,不同火源产生的烟雾。算法实现基于 windows 7 操作系统,采用 Visual Studio 2008 结合 OpenCV2.2 作为软件平台,计算机配置为 Pentium(R) Dual-Core CPU 2.0 GHz。

鉴于篇幅限制,只列出6组视频的烟雾检测结果。统计数据选取实验视频库中的9组带有烟雾的测试视频,共15394帧。6组不带烟雾的干扰视频,共9055帧,检测结果分别如图6和图7所示。其中图7为有强光干扰情况下的检测结果,说明本算法能够有效地抑制非烟雾干扰,减少误警。

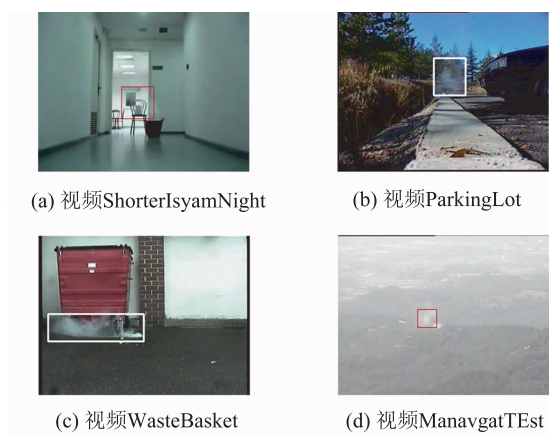


图6 采用本文算法进行烟雾检测的结果图

Fig.6 The smoke detection results using our algorithm



图7 强光干扰条件下的烟雾检测结果

Fig.7 The smoke detection results with disturbed by intensive light

表4和表5列出了各个特征的阈值均选用最佳阈值条件下的检测成功率和误警率的统计数据。通过统计可以计算出,在最佳阈值条件下,对于选取的部分测试视频组,本文算法的平均检测成功率为94.85%,平均误警率为5.91%。表4中还统计了针对各个测试视频本文算法的处理速度,可以看出本文算法完全能够满足实时性要求。

为了比较不同算法之间的性能,使用ROC(receiver operating characteristics)曲线作为算法的评测指标<sup>[10]</sup>,ROC曲线描述了检测成功率和误警率之间的关系。用横坐标表示误警率,纵坐标表示检测成功率,改变特征阈值的大小可以相应的改变检测成功率和误警率,用平滑曲线连接各点即可作出ROC曲线,ROC曲线下方的面积AUC(area under the curve)

表4 有烟雾测试视频的检测成功率统计表

Table 4 The true positive rate of the videos with smoke regions

视频名称	处理速度/(帧/s)	视频描述	成功率/%
ManavgatTEst	63.36	远景,大风,烟较浓	94.68
BehindtheFence	55.67	近景,有风,烟浓	96.09
EmptyR1	62.68	室内强光干扰,烟浓	95.67
ShorterIsyamNight	63.73	室内,烟较淡	93.85
Smoke_Manavgat	61.15	远景雾天,烟较浓	92.01
Moky	62.38	近景,有风,烟较浓	93.78
ParkingLot	63.73	中远景微风,烟较浓	95.22
WasteBasket	63.26	近景,强风,烟很浓	94.89

表5 无烟雾测试视频的误警率统计表

Table 5 The false rate of the videos without smoke regions

视频名称	帧数	视频描述	误警率/%
CarLights1	1540	夜间,来往车辆车灯强光	5.60
CarLights2	1590	夜间,来往车辆车灯强光	4.40
Tennis	1590	室内,灯光抖动下的白色地砖	6.34
Cars	685	室外,车辆反射强烈日光	5.80
T-shirts	1723	室外,与烟雾相似颜色的移动人物	7.38
StreetLamps	1927	夜间,远景,路灯	5.94

大小可以表征算法的性能。在烟雾检测中,AUC的值越接近于1,算法的性能就越好。将本文算法记为算法1,将仅采用颜色特征模型的算法记为算法2,仅采用形状特征模型的算法记为算法3,仅采用动态特征模型的算法记为算法4。4种算法在同一数据集上进行实验,所得的ROC曲线如图8所示。

其中,算法1的AUC值约为0.952,算法2的AUC值约为0.827,算法3的AUC值为0.532,算法4的AUC值为0.786。在算法1中,随着检测成功率的提高,系统的误警率并没有明显地增长,很快达到系统的最佳工作状态。而算法2在检测成功率不高时能够保持较低的误警率,但是随着检测成功率的增长,误警率也在快速增长。算法3的误警率和检测成功率一直维持在相似的水平上。算法4在检测成功率较低的时候,误警率已经比较高了。总体看来,基

于码本模型和多特征的烟雾检测算法能够在理想的检测成功率下,维持着相对较低的误警率,算法的有效性明显比只选用一种特征有明显提高。

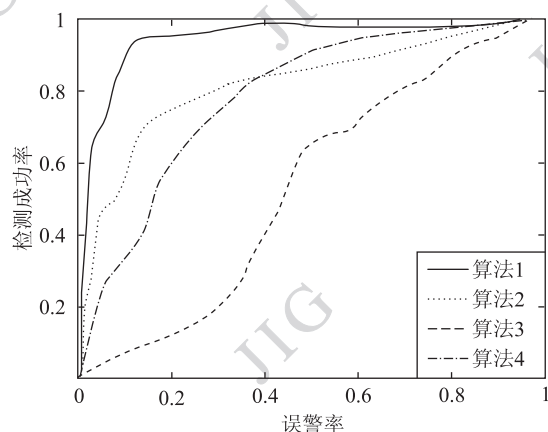


图 8 不同算法进行烟雾检测对应的 ROC 曲线对比图

Fig. 8 The comparison among the ROC curves of different algorithms

## 6 结 论

本文提出的基于码本模型和多特征的早期烟雾检测算法,在利用码本模型进行复杂背景建模获得前景区域之后,利用烟雾的颜色特征,形状模型特征以及动态特征,对疑似烟雾区域进行筛选。多特征模型的建立和阈值的选取是算法的关键,也是提高烟雾检测准确性和系统鲁棒性的要点。实验结果表明,该算法可以在多种场景下准确的检测出场景中的烟雾区域,而且各种干扰具有较低的误警率。本文提出的算法在黑色烟雾出现的时候效果有所下降,这也是下一步工作的重点,提取出更具有代表性的烟雾特征模型,进一步提高烟雾检测的准确性。

### 参考文献 (References)

[ 1 ] Chen T H, Wu P H, Chiou Y C. An early fire-detection method

based on image processing [ C ] // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Singapore: IEEE, 2004: 1707-1710.

[ 2 ] Wang T, Liu Y, Xie Z P. Flutter analysis based video smoke detection [ J ]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(5): 1024-1029. [ 王涛, 刘渊, 谢振平. 一种基于飘动性分析的视频烟雾检测新方法 [ J ]. 电子与信息学报, 2011, 33(5): 1024-1029. ]

[ 3 ] Vicente J, Guillemant P. An image processing technique for automatically detecting forest fire [ J ]. International Journal of Thermal Sciences, 2002, 41(12): 1113-1120.

[ 4 ] Toregin U, Dedeoglu Y, Cetin E. Wavelet based real-time smoke detection in video [ J ]. Signal Processing: Image Communication, EURASIP, 2005, 20: 255-260.

[ 5 ] Chen T H, Yin Y H, Huang S F, et al. The smoke detection for early fire-alarming system base on video processing [ C ] // Proceeding of IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. California, USA: IEEE, 2006: 427-430.

[ 6 ] Zhou P, Yao Q X, Zhong Q F, et al. Video-based early smoke detection [ J ]. Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(12): 82-88. [ 周平, 姚庆杏, 钟取发, 等. 基于视频的早期烟雾检测 [ J ]. 光电工程, 2008, 35(12): 82-88. ]

[ 7 ] Zheng L, Chen J Z. Smoke detection algorithm of video based on motion and color [ J ]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(21): 4650-4652. [ 郑璐, 陈俊周. 基于运动和颜色的视频烟雾检测算法 [ J ]. 计算机工程与设计, 2010, 31(21): 4650-4652. ]

[ 8 ] Yuan F N, Zhang Y M, Liu S X, et al. Video smoke detection based on accumulation and main motion orientation [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(4): 808-813. [ 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方法 [ J ]. 中国图象图形学报, 2008, 13(4): 808-813. ]

[ 9 ] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, et al. Real-time foreground-background segmentation using codebook model [ J ], Real-Time Imaging, 2005, 11(3): 167-256.

[ 10 ] Zou H X, Qin F, Cheng Z K, et al. Algorithm for generating ROC curve two-classifier [ J ]. Computer Technology and Development, 2009, 19(6): 109-112. [ 邹洪侠, 秦锋, 程泽凯, 等. 二分类器的 ROC 曲线生成算法 [ J ]. 计算机技术与发展, 2009, 19(6): 109-112. ]