

# 基于颜色直方图和小波变换的视频烟雾检测

孙建坤<sup>1</sup> 杨若瑜<sup>2</sup>

(南京大学计算机科学与技术系 南京 210046)<sup>1</sup> (南京大学软件新技术国家重点实验室 南京 210046)<sup>2</sup>

**摘要** 从视频中自动识别烟雾在火灾早期预报警、尾气识别等实际应用中具有重要意义。烟雾检测的难点之一在于如何排除与烟雾颜色相近的运动对象的干扰。为了保证检测效果和实时性,提出使用静态的小波统计特征来排除汽车、行人等干扰区域。该算法首先使用背景剪除法获取运动区域,然后利用颜色直方图映射来提取符合烟雾色彩特征的疑似区,最后分别对背景和相应的视频帧做小波变换并对二者求差,根据差值图像的统计特征来去除疑似区域中的非烟雾物体。实验结果表明,该方法正确率较高,检错率较低,且基本达到实时效果。

**关键词** 烟雾检测,背景减除,直方图反射,小波变换

**中图分类号** TP391

**文献标识码** A

**DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.12.054

## Smoke Detection in Video Based on Color Histogram and Wavelets

SUN Jian-kun<sup>1</sup> YANG Ruo-yu<sup>2</sup>

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210046, China)<sup>1</sup>

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210046, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Automatic smoke detection in video plays a major role in the early detection and response of an unexpected fire hazard and the recognition of vehicle exhaust. One of the difficulties in smoke detection is eliminating the interference of moving objects with similar color as smoke effectively. In order to ensure the effectiveness and timeliness, the static statistical character of wavelet transforms was used, which can exclude the interferences such as cars or persons. At first, motion regions are obtained by background subtraction and then candidate smoke regions are extracted through histogram backproject method. At last, the wavelet transform is applied on the background and the corresponding video frame, and the difference between those two transformed images is yielded. According to the different statistical character of smoke and non-smoke, non-smoke is removed from the frame. The experimental results are impressive with limited false alarms, high accuracy and real-time capability.

**Keywords** Smoke detection, Background subtraction, Histogram backproject, Wavelet transformation

## 1 引言

火灾严重威胁着人类的财产安全和生命安全,对火灾进行预测报警能够使人们防患于未然,从而使火灾对人民群众的危害降到最低。传统的烟雾报警器通常使用感温、感光等手段,一般需要安装在着火点附近;此外,感温传感器监测到温度上升并进行报警时,通常火灾已经发生,火势已经蔓延,为人们预留的时间比较短。视频烟雾检测不仅无安装位置的要求,而且它是通过对烟雾的监测进行预警,烟雾通常发生在火灾的初期,因此能够为人们躲避或扑灭大火争取更多的时间。烟雾检测不仅可以用于火灾初期的预报警,而且可以用来检测超标的汽车尾气。随着交通系统的迅猛发展,视频监控设备越来越多地使用在交通线路上。如果能够通过现有的视频设备来监测超标排放的汽车尾气,则有助于相关管理部门对尾气超标的车辆进行监管。虽然仅通过尾气的颜色来判断汽车的尾气是否超标的依据比较单一,可能会导致误判,但是,使用视频检测汽车尾气是否超标对相关管理部门仍然具

有一定的意义。

烟雾检测的难点在于如何有效地去除与烟雾颜色相近的物体。相对于刚体的检测,烟雾的颜色、边缘、梯度信息表现不太明显,因此,寻找良好的特征是烟雾检测的关键。

J. Gubbi<sup>[1]</sup>等利用3层小波变换后每个子带的算术平均值、几何平均值、标准差、偏态、峰态和熵这些统计值为特征,使用支持向量机(Support Vector Machine, SVM)进行烟雾检测,该方法能够适应不同的场景,检测的正确率比较高,但是计算量比较大,实时性不强。Yu Chunyu<sup>[2]</sup>、Thou-Ho Chen<sup>[3]</sup>、李文辉<sup>[4]</sup>、Feiniu Yuan<sup>[5]</sup>、B. Ugur Tore-yin<sup>[6]</sup>均使用颜色信息获取烟雾疑似区域,并综合使用静态和动态特征进行烟雾检测。他们在去除与烟雾颜色相近的非烟雾时所用方法与特征有所不同,文献[2]使用Lucas-Kanade光流算法来计算运动特征,然后训练出反向传播神经网络模型,并根据该模型区别烟雾和非烟雾;文献[3]使用烟雾疑似区域的周长与面积比值以及疑似区域的平均动态增长率等动态特征来识别烟雾;文献[4]通过二维离散小波变换来提取高、低频能量

到稿日期:2013-06-25 返修日期:2013-08-16 本文受国家自然科学基金(60703020,61272218)资助。

孙建坤(1983—),男,硕士生,主要研究领域为计算机图像处理,E-mail:sunjiankun126@126.com;杨若瑜(1977—),女,博士,副教授,主要研究领域为图形识别、计算机视觉和三维重建,E-mail:yangry@nju.edu.cn(通信作者)。

特征值,并根据运动估计结果提取运动保持特征值,综合多个特征判断是否有烟雾发生;文献[5]使用累积运动朝向来减少烟雾检测的误报警;文献[6]利用2层小波变换高频子带对背景高频信息产生衰减和烟雾边缘的闪烁变化的周期性来区别烟雾与非烟雾。

上述方法中颜色特征的阈值是根据实验数据的观察统计得到的,通常是针对特定的场景设定,灵活性不强,适用范围比较窄。为克服这一缺点,本文提出颜色直方图和小波变换统计相结合的方法。使用颜色直方图反射法获取烟雾疑似区域时,反射后图像中烟雾与非烟雾的差别比较大,阈值的选取可以有比较大的空间,针对不同场景,仅需要选取不同的样本图片而不需要重新选择阈值,该方法具有较强的适应性和灵活性。此外,上述方法中大都使用了烟雾的运动特性,这有利于排除其他物体的干扰,但同时可能会延长报警的时间。本文仅使用小波变换统计这一静态特征,并根据连续三帧中是否能检测到一定面积的烟雾来排除随机噪声带来的误报警,具有较好的实时性。

## 2 烟雾检测算法的设计与实现

视频中烟雾检测思路如下:把图像内容分为静止和运动两大部分,再将运动物体分为烟雾和刚体。使用背景剪除法可以去除静止部分的物体,使用颜色直方图反射法可以获取运动区域与烟雾颜色相近的区域,为了弥补颜色直方图反射法无法去除与烟雾颜色相近物体的缺点,利用小波变换后烟雾与非烟雾统计特征的不同去除疑似区域的非烟雾物体。

首先,建立背景模型,使用背景剪除法获取运动区域,得到的运动区域中可能包含运动的人和物以及烟雾等。然后,选择特定样本图像,根据该样本建立灰度统计直方图,并归一化该直方图,再将每一帧图像的各个像素点投影到归一化后的直方图中,依据此点所在区间的概率确定该像素点属于目标区域的可能性,这一步可以将与烟雾颜色相近的运动物体保留,而将其其他颜色的物体删除。再对每一帧图像和相应背景进行小波变换,对变换后的背景和图像帧做差,然后统计差值图像中各块像素值的和,由于烟雾和刚体的像素值之和有较大的区别,因此可以去除与烟雾颜色相近的非烟雾物体。大致流程如图1所示。

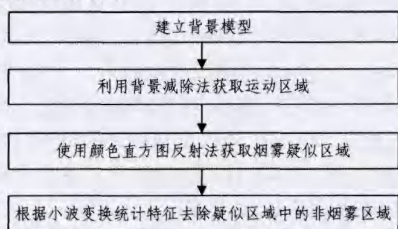


图1 烟雾检测流程

### 2.1 运动区域的获取

通过检测运动区域,可以有效地减小检测范围,从而可以提高检测效率。目前运动区域的提取方法主要有背景剪除法<sup>[7]</sup>、帧差法<sup>[8]</sup>。帧差法和背景剪除法均适用于摄像头不动的情形,帧差法不需要建立背景模型,速度比较快,但是容易形成空洞和双影。使用背景剪除法时,若选用固定的图像作为背景,且背景图像中原本静止的物体发生了运动,就可能导致背景剪除后产生“空洞”。为了克服这一缺点,本文首先动态建立背景模型,然后再将视频帧和背景做差。

假定摄像机静止不动, $I_n(x, y)$ 表示第 $n$ 帧视频的 $(x, y)$

点像素。在相邻的几帧中,如果像素点 $(x, y)$ 的颜色值变化比较明显,则可以认为该像素点属于运动区域。对视频流中相邻的3帧做两次差,如果当前图像与它前两帧的差值均比较大,则可判定当前帧图像中的像素点 $(x, y)$ 属于运动区域<sup>[9]</sup>,即若有:

$$\begin{cases} |I_n(x, y) - I_{n-1}(x, y)| > T_n(x, y) \\ |I_n(x, y) - I_{n-2}(x, y)| > T_n(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

则 $I_n(x, y)$ 为运动点。其中, $T_n(x, y)$ 是第 $n$ 帧的 $(x, y)$ 点对应的动态阈值,阈值的更新公式如下:

$$T_{n+1}(x, y) = \begin{cases} \alpha T_n(x, y) + (1 - \alpha)(5 * |I_n(x, y) - I_{n-1}(x, y)|), & (x, y) \text{点静止} \\ B_n(x, y), & (x, y) \text{点运动} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $B_n(x, y)$ 表示第 $n$ 帧背景图像 $(x, y)$ 点的灰度值; $\alpha$ 是一个常数,表示阈值更新速度。背景更新公式如下:

$$B_{n+1}(x, y) = \begin{cases} \alpha B_n(x, y) + (1 - \alpha)I_n(x, y), & (x, y) \text{点静止} \\ B_n(x, y), & (x, y) \text{点运动} \end{cases} \quad (3)$$

$\alpha$ 与式(2)中的 $\alpha$ 数值相等,表示背景更新的速度。

在上述公式中,只有在判定像素点 $(x, y)$ 为静止时才对其进行背景和阈值更新,否则保持上一帧的点 $(x, y)$ 的值。图2(a)~图2(c)分别为原图像、背景图像和检测到的运动区域的图像。



图2 背景减除示意图

用该方法建立的背景图像中, $\alpha$ 的值越大,则更新速度越慢,运动物体在背景图像中越是不可见,在差值图像中保留得越多。如图2(a)和图2(b)所示,原视频帧中运动的人在背景图像中几乎不可见,而烟雾虽然在运动,但是运动的部分集中在边缘部分,其中间大部分仍被判定为静止,故在背景图像中依然有部分烟雾的存在。图2(c)为图2(a)和图2(b)的差值结果。虽然生成的背景图像中包含有部分烟雾,但背景剪除后仍可获取烟雾的大部分内容。对比 $\alpha$ 分别取值为0.5, 0.6, 0.7, 0.8和0.9的实验结果发现,当 $\alpha$ 取0.9时得到的差值图像效果较好。

### 2.2 烟雾疑似区域的提取

颜色统计直方图是图像的一个重要特征。选取一幅图像中的特定区域作为目标样本,对目标样本做直方图统计。在本实验中,选取长方形区域的烟雾块作为目标样本,如图3(a)所示,对选定区域的RGB 3个分量进行直方图统计,然后对统计的直方图进行归一化处理,所得到的归一化直方图的每个区间的值表示该区间中的像素点数在总体中所占的概率。建立归一化直方图的伪代码如算法1所示。

#### 算法1 建立归一化直方图伪代码

```

cvSplit(ROI_Image, r_plane_src, g_plane_src, b_plane_src,
        NULL); //将样本图像分为rgb 3个分量
IplImage *planes[] = {r_plane_src, g_plane_src, b_plane_src};
int hist_size[] = {r_bins=16, g_bins=16, b_bins=16};
//每个分量16个bin区间
  
```



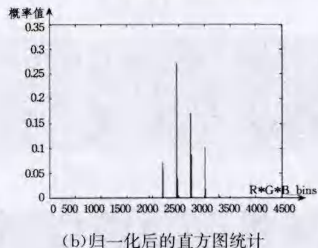
```
float * ranges[] = {{0,255},{0,255},{0,255}};
CvHistogram * hist_src; //创建直方图
cvCalcHist(planes, hist_src, 0, 0); //计算样本的直方图
cvNormalizeHist(hist_src, 1, 0); //归一化直方图
```

算法1中,先将选定的烟雾区域感兴趣区域(Region of Interesting, ROI)用 cvSplit 分成 RGB 3 个分量,将 ROI 的每个像素点跟据 RGB 分量值分别向区间投射,即可得 RGB 分量的直方图统计。再用每个 bin 中的像素个数除以选定区域总的像素个数,即可实现直方图的归一化,图 3(a)中选定长方形区域的归一化直方图如图 3(b)所示。归一化公式如式(4)所示,其中  $\text{bin}[r][g][b]$  为对应  $r, g, b$  区间的像素数,  $\text{possibility}[r][g][b]$  为相应区间的概率值,  $\text{pixel\_sum}$  为样本区域的像素总数。

$$\text{possibility}[r][g][b] = \text{bin}[r][g][b] / \text{pixel\_sum} \quad (4)$$



(a) 选定图像中目标区域



(b) 归一化后的直方图统计

图3 对选定样本区域归一化直方图统计

将视频的每一帧的每个像素向直方图中投影,如果对应的概率值较大,则说明该像素点属于烟雾区域的可能性较大;否则,该像素点不太可能属于烟雾区域。

这种方法比传统的设定颜色的阈值方法更灵活、方便和快捷,只需要选取一定范围的样本区域即可成功地自动识别与样本颜色相近的目标物体。

在实际应用中,所需要检测的目标是某种特定颜色的烟雾或汽车尾气,故可选取该种颜色的样本图像做直方图统计,然后依据直方图来判别视频图像是否含有该种颜色的烟雾或尾气。但是,如果图像中存在与目标物体颜色相同或相近的非目标物体,则仅使用该方法无法去除。

### 2.3 去除非烟雾物体

为了弥补颜色直方图映射法无法去除与烟雾颜色相近的非烟雾物体的不足,本文对背景和相应视频帧分别做小波变换,再对变换后的图像作差,利用差值图像中烟雾与非烟雾统计特征的不同,来区分烟雾与非烟雾。

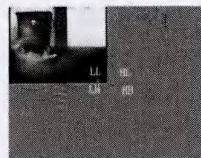
实验使用二维离散小波,并选用 db4 小波函数作为基波函数对图像进行分解,分解后的图像包含 4 部分:LL 区表现图像的低频部分;HL、LH 和 HH 区域分别包含水平方向、垂直方向和对角方向的边缘信息,表现图像的高频部分,如图 4 所示。

图 5 是包含汽车、人和烟雾的原视频帧,图 6 是对图 5 做小波变换后并减去做小波变换后的背景所得的相应图像;图 7 是图 6 中各图像所对应的灰度值的三维显示。对图 7 的 3

幅图进行对比观察可以发现,图 7(a)汽车和图 7(b)人中 HL、LH 区域中非零值分布较集中,且其值相对较大;而图 7(c)烟雾的 HL、LH 区域中非零值分布较分散,且其值较小。

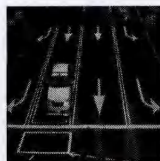


(a) 带有烟雾的原始帧



(b) 小波变换后的图像

图4 视频帧进行小波变换示例



(a) 汽车

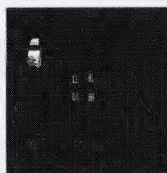


(b) 人



(c) 烟雾

图5 包含不同类型运动物体的视频帧示例



(a) 汽车

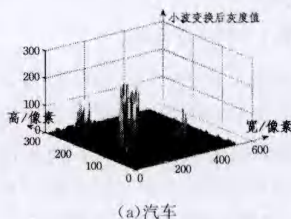


(b) 人

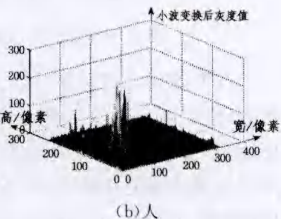


(c) 烟雾

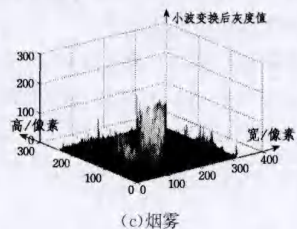
图6 与图5对应的小波变换和去背景结果



(a) 汽车



(b) 人



(c) 烟雾

图7 图6中图像灰度值的三维显示

由于差值图像中刚体和烟雾单个像素的灰度值差别不明显,因此对像素点进行判断其是否属于烟雾区域,误判的可能性比较大。刚体通常集中分布,而烟雾分布相对分散,分块统计每块像素值,则烟雾和刚体的统计值差别会比较明显,误判的可能性会降低。此外,分块统计还可以起到加速的作用。因此,对经小波变换后的差值图像进行分块统计,根据统计值大小判断该块属于烟雾还是刚体。

图 8(a)和图 8(b)分别是对图 7 中汽车、人和烟雾的 HL 区域和 LH 区域分块统计块内灰度值的显示。由图 8(a)和图 8(b)可见,HL 区域和 LH 区域中刚体部分(包含人和车)分块统计值(大于阈值  $T$ )的大部分都比烟雾的大,设定阈值  $T$ ,将大于等于  $T$  的部分删除,而将小于  $T$  的部分保留,就可

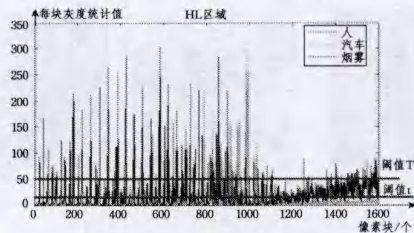


以去除刚体部分,而仅保留烟雾部分。

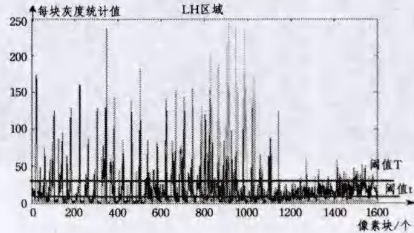
确定阈值  $T$  时,选择既包含刚体又包含烟雾的图像,进行小波变换后去背景,计算 HL 和 LH 区域块内灰度值之和大于某个值  $t$  所有像素块的均值,设该均值为  $T$ 。之所以选取灰度值之和大于  $t$ ,是为了消除图像中灰度值之和为 0 或很小的像素块对阈值的影响。同时,可以通过  $t$  值的选取控制阈值的大小。

$$T = \sum \text{sum}[i] / \text{block\_num}$$

其中,  $\text{sum}[i]$  为第  $i$  块内像素值之和,且  $\text{sum}[i]$  的值大于阈值  $t$ ,  $\text{bolck\_num}$  为阈值大于  $t$  的所有像素块数。



(a) HL 区域分块统计图



(b) LH 区域分块统计图

图 8 小波变换去背景图像的分块统计图

选取比较小的阈值可能会删除一部分烟雾,但可以保证将刚体删除干净,这样做会使图像中存在烟雾而可能检测不出,而不会引起图像中不包含烟雾而检测出烟雾。即有可能降低烟雾检测的正确率,而不会增加检错率。实际应用中,对检错率要求较高,而对正确率要求相对较低,所以可选取较小的阈值  $t$ ,以准确率换取较低检错率。

实验所用视频宽度和高度为  $320 \times 240$ ,分别选用块大小分别为  $16 \times 12$ ,  $8 \times 6$ ,  $4 \times 3$  进行实验。结果表明,当块大小为  $4 \times 3$  时效果较为理想。

### 3 实验结果

实验运行环境为 4 核 Intel i3-2120@3.30GHz,内存为 2G。视频图像的长宽分别为  $320 \times 240$  时,预处理时间为 200ms,其中每秒约处理 20 帧,处理每帧时间约为 52ms。本文实验中所用 12 幅视频大部分来源于土耳其 Bilkent 大学机器视觉研究室 (<http://signal.ee.bilkent.edu.tr/VisiFire>) 和视频监控在线资源库 ([http://imagelab.ing.unimore.it/visor/video\\_categories.asp](http://imagelab.ing.unimore.it/visor/video_categories.asp)),还有一部分来源于互联网。前 6 幅视频(video1—video6)是包含烟雾的视频,后 6 幅(video7—video12)是包含与烟雾颜色相近的物体的干扰视频,如运动的行人和车辆、变换的灯光等,如图 9 所示,从左至右、从上到下,依次为 video1—video12 的场景图片。

图 10 是 video4 视频处理的中间结果和最后结果;图 10(a)是视频的原始图像;图 10(b)是经过颜色直方图映射后的图像;图 10(c)是利用小波变换的统计结果删除与烟雾相近

的非烟雾物体的结果,也是最终结果。



图 9 实验视频场景显示



(a) 原视频帧



(b) 颜色直方图映射后的图像



(c) 最终检测结果

图 10 烟雾检测的中间过程和最终结果

由于所用测试视频与文献[1-3]中所用的交集很小,可比性不强,表 1 和表 2 仅列出了本文与文献[4-6]的正确率和检错率的对比结果。

表 1 各种算法的正确率对比

| 烟雾<br>视频 | $r+/\%$ |       |       |      |
|----------|---------|-------|-------|------|
|          | 文献[4]   | 文献[5] | 文献[6] | 本文算法 |
| video1   | 85.3    | 79.4  | 88.2  | 76.1 |
| video2   | NULL    | NULL  | NULL  | 93.4 |
| video3   | NULL    | NULL  | NULL  | 99.3 |
| video4   | 84.8    | 78.3  | 82.6  | 92.3 |
| video5   | 94.6    | 96    | 87.8  | 98.4 |
| video6   | 93.8    | 93.8  | 87.5  | 90.7 |

表 2 各种算法的检错率对比

| 干扰<br>视频 | $r-/\%$ |       |       |      |
|----------|---------|-------|-------|------|
|          | 文献[4]   | 文献[5] | 文献[6] | 本文算法 |
| video7   | 0       | 0     | 12.5  | 1.05 |
| video8   | 0.59    | 0     | 5.3   | 1.02 |
| video9   | NULL    | NULL  | NULL  | 0    |
| video10  | NULL    | NULL  | NULL  | 0    |
| video11  | NULL    | NULL  | NULL  | 2.51 |
| video12  | NULL    | NULL  | NULL  | 2.72 |

- [8] Li S, Wu H, et al. An effective feature selection method for hyperspectral image classification based on genetic algorithm and support vector machine [J]. Knowledge-Based Systems, 2011, 24 (1): 40-48
- [9] 潘泓, 李晓兵, 等. 一种基于二值粒子群优化和支持向量机的目标检测算法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(1): 117-121
- [10] Chion C, Landry J A. A Genetic programming based Method for Hyperspectral Data Information Extraction; Agricultural Applications [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46(8): 2446-2457
- [11] Ding S. Spectral and wavelet-based feature selection with particle swarm optimization for hyperspectral classification [J]. Journal of Software, 2011, 6(7): 1248-1256
- [12] Yang H, Du Q, Chen G. Particle swarm optimization-based hyperspectral dimensionality reduction for urban land cover classification [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2012, 5(2): 544-554
- [13] Li Yan-shan. A New Bands Selection Algorithm for Hyperspectral Image using Hyperspectral Derivative on Clifford Manifold [J]. Information Technology Journal, 2012, 11(7): 904-909
- [14] Vapnik V N. Statistical Learning Theory [M]. New York: Wiley, 1998
- [15] Mingmin C, Bruzzone L. Semisupervised Classification of Hyperspectral Images by SVMs Optimized in the Primal [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45(6): 1870-1880
- [16] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C] // Proc. IEEE International Conference on Neural Networks. Perth, Australia, 1995: 1942-1948
- [17] Asmara A, Krohling R A, Hoffmann F. Parameter Tuning of a Computed-Torque Controller for a 5 Degree of Freedom Robot Arm using Co-evolutionary Particle Swarm Optimization [C] // Proc. IEEE Conference on Swarm Intelligence Symposium. Pasadena, USA, 2005: 162-168
- [18] Kennedy J, Eberhart R C. A discrete binary version of the particle swarm algorithm [C] // Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Washington, USA, 1997: 4104-4109

(上接第 254 页)

正确率是在烟雾视频中能够检测出的视频帧与总的烟雾视频帧的比率, 检错率是干扰视频中报警视频帧与总的干扰视频帧的比率。对于每一个带有烟雾的视频, 均需要选择对应的样本图像。检错率是干扰视频分别在 6 个样本图像条件下分别求得检错率的平均值。video1 的检测的正确率较低, 这是由于视频中部分帧烟雾区域较小, 为了排除噪声的干扰, 若检测到的烟雾面积未达到一定值, 则不进行报警。虽然一些视频检测的正确率比较低, 但仍能够及时检测出烟雾并进行报警。

本文算法由 3 个步骤组成, 每个步骤中所采用的方法均较简单, 同时前一步骤的错误在后面的步骤中是不能恢复的。这些因素的存在, 使得所提出方法的鲁棒性不够理想。这是本文算法的最大缺点, 也是我们今后研究的方向。在实际烟雾报警应用中, 由于烟雾是持续出现的, 无需将每一帧视频都准确识别出来, 而只在连续的烟雾视频中及时准确地识别出烟雾, 并使报警系统有较低的误报警率即可。

**结束语** 综上所述, 本文通过颜色直方图反射方法来检查烟雾的潜在区域, 并利用小波变换后的统计特征来去除与烟雾颜色相近的物体, 能够准确地检测出烟雾和有效地去除行人、车辆等干扰。实验用动态背景剪除进行烟雾识别, 因而对于运动不明显的烟雾, 在背景剪除过程中可能将其去除, 在这一情况下的实验效果有待改进。该算法对大中型的烟雾检测的准确率较高, 但是对于图像中烟雾区域较小的视频, 还需要考虑其他方法来提高检测的准确率。

## 参 考 文 献

- [1] Gubbi J, Marusic S, Palaniswami M. Smoke detection in video

using wavelets and support vector machines [J]. Fire Safety Journal, 2009, 44: 1110-1115

- [2] Yu Chun-yu, Fang Jun, Wang Jin-jun, et al. Video fire smoke detection using motion and color features [J]. Fire Technology, 2010, 46(3): 51-663
- [3] Chen Thou-ho, Yin Yen-hui, Huang Shi-feng, et al. The smoke detection for early fire-alarming system base on video processing [C] // International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2006 (IHH-MSP'06). Dec. 2006: 427-430
- [4] 李文辉, 肖林广, 王莹, 等. 一种基于块的视频烟雾检测算法[J]. 吉林大学学报: 理学版, 2012, 50(5)
- [5] Yuan Fei-niu. A fast accumulative motion orientation model based on integral image for video smoke detection [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(7): 925-932
- [6] Treyin B U, Dedeoglu Y, Cetin A E. Wavelet based real-time smoke detection in video [C] // 13th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2005). Antalya, Turkey; Curran Associates, 2005
- [7] Collins R, Lipton A, Kanade T. A system for video surveillance and monitoring [C] // Proceedings of 8th International Topical Meeting on Robotics and Remote Systems. Pittsburgh, USA: American Nuclear Society, 1999: 1-15
- [8] Liu Yang-yang, Shen Xuan-jing, Wang Yi-qi. Design and implementation of embedded intelligent monitor system based on ARM [J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2011, 29(2): 158-163
- [9] Collins R T, Lipton A J, Kanade T, et al. A system for video surveillance and monitoring [R]. CMU-RI-TR-00-12