

# 基于累积量和主运动方向的视频烟雾检测方法

袁非牛<sup>1),2)</sup> 张永明<sup>1)</sup> 刘士兴<sup>1)</sup> 于春雨<sup>1)</sup> 沈诗林<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室,合肥 230027) <sup>2)</sup>(江西财经大学信息学院,南昌 330013)

**摘要** 视频烟雾检测具有响应速度快、非接触等优点。但现有的视频检测方法误报率比较高。通过分析早期火灾烟雾运动规律,提出了一种适用于普通视频的视频烟雾检测方法。为了加快检测速度,将视频图像分割成大小相等的块,并估计每个块的运动方向。采用滑动时间窗口生成块运动方向时间序列,在此时间序列的基础上计算块的累积量和主运动方向。累积量可以反映出运动持续的程度,而主运动方向表明每个块最可能的运动方向,可以有效地抑制噪声的干扰。根据累积量和主运动方向提取出3维特征矢量,采用贝叶斯分类器进行烟雾的检测。实验结果表明,该方法鲁棒性高、速度快,能够准确地检测烟雾的出现。

**关键词** 视频烟雾检测 累积量 主运动方向 特征分析 计算机视觉

中图分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)04-0808-06

## Video Smoke Detection Based on Accumulation and Main Motion Orientation

YUAN Fei-niu<sup>1),2)</sup>, ZHANG Yong-ming<sup>1)</sup>, LIU Shi-xing<sup>1)</sup>, YU Chun-yu<sup>1)</sup>, SHEN Shi-lin<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(State Key Laboratory of Fire Science, University of Science & Technology of China, Hefei 230027)

<sup>2)</sup>(School of Information Technology, Jiangxi University of Finance & Economics, Nanchang 330013)

**Abstract** Video smoke detection has many advantages over traditional methods, such as fast response, non-contact. But most of current methods for video smoke detection have high rates of false alarms. Through analyzing the characteristics of smoke motion, a novel video smoke detection is presented. In order to accelerate detection speed, video images are divided into blocks. Each block motion orientation is estimated by block matching methods. And a time sequence of motion orientation for each block is generated over a sliding time window. Then accumulation and main motion orientation are computed according to the sequence. The accumulation represents the degree of motion duration and the main motion orientation describes the maximum possible orientation of each block over the time window. A 3D feature is extracted from the accumulation and main motion orientation, and a Bayesian classifier is used for smoke detection. Experiments show that the algorithm is robust and significant for improving the accuracy of smoke detection.

**Keywords** video smoke detection, accumulation, main motion orientation, feature analysis, computer vision

## 1 引言

传统感烟、感温火灾检测技术存在一些难以解决的问题,如检测器必须安装在起火点附近,否则将无法有效地检测到灾害的发生;另外,若长期接触粉尘等恶劣环境容易造成传感器中毒失效。这种检测

系统如果应用在大空间内(如飞机库和大仓库等)、室外或有强气流的场所(如海上钻井平台等),也很难或无法进行有效的火灾检测。因此这些场所的防火始终是难题。

为了解决高大空间和室外等特殊场合的火灾检测,许多学者正致力于研究图像火灾检测。Yamagishi等人提出了一种彩色摄像机的火焰检测算法<sup>[1,2]</sup>。在

基金项目:中国博士后基金项目(20070410792);火灾科学国家重点实验室开放基金项目(HZ2006-KF03);国家科技支撑计划(2006BAK06B07);江西省教育厅科技项目(2007[272])

收稿日期:2007-07-10;改回日期:2008-01-02

第一作者简介:袁非牛(1976~),男,副教授,博士后。主要研究方向为基于计算机视觉的火灾探测、3D可视化。E-mail: yfn@ustc.edu.cn

该算法中,首先将颜色从 RGB 色彩空间转换到 HSV 色彩空间,再在 HSV 空间中确定火焰色彩区域,动态特征采用火焰轮廓极坐标时空数据的 2 维傅里叶变换来描述,然后利用人工神经网络进行识别。Noda 等人提出了一种基于图像处理的隧道火灾检测技术<sup>[3]</sup>。为了降低成本,他们利用了隧道已有的黑白闭路电视监控系统硬件,因此只能使用灰度图像。Phillips 等人提出一种视频影像火焰检测技术<sup>[4]</sup>。该技术首先选择许多火焰图像和人工分割的模板图像进行训练,然后采用高斯平滑的方式生成火焰色彩直方图。根据学习得到的直方图和选定的阈值生成火焰色彩的布尔检测函数。袁宏永等人讨论了基于图像的火灾检测技术,分别研究了双波段火灾检测和基于光截面的红外火灾检测技术<sup>[5-7]</sup>。对视频火焰检测也进行了相关研究<sup>[8,9]</sup>。Chen 等人也对基于视频图像处理的火焰识别技术进行了研究<sup>[10]</sup>。

我们注意到,上述方法有的需要手工分割训练图像,有的无法消除具有火焰颜色物体的干扰,基本上不涉及烟雾的检测<sup>[11]</sup>。而事实上,火灾中最早可能出现的是烟雾。因此,检测烟雾对于及早发现火灾至关重要。视频烟雾检测有 3 类主要方法<sup>[12-15]</sup>。第 1 类是基于直方图的检测方法。根据直方图,采用诸如均值、方差等统计特征用于烟雾的检测;第 2 类方法是基于时间方向特征的检测方法。通常采用帧差分、像素值时间序列的小波变换等技术提取烟雾的时空特征;第 3 类是基于知识的方法。Toreyin 等人提出一种有效的视频火灾检测算法<sup>[16]</sup>,采用小波变换研究火焰和烟雾随时间的波动特性,利用 2 层小波变换 LH、HL、HH 高频子带研究烟雾的模糊遮挡特征,但小波变换计算复杂,难以达到实时处理。本文通过研究、分析早期火灾烟雾,提出了一种基于累积量和主运动方向的视频烟雾检测工程化模型,可以比较准确、快速地检测烟雾的出现。

## 2 运动方向估计

对于人类的眼睛而言,移动的目标容易引起人眼的注视。因此,运动是一个非常重要的特征。无论是在智能交通,还是在安全监控系统中,首要的任务就是提取运动区域。前景运动区域的提取有许多方法,如帧差分、背景消减等<sup>[17,18]</sup>。烟雾在热量驱动下,运动方向往往是从下至上。因此,运动方向的估计显得比较重要。为了加快计算速度,将视频图像分割成大小相等的块。块匹配法中最简单、最可靠的方法是全

局搜索法 FS (full search)。由于全局搜索算法计算量太大,不利于实时应用,于是出现了许多快速搜索算法,最典型的有三步法 TSS<sup>[19]</sup>、新三步法 NTSS<sup>[20]</sup>、2 维对数法<sup>[21]</sup>、菱形搜索法 DS<sup>[22]</sup> 等。

由于只采用运动矢量的方向作为特征来检测烟雾,因此只需要估计出块的运动方向即可。搜索方法如图 1(a) 所示,块匹配准则为绝对误差和准则(式(1))。

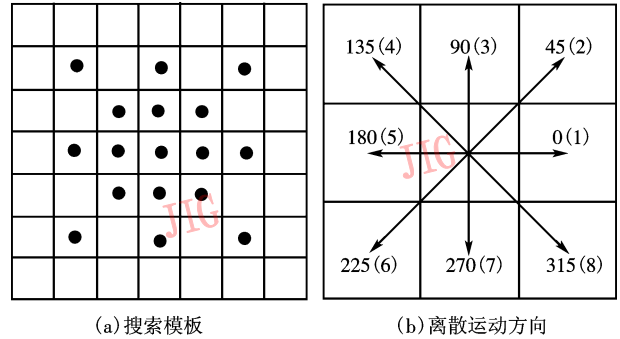


图 1 块运动方向的估计

Fig. 1 Estimation of block motion orientation

$$S_n(i, j) = \sum_{x=0}^W \sum_{y=0}^H |F_{n-1}(x, y) - F_n(x + i, y + j)| \quad (1)$$

式中,  $W$  和  $H$  分别为块的宽度和高度,通常相等,  $i$  和  $j$  分别为速度水平和垂直分量。

按照图 1 所示的 8 个离散方向的搜索方案进行匹配,匹配准则为绝对误差和最小(式(2)),并给每一个方向指定一个方向码。方向角  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $225^\circ$ 、 $270^\circ$  和  $315^\circ$  分别编码为 1、2、3、4、5、6、7 和 8,用式(3)表示。当没有运动时,也就是  $i$  和  $j$  都为 0,对应的方向编码为 0。

$$(i, j) = \operatorname{argmin}_{i, j \in T_s} \{S_n(i, j)\} \quad (2)$$

$$\theta = \operatorname{Convert}(i, j) \quad (3)$$

式中,  $T_s$  为图 1 所示的搜索模板,  $\operatorname{Convert}$  函数根据速度水平和垂直分量转换成相应的方向编码。图 2 为块运动方向估计的部分结果。

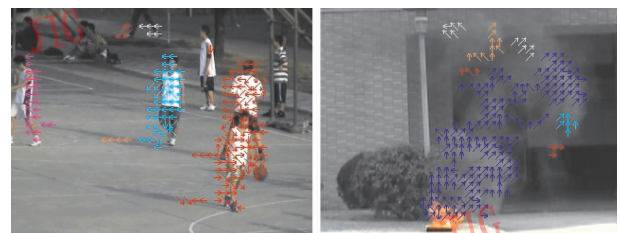


图 2 运动方向估计的结果

Fig. 2 Results of motion orientation estimation

### 3 主运动方向和累积量

由于噪声的存在,人们很难准确地提取出块运动方向。这些不准确的运动方向可能会影响后续的

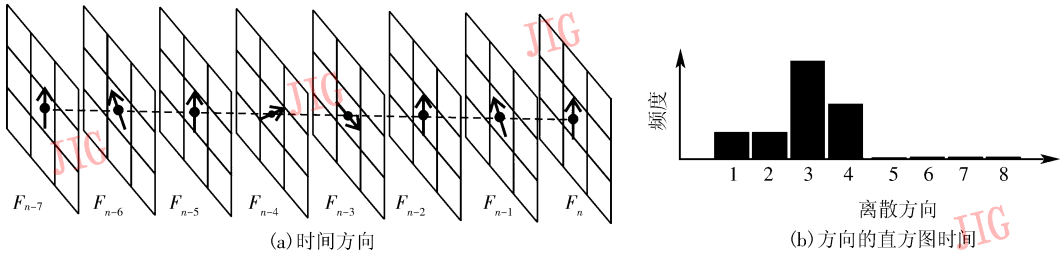


图 3 块运动方向的时间统计

Fig. 3 Temporal statistics of block motion orientation

根据块运动方向的直方图  $H_T(\theta)$ ,把在时间窗口内出现运动方向次数最多的方向作为该块当前的主运动方向,采用下式进行计算。

$$\theta_{\max} = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \{H_T(\theta)\} \quad (4)$$

根据式(4),很容易确定图 3 所示的块的主运动方向编码最有可能为 3,即为向上的运动。

由于早期火灾的烟雾基本上是在可燃物周围产生,在比较短的时间内,不会产生明显的整体移动。从时间轴上看,在烟雾区域存在运动的可能性远远大于其他区域。为了能够度量这一特性,在一个大小为  $W_T$  的滑动时间窗口内,对块的运动进行累积,生成一个统计特征  $A$ 。在计算块的主运动方向时,已经计算了每个块在时间窗内的直方图,因此,块的累积量可以根据下式进行简单的计算。

$$A = \frac{1}{W_T} \sum_{\theta=1}^8 H_T(\theta) \quad (5)$$

由式(5)可知,当该块在整个时间窗内时时刻刻都有运动,则该块的累积量达到最大值 1,当该块完全静止,那么该块的累积量为最小值 0。由于噪声的存在,很多块的累积量不为 0。为了抑制噪声和平移物体的干扰,可以认为累积量小于某一阈值  $T_A$  时,将该块当作非烟雾块处理。因此,将式(4)修正为

$$\theta_{\text{main}} = \begin{cases} \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \{H_T(\theta)\} & A \geq T_A \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $\theta_{\text{main}}$  为块主运动方向。

图 4(a) 给出估计出的块运动方向,而图 4(b)

烟雾检测。为了减少噪声的干扰,对每个块的运动在时间上进行统计。采用适当的时间窗  $W_T$ ,计算每个块在时间窗内的运动方向直方图  $H_T(\theta)$ ,如图 3 所示。

给块主运动方向和累积量的综合显示效果。累积量通过色彩显示处理,纯蓝色表示累积量为 0,纯红色表示该块累积量为 1,中间过渡色彩表示累积量在 0 和 1 之间。

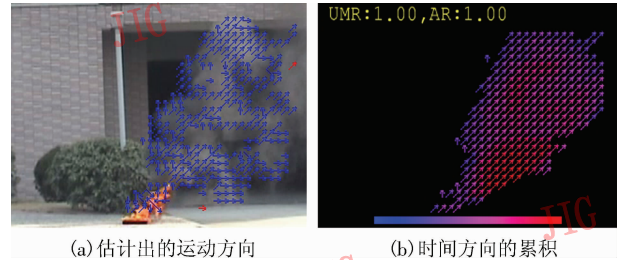


图 4 块运动方向的累积

Fig. 4 Accumulation of block motion orientation

### 4 干扰消除

由于噪声的存在,无论采用何种估计算法,都无法避免出现错误的运动估计。错误的运动块或多或少会影响主运动和累积量的估计。我们注意到,运动物体的存在,往往会引起相连区域的运动。也就是说,孤立的运动块或较少块组成的区域很可能是噪声产生的。为此,采用区域增长法将匹配方法估计的运动块分割成 8 邻域连通区域,然后根据每个区域的大小判断该区域是否为噪声。如果某个区域的块数小于某一阈值,则将该区域所有的运动块编码修正为 0(静止块),从而消除噪声的干扰。

如图5所示,根据连通性质,将运动块分割成许多小区域,每一个区域以不同的色彩显示。如果某区域的块数小于某一阈值,则将该区域所有的运动块编码修正为0,并以红色显示。

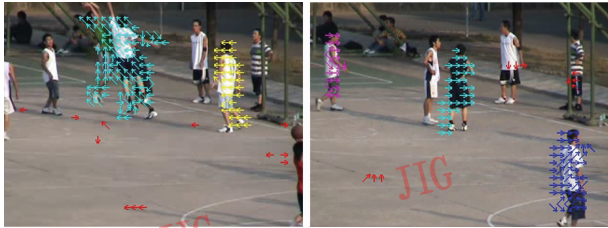


图5 噪声块的消除

Fig. 5 Removal of noisy blocks

此外,烟雾在热量或流动的空气驱动下,往往表现为朝某一方向运动的趋势。也就是说,潜在烟雾区域一般存在一个主运动方向。为了消除某些非烟雾物体的干扰,需要计算每一个区域的主运动方向。根据分割的结果,在空间上计算每个区域的方向编码直方图  $H_s(\theta)$ 。根据此直方图,计算下式:

$$\theta_R = \operatorname{argmax}_{\theta} \{ H_s(\theta) \} \quad (7)$$

$$\bar{\theta}_R = \operatorname{mod}[(\theta_R - 1) + 4, 8] + 1 \quad (8)$$

$$N = \sum_{n=-1}^1 H_R[\operatorname{circle}(\theta_R - n)] \cdot h(n) \quad (9)$$

$$\bar{N} = \sum_{n=-1}^1 H_R[\operatorname{circle}(\bar{\theta}_R - n)] \cdot h(n) \quad (10)$$

$$\gamma = \frac{N - \bar{N}}{N} \quad (11)$$

上式中,  $\theta_R$  为该区域中最多的运动方向编码,  $\bar{\theta}_R$  为与  $\theta_R$  反方向的运动方向编码,  $h(n)$  为滤波卷积核,用于噪声的抑制,  $N$  为  $\theta_R$  方向的运动块数,  $\bar{N}$  为  $\bar{\theta}_R$  方向的运动块数,  $\gamma$  为  $\theta_R$  方向和  $\bar{\theta}_R$  方向运动块数目差异的比值,  $\operatorname{circle}$  函数使得方向编码成为环形。

可以看出,如果  $\gamma$  比较大,说明该区域运动方向一致性比较好,反之,说明该区域运动方向趋于杂乱无章,应当作干扰消除。如图6所示,当两个人反方向运动时,  $\gamma$  比较小,可以将该区域当作非烟雾干扰消除,在图中以红色显示。

## 5 检测方法

通过实验发现,烟雾区域视频图像具有很高的累积量,且烟雾区域的块主运动方向基本向上(方



图6 无主运动区域的消除

Fig. 6 Removal of non-main motion regions

向编码为2、3和4)。因此,首先采用区域增长法将所有块的主运动分割成连通的区域,然后计算每个区域的块主运动方向直方图  $H_{\text{main}}(\theta)$ 。根据下式计算每个区域向上主运动所占的比率:

$$\alpha = \frac{\sum_{\theta=2}^4 H_{\text{main}}(\theta)}{\sum_{\theta=1}^8 H_{\text{main}}(\theta)} \quad (12)$$

此外,根据区域的分割信息,计算每个区域的累积量均值  $\mu_A$ 、方差  $\sigma_A$ 。

最后,将每个区域的主运动比率  $\alpha$ 、累积量均值  $\mu_A$ 、方差  $\sigma_A$  组成一个3维的特征向量  $(\alpha, \mu_A, \sigma_A)$ 。采用实验烟雾视频和非烟雾视频进行训练,然后采用贝叶斯分类器进行检测。

## 6 实验结果

采用 Visual C++ .NET 实现本文的检测方法,并在典型的实验烟雾和非烟雾视频上进行离线测试。

首先在室外进行柴油黑烟实验。将柴油倒入  $33 \times 33 \times 5 \text{cm}$  方形油盘中,然后点火进行实验,同时用一台普通的 CCD 摄像机拍摄整个过程,如图7(a)和(b)所示。图7(a)给出了搜索模板估计的运动方向,图7(b)给出了对应的累积量和主运动方向。实验结果证实,本文方法能够很快地探测到黑烟。然后在室外进行枯叶白烟实验。将枯叶置于铁盆中,点燃枯叶并保持在阴燃状态,并采用 CCD 摄像机拍摄整个过程,如图7(c)和(d)所示。图7(c)给出了运动方向,图7(d)给出了对应的累积量和主运动方向。实验结果同样证实,本文方法能够很快地探测到白烟。

为了验证本文方法的抗干扰性,在室外拍摄了一些常见的非烟雾视频。如图8(a)和(b)所示,该

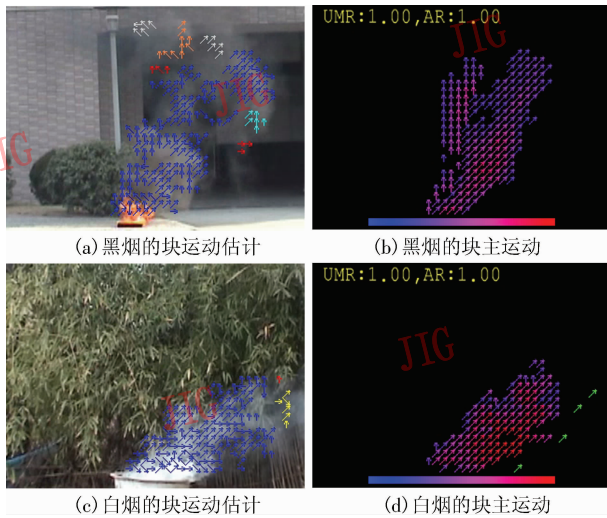


图 7 烟雾检测效果

Fig. 7 Results of smoke detection

视频为篮球场上的运动情景,运动目标主要为人。图 8(a)给出了估计出的运动方向,图 8(b)给出对应的主运动和累积量。可以看出,累积量基本上为零,因此,主运动方向也就不存在。所以,本文方法不会误报。如图 8(c)和(d)所示,该视频为道路交通的情景,运动目标主要为车辆。图 8(c)给出了估计出的运动方向,图 8(d)给处理对应的主运动和累积量。可以看出,绝大多数块的累积量基本上为零,只有少数时间、少数的块累积量不为零,但其主运动方向一致性很好全部为 5(水平向左)。所以,本文方法也不会报警。另外,也实现了文献[16]提出的

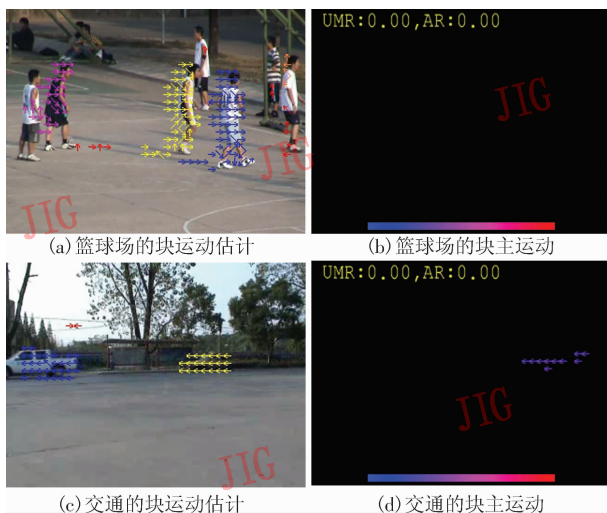


图 8 篮球场和交通视频检测效果

Fig. 8 Smoke detection results with playground and traffic videos

算法,该算法在背景存在较多边缘时效果较好,但背景较平坦时无报比较严重,而且计算量大。当然,本文方法在强风、非常规拍摄角度等条件下,也可能出现误报。

## 7 结 论

视频烟雾检测和常规烟雾检测方法相比,具有响应速度快、非接触等优点。但现有的视频检测方法误报率比较高。本文通过分析早期火灾烟雾运动规律,提出了一种适用于普通可见光视频的烟雾检测方法。为了加快检测速度,首先将视频图像分割成大小相等的块,然后采用某种搜索模板和块匹配方法估计块的运动方向,最后在时间方向轴上,计算每个运动块的主运动方向和累积量。我们发现,烟雾通常从阴燃点持续冒出,因而在时间窗内持续存在运动的可能性非常大,通过累积量可以反映出可能性程度,能够很好地捕获这种早期火灾的时空视觉特征,同时有效地抑制噪声的干扰。在热量的驱动下,烟雾通常从下朝上运动,主运动方向能够反映这一简单特性。实验结果表明,该方法具有较强的抗干扰性,明显地提高烟雾检测的准确率。

## 参考文献 (References)

- 1 Yamagishi H, Yamaguchi J. Fire flame detection algorithm using a color camera [A]. In: Proceedings of 1999 International Symposium on Micromechatronics and Human Science [C], Nagoya, Japan, 1999: 255 ~ 260.
- 2 Yamagishi H, Yamaguchi J. A contour fluctuation data processing method for fire flame detection using a color camera [A]. In: Proceedings of IEEE 26th Annual Conference on IECON of the Industrial Electronics Society [C], Nagoya, Japan, 2000: 824 ~ 829.
- 3 Noda S, Ueda K. Fire detection in tunnels using an image processing method [A]. In: Proceedings of Vehicle Navigation and Information Systems Conference [C], Yokohama, Japan, 1994: 57 ~ 62.
- 4 Phillips III W, Shah M, Da Vitoria Lobo N. Flame recognition in video [A]. In: Proceedings of Fifth IEEE Workshop of Applications of Computer Vision [C], California, USA, 2000: 224 ~ 229.
- 5 Dong Hua, Cheng Xiao-fang, Fan Wei-cheng. Application and comparison between different image fire detectors [J]. Optical Technology, 1997, 5(5): 51 ~ 53. [董华,程晓航,范维澄.早期火灾图像监测技术的应用与比较 [J]. 光学技术, 1997, 5(5): 51 ~ 53.]
- 6 Lu Jie-cheng, Wu Long-biao, Song Wei-guo. The study on a fire image detection system [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2001, 22(4): 437 ~ 440. [卢结成,吴龙标,宋卫国.一种火灾图像检测

- 系统的研究[J]. 仪器仪表学报, 2001, **22**(4):437~440.]
- 7 Yuan Hong-yong, Liu Bing-hai, Chen Xiao-jun, *et al.* Image based fire intelligence detection and spacial location[J]. Fire Protection Science and Technology, 1998, **5**(2):2~4. [袁宏永, 刘炳海, 陈晓军等. 图像型火灾智能检测与空间定位技术[J]. 消防科技, 1998, **5**(2):2~4.]
- 8 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 & Technology of China, **36**(1):39~43. [袁非牛, 廖光煊, 张永明等. 计算机视觉火灾检测中的特征提取[J]. 中国科学技术大学学报, 2006, **36**(1):39~43.]
- 9 Yuan Fei-niu, Liao Guang-xuan, Fan Wei-Cheng, *et al.* Vision based fire detection using mixture gaussian model [A]. In: Proceedings of the 8th IAFSS 2005 [C], Beijing, China, 2005:1575~1583.
- 10 Chen Thou-ho, Kao Cheng-liang, Chang Sju-ma. An intelligent real-time fire-detection method based on video processing [A]. In: Proceedings of IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on Security Technology [C], Taipei, Taiwan, 2003:104~111.
- 11 Healey G, Slater D, Lin T, *et al.* A system for real-time fire detection [A]. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], New York, USA, 1993:605~606.
- 12 Aird B, Brown A. Detection and alarming of the early appearance of fire using CCTV cameras [A]. In: Proceedings of Nuclear Engineering International Fire & Safety Conference [C/CD], London, UK, 1997.
- 13 Cappellini V, Mattii L, Mecocci A. An intelligent system for automatic fire detection in forests [A]. Pattern Analysis and Recognition [C], University of Florence, Italy, 1989:351~364.
- 14 Jerome Vicente, Philippe Guillemant. An image processing technique for automatically detecting forest fire [J]. International Journal of Thermal Sciences, 2002, (4):1113~1120.
- 15 Dieter Wieser, Thomas Brupbacher. Smoke detection in tunnels using video images [A]. In: Proceedings of 12th International Conference on Automatic Fire Detection [C], Maryland, USA, 2001:79~90.
- 16 Toreyin B Ugur, Dedeoglu Yigithan, Cetin A Enis. Wavelet based real-time smoke detection in video [A]. In: Proceedings of 13th European Signal Processing Conference EUSIPCO 2005 [C/CD], Antalya, Turkey, 2005.
- 17 Stauffer C, Grimson W E L. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, **22**(8):747~757.
- 18 Pavlidis I, Morellas V, Tsiamyrtzis P, *et al.* Urban surveillance systems: from the laboratory to the commercial world [J]. Proceedings of the IEEE, 2001, **89**(10):1478~1497.
- 19 Koga T, Linuma K, Hirano A, *et al.* Motion compensated interframe coding for video conferencing [A]. In: Proceedings of National Telecommunications Conference [C], New Orleans, LA, 1981:G5.3.1~G5.3.5.
- 20 Zeng R, Liou M L. A new three-step search algorithm for block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits System Video Technology, 1994, **4**(8):438~442.
- 21 Jain J R, Jain A K. Displacement measurement and its application in inter frame image coding [J]. IEEE Transactions on Communications, 1981, **29**(12):1799~1808.
- 22 Zhu Shan, Ma Kai Kuang. A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, **9**(2):287~290.