

## Survey of Flame Detection Based on Video\*

Xiyin Wu<sup>1,2</sup>, Yunyang Yan<sup>1,2#</sup>, Jing Du<sup>1,2</sup>, Yi'an Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi

<sup>2</sup>Faculty of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian

Email: keweixy@126.com, #areyyyke@163.com

Received: Oct. 25<sup>th</sup>, 2013; revised: Nov. 13<sup>th</sup>, 2013; accepted: Nov. 19<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Xiyin Wu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** The traditional fire detection system is an unsatisfactory way of detecting fire based on some sensors. As an effective type of early fire detection technology, video fire detection has received extensive attention recently with the improvement of technology of computer and digital image process. The process of video fire detection is shown here. The flame image characters are discussed such as the static characteristics in single frame and dynamic characteristics in multiple frames. Some typical methods of fire image feature extraction are presented. Then the fusion algorithm with multiple features is classified and summarized. Finally, the development of video fire detection is prospected.

**Keywords:** Flame Detection; Feature Extraction; Feature Fusion; Survey

## 视频火焰检测综述\*

吴茜茜<sup>1,2</sup>, 严云洋<sup>1,2#</sup>, 杜 静<sup>1,2</sup>, 刘以安<sup>1</sup>

<sup>1</sup>江南大学物联网工程学院, 无锡

<sup>2</sup>淮阴工学院计算机工程学院, 淮安

Email: keweixy@126.com, #areyyyke@163.com

收稿日期: 2013年10月25日; 修回日期: 2013年11月13日; 录用日期: 2013年11月19日

**摘 要:** 基于传感器的传统火灾检测系统已经不能满足实际需求。随着计算机技术和数字图像处理技术的发展, 视频火焰检测作为一种新型有效的早期火灾探测技术, 已经受到人们的广泛关注。本文介绍了视频火焰检测流程, 着重分析火焰的图像特征, 包括基于单帧的静态特征和基于多帧的动态特征, 并探讨了典型的特征提取算法, 对多特征融合算法进行了分类比较, 最后展望了视频火焰检测的发展趋势。

**关键词:** 火焰检测; 特征提取; 特征融合; 综述

### 1. 引言

由于火灾的频发性, 尽早预防和避免火灾事故越来越重要。现今使用的火灾探测系统一般基于传感器<sup>[1]</sup>, 主要分为静电式、感温式、感光式和复合式。这些传感器大都是对颗粒、空气湿度、温度、透明度、

烟雾等物理采样进行检测<sup>[2]</sup>, 虽然成本低、见效快, 但存在适用空间有限、易受干扰、误报率高、智能度低、不适合在恶劣条件下检测等局限性。

近年来, 随着视频监控设备的普及和视频图像处理技术的发展, 研究者们将目光转向了视频火焰检测 (Video Fire Detection, VFD)。摄像机采集信号后, 将视频图像信息输入嵌入式处理单元或计算机, 利用图像处理、特征提取、模式识别等相关算法判断有无火

\*资助信息: 教育部科学技术研究重大项目(311024); 江苏省“333工程”; 江苏省“青蓝工程”资助; 淮安市“533”资助; 江苏省高校自然科学基金项目(12KJB520002)。

#通讯作者。

灾发生。该方法具有探测范围广、准确率高、可扩性强、实时性好、对外在因素影响小以及可与其他传感器融合等特点，具有广阔的应用前景。

## 2. 视频火焰检测

视频火焰检测中通常使用红外摄像机或普通摄像机。袁宏永等<sup>[3]</sup>提出了基于红外图像的火灾探测技术，李文辉等<sup>[4]</sup>使用日夜两用型红外摄像机进行火焰检测。红外摄像机可集中监控火焰燃烧时的红外辐射，排除某些干扰，火焰识别率高。但由于成本高、对相似颜色较敏感等缺点，影响了其广泛使用。目前普通摄像机已在室内外公共场所普及，采用已有的普通摄像机成本低，应用场所广泛，且可扩充能力强。因此，使用普通摄像机进行视频火焰检测将是未来的发展趋势。

完整的视频火焰检测流程如图 1 所示。

图像获取是图像采集到计算机中的过程<sup>[5]</sup>，即图像数字化过程。图像预处理是对获取图像进行噪声滤除等操作，为后续的特征提取及识别奠定基础。图像分割是将预处理后的图像分为“候选区域”与“非候选区域”，“候选区域”即为疑似火焰区域，该过程将

保留“候选区域”并舍弃“非候选区域”，图像分割的准确性将影响后续环节的有效性。对疑似火焰区域再进行图像特征提取，最后进行火焰识别。火焰识别是前四个环节的最终目的，通过图像分割及提取所得到的信息序列，采用各种识别方法准确及时地识别出火焰目标。本文着重探讨火焰图像特征提取及火焰识别的研究现状和发展趋势。

## 3. 火焰特征分析

在火灾发生的初始阶段，火焰从无到有、不断增长，在此过程中图像序列的表征非常明显。因受燃烧物、风力、环境、光照等影响，火焰颜色、面积、尖角数目、形状等都不断发生变化<sup>[6]</sup>。火焰的视觉特征分为静态特征与动态特征，具体分类情况如图 2 所示。

### 3.1. 静态特征

火焰的静态特征基于单帧图像获得，可分为三类：光谱信息、区域结构和几何特征。光谱信息着重表现在火焰独特的颜色、显著的高亮度和发出 950 nm ~2000 nm 的红外辐射<sup>[7]</sup>，可通过颜色直方图、颜色集、颜色矩、颜色聚合向量等方法进行提取。不同灰度级

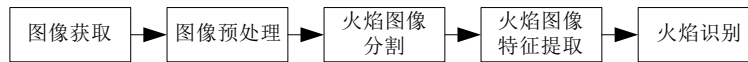


Figure 1. Process of video fire detection  
图 1. 视频火焰检测流程

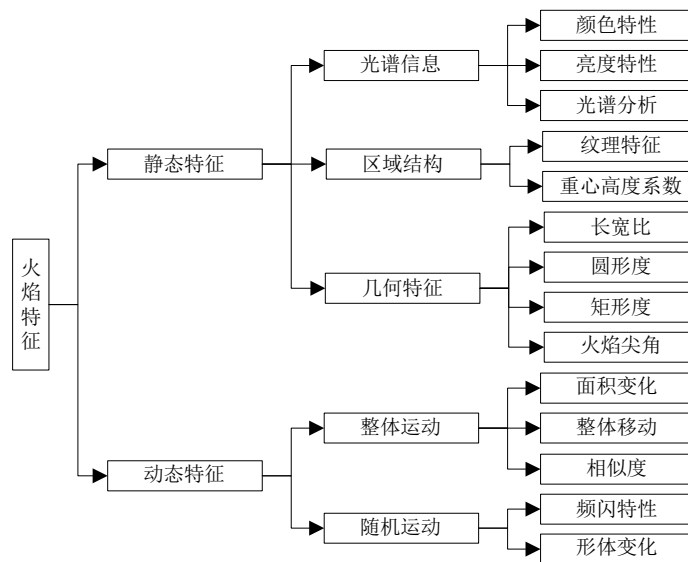


Figure 2. Classification of flame characters  
图 2. 火焰特征分类

像素点的空间分布导致火焰具有纹理特征，而重心高度系数是区域结构中的另一种辅助判据。另外，火焰本身还具有一些几何特征，可通过长宽比、圆形度、矩形度和尖角等特征进行描述。

### 3.1.1. 火焰的光谱特征

火焰的光谱信息与温度、气流、燃烧物材料和燃烧充分程度等有关，大多表现为显著的红色，且温度和亮度较高。Cappellini 等<sup>[8]</sup>提出了一种利用彩色视频进行图像采集，并从烟雾中识别火焰的方法，以便提高夜间检测力。Foo<sup>[9]</sup>和 Healey 等<sup>[10]</sup>用高速摄像机结合颜色、运动信息区分火焰区域，但该方法需人为设置视频窗口，且计算复杂度高，实时性差。吴占松等<sup>[11]</sup>在国内首先研究了小型发光温度分布，推导出火焰温度与亮度关系，并最终得到多项式回归模型。火焰的色彩空间呈现特有的分布，Yamagishi 等<sup>[12]</sup>通过 HSV 颜色空间建立火焰模型，并通过神经网络来识别真实火焰，该方法能有效消除人工光源、风速、探测距离等的影响，但计算复杂度过高，难以用于实时检测。Chen 等<sup>[13]</sup>引入了接近人类视觉感知的 HIS 彩色空间模型，用 R 通道的亮度和饱和度得出火焰像素的决策，比较 RGB 之间亮度分量的比例来估计烟雾的存在，再利用火焰运动反复校验燃烧的状态和变化趋势。Celik 等<sup>[14]</sup>还提出了在  $YC_bC_r$  色彩空间中使用模糊强度和亮度信息代替 RGB 色彩空间中使用的阈值，从而更有效地从色度信息中分离出亮度信息。Wirth 等<sup>[15]</sup>提出一个改进的  $YC_bCr$  色彩空间的直方图反射投影算法进行火焰检测。康锋<sup>[16]</sup>提出了一种基于模糊逻辑的彩色图像快速增强算法，采用新的隶属度函数，对 HIS 彩色模式下的像素点进行处理，并通过查表法完成火灾图像的快速增强处理，该方法提高了算法运算速度，以适应实时性要求。严云洋等<sup>[17]</sup>通过 RGB 彩色空间建立了火焰的彩色模型，并提出了基于连通区域面积阈值化的单像素宽度目标轮廓特征的抽取方法。该方法检测效果好，误判率低，但时间复杂度较高。

火焰的光谱特性计算简单，且对于旋转变换、平移变换和尺度变换具有很强的鲁棒性。正是由于以上优点，该特征成为火焰检测中使用最多的特征之一。但光谱特性有以下两个缺点：一是不同燃烧材料的光谱信息差异较大，光谱特性抗干扰性较差；二是在现

实生活中存在很多与火焰颜色相近的干扰物，如车灯、红色物体等，这些干扰物会在一定程度上提高误检率。针对第一个问题，可建立火焰数据库，在不同场景中使用不同的火焰数据，这样在有效识别火焰的同时还可有效减少时间复杂度。第二个问题解决方案较多，目前使用最广泛的是结合火焰的运动特征，可与静态物体区分。但与某些颜色相近的运动物体，如运动车的车灯、穿红衣服的行人等较难区分。

### 3.1.2. 火焰的区域结构特征

燃烧的火焰具有特定的形状和结构，张进华等<sup>[18]</sup>利用边缘点到中心点的高度，并使用离散傅里叶变换以排除非火焰区域。Chen 等<sup>[19]</sup>和 Huang 等<sup>[20]</sup>通过判定候选区域的质心稳定性来判断火焰。荣建忠等<sup>[21]</sup>结合 Chen 等<sup>[19]</sup>方法获取火焰中的动态像素，引入并改进了统计地形特征的纹理描述方法，采用神经网络算法对火焰候选区域进行分类。该方法图像处理速度较快，且具有较高探测率。龙铭等<sup>[22]</sup>对分割出的火焰图像进行静态特征描述和分析，提取火焰候选区域的多重定量特征描绘子，并从纹理特征、形状特征等描述火焰影像区域的静态视觉特性。该方法表明纹理特征能有效排除与火焰像素颜色相近的干扰物体。

可见，采用结构分析方法、统计分析方法、模型化方法以及频谱方法进行区域结构特征提取，可以作为识别火焰的有效判据。但由于火焰在不断地运动变化，区域结构特征也相应变化，提取该特征有一定的困难。此外，在实际监控环境中，存在火焰图像纹理特征相近的干扰分布，因此需结合其它特征来描述火焰特征。

### 3.1.3. 火焰的几何特征

火焰有着多种特殊的几何特性。圆形度可用来表示物体边缘轮廓的复杂程度。吴爱国等<sup>[23,24]</sup>首次对火焰图像的亮度值进行二值化，引入圆形度表征火焰边缘的复杂性来进行火焰识别。Wang 等<sup>[25]</sup>利用圆形度这一特性，区分火焰和形状规则的干扰物(如烟头、灯光等)。龙铭等<sup>[22]</sup>采用圆形度作为火焰图像区域的形状特征描绘子来排除常见的干扰模式，从而对火灾事件进行准确而有效的识别，减少识别误报率。

矩形度与圆形度相似，用来度量连通域和矩形的相似程度。江熹<sup>[26]</sup>统计连通区域和外部边界中的像素

数目, 作为火焰区域的面积和边界周长, 以便计算火焰的矩形度。火焰图像区域的矩形度与路灯和车灯有差别较大, 但与运动物体差别不明显。梁青<sup>[27]</sup>对连续四帧火焰图像进行矩形度特征提取, 该方法能区分很多物体, 但对黄土地等干扰物区别度不大。

火焰尖角有两个特征: 一是“尖”, 在视觉上的表现就是狭长; 二是“顶点”, 火焰一般有一个或多个顶点。火焰的尖角特征主要体现在边缘上, 所以对分割后图像进行边缘提取, 再提取特征点。吴龙标等<sup>[28]</sup>首次在国内提出火焰尖角概念, 由于尖角数量随时间不断变化, 因此可通过这一特征判定火焰。Liu等<sup>[29]</sup>采用傅里叶变换子对火焰区域的边界进行描述, 并对这些火焰区域建立自回归模型, 但该模型需采用合适的傅里叶窗进行计算。王莹等<sup>[30]</sup>提出了一种基于Harris角点形心轨迹的火焰特征提取方法, 由于火焰形心在燃烧过程中可保持在一个相对集中的区域, 因此可通过计算形心外接圆半径判断火焰。

用圆形度和矩形度描述火焰效果较好, 算法也简单, 但当火焰离摄像头较远时, 判据效果并不明显。尖角特征虽然不受摄像头远近的限制, 但算法复杂度较高。几何特征的最大缺点是在有遮挡物时, 会造成火焰的几何信息缺失。遮挡可分为以下三类: 部分遮挡、完全遮挡和运动物体遮挡。若为部分遮挡或完全遮挡, 最好摒弃火焰的几何特征, 采用其它特征进行判别; 若为运动物体遮挡, 可对火焰进行跟踪, 在运动物体离开火焰时再进行判断。

## 3.2. 动态特征

仅以静态特征作为识别火焰的依据很容易造成误判, 若考虑帧间相关性, 并结合动态特征, 可进一步提高火焰识别的准确度。动态特征可分为整体运动及随机运动两个方面。整体运动描述的是火焰整体的动态运动, 在火灾早期阶段, 火焰面积连续扩张, 相对稳定地整体移动, 且相邻帧图像具有相似性。然而火焰又有随机、不稳定的运动特性。频闪作为最重要的特征之一, 表现在火苗可按一定规律进行频率闪烁, 形体变化则包含形状变化、空间取向变化、边缘抖动以及火焰的分合等特点。

### 3.2.1. 火焰的整体运动特征

整体运动特征可分为面积变化、整体移动和相似

度三个方面。Chen等<sup>[31]</sup>认为火焰动态特征包括火苗闪动、区域变形、整体蔓延和火焰抖动等, 并且用面积变化检测火焰生长, 该模型虽效率较高, 但过于简单, 可靠性差。刘萍<sup>[32]</sup>利用像素的变化反映目标区域的变化来度量火焰的面积变化, 该方法表明火灾图像明显比其他干扰物图像面积变化平均值大。唐岩岩<sup>[33]</sup>等用高斯混合模型检测运动物体, 并针对运动物体提取面积变化等特征, 进而判别火灾的发生。

早期火灾火焰的形体特征呈现出无规律性的变化特点, 但这种无规律性对于连续帧的火焰图像, 在火焰区域的形体变化、空间变化和空间分布上又具有一定的相似性, 因此可用相似度对火焰进行判别。Ollero等<sup>[34]</sup>根据火焰图像在相邻帧之间存在相关性这一特点, 提出利用图像相关性来检测森林火灾, 但该方法漏检率高, 且应变能力差。沈诗林等<sup>[35]</sup>对相关性的算法进行了改进, 将背景图像不断更新, 并用前景图像与背景图像做相关性分析, 该方法检测效果明显。李玲<sup>[36]</sup>用相似度对火焰图像进行检测, 可区分运动车辆、路灯和车灯, 但不能区分运动人体这一常见干扰物, 必须结合其它特征来共同描述火灾特征模式。

采用背景差分法或帧间差分法对整体运动特征进行提取, 算法简单, 但也存在一些缺点。在应用中, 若红色或者高温物体与摄像头的距离不断变化, 在图像中显示的面积也会相应变化, 这对整体运动特征的判断带来很大影响。另外, 如果火灾现场存在不稳定的空气流, 也会影响火焰的运动特征。这两个因素均会影响探测结果, 要综合解决以上两个问题并非易事。

### 3.2.2. 火焰的随机运动特征

火焰的频闪特性主要表现在火苗部分, 火焰核心运动相对比较稳定, 闪烁频率分布在3~25 Hz之间, 主要频率在7~12 Hz之间<sup>[37]</sup>。宋文忠等<sup>[38]</sup>采用互相关分析法对火焰闪频特征进行检测, 但该方法需两个摄像头对同一区域进行摄像, 导致获取有效场景较小, 使用范围有限, 不利于火灾监控。袁非牛等<sup>[39]</sup>提出一种基于规格化傅里叶描述子的轮廓波动距离模型, 用以描述火焰的时空闪烁特征, 通过前景目标提取、目标轮廓跟踪和特征建模等步骤对闪烁特征进行提取。但由于FFT变换不能承载时间信息、使用傅里叶变换

很难检测时序峰值等缺点，研究者们开始从小波变换和随机过程理论中寻找更好的分析方法。因此，Toreyin 等<sup>[40]</sup>采用一种三状态的隐 Markov 模型和小波变换方法训练火焰和非火焰像素，除拟合火焰区域空间特征参数外，还周期地学习火焰边缘闪动方式。Toreyin 等<sup>[41]</sup>除提取火焰颜色区域外，还利用小波探测整个频带并保留时间信息，并估计火苗闪动的存在。由于频闪是一个随机特性，使用 Markov 模型对频闪检测更具鲁棒性，且使用该方法还可获取相关火焰边缘时序变化信息。Wang 等<sup>[42]</sup>改进了 Toreyin 的方法，提出一个基于时空特征的隐 Markov 模型和亮度变化的混合方法来检测火焰，该方法在复杂环境中的使用相比于先前的方法更具鲁棒性。另外，胡国良<sup>[43]</sup>通过相邻帧图像对应像素亮度变化的统计规律，识别候选火焰区域的频率闪烁特征。

火焰在燃烧过程中形状是不规则变化的，在视频图像中主要表现为火焰区域的边缘形状、高度、宽度、面积等发生改变，而边缘抖动是描述形体变化的主要方面。火焰边缘抖动的一个明显表现就是火焰的尖角数目随时间推移呈现不规则变化，而照明灯、白炽灯等干扰物体尖角数目基本不变，据此闵永林<sup>[44]</sup>将尖角数目阈值定为 8，可以较好地剔除一般常见的干扰情况，降低误报率。李玲<sup>[36]</sup>定义轮廓形状变化距离  $dct\_dis$  来描述轮廓形状的变化程度，该方法表明火焰的轮廓形状变化远比其它光源剧烈。

综上所述，目前火焰随机运动的检测方法，主要有傅里叶变换、互相关分析法、隐马尔科夫建模和小

波分析等。虽然火焰的随机运动特性不能完全准确地判别火焰，但该特性可用来提高火灾识别算法的准确性和可靠性，尤其是受到可燃物种类或距离等因素影响情况下，该特性尤为突出。

#### 4. 多特征融合火焰识别

静态特征和动态特征虽各具特色、显著性强、复杂多样，却又紧密联系。因此需将两种特征进行有机的结合，甚至结合其它传感器信息，即采用多特征融合的认识法，以达到更完整可靠的结论。多特征融合也可称为多传感器相关、多传感器融合等，是指将同一事物从不同方面进行信息提取，通过一定的准则，利用计算机将各个特征综合分析，进而准确全面地判断同一事物。基于多特征的火焰识别流程如图 3 所示。多特征融合可在数据层、特征层、决策层进行数据融合<sup>[45]</sup>，大多数特征融合运用于后两个结构级。具体的数据融合方法主要有以下几种：概率与统计方法<sup>[18,46,47]</sup>、贝叶斯估计法<sup>[48-51]</sup>、支持向量机<sup>[52-55]</sup>、模糊逻辑法<sup>[30,56,57]</sup>以及神经网络方法<sup>[21,32,58]</sup>等。

##### 4.1. 概率与统计方法

概率与统计方法根据各个特征出现的概率，建立一定的模型进行特征融合，这些模型提供了一种描述样本空间各种重要变化特性的简便途径。张进华等<sup>[18]</sup>提取火焰的颜色、高度变化等特征，利用信任度建立概率模型来识别火焰，该方法准确率高、鲁棒性强。刘昕雨等<sup>[46]</sup>提取火焰的几何特征并标记火焰疑似区

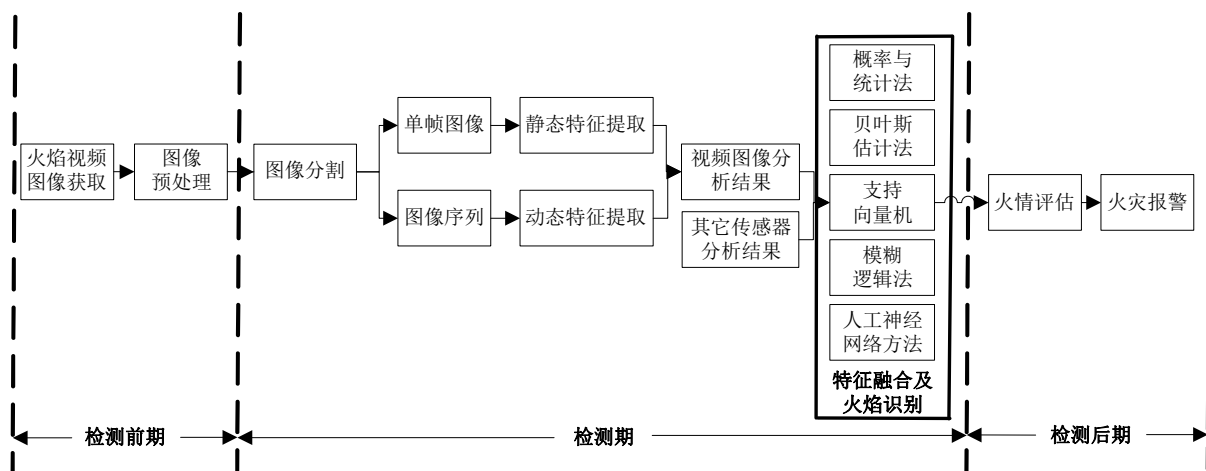


Figure 3. Flow chart of flame recognition with multiple features  
图 3. 基于多特征的火焰识别流程图

域,利用统计模式识别技术对标记的火焰区域进行识别,该算法在一定程度上降低了火焰的误报率和漏报率。Chen 等<sup>[47]</sup>提出了一种基于时间和空间特征的视频火焰检测方法。首先,采用一个改进的高斯混合模型方法从静态背景场景中提取运动前景目标。其次,利用火焰颜色滤波算法,区分运动目标中疑似和非疑似火焰区域。最后,用基于统计学频率计数的火焰抖动识别算法判别火焰。该算法效率高、鲁棒性强。

#### 4.2. 贝叶斯估计法

贝叶斯估计法是一种根据各种事件发生的样本信息和先验信息求得后验概率的过程,实现的是决策层的融合。Borges 等<sup>[48]</sup>分析火焰的统计特征,并提取火焰颜色、面积变化率、边界随机性、表面随机性等特征,最后利用贝叶斯分类器进行特征融合。该方法虽然误报率和漏检率均很低,但主要针对的是新闻视频中的火灾视频库,具有一定的局限性。Ko 等<sup>[49]</sup>利用自适应背景差分法和颜色概率模型提取火焰疑似区域,然后使用分层贝叶斯网络融合火焰疑似区域的小波特征和红色通道特征,提高了火焰识别的速度。Kolesov 等<sup>[50]</sup>提出了一种光流法和最优运输相结合的方法来提取火焰的动态特征,并利用监督贝叶斯对火焰进行识别。Jenifer<sup>[51]</sup>结合了概率统计法和贝叶斯估计法,首先采用概率统计的方法,对火焰的颜色、面积、表面粗糙度、边界粗糙度、偏斜度进行统计,然后使用贝叶斯分类器进行决策。

#### 4.3. 支持向量机法

支持向量机(Support Vector Machine, SVM)根据有限的样本信息,寻求模型复杂性和学习能力之间的最佳折衷,以期获得最好的泛化能力。Yang 等<sup>[53]</sup>为提高火焰识别的精确度,研究了一个基于支持向量机的自适应火焰图像检测算法,该算法利用几何信息构建并改进了核函数,再用这个改进的函数训练支持向量机。这种算法提高了分类精度和火焰图像识别的精确度。秦薇薇等<sup>[54]</sup>将粗糙集理论引入支持向量机中,将支持向量机的分类功能与粗糙集的数据降维功能结合,以便快速识别火焰。Habiboglu 等<sup>[55]</sup>通过火焰在时空方面的协方差获取特征信息,该方法没有利用背景减除算法,一定程度上消除了相机抖动的影

响,最后通过训练支持向量机来识别火焰。

#### 4.4. 模糊逻辑法

模糊逻辑法通过对被检测对象进行模糊逻辑方法的检测,使对象具有一定的模糊性特征,并利用这一点对被检测对象进行识别与分类。汪锦等<sup>[56]</sup>采用基于粒子群优化算法的二维最大熵阈值选取方法在红外视频图像中分割出火焰区域,再针对其火焰高度变化设计了一个两层模糊分类器,该方法鲁棒性强,适用于大范围的火焰检测。张雷等<sup>[57]</sup>提出了结合模糊隶属函数与神经网络分析森林火情信息参量的方法,对分析火灾概率和演算各种信息参量的特征值有较强的适应能力,适用于复杂度较高的森林火情传感网络。但若引入较多干扰信息,预测火灾的时间会有短暂延迟。王莹等<sup>[30]</sup>提出了一种使用 Choquet 模糊积分进行火焰多特征融合的检测算法。该方法对背景进行建模,并对疑似区域进行图像相关性检测,检测结果用于计算 Choquet 模糊积分并判断火焰是否存在。

#### 4.5. 人工神经网络法

人工神经网络主要通过模拟人类对信息世界的处理方式研究事物,在特征融合中,还可将模糊逻辑方法和人工神经网络进行结合形成模糊神经网络。Hou 等<sup>[58]</sup>研究并改进了自适应更新目标提取算法,使用模糊神经网络、基于模糊遗传算法的最小二乘支持向量机、信度函数等理论来进行视频火焰的检测。刘萍等<sup>[32]</sup>将火焰的静态、动态特征输入到模糊神经网络,提高了火焰识别的速度和准确率。荣建忠等<sup>[21]</sup>在时间和空间上对火焰候选区域特征进行提取,基于神经网络算法分析了颜色、边界粗糙度、圆形成、纹理等特征,通过多特征进行融合以达到准确而快速地识别火焰图像的效果。

虽然多传感器融合比单传感器复杂度高,但多传感器融合的应用领域更为广泛。多特征融合有以下优点:可对多信息进行实时并行处理;以最低成本获取不同信息并进行融合;对信息互补利用以提高信息利用率等。因为大空间及恶劣环境等要求火焰探测器更可靠、准确,因此使用多特征融合方法可实时对火焰进行检测并准确进行判断。

在使用多特征融合时也要考虑以下问题:如何做

到算法复杂度和准确性的相对平衡。多特征融合有很多优点, 但将多个信息融合的同时会提高算法复杂度, 使得火焰检测时间延长; 若融合信息不足, 又会使准确性降低。因此, 选择适当的特征个数, 以及简单有效的融合算法极为重要。

## 5. 结论

基于视频火焰检测技术将成为未来火灾监测技术的一个重要发展方向, 也更适合我国经济发展基础与国情需要。目前国内外对火焰检测技术展开了积极的研究和开发, 也有一些成型的系统, 如美国 axonx 开发的 SigniFire 系列产品、北京智安邦科技有限公司开发的 VFSD 系统等<sup>[59]</sup>。但由于应用场合的多样性, 这些系统的应用有一定的局限, 火焰检测技术仍需要进一步深入研究。虽然现在多特征融合算法众多, 但如何实现多个传感器之间信息共享和融合判断的同时, 将算法复杂度降低, 至今还未很好地解决, 这将成为一个重要的研究方向。

## 6. 致谢

感谢教育部科学技术研究重大项目(311024)、江苏省“333工程”、江苏省“青蓝工程”淮安市“533”以及江苏省高校自然科学基金项目(12KJB520002)对本文的资助, 感谢给予本文转载和引用权的资料、图片、文献、研究思想的所有者, 同时还要感谢给予我极大帮助和支持的各位老师和朋友。

## 参考文献 (References)

- [1] Celik, T. (2010) Fast and efficient method for fire detection using image processing. *ETRI Journal*, **32**, 881-890.
- [2] Cleary, T. and Grosshandler, W. (1999) Survey of fire detection technologies and system in evaluation. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
- [3] 袁宏永, 刘炳海, 陈晓军 (1998) 图像型火灾智能探测与空间定位技术. *消防科技*, **2**, 2-4.
- [4] 李文辉, 王莹, 赵瑞霖, et al. (2012) 使用日夜两用型红外摄像机进行火焰检测. *湖南大学学报(自然科学版)*, **8**, 73-80.
- [5] Xie, Z. and Wang, Q. (2010) Large space fire detection in laboratory scale based on color image segmentation. *Proceeding of 2010 Ninth International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business Engineering and Science (DCA-BES)*, Hong Kong, 572-575.
- [6] 严云洋, 高尚兵, 郭志波, et al. (2008) 基于视频图像的火灾自动检测. *计算机应用研究*, **4**, 1075-1078.
- [7] 冷春艳 (2012) 基于红外图像处理的森林火灾识别关键技术研究. 硕士学位论文, 电子科技大学.
- [8] Cappellini, V., Mattii, L. and Mecocci, A. (1989) An intelligent system for automatic fire detection in forests. *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Image Processing and Its Applications Warwick*, 563-570.
- [9] Foo, S.Y. (1995) A rule based machine vision system for fire detection in aircraft dry bays and engine compartments. *Knowledge Based Systems*, **9**, 531-541.
- [10] Healey, G., Slater, D. and Lin, T. (1993) A system for real time fire detection. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, New York, 605-606.
- [11] 吴占松, 王补宣 (1989) 图像处理技术用于发光火焰温度分布测量的研究. *工程热物理学报*, **4**, 446-448.
- [12] Yamagishi, H. and Yamaguchi, J. (1999) Fire flame detection algorithm using a color camera. *Proceedings of 1999 International Symposium on Micromechatronics and Human Science*, Nagoya, 255-260.
- [13] Chen, T.H., Cheng, L.K. and Chang, S. (2003) An intelligent real time fire detection method based on video. *Proceedings of IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on Security Technology*, Taipei, 104-111.
- [14] Celik, T., Demirel, H. and Ozkaramanli, H. (2007) Fire detection using statistical color model in video sequences. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, **18**, 176-185.
- [15] Wirth, M. and Zaremba, R. (2010) Flame region detection based on histogram backprojection. *Proceeding of 7th Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, Canadian, 167-174.
- [16] 康锋 (2010) 基于视觉特征的早期农林火灾检测方法的基础研究. 硕士学位论文, 浙江大学.
- [17] 严云洋, 唐岩岩, 郭志波, et al. (2011) 融合色彩和轮廓特征的火焰检测. *微电子学与计算机*, **10**, 137-141.
- [18] 张进华, 庄健, 杜海峰 (2006) 一种基于视频多特征融合的火焰识别算法. *西安交通大学学报*, **7**, 811-814.
- [19] Chen, T.H., Wu, P.H. and Chiou, Y.C. (2004) An early fire-detection method based on image processing. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, Singapore City, 1707-1710.
- [20] Huang, P.H., Su, J.Y. and Lu, Z.M. (2006) A fire-alarming method based on video processing. *Proceeding of 2006 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, Pasadena, 359-364.
- [21] 荣建忠, 姚卫, 高伟, et al. (2013) 基于多特征融合技术的火焰视频探测方法. *燃烧科学与技术*, **3**, 227-232.
- [22] 龙铭, 胡爱闽, 江熹 (2013) 大空间火灾火焰图像分割区域的静态特征描述与提取. *机械设计与制造*, **4**, 211-213.
- [23] 吴爱国, 李明, 陈莹 (2006) 大空间图像型火灾探测算法的研究. *计算测量与控制*, **7**, 869-871.
- [24] 陈莹, 吴爱国 (2006) 基于图像处理的火灾检测系统软件设计. *低压电器*, **1**, 32-35.
- [25] Wang, Z.H., Wang, H.Q., Wang, Y.N., et al. (2008) Fire detection in video. *World Science Technology Research and Development*, **30**, 161-164.
- [26] 江熹 (2012) 基于数字图像处理的大空间早期火灾自动检测与识别技术研究. 硕士学位论文, 华东交通大学.
- [27] 梁青 (2012) 基于图像处理的森林火灾监测的技术研究. 硕士学位论文, 华东交通大学.
- [28] 吴龙标, 邓超 (1997) 火灾探测的人工神经网络方法. *人类工效学*, **2**, 41-43.
- [29] Liu, C. and Ahuja, N. (2004) Vision based fire detection. *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 134-137.
- [30] 王莹, 李文辉 (2010) 基于多特征融合的高精度视频火焰检测算法. *吉林大学学报(工学版)*, **3**, 769-775.
- [31] Chen, T.H., Wu, P.H. and Chiou, Y.C. (2004) An early fire detection method based on image processing. *Proceedings of International Conference on Image Processing*, Singapore City, 1707-1710.
- [32] 刘萍 (2012) 基于多特征融合的火焰识别方法研究. 硕士学位论文

- 文, 西安建筑科技大学.
- [33] 唐岩岩, 严云洋, 刘以安 (2012) 应用 GMM 的快速火焰检测. *计算机科学*, **11**, 283-285.
- [34] Ollero, A., Arrue, B.C. and Marinez, J.R. (1999) Techniques for reducing false alarms in infrared forest-fire automatic detection systems. *Control Engineering Practice*, **7**, 96-99.
- [35] 沈诗林, 于春雨, 袁非牛, et al. (2007) 种基于视频图像相关性的火灾火焰识别方法. *安全与环境学报*, **6**, 96-99.
- [36] 李玲 (2012) 基于视频图像的火灾识别研究. 硕士论文, 华南理工大学.
- [37] 安志伟, 袁宏永, 屈玉贵 (2000) 数据采集在火焰闪烁频率的测量研究及分析中的应用. *火灾科学*, **2**, 43-47.
- [38] 宋文忠, 姜昌金, 胡克定 (1995) 锅炉燃烧器火焰闪烁特性试验与分析. *热力发电*, **4**, 45-50.
- [39] 袁非牛, 廖光焯, 张永明, et al. (2006) 计算机视觉火灾探测中的特征提取. *中国科学技术大学学报*, **1**, 39-43.
- [40] Toreyin, B.U., Dedeoglu, Y. and Gudukbay, U. (2005) Flame detection in video using hidden markov models. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, Genova, 1230-1233.
- [41] Toreyin, B.U., Dedeoglu, Y., Ugur, G., et al. (2006) Computer vision based method for real time fire and flame detection. *Pattern Recognition Letters*, **27**, 49-58.
- [42] Wang, L., Ye, M., Ding, J., et al. (2011) Hybrid fire detection using hidden Markov model and luminance map. *Computers and Electrical Engineering*, **37**, 905-915.
- [43] 胡国良, 江熹, 王少龙 (2012) 基于多特征融合的视频火焰检测技术研究. *机械设计与制造*, **7**, 213-215.
- [44] 闵永林 (2010) 大空间智能消防水炮灭火系统研究. 硕士论文, 上海大学.
- [45] Ran, H.C. (2009) The fire detection system on neural network. *Fire Safety Science*, **35**, 34-38.
- [46] 刘昕雨 (2009) 基于视频特征的火灾火焰识别算法. 硕士论文, 西安电子科技大学.
- [47] Chen, J., He, Y. and Wang, J. (2010) Multi feature fusion based fast video flame detection. *Building and Environment*, **45**, 1113-1122.
- [48] Borges, P.V.K. and Izquierdo, E. (2010) A probabilistic approach for vision-based fire detection in videos. *Circuits and Systems for Video Technology*, **20**, 721-731.
- [49] Ko, B.C., Cheong, K.H. and Nam, J.Y. (2010) Early fire detection algorithm based on irregular patterns of flames and hierarchical Bayesian Networks. *Fire Safety Journal*, **45**, 262-270.
- [50] Kolesov, I., Karasev, P. and Tannenbaum, A. (2010) Fire and smoke detection in video with optimal mass transport based optical flow and neural networks. *Proceeding of 17th IEEE International Conference*, 761-764.
- [51] Jenifer, P. (2011) Effective visual fire detection in video sequences using probabilistic approach. *Proceeding of International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT)*, Madurai, 870-875.
- [52] 侯杰 (2010) 基于视频图像的高大空间建筑火灾探测研究. 硕士论文, 清华大学.
- [53] Yang, N., Wang, H. and Zhang, Q. (2010) Adaptive flame image detection algorithm. *Proceeding of 3rd International Congress on Image and Signal Processing*, 1787-1791.
- [54] 秦薇薇 (2012) 基于红外视频火灾探测算法研究. 硕士论文, 西安建筑科技大学.
- [55] Habiboglu, Y.H., Gunay, O. and Cetin, A.E. (2012) Covariance matrix-based fire and flame detection method in video. *Machine Vision and Applications*, **23**, 1103-1113.
- [56] 汪锦, 于伟, 韩韬 (2008) 面向红外视频图像的火焰识别. *上海交通大学学报*, **12**, 1979-1982, 1987.
- [57] 张雷, 陆建华, 梁新刚 (2010) 基于模糊神经网络的森林火情预测. *清华大学学报(自然科学版)*, **8**, 1302-1306.
- [58] Hou, J., Qian, J., Zhang, W., et al. (2011) Fire detection algorithms for video images of large space structures. *Multimedia Tools and Applications*, **52**, 45-63.
- [59] 孙宇臣, 王自朝, 葛宝漆 (2007) 视频火灾探测系统现状分析. *消防科学与技术*, **4**, 414-417.