

# On the application of flame reflection light in flame image recognition

Weibin Lv

Wuxi Brightsky Electronic Co.,Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214187, China

## Abstract

This paper provides a comprehensive analysis of existing flame image recognition systems and their limitations in practical applications. To address the critical issue of direct identification failure caused by flame occlusion, we innovatively propose a technical approach utilizing reflected light characteristics for fire detection. By analyzing dynamic features of reflected light from surrounding objects (such as flickering patterns and brightness trends), this method enables indirect detection and early warning of fires when direct observation is impossible. Research findings demonstrate that this technology effectively expands the application scope of existing flame image recognition products. Particularly in complex scenarios with visual obstructions, it offers a crucial complementary solution to current systems, significantly enhancing the robustness and reliability of fire detection systems.

## Keywords

flame image recognition; flame reflected light; feature extraction; indirect fire detection; high-end intelligent machine

# 论火焰反射光在火焰图像识别中的应用

吕卫斌

无锡蓝天电子股份有限公司, 中国·江苏 无锡 214187

## 摘要

本文深入分析了现有火焰图像识别系统的工作原理及其在应用场景中存在的局限性。针对火焰被遮挡导致直接识别失效的关键问题,创新性地提出利用火焰反射光特征进行火灾判别的技术路线。该方法通过分析火焰在周围环境物体上反射光的动态特性(如闪动规律、亮度变化趋势),能够在无法直接观测火焰本体的情况下,实现对早期火灾的间接探测与预警。研究表明,该技术有效扩展了现有火焰图像识别产品的应用范围,特别是在存在视觉遮挡的复杂场景中,为现有系统提供了重要的、互补性的解决方案,提升了火灾探测系统的鲁棒性和可靠性。

## 关键词

火焰图像识别; 火焰反射光; 特征提取; 间接火灾探测; 高端智能机器人视觉系统; 多DSP并行处理

## 1 引言

火灾图像识别系统通过摄像头采集现场图像信息,运用图像处理与模式识别算法分析画面中的火焰特征,实现火灾的自动检测、定位与报警。该系统显著克服了传统点型或线型探测器在大空间应用中的不足,具备远距离监控、大范围覆盖、快速响应及高可靠性等优势,并能有效降低环境温度湿度等因素的干扰,提供更为精准、直观的报警信息<sup>[1]</sup>。国家标准 GB 15631-2008《特种火灾探测器》对图像型火焰探测器的性能指标(如最小火焰尺寸、定位精度、视场角、响应时间)以及环境适应性和电磁兼容性(EMC)提出了严格要求,为其在工业等复杂环境中的应用奠定了基础。

【作者简介】吕卫斌(1973-),男,中国江苏无锡人,硕士,高级工程师,从事计算机技术研究。

## 2 图像火焰识别系统原理分析

图像型火焰探测器主要依据火焰在图像序列中表现出的动态视觉特征进行判别,核心判别因素包括:

- 1) 面积变化趋势:早期火灾火焰呈现持续、扩展性的面积增长<sup>[2]</sup>。
- 2) 边缘动态特性:火焰边缘具有区别于其他高温物体或稳定光源的独特不规则波动模式。
- 3) 形体演化规律:火焰形状、空间取向、抖动频率以及分合现象在早期阶段具有特定规律<sup>[3]</sup>。
- 3) 亮度闪动频率:火焰燃烧过程伴随特定频率的亮度闪烁(Flicker),其空间分布随时间变化。
- 5) 内部温度分层:火焰内部温度分布呈现梯度特性,反映在图像上形成特定的亮度或色彩分层。
- 6) 整体连续移动:火焰发展过程中随燃料消耗与点燃呈现连续、非跳跃性的位置移动。

探测器系统通常综合上述一个或多个特征，结合特定的模式识别算法（如阈值分割、特征提取、时序分析、分类器设计）进行火灾判别。其典型软件处理流程如下：

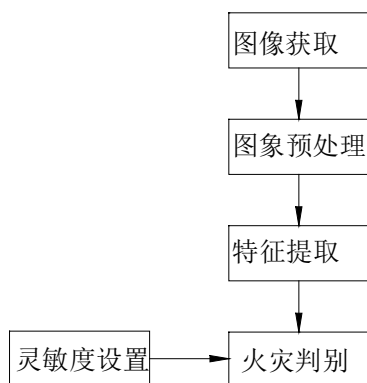


图 1：火焰图像识别系统软件处理流程图

流程图描述：图像获取 (CCD/CMOS) -> 图像预处理 (滤波、分割、二值化等) -> 火焰特征提取 (基于上述判别因素) -> 火灾判别决策 (基于特征与设定阈值 / 模型) -> 报警输出

### 3 现有火焰图像识别系统的局限性

主流火焰图像识别产品采用双光谱（红外 + 可见光）前端采集架构。通常由红外摄像机进行初步热区域探测，触发可见光摄像机对可疑区域进行精细特征分析以确认火灾，处理算法集中于后台计算机完成。

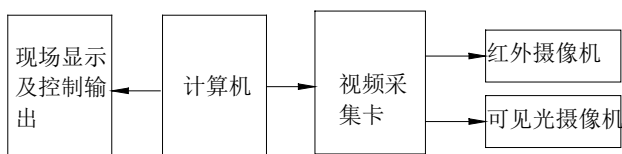


图 2：火焰图像识别系统典型硬件架构图

架构图描述：红外摄像机 -> 图像采集卡 -> 计算机处理 / 分析 -> 报警输出 / 显示；可见光摄像机 -> 图像采集卡 -> 计算机处理 / 分析 -> 报警输出 / 显示

该系统面临的核心挑战在于：当火焰本体被前方物体（如设备、货架、墙体）完全或部分遮挡时，摄像机无法直接获取火焰的上述关键视觉特征（面积、边缘、形体、闪动等）。此时，系统将无法有效识别火灾，直至火焰蔓延至遮挡物上方或突破遮挡范围。这一局限性严重制约了图像识别技术在存在视觉遮挡场景（如复杂工厂车间、仓储货架区）中的推广与应用<sup>[4]</sup>。

### 4 火焰反射光特征分析及其在识别系统中的应用

针对上述遮挡问题，本文提出并验证了一种基于火焰反射光的间接探测方法。其核心思想是：即使火焰本体被遮挡，其动态特性（尤其是亮度闪动规律和整体亮度增长趋势）仍会通过光线在周围环境物体（如墙壁、天花板、设备表面）

上的反射，间接地体现在监控图像中<sup>[5]</sup>。

1) 技术可行性：火焰的特定闪烁频率（通常在 1-20Hz 范围）和亮度非稳态增长模式是其区别于稳定光源（如灯具、阳光反射）的本质特征。这些特征在反射光信号中虽有所衰减和变形，但仍蕴含可识别的火灾信息。

2) 应用方式：系统可分析监控画面中特定背景区域的亮度变化信号，提取其时域（如闪烁频率、亮度变化率）或频域特征。将此信息作为辅助判据，与直接火焰识别结果进行融合决策。

3) 优势与局限：

优势：能够在火焰被遮挡的早期阶段提供预警信号，指示火灾可能发生的大致区域，为用户人工介入确认或启动其他联动措施争取宝贵时间。

局限：无法精确定位火源点；反射光信号强度弱于火焰本体，易受环境背景光干扰（尤其在强环境光下，微小亮度变化难以识别）；报警确认度低于直接探测，通常需结合人工判断或作为较低级别的“预报警”。

4) 实验观察：

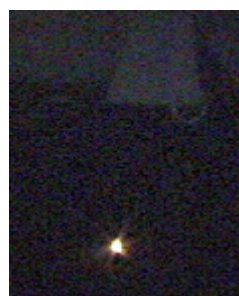


图 3a：小火

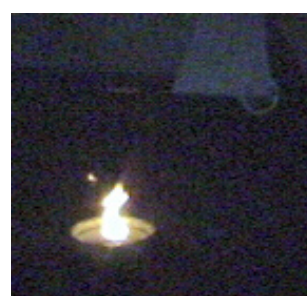


图 3b：中火



图 3c：大火

图 3：不同火焰强度下火焰本体与背景反射光对比

图 3a：小火 - 火焰直接可见度低，背景反射光微弱且难以辨识；图 3b：中火 - 火焰部分可见，背景反射光亮度及变化开始显现；图 3c：大火 - 火焰显著，背景反射光亮度高且动态特征清晰。

分析：如图 3 所示，在火灾发展过程中，随着火焰强度增大，背景区域接收到的反射光强度及其动态变化特征（闪烁、亮度增长）显著增强。即使在火焰本体被部分遮挡的中火阶段（图 3b），背景区域的特征已具备可分析性。

这表明,通过专门算法提取背景反射光的特征,可在直接火焰特征缺失或微弱时,提供有价值的辅助火灾判别依据<sup>[6]</sup>。

因此,将火焰反射光特征分析作为现有直接识别技术的有效补充,能够显著提升系统在复杂场景下的探测能力,为生命财产安全提供更全面的保障。

## 5 实际开发中的关键考量与系统实现

将反射光特征分析有效集成到火焰图像识别系统中,需重点解决以下工程与技术问题:

1) 计算复杂度:分析背景区域的反射光特征,通常需要处理比直接火焰区域更大的图像范围和更精细的时序信号,计算量显著增加。为满足实时性要求(响应时间<30s),必须采用高性能处理平台:

推荐方案:采用专用数字信号处理系统及并行处理技术。例如,基于多DSP架构的高端智能机器人视觉系统(如本司研发的集成摄像机、图像采集与处理模块的一体化方案),利用多核DSP并行处理图像数据,可大幅提升特征提取与分析的效率<sup>[7]</sup>。

2) 环境适应性:

背景光干扰:本方法在环境背景光相对稳定且较弱的场景(如无窗仓库、夜间办公室、光线可控的室内)效果最佳。强环境光(如阳光直射区域)会淹没微弱的火焰反射光信号,降低探测灵敏度。

反射表面要求:场景中需存在能够有效反射火焰光线的表面,且该表面需在监控视野内。

3) 算法鲁棒性:需开发能够有效区分火焰反射光动态特征与常见干扰源(如移动光源反射、设备指示灯、显示器闪烁)的算法,降低误报率。可考虑结合机器学习方法训练分类器。

4) 报警策略:需设计灵活的报警策略。反射光分析结果可作为独立的“疑似火灾”预报警,或与直接火焰探测结果进行加权融合,生成不同置信度的最终报警信号<sup>[8]</sup>。

## 6 结论

本文系统研究了火焰反射光特征在图像型火灾识别技术中的应用价值。理论分析与实验观察表明,利用火焰在环境物体上的反射光所携带的动态信息(闪动频率、亮度变化趋势),可有效克服火焰本体被遮挡导致的直接识别失效问

题。尽管该方法在定位精度、抗强光干扰方面存在局限,且计算需求较高,但将其作为现有直接火焰图像识别技术的一种创新性补充手段,具有重要的实用意义:

1) 拓展应用场景:显著提升了图像识别技术在存在视觉遮挡的复杂环境(如仓储密集区、设备林立的工厂)中的适用性。

2) 提升系统鲁棒性:增强了火灾探测系统应对部分观测失效情况的能力,提高了整体可靠性。

3) 实现早期预警:能够在火焰被遮挡的早期阶段提供间接报警信号,为及时响应争取时间。

未来工作将聚焦于:开发更高效、鲁棒的反射光特征提取与识别算法;优化多特征(直接火焰+反射光)融合策略;在更广泛的真实场景中进行系统验证与性能评估;研究在现有建筑物视频监控系统部署基于反射光火焰识别技术的火灾探测算法的可行性,一旦推广应用,则可以将消防和安防有效地结合起来,弥补了传统火灾探测报警系统在火灾定位和确认方面的不足;进一步探索其在高端智能安防机器人视觉系统中的应用潜力。

## 参考文献

- [1] 孙继平,李小伟.基于图像平滑度的矿井外因火灾识别及抗干扰方法研究[J].中国矿业大学学报,2025,54(01):215-226. DOI:10.13247/j.cnki.jcumt.20240217.
- [2] 邵女.基于深度学习的转炉火焰识别和燃烧状态预测[D].东北石油大学,2024.DOI:10.26995/d.cnki.gdqsc.2024.000348.
- [3] 李小京.基于图像识别的消防目标识别与追踪技术研究[D].东北石油大学,2024.DOI:10.26995/d.cnki.gdqsc.2024.000698.
- [4] 刘义琛.基于图像识别的新能源船舶火灾探测研究[D].大连海事大学,2024.DOI:10.26989/d.cnki.gdlhu.2024.000480.
- [5] 张术琳,张亚楠,田超,等.基于CNN的化工园区火灾火焰图像识别研究[J].中国安全科学学报,2024,34(01):179-186. DOI:10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.01.2333
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB 15631-2008 特种火灾探测器[S].北京:中国标准出版社,2008
- [7] 卢结成,吴龙标,宋卫国.一种火灾图像探测系统的研究[J].仪器仪表学报,2001
- [8] 金华彪.基于数字图像处理的火灾探测技术[J].消防科学与技术,2002