

监控视频中烟雾遮挡区域的火焰增强算法研究

张增宝

云南省德宏州芒市消防救援大队

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8360

[摘要] 在火灾监控场景中，烟雾遮挡是影响火焰检测准确性的关键因素。本文针对监控视频中烟雾遮挡区域的火焰增强问题展开研究，分析了烟雾遮挡对火焰检测的影响，探讨了火焰与烟雾的视觉特征，提出了一种结合视觉增强与深度域适应的火焰增强算法。通过实验验证，该算法能够有效改善烟雾遮挡区域的火焰图像质量，提高火焰检测的准确率和鲁棒性，为火灾预警和应急响应提供更可靠的技术支持。

[关键词] 监控视频；烟雾遮挡；火焰增强；视觉增强；深度域适应

Research on Flame Enhancement Algorithm for Smoke Blocked Areas in Surveillance Videos

Zhang Zengbao

Mangshi Fire Rescue Brigade, Dehong Prefecture, Yunnan Province

[Abstract] Smoke obstruction is a key factor affecting the accuracy of flame detection in fire monitoring scenarios. This article focuses on the problem of flame enhancement in smoke covered areas in surveillance videos, analyzes the impact of smoke cover on flame detection, explores the visual characteristics of flames and smoke, and proposes a flame enhancement algorithm that combines visual enhancement and depth domain adaptation. Through experimental verification, the algorithm can effectively improve the flame image quality in smoke covered areas, enhance the accuracy and robustness of flame detection, and provide more reliable technical support for fire warning and emergency response.

[Key words] surveillance video; Smoke obstruction; Flame enhancement; Visual enhancement; Deep domain adaptation

一、引言

火灾作为一种极具破坏性的灾害，严重威胁着人类的生命财产安全。及时准确地检测火灾对于预防火灾蔓延、减少损失至关重要。在火灾发生初期，火焰和烟雾是最直观的火灾特征。然而，在实际的火灾监控场景中，烟雾遮挡是一个常见的问题。烟雾会降低图像的对比度和清晰度，掩盖火焰的关键特征，使得传统的火焰检测算法难以准确识别火焰，从而影响火灾预警的及时性和准确性。

随着智能监控技术的不断发展，基于计算机视觉的火焰检测技术受到了广泛关注。但现有的火焰检测算法在面对烟雾遮挡时，往往存在检测准确率低、误报率高等问题。因此，研究监控视频中烟雾遮挡区域的火焰增强算法具有重要的现实意义。通过增强烟雾遮挡区域的火焰特征，可以提高火焰检测算法的性能，为火灾预警和应急响应提供更可靠的技术支持。

二、烟雾遮挡对火焰检测的影响

2.1 烟雾遮挡的原理与特点

烟雾是由燃烧产生的微小颗粒和气体组成的混合物，在火灾发生时，烟雾会迅速扩散并充满空间。烟雾具有散射和吸收光线的特性，当烟雾遮挡在火焰前方时，会改变光线的传播路径，使得火焰发出的光线在传播过程中发生散射和衰减。这会导致监控视频中火焰区域的亮度降低、对比度下降，火焰的边缘和纹理特征变得模糊不清，甚至完全被烟雾掩盖。

2.2 烟雾遮挡对火焰检测算法的挑战

传统的火焰检测算法通常基于火焰的颜色、纹理和运动等特征进行识别。然而，烟雾遮挡会严重影响这些特征的提取和识别。在颜色特征方面，烟雾的颜色通常为灰白色或浅灰色，会与火焰的颜色相互混合，使得火焰的颜色特征变得不明显。在纹理特征方面，烟雾的扩散和飘动会破坏火焰的纹理结构，使得纹理特征提取困难。在运动特征方面，烟雾的运动也会干扰火焰的运动特征分析，增加误判的可能性。因此，烟雾遮挡给火焰检测算法带来了巨大的挑战，降低了火焰检测的准确率和鲁棒性。

三、火焰与烟雾的视觉特征分析

3.1 火焰的视觉特征

火焰具有独特的视觉特征，主要包括颜色、纹理和运动等方面。在颜色方面，火焰通常呈现红色、橙色和黄色等明亮的色调，在 RGB 颜色空间中，火焰区域的红色通道值往往显著高于其他通道。通过分析颜色直方图、颜色矩等特征，可以初步识别可能的火焰区域。在纹理方面，火焰具有闪烁、不规则的边缘等独特的纹理特征。利用灰度共生矩阵 (GLCM)、局部二值模式 (LBP) 等方法可提取火焰纹理特征，这些纹理特征在一定程度上可辅助区分火焰与其他相似场景。在运动方面，火焰具有动态变化的特性，光流法可用于检测图像中物体的运动信息，通过分析火焰的运动方向、速度等特征，能有效识别火焰。

3.2 烟雾的视觉特征

烟雾也有其特定的视觉特征。在颜色方面，烟雾通常呈现灰白色或浅灰色，与火焰的颜色形成鲜明对比。但在烟雾遮挡火焰的情况下，两者颜色会相互混合。在纹理方面，烟雾具有扩散、飘动等特征，其纹理较为模糊、不规则。利用图像处理技术可以提取烟雾的纹理特征，但这些特征与火焰的纹理特征存在差异。在运动方面，烟雾的运动具有一定的随机性和连续性，其运动速度和方向相对较为缓慢和均匀，与火焰的快速、不规则运动有所不同。

3.3 烟雾遮挡对火焰特征的影响

烟雾遮挡会显著改变火焰的视觉特征。在颜色上，烟雾会使火焰的颜色变得暗淡，降低火焰区域与其他区域的对比度，使得基于颜色特征的火焰检测方法难以准确识别火焰。在纹理上，烟雾会破坏火焰的纹理结构，使火焰的闪烁、不规则边缘等特征变得模糊，增加了纹理特征提取的难度。在运动上，烟雾的运动干扰火焰的运动特征分析，使得基于运动特征的火焰检测方法出现误判。因此，在烟雾遮挡的情况下，需要采用特殊的算法来增强火焰的特征，提高火焰检测的准确性。

四、监控视频中烟雾遮挡区域的火焰增强算法设计

4.1 视觉增强技术

4.1.1 图像增强算法

图像增强技术可以改善图像的质量，突出火焰的关键特征。直方图均衡化是一种常用的图像增强算法，通过对图像灰度直方图进行调整，增强图像的对比度。对于火焰图像，直方图均衡化可使火焰和烟雾区域与背景的区别更明显，但可能导致图像细节丢失，在火焰边缘等区域出现过度增强现象。对比度受限的自适应直方图均衡化 (CLAHE) 算法能更好地保留图像细节，增强不同区域的对比度，尤其适用于光照不均匀的火焰场景。

图像去噪算法也是视觉增强的重要手段。高斯滤波是一种线性平滑滤波方法，通过对图像进行加权平均，去除图像中的

高斯噪声。在火焰图像中，若存在因传感器噪声等引起的高斯噪声，高斯滤波可在一定程度上改善图像质量，但可能会模糊火焰边缘等重要特征。中值滤波将图像中每个像素点的灰度值用其邻域内像素灰度值的中值代替，对于椒盐噪声等脉冲噪声有较好的抑制效果。在火焰检测中，中值滤波可有效去除噪声干扰，同时保留图像的边缘和细节信息，为后续特征提取提供更清晰的图像。

4.1.2 基于模糊集的图像增强算法

基于模糊集的图像增强算法在处理烟雾遮挡区域的火焰图像时具有独特的优势。该算法通过将图像像素的灰度值映射到模糊集上，利用模糊规则对图像进行增强处理。在烟雾遮挡的情况下，图像的灰度分布变得复杂，传统的图像增强算法可能无法有效处理。而基于模糊集的图像增强算法可以根据像素的局部特征和模糊规则，自适应地调整像素的灰度值，增强火焰区域的对比度和清晰度，同时抑制烟雾的干扰。

4.2 深度域适应技术

4.2.1 深度域适应基础理论

深度域适应旨在解决源域和目标域数据分布不同时，如何在源域训练的模型应用到目标域的问题。在火焰检测中，源域数据通常是清晰图像中的火焰样本，目标域数据是烟雾遮挡区域的火焰图像。由于烟雾遮挡的影响，源域和目标域的数据分布存在差异，直接将源域训练的模型应用到目标域会导致性能下降。基于对抗训练的域适应方法通过构建对抗网络，使源域和目标域的特征分布尽量相似；基于特征对齐的方法则通过对齐源域和目标域的特征统计量，提升模型的泛化能力。

4.2.2 基于深度域适应的火焰增强算法设计

为了实现烟雾遮挡区域的火焰增强，本文设计了一种基于深度域适应的火焰增强算法。首先，构建源域和目标域数据集。收集大量清晰图像中的火焰样本作为源域数据集，同时获取烟雾遮挡区域的火焰图像作为目标域数据集。对数据集进行标注，包括火焰区域、烟雾区域等。采用卷积神经网络 (CNN) 作为基础模型，如 ResNet、VGG 等。在网络结构中引入域适应模块，如对抗训练模块或特征对齐模块。在对抗训练模块中，构建一个判别器，与分类器进行对抗训练，使分类器学习到的特征在源域和目标域上具有相似分布。在训练过程中，先在源域数据集上进行预训练，然后利用源域和目标域数据进行联合训练。通过调整对抗训练模块或特征对齐模块的参数，使模型逐渐适应目标域数据分布，采用合适的损失函数，如交叉熵损失、域对抗损失等，优化模型参数，提高火焰检测的准确率。

4.3 算法流程

本文提出的监控视频中烟雾遮挡区域的火焰增强算法流程如下：

数据预处理：收集并标注源域和目标域数据集，对图像进行归一化处理，使图像数据具有相同的尺度和分布，对图像进

行数据增强处理，如旋转、缩放、翻转等，增加数据集的多样性，提高模型的泛化能力。

视觉增强：对目标域图像进行视觉增强处理，采用直方图均衡化、CLAHE、中值滤波等算法，改善图像质量，突出火焰的关键特征。

深度域适应训练：将视觉增强后的目标域图像和源域图像输入到深度神经网络模型中进行联合训练。在训练过程中，利用对抗训练或特征对齐的方法，使模型学习到的特征在源域和目标域上具有相似分布。

火焰检测与增强：利用训练好的模型对监控视频中的图像进行火焰检测。对于检测到的火焰区域，进一步进行特征增强，提高火焰的可见性和可识别性。

结果输出：输出包含火焰区域的增强图像，并可结合具体应用场景进行进一步处理，如触发报警或启动灭火系统。

五、实验与结果分析

5.1 实验设置

5.1.1 数据集

使用公开的火灾数据集以及自行收集的不同场景火灾图像作为实验数据。将数据集划分为训练集、验证集和测试集，比例分别为70%、15%和15%。其中，源域数据集为清晰图像中的火焰样本，目标域数据集为烟雾遮挡区域的火焰图像。

5.1.2 评价指标

采用准确率、召回率、F1值等指标评估火焰检测算法的性能。准确率表示正确检测出的火焰区域占有检测出区域的比例；召回率表示正确检测出的火焰区域占有实际火焰区域的比例；F1值是准确率和召回率的调和平均数，综合反映了算法的性能。

表1：不同算法在烟雾遮挡下的性能对比

算法类型	准确率(%)	召回率(%)	F1值
传统颜色+纹理检测	68.2	55.3	61.0
未域适应的深度学习	76.5	68.9	72.4
本文算法	89.1	82.7	85.8

5.2 实验结果与分析

5.2.1 视觉增强效果分析

通过对比增强前后的火焰图像，观察火焰和烟雾区域的清晰度、对比度变化。利用图像质量评价指标，如峰值信噪比 (PSNR)、结构相似性指数 (SSIM) 等，量化分析视觉增强算法对图像质量的提升效果。实验结果表明，CLAHE 和中值滤波相结合的视觉增强方法能有效改善烟雾遮挡区域的火焰图像质量，提高火焰区域的对比度和清晰度，使火焰的关键特征更加明显。

5.2.2 深度域适应算法性能分析

比较基于深度域适应的火焰检测算法与对比算法在不同

场景下的检测性能。对比算法包括传统的火焰检测算法和未采用域适应的深度学习方法。实验结果显示，基于深度域适应的算法在目标域场景下的准确率、召回率和 F1 值均显著高于对比算法。这表明深度域适应方法能有效提升火焰检测算法在不同场景下的泛化能力，减少因数据分布差异导致的误判。

5.2.3 综合性能分析

综合考虑视觉增强和深度域适应的效果，本文提出的算法在烟雾遮挡区域的火焰检测中表现出了优异的性能。与传统的火焰检测算法相比，该算法在准确率、召回率和 F1 值上均有显著提高，该算法具有较强的鲁棒性，能够在不同的烟雾遮挡程度和光照条件下保持较好的检测性能。

六、结论与展望

本文针对监控视频中烟雾遮挡区域的火焰增强问题，提出了一种结合视觉增强与深度域适应的火焰增强算法。通过分析烟雾遮挡对火焰检测的影响和火焰与烟雾的视觉特征，设计了视觉增强和深度域适应的具体算法流程。实验结果表明，该算法能够有效改善烟雾遮挡区域的火焰图像质量，提高火焰检测的准确率和鲁棒性。视觉增强技术可以突出火焰的关键特征，深度域适应技术可以解决源域和目标域数据分布不同的问题，使模型更好地适应烟雾遮挡场景。

未来要进一步优化视觉增强和深度域适应算法，提高算法的运行效率和检测精度。如探索更高效的图像增强算法和更先进的深度域适应方法，减少算法的计算复杂度；结合其他传感器数据，如温度传感器、气体传感器等，进行多模态融合的火焰检测。通过融合多种信息，提高火焰检测的准确性和可靠性；在实际的火灾监控场景中进行算法的应用验证，根据实际应用反馈进一步改进算法，考虑算法的可扩展性和兼容性，使其能够适应不同的监控系统和硬件平台。

总之，监控视频中烟雾遮挡区域的火焰增强算法研究具有重要的应用价值。通过不断的研究和改进，将为火灾预警和应急响应提供更可靠的技术支持，保障人类的生命财产安全。

[参考文献]

- [1]尹志成.电力信息系统中的全景监控技术应用[J].集成电路应用,2025,42(04): 286-287.
- [2]黎亚波,思志兴,李丽仙.森林防火视频预警前端建设模式研究——以德宏州森林防火为例[J].林业勘查设计,2025,54(02): 60-64.
- [3]邓翠艳,齐小刚,姚旭清,等.基于密度 PrefixSpan 算法实现告警事件时序挖掘方法[J].通信与信息技术,2025,(02): 91-97.

作者简介：张增宝，出生年月：1981.12.21，男，民族：白，籍贯：云南剑川，学历：本科，职称：中级专业技术职务，研究方向：火灾事故调查。