

基于计算机视觉的石化火灾智能监测研究

高平阳

河南油田工程科技股份有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 石化行业生产存储环节普遍存在易燃易爆介质, 火灾风险防控是保障厂区安全运行的核心环节。针对传统接触式监测手段覆盖范围有限、早期火情识别滞后的痛点, 依托计算机视觉技术搭建适配石化场景的智能监测体系, 围绕场景特征解析、图像预处理、特征识别、系统搭建四个维度展开研究, 本文结合石化厂区复杂工况的实际需求, 梳理视觉监测技术的适配逻辑与抗干扰方法, 完成全流程技术路径的落地设计, 可为石化领域火灾智能防控提供可行的实践思路。

关键词: 石化火灾; 计算机视觉; 智能监测; 特征识别; 抗干扰技术

引言: 石化产业是工业体系的重要支撑, 生产全流程涉及大量高温高压设备与易燃易爆物料, 火灾隐患贯穿原料存储、反应加工、物料输送等多个环节。传统人工巡检与传感器监测模式, 难以覆盖厂区大范围的复杂空间, 对初期隐蔽火情的感知能力存在明显短板。随着图像处理与深度学习技术的迭代, 非接触式的视觉监测方法逐步成为安全防控领域的新方向, 相关技术落地过程中仍需适配石化场景的专属特征, 破解复杂工况带来的成像干扰、识别精度不足等现实问题, 推动火灾防控从被动处置向主动预警转型。

1 石化火灾视觉监测基础理论与场景特征分析

1.1 石化场景火灾固有特征研究

石化生产储存区域的火灾具备区别于普通民用火灾的专属特征。这类火灾多由油气、化工原料泄漏燃烧引发, 燃烧介质成分复杂多样, 燃烧状态呈现动态变化的特点。火焰形态无固定规律, 蔓延速度受介质压力、物料属性影响呈现差异化状态。燃烧过程会产生大量烟雾与挥发性杂质, 烟雾浓度、扩散范围会随燃烧进程持续改变。火灾发展过程存在明显的阶段性变化, 初期隐蔽性强, 明火特征微弱, 中后期燃烧范围快速扩张, 火焰形态、烟雾状态会出现显著改变^[1]。不同种类化工物料燃烧产生的光影效果存在明显差异, 可作为视觉识别工作的核心判定依据。

1.2 计算机视觉火灾监测基础理论体系

计算机视觉火灾监测依托图像感知、特征解析、智能识别的完整理论体系开展工作。图像成像理论为视觉信息采集提供核心支撑, 明确光线传播、像素成像的核心规律。特征提取理论聚焦图像中色彩、纹理、轮廓、动态变化等关键信息, 完成有效信息的筛选与提取。视觉感知理论实现对图像信息的数字化转化, 将可视化火

灾信号转换为可解析的数据信息。动态目标识别理论针对火焰、烟雾的动态变化规律, 建立对应的信息判别逻辑。整套理论体系依托图像底层信息挖掘, 完成对火灾状态的智能化感知与辨识, 为火灾监测技术落地提供理论支撑。

1.3 视觉监测技术适配石化场景的原理探究

视觉监测技术适配石化场景, 核心是依托非接触式图像采集方式, 适配石化高危作业的监测需求。技术通过光学成像设备捕捉场景内的光影变化, 摆脱传统监测设备对接触式感应的依赖, 适配石化设备密集、工况复杂的空间环境。技术依托图像信息的动态捕捉能力, 捕捉火灾初期微弱的光影异常变化, 弥补传统监测方式对早期火灾识别的短板。通过对石化火灾专属视觉特征的定向解析, 建立针对性的识别逻辑, 适配不同化工物料燃烧的视觉表现形式。依托图像信息的全域采集特性, 覆盖石化厂区大范围、多设备的监测区域, 满足全域监测的需求。

1.4 石化环境对视觉成像的干扰机理分析

石化厂区特殊工况环境会对视觉成像质量产生多重干扰。厂区常态化存在的设备反光、粉尘悬浮、水汽凝结, 会改变成像光线的传播路径, 造成图像模糊、色彩失真等问题。生产设备、管道架构密集排布, 会对监测视野形成遮挡, 造成局部区域成像信息缺失。厂区昼夜光照温差大, 强光直射、弱光昏暗的环境, 会降低图像特征的辨识度。设备运行产生的震动会造成成像画面抖动, 破坏图像信息的稳定性。各类环境干扰会弱化火灾视觉特征的表现力, 增加有效特征提取难度, 影响视觉监测的精准性。

2 石化火灾视觉图像预处理技术研究

2.1 复杂石化场景图像降噪技术研究

石化厂区复杂工况会让采集的视觉图像掺杂大量无效噪声信息。厂区空气中悬浮的粉尘、油气微粒、凝结水汽都会干扰光学成像过程,形成颗粒状噪点。电气设备运行产生的电磁信号会影响成像设备工作状态,引发图像像素紊乱问题。这些类型的噪声会覆盖图像中火焰、烟雾的有效特征,降低原始图像的干净程度。降噪技术以纯化图像信息为核心目标,针对石化场景专属噪声类型区分噪点分布规律,通过针对性算法规则过滤无效干扰像素,保留图像中火灾相关的关键纹理与光影信息,为后续特征提取提供高质量图像基础^[2]。

2.2 图像亮度与对比度自适应优化方法

石化厂区光照条件复杂多变,不同时段的光线强度会造成图像成像质量失衡。日间强光照射易造成画面过曝,掩盖火焰边缘与烟雾细节。夜间弱光环境会让整体画面偏暗,图像层次模糊,关键特征难以分辨。自适应优化方法可以根据画面整体光影分布状态,自主调整图像明暗参数。该方法能够平衡极端光照下的成像偏差,提亮暗部细节、压制亮部过曝区域。合理拉开图像色彩与光影层次,让火灾相关的视觉特征更加突出,提升图像整体的可解析度。

2.3 石化遮挡类图像修复技术探究

石化厂区管道、钢架、设备构架排布密集,会对火灾监测成像形成大量遮挡问题。遮挡问题会造成图像局部信息缺失,切断火焰、烟雾的形态连续性,破坏完整的视觉特征链条。图像修复技术针对厂区固定遮挡场景构建适配算法逻辑,依托图像周边有效像素信息,推导缺失区域的画面内容。补齐被遮挡区域的火灾视觉信息,还原火灾形态的完整结构。弥补硬件监测视野的局限性,解决结构化设施遮挡带来的图像信息残缺问题,保障监测画面的完整性。

2.4 图像特征增强与维度归一化处理方法

原始石化监测图像存在特征分散、维度杂乱的问题,难以直接用于视觉识别分析。特征增强技术能够强化火焰色彩、烟雾纹理、动态轮廓等核心有效信息,弱化背景冗余信息,突出火灾专属视觉特征的独特性,提升后续模型特征捕捉效率。维度归一化处理会统一所有监测图像的尺寸、色域、像素规格,消除不同成像设备、不同工况带来的图像维度差异,规整图像数据结构,让各类场景下的监测图像形成统一的数据标准,为后续视觉识别模型的特征解析与规律学习提供稳定的数据支撑。

3 基于计算机视觉的石化火灾特征提取与识别技术

3.1 石化火灾图像视觉特征挖掘研究

石化火灾拥有区别于厂区常规景物的专属视觉特

征,是视觉识别技术开展工作的核心依据。石化物料燃烧形成的火焰拥有专属的色彩分布区间,整体色调和厂区日常灯光、设备反光、金属涂装色彩存在明显区分。火焰形态始终处于无序变化状态,边缘呈现不规则抖动、舒展、扩张的状态,不会出现规整固定的轮廓形态。燃烧产生的烟雾会跟随燃烧程度持续演变,浓度疏密、扩散范围、透光程度都会产生持续性改变,形成独有的纹理变化规律^[3]。不同类型石化原料燃烧的烟雾质感、色彩深浅存在明显差异,能够丰富火灾视觉信息的识别维度。全面梳理火焰与烟雾的静态成像特点和动态演变规律,深度挖掘隐藏在复杂厂区背景中的火灾专属属性,能够为后续精准提取特征、搭建识别逻辑划定清晰有效的信息范围。

3.2 多维度火灾特征融合提取方法

单一视觉维度的特征信息存在明显片面性,很难完整覆盖石化火灾复杂多变的燃烧状态,单一判别标准极易出现识别漏洞。多维度特征融合提取方法整合图像色彩、表面纹理、空间形态、动态演变四类核心信息,搭建全方位的火灾特征采集体系。该方法对每一类视觉信息进行独立拆解分析,梳理各类特征的成像规律、分布特点和变化逻辑,单独完成精细化提取工作。拆解完成后对多类特征信息进行深度整合互补,构建层次完整、内容丰富的火灾特征数据集。弥补单一维度信息覆盖范围狭窄、识别辨识度不足的短板,拓宽图像有效信息的挖掘深度。提升原始图像数据的利用效率,为后续识别网络训练、特征匹配分析提供充足的数据支撑。

3.3 轻量化视觉识别网络结构优化设计

传统视觉识别网络结构设计偏向通用场景,内部卷积层级繁杂,参数数量庞大,整体运算成本偏高。这类模型运行对设备算力要求较高,难以适配石化厂区工业终端的硬件配置条件,无法满足现场高频次、不间断的实时监测需求。轻量化网络结构优化针对通用模型的冗余问题开展系统性改造。删减网络中重复冗余的运算单元,简化繁琐的特征传递链路,大幅压缩模型整体参数量。重新设计特征采样与信息映射逻辑,聚焦火灾核心特征的捕捉与留存,弱化无效背景信息的运算占比。优化后的网络可以在降低算力消耗的基础上,稳定保留优秀的特征提取能力,提升图像数据处理速度。适配工业现场低算力设备的部署条件,满足石化火灾实时监测的运行要求。

3.4 石化火灾与干扰源特征区分机制研究

石化厂区生产环境复杂,现场存在大量容易干扰火灾识别的视觉元素。厂区常态化运行的照明设备、金属

管道的强光反光、工艺作业产生的水雾蒸汽、室外环境堆积的扬尘雾气,都能在成像画面中呈现出和火焰、烟雾相似的视觉效果。这些干扰元素会混淆图像有效特征,扰乱识别判定逻辑,引发识别错误、误判报警等问题。特征区分机制聚焦火灾与各类干扰元素的视觉差异,搭建针对性的判别体系,细致拆解各类干扰元素的成像特点、形态变化模式、色彩分布规律,对比火灾独有的动态演变特性与纹理特征,建立层级化的差异判别规则,精准筛选有效火灾特征,剔除各类环境干扰信息,有效减少复杂工况下的错误识别问题,提升视觉识别模型的抗干扰能力,保障石化火灾智能监测工作的稳定与精准。

4 石化火灾智能视觉监测系统架构与运行机制

4.1 智能监测系统整体架构设计

石化火灾智能视觉监测系统依托工业现场运行需求搭建分层化整体架构,适配厂区复杂的作业环境与监测要求。整体架构遵循分层独立、逐级衔接的设计思路,划分多个功能层级,明确各层级的工作范围与核心职能。各层级保持独立运行逻辑,依托标准化数据接口完成信息交互,规避单一模块故障引发的整体系统异常。架构设计充分考量石化厂区设备密集、工况多变、环境干扰多的特点,兼顾系统运行的稳定性与拓展性^[4]。分层结构可完成图像采集、数据传输、智能识别、终端响应的分步落地,构建结构完整、逻辑清晰的全流程监测体系。

4.2 视觉采集与数据传输模块设计

视觉采集模块是系统获取现场信息的前端核心单元,负责完成石化厂区全域画面的持续捕捉。根据厂区设备布局、空间结构、监测盲区分布,合理规划采集设备布设位置,覆盖生产区、存储区、输送廊道等关键区域。采集设备适配高低温、粉尘、水汽等复杂工况,保障各类环境下的成像质量。数据传输模块承担图像信息的转运工作,搭建稳定的工业数据传输链路。针对大容量图像数据的传输特点,优化数据传输协议,规范数据传输格式。弱化传输过程中的数据损耗与延迟问题,为后端算法分析提供稳定、完整的原始图像数据支撑。

4.3 智能识别与实时监测模块构建

智能识别与实时监测模块是整套系统的核心功能载体,承担图像解析与火灾判别核心工作。模块搭载适配石化场景的视觉识别算法,对接前端传输的图像数据,

完成图像预处理、特征提取、特征融合、干扰剔除等一系列数据处理流程。依托训练完成的轻量化网络模型,解析画面中的火焰与烟雾特征,判断监测区域是否存在火灾隐患。模块搭载持续监测逻辑,对厂区画面进行不间断循环检测,缩短画面检测间隔。针对初期微弱火灾特征开展精细化判别,强化系统对早期火情的感知与甄别能力。

4.4 系统联动运行与智能响应机制研究

系统联动运行机制打通识别终端与厂区配套安防设施的功能壁垒,构建一体化的安防运行体系。监测模块完成火情判定后,触发层级化的智能响应流程,根据火情特征划分不同的响应等级。不同等级对应差异化的处置逻辑,匹配适配的安防处置策略。联动机制可以调用厂区预警终端,完成现场风险提示,也可对接后台管理终端,完成火情信息上传与记录。智能响应机制弱化人工干预占比,依托系统自主判别结果启动对应处置流程,有效压缩火情处置窗口期,提升厂区火灾防控的自动化联动水平。

结束语

适配石化场景搭建的全流程视觉监测技术体系,可有效兼容厂区复杂作业环境,补齐传统监测手段的覆盖盲区与识别短板。整套技术路径从底层特征解析延伸至系统落地运行,兼顾识别精度与实时运行需求,能够在火情萌芽阶段捕捉微弱异常信号,为现场处置预留充足响应时间。相关技术方法可直接对接现有厂区的视频监控资源,无需大规模改造硬件设施,在石化、化工等高风险行业具备较高的推广应用价值,助力企业筑牢生产安全防线。

参考文献

- [1]孙雪婷,傅钰江,林堂茂,等.基于计算机视觉的石化火灾智能监测研究[J].炼油技术与工程,2024,54(8):51-55.
- [2]谈龙妹,杨美芝,纪万祥,等.荧光光纤测温技术在高温油储罐火灾监测中的应用[J].消防科学与技术,2023,42(7):910-914.
- [3]赵冬.石化行业甲类仓库火灾防控对策研究[J].炼油技术与工程,2025,55(4):60-63.
- [4]吕静.石化企业防火涂层及火灾报警系统集成研究[J].涂层与防护,2025,46(9):36-40.