

基于视觉辅助的无人机野外架空光缆自主巡检技术优化研究

周建忠

贵州省邮电规划设计院有限公司 贵州 贵阳 550003

摘要：野外架空光缆巡检受复杂地形与多变气象干扰较大，传统作业模式存在安全隐患多、覆盖范围有限、智能化程度偏低等问题，难以适配通信运维精细化发展需求。现有巡检体系存在成像质量差、目标识别不准、航线与飞行姿态适配性弱等问题，本文结合野外巡检工况优化图像预处理、识别算法、动态航线与姿态调控模块，搭建适配复杂场景的自主巡检体系，有效提升光缆巡检精度与环境适应能力，完善通信线路智能运维作业体系。

关键词：人机巡检；视觉感知；架空光缆；自主巡检；智能运维

引言：架空光缆作为通信传输网络的重要传输载体，长期暴露于野外复杂自然环境中，地形遮挡、气象更迭与植被干扰极易诱发线路运行隐患。传统人工巡检作业效率偏低、作业风险较高，无法完成长距离线路的常态化排查工作。无人机智能巡检已逐步替代传统作业方式，视觉成像偏差、飞行适配性不足等现场问题，依旧制约野外巡检作业质量。优化视觉感知与自主飞行控制能力，可持续提升光缆巡检的稳定性与智能化水平。

1 野外架空光缆无人机自主巡检技术研究现状

1.1 架空光缆无人机巡检技术迭代趋势

野外架空光缆多铺设于山地、丘陵、林地等复杂区域，线路覆盖范围广阔，人工巡检通行难度大、作业风险高，很难满足现阶段线路常态化、全覆盖的运维管控需求^[1]。无人机的应用有效解决了长距离野外线路巡检的作业难题，替代人工完成大范围线路摸排工作。早期机型飞行稳定性偏弱，作业全程依赖人工操控，仅能完成简单影像记录，不具备自主作业能力。随着飞控硬件升级与导航算法持续迭代，无人机可依托预设航线与坐标完成自主巡航，自动执行定点拍摄、连续影像采集等标准化作业。

1.2 视觉感知巡检技术应用进展

飞行自动化体系成型后，机载视觉感知能力成为决定巡检数据质量与检测精度的核心环节。视觉成像系统承担线路实景采集工作，为线路状态判别与隐患分析提供基础数据。为适配野外光照变化、雾尘天气等恶劣成像条件，行业不断优化相机曝光参数、对焦逻辑与采集帧率，大幅改善野外复杂环境下的成像效果。依托图像特征提取、语义分割、目标识别等智能算法，设备可精准区分光缆、线路金具与植被、地貌等背景干扰。行业

技术发展目前偏向精细化检测方向，重点针对纤细线缆弱特征进行模型优化，提升细微缺陷的识别能力。

1.3 无人机视觉自主巡检技术现存短板

现有无人机巡检体系虽已实现自动化飞行与基础视觉识别功能，但在真实野外复杂工况下仍存在明显技术缺陷。多数算法模型与运行参数仅在平整单一的试验场景中完成调试，适配植被遮挡、地形起伏、气象多变等复杂场景的能力不足。野外光缆细径低对比的特征，容易在繁杂背景中出现特征混淆与目标丢失。现有分析数据多来源于静态采集图像，无法匹配无人机飞行抖动、气流偏移带来的动态成像误差。巡检系统的功能架构也存在短板，视觉识别模块与飞行控制系统相互独立，无法依靠实时识别结果调整飞行姿态与巡检轨迹，难以形成闭环自主作业体系，限制了高精度自主巡检技术的野外落地应用。

2 野外架空光缆自主巡检复杂场景与技术难点

2.1 野外架空光缆巡检场景环境特征

野外架空光缆线路延伸范围广，途经地貌类型繁杂，山地起伏、沟壑纵横的地形特征，改变了常规巡检作业的空间环境条件。线路周边植被层次丰富、高低错落，林木与灌丛会对无人机空中巡检视角形成遮挡，造成线路画面残缺。野外气象条件随机性强，光照强度昼夜差异大，阴雨、雾气、扬尘等天气交替出现，持续改变现场成像环境^[2]。部分光缆架设点位分散，跨越高山、郊野、山林等无固定参照物的区域，大幅提升无人机定位、巡航与目标检测的作业难度。

2.2 野外复杂环境巡检干扰机理

自然环境要素主要从成像质量、飞行状态两个维度，干扰无人机巡检作业的有序推进。光照条件的动态

变化,会改变光缆表面成像灰度值,弱化线缆与周边背景的视觉差异,导致线路目标特征模糊、辨识度下降。植被局部遮挡会割裂光缆的线性连续结构,致使视觉设备无法采集完整的线路影像数据。高空不规则气流会扰动无人机飞行状态,引发机身抖动、飞行高度偏移、拍摄角度倾斜等问题,破坏成像稳定性与画面完整性。复杂地形会压缩无人机有效飞行空域,限制巡检视角的调节范围,无法完整捕捉线路整体运行状态,直接影响巡检作业的精度与成效。

2.3 复杂背景下光缆视觉识别跟踪技术瓶颈

架空光缆属于细径线性目标,视觉特征辨识度低,在纹理繁杂、色彩多样的野外背景中,极易被环境信息覆盖干扰。现有通用视觉模型难以高效剥离背景冗余信息,对野外场景中残缺、模糊、局部遮挡的光缆目标提取效果较差。长线缆连续巡检过程中,目标成像位置、尺度会随无人机飞行姿态持续变化,固定的识别逻辑无法适配动态画面的特征更迭。主流目标跟踪算法难以持续锁定遮挡、断续状态下的光缆目标,频繁出现目标丢失、跟踪轨迹中断等问题,亟需通过针对性优化特征提取与动态跟踪逻辑,突破复杂背景带来的识别技术瓶颈。

2.4 动态场景下巡检航线适配难题

常规无人机巡检航线依托静态地理信息数据提前规划布设,仅能适配固定线路状态与标准化作业场景,无法适配野外环境的动态变化特征。植被季节性生长、现场临时遮挡物堆积、局部地形微小变动等情况,都会导致预设航线出现巡检盲区、覆盖不全等问题。现有飞行控制系统无法接入实时视觉画面数据,不能根据现场工况灵活调整飞行参数,难以有效规避突发遮挡与空域障碍。固定航线作业模式无法适配不同区段光缆的巡检需求,难以保障复杂野外场景下线路巡检的全覆盖效果,限制了自主巡检技术的野外落地应用。

3 视觉辅助无人机自主巡检关键技术优化设计

3.1 野外复杂图像预处理技术优化

野外架空光缆巡检全程处于动态自然环境中,拍摄影像易受强光照射、薄雾笼罩、沙尘漂浮、密集植被纹理等因素干扰,原始图像普遍存在明暗分布不均、细节模糊、噪点密集、对比度不足等问题,严重影响后续目标识别与状态分析的准确性。针对野外巡检专属的成像缺陷,重构适配野外场景的图像处理流程,摒弃通用图像处理方案的固化模式^[3]。结合架空光缆细线条、长跨度的结构特征,精准调整降噪强度、灰度校正区间与色彩还原参数。对图像局部关键区域开展精细化增强处理,突出线缆边缘轮廓特征,过滤压制野外复杂背景产

生的无效纹理与杂点干扰,构建多场景自适应图像预处理机制,为后端特征提取与目标精准识别提供高质量数据支撑。

3.2 架空光缆目标特征识别算法优化

现有视觉识别模型多基于块状、大体积目标训练迭代,对细长型、低对比度的架空线缆适配性较差。野外场景中普遍存在枝叶遮挡、光线斑驳、画面模糊等干扰问题,极易造成线缆目标特征丢失,导致识别失效、研判偏差。结合野外光缆的成像规律与空间形态,重构算法特征提取层级结构,提升模型对长线状目标的感知灵敏度。筛选线缆走向、边缘梯度、线性纹理等专属核心特征,精准剔除植被枝干、地形纹路等相似干扰信息。优化多维度特征融合与目标判别逻辑,强化模型对残缺、断续、局部遮挡线缆目标的识别能力,全面提升复杂野外场景下光缆目标识别的稳定性与精准度。

3.3 视觉反馈驱动的动态航线规划优化

传统无人机巡检航线依托预设地理坐标生成,作业模式固化,无法应对野外环境动态变化引发的巡检偏差。野外植被长势更迭、局部地形微调、线路微小位移等动态变化,都会造成既定航线存在巡检盲区,引发漏检问题。搭建视觉信息实时反馈通道,打通图像识别单元与航线运算单元的数据交互链路,实现视觉感知与航线规划的实时联动。根据现场成像质量、目标识别状态、线路遮挡情况,动态调整无人机飞行路径、巡检间距与覆盖范围。对遮挡严重、背景复杂的线路区段加密巡检轨迹,对视野开阔、干扰较少的区段精简飞行路径,实现巡检航线随野外场景变化的自主动态适配。

3.4 视觉联动的无人机姿态自适应调控优化

野外空域气流紊乱、地形高低起伏,无人机飞行过程中易出现机身抖动、角度偏移、高度浮动等不稳定状态。飞行姿态失衡会直接造成拍摄画面歪斜、目标偏移、成像模糊,打乱整体巡检作业节奏,降低数据采集质量。引入视觉画面反馈式姿态调控机制,通过检测画面偏移量、目标居中状态,精准判定机身平衡度与飞行状态。细化俯仰、横滚、偏航等核心姿态参数的动态调节逻辑,有效削弱高空气流、复杂地形带来的飞行扰动。结合线缆架设高度、实时拍摄视角、目标成像尺度,微调飞行高度与观测方位,维持标准化成像视野,实现飞行姿态与野外复杂巡检场景的动态匹配。

4 优化后自主巡检技术的应用成效与体系完善

4.1 复杂野外环境巡检适配能力提升

野外架空光缆布设跨度极大,贯穿山地、林地、丘陵等多种复杂地貌,各类环境变量持续干扰巡检作业推

进。气象波动、地形落差、植被遮挡等多重因素叠加，从成像清晰度、飞行平稳度、巡检视角范围多个维度制约常规巡检作业成效。传统巡检技术参数固定、作业模式单一，面对强光泛白、逆光昏暗、雾尘遮挡、低空乱流等复杂工况适配性较差，作业容错空间极小。经过全套视觉处理与飞控模块升级后，巡检设备可自主适配多变的野外环境参数。图像预处理单元可根据现场光照强度、雾气浓度、沙尘密度自适应修正画质，修复各类成像瑕疵，还原线缆细节与线路走势^[4]。优化后的识别结构可有效剥离地形与植被背景干扰，精准识别局部遮挡、轮廓缺损的线缆区段。动态航线与姿态调控逻辑可依托地形落差灵活调整飞行参数，规避视觉死角，全面拓宽无人机巡检场景覆盖范围，深度适配各类野外复杂作业工况。

4.2 巡检作业自主化与智能化水平升级

常规无人机巡检依赖人工操控或固定航线程序运行，作业模式僵化、现场应变能力薄弱，智能化程度难以匹配通信运维精细化发展标准。野外场景始终处于动态变化状态，植被自然生长、临时障碍物堆积、线路微小位移等情况，都会导致既定航线覆盖不全，引发漏检、重复巡检、无效巡检等问题。优化后的全新巡检体系，构建了视觉感知、智能研判、动态调控一体化作业链路，大幅减少人工操作介入频次。升级的视觉识别结构可自主完成线缆目标甄别、特征提取与隐患筛查，替代传统人工逐帧复盘核验的低效作业模式。航线规划单元依托实时视觉反馈更新飞行轨迹，按需调整巡检点位密度与飞行行距。飞行控制系统结合实时成像状态校正机身姿态，保障拍摄视角稳定规范，推动野外光缆巡检从机械化固定作业模式，升级为场景自适应智能作业模式。

4.3 视觉巡检系统稳定性与兼容性优化

野外远距离、长时间巡检任务，会让机载设备持续处于高负荷运行状态，多模块协同作业过程中，易出现数据传输卡顿、指令响应滞后、识别进程中断等问题，影响巡检作业的连续性。针对视觉巡检系统多模块联动运行的固有问题，从数据交互机制、算力分配方式、异常容错逻辑三个维度完善系统兼容性与稳定性设计。统一图像采集、数据分析、目标识别、飞行调控各单元的交互协议，打通设备内部数据传输通道，解决信息拥

堵、指令滞后等运行故障。结合机载设备算力上限，科学分配运算资源，均衡画面处理与算法推理的负荷，规避局部高负载引发的系统卡顿、闪退问题。搭建野外场景专属应急容错机制，针对短时画面失真、目标短暂丢失等异常工况，触发自主纠错与重启运行逻辑，保障长距离、大范围野外巡检作业平稳有序推进。

4.4 自主巡检技术多元化拓展方向

依托野外架空光缆智能巡检场景迭代形成的视觉辅助自主巡检体系，整体架构具备开放性、可拓展性特征，拥有充足的技术迭代与功能升级空间。基础线缆检测功能可进一步延伸，覆盖线路金具、连接器件、杆塔支撑结构等各类光缆配套构件的状态检测与隐患识别。算法模型可依托海量野外实景数据持续迭代，新增施工入侵、植被超限生长、周边危险源堆积等环境隐患识别功能。飞行调控参数可根据不同地域地貌、线路架设高度、线缆跨度特征完成个性化调试，适配各类通信线路运维作业场景。有效弥补传统巡检功能单一、场景适配性弱的应用短板，持续丰富智能巡检技术的落地形式，为野外通信运维智能化升级提供长效技术支撑。

结束语

野外复杂环境会从成像效果、飞行状态、巡检覆盖等多个维度影响架空光缆巡检质量，传统智能巡检模式的场景适配短板较为突出。图像画质优化、线缆识别迭代、动态航线规划与飞行姿态调控的协同升级，能够有效破除野外巡检的各类技术阻碍。稳定、适配性强的自主巡检体系，可持续保障通信线路运维工作的精细化推进，夯实通信网络安全运行的技术基础。

参考文献

- [1]党岩.智慧化变电站无人机自主巡检路径规划与输电线路缺陷分析方法[J].光源与照明,2026(5):134-136.
- [2]柳殿彬,张秋生,崔亚辉.基于机器视觉的无人机自主巡检方法[J].智能物联技术,2026,58(2):80-85.
- [3]周福文,吕佳,许润韬,等.无人机自主巡检过程中拍摄点位偏移问题的研究及解决措施[J].江西电力,2026,50(2):22-26.
- [4]张英,李端姣,刘建明,等.分布式无线传感网络技术下变电站无人机自主巡检方法[J].传感技术学报,2026,39(1):165-171.