

# 输电线路无人机巡检智能管理系统设计及应用探究

崔超超 王晓慧 栗维冰

国网河南省电力公司焦作供电公司

**摘要:**随着我国科学技术的快速发展,无人机智能化快速的在输电线路中应用,因此我国不断增加输电线路,输电线路在完成架构之后需要定期检查和维修,尤其是遇到空中障碍物时,需要由专门的工作人员进行处理,输电线路的特殊性导致这项工作具有一定的危险性,为了保证工作人员的安全,逐渐开发出了无人机巡检技术。为了进一步探究输电线路无人机巡检技术发挥的实际效用,文章从输电线路无人机的运行原理入手,详细分析了输电线路中无人机运检关键技术,明确了输电线路无人机巡检智能管理系统设计与实现研究,以供参考。

**关键词:**输电线路;无人机;系统设计;应用

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.09.197

## 引言

输电线路是现代社会中至关重要的基础设施之一,其稳定运行对于保障电力供应的连续性和可靠性具有重要意义。然而,由于输电线路分布广泛且长度庞大,传统的人工巡检方法存在效率低、覆盖范围受限以及安全风险较高等问题。为克服以上挑战,并提升输电线路巡检的智能化水平,无人机技术从而被广泛应用于该领域当中。但从目前的情况来看,无人机巡检方式还存在着相关的问题,比如飞行数据很难被采集、智能化水平较低,记录方式仍然以人工记录方式为主,间接影响了数据的规范性以及准确性。因此需要在原有无机机技术的基础上建立完善的智能管理系统,提升对信息图像的识别能力,最终有效提升输电线路的巡检工作效率。

## 一、输电线路无人机巡检智能管理技术原理

输电线路无人机巡检智能管理技术原理是基于无人机、图像处理和数据分析等关键技术的综合应用。其核心目标是通过自动化和智能化手段提高输电线路巡检效率和准确性。首先,无人机作为巡检工具,具有灵活性和高效性。它可以在复杂的地形条件下飞行,并且通过搭载各种传感器(如摄像头、热成像仪等)获取多种类型数据。无人机可以覆盖大范围的输电线路,并且能够快速获得高清晰度的图像和视频数据。其次,图像处理技术在无人机巡检中起着重要作用。这些技术包括图像增强、特征提取、目标识别与跟踪等方面。通过对采集到的图像进行预处理和优化处理,可以提高图像质量并突出线路设备的特征。然后,利用目标识别算法来自动识别输电线路路上可能存在的缺陷或故障(如断裂导线、倾斜杆塔等),从而实现了对问题区域的准确定位。最后,在系统级别上,数据分析与决策支持成为实现智能管理的关键。通过对大量图像、视频和其他传感器数据进行有效处理,可以提取有用信息,并与历史数据进行比较分析,以发现潜在问题或趋势。同时,结合地理信

息系统(GIS)等技术,将巡检结果与线路数据库进行关联,形成全面的线路状态记录和管理。

## 二、智能管理系统效益及价值分析

输电线路无人机巡检智能管理系统的引入将带来多方面的效益和重要价值。首先,该系统通过利用无人机进行巡检工作,能够显著降低工作人员所需的时间和资源成本。相较于传统手动巡检,无人机巡检不需要耗费大量人力物力去登塔、攀爬等危险操作,从而减少了潜在风险和事故发生的可能性。其次,无人机巡检智能管理系统采用先进的图像处理技术和遥感数据分析方法,能够快速、高效地识别出输电线路存在的异常情况或潜在问题。这种实时监测功能有助于及早发现并解决设备故障、杂草覆盖、树木倾斜等常见问题,在保证供电可靠性的同时减少停电事件发生频率。此外,在系统架构中加入路径规划和飞行控制算法,可以实现优化巡检路线的自动规划,提高巡检效率和完备性。通过智能管理系统的使用,管理人员可以更好地跟踪巡检任务进度、分析数据,以及进行维护计划的制定。这将有助于提高工作效率和决策准确性,减少了人为因素对输电线路运行安全带来的潜在影响。

## 三、输电线路中无人机运检关键技术

### 1. 激光雷达探测技术

激光雷达探测技术采用相应的设备来实现激光的自主发射,并通过其反射波来进行测距以及定位。在具体应用中,该技术主要通过被测物体表面所具有的反光特性实现其径向速度、空间位置等各种定位信息的科学获取,属于主动遥感技术中的一种。在激光雷达探测技术中,差分定位、姿态测量、激光测距等各种先进科学技术实现了有机融合,从而能够在较大范围内实现被测物体三维数据的准确、快速获取,具有非常高的精度与自动化程度。通过该技术所获取到的数据可实现DSM高程模型、正射图像以及表面模型的快速生成。

## 2. 巡视技术

在无人机刚开始应用到输电线路的巡视中时，申请人主要关注的是装设在无人机上的巡视器件的选择，如CN101381002A（申请日2008.10.24）通过在飞行机器人上安装精确导航系统，可以使飞行机器人准确地飞临待测绝缘子的上空，并与绝缘子保持最佳测量距离；同时，通过图像捕捉和传输系统，利用计算机图像处理技术和无线数据传输技术，在不用登杆的情况下，实现准确检测零值绝缘子的目的，极大减轻了劳动强度，提高了检测工人检测时的安全性。采集设备在无人机上的应用已经较为成熟后，申请人开始关注结合计算机算法来对采集到的状态数据做进一步优化，以期提高巡视的精确性、稳定性，并且降低巡视成本。如CN101806888A（申请日2010.03.19）中指出，利用红外成像仪探测目标，这类设备受气候影响太大，且作用距离太近；利用激光防撞雷达探测目标，激光防撞雷达较好的应用条件是在夜间，白天工作时太阳射线容易干扰，而且恶劣气候条件下作战能力也会有所降低；利用毫米波雷达探测目标，探测距离和抗干扰能力均得到提升，约在1.5~3km左右，技术要求较高。

## 3. 作业安全管控技术

电力企业使用无人机进行输电线路的运维检修时，为了防止无人机在飞行过程中出现“黑飞”的现象，在无人机上安装飞行数据记录器。飞行数据记录器能够独立于无人机进行飞行数据的记录，且无法被人为更改。飞行数据主要包括飞行时间、地点以及路径等。通过GPS或者是北斗卫星对无人机路径进行记录，通过数据传输将无人机的实时数据传递到地面监控平台，同时为了保证无人机飞行的安全性无人机设置有安全监控，当其飞行数据与允许的飞行数据出现不同时，就会发起报警信息，实现对其作业的全过程监控。无人机巡检模块还需要具备对巡检区域周围地理环境以及气候环境进行监测，全方位地考察输电线路的实时情况，对其进行巡检，并严格按照电力企业的巡检制度和巡检计划执行。

## 四、输电线路无人机巡检智能管理系统设计与实现研究

### 1. 系统框架组成

在该系统建立过程中，通常需要提前建立相关的数据模型，利用数据模型完成对内部资源的共享，同时利用其他相关软件，在信息技术加持下实现多层技术的有效应用。此外在系统框架组成的过程中，需要将各种不同专业性软件融合在一起，实现对整体巡检业务的统一规范性管理，实现系统架构组成。

#### 1) 模块组成

组成模块是输电线路无人机巡检智能管理系统设计与实现中的关键部分。在设计输电线路无人机巡检智能管理系统时，需要考虑以下几个主要组成模块，并将其结合在一个整体框架中，具体模块组成包括以下几种。

(1) 传感器模块：该模块涉及选择和安装在无人机上的各种传感器。典型的传感器可以包括高分辨率摄像头、红外热像仪、激光测距仪等。这些传感器用于采集与输电线路相关的数据，如图像、温度、距离等信息。

(2) 图像处理与识别模块：该模块主要使用计算机视觉技术对从传感器获取的图像数据进行处理和分析。例如，通过图像处理算法进行边缘检测、目标检测和特征提取等操作。此外，还可以应用深度学习和机器学习算法来实现自动化识别输电线路设备、故障或异常情况。

(3) 数据存储与管理模块：该模块负责有效地存储和管理从无人机获得的大量数据。这包括对图像、传感器数据和其他相关信息进行存储、索引和查询等功能。采用适当的数据库技术可以实现高效的数据管理，方便进一步分析和回溯。(4) 路径规划与飞行控制模块：无人机巡检系统需要具备智能路径规划和飞行控制能力，以确保无人机安全、高效地完成巡检任务。在该模块中，采用路线规划算法确定最佳巡检路径，并考虑输电线路的特殊要求，如避开障碍物、合理利用充电站等。同时，还需设计飞行控制算法来实现精准悬停、航迹跟踪等操作。(5) 用户界面与决策支持模块：该模块涉及用户交互界面的设计和实现，使操作员能够直观地监视无人机巡检过程并做出相应决策。例如，在界面上显示输电线路状态、故障报告或异常情况警示，并提供基于收集数据的智能分析结果和建议。(6) 集成与通信模块：该模块是将各个子系统整合起来，并确保彼此之间能够通信和协同工作。这包括无人机与地面控制站之间的实时数据传输、指令下达和状态反馈等。

## 2. 技术实现

### 1) 视觉识别及图像处理技术

在输电线路无人机巡检过程中，通过搭载摄像头或其他传感器设备，无人机可以获取并记录大量的图像数据。然而，这些原始图像可能包含噪声、光照变化等干扰因素，需要进行预处理以改善后续处理的质量。图像预处理步骤可以包括去噪、增强对比度、颜色校正等操作。在特征提取以及目标检测方面，视觉识别依赖于从图像中提取有意义的特征，并将其与已知模式进行匹配来实现目标物体的自动识别。在输电线路无人机巡检中，特征提取通常涉及边缘检测、角点检测和纹理描述符等算法。基于这些特征信息，目标检测算法可以定位并识别出输电线路上的各种元件，如杆塔、导线、绝缘

子等。此外在输电线路巡检当中，其中关键任务是检测并识别可能存在的缺陷和异常情况，如杆塔倾斜、导线断裂、绝缘子破损等。图像处理技术可以用于自动化地分析图像数据，以发现这些潜在问题。常见的方法包括基于机器学习或深度学习的分类器训练，通过对正常和异常样本进行学习，实现缺陷的自动检测和分类。最后在巡检过程中，需要对采集到的图像进行配准操作，确保不同时间拍摄得到的图像能够对齐，并提供一致性视角。配准后的图像可以用于构建三维模型或生成全景图片，进一步辅助巡检人员进行可视化分析和定位故障点。

## 2) 遥感数据处理

遥感数据通常通过卫星、飞机或其他传感器获取，可以提供大范围、高分辨率的地理信息。在输电线路巡检中，可以利用遥感技术获取到影响输电线路安全性和性能的相关信息，例如树木覆盖程度、地形起伏以及线路设备状态等。首先，在遥感数据分析与处理方法中，需要对原始遥感影像进行预处理。这包括图像增强、去噪和图像配准等步骤，以确保数据质量和一致性。然后，针对特定的巡检需求，需要进行目标物体的识别和分类。例如，通过使用计算机视觉技术和机器学习算法，可以自动识别并分类出输电线路上的树木、杂草或其他障碍物。其次在遥感数据分析与处理过程中还需要进行地表特征提取。这意味着从原始影像中提取出有用的地理属性信息。例如，利用数字高程模型（DEM）可以提取出地形起伏信息，帮助判断输电线路的高低点和悬挂情况。通过分析影像中的纹理、光谱特性等，不仅可以建立有效的系统数据库，同时还可以检测出线路设备的损坏或异常。

## 3) 路径规划与飞行控制算法路径

规划是指确定无人机巡检时飞行的最佳路径，以便尽可能快速地覆盖并监测整个输电线路。这项工作需要考虑多种因素，如线路拓扑结构、障碍物、环境条件等。常见路径规划方法包括以下几种。（1）图论算法：利用图论中的最短路径算法，如Dijkstra算法或A\*算法，根据目标位置和约束条件计算出无人机飞行的最优路径。例如在分析巡检线路中通信站点无线信号覆盖范围过程中，以站点为圆心，则覆盖面积为 $S=[S_1, S_2, \dots, S_n]$ 。其中n表示巡检路上通信站点数量，且两条巡检线路中的站点数量相近，之后将分析结果传输到控制模块中。（2）遗传算法：通过模拟自然进化过程，生成各种候选解并进行优胜劣汰，逐步搜索到较优的路径方案。具体表示公式为 $P=S_i - (2/\pi)$ ，其中P表示数据失误率， $S_i$ 表示为超出阈值，一旦预测误差

概率超过阈值，需要进行重新规划。（3）蚁群算法：基于蚂蚁觅食行为原理，模拟蚂蚁在寻找最短路径时释放信息素并相互交流合作的过程，在不同路径上选择概率性更高的方向。（4）人工势场法：将输电线路视为一个二维或三维势场，无人机被视为一个物体，在势场中的受力情况来指导路径选择。飞行控制算法是确保无人机在巡检过程中稳定、精准地飞行的关键。这些算法根据传感器输入（如GPS、陀螺仪等）和系统反馈信息，实时计算出无人机的姿态调整和航线控制参数。常用飞行控制算法包括以下几种：（1）PID控制：使用比例（Proportional）、积分（Integral）和微分（Derivative）三个项对误差进行调节，以实现快速而稳定的无人机姿态控制。（2）模型预测控制：基于数学模型对未来状态进行预测，并通过优化求解方法确定最佳控制策略。

## 结束语

综上所述，本文结合相关案例，对输电线路无人机巡检智能管理系统进行分析研究。输电线路无人机巡检智能管理系统作为一种创新的技术解决方案，为传统输电线路巡检带来了重要的改进和提升。通过利用无人机技术、路径规划算法和飞行控制算法的结合，使系统能够实现自动化、高效率 and 精确性的输电线路巡检。因此需要进一步重视程度，结合无人机巡检平台本身存在的特点，对各种数据实现归纳整理，提高相关工作经验，对系统进行不断优化，提高输电线路故障识别能力，为整个检修过程提供良好支撑。

## 参考文献

- [1] 康瑞, 马聪慧, 李波, 等. 输电线路无人机自动巡检系统不间断作业实时监控方法[J]. 计算技术与自动化, 2022, 42 (1): 97-102.
- [2] 苏晓, 张卓成, 陈峻宇, 等. 基于多源遥感数据的输电线路危险源检测及智能运维方案研究[J]. 电气技术与经济, 2022 (2): 26-30.
- [3] 王磊磊, 张壮壮, 吴豫, 等. 高压输电线路宽频散射响应高效求解方法[J]. 智慧电力, 2022, 51 (2): 111-117.
- [4] 张潇. 输电线路接地电阻检测技术研究[J]. 电力设备管理, 2022, 64 (2): 98-100.
- [5] 刘军, 刘文波, 聂万庆, 等. 基于神经网络的输电线路多传感器时间序列异常检测[J]. 上海电气技术, 2022, 15 (4): 1-5.
- [6] 隋佳阔, 易建波, 黄琦, 等. 基于序电流比值关系的高压输电线路断线故障判别与保护方法[J]. 电工电能新技术, 2022, 41 (09): 73-80.