

Architecture design and practice of collaborative inspection system for intelligent robot and UAV in power industry

Guanghui Jin¹ Leidong Chen² Zhongyi Li²

1. Taikoo Shandong Aircraft Engineering Company Limited, Jinan, Shandong, 250000, China

2. Shandong Lingyi Intelligent Technology Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract

The electric power industry is an important pillar of the national economy, and the safe and stable operation of its equipment is directly related to the stable development of the social economy. The traditional inspection method of electric power equipment mainly relies on manual inspection, which has many problems such as low inspection efficiency, high missed detection rate, and large security risks for inspection personnel. With the rapid progress of information technology and artificial intelligence technology, intelligent inspection system came into being, providing a new way to solve these problems. Among them, the cooperative inspection system of intelligent robot and drone, with its unique advantages of automation, intelligence and high efficiency, has shown unprecedented application potential and broad prospects in the inspection work of the power industry.

Keywords

power industry; Intelligent robot and UAV cooperative inspection system; Architecture design and practice

电力行业智能机器人与无人机协同巡检系统架构设计与实践

靳光辉¹ 陈雷动² 李忠一²

1. 山东太古飞机工程有限公司, 中国·山东 济南 250000

2. 山东领亿智能技术有限公司, 中国·山东 济南 250100

摘 要

电力行业是国民经济的重要支柱,其设备的安全稳定运行直接关系到社会经济的稳定发展,传统的电力设备巡检方式主要依靠人工,存在巡检效率低、漏检率高、巡检人员面临安全风险大等诸多问题。随着信息技术和人工智能技术的飞速进步,智能巡检系统应运而生,为解决这些问题提供了新的途径,其中,智能机器人和无人机的协同巡检系统,以其自动化、智能化、高效率的独特优势,在电力行业巡检工作中展现出前所未有的应用潜力和广阔前景。

关键词

电力行业; 智能机器人与无人机协同巡检系统; 架构设计与实践

1 引言

随着电力行业对巡检效率和安全性要求的不断提高,智能机器人和无人机协同巡检系统逐渐成为研究热点,提出了一种电力行业智能机器人与无人机协同巡检系统的架构设计方案,并结合实际应用案例详细阐述了该系统的实际应用效果。该系统结合了智能机器人和无人机的优点,实现了对电力设备高效、准确的巡检,显著提高了巡检效率和质量。

2 系统架构设计

2.1 整体系统架构概述

智能机器人和无人机的协同巡检系统就像一张构造良好的电力安全防范网,其总体架构集成了信息技术、物联

网技术、大数据处理、人工智能算法和精密机械控制技术,形成了高度集成化、智能化、自动化的综合检测系统。系统的核心在于数据中心,数据中心既是数据的汇聚点,也是智能决策的发源地,数据中心与电力企业业务管理系统无缝对接,实现巡检数据的实时上传、存储和分析,为管理层提供全面的设备状态监测和故障预警信息。^[1] 向下,数据中心通过高速稳定的通信链路,与部署在电力线路、变电站等重点区域的智能机器人、无人机保持密切联系,准确指挥其执行巡检任务,确保每一台电力设备都能得到及时有效的巡检。在这个架构中,智能机器人和无人机各自发挥着不可替代的作用,地面智能机器人凭借其强大的地形适应性、精确的导航定位技术和丰富的传感器配置,可以深入电力设备内部进行细致的巡检,及时发现和报告安全隐患。空中无人机(UAV)以其开阔的视野、高速的机动性和灵活的飞行姿态,可以快速覆盖大区域,对电力线、变电站等关键设施进行宏观监控,

【作者简介】靳光辉(1981-),男,中国山东临邑人,本科,工程师,从事飞机维修和工程设计研究。

捕捉任何可能的异常情况，二者通过高效的协同运行机制，形成了电力设备的立体监控网络，保证了巡检工作的全面性和高效性。^[2]

2.2 深入解读合作运营机制的创新设计

在此机制下，地面智能机器人和无人机通过高效的通信协议实现信息共享和任务协作，形成了完美的互助伙伴关系，具体来说，智能机器人主要负责近距离细致的巡检，可以深入电力设备内部，利用高精度传感器监测和记录设备的关键参数，如运行状态、温度、振动等。无人机以其开阔的视野和高速的机动能力，担负着广域监控和快速反应的任务，可以在短时间内覆盖较大区域，捕捉任何可能出现的异常情况，并将信息反馈给智能机器人或运维人员及时处理。^[3]为了实现更高效的协同工作，系统还采用了动态调整策略，该系统可以根据巡检任务的需求和实时情况，灵活调整智能机器人和无人机的作业顺序、路径规划和任务分配。比如在紧急情况下，系统可以优先派出无人机进行快速巡查，以便尽早发现和处理安全隐患；在日常巡检中，更加注重智能机器人和无人机的均衡运行，保证巡检工作的全面性和高效性。^[4]

3 电力行业智能机器人与无人机协同巡检的关键技术

3.1 自主导航和智能避障技术

自主导航和智能避障技术是电力行业智能机器人和无人机协同巡检的关键技术之一，这项技术结合了先进的传感器、高精度地图和先进的算法，使机器人和无人机能够在复杂的电力环境中自主导航，并有效避开障碍物。^[5]在实际应用中，自主导航技术通过 GPS、北斗等卫星导航系统，结合激光雷达、毫米波雷达、摄像头等各种传感器，实现对环境的精确感知和定位。以国网江苏省电力公司为例，完成了江苏省 10 万公里架空输电线路和 28 万基输电铁塔的三维激光点云扫描，为全省无人机自动飞行路径规划和一键自主飞行奠定了坚实基础，无人机航路规划覆盖江苏省适航区 24 万座输电塔，实现了无人机运行信息与巡检工单的自动关联。智能避障技术更加复杂，要求机器人和无人机能够实时感知周围环境的变化，并在飞行或行进过程中做出快速反应，这通常依赖于深度学习算法和机器视觉技术。^[6]通过对环境的深度学习和理解，可以实现对障碍物的准确识别和规避，在福建 1000 kV 变电站无人机协同自主巡检中，无人机协同自主巡检解决了变电站高精度三维建模、无人机巡检路线规划、复杂环境下抗干扰等问题，包括智能避障技术的应用。^[7]

3.2 数据融合和智能分析技术

在实际应用中，数据融合技术将智能机器人和无人机的巡检数据整合起来，形成完整的数据链，这些数据包括设备的外观图像、温度分布、振动等，为运维人员提供了全面

的设备状态信息。以国网安徽省电力公司为例，巡检人员只需将无人机带到现场，打开即可，没有人会自动加载规划好的路线，精确定位路线中的坐标位置，独立拍摄铁塔各部分的图片，每天会产生 2 万到 3 万张巡检图片，安徽电力信息通信公司提高了网络传输带宽，优化了网关参数配置。同时，它使用图像压缩和恢复技术，将图像压缩到原来的十分之一大小，使图像传输速率提高了一倍，公司还应用流媒体直播技术，提高视频访问的兼容性，解决视频卡顿问题，实现超 150 个视频同时访问。^[8]智能分析技术进一步挖掘和分析数据，识别潜在的安全隐患和故障模式，这通常依赖于机器学习和深度学习算法。通过对大量历史数据的训练和学习，可以实现对设备状态的准确预测和故障诊断，国网江苏电力基于省级人工智能平台，采集了超过 25 万个无人机巡检缺陷样本，部署的人工智能缺陷识别模型覆盖 9 大类 80 多个子类。

3.3 协同工作和智能调度技术

协同作业技术通过先进的通信协议和算法，实现智能机器人和无人机之间的信息共享和协同作业，比如变电站的巡检，地面的智能机器人可以负责设备的近距离巡检和维护，而无人机可以在空中进行宏观监控和快速反应，通过相互配合，形成了互补互助的关系，提高了检查的效率和准确性。^[9]智能调度技术根据巡检任务的需求和实时情况，动态调整智能机器人和无人机的作业顺序、路径规划和任务分配，这通常依赖于大数据分析和机器学习算法，通过对历史数据的挖掘和分析，可以实现对未来巡检任务的准确预测和智能调度。以国网鄂州供电公司为例，他们构建了完善的无人机网络巡检系统，可以应对农村电网供电线路长、巡检点多等复杂挑战。通过无人机巡检替代人工巡检，降低了人力成本，提高了巡检的准确性和及时性，该技术的应用将“无人机技术”推向了一个新的高度，显示了智能化在实际应用中的巨大潜力。

4 应用案例

4.1 国网新乡供电公司“无人机+机器人”协同巡检案例

国家电网新乡供电公司在电力巡检中创新性地采用了“无人机+机器人”的协同巡检模式，该模式的应用大大提高了巡检效率和质量，在传统人工巡检模式下，两个运维人员对一个 220 kV 变电站进行全面巡检需要 3 个小时，且受高温天气影响和视角有限，巡检效率和准确性难以保证，而国网新乡供电公司采用无人机与智能巡检机器人相结合的巡检模式，仅用 20 分钟就能完成整个变电站的智能巡检。在实践中，无人机利用其高空视野广、灵活性强的优势，对变电站设备进行多维度无死角观察。智能巡检机器人充分发挥其定位准确、适应性强、低空覆盖广的特点，对地面和低空设备进行细致的巡检，这种协同巡检模式不仅大大提高了

巡检效率,还进一步提高了巡检精度,为电力系统安全稳定运行提供了有力保障。^[10]

4.2 国家电网安徽变电站无人机电力巡检案例

国家电网安徽某变电站成功实现无人机电力巡检应用,再次证明了无人机在电力巡检方面的巨大潜力,变电站作为电力系统的核心设施,其运行状态直接关系到电力系统的安全、稳定和供电效率,传统的人工电力巡检方式存在诸多局限性,如高度和视角的限制、巡检时间长、人力消耗大等。为了解决这些问题,国家电网安徽变电站引入了具有复杂子智能的无人机全自动飞行系统,该系统由无人机、无人机载荷、智能飞行大脑和无人机自动机场组成,实现了电力巡检的自动化和智能化。在具体应用中,无人机可以在无人机自动机场上自主起降,自动完成巡检任务。其高清摄像头等设备可以实时采集巡检数据,并将这些数据传输到无人机管控平台进行分析处理。据统计,国家电网安徽变电站使用无人机进行电力巡检后,巡检效率提高了近5倍,有效降低了巡检人员的工作强度和安全风险,无人机还能发现更多传统人工巡检难以发现的隐患,为电力系统的安全稳定运行提供了更有力的保障。

4.3 国家电网重庆超高压公司“五位一体”检查案例

国网重庆超高压公司采用“五位一体”巡检模式,即人工巡检、机器人巡检、远程智能巡检系统、全景摄像巡检、无人机巡检相结合的巡检模式,该模式的应用进一步提高了巡检效率和质量,确保了电力系统的安全稳定运行。在实践中,国网重庆超高压公司运维人员通过机器人和无人机进行协同巡检,利用机器人的摄像功能和红外测温功能,对设备进行详细巡视,利用无人机的高空视野,对设备进行全方位观察,远程智能巡检系统和全景摄像头也为运维人员提供实时监控和数据分析支持。据统计,采用“五位一体”巡检模式后,国网重庆超高压公司巡检效率提升了近3倍,巡检人员的安全风险得到有效降低。此外,这种模式还可以实现对设备的全天候、全方位监控,为电力系统的安全稳定运行提

供了更全面的保障,例如,在迎峰度夏期间,国网重庆超高压公司通过该模式成功发现了许多设备缺陷,并及时处理,有效避免了安全隐患。

5 结语

当前我国电网布设线路的规模不断扩大,公里数持续增加,且由于这些线路绝大多数架设在野外,所处的地理环境复杂,周围气象条件多变,无疑给电力线路巡检、线路规划及线路架设作业带来了极大的挑战与不便,考虑利用智能机器人与无人机协同巡检系统来替代人工巡线等工作,可以减少作业难度、较好的提高工作效率、从而减轻作业人员的工作量并降低工作危险系数,具有重要的现实意义和价值。

参考文献

- [1] 周宗国,周海,胡彬,等.无人机在电力系统中的应用现状分析[J].电力科技,2018,(7):231.
- [2] 金伽乙,朱烨,曾舒婷,等.小型多旋翼无人机续航问题研究[J].电脑知识与技术,2019(16):197-199.
- [3] 邵强,万力.多旋翼无人机在输电线路巡检中的运用及发展[J].中国新通信,2019,21(16):106.
- [4] 王刚,孟莹梅.多旋翼无人机在输电线路巡线中的应用[J].山东工业技术,2019(09):179-180.
- [5] 衣晓菲.机器视觉在无人机电力巡检中的应用研究[D].山东大学,2020.
- [6] 李旭冬,叶茂,李涛.基于卷积神经网络的目标检测研究综述[J].计算机应用研究,2017,34(10):2881-2886+2891
- [7] 张文超.无人机在电力行业的应用研究[J].机电信息,2017,25(12):158-159.
- [8] 詹斌,唐博,严伟.无人机在电力行业的应用前景[J].中国新技术新产品,2017,06(08):19-20.
- [9] 肖骏,吴少华,林炬等.无人机在电力工程环境保护中的应用进展[J].污染防治技术,2016,29(06):41-44.
- [10] 薄文娟,韩淑平.无人机系统在电力行业中的应用[J].通讯世界,2016,26(23):130.