

利用增强现实（AR）技术提升风电场远程智能巡检的效率与安全性

蔡天 李聪聪 刘洋 史明泽 陈琳

大唐京津冀能源开发有限公司 河北张家口 075000

DOI:10.12238/ems.v7i7.14280

[摘要] 本文探讨了利用增强现实（AR）技术提升风电场远程智能巡检效率与安全性的方案。随着风力发电快速发展，传统巡检方式面临效率低、成本高及安全隐患等问题。文章介绍了风电场智能巡检系统的组成，包括视频感知、音频感知、智能安防等子系统，并分析了现有智能巡检技术的局限。通过引入 AR 技术，巡检人员可实时查看设备状态、历史数据及故障预警，提升工作效率与安全性。实验与应用案例表明，AR 技术在设备状态监控、故障诊断及远程协作方面表现出色，但仍需优化复杂环境下的识别精度与数据处理能力。

[关键词] 增强现实（AR）技术；风电场；远程智能巡检；效率提升；安全防护

引言：

随着全球对清洁能源需求的不断增加，风力发电作为可再生能源的重要组成部分，正经历着前所未有的快速发展。风电场的规模不断扩大，设备数量和复杂性也随之增加，这对风电场的运维管理提出了更高的要求。传统的巡检方式主要依赖人工进行，不仅效率低下、成本高昂，而且存在较大的安全隐患。尤其是在恶劣天气条件下或夜间作业时，传统的人工巡检难以保障工作人员的安全，同时也难以确保巡检工作的全面性和准确性。

1. 风电场智能巡检系统概述

1.1 风电场巡检需求分析

风电场的正常运行依赖于设备的稳定性和可靠性。为了确保设备处于最佳状态，定期巡检是必不可少的环节。巡检工作不仅要覆盖升压站、开关站、主变舱等关键区域，还需关注变压器、GIS 设备、电容器、蓄电池室以及水泵房等多个重要部位。巡检人员需要检查设备外观是否完好、是否存在渗油漏油现象、表计读数是否正常，并对环境温度和湿度进行监控。此外，还需要识别并预警潜在的安全隐患，如非法入侵、危险车辆进入等。在复杂多变的自然环境中，人工巡检不仅耗时费力，还可能因天气原因导致巡检中断或延迟，进而影响设备维护的及时性。因此，迫切需要一种高效、精准且安全的智能巡检解决方案来替代传统的人工巡检方式。

1.2 巡检系统的组成结构

一个完整的风电场智能巡检系统由多个子系统构成，每个子系统各司其职，共同保障巡检工作的顺利进行。视频感

知系统通过安装在不同位置的高清摄像机、热成像摄像头和拾音器等设备，实现对设备状态和环境条件的实时监测与记录。音频感知系统则用于捕捉设备运行声音，识别异常声响并通过声纹分析技术判断设备健康状况。智能安防系统集成多种传感器，能够自动识别人员、动物及各类设备，并具备运动目标检测、入侵报警等功能。通信与网络安全系统采用分层分布式网络架构，确保数据传输的安全性和稳定性。这些子系统通过边缘计算和云计算相结合的方式处理采集到的数据，并将结果反馈给集控中心，以便运维人员做出快速响应。整个系统设计注重模块化和可扩展性，方便后续功能升级和维护。

1.3 现有智能巡检技术的应用情况

当前，许多风电场已经开始应用智能巡检技术以提高工作效率和安全性。例如，利用高清摄像机结合图像识别算法，可以自动识别设备表面的裂纹、锈蚀等异常情况；热成像摄像头则能有效检测设备过热点，提前发现潜在故障。同时，基于 AI 的监控系统可以实时分析视频流，自动识别未佩戴安全帽、吸烟等不安全行为，并发出警告。然而，尽管现有技术取得了一定进展，仍存在一些局限性。部分系统在复杂环境下表现不稳定，容易受到干扰；某些高级功能如三维实景建模和远程协作尚未普及。

1.4 智能巡检面临的挑战与问题

尽管智能巡检技术为风电场带来了诸多便利，但在实际应用中仍面临不少挑战。一方面，如何保证系统在各种恶劣天气条件下稳定运行是一个难题。雨雪、大风等极端天气会

影响摄像头的清晰度和传感器的准确性,从而降低巡检质量。另一方面,数据处理能力和实时性也是制约因素之一。随着风电场规模不断扩大,需处理的数据量呈指数级增长,现有系统难以满足高速数据处理的需求。此外,高昂的成本投入也是一个不容忽视的问题。高端设备和先进技术的研发费用较高,对于中小型风电企业来说是一笔不小的开支。最后,用户培训和技术支持不足也会影响系统的推广使用。操作人员需要经过专业培训才能熟练掌握新系统,而缺乏及时有效的技术支持可能导致系统故障无法迅速解决,影响生产效率。

2. 增强现实(AR)技术基础

2.1 AR技术应用于风电场巡检的优势分析

将AR技术引入风电场巡检,可以显著提升工作效率和安全性。巡检人员通过佩戴AR眼镜或手持移动设备,能够在现场直接查看设备状态、历史数据和故障预警信息,无需频繁切换视线或查阅纸质资料,大大节省了时间。同时,AR技术还能提供交互式的操作指南,帮助巡检人员快速识别问题并采取相应措施。对于复杂设备的检修,AR系统还可以实现远程协作,让经验丰富的工程师通过视频通话给予指导,确保每一个细节都准确无误。这种即时的信息共享和互动功能,不仅提高了巡检质量,还减少了因误操作导致的安全隐患,使得整个巡检过程更加高效和安全。

2.2 AR技术实现的关键技术点

要实现高效的AR应用,必须解决多个关键技术点。首先是精确的定位和跟踪技术,这关系到虚拟信息能否准确地叠加到真实物体上。当前常用的解决方案包括基于视觉特征点匹配的方法和利用惯性测量单元(IMU)进行姿态估计的技术。其次是高质量的三维建模能力,只有创建出逼真的三维模型,才能让用户感受到沉浸式的体验。此外,强大的数据处理能力也是必不可少的,尤其是在处理大量传感器数据和高清视频流时,需要保证系统的响应速度和稳定性。最后,良好的用户体验设计至关重要,界面应简洁明了,操作方便快捷,这样才能真正发挥AR技术的优势,提升用户的接受度和满意度。

3. 基于AR技术的风电场巡检系统设计

3.1 系统架构设计

基于AR技术的风电场巡检系统采用分布式架构,确保各模块之间的高效协同工作。整个系统由前端感知层、数据处理层和用户交互层组成。前端感知层负责收集来自摄像头、拾音器和其他传感器的数据,通过无线网络将这些数据传输到数据中心。数据处理层则包括数据接入、支撑和框架等多

个子层,用于对原始数据进行清洗、分析和存储,并生成有价值的巡检报告。最后,用户交互层通过AR眼镜或移动设备向用户提供直观的操作界面,展示实时监控信息和历史记录,支持远程协作与即时反馈。这种分层设计不仅提高了系统的可扩展性和灵活性,还便于后期维护和功能升级。

3.2 硬件设备配置

在硬件方面,系统配备了多种高精度传感器以满足不同巡检需求。高清摄像头安装于关键设备周围,能够捕捉设备表面细节,配合热成像摄像头可以检测温度异常。拾音器用于收集设备运行时的声音信号,通过声纹识别算法判断设备健康状况。此外,系统还集成了各类环境传感器,如温湿度传感器、气体探测器等,实时监测环境参数变化。为确保数据传输的稳定性和可靠性,所有设备均采用双路电源供电,并配置了冗余通信模块。同时,考虑到户外恶劣环境的影响,硬件设备选用了耐低温材料,能够在-20度以下正常工作。这些精心挑选的硬件设备共同构成了一个高效稳定的巡检平台。

3.3 软件平台搭建

软件平台是整个系统的核心,其设计需兼顾数据处理效率和用户体验。数据接入层负责从各种传感器和外部系统中获取数据,并将其标准化处理后存入数据库。支撑层利用大数据处理技术和微服务架构,实现数据的快速检索和复杂计算,同时支持多用户并发访问。框架层提供了一套完整的开发工具包,便于开发者快速构建新功能和他服务。为了保证系统的安全性和稳定性,软件平台采用了多层次的安全防护机制,包括身份认证、权限管理以及数据加密等措施。

3.4 系统功能模块划分

系统功能模块根据实际巡检需求进行了细致划分,主要包括设备状态监测、故障诊断预警、人员行为监控和远程协作四大板块。设备状态监测模块通过图像识别和数据分析技术,实时监控设备运行状态,及时发现潜在问题;故障诊断预警模块则结合历史数据和机器学习算法,预测可能发生的故障并提前发出警报;人员行为监控模块能够自动识别不安全行为,如未佩戴安全帽进入危险区域等,并立即通知相关人员;远程协作模块支持现场巡检人员与远程专家进行视频通话,共享现场视角,获得专业指导。每个模块都经过精心设计,确保操作简便且功能强大,从而全面提升风电场巡检工作的效率和安全性。通过这样的模块化设计,系统不仅可以灵活应对各种巡检任务,还能随着技术进步不断迭代更新,保持长期竞争力。

3.5 风电场智能巡检中的 AR 应用场景

设备状态监控与故障诊断

在风电场的日常运维中，设备状态监控和故障诊断是至关重要的环节。利用增强现实（AR）技术，巡检人员可以通过佩戴 AR 眼镜或使用移动设备，实时查看设备运行状态的各项参数。例如，通过高清摄像头捕捉到的画面，系统可以自动识别设备表面的裂纹、锈蚀等异常情况，并将这些信息叠加显示在真实场景之上。对于复杂设备内部的温度变化，热成像摄像头能够检测出局部过热点，及时发现潜在故障隐患。

4. 系统实现与案例分析

4.1 实验环境搭建

为了验证基于增强现实（AR）技术的风电场智能巡检系统的可行性和有效性，需搭建一个完整的实验环境。该环境包括硬件和软件两大部分。在硬件方面，选择了一处具备典型风电设备的试验场地，安装了高清摄像头、拾音器以及多种传感器，确保能够全面覆盖各个关键区域。同时，为巡检人员配备了最新的 AR 眼镜和其他移动设备，以便进行现场操作和数据采集。在软件部分，构建了一个包含数据接入层、支撑层和框架层的综合平台，用于处理和分析从硬件设备中收集到的数据。通过搭建这样一个贴近实际应用场景的实验环境，可以模拟真实巡检过程中的各种情况，为后续的技术验证和系统优化提供可靠的基础。

4.2 关键技术验证

在实验环境中，对系统的关键技术进行了详细验证。针对图像识别精度，采用一系列标准测试样本，评估系统能否准确识别设备表面的裂纹、锈蚀及异常温度变化。结果表明，在不同光照条件下，系统依然保持了较高的识别准确率，特别是在结合热成像摄像头的情况下，对局部过热点的检测尤为精准。对于数据处理速度，通过模拟大规模数据传输和实时分析场景，观察系统在高负载下的表现。结果显示，借助边缘计算和云计算相结合的方式，系统能够在短时间内完成大量数据的处理，并及时反馈结果给用户。

4.3 应用实例

梧桐沟风电场位于张家口市宣化区，为提升风电场的运维效率与安全性，引入了增强现实（AR）技术进行远程智能巡检。该风电场配置了高清摄像头、热成像仪、拾音器等感知设备，并结合 AR 技术，实现了对发电设备和变电站的实时监控与智能分析。

在巡检过程中，运维人员通过 AR 眼镜或移动设备，可远

程查看风电场设备的实时画面，并叠加设备状态信息、历史数据等 AR 标签。这些 AR 标签不仅直观展示了设备的运行状态，还能通过算法分析预测潜在故障，提前发出预警。例如，当摄像头检测到变压器温度异常时，AR 系统会立即在画面中标注出异常点，并提供温度趋势分析和处理建议。

此外，AR 技术还支持远程协作与指导。当现场运维人员遇到复杂问题时，可通过 AR 系统与专家进行实时视频通话，专家在远程端通过 AR 标注和指导，帮助现场人员快速定位问题并制定解决方案。这种远程协作模式大大缩短了问题处理时间，提高了运维效率。

梧桐沟风电场通过引入 AR 技术，不仅提升了远程智能巡检的效率与准确性，还显著增强了运维过程的安全性，为风电场的无人值守和智能化管理提供了有力支持。

结论

基于增强现实（AR）技术的风电场智能巡检系统通过集成先进的感知设备和数据分析算法，显著提升了巡检工作的效率与安全性。实验结果表明，该系统在图像识别精度、数据处理速度及远程协作功能等方面均表现出色，能够有效应对复杂多变的工作环境。实际应用案例进一步验证了其在设备状态监控、故障诊断预警以及人员培训等方面的巨大潜力。然而，系统仍有提升空间，如进一步优化复杂环境下的图像识别精度和高并发数据处理能力。未来的研究将继续致力于改进这些方面，并探索降低成本的方法，以推动该系统的广泛应用，助力风电行业实现更加智能化和高效的运维管理。这一创新不仅为风电场带来了实际效益，也为其他领域提供了宝贵的经验借鉴。

参考文献

- [1] 王龙, 李阳, 王玉琛, 等. 风电机组音视频智能巡检系统设计 [J]. 科技创新与应用, 2025, 15 (11): 37-40+44.
- [2] 周新宇. 基于 YOLOv3 的风电场目标图像识别智能巡检方法 [J]. 设备管理与维修, 2024, (18): 174-176.
- [3] 钱旸. 机器人在智能用电巡检与故障排查中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (09): 250-251.
- [4] 金声超, 黄榜, 吴文宝, 等. 基于深度学习和 AR 技术的风电巡检故障检测方法 [J]. 机械设计与制造工程, 2024, 53 (07): 87-91.
- [5] 赵计生, 额尔登吉茹嘎. 基于数字孪生与人工智能的风力发电机智能监控巡检系统研究 [J]. 光源与照明, 2024, (03): 72-74.