

利用增强现实技术提升变电检修现场 作业效率与安全性研究

王洋, 范朝栋

(国网山西省电力公司闻喜县供电公司)

【摘要】随着智能电网建设进程加快, 对设备巡检工作高效和安全性的要求进一步提高。传统人工巡检方式存在信息采集效率偏低、巡检过程需人工执行、人员培训时间较长等问题。增强现实(AR)作为一种新的数据交互方式, 可以将虚拟数据叠加到真实世界中, 直观展现操作人员的实时操作指南、远程协作、智能安全提示等信息。文章探讨了AR技术应用于电力巡检中的应用, 详细阐述了AR技术优化工作流程及智能化决策辅助的效果, 希望能够给从业者以启发。

【关键词】智能配电运检系统; 设备状态监测; 应用效果

中图分类号: TM63; TP391.9

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.025

Research on the Use of Augmented Reality Technology to Improve the Operation Efficiency and Safety of On-site Substation Maintenance

WANG Yang, FAN Chao-dong

(State Grid Shanxi Electric Power Company Wenxi County Power Supply Company)

【Abstract】With the acceleration of the construction process of the smart grid, the requirements for the efficiency and safety of equipment inspection have been further improved. The traditional manual inspection method has problems such as low information collection efficiency, manual execution of the inspection process, and long personnel training time. As a new way of data interaction, augmented reality (AR) can superimpose virtual data into the real world to visually display operators' real-time operation guides, remote collaboration, intelligent security tips and other information. This paper discusses the application of AR technology in power patrol, elaborates in detail on the effect of AR technology optimization workflow and provides intelligent decision-making assistance, hoping to inspire work practitioners.

【Keywords】intelligent power distribution operation and inspection system; equipment condition monitoring; application effect

1 引言

智能化配网背景下, 检修与抢修工作面临新技术设备的持续迭代升级、工作标准的持续严格化、工作环境的日趋复杂多样等多方面挑战。当前检修与抢修工作的技术手段仍依赖传统纸质文档、人工沟通及线下培训, 存在效率偏低、实地指导文档表述模糊、突发事件应对能力不足等问题, 难以适配当前配网高效安全运行的需求。增强现实技术可将数字信息叠加于真实环境, 目前已在制造行业实现广泛应用^[1]。

运用增强现实技术, 可依托AR眼镜、平板终端等智能移动终端实现即时信息交互, 使工作人员在实际作业场景中获取即时操作指导, 降低对纸质手册的依赖, 提升工作效率; 同时可集成远程协同、AI分析等一体化功能, 支持专家远程协助现场人员开展工作, 并通过预警提醒降低作业风险。为此, 开展增强现实技术在变压器检修与维护中的应用研究,

具有重要现实意义。

2 AR智能眼镜在配电运行巡检中的应用概述

2.1 操作建模

按照设备巡查管理需求, 建立两类关联模型, 包括巡查过程与判断模型, 以及针对设备、仪表等的计算机图形识别模型。其中, 巡查过程与判断模型涵盖: 巡检路线定义、巡检时间设定、巡检类型划分、故障识别模型构建、定检人员信息预设等内容, 同时需定义并建模各类检测工器具、测量仪器及其属性参数。

巡视路径与巡视模式构成巡视基础规则, 指引巡视人员依循既定流程完成巡检工作, 保障人员与设备安全。针对设备、仪表等的计算机图形识别模型, 用于识别AR智能眼镜在巡视过程中锁定的目标设备及其物理属性(见图1)^[2]。

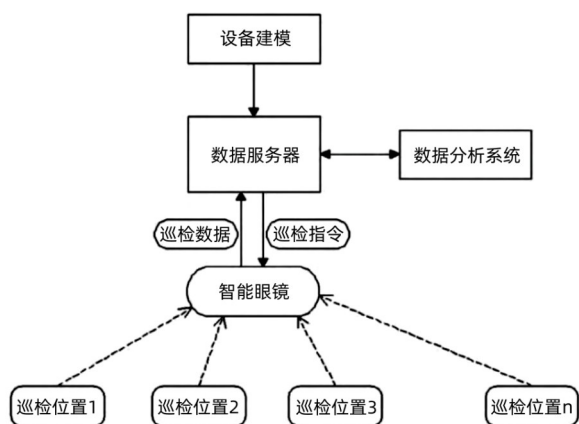


图1 智能巡检流程图

2.2 巡检指令

巡检过程中,巡检员借助AR智能眼镜与AR技术,整合待检查对象的信息(含设备本体特征及设备与电源关联的所有重要电气物理参数),并借助增强现实(AR)SDK与计算机视觉(CV)SDK,实现文本、图形或视频数据模型与AR眼镜实际检测的电工设备巡检场景的融合。

AR智能眼镜在定位到对应目标后,可同步获取该目标关联的全部物理参数信息,随后调用判断模型对所获物理信息数据进行分析,判定设备运行状态并指引巡检员依据标准执行对应操作,最终将判定结果与全部数据存储于AR智能眼镜系统中。

2.3 数据分析系统

数据处理部门对归集的数据及其结果进行核验、过滤、分析与归类,揭示部分员工劳动状态与既定目标的偏差或排查出关键部位的重大故障,为大型企业“以人为本”理念与“以设备为导向”需求下的“数据收集、清理、存储、挖掘及转移”提供支撑,助力组织制定科学决策。

3 AR智能眼镜在配电运行巡检中应用的实现要点

3.1 特征信息提取与场景匹配

针对每个巡查点,需通过计算机对周边环境、设备及测量器具等对象进行三维形体建模,生成一批标准训练图像(N为建模阶段的训练图像总数)。巡查时,工作人员依据AR智能眼镜的自动导向功能抵达巡查点,拍摄该点实景图片(即巡查区域的实测图

像);将实测图像与N张训练图像进行比对,筛选出与当前实测场景最相似的训练图像。

我们从参数估计角度构建场景匹配模型,需估计的参数包括场景模型的位置(平移参数)与姿态(旋转参数)。场景模型定义为一个在窗口中的离散函数 $T_{x,y}$,函数值取在点 $(x,y) \in w$ 上,即点 (x,y) 。假定所有图像均受加性高斯噪声扰动,其噪声均值为0且其未知的标准差为 δ 。因此,位于坐标 (i,j) 处的模型中的一个点与位于点 $(x,y) \in w$ 的对应像素匹配的概率由正态分布决定:

$$P(i,j|x,y) = (1/\sqrt{(2\pi\delta^2)}) \times \exp[-(I(i,j)-T(x,y))^2/(2\delta^2)] \quad (1)$$

式(1)中: δ 为噪声标准差, $I(i,j)$ 为实际像素值, $T(x,y)$ 为模型理论值。

在此过程中,其对应的像素影响因素(噪音)均为单独存在,因此在进行模型建立的过程中,其坐标位置 (X,Y) 的概率需要保证将此坐标中所有像素进行覆盖,并取其概率。

$$L(X,Y) = \prod_{k=1}^n (1/\sqrt{(2\pi\delta^2)}) \times \exp[-(I_k-T_k)^2/(2\delta^2)] \quad (2)$$

式(2)中: n 为场景模型的像素总数,这个函数称为似然函数。最大似然估计就是选取适当的参数使得这个值达到最大,在实际设计算法时候将场景匹配过程存储模型和采集图像的不同位置的匹配储存在存储空间中^[3]。

3.2 对区域的确定

模型训练过程中,结合现场实际场景,预先在训练图像上圈定待识别装置、仪器等目标的位置。当查询图像的定位信息已知时,借助已定位查询图像与匹配训练图像间的透视变换关系,将训练图像上的定位框映射至查询图像视角下,以定义待识别目标的区域。

4 AR智能眼镜在配电运行巡检中的具体应用

4.1 标准化作业模式

作业人员可借助增强现实技术智能手持设备开展标准化工作任务管理,对照工作指南及分配的工作任务,获取对应指导指令并启动特定任务。增强现实技术能适配作业场景需求,在系统中标注作业的具体工序与质量标准,同时具备记录功能,涵盖提示信息、注记、作业结果记录、关键点拍照(或选择性

拍照)及图片上传等。作业人员依据标准化作业指南要求,开展现场巡查或维修作业。

4.2 现场管理类作业

作业人员在工作现场,通过佩戴于手臂、眼部的增强现实智能辅助装备,实时采集工作环境的图像与音频数据,对关键工序操作及故障设备状态进行拍照或录像,上传至后台服务器形成作业流程记录。同时,借助智能手环、手表的导航定位模块实现指定地点定位,依托专业高精度GPS定位接收装置规划对应路线,记录人员行走路径;利用位置点存储功能及坐标中心化系统,引导巡检或维护人员快速精准抵达指定地点,实时定位其当前位置,并在周边显示相关信息。

此外,技术人员可通过清单、工作日志及设备图纸的相关功能,借助扫描或无线电波获取清单信息、工作日志、图纸等内容。工作人员能直接掌握相关设备的历史检修信息(如仪器测试数据、开关运行状态等)及当前问题记录,结合设备数据变化分析设备运行状态,从而全面准确掌握设备信息,排查设备运行隐患,并提前向设备管理者发出预警,避免故障发生。同时,在施工现场作业时,可运用远程会议模块,通过智能化增强现实头戴式显示器或眼镜开展现场视频远程会议^[4]。后端技术人员获取现场人员的第一手数据,还可通过远程会议系统后台邀请团队其他成员参与现场工作协同,协助处理工作,并拍摄关键过程作为现场工作凭证,辅助现场人员开展作业。

4.3 现场施工作业

现场施工作业中,增强现实技术可实现两大核心应用。其一,红外测温。工作人员在现场运维巡检时,佩戴具备增强现实技术的智能头盔,借助红外测温模块激活红外图像摄录设备,对电力设施进行温度检测,以红外图像形式开展大面积热感巡检,及时识别温度超标的设备,并即时调取该设备历史温度数据,在现场开展对比分析,精准掌握设备温度变化趋势,防范设备故障发生。其二,设备检修。传统维修场景中,团队需耗费大量时间与精力查询各类复杂设备的相关数据,而借助注册追踪技术,可将三维模型维护指南直接叠加于机械设备表面,工作人员可查阅并参照指南在实体设备上完成作业任务^[5]。

若作业过程中某一步骤遇到问题,且基础指导

无法解决时,可借助增强现实技术获取远程专家支持,使专家实时查看现场,并在现场设备上标注虚拟信息供工作人员参考,规避口头沟通可能存在的偏差,提升交流效率。此外,针对机房线路布设、直流变流器搭建等较复杂的设备对接场景,增强现实技术可有效提升人员操作效率。

5 未来发展方向

随着智能化技术与手段的持续创新,智能化巡视已逐步迈向实践阶段。依托摄像机监视设备、机器人定位器等装备,实时采集机器人运行过程中的视频录像、热红外图像、巡视温度等数据,既能精准判定机器人运行轨迹,又能实时识别设备异常。经实际项目应用验证,该模式不仅提升了工作效率、减轻工作人员体力负担、降低运营成本,还进一步强化了无人值守发电厂的管理效能。

6 结语

综上,从设备状态诊断维度来看,智能化配电运维系统的应用优势显著,能够提升电力设备运行稳定性、降低运行维护成本,且强化设备故障预测与处置能力。

依托智能化传感、数据分析及远程监测技术,可实时掌握设备运行状态,提前对潜在故障进行预警,及时调整检修计划,持续优化供电可靠性。事实上,该系统不仅强化了配电网管理水平,更为电力企业精细化运营提供了有力支撑。展望未来,随着人工智能、云计算与5G通信技术的深度融合,智能化配电运维系统将逐步走向成熟,进而为智能电网发展提供更高效率与更优安全性的技术保障。

参考文献

- [1] 徐菁阳, 吴馥郁. 配电网线路运检中的智能在线检测方法应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41 (1): 244-245.
- [2] 杜道宇, 戚耀辉. 基于5G通信技术的配电运检智能监控系统设计[J]. 通信电源技术, 2024, 41 (19): 137-139.
- [3] 李硕, 丁佳伟, 曹浚源. 人工智能技术在电力工程配电运维中的应用与研究[J]. 自动化应用, 2024, 65 (z1): 188-190.
- [4] 刘峰, 戴新明, 姜伟. 配电线路系统中的智能运检技术分析[J]. 电子技术, 2024, 53 (9): 194-195.
- [5] 司志庆. 配电运检中无人机智能巡检技术的应用探索[J]. 产品设计, 2024 (2): 11-14.