

巡检机器人设计要素及其优化策略

孟 杰

上海蒙帕智能科技有限公司 上海 201106

摘 要：全文论述围绕巡检机器人设计要素及优化策略展开探讨，论述系统构架、外观造型、移动平台、数据处理通信、能源管理等关键技术，探讨路径规划、多传感器融合、自适应能力、作业调度、数据采集、大模型维护等优化方案，阐释机器人巡检安全保障、经济效益提升、运营管理改进诸多积极作用为工程实践提供理论支撑与技术依据。

关键词：巡检机器人；设计要素；优化策略

前言

传统人工巡检存在风险高、效率低等问题，推动装备更新换代，工程应用场景涉及电力、石油、交通、数据中心等领域，促使机器人环境感知、运动性能、AI识别和深度学习等技术不断革新，新技术融合开辟巡检装备新局面^[1]。

1 巡检机器人应用价值

巡检机器人承担巡视设施安全任务，确保设备运转稳定，设备故障发现及时降低事故隐患风险，巡检装备实施远程巡视，不仅提高巡检效率，还节约了人力开支，装备运行数据实时采集辅助决策制定方案，工程设备状态反馈准确，保障设施正常运转，巡检机器人技术应用扩展至应急处理现场，提升应急响应能力各领域工程管理成本下降经济效益显著提升^[2]。

2 巡检机器人应用场景和组成

巡检机器人适用于内部站室、高压线路、电站设备、动力泵房等复杂环境，复杂作业环境考验机器人防护结构、抗干扰设计，系统主体包含机身外观、运动系统、数据采集模块、电源供给单元，外观造型须满足一定的防水、防尘、抗震要求；运动系统追求稳定性、灵活性；数据采集模块确保现场信息准确传递^[3]；电源供给单元保障长时连续运行各模块协同工作构成完整装备体系确保任务高效完成。

3 巡检机器人设计要素

3.1 整机设计（外观结构）

巡检机器人在外观结构设计上经历了材料工艺升级，早期主要采用钣金材料，其制造工艺成熟、成本较低，但在耐腐蚀性和轻量化方面存在不足，传统钣金材料在高湿度或酸碱环境下耐腐蚀指标仅作为基准值的100%，在恶劣工况下腐蚀性能可能降低超过20%。

塑胶材料相对于钣金具备更好的耐腐蚀性能和较轻的重量，实际应用中可使整机耐腐蚀性能提高，造型可

以更加多样性，然而塑胶材料在强度、耐热性以及长期的环境稳定性方面仍存在不足，其在极端环境下的适应性有限。进入近几年多种复合材料（如碳纤维复合材料、玻璃纤维复合材料以及高性能聚合物复合材料）开始广泛应用于巡检机器人外观结构设计中。这些复合材料不光实现了更为出色的轻量化效果，而且在耐腐蚀性上有了显著的提升。伴随数控精铸加工技术、数值模拟优化与空气动力学设计方法的引入，整机外观不但呈现了工业美学，更通过曲线流线优化和内部散热通道的科学布局，实现了降低风阻、均衡温度、主动减振以及吸收外界冲击的综合优化。^[4]

3.2 移动平台

巡检机器人在复杂工作环境中对移动平台的要求逐步提升，移动平台设计作为核心组成部分直接关系到机器人整体性能与适应性。现有平台形式涵盖轮式、履带式、足式、轮足式及轮履式等多种类型，每种平台均拥有独特的运动机制与适应策略。轮式平台结构简洁，操作便捷，履带式平台则在崎岖路面表现出色拥有较好稳定性；足式平台以多足协调实现灵活机动适于不规则地形，轮足式平台充分融合了轮式和足式优势，既能高效行进又能克服障碍，轮履式平台将轮式与履带式互补在多种工况下均能实现平稳运动。随着人工智能与模块化设计理念逐渐深入应用各种平台的结构逐步向智能化、柔性化与多模式转换发展，将来设计中不同平台技术将进一步整合在保持作业效率的同时，显著提高环境适应能力和操作安全性，多平台协同工作、运动控制优化及能耗管理也将在设计中得到更多关注推动巡检机器人在复杂工况下表现出更高的机动性与稳定性实现设备全时段高效运作，同时智能化的处理一些应急性的操作：如紧急开合闸、微消防联动等避免巡检场景损失扩大化。

3.3 数据处理和通信模块

数据处理单元采用嵌入式芯片技术支撑高速运算，

保障信息传递实时响应,内部架构选用分布式存储方案,实现海量数据信息并行计算多核调度算法执行任务分配,确保运算负载均衡,采集信号经数字转换后直接送入核心,完成控制逻辑运算、信息流调用、信息融合,嵌入系统结合先进算法优化噪音过滤,输出精准数据信息,加密传输技术构建信息安全屏障,无线通道利用频率跳变防止干扰侵袭,硬件接口采纳高速数据总线支持多路并行传送,降低传输延迟风险,软件平台实现自检功能,自动识别错误并执行纠正处理,监控模块实时跟踪运算状态,生成运维预警报告供后续决策,反馈调控回路及时调整运算参数,提高系统运行效率,运算速率突破传统瓶颈,确保现场指令迅速执行,数据信息整合方案依托智能算法自动更新模型,支撑各类应用场景需求,试验环节覆盖极端温湿环境检验,确保模块稳定工作,实验室验证结果表明各项指标满足严格工程要求,数据处理单元在复杂工况中表现卓越,硬件软件协同作用构成高效信息中心,为全系统运转提供强大数据信息支撑保障,基础平台构建模块间互联互通机制实现指令传递无误协同运算发挥最大效能^[5]。

4 巡检机器人优化策略

4.1 智能路径规划

巡检机器人的数据处理和通信模块在新一代嵌入式架构下实现了多核处理器与高性能GPU算力模块的协同工作,不光大幅提升了数据运算速度,也为巡检图像识别技术带来了前所未有的突破。通过引入GPU模块,系统能够在极短时间内对海量巡检图像进行深度特征提取、目标检测和异常识别,极大提高了图像处理效率和检测准确性相比传统CPU方案,图像处理速度提升了两到三倍,显著降低了识别误差和漏检风险为设备状态监控和风险预警提供了精准的数据支撑,数据通信部分采用高速数据总线和无线频率跳变技术构建了多通道并行传输的分布式通信网络,确保现场各类传感器数据的实时采集和稳定传递,系统集成了数据加密传输和自动误差校正机制,有效抵御外界干扰和信息丢失,确保数据传输的安全性和完整性,内置软件平台利用自主研发的智能算法,实现系统自检、动态资源调度及故障自动修正,进一步优化了各模块间的协同工作,确保在复杂环境下依然维持高效稳定的运行状态^[6]。

4.2 多传感器融合

巡检机器人内各传感器信号协同构成融合体系,系统采温湿度、振动、加速度、红外、光学等数据,经卡尔曼滤波、模糊运算、统计分析等方法整合输出全局状态反馈,融合过程中采用数学模型剔除噪音干扰,确保

数据信息真实反映现场情况,设备布置经过精密规划,覆盖关键区域构成全域监测网络(图1),各传感器参数互补异常信息自动校正,形成自适应调节机制,模块实时处理信号输入反馈至控制中心供决策参考,保障机器人运动稳定操作顺畅,系统响应速度提升依赖高效数据处理,信息传递渠道采用高速通讯,确保信号互联无滞后,试验验证显示,经过融合后设备抗冲击能力显著提高,故障概率大幅降低,硬件采用高精密元件,软件不断优化升级,构成闭环调控体系各项指标经严格测试均满足复杂工况要求,未来扩展传感器种类、提升融合效率、完善异常预警功能,促进巡检任务高效执行。

多传感器融合示意图



图1 多传感器融合示意图

4.3 自学习和自适应能力 优化巡检流程

算法连续迭代更新,吸收现场信息,总结运作规律形成经验数据库,辅助决策中心制定巡检方案,设备传感信号经过数据处理经深度学习分析,预测潜在故障调整巡检策略,降低风险发生率,控制系统实时监控任务进展,动态调节参数确保运作稳定顺畅,自主学习功能推动巡检路径改进,连续校正偏差提升任务响应速度,模型训练依赖大样本数据支持,回归分析、聚类算法、神经网络协同作用,促使系统不断的自我完善,现场环境变化的时候自动调适运行方案,快速响应突发状况保障安全巡检算法优化注重数据反馈,误差修正同步启动,形成闭环调控体系新技术引入后,巡检流程趋于精准高效人工干预减少运行成本降低。

4.4 作业管理 提升能源利用率

作业管理中心依托调度算法优化任务分配,融合资源监控技术实现能耗降低,调度平台运用大数据解析现场参数,科学划分巡检区域,构建多级任务体系,智能调控模块依据能源指标实时调节电流输出,协调作业进程与供电负载匹配,设备分组采用区域分配方式,优化能源分布,消除局部超负荷风险,集中管理系统监测各

环节能耗波动,自动生成调度指令,确保任务执行过程中电能利用率提升,运算中心结合历史数据信息回溯,预判能源需求制定节能方案实时监控装置反馈运行状况,辅助决策调整参数使调度策略符合现场实际要求,系统内集成多元数据接口,统一采集各设备信号构成信息网络调度算法兼顾巡检时间与能源消耗,动态分配任务,令全局资源分布均衡远程管理终端支持在线优化,同步更新调度策略保障整体运行安全稳定。

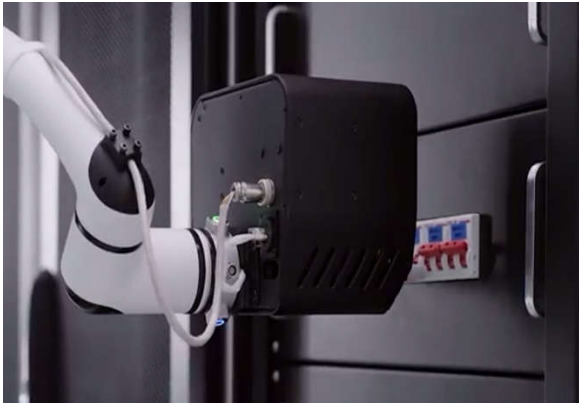


图2 机器人操作开关调节供电

4.5 数据采集和趋势分析

依托统计模型、机器学习算法呈现信息变化,监控中心依据数据波动调控运作策略,预测设备故障风险,辅助维护调度,数据采集装置安装于巡检装备关键部位,确保现场信息采集无遗漏,趋势分析模型运用多维数据回归拟合,揭示设备运行隐患,预警风险发生可能,数据仓库建设采用分布式存储方式存储海量历史记录,提供深层次分析依据,系统全程监控参数异常数值自动触发警报,实时反馈至调度终端,人工智能算法参与数据处理形成闭环反馈,提高信息处理效率,各监测模块互通数据信息,构成网络互联形成整体视图便于决策制定趋势预测结果,为设备检修提供参考,减少故障停机时间现场试验证明方案能快速捕捉突发情况,保障设备安全运行持续更新软件算法,适应环境变化要求,提升整体运作稳定性,技术人员依据数据报告开展针对性维护工作实现资源合理调配,系统集成监控平台具备高响应速度,数据信息反馈精准及时为巡检装备升级改造提供坚实技术支撑^[7]。

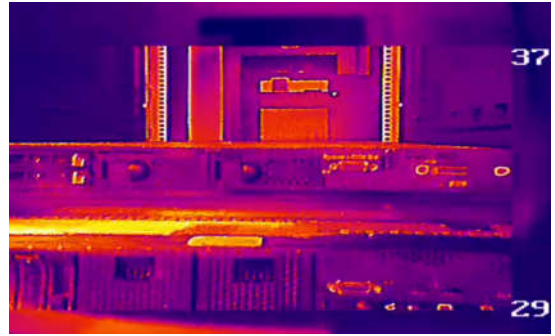


图3 服务器红外检测图

结论

路径规划算法优化巡检流程,多传感器数据融合构建安全防线,自学习算法不断完善设备运行,自适应机制提高现场应急能力,作业管理系统调度任务科学,数据采集趋势分析预警风险,大模型维护策略保障设备全生命周期安全,各技术环节联合作用构成巡检机器人高效、稳定、智能运行新体系。未来巡检机器人不光将成为高效巡检及运维管理的重要工具还可能与工业互联网、数字孪生等新兴概念深度融合,实现全流程、智能化、动态优化的设备管理方案,技术的不断革新和跨领域融合,将为巡检机器人带来更广阔的应用前景和更强大的运营能力使其在构建智能城市、保障关键基础设施安全运行等方面发挥越来越大的作用。

参考文献

- [1] 刘广. 基于巡检机器人的变电站安全运维系统设计研究[J]. 灯与照明,2025,49(1):142-145.
- [2] 牛艳奇,陈泰龙,周帅冬,等. 综采工作面轨道式巡检机器人结构设计与分析[J]. 矿山机械,2024,52(4):65-73.
- [3] 王庆祥. 火电厂智能轮式巡检机器人全局路径规划设计与实现[J]. 机器人产业,2024(2):46-50.
- [4] 张万里,高贵军. 巡检机器人2自由度弹性缓冲机构的设计与研究[J]. 煤炭技术,2024,43(11):232-237.
- [5] 杨林,赵春雷. 煤矿智能化巡检机器人系统设计与现场应用[J]. 山西焦煤科技,2024,48(12):42-46.
- [6] 王鹏. 海上无人平台悬挂式巡检机器人行走机构设计与性能分析[J]. 天津科技,2024,51(4):81-83.
- [7] 王有明,陈品,陈德福. 轮式电力巡检机器人控制系统设计与实现[J]. 中国高新科技,2024(8):20-22.