

智能巡检机器人终端视觉巡检技术研究

石竞成 夏少芳 王宏睿
邢台学院 河北 邢台 054001

摘要: 智能巡检机器人视觉巡检技术历经发展,已进入智能化阶段。现有技术类型多样,但存在复杂环境适应性差、算法性能难兼顾、多源数据融合能力欠缺等局限。本文围绕终端视觉巡检关键技术,如图像采集、目标检测、缺陷诊断等展开研究,构建视觉巡检系统,分析典型应用场景,预测技术发展趋势,探讨未来研究方向,为该领域发展提供参考。

关键词: 智能巡检机器人; 视觉巡检技术; 目标检测; 缺陷诊断; 多源数据融合

引言: 传统人工巡检与早期基于简单图像处理的巡检方式,在效率、准确性及环境适应性上存在不足。随着计算机视觉与深度学习技术进步,智能巡检机器人视觉巡检技术取得显著发展,能自主完成复杂环境巡检任务。然而,当前技术在实际应用中仍面临诸多挑战,研究智能巡检机器人终端视觉巡检技术,对提升巡检质量、保障设备安全稳定运行具有重要意义。

1 智能巡检机器人视觉巡检技术现状分析

1.1 视觉巡检技术发展历程

视觉巡检技术发展初期,人工操控简单摄像设备采集图像,再由人工查看识别异常。此阶段设备功能单一,仅能完成基础图像采集,完全依赖人力分析,效率与准确性较低。随着计算机视觉技术进步,基于传统图像处理算法的巡检系统出现,运用边缘检测、模板匹配等方法,可自动识别部分简单缺陷,一定程度减轻人工分析压力,提升巡检效率^[1]。深度学习技术兴起,推动视觉巡检进入新阶段。卷积神经网络应用于图像识别,大幅提升复杂场景下目标检测与缺陷识别精度。智能巡检机器人搭载深度学习算法,能自主完成复杂环境巡检任务,实现图像采集到分析的自动化,开启智能化巡检时代。

1.2 现有视觉巡检技术类型与特点

基于可见光的视觉巡检技术应用广泛,通过捕捉物体反射光线获取图像,可清晰呈现设备外观、连接状态等细节,适用于常规设备表面缺陷检测,如裂纹、磨损等。其图像直观便于理解,但光照条件对成像质量影响大,强光、低光环境下成像效果变差。红外视觉巡检技术利用物体热辐射特性,检测设备表面温度分布发现异常。无需接触设备,就能快速定位过热故障,尤其适合电力设备隐性故障检测,如接触不良、过载等。该技术

不受光照影响可昼夜工作,不过只能反映温度信息,无法获取设备外观细节。紫外视觉巡检技术针对高压设备电晕放电检测,捕捉电晕产生的紫外光信号判断设备绝缘状态。能提前发现潜在绝缘缺陷避免严重故障,在高压输电线路巡检中作用显著。但检测范围有限,仅对电晕现象敏感,应用场景相对狭窄。

1.3 当前技术存在的局限性与挑战

现有视觉巡检技术在复杂环境适应性上存在不足。光照剧烈变化时,可见光图像易过曝、欠曝,影响目标识别;雨雾天气使图像模糊,降低检测精度。在高温、高湿、强电磁干扰等极端环境下,设备稳定性与可靠性面临考验,容易出现故障。算法性能方面,实时性与准确性难以兼顾。复杂场景下,为保证检测精度,深度学习模型参数增多,计算量增大,处理速度随之下降,无法满足实时巡检要求。部分微小缺陷、隐蔽故障特征不明显,算法难以准确识别,存在漏检、误检情况。多源数据融合与协同分析能力欠缺也是问题。单一视觉技术获取信息有限,多种视觉技术结合虽能提供更多信息,但不同模态数据融合难度大。由于缺乏有效协同分析方法,难以充分发挥多源数据优势,限制对设备状态全面准确判断。

2 终端视觉巡检关键技术研究

2.1 图像采集与预处理技术

高分辨率成像技术是获取清晰巡检图像的基础。采用高像素图像传感器,配合大光圈、低色散镜头,可提升图像细节捕捉能力。针对远距离巡检目标,长焦镜头结合光学防抖技术,避免因抖动导致画面模糊^[2]。多光谱成像设备同时采集不同波段光线,拓展图像信息维度,为后续分析提供更多数据支持。动态范围优化技术增强画面明暗细节,使亮部不过曝、暗部有层次,确保复杂光照环境下成像质量。图像降噪与增强方法提升图像质

课题项目编号: 2024年度“大学生创新创业训练计划项目”阶段成果(项目编号: 202410104013)

量。空间域降噪通过邻域平均、中值滤波等算法,去除图像椒盐噪声、高斯噪声。频域降噪利用傅里叶变换,分离噪声与有效信号频段,针对性消除噪声干扰。图像增强技术采用直方图均衡化拉伸灰度分布,增强图像对比度。同态滤波结合空域与频域处理,抑制光照不均影响,突出图像细节。深度学习降噪网络通过大量噪声图像训练,学习噪声分布规律,实现端到端的高质量图像恢复。

2.2 目标检测与识别技术

基于深度学习的目标检测算法实现自动化识别。单阶段检测算法如YOLO、SSD结构简单、计算高效,适合实时性要求高的场景,通过卷积层直接预测目标类别与位置。两阶段检测算法如FasterR-CNN采用区域建议网络,先提取候选区域再分类回归,检测精度更高,适用于复杂背景下小目标检测。Transformer架构融入检测模型,利用自注意力机制捕捉目标全局特征,提升遮挡目标识别能力。模型轻量化技术通过剪枝、量化压缩网络参数,在移动端实现快速检测。复杂环境下的特征提取与匹配面临挑战。光照变化时,基于颜色不变性的特征提取算法,从RGB图像转换到光照鲁棒色彩空间,降低光照影响。纹理特征描述子如SIFT、SURF提取图像局部不变特征,结合特征点匹配算法实现目标定位。对于遮挡目标,采用部分感知模型,学习目标局部特征分布,即使部分被遮挡也能完成识别。动态场景下,利用视频帧间运动信息,结合光流法跟踪目标运动轨迹辅助识别。

2.3 缺陷诊断与分析技术

异常状态判断逻辑建立在阈值与规则基础上。设定设备参数正常范围阈值,采集数据超出阈值即判定异常。基于专家经验制定规则库,如设备表面温度梯度突变、形状尺寸变化触发报警。机器学习模型通过历史数据训练,学习正常状态特征分布,新数据偏离分布即预警。时间序列分析方法捕捉参数随时间变化趋势,预测

异常发展态势。缺陷类型分类方法依赖特征提取与分类器设计。手工提取缺陷图像的几何特征、纹理特征,结合支持向量机、随机森林等分类器完成缺陷分类。深度学习分类网络如ResNet、DenseNet自动提取层次化特征,通过全连接层输出分类结果。迁移学习技术利用预训练模型参数,在少量缺陷样本下快速训练分类器。多模态数据融合分类将可见光图像、红外热像等信息融合,构建更全面特征向量,提升分类准确率。

3 智能巡检机器人视觉巡检系统构建

3.1 硬件系统设计

视觉传感器选型与布局直接影响巡检效果。可见光相机依据检测距离、精度选分辨率与焦距,低照度环境用高灵敏度机型;红外热像仪按温度范围、精度配不同视场角镜头;紫外成像仪选高增益、低噪声设备用于高压电晕检测。多类型传感器按设备结构布局,借助云台实现多角度拍摄,确保检测无死角。数据传输与处理模块保障高效运行。采用千兆以太网或高速无线传输,减少图像数据延迟;边缘计算设备前置处理图像,用AI加速芯片运行轻量化算法做初步检测;中央处理单元通过CPU与GPU协同,处理复杂算法及多传感器数据融合;固态存储模块保障数据读写速度与可靠性,支持长时间存储^[3]。一个可行的基于华为Hi3861芯片的工厂检测系统架构如图1所示。在该系统中采用Hi3861开发板作为核心主控,负责协调传感器数据采集、逻辑处理、网络通信及设备控制,其内置WiFi模块支持物联网远程交互。STM32驱动板作为辅助控制单元,专用于驱动自动寻线模块实现路径识别,并通过PWM精准控制两路直流减速电机,赋予小车灵活的移动能力。安全监测方面,集成MQ2气体传感器对可燃气体浓度进行实时检测,搭配温湿度传感器构建环境安全双重保障,当检测值超过阈值时,本地报警模块立即触发声光警示。

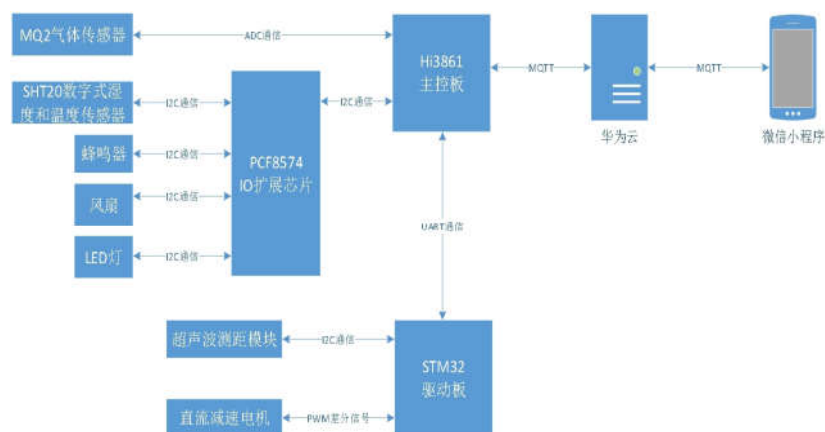


图1 基于Hi3861的工厂检测系统架构

3.2 软件系统架构

算法部署与优化提升系统智能水平。将训练好的深度学习模型移植到硬件平台,通过模型压缩、量化技术降低计算资源消耗。采用模型蒸馏方法,将复杂模型知识迁移至轻量化模型,在保证精度前提下提高推理速度。针对不同场景需求,动态调用适配算法,如近距离检测启用高精度模型,远距离快速筛查采用轻量化模型。算法更新采用在线学习机制,通过实时采集数据持续优化模型参数。人机交互界面设计注重操作便捷性与信息直观性。主界面以可视化图表展示设备状态,异常信息突出显示并自动报警。巡检路线与任务规划模块支持图形化编辑,操作人员可灵活设置巡检点位、拍摄角度与检测内容。历史数据查询界面提供多维度筛选功能,便于追溯设备状态变化^[4]。操作日志记录功能全程跟踪系统操作,确保可查可溯。移动端交互界面适配手机、平板等设备,实现远程监控与操作。

4 智能巡检机器人视觉巡检技术应用与展望

4.1 典型应用场景分析

在电力系统领域,智能巡检机器人视觉巡检技术发挥关键作用。变电站内,机器人搭载可见光、红外与紫外传感器,沿预设路线巡检变压器、断路器等设备。可见光相机捕捉设备外观裂纹、螺栓松动等缺陷;红外热像仪检测触头过热、接头接触不良等隐性故障;紫外成像仪监测高压设备电晕放电情况,及时发现绝缘缺陷。输电线路巡检中,机器人攀爬杆塔、穿越导线,利用高清摄像头与激光雷达,识别绝缘子破损、导线断股,测量弧垂与通道距离,替代人工高空危险作业。工业制造场景下,视觉巡检机器人应用于生产线质量把控。在汽车零部件生产线上,机器人对焊接点、装配缝隙进行高精度检测,通过深度学习算法识别焊点虚焊、漏焊,测量零部件尺寸精度。化工企业内,机器人巡检管道、阀门,检测法兰连接处泄漏、管道腐蚀,结合气体传感器数据,判断设备运行状态,避免安全事故发生。仓储物流领域,机器人利用视觉识别技术定位货架、扫描货物标签,自动完成存取与盘点任务,提升仓储管理效率。

4.2 技术发展趋势预测

硬件层面,视觉传感器向小型化、集成化、多模态融合方向发展。新型图像传感器像素密度持续提升,低功耗、高灵敏度芯片广泛应用,降低设备能耗。多光谱、高光谱成像技术成熟,使传感器获取更多光谱信息,增强缺陷识别能力。传感器集成度提高,将可见光、红外、深度相机等功能模块集成于一体,减少体积与重量,便于机器人搭载。边缘计算设备性能增强,实现更复杂算法的本

地运行,降低数据传输压力。算法与软件方面,深度学习模型向轻量化、自适应方向演进。模型压缩技术不断优化,通过剪枝、量化等手段,在移动端实现高精度检测。自监督学习、少样本学习算法突破,降低对大规模标注数据的依赖,便于快速部署新场景。多模态数据融合算法深入发展,结合视觉、听觉、触觉等信息,构建更全面设备状态模型。数字孪生技术与视觉巡检结合,在虚拟空间实时映射设备运行状态,辅助故障诊断与预测。

4.3 未来研究方向探讨

复杂环境适应性研究是重要方向。研发抗强光、抗雨雾的成像技术,通过偏振成像、激光雷达辅助,改善恶劣天气下图像质量。研究电磁干扰、高温高湿等极端环境下传感器防护与稳定运行技术,提升设备可靠性。开发动态场景下目标检测算法,解决运动模糊、遮挡等问题,实现高速移动目标精准识别^[5]。多机器人协同巡检研究有待深入。建立多机器人通信与协作机制,实现任务分配、路径规划协同,避免重复检测与漏检。研究机器人间数据共享与融合方法,综合分析多源信息,提高缺陷诊断准确性。探索机器人集群自组织、自修复技术,在部分机器人故障时,系统自动调整任务,保障巡检工作连续进行。人机协同交互技术需进一步发展。研究人机共融算法,实现操作人员与机器人优势互补,在复杂缺陷判断、应急处理中协同作业,提升巡检工作质量与效率。

结束语

智能巡检机器人终端视觉巡检技术在电力、工业制造、仓储物流等领域展现出巨大应用潜力。尽管当前技术取得一定成果,但在复杂环境适应性、多机器人协同、人机协同交互等方面仍有待深入研究。未来,随着硬件升级、算法优化以及新技术的融合应用,该技术将不断完善,为各行业设备巡检提供更高效、精准的解决方案,推动巡检工作向智能化、自动化方向迈进。

参考文献

- [1]郭德财,彭石林.基于海思芯片与鸿蒙操作系统的智慧灌溉系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2022,22(03):11-15.
- [2]贾荣丛.基于STM32的扫地机器人设计与实现[J].工业控制计算机,2025,38(03):169-170.
- [3]王兵霞,丁志斌,孙乐乐.基于单片机与视觉技术的智能巡检机器人系统设计[J].科技与创新,2025(8):56-58,66.
- [4]梁少华.电力巡检机器人终端视觉巡检技术分析[J].机器人产业,2024(2):41-45.
- [5]王坚强,陈祥龙,曾科智,等.铁路信号机房智能巡检系统设计[J].铁路计算机应用,2023,32(2):34-39.