

机器视觉的起重机机电设备安全监测与预警技术

吕国祥 陈芸馨

杭州华新机电工程有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 起重设备复杂的作业环境与动态运行状态,极易诱发各类机电结构与控制部件安全隐患,传统监测方式存在监测维度单一、灵敏度不足、全域覆盖性较差的短板。本文结合机器视觉非接触、高精度、动态监测的技术优势,适配起重机作业工况特性,搭建一体化安全监测预警系统。依托图像优化处理、目标特征提取、动态姿态跟踪等核心技术,实现设备多维度安全状态智能判别与分级预警,同时从环境适配、动态监测、多设备协同等维度完成技术优化,有效提升起重机电设备安全监测的精细化与智能化水平。

关键词: 起重机;机电设备;机器视觉;安全监测;智能预警

引言: 起重机械作为工程施工的核心特种设备,机电结构运行状态直接关乎施工现场作业安全。设备长期在复杂户外环境下承载作业,交变载荷与环境干扰会持续引发构件形变、部件老化、运行偏移等各类隐性故障。常规人工巡检与传统传感监测模式存在明显局限性,难以精准捕捉设备细微异常与动态隐患。机器视觉具备全域动态感知、非接触无损监测的独特优势,能够适配起重机多变的作业场景,可有效弥补传统监测技术的不足,为起重机电设备安全管控提供全新的技术支撑。

1 起重机电设备与机器视觉监测适配机理

1.1 起重机电设备典型运行工况特征

起重机电设备依托起升、变幅、回转、行走四大机构配合完成各类吊装作业,运行全程处于动态变动状态。作业场景多集中在户外施工现场与高空作业区域,现场光线条件起伏不定,扬尘、物料遮挡、温度波动等因素都会干扰设备正常作业。机械结构长期承受往复交变载荷,运动部件姿态随时发生变动,电控系统会根据实际作业需求动态调整运行参数,适配现场作业节奏^[1]。各类环境干扰与设备动态运行状态相互叠加,持续形成复杂多变的作业场景。

1.2 起重机电设备常见安全隐患表现形式

起重机电设备长期处于高频启停、持续负重的作业状态,极易滋生各类结构损伤与功能故障。金属构件在长期受力作用下会出现表面磨损、局部形变、连接松动以及疲劳损伤等问题,传动机构运行阶段会出现卡滞、走位、运转不畅等异常工况。电气线路、控制模块、传感元件会随使用时长出现老化失灵、信号紊乱等故障,降低整机操控精度与运行稳定性。部分构件位移、姿态倾斜、运行轨迹偏移等问题隐蔽性较强,常规人工巡检难以全面排查各类细微异常。

1.3 机器视觉技术监测适配性分析

机器视觉通过图像采集、特征提取、智能分析的完整流程判别设备运行状态,能够适配起重机动态、连续的作业运行模式。该技术采用非接触式采集方式,不会干扰设备正常运转,可适配高空、大跨度、动态移动的复杂作业场景。技术算法可精准识别机械构件外观破损、运动姿态偏差、电气部件外观故障等多种异常状态,覆盖设备日常运行中的高频隐患类型。系统可抵御施工现场各类环境干扰,稳定抓取有效运行数据,自主完成全流程设备状态监测工作。

1.4 视觉监测与传统设备监测的差异化特性

传统监测手段主要依靠接触式传感器定点采集数据,监测点位固定单一,仅能采集局部运行参数,数据更新效率偏低,无法完整覆盖整机运行状态。视觉监测打破定点采集的局限性,针对设备整体结构与全流程作业状态开展全域信息采集。传统监测以数字化参数输出为核心,不能直观呈现构件形变、姿态错位等可视化设备缺陷。视觉监测依托高清图像比对与特征分析捕捉细微异常,丰富设备监测的数据维度,搭建更全面的设备监测运行模式。

2 基于机器视觉的起重机安全监测预警系统架构

2.1 系统整体设计原则与设计思路

起重机安全监测预警系统的设计围绕现场作业实际需求展开,优先适配工地复杂环境与设备动态运行特性。系统搭建遵循稳定运行、兼容拓展、低耗高效的核心原则,贴合起重设备长期连续作业的运行特点。整体设计采用模块化分层结构,拆分图像采集、数据处理、智能分析、预警输出等独立单元。各单元保持独立运行空间的同时预留交互接口,简化后期功能迭代与设备调试流程,适配不同型号起重机的监测使用需求^[2]。

2.2 视觉图像采集模块构成与工作机制

视觉图像采集模块为系统前端核心单元,主要由高清摄像设备、辅助补光组件、固定防抖支架组成。硬件设备按照起重机作业范围完成点位布设,覆盖机械结构关键部位与作业活动区域。模块依托光学成像原理捕捉现场画面,持续采集设备运行姿态、构件外观状态、作业环境画面等原始图像信息。设备根据现场光线强度自动调节成像参数,保障不同环境下的图像采集质量,为后端数据处理提供完整原始素材。

2.3 图像数据传输与预处理模块架构

图像数据传输模块搭建专属数据传输链路,承载前端采集图像的上传交互工作。链路采用抗干扰传输模式,削弱工地电磁、扬尘等外界因素对数据传输的干扰影响,保障图像数据完整上传。预处理模块搭载图像降噪、画面校正、尺寸归一化、无效画面剔除等处理单元,针对性优化原始图像存在的模糊、噪点、画面偏移等问题。模块筛选有效图像信息并完成标准化处理,提升后续智能分析的识别精准度。

2.4 智能分析与预警输出模块组成

智能分析模块依托专属视觉识别算法完成图像特征解析,提取设备运行状态与隐患特征信息。模块内置设备异常特征数据库,比对预处理后的图像数据,判别设备运行是否存在故障隐患。预警输出模块搭载信号处理与信息推送单元,接收前端分析后的状态数据。模块根据设备异常状态划分不同预警等级,对应输出差异化的预警提示信号,完成预警信息的有效输出。

2.5 系统各模块协同运行逻辑

系统各模块按照前置采集、中端处理、后端分析输出的层级顺序完成作业流转。前端采集模块持续输出原始图像数据,为整套系统运行提供基础数据源。传输与预处理模块承接前端数据并完成优化整合,为智能分析环节提供标准化数据支撑。智能分析模块输出精准的设备状态结果,驱动预警模块完成信号输出。各层级模块有序衔接、逐级联动,构建完整的起重机视觉监测预警运行流程。

3 起重机机电设备机器视觉安全监测关键技术

3.1 复杂工况下起重机图像清晰化处理技术

起重作业现场普遍存在扬尘遮挡、光线过曝、画面虚糊等干扰问题,采集的原始图像会存在大量无效像素噪声。该技术依托自适应降噪算法,对图像像素矩阵开展逐帧优化处理,有效剔除画面中各类环境干扰产生的噪点。针对强光逆光、暗光昏暗两类极端光线场景,技术搭载像素亮度自适应校正模型,动态调整画面灰度区

间与色彩饱和度。有效修复构件边缘模糊、画面层次缺失等成像问题,提升复杂场景下图像信息的可用质量,为后续特征提取提供纯净的图像样本^[1]。

3.2 起重机机电部件目标特征提取技术

起重机机电设备包含钢丝绳、吊钩、连接件、电控面板等多类监测部件,不同部件的外观特征存在明显差异。该技术通过卷积运算挖掘图像深层信息,精准捕捉部件轮廓纹理、结构边缘、表面缺损等专属特征。技术可自主筛选有效特征向量,剔除背景杂物、无效结构等冗余信息干扰,特征提取精准度可维持在较高水平。完成关键部件特征的精准固化与分类存储,为设备状态识别提供稳定的特征数据支撑。

3.3 设备运行状态动态识别与跟踪技术

起重机作业全程处于位移、转动、升降等动态变化状态,部件运行姿态更新频率较高。该技术采用帧间差分匹配方式,对作业画面开展连续采样分析。持续追踪吊钩摆动、钢丝绳形变、起重臂角度变动等动态行为,锁定设备运行过程中的姿态变化轨迹。技术可稳定锁定运动目标不丢失轨迹,精准捕捉瞬时性、间歇性的异常运动状态,持续掌握设备实时运行态势。

3.4 多维度安全状态智能判别技术

技术围绕结构形变、部件磨损、姿态偏移、外观故障多个维度搭建判别体系,覆盖起重机机电设备的主流安全隐患类型。系统整合特征提取与动态跟踪获取的多维数据,建立专属状态判别模型,量化设备运行的异常程度。模型依托海量设备特征数据完成智能比对分析,区分正常运行、轻微异常、严重故障等不同运行状态,精准甄别各类隐性与显性安全隐患,完成设备安全状态的智能研判工作。

3.5 分级预警信号生成与触发技术

该技术依据设备异常危害程度划分多级预警标准,匹配不同隐患类型对应的预警机制。系统接收智能判别模块输出的状态数据,按照预设阈值自动匹配对应预警等级,生成对应的声光提示与数据记录信息。针对危害程度较高的设备故障,技术可缩短响应时长,快速触发预警反馈。规范不同异常工况的预警输出形式,实现设备隐患的分层警示与精细化防控。

4 起重机机器视觉安全监测预警技术优化与拓展

4.1 复杂环境干扰下视觉监测技术优化方式

起重施工场地整体环境存在明显的动态不确定性,露天施工场景长期面临扬尘弥漫、光线骤变、雨雪雾气遮挡等各类干扰因素。这类环境问题会直接造成图像画面模糊、细节丢失、像素失真等问题,大幅降低视觉监

测的成像质量,影响设备状态识别的精准度。针对各类环境干扰引发的监测缺陷,可依托图像增强算法的持续迭代优化,针对性修正畸变画面,弱化恶劣环境对图像像素质量的负面作用。可对前端成像硬件进行针对性调校,优化镜头透光性能与成像参数,提升设备在强光暴晒、暗光背光、低能见度雾天等特殊场景下的成像稳定性。结合算法优化与硬件调校的双重改良模式,全面提升视觉监测系统的环境抗干扰性能,让监测作业可以稳定适配各类复杂施工场地^[4]。

4.2 设备动态运行偏差监测技术优化路径

起重机吊装作业属于连续动态作业模式,整机结构与作业姿态始终处于持续变动状态。作业过程中产生的构件微小偏移、姿态渐变错位、受力形变偏差等细微异常,很难通过常规视觉监测方式有效捕捉,容易造成轻微隐患漏判。针对设备动态运行的独有特性,可重新优化画面帧频采样机制,提升图像采集密度,细化单帧画面的解析精度,精准捕捉设备运行过程中不易察觉的姿态波动。升级特征比对算法的识别灵敏度,压缩图像分析的响应间隔,清晰区分设备正常作业浮动范围与异常偏差状态。不断完善动态偏差判定体系,细化不同吊装重量、不同作业幅度下的偏差判定标准,持续提升动态工况下设备异常监测的精细化水平。

4.3 多设备协同作业场景下监测技术适配优化

大型施工现场常会布置多台起重机开展交叉吊装、配合转运等施工作业,作业区域内设备密集、作业轨迹交错,场景复杂程度大幅提升。常规的单一设备监测模式识别维度有限,无法应对多设备叠加的作业环境,极易出现目标混淆、识别错位等问题。可以对视觉监测的目标区分算法进行升级,强化不同机型、不同构件的特征分辨能力,精准划分各台设备的作业区域与结构边界,消除画面重叠带来的识别干扰。灵活调整系统监测覆盖范围与识别逻辑,适配多设备交错运行、穿插作业的特殊施工场景。搭建适配集群作业的分层监测架构,实现单台设备状态独立解析、多设备整体状态统一管控,满足规模化施工现场的智能监测需求。

4.4 预警联动控制技术拓展方向

现阶段多数起重机视觉预警体系功能较为单一,预警输出仅局限于现场声光提示,信息输出形式独立且孤立,无法对接设备操控流程与现场管控体系。预警技术

可向全域联动、闭环管控的方向深度拓展,打通视觉监测终端与起重机电控系统的数据传输通道,实现状态数据双向互通。利用图像解析获取的设备异常数据,构建完整的预警触发与设备管控联动机制,依托监测数据辅助调整设备运行参数,规避故障持续扩大。丰富预警信息的多层级输出渠道,打通现场监测终端与后台管理平台的数据链路,让隐患信息可以实时上传、有效流转,推动设备安全隐患从单一警示转向主动处置。

4.5 视觉监测技术的适配性升级思路

随着起重设备型号迭代与施工工艺升级,传统视觉监测模式的适配范围逐步受限,难以适配新型设备与新型施工场景。可持续扩充设备特征数据库,收录新型起重机电构件的外观特征与运行状态参数,拓宽技术监测适配品类。优化系统模块化架构,简化功能升级与模块调试流程,适配不同施工场景的个性化监测需求。持续更新识别与研判逻辑,贴合起重作业的发展趋势,实现视觉监测技术的长效适配与迭代升级。

结束语

机器视觉技术能够精准适配起重机电设备的动态作业特性,可高效完成设备故障识别与安全预警工作。各类图像优化、特征识别、动态研判技术的融合应用,大幅提升了复杂工况下设备状态监测的稳定性与精准度。通过优化环境抗干扰能力、细化动态偏差监测逻辑、拓展多设备协同监测与预警联动功能,能够持续完善起重设备安全监测体系,为工程起重作业的安全稳定开展提供可靠的智能化技术保障。

参考文献

- [1]兰朋,王一凡,刘曼兰,等.智能桥式起重机安全制动控制与危险区域预测[J].重庆理工大学学报,2026,40(11):115-123.
- [2]赵陈,李刚,时安琪,等.液压门式起重机抬吊安全监测系统[J].机械设计与制造,2025,418(12):17-21.
- [3]贾晋三,段宇轩,陈一馨.基于数字孪生的门式起重机防摇摆控制在线监测系统[J].计算机集成制造系统,2026,32(2):672-685.
- [4]何盼琪.边缘计算驱动的起重机作业全过程安全监控系统优化研究[J].现代制造技术与装备,2026,62(4):199-201.