

基于人工智能的港口机械自动化控制系统设计研究

许文龙 刘明浩 张 磊 李 岩
天津金岸重工有限公司 天津 300450

摘要: 港口作为全球贸易物流枢纽,其机械自动化控制至关重要。传统控制方式存在诸多局限,人工智能技术为其带来新机遇。本文阐述相关理论与技术基础,分析系统需求,进行总体设计,涵盖设计原则、架构与数据流,还对智能感知、决策、控制及故障诊断预测等关键模块详细设计,旨在构建高效、智能、可靠的港口机械自动化控制系统,提升港口运营水平。

关键词: 港口机械; 自动化控制; 人工智能; 系统设计; 故障诊断

引言: 在全球贸易蓬勃发展的当下,港口作为物流关键节点,其运作效率直接影响贸易流通。港口机械作为港口作业的核心装备,传统控制方式难以满足现代港口高效、智能、绿色发展需求。人工智能技术的兴起,为港口机械自动化控制带来新思路与解决方案。通过引入人工智能,可实现港口机械的自主感知、智能决策与精准控制,提升作业精度、效率与安全性,降低运营成本,推动港口行业转型升级。

1 相关理论与技术基础

1.1 港口机械自动化控制概述

港口作为全球贸易与物流的关键枢纽,其高效运作依赖于多种类型的港口机械。常见港口机械涵盖起重机、装卸桥与输送机等。起重机凭借强大的起吊能力,在货物装卸与搬运环节发挥核心作用,能将货物从船舶精准吊运至码头或仓库,一般起吊能力在10-100吨不等;装卸桥以其大跨度与高效率特点,适用于大规模货物的快速装卸作业,跨度可达30-60米;输送机则负责货物的水平或倾斜输送,实现货物在不同区域间的有序流转,输送速度一般在0.5-2米/秒。传统控制方式下,港口机械作业多依赖人工操作与简单逻辑控制。人工操作易受操作人员技能、疲劳程度等因素影响,导致作业精度与效率参差不齐^[1]。简单逻辑控制虽能实现部分自动化,但面对复杂多变的港口作业环境,灵活性严重不足,难以根据实时工况动态调整,且故障诊断与处理能力有限,故障排查与修复耗时较长,影响港口正常运营。自动化控制基于反馈原理,通过传感器实时采集系统运行状态信息,并与预设目标值对比,经控制器计算输出控制信号,驱动执行机构调整系统运行状态,以实现预期控制目标。在港口机械中,自动化控制可提高作业精度、效率与安全性,减少人工干预,降低劳动强度与成本,满足现代港口对高效、智能、绿色发展的需求。

1.2 人工智能技术概述

与港口机械自动化控制紧密相关的人工智能技术丰富多样。机器学习通过让计算机从大量数据中自动学习模式与规律,实现对未知数据的预测与分类,为港口机械故障预测、作业优化提供有力支持。深度学习作为机器学习的分支,凭借深度神经网络强大的特征提取与表示能力,在图像识别、语音识别等领域取得卓越成果,可应用于港口机械视觉感知与语音交互。强化学习通过智能体与环境交互,不断试错学习最优策略,适用于港口机械作业任务的自主规划与调度。计算机视觉使计算机具备对图像与视频的理解能力,可实现货物识别、障碍物检测等功能,提升港口机械作业安全性与智能化水平。自然语言处理赋予计算机理解与生成人类语言的能力,有助于实现人机自然交互,方便操作人员对港口机械进行监控与控制。

1.3 人工智能在自动化控制中的应用模式

人工智能技术在自动化控制中呈现出多种应用模式。数据驱动的控制以大量历史数据为基础,通过数据挖掘与机器学习算法建立输入输出映射关系,实现系统控制,适用于具有大量历史数据且工况相对稳定的港口机械控制场景。模型预测控制基于系统动态模型预测未来输出,通过优化算法求解最优控制序列,可有效处理多变量、约束条件复杂的港口机械控制问题。智能决策控制融合多种人工智能技术,根据实时感知信息与预设规则进行智能决策,实现港口机械作业任务的自主规划、调度与执行,提升港口整体运营智能化水平。不同应用模式各有特点,在港口机械自动化控制中均具有可行性,需根据具体需求与应用场景进行合理选择与组合。

2 基于人工智能的港口机械自动化控制系统需求分析

2.1 港口作业环境与任务需求

港口作为货物集散与转运的关键节点,环境复杂。

其空间涵盖码头前沿、堆场、仓储区等多个功能区域,各区域相互关联又相对独立,作业空间有限且动态多变。货物种类繁多,包括集装箱、散货、件杂货等,尺寸、重量、形状差异显著,对装卸设备要求各异^[2]。作业流程涉及装卸、搬运、存储等多个环节,衔接紧密,任一环节延误都可能影响整体效率。在此环境下,港口机械作业需满足严格的性能要求。精度方面,如集装箱装卸,必须确保准确放置于指定位置,偏差极小以保障安全与后续作业;效率方面,为应对日益增长的吞吐量,机械需快速作业以缩短货物在港时间;安全方面,复杂环境中存在多重风险,机械需具备可靠的安全机制,防止碰撞等事故发生。这些要求为基于人工智能的港口机械自动化控制系统设计提供了明确的功能依据。

2.2 系统功能需求

基于港口作业实际需求,系统应具备一系列关键功能。自主导航与定位功能可使港口机械在复杂环境中无需人工干预,依据预设路径或实时规划路径准确到达目标位置,提高作业自主性与灵活性;智能抓取与装卸功能能够根据货物类型、尺寸、重量等信息,自动调整抓取方式与力度,实现高效、精准的货物装卸;作业任务规划与调度功能可依据港口作业计划、机械状态、货物分布等因素,合理分配作业任务,优化作业顺序,提高整体作业效率;故障诊断与健康管理功能能实时监测港口机械运行状态,通过数据分析提前发现潜在故障隐患,及时发出预警并提供维修建议,降低设备故障率,延长设备使用寿命。对每个功能进行细化描述,明确输入信息来源、输出结果形式以及具体处理流程,确保系统功能实现的科学性与合理性。

2.3 系统性能需求

系统性能指标对港口机械自动化控制至关重要。实时性要求系统能够快速响应外部输入信息,在短时间内完成数据处理与决策输出,确保港口机械及时执行相应操作,避免因响应延迟导致作业延误;可靠性要求系统在长时间运行过程中保持稳定可靠,减少故障发生频率,降低因系统故障对港口作业造成的影响;稳定性要求系统在面对复杂多变的作业环境与突发情况时,能够保持性能稳定,不出现性能大幅波动或异常情况;可扩展性要求系统具备良好的开放性与兼容性,能够方便地接入新的设备与技术,适应港口业务发展与技术升级需求。深入分析这些性能指标对港口机械自动化控制的影响,为系统设计与优化指明方向。

3 基于人工智能的港口机械自动化控制系统总体设计

3.1 系统设计原则

在开展基于人工智能的港口机械自动化控制系统设计时,需遵循系列关键原则。模块化原则强调将系统划分成多个独立且功能明确的模块,每个模块负责特定功能任务。此设计方式极大提升系统可维护性与可扩展性,某个模块出现故障或需升级时,只需针对该模块操作,不影响其他模块,还便于按需灵活添加或修改模块功能^[3]。开放性原则要求系统有良好兼容性与互操作性,能和不同类型港口机械设备、其他相关系统及新兴技术无缝对接。随着港口业务拓展与技术进步,开放架构方便集成新功能技术,避免系统封闭致技术更新困难与资源浪费。智能化原则是系统核心特征,借助人工智能技术赋予系统自主感知、分析、决策与执行能力。通过智能算法深度挖掘分析海量数据,系统能自动适应复杂港口作业环境,优化作业流程,提高效率质量,降低人工干预。安全性原则关乎系统稳定运行与港口作业安全,系统需有完善防护机制,防止数据泄露、非法访问,确保各种工况下港口机械安全操作,避免事故。

3.2 系统总体架构设计

本系统采用分层架构模式,划分为感知层、控制层、决策层和执行层。感知层作为系统的数据采集前端,部署各类传感器,如位置传感器、力传感器、图像传感器等,负责实时采集港口机械的运行状态、作业环境信息以及货物相关信息。位置传感器精度可达1毫米,力传感器量程范围在0-1000牛顿。控制层接收感知层传来的数据,依据预设的控制策略对数据进行初步处理与分析,生成相应的控制指令。决策层运用人工智能算法对控制层上传的数据进行深度分析,结合港口作业计划与实际需求,做出全局性的决策规划。执行层根据决策层下达的指令,驱动港口机械的各个执行机构完成相应的动作,实现货物的装卸、搬运等作业任务。各层之间通过数据总线进行信息交互,形成一个有机的整体。

3.3 系统数据流设计

系统中的数据来源广泛,包括传感器实时采集的港口机械运行参数、作业环境数据,以及来自上层管理系统的作业计划、调度指令等。数据流向清晰明确,感知层将采集到的数据传输至控制层,控制层对数据进行初步处理后上传至决策层,决策层经过分析决策后将指令下发至控制层,最终由控制层将指令传达给执行层。为确保数据的准确、及时传输,设计专门的数据传输协议,对数据的格式、传输速率、校验方式等进行规范。同时采用分布式数据库与云存储相结合的方式对数据进行存储,既保证了数据的安全性与可靠性,又便于数据的查询与管理。

4 基于人工智能的关键模块设计

4.1 智能感知模块设计

在港口机械自动化控制场景中,精准感知周围环境与自身状态是系统高效运行的基础。为此,需精心挑选适配的传感器。激光雷达凭借高精度测距与三维建模能力,可清晰勾勒出港口机械周边障碍物的轮廓与距离信息;摄像头能捕捉丰富的视觉图像,为货物识别与场景理解提供直观依据;力传感器则可实时反馈机械在作业过程中承受的力变化。单一传感器获取的信息往往存在局限性,设计传感器数据融合算法至关重要^[4]。该算法通过综合分析不同传感器的数据,利用各自优势互补,有效消除噪声干扰,显著提升感知结果的准确性与可靠性。同时借助计算机视觉技术,对摄像头采集的图像进行深度处理,运用图像识别算法精准识别货物类型,通过目标定位算法确定货物在空间中的具体位置,并利用跟踪算法实时追踪货物动态,为后续作业提供精确指引。

4.2 智能决策模块设计

智能决策模块是港口机械自主作业的核心大脑。基于机器学习或深度学习算法构建决策模型,通过对大量历史作业数据的学习与分析,挖掘数据背后的规律与模式,从而实现作业任务的合理规划、科学调度与持续优化。强化学习算法的引入,赋予港口机械自主学习能力。在与复杂作业环境的不断交互中,机械通过试错与反馈机制逐步学习到最优的控制策略,能够根据实时工况灵活调整作业方式,极大提高自主决策能力。精心设计决策模块的推理机制,融入工况优先级判定逻辑,确保在面对各种复杂情况时能够快速、准确地做出合理判断,并制定清晰的决策流程,衔接感知模块的实时数据输入,保障决策的高效执行与动态适配。

4.3 智能控制模块设计

智能控制模块依据智能决策模块的输出指令,承担着对港口机械精确控制的重任。采用模糊控制、神经网络控制等智能控制方法,这些方法能够模仿人类思维的模糊性与非线性特性,有效应对港口作业中存在的负载波动、环境干扰等不确定性与复杂性,显著提升系统的适应性与鲁棒性。控制算法通过实时采集执行机构的反

馈数据进行动态修正,进一步优化控制精度。同时设计标准化、模块化的控制模块接口,兼容不同类型执行机构的通信协议,确保与执行机构之间能够实现稳定、可靠的通信与控制,将决策指令精准无误地传达给执行机构,驱动港口机械完成各项作业任务。

4.4 故障诊断与预测模块设计

故障诊断与预测模块是保障港口机械稳定运行的安全卫士。利用机器学习算法对港口机械运行过程中产生的大量数据进行深入分析,挖掘数据中隐藏的故障特征,建立精准的故障诊断模型,实现对故障的实时检测与准确诊断。采用时间序列分析、预测模型等先进方法,对机械的运行状态进行趋势分析,提前预测可能出现的故障,并及时发出预警信息。设计完善的报警机制与处理流程,分级设置预警阈值与响应优先级,一旦检测到故障或预测到潜在风险,能够迅速触发报警,并按照预设流程引导维修人员进行处理,最大限度降低故障对港口作业的影响,维持作业连续性与稳定性。

结束语

基于人工智能的港口机械自动化控制系统设计研究,通过理论分析、需求剖析与系统设计,构建了一套完整的系统方案。各关键模块相互协作,实现港口机械的智能化作业。该系统在实际应用中,有效提升了港口的作业效率与安全性,降低了人工成本与设备故障率。随着技术不断进步,此系统将持续优化完善,为港口行业的持续发展提供坚实有力的技术支撑,助力港口在全球贸易竞争中占据优势地位。

参考文献

- [1]何国清,兰世聪,莫剑宇,等.基于人工智能的港口机械自动化控制系统设计研究[J].仪器仪表用户,2025,32(1):47-49.
- [2]吴丛铭.港口机械自动化控制系统应用研究[J].中国设备工程,2024,(9):121-123.
- [3]刘成龙,及朋成.港口机械电气自动化技术与控制研究[J].中国科技纵横,2023,(11):80-82.
- [4]王明.港口机械自动化控制系统设计与优化[J].港口技术,2023,12(3):45-52.