

Research on multi-functional handling trolley technology for intelligent port

Yuxin Wang

School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, 430063, China

Abstract

With the arrival of the intelligent era, the port handling car as the core equipment of cargo transportation, its intelligent transformation is imminent. In this project, a fully automatic intelligent handling trolley based on the double rotary mechanism is designed. By combining the rotary active wheel and the translation active wheel, the cooperative control of steering and translation motion is realized, and the transportation efficiency is significantly improved. The handling trolley innovatively adopts the combination of grasping device of suction cup and flexible claw. The suction cup provides high suction, and the flexible claw maintains the balance of goods through adaptive design. The overall design integrates mechanical module, electronic control module and machine vision technology, through the OpenMV visual identification system to achieve accurate identification and positioning of item position types, and complete automatic capture and placement. The handling car has the characteristics of high grasping efficiency, excellent anti-shake performance, light structure, economy and applicability, which provides innovative solutions for port automatic transportation, and is of great significance to the construction of intelligent port.

Keywords

double rotary mechanism; adaptive flexible fixture; machine vision; machine-electric-gas control integration

面向智能港口的多功能搬运小车技术研究

王宇鑫

武汉理工大学交通与物流工程学院, 中国 · 湖北 武汉 430063

摘 要

随着智能化时代到来, 港口搬运小车作为货物运输的核心设备, 其智能化改造迫在眉睫。本项目设计了一种基于双回转机构全自动智能搬运小车, 通过结合回转主动轮和平移主动轮, 实现转向与平移运动的协同控制, 显著提高运输效率。搬运小车创新采用吸盘与柔性夹爪的组合抓取装置, 吸盘提供高吸力, 柔性夹爪通过自适应设计保持物品平衡。整体设计集成了机械模块、电控模块与机器视觉技术, 通过OpenMV视觉识别系统实现对物品位置类型精准识别与定位, 并完成自动化抓取与放置。该搬运小车具有抓取效率高、防摇性能优、结构轻便、经济适用等特点, 为港口自动化运输提供创新解决方案, 对智能港口建设具有重要意义。

关键词

双回转机构; 自适应柔性夹具; 机器视觉; 机—电—气控制一体化

1 引言

在经济全球化背景下, 港口作为全球贸易核心节点, 其智能化发展已成必然需求^[1]。随着信息化水平提升和工业社会繁荣, 生产与运输需求增加, 物料搬运活动的复杂性和频率显著提高。然而, 劳动力短缺及成本上升的问题迫切要求采用高效的自动化港口搬运小车, 以替代人工完成重复性任务^[2]。

传统搬运小车在非结构化环境中难以稳定抓取复杂物体, 易对物体或设备造成损伤。柔性夹具以柔性材料和气压

驱动为特征, 能够有效解决抓取精度与物品保护问题, 且在协作机器人和智能搬运设备中应用潜力巨大^[3]。

本研究设计了一种基于双回转机构的全自动智能港口搬运小车, 结合柔性夹具与吸盘抓取装置, 提升了其在复杂环境中的抓取性能与适应能力, 为智能港口建设提供了技术支持与理论参考。

2 港口搬运小车的机械结构设计

机械模块由整体框架、行进机构、自适应抓取机构、夹具回转机构、起升机构以及回转锁定机构组成。整体结构如图 1 所示。

【作者简介】王宇鑫(2004-), 男, 满族, 中国吉林吉林人, 从事机械设计制造及其自动化研究。



图1 整体结构

2.1 整体框架

整体框架可分为框架主体结构和框架回转结构,主要由空心铝方管构成,通过角钢与碳纤维连接件连接而成,增加整体框架的强度和稳定性,框架回转结构与框架主体结构之间通过回转支承进行连接。

2.2 行进机构

行进机构分为回转行进和平移行进两部分。

回转行进机构由一个回转主动轮组成,包含 DJI RoboMaster M3508 P19 直流减速无刷电机、电调与车轮,通过法兰连接,保证稳定传动。回转主动轮位于框架回转结构远端,带动框架绕固定中心点做圆弧运动。

平移行进机构由两个平移主动轮和两个制动从动轮组成。平移主动轮结合 DJI M3508 P19 电机、电调、同步轮与车轮,制动从动轮由制动器、同步轮与聚氨酯车轮组成。平移主动轮与制动从动轮通过同步带连接,并对称分布在框架下部。通过平移主动轮驱动平移运动,并通过制动器使搬运小车在到达指定位置后稳定停放。

在回转行进时,回转主动轮转动,其他轮子通过制动器保持制动,使框架回转结构围绕固定点转动,从而将夹爪移动到物品正上方进行抓取。在平移行进时,回转主动轮调整至与其他轮子平行位置,转向主动轮和平移主动轮同步转动,实现搬运小车的整体平移。

2.3 自适应抓取机构

自适应抓取机构由海绵吸盘、柔性夹爪、硅胶软管、真空泵、电磁阀、气压计和丝杆组件组成。海绵吸盘通过硅胶软管与真空泵连接,气压计检测吸盘气压变化以判断抓取是否成功,配合电磁阀控制三个吸盘独立或同时工作。

抓取装置如图2所示,抓取装置包含位于中央的吸盘和两侧柔性夹爪,采用吸盘主抓取、夹爪辅助的方式,确保物品稳定抓取并在高速移动中不晃动。柔性夹爪可自适应不同大小物品,且柔性材料避免损伤物品^[5]。同时,柔性夹爪能引导物品向正中靠拢,提升抓取精度并减少识别时间,从而提高运输效率。

丝杆组件通过电机驱动,实现柔性夹爪的张合与防摇功能,进一步优化抓取与稳定性。

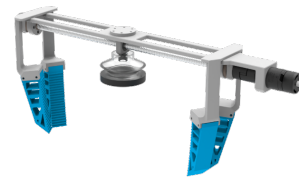


图2 自适应抓取机构

2.4 起升及夹具回转机构

起升机构由两个 DJI RoboMaster M2006 无刷电机、钢丝绳、卷筒、导轨和配套滑块组成。导轨固定在框架上,滑块与升降横梁连接,卷筒安装在无刷电机输出轴上,钢丝绳一端缠绕在卷筒上,另一端与滑块连接。通过电机转动带动钢丝绳缠绕,滑块沿导轨上下滑动,从而实现升降横梁的上下移动。

该卷扬机构由两个 M2006 无刷电机驱动,吊具可通过钢丝绳的拉力和自身重力完成上升和下降运动,保证起升和下放的稳定流畅。卷筒上始终有 3 至 5 圈钢丝绳,利用摩擦力,卷筒可以带动钢丝绳转动,上升与下降过程运行速度快。

导轨及滑块提供导向功能,确保起升机构沿竖直方向稳定运行,通过刚性连接保持货物搬运过程中的平稳性。滑块内部滚珠与轨道凹槽配合,实现低摩擦纯滚动,同时导轨可承受较大垂直力和扭矩,增强框架刚度。

为提升运输效率,设计采用“3+3”策略,一次运输三件物品,并配备夹具回转机构以切换三个抓取装置。

夹具回转机构由舵机、齿轮组、回转支承、碳纤维连接板以及其他连接件组成。连接板的三个伸臂成圆周均匀分布,末端用于放置抓取机构。通过夹具回转机构的旋转,可将抓取机构旋转至抓取位置或放置位置的正上方。夹具回转机构的应用,使得搬运小车一次可抓取三件物品,极大地提高了抓取效率。

2.5 回转锁定机构

为使搬运小车在平移行进时保持机身的稳定前进,需使各车轮之间行进方向完全相同,因此采用回转锁定机构将框架回转结构锁死固定,保证其在行进时不会发生角度偏移。

回转锁定机构由舵机、挡板与连接件构成,舵机通过连接件固定在框架主体结构上,通过舵机的转动带动挡板旋转,从而将框架回转结构锁定。该机构将框架回转机构与框架主体结构角度锁定,很好地解决了平移行进过程中机身的稳定前进。

3 项目实施方案及拟采取的研究方法和技术路线

3.1 实施方案

搬运小车使用 STM32F407ZET6 单片机作为主控单元,移动时通过红外对管对铺设的循迹线实时检测,确定搬运小

车在场地中的位置，保证行走与定位的快速、准确；抓取货物时通过 USART 串口与 OpenMV 连接，实现对指定货物的识别和抓取。

整个电控系统由 STM32F407ZET6 最小系统板、1 个 OpenMV 视觉模块、4 个直流无刷减速电机、2 个无刷电机调速器、4 个舵机、1 个舵机控制板、1 个真空泵、1 个双路继电器、3 个二位三通电磁阀、1 个摄像头模块组成。

整体控制流程如图 2-1 所示：

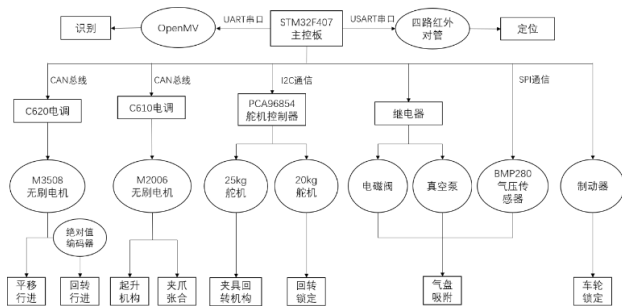


图 2-1 整体控制流程图

行进机构采用两个带编码器的 RoboMaster M3508 直流无刷减速电机驱动，具备轻巧和精准控制的优点。起升机构使用两个 RoboMaster M2006 电机驱动抓取机构上下移动，较步进电机显著提升升降效率和位置控制精度。

抓取机构配置一个舵机控制夹具回转机构，每次旋转 120° 切换夹取装置，并通过三个舵机分别控制夹爪张合，满足货物抓取需求。

搬运小车定位通过红外对管与遮光条配合实现，物品类型与位置检测依赖视觉模块，抓取成功与否则由气压计检测管路压力判断。

3.2 技术路线

3.2.1 路径规划

本项目使用 OpenMV 集成模块实现港口搬运小车的视觉识别与定位。OpenMV 摄像头是一种小巧、低功耗、低成本的电路板，支持 MicroPython 编程，具备强大的数据处理能力，可轻松应用于机器视觉任务，如人脸识别、边缘检测和色块追踪等。

该模块支持外部终端触发操作，并能将算法结果用于控制 IO 引脚，满足识别与定位需求，是本项目的理想选择。

本项目采用 OpenMV 的选型为：OpenMV4 H7 Plus。OpenMV4 Plus 版本相较于 OpenMV4 版本，具有内存更大，性能更强，灵活度更高等优点。

本项目使用 OpenMV 函数库的线段检测算法和霍夫变换算法，在一般复杂环境下实现精准检测并获取物品坐标。图像经颜色阈值的二值化处理与滤波降噪后，利用线段检测算法求出最小外接线段，并通过霍夫变换检测完整圆形并拟

合。最终，将矩形和圆心坐标传输至 STM32 芯片以完成精准定位。

该方法能高效区分物品种类和轮廓，相较于深度学习算法，显著降低运算资源需求，提升识别速度与精度。同时，可通过滤波函数进一步减少噪点干扰，确保识别效果更加稳定^[6]。

3.2.2 两步定位

高速移动：搬运小车在导轨区域高速移动以提升效率，通过加装四路红外对管，结合地面辅助黑线实现精确定位。当检测到目标位置信号时，将信号传递至主控芯片，控制减速并精确停在预设位置。

精准抓取：小车到达置物区中心后，前端转臂机构执行定轴圆弧运动，同时 OpenMV 模块随臂旋转并向下进行视觉识别。通过算法确定货物类型，并利用最小外接矩形与圆心坐标计算货物中心点。由于 OpenMV 固定在转臂上，仅作水平圆弧运动，其镜头与夹爪相对位置不变，预抓取中心点已知。检测货物中心点是否与预抓取中心点重合，不重合则调整位置，重合后完成抓取。

4 结语

本文设计并实现了一种基于双回转机构的全自动智能港口搬运小车，旨在提升港口物流智能化和作业效率。通过结合吸盘与柔性夹爪的抓取装置，达到了多形态物品的高效抓取与保护^[7]；回转和平移行进机构的协同设计增强了小车在复杂环境中的灵活性^[4]；无刷电机驱动的起升系统确保了物品垂直稳定性与快速响应。

实验表明，该搬运小车具有高效抓取、轻便结构与强系统稳定性，能显著降低港口搬运时间与人力成本。本文为港口搬运小车的智能化改造提供了技术支持，并为物料搬运的自动化解决方案提供了参考。未来将优化抓取策略并结合更多传感技术，提升系统适应性与可靠性。

参考文献

- [1] 冯慧,于巧婵,李亚斌,杨斌,王帅伟.智能港口发展展望[J].中国水运,2022(09):15-17.
- [2] 马洪峰,颜婷.塔式起重机臂架优化设计[J].起重运输机械,2022(02):42-46.
- [3] 方宝晟.面向协作机器人的系列柔性夹爪设计与应用研究[D].烟台大学,2022.
- [4] 韩波.可展式移动平衡重塔式起重机结构设计分析[D].哈尔滨工业大学,2016.
- [5] 赵东宏,卢章平,王庭俊,王武林.多点式环形自适应夹具的应用分析[J].轴承,2016(01):21-23.
- [6] 杨磊.基于视觉的室内AGV自主循迹研究[D].山东理工大学,2021.
- [7] 马威.粽子的柔性夹爪研制与抓取性能研究[D].江南大学,2022