

复合机器人工业搬运系统的研究与应用

芦建文, 郑淑霞, 吴海峰

(内蒙古新联信息产业有限公司, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 复合机器人由具有自主导航的运动底盘和机械臂组成, 自主导航运动底盘具备移动功能, 而机械臂则具备抓取能力, 这两个功能的相互融合使得复合机器人能够执行更为复杂的动作。文章开发了基于机器人操作系统 (ROS) 框架下的复合机器人工业搬运系统, 重点论述了复合机器人搬运系统中的搬运控制问题与循迹自主导航问题, 并探索如何提高其搬运效率和精确性。通过设计和实现一个可靠的控制与自主导航策略, 使复合机器人能够准确地执行工件的搬运任务。

关键词: 工业生产; 复合机器人; 搬运控制; 系统设计

中图分类号: TP242.2

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)04-0073-04

Researches and Applications of Industrial Handling System for Composite Robot

Lu Jian-wen, Zheng Shu-xia, Wu Hai-feng

(Inner Mongolia Xinlian Information Industry Co., Ltd., Baotou 014010,
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The composite robot consists of moving chassis with autonomous navigation and robot arm. The moving chassis is with the move function, while robot arm is with the grasping ability. Their mutual integration enables composite robots to perform more complex actions. In this article, it is developed the industrial handling system for composite robot based on the robot operating system (ROS) framework, focused on the problems of handling control and autonomous navigation with tracking for the system as well as explored how to improve its handling efficiency and accuracy. The composite robot could accurately perform handling tasks of workpieces by designing and implementing a reliable strategy of control and autonomous navigation.

Key words: industrial production; composite robot; handling control; system design

随着全球制造业的发展, 工业生产中的物料搬运任务变得越来越关键。传统的人工搬运方式面临着效率低下、人力成本高等挑战, 因此, 复合机器人工业搬运系统作为一种先进的自动化解决方案, 越来越受到关注。本文旨在深入探究工业复合机器人搬运控制系统, 以提高工业生产的效率和质量。通

过研究复合机器人搬运控制的关键技术和算法, 可以优化搬运路径规划, 提高搬运精确性和速度, 并为工业生产线的自动化和智能化发展提供支持。

1 复合机器人概述

复合机器人指的是将多种机器人技术和功能结

合在一起,创造出具备多种能力的机器人系统。一般来说,复合机器人由自动引导运输车(AGV)和机械臂构成。自动引导运输车具备自主导航和运输功能,而机械臂则具备精确的抓取和操作能力,这两个组件的结合使得复合机器人能够执行多样化、复杂的搬运任务。

复合机器人的核心技术包括感知技术、导航技术、动作规划和控制技术等。感知技术通过使用传感器和视觉系统,使机器人能够感知和分析周围环境,准确识别和定位物体。导航技术使机器人能够自主导航,规划最优路径并移动到目标位置。动作规划和控制技术确保机械臂的抓取和搬运动作准确、稳定。目前复合机器人已经逐渐应用于工业制造、物流和仓储等领域。在工业制造中,复合机器人可以完成物料搬运、装配、包装等任务。在物流和仓储领域,复合机器人可以实现自动化的货物搬运和仓库管理。此外,复合机器人还可以应用于医疗、农业和服务行业,为人们的生活和工作提供便利。

2 复合机器人工业搬运控制系统设计

2.1 系统整体功能和架构设计

工业复合机器人搬运控制系统主要为了实现复合机器人运动底盘自主导航和机械臂物体识别搬运过程的联动,使其达到最佳的搬运效果。根据对搬运控制系统各功能的分析,设计如下几大核心的功能模块,见图 1。

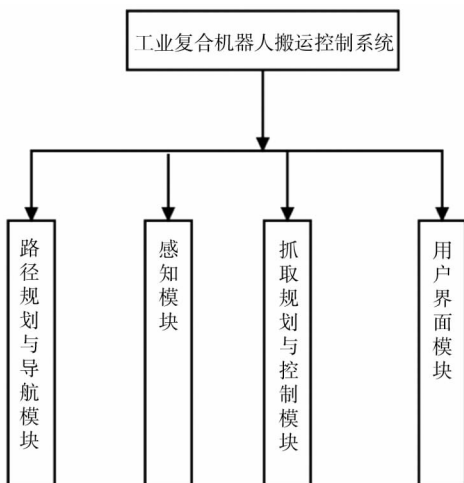


图 1 搬运机器人核心功能模块

其中感知模块主要通过传感器和视觉系统,实时感知和识别工件位置、形状、大小等信息。路径规划与导航模块是基于感知数据和场景信息,规划机器人的移动路径,并实现导航功能。抓取规划与控制模块则根据工件的属性和位置信息,执行抓取规划,并控制机械臂带动夹爪执行抓取操作。运动控制模块则负责复合机器人的整体运动控制,包括自主导航、移动、停止等功能。用户界面模块则提供用户与搬运控制系统交互的界面,如设置任务、监控运行状态等。

在整体架构设计上,复合机器人搬运控制系统的整体架构设计由多个模块组成,故在系统的设计上,通过机器人操作系统(ROS)的通讯机制进行数据交流和协调,基于 ROS 所采用面向消息的架构,通过消息传递实现不同模块之间的通讯。利用 ROS 主控节点,集成和协调所有功能模块,接收和处理来自各个模块的数据和指令^[1]。

2.2 路径规划与导航模块设计

本文所设计的复合机器人搬运控制系统路径规划与导航模块主要是针对于复合机器人的底盘智能运动控制。在 ROS 框架下,对于路径规划与导航模块的设计主要分为以下几个步骤。

首先是建图。地图是机器人自主定位、避障、规划路线的依据之一。在地图的构建上,通过加装激光雷达、深度摄像头等传感器收集机器人周围的环境数据,并基于 ROS 操作系统框架编写建图程序,通过编写一个新的 ROS 节点来控制和处理激光传感器和摄像头数据。这个节点将订阅激光传感器和摄像头的消息,将它们处理后发布地图数据。最后通过使用 ROS 中提供的可视化工具(如 RViz)订阅地图 topic,进而在图形界面中显示生成的地图,并观察机器人周围环境的建模结果^[2]。

其次是定位。为了使复合机器人能够在地图上准确地知道自己的位置,需要使用定位算法。本文基于 ROS 操作系统框架,采用激光 SLAM 和视觉 SLAM 算法为复合机器人的底盘定位,使得机器人能够实时估计自己的位置,并将其与地图进行匹配。

最后是路径规划。路径规划是确定复合机器人从起始位置到目标位置的最优路径的过程。本文在具体的路径规划设计上基于 ROS 操作系统框架下的路径规则算法,并且结合工业环境中通常存在的不确定因素,如运动障碍物、人员、机器设备等。通过引入动态规划算法并对算法加以优化补充,使得

复合机器人导航算法可以根据实时收集的数据进行路径规划,避免与移动障碍物发生碰撞,并在引入新的障碍物或调度变化时重新计算最优路径。

2.3 感知模块设计

复合机器人工业搬运系统可以实现机器人对物体的自主感知、自主决策和自主操作。在抓取技术的应用方面,可以充分利用机器人的高精度、高速度优势,实现对特定物体的高效抓取和操作,将传统人工操作改为智能机器人自动操作。抓取技术主要是通过机器人视觉和力觉感知技术实现。感知技术主要是通过深度相机获取场景图像,利用计算机视觉技术进行物体识别和定位,从而实现机器人对物体的感知。力觉感知技术是通过机器人夹爪内的力传感器获取机器人抓取物体的力信号,从而实现机器人对物体重量、硬度和粘连性的感知。

复合机器人视觉感知系统采用的是双目视觉的目标识别与定位系统,使用的是 Realsens D435i 双目 3D 相机,首先建立相机的成像和畸变模型,完成内外参数以及畸变参数的标定;然后根据机器人相机与机械臂的位置关系完成手眼标定;接着基于 HSV 色调(H)、饱和度(S)、亮度(V)颜色特征对目标物体进行识别分割,并求解目标的三维坐标,为机械臂最佳抓取位姿提供依据;最后通过试验测试视觉定位系统的精度,验证标定结果的正确性。Realsens D435i 是 3D 相机,除了有我们常用的 2D 相机的功能之外,增加了深度测量的功能,深度数据可以在程序中设定夹爪和实际抓取物体之间的距离,使得后续抓取更精准。

2.4 抓取规划与控制模块设计

在复合机器人机械臂的设计上,我们使用 RRT (Rapidly Exploring Random Tree) 算法用于机器人的路径规划。RRT 算法是一种基于树搜索的算法,通过从起始状态和目标状态分别开始,不断扩展树来连接起始状态和目标状态,直到两个树连接在一起,形成一条可行路径。在这个过程中,算法还会对树进行修剪和重连操作,以提高路径质量和效率。

RRT 算法通过引入优化算法,能够找到全局最优解,并且在搜索过程中保证路径趋于平滑。将路径规划问题转化为一个最小化代价的问题,通过不断迭代,可以得到一个较优的路径。

在 RRT 算法找到路径后,MoveIt (ROS 机器人操作系统中移动操作软件包)会将路径转化为机械臂的关节运动轨迹,这个过程包括从起始状态到目

标状态的关节运动规划和轨迹生成。MoveIt 还会实现基于关节空间的反向运动学(ik)求解器,以确保机械臂能够执行规划的路径。最终,MoveIt 会将机械臂的控制指令发送给机械臂控制器,控制机械臂按照规划的路径执行运动。

在 RRT 算法找到路径后,MoveIt 会将路径转化为机械臂的关节轨迹,MoveIt 会对路径上的每个节点进行运动学反解,得到机械臂的关节状态,然后使用插值方法在路径上生成一组机械臂的关节状态序列,这些状态序列组成了机械臂的关节轨迹。

插值方法可以根据具体需求选取,例如多项式插值、线性插值、样条插值等,这些方法可以生成平滑且符合机械臂动力学约束的关节轨迹,从而确保机械臂在运动过程中不会发生抖动或其他意外的运动。

最后,MoveIt 将生成的关节轨迹发送给机械臂的控制器,由控制器对机械臂进行控制,使机械臂按照规划好的关节轨迹运动,最终联动夹爪实现对物体的抓取功能。图 2 为机器人移动规划框架。

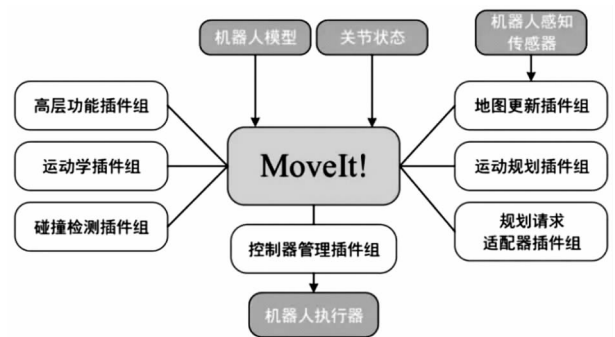


图 2 机器人移动规划框架

3 复合机器人工业搬运控制系统实现

搬运对象为外形尺寸为 $\Phi 34 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 的炼钢厂球拍形状化验钢样,如图 3 所示。复合机器人由可移动底盘与六轴机械臂组成,由计算机控制,见图 4。其他部件还有立体相机、激光雷达、GPS、IMU 等设备。

本文以图 4 所示复合机器人,基于 ROS 操作系统框架,以炼钢厂球拍形状化验钢样为搬运对象,在新联公司实验室 100 m^2 有障碍物空间内,研究开发了一套复合机器人工业搬运应用系统。搬运系统达到了机器人行走循迹误差小于 2 cm 、抓取物体动作

误差小于 0.5 cm、重复误差小于 0.5 cm、搬运物体重量小于 3 kg 的技术指标。本次所设计的复合机器人工业搬运控制系统通过进行地图构建、多点导航、路径规划,进行机械臂的视觉抓取和复杂环境的机器人导航定位。建图功能支持 Gmapping 算法,导航支持 move_base、amcl、Dwa_planner 算法,导航精度可达到厘米级别。复合机器人基于 CAN 通讯协议,可以通过 ROS 操作系统驱动包实现复合机器人底盘控制、复合机器人底盘状态信息获取、速度状态反馈,具备传感器数据可视化功能,包括激光雷达点云可视化、深度相机数据可视化。机械臂基于 MoveIt 控制运动规划,使用 smach 状态机实现协作机器人任务调度系统,基于二维码定位识别物体位置,将位姿信息提供给机械臂进行抓取,能够在机械臂的运动范围内准确抓取目标,在小物体的搬运过程中起到了很好的控制作用。



图3 搬运对象

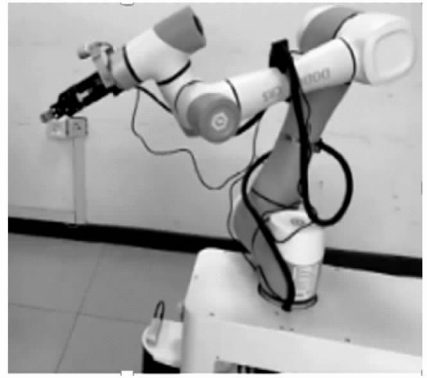


图4 复合机器人部件

4 结束语

复合机器人经过优化和调整,可实现在机械臂可达到的范围内精准控制物体的抓取,导航误差在厘米级。搬运系统与工业环境相结合,可应用于设备巡检、物体搬运、设备操作等多个领域。总的来看,复合机器人技术在优化工业领域生产制造流程、降低生产制造成本、提高生产制造效率上展示出了显著的优势。对未来工业生产智能化的发展有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] Morgan Quigley, Brian Gerkey, William D. Smart. ROS 机器人编程实践[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
- [2] 拉姆库玛·甘地那坦,郎坦·约瑟夫. ROS 机器人项目开发 11 例[M]. 北京:机械工业出版社,2020.