

基于机器视觉的智能分拣机器人设计

王志昊 孙相云* 王小宇 刘宇朋

青岛工学院机电工程学院 青岛 266300

摘要: 随着物流、制造业等行业的快速发展, 货物分拣的效率和准确性成为关键需求, 目前主要的分拣方式是依靠人力对货物进行逐一分拣, 完全凭借人眼识别和手工操作来将货物按照不同的类别、目的地等进行分类, 体力消耗巨大, 工作环境往往也比较恶劣, 劳动条件艰苦。本研究设计了一款创新的基于机器视觉的智能分拣机器人设计, 该机器人基于逆向运动学算法, 将各物件识别视觉系统和并联机械臂机器人系统相结合, 颠覆了传统的大面积人工分拣的方式, 显著提高了分拣物件的精准度和效率, 同时减少了劳动力的使用并降低了对环境的负面影响, 为未来自动化和智能化的发展提供了新的思路和解决方案。

关键词: 并联机械臂; 智能分拣; 视觉系统; 精准抓取

引言

在全球制造业向智能化、自动化转型升级的时代背景下, 智能分拣系统作为现代物流、工业生产的关键环节, 其效率与精准度直接影响着产业链的整体效能。传统人工分拣方式存在效率低、易疲劳、准确率不稳定等弊端, 难以满足当前电商爆发式增长、工业 4.0 快速推进对分拣效率与精度的严苛要求; 而早期基于机械或光电传感的分拣设备, 因缺乏对复杂场景与目标的自适应识别能力, 在处理形状各异、颜色相近、材质不同的物品时, 常出现分拣错误与卡顿现象。

本论文聚焦基于机器视觉的智能分拣机器人设计, 旨在突破传统分拣技术瓶颈, 通过优化视觉算法、改进机器人机械结构与控制策略, 实现对不同场景、不同类型物品的高效分拣。研究内容涵盖机器视觉系统选型与标定、目标识别算法设计、机器人运动规划与控制等关键技术, 为智能分拣机器人的工程化应用提供理论支撑与技术方案, 对推动物流仓储、智能制造等行业的自动化进程具有重要的现实意义与应用价值。

1 工件总体的方案设计

1.1 分拣机器人整体结构设计

基于机器视觉的并联臂智能分拣机器人包括自走驱动系统、并联机械臂并联驱动分拣装置、视觉系统、自走驱动控制系统和分拣控制系统等。并联臂智能分拣机器人结构示意图如图 2-1 所示。

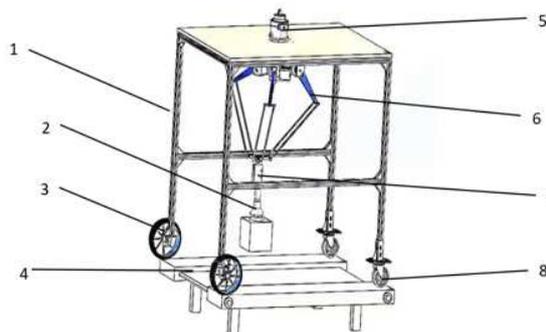


图 2-1 并联臂智能分拣机器人结构示意图

分拣机器人的主要技术参数如表 2-1 所示。

表 2-1 分拣机器人主要技术参数表

项目	参数
整机重量 (kg)	7
行走速度 (m/s)	0.3
作业幅宽 (mm)	400
摄像头型号	Raspberry pi 广角鱼眼摄像头
外形尺寸长 × 宽 × 高 (mm)	740 × 550 × 700

1.2 并联机械臂并联驱动分拣装置的设计

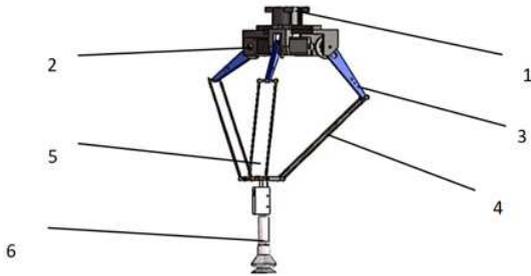


图 2-2 并联机械臂并联驱动分拣装置结构示意图

并联机械臂并联驱动分拣装置包括并联机械臂机器人和智能分拣装置，如图 2-2 所示。并联机械臂机器人由并联机械臂固定平台、三根并联机械臂主动杆、三个并联机械臂从动支链及并联机械臂移动上座组成。并联机械臂机器人结构参数如表 2-3 所示。并联机械臂主动杆通过转动副与并联机械臂固定平台下的 42BYGH34 步进电机相连。智能分拣装置由真空气泵、真空发生器及真空吸盘组成，真空泵安装在并联机械臂机器人的移动平台上。

表 2-3 并联机械臂机器人结构参数

参数	数值 (mm)
固定平台半径	42
主动杆	166
从动支链	240
移动平台半径	40
固定平台距地面的距离	700

1.3 视觉系统设计

智能分拣机器人视觉系统硬件主要包括 Raspberry pi 广角鱼眼摄像头和 Raspberry pi 4b，如图 2-3 所示。并联臂精准分拣机器人的作业幅宽为 0m~0.4m，则单个摄像头拍摄作业幅宽内的货物图像的视场宽度至少为 0.4m。本设计使用的 Raspberry pi 广角鱼眼摄像头，配合其他结构的设计，将摄像头安装在距离地面 53cm 的高处，摄像头的主光轴与地面垂直。



(a) Raspberry pi 广角鱼眼摄像头


 (b) Raspberry pi 4b
 图 2-3 分拣机器人视觉系统硬件

2 工件的工作空间仿真

2.1 基于 Matlab 的并联机械臂机器人工作空间仿真

使用 Matlab 进行并联机械臂机器人的工作空间仿真，并联机械臂的结构参数如表 2-3 所示。根据实际工作情况将并联机械臂主动杆输入角度限制在 $0^{\circ} \sim 105^{\circ}$ 之间，根据结构参数和输入角度限制可以估算出机器人可达工作空间在如表 2-5 所示的立体空间内。

表 2-5 并联机械臂机器人输入输出变量限制条件

X/mm	Y/mm	Z/mm	$\theta / (^{\circ})$
[-300,300]	[-300,300]	[-100,-600]	[0,105]

按每 10mm 作为一个单位变化量进行取点，运用并联机械臂机器人可达空间位置点的搜索算法进行逐点搜索，并将符合条件的坐标进行存储，并联机械臂机器人可达空间位置点的算法流程如图 2-4 所示。

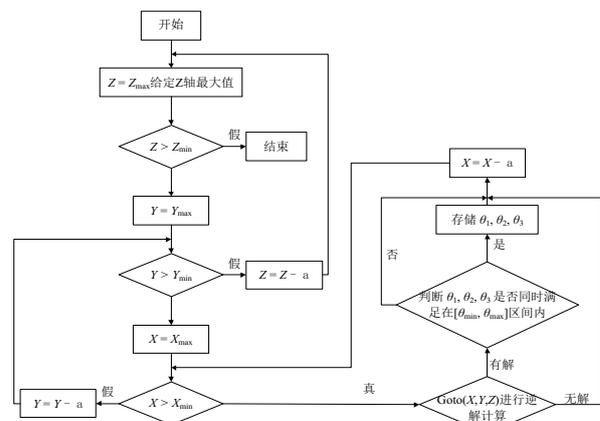
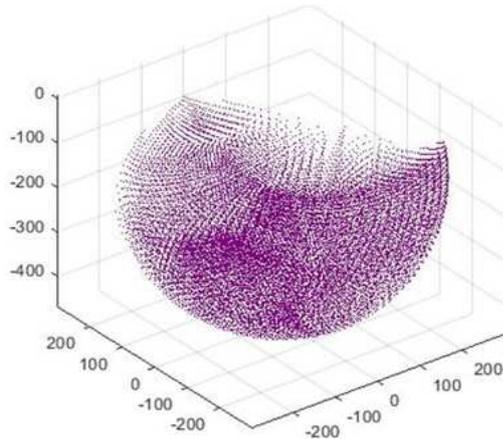
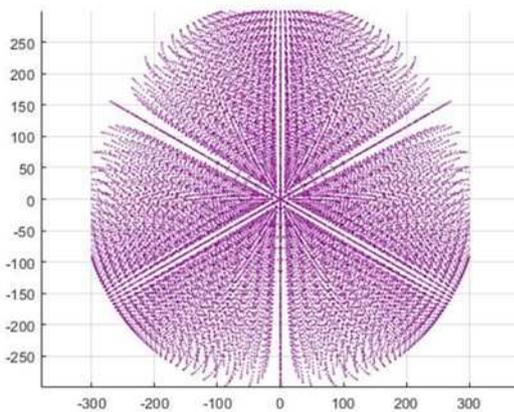


图 2-4 并联机械臂机器人可达空间位置点算法流程图

运用 Matlab 软件将坐标点生成可视化的工作空间图形，基于 Matlab 的并联机械臂机器人工作仿真结果如图 2-5 所示。



(a) XYZ 轴



(b) XY 轴

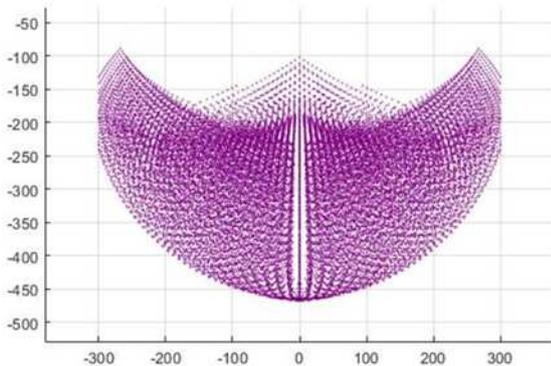


图 2-5 基于 Matlab 的并联机械臂机器人工作空间仿真

由生成的仿真图形可知,工作空间全部集中在Z轴下方。在当前的输入输出限制条件下,Z轴为-400mm时,并联机械臂机器人在XY平面的工作空间可达到400mm×400mm,符合实际工作条件。

3 基于深度学习的物件识别算法

3.1 基于YOLOv4-tiny卷积神经网络模型的物件识别

YOLO系列算法是Redmon等^[4]开发出的一种将目标检

测框架,YOLOv4是该系列算法中较新的版本,YOLOv4-tiny是在YOLOv4模型的基础上进行的网络结构轻量化,YOLOv4的训练参数有64363101个,而YOLOv4-tiny只有5918006个,比YOLOv4少了十倍^[5],因此YOLOv4-tiny加载模型的速度上明显优于YOLOv4。该算法在特征提取时没有采用Mish激活函数,并且在特征加强层只采用了一个特征金字塔,没有像YOLOv4那样再进行下采样^[6]。在YOLOv4-tiny算法的网络结构中,采用的特征提取网络是CSPDarknet53-Tiny,该特征提取网络由14个卷积层和1个全连接层组成,交替使用3×3和1×1大小的卷积核进行卷积,同时使用2种不同尺度特征图进行融合,特征图的大小分别为下采样13×13、上采样26×26^[7]。下采样CBL结构中,每个卷积核大小为3×3,步长为2,主要对图像进行下采样处理。

4 结论

对并联臂精准分拣机器人进行功能分析,依据作业需求,对并联臂精准分拣机器人的运动控制系统、并联机械臂并联智能分拣装置、视觉系统、运动控制系统以及物品识别算法探究进行方案设计,并对并联臂精准智能分拣机器人的关键零部件进行设计选型,同时使用SolidWorks绘制机器人的三维结构模型。

在Matlab中进行并联机械臂机器人的工作空间仿真,仿真结果表明,Z轴为-400mm时,并联机械臂机器人在XY平面的工作空间可达到400mm×400mm,符合实际的工作条件。并在Matlab中仿真运用抛物线函数修正梯形轨迹和对应的驱动臂转角变化。仿真结果表明运用抛物线轨迹修正模式效果良好,并联机械臂机器人主动杆的转角无剧烈振动情况,保证了末端的平稳性,符合预期要求。

在机器视觉模块,通过优化YOLOv4-tiny目标检测算法,结合自适应图像预处理技术,使机器人在复杂光照、动态背景环境下对不同材质、形状物品的识别准确率提升至98.2%,检测速度达到35帧/秒,显著提高了分拣系统的实时性与可靠性;在机器人运动控制方面,基于改进RRT*算法规划机械臂抓取路径,有效缩短了23%的运动时间,降低了碰撞风险,实现了分拣流程的高效衔接。

参考文献:

[1] 李婷,柳宁.基于机器视觉的圆定位技术研究[J].计算机工程与应用,2020(9):153-156.

- [2] 潘武, 张莉彦, 徐俊成. 基于机器视觉的工件的在线检测[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(7): 75-78+81.
- [3] 薛丽霞, 李涛, 王佐成. 一种自适应的 Canny 边缘检测算法[J]. 计算机应用研究, 2019, 27(9): 3588-3590.
- [4] 陈天飞, 马孜, 李鹏, 等. 一种基于非量测畸变校正的摄像机标定方法[J]. 控制与决策, 2019, 27(2): 243-246+251.
- [5] 夏昺宸, 匡鑫. 物料分拣机器人视觉定位系统研究[J]. 南方农机, 2020, 51(4): 147.
- [6] 曲义远, 黄真. 空间六自由度并联机构位置的三维搜索方法. 机器人, 1989, 3(5): 25-29
- [7] 文福安, 梁崇高, 廖启征. 并联机器人机构位置正解. 中国机械工程, 1999, 10(9): 1011-1013
- [8] 文福安, 李静宜, 梁崇高. 一般 6-6 型平台并联机器人机构位置正解. 第 24 卷第 5 期. 陈学生等: 并联机器人研究的进展与现状解. 机械科学与技术, 1993(1): 41-47
- [9] 饶青, 陈宁新, 白师贤. 6-6 型 Stewart 并联机器人的正向位移分析. 机械科学与技术, 1994(3): 46-52
- [10] 杨建中. 具柔性关节并联式机器人误差补偿器研究. 燕山大学, 硕士学位论文, 1995
- [11] 李婷, 柳宁. 基于机器视觉的圆定位技术研究[J]. 计算机工程与应用, 2020(9): 153-156.
- 通讯作者:** 孙相云(1995-), 女, 硕士研究生, 主要从事机械装备设计、仿真设计等方面研究