



湖南工业大学
HUNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

硕士研究生学位论文 开题报告

| | |
|------|--------------------------|
| 论文题目 | 基于 ROS2 的视觉引导 机械臂技术研究 |
| 姓 名 | 赵虎 |
| 学 号 | M23085400038 |
| 导 师 | 胡久松 |
| 所属学院 | 轨道交通学院 |
| 专 业 | 电子信息 |
| 研究方向 | 智能感知与信息处理 |
| 检查时间 | 2024 年 10 月 29 日 |

湖南工业大学研究生院

二〇二四年十月

填 报 说 明

一、研究生学位论文开题报告中的第一、二项必须采用计算机输入和打印，其它项用水性笔或碳素笔填写。

二、检查报告用 A4 纸双面打印，于左侧装订成册。各栏空格不够时，请自行加页。

三、本检查报告一式两份，分别由二级培养单位和研究生院各存档一份。

一、选题基本信息表

| | |
|---------|---|
| 课题名称 | 基于 ROS2 的视觉引导机械臂技术研究 |
| 课题来源 | <input checked="" type="checkbox"/> 导师课题 <input type="checkbox"/> 自选课题 |
| 课题类别 | <input type="checkbox"/> 国家级 <input type="checkbox"/> 省部级 <input type="checkbox"/> 市厅级 <input type="checkbox"/> 横向课题 <input checked="" type="checkbox"/> 其它 |
| 课题类型 | <input type="checkbox"/> 基础型 <input checked="" type="checkbox"/> 应用基础型 <input type="checkbox"/> 应用型 |
| 经费预算(元) | |

二、课题论证

(一) 国内外研究现状、选题目的和意义

1 研究意义与目的

近年来，随着互联网和人工智能等技术的飞速进步，全球正经历着一场由科技创新推动的第四次工业革命。在这个过程中，“中国制造 2025”战略展现了中国的科技创新实力。尤其是在抗击疫情期间，工业智能机器人的应用展现了其关键作用。例如，智能医疗机器人助力远程医疗服务；配药机器人被红十字会采纳使用；多家医疗机构已经配备了智能消毒机器人；同时，智能巡逻及测温机器人也在城市服务中得到了广泛的应用，这些都进一步证明了智能机器人在当代工业中的重要地位。随着我国制造业不断向智能化转型，对于能够灵活应对多样化生产需求的自动化解决方案的需求日益增长。机械臂作为工业自动化的核心设备之一，在现代生产线上扮演着至关重要的角色。其智能化水平不仅直接关系到生产线的效率和质量，还影响着企业的竞争力。

传统的工业机械臂往往依赖于固定的程序指令来完成特定的任务，这种方式虽然稳定可靠，但在面对多变的产品种类和快速变化的市场需求时显得不够灵活、抓取精度和鲁棒性不高、智能化程度较低，限制了机械臂在高级任务中的应用^[1]。因此，提升机械臂的智能化程度成为行业发展的必然趋势。

智能化机械臂能够通过集成先进的传感器技术和复杂的算法，实现对环境的实时感知与分析，并根据当前情况自主调整工作流程。例如，在仓储物流环节，它们能高效地完成货物的分类、拣选和打包等工作。这些功能不仅极大地提升了工作效率，还减少了人为错误的发生概率，从而保证了产品的质量。此外，随着物联网（IoT）、大数据分析以及云计算等技术的应用，机械臂还可以与其他生产产设备无缝连接，形成一个智能的生产网络。在这个网络中，机械臂不仅能与

其他设备共享信息，还能根据整体生产计划自动调整自身的工作节奏，实现资源的最优配置。

因此，基于视觉引导的机械臂抓取技术应运而生。该技术依靠智能化的机器视觉技术结合深度学习，获取目标的具体信息，并结合 ROS2 做出机械臂运动路径规划。传统的机器视觉的目标检测策略主要是通过提取图像特征比如颜色、轮廓和角点等来进行处理，进而从空间上识别并定位目标物体。一旦环境光照变化以及目标物体的形状、尺寸以及摆放位姿存在差异，传统视觉的目标识别与定位效果将会很差。传统算法的缺点非常明显，使用该算法会出现检测准确率不高、检测速度慢等情况。工厂流水线往往会处理大批量工件，传统算法显然无法满足工业生产对于实时性和精度的要求。深度学习目标检测算法对多种类或同种类不同形态物体的识别效果比较好，可以满足工厂生产对灵活性和精度的要求。使用有代表性的数据集训练目标检测模型，可以训练出满足精度和实时性要求的模型。随着深度学习算法的改进和计算机性能的提高，目标检测的精度与速度表现越来越优异，在工业实践中已经能满足实际需要。优秀的基于视觉的机械臂分拣系统应当可以快速准确地获取目标位置，并自主规划一条避开障碍物的轨迹，进而控制机械臂的夹爪沿着轨迹完成分拣目标物体的工作^[2]。

Robot Operating System(ROS)是一个灵活的框架,其提供了一套工具和库,使得不同传感器的数据可以被同步和融合。它由可重复使用的库构成,这些库设计为模块化,可独立操作,并通过消息传递层封装,以便与其他 ROS 节点互联^[3-6]。此消息的传递机制为点对点,与编程语言无关,节点间的连接由 ROS 主节点管理。基于 ROS 的机器人抓取控制系统可以规划协作机器人的运动路径,设计抓取系统驱动,并实现系统间的通信与客户端设计。通过进行协作机器人的抓取实验和仿真,可以提升机器人抓取技术的自动化与智能化水平,为视觉引导的协作机器人抓取技术提供新的思路,这对于技术革新以及促进国家智能化建设具有重要意义。

2 国内外研究现状

机械臂作为工业自动化和智能制造的核心组成部分，在全球范围内受到了广泛的关注。随着技术的不断进步，机械臂不仅在传统制造业中发挥着重要作用，也在医疗、服务、航空航天等多个新兴领域展现出了广阔的应用前景。接下来主要阐述两个方面的国内外相关领域的研究状况：一是分析国内外目标检测算法的

研究现状；二是分析国内外机械臂分拣系统的研究状况。

2.1 目标检测算法

目标检测算法是计算机视觉领域中的一个重要分支,它涉及到从图像或视频中识别出特定对象的位置和类别。随着深度学习技术的发展,目标检测算法在过去十年间经历了快速的进步。

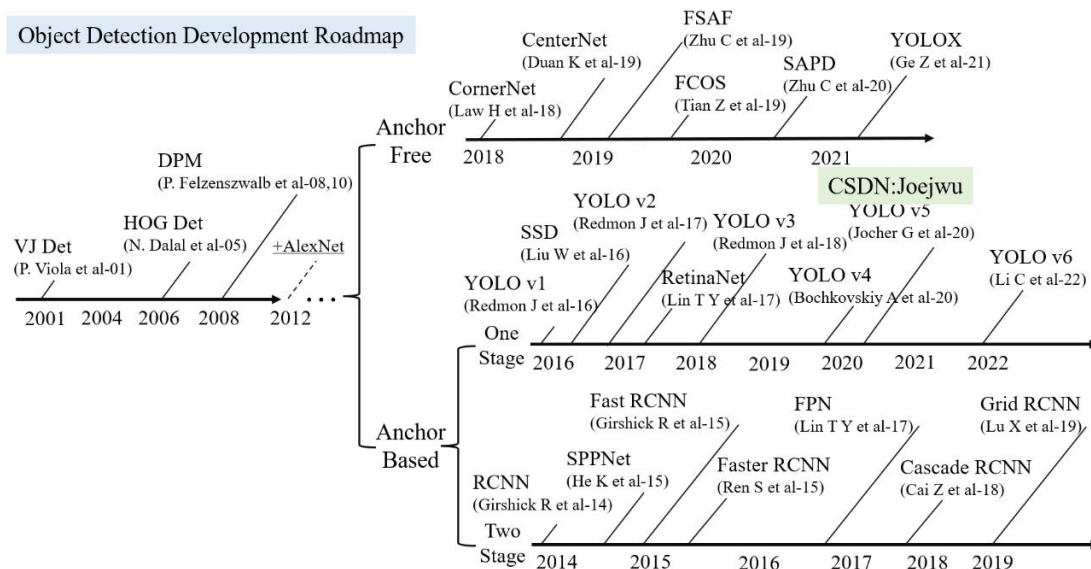


图 1 目标检测技术的主要发展历程

1973 年,日本琉球大学的研究者 Shirai 和 Inoue 首次将视觉传感器整合至机械臂控制系统中,并设计了一个开环视觉控制系统。该系统能够利用视觉信息确定目标位置,并据此指导机械手完成定位和移动^[12]。

2016 年 R.Joseph 等人发布了 YOLOv1^[15],该算法是第一个基于深度学习单阶段模型,不再使用传统的“候选框+检测”的两阶段模型,而是采用单个神经网络对整体图像进行检测和分类,其基本思想如图所示。之后, R.Joseph 又对 YOLOv1 在精度和速度上进行改进,提出了 YOLOv2^[16]和 YOLOv3^[17]。直到今年, ultralytics 官方已经发布了最新版 YOLOv11 版本,在目标检测、目标分割等方面性能都得到了一定的提升。

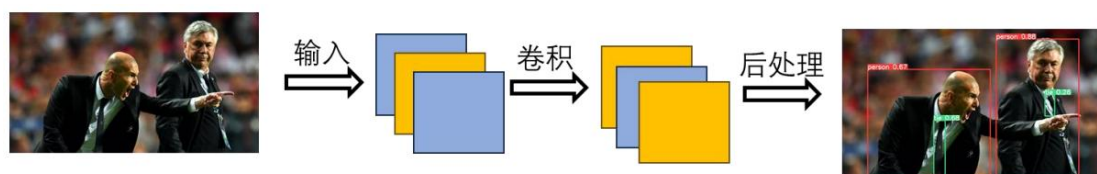


图 2 YOLO 基本思想示意图

在 2017 年, Kumra^[23]引入了一种先进的技术,即深度卷积神经网络(DCNN),

它特别适用于处理多模态图像，能够同时处理 RGB 图像和深度图像。通过结合这两种类型的图像，Kumra 的系统可以获得更全面的物体信息，从而提高姿态估计的准确性。这种方法的优势在于利用深度信息，使机器人更好地理解物体的三维结构，这对于复杂或不规则形状的物体抓取至关重要。

澳大利亚昆士兰科技大学的 Lehnert 等通过设计一种新颖的末端执行机构，并结合视觉测量技术开发了甜椒采摘机器人。对两个品种进行的初步田间试验证明了该采摘机器人的有效性，未改性作物的成功率为 46%，改性作物的成功率为 58%；此外，对于更有利的品种，该甜椒采摘机器人也能够分离 90% 的甜椒，这表明抓取成功率的提高也将提高收获性能。

在国内，目标检测算法的研究与应用同样蓬勃发展。一方面，各大高校和研究所积极参与相关领域的基础研究，发表了多项具有国际影响力的研究成果；另一方面，互联网巨头如阿里巴巴、百度、腾讯等，以及众多专注于人工智能的企业，纷纷投入资源开发高效、实用的目标检测解决方案。国内企业在实际应用中，如智能安防、自动驾驶、工业质检等方面，积极探索目标检测技术的应用场景，推动了算法的持续改进和优化。

2014 年,夏群峰^[23]团队将机器视觉应用于生产线上的机械臂,通过视觉标定和目标匹配等方法,引导机械臂抓取生产线上的物品。同年,朱家雷^[24]团队提出了一种基于双目相机的工业机器人伺服系统,利用相机标定、特征提取和匹配等技术实现了焊接机器人对焊接线的检测和定位。

虽然国内对目标检测领域的研究相对较晚，通过借鉴国外的先进技术，我国研究学者也提出了很多先进的目标检测算法，并在众多领域得到了应用^[24]。南开大学的刘云等人^[25]使用更丰富的卷积特征构建边缘检测器,通过充分提取目标的多尺度、多层次信息实现对目标的检测，取得了较好的效果。

2021 年由中国旷世科技发布了开源的 YOLOX^[26]，该算法将目标检测领域优秀进展进行巧妙组合。其主干结构与 YOLOv5 相似，但在检测阶段 YOLOX 提出 decoupled 检测头，使用无锚框方法预测目标位置，在保证精度不变的情况下，提高推理速度。

2022 年美团视觉智能研究团队发布了 YOLOv6^[27]，主要根据硬件特性设计主干网络，综合考虑硬件计算能力对网络结构的影响，设计出轻量化的主干网络，

以及利用无锚框的检测方式提升检测速度

当前,目标检测算法正朝着更加智能化、高效化的方向发展。模型的轻量化、实时处理能力的增强以及多模态信息融合等方向成为了研究热点。此外,针对特定领域或场景的目标检测算法也在不断涌现,比如针对医疗影像分析、农业监测、无人机巡检等领域的定制化算法。随着 5G、物联网等技术的发展,目标检测算法有望在更多领域得到应用,进一步推动人工智能技术的进步和社会经济的发展。

2.2 机械臂分拣系统现状

机械臂的研发最早可以追溯到上个世纪中叶,1954 年,美国发明家乔治·德沃尔(George Devol)获得了机械臂的专利(1961 年批准),而约瑟夫·恩格尔伯格被称为机器人之父,二人共同研发了世上第一台工业机械臂 Unimate,意为“万能自动”。

国外很早就开始将机器视觉应用在机械臂分拣领域上。1959 年,机械臂第一次被应用于生产线上,恩格尔伯格专注于让机器人从事对人类有利的任务。1959 年,重达 2700 磅的 Unimate #001 原型车在新泽西州特伦顿的通用汽车压铸厂首次被安装在装配线上。

1973 年,日本琉球大学开创性地研发出基于开环的视觉机器人控制系统^[7],该团队首先使用视觉算法得到一些简单目标的位置,然后控制机器人去分拣这些简单目标。由于那个时候的硬件水平差,导致目标的定位精度与机械臂的抓取效果都不太好。随着时代的进步,计算机和相机的性能越来越先进,基于视觉的机械臂分拣系统的性能逐渐提高。

普渡大学在 1996 年搭建出一套 Bin-picking 机器人分拣系统,该系统可以在比较复杂的工作环境中对目标物体进行分拣^[8],该团队对实验平台上的零件进行边缘特征处理,利用零件的圆弧边界特征实现了对零件的识别与定位,从而引导机械臂分拣零件。

在北美和欧洲地区,亚马逊推出的名为 Sparrow 的分拣机器人,展示了高度的自动化能力和精确度。这类系统通常集成有先进的传感器技术和复杂的软件算法,以实现不同类型货物的高效识别和处理。此外,双目视觉技术和视觉伺服控制技术也被广泛应用于提高机械臂的定位精度和灵活性。

中国作为全球领先的工业机器人市场之一，孕育了诸如沈阳新松机器人、安徽埃夫特、广州数控及遨博智能等一系列知名机械臂制造企业。尽管中国在机械臂的生产和销售上占据领先地位，但在核心技术层面，诸如控制系统、精密减速器以及伺服系统等关键部件的自主研发与国产化进程仍处于初步阶段。

2013 年 4 月，德国联邦政府在汉诺威工业博览会上首次提出了“工业 4.0”战略构想，这一倡议引领了全球范围内的智能制造业变革，并促使各国相继制定了各自的智能制造发展战略。继此之后，中国政府于 2015 年 5 月公布了《中国制造 2025》计划，明确将机械臂技术作为提升制造业竞争力的关键技术领域之一，力求通过技术创新推动产业升级。

在国内层面，机械臂技术，尤其是应用于物料分拣系统的研发与应用，已经取得了显著进步。随着中国制造业向更高层次迈进，众多企业正积极引入自动化解决方案，以提高生产效率并降低运营成本。以菜鸟网络为例，其在武汉建立的国内首座实现机械臂自动分拣的物流仓库，不仅彰显了中国在此领域的迅速发展，也为业界树立了标杆。此外，国内的研究工作不仅聚焦于技术革新，同时亦高度重视系统的实用价值与经济可行性。诸多实验室研究成果，例如基于 SCORBOT-Er 4u 示教机械臂开发的分拣系统，以及专门设计用于煤炭与矸石分选的机器人解决方案，均反映了研究机构致力于解决特定行业实际需求的决心与努力。

参考文献

- [1] 金晨.机器人应用场景日益拓展[N].人民日报海外版,2021-08-30(008).
- [2] 史华剑.基于深度学习视觉的机械臂自主分拣系统设计[D].深圳大学,2022.DOI:10.27321/d.cnki.gszdu.2022.001116.
- [3] S. Hernandez-Mendez, C. Maldonado-Mendez, A. Marin-Hernandez, H. V. Rios-Figueroa, H. Vazquez-Leal and E. R. Palacios-Hernandez, "Design and implementation of a robotic arm using ROS and MoveIt!," 2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), Ixtapa, Mexico, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ROPEC.2017.8261666.
- [4] 屈力刚,高凯,邢宇飞等.基于 ROS 的机械臂运动规划研究[J]. 机床与液压,2022,50(22): 43-47.
- [5] 左轩尘,韩亮亮,庄杰等.基于 ROS 的空间机器人人机交互系统设计[J]. 计算机工程与设计,2015,36(12):3370-3374.

- [6] 刘汝佳,王芳,张强等.基于 ROS 的机械臂轨迹规划研究[J].导航定位与授时,2016,3(06): 82-88.
- [7] Shirai Y, Inoue H. Guiding a robot by visual feedback in assembling tasks[J]. Pattern recognition, 1973, 5(2): 99-108.
- [8] Rahardja K, Kosaka A. Vision-based bin-picking: Recognition and localization of multiple complex objects using simple visual cues. Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems[C]. Osaka. 1996. Piscataway: IEEE, 1996: 1448-1457.
- [9] WANG Y, FAN Y, WANG D, et al. Near Relationship Enhanced Multisourced Data Fusion Method for Voice-Interactive Indoor Positioning [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2024, 11(4): 5912-9.
- [10] 陈伟华, 张铁. 喷涂机器人连续直线轨迹规划的研究[J]. 机械设计与制造, 2009(8): 178-180.
- [11] 孙亮, 马江, 阮晓钢. 六自由度机械臂轨迹规划与仿真研究[J]. 控制工程, 2010, 17(3): 388-392.
- [12] 阿斯顿, 李沐, 扎卡里, 等. 动手学深度学习[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019: 1-2.
- [13] Ramisa A, Alenya G, Moreno-Noguer F, et al. Using depth and appearance features for informed robot grasping of highly wrinkled clothes. 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. St. Paul. 2012. Piscataway: IEEE, 2012: 1703-1708.
- [14] LeCun Y, Bottou L, Bengio Y, et al. Gradient-based learning applied to document recognition[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(11): 2278-2324.
- [15] Han X, Chang J, Wang K. You only look once: unified, real-time object detection[J]. Procedia Computer Science, 2021, 183(1): 61-72.
- [16] Redmon J, Farhadi A. YOLO9000: better, faster, stronger[C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2017: 7263-7271.
- [17] Redmon J, Farhadi A. Yolov3: An incremental improvement[J]. arxiv preprint arxiv:1804.02767, 2018.
- [18] 郭庆梅,刘宁波,王中训等.基于深度学习的目标检测算法综述[J].探测与控制学报,2023,45(06):10-20+26

- [19] 刘俊明, 孟卫华. 基于深度学习的单阶段目标检测算法研究综述[J]. 航空兵器, 2020, 27(3): 44-53.
- [20] Gené-Mola J, Vilaplana V, Rosell-Polo J R, et al. KFujii RGB-DS database: Fuji apple multi-modal images for fruit detection with color, depth and range-corrected IR data[J]. Data in brief, 2019, 25: 104289.
- [21] 李小为, 胡立坤, 王琥. 速度约束下 PSO 的六自由度机械臂时间最优轨迹规划[J]. 智能系统学报, 2015, 10(3): 393-398.
- [22] G. F. Armênio. J. A. Fabro, R. De Rosa Tognella, et al. "Estimating the 3D center point of an object with Kinect sensor RGB-D images," 2023 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2023 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2023 Workshop on Robotics in Education (WRE), Salvador, Brazil, 2023, pp, 478-483.
- [23] 夏群峰,彭勇刚.基于视觉的机器人抓取系统应用研究综述[D].2014.
- [24] 朱加雷,金嘉怡,乔溪等.工业焊接机器人空间定位技术研究[D].2014.
- [25] 郑元元.智能跟随机器人关键技术研究[D].南京:南京邮电大学,2021.
- [26] Liu Y, Cheng M M, Hu X, et al. Richer convolutional features for edge detection[C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2017: 3000-3009.
- [27] Ge Z, Liu S, Wang F, Li Z, Sunet J. YOLOX: Exceeding YOLO Series in 2021[J].arXiv preprint arXiv:2107.08430,2021.
- [28] Li C, Li L, Jiang H, et al. YOLOv6: A single-stage object detection framework for industrial applications[J].arXiv preprint arXiv:2209.02976, 2022.
- [29] Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You only look once: Unified, real-time object detection. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition[C]. Las Vegas. 2016. Piscataway: IEEE, 2016: 779-788.
- [30] 董丽莎. 基于改进 Dijkstra 算法的轮式移动机械臂无碰撞轨迹研究[J]. 制造业自动化, 2022, 44(8): 66-69.
- [31] 王怀江,刘晓平,王刚等.基于改进遗传算法的移动机械臂拣选路径优化[J]. 北京邮电大学学报,2020,43(05):34-40.
- [32] 秦明阳.基于自主机器人的运动目标检测与跟踪技术研究[D].上海:上海应

用技术大学,2019.

- [33] 官文,熊杰,卢峰. 中国制造 2025 背景下工业机器人技术人才培养初探[J]. 课程教育研究,2020(11):238.
- [34] Chung W, Kim H, Yoo Y, et al. The Detection and Following of Human Legs Through Inductive Approaches for a Mobile Robot With a Single Laser Range Finder[J].IEEE Transactions on Industrial Electronics,2012,59(8):3156-3166.
- [35] 祝甜一.基于 ROS 的自主式救援机器人 SLAM 和导航系统研究[D].南京: 东南大学, 2015.
- [36] 王林军, 邓煜, 罗彬, 等. 基于 MATLAB Robotics Toolbox 的 ABB IRB1660 机器人运动仿真研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(1): 102-106.
- [37] 刘亚欣, 王斯瑶, 姚玉峰, 等. 机器人抓取检测技术的研究现状[J]. 控制与决策, 2020, 35(12): 2817-2828.
- [38] P. Phueakthong and J. Varagul, "A Development of Mobile Robot Based on ROS2 for Navigation Application," 2021 International Electronics Symposium (IES), Surabaya, Indonesia, 2021, pp. 517-520, doi: 10.1109/IES53407.2021.9593984.
- [39] G. H. Hwang, S. W. Lee and J. Jeon, "ROS2 Implementation of Object Detection and Distance Estimation using Camera and 2D LiDAR Fusion in Autonomous Vehicle," 2024 IEEE 33rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Ulsan, Korea, Republic of, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISIE54533.2024.10595707.
- [40] 卫康,张新,施永平,等.矿山爆破可移动机械臂结构及控制系统设计[J].煤矿机械,2024,45(10):9-14.DOI:10.13436/j.mkjx.202410003.
- [41] 赵岩,程家浩,王震,等.基于机器视觉工件识别定位与抓取研究[J/OL].天津理工大学学报,1-8[2024-10-21].

（二）研究的主要内容

本课题聚焦于基于 ROS2（Robot Operating System 2）框架下的机械臂抓取系统技术革新，旨在解决现今主流机械臂在抓取作业中遇到的精度与鲁棒性不足以及智能化水平较低等挑战。为此，引入了先进的 YOLOv8 目标检测算法，以实现实际应用环境中待抓取对象的高效且精准定位。通过融合目标的空间坐标数据，系统能够动态规划机械臂的抓取路径，从而有效改善了传统机械臂在抓取过程中的时间消耗与操作准确性问题。围绕这一核心理念，本研究将着重推进以下几方面的探索与实践。

具体内容如下：

1.YOLOv8 目标检测算法的研究

YOLO（You Only Look Once）是一种实时目标检测算法，因其高效性和实时处理能力而在计算机视觉领域得到了广泛应用。YOLO 的设计理念是在单次图像推理过程中完成边界框（Bounding Boxes）和类别预测，这使得它相比其他需要多次推理的算法来说更为快速。YOLO 算法的不同版本持续改进了检测精度和速度，其中官方发布的同时也是认可度最高版本包括 YOLOv5、YOLOv8 等。这些改进包括但不限于使用更深层次的网络结构、引入特征融合技术以及优化损失函数等手段来提升模型的表现。对于基于 ROS2 的机械臂抓取系统而言，YOLO 可以作为前端的目标检测模块，快速识别出待抓取物体的位置信息，进而为后续的机械臂路径规划提供必要的技术支持。

2.多坐标系下的坐标转化问题研究

在现代视觉引导的机械臂分拣系统中，机械臂末端执行器与视觉传感器的相对位置通常有两种布置方式：其一，摄像头直接安装在机械臂的末端执行器上，称为“眼在手上”模式；其二，摄像头独立安装，并未与末端执行器直接相连，称为“眼在手外”模式。若选择“眼在手上”的配置，由于摄像头随机械臂的动作不断变动，导致相对于机械臂基座的位姿关系频繁改变，进而加大了运动规划的计算复杂度。因此“眼在手外”的配置成为优选方案，它通过固定摄像头与机械臂基座的位置，减少了计算负担。

在“眼在手外”的模式下，系统不仅受益于更加稳定的视觉输入，还能通过多坐标系间的精确坐标转换技术，确保即便在复杂多变的工作环境中也能实现对

目标物体的准确识别与拾取。该设计不仅提升了视觉反馈的稳定性，还赋予了机械臂更高的灵活性与作业效率。借助精确的坐标变换算法，系统能够在不同的参考系之间实现数据的无缝同步与协调，从而显著增强整体的性能与可靠性。

3.机械臂运动规划技术研究

机械臂运动规划主要涉及路径规划以及轨迹规划两个方面。机械臂运动规划是实现其精确控制的必要前提，运动规划的路径长度、搜索时间等因素直接影响机械臂的工作效果。

路径规划是在目标检测系统获取到抓取目标的坐标后，根据爪夹的抓取位子和机械臂放置位姿，在给定的起点和目标点之间寻找一条无碰撞的路径^[23]；而轨迹规划是在已知约束的条件下，机械臂从起点至目标点的轨迹满足一定的标准要求，如轨迹平滑、关节平稳等，这一过程在实验过程中可通过仿真进行，目前在轨迹规划方面运用较多的算法是快速随机探索树（RRT）算法。其原理很简单，实际上就是维护一棵路径树：从起点开始，在空间中随机采样，并找到路径树上与采样点最接近且能与它无障碍地连接的点，连接这个点与采样点，将采样点加入路径树，直至终点附近区域被探索到。这种方式无法保证得到的路径是最优的。因此提出一种 RRT* 算法，在 RRT 基础上做了改进，主要是进行了重新选择父节点和重布线的操作。在 RRT 中，采样点最终与整棵树上和它最近的点连了起来，但这未必是最好的选择，实验的最终目的是让这个点与起点的距离尽可能近。RRT* 便对此做了改进，它在采样点加入路径树以后，以其为圆心画了一个小圈，考虑是否有更好的父节点，连到那些节点上能使起点到该点的距离更短。如果选择了更加合适的父节点，那么就把它连接起来，并去除原来的连线。在上述步骤的基础上，通过融合多项式插值法使得机械臂的运动过程更加圆滑，其原理是得到机械臂的起始点和目标点之后，可以通过位置约束、速度约束等条件来确定一个函数表达机械臂的运动路径，显然函数的次数越高机械臂越圆滑，但其也会更容易偏离机械臂本身的运动路径，因此需要多次试验来确定当前机械臂系统下最适合的多项式次数。

（三）论文（或调查报告等）提纲

摘要

Abstract

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 课题的研究背景

1.1.2 课题的研究意义

1.2 国内外研究现状

1.2.1 目标检测算法研究现状

1.2.2 机械臂分拣系统研究现状

1.3 本文工作及论文组织结构

第二章 系统总体方案设计

2.1 系统总体方案设计

2.2 硬件系统方案设计

2.3 软件系统方案设计

2.4 总结

第三章 目标检测部分设计

3.1 引言

3.2 目标检测算法分析

3.3 YOLOv8 目标检测算法

3.3.1 模型训练

3.3.2 YOLOv8 目标检测算法优化

3.3.3 优化后实验对比

3.4 相机标定

3.5 目标空间位置获取

3.6 总结

第四章 机械臂子系统设计

4.1 ROS2 软件系统架构

4.2 实验环境搭建

4.3 基于 MOVELT!机械臂仿建模与仿真

4.3.1 仿真实验环境搭建

4.3.2 机械臂抓取仿真实验

4.4 实验结果及分析

4.5 本章小结

第五章 系统实验测试与分析

5.1 引言

5.2 目标检测实验

5.3 系统集成实验

5.4 实验结果分析

第六章 总结与展望

6.1 总结

6.2 后续工作及展望

参考文献

攻读硕士学位期间参与的科研项目及主要成果

致谢

（四）研究工作拟采用的方法及需要的实验条件

1 技术路线及方法

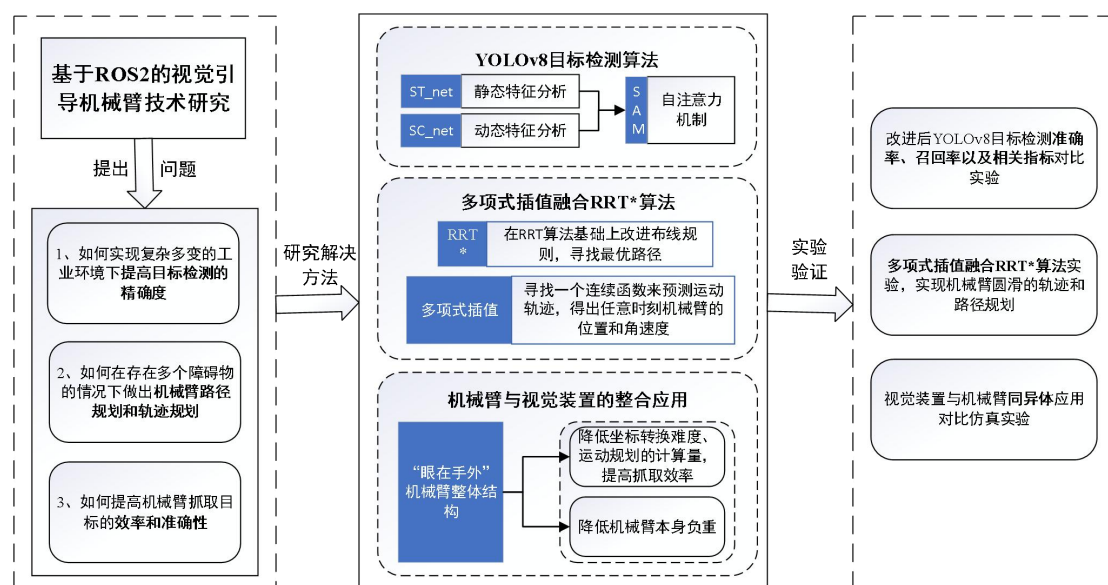


图 3 研究内容框架图

本课题针对目前视觉引导工业机械臂技术存在的部分鲁棒性较低、精确度较低以及障碍物较多情况下的运动规划难等问题，拟在目标检测方面采取一阶段的YOLOv8 算法，在运动规划上采取当前主流的多项式插值融合 RRT*算法。在二者的基础上取其优势，从视觉检测和运动规划两个方面拓展机械臂性能。

1) YOLOv8 目标检测算法

机械臂所应用的工业场景往往并非简单的静态场景，智能化的机械臂往往要求较高，首先，将借助计算机视觉技术，对视频流进行分析，主要分两个阶段捕捉目标物体的视觉特征，分别从静态特征和动态特征着手分析。同时，考虑运用数据驱动的方法，训练网络以自动学习和提取时间变化特征，以提高检测的精确性。

其次，对于如何精确地整合时空信息的问题，拟采用自注意力机制融合的算法，帮助模型更好地捕捉全局信息和局部特征之间的关系，通过对视频帧的时序关系和物体运动轨迹进行深度分析，降低时间变化下的目标物体位置变化所带来的抓取不准确等问题，能够有效扩展机械臂的应用场景。

2) 多项式插值融合 RRT*算法

首先，如何使得机械臂能够在存在较多障碍物的情况下规划出一条合理的路

径，RRT*（Rapidly-exploring Random Trees Star）是 RRT 算法的一个变种，它不仅能够找到从起始点到目标点的路径，还能逐渐改进路径的质量，使之尽可能地优化。RRT*算法在探索的同时，会评估并更新已知路径的成本，以求得一条成本最低的路径。

第二，有效做出运动规划后需要考虑如何使得机械臂整体、局部的运动更加圆滑。多项式插值在 RRT*中的作用主要是帮助进行路径优化和平滑。虽然 RRT*本身已经具备一定的路径优化能力，但在某些情况下，路径可能仍然不够理想，特别是当环境中存在复杂的障碍物时。

3) 机械臂与视觉装置的整合应用

视觉装置和机械臂的位置安装是值得考虑的一个重要问题。视觉装置安装到机械臂上，也就是前文所提到的“眼在手上”，这样做的缺点很明显。首先，在于随着机械臂的运动，视觉装置的坐标位置信息也会随之变化，这将**导致计算量扩大**，降低机械臂的工作效率。其次实验环境下采用的机械臂往往其电机的效率都不高，这样将会**增加机械臂的负重**，进一步影响目标坐标信息和机械臂实际抓取位置直接的误差。

2 实验条件

YOLOv8 算法的模型训练将在普通的 PC 上完成，其具体配置如下表所示：

| 表 1 训练平台性能 | |
|------------|----------------------------|
| PC 核心硬件 | |
| GPU | NVIDIA GeForce RTX 4070 Ti |
| 显存 | 12G |
| CPU | Intel i5-13400F |
| 内存 | 16G DDR4 |

（五）研究工作的重点难点及解决方案

重难点 1：目标检测精度不足

工业环境复杂多变，存在很多的干扰，同时根据机械臂被应用的场景又可被分为静态场景和动态场景，如何更好的融合目标的动态和静态特征，当前的算法在时空信息融合方面存在不足，导致高误判率。

解决方案

提高目标检测精度的方案有很多，拟采取以下三种来解决可能存在的问题。首先数据集要在公共数据集的基础上大量增加自创数据集，自创数据集要根据具体的工业环境、待抓取目标以及尽可能多的干扰源来制作；其次通过引入自注意力机制，优化损失函数等方式，以获得不同环境下的目标检测的最终结果。

重难点 2：连续轨迹跟踪问题

工业环境复杂，单次抓取可能存在较多不确定的障碍物，而多次抓取的障碍物又可能千差万别，如何迅速做出反应，规划出一条合理的运动路径。

解决方案

运动规划涉及轨迹规划以及路径规划。路径规划与时间没有关联，它只负责规划一条连接机械臂末端执行器起始点与目标点的直线或曲线。轨迹规划则要求规划一条与时间密切相关的轨迹，这条轨迹是机械臂的末端执行器（夹爪）位姿关于时间的函数，包括位移、速度与加速度。机械臂的夹爪经过系统规划的每个路径点，相邻两个路径点构成路径段，每个路径段有起点和终点。首先使用运动学插件求出夹爪经过起点和终点时关节对应的矢量值，然后使用多项式插值法将路径点平滑地连接起来。

重难点 3：如何根据目标物体本身特性来确定机械臂夹爪的抓取姿态和施加的压力？

为了扩展机械臂的应用场景，换言之也就是机械臂如何可以自主的根据所要抓取的物体来改变夹爪的姿态和施加的压力，从而适应更多的应用场景。

解决方案

在视觉模块的基础上，进一步优化了机械臂的抓取能力，通过将压力传感模块集成到夹爪上，形成了一个多元化的感应系统。该压力传感器模块由多个部分组成，能够在抓取过程中实时监测各个位置的壓力变化。通过这些数据，准确判

断目标物体的形状、柔软程度和大小等特征。当机械臂靠近目标物体时，系统会根据这些特征信息进行智能微调，最终确定夹爪的最佳抓取姿态及施加的压力大小，从而确保抓取的准确性和安全性。这种创新的设计不仅提升了机械臂的灵活性和适应性，还极大地提高了其在复杂环境下的工作效率。

（六）可行性分析

（1）团队层面

导师在学术方面和论文写作给出一定的指导

（2）技术支持

目前，本课题采用的 YOLO 目标检测算法以及 ROS2 开源机器人系统已经十分成熟，同时官方论坛、官方网站也提供很多的技术支持，国内外已有许多成功的具体应用案例。

（3）个人研究基础

查找与阅读国内外文献，完成了对 YOLO 系列目标检测算法以及 ROS2 机器人开源系统的具体运用实例的了解。技术方面曾参与 YOLOv8 相关项目，对模型训练以及部署具有一定的技术基础。

（4）实验设备支持

导师在实验部署和论文写作方面提供可靠的支持，在师兄们帮助下拥有良好的实验平台完成科研任务。

综上所述，本课题的研究方案、研究基础和实验条件都能保证研究工作的顺利开展，课题负责人有信心在预定的时间内完成研究工作。

（七）研究工作的预期成果和创新点

创新点：

本课题主要以目前较为主流的 YOLO 系列目标检测算法和 ROS2 机器人开发系统为研究对象。考虑目标物体的动静态特征，扩展其可应用范围；融合多项式插值 RRT*算法，提高路径规划的合理性和规划速度，从而解决传统的机械臂抓取精度和鲁棒性不高、智能化程度较低等问题，使其能够运用到部分较为高级的任务中。

预期成果：

首先通过研究发表两篇发明专利。

其次通过实验验证，设计并实现一个基于 ROS2 的视觉引导机械臂系统，该系统能够准确地抓取实验场景下的目标，并具有良好的实时性和稳定性。

（八）工作计划

本课题研究内容主要包括三个方面，为了顺利按时保质地完成研究工作，研究工作拟按实验并加以仿真来进行，保证本项目的研究工作顺利完成。工作计划下：

（一）准备阶段（2024 年 10 月—2024 年 11 月）

1.确立研究主题和对象。听取指导老师对选题的意见，思考课题研究的基本思路。

2.查阅相关资料，学习有关文献，明确课题研究的目的是、意义、方法，以保证课题的顺利进行。

3.撰写并修改研究方案。

4.请教指导老师，做好开题论证的准备工作。

（二）研究阶段（2024 年 12 月—2025 年 11 月）

1.针对已经掌握的原始资料，进行整理和分析。

2.依据研究提纲，进行具体研究，并与实践应用相结合。

3.完成中期报告，并通过中期考核。

（三）写作阶段（2025 年 12 月—2026 年 3 月）

1.完成论文初稿。

2.根据导师意见，完善和修改论文。

3.论文定稿。

三、评审意见

| | | | | |
|----------------------------|--|-----|---------|------|
| 导 师 评 语 | | | | |
| | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 签名： 日期： 年 月 日 </div> | | | |
| 评 审 小 组 成 员 | 姓 名 | 职 称 | 工 作 单 位 | 本人签名 |
| | 吴岳忠 | 教授 | 湖南工业大学 | |
| | 胡久松 | 讲师 | 湖南工业大学 | |
| | 陈玲娇 | 讲师 | 湖南工业大学 | |
| | 黎朝辉 | 副教授 | 湖南工业大学 | |
| | 黄晓峰 | 副教授 | 湖南工业大学 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

