

南京工業大學

畢業設計(論文)開題報告

學生姓名: 艾以琳 學 號: 202121155035

所在學院: 電氣工程與控制科學學院

專 業: 智能製造工程

設計(論文)題目: 智能桌面機械臂設計與實現

指導教師: 王莉

2025 年 2 月 16 日

开题报告填写要求

1. 开题报告（含“文献综述”）作为毕业设计（论文）答辩委员会对学生答辩资格审查的依据材料之一。此报告应在指导教师指导下，由学生在毕业设计（论文）工作前期内完成，经指导教师签署意见及所在专业审查后生效；

2. 开题报告内容必须用黑墨水笔工整书写或按教务处统一设计的电子文档标准格式（可从教务处网页上下载）打印，禁止打印在其它纸上后剪贴，完成后应及时交给指导教师签署意见；

3. “文献综述”应按论文的格式成文，并直接书写（或打印）在本开题报告第一栏目内，学生写文献综述的参考文献应不少于 15 篇（不包括辞典、手册）；

4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004 年 4 月 26 日”或“2004-04-26”。

毕业设计（论文）开题报告

1. 结合毕业设计（论文）课题情况，根据所查阅的文献资料，每人撰写 2000 字左右的文献综述：

文献综述

1.1 研究背景及意义

工业机械臂作为现代制造业的核心装备，通过高重复定位精度与高速运动控制，已在制造业中实现高精度、高效率的自动化生产，显著提升了汽车、电子等行业的自动化水平^[1]。然而，传统工业机械臂受限于其固有缺陷：① 本体质量普遍超 200kg，部署需专用基座；② 单机采购成本逾 5 万美元，中小企业难以承受；③ 安全交互能力缺失，无法满足 ISO/TS 15066 规定的人机协作力限制（ $<150\text{N}$ ）。这些特性导致其在医疗康复、家庭服务等非结构化场景中适用性不足。

在此背景下，智能桌面机械臂凭借 ① 基于拓扑优化的轻量化结构（自重 $<5\text{kg}$ ）；②集成六维力觉/视觉传感器实现 0.1N 级接触力感知；③ 采用关节力矩反馈控制使碰撞响应时间缩短至 10ms 级等技术突破，使其可适应多变的环境并且带来更灵活的人机协作、智能交互等能力。

国际机器人联合会（IFR）2023 年报告显示，全球服务机器人市场规模预计以 23.7% 年复合增长率扩张，预计 2025 年突破 600 亿美元，其中桌面级机械臂凭借其紧凑结构、模块化设计和低成本特性，成为机器人技术向服务领域延伸的重要载体。其中桌面机械臂在三大领域形成典型应用：精密制造、医疗辅助、教育科研。

智能桌面机械臂的持续研究与发展，具有深远的社会价值。首先，技术进步降低了创新门槛，一些开源生态（如 UR 机械臂 SDK）的出现，使得中小企业的研发成本降低了 70%，推动了机器人行业的发展；其次，部分机械臂教育套件价格已降至 2k 元区间（相比传统工业型号，价格下降了 90%），这为更多人提供了教学平台，有助于推动教育公平；此外，桌面机械臂的研究为人机共融社会的建设提供了关键技术支持。例如，随着全球老龄化的加剧（中国 60 岁以上人口比例已达到 18.7%），护理需求不断增加，桌面机械臂通过人机协作能够完成 83% 的日常辅助任务，助力改善老年人护理服务。

1.2 智能桌面型机械臂国内外研究现状

1.2.1 桌面机械臂研究现状

世界上第一台机械臂诞生在美国，早在 19 世纪 50 年代，工程师雷蒙德·戈茨（Raymond Goertz）为美国原子能委员会设计了首款远程操控的关节式机械臂[2]，用于安全处理放射性物质并降低人员风险。尽管这台机械臂的自身质量有上百千克，操作和搬运起来非常困难。这一原型机在机械架构与力反馈技术层面已实现重大突破，为现代协作机器人奠定了三大技术基石——安全交互、力觉反馈、主从控制。

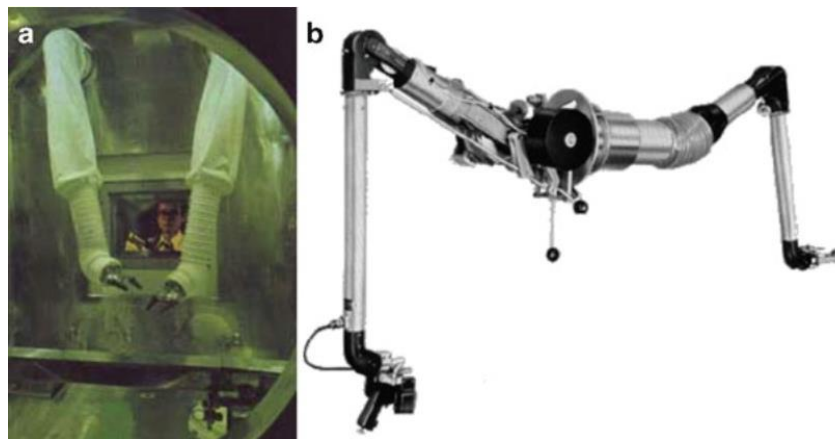


图 1 首款远程操控的关节式机械臂

UR5 机械臂[3]是由瑞典 Universal Robots 公司生产的一款 6 自由度桌面级机械臂如图 1.2a，由六个关节和挤压铝管组成，所有关节均为转动关节。该款机械臂结构紧凑，臂长 850mm，重量为 18.4kg，最大负载约为 5kg。关节重复定位精度可以达到 0.03mm。UR5 机械臂编程可通过教学编程模式实现，用户扶住机械臂，手动引导机械臂按所需的路径及移动模式运行一次，它就能自动记住移动路径和模式。UR5 机械臂可通过一套独特的、友好的图形用户界面进行操作，在触摸屏幕上有多种功能供用户选择。任何重复性的生产过程都能够使用它并从中受益，这使得 UR5 机械臂的应用十分广泛。



图 2 瑞典的 UR5 机械臂

在国内，桌面级机械臂的概念也是近几年才兴起，一些大型制造企业和研究机构也开始引入智能桌面六自由度机械臂来提升生产线的自动化水平。这在提高制造业智能化水平方面有积极的推动作用。宇树科技 (unitree) 作为中国领先的机器人公司。生产了两款桌面级机械臂。



a. 宇树科技 Z1-PRO



b. 宇树科技 D1-T

图 宇树科技桌面机械臂

其中 Z1-PRO 采用带谐波减速器的机器人关节电机，6 自由度，最大工作半径为 740mm，重复定位精度约为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，满足高精度装配任务，采用超紧凑谐波减速器及碳纤维材料，实现轻量化设计，自重为 4.5kg，负载能力： $\geq 3\text{kg}$ ，极限负载可达 5kg。关节力矩控制精度达 $\pm 0.2\text{N} \cdot \text{m}$ ，支持碰撞检测与柔顺控制。改款机械臂填补轻量型高精度机械臂市场空白，但是售价依旧昂贵，且需要部署在 Ubuntu 系统上，仅开放 ROS 接口及其 SDK，上手难度高，不便于后续升级开发。

而宇树科技 D1-T 为 6 轴（6-DOF）+1 夹爪，共 7 自由度，自重约为 2.37kg，臂展 670mm（含夹爪），采用总线数字舵机，具备位控、速控和力控功能，适用于广泛场景的应用开发和学习任务。但是受限于舵机的精度和扭矩，该机械臂重复定位精度无法满足高精度装配任务。

随着国内市场对小型桌面型机械臂灵活智能的交互方式的需求和对机械臂控制方式简便的需求，越来越多的智能交互方式的机械臂被研究设计出应用在更多场合内。

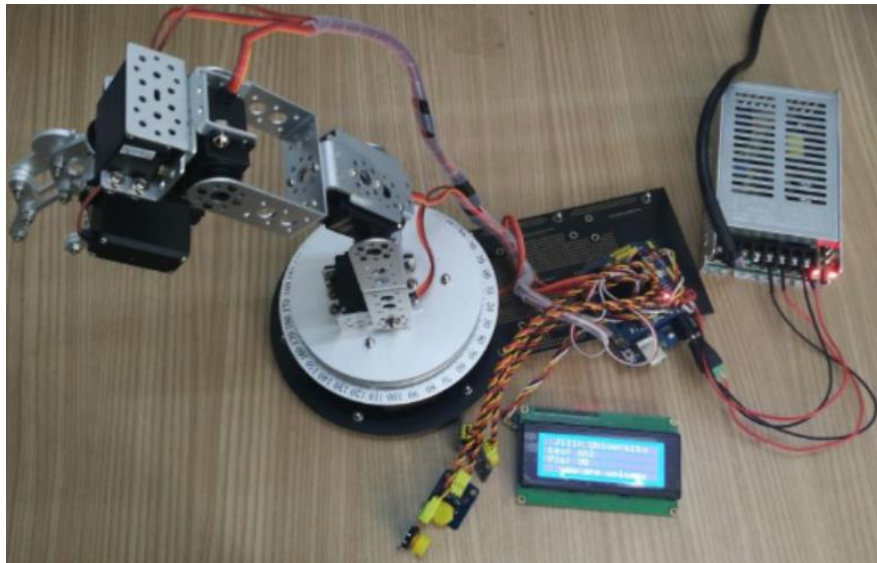


图 3 吉林大学基于 arduino 的五自由度机械臂设计

如图

1、机械结构：

- (1) 串联结构：典型代表为六自由度（6-DOF）串联机械臂，结构简单、工作空间大，但刚性低、末端精度受关节误差累积影响（如 UR3 机械臂）。

(2) 并联结构：以 Delta 机械臂为例，高速高精度，但工作空间受限，适合分拣场景（引用 XX 等 2021 年研究）。

(3) 模块化设计：如 MIT 的 Modular Robot，通过标准化关节单元快速重构，但动态性能较弱（优缺点对比）。1.2.2 机械臂智能交互方式研究现状

2、驱动机构：

(1) 舵机

(2) 关节电机、步进电机

(3) 伺服电机

3、控制算法：

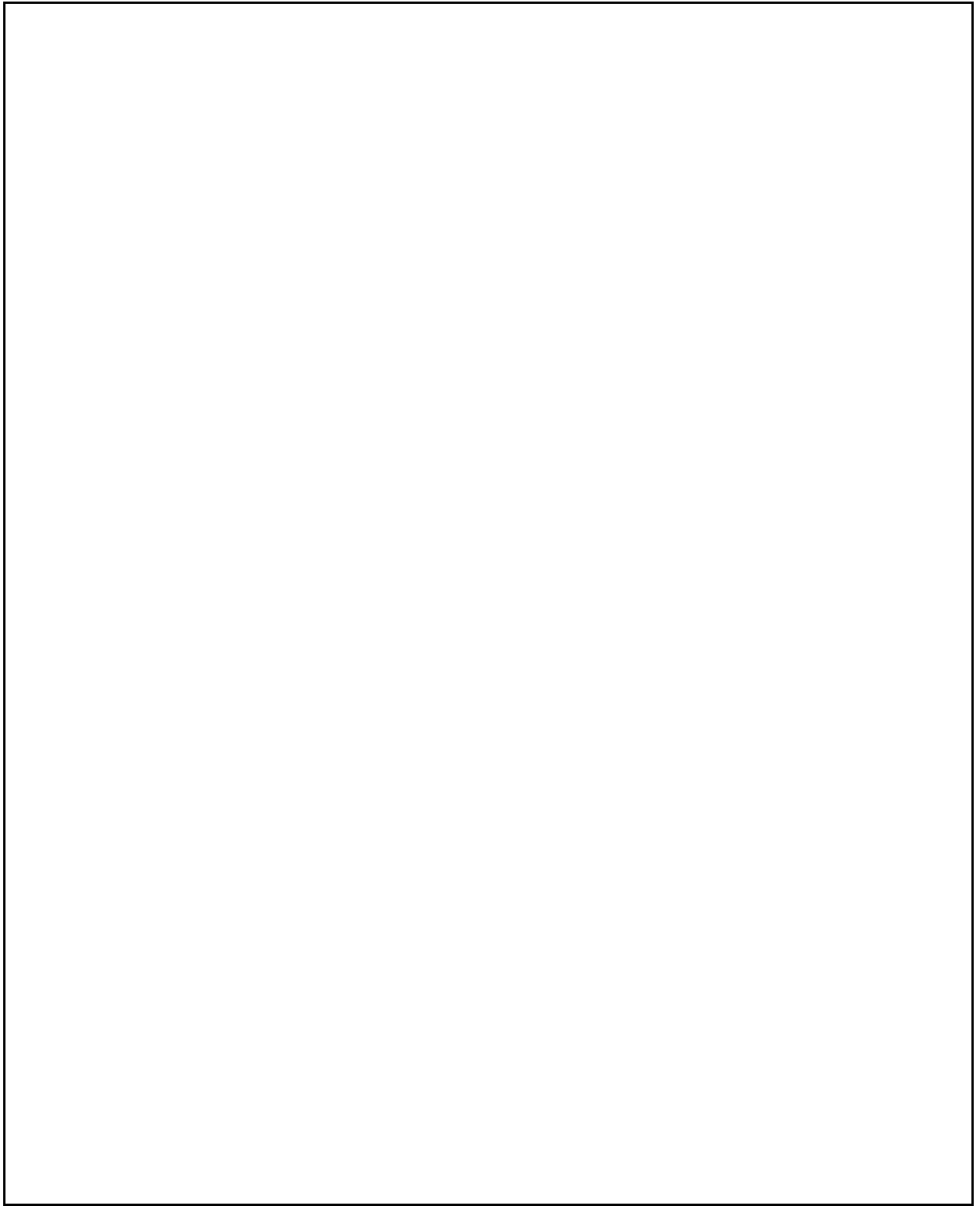
(1) 传统 PID 控制：简单易实现，但对非线性扰动（如负载变化）适应性差（举例某文献实验数据）。

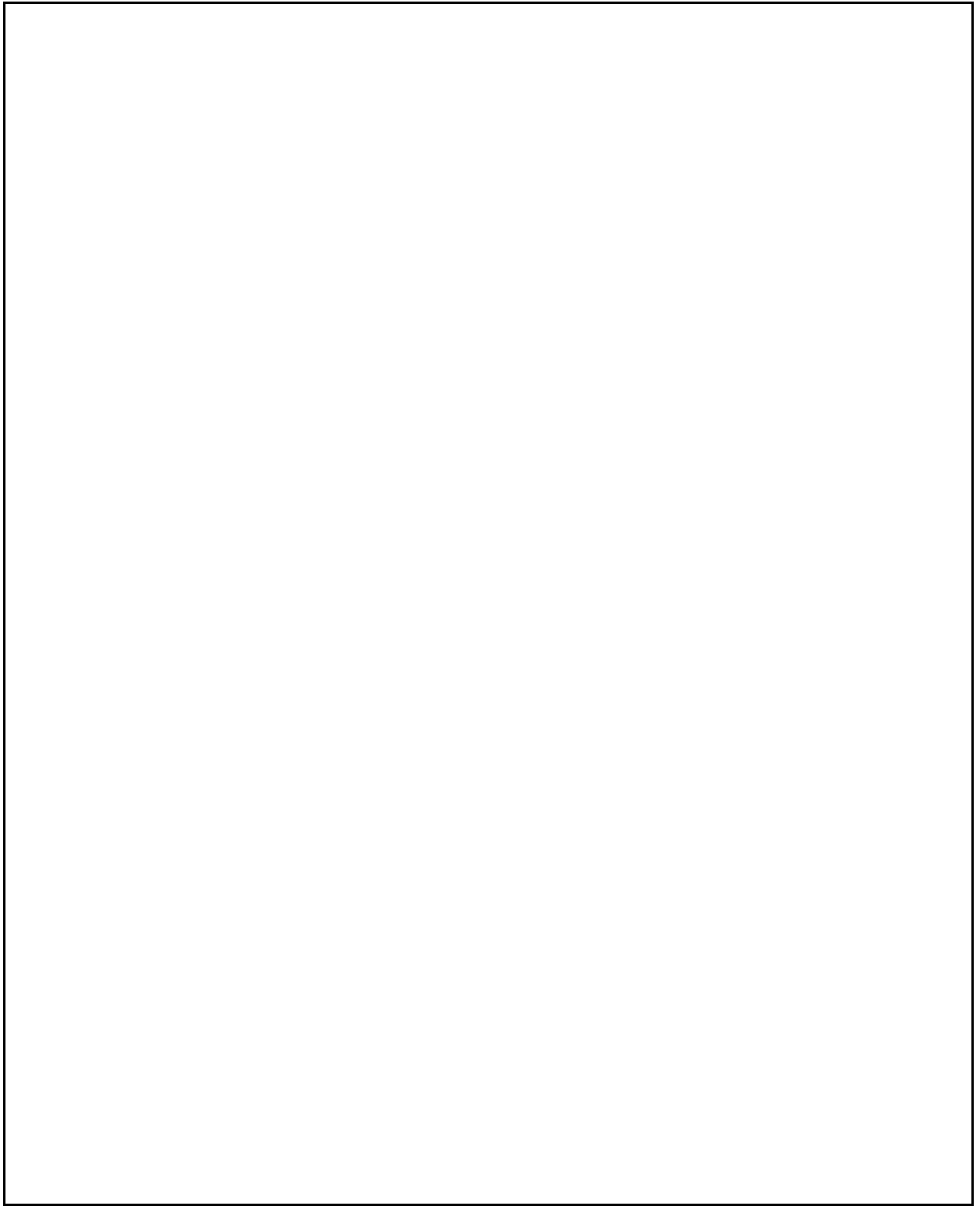
(2) 自适应控制：如模型参考自适应（MRAC），可动态调整参数，但依赖精确动力学模型（分析 XX 等 2019 年研究）。

(3) 智能算法：模糊控制（无需精确模型，适合不确定性环境）与强化学习（如 DeepMind 的机械臂抓取训练），但实时性差、需大量算力。

1.2.2 机械臂智能交互研究现状

- [1]. 赵 鹏 . 智 能 制 造 中 工 业 机 械 臂 的 精 确 控 制 技 术 研 究 [J]. 模 具 制 造,2025,25(01):190-192.DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2025.01.063.
- [2]. Rosen J, Hannaford B, Satava RM. Surgical robotics: systems applications and visions. Springer Science & Business Media; 2011. (Surgical Robotics: Systems Applications and Visions | SpringerLink) (9.2 节)
- [3]. 王 佳 , 胡 旭 晓 , 吴 跃 成 . 基 于 UR5 机 械 臂 的 轨 迹 跟 踪 控 制 算 法 研 究 [J]. 软 件 工 程,2022,25(06):45-48+17.DOI:10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2022.006.010.





毕 业 设 计 (论 文) 开 题 报 告

2. 本课题要研究或解决的问题和拟采用的研究手段(途径):

[illegible]

毕 业 设 计（论 文）开 题 报 告

指导教师意见：

1. 对“文献综述”的评语：

2. 对本课题的深度、广度及工作量的意见和对设计（论文）结果的预测：

指导教师：_____

年 月 日

所在专业审查意见：

负责人：_____

年 月 日