



北京科技大学
University of Science and Technology Beijing

密级： 公开

本科生毕业设计(论文)

题 目： 面向感知觉增强的
人机协作装配任务研究

作 者： 桂宝山

学 号： U202141118

学 院： 机械工程学院

专 业： 物流工程

成 绩：

2025 年 06 月

本科生毕业设计(论文)

题 目: 面向感知觉增强的
人机协作装配任务研究

英文题目: Research on Human Computer Collaborative
Assembly Tasks for Sensory Perception Enhancement

学 院: 机械工程学院

班 级: 物流 212

学 生: 桂宝山

学 号: U202141118

指导教师: 钮建伟 职称: 教授

指导教师: 职称:

声 明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在指导教师的指导下进行的研究工作及取得研究成果。论文在引用他人已经发表或撰写的研究成果时，已经作了明确的标识；除此之外，论文中不包括其他人已经发表或撰写的研究成果，均为独立完成。其它同志对本文所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表达了谢意。

学生签名：_____年__月__日

导师签名：_____年__月__日

毕 业 设 计 (论 文) 任 务 书

一、学生姓名：桂宝山 学号：U202141118

二、题目：面向感知觉增强的人机协作装配任务研究

三、题目来源：真实 ☒ 自拟 ☐

四、结业方式：论文 ☒ 设计 ☐

五、主要内容：

(1) 分析国内外关于 AR 可穿戴设备、感知觉增强、人机协作技术在智能制造和装配任务中的应用。

(2) 研究基于 AR 感知增强的人机协作装配框架，包括多模态感知数据采集、融合、增强以及虚拟交互方法。结合大语言模型实现实时语义解析与任务规划。

(3) 针对装配任务，开发基于计算机视觉的实时环境感知与操作关键点检测技术。在 VR/AR 设备（如 HoloLens、触觉手套）上实现可视化操作指导和实时反馈。

(4) 集成 yolov11 目标检测技术，提升装配任务中的关键点检测精度与实时性。

优化多模态数据的融合与任务分配算法，支持复杂生产环境。

(5) 进行实验验证，优化人机协作装配系统的性能，并分析关键技术的效果；

(6) 撰写毕业论文，完成相关文档和设计说明。

六、主要（技术）要求：

(1) 关键点检测精度：

在复杂生产环境下，目标检测与关键点检测的平均精度（mAP）达到合理范围。

(2) 实时性要求：

系统整体响应时间满足装配任务实时性需求

(3) 语言模型集成：

LLM 在任务规划与语义解析场景中具有基本的准确性支持。

(4) 设备适配性：

系统能够适配主流 AR 设备（如 HoloLens 2）和相关设备接口模块，确保扩展性与跨平台运行。

七、日程安排：

第 1 周～第 3 周调研国内外关于 VR/AR 感知增强、人机协作和大语言模型的应用研究。明确研究重点与技术路线，完成开题报告。

第 4 周～第 6 周：设计基于 VR/AR 的感知增强框架，完成数据采集与处理方案。准备实验硬件（如 HoloLens、）与软件环境。

第 7 周～第 9 周：开发基于计算机视觉的关键点检测与环境感知算法。实现感知增强模块的初步功能，完成 VR/AR 系统与硬件接口的集成。

第 10 周～第 12 周：集成 YOLO 目标检测技术与大语言模型，优化目标模型与大语言模型的精度。

第 13 周～第 14 周：进行实验测试，记录数据并分析关键技术性能。撰写毕业论文，整理技术文档和实验报告。

第 15 周：提交论文，完成送审与答辩准备。

八、主要参考文献和书目：

- [1]陶建华,巫英才,喻纯,等.多模态人机交互综述[J].中国图象图形学报,2022,27(06):1956-1987.
- [2]何俊,张彩庆,李小珍,等.面向深度学习的多模态融合技术研究综述[J].计算机工程,2020,46(05):1-11.
- [3]孙效华,张义文,秦觉晓,等.人机智能协同研究综述[J].包装工程,2020,41(18):1-11.
- [4]徐彦威,李军,董元方,等. YOLO 系列目标检测算法综述[J]. Journal of Frontiers of Computer Science & Technology, 2024, 18(9).
- [5]黄海丰,刘培森,李擎,于欣波.协作机器人智能控制与人机交互研究综述[J].工程科学学报,2022,44(4):780-791.
- [6]李京燕. AR 增强现实技术的原理及现实应用 [J]. 艺术科技, 2018, 31(05):92.
- [7]冯贺平,赵伯鑫.机器视觉技术在智能制造领域中的应用研究 [J]. 通讯世界, 2024, 31(10):193-195.
- [8]李帅,杨浩,李学伟.基于 AR 技术的某型初教飞机起落架设计及装配方法研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65(14):195-198.
- [9]曾笑.基于 HoloLens2 的目标检测技术研究 [J]. 现代计算机, 2021, (14):92-95.
- [10]Khanam R , Hussain M .YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements[J]. 2024.
- [11]Wang B, Zheng L, Wang Y, et al. Context-aware AR adaptive information push for product assembly: Aligning information load with human cognitive abilities[J]. Advanced Engineering Informatics, 2025, 64: 103086.
- [12]Li C, Zheng P, Zhou P, et al. Unleashing mixed-reality capability in Deep Reinforcement Learning-based robot motion generation towards safe human-robot collaboration[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2024, 74: 411-421.
- [13]Lv Q, Zhang R, Liu T, et al. A strategy transfer approach for intelligent human-robot collaborative assembly[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 168: 108047.
- [14] Wang B, Zheng L, Wang Y, et al. Towards the industry 5.0 frontier: Review and prospect of XR in product assembly[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2024, 74: 777-811.
- [15] Husár J, Knapčíková L. Implementation of augmented reality in smart engineering manufacturing: literature review[J]. Mobile Networks and Applications, 2024, 29(1): 119-132.

指导教师签字：年 月 日

学 生 签 字：年 月 日

系（所）负责人章：年 月 日

摘 要

随着小批量个性化生产逐渐成为制造业发展的主流，仅凭单一设备难以满足消费者不断变化的需求，人在生产制造中的地位不断凸显。但目前国内外对生产制造下的人机协作的研究多集中于机器方面，未能充分考虑操作人员在生产中发挥的重要作用。本文选取线缆装配这一复杂生产场景，主要研究在工业 4.0 背景下人机协作的新模式，并基于信息技术开发了一个涵盖智能生产，作业引导与人机交互等多个方面的协作系统。

本研究搭建了一套面向复杂工业产生场景的智能人机协作系统(IHCS)，通过多维融合架构实现产线效能提升：1) 基于 YOLOv11 改进的实时目标检测模块；2) 基于 IntelRealSenseD435i 的深度测距网络模块；3) 基于 UR 机器臂的控制模块；4) 基于 Hololens2 的增强现实模块；5) 基于 XXX 的大语言模型模块。该研究为工业 4.0 时代提供了可扩展的人机协作解决方案。

安全是工业生产的前提，本系统设计多维度安全保障体系：基于高精度深度相机的实时模块，可实时感知机械臂与操作人员的位置状态，并根据设置动态安全区实现机械臂的自主避障；基于 Hololens2 的增强现实系统，可将机械臂的运动轨迹预测信息集成至微软 Hololens2 中，并借助语音，视频等多模态提示机制，构建人机交互预警体系，形成人机协作安全新范式。

最后，各模块数据通信采用 TCP/IP/ROS 协议，确保信息传输的稳定性和可靠性。

实验结果表明，本智能协作系统在生产过程中对待安装点识别的准确度可以达到 90%以上，机器人定位抓取目标工件的精度误差保持在 1mm 以内，使用 VR 智能引导下操作人员的生产效率提高 20%以上，该系统能够有效的满足复杂工业生产场景下人机协作的需求，显示出其在人机协作场景下的广泛应用潜力。

关键词： 人机协作，YOLOv11，AR，大语言模型，ROS

Abstract

As small-batch personalized production gradually becomes the mainstream in manufacturing, a single machine—with its various limitations—can no longer meet the ever-changing demands of consumers, and the role of humans in production is increasingly emphasized. However, current research on human – machine collaboration in manufacturing, both domestically and internationally, has largely focused on the machine side, failing to fully consider the critical role played by operators. This paper selects the complex production scenario of cable assembly to primarily investigate a new model of human – machine collaboration in the context of Industry 4.0, and, based on information technology, develops a collaborative system that encompasses intelligent production, operational guidance, and human – machine interaction.

This study built an intelligent human-machine collaboration system (IHCS) for complex industrial production scenarios, and improved production line efficiency through a five-dimensional fusion architecture: 1) Real-time target detection module based on YOLOv11 improvement; 2) Deep ranging network module based on Intel Real Sense D435i; 3) Control module based on UR robot arm; 4) Augmented reality module based on Hololens 2; 5) Large language model module based on ChatGPT. This study provides a scalable human-machine collaboration solution for the Industrial 4.0 era.

Safety is the premise of industrial production. This system has designed a multi-dimensional safety assurance system: the real-time module based on the high-precision depth camera can sense the position status of the robot arm and the operator in real time, and realize the autonomous obstacle avoidance of the robot arm according to the set dynamic safety zone; the augmented reality system based on Hololens2 can integrate the motion trajectory prediction information of the robot arm into Microsoft Hololens2, and build a human-computer interaction early warning system with the help of multi-modal prompt mechanisms such as voice and video, forming a new paradigm of human-computer collaborative safety.

Key Words: Human – Machine Collaboration, YOLOv11, Augmented Reality, Large Language Model, Robot Operating System

Finally, data communication across all modules is implemented using TCP/IP and ROS protocols, ensuring stable and reliable information transmission.

Experimental results show that the accuracy of the intelligent collaborative system in identifying installation points during the production process can reach more than 90%, the accuracy error of the robot positioning and grasping the target workpiece is kept within 1mm, and the production efficiency of operators under the guidance of VR intelligence is increased by more than 20%. The system can effectively meet the needs of human-machine collaboration in complex industrial production scenarios, showing its wide application potential in human-machine collaboration scenarios.

目 录

摘 要	I
Abstract	III
1 绪言	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 研究现状	2
1.2.1 大语言模型（LLM）在装配任务中的研究	2
1.2.2 计算机视觉与深度学习在工业生产中的应用	3
1.2.3 人机协作理论基础	3
1.2.4 人机交互协作与机器人避障及路径规划	5
1.3 论文的主要工作和结构	6
2 研究内容与技术路线	7
2.1 技术框架设计	7
2.2 任务整体流程	8
2.3 系统软硬件架构	9
2.4 本章小结	9
3 系统设计与实现	10
3.1 计算机视觉模块开发	10
3.1.1 YOLOv11 目标检测优化	10
3.1.2 深度相机数据融合与定位精度优化	10
3.2 机械臂控制系统	10
3.2.1 运动轨迹规划与避障优化	10
3.2.2 机械臂控制与 HoloLens 数据传输	10
3.3 HoloLens2 可视化与人机交互	10
3.3.1 机械臂运动状态预测与预警算法	10
3.3.2 AR 界面与操作指导信息设计	10
3.4 LLM 在任务语义理解与规划中的应用	10
3.5 本章小结	10
4 实验与性能评估	11
4.1 实验环境与测试方案	11
4.2 目标检测与定位精度评估（mAP、误差分析）	11
4.3 机械臂任务执行成功率与误差分析	11
4.4 HoloLens2 交互系统的用户体验与避障有效性评估	11

4.5 任务整体执行效率对比分析	11
4.6 本章小结	11
5 结 论	12
参考文献	13
在学取得成果	14
致 谢	15

1 绪言

1.1 研究背景及意义

自 2021 年欧盟首次提出“工业 5.0”概念以来，世界各个制造业大国纷纷响应效仿，力求实现新一代信息技术与制造业的深度融合，提高自身的智能制造水平。中国作为世界工厂，也制定了《中国制造 2025》文件，将提高数字化和智能制造水平作为发展制造业的首要任务^[1]。

与此同时，随着经济社会的快速发展，消费者对产品的需求层次由过去的功能维度扩展到个性化需求层面。在需求侧的改变的推动下，小规模定制化生产与成组技术也正逐步取代传统的大规模生产模式成为当下制造业发展的主流。

产品的制造过程一般分为零件的制造与装配两大主要步骤。目前，对于各类零件的小批量定制生产，通过智能化，自动化生产车间等手段已取得不少突破。然而，对于装配过程的自动化，仍面临着诸多挑战，如高度精确定位，多机器人协作，高效人机协作问题等^[2]。

传统制造系统拥有强度大，精度高，不易疲劳等特点，然而在面对产品频繁迭代，工艺不断调整变化时往往由于其缺乏柔性难以适应。另一方面，工人的创造性，灵活性，适应性使其可以迅速适应新的生产工艺，但工人受体力与经验限制很大，无法长期重复某些工作。因此，如何同时结合二者的优点实现高效人机协作，对提高生产系统的柔性效率具有重要意义^[3]。



图 1 人机协同装配场景

1.2 研究现状

1.2.1 大语言模型（LLM）在装配任务中的研究

大语言模型是近年来人工智能领域取得突破最大的技术，随着工业 5.0 和智能制造的持续发展，它在工业界的潜力逐渐被挖掘，特别是在任务语义解析以及决策辅助这两个方面，语义解析上，LLM 具有理解并转化复杂人类指令的能力，可将语言指令变换为设备能够识别的操作流程，至于决策支持层面，LLM 仰仗海量的数据挖掘与分析素材，为用户输送优化的想法和辅助参考内容，当操作者遭遇复杂的装配问题时可以帮助其优选方案，推动整体生产效率与产品品质迈向更高的台阶。

东华大学的郑小虎^[4]在 2025 年提出了一种基于大语言模型的结构件加工工艺推荐方法。该方法通过微调大模型提高了其对工艺规划的能力。在实验验证阶段，微调后的大模型的 F1 测试值达到 0.894，超越了领域模型平均水平，这一成果为大语言模型在未来工业生产的应用奠定了一定基础。

如图 6 所示，香港理工大学的王湑等人^[5]提出了一种基于大语言模型的移动机器人导航方法。该方法使用大语言模型将操作者的自然语言处理为机器可执行的 python 脚本，进而实现了语音控制机器人的导航。这种方法的提出为工业 5.0 背景下新型人机关系的发展开辟了新的思路。

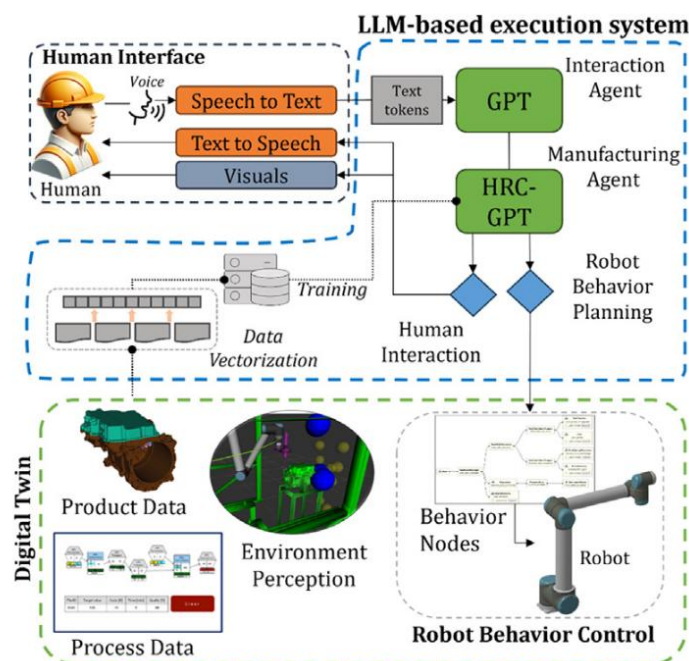


图 6 提出的基于大预言模型的人机交互执行系统的方法

1.2.2 计算机视觉与深度学习在工业生产中的应用

目标检测算法，通俗来说就是让计算机能够找到图像中的物体，并给出它们的位置和边界框的一种算法^[6]。YOLO（You Only Look Once）算法是当下热门的目标检测算法，相比传统的目标检测算法，它的主要特点是它采用了单次前向传递的方式进行目标检测。这意味着它能够在一次推理中同时预测图像中所有的目标类别和边界框。这种实时性使得在许多需要高效处理的应用中非常受欢迎，比如实时视频分析、自动驾驶和物体跟踪等。

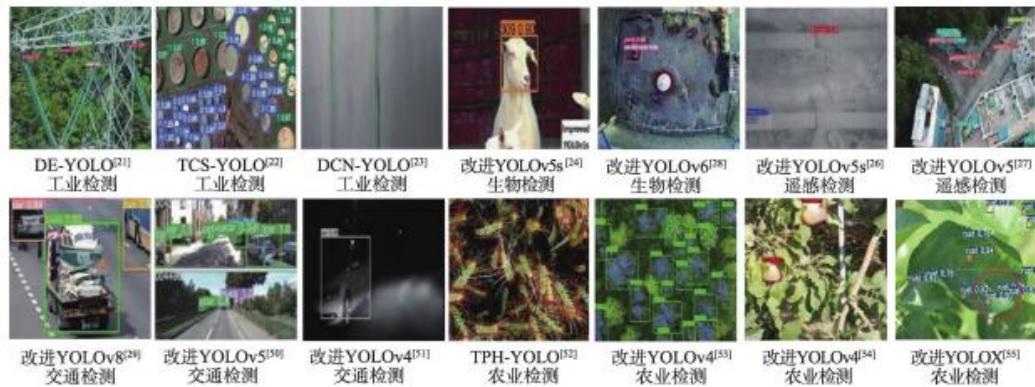


图 4 YOLO 算法在各个领域的应用

南京工业大学的陈宜涛等人^[7]设计了一种基于 YOLOv5 的工业零件智能分拣系统，该系统实现了对传送带上运动的目标零件的高效识别与定位，并将定位误差控制在 1 毫米以内，为 YOLO 系列算法在工业零件分拣中的作用提供了依据。

四川大学曾笑等人^[8]提出基于 HoloLens2 的目标检测技术，融合深度学习与混合现实。该系统运用 YOLO 算法实时精准检测现实物体，借助 HoloLens2 增强现实功能直观呈现结果，采用客户端-服务器架构，HoloLens2 采集图像发至服务器端经 YOLO 算法处理后返回信息。实验表明，该方法检测召回率和精确率高，较传统人机交互实现虚实交互，提升可视化效果。

1.2.3 人机协作理论基础

根据标准术语，人机协作（Human-Robot Collaboration）的定义为：经过专门设计的机器人和工人在协作空间内同时执行任务^[9]。即工人和机器人可

同时执行任务并联合起来，这意味着机器人和工人的活动没有时间或空间上的分离。

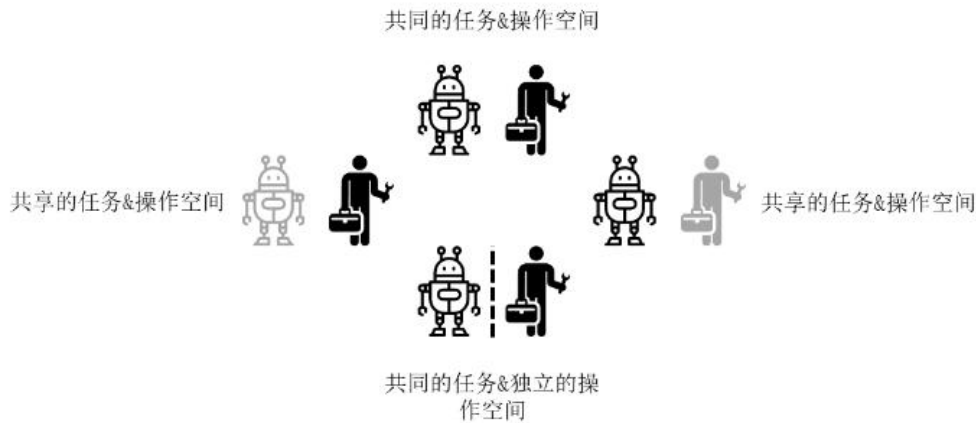


图3 工人-机器人任务和空间关系的简单分类

人机协作理论的根基在于人类与信息物理系统之间的协同进化及其关系模式的动态演变。初期的人机关系主要体现为各自独立的共存状态；随着信息技术与智能系统的不断进步，二者之间逐步由初级的交互转化为更为紧密的合作关系，最终实现了高度协同的协作阶段^[10, 11]。

表1 人机关系各阶段演进

阶段	描述
人机共存阶段	人类与机器在同一物理空间内各自独立运作，构成工业生产关系的基础。机器承担体力劳动和重复性任务，其工作区域与人类操作员在时间与空间上实现有效隔离，确保各自任务独立互不干扰。
人机交互阶段	人类与机器共享工作空间，并依据预先设定的操作流程各自承担部分任务。尽管双方协同完成任务，机器依然局限于固定控制模式，无法主动适应工作环境的动态变化。
人机合作阶段	机器角色逐渐由执行工具转变为合作伙伴。人机双方在追求共同工作目标的同时共享物理资源和数据信息，但各自保留独立操作意图。任务执行过程中，人机安全与协调交互成为重点。
人机协作阶段	通过直接或间接的信息交互实现人机间操作意图与行为策略的共享与协调。人机共同参与系统资源整合、决策控制及任务执行过程的动态调整，以满足复杂场景需求。

1.2.4 人机交互协作与机器人避障及路径规划

人机交互协作是当下智能制造研究的热点，它综合了机械的高效与操作人员的灵活特点，对于小批量定制化生产效率的提高具有重要意义。然而，对于产品的生产过程，要想同时发挥二者的优势，就必须制定合理科学的分工策略，确保人机协作过程中人的安全问题。

北京科技大学的黄海丰等人^[12]对智能控制与人机交互领域的最新进展进行了系统调研，结果显示，未来的人机交互发展应着力实现机器基于人类运动行为的主动响应协作。

中国人民解放军空军航空大学李帅等人^[13]致力于基于增强现实（AR）技术的飞机起落架设计与装配方法研究，志在提高研发效率与装配精度。他们先提取某型初教飞机起落架参数，用最小二乘定位算法优化尺寸误差；再依据建模参数构建虚拟装配场景，结合 AR 技术实现实时装配指导与检修；最后经扭力臂仿真测试，优化后的前扭力臂稳定性提升 28.65%，上扭力臂动能降低 5.65%，关键受力点负载降至-42.6N，有力确保起落架安全性能。该研究既为飞机起落架研发维护提供新技术手段，也为 AR 技术在航空制造领域应用给出实践范例。

如图 5 所示，香港理工大学的郑湃团队^[14]提出了一种将混合现实（MR）与深度强化学习（DRL）相融合的机器人运动生成方法。该方法运用 MR 技术进行手势控制及实时碰撞检测，同时结合 DRL 对机器人的运动决策加以优化，从而实现安全高效的运动规划，为人机协作的安全问题提供了一个新的思路。

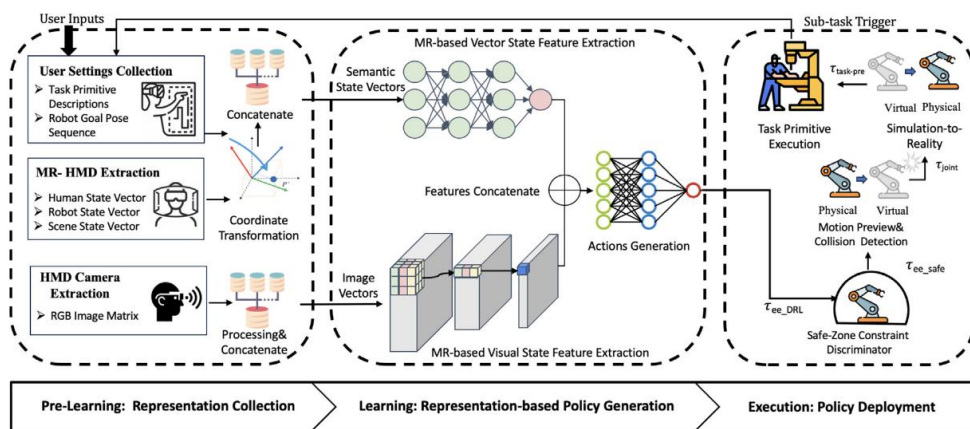


图 5 混合现实增强机器人安全运动规划和生成人机协作中的工作流程

1.3 论文的主要工作和结构

本文主要的研究内容是面向感知觉增强的人机协作装配任务研究。针对工业生产现场存在的装配精准度不足、操作人员协同效率低以及实时交互与安全保障难题，在充分调研国内外相关技术和方法的基础上，本文从多模态数据采集、目标检测、机械臂控制、增强现实交互以及智能语义解析等方面入手，构建了一套智能化的人机协作装配系统。重点工作内容分为一下 4 个部分：

（1）基于 YOLOv11+深度相机的目标检测与待安装点定位

针对装配任务中零件的识别需求，改进 YOLOv11 目标检测算法，实现对装配对象及其关键点的高精度检测。

（2）机械臂控制与实时路径规划

在 UR 机械臂平台上，通过实时路径规划算法，实现机械臂在动态作业环境下的主动避障和高效运动控制，确保作业过程的安全与稳定。

（3）增强现实交互系统设计

依托 Hololens2 平台构建 AR 交互界面，将机械臂运动轨迹和实时作业状态直观呈现给操作人员，实现装配过程中的动态预警与操作指导。

（4）智能语义解析与决策支持

集成大语言模型，对操作人员的自然语言指令进行实时解析，结合系统状态数据动态调整作业策略，为装配任务提供智能化决策支持。

2 研究内容与技术路线

2.1 技术框架设计

本文面向线缆装配这一典型工业生产场景，针对传统装配过程中连接器定位误差大、机械臂运动轨迹规划无法主动避让、操作人员缺乏装配引导与直观反馈等关键问题，构建了一种基于智能感知和增强现实（AR）交互的主动响应式人机协作框架。本文的研究方案路线如图 7 所示，该框架集成目标检测、深度感知、路径规划、自然语言交互等技术，旨在提升线缆装配的精准度、人机协同效率与安全性。具体的研究路线如图 2-1 所示：

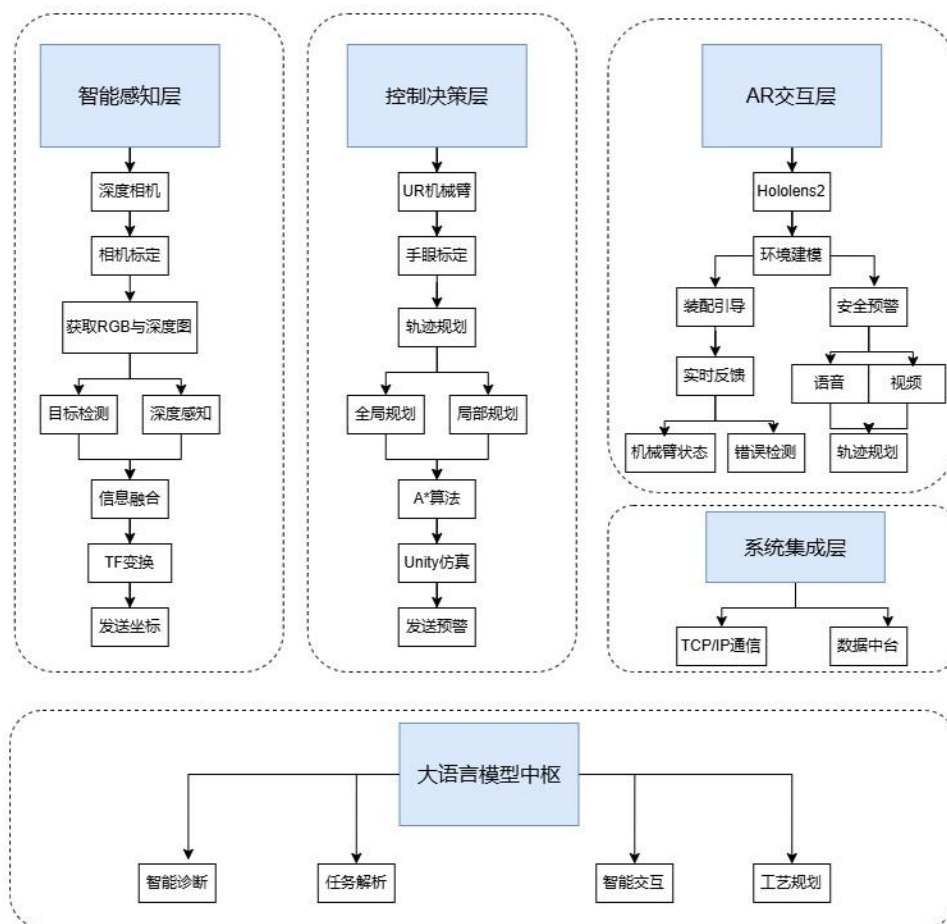


图 2-1 研究方案路线图

（1）目标检测与深度定位

通过采用目标检测算法 Yolov11 结合 IntelRealSenseD435i 深度相机，系统实现了对待安装零件的实时定位。为机械臂提供了准确实时的位置信息从

而为后续工艺提供了基础数据，该方案降低了因传统视觉方法带来的识别误差和环境干扰问题，从而保证装配过程中的可靠性。

（2）增强现实与机械臂控制

借助微软 Hololens2 硬件，实现工业生产中增强现实的效果，计划实现对机械臂的实时监控预测，并在 Unity 中进行建模仿真，以实现在 AR 界面中提前对操作人员的预警，从而保证装配过程中的安全。同时，借助 AR 界面，引导操作人员进行装配过程，以提高制造效率。

（3）大语言模型的集成：

在系统框架中引入大型语言模型模块，操作人员可通过语音获取系统各部分的状态信息，控制系统参数，并在生产制造的决策过程中获得支持。

（4）系统通信与扩展性

各设备间通过 TCP/IP 协议实现可靠、安全的通信。该技术框架具备良好的扩展性和灵活性，可根据不同复杂作业场景设计相应的 AR 程序、更换目标检测模型、设计不同的控制算法，以满足多样化需求。

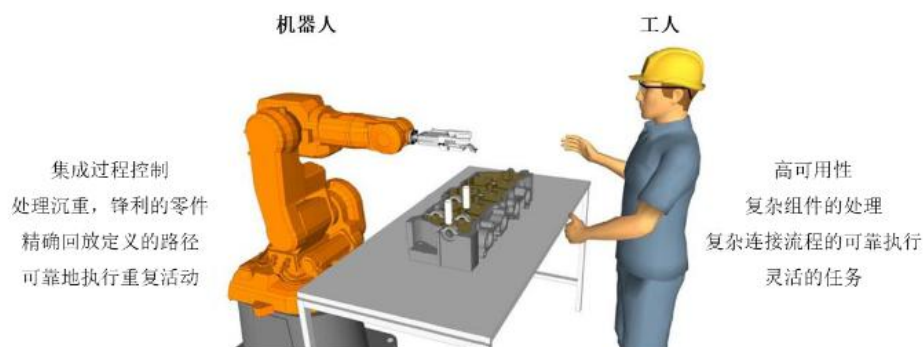


图 8 人机协作场景及二者的优势

该技术框架具有一定的扩展性与灵活性，在面对其他复杂作业时，可以设计不同 AR 程序，更换目标检测模型，设计不同的控制算法进而实现满足不同场景需要的功能。总的来说，这一技术框架为工业 5.0 背景下人机交互的发展提供了一个可以复制与验证的新思路。

2.2 任务整体流程

2.3 系统软硬件架构

2.4 本章小结

3 系统设计与实现

3.1 计算机视觉模块开发

3.1.1 Yolov11 目标检测优化

3.1.2 深度相机数据融合与定位精度优化

3.2 机械臂控制系统

3.2.1 运动轨迹规划与避障优化

3.2.2 机械臂控制与 HoloLens 数据传输

3.3 Hololens2 可视化与人机交互

3.3.1 机械臂运动状态预测与预警算法

3.3.2 AR 界面与操作指导信息设计

3.4 LLM 在任务语义理解与规划中的应用

3.5 本章小结

4 实验与性能评估

4.1 实验环境与测试方案

4.2 目标检测与定位精度评估（mAP、误差分析）

4.3 机械臂任务执行成功率与误差分析

4.4 Hololens2 交互系统的用户体验与避障有效性评估

4.5 任务整体执行效率对比分析

4.6 本章小结

5 结 论

参考文献

- [1] 国务院. 国务院关于印发《中国制造 2025》的通知: 国发〔2015〕28 号 [EB]. 2015
- [2] 高天宇. 基于复杂性的人机协作装配任务分配问题研究[D]. 吉林大学, 2020
- [3] Husár J., Knapčíková L. Implementation of Augmented Reality in Smart Engineering Manufacturing: Literature Review[J]. Mobile Networks and Applications, 2024,29(1): 119-132
- [4] 郑小虎, 陈宏博, 何方舟. 基于大语言模型的结构件加工工艺推荐方法研究[J]. 机械工程学报, 2025: 1-12
- [5] 王湑, 范峻铭, 郑湃. 基于大语言模型的人机交互移动检测机器人导航方法[J]. 计算机集成制造系统, 2024,30(5): 1587-1594
- [6] 徐彦威, 李军, 董元方, 等. YOLO 系列目标检测算法综述[J]. 计算机科学与探索, 2024,18(9): 2221-2238
- [7] 陈宜涛, 方成刚, 张文东, 等. 基于机器视觉的工业零件智能分拣系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2024(6): 24-29
- [8] 曾笑. 基于 HoloLens2 的目标检测技术研究[J]. 现代计算机, 2021(14): 92-95
- [9] Wang L., Gao R., Váncza J., et al. Symbiotic Human-Robot Collaborative Assembly[J]. CIRP Annals, 2019,68(2): 701-726
- [10] 陶雪琼. 人机交互发展历史与趋势研究[J]. 科技传播, 2019,11(22): 137-139
- [11] 杨赓, 周慧颖, 王柏村. 数字孪生驱动的智能人机协作: 理论、技术与应用[J]. 机械工程学报, 2022,58(18): 279-291
- [12] 黄海丰, 刘培森, 李擎, 等. 协作机器人智能控制与人机交互研究综述[J]. 工程科学学报, 2022,44(4): 780-791
- [13] 李帅, 杨浩, 李学伟. 基于 AR 技术的某型初教飞机起落架设计及装配方法研究[J]. 自动化应用, 2024,65(14): 195-198
- [14] Gkournelos C. An LLM-Based Approach for Enabling Seamless Human-Robot Collaboration in Assembly[J]. CIRP Annals - Manufacturing Technology

在学取得成果

- 一、 在学期间所获的奖励
- 二、 在学期间发表的论文
- 三、 在学期间取得的科技成果

致 谢