

人机协同作业中智能体关键技术研究 with 系统实现

沈丽珍

浙江机电职业技术大学, 浙江 杭州 310053

DOI: 10.61369/VDE.2026050020

摘 要 : 随着工业技术的不断发展, 人机协同作业也成了行业发展的大势所趋。其核心是依托智能体搭建人机交互桥梁, 最终实现人类创造力、决策力和机器计算力、执行力的深度融合, 有效提升复杂任务的执行效率、精度与安全性。本文在阐述人机协同作业与智能体相关理论基础的同时, 就人机协同作业中智能体关键技术以及系统实现的路径进行了探讨, 旨在为相关人士提供一些借鉴, 同时为人机协同作业的规模化应用提供一定的参考。

关 键 词 : 人机协同作业; 智能体; 关键技术; 系统实现

Research on Key Technologies and System Implementation of Agents in Human-Machine Collaborative Operations

Shen Lizhen

Zhejiang Polytechnic University of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou, Zhejiang 310053

Abstract : With the continuous development of industrial technology, human-machine collaborative operations have become an inevitable trend in industry development. Its core lies in building a human-machine interaction bridge relying on agents, and ultimately realizing the in-depth integration of human creativity, decision-making capabilities with machine computing power and execution capabilities, so as to effectively improve the efficiency, accuracy and safety of complex task execution. While elaborating on the theoretical basis of human-machine collaborative operations and agents, this paper discusses the key technologies of agents in human-machine collaborative operations and the paths of system implementation. It aims to provide references for relevant personnel and offer certain guidance for the large-scale application of human-machine collaborative operations.

Keywords : human-machine collaborative operations; agents; key technologies; system implementation

当前, 我们已然步入了数智化时代。大数据、人工智能等数智技术在为人们生活各个领域提供便利的同时, 也为工业产业的转型与发展带来了巨大机遇。在此背景下, 人机关系已经逐渐从以往的“执行指令”向着“人机共创”方向转变, 人机协同也成了工业行业发展的重要方向。智能体作为人机协同作业的核心所在, 承担着动作执行、指令识别、任务规划以及环境感知等功能, 其技术水平如何将对人机协同作业质量产生直接影响^[1]。而面对当前传统智能体存在的指令捕捉不精准、多模态感知以及融合能力不足等问题, 我们有必要深入探讨人机协同作业中智能体关键技术及其系统的实现路径, 进而为人机协同技术更高效、更安全、更自然地发展贡献力量。

一、人机协同作业与智能体相关理论基础

(一) 人机协同作业的核心内涵与分类

对于人机协同作业而言, 其指的是人类和智能体基于各自的能力优势, 通过实时交互、信息共享与任务协同, 共同完成单一主体难以高效执行的复杂任务的过程。因此, 它有着较强的互补性、智能性特征, 可以灵活感知环境与参数变化, 基于用户的指令和意图来智能调整作业路径, 从而高质量达成生产目标。从作业场景以及协同模式角度来看, 人机协同作业可以分为以下几种类型: 一是人工主导、智能体辅助的作业模式^[2]。这一过程中人类负责一些灵活操作以及决策, 智能体则负责执行一些高精度、高强度和重复性的辅助任务; 二是智能体主导, 人工监督的作业

模式。这一过程中, 智能体将自主执行一些高复杂、高精度的任务, 人工则主要是对智能体的作业过程进行监督, 及时发现异常并进行干预; 三是人机协同决策。即人工和智能体通过信息交互来共同完成实践作业和相关决策。

(二) 智能体在人机协同作业中的定位与核心功能

在人机协同作业中, 智能体扮演者感知者、执行者、交互者等多重角色, 承担着连接人类与作业环境、其他智能设备的任务。其具体的功能包括以下几个方面: 一是环境感知, 通过各类传感器来对作业环境的动态信息、人类动作信息等进行精准捕捉; 二是意图理解, 即对人类的动作、语言、表情等信息进行收集, 精准理解人类的意图; 三是任务规划, 基于人类的意图、作业目标以及环境约束等综合因素来对任务进行拆解, 对资源进行

合理分配，制定最优的协同作业方案；四是执行反馈，基于实际的执行过程，将人机协同作业状态和异常情况反馈给人类，并结合人类反馈进行作业调整^[3]。

（三）人机协同智能体的发展现状与面临的挑战

近年来，随着人工智能技术的不断发展，人机协同智能体也迎来了快速发展期。在工业领域就智能体的人机协同作业得到了普遍应用，大幅提升了工业生产效率与质量；在服务领域，人机协同下的餐饮、住宿等服务新业态也在悄然兴起，这也直接提升了服务的质量和客户满意度；在科研领域，人机协同智能体应用也较为普遍，如 HILMA 框架通过人机协同与多智能体技术，从海量文献中生成高质量科学假设^[4]。但是，我们也能够看到，人机协同智能体也面临着一定的现实挑战。首先，是感知精度有待进一步提升。其次，是意图理解泛化能力不足，容易出现理解错误的情况。再者，是动态规划能力较为薄弱，难以灵活调整和规划作业任务^[5]。此外，安全协同机制不完善以及系统兼容性较差等问题也较为突出，这些挑战存在也影响着人机协同智能体的规模化应用。

二、人机协同作业中智能体关键技术研究

（一）多模态感知技术

在基于智能体的人机协同作业中，多模态感知技术作为重要的基础，主要是通过融合视觉、听觉等多种感知模态来精准把握人类意图以及环境信息，从而更好地执行人机协同作业任务。以视觉感知模块为例，其主要是采用“YOLO 模型 + 迁移学习”的融合方案，通过 3D 深度相机、工业相机捕捉人类肢体动作、面部表情、作业场景图像等信息，在此基础上，依托 YOLO 模型来对人类行动、物体位置等信息进行精准识别，结合迁移学习来提升复杂环境下的识别精度，从而有效解决光照变化、遮挡等场景下的识别难题。而为了促进各个模态信息的有效融合，多模态技术可引入注意力机制，从而对不同感知模态的信息进行权重分配，重点关注与人类意图、作业任务相关的感知信息，抑制无关干扰信息。此外，还可以引入 RAG（检索增强生成）技术来实时检索相关关键词与场景信息，进一步提高信息感知灵敏度，让感知效果大幅提升^[6]。

（二）人机意图理解技术

人机意图理解技术，顾名思义，指的是通过分析人类语言、表情等多模态信息来精准识别其意图，进而对作业模式进行优化调整的技术。通常来说，它是基于大语言模型（LLM）以及上下文感知的一种意图理解技术，能够结合多模态感知信息来对作业场景的上下文进行调整，及时更新作业指令达到高质量的人机协同目标^[7]。例如，在工业装配场景中，依托智能体来对人类的手持零件动作进行精准捕捉，通过人类语言、手势等信息来识别其具体的装配指令，然后对作业任务的上下文信息进行精准调整，从而以符合人类意图的姿态和动作来配合人类完成装配任务。

（三）动态任务规划技术

该技术作为智能体实现高效人机协同的关键，主要是基于人

类意图、作业目标以及实时环境等要素，对作业任务进行动态调整、对资源进行科学分配，同时制定最优的协同作业方案。通常来说，人机协同作业场景中，任务的需求并非一成不变的，同时环境状态也在不断地发生变化，当出现任务需求变化或环境状态波动（如设备故障、出现障碍物等）时，则可以依托动态任务规划技术来实现任务的动态拆解、分配与优化^[8]。

（四）安全协同控制技术

安全协同是人机协同作业的前提，尤其是在人机近距离协同作业的场景下，该技术的应用能够有效保障人类的人身安全和机器的运行安全。当前，该类技术已经发展为基于多模态反馈下的安全协同控制技术，能够形成“主动防护 + 实时监测 + 应急处理”的立体化安全防控体系，充分保障人机协同下的作业安全性^[9]。其中，主动防护主要是通过力控柔顺控制与碰撞检测规避技术实现；实时监测机制通过多模态感知模块来对人类与智能体的状态进行检测，及时发现异常并进行反馈；应急处理则是基于不同的突发情况与异常场景自行采取应急处理方案，通过停止智能体运动等方式来保障人身与财产安全，全面提升安全协同控制的可靠性。

三、人机协同智能体系统实现

（一）系统实现的核心原则与整体思路

人机协同智能体系统的实现主要以多模态感知、人机意图理解、动态任务规划、安全协同控制这几项技术为核心，并且应当遵循逻辑闭环、场景适配以及可扩展性较强等原则，搭建“感知 - 理解 - 规划 - 控制 - 协同”的逻辑框架，促进人类与智能体的协同作业。其系统实现的核心逻辑是：通过人机协同以及智能体自主决策等理论，将相关关键技术进行整合，在此基础上，构建层次化的系统架构，明确各个模块的核心功能与交互逻辑，保障系统能够实时采集信息、精准捕捉意图、动态适配环境、安全高效运行，此外还应具备良好的可扩展性，从而更好地适应人机协同作业下的复杂环境与多变任务需求。

（二）系统分层架构的实现逻辑

人机协同智能体系统实现应当采用分层架构设计，从下到上依次为感知层、核心控制层、协同交互层，各层相互关联、协同工作，形成完整的人机协同闭环。首先，感知层的实现主要是基于多模态融合理论，对视觉、听觉以及触觉等信息进行整合，然后通过注意力机制来科学分配信息权重，输出统一的特征向量，以此来为核心控制层提供可靠、精准的可感知信息。需要注意的是，这一层应当兼顾抗干扰性以及灵活性，能够在复杂环境中精准捕捉人类状态与环境变化信息并及时反馈。其次，核心控制层的实现主要是发挥智能体的自主决策功能，通过多模态感知信息来理解人类意图，然后对作业场景进行调整^[10]。同时，能够基于多智能体强化学习算法，实现复杂任务的动态拆解、资源分配与路径优化，适配任务与环境的实时变化。此外，安全协议模块通过力控柔顺控制、预碰撞预警等技术，实现人机协同的安全防护与应急处置，确保协同作业的安全性。再者，协同交互层的实

现主要是基于人机自然交互原理，构建多样化的交互接口与协同机制。

（三）系统各核心模块的理论实现路径

基于系统分层架构，各核心模块的实现需依托相关关键技术，明确具体实现路径以保障技术落地可行性与逻辑性。首先，多模态感知模块，要对传感器选型部署、预处理感知数据等加以明确，依托注意力机制构建融合网络，同时将检索增强生成技术引入进来，以提高其适应性。其次，人机意图理解模块则需要搭建语言模型以及语料库，融合多模态特征与上下文构建模型并设计意图更新机制。再者，动态任务规划模块则应当引入训练范式，以此来精准拆解任务，基于环境变化、人类意图分析来对协同机制进行调整。最后，安全协同控制模块，应当构建立体化的安全体系，包括完善监测机制、优化相关算法以及明确应急处理方案等等，以此来保证协同作业的安全性。

（四）系统实现的关键保障与可扩展性设计

系统实现的关键保障体现在两个方面，首先，从理论角度来

看，人机协同智能体系统的实现应当明确人机协同共生智能自主决策等理论基础。其次，从技术角度来看，要对四大关键技术进行整合运用，保证各个模块之间的有效衔接，同时兼顾技术成熟性和先进性。而扩展性设计应当本着模块化的思路，保证各个模块独立运行的同时，统一交互接口，以此来为后续的升级奠定坚实基础。在此基础上，要构建各类场景下的适应方案，以此来保证参数的快速调整，使系统的适应性得到提升。最后，设计标准化数据接口与协同协议，支持多智能体、多设备接入，为规模化应用奠定基础。

总的来说，随着科学技术的不断发展，人机协同作业也将得到更为广泛的运用。其系统的实现应当注重多模态感知、人机意图理解、动态任务规划以及安全协同控制技术的深度融合，不断优化智能体性能、完善系统架构，破解当前人机协同发展中的技术瓶颈，推动人机协同作业向更智能、更高效、更安全的方向迈进，为工业转型升级与数智化发展注入持久动力。

参考文献

[1] 胡婷，白铎，徐鑫. 多智能体强化学习在无人机同路规划中的应用研究 [J]. 九江学院学报 (自然科学版), 2025, 40(04): 18–22.

[2] 莫智斌. 基于强化学习的多智能体人机协同决策与行为控制研究 [D]. 福州大学, 2023.

[3] 杨诗怡. 基于大语言模型的家用人形机器人任务规划方法的研究与实现 [D]. 北方工业大学, 2025.

[4] 冯世荣. 基于多智能体强化学习的多无人机协同控制决策算法研究 [D]. 河北师范大学, 2025.

[5] 杨大鹏，龚资浩，王小也，等. 基于多智能体强化学习的无人机协同截击机动决策研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2025, 47(09): 3076–3085.

[6] 黄伟烨，陈希亮，赖俊. 面向人机协作的智能体训练方法研究综述 [J]. 计算机科学, 2025, 52(10): 176–189.

[7] 龚德超. 基于分层多智能体深度强化学习的无人机集群协同对抗研究 [D]. 东南大学, 2024.

[8] 金立帅. 基于多智能体强化学习的无人机协同研究 [D]. 电子科技大学, 2024.

[9] 苏航. 基于深度强化学习的多无人机协同打击方法研究 [D]. 西安电子科技大学, 2024.

[10] 刘志浩. 基于深度强化学习的工业人机协作动态任务规划研究 [D]. 武汉理工大学, 2023.