

大语言模型支持的多智能体：技术路径、 教育应用与未来展望

吴永和¹ 姜元昊^{2,3,4} 陈圆圆¹ 张文轩^{2,3,4}

(1. 华东师范大学 教育信息技术学系, 上海 200062; 2. 华东师范大学 智能教育实验室, 上海 200062; 3. 华东师范大学 上海智能教育研究院, 上海 200062; 4. 华东师范大学 计算机科学与技术学院, 上海 200062)

[摘要] 面对复杂多变的教育环境, 多智能体系统以其协作、分布式和自适应的优势成为解决教育难题的新途径。本研究分析了多智能体系统的基本原理和演化历程, 聚焦其在教育领域的源点, 并从领域、结构和场景三个角度, 探讨多智能体系统教育应用的形态演化。在技术层面, 本研究探讨了生成式人工智能技术如何赋能多智能体系统, 构建了基于大模型的智能体“眼—脑—手”三维能力框架, 并提出了多智能体系统智能性提升的内外双循环框架。在教育应用方面, 本研究阐述了多智能体系统教育应用的多重角色, 包括促进知识管理的百科全书型智能体、促进协作交互的智能伙伴型智能体、促进学习规划的教学助手型智能体和促进学科教学的专业教师型智能体等, 探讨了多智能体系统在教育应用与跨文化体系适应中的潜力。多智能体系统的教育应用也面临诸多挑战, 包括如何确保系统稳定性和安全性、如何避免负面影响、如何实现与传统教育方法优势互补等。针对这些挑战, 本研究提出融合教学要素、对接数字基座、变革教育范式、加强安全伦理隐私保护等对策, 以期重塑多智能体教育生态, 引领其稳健前行。本研究可为促进智能化教育技术的发展提供新思路, 为推动教育数字化和教育高质量发展贡献新力量。

[关键词] 多智能体系统; 智能体; 大语言模型; 生成式人工智能; 教育应用

[中图分类号] G434

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-2179(2024)05-0063-13

一、引言

随着科技的快速发展, 传统的教育方式正面临诸多挑战。数字教育作为一种全新的教育模式, 能

为学生提供更加个性化、便捷和高效的学习体验。

习近平总书记在 2023 年中共中央政治局第五次集体学习时强调, 教育数字化是我国开辟教育发展新

[收稿日期] 2024-08-20

[修回日期] 2024-08-27

[DOI编码] 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2024.05.007

[基金项目] 2021 年度国家社会科学基金重大项目“面向未成年人的人工智能技术规范研究”(21&ZD328); 2024 年度华东师范大学计算机科学与技术学院“人工智能赋能心理/教育”学科交叉人才培养专项基金项目“多智能体驱动的数学学科知识溯源诊断学习平台”(2024JCRC-03); 2023 年度华东师范大学计算机科学与技术学院博士科研创新基金项目“协作学习成果形成的内在机理及其可解释性分析: 从博弈模拟、AI Agent 仿真到实证分析”(2023KYCX-03)。

[作者简介] 吴永和(通讯作者), 博士, 研究员, 博士生导师, 教育部教育信息化技术标准委员会主任委员, 华东师范大学教育信息技术学系, 研究方向: 教育数字化转型、智能驱动的教育、模式驱动的教育、数字教育技术标准与国家质量基础设施(yhww@deit.ecnu.edu.cn); 姜元昊, 博士研究生, 华东师范大学智能教育实验室, 华东师范大学上海智能教育研究院, 华东师范大学计算机科学与技术学院, 研究方向: 智能教育、多智能体及其教育应用、大语言模型及其教育应用、机器学习; 陈圆圆, 博士研究生, 华东师范大学教育信息技术学系, 研究方向: 人工智能教育; 张文轩, 博士研究生, 华东师范大学智能教育实验室, 华东师范大学上海智能教育研究院, 华东师范大学计算机科学与技术学院, 研究方向: 大语言模型及其教育应用、大语言模型教育评测。

[引用信息] 吴永和, 姜元昊, 陈圆圆, 张文轩(2024). 大语言模型支持的多智能体: 技术路径、教育应用与未来展望[J]. 开放教育研究, 30(5): 63-75.

赛道和塑造教育发展新优势的重要突破口。2024年政府工作报告首次将“建设现代化产业体系、发展新质生产力”列为第一项任务(中华人民共和国政府, 2024), 强调充分发挥创新主导作用, 以科技创新推动产业创新, 加快推进新型工业化, 提高全要素生产率, 不断塑造和发展新动能、新优势, 促进社会生产力实现新的跃升。

单一智能体系统虽然在特定领域展现出一定的自主学习和决策能力, 但在处理复杂任务上局限明显: 一是面对任务规模和复杂度增加时, 通常难以扩展(Ishibashi et al., 2024); 二是在任务管理方面, 容易遇到任务分解的瓶颈, 难以高效地将复杂任务分解为子任务并有效管理(Jiang et al., 2024); 三是缺乏针对特定功能的专业化和灵活性, 无法在动态变化的环境中高效运作(Wei et al., 2024)。

多智能体系统以其独特的协作、分布式和自适应等特点, 正成为解决复杂问题的关键。作为人工智能领域的研究热点, 多智能体系统经历了从理论探索到技术实现再到应用拓展的发展历程。例如, 首个大模型多智能体框架骆驼(CAMEL)(Li et al., 2023)已展现了广阔的应用前景, 彰显出多智能体系统在协作学习、自然语言交流等方面的优势。智能体目前仍处于发展初期, 与机器人、自动驾驶、智能传感器和智能设备、增强现实和虚拟现实等行业相关, 市场空间广阔。因此, 深入研究和应用多智能体系统, 对推动人工智能技术的创新和发展具有重大意义。

多智能体系统作为一种新兴的智能化技术, 不仅拥有强大的信息处理能力, 还能实现多个智能体之间的协同合作。面对复杂多变的教育环境和学习需求, 如何有效地利用多智能体系统提升教学效果、拓展教育边界成为亟需解决的问题。同时, 多智能体系统的教育应用也面临诸多挑战, 例如, 如何确保多智能体系统的稳定性和安全性, 如何避免负面影响, 如何将其与传统教育方法相结合以实现优势互补。这些都有待深入研究和探讨, 以期找到最佳的解决方案。

二、形态蝶变: 多智能体系统的基本原理与演化历程

(一) 基本概念和发展历程

1. 基本概念

多智能体系统(Multi-Agent Systems, MAS)是

由多个相互作用的智能体组成的计算系统。这些智能体可以是计算机程序或机器人, 它们在没有中央控制的情况下共同工作以实现特定目标或解决复杂问题(Jiang et al., 2024)。每个智能体都具有一定程度的自主性, 能够独立感知环境、作出决策并执行行动。智能体之间通过通信和协调, 共享信息、资源和策略, 实现共同的目标。

现有的多智能体系统应用大致分三类: 1) 推理增强与知识管理(Reasoning Augmentation and Knowledge Management, RAKM), 即通过模拟和增强推理过程, 多智能体系统能处理大量复杂信息, 支持高精度的决策, 应用场景包括医学诊断、法律推理和金融分析等高度精确和可靠的环境; 2) 游戏与虚拟环境模拟(Gaming and Virtual Environment Simulation, GVES), 即多智能体系统可模拟多个非玩家角色之间的交互与协作, 根据玩家的行为实时动态调整, 提高互动体验, 应用场景包括电子游戏、虚拟现实和训练模拟器; 3) 生产优化(production optimization, PO), 即多智能体系统通过监控和优化生产环节, 快速响应生产需求的变化, 减少资源浪费, 提高生产输出, 典型应用场景包括自动化生产线、智能工厂和柔性制造系统。不同场景的应用本质上都依赖智能体的自主性、协作性和适应性, 但目标有所不同: 推理与知识管理侧重于高精度决策和信息处理, 游戏与虚拟环境注重实时互动和动态响应, 生产优化聚焦提升效率和资源管理。它们在各场景都展现出对复杂性和不确定性问题的有效应对能力。

2. 发展历程

多智能体系统的概念起源于分布式人工智能领域, 在解决复杂分布式问题时展现出强大的智能和灵活性(Weiss, 1999)。随着计算机技术和网络通信技术的飞速发展, 研究者开始关注智能体之间的交互通信、协调合作、冲突消解, 强调多个智能体之间的紧密合作。总体而言, 智能体经历了三个发展阶段(见图1): 第一阶段聚焦单个智能体的基础技术和学习机制。例如, Deep Q-Network 结合深度神经网络和强化学习算法, 使智能体能在动态环境中自主学习和决策。然而, 研究者遇到许多挑战, 包括如何使智能体在动态环境中自主学习和决策, 如何提高智能体的感知和决策能力等。这些挑战

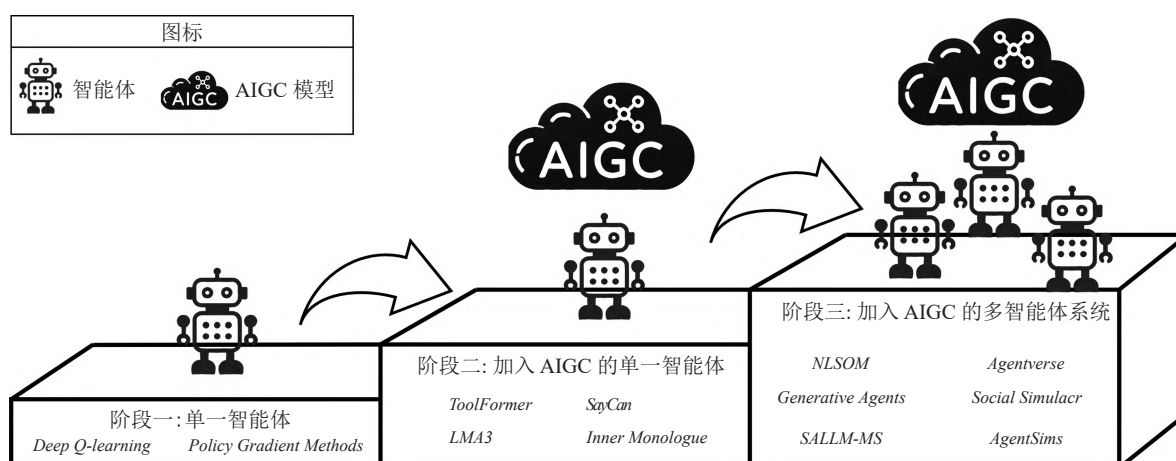


图1 多智能体系统发展历程

的解决为多智能体系统的发展奠定了基础。第二阶段引入生成式人工智能技术,显著增强了单一智能体的能力,具体包括开发智能体自我反思的内心独白框架(Inner Monologue)(Huang et al., 2022),使智能体能更好地理解自然语言并执行对应任务的 LMA3 框架 (Colas et al., 2023), 赋予智能体调用外部工具能力的 ToolFormer 框架 (Schick et al., 2023)。随着单智能体技术的成熟和能力的增强,研究者开始探索如何组合多个智能体,以实现更高级别的协同和合作。第三阶段包括开发可用于提升语言理解和生成能力的适用于多智能体系统的可扩展、自适应大语言模型 (Scalable Adaptive Large Language Models for Multi-Agent Systems, SALLM-MS)(Nascimento et al., 2023), 用于模拟和分析社会互动的 AgentSims (Lin et al., 2023), 以及用于生成新互动策略的生成式智能体 (Park et al., 2023)。研究人员发现,引入生成式人工智能技术的多智能体系统,如斯坦福小镇 (Park et al., 2023)、清华软件公司 (Qian et al., 2023)、智能体医院 (Agent Hospital) (Li et al., 2024)、课堂虚拟沙盘 (Shi et al., 2023) 等,能有效模拟现实场景和有效解决多智能体协同过程中面临的适应性限制 (Qian et al., 2024)、参数空间维度过高 (Snyder et al., 2024)、多智能体工作负载不平衡 (Mohammadabadi et al., 2024) 等问题。

(二)教育源点

多智能体系统强调多个智能体之间的协同,共同完成任务或达成目标。在教育领域,人机协同学习正是这一理念的体现,它倡导学生与智能系统之

间的紧密合作,通过相互协作提升学习效果。智能导学系统作为人机协同学习的具体实现形式,更是将这一理念转化为实际的教学工具和手段。

1. 人机协同学习

智能技术和智能产品在学习领域的逐渐渗透,催生人机协同学习方式 (王一岩等, 2022)。智能技术支持的人机协同学习本质上是人借助技术与世界交互、认识世界,是人与技术建立协作关系、协同发展的过程 (郝祥军等, 2022)。人机和谐共生是新一代智能教育生态的目标,而人机协同是实现人机共生的核心技术保障。随着人工智能技术的不断发展,人机协同实践逐渐关注自适应学习和智能体的设计开发,形成基于专家导师、智能学伴、智能助手等角色的智能体协同框架,主动为学生提供多方面的学习支持 (郝祥军等, 2023)。基于人机协同理念优化多智能体系统内部协同机制,为多智能体系统提供了先进的技术支持和广阔的应用场景,推动多智能体系统在教育领域的发展与创新。

2. 智能导学系统

智能导学系统指借助人工智能技术,让计算机扮演虚拟导师向学习者传授知识、提供学习指导的适应性学习支持系统 (朱莎等, 2017)。智能导学系统强调个性化学习和精准化指导,即通过收集和分析学习者的学习数据,提供针对性的学习建议和资源,提升学习效果。通用智能导学框架包括输入转换、言语行为分类、学习者建模、领域模型、对话管理和输出呈现六个部分 (D'Mello et al., 2013)。自然语言处理等人工智能技术的发展,产生了模拟

对话辅导这种深度学习策略,对话式智能导学系统应运而生且用于教学一线。智能导学系统凭借其个性化学习、精准化指导的核心机制,以及人工智能、大数据分析等技术,为多智能体系统提供了宝贵的教育启示和实践平台,促进多智能体在分布式控制、协调合作等方面发展与创新。

人机协同学习理念的不断深化为智能导学系统的优化和创新提供了理论支撑和实践指导。随着教育变革的深入推进和智能技术的不断发展,人机协同学习和智能导学系统将在教育领域发挥更重要的作用,共同推动教育事业的发展进步。

(三)形态演化

多智能体系统的教育应用呈现多样化与复杂化趋势。其结构演化不仅受技术进步的影响,还受社会需求、教育改革等因素的驱动。本研究从领域演化、结构演化、场景演化三个角度,探讨多智能体系统教育应用的形态演化。

1. 从通用进入垂域:垂域演化赋能智能教育

随着多智能体系统在不同领域的广泛应用,其形态逐渐从通用化向垂域化发展。通用多智能体系统具有较强的普适性和灵活性,可应用于多个领域,但在特定领域的深度和专业性弱,垂域化的多智能体系统专注特定领域的问题解决,具有更强的专业性和深度。

在教育领域,多智能体系统的垂域化应用已成推动智能教育发展的新趋势。以个性化教育为例,通用多智能体系统可以通过收集、分析学生的行为数据,提供个性化的学习内容和教学方案。而在特定学科领域,如语言学习、数学教育等,垂域化的多智能体系统可以提供更加专业化、针对性更强的教学服务。例如,华东师范大学开发的EduChat (Andy, 2023),旨在支持个性化、公平和富有同情心的智能教育,为教师、学生和家長服务。为了促进多智能体技术的教育应用,研究人员提出了智能教育智能体(Intelligent Educational Agent, IEA)框架。该框架包括学生、教师和助教三种身份的智能体,基于GPT-3.5 Turbo模型与LangChain模块,教师可搭建自适应教育助手(Neira-Maldonado et al., 2024)。这种领域演化使智能教育更贴近实际需求,基于教育领域专用语料的微调,智能体将更懂学生、更懂教育,更好地满足

学生个性化学习需求。

2. 从执行迈向协作:结构演化促进群智涌现

从单一智能体机械地执行指令,转向多个智能体协作解决问题,这一结构演化使多智能体的群体智能快速涌现。研究发现,多智能体在交流与协作过程中,可以自组织地完成教案生成(Shi et al., 2023)、活动组织(Xi et al., 2023)、软件开发(Hong et al., 2023)等复杂任务。多智能体系统的结构演化也从执行型向协作型转变,促进了群智的涌现。在早期的多智能体系统中,各智能体往往独立执行任务,信息交互有限。随着技术的进步和理论的发展,多智能体系统逐渐向协作型方向演化,智能体之间能通过信息共享、任务分工等实现协作,完成更加复杂的任务(Hong et al., 2023)。

研究发现,通过多智能体的协作,大语言模型产生的“幻觉”信息将通过交叉验证被快速消除。同时,相较于单一智能体,多智能体系统数学运算问答、小学数学问题的正确率分别提升了14.8%和8.0%(Du et al., 2023)。多个智能体的协作有助于提升大语言模型的思考和自我反思能力,使学生获得更精准的指导和支持。同时,智能体也可以从学生学习过程中提取知识,为教学过程提供反馈和改进建议。

3. 从对话转向泛在:多元应用扩展学习场景

以ChatGPT为代表的大语言模型技术已成为多智能体系统的核心,为其提供思考引擎与决策支持。基于OPENAI等提供的API接口,许多智能体可在线调用云服务,通过对话的形式与学习者实时交互。得益于基于人类反馈的强化学习(reinforcement learning from human feedback, RLHF)为核心的大语言模型优化技术,背景知识匮乏、幻觉信息频发等问题将逐渐得到控制。研究表明,GPT-4在许多测试中获得最高的平均分数,甚至在中学数学能力测试中的正确率达90%(Andy et al., 2023)。这为智能体技术的课堂应用减少了阻力。

随着相关技术的发展与逐渐成熟,多智能体系统的应用场景也从对话形式向泛在形式转移,应用场景不断扩展,应用的广度和深度也随之增加。基于大语言模型的智能体技术的介入使课堂变得更智能化、个性化。多智能体系统可以作为协作学习的基础设施,促使学习者更加深入地参与协作过

程,而不只是被动接受知识(Ramadhevi et al., 2022)。多智能体系统还可以在课堂学习中作为分布式支架存在,帮助学生及时获取所需的知识支持与情绪支持。同时,多智能体系统还有望基于分布式支架自适应地渐隐(fading)与转移责任,从而帮助学习者培养独立完成学习任务与自我思考的能力(Puntambekar, 2022)。场景演化使学习场景的构建更加灵活多样。多智能体系统可模拟和分析不同的教学场景,为教师提供个性化的教学支持和建议。随着技术的不断发展和应用的不断深入,多智能体系统将在教育领域发挥越来越重要的作用,为教育教学带来更多的创新。

在没有引入生成式人工智能技术前,多智能体系统的教育应用面临不少挑战:一是多智能体系统的领域适用性受到限制。传统多智能体系统往往受限于特定领域或任务,局限于特定学科或特定教学环境,无法提供全面、一体化的教学支持。二是多智能体系统的协作性和智能性有待提升。智能体之间相对独立,缺乏有效的信息共享和协作机制,难以充分利用各自的专业知识和能力,无法有效地理解学生的学习需求和问题,也难以提供个性化、高效的教学支持。

生成式人工智能技术为多智能体系统的教育应用提供了新机遇。生成式人工智能技术可以赋予多智能体系统更高级别的智能,使其更加智能化、灵活化地与用户交互并提供服务,更好地理解 and 处理教育应用中的需求和问题。

三、技术演进:大语言模型赋能多智能体系统

(一)技术基石:生成式人工智能技术

多智能体系统需要不断学习和优化以适应复杂多变的环境,且需具备高级的智能行为,如推理、决策、规划等,以完成更复杂的任务。生成式人工智能技术为多智能体系统提供了强大的技术支持,使多智能体系统能更好地解决通信、协作、学习和优化等问题,完成更高级别的智能行为。

具体来说,生成式人工智能技术在多个方面增强了智能体的能力:一是增强了智能体的交互与沟通能力,使其能自然地与人类交流,提升智能体对情感信息的识别和处理能力,使其能根据用户的情

绪调整回复方式。二是改善了多智能体系统内部的沟通效率,使智能体能准确地理解和协调任务。三是提升了智能体的决策与学习能力。借助机器学习和深度学习算法,智能体可从大量数据中提取有用信息,构建复杂模型,不断优化决策策略。通过强化学习机制,智能体能在与环境的交互中持续改进决策,并通过知识库和推理机制提升决策的准确性和可靠性。四是赋能智能体的多模态生成能力,使智能体能生成和处理文本、图像、视频等内容,并通过多模态交互满足用户需求。这种多样化的能力提升了智能体在不同任务中的适应性和信息表达的灵活性。

(二)基于生成式人工智能技术的智能体

1. 大模型赋能的智能体“眼—脑—手”三维能力框架

在多智能体系统中,智能体通常承担决策、规划和执行等任务。基于生成式人工智能技术的大语言模型在智能体的结构组件中扮演着类似于大脑的角色,为智能体提供强大的思维能力(Xi et al., 2023)。随着大规模数据集和深度神经网络模型的发展,生成式人工智能通过学习大量文本数据,掌握丰富的语言知识和世界知识,从而使智能体在理解、生成和推理方面具备更高的准确性和灵活性。本研究构建了智能体“眼—脑—手”三维能力框架,作为理解智能体处理教育任务的数据流模型。这一框架能帮助教育智能体实现从感知到思考再到执行的全流程支持。例如,智能体可以实时观察学生的课堂反应(眼睛),进行数据分析和决策(大脑),并提供及时的反馈和指导(双手)。

1) 大脑: 思考与反思

大语言模型赋予智能体强大的思维能力,相当

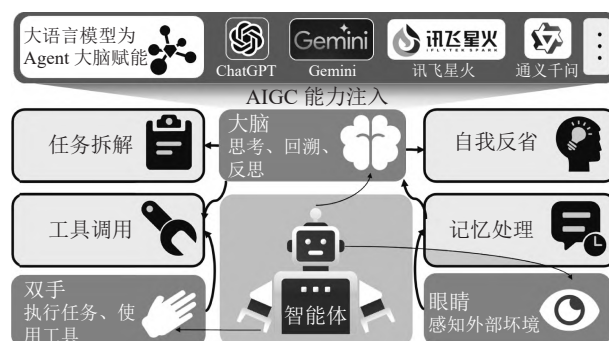


图2 智能体“眼—脑—手”三维能力框架

于让智能体拥有“大脑”。通过“大脑”的思考、回溯和反思,智能体可以将复杂任务拆为更简单、易执行的子任务。此外,智能体能够自我反省,不断改进和提高能力。例如,基于 ChatGPT、Gemini、讯飞星火、通义千问等大语言模型,智能体能够分析学生的学习数据,提供个性化学习建议,帮助学生改进学习策略,增强学习效果。

2)眼睛:观察与感知

智能体的“眼睛”负责感知外部环境,并通过文本等多模态形式表征信息。智能体能够观察和理解学生的行为和反应。例如,通过分析学生的答题过程和学习表现,智能体可以识别学生的知识薄弱点和学习习惯,从而提供针对性的辅导和支持。智能体还可以利用多模态技术,理解学生的表情和肢体语言,提升互动体验和教学效果。

3)双手:执行与操作

智能体的“双手”负责执行任务和操作工具。智能体可以调用各种教育工具和资源,辅助教学和学习,如调用开源图像分析模型,帮助教师批改作业或评估学生表现。智能体还可以协助学生操作实验、分析数据和解决问题,提升学生的实践能力和动手能力。

2. 多智能体系统智能性提升内外双循环框架

为更好地分析多智能体的智能性,本研究提出智能性提升内外双循环框架(见图3),即智能体通过任务拆解、自我反省、记忆处理和工具调用等方法,综合提升能力。这一框架不但有助于提高教学效率和改善教学效果,而且能为智能教育提供新的方法和思路。

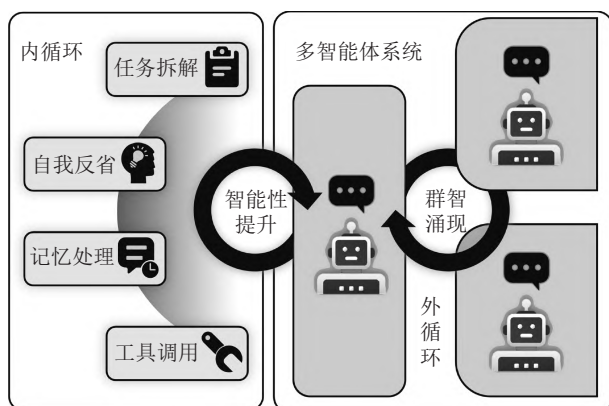


图3 多智能体系统智能性提升内外双循环框架

1)内循环:单一智能体的智能性提升

单一智能体可在教育活动中通过以下步骤不断提升能力,更好地支持学生的学习和发展。

任务拆解:智能体将复杂的学习任务分解成更小、更易认知的部分。例如,智能体可以基于思维链方法,将复杂的数学问题分解为多个简单的步骤,帮助学生理解和解决问题(Wei et al., 2023)。

自我反省:智能体能够评估和反思自身的教学行为和决策,从而改进教学策略。例如,通过分析学生的反馈和学习成果,智能体可以调整教学方法,提供更有效的教学支持(Liu et al., 2023)。

记忆处理:智能体利用积累的教学经验和知识指导当前的教学活动。例如,智能体记录学生的学习进度和表现,帮助教师制定个性化的教学计划(Hong et al., 2023; Shi et al., 2023)。

工具调用:智能体可调用外部的教育资源和工具,辅助完成教学任务。例如,智能体可以利用教育软件、在线课程资源和数据分析工具,增强教学效果(Wei et al., 2024)。

2)外循环:多智能体系统的智能性汇聚

在宏观层面,多个智能体可通过以下方式协作,共同提升系统的整体智能性。

知识共享:各智能体通过任务拆解、自我反省、记忆处理和工具调用,提升自身能力,并将这些能力汇聚起来,形成强大的群体智能(Jiang et al., 2023)。例如,不同智能体可以互相借鉴,分享教学资源和方法,提升整体教学水平。

多智能体协同:多个智能体通过合作,可提升整体教学效果。例如,智能体可以促进学生之间的互动与合作,提高学习效率和质量。通过多个智能体间的有效协作,多智能体系统的能力得到提升,并有效地完成复杂任务(Hong et al., 2023)。

四、多智能体系统的教育应用

智能体在教育领域扮演着关键角色。它能主动获取、汇聚、归纳用户最感兴趣的信息,并利用智能体通信协议将加工过的信息按时推送给用户。更重要的是,它具备推测用户意图的能力,能够自主制定、调整和执行工作计划。这项技术的强大之处在于其个性化支持功能,能够为用户提供各类个性化教育服务。因此,教育智能体可为用户提供

更加高效和个性化的学习体验,满足不同用户的学习需求,促进教育发展和进步(吴永和等, 2017)。

根据智能体承担的任务和角色,本研究将教育中的智能体分为百科全书型、智能学伴型、教学助手型、专业教师型(见表1)。这四类智能体分别致力于解决知识管理、学生学习、助教管理、教师教学等问题。其中,百科全书型智能体承担AI工具的角色,帮助学习者管理与查询知识(Bruner, 2023);智能学伴型智能体以学伴的身份介入学习过程,通过协作交互提升学习效果(Khaing et al., 2024);教学助手型智能体协助教师制定教学计划、管理课程和分析数据,最终促进学习者有规划地推动学习进程(吴永和等, 2017);专业教师型智能体

通过接入学科专业领域的知识库,促进学习者对专业学科知识的学习(Simon et al., 2023)。

百科全书型智能体包括答疑、推荐、组卷和作业智能体,分别处理问题回答、资源推荐、试卷生成和作业管理,通过数据共享实现自动化和个性化支持。智能学伴型智能体由组队和评测智能体组成,前者负责建立学习小组,后者可提供学习反馈,二者协作,优化学习效果。教学助手型智能体涵盖考试、家庭、教务和共享智能体,负责测试管理、学习提醒、教育管理和数据共享,通过任务协调和信息流动加强学习管理。专业教师型智能体包括备课和授课智能体,前者负责设计教学计划,后者根据计划调整教学,二者通过计划指导和实时反馈

表1 教育多智能体应用框架

智能体类型	应用形式	功能	协作模式	协作策略
百科全书型智能体	答疑智能体	自动采集学习者的问题,从知识库中获取回答并答疑,自动分类并存入问题库,更新知识库和问题库。	答疑智能体负责采集学习者的问题并生成答案;推荐智能体基于答疑智能体存储的学习数据和学情分析结果为学习者推荐学习资源;组卷智能体基于推荐智能体推荐的资源生成试卷;作业智能体接收组卷智能体生成的试卷,自动编辑并分发作业。	百科全书型智能体通过共享学习者数据和更新知识库,采取依次传递信息和分工协作的策略。
	推荐智能体	基于学习者的学情分析结果,推荐学习资源。		
	组卷智能体	根据教师设置的组卷规则,自动从题库中选题并组卷。		
	作业智能体	自动化编辑和分发作业,催促学习者完成作业。		
智能学伴型智能体	组队智能体	为学习者推荐其他小组成员,自动组建学习小组,推动学习小组的构建。	组队智能体根据学习者的兴趣和能力,自动组建学习小组;评测智能体接收组队智能体提供的小组数据,分析学习者的作业和测试结果,生成学习建议并反馈给学习者和小组。	智能学伴型智能体通过共享学习者信息和评估数据,协同工作,开展学情分析并提供个性化建议,形成学习支持。
	评测智能体	收取作业和试卷,生成分析结果,提供学习建议。		
教学助手型智能体	考试智能体	自动生成在线测试链接,自动化控制考试时间,超过预设限时自动收卷。	考试智能体生成测试链接并控制考试进程;家庭智能体提醒学习者预习和完成作业,并将学情反馈给家长;教务智能体管理人员和学习流程,监控学习进度;共享智能体接收考试和学习数据,负责数据共享、权限验证和汇总学习进展。	教学助手型智能体通过数据共享和流程协调,依次支持教育任务,共同推动学习顺利开展。
	家庭智能体	提醒并帮助学习者课前预习,与家长沟通,向学生及家长发送家庭作业安排、课前预习计划等。		
	教务智能体	通过制定教学计划、管理人员、验证权限,宏观调控学习进程。		
	共享智能体	辅助教师完成教学过程,依照规定管理与共享学习数据,核验数据访问权限,防止隐私泄露。		
专业教师型智能体	备课智能体	开展学情分析,设计教学计划,自动化完成备课。	备课智能体根据学情分析设计教学计划,生成教学内容和资源;授课智能体接收备课智能体生成的教学计划,开展实时学情分析,调整教学策略并提供个性化授课支持。	专业教师型智能体通过连续的数据反馈和动态优化,确保教学内容和方法适应学习者的需求,推进个性化教学。
	授课智能体	提供教学支架,对学习者的学习状态进行分析,基于知识追踪技术智能化授课。		

实现个性化教学。此外,四种智能体也可以协作:百科全书型智能体提供基础的知识支持和资源推荐,智能学伴型智能体负责优化学习小组和评估学习效果,教学助手型智能体管理和监督学习过程,专业教师型智能体专注于教学内容和策略优化。四类智能体之间的协作策略是通过共享和传递信息,结合基础知识支持、学习过程优化、管理监督与教学策略,形成综合的教育支持系统,全面提升学习效果和管理效率。

多智能体系统集成了多个不同身份的智能体,能为学习者提供丰富的交互体验,在教育领域的应用具有广阔的潜力和重要的意义,为智能教育的发展提供全新的可能性和机遇。

(一)促进知识管理的百科全书型智能体

在教育中,知识管理至关重要,这一过程涉及师生的知识共享、获取和构建。然而,教师往往无法确切掌握班级某位学生的知识掌握情况。尽管学生了解自己的知识掌握情况,但其学习过程往往存在局限性,难以有效地管理知识。百科全书型多智能体系统作为集成广泛知识和丰富资源的教育平台,可显著促进知识的管理和传播。通过智能体的协作与交互,该系统能够提供个性化且全面的学习支持,满足不同层次和需求的学生。

百科全书型智能体的具体应用形式包括答疑智能体、推荐智能体、组卷智能体和作业智能体。答疑智能体可以自动采集学习者的问题,从知识库获取回答,并将问题分类存入问题库,持续更新知识库和问题库;推荐智能体根据学情分析结果,自动推荐单元视频、课后习题和知识点笔记等学习资源;组卷智能体依据教师预设规则,从题库中选题并组卷,实现试卷生成的自动化与智能化,并可生成不同难度的试卷,推进分层教学;作业智能体自动编辑和分发作业,及时催促学习者完成。通过合理利用知识库,百科全书型智能体可有效提升学习者的知识管理能力、学习效率和质量。

此外,智能体可以帮助学习者管理和组织学习资源。例如,智能体利用机器学习方法动态排列优先级,可改善服务质量和用户体验,实现数字资源与带宽资源的自动化管理(Molnar et al., 2023)。百科全书型多智能体系统可为学生提供便捷高效的学习体验,使其能随时获取所需知识和资源,解决

学习难题,改善学习效果(Strug et al., 2023)。例如,以百科全书型智能体系统在中学数学课程的应用为例,答疑智能体自动处理学生提出的数学问题,并从综合知识库中提取准确答案,帮助学生及时解决疑惑;推荐智能体根据学生的学习进度和错误分析,向学生推送个性化的练习题和教学视频;组卷智能体根据教师的要求生成不同难度的期末试卷。这一系统的使用可大幅度提高学生的学习效率,使他们在自学过程中得到及时支持,同时也可减轻教师的负担。

(二)促进协作交互的智能学伴型智能体

协作与交互是培养学生综合能力和团队精神的重要手段。然而,协作学习易陷入“冷场”或“各自为营”的窘境,互动性不足。智能学伴型多智能体系统可通过协作和交互实现教学目标,增强学生之间的互动与合作。组队型智能体帮助学习者找到互补的学习搭档,评测智能体分析作业试卷并提供学习建议。

智能学伴型多智能体系统可通过模拟真实学习环境,促进学生间的协作,激发合作意识和团队精神,帮助学生完成学习任务和项目。这种智能体不仅能改善个性化学习体验,还能通过及时支持和反馈,提高学生的学习专注度和效率(Neira-Maldonado et al., 2024)。此外,智能学伴型系统有助于提高教学效果和学生综合素质,为培养未来社会所需人才奠定基础,如帮助大学生制定并实现长期目标(Martens, 2023)。智能学伴还可以及时推荐学习资源,促进深度学习(Khaing et al., 2024)。此外,智能学伴型多智能体系统可提供个性化学习服务,使学生获得情感支持和学习指导。例如,大学编程课中,组队智能体可根据学生的技能和兴趣,自动组建多个编程团队,让团队成员优势互补;评测智能体可跟踪团队的项目进度,分析代码质量和项目成果,提供实时的改进建议和反馈。这一系统可推动项目高质量完成,也有助于提升学生编程技能和问题解决能力。

(三)促进学习规划的教学助手型智能体

在教育领域,教学助手型智能体可以通过及时介入学习进程,提升学习者的学习规划能力。这类智能体可分为四类:考试智能体、家庭智能体、教务智能体和数据智能体,主要解决学生缺乏学科的

全局视野、难以有效规划学习的问题。考试智能体能够自动生成在线测试链接,并自动控制考试时间和自动收卷。这使考试过程更加高效、规范,有助于提高教学质量和检测学生学习效果。家庭智能体能够提醒并帮助学习者课前预习,与家长沟通,向学生和家长发送家庭作业安排、课前预习计划等信息。这有助于推动家校合作,为学生在家学习提供指导和支持。教务智能体在学习规划中扮演着管理与调控角色。它能制定教育章程、管理人员、验证权限等,从宏观上调控学习进程,确保教学活动的顺利开展和教学目标的达成。共享智能体能够辅助完成教学过程,管理和共享学习数据,并核验数据访问权限,防止隐私泄露。这有助于教育机构更好地管理学习数据,为教学活动提供数据支持,提高教学质量和效率。

(四)促进学科教学的专业教师型智能体

基于学科知识图谱和专业知识库的多智能体系统可以扮演专业教师角色,根据学生学习数据提供个性化、量身定制的学习指导。其中,备课智能体根据学情分析结果,设计教学并自动备课;授课智能体提供教学支架,分析学习状态,基于知识追踪技术智能授课。专业教师型多智能体系统通过整合专业知识库和在线教育资源,可为学科教学提供强有力的支持,包括提供优质的素材和案例,帮助教师更好地指导学生在线学习(Wei, 2021)。同时,多智能体技术在体育教学中也能帮助学生解决实际问题,提升教学效率,培养终身的体育意识(Yan, 2016)。

此外,多智能体系统为学生提供了丰富的仿真学习体验。例如,在工业机器人控制的教学中,智能体系统可指导学生在虚拟环境中操作练习,帮助他们掌握实时控制和协作技能、解决复杂问题的能力,并培养安全操作规范和良好的人机协作能力(Simon et al., 2023)。在临床技能教育中,智能体系统可通过智能模拟模型,帮助学生在虚拟环境中进行实践,提高其临床技能(Samra et al., 2016)。专业教师型多智能体系统可通过提供高质量的教学资源和仿真环境,提升学科教学的质量和效率。例如,专业教师型智能体系统可被用来支持高中化学实验教学。该系统根据学生的实验数据和操作反馈,

自动调整实验步骤和教学内容,提供实时的实验指导和建议。学生能够在虚拟实验环境中多次操作练习,了解复杂的化学反应过程、掌握实验技术。该系统不仅能增强实验教学的实践性和互动性,还能将虚拟实验与课程学习相结合,帮助学生更好地掌握化学知识。

(五)阶段差异化应用与跨文化体系适应

教育实践复杂且多变,涉及多个因素和环节的相互作用。多智能体系统的教育应用需充分考虑学生学习阶段、教育文化背景、学校资源条件等的影响。在不同教育阶段,多智能体系统也会加以适应性调整,差别对待。例如,中小学阶段强调掌握基础知识与培养学习兴趣,多智能体系统可以通过游戏化学习、互动式问答等,提升学生的学习兴趣 and 参与度。对于高等教育阶段,多智能体系统可以作为学习助手、科研辅助工具,提供个性化学习路径、学术资源推荐、科研数据分析等,帮助师生处理复杂的学术问题和研究任务,同时支持多语言、多文化背景的学术交流。

不同文化背景下的教育理念、教学方法和学习习惯存在差异。多智能体系统具备文化敏感性,能识别并适应不同文化背景下的学习需求,如通过建立可配置的教育模型库,允许用户根据所在教育体系的特点自行选择和调整,有效实现对跨文化 with 不同教育体系的自适应。同时,智能体有自我学习和进化能力,能根据实际应用情况不断优化和调整。

五、挑战与对策

教育智能体在教学场景中扮演着关键角色,可通过语音、文本等交互方式为学习者提供支持,增强其认知学习和情感体验(徐振国等, 2021)。国家自然科学基金委信息科学部“教育信息科学与技术”专门设置教育智能体(F070107)子申请代码以推动这一领域的基础研究。本研究从以下角度提出思考:

(一)融合教学要素:重塑多智能体教育生态

在教学过程中,教学目标与内容、教学方法与策略、学生的认知与情感需求是基本要素。多智能体系统须紧密围绕这些基本要素展开,才能有效支持教学。具体而言,在“教、学、管、评”四个基础环节中,多智能体系统可通过以下方式实现教

学基本要素的融合:

在“教”环节, 智能体可通过推荐和动态调整, 确保教学内容的准确性与适用性, 并根据学生学习进度提供个性化资源。在“学”环节, 智能体可实时监控学生学习状态, 识别学习瓶颈, 提供即时反馈和个性化学习路径, 提升学习效果。在“管”环节, 智能体可帮助教师管理班级和学生行为, 及时预警, 并通过数据分析支持教师决策。在“评”环节, 智能体可通过多维度分析工具自动评估学生表现, 生成详细报告, 并提供教学改进建议, 辅助教师优化教学策略。

为了确保智能体准确理解和传递教学内容, 教育领域可引入严格的知识审核机制和多层次的质量控制体系。在个性化教学策略实施过程中, 教师应充分发挥核心作用, 通过参与培训掌握智能技术, 提升应用能力。在情感计算和反馈方面, 智能体情感识别和响应能力有待加强, 确保能提供恰当的鼓励和支持, 避免引发学生的情感困扰。

(二) 对接数字基座: 强化多智能体系统支撑

随着国家教育数字化战略行动从“3C”战略(联结、内容、合作)向“3I”战略(集成化、智能化、国际化)转变, 教育领域越发关注资源共享和构建集成化平台。如果数字学校可以被视为一个复杂的计算机系统, 那么数字基座就是维持该系统全面运作的操作系统。多智能体系统的整合是这一操作系统的智能化升级。教育数字基座通过与区域的物联网设备、人员、数据及各种平台建立连接, 整合并升级现有的教育平台系统, 实现教育数据库和资源池的互联互通。它扮演着联合协作、多场景设备联接以及多平台数据融合共享的中枢角色(刘邦奇等, 2023)。

在推广和部署多智能体系统时, 跨平台兼容是其关键挑战之一。解决方法包括制定统一的技术标准, 确保不同平台的数据和应用可无缝互通; 开发过程引入严格的测试和优化流程, 确保智能体在不同操作系统和硬件环境下的稳定性和一致性; 采用模块化设计, 使智能体可根据不同平台的需求灵活扩展和调整功能, 提升系统的互操作性和可扩展性。通过以上措施, 多智能体系统将能在教育数字基座中更好地发挥作用, 确保各种教育场景的应用效果。

与此同时, 多智能体系统还需不断提升智能性和自适应能力, 更好地融入教育数字基座, 推动其智能化升级, 实现广泛部署, 改善应用效果。

(三) 变革教育范式: 引领多智能体系统生态演进

多智能体系统的教育应用可被视为一个生态系统, 由不同层次的智能体构成。高阶智能体通常具备更复杂的决策和推理能力, 负责宏观决策和策略制定; 低阶智能体主要执行具体的教学任务和互动。这种结构不仅提高了系统的效率, 也增强了灵活性和适应能力, 使整个系统能更有效地应对复杂的教育场景。

这种多层次的智能体结构带来了教育范式的变革, 代表了新质生产力。学习者都有自己的智能体学习伙伴, 教师也有自己的智能助教。这不仅有助于知识型内容的传递, 还能帮助教师培养学生创造性等高阶思维能力。这一变化类似于计算器在数学教学中的应用, 可使人类不再专注于繁琐的计算过程, 是关注数学模型的理解与应用。

智能体不仅仅是知识的传递者, 还是学生的学习伙伴和教师的辅助工具。通过明确界定智能体的特征, 并为不同的智能体分配职能, 教育系统可以变得更加高效、便捷。多智能体系统将使教育变得更加个性化、智能化和高效化。这种新质生产力的引入和应用, 不仅可提升教育的质量和效率, 还可推动教育模式的创新和变革。

(四) 安全伦理: 护航多智能体教育稳健前行

多智能体系统的教育应用, 虽为教育创新带来了前所未有的机遇, 但同时也带来安全、伦理及隐私保护方面的挑战。比如, 在智能体深度介入教育过程的背景下, 数据泄露和隐私侵犯的风险大大增加(赵慧琼等, 2016)。尤其值得注意的是, 智能体在情感计算与个性化反馈方面的应用, 虽能提升教学互动性与针对性, 但也可能触及学生的情感敏感区, 引发困扰或焦虑, 甚至因算法偏见导致错误的价值导向。另一方面, 学生也容易对多智能体系统产生过度依赖, 形成惰性思维和养成不良习惯。

针对上述不足, 本研究建议在系统设计之初, 应深入研究国内外数据隐私法律法规, 确保智能体在数据采集、处理、存储和分享等环节符合隐私保护要求; 将合规性作为系统的核心原则, 积极引入并持续优化先进的加密技术和数据保护措施,

构建可靠的数据安全防线; 建立严格的访问控制机制, 确保只有经过授权的人员才能访问敏感数据; 明确数据生命周期管理, 不需要的数据应及时销毁; 加强师生的数据隐私教育, 保持系统运作的透明度; 建立健全伦理审查机制, 科学评估其对教育生态的全方位影响, 特别是潜在的负面效应, 确保技术发展与伦理规范并行不悖。

总体来看, 多智能体系统具有强大的信息处理能力和协同合作优势。生成式人工智能技术的崛起, 为多智能体系统提供了更丰富的应用场景和可能性。多智能体系统在学科教学、协作促进和知识组织等方面具有优势, 不仅能够为学生提供个性化学习支持, 还能通过协同合作促进学习共同体的形成, 提升教学效果和学习质量。同时, 多智能体系统还能对知识进行高效组织和呈现, 帮助学生更好地理解 and 掌握知识。然而, 多智能体系统的教育应用也面临数据安全、隐私保护等风险和挑战。随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展, 多智能体系统将为教育创新带来更加丰富的可能性。

[参考文献]

- [1] Andy, E.(2023) . ChatGPT has entered the classroom: How LLMs could transform education[J]. *Nature*, 623(7987): 474-477.
- [2] Bruner, L. (2023) . A multi-agent modeling social network analysis of cooperative learning groups within a simulated adult education classroom learning environment [EB/OL]. [2024-03-22]. https://tigerprints.clemson.edu/all_dissertations/3285/.
- [3] Casper, S. , Davies, X. , Shi, C. , Gilbert, T. K. , Scheurer, J. , Rando, J. , & Hadfield-Menell, D. (2023) . Open problems and fundamental limitations of reinforcement learning from human feedback[EB/OL]. [2024-03-28]. <http://arxiv.org/abs/2307.15217>.
- [4] Colas, C. , Teodorescu, L. , Oudeyer, P. Y. , Yuan, X. , & Côté, M. A. (2023) . Augmenting autotelic agents with large language models[EB/OL]. [2024-06-07]. <https://proceedings.mlr.press/v232/colas23a.html>.
- [5] D'Mello, S. , & Graesser, A. (2013) . Design of dialog-based intelligent tutoring systems to simulate human-to-human tutoring[M]. *New York: Springer*: 233-269.
- [6] Du, Y. , Li, S. , Torralba, A. , Tenenbaum, J. B. , & Mordatch, I. (2023) . Improving factuality and reasoning in language models through multiagent debate[EB/OL]. [2023-12-28]. <http://arxiv.org/abs/2305.14325>.
- [7] Hong, S. , Zheng, X. , Chen, J. , Cheng, Y. , Wang, J. , Zhang, C. , & Wu, C. (2023) . MetaGPT: Meta programming for a multi-agent collaborative framework[EB/OL]. [2024-03-28]. <http://arxiv.org/abs/2308.00352>.
- [8] Huang, W. , Xia, F. , Xiao, T. , Chan, H. , Liang, J. , Florence, P. , & Ichter, B. (2022) . Inner monologue: Embodied reasoning through planning with language models[EB/OL]. [2024-06-07]. <http://arxiv.org/abs/2207.05608>.
- [9] 郝祥军, 顾小清, 张天琦(2022). 人机协同学习: 实践模式与发展路向[J]. *开放教育研究*, 28(4): 31-41.
- [10] 郝祥军, 张天琦, 顾小清(2023). 智能时代的人机协同学习: 形态、本质与发展[J]. *中国电化教育*, (10): 26-35.
- [11] Ishibashi, Y. , & Nishimura, Y. (2024) . Self-organized agents: A LLM multi-agent framework toward ultra large-scale code generation and optimization[EB/OL]. [2024-08-26]. <http://arxiv.org/abs/2404.02183>.
- [12] Jiang, Y. H. , Gao, S. , Yin, Y. H. , Xu, Z. F. , & Wang, S. Y. (2023) . A control system of rail-guided vehicle assisted by transdifferential strategy of lower organisms[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123: 106353.
- [13] Jiang, Y. -H. , Li, R. , Zhou, Y. , Qi, C. , Hu, H. , Wei, Y. , Jiang, B. , & Wu, Y. (2024) . AI agent for education: von Neumann multi-agent system framework[C]// *Conference Proceedings of the 28th Global Chinese Conference on Computers in Education (GCCCE 2024)* , Chongqing, China, June 23-27, 2024. *Global Chinese Conference on Computers in Education*, 77-84.
- [14] Khaing, W. L. L. , & Kalayar, N. S. (2024) . Recommendation system for education service using multi agent[EB/OL]. [2024-03-22]. <https://meral.edu.mm/record/4135/files/55267.pdf>.
- [15] Li, G. , Hammoud, H. , Itani, H. , Khizbullin, D. , & Ghanem, B.(2023) . CAMEL: Communicative agents for "mind" exploration of large language model society[J]. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 36: 51991-52008.
- [16] Li, J. , Wang, S. , Zhang, M. , Li, W. , Lai, Y. , Kang, X. , Ma, W. , & Liu, Y. (2024) . Agent hospital: A simulacrum of hospital with evolvable medical agents[EB/OL]. [2024-08-26]. <http://arxiv.org/abs/2405.02957>.
- [17] Lin, J. , Zhao, H. , Zhang, A. , Wu, Y. , Ping, H. , & Chen, Q. (2023) . AgentSims: An open-source sandbox for large language model evaluation[EB/OL]. [2024-06-07]. <http://arxiv.org/abs/2308.04026>.
- [18] Liu, H. , Sferrazza, C. , & Abbeel, P. (2023) . Chain of hind-sight aligns language models with feedback[EB/OL]. [2023-12-28]. <http://arxiv.org/abs/2302.02676>.
- [19] 刘邦奇, 胡健, 袁婷婷, 查洪钰, 江卫, 杨桂英(2023). 教育数字基座赋能数字化转型: 内涵、框架及典型场景[J]. *开放教育研究*, 29(6): 101-111.
- [20] Martens, J. (2023) . Artificial intelligence in education: AI conversational agent for online collaborative learning[EB/OL]. [2024-03-22]. <http://essay.utwente.nl/95259/>.
- [21] Mohammadabadi, S. M. S. , Yang, L. , Yan, F. , & Zhang, J. (2024) . Communication-efficient training workload balancing for decentralized multi-agent learning[EB/OL]. [2024-08-26]. <http://arxiv.org/abs/2405.00839>.

- [22] Molnar, A., Tal, I., & Imhof, C. (2023). Improved quality of online education using prioritized multi-agent reinforcement learning for video traffic scheduling[EB/OL]. [2024-03-22]. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10073590/>.
- [23] Nascimento, N., Alencar, P., & Cowan, D. (2023). Self-adaptive large language model (LLM)-based multiagent systems[EB/OL]. [2024-06-07]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10336211>.
- [24] Neira-Maldonado, P., Quisi-Peralta, D., Salgado-Guerrero, J., Murillo-Valarezo, J., Cárdenas-Arichábala, T., Galan-Mena, J., & Pulla-Sanchez, D. (2024). Intelligent educational agent for education support using long language models through langchain[M]. Information Technology and Systems. Cham: Springer Nature Switzerland: 258-268.
- [25] Park, J. S., O'Brien, J., Cai, C. J., Morris, M. R., Liang, P., & Bernstein, M. S. (2023). Generative agents: Interactive simulacra of human behavior[C]// Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, Republic of Korea, March 22-26, 2021. ACM, 1-22.
- [26] Puntambekar, S. (2022). Distributed scaffolding: Scaffolding students in classroom environments[J]. Educational Psychology Review, 34(1): 451-472.
- [27] Qian, C., Liu, W., Liu, H., Chen, N., Dang, Y., Li, J., Yang, C., Chen, W., Su, Y., & Cong, X. (2023). Communicative agents for software development[EB/OL]. [2023-12-30]. <http://arxiv.org/abs/2307.07924>.
- [28] Qian, C., Li, J., Dang, Y., Liu, W., Wang, Y. F., Xie, Z., Chen, W., Yang, C., Zhang, Y., Liu, Z., & Sun, M. (2024). Iterative experience refinement of software-developing agents[EB/OL]. [2024-08-26]. <http://arxiv.org/abs/2405.04219>.
- [29] Ramadhevi, M., & Rajaprakash, S. (2022). An overview on applications and developments in education on agent based ontological cooperative learning[J]. Journal of Pharmaceutical Negative Results, (13): 723-728.
- [30] Samra, H. E., Li, A. S., Soh, B., & Alzain, M. A. (2016). A conceptual model for an intelligent simulation-based learning management system using a data mining agent in clinical skills education[EB/OL]. [2024-03-22]. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7880476/>.
- [31] Schick, T., Dwivedi-Yu, J., Dessi, R., Raileanu, R., Lomeli, M., Hambro, E., Zettlemoyer, L., Cancedda, N., & Scialom, T. (2023). Toolformer: Language models can teach themselves to use tools[C]// Advances in Neural Information Processing Systems: 36th Annual Conference, New Orleans, USA, December 10-14, 2023. Curran Associates, Inc., 68539-68551.
- [32] Shi, J., Zhao, J., Wang, Y., Wu, X., Li, J., & Huang, L. (2023). CGMI: Configurable general multi-agent interaction framework[EB/OL]. [2024-06-07]. <http://arxiv.org/abs/2308.12503>.
- [33] Simon, J., Fürstner, I., & Gogóla, L. (2023). Usage of automatic guided vehicle systems and multi-agent technology in higher education[EB/OL]. [2023-12-19]. https://gradus.kefo.hu/archive/2023-1/2023_1_ENG_004_Simon.pdf.
- [34] Snyder, S., Gobin, D., Clerico, V., Risbud, S. R., & Parsa, M. (2024). Parallelized multi-agent bayesian optimization in lava[EB/OL]. [2024-08-26]. <http://arxiv.org/abs/2405.04387>.
- [35] Strug, B., & Ślusarczyk, G. (2023). A multi-agent system in education facility design[J]. Applied Sciences, 13(19): 10878.
- [36] Wei, J. (2021). Study on the effective mechanism of network English independent learning platform based on multi agent of big data[C]// 2021 2nd International Conference on Information Science and Education (ICISE-IE), Chongqing, China, August 20-22, 2021. IEEE, 1073-1076.
- [37] Wei, Y., Qi, C., Jiang, Y. -H., Ling, D. (2024). Enhancing educational practices: Strategies for assessing and improving learning outcomes[M]. New York: Nova Science Publishers: 1-279.
- [38] Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Xia, F., Chi, E., Le, Q. V., & Zhou, D. (2023). Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models[EB/OL]. [2023-12-27]. <http://arxiv.org/abs/2201.11903>.
- [39] Weiss, G. (1999). Multi-agent systems: A modern approach to distributed artificial intelligence[M]. Cambridge, MA: MIT Press: 1-19.
- [40] 王一岩, 郑永和(2022). 智能时代的人机协同学习: 价值内涵、表征形态与实践进路[J]. 中国电化教育, (9): 90-97.
- [41] 吴永和, 刘博文, 马晓玲(2017). 构筑“人工智能+教育”的生态系统[J]. 远程教育杂志, 35(5): 27-39.
- [42] Xi, Z., Chen, W., Guo, X., He, W., Ding, Y., Hong, B., Zhang, M., Wang, J., Jin, S., Zhou, E., Zheng, R., Fan, X., Wang, X., Xiong, L., & Zhou, Y. (2023). The rise and potential of large language model based agents: A survey[EB/OL]. [2024-07-27]. <http://arxiv.org/abs/2309.07864>.
- [43] 徐振国, 刘志, 党同桐, 孔玺(2021). 教育智能体的发展历程、应用现状与未来展望[J]. 电化教育研究, 42(11): 20-26.
- [44] Yan, P. (2016). The research on the building of university physical education model based on the construction of computer multi-agent[J]. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (18): 270.
- [45] 中华人民共和国政府(2024). 一图速览 2024 年政府工作报告[EB/OL]. [2024-06-21]. https://www.gov.cn/zhengce/jiedu/tujie/202403/content_6936516.htm.
- [46] 朱莎, 余丽芹, 石映辉(2017). 智能导学系统: 应用现状与发展趋势——访美国智能导学专家罗纳德·科尔教授、亚瑟·格雷泽教授和胡祥恩教授[J]. 开放教育研究, 23(5): 4-10.
- [47] 赵慧琼, 姜强, 赵蔚(2016). 大数据学习分析的安全与隐私保护研究[J]. 现代教育技术, 26(3): 5-11.

(编辑: 魏志慧)

Multi-Agent Systems Supported by Large Language Models: Technical Pathways, Educational Applications, and Future Prospects

WU Yonghe¹, JIANG Yuanhao^{2,3,4}, CHEN Yuanyuan¹ & ZHANG Wenxuan^{2,3,4}

(1. Department of Education Information Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Lab of Artificial Intelligence for Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Shanghai Institute of Artificial Intelligence for Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 4. School of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The rapid advancement of technology, particularly generative artificial intelligence (GenAI), is facilitating the education transformation. In response to the increasingly complex and dynamic educational landscape, Multi-Agent Systems (MAS) have emerged as a promising solution to address educational challenges due to their collaborative, distributed, and adaptive capabilities. This study begins by analyzing the core principles and evolutionary trajectory of MASs, focusing on their early applications in education. It explores the evolution of these systems from three critical perspectives: Domain, structure, and application scenarios. On the technical front, the study delves into how GenAI enhances MASs by developing an "eye-brain-hand" capability framework using Large Language Models (LLM). Additionally, it introduces a dual-cycle framework to boost the intelligence of these systems. Regarding applications, the study provides an in-depth analysis of the diverse roles of MASs in education, including an encyclopedia-type Agent that facilitates knowledge management, an intelligent learning companion that fosters collaboration, a teaching assistant Agent that aids in learning planning, and a specialized teacher agent that supports subject-specific instruction. The study also highlights the potential of MASs for various educational contexts and cross-cultural environments. However, the implementation of MASs in education faces several challenges, such as ensuring system stability and security, mitigating potential negative impacts, and integrating the strengths of traditional educational methods. To address these issues, the study proposes a range of strategies, including integrating educational elements, aligning with digital infrastructure, transforming educational paradigms, and enhancing security, ethics, and privacy safeguards. These measures reshape the educational ecosystem empowered by MASs and ensure its sustainable development. The study offers meaningful insights into intelligent educational technologies and contributes to the digitalization and high-quality development of education.

Key words: multi-agent systems; agent; large language models; generative artificial intelligence; educational applications