多智能体协同交互的高临场感在线学习环境构建*



于济凡[1] 李睿淼[2] 李曼丽[1] 刘惠琴[1][通讯作者]

（1．清华大学 教育研究院，北京 100084；
2．上海师范大学 国际与比较教育研究院，上海 200233）

摘要：当前，虽然生成式人工智能为构建多智能体协同交互的在线学习环境提供了可能，但是现有环境构建仍存在社会临场感不足、教学临场感薄弱、认知临场感缺失等问题。为此，文章首先分析了多智能体协同增强在线学习临场感的逻辑理路，强调通过多智能体与学生进行实时在线互动，营造良好的情感氛围和包容的讨论环境以增强社会临场感；挖掘学生的个性化需求，适应性调整教学策略以增强教学临场感；实时监测判断学生的高阶思维发展水平，并通过讨论和启发性提问以增强认知临场感。在此基础上，文章设计了多智能体协同交互在线学习环境的基本范型，以大模型为基底搭建智能体平台开发对话型、分析型和决策型三种教育智能体，并以控制语言的智能体工作流为牵引，形成课前准备、交互课堂、学习评估融合的“人在回路”人机交互式课堂系统。最后，文章分析了多智能体环境中教师与学生的工作/学习模式，以期为多智能体时代技术赋能教育提供参考。

关键词：在线学习环境；多智能体；探究社区理论；临场感；大语言模型

【中图分类号】G40-057【文献标识码】A【论文编号】1009—8097（2024）12—0017—10【DOI】10.3969/j.issn.1009-8097.2024.12.002

引言

随着 ChatGPT 等生成式人工智能技术的快速发展，基于人工智能技术构建新型在线学习环境、赋能教育提质增效成为当前研究的重点。传统在线教育技术主要针对学习资源进行电子化传播，并通过多媒体技术实现人际互动，但存在实时互动受阻、群体性学习氛围缺失、个性化支持不足、学习自主性低等问题[1][2]。为此，已有研究尝试设计人机协同系统，利用人工智能技术将教师、助教、学生等参与者的部分功能（如答疑、推荐）智能化，甚至引入多种模拟这些角色的智能体（AI Agent 或 Agent），以实现不同功能智能体与学习者的协同合作，构建拟合真实的多元学习环境，为学生提供更加真实有效的学习体验，进一步帮助学生高效解决复杂的学习问题，实现智能涌现，提升在线学习效果[3][4][5][6]。

然而，虽然当前这种基于多智能体构建的在线学习环境已经显现出较大的发展潜力，但其仍存在三方面问题亟需解决：①社会临场感不足，难以实现覆盖完整教育环节的互动学习环境。已有多智能体学习环境普遍支持课中的知识答疑，但难以保证学生与多种类型智能体的持续深度互动，也缺乏课前准备、课后追测等一系列互动功能，这使多智能体学习环境在实践中退化为单一的答疑工具，无法产生高质量的互动体验。②教学临场感薄弱，难以实现“人在回路”的自适应高质量教学。已有多智能体系统或预设智能体的互动逻辑，或完全依赖于参数化学习的训练，导致多个智能体之间的交互模式完全固定，且缺乏同一的信息交互基础，其协作方式完全黑盒化，不仅难以紧密配合，也使教师和专家难以介入进行可解释的指导[7][8]。③认知临场感缺失，难以实现功能异构的多智能体的有效集成。已有多智能体学习环境主要包含多个单一类型的工具型智能体，这使智能体之间的合作模式单一，难以实现智能“碰撞”，产生服务更

高阶认知需求的能力[9][10]。

已有研究证明，营造高临场感的在线学习环境是提升学习质量的有效途径，为解决这些问题提供了思路[11]。具体而言，多智能体交互协作的高临场感在线学习环境有助于保持学生随时随地学习的高自由度、学生自主设计的高个性化以及人人可学的开放性，并平衡个性化学习与大规模开放的张力。因此，本研究尝试从临场感的理论视角出发，分析多智能体协同增强在线学习临场感的逻辑理路，建构多智能体协同交互在线学习环境的基本范型，并进一步明确教师与学生在这一环境中的工作/学习模式，以期为多智能体技术赋能教学实践提供参考。

一 理论分析：临场感视角下的多智能体协同交互在线学习环境

1 从单智能体到多智能体赋能的在线学习环境演进

临场感来自于学生与学习系统中不同主体角色的有机互动。从单智能体到多智能体，技术的进步为实现更高水平的在线学习临场感提供了有力支持。智能体一般解释为一个通过行动能力自主完成设定目标的代理，这一代理具备观察、记忆、决策和执行等主要模块，可以与环境进行交互并得到反馈[12]。在教育领域，基于深度学习模型构建的可交互工具都可以视为一种基础的教育智能体。早期的在线教育研究者运用人工智能技术开发了不同的学习辅助功能，其技术彼此较为独立，专注于教育的特定环节，如智能导师、在线教育推荐系统、学习成果自动评估、智能学生画像等[13][14][15]。但是由于课前、课中、课后不同的辅学功能任务具有较大差异，传统的深度学习算法基座在技术上难以统一，导致构建出的各独立智能体仅能满足简单的任务需求，难以覆盖教育场景中的多种角色和功能，在用户体验上整体展现出可信度不足、无法产生高水平临场感体验的效果。

多智能体（Multi-Agent）技术一般指构建具有不同角色、功能的数个智能体结构，通过职能分工、协调合作实现更复杂功能的技术，而学习系统作为面向人类社会、多方参与、高度复杂的分布式系统，需对大量任务进行并行处理，因此非常适合多智能体技术的融入[16][17]。相比单一智能体，多智能体的协同技术具有更强的社会模拟性、更自由的可调整性以及更广泛的适配性，导致尽管有相当多的学者对多智能技术融合的在线教育环境进行过设计和讨论，但这些智能技术仍相对孤立，难以实现数据互通，且长期作为教育场景中的辅助性工具存在[18][19][20]。如今，随着技术范式的迭代，尤其是大语言模型（Large Language Model）的发展，构建多智能体协调互通的新一代智能在线学习环境成为可能。相较于传统的人工智能技术，以大语言模型为基础的多智能体可以支持更多元的任务、具备更好的场景泛化能力，尤其是其构建的智能体具有较好的拟人化特征。在检索增强技术、思维链提示技术的赋能下，基于大语言模型实现教育场景的多智能化逐渐从一种设想推进到了可实施的状态，使这一技术已经在多个实用场景中展示出了应用潜能[21][22]。此外，由于教育场景中的教师、助教、同学等诸多角色都具有较强的智能体化基础，因此将课堂中的多个要素进行合理智能体化，并由此构建多智能体的高拟真度、高临场感在线学习环境成为智能教育应用发展的技术趋势。

2 多智能体协同增强在线学习临场感的逻辑理路

探究社区理论（Community of Inquiry Theory）认为，社会临场感、教学临场感和认知临场感是构建在线教学环境的三个紧密相连的关键要素[23]。该理论描述了在线教学与学习过程，为研究和设计在线学习经历提供了理论框架与工具，并在设计在线教学环境、促进混合学习效果

等方面有广泛影响，因此本研究以其为框架梳理多智能体在线学习系统的逻辑理路。

（1）人机交互协作提升社会临场感

在线学习中的社会临场感是指学生在社交和情感上的表现能力，在媒介中被视为“真实的人”[24]。当学习场景从线下迁移到线上环境时，社会互动的缺失是在线教育理论与实践中需着力解决的核心问题，而社会临场感强调创建一个有目的的在线探究学习环境，实现情感表达、开放交流和群体凝聚力，使学生的新思维和想法可以在其中相互连结。增进社会临场感需要拉近学生在线学习中的心理距离，如 Moore[25]将在线教育中的互动视为教师、学生与学习内容三者间的密切互动，学生与教师间的心理距离是影响远程学习的核心因素。传统的教育技术强调以多媒体工具加强人和人的直接互动，如尽可能采用同步而非异步的手段，或是基于人工智能技术构建对话机器人和智能辅导系统，但智能辅导系统的个性化与高效率主要体现为实现单一任务中的特定功能，并没有体现建设性合作的关键作用，因此无法在线上构建一个功能更加丰富且适应性更强的交互学习环境。而以大语言模型为技术基础的多智能体既可通过扮演学习促进者、学习资源策划者、学习体验设计师和学习评估者等多种角色[26]，围绕教学目标和设计与学生进行实时互动，提供多样化的学习辅助；也是教学环境中提供情感支持以调节课堂氛围的工具，通过营造良好的情感氛围和包容的讨论环境，实现人机共融以为学生提供充分的社会临场感体验。

（2）自适应教学策略提升教学临场感

教学临场感是指认知和社会过程的设计、促进与指导，目的是实现对个人有价值的学习成果，包括教学的设计和组织、直接指导、促进对话等维度。尽管在线教学环境中不同的参与者之间以及人与内容之间的互动都不可或缺，但互动必须在与教学目标方向一致的的情况下才能保证教育的效果。因此，教学临场感既强调在线教育过程需要明确的支架，也要求为学生提供个性化的学习体验以保证每个个体都能受益。传统上提高在线教学的临场感主要强调教师要从学生参与和批判性思维发展的角度开展教学设计，有效利用技术工具实现在线学习活动的组织、监控和管理，并给予学生及时的反馈。人工智能技术则可通过个性化推荐系统、自适应学习系统等工具收集学生的各种显性和隐性特征，并推荐或给出高质量学习资源信息，以不同的方式提供教学支架，针对个性化问题做出回复。然而，单一智能技术仅能参与部分学习过程，其数据和内容不共通，这使教学临场感依然主要依赖教师的直接指导，无法形成高质量的人机协作，也难以综合全面的学习信息对学生进行及时反馈。在多智能体模式下，课前、课中和课后各阶段的不同智能体数据互通、功能协同，支持教师根据学生的学习需求对知识内容和教学策略进行适应性调整，实时回应学生的个性化问题，确保以差异化的学习方式达到预期的学习效果。

（3）激发高阶思维提升认知临场感

认知临场感是学生在批判性探究社区通过持续的反思和对话构建学习意义的程度，指向批判性思维、问题解决等高阶思维目标的培养，包括触发事件、探究、整合、解决共四个阶段。探究社区强调在线教育中学生通过意义协商、共同建构知识来增强归属感和联系感，进而发展学生的高阶思维，而其关键因素在于学生参与讨论感受到的开放度、舒适感与信心体验，以及接受的教师教学指导和反馈[27][28][29]。已有研究主要依托对话机器人实现特定任务中对学生问题的针对性回应与引导，但这种以人工智能为中心的网络是典型的人机“知识讲述”，难以通过人机协作支持学生的“高阶思维跃迁”。大语言模型构建的多智能体系统则可以超越人机二元

互动关系，在同一时空下以不同的智能体角色实现观点讨论、启发性提问、辩论等职能，搭建以自然语言为载体的人机交互空间。此外，该系统还可以通过对学生回答情况的实时监测，判断其高阶思维参与的水平，从而优化课堂模式，最终提升在线学习环境中的临场感以促进学生的认知发展。

二 基本范型：多智能体协同交互在线学习环境的建构

基于多智能体协同交互的在线教育环境的技术背景以及何以促进临场感的逻辑理路，接下来本研究将通过介绍基于大语言模型的多智能体协同交互的在线学习环境及其所需的多类型智能体、技术支持模组，探讨本研究所述多智能体协同交互在线学习环境建构的基本范型。

1 多智能体协同交互的在线学习环境

（1）交互式课堂系统

为了保持对学习环节的完整覆盖，提升学生在系统中学习体验的临场感水平，本研究设计了多智能体协同交互的在线学习环境框架，如图 1 所示。其中，核心的交互式课堂系统包括课前准备系统（课前）、交互课堂系统（课中）以及学习评估系统（课后）的完整学习环节，覆盖了教师、学生不同环节的工作与学习需求，同时每个子系统的功能也各有侧重，具体如下。

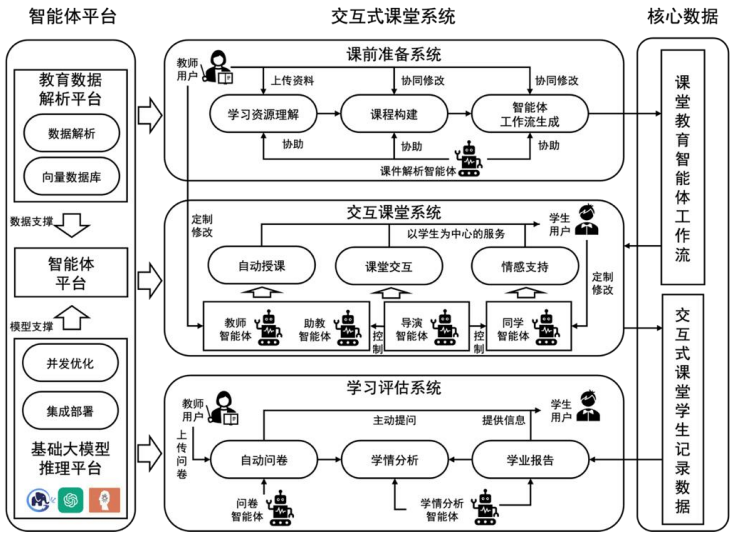


图 1　多智能体协同交互的在线学习环境架构

课前准备系统主要提供教师侧的完整服务，旨在协助教师高效备课，为后续子系统的运行提供数据基础。该子系统主要以课件解析智能体为依托，完成学习资源的结构化理解，并在教师的协助下，完成课程的初步构建，最终形成带有教师个人风格的课程智能体工作流。交互课堂系统则主要面向学生提供沉浸式的多智能体交互学习功能。在课堂教育智能体工作流的引导下，该子系统的导演智能体控制教师智能体、助教智能体和同学智能体，提供课程传授、交互讨论以及情感支持等丰富的学习功能，为学生创造流畅、高临场感的学习体验。学习评估系统同时面向师生提供服务。在该子系统中，基于课堂教育智能体工作流和最终产生的交互式课堂学生记录数据，教师可以在问卷智能体的支持下探访学生的学习体验；学生也可以在与学情分

析智能体的交互中获取学业报告，持续跟踪了解自身的学习情况。

（2）在线学习环境中不同类型的智能体

交互式课堂系统涉及多种不同类型的智能体，以及作为技术支持所必需的智能体平台、数据和工作流。为了使所构建的多智能体环境中囊括更丰富的智能体，以促进教育情景中群体智能的涌现，服务学生的高阶认知需求，本研究根据工作环境、构建者、技术支持等属性的区别，将可能服务在线学习环境的智能体类型及特征进行了汇总，如表 1 所示。

表 1　在线学习环境中多智能体的类型及特征

类型	智能体	功能简述	构建者	交互对象	输入内容	输出内容	技术基础
对话型	教师智能体	自动授课、讲解课件内容	开发者/教师	学生	课件、讲稿、上下文对话	对课件内容的讲解	多模态内容理解与生成
	助教智能体	维护课堂秩序、进行知识问答	教师	学生	上下文对话、用户提问	知识性回答	检索增强生成技术、推理问答技术
	同学智能体	活跃气氛、启发思路、破除交互压力	开发者/学生	学生	上下文对话	用于活跃气氛、提问等功能的文本内容	大模型风格生成
	问卷智能体	收集学生反馈、发布测试	开发者/教师	学生	问卷/问题的列表	多轮提问	大模型问题生成
分析型	课件解析智能体	将异构学习资源进行结构化整理	开发者	教师	多类型课件	课程知识结构，每个课件的讲解稿	多模态知识获取
	课堂分析智能体	分析课堂的情景	开发者	智能体	上下文对话	当前情况总结	大模型总结能力
	学情分析智能体	分析学生学习记录	开发者	教师	学生的答题内容	学生学习情况报告	大模型总结能力
决策型	导演智能体	课堂中决策当前应该由哪位智能体发言	开发者	智能体	上下文对话	应当发言的智能体 ID	大模型规划能力

总体来说，智能体包含三种主要类型：对话型智能体主要以自然对话为主要交互方式，直接面向用户提供服务，构建高临场感系统的基础；分析型智能体更多地面向结构化或半结构化数据，为用户提供富文本形式的分析结果；决策型智能体则主要与其他智能体交互，不直接面

向用户，承担对多智能体的综合协调职能。

（3）多智能体协同交互控制机制设计

当前，对多智能体协同交互的控制主要有两种方法：一种是基于规则的多智能体控制方法，如 Viswanathan 等[30]在所构建的智能教学系统中预设了多层次的智能体，并明确规定了学习资源智能体、规划智能体、评测智能体的工作规则。这类方法的优点在于工作流程可解释性高，且性能有明确的可控下界，不容易在教学过程中产生系统性风险，然而其问题在于智能体之间的协同方式固定，调整难度较大。另一种是基于参数化学习的多智能体控制方法，这类方法的优点在于构建方式简易，不需要大量预设的专家知识，可调整性强，然而这样构建的系统具有较强的黑盒属性，无法解释和理解其协作原理，也很难融入专业指导。总体来说，两种传统的多智能体协作控制方法各具优势，但是无法合理地引入专家知识进行指导，限制了其在教育领域的使用。为此，本研究所构建的多智能体协同机制采用了元智能体模式的原型，该原型一般通过构建一个总控智能体以实现对多个智能体的控制[31]。本研究设计了一种以导演智能体为基础的多层次控制机制——多智能体协同交互控制机制，如图 2 所示。在此机制中，所有的智能体均以大模型作为基底，在课堂教育智能体工作流和交互式课堂学生记录数据的牵引下，以决策型智能体为中枢实现多智能体控制。教育专家可以通过调整决策型智能体的实现方式和遵循原则，从而控制整个课堂的管理方式与传授风格。同时，各智能体也都基于标准化、统一化的数据进行管理，易于实现高密度、高通量的信息传递，以构建高质量的学习环境。

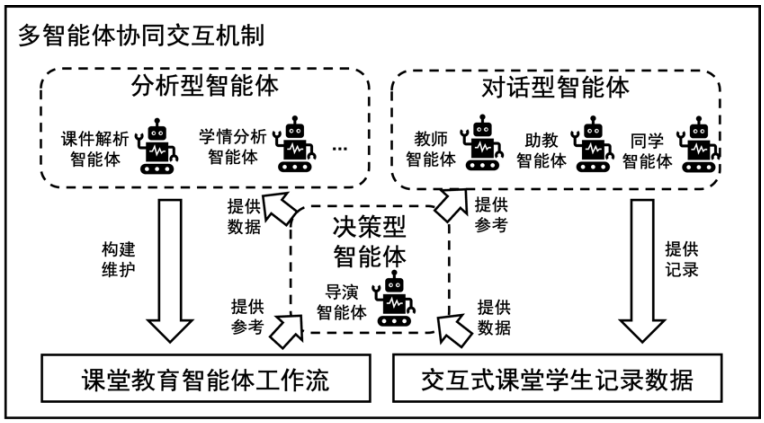


图 2　多智能体协同交互控制机制

2 多智能体协同交互的技术支持模组

（1）以大模型为基底的高拟人化智能体平台

智能体平台以大模型为技术支撑，融合多模型集成部署、高效并发推理优化、高质量教育数据解析等技术，从而实现对教育环境中不同智能体角色的高拟人化定制和构建，为构建高临场感的多智能体在线学习环境提供智能体基础。一方面，智能体平台需要支持对多语言、多模态（如文字生成、图片理解、语音生成等）大模型的集成部署，以提供更丰富的智能体定制需求。同时为保证运行效率，还需要引入任务等待队列、K8S 部署、消息轮询等技术，支持更高的并发请求，优化模型推理效果。另一方面，智能体平台还需借助高质量的教育数据解析功能，将课件、教材、学习视频、互联网知识等进行统一化解析，应用向量数据库技术完成存储，从

而支持不同智能体角色的特定专业任务。基于以上技术，智能体平台在支持教师、学生自主定制智能体的同时，也提供了一系列对话型、分析型、决策型智能体用于基础教学流程的实现。这些智能体使用同一大模型作为基座，能够完成无阻碍、高通量的数据与智能共享，相较于传统智慧教学技术的各自独立状态，可以更自然地支持复杂教学智能环境的构建和服务。

（2）基于控制语言的智能体工作流

智能体工作流是基于控制型函数设计的一种用于教育环境的特殊语言，旨在实现对不同智能体和学习资源的协同控制。该工作流包括一系列具体的操作函数，如提供某个学习资源（provide_material）、提问用户（call_user）、提问其他智能体（call_agent）等。基于这些操作函数的组合，本系统可以进行多种教学模式的变换，支持多种智能体的系统课堂执行，由此以高拟人化的方式执行课堂流程，提升学生的临场感体验。课堂的核心交互控制机制正是以这一工作流牵引、导演智能体主导的多智能体结构实现的，其中导演智能体的决策、执行模块都由具备涌现智能的超大规模模型进行思维链微调构建，因此具备较强的规划能力。课堂交互控制具体过程是导演智能体持续接收课堂进程中各智能体的输出内容作为输入，判断当前的课堂情况，并根据这些信息决策下一步将进行的教学动作以及适合该操作的智能体；各智能体则以导演智能体的决策信息为信号，根据上下文内容展开符合自身任务的执行过程。

三 实现模式：多智能体协同交互在线学习环境的功能实现

1 多智能体环境中的教师工作模式

在本研究所述的教育环境中，教师的工作依然贯穿课前、课中、课后的完整学习过程，并在多智能体的支持下，完成从“知识传授者”到“学习运营者”的角色转变，促进学习过程的临场感提升。具体来说，在课前准备中，教师首先上传课程的学习目标、参考书籍、讲解视频、练习题目等学习资源，然后在课件辅助智能体的协同下，获取互联网相关教学资源，更高效地进行课程大纲和分节课件制作等备课任务。在此过程中，教师可以实时向智能体表达需求以得到充足的支持，并随时对课件样式、讲解稿、智能体工作流进行修改和调整，以防得到的结果不符合课程讲授需求或出现知识、价值观偏误。同时，教师可以更关注课程的设计，而非将大量精力用于资料搜集、资料整理、讲稿撰写等基础性工作中，从而隐性提升课程内容的教学临场感水平。在课堂交互中，教师不再需要直接进行直播讲解或课程录播，而是可以定制本门课程教师智能体、助教智能体的知识内容、传授风格乃至语音特征等，将知识讲解、知识答疑、课堂纪律控制等工作分散到不同的智能体。同时，教师也可以通过平台实时监测每一门课程的执行情况，并根据需求扮演特定的智能体角色，以保持对课堂的远程控制。在课后学习评估时，教师可以向问卷智能体提交希望调研的题目集或问卷，从而实现自动反馈收集。同时，学情分析智能体也会集成本课程所有学生的学习报告，为教师整理详实丰富的课堂总结，支持教师进一步优化后续课程内容。

2 多智能体环境中的学生学习模式

在本研究所述的教育环境中，学生的课堂交互和课后评估环节从传统在线学习的被动输入状态转向了以学生为中心的自适应交互状态，整个环境协同配合，以持续增强学生的多维临场感体验。在课前，学生可以定制和选择希望一起学习的同学智能体，并设置同学智能体的性格、出现时机、背景知识等，从而完成对课堂交互环境的自主预设。开始上课后，教师智能体会根

据课件内容和控制工作流执行对课程知识的讲解，学生则可以随时提出对课程内容的困惑或质疑；而在导演智能体的控制下，不同的智能体也会适时发言，协助学生在积极的学习状态中理解课程内容。同时，由于预设的智能体工作流中包含提问用户、呼唤智能体等函数，因此即使学生不进行交互，也会有同学智能体不定期出现，从不同的视角展开对课程内容的讨论，让学生在更具社会临场感的情境中受到不同角度的启发。这样的课堂环境更容易使学生感受到整个课程都在以其为中心发生调整，实现“一生一课堂”的高度自适应性，促进学生自主进行高阶思考。在课后，问卷智能体会与学生进行充分互动，在更自然的状态下插入课程习题、问卷反馈等信息，以得到更充分的学习记录。随后，学情分析智能体会为学生发放其个人的本课堂学习记录分析结果，协助其完成自我纠偏、知识理解和学习复盘。

四 结语

以大语言模型为基础的多智能体技术，可以整合传统上孤立的智能化学习支持功能，为系统构建高临场感的在线学习环境提供可能。为此，本研究设计了一种多智能体协同交互的高临场感在线学习环境，该环境基于大模型构建智能体平台，集成了对话型、分析型、决策型三类教育智能体，并通过控制语言驱动的智能体工作流，打造“人在回路”的人机交互式课堂。依托多智能体技术，该环境不仅能够提供高临场感的在线学习体验，还能深度促进优质教育资源的高效共享，有效降低课程制作、知识传授和自适应学习在多样化需求下的成本，同时兼顾教育的“大规模化”和“个性化”目标。然而，面对人工智能技术颠覆性发展和新一代学习者快速演变的学习需求，如何实现在线学习环境中师生、知识与多智能体等要素的紧密协同，有效支持学生全面发展，仍是一个涉及理论、技术、实践的综合性问题：首先，多智能体环境中的人机协同教学理论仍在探索阶段，目前的研究虽然初步分析了临场感下的多智能体协同教学，但难以提供细粒度的智能体优化指导；其次，在技术层面，基于大模型的多智能体系统在教育中面临上下文长度有限、推理速度不足、高阶规划能力不强等问题；最后，在实践中，现有系统在适配复杂课程时仍有挑战，尤其对于专业性强的课程，智能体需灵活调整，并与实践平台深度融合才能更好地支持学习。对此，未来多智能体协同交互的在线学习环境构建可进一步以增强临场感为抓手，拓展教育功能型智能体的覆盖范围，提升人机互动质量，加强对学习全过程的支持深度；完善多智能体学习环境中的反馈回路，使系统能够在学习交互中实现持续优化，不断提升对个性化学习需求的响应能力；同时，构建具备更强认知能力的大模型思维链和工作流，以更深入地理解并支持学生高阶认知的发展过程。

参考文献

[1]邬大光,李文.我国高校大规模线上教学的阶段性特征——基于对学生、教师、教务人员问卷调查的实证研究[J].华东师范大学学报(教育科学版),2020,(7):1-30.

[2]李文昊,祝智庭.改善情感体验:缓解大规模疫情时期在线学习情绪问题的良方[J].中国电化教育,2020,(5):22-26、79.

[3]余胜泉,熊莎莎.基于大模型增强的通用人工智能教师架构[J].开放教育研究,2024,(1):33-43.

[4]武法提,杨重阳,李坦.智慧学习环境中的人机协同设计[J].电化教育研究,2024,(2):84-90.

[5]黄荣怀,刘德建,阿罕默德·提利利,等.人机协同教学:基于虚拟化身、数字孪生和教育机器人场景的路径设计[J].

开放教育研究,2023,(6):4-14.
[6]翟雪松,季爽,焦丽珍,等.基于多智能体的人机协同解决复杂学习问题实证研究[J].开放教育研究,2024,(3):63-73.
[7][30]Viswanathan N, Meacham S, Adedoyin F F. Enhancement of online education system by using a multi-agent approach[J]. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2022,3:100057.
[8]Amane M, Aissaoui K, Berrada M. A multi-agent and content-based course recommender system for university e-learning platforms[A]. International Conference on Digital Technologies and Applications[C]. Cham: Springer International Publishing, 2021:663-672.
[9]Amirkhani A, Barshooi A H. Consensus in multi-agent systems: A review[J]. Artificial Intelligence Review, 2022,(5):3897-3935.
[10]Chen Y, Ding N, Zheng H T, et al. Empowering private tutoring by chaining large language models[A]. The 33rd ACM International Conference on Information and Knowledge Management[C]. New York, NY, United States: Association for Computing Machinery, 2024:354-364.
[11]Garrison D R, Zehra Akyol. The Community of Inquiry Th eoretical Framework[A]. Handbook of distance education[C]. UK: Routledge, 2013:104-120.
[12]Jennings N R, Sycara K, Wooldridge M. A roadmap of agent research and development[J]. Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 1998,1:7-38.
[13]Graesser A C, Hu X, Nye B D, et al. ElectronixTutor: An intelligent tutoring system with multiple learning resources for electronics[J]. International Journal of STEM Education, 2018,(1):15.
[14]Jing X, Tang J. Guess you like: Course recommendation in MOOCs[A]. Proceedings of the International Conference on Web Intelligence[C]. New York, NY, United States: Association for Computing Machinery, 2017:783-789.
[15]Piech C, Spencer J, Huang J ,et al. Deep Knowledge Tracing[J]. Computer Science, 2015, (3):19-23.
[16]Gago I, Wernec V, Costa R. Modeling an educational multi-agent system in MaSE[A]. Active Media Technology[C]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009:335-346.
[17]IvanoviÄ M, MitroviÄ D, Budimac Z, et al. HAPA: Harvester and pedagogical agents in e-learning environments[J]. International Journal of Computers Communications & Control, 2015,(2):200-210.
[18]Panait L, Luke S. Cooperative multi-agent learning: The state of the art[J]. Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 2005,11:387-434.
[19]朱永海,刘慧,李云文,等.智能教育时代下人机协同智能层级结构及教师职业形态新图景[J].电化教育研究,2019,(1):104-112、120.
[20]蒋鑫,朱红艳,洪明.美国“教育中的人工智能”研究:回溯与评析[J].中国远程教育,2020,(2):9-20、48.
[21]Wei J, Wang X, Schuurmans D, et al. Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models[J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2022,35:24824-24837.
[22]Chen Q, Wei L, Hongzhang L, et al. ChatDev: Communicative agents for software development[A]. Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics[C]. Bangkok, Thailand: Association for Computational Linguistics, 2024:15174-15186.
[23]Garrison D R, Anderson T, Archer W. Critical inquiry in a text-based environment: Computer conferencing in higher education[J]. The Internet and Higher Education, 1999,(2-3):87-105.
[24]Garrison D R, Anderson T, Archer W. The first decade of the community of inquiry framework: A retrospective[J].

The Internet and Higher Education, 2010,(1-2):5-9.
[25]Moore M G. Editorial: Three types of interaction[J]. American Journal of Distance Education, 1989,(2):1-7.
[26]Bozkurt A, Sharma R C. Challenging the status quo and exploring the new boundaries in the age of algorithms: Reimagining the role of generative AI in distance education and online learning[J]. Asian Journal of Distance Education, 2023,(21):1-8.
[27]Garrison D R. E-learning in the 21st century: A community of inquiry framework for research and practice (3rd ed.)[M]. New York: Routledge, 2016:45-70.
[28]Richardson J C, Ice P. Investigating students' level of critical thinking across instructional strategies in online discussions[J]. The Internet and Higher Education, 2010,(1-2):52-59.
[29]Stein D S, Wanstreet C E, Slagle P, et al. From "hello" to higher-order thinking: The effect of coaching and feedback on online chats[J]. The Internet and Higher Education, 2013,16:78-84.
[31]Hong S, Zhuge M, Chen J, et al. MetaGPT: Meta programming for a multi-agent collaborative framework[OL]. <https://openreview.net/forum?id=VtmBAGCN7o>

Constructing High-presence Online Learning Environment via Multi-Agent Collaborative Interaction

YU Ji-Fan[1] LI Rui-Miao[2] LI Man-Li[1] LIU Hui-Qin[1][Corresponding Author]

(1. Institute of Education, Tsinghua University, Beijing, China 100084; 2. Research Institute for International and Comparative Education, Shanghai Normal University, Shanghai, China 200234)

Abstract: At present, although generative artificial intelligence provides a possibility for constructing online learning environment that facilitates collaborative interactions among multiple agents, the existing environment construction still faces challenges such as insufficient social presence, lack of cognitive presence, and weak teaching presence. Therefore, this paper analyzed the logical framework of multi-agent collaboration in enhancing the presence in online learning. Meanwhile, it was emphasized in this paper that a positive emotional atmosphere and an inclusive discussion environment should be created through real-time online interactions between multiple agents and humans to enhance social presence, students' personalized needs should be excavated and teaching strategies should be adaptively adjusted to strengthen teaching presence; and students' higher-order thinking development should be monitored and assessed in real time using discussions and probing questions to enhance cognitive presence. Based on this, the paper designed a basic paradigm of multi-agent collaboration in online learning environment, constructed an agent platform using large models to develop three types of educational agents: dialogic, analytical, and decision-making. Taking the agent workflow of controlling language as the lead, an interactive classroom system that integrated pre-class preparation, in-class interactions, and post-class assessments within a "human-in-the-loop" framework. Finally, the working/studying modes of teachers and students in multi-agent environment were analyzed, expecting to provide reference for technology-enabled education in the era of multi-agents.

Keywords: online learning environment; multi-agent; community of inquiry theory; presence; large language model

---

*基金项目：本文为国家自然科学基金面上项目"数智时代真实学习情境下高阶思维能力的形成机理及评价研究"（项目编号：62277034）的阶段性研究成果。

作者简介：于济凡，助理研究员，博士，研究方向为教育人工智能，邮箱为 yujifan@tsinghua.edu.cn。

收稿日期：2024 年 6 月 13 日 编辑：小时