

基于经验之塔的生成式多智能体导学系统研究

魏艳涛¹, 徐琦², 师亚飞³, 刘清堂¹

(1.华中师范大学 数字教育湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430079;

2.华中师范大学 人工智能教育学部, 湖北 武汉 430079;

3.河南师范大学 教育学部, 河南 新乡 453007)

[摘要] 基于生成式人工智能的导学系统可通过模拟专业导师增强学习效果,但是现有系统重直接经验、轻间接经验,重教学辅导、轻学习支持,对学生认知发展支持不足。为解决上述挑战,研究融合生成式人工智能技术与经验之塔理论,设计开发了生成式多智能体导学系统,通过直接经验与间接经验相统一的学习模式和“教—学—导”三元智能体来支持学生的学习。研究发现:系统拥有高质量的教学对话生成能力,兼具知识高效掌握和技术高接受度的双重优势;面向直接经验学习模式的“指导智能体”综合表现最好,面向间接经验学习模式的“交互型教师”角色最有助于学生获得学术成功。研究证实了直接经验与间接经验的系统化融合能够优化学生的知识掌握,三元智能体架构可满足多元学习需求,以期对智能导学系统的开发和应用提供有效参考。

[关键词] 经验之塔; 多智能体; 生成式人工智能; 智能导学系统; 系统构建

[中图分类号] G434

[文献标志码] A

[作者简介] 魏艳涛(1983—),男,山东菏泽人。教授,博士,主要从事智能教育研究。E-mail:yantaowei@mail.ccnu.edu.cn。

一、引言

近年来,人工智能技术的飞速发展教育变革提供了新的契机。《新一代人工智能发展规划》等重要文件指出,要充分利用人工智能等技术构建智能学习与交互式学习的新型教育体系,以推动教育模式的创新与升级^[1]。与此同时,智能体作为人工智能的重要分支,在教育领域的应用取得了显著进展,为智能导学奠定了技术基石。生成式人工智能(Generative Artificial Intelligence,简称 GAI)技术的突破,为智能导学系统的升级提供了强大动力,使得更加高级和拟人化的智能导学场景成为可能。在此背景下,基于 GAI 的多智能体导学系统逐渐成为研究热点,已有研究利用生成式的多智能体构建了学生协作的灵活开放式空间^[2],这为 GAI、教育智能体与智能导学系统的有机结合提供了借鉴。

虽然基于 GAI 的导学系统可以达到乃至超越人类导师的教学效果,但是现有基于 GAI 的导学系统强调高临场感、强交互性,重在支撑更高阶的思维活动,会给学生带来高强度的认知负荷,也忽视了学习由简到繁的完备过程。因此,立足技术本质协同多个生成式智能体,设计兼顾强交互与低负荷的智能导学系统架构以打造教育应用新场景,仍面临着理论和实践的双重挑战。一是重直接经验,轻间接经验。现有系统始于知识问答,聚焦生成式人机对话,指向复杂问题解决,缺乏体现交互主体性的应用机制,可能难以达到简单与复杂知识兼容学习和意义建构的目的^[3]。二是重教学辅导,轻学习支持。现有系统仍强调教师角色,缺乏多元师生角色支持,学生的主观能动性难以发挥,这可能会限制其在更多场景应用^[4]。因此,为应对上述挑战,本研究将构建基于经验之塔的生成式多智能体导学系统,设计兼顾直接经验与间接经验的学习

基金项目: 2023 年度国家自然科学基金项目“面向同步直播课堂的可解释学习投入自动评测方法研究”(项目编号:62277029); 2020 年度教育部人文社科项目“基于人工智能的在线学习参与度识别研究”(项目编号:20YJC880100)

模式,构建“教—学—导”三元智能体,并采用人机双评的方式来验证系统的性能,通过教学应用来检验系统持续使用的价值,以及对学习的促进作用,从而推动 GAI 时代的智能导学系统创新发展。

二、理论基础与相关研究

尽管 GAI 在文本生成、理解和推理等通用场景取得了显著成就,但在教学应用方面仍存在局限^[9],尤其体现在基于 GAI 的导学系统仍缺乏完整的经验学习架构支撑。为解决现有系统重直接经验、轻间接经验,重教学辅导、轻学习支持的问题,本研究将系统梳理经验之塔理论、基于 GAI 的导学系统等相关研究,从理论和实践的角度厘清二者之间的关系,为生成式智能导学系统研究提供参考。

(一)经验之塔理论

在 GAI 的支持下,智能导学系统期望用高仿真的人类行为模拟来帮助学生获得学习经验,这使得现有研究更关注通过沉浸式的对话互动获取直接经验,而忽视了经验学习的完整性。经验之塔理论指出,学习的经验是从具象到抽象的连续体,仅通过互动主导的直接经验可能难以获得有效的抽象经验^[6]。该理论还指出,有效的学习方法是让学生既要接触直接经验,也要将观察经验作为桥梁,帮助学生顺利上升到抽象的经验。这些观点强调了直接经验与观察经验相结合的重要性。例如,对于简单的陈述性知识学习,观察他人学习的间接经验就已足够,而复杂的问题解决则需要更多直接经验才能完成。

基于经验之塔理论,生成式智能导学系统需要兼顾直接经验和间接经验学习,并能支撑由简到难的学习任务。因此,该理论可为 GAI 时代的导学系统设计提供底层逻辑支撑。然而,该理论并未指出不同经验所需的教學元素,这为生成式智能导学系统中的多智能体角色设计提供了留白空间,由此可以构建更具个性化的智能导学新模式。

(二)基于 GAI 的导学系统

基于 GAI 的导学系统通过对话模拟和知识推荐等功能实现智能导学,典型应用包括协作型、分析型和促进型三种^[7],且以促进型为主。这类系统沿用现有智能导学系统设计框架,支持大部分基础性学科(如语文、数学和英语等)的个性化知识对话生成。其人机交互活动始终围绕师生角色展开,虽有助于获得直接经验,但学习路径单一,也降低了学习效率,导致系统难以适配不同难度的学习任务。如何组合多个生成式智能体以实现更高级别的学习协同,并适应更灵活的

学习活动,这成为现有研究的关切内容。目前,研究聚焦研发生成式多智能体系统(如软件开发协作类^[8]、科学实验操作类^[9]和科学辩论互动类^[10]等),这些系统通过文本交互来实现多智能体之间的协作、辩论和竞争通信。虽然这些系统被证明有助于学生的复杂问题解决,但系统普遍存在可靠性验证缺失与内容幻觉问题^[11],导致经验完整性不足、互动模式单一及多元教学场景支撑薄弱。

因此,目前还需要探索与智能导学相适应的设计模式,使其产生更高质量的互动内容。为此,要结合设计、理论和实践来重构系统,为学生提供高质量的学习体验。其中,设计指真正能够促进学生学习的生成式多智能体导学系统设计;理论指系统必须符合经验学习规律;实践指将教学应用完整地加以实施,并通过多方证据来验证设计与理论结合的有效性。

三、基于经验之塔的生成式多智能体导学系统构建

针对现有系统存在经验学习不完整、模式单一和多元场景支持性不足的问题,研究提出基于经验之塔的生成式多智能体导学系统(Cone-of-Experience-based Generative Multi-agent Tutoring System,简称 CE-GMTS),根据经验之塔理论来设计“直接与间接”的经验学习双模式,基于交互—建构—主动—被动(Interactive-Constructive-Active-Passive,简称 ICAP)理论、社会认知理论和苏格拉底式教学法来构建“教—学—导”三元智能体,以完善双模式的内部功能。该系统通过教学智能体的知识具现、同伴智能体的学习陪伴和指导智能体的启发引导,实现了基于 GAI 技术的教学对话生成、基于经验之塔理论的渐进式学习模式,以及三元智能体适配的个性化学习支持。

(一)CE-GMTS 整体框架

CE-GMTS 整体框架如图 1 所示,学习之前,学生需要选择学习内容,如“C 语言程序设计的指针”,该内容由课程教师和 ChatGLM 生成的知识库共同组建。基于这一选择,CE-GMTS 会根据该领域必须掌握的知识点启动经验之塔学习模式,激活间接经验和直接经验学习模式,以及“教—学—导”三元智能体,以支持任务的适应性、经验的完整性和过程的持续性。

(二)经验之塔学习模式

经验之塔学习模式包括间接和直接两种类型,其界面如图 2 所示。其中,间接经验学习模式由教师智能体和学生智能体构成,学生通过观摩、参观和感受生成式师生的教学互动来习得间接经验,从而建构自

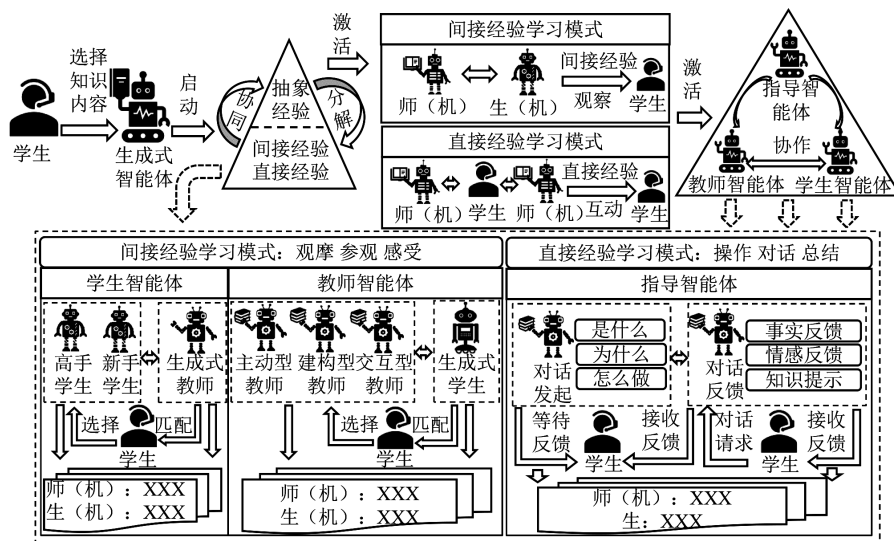


图1 CE-GMTS 整体框架

己的知识结构。教师智能体包括主动型、建构型和交互型三类生成式教师,学生能观察不同教师的讲解来理解知识。学生智能体提供新手和高手两类生成式学生,学生通过观察生成式学生的学习过程来获得学伴的间接经验。针对相同知识点,这些角色会在知识呈现方式上有所差异。直接经验学习模式包括对话发起与反馈的指导智能体,学生通过操作、对话和总结指导智能体的对话来习得直接经验。该模式将承担苏格拉底导师角色,对话发起的目的是诊断知识障碍和解析学习需求,对话反馈的目的是引导知识应用和探索解决方案,互动过程不提供直接答案,而是通过苏格拉底式问答法促使学生深入思考,从而达到学习目的。

学生重复选择固定元素时,应为学生提供符合真实场景的差异化对话内容。(2)在间接经验学习模式中,需按照学生信息加工的阶段和顺序展开对话,对话的最小话轮为 10,以满足知识点的完整呈现。(3)在直接经验学习模式中,必须二次检查学生的对话和生成的内容,不要响应与学习无关的对话,不要捏造错误、有害的回答,并尽可能提供参考资料,以保证对话的科学性。

(三)“教—学—导”三元智能体

在经验之塔学习模式中,间接经验学习模式主要负责知识传递与行为示范,学生既会获取教师在讲授和演示等过程中的信息,也会观察和模仿同伴的思维与行为来获得新的认知,这就需要教师和同伴两类智能体来支撑间接经验学习模式。直接经验学习模式主要负责知识内化与迁移应用,学生通过对话指导来获取教师的专家知识,并达成抽象概念的理解与应用,这一过程强调了教师的指导作用,因此,需要设计指导智能体。三类智能体在经验之塔理论下形成纵向协同:教师智能体提供任务参与情境,ICAP 理论中提出的交互(I)、建构(C)和主动(A)三类教师能刺激学生不同程度的任务参与,这成为教师智能体设计的重要参考。学生智能体生成同伴学习路径,社会认知理论指出,学习发生在观察行为示范原型被强化的过程中,这对应了学生智能体的设计。指导智能体则强化自主交互与认知习得,结合苏格拉底式教学法,引导学生通过任务探究、情境体验等实现知识的深度迁移与反思,促进高阶能力的培养。“教—学—导”三元智能体共同构成“知识具现、学习陪伴、启发引导”的螺旋上升结构,这种分层分类设计既保持各智能体的功能明确性,又通过经验层次的动态映射实现系统级的



图2 CE-GMTS 移动端的经验之塔学习模式界面

(以“指针”为例)

经验之塔学习模式中所有对话均由 ChatGLM 按 Prompt 规则调控:(1)所有模式必须协同工作,围绕学生的历史选择、历史对话和课程知识生成内容,当

学习效能。下面将具体阐述基于 ICAP 理论的教师智能体、基于社会认知理论的学生智能体和基于苏格拉底教学法的指导智能体。

1. 基于 ICAP 理论的教师智能体

现有智能导学系统中教师角色单一,仅以专家教师身份呈现知识内容,难以激发学生的学习积极性。ICAP 理论提倡学生进行主动型、建构型或交互型学习,这三种模式比被动型学习有更好的学习效果,且交互型学习的效果最佳^[12]。对此,研究设计主动型、建构型和交互型生成式教师,使其分别与随机生成式学生产生互动,为学习者提供多元讲解形式,缓解教学的单调性。主动型教师以呈现刺激和提供学习机会为主,该类型教师将鼓励学生积极地对呈现材料做出适当反应。建构型教师强调学习的螺旋上升组织形式,他们会将新知识与学生原有知识结构联系起来,促进学生学习。交互型教师倡导的策略是帮助学生探究复杂的主题,通过由浅入深的交互活动帮助学生掌握知识。上述三类教师的关键提示词分别为直述、类比或隐喻、探究或案例。

2. 基于社会认知理论的学生智能体

现有智能导学系统中的对话均以学习者为中心,学生难以获取同伴经验,这与真实课堂中的共同学习情境大相径庭,学生容易出现疲劳和脱离等问题。社会认知理论认为,个体能通过模仿他人获取经验和知识,从而逐渐形成自己的行为模式,这说明观察他人的学习经验有助于学生建构新的知识^[13]。因此,研究设计高手型和新手型生成式学生,将学生置身于同伴经验学习情境,让学生和生成式学生一起学习新知识,以第三视角观察生成式学生的学习互动,缓解学习的孤独感和割裂感。高手型学生会准确地参与知识互动,包括应用、分析、评价和创造等高阶思维活动,学习积极性也较高。新手型学生的特点是知识基础薄弱,回答准确率低,缺乏学习自信。由此来看,新手型学生会放大易错和重难点知识点学习,使得这类知识的生成式解释会更符合基础知识薄弱的学生学习需求。根据上述分析,高手型和新手型生成式学生的关键提示词分别为积极主动与高准确率、消极被动与低准确率。

3. 基于苏格拉底教学法的指导智能体

现有智能导学系统存在师生互动模式固定、被动性强、反馈方式单一等局限性。苏格拉底认为,只有通过有意识地引导和启发学生互动,才能达到认知的目的^[14]。对此,研究采用苏格拉底式提问法来设计“是什么、为什么和怎么做”的生成式对话发起学习活动,通过由浅入深、由表及里的连续性引导让学生沉浸式地

参与直接经验互动。学生也可以主动发起对话,指导智能体将根据深度反馈原则来生成事实性反馈、情感反馈、知识提示与细节解释,支撑更高阶、更复杂的抽象经验学习任务。其中,指导智能体的关键提示词参考苏格拉底反思式提示法^[15]进行设计,对话发起的关键提示词是知识点是什么、怎么解决问题、解决方案的逻辑理由等,对话反馈的关键提示词包括判断回答正确性、给出鼓励或赞美等情感激励,提供详细的解释和提示说明。

四、CE-GMTS 的应用与分析

CE-GMTS 已应用于某大学科学教育专业的“C 程序设计”课程,共有 30 名学生参与了 48 课时的学习。教师通过设置新知学习和小组协作引导学生使用 CE-GMTS 系统进行直接经验学习和间接经验学习。系统后台记录的浏览、点击和互动文本数据将作为 CE-GMTS 的评价依据。学习后,学生需进行知识后测,内容覆盖“C 程序设计”中的算法、数据类型、流程控制、数组、函数、指针、结构体和文件 8 个单元,并完成 CE-GMTS 接受度调查,问卷改编自技术接受和使用统一模型 (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT)^[16],采用 5 级标尺测量包括绩效期望、努力期望、社群影响、促进因素和使用意愿等基础变量,同时新增自我效能、互动深度和焦虑变量来测量学生使用 CE-GMTS 成功完成学习的信心、感知与 CE-GMTS 的互动质量,以及 CE-GMTS 给学习带来的潜在焦虑。

(一) 评价方法

研究采用自动评价与人工评价相结合的方法来检验 CE-GMTS 的性能。在自动评价方面,一方面采用大语言模型自评法来检验 CE-GMTS 的可读性、语法性、信息量和流畅性^[17],另一方面采用大语言模型专用评价法 CritiqueLLM 来检验 CE-GMTS 的事实正确性、满足用户需求、安全无害和清晰度等^[18],上述方法均被证实具有良好的评价质量。人工评价采用专家打分法,评价子维度源于 GAI 增强的智能导学系统 ASSP 框架^[19]中的前三项指标,分别是遵循先进的学习理论(A)、使用最新技术(S)和正确应用策略(S),第四项指标证实学习有效性(P)将通过实践数据来验证,评价内容采用 5 级标尺的符合程度和熟悉程度两方面,最终分数由符合程度和熟悉程度的乘积均值决定。

(二) 应用分析

1. CE-GMTS 的性能分析

研究共回收了 26 份有效的专家评价,并对 271

条教师、学生以及指导智能体的文本进行评价。CE-GMTS 自评和 CritiqueLLM 评价由模型独立输出的三次得分均值决定,最终分数范围均为 1 至 5 分,评价结果见表 1。CE-GMTS 的自评结果反映出指导智能体具有更好的对话质量,而教师和学生智能体在信息量和流畅性方面稍逊色一些。CritiqueLLM 评价比 CE-GMTS 自评得分偏低,指导智能体在创造性、逻辑连贯性和丰富度方面表现更优,教师和学生智能体在完备性和创造性方面稍有欠缺。进一步地,人工评价表明,指导智能体在理论适用性、技术契合性和策略适应性上的综合得分最佳,其中,学生智能体、教师智能体分别在策略适用性和技术契合性上表现最好。总体来看,CE-GMTS 的综合评分为 3.94,自动评价较人工评价的分数稍高,但两者结果的趋势较接近,即基于直接经验学习模式的指导智能体综合性能更好,基于间接经验学习模式的教师智能体效果次之,学生智能体的对话效果还有一定的提升空间。

2. 学生对 CE-GMTS 的接受度分析

考虑到学生对 CE-GMTS 的接受度符合混合高斯分布,研究采用混合高斯模型^[19]对接受度数据进行建模。根据聚类参数调节,当聚类数为 3 时,轮廓系数为 0.48,Calinski-Harabasz 指数为 112.55,聚类效果最好。因此,研究保存每个样本的类别信息,生成三个类群的三维可视化图,根据数据特征,将得分为 4 附近的群体命名为沉思观望者(36.5%)、得分为 5 附近的群体命名为强烈接受者(17.3%)、得分小于 4 的群

体命名为持续关注者(46.1%),如图 3 所示。结果发现,大多数学生对 CE-GMTS 仍持有谨慎态度,沉思观望者的绩效期望($M=3.92$)、努力期望($M=3.97$)和技术态度($M=3.95$)较高,但焦虑($M=2.56$)显著高于其他两类学习者,这种反差说明他们对 CE-GMTS 的学习效能较认可,但是仍会担心因操作不当而耽误学习任务。强烈接受者的行为意图($M=3.884$)和自我效能($M=3.78$)得分最高,说明他们具有强烈的 CE-GMTS 使用意愿,并对 CE-GMTS 使用充满了信心。持续关注者在绩效期望($M=3.88$)和焦虑($M=2.48$)上的得分均为最低,他们较少质疑 CE-GMTS 对学习产生的负面影响,但也对 CE-GMTS 提升学习效果方面持有谨慎的态度。

3. CE-GMTS 对学习成绩的影响分析

研究采用结构因果模型(Structural Causal Model, 简称 SCM)^[20]来探究使用 CE-GMTS 对学习成绩的影响,将接受度类型作为组别,8 个单元的学习成绩作为因变量,学生与面向经验之塔的多智能体角色互动频次作为待选自变量,并使用相关性检验纳入与学习成绩显著相关的自变量(高手型学生、新手型学生、建构型教师和交互型教师)来构建有向图,估计有效变量之间的因果关系。图估计方法考虑非线性因果[以直方图梯度提升树(Hist Gradient Boosting Regressor, 简称 HGBR)方法为例]和线性因果[以线性回归(Linear Regression, 简称 LR)方法为例]两种假设,估计结果见表 2,当均方误差值(MSE)越小时,因果模型拟合效果越好。结果发现,除了强烈接受者属于线性

表 1 CE-GMTS 的评价结果

评价维度	子维度或类型	教师智能体	学生智能体	指导智能体	整体
自动评价	CE-GMTS 自评	4.58	4.13	4.83	4.51
	CritiqueLLM 评价	3.93	3.85	4.60	4.13
人工评价	理论适用性	3.69	3.63	3.72	3.68
	技术契合性	3.75	3.66	3.76	3.72
	策略适应性	3.60	3.70	3.73	3.68
整体水平		3.91	3.79	4.13	3.94

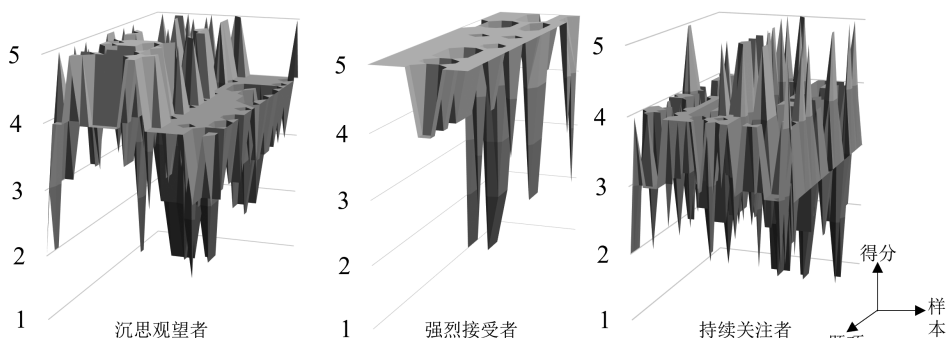


图 3 不同群体对 CE-GMTS 接受度的三维可视化图

表 2

基于 SCM 的图估计因果检验结果

接受度类型	因变量	有效自变量	HGBR	LR	建模结论
沉思观望者	学习成绩	交互型教师	0.10	0.12	非线性因果
强烈接受者		交互型教师、建构型教师	0.16	0.09	线性因果
持续关注者		交互型教师、建构型教师、高手型学生、新手型学生	0.11	0.12	非线性因果
整体		交互型教师、建构型教师、高手型学生	0.10	0.12	非线性因果

因果关系以外,其他群体以非线性因果关系为主。进一步绘制基于接受度类型的结构因果路径,如图 4 所示,线条越粗表示因果性越强。结果挖掘出一条关于间接经验学习模式的共性因果链,即教师智能体的因果性较学生智能体更强,交互型教师存在于所有群体的因果链中。同时也发现了个性化的因果链关系,即各类学习群对交互型教师的预测程度:沉思观望者>强烈接受者>持续关注者。除了交互型教师以外,影响持续关注者和强烈接受者群体学习成绩的主要因素分别是间接经验学习模式中的高手型学生和建构型教师。

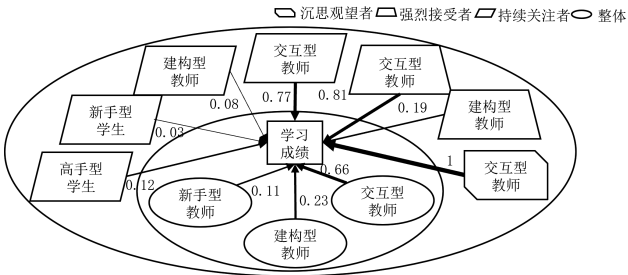


图 4 基于接受度类型的 CE-GMTS 结构因果路径

五、讨论与分析

(一)CE-GMTS 具有高质量的经验学习对话内容

现有智能导学系统模式单一、对话生硬,系统仅提供“专家教师”角色,并且兼顾直接与间接学习经验,难以保证对学习任务的适应性。翟雪松等人曾提出要塑造新型人机劳动关系,重塑多智能体教育生态^[21]。CE-GMTS 采用经验之塔理论来塑造多元师生角色,融合 GAI 技术与多智能体系统等,为学生提供间接经验与直接经验并驱的学习模式,并通过协同教师智能体、学生智能体和指导智能体三者之间的信息通信,以支持更复杂的学习任务,这正是多智能体教育生态的微观体现。评价结果验证了其在专家教师、个性化学伴、定制化内容与反馈等多方面的高质量生成能力。已有研究证实了 GAI 学习得到的理论知识能迂回并反哺人类教育学,从而让人类学习者也能享用机器教育之益^[22]。本研究提供了 GAI 与经验之塔理论有效转化为实际应用的典型案例,通过高质量的经验学习模式证实了 GAI 的强大教育应用价值,这为学习理论与 GAI 的深度融合提供了良好的借鉴和参考。

(二)CE-GMTS 具有知识高效掌握和技术高接受度的优势

学生知识基础、学习方式和学习步调具有差异性,导致相同任务往往会带来不同的认知负荷,使得认知资源不足者面临挑战。CE-GMTS 依据经验之塔理论提供多元经验来满足学生的认知需求,《论语》中指出“独学而无友,则孤陋而寡闻”,CE-GMTS 中的学生智能体能帮助学生弥补认知差距,缓解紧张情绪,强调易错点,这正是“群学且有友”的真实写照。但这也可能带来额外的认知负荷,学生需同时处理教师和学生智能体中的教学信息^[23]。复杂的角色对话可能是导致沉思观望者因信息辨识困难而降低使用意愿的原因。总体来看,CE-GMTS 凭借经验之塔学习模式和“教—学—导”三元智能体获得了多数学生的持续关注和强烈接受,这与它能满足学生对知识的好奇、理解和探索等认知需求有关^[24]。但是,仍有学生对 CE-GMTS 持有谨慎的态度,这说明 CE-GMTS 需优化设计并积累更多经验证据。

(三)CE-GMTS 的多元互动角色有助于学生获得学术成功

因果检验显示,CE-GMTS 的多元互动角色能有效促进学习,教师智能体中的角色预测结果与 ICAP 理论假设一致,即交互型教师作用最佳,其次是建构型教师。生成式的教师比学伴的预测作用更强,这与 Yu 等人的发现相悖,他们认为同伴互动会提高学生投入,从而获得比教师互动更好的结果^[25]。但是,该结论仅适用于优质同伴互动情境。CE-GMTS 所提供的同伴对话需要学生筛选、整合以获得有效信息,而学生更擅长从教师端接收直接的信息,从而降低了学生智能体的预测作用。此外,接受度类型也会影响学习结果,高接受度和谨慎使用群体会在更频繁的交互型教师作用下表现更佳,这可能与他们更积极获取信息并谨慎加工、存储和应用知识有关。因此,为提升 GAI 导学效果,要遵循认知发展的基本规律,优化智能体角色设计,采用更多智能体协同来适应任务难度,强化互动支架以提升生成式角色效能^[26]。同时,也鼓励学生主动寻求角色互动,通过融合直接经验和间接经验来提升学习投入,从而强化对知识的理解以最大化

生成式智能导学系统带来的学习效益。

六、结束语

随着 GAI 的发展,传统智能导学系统的专业导学、智能反馈与个性化生成等功能得以增强,但其教学应用仍然受限,其挑战之一在于系统设计仍缺乏面向完整的经验学习架构支撑。因此,研究融合 GAI 技术与经验之塔理论,设计开发了 CE-GMTS,创建了经验之塔学习模式和“教—学—导”三元智能体,为学生

提供了一个经验整合和定制化的学习新场景。CE-GMTS 获得了人类与机器的一致好评,且基于直接经验学习模式的指导智能体综合能力最好。同时,CE-GMTS 具有知识高效掌握和技术高接受度的优势,以交互型教师为主的角色最有助于学生获得学术成功。但是,由于技术限制,CE-GMTS 导学系统功能仍有待完善。未来,研究将进一步探索更积极的互动支架和策略来确保生成式角色发挥积极作用,从而促进 GAI 时代的智能导学系统创新发展。

[参考文献]

- [1] 国务院. 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知 [EB/OL]. (2017-07-20)[2025-04-25]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
- [2] 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,2024,30(3):63-73.
- [3] 吴河江,涂艳国. 超越工具理性:生成式人工智能的教育价值[J]. 教育研究,2024,45(11):149-159.
- [4] 徐升,佟佳睿,胡祥恩. 下一代个性化学习:生成式人工智能增强智能辅导系统[J]. 开放教育研究,2024,30(2):13-22.
- [5] 蒋贵友,殷文轩. 变革抑或危机:大语言模型赋能大学教学及其限度——基于斯坦福大学的案例考察[J]. 电化教育研究,2025,46(1):122-128.
- [6] 陈维维. 审视与反思:戴尔“经验之塔”的发展演变[J]. 电化教育研究,2015,36(4):9-14,27.
- [7] PRATSCHKE B M. Generativism:the new hybrid[EB/OL]. (2023-09-21)[2025-04-25]. <https://arxiv.org/pdf/2309.12468>.
- [8] QIAN C, LIU W, LIU H, et al. ChatDev: communicative agents for software development [EB/OL]. (2023-07-16)[2025-04-25]. <https://arxiv.org/pdf/2307.07924>.
- [9] ZHENG Z, ZHANG O, NGUYEN H L, et al. ChatGPT research group for optimizing the crystallinity of MOFs and COFs [J]. ACS central science, 2023,9(11):2161-2170.
- [10] DU Y, LI S, TORRALBA A, et al. Improving factuality and reasoning in language models through multiagent debate[EB/OL]. (2023-05-23)[2025-04-25]. <https://arxiv.org/pdf/2305.14325>.
- [11] 沈苑,汪琼. 生成式人工智能支持教学决策的实践困境与关键进路[J]. 电化教育研究,2024,45(11):92-99.
- [12] CHI M T H, WYLIE R. The ICAP framework: linking cognitive engagement to active learning outcomes [J]. Educational psychologist, 2014,49(4):219-243.
- [13] BANDURA A. Social foundations of thought and action:a social cognitive theory[M]. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc, 1986.
- [14] 赵晓伟,沈书生,祝智庭. 数智苏格拉底:以对话塑造学习者的主体性[J]. 中国远程教育,2024,44(6):13-24.
- [15] HSU F H, LIN I H, YEH H C, et al. Effect of socratic reflection prompts via video-based learning system on elementary school students' critical thinking skills[J]. Computers & education, 2022,183:104497.
- [16] VENKATESH V, MORRIS M G, DAVIS G B, et al. User acceptance of information technology: toward a unified view [J]. MIS quarterly, 2003,27(3): 425-478.
- [17] KE P, WEN B, FENG A, et al. CritiqueLLM: towards an informative critique generation model for evaluation of large language model generation [C]//Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). Bangkok: Association for Computational Linguistics, 2024: 13034-13054.
- [18] NOVIKOVA J, DUŠEK O, CURRY A C, et al. Why we need new evaluation metrics for NLG [C]//Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Copenhagen, Denmark: Association for Computational Linguistics, 2017: 2241-2252.
- [19] 朱映秋,黄丹阳,张波. 基于高斯混合模型的分布因子聚类方法[J]. 统计研究,2024,41(6):147-160.
- [20] SHARMA A, KICIMAN E. DoWhy: an end-to-end library for causal inference[EB/OL]. (2020-09-09)[2025-04-25]. <https://arxiv.org/pdf/2011.04216>.

- [21] 翟雪松,张丽洁,夏亮亮,等. 基于 GAI 的逆向工程教学思维在人机协作中的应用研究——以编程教育为例[J]. 电化教育研究, 2024,45(9):61-68.
- [22] 刘凯,贾敏,孙常新,等. 像教育人一样教育机器——人类教学经验能否提升通用人工智能系统的学习效果[J]. 电化教育研究, 2023,44(9):26-33,41.
- [23] SWELLER J. Cognitive load theory [M]/ROSS B H. Psychology of learning and motivation. Cambrige, MA: Academic Press,2011: 37-76.
- [24] MASLOW A H. A theory of human motivation[J]. Psychological review, 1943,50(4):370-396.
- [25] YU X, WANG X, ZHENG H, et al. Academic achievement is more closely associated with student-peer relationships than with student-parent relationships or student-teacher relationships[J]. Frontiers in psychology,2023,14:1012701.
- [26] 孙立会,周亮. 生成式人工智能赋能教育变革的逻辑——基于新质生产力的视角[J]. 教育研究,2024,45(10):38-49.

Research on Cone-of-Experience-based Generative Multi-agent Tutoring System

WEI Yantao¹, XU Qi², SHI Yafei³, LIU Qingtang¹

(1.Hubei Key Laboratory of Digital Education, Central China Normal University, Wuhan Hubei 430079;

2.Artificial Intelligence Education Department, Central China Normal University, Wuhan Hubei 430079;

3.Faculty of Education, Henan Normal University, Xinxiang Henan 453007)

[Abstract] Generative Artificial Intelligence (GAI)-based Tutoring Systems can enhance learning outcomes by simulating professional mentors. However, existing systems often prioritize direct experience over indirect experience, focus more on instructional guidance than learning support, and inadequately support students' cognitive development. To address these challenges, this study develops a Generative Multi-agent Tutoring System by integrating GAI with Cone of Experience theory. This system facilitates students' learning by creating a learning model that unifies direct experience and indirect experience, and a "teaching-learning-guiding" tri-agent. The findings indicate that the system has the ability to generate high-quality instructional dialogues and has the dual advantages of efficient knowledge acquisition and high technology acceptance. The guiding agent for direct experience learning presents optimal overall performance, and the interactive teacher for indirect experience learning contributes to students' academic success most. The study confirms that systematic integration of direct and indirect experiences optimizes students' knowledge acquisition, and the tri-agent architecture successfully accommodates diverse learning needs. These results provide effective references for the development and application of intelligent tutoring system.

[Keywords] Cone of Experience; Multi-agent; Generative Artificial Intelligence; Intelligent Tutoring System; System Construction