

# 基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习对高阶思维能力的影响研究

翟雪松, 季爽, 李艳

(浙江大学教育学院, 浙江 杭州 310058)

**[摘要]** 全面构建泛在可及的终身教育体系是教育强国的重要目标,数字化赋能泛在学习模式的方式方法是教育改革与创新的关键议题。传统泛在学习在智能化、情境感知和延展方面存在痛点,难以有效促进学习者高阶思维发展。近年来,智能体与元宇宙技术的成熟为个性化内容生成和情境渲染与感知提供了技术支持,推动大规模数字化泛在学习的实施成为可能。研究构建了基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习平台,招募118名中小学学生参与“多民族文化”主题的数字化泛在学习课程,通过行为序列和认知网络分析学习者交互数据。结果表明,数字化泛在学习模式显著提升了学生的问题解决能力和批判性思维,创造性思维虽有提升,但未达到显著水平。行为序列分析显示,高阶思维能力提升组在智能求解、视频学习、对话记录查看和寻求学习导引等模块间交互密切。为进一步培养创造性思维,未来研究可引入博弈机制设计多智能体,提升其在模拟情境中的自主行动能力,促进学习者以多元视角建构多人—多智能体交互关系。

**[关键词]** 泛在学习; 智能体; 元宇宙; 高阶思维能力; 人机协同学习

**[中图分类号]** G434 **[文献标志码]** A

**[作者简介]** 翟雪松(1981—),男,安徽泾县人。特聘研究员,博士,主要从事人工智能教育应用、教育大数据、教育元宇宙研究。E-mail:xszhai@zju.edu.cn。李艳为通信作者,E-mail:yanli@zju.edu.cn。

## 一、引言

2025年1月,中共中央、国务院印发《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》,将全面构建泛在可及的终身教育体系作为一项重要目标<sup>[1]</sup>。然而,受时空与技术条件限制,泛在学习难以大规模、个性化、体系化实现。当前,以教育数字化推动泛在可及的学习模式是一项重大的教育改革创新课题<sup>[2]</sup>,必须解决环境渲染和内容生成两大难题。环境渲染方面,《教育部部署加强中小学人工智能教育》中明确指出,将建设泛在教学环境作为主要任务,打造泛在多元、智能化、体验式的学习场景<sup>[3]</sup>;内容生成方面,人工智能正全面重塑知识的生产与传播,知识的呈现载体除了传统的书本和电子教材以外,还包括物理空间的各类现实素材,

教学模式从讲授式转向体验式,学习者能力培养方向从传统知识应用走向知识生产和创新。在此过程中,学习者的高阶能力培养迫切需要创新泛在学习模式。

随着不同时期人工智能技术的驱动,泛在学习的发展经历了主动探究、感知推送两个阶段。近年来,预训练生成模型推动人工智能迅速发展,空间计算与具身智能引领元宇宙技术迭代升级。OpenAI于2025年1月23日推出首款AI智能体Operator,并预言2025年将是智能体元年。以Operator为代表的智能体具有特定知识和能力,聚焦多模态理解能力的提升,优化情境感知和跨平台交互,为泛在学习多变的场景需求提供了适应性内容。在元宇宙产业中,以Vision Pro和Orion为代表的空间计算技术构建了“真实—虚拟”融合的泛在环境,推动了实时渲染、虚实融合的数字泛

基金项目:2024年度浙江省自然科学基金“基于双维眼动融合分析的在线学习者情感计算研究”(项目编号:Y24F020009);2024年教育部国别项目“全球南方教育合作的现实图景、关键议题和中国贡献研究”(项目编号:2024-N02)

在学习环境建设。由此可见,“智能体+元宇宙”正迈入基于实时生成与渲染的新阶段,为泛在学习提供更丰富的数字化应用场景和资源。相较之下,国内对“智能体+元宇宙”叠加环境的软硬件研发尚处于起步阶段,教育领域的实证性探索尚显不足。

本研究以“地理媒介”(Geomedia)和人工智能生成元宇宙(AI-Generated Metaverse, AIGM)框架为理论基础,旨在构建基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习模式,探索其对学习者高阶思维能力培养的有效性及其作用机制。

## 二、研究背景与理论

### (一)技术驱动下的泛在学习模式演变

泛在学习指通过移动设备、无线通信和传感技术等,实时感知学习者所处的环境,动态记录并分析其学习状态<sup>[4]</sup>。理想的泛在学习环境遵循自发性、真实性、建构性、协作性和个性化等原则<sup>[5]</sup>。随着技术演变,泛在学习经历了三个主要发展阶段。

#### 1. 第一阶段:自主探究的泛在学习模式

该阶段集中在2000年至2010年左右。随着移动互联网和终端设备的发展,泛在学习以学习者围绕特定主题、利用移动工具自主探究为核心。该阶段强调学习者通过体验式学习强化对知识的理解与应用<sup>[6]</sup>。例如,Chen等构建了支持跨平台访问的泛在学习网站,学习者可以随时随地使用多种设备访问网站,获取学习资料。该网站能够记录学习者在不同终端的学习行为、生成学习档案并进行行为诊断,从而构建学习者的适应性模型<sup>[7]</sup>。然而,由于技术局限,此阶段的泛在学习形态更接近移动学习,主要依赖移动设备呈现数字化学习材料<sup>[8]</sup>,难以捕捉学习者所处的情境信息,无法将学习环境和学习过程深度融合。随着物联网技术的日益成熟,学习过程中的多元数据融合分析成为泛在学习新的实践方向。

#### 2. 第二阶段:感知推送的泛在学习模式

随着物联网技术的应用,泛在学习拥有了情境感知能力。此阶段集中在2010年至2022年左右,以感知推送为特征。感知推送的泛在学习模式通过主动感知学习者的情境,包括位置、环境特征、行为和情绪等<sup>[9]</sup>,将相关内容自动推送给学习者,提升了学习的精准性与即时性。例如,台湾科技大学研究者构建的情境感知泛在学习环境,学习者可使用配备射频识别(RFID)读写器的手持设备自主探索校园植物生态。校园中的植物贴上了RFID标签,当学习者走到对应位置,读写器自动感知RFID信号,并向学习

者推送相关学习资料。研究表明,这种泛在学习模式能够提高学生的学习动机和学习效果<sup>[10]</sup>。然而,此阶段的泛在学习个性化不足、情境延展受限、学习深度不足。主要原因在于:第一,学习资源以预设为主,难以满足大规模个性化学习需求;第二,情境延展受限于物理时空,学习者只能基于真实存在的物理空间进行学习,可能受到时间、空间等的限制;第三,这种感知推送的学习方式可能导致学习不够系统,学习内容以碎片化呈现,容易导致内容理解的浅显化和知识构建的分散化<sup>[11]</sup>。

#### 3. 第三阶段:实时生成和渲染的数字化泛在学习模式

罗伯特·斯考伯曾断言,未来25年,互联网将进入由可穿戴设备、大数据、传感器、社交媒体和定位系统五大技术推动的情境时代<sup>[12]</sup>。自2022年以来,随着高性能图形处理器(Graphics Processing Unit, GPU)的量产,千亿级参数的大模型得以预训练,通过模型参数优化和专门语料训练,具有特定知识和推理能力的智能体不断成熟;与此同时,高速并行算力显著降低了空间计算和三维重建的延迟性,加速了元宇宙技术的应用进程。智能体的“神”与元宇宙的“形”相结合,有望解决以往泛在学习在情境感知与延展方面的限制,推动泛在学习进入“真实—虚拟”场景叠加的、实时生成与渲染的新阶段。在这个新阶段,智能体将突破当前以人机对话为主的交互模式,走向基于用户指令、具备跨平台自主行动能力的全新模式,拥有更强大的推理能力,并清晰展示其推理过程,从而为泛在学习提供更高水平的智能化支持。国内外AI公司已经取得了一系列进展。例如,OpenAI推出的Operator智能体实现了跨平台全自动无人操作。用户仅需输入需求,智能体便可自主完成餐厅订位、购买日用品等任务。智能体的这种跨平台自主行动能力使其能够突破人机对话的被动交互模式,在泛在学习环境中实现自主智能决策。

## (二)理论基础

### 1. “地理媒介”概念及特征

随着具身智能、空间计算等技术的迅速发展,“地理媒介”作为一种新型媒介形态应运而生。该概念与罗伯特·斯考伯的观点均肯定情境的重要作用,认为情境(Context)可以将虚拟公共空间与实体地理空间有机融合,重塑情境体验、社会互动与个人边界<sup>[13]</sup>,是数字媒介和万物互联的促进者,其核心特征如下:

一是空间无处不在,打破学习边界。此特征与元宇宙环境特征高度契合。元宇宙突破了传统互联网在时空、交流及情感等维度的边界<sup>[14]</sup>,学习者可以借助

预制或自主构建的元宇宙情境体验真实的问题解决过程<sup>[15]</sup>。二是位置实时感知,构建个性化学习路径。实时感知用户所处的位置,识别情境并提供反馈,是地理媒介为用户构建个性化学习路径的关键触发机制。在元宇宙中,借助数据埋点,系统能实时捕捉学习者的位置信息,记录具有时空属性的四维动态数据。基于时空数据,智能体可进一步分析学习者的行为特征,从而根据学习者当前情境,为其个性化调整学习内容和路径。三是交互动态反馈,增强学习的适应性。地理媒介的核心功能在于交互的实时反馈,这一原则也是增强泛在学习动态适应性的关键。智能体通过情境感知与自适应支持强化这一特性。借助多模态感知能力与自然语言处理技术,智能体能够自动筛选、更新优质教育资源<sup>[16]</sup>,提供精准支持<sup>[17]</sup>。四是多元主体融合,构建知识共创生态。地理媒介融合个体、物理环境、虚拟环境、其他个体等多元主体,以情境的共创与共享为综合目标,这与元宇宙的知识共创生态紧密相关<sup>[18]</sup>。元宇宙能够提供可编辑的仿真学习环境,鼓励多元主体共同参与知识生产与协作创新<sup>[19]</sup>。智能体凭借动态内容生成和多样化知识资源整合能力,为学习者创造更多创新表达与知识建构的机会<sup>[20]</sup>。地理媒介的四大特征与智能体+元宇宙支持的数字化泛在学习追求的无缝、个性化、情境化特质高度契合,为数字化泛在学习框架的构建提供了理论支撑。

## 2. 人工智能生成元宇宙框架

人工智能生成元宇宙框架指出,生成式人工智能是推动元宇宙发展的核心驱动力<sup>[21]</sup>。元宇宙为生成式人工智能提供了内容呈现的场景,这两项技术在功能上能够相互弥补<sup>[22]</sup>,融合二者的学习环境具备沉浸感、交互性及自发调节能力,能够增强学习者的探究经验和实践能力,并支持学习者的深层次知识建构<sup>[23]</sup>。

一方面,传统泛在学习主要依赖现实物理环境,情境延展能力受限,而元宇宙通过构建虚拟多维情境,能够增强学习的情境丰富性与空间自由度。学习者可在预设空间中泛在探索,在场景间灵活跳转。结合触觉反馈、运动跟踪等技术,元宇宙为学习者提供可编辑的仿真环境,促进人机或群体协作的主动体验式学习,激发创新性问题解决能力<sup>[24]</sup>。此外,元宇宙允许学习者在情境体验中承担决策后果,深化其对复杂问题的理解<sup>[25]</sup>。然而,元宇宙对大规模个性化学习的支持有限,其预设内容难以满足不同学习者的多样化需求。

另一方面,传统泛在学习,学习者多通过词向量检索、模糊检索或系统推送获取学习内容,所接触的数字资源良莠不齐,个性化与适应性支持不足。相

比之下,智能体基于参数优化和专门语料训练,具备自然语言生成和推理能力,能够结合学习者历史交互记录,精准刻画其个体特征,实现学习资源的动态调整与个性化推荐。此外,智能体通过与学习者的争论式互动促进知识建构。争论(Argument)是高阶思维能力培养的核心环节<sup>[26]</sup>,学习者在模拟争论的过程中可以批判性地审视自己的观点,从而优化认知结构。建构主义强调学习者应处于反馈的核心,认为反馈有助于提升学习者的自我调节能力<sup>[27]</sup>。智能体通过生成动态适配的个性化反馈<sup>[25]</sup>,可以为学习者提供精准支持。然而,目前大多数智能体多以单一对话工具形式存在<sup>[28]</sup>,缺乏情境理解和人际互动能力<sup>[29]</sup>。研究者也指出,由于算法的局限性,现有智能体可能将学习者限制在狭窄的信息空间,简化知识获取过程,削弱了学习者思维的多样性<sup>[30-31]</sup>。

元宇宙与智能体的技术互构性为弥补各自局限提供了可能性。智能体通过自然语言生成,显著降低元宇宙的内容成本<sup>[32]</sup>,并以情境模拟和个性化对话能力赋能元宇宙中的大规模个性化学习,借助争论式对话启发学习者思考高阶问题,激发深层认知与创新能力<sup>[33]</sup>。元宇宙的沉浸式环境则为智能体提供了数字化身支持,通过多模态交互优化情感表达,并通过多维感知情境增强智能体的情境理解与具身智能。学习者在具体情境中模拟实践,不仅实现低成本的知识迁移,还有效避免对话式获取知识的局限性。二者协同融合,通过模拟操作与智能体实时指导,显著提升错误概念纠正效率和概念知识长期保留效果,同时优化学习成果与学习者参与度<sup>[23]</sup>。基于地理媒介和 AIGM 框架,本研究构建了基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习理论框架(如图1所示),以期打破传统泛在学习的时空限制,实现知识与情境的深度融合,促进学习者探究能力和实践经验的提升,从而培养学习者的高阶思维能力。

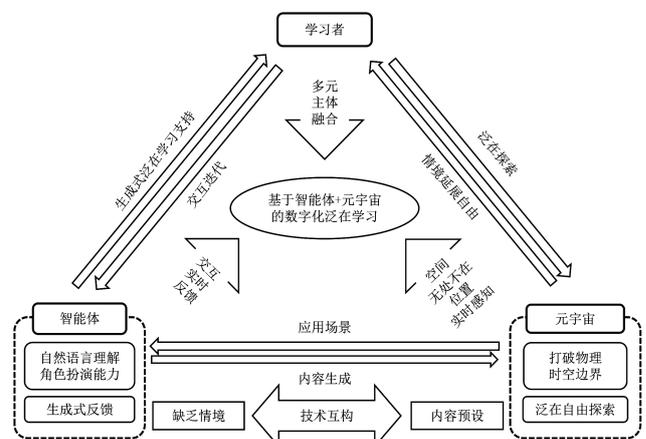


图1 基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习理论框架

为验证基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习模式在培养学习者高阶思维能力中的实际效果,以及识别不同高阶思维能力学习者的行为模式,本研究进一步开展实践探究。

### 三、研究设计

本研究设计并开发了基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习平台,采用教育实验法和问卷调查法,探索该平台对学习者的影响。通过行为序列分析,揭示数字化泛在学习模式促进高阶思维能力发展的内在机制。为深入分析学习者提问智能体的质量,本研究对相关文本进行了认知网络分析。

#### (一)学习平台开发

本研究以培养学习者高阶思维能力为核心目标,结合被试学校社团课内容和学生兴趣,选定“多民族文化”为学习主题,开发了集虚拟元宇宙、智能体教师交互、行为数据采集于一体的泛在学习平台。

##### 1. 平台开发技术

平台集成多种技术以满足学习者的多元、智能化需求。平台基于 Unity 构建,后端依托 PlayFab 云服务,支持托管服务、实时分析和 LiveOps 功能;使用 Vroid Studio 设计该年龄段乐于接受的虚拟化身形象,为学习者和智能体提供高度拟真的交互体验;接入文心一言大语言模型,实现学习者与智能体的自然语言交互;集成百度 AI 开放平台的文本转语音(TTS)和语音转文本(STT)技术,提升学生与智能体的语音交互体验,并通过 OVRipSync 插件实现智能体的实时语音驱动口型同步;此外,借助 NavMesh 与 NavMesh Agent 实现智能体在元宇宙中的路径动态规划,使其能够跟随学习者,并在学习者漫游过程中实时提供交互支持。

##### 2. 平台内容及功能

学习平台的功能设计发挥泛在学习的优势,并融入元宇宙和智能体的数字化能力,实现以下三大功能(如图2所示)。(1)学习环境方面,传统泛在学习受限于现实的时空条件,资源调动与场景切换灵活性较差。本研究设计的平台,场景资源可预制,支持学习者灵活跳转。平台构建了三个主要展馆,包括民族政策馆、民族节日与庆典馆、民族服饰馆,整合多元资料与三维模型,支持学习者自由探索与互动。各展馆内均设置引导性问题,在学习者进入展馆后自动弹出,引导其围绕问题开展探究性学习,激发学习兴趣,促进认知的深入。(2)智能体交互方面,传统泛在学习依赖移动设备(如手机、平板)与词向量或模糊检索技术,

存在内容精准度低、交互性弱等问题,难以满足个性化学习需求。本平台智能体支持语音与文字等多模态输入,结合提示词策略,引导学习者提出高质量的探索性问题。在交互形式方面,智能体具备实时跟随与陪伴式交互功能,通过语音、手势、眼神等多种方式,增强学习者的情感投入与沉浸感。在智能体角色方面,平台通过内嵌知识库,设定具备不同能力的智能体,如学习陪伴型智能体和提供民族文化知识自测的测试型智能体,以满足不同学习需求。(3)行为数据采集方面。本研究在平台中设置多维度数据埋点,能够实时采集学习者的交互行为与学习轨迹,为后续的行为序列分析和教学策略优化提供数据支撑,从而提升学习体验与教学效果。

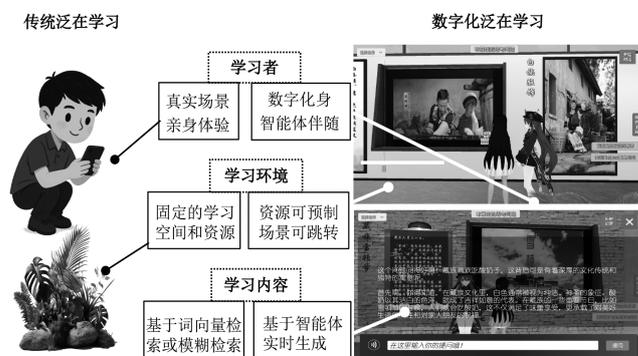


图2 基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习平台

#### (二)研究对象与实验流程

本研究以 X 小学五、六年级和 Y 中学初一年级各一个班,总共 118 名学生为研究对象。学生均提前接受培训,具备开展实验所需的基本计算机和互联网技能。课程共持续六周,研究者在课程开始前对学生的高阶思维能力进行了前测。教学设计依据 Stahl 的协作知识建构模型<sup>[34]</sup>,具体流程包括情境引导、知识构建、协作分享、学习评价四大环节。第一,在情境引导环节,研究者向被试详细说明实验平台的操作方法、课程目标和学习任务,并明确提出在协作分享环节,学生将以小组为单位,围绕小组共同提出的问题开展探究,最终在组间展示成果。该环节有助于学生整体把握课程架构和实施流程,进而制定初步的学习计划。第二,在知识构建环节,学生根据个人倾向的学习序列,在兴趣的驱动下进入数字化泛在学习平台中的不同主题展馆,在自由探索中发现问题,并通过与伴随式智能体的互动逐步完成个人的知识建构。第三,在协作分享环节,研究者对学生进行分组,引导其围绕“多民族文化”主题开展问题驱动的协作学习。学生小组根据兴趣确定共同的探究问题,此外,鼓励其结合现实情境选择具体的问题方向。在平台支持

下,学生在小组内部拆解问题、分工探究,通过多轮人机交互与内容整合,提炼观点,最终形成小组共识。在此基础上,学生开展组际交流,获取反馈,进一步促进知识的深化、内化与外显。第四,在学习评价环节,为评估实验效果,研究者对被试的高阶思维能力进行了后测。

### (三)测量工具

表1 教学对象基本情况

统计项目	选项	N(所占百分比)
性别	男	56(53.33%)
	女	49(46.67%)
年级	五年级	39(37.14%)
	六年级	39(37.14%)
	初一年级	27(25.72%)
每日使用电子产品的平均时长	不使用	5(4.76%)
	0至1小时	60(57.15%)
	1至2小时	22(20.95%)
	2小时以上	18(17.14%)
每日使用三维软件(学习平台、游戏、建模等)的平均时长	没使用过	35(33.33%)
	0至1小时	44(41.90%)
	1至2小时	15(14.29%)
	2小时以上	11(10.48%)
是否了解生成式人工智能	是	28(26.67%)
	否	77(73.33%)

本研究测量工具参考 Hwang 等的高阶思维能力量表<sup>[35]</sup>,并结合研究背景加以适当改编。信度分析结果显示,前后测的总体内部一致性信度 Cronbach's alpha 为 0.907。本研究共发放 118 份问卷,其中有 13 份问卷因部分题目未回答或所有选项选择一致而被判定无效。最终获得有效问卷 105 份,有效率 89.0%。样本特征分析(表 1)表明,性别分布相对均衡,不同年龄组样本数量差异较小。学生每日使用电子产品的平均时长较短,大多数学生接触过三维软件,并且每天花费一定时间使用三维软件,但 73.33%的学生对生成式人工智能缺乏了解。

## 四、数据分析

### (一)高阶思维能力

首先,分析学生高阶思维能力前后测的整体变

表2

配对样本 *t* 检验

高阶思维	前测 <i>M</i> ( <i>SD</i> )	后测 <i>M</i> ( <i>SD</i> )	差值 <i>SD</i>	95%CI	<i>t</i> 值	<i>Sig.</i> (双尾)
批判性思维能力	3.58 (0.86)	3.96 (0.78)	0.88	(0.205, 0.543)	4.375	0.000
问题解决能力	3.94 (0.70)	4.11 (0.79)	0.69	(0.301, 0.322)	2.458	0.016
创造性思维	4.18 (0.65)	4.19 (0.65)	0.71	(-0.131, 0.146)	0.110	0.913
整体	3.90 (0.56)	4.08 (0.59)	0.42	(0.262, 0.979)	4.343	0.000

化。由表 2 可知,前后测的均值偏差为 0.42,显著性概率检验值  $p=0.000$ ,表明基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习在整体层面提升了学生的高阶思维能力。进一步计算各维度平均值作为该维度得分,使用配对样本 *t* 检验分析前后测有效数据。结果显示,问题解决能力和批判性思维在教学实验前后显著提升;创造性思维的前测分数最高,前后测对比虽然有所提升,但提升幅度较小,并不显著。

### (二)学生在平台中的行为序列

本研究采用滞后行为序列分析并可视化呈现,检验不同行为的行为序列关系是否显著,推断关键行为模式。

#### 1. 基本情况

平台参考 Sun 等<sup>[36]</sup>和 Yang 等<sup>[37]</sup>的研究设置埋点事件,从 A 至 H 依次编码(见表 3)。考虑到研究对象为初次接触元宇宙平台的中小學生,其具有强烈的好奇心和探索欲,因此,埋点不仅涵盖学习行为,还记录了与学习不直接相关的探索性事件(H),如探索场景边界(触发空气墙碰撞)、进入小公园(场景装饰)等。这些探索性事件为揭示学生的行为模式和学习路径提供了更全面的数据。去除问卷无效的学生数据后,研究者通过后台获取了三个年级共 5917 条学习记录,各埋点的触发次数详见表 3。

根据滞后序列分析原理,本研究将一种行为向另一种行为的转换定义为一个行为序列。行为序列由两种编码组合表示,编码的前后顺序表示行为的转换方向。例如,序列“BC”表示学生先智能求解(B),随后立即进入学习情境(C)。

#### 2. 学生行为序列与高阶思维能力的相关分析

本研究对高阶思维能力各维度的前、后测分数进行平均处理,根据前后测变异率将学生划分为提升、维持、降低组。随后,将三组数据分别导入 GSEQ 进行分析。根据滞后序列分析理论, $Z$ -score>1.96 表明该行为序列在统计学上具有显著意义<sup>[38]</sup>。研究者根据残差表绘制行为转换图(如图 3 所示),以揭示学生行为的关键趋势。

总体上可以将行为序列总结为三大主要特点:

(1)提升组在登录(A)后能够迅速进入学习情境(C),而维持组与降低组表现出较低的学习主动性和目标

表 3

平台埋点事件、编码及触发频次

编码	埋点事件	描述	频次	所占百分比
A	登录	登录账号,切换角色形象	404	6.83%
B	智能求解	与智能体对话	380	6.42%
C	进入情境,阅读学习材料	进入不同的主题展馆,学习展馆中的内容	3127	52.85%
D	观看学习视频	学习场馆中的视频材料	523	8.84%
E	自我答题评估	参加常规测验	274	4.63%
F	查看智能求解记录	查看与智能体对话的历史记录	111	1.87%
G	寻求学习导引	学习者单击弹出式学习导引并阅读	90	1.52%
H	探索性事件	在学习场景之外导航(例如探索场景边界)	1008	17.04%

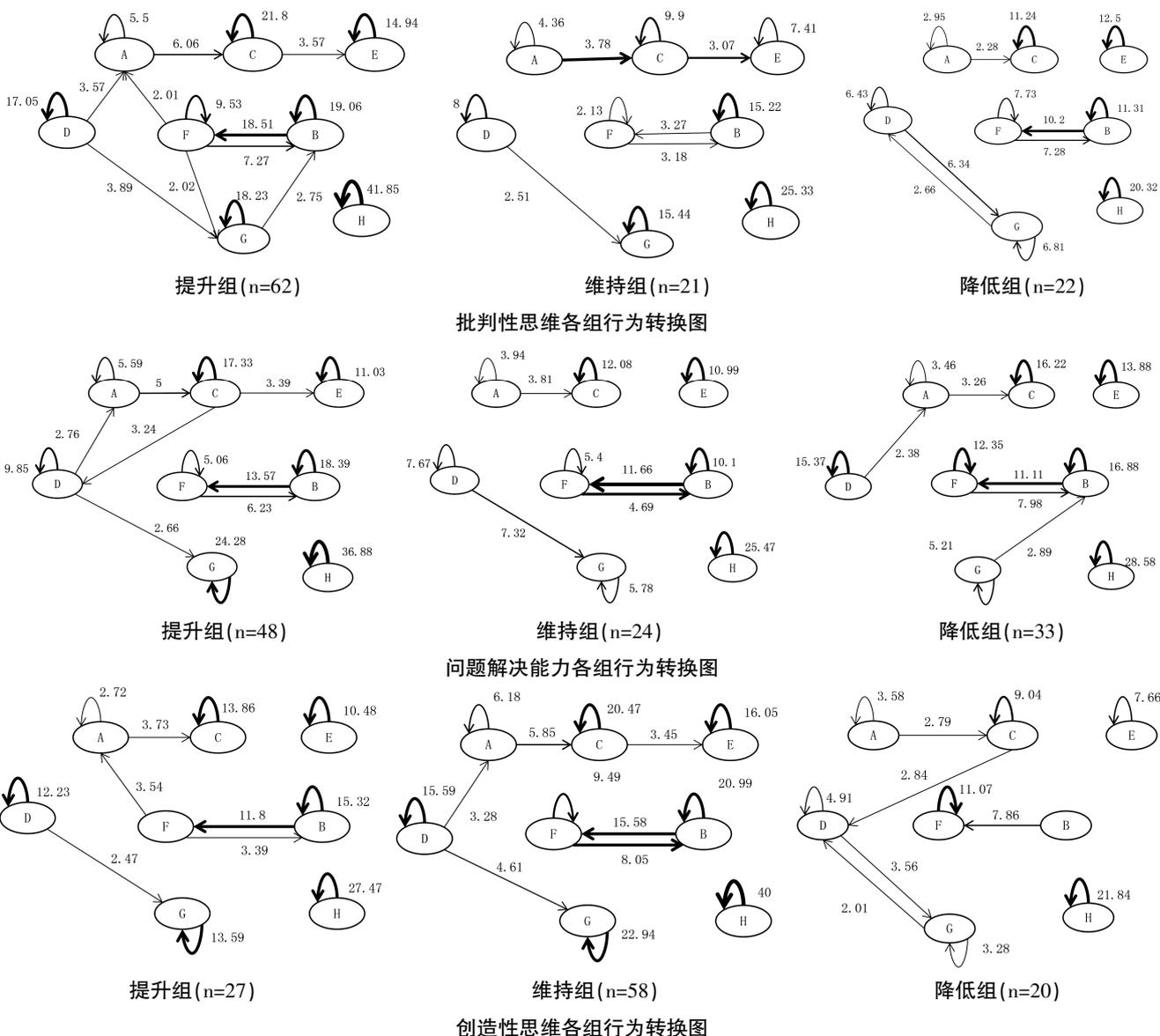


图 3 行为转换图

导向。(2)关键序列的互动关系(B、D、F、G)。提升组在多个关键模块序列之间互动密切。具体表现为积极结合平台内容,与智能体教师深度互动(DG、GB),强化知识建构;学生积极观看学习视频(D),查看平台展馆中设置的引导性问题(G),结合思考与智能体教师交

流(B),并且在回顾对话记录后更倾向于进一步探索相关展馆问题(FG)。(3)序列的重复性(HH、BB)。提升组在重复与学习不直接相关的探索行为(HH)方面表现尤为突出,表现出较高的探索欲。同时,通过与智能体教师反复对话(BB),提升组学生能够不断修正

表4

SOLO 结构模型编码表及编码频次

类别	SOLO 层次	说明	提问示例	频次(所占百分比)
浅层学习	前结构	学习者参与了任务,但问题与学习内容无关或零散模糊	你是谁 你使用的对话模型是什么	243(60.30%)
	单点结构	学习者的问题只关注单一的知识点或概念,不能建立信息之间的关联,理解片面	泼水节的由来 旗袍是哪个民族的传统服饰	127(31.51%)
	多点结构	学习者能够关注多个离散、独立的信息或事件,但对于问题解决缺乏整体理解,仅是罗列	除了泼水节,傣族还有哪些传统活动	18(4.47%)
深层学习	关联结构	学习者的提问涉及多个信息点,而且关注信息的内在联系,追求建构整体性理解	如何通过鼓励或支持来提高民族团结和民族平等	13(3.23%)
	抽象拓展结构	学习者的提问超越现有信息,关注从具体任务中总结归纳出具有普遍规律的问题解决策略	在全球化背景下,如何将传统文化与现代设计相结合,推动文化创新	2(0.49%)

自身理解。然而,从创造性思维角度来看,研究未发现明显的独特行为序列。

### (三)学生的认知网络

为进一步探究学生在平台中向智能体提问的质量,本研究使用认知网络分析法(Epistemic Network Analysis, ENA),对学生与智能体教师的互动数据进行系统性分析。本研究基于SOLO(Structure of Observed Learning Outcome)结构模型对学生的提问文本进行分类编码(见表4)。SOLO结构模型是比格斯基于皮亚杰的儿童认知发展阶段论提出的描述学生认知发展情况的框架,将思维结构划分为前结构、单点结构、多点结构、关联结构和抽象拓展结构五个层级,构成螺旋式的立体结构,能够清晰地反映思维结构从浅层到深层的过程。其中,关联结构和抽象扩展结构被视为高阶思维能力的标志<sup>[39]</sup>。本研究对SOLO结构模型进行了适当改编,以分析学生的提问文本,进而探究其提问质量。

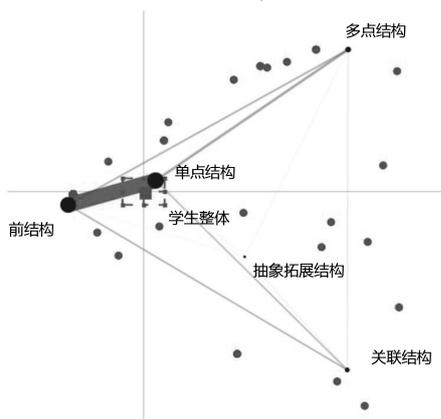


图4 学生整体平均认知网络图

本研究首先对学生的提问数据进行了分析单元划分,后台共收集380条有效对话,拆分后获得403条可编码数据。随后,研究者对文本进行编码,并将二进制编码数据导入webENA平台,生成二维认知网络图(如图4所示),以识别分布于各象限的深度学习认知网络元素。结果表明,学生的认知链接主要集中在浅

层结构,即前结构与单点结构,整体提问深度有限。此外,编码过程中发现32条提问涉及对智能体本身的疑惑,如“你是谁”“你多大了”“你是AI吗”等。尽管这些问题与学习内容无关,但反映出学生对智能体的好奇心以及将智能体拟人化的倾向。

## 五、研究讨论

本研究梳理了泛在学习的发展脉络,构建了基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习模式,并探讨其在高阶思维能力培养中的效能。实践表明,学习者的问题解决能力和批判性思维显著提升,然而创造性思维提升有限。行为序列分析表明,高阶思维能力提升组学习者在智能求解、视频学习、对话记录查看和寻求学习引导等模块之间互动密切。以上发现为数字化泛在学习提供了有力的实践支撑。

首先,在设计数字化泛在空间时,可构建路线建议+自主选择机制,即学习者在参考推荐学习路径的同时,具有一定的自由选择权。学习空间中的学习片段应有明确目标、教学单元小且相互关联,并具备可扩展的深度。注意设置埋点采集行为数据,包括学习路径、停留时间、互动记录等。此外,泛在学习环境的设计应遵循认知规律,如引入自然场景等,在学习者长时间自主性注意任务后注意力得以恢复。本研究中,探索性事件(H)虽与知识本体无直接关联,却受到了学习者,尤其是高阶思维能力提升组的高度关注。学习本质上依赖自主性注意,模块H通过提供足够且连贯的虚拟自然空间,激发非自主性注意,使学习者从学习任务中暂时抽离,契合注意力恢复理论(Attention Restoration Theory)<sup>[40]</sup>。值得注意的是,在搭建环境时,可设计隐藏知识点的学习彩蛋。元宇宙的高度自由度有助于激发学习者探索未知与测试功能的行为,类似“学习彩蛋”的意外惊喜与即时反馈可引导学习者将探索行为转化为学习收益。彩蛋应结

合课程目标和学习任务灵活设计,帮助学习者加深对知识点的理解,也可依托行为数据动态生成个性化彩蛋。

其次,在智能体设计时,智能体应根据学习者的输入(如选择、提问、停留等)动态推荐或生成新的交互学习元素,基于其行为模式智能调节学习节奏。其一,可设置反馈评价界面,鼓励学习者评价智能体表现,进而优化其后续反馈策略,实现人机协同的适应性提升。这是因为学习者并非预设学习路径的被动参与者,而是在与智能体和元宇宙的持续互动中的个性化学习路径的自主构建者。其二,合理嵌入问题支架。学习者的提问质量在学习深化过程中起到关键作用,提问不仅反映其思维水平,也影响智能体反馈的深度和广度。研究者应立足教学目标与内容特性,在智能体交互界面中预设方向性与结构性问题,并提供启发性学习材料,引导学习者进入高阶思维能力发展的良性循环<sup>[4]</sup>。其三,设计主动式智能体。研究者可借助理点无感知采集学习者行为数据,使智能体根据数据判断学习者学习状态或意图,并据此主动生成正反馈、总结提示或进阶任务推送等,以提升参与度低的学习者学习动机。

再次,在数字化泛在学习实践中,教学设计应关注学习者的日常经验与最近发展区,构建贴近生活的导入情境,帮助其快速进入学习状态。此外,应配备教师端数据后台,可视化呈现学习者的任务完成度、交互频率与内容等埋点数据,支持教师精准掌握学习者的学习进度、交互主题与学习路径,为教学策略调整与个性化指导提供数据支撑。

最后,针对本实验中创造性思维提升不显著的问题,未来平台可融合博弈论视角,设计与学习者能力

互补、具备不同身份的多智能体。这些智能体可从多元视角审视问题,有助于引导学生从多角度审视问题,打破单一思维模式。还可以进一步设计多智能体的信息沟通机制,增强其在合作与竞争等真实情境中的自主决策与行动能力,进而激发学习者参与多人—多智能体互动的积极性。此外,本研究搭建的平台场景仍然是预设的,未来结合3D模型生成智能体的能力以及空间计算对物理环境数字化建模与分析的能力,实时生成数字化虚拟对象并嵌入物理环境中。学习者可以借助眼镜等可穿戴设备,沉浸式体验这种虚实叠加、实时渲染的数字化泛在学习平台。

## 六、结束语

本研究将跟随式智能体嵌入元宇宙环境,开展数字空间中泛在学习模式的实证研究,重点分析了该模式对学习者的影响。在理论层面,探索了智能体的个性化交互能力与元宇宙的环境渲染优势,提出二者融合能够有效破解泛在学习在情境感知和环境延展方面的限制,进而构建了基于智能体+元宇宙的数字化泛在学习框架。基于该框架,研究通过实证分析揭示了智能体支持下,学习者高阶思维能力发展的机制及其与数字化学习行为之间的内在关联。在实践层面,本研究的技术方案为泛在学习提供了更加丰富的数字化应用场景与个性化资源支持,推动在实时生成与渲染的环境下,实现人人皆学、处处能学、时时可学的泛在学习。未来,研究团队将进一步完善实验硬件条件,实施长周期、基于设计的研究,探索该模式在多学科的泛化效果,如实施多学科融合的纵向研究,以期系统考查学习者的高阶思维能力发展情况,验证结论的普适性。

## [参考文献]

- [1] 中共中央,国务院. 教育强国建设规划纲要(2024—2035年)[EB/OL]. (2025-01-19)[2025-02-19]. [https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue\\_11846/202502/content\\_7002799.html](https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11846/202502/content_7002799.html).
- [2] 刘璇璇. 以教育数字化赋能学习型社会建设全面构建泛在可及的终身教育体系[N]. 人民日报, 2025-02-12(9).
- [3] 中华人民共和国教育部. 教育部部署加强中小学人工智能教育 [EB/OL]. (2024-12-02)[2025-02-19]. [http://www.moe.gov.cn/jyb\\_xwfb/gzdt\\_gzdt/s5987/202412/t20241202\\_1165500.html](http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/s5987/202412/t20241202_1165500.html).
- [4] TAHIR Z M, HARON H, SINGH J K G. Evolution of learning environment: a review of ubiquitous learning paradigm characteristics [J]. Indonesian journal of electrical engineering and computer science, 2018, 11(1): 175-181.
- [5] HUANG Y M, CHIU P S, LIU T C, et al. The design and implementation of a meaningful learning-based evaluation method for ubiquitous learning[J]. Computers & education, 2011, 57(4): 2291-2302.
- [6] 魏雪峰. 互联网教育服务: 分析、评价与实践[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2023: 2-6.
- [7] CHEN G D, CHANG C K, WANG C Y. Ubiquitous learning website: scaffold learners by mobile devices with information-aware techniques[J]. Computers & education, 2008, 50(1): 77-90.

- [8] 潘基鑫,雷要曾,程璐璐,等. 泛在学习理论研究综述[J]. 远程教育杂志,2010,28(2):93-98.
- [9] HWANG G J, TSAI C C, YANG S J H. Criteria, strategies and research issues of context-aware ubiquitous learning [J]. *Journal of educational technology & society*, 2008,11(2):81-91.
- [10] SHIH J L, CHU H C, HWANG G J, et al. An investigation of attitudes of students and teachers about participating in a context-aware ubiquitous learning activity[J]. *British journal of educational technology*, 2011,42(3):373-394.
- [11] 原昉,卮勇. 泛在学习下的碎片化阅读及其优化策略[J]. 数字教育,2021,7(4):20-25.
- [12] SCOBLE R, ISRAEL S, BENIOFF M. Age of context: mobile, sensors, data and the future of privacy [M]. Lexington: Patrick Brewster Press, 2014:1-18.
- [13] MCQUIRE S. Geomedia: networked cities and the future of public space[M]. Cambridge:Polity Press,2016:1-7.
- [14] 翟雪松,楚肖燕,王敏娟,等. 教育元宇宙:新一代互联网教育形态的创新与挑战[J]. 开放教育研究,2022,28(1):34-42.
- [15] 顾小清,宛平,王龚. 教育元宇宙:让每一个学习者成为主角[J]. 华东师范大学学报(教育科学版),2023,41(11):13-26.
- [16] CHAMOLA V, BANSAL G, DAS T K, et al. Beyond reality: the pivotal role of generative AI in the metaverse [J]. *IEEE internet of things magazine*, 2024,7(4):126-135.
- [17] SAIF N, KHAN S U, SHAHEEN I, et al. Chat-GPT: validating technology acceptance model (TAM) in education sector via ubiquitous learning mechanism[J]. *Computers in human behavior*, 2024,154:108097.
- [18] KARAARSLAN E, YAZICI YILMAZ S. Metaverse and decentralization [M]/ESEN F S, TINMAZ H, SINGH M. Metaverse: technologies, opportunities and threats. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023: 31-44.
- [19] 翟雪松,楚肖燕,顾建民,等. 从知识共享到知识共创:教育元宇宙的去中心化知识观[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2023,41(11):27-37.
- [20] SHARMA C, AGARWAL B, WUTTISITTIKULKIJ L, et al. Interactive learning through the metaverse and its impact on primary education [C]//2024 21st International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). Khon Kaen: IEEE, 2024: 1-8.
- [21] LEE L H, ZHOU P, ZHANG C, et al. What if we have meta GPT? From content singularity to human-metaverse interaction in AIGC era[EB/OL]. (2024-04-15)[2025-02-19]. <https://arxiv.org/abs/2304.07521>.
- [22] 翟雪松,楚肖燕,焦丽珍,等. 基于“生成式人工智能+元宇宙”的人机协同学习模式研究[J]. 开放教育研究,2023,29(5):26-36.
- [23] YU D. AI-empowered metaverse learning simulation technology application [C]//2023 International Conference on Intelligent Metaverse Technologies & Applications (iMETA). Tartu: IEEE, 2023: 1-6.
- [24] VALLASCIANI G, STACCHIO L, CASCARANO P, et al. CreAIXR: fostering creativity with generative AI in XR environments[C]// 2024 IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking, and Applications (MetaCom). Kyoto:IEEE, 2024: 1-8.
- [25] HWANG G J, CHIEN S Y. Definition, roles, and potential research issues of the metaverse in education: an artificial intelligence perspective[J]. *Computers and education: artificial intelligence*, 2022,3:100082.
- [26] 李海峰,王炜. 人机争论探究法:一种争论式智能会话机器人支持的学生高阶思维能力培养模式探索[J]. 电化教育研究,2024,45(3):106-112,128.
- [27] 何克抗. 对反馈内涵的深层认知和有效反馈的规划设计——美国《教育传播与技术研究手册(第四版)》让我们深受启发的亮点之二[J]. 中国电化教育,2017(5):1-7,14.
- [28] 王雪,孙明琳,杨洁,等. 教育智能体如何提供更有支持? ——基于 EEG 信号的脑机制与优化策略探究[J]. 电化教育研究, 2025,46(2):49-56.
- [29] CHERE M, WAYI-MGWEBI N. Integration of generative artificial intelligence in higher education: pedagogy factors and best practices [M]/DUBE K. Redefining education and development: innovative approaches in the era of the sustainable development goals. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024: 93-112.
- [30] 余胜泉,汪凡淙. 人工智能教育应用的认知外包陷阱及其跨越[J]. 电化教育研究,2023,44(12):5-13.
- [31] TU Y F. Roles and functionalities of ChatGPT for students with different growth mindsets [J]. *Educational technology & society*, 2024,27(1):198-214.
- [32] LV Z. Generative artificial intelligence in the metaverse era[J]. *Cognitive robotics*, 2023,3:208-217.

- [33] JAUHAINEN J S. The metaverse; innovations and generative AI[J]. *International journal of innovation studies*, 2024,8(3): 262–272.
- [34] STAHL G. Building collaborative knowing: elements of a social theory of CSCL[M]//What we know about CSCL: and implementing it in higher education. Dordrecht: Springer Netherlands, 2004: 53–85.
- [35] HWANG G J, LAI C L, LIANG J C, et al. A long-term experiment to investigate the relationships between high school students' perceptions of mobile learning and peer interaction and higher-order thinking tendencies [J]. *Educational technology research and development*, 2018, 66: 75–93.
- [36] SUN Z, LIN C H, LV K, et al. Knowledge-construction behaviors in a mobile learning environment: a lag-sequential analysis of group differences[J]. *Educational technology research and development*, 2021, 69: 533–551.
- [37] YANG T C, CHEN S Y, HWANG G J. The influences of a two-tier test strategy on student learning: a lag sequential analysis approach[J]. *Computers & education*, 2015,82:366–377.
- [38] BAKEMAN R, GOTTMAN J M. Observing interaction: an introduction to sequential analysis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [39] 朱彩兰,陈彤,李艺,等. 关联思维的内涵与形成路径研究[J]. *电化教育研究*,2023,44(5):29–35,43.
- [40] YOU J, WEN X, LIU L, et al. Biophilic classroom environments on stress and cognitive performance: a randomized crossover study in virtual reality(VR)[J]. *Plos one*, 2023,18(11):e0291355.
- [41] 赵晓伟,王师晓,李情,等. 苏格拉底式问题支架:促进学生向 AI 大模型提出高质量问题[J]. *现代远程教育研究*,2025,37(1): 102–112.

### A Study on the Influence of Higher-Order Thinking Skills through Agent- and Metaverse-based Digital Ubiquitous Learning

ZHAI Xuesong, JI Shuang, LI Yan

(College of Education, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310058)

**[Abstract]** Building a comprehensive and accessible lifelong education system is a key objective in building a leading educational nation, and digital empowerment for ubiquitous learning has become a critical focus of educational reform and innovation. Traditional ubiquitous learning faces significant challenges in intelligentization, contextual awareness and scalability, limiting its effectiveness in fostering learners' higher-order thinking skills. The maturation of intelligent agents and metaverse technologies in recent years have provided technical reserves for personalized content generation and contextual rendering and perception, making it possible to promote the implementation of large-scale digital ubiquitous learning. This study developed a digital ubiquitous learning platform integrating intelligent agents and metaverse technologies. A total of 118 primary and secondary school students were recruited to participate in a digital ubiquitous course on "multi-ethnic cultures", and learner interaction data were analyzed through behavioral sequences and cognitive networks. The results show that the digital ubiquitous learning model significantly enhances students' problem-solving and critical thinking skills, while creative thinking is improved but not to a significant level. Behavioral sequence analysis indicates that the higher-order thinking enhancement group demonstrate intensive interactions among modules such as intelligent problem-solving, video-based learning, dialogue log review, and seeking learning guidance. To further cultivate creative thinking, future studies could introduce game-theoretic mechanisms to design multi-agent systems, enhancing their autonomous capabilities in simulated scenarios and enabling learners to construct multi-perspective human - multi-agent interaction frameworks.

**[Keywords]** Ubiquitous Learning; Agent; Metaverse; Higher-Order Thinking Skills; Human-AI Collaborative Learning