

生成式人工智能与大语言模型赋能设计思维

林俊聪¹, 何晨康¹, 林敏², 吴德文¹, 郭诗辉¹, 王程¹, 廖明宏¹

(1. 厦门大学信息学院;
2. 厦门大学教育研究院, 福建 厦门 361005)

摘要: 研究生创新能力培养对我国科技创新与“创新驱动发展战略”实施具有重要意义。软件工程领域亟需创新人才, 设计思维可推动人才培养范式转型, 但当前教学缺乏高效信息化工具支撑。为解决这一问题, 以《高级计算机图形学》《游戏设计思维》等课程为载体, 将设计思维运用于软件创新人才的培养, 对教学模式、教学内容、教学工具及指导方式进行全方位革新。结合生成式人工智能与大语言模型技术, 研发了人工智能增强型设计思维工具 LLGLinkographics, 为教学提供智能化支撑。教学评估结果表明, 该教学模式有效提升了学生创意生成效率与设计思维连贯性, 显著改善了教学过程与学习效果。研究结论认为, 融合设计思维与人工智能工具的教学范式, 可为软件工程领域创新人才培养提供可行路径与参考。

关键词: 创新人才培养; 生成式人工智能; 大语言模型; 设计思维; 软件工程

DOI: 10.11907/rjdk.(1)251411

扫描二维码阅读全文:



中图分类号: TP3

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(XXXX)0XX-0001-06

Generative Artificial Intelligence and Large Language Models Empowering Design Thinking

LIN Juncong¹, HE Chenkang¹, LIN Min², WU Dewen¹, GUO Shihui¹, WANG Cheng¹, LIAO Minghong¹

(1. School of Information Science and Engineering, Xiamen University;
2. Institute of Education, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Cultivating innovative capabilities of postgraduates is crucial for China's scientific and technological innovation and the implementation of the "Innovation-Driven Development Strategy". Aiming at the urgent demand for innovative talents in software engineering, the design thinking concept can promote the transformation of training paradigms, but current teaching lacks effective information-based tool support. To address this issue, this paper takes courses such as Advanced Computer Graphics and Game Design Thinking as carriers, applies design thinking to the cultivation of software innovative talents, and carries out all-round innovation on teaching models, teaching contents, teaching tools and guidance methods. Combined with generative AI and large language models, this paper develops an AI-enhanced design thinking tool LLGLinkographics to provide intelligent support for teaching. Teaching evaluation results show that this teaching mode effectively improves students' efficiency in idea generation and the coherence of design thinking, and significantly enhances the teaching process and learning effect. The research conclusion holds that the teaching paradigm integrating design thinking and artificial intelligence tools can provide a feasible path and reference for the cultivation of innovative talents in the field of software engineering.

Key Words: innovative talent cultivation; generative artificial intelligence; large language models; design thinking; software engineering

收稿日期: 2025-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(62077039)

作者简介: 林俊聪(1981-), 男, 博士, 厦门大学信息学院教授, 研究方向为创造力支持工具和几何处理; 何晨康(2000-), 男, 厦门大学信息学院硕士研究生, 研究方向为可视化分析; 林敏(1982-), 女, 博士, 厦门大学教育研究院助理教授, 研究方向为汉语发展性阅读障碍和大学生心理健康; 吴德文(1978-), 男, 硕士, 厦门大学信息学院高级工程师, 研究方向为移动互联网应用和物联网及其应用; 郭诗辉(1988-), 男, 博士, 厦门大学信息学院教授, 研究方向为人体运动分析和虚拟现实; 王程(1975-), 男, 博士, 厦门大学信息学院教授, 研究方向为空间感知与计算和遥感数据处理; 廖明宏(1966-), 男, 博士, 厦门大学信息学院教授, 研究方向为数据库技术和软件工程。本文通讯作者: 林俊聪。

0 引言

在全球竞争中,国家的创新能力直接决定其经济实力。创新人才的培养是当前国内外教育改革关注的焦点:美国通过 STEM(科学、技术、工程、数学)教育强化科技人才储备;中国提出“创新驱动发展战略”,将创新教育纳入国家战略层面。研究生作为科研主力军,其创新能力直接关系到我国在人工智能、量子计算、生物技术等前沿领域的突破。具体到软件工程专业,创新型人才是软件产业自主创新的根本,如何培养软件工程创新型人才是高校软件工程专业的重要任务。软件技术需求变化快,具有明显的多样性、灵活性和协调性,软件开发模式也快速发展。软件工程师要有实际的实践能力、工程应用能力、复杂问题综合应用能力及创新应用能力,更需要跨行业学科交叉融合、结合领域背景及具体应用场景等来培养软件工程综合应用能力^[1]。然而,当前的创新教育实践仍存在着新旧范式简单并存、教师对评价认知片面、对“双主”模式理解狭隘等问题,一定程度上约束了学习者的思维扩展宽度和深度,不利于教育的实质变革^[2]。在教学模式探索过程中,普遍存在模式设计较为宏观、未深入聚焦学生高阶思维能力细化培养等问题。沿用原有的教育方式已明显无法适应时代对人才的要求。教育变革不仅需要更新教育内容和形式,更需要重构培养路径,强化对人的思维的培养,引导学生学会设计和创造。但创新需要引导工具,设计思维正是这样一个促进学习者深度思考的创新工具。

设计思维体现了设计者探究设计挑战以及创造性解决设计难题而进行的一系列连续思考和行动的过程,作为一种新的理念契合当前世界对创新人才培养的需求^[3]。与本科阶段相比,研究生教育更强调学术深度、研究能力、独立创新和解决复杂问题的能力。在学习者(尤其是研究生)的培养过程中引入设计思维的概念,有助于推动我国教育范式的转变。基于项目的教学 PBL(Project-Based Learning, PBL)通过以真实问题或项目为核心的学习模式,为研究生教育提供了以问题驱动、实践深化理论与合作促进创新的清晰路径,能够有效满足这些培养目标。该教学模式在当前高校,尤其是研究生教育中得到了广泛应用。然而,设计思维与 PBL 高度契合,两者都强调以问题为导向、以学生为中心,注重协作与迭代的实践过程。设计思维为基于项目的教学提供了结构化的方法论,同时,以用户为中心的视角,使 PBL 不仅是一个“完成任务”的过程,更是一个培养学生的创新能力、协作能力、批判性思维和社会责任感的综合平台。通过设计思维的框架,学生不仅能掌握知识技能,更能学会如何在复杂和不确定的现实中创造有意义的解决方案。

设计思维在教与学的应用过程中,离不开各类信息技术工具的支撑,尤其是能够化抽象为具体的可视分析工

具。当前设计思维的核心流程(如用户研究、原型设计、迭代测试)往往依赖手工工具(如白板、问卷、草图),效率低下且协作困难。近几年,大语言模型和生成式人工智能的快速发展给传统的教育理念带来了强烈的冲击,正急速改变创新教育的范式^[4]。它们通过工具赋能、思维拓展、资源开放和实践支持,为创新教育提供“放大器”和“加速器”,为学生和教育者提供了前所未有的可能性。其中的关键在于如何设计合理的教育框架,让学生在技术赋能的同时,保持人性化的批判与创造力。尤其是大模型对头脑风暴等创造性活动的支撑,近年来受到了广泛关注^[5-6]。而设计思维恰好为这样的实践提供了一种初始框架的基础。通过将生成式人工智能和大语言模型有机融入传统的设计思维教学工具,不仅能解决当前设计思维教学过程中的问题,还有望形成一种新的智能化创新人才培养框架。基于上述背景分析,本文在基于设计思维的研究生创新教育的改革实践中,通过引入大语言模型和生成式人工智能,设计并研发了一套智能化的设计思维可视分析工具 LLGLinkographics,在教育教学实践中得到了较好的反馈。相比于传统的基于虚拟标签的头脑风暴工具(如 Miro),本文的工具以创意跟踪和分析工具(Linkography)为核心,引入大语言模型。在想法的提取、分类、关系识别以及灵感的激发等方面进行辅助,大幅度降低了用户在头脑风暴过程中进行跟踪和分析的认知负担,有效地提升了头脑风暴的质量。本文以开设的计算机图形学、游戏设计等课程为对象,探讨基于设计思维的研究生创新教育范式。在此基础上引出作者所研发的设计思维工具,并对其在具体教学实践中的应用进行分析和总结。

1 融合设计思维理念的研究生创新教育范式

1.1 设计思维理念

随着设计实践在不同领域的应用日渐增多,决策者越来越多地试图将设计实践背后的思维过程和方法结合起来,以解决他们遇到的一些结构不良与棘手的问题。1969 年,Simon^[7]提出了“设计作为一种思维方式”的概念,随后 Peter Rowe 首次提出设计思维这一术语。从狭义上而言,设计思维是设计师根据被委托的设计项目,调动各种相关资料及自身经验积累,综合自然、技术、社会、文化等诸多因素,形成对未来作品的理解,并在权衡各种制约因素的基础上,构想出设计方案的过程^[8]。而在广义上,设计思维是从最终用户出发,利用创造性思维,通过观察、探索、定义、头脑风暴、模型设计以及讲故事等方式制定目标或方向,进而寻求实用的、富有创造性的解决方案。设计思维与理工科领域广泛采用的解析和线性问题求解方法有着本质上的不同。一方面,在问题清晰定义、数据可用且过去经验能预测未来的情况下,解析方法最为适用。这种方法通过规划和优化目标、遵循预先设定的准则来解决

问题。另一方面,设计思维适用于不确定、复杂的情况,特别是当人们成为评判解决方案“好坏”的关键评估者的情况。设计思维的过程和方法有助于快速学习和理解所涉及的情况和人员,同时允许迭代生成和测试可能的解决方案。

尽管关于什么是设计思维仍众说纷纭,但不同表述又存在一些共性,如:观察设计挑战、建立想法和解决方案的联系、反思并改进设计等。以代表性的 IDEO 模型为例,整个模型包含发现、解释、构思、实验和进化 5 个阶段,如图 1 所示^[9]。设计思维体现了设计者探究设计挑战以及创造性解决设计难题而进行的一系列连续思考以及行动的过程,具有以满足需求为基础、以行为为导向、以创新能力发展为目的的特点。设计思维是由设计与思维构成的双螺旋结构,设计和思维相互依存、彼此促进。作为其发端,平面设计、游戏设计等设计活动是设计思维培养的最好载体。

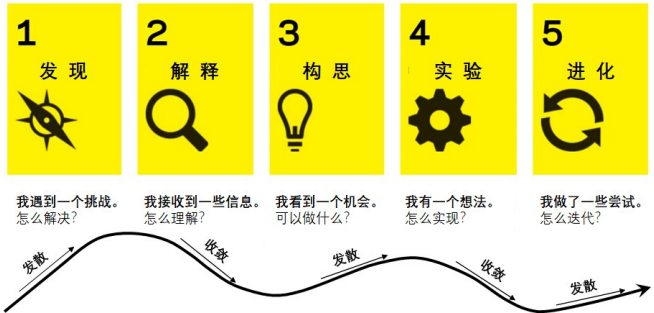


Fig. 1 IDEO design thinking model diagram
图1 IDEO 设计思维模型图

1.2 研究生教学与指导范式构建

目前,越来越多的设计类课程采用基于项目的教学模式。这与工程、医学乃至商学和法律等专业越来越多地采用基于项目或问题的教学框架是一致的。通过引入设计思维理念,推动研究生教学与指导范式从过度依赖于被动的教学方法向更主动的、基于问题的方法转变。尤其对于像计算机图形学、游戏设计这类数字媒体技术类课程而言,涉及的许多任务都与设计思维的流程相契合。作为设计思维改革的实践课程,可以极大地降低融合的挑战以及教学范式构建的门槛。然而,设计思维项目也面临着独有的挑战:如何提供发展实践技能所需的相关经历以及迭代、循环等的实践机会,同时,满足学生和教师对结构化的需求。设计思维不是由一系列僵化、预定义的有序步骤组成的。随着想法的完善,项目通常会从早期流程的循环中受益。虽然一些结构化确实是必要的,但设计思维也需要一个分阶段的发展过程,实现多个循环的重复实践。

基于以上认识并结合课程的特点,本文基于 IDEO 模型提出了一个引导教师教授学生学习设计思维步骤和原则的核心框架,如图 2 所示。

整个框架包含问题发现、问题定义、构思、原型化和迭代 5 个阶段。在每个阶段中,由学生组成的项目团队通过

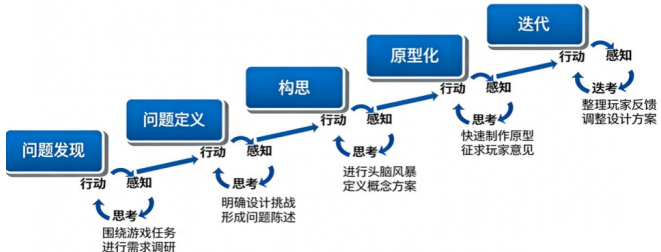


Fig. 2 Teaching framework diagram of computer graphics course based on design thinking

图2 基于设计思维的计算机图形学课程教学框架图

一个“行动—感知—思考”的小循环完成该阶段的具体任务和挑战,与此同时,老师在各个阶段进行有针对性地引导,帮助学生团队克服阶段挑战。具体如下:

(1)问题发现阶段。这阶段的关键是形成对目标场景和用户的同理心。学生培养同理心的最有力手段,是通过直接、面对面地观察和访谈目标用户的生活或工作背景,甚至让自己沉浸在用户的世界中。但是他们的观察能力较弱,可能会觉得整个过程非常耗时,不确定和模棱两可的东西太多,从而感到沮丧。老师可以提醒学生在完成观察后再进行推理分析,同时也告知他们这个阶段可能会有一定的受挫感。

(2)问题定义阶段。团队将根据给定的设计挑战来制定一个问题陈述,确定项目的痛点和关键环节。这个阶段的挑战主要在于不像解析方法那样具有可靠的形式化过程,存在团队停滞不前的风险。此外,渐进式问题会逐渐掩盖根本性问题。老师在这个阶段可以引导学生团队,先确定他们具有“观察优势”的领域,然后要求他们在确定一个最终问题陈述之前,先提出 4-5 个问题陈述,最终形成对问题框架的团队共识,明确设计挑战,完善问题陈述。

(3)团队构思阶段。团队进行集思广益,记录提出的碎片想法,并将其拼接成新的“完整想法”,最后对最佳想法进行投票,以缩小列表。这个阶段的挑战主要在于头脑风暴和投票可能会导致“原子化”。这个过程很容易陷入僵局,导致沮丧和退缩。因此,节奏很重要,需要强有力的引导或领导。教师可以帮助团队坚持高度结构化的过程,以防在讨论中迷失方向。同时,也要不断提醒团队,避免过早锁定或局限于单一解决方案。

(4)原型化阶段。创建“低保真度”原型或故事板,便于与目标用户进行交流。通过原型观察用户,形成新的见解并进一步完善原型。原型通常要在极短的时间内做出,但团队成员可能对最初的原型想法有强烈的依恋,抵制形成新的见解。老师应鼓励学生制作初步原型,包括物理模型、图表、思维导图和故事板。同时,应强调与目标用户的深度交流比证明自己的观点更重要。

(5)测试迭代阶段。在完成软件原型的基础上,团队将观察目标用户体验他们原型的情况,收集反馈意见,从而进一步根据测试及反馈的结果,不断更新完善原型。该阶段始终贯穿测试—反馈—迭代的循环,而测试则是这一

迭代过程的关键。

2 人工智能增强的设计思维工具

为了提升创意阶段的效率,本文借助大语言模型,自主开发了一款设计思维工具。工具的核心为链接表记,一种起源于20世纪90年代中期的经典设计思维分析方法,由设计师 Gabriela Goldschmidt^[10]首次提出,旨在追踪、可视化和分析设计过程中的思考模式。在该方法中,设计师被要求边思考边口头表述他们的想法,这些想法随后被记录并形成协议。研究者将协议拆解为可识别、可推断的分析单元,并建立分类编码体系对其进行标注,进而分析单元之间的关联关系。随着技术的发展,链接表记的应用已扩展至团队设计过程的分析^[11-12]。然而,现有的链接表记方法主要依赖于手动记录和分析,过程繁琐且耗时,容易出错,难以满足实际设计过程中对效率的需求。尤其随着设计过程的深入,想法数量激增,手动管理变得更加困难,甚至可能出现遗漏或误判。尽管已经有一些工作尝试借助大模型来实现想法的自动关联,但现有的设计工具缺乏

对全链条的完整支持,导致设计过程中难以有效地梳理和整合想法,阻碍了创意的生成和发展^[13]。在长期的设计过程中,难以保持思维路径的连贯性和完整性,导致设计思路容易散乱,无法有效地引导和评估设计过程。

本文通过集成大型语言模型(GPT-4o-mini)实现设计想法的自动化分析与处理,快速提取并归类设计动作,同时生成新的设计想法以激发创意,极大地提升了设计过程的效率与创造性^[14]。通过引入生成式人工智能技术(Flux模型),结合用户头脑风暴的语境,自动地生成相关图像作为视觉刺激,激发讨论者的创意和灵感^[15]。LLGLinkographics是一种用于在构思阶段有效跟踪各种想法,并帮助团队进行思维收敛的工具。LLGLinkographics工具界面如图3所示。软件的中间区域(图3②)显示了用于跟踪讨论中所有想法的链接表记结构;上方区域(图3⑤⑥)则展示了与头脑风暴状态相关的数据,例如熵值以及每位成员在头脑风暴过程中的行为特征。左下角(图3④)呈现的是根据讨论过程提供的图像,作为视觉激励。系统还引入了大语言模型,以辅助进行想法分析(图3①③);右下角(图3⑦)则显示了用户之间的互动情况。

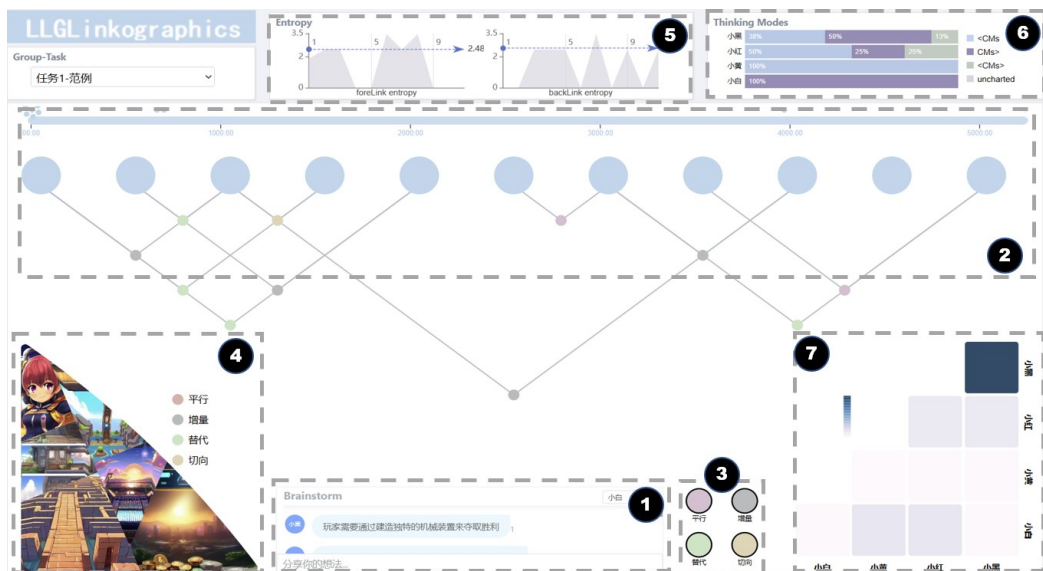


Fig. 3 LLGLinkographics tool interface

图3 LLGLinkographics工具界面

3 教学效果

教学改革的成效需要通过系统的评估来检验。目前,从科学层面对设计思维进行的研究尚显不足。相关探索仍带有较强的主观性、经验性、自省性和抽象性等人文色彩,尤其在实证研究方面存在明显欠缺。已有的实证研究主要是从设计者的角度出发,从用户的角度研究较少。设计思维理论成果被接受程度还较低,主要是因为现有的研究成果缺乏应用,体现不出它们对设计实践的指导效果。有鉴于此,作者在《高级计算机图形学》与《游戏设计思维》两门课程的教学及研究指导中,引入了PBL教学法。结合

当前领域研究热点以及产业需求布置一些自由度较高的研究性实践项目。首先,让研究生自发组队,围绕需求进行头脑风暴;然后,形成新的创意思法并进行设计开发;最后,通过课程汇报进行交流、反馈并进一步改进。整个过程基于设计思维的典型框架进行组织,历时两个学年,涵盖近200名学生,且授课教师、教学形式等均保持一致。本文从中招募了10组队伍参与研究。针对上述实证研究的问题,设计了一套评估体系,如表1所示。该体系兼顾结果与过程,并综合了定量与定性两类指标。

本文着重探讨了在设计思维各阶段引入信息化工具所产生的效果。在构思阶段,分别引入了Miro(一款知名的头脑风暴工具,本质上是在线协作白板,支持视频、文

Table 1 Teaching effectiveness evaluation system		
表1 教学效果评价体系		
评价角度	评价维度	评价方法
过程	发现	发放和回收问卷调查的数量,KHWL表的规范性
	定义	问题阐述的正确性,移情图的规范性
	构思	团队成员活跃度,想法的数量、多样性,最终想法的质量
	原型化	原型制作的时间,工具使用情况
	迭代	可用性测试评分,用户对交互方式、难度和平衡性等的评价
结果	新颖性	包括原创性,是否有使用第三方材料尤其是代码,具体的使用方式和程度
	可用性	主要考虑功能的完备性
	技术难度	所涉及的一些技术、算法的深度
	设计规范	设计思维理念的实施程度,项目设计文档丰富性
	陈述	时间控制,陈述流畅、清晰等

档、标签、思维导图等多种内容的嵌入^[16])和自主研发的LLGLinkographics,并与未采用任何工具的情况进行了对比。尽管两个工具都是针对构思阶段的,但其扮演的角色不同。前者侧重于帮助头脑风暴的成员记录和呈现各种想法,后者则致力于关联和总结,维持整个头脑风暴过程不至于太发散。设计思维工具评分表如表2所示,要求学

生项目团队在使用工具后,从创造力5个维度出发,采用五级李克特量表进行评分。在执行顺序方面,本文设计了5个头脑风暴任务,让每个小组随机挑选一个任务,并随机采用一种方式进行头脑风暴。每次头脑风暴的时间为20min,三次头脑风暴的耗时为1h。

Table 2 Design tjinking tool evaluation form	
表2 设计思维工具评分表	
维度	描述
Q1	可以获得更多的灵感
Q2	可以很容易探索很多不同的想法、选择
Q3	产生的创意更具有多样性
Q4	可以生成满足,甚至超出期望的结果
Q5	使头脑风暴的体验更加愉悦

设计思维工具 Miro 和 LLGLinkographics 对于头脑风暴的提升效果,如图4所示。相较于未采用工具的情况,Miro 与 LLGLinkographics 在头脑风暴中对项目团队创造力支持的各个方面均表现更优。其中,LLGLinkographics 效果尤为显著。在结果评价方面,用户从表2所列的5个维度采用五级李克特量表进行打分,并与往年未采用设计思维模型的课程项目完成情况进行对比。统计数据显示,3个头脑风暴执行顺序的差异对结果并没有产生明显的影响,差值均在10%以内,不同学年的数据也没有明显差异。

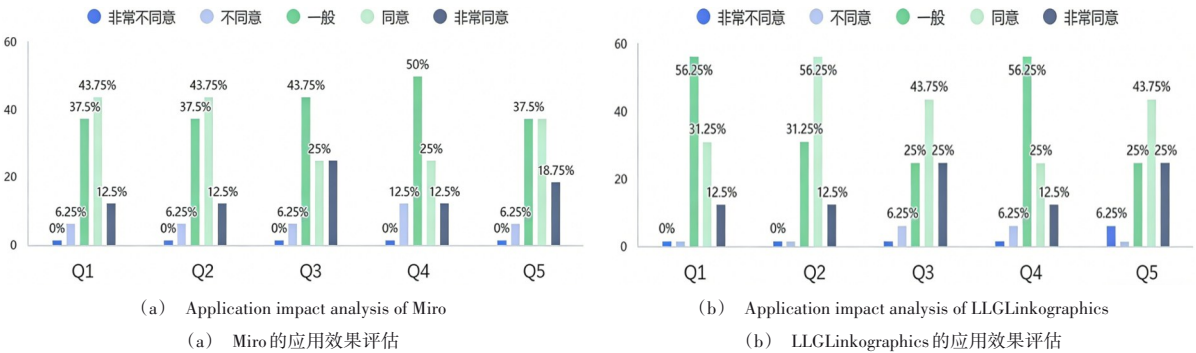


Fig. 4 Promotion effects of design thinking tools Miro and LLGLinkographics in brainstorming

图4 设计思维工具 Miro 和 LLGLinkographics 对于头脑风暴的提升效果

图5展示了LLGLinkographics捕捉到的两个项目小组截然不同的思考模式。相比于小组A,小组B的讨论更为激烈,不同想法之间的前后关联性更强。具体而言,小组B的链接表记中呈现出更多的结构性模式,这些模式预示着讨论更具建设性。

本文通过可用性量表对系统进行了评估。图6记录了用户对10项可用性指标的百分制打分情况,所有反向计分题项进行正向化处理。以此数据为基础,按照标准化SUS评分计算方法,得出系统的综合可用性得分为75.35,优于传统头脑风暴方法(70.18)。

4 结语

培养具有创造力的人才,已成为当前国内外教育领域

关注的焦点,也是我国教育改革的重要目标。研究生是科研创新主力军,对其创新能力的培养尤为重要。设计思维方法是促进教育从过度依赖教师灌输式教学,转向学生主动学习这一浪潮中所涌现出的一个特例,能够引导学生以积极的方式扩展和使用知识,可视为创新人才培养的一种颇具前景的范式。以研究生课程《高级计算机图形学》为依托,本文探索了一种可以让学习内容的分配更加合理,让学习者在建立新的知能结构的过程中建立起书本知识与现实世界的内联关系,形成运用所学知识解决复杂问题的基于设计思维的研究生创新能力培养新路径。此外,充分利用当前生成式人工智能和大语言模型的强大能力,自主研发了一种设计思维教学工具,有效地解决了设计思维应用实践中的一些瓶颈问题。该工具是一个界面直观友好的在线Web系统,可适用于不同学科。用户(尤其是资

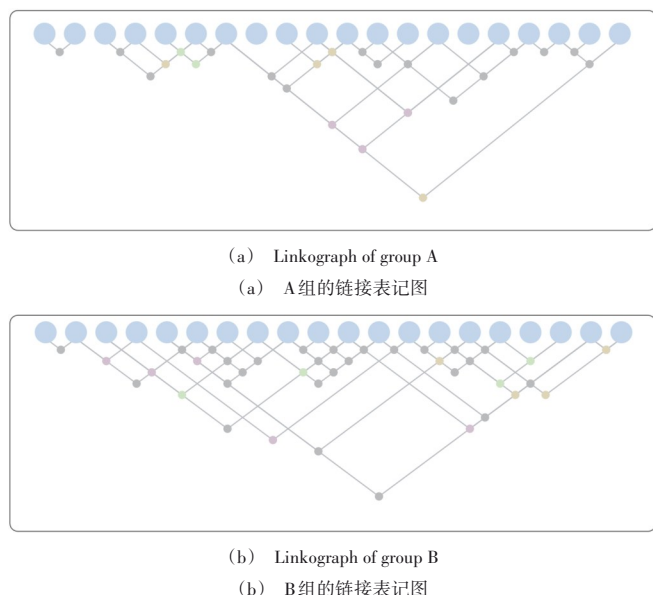


Fig. 5 Distinct thinking patterns of two project teams captured by LLGLinkographics

图5 LLGLinkographics捕捉到的两个项目小组截然不同的思考模式

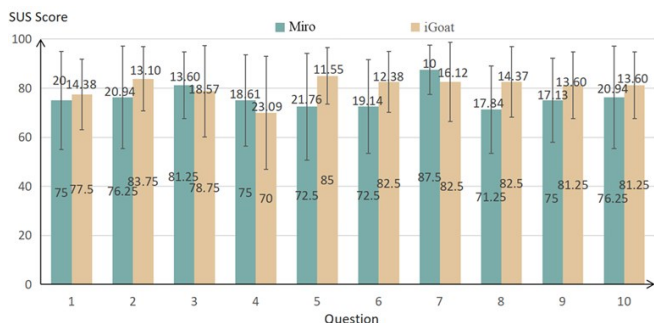


Fig. 6 System usability evaluation results

图6 系统可用性评价结果

源受限院校)可根据需要,订阅商用大语言模型与该系统配合使用。系统的教学评估表明,基于设计思维的研究生教学改革在教学过程、教学产出和过程指导等方面均取得了较好的成效。在未来的研究生工程教学实践中,可以考虑进一步促进设计思维与问题教学过程的深度融合,完善人工智能教学工具,发展即时反馈和评价体系,构建完备的工具库,进一步提升研究生的创新能力。由于时间和相关资源有限,目前只在部分研究生课程上进行了初步的用户学习和验证,未来仍需要开展针对专业设计人员以及其他学科课堂的更大规模验证,更进一步验证在其他环境的有效性。此外,受所采用训练集的影响,大语言模型的回答可能会存在一定的偏见,对用户所在地区形成一定的伦理和道德冲击^[17-18]。这在教育领域将是个敏感的问题,需要深入、系统的验证和解决。

参考文献:

[1] ZHANG J, FENG X. Research and practice on cultivating applied capabilities of software engineering under the new engineering paradigm [J].

Journal of Higher Education, 2024(16): 146-149.

张靖,冯霞.新工科下软件工程应用能力培养研究与实践[J].高教学刊,2024(16): 146-149.

[2] LIN L, SHEN S S. The conceptual connotation and cultivation strategy of design thinking [J]. Modern Distance Education Research, 2016(6): 18-25.

林琳,沈书生.设计思维的概念内涵与培养策略[J].现代远程教育,2016(6): 18-25.

[3] HU X Y, ZHU L. Design thinking models and cases for cultivating creativity [J]. Modern Distance Education Research, 2018(3): 75-82.

胡小勇,朱龙.面向创造力培养的设计思维模型与案例[J].现代远程教育研究,2018(3): 75-82.

[4] LU Y, YU J L, CHEN P H, et al. Educational applications and prospects of generative artificial intelligence: a case study of the ChatGPT system [J]. Distance Education in China, 2023, 43(4): 24-31.

卢宇,余京蕾,陈鹏鹤,等.生成式人工智能的教育应用与展望——以ChatGPT系统为例[J].中国远程教育,2023,43(4): 24-31.

[5] SHAER O, COOPER A, MOKRYN O, et al. AI-augmented brainwriting: investigating the use of LLMs in group ideation [C]// New York: Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Association for Computing Machinery, 2024.

[6] FAN H, ZHOU C, YU H, et al. LitLinker: supporting the ideation of interdisciplinary contexts with large language models for teaching literature in elementary schools [C]// New York: Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Association for Computing Machinery, 2025.

[7] SIMON H A. The sciences of the artificial [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

[8] ROWE P. Design thinking [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

[9] BROWN T. Design thinking for educators [M]. New York: IDEO Corporation, 2011.

[10] GOLDSCHMID T G. The designer as a team of one [J]. Design Studies, 1995, 16(2): 189-209.

[11] HÄRKKI T. Mobile gaze tracking and an extended linkography for collaborative sketching and designing [J]. International Journal of Technology and Design Education, 2023, 33(2): 379-413.

[12] BLOM N, BOGAERS A. Using linkography to investigate students' thinking and information use during a STEM task [J]. International Journal of Technology and Design Education, 2020, 30: 1-20.

[13] SMITH A, ANDERSON B R, OTTO J T, et al. Fuzzy linkography: automatic graphical summarization of creative activity traces [C]// Proceedings of the 2025 Conference on Creativity and Cognition, 2025: 112-120.

[14] GPT-4o-mini: advancing cost-efficient intelligence [EB/OL]. <https://openai.com/zh-Hans-CN/index/gpt-4o-mini-advancing-cost-efficient-intelligence/>.

[15] Flux [EB/OL]. <https://flux-ai.io/cn/>.

[16] MIRO. The innovation workspace [EB/OL]. <https://miro.com/>.

[17] ORNER D, ONDULA E A, MUMERO M N, et al. Sentimental agents: combining sentiment analysis and non-bayesian updating for cooperative decision-making [C]// Proceedings of the 23rd International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2024: 2408-2410.

[18] TJUATJA L, CHEN V, WU T, et al. Do LLMs exhibit human-like response biases? a case study in survey design [J]. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 2024, 12: 1011-1026.

(责任编辑:陈维捷)