

# 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

翟雪松<sup>1</sup>, 张丽洁<sup>1</sup>, 夏亮亮<sup>2</sup>, 徐鑫<sup>3</sup>, 朱强<sup>3</sup>

(1.浙江大学教育学院, 浙江 杭州 310058;

2.北京师范大学教育学部, 北京 100875;

3.浙江大学计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310058)

**[摘要]** 大模型为学习者提供跨模态的学习资源,同时也为创新人机协同教学模式提出了更高要求。研究引入了逆向工程教学思维,分析了其在流程与机理上与生成式人工智能的相契互补性,并基于自主开发的逆向工程编程学习平台,开展了探索性编程教学实验。通过 LDA 主题词抽取和人机协作感知因子分析,研究挖掘出该模式下人机协作五类行为和情感取向。此外,问卷结果显示学习者在此教学模式下表现出较高的感知偶然性、人机协作感知以及持续学习意愿,但人机信任度处于中位水平。结合主题词分析,研究也提出未来人机协作的优化方向:通过逆向工程引领人机协作,降维拆解复杂问题;构建多智能体生态,提高多人-多机群体协作效能;塑造新型人机劳动关系,发展新智生产力。研究为未来人工智能协作学习提供了理论依据和数据参考,也提出了未来研究进一步改进的思路和方法。

**[关键词]** 生成式人工智能; 逆向工程; 人机协作学习; 复杂问题解决能力; 编程教育

**[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。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。朱强为通信作者,E-mail:zhuq@zju.edu.cn。

## 一、引言

生成式人工智能(Generative Artificial Intelligence, GAI)的发展,已将学习者的部分认知和迁移能力释放出来。特别是在未来走向仿真人脑的世界模型(World Model)阶段,人工智能的类人化程度会更高<sup>[1]</sup>。这预示着未来人类将会从简单劳动中解放,基于 GAI 的人机协作解决复杂问题将成为未来人类学习生活中必备的高阶能力<sup>[2]</sup>。然而,目前尚缺乏探索与 GAI 相适配的人机交互教学模式的实证研

究,致使学习者利用 GAI 自主解决复杂问题的路径不够清晰。

逆向工程思维是一种有助于学习者进入高认知学习状态的思维方式,在促进学习者知识学习、技能训练、思维发展等方面均具有积极作用<sup>[3]</sup>。该思维方式以丰富的知识表征方式为载体,而 GPT4o、Sora 等大语言模型则实现了不同知识表征方式之间的转化,在理论上能有效契合逆向工程思维。然而,逆向工程思维与 GAI 融合的教学模式尚未得到实证研究论证。因此,本研究以编程学习为例,探索基于 GAI 的逆向工

基金项目:2022 年度国家科技创新 2030“新一代人工智能”重大项目课题“人机协同的学习社群建构与支持技术”(课题编号:2022ZD0115904);2024 年度澳门科学技术发展基金“澳门中小学智能学习系统与远像光屏学习机及其关键技术研究”(课题编号:0071/2023/RIB3)

程思维在人机协作中的应用,检验其对学习者人机协作复杂问题解决能力的影响,以期深化逆向工程思维在智能时代的教育价值。

## 二、研究背景

### (一)基于 GAI 的人机交互教育应用现状及局限

GAI 不仅引发了新的知识生产力革命,也带来了人机关系的重构与迭代升级,为教育领域创造了新的发展机遇<sup>[4]</sup>。基于 GAI 的人机交互模式主要具有以下三个特点及局限。

1. 人机交互目标为激发高意识学习,但缺乏适配的教学法

未来学习范式的主要目标是激发学习者的高意识学习动机和行为<sup>[5]</sup>。生成式人工智能时代,学习者在对新旧知识建立关联的基础上,不仅能通过人机交互提出问题、设定议题,而且能甄别、筛选信息,最后经过创新意识和思维技能重组和创生知识产品。现有研究已从理论层面探讨 GAI 在提升学习者高意识的教育潜力<sup>[6]</sup>,然而尚缺乏与之相适配的教学设计及案例研究。这可能使学习者过度依赖 GAI,从而导致学习主动性消弭、高阶思维能力弱化、学业诚信危机等一系列问题。

2. 人机交互形式以诱发式对话为主,缺乏自发的提示工程能力

在自然行为(Nature Behavior)状态下,对话形式大多会受到对方提示的“诱发”<sup>[7]</sup>。GAI 基于 Transformer 架构,通过计算文本向量和语义关系来处理自然语言,从技术层面看生成内容具有一定的偶然性<sup>[8]</sup>。这种偶然性一方面会使学习者感知到信息的丰富,并受此诱发进行下一步交互对话,接下来可能迷失目标,逐步退化寻求新问题的能力;另一方面,这种技术架构也让所生成的内容具有一定的随机性和不确定性。当前研究主要是从如何“优化提问”的视角得到高精度反馈<sup>[9]</sup>,却缺乏“发现问题”的视角来帮助学习者自发地“选择”问题及其顺序,容易导致复杂问题解决的系统思维缺失。

3. 人机交互内容具有较强通识性,缺乏学科垂直领域的数据库和适配参数

GAI 的训练语料主要基于现有的海量互联网资源和部分专业数据库资源,而互联网的资料库大多以通识性知识为主,为了优化垂直领域应用,系统架构师开始探索采用 Langchain+LLM 架构,期望得到更优结果。但在教育领域中,完全使用文本知识库作为训练集容易缺失教育中的非认知因素,如情

感、价值观等。特别是当自注意力机制被用作训练教育文本资料时,由于缺乏统一数据标注标准,生成的内容很可能并不完整、准确;且数据和算法中可能存在文化等方面的偏见,不利于学习者正确价值观的培养<sup>[10]</sup>。

### (二)逆向工程在教育教学中的应用现状

传统“正向”教学流程,学生通常从对问题本身的分析入手以明确目标,并在方案生成过程中逐渐筑垒知识体系。问题解决的学习因其实践性和情境性被广泛应用于工程教学领域,例如,Lyn 等人在 STEM 教育的研究中制定了适合青少年能力水平的工程设计阶段框架<sup>[11]</sup>。从教学组织策略的视角来看,加涅的智慧技能层次论把智慧技能分成五个亚类,并认为应“从部分到整体”将它们组织成谱系结构<sup>[12]</sup>，“正向”教学即遵循这样“自底向上”的顺序;而逆向工程教学则倒置了编列次序,体现了“自顶向下”的思想(如图 1 所示)。

逆向工程是以现存的现代科技产品(如实物、样件、软件等)作为研究对象,通过反向的测量和设计对其进行建模和仿真,最终实现优化既有产品和再创造的过程<sup>[13]</sup>。逆向工程教学则基于逆向工程流程,强调从高维视角对现有知识内容理解与表征,让学习者快速产生宏观认知,并将着重思考优化和重构,最终实现创新性学习活动。相较于正向教学,逆向工程教学优势体现在:一方面,学习者在对产品进行解构的过程中能够获得大量的具体实践经验<sup>[14]</sup>,这能有效弥补传统“教—学—做”模式下的理论与实践脱节问题<sup>[15-16]</sup>。另一方面,基于逆向工程思维的教学也能够加速产品和工艺的开发进程,有利于创新产教融合新模式<sup>[17]</sup>。

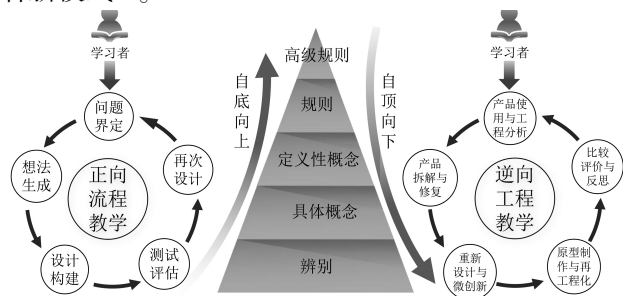


图1 PBL法与逆向工程教学法流程与教学组织策略比较

然而,基于逆向工程的教学在实际教学中还存在两方面局限:一是学习者在逆向探索中可能会因为损害产品,且教师可能会难以应付工作量大的作品准备<sup>[18]</sup>,导致各方面成本较高。另一方面,学习者在基于逆向工程思维的学习中往往不具备完备的知识与方法基础,难免会遇到各种学习困难。现有研究虽然

提出了一些教学支架或策略来支持学习者学习<sup>[18]</sup>,但并不具备自适应性。而 GAI 可以按需快速生成产品,并在学习过程中为学习者提供个性化、智能化的学习支持。

### (三)生成式人工智能时代逆向工程教学价值

基于 GAI 的逆向工程教学模式有助于破解当前国家重要教育发展战略,体现在:

首先,在 GAI 时代,逆向工程教学有助于提升以创新力培养为代表的素质教育。当前人才培养目标越来越注重难以被机器所取代的核心素养<sup>[19]</sup>。为此,我国在教育政策上,一方面,通过颁布《国家创新驱动发展战略纲要》等重要文件,加强拔尖创新型人才培养力度<sup>[20]</sup>;另一方面,通过“双减”政策,着力优化机械、低效的学习过程<sup>[21]</sup>。而逆向工程思维相较于正向教学方式,不仅提升了学习效率,也降低了学习者的原始创新门槛,从而促进学习迁移与作品创新<sup>[22]</sup>。例如,近期一项准实验研究表明,基于逆向工程的机器人教学在发展学习者创造力方面显著优于项目化教学<sup>[23]</sup>,然而该研究并未使用 GAI 辅助逆向工程教学,故仍有继续探索的空间。

其次,在 GAI 时代,逆向工程教学有助于推进卓越工程师培养计划。我国当前经济发展方向要求从制造大国走向制造强国,需要大批高质量工程技术人才,相比于传统技术工种,卓越工程师应具备聚焦前沿、技术敏锐的前瞻意识。当前项目式学习、问题解决学习等方式虽强化了问题导向意识,但也存在脱离真实场景、并未体现工程特性等问题<sup>[18]</sup>。而逆向工程作为工业上常用的设计策略,不仅是企业缩短产品开发周期、提高企业创新能力的重要技术支撑,也是工程教育中增强工程师拆解问题和寻求新方向的重要方法<sup>[24]</sup>。在 GAI 技术支持下,传统工程领域从架构、设计,到测试和最后的封装都能被提前预制完成。尤其在编程领域,代码编辑已经在很大程度上能够被 GAI 所取代,软件工程师的角色任务不能停留在功能实现上,更需要具备数字创意和关联生产生活需求的能力。

最后,逆向工程教学有助于为构建学科垂直领域大模型提供多模态数据。文本信息本身未必能完全呈

现学科内容的多面性,且单维词向量形式承载的信息量也极其有限,这一痛点导致大语言模型在具体垂直领域应用中出现“幻觉”。借助生成式人工智能工具的逆向工程教学,是基于学生需求而不断进行的数据标注和修正,这在很大程度上契合了实际教育问题,也能够采用数字化形式记录训练语料。更重要的是,在逆向工程学习中,学习者探究过程中的多模态数据被记录下来,如学生回答的时序和空间、语音语调情感信息,这类数据信息在未来语言模型的训练下将更具类人性和真实教学的临场感。

## 三、案例研究

基于本研究的教學理念,研究团队设计了一套游戏化课程,并开发了相应的编程学习平台进行探索性实验。

### (一)实验课程及计划

本研究针对 Python 编程学习设计了系统化的逆向工程实验课程(见表 1)。课程以一款游戏开发为目标,设有六个层次逐渐递进的关卡,每个关卡包含两个课时,整体课程跨越了三周时间。学生们从用 AI 生成代码并体验游戏开始,经过拆分模块、修改属性、补全代码等步骤,逐渐深入到程序的复现与重构<sup>[25]</sup>。这一过程使学生逐渐熟悉并能应用 Python 编程中的基础概念,如对象、变量、控制结构和函数等,并掌握了面向对象编程、模块化等思想。

### (二)学习平台开发

实验的开展基于团队自主开发的 GAI\_programming 平台(如图 2 所示)。该平台前端基于 Vue 3 框架开发,后端基于 Java Spring Boot 2 框架开发,主数据库使用了 MySQL。用户角色的区分是通过 Spring Security+JWT 实现的权限控制。平台内部署 Python Turtle 编译环境,学生可以查看任务、编辑代码、提交作答、进行测验等。六个关卡的任务卡引导学生按照逆向工程的思维逐步开展自主学习。此外,该平台内置的 AI 助手接入国内大语言模型接口供学生进行人机交互。平台内设置埋点,以存储学生的问答记录、响应动作和作答作品。

表 1

实验课程设计框架

关卡	第一关启航预备	第二关模块拆装	第三关谜团解密	第四关辨明前路	第五关函数秘籍	第六关问鼎华山
教学目标	·激发学习兴趣 ·掌握提示技能	·观察变量特性 ·理解编程思想	·掌握变量概念 ·实践变量使用	·理解分支逻辑 ·理解循环结构	·了解函数调用 ·理解传参与返回值	·深度理解代码逻辑
教学内容	·课程体系介绍 ·代码智能生成 ·代码调试运行	·功能模块拆解 ·了解游戏对象 ·思考对象属性	·修改基础属性 ·运行查看效果	·通过填空复现 ·修复故障代码	·函数功能复现 ·增加指定功能	·代码复现重构 ·开发专属游戏



图2 GAI\_programming 平台界面

(三) 实验流程与分析

本研究面向社会公开招募小学四年级及以上的学生作为实验对象。由于该教学模式在教学设计与技术实现上尚处于探索性研究阶段,因此选择小样本实验。最终有 17 位学生参与课程并完成了学习要求。在性别分布上,实验样本中女生 9 人,男生 8 人,保持了良好的性别平衡。在学段分布上,小学四至六年级学生占多数,共有 9 人,其次是初中生 6 人和高中生 2 人。在正式开始前,研究团队获得了所有参与者及其监护人的知情同意。实验期间被试均未接受其他编程教育。实验开展的流程包括基于 GAI 的代码生成,运行并探索功能需求,人机协作理解模块架构,最后修改代码实现需求,进而理解基本概念,实现了从宏观到微观,从复杂系统回归基本定义的逆向流程。

为了探究学习感知及其影响因素,研究首先采用 LDA 主题词抽取,通过对逆向工程学习中人机对话文本的主题和情绪词分析,探索这一教学模式中人机交互的主要行为特征及学习者的情感表征。其次,基于人机内部兼容性理论对该教学模式下的人机协作要素进行问卷采集和量化分析。人机内部兼容性指人类与智能体在认知、情感、价值三方面的相互匹配和适应程度,对人机协同决策有重要影响<sup>[26]</sup>。

基于此,本研究选择“感知偶然性”“人机信任度”“人机协作感知”“持续学习意愿”四个量表来探索影响因子。“感知偶然性”反映 GAI 根据与学习者前序交互生成定制输出的能力<sup>[27]</sup>,指向认知兼容;“人机信任度”是指人类对智能体的信任和认同程度<sup>[28]</sup>,指向

情感兼容;人机价值兼容性指人类与智能体算法在目标、价值观等方面的一致性程度,在本研究中体现为人机协作学习解决问题的体验和效率感知,采用人机协作感知量表<sup>[29]</sup>;先前研究发现,若智能体可模仿人类思维与目标用户展开互动,用户对其接受意愿将显著提升<sup>[26]</sup>,因此,本研究采用持续学习意愿量表。以上量表 Cronbach's  $\alpha$  值均处于 0.889~0.944 的范围内,保证了良好的内部一致性。

四、结果分析与讨论

为了探究逆向工程学习模式中的人机协作行为聚类,研究对人机交互的文本数据进行隐含狄利克雷分布(Latent Dirichlet Allocation, LDA)主题词抽取,再对问卷数据进行因子降维与统计分析。

(一) LDA 主题词抽取结果

GAI\_programming 平台后端记录了学习者在实验过程中向 AI 助手发送的所有文本信息。经数据清洗,共获得 17 位学习者发送的 1,195 条提问文本。本研究使用 LDA 模型对该数据集进行主题挖掘。为了确定聚类主题个数,研究采用困惑度指标(Perplexity Score)判断最优主题数量<sup>[30]</sup>。当主题数为 5 时,困惑度数值处于最低拐点,分数为 14.70,因此,研究确定主题数为 5 并据此对所有文本进行主题聚类。

从聚类主题上看,学生在逆向工程模式下与 GAI 的协作交互行为包括编程知识询问、代码生成请求、故障排除调试、程序理解求助、功能修改创新五大类型(见表 2)。这体现了学习者在逆向工程学习模式下的路径:首先,会通过指令(包含任务目标、编程语言和环境、给出示例等)生成程序,使用 GAI 辅助进行报错诊断和解决方案再生;其次,在成功运行代码基础上,学习者会进一步向 GAI 询问自己困惑的学理性知识(如列表、函数等),以获得深层理解;最后,学生根据个性化需求,对现有功能进行改进与新功能的探索。从主题占比数据来看,功能修改创新维度的占比最高(29.11%),其次是编程知识询问(24.05%),其余三个主题占比较低,故障排除调试的占比仅 12.66%。

表 2 主题—关键词矩阵表

主题	主题占比	关键词
编程知识询问	24.05%	列表、函数、循环、定义、变量、数据结构、存储、随机数、对象、原点、参数、图形、方法、层级、返回值、坐标轴
代码生成请求	18.99%	代码、游戏、生成、编写、贪吃蛇、拼图游戏、编程、智能、示例、自动、尝试、编辑器、试试、接下来、以此类推
故障排除调试	12.66%	程序、语句、问题、检查、错误、报错、逻辑、猜测、方式、格式
程序理解求助	15.19%	意思、功能、区别、内容、这段话、分析、翻译成、重点、单词、关键字、干什么、步骤
功能修改创新	29.11%	英文、海龟、任意、属性、颜色、蛇头、楷体、位置、方向、舞台、移动、玩家、背景、速度、外观、画布、长度、形状、画圆、重置、假设、设计、大小

可见,在GAI的支持下,教师在逆向工程教学中的人力成本得到了极大释放<sup>[29]</sup>,并且由于GAI生成内容的不确定性,在教师劳动被释放的同时,学习者也得以学习如何提出需求并自主调试程序。

此外,研究对各主题进行了情绪词分析(如图3所示)发现:总体上看,学生在与GAI的表达交流中包含较为明显的积极和中性情绪倾向。这说明逆向工程教学方法在GAI的辅助下,符合低龄学习者面对复杂问题认知规律。格塞尔关于儿童心理发展的理论认为,儿童行为发展具有一定方向性,往往表现为由宏观到微观,由中心向外,由粗大动作向精细动作发展<sup>[31]</sup>。逆向工程满足了低龄学习者的心理发展预期,特别是GAI使得目标完成的信心更得到激发。从协作任务的性质角度看,故障排除调试与程序理解求助是较为复杂的任务,其任务完成有赖于学生与GAI的内部兼容性和协同有效性,因此,学生容易感到困扰和挑战,但当复杂问题得以解决时,也就更有可能带来较大的成就感和满足感;而编程知识询问、代码生成请求、功能修改创新则相对简单直接,学生对GAI提供的结果存在预期,而GAI通常能提供直接、即时的回答,因此,不会带来强烈的情绪波动。由此可以验证,逆向工程教学模式在一定程度上可以促进学习者的复杂问题解决能力,并从中提升学习者韧性(Grit)等品质。

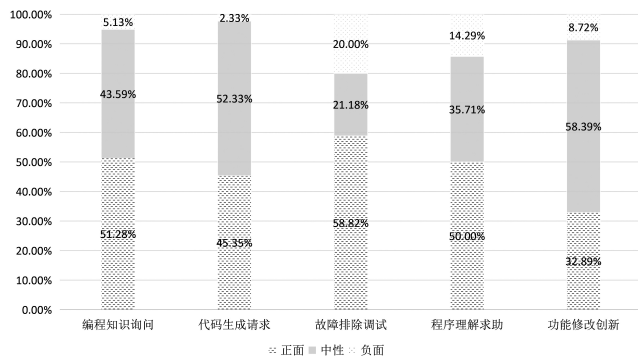


图3 各主题情绪词占比分析

从负面情绪词占比可知,故障排除调试主题的人机协作中,学生表现出的负面情绪最强(20.00%),其次是程序理解求助(14.29%)。造成这一情形的原因可能是学习者尚未从传统一对多的讲授式教学转换适应至个性化问题解决模式中。从GAI的支持性作用

来看,大语言模型的生成作用在故障排除调试与程序理解求助上的表现不够优越,因为这往往需要更深层次的逻辑推理和问题分析,当前大模型在没有特定优化的情况下通常不足以完全应对。这也正体现了在逆向工程编程学习中引入多智能体的重要性。

## (二)问卷分析结果

通过对问卷进行因子分析,本研究最终从19个题项中共抽取4个因素,且各题所属因子与量表设置相符合,累计方差贡献率达到了85.057%,说明这四个维度能够较好地反映原始样本信息;所有题项的因子载荷均在0.6以上(见表3),且大于其他变量间的交叉因子载荷,符合指标要求。

对四个因子进行描述性统计分析(见表3)。从平均值水平来看,四个因子的平均值都高于3.5,说明样本总体态度倾向于“满意”;其中,持续学习意愿的均值最高( $M=4.784$ ),其次是感知偶然性( $M=4.411$ )和人机协作感知( $M=4.294$ ),但人机信任度的平均分水平一般,为3.588分。在得分的离散程度上,持续学习意愿得分的标准差最小( $SD=0.389$ ),其次是感知偶然性( $SD=0.731$ )、人机协作感知( $SD=0.837$ ),说明学生在这三方面的评价趋向一致,而人机信任度的标准差达1.192,反映出不同学生对于人机信任度的感知情况差异性较大。

结合人机内部兼容性理论,以上结果反映了该教学模式下的人机关系中,认知和价值兼容性较高,GAI所给予的个性化乃至排他性的动态互动,能够使学生产生超乎预期的愉悦感。然而,学生与GAI情感兼容性(信任度)表现一般,一方面可能是由于人机交互中对情感联结与关怀的忽视,另一方面可能是因为学习者对其认同程度受限于GAI的生成有用性。GAI作为单个智能体所能提供的作答反馈仍然有限,无法完全模拟真实协作中的角色分配并执行学习者提出的各类任务。总体上,学习者的持续学习意愿较高,证明了该教学模式的有效性,特别是相比于采用顺向教学流程的人机交互学习<sup>[32]</sup>,逆向工程思维在提升学生动机、愉悦度上有着突出的表现。在逆向工程的引导下,清晰的问题探索路径使得学生在挑战复杂问题的过程中更具有自主性和控制感,从而产生更高的学习兴

表3

问卷分析结果

因子	因子载荷	Cronbach's $\alpha$	CR	AVE	平均值	标准差
感知偶然性	0.644~0.906	0.877	0.857	0.671	4.411	0.731
人机信任度	0.655~0.901	0.885	0.900	0.647	3.588	1.192
人机协作感知	0.821~0.955	0.971	0.968	0.793	4.294	0.837
持续学习意愿	0.769~0.928	0.910	0.898	0.746	4.784	0.389

趣,表现为较高的持续学习意愿。

## 五、启 示

### (一)逆向工程引领人机协作:降维拆解复杂问题

在当前的教育实践中,生成式人工智能(GAI)已经显著转变了人机交互的方式。过去的人机交互以平台为中心介质,本质上仍依赖于人—人互动;而现今的人机交互模式走向了以数据为底座的跨平台人—机互助。与GAI的协作使得学生在面对具体问题时能够迅速找到解决方案。然而,当面对更加复杂的问题时,自由的信息获取和传统的问题解答模式可能不足以应对挑战。

逆向工程思维在这一背景下显示出其独特优势。逆向工程的思维模式不仅有助于学生理解问题的现象,更能深入探索问题的本质。用逆向工程思维指导新型人机协作学习,学生在遇到错误和挑战时,便更有可能全面地分析问题,探索多种可能的解决方案。因此,逆向工程教学不仅仅是一个技术操作的流程,更是一种控制人机协作走向的高位思想,及一种强化学生批判性思维和问题解决能力的教育策略。

### (二)构建新型多智能体生态:增强人机协作效能

未来的教育场景更倾向于从当前的单人机交互走向多人—多机交互,逐步进入多智能体辅助教学的时代。多智能体系统能整合不同算法和数据源的优势,更加精确地模拟复杂问题解决中的真实协作机制<sup>[33]</sup>。在复杂的任务解决过程中,不同的智能体可以承担不同的角色和职能,为学习者提供全面的人机协作支撑。逆向工程提供了构建这种多智能体系统的方法论支持。通过对成功的逆向工程协作项目的学习行为分析,研究者能够更加精确地设计或调整智能体的功能,从而在虚拟环境中重现高效、类人的团队协作的情景,使之更贴合实际应用需求。

在新型多智能体生态下,人机协作将是一种双向流动的互惠共生机制:不仅机器为人提供帮助,未来机器也需要人的支持。随着多智能体的发展,协作模式可能会从多人共享一个单智能体“助手”,转变为每人拥有一个多智能体“秘书”,极大赋能人机协作效率。与此同时,人类个体高频开展人机协作的工作过程,也能够为大语言模型提供相应垂直领域的真实语料数据。这种垂直训练,有助于建立人机高度兼容的内部关系,也将推动人机协作的效能提升。

### (三)塑造新型人机劳动关系:发展新质生产力

在AI驱动下的生产力迅速发展和迭代的时代,

过去的教育模式已不足以培养面向未来的人才。在这一背景下,我国正以新质生产力为发展导向,统筹教育、科技和人才协同发展机制,全面升级劳动者、劳动资料、劳动对象和劳动关系的概念<sup>[34]</sup>。(1)劳动者的最小单元不再是单独的个体概念,而是大规模人机协同的组合,这种组合的鲁棒性取决于人对机的系统性理解,而非简单的工具性应用。逆向工程教学的起点就是利用生成式人工智能创设知识的完整生态,是培育人机信任的有效开端。(2)从劳动资料和劳动对象角度,未来技术发展会逐步减少对自然资源的消耗,转向人机协同的可持续生态发展观。无论是Yann LeCun提出的“世界模型”还是Elon Musk对火星资源的探寻,在本质上都是对于当前大语言模型高耗能的担忧。逆向工程思维本身也是向终而始,通过确立未来可持续发展目标,来反推当前的前沿技术规划与人才培养方向。(3)随着人工智能全面深入人类生活的方方面面,劳动关系将逐步脱离现有的刚性雇佣关系,走向多样、互相依赖的柔性状态。基于GAI的逆向工程教学也会推广到社会生产中,人工智能的初始生成能力使各阶层更为平等地参与到同一项工作中。新型人机劳动关系将使协同共创能力更为活跃和无边界化。

随着智能技术的发展,真实和虚拟世界之间的壁垒被渐渐破除,在新型人机劳动关系形态下,数字劳动也将“脱虚向实”,获得新的价值和使命。一方面,人机通过数字劳动实现劳动价值,GAI与多智能体的包容性、低门槛、无障碍,使得劳动者可以更广泛、自由地发挥生产中的积极作用;另一方面,新型人机协作关系赋权劳动者在数字劳动中积极贡献知识文化的内容和语言体系,形成一种新的自我价值化路径。逆向工程下的人机协作模式,有可能成为一种数字劳动的新型高效路径,助推新质生产力发展。

本研究也存在以下局限性:一是由于基于GAI的逆向工程教学模式尚处于探索阶段,因而存在样本量不足且学段差异大的问题,在今后的研究中将扩大样本量并从个体差异角度进一步分析该方法的适配性。二是该教学模式具有明显的学科限度,逆向工程教育源于工科领域,而GAI存在价值理解等短板<sup>[35]</sup>,因而思考该教学模式在人文艺术等学科的推广是亟待探索的议题。三是本文所使用的GAI作为单智能体本身的局限性使得学生未能获得充分的多智能体支持和帮助,在未来的研究中,可以尝试部署多智能体,搭建真实高效的多人—多机协作环境,以探究多智能体赋能下逆向工程教学中的人机协作机理。

## [参考文献]

- [1] 翟雪松,吴庭辉,袁婧,等. 教育对人工智能应用的反哺价值探究——基于生成式模型到世界模型的视角[J]. 远程教育杂志,2023,41(6):34-41.
- [2] 郑旭东,马云飞,范小雨. 协作问题解决:人工智能时代必备的高阶能力[J]. 现代教育技术,2021,31(3):12-19.
- [3] LADACHART L, CHOLSIN J, KWANPET S, et al. Using reverse engineering to enhance ninth-grade students' understanding of thermal expansion[J]. *Journal of science education and technology*,2022,31(2):177-190.
- [4] 祝智庭,戴岭,胡姣. 高意识生成式学习:AIGC技术赋能的学习范式创新[J]. 电化教育研究,2023,44(6):5-14.
- [5] SKRABUT S. 80 ways to use ChatGPT in the classroom: using AI to enhance teaching and learning[M]. Wyoming: Stan Skrabut, 2023.
- [6] 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):24-31,51.
- [7] 蒋慧芳,曾文婕,朱琦. 指向深度学习的对话式反馈:特征、方式与策略[J]. 开放教育研究,2024,30(2):80-88.
- [8] 翟雪松,吴庭辉,李翠欣,等. 数字人教育应用的演进、趋势与挑战[J]. 现代远程教育研究,2023,35(6):41-50.
- [9] 王丽,李艳,陈新亚,等. ChatGPT支持的学生论证内容评价与反馈——基于两种提问设计的实证比较[J]. 现代远程教育研究,2023,35(4):83-91.
- [10] 高琳琦. 生成式人工智能在个性化学习中的应用模式[J]. 天津师范大学学报(基础教育版),2023,24(4):36-40.
- [11] ENGLISH L D, KING D T. STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace[J]. *International journal of STEM education*,2015,2(1):14.
- [12] 李芒,徐晓东,朱京曦. 学与教的理论[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [13] 祖文明. 逆向工程技术的应用及国内外研究的现状及发展趋势[J]. 价值工程,2011,30(21):30-31.
- [14] HESS H L. Proceedings of 2000 ASEE Annual Conference[C]. Missouri: ASEE, 2000.
- [15] HUANG K Z. Enhancing design education by product reverse engineering [J]. Proceedings of the Canadian engineering education association (CEEA),2011, 10(27): 553-557.
- [16] CALDERON M L. Proceedings of the International Design Conference-Design 2010[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [17] LEE R S, TSAI J P, KAO Y C, et al. STEP-based product modeling system for remote collaborative reverse engineering[J]. *Robotics and computer-integrated manufacturing*,2003,19(6):543-553.
- [18] 康斯雅,钟柏昌. 机器人教育中的逆向工程教学模式构建[J]. 现代远程教育研究,2019,31(4):56-64.
- [19] 胡卫平,徐晶晶,皮忠玲,等. 智能时代的教育变革:思维型教学理论引领“技术赋能教学”[J]. 远程教育杂志,2023,41(6):3-9.
- [20] 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.
- [21] 景玉慧,沈书生. 方法与模式:“双减”背景下学习空间赋能课堂教学研究[J]. 电化教育研究,2024,45(1):114-121.
- [22] 钟柏昌,刘晓凡. 跨学科创新能力培养的学理机制与模式重构[J]. 中国远程教育,2021(10):29-38,77.
- [23] LIU X H, GU J J, ZHAO L. Promoting primary school students' creativity via reverse engineering pedagogy in robotics education[J]. *Thinking skills and creativity*,2023,49:101339.
- [24] LÓPEZ E J, ACOSTA FLORES M, SANDOVAL G L, et al. Reverse engineering and straightforward design as tools to improve the teaching of mechanical engineering [M]//ABDULWAHED M, BOURAS A, VEILLARD L. Industry integrated engineering and computing education. Cham:Springer,2019:93-118.
- [25] 王雪,王崑羽,乔玉飞,等. 在线课程资源的“学测一体”游戏化设计:理论模型与作用机制[J]. 电化教育研究,2023,44(2):92-98,113.
- [26] 何贵兵,陈诚,何泽桐,等. 智能组织中的人机协同决策:基于人机内部兼容性的研究探索[J]. 心理科学进展,2022,30(12):2619-2627.
- [27] 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.
- [28] LI M Y, KAMARAJ A V, LEE J D. Modeling trust dimensions and dynamics in human-agent conversation: a trajectory epistemic network analysis approach[J]. *International journal of human-computer interaction*,2023:1-12.
- [29] LIU S, KANG L Y, LIU Z, et al. Computer-supported collaborative concept mapping: the impact of students' perceptions of collaboration on their knowledge understanding and behavioral patterns[J]. *Interactive learning environments*,2023,31(6):3340-3359.
- [30] 刘天丽,杨现民,李康康,等. 社会公众如何看待“ChatGPT+教育”?——基于国内主流开放社区的文本分析[J]. 现代教育技术,

2023,33(10):14-23.

- [31] 郭雨欣. 论格塞尔的成熟发展理论对学前教育的影响[J]. 当代学前教育, 2010(3):35-37.
- [32] 孙丹, 朱城聪, 许作栋, 等. 基于生成式人工智能的大学生编程学习行为分析研究[J]. 电化教育研究, 2024, 45(3):113-120.
- [33] 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.
- [34] 袁婧, 翟雪松, 吴飞, 等. 基于虚拟教研室的高校人工智能专业(AI+X 方向)建设——以浙江大学为例[J]. 现代教育技术, 2024, 34(5):123-133.
- [35] 曹斯, 罗祖兵. 人工智能应用于教学的困境、限度与理路[J]. 电化教育研究, 2024, 45(4):88-95.

### Research on the Application of GAI-based Reverse Engineering Teaching Thinking in Human-Computer Collaboration: Taking Programming Education as An Example

ZHAI Xuesong<sup>1</sup>, ZHANG Lijie<sup>1</sup>, XIA Liangliang<sup>2</sup>, XU Xin<sup>3</sup>, ZHU Qiang<sup>3</sup>

(1.College of Education, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310058;

2.Faculty of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875;

3.College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310058)

**[Abstract]** Large models provide learners with cross-modal learning resources, but also puts forward higher requirements for innovative human-computer collaborative teaching models. This study introduced reverse engineering teaching thinking, analyzed its compatibility and complementarity with generative artificial intelligence (GAI) in terms of process and mechanism, and carried out exploratory programming teaching experiment based on the self-developed reverse engineering programming learning platform. Through LDA topic word extraction and an analysis of human-computer collaboration perception factors, five types of behaviors and emotional orientations of human-computer collaboration under this model are explored. In addition, the questionnaire results indicate that learners exhibit a higher perceived contingency, human-computer collaboration perception and willingness to continue learning in this teaching mode, but the human-computer trust is at a medium level. Combined with the analysis of topic words, this study also proposes the optimization direction of human-computer collaboration in the future: leading human-computer collaboration through reverse engineering to decompose complex problems by dimensionality reduction; constructing a multi-agent system to enhance the efficiency in multi-person and multi-agent cooperation; shaping a new human-computer labor relation to develop new intelligent productivity. This study provides theoretical foundation and data reference for future artificial intelligence collaborative learning, and also puts forward ideas and methods for further improvement in future research.

**[Keywords]** Generative Artificial Intelligence; Reverse Engineering; Human-Computer Collaborative Learning; Complex Problem-solving Ability; Programming Education