

数字孪生与生成式AI融合驱动的智慧学习空间创新机制研究

赵玲¹ 蔡晓梅¹ 刘芳¹ 杨冬黎¹ 刘志刚¹ 孙先达²

1. 东北石油大学 计算机与信息技术学院, 中国·黑龙江 大庆 163318

2. 东北石油大学 非常规油气研究院, 中国·黑龙江 大庆 163318

摘要:在教育信息化深入推进的背景下, 高校学习空间智能化建设备受关注。数字孪生技术能精准构建物理学习空间的数字化映射, 生成式人工智能 (GAI) 在智能交互和知识生成方面优势突出, 但当前研究多侧重单技术应用, 缺乏两者协同。本研究创新构建“数字孪生 + GAI”融合体系, 通过高精度虚拟模型与智能算法双向协同, 实现智能实验指导、设备故障预测、实验报告智能批改等核心功能, 可显著提升学习空间管理效率与教学质量, 降低成本, 为高校培养创新型人才提供支撑, 推动教育信息化升级, 对同类高校学习空间建设具有示范借鉴意义。

关键词: 数字孪生; 生成式人工智能; 高校学习空间; AI 赋能教育; 数字孪生与 GAI 融合

Research on Innovation Mechanism of Smart Learning Space Driven by Digital Twinning and Generative AI Fusion

Zhao Ling¹, Cai Xiaomei¹, Liu Fang¹, Yang Dongli¹, Liu Zhigang¹, Sun Xianda²

1. School of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, China Heilongjiang Daqing 163318

2. Unconventional Oil and Gas Research Institute of Northeast Petroleum University, China Heilongjiang Daqing 163318

Abstract: With the deepening of educational informatization, the intelligent construction of learning space in colleges and universities has attracted much attention. Digital twinning technology can accurately construct the digital mapping of physical learning space. Generative artificial intelligence (GAI) has outstanding advantages in intelligent interaction and knowledge generation, but the current research focuses on single technology application, lacking the synergy between them. In this study, the "Digital Twin+GAI" fusion system is innovatively constructed, and the core functions such as intelligent experimental guidance, equipment failure prediction and intelligent correction of experimental reports are realized through the two-way cooperation of high-precision virtual models and intelligent algorithms, which can significantly improve the efficiency of learning space management and teaching quality, reduce costs, provide support for cultivating innovative talents in colleges and universities, and promote the upgrading of educational informatization, which has a demonstration significance for the construction of learning space in similar colleges and universities.

Keywords: Digital twins; Generative artificial intelligence; Learning space in colleges and universities; AI empowerment education; Digital twinning and GAI fusion

0 引言

在教育信息化快速发展的背景下, 科技与教育深度融合, 高校学习空间智能化建设成为提升教学科研水平的重要动力。生成式人工智能 (GAI) 因具备强大的自然语言处理、知识生成和智能辅导能力, 在教育领域应用潜力巨大, 可在实验教学中为师生提供实验原理讲解、操作步骤说明及故障排查方案等。但目前数字孪生与 GAI 在高校学习空间的协同应用研究仍处于探索阶段, 二者技术融合面临挑战, 且在教育应用中, 如何将其深度融入现有教学体

系与科研流程, 实现与课程内容、教学方法及科研项目的有机结合, 是亟待解决的问题。

1 数字孪生与 GAI 融合的研究背景

1.1 智慧学习空间发展趋势

在《教育信息化 2.0 行动计划》政策的强力推动下, 教育信息化进程实现全方位加速, 其中智慧学习空间作为教育信息化与科技创新深度融合的重要成果, 正展现出蓬勃的发展态势。智慧学习空间依托物联网、大数据、人工智能、云计算等前沿技术, 对传统学习空间进行了革命性

改造。

随着智慧学习空间的持续发展，其运行生态得到全面重塑。在教学层面，构建起以学生为中心的个性化实验教学模式，借助虚拟仿真实验平台反复练习与探索，在实践中培养创新思维与动手能力；教师通过教学管理平台实时监测学生实验进展，提供针对性指导，并利用教学分析数据优化教学内容与方法。科研层面，智慧学习空间促进了科研资源的高效整合与共享，加速科研创新进程；同时，基于大数据与人工智能的科研辅助工具，可助力科研人员开展数据分析、模型构建与实验模拟，提升科研效率与质量。管理层面，智慧学习空间实现了智能化、精细化管理，通过设备管理系统对设备全生命周期进行跟踪，借助资源调度系统优化实验资源配置，大幅提升了学习空间管理效率与水平。

1.2 国内外研究现状

在高校教育领域，数字孪生与 GAI 的融合应用成为全球研究热点，但技术应用与教育场景层面仍存挑战。

国外高校聚焦技术创新与伦理建设，在跨学科融合上成果显著。伦敦大学学院开发 AI 课程设计助手，大幅缩短课程设计时间。哈佛大学开设研讨课引导学生探讨技术伦理问题。不过，数字孪生与 GAI 多单独应用，缺乏数据互通与算法协同。

我国在政策驱动下加速场景落地。哈尔滨工业大学构建航空航天虚拟实训系统，缩短实训周期。但尚未形成“虚拟仿真 + 智能决策”的闭环教学模式。

对比来看，国外侧重底层技术突破，国内应用场景数量领先，但在建模精度上存在差距。双方均面临模型精度与算法效率平衡的难题，且存在数据与算法协同不足、评价体系难重构等问题。

2 数字孪生与 GAI 融合的技术实现路径

2.1 构建数字孪生智慧学习空间模型

在数字孪生智慧学习空间模型构建中，遵循“数据层 - 模型层 - 应用层 - 用户层”架构逻辑，通过多技术融合实现物理实体精准映射。数据层搭建多模态感知体系，在学习空间关键区域部署高清摄像头与 AI 视频分析技术，实时识别实验操作、设备状态及人员活动，同时安装智能传感器采集环境与设备运行参数，并为实验人员配备智能监测手环，结合定位技术获取生命体征与位置信息，形成全维度数据采集体系。模型层利用 3DSMAX 构建基础框架，借助无人机搭载激光雷达扫描学习空间获取高精度点云数据，同步采集多视角高清影像生成三维模型，通过细分曲

面技术优化模型，平衡真实度与复杂度，提升渲染计算效率。应用层基于数据层与模型层成果，聚焦实验教学、学习空间管理、数据智能化分析三大场景，实现虚拟仿真教学、设备人员智能监控调度、数据挖掘优化实验流程。用户层构建多角色交互体系与权限架构，为教师、学生、管理人员设计专属交互入口，集成教学数据、虚实实验交互及设备监控等功能，采用低代码框架实现界面自定义，通过多模态交互与分级权限保障操作效率与数据安全，形成角色适配的交互闭环。

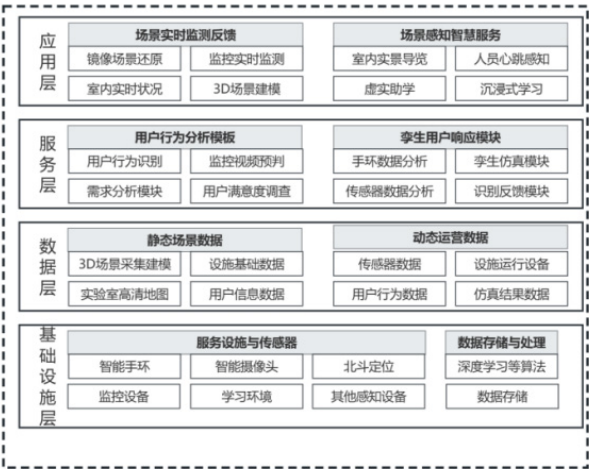


图1 智慧学习空间框架图

2.2 智能化学习空间 GAI 算法集成与协同优化方案

在学习空间智能化转型中，通过构建多模态数据融合框架集成 GAI 算法模块，将计算机视觉画面、生物传感数据及设备运行参数等异构数据源接入统一平台，依托微服务架构解耦部署算法模块；同时建立动态反馈优化体系，借助在线学习、A/B 测试及数据清洗标注保障算法高效运行。此外，提出动态自优化协同框架，以数字孪生实时数据驱动 GAI 内容生成，该框架由数据感知层实时采集学习空间多源数据，协同控制层基于数据驱动 GAI 生成操作建议、风险预警等内容并评估质量，优化执行层根据反馈自动调整 GAI 算法与数字孪生模型参数，提升内容生成质量与模型映射精度，为学习空间智能化提供新路径。

3 智慧学习空间的创新影响

在实验教学与学习空间管理中，传统模式面临个性化学习支持不足及资源配置效率低下等问题。一方面，通过数字孪生技术 1:1 复刻真实实验场景并与 GAI 深度融合，构建虚拟实验学习模式，学生可在沉浸式环境中自主探索，而 GAI 依据学生个性化特征提供分层指导、实时操作反馈及学习评估，打破“统一进度”局限，提升创新实践能

力并拓展高风险实验场景实践;另一方面,针对资源管理痛点,利用数字孪生模型对学习空间全要素数字化建模实现资源可视化管理,结合 GAI 算法挖掘历史数据规律并预测需求,协同完成资源分配规划与动态调整,减少浪费、降低成本,实现高效调配。该方案通过技术融合推动实验教学与资源管理的智能化升级,为教学科研赋能。

4 面临的挑战与应对策略

在推进数字孪生模型与 GAI 算法融合应用的进程中,技术与教育领域均面临多重挑战。技术层面,数字孪生模型受物理环境干扰、构建简化及迭代滞后影响导致精度不足, GAI 算法因数据规模大、传统架构局限及硬件要求高而计算效率低下,数据采集受环境、设备与人为主观因素干扰且多源数据格式不统一,多设备协同存在通信协议不兼容、网络带宽不足及分布式计算框架缺失等问题;对此,需通过产学研协同攻关关键技术,构建数据融合平台与动态模型算法,升级传感器与采集策略,优化通信与计算架构。教育应用中,传统课程体系的学科壁垒与理论导向难以嵌入新技术,教学评价机制无法有效评估学生实践与创新能力,教师对技术原理及应用场景理解不足且教学模式转型压力大,学生因被动学习习惯而对新技术应用陌生;解决路径包括推动课程与评价改革,开发跨学科融合课程并建立多元化评估体系,加强教师技术培训与教学研究支持,通过实践活动激发学生创新能力,从而推动数字孪生与 GAI 在教育教学中的深度融合。

5 结语

随着信息技术发展,数字孪生与生成式人工智能融合为高校智慧学习空间建设带来机遇,重塑实验教学与管理模式。

教学上,二者打破时空限制。数字孪生构建逼真虚拟实验环境,生成式人工智能依此生成多样实验案例与情境。管理方面,二者结合实现智能化与精细化。数字孪生实时映射设备运行、空间使用等情况,生成式人工智能分析预测数据,可预判设备故障、规划资源分配、模拟安全隐患并制定预案。

同时在技术和教育应用方面还面临着一些挑战。技术上需强大算力、优质数据,还存在数据安全问题;教育层面,师生适应新技术、融入教学体系尚需探索。但随着技术进步与教育改革,这些问题有望解决,未来二者应用前景广阔,将推动高校学习空间智能化,助力高等教育高质

量发展与创新人才培养。

参考文献:

- [1] 单一峰. 新文科背景下数字孪生技术赋能的文科数学课程构建与教学实践[J]. 秦智, 2025,(06):87-89. DOI:10.20122/j.cnki.2097-0536.2025.06.028.
 - [2] 张家祥,王海玉.“数智”时代数字孪生应用技术人才专业化培养路径研究[J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2025,37(02):57-58+62.DOI:10.13920/j.cnki.zztzyjxsxyxb.2025.02.029.
 - [3] 张丽虹. 智慧学习空间的创建及应用[J]. 电子技术, 2025,54(04):413-415.
 - [4] 范小芳,金宏波,李英博等. 高等院校机能学习空间建设标准的专家共识[J]. 中国病理生理杂志, 2025,41(03):619-624.
 - [5] 胡国强,张森,王敏. 智慧学习空间“三融一新”模型构建及实践探索[J]. 学习空间研究与探索, 2024,43(10):215-220.DOI:10.19927/j.cnki.syyt.2024.10.041.
 - [6] 胡国强,杨彦荣. 智慧教育背景下高校智慧学习空间的构建与研究[J]. 实验技术与管理, 2021,38(03):283-287. DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2021.03.058.
 - [7] 仝霞,程鹏申,李雪城等. 数字化电力计量智慧学习空间构建与关键技术探讨[J]. 电测与仪表, 2025,62(01):89-100.DOI:10.19753/j.issn1001-1390.2025.01.011.
 - [8] 吴青林,王焱. 基于“云计算+物联网”的高校智慧学习空间探索与实践[J]. 学习空间研究与探索, 2024,43(02):226-230.DOI:10.19927/j.cnki.syyt.2024.02.045.
 - [9] 赵济东,杨文阳. 数字孪生技术在油气行业的应用研究进展[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2025,40(02):135-142.
- 基金项目:黑龙江省高等教育学会高等教育研究课题(23GJYBJ020);黑龙江省高等教育教学改革研究重点项目(SJGZB2024173);黑龙江省教育改革项目:能源类高校基于智能数据分析驱动专创融合人才培养模式改革研究及实践(DYIG2024064);高等教育2022年度省教育科学规划重点课题:基于“互联网+”大赛下的赛教融合创新创业教学模式构建研究(GJB1422157)。

作者简介:赵玲(1979-),女,满族,黑龙江大庆人,博士,副教授,研究方向:数字孪生、图形图像处理、虚拟现实等方面的理论及应用研究。