

数字孪生技术在高校计算机实验教学中的场景构建与应用探索

武陵东

(攀枝花学院艺术学院, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 随着新一代信息技术与教育教学的深度融合, 高校计算机实验教学面临着设备成本高昂、实验场景单一、风险可控性弱、个性化教学不足等现实困境, 亟需创新技术手段破解发展瓶颈。数字孪生技术作为融合物联网、大数据、人工智能、虚拟现实等多领域技术的新型数字化工具, 能够构建物理实验环境的虚拟镜像, 实现物理与虚拟场景的实时映射、双向交互与协同优化。本文基于数字孪生技术的核心内涵与特征, 明确其在高校计算机实验教学中场景构建的原则、目标与流程, 重点探索核心实验场景的构建路径与技术实现要点, 设计科学合理的应用架构, 分场景落地应用方案并完善保障措施, 最后总结应用成效与未来探索方向, 为高校计算机实验教学改革提供理论支撑与实践参考, 助力提升实验教学质量、培养学生的实践创新能力与工程应用素养。

关键词: 数字孪生技术; 高校计算机实验教学; 场景构建; 应用实践; 教学改革

中图分类号: G642.0

文献标识码: A

文章编号: 3106-2709 (2025) 07-0001-05

DOI: 10.62022/NCAR.issn3106-2709.2025.07.001

Exploration of Scene Construction and Application of Digital Twin Technology in Computer Experiment Teaching in Universities

Wuling East

(College of Arts, Panzhihua University, Panzhihua, Sichuan 617000)

Abstract: With the deep integration of new generation information technology and education, computer experimental teaching in universities is facing practical difficulties such as high equipment costs, single experimental scenarios, weak risk controllability, and insufficient personalized teaching. Innovative technological means are urgently needed to break through the development bottleneck. Digital twin technology, as a new digital tool that integrates technologies from multiple fields such as the Internet of Things, big data, artificial intelligence, and virtual reality, can construct virtual images of physical experimental environments, achieve real-time mapping, bidirectional interaction, and collaborative optimization of physical and virtual scenes. This article is based on the core connotation and characteristics of digital twin technology, clarifying its principles, objectives, and processes for scene construction in computer experimental teaching in universities. It focuses on exploring the construction path and technical implementation points of core experimental scenes, designing a scientific and reasonable application architecture, implementing application plans in different scenarios, and improving guarantee measures. Finally, it summarizes the application effectiveness and future exploration directions, providing theoretical support and practical reference for the reform of computer experimental teaching in universities, helping to improve the quality of experimental teaching, cultivate students' practical innovation ability and engineering application literacy.

Keywords: digital twin technology; Computer experimental teaching in universities; Scene construction; Application practice; teaching reform

一、数字孪生技术核心内涵与特征

(一) 数字孪生技术核心内涵

数字孪生 (Digital Twin, DT) 是指通过物联网、传感器、大数据、三维建模、仿真模拟等技术手段, 构建与物理实体 (或场景) 在几何形状、物理属性、运行状态、行为逻辑上高度一致的虚拟镜像, 实现虚拟镜像与物理实体的实时数据同步、双向交互、动态仿真与协同优化的一种新型数字化技术体系。其核心内涵在于“虚实映射、实时联动、

闭环优化”, 本质是将物理世界的运行状态、数据信息精准映射到虚拟世界, 通过虚拟世界的仿真分析、模拟推演, 反向指导物理世界的操作与优化, 形成“物理实体—虚拟镜像—数据交互—优化反馈”的闭环系统。

在高校计算机实验教学场景中, 数字孪生技术的核心应用内涵体现为: 以计算机实验设备、实验场景、实验流程为物理实体, 构建对应的虚拟实验镜像, 实现实验设备的虚拟复刻、实验过程的实时模拟、实验数据的精准采集

与分析,打破物理实验的时空限制、设备限制与风险限制,为学生提供沉浸式、个性化、可重复的实验体验,同时为教师提供实验过程的可视化监控、精准化指导与教学效果的量化评估。

(二) 数字孪生技术特征

数字孪生技术凭借其独特的技术优势,能够有效适配高校计算机实验教学的需求,其核心特征主要体现在以下四个方面:

一是虚实同源性。虚拟镜像与物理实验实体基于同一数据模型构建,在几何结构、物理参数、运行逻辑上高度一致,能够精准复刻物理实验设备的外观、性能、运行状态,以及实验场景的环境参数、操作流程,确保虚拟实验的结果与物理实验具有高度的一致性和可信度,为实验教学提供可靠的虚拟支撑。

二是实时联动性。通过物联网传感器与数据传输技术,实现物理实验设备与虚拟镜像之间的实时数据同步,物理设备的运行状态、操作动作能够实时反馈到虚拟镜像中,虚拟镜像的仿真操作、参数调整也能反向控制物理设备的运行(需结合实际实验需求配置),形成“虚实联动、双向交互”的实验模式,打破虚拟与物理实验的割裂局面。

三是仿真可扩展性。数字孪生虚拟场景具有极强的可扩展性,能够根据实验教学需求,灵活添加实验设备、调整实验参数、模拟复杂实验场景,甚至构建物理实验中难以实现的极端场景、危险场景(如高负载服务器运行、网络攻击模拟等),弥补物理实验场景单一、实验条件有限的不足,拓展实验教学的广度与深度。

四是数据驱动性。数字孪生系统能够实时采集物理实验与虚拟实验过程中的各类数据(如设备运行参数、学生操作数据、实验结果数据等),通过大数据分析 with 人工智能算法,对实验过程进行可视化监控、异常预警、效果评估,为教师优化教学方案、个性化指导学生提供数据支撑,同时帮助学生精准定位实验错误、总结实验经验。

二、数字孪生技术在高校计算机实验教学中的场景构建

(一) 场景构建原则与目标

1.场景构建原则。结合高校计算机实验教学的特点与数字孪生技术的优势,场景构建需遵循以下四大原则,确保场景的实用性、科学性与可操作性:

实用性原则:场景构建需紧密贴合高校计算机专业的人才培养目标与实验教学大纲,聚焦核心实验课程(如计算机组成原理、网络工程、软件工程、人工智能等),优先构建高频次、高需求、难实施的实验场景,避免脱离教

学实际的冗余设计,确保场景能够直接服务于实验教学,提升教学效果。

科学性原则:虚拟场景的建模、数据映射、仿真模拟需符合计算机实验的物理规律与技术规范,确保虚拟实验的结果与物理实验高度一致,同时场景的构建流程、技术选型需科学合理,兼顾技术先进性与教学适用性,避免过度追求技术复杂而忽视教学需求。

可扩展性原则:场景构建需预留一定的扩展接口,能够根据教学改革、技术发展与学生需求,灵活添加新的实验设备、实验流程与实验场景,支持实验内容的更新与升级,延长场景的使用寿命,降低后续维护成本。

安全性原则:针对计算机实验中可能存在的设备损坏、数据泄露、操作风险等问题,虚拟场景需具备完善的安全防护机制,模拟危险操作的预警与处置流程,引导学生规范操作;同时保障实验数据的安全性与隐私性,避免数据泄露与滥用。

2.场景构建目标。数字孪生技术在高校计算机实验教学中的场景构建,核心目标是破解传统实验教学的痛点,构建“虚实融合、精准高效、个性化、可扩展”的实验教学场景,具体实现以下三大目标:

一是弥补物理实验短板,降低教学成本。通过虚拟场景复刻物理实验设备与流程,减少物理设备的购置、维护与损耗成本,解决高校计算机实验设备数量不足、更新滞后、高端设备稀缺等问题,让学生能够随时随地开展实验练习。

二是提升实验教学质量,培养实践能力。构建沉浸式、交互式的实验场景,打破时空限制,支持学生自主探索、重复练习、创新尝试,提升学生的动手操作能力、问题解决能力与创新思维;同时通过数据驱动的精准指导,帮助学生快速掌握实验要点,提升实验效率。

三是推动实验教学改革,构建新型教学模式。依托数字孪生技术,实现“虚拟预习—物理实操—虚拟复盘—优化提升”的闭环教学模式,推动实验教学从“教师主导、学生被动操作”向“学生自主、教师引导”转变,助力高校计算机实验教学的数字化、智能化改革。

(二) 核心场景构建

结合高校计算机实验教学的核心需求,聚焦高频实验课程与难实施场景,构建四大核心数字孪生实验场景,覆盖计算机专业核心实验领域,满足不同层次的教学需求:

1.计算机硬件实验场景。针对计算机组成原理、微机原理等课程的实验需求,构建数字孪生硬件实验场景。复刻CPU、内存、主板、硬盘、显卡等核心硬件设备的物理结构和工作原理,实现硬件设备的虚拟组装、参数配置、故障模拟与调试。学生可以通过虚拟场景,自主完成硬件组

装、BIOS设置、硬件兼容性测试等实验，模拟硬件故障（如内存松动、硬盘损坏等）的排查与修复过程，避免物理硬件组装过程中可能出现的设备损坏风险，同时加深对硬件工作原理的理解。

2.计算机网络实验场景。针对网络工程、计算机网络等课程的实验需求，构建数字孪生网络实验场景。复刻路由器、交换机、防火墙、服务器等网络设备，以及局域网、广域网、无线网络等网络拓扑结构，实现网络拓扑的虚拟搭建、配置与调试。学生可以自主设计网络拓扑、配置网络参数（如IP地址、子网掩码、路由协议等），模拟网络攻击（如DDoS攻击、端口扫描等）与防御实验，观察网络运行状态，排查网络故障，提升网络配置与网络安全防护能力。

3.软件工程实验场景。针对软件工程、软件开发等课程的实验需求，构建数字孪生软件工程实验场景。搭建虚拟开发环境（如Java开发环境、Python开发环境等），复刻软件开发的全流程（需求分析、概要设计、详细设计、编码实现、测试调试、部署上线），支持多人协同开发、版本控制、代码调试与测试。学生可以在虚拟场景中完成软件开发的全流程实验，模拟项目开发中的各类问题（如需求变更、代码冲突、软件漏洞等），提升软件开发与项目管理能力。

4.人工智能实验场景。针对人工智能、机器学习等课程的实验需求，构建数字孪生人工智能实验场景。搭建虚拟训练环境，复刻数据集处理、模型训练、模型测试与优化的全流程，支持常见的机器学习算法（如线性回归、决策树、神经网络等）的实验演练。学生可以自主上传数据集、调整模型参数、训练模型，观察模型训练过程与结果，优化模型性能，同时模拟复杂场景下的人工智能应用（如图像识别、语音识别等），提升人工智能实验与应用能力。

（三）场景构建流程与关键步骤

数字孪生实验场景的构建是一个系统工程，需遵循“需求分析—数据采集—模型构建—虚实联动—测试优化”的核心流程，每个步骤紧密衔接、层层递进，确保场景构建的科学性与实用性，具体关键步骤如下：

第一步，需求分析与规划。结合高校计算机实验教学大纲、人才培养目标与学生需求，明确实验场景的核心功能、应用范围与教学要求，梳理实验课程的知识点、实验项目与操作流程，确定场景构建的重点的内容与技术选型，制定详细的场景构建方案，明确各环节的时间节点与责任人。

第二步，物理数据采集与整理。针对目标实验场景的物理实体（实验设备、实验环境），通过物联网传感器、设备接口、人工采集等方式，收集物理实体的几何参数、物理属性、运行参数、操作流程等各类数据（如硬件设备

的尺寸、性能参数，网络设备的运行状态，实验流程的操作步骤等），对采集到的数据进行清洗、筛选、标准化处理，建立统一的数据集，为虚拟模型构建提供数据支撑。

第三步，虚拟模型构建。基于采集到的数据集，利用三维建模软件（如Unity、3dsMax）、仿真软件（如MATLAB、Simulink）等工具，构建物理实体的虚拟镜像，实现几何形状、物理属性、运行逻辑的精准复刻。同时，搭建虚拟实验环境，配置实验参数、操作流程与交互逻辑，确保虚拟场景与物理场景的高度一致性，支持学生的沉浸式操作与交互。

第四步，虚实联动系统搭建。通过物联网网关、数据传输协议（如MQTT、HTTP）等技术，搭建物理实体与虚拟镜像之间的实时数据传输通道，实现两者的实时联动与双向交互。配置数据同步规则，确保物理设备的运行状态、操作动作能够实时反馈到虚拟镜像，虚拟镜像的操作与参数调整能够反向控制物理设备（根据实验需求配置），形成虚实闭环。

第五步，场景测试与优化。针对构建完成的数字孪生实验场景，开展全面的测试工作，包括虚拟模型的准确性、数据同步的实时性、操作的流畅性、实验结果的可信度等，排查场景中存在的问题（如模型偏差、数据延迟、操作卡顿等）。结合教师与学生的试用反馈，对场景进行优化调整，完善实验内容、操作流程与交互体验，确保场景能够满足实验教学的需求。

（四）场景构建的技术实现要点

数字孪生实验场景的构建需要多领域技术的协同支撑，结合高校实验教学的实际需求，重点关注以下四大技术实现要点，确保场景的稳定性、实用性与先进性：

1.三维建模技术：选用适合高校教学场景的三维建模工具（如Unity、Blender），注重模型的精准度与轻量化，在保证虚拟镜像与物理实体高度一致的前提下，降低模型的复杂度，避免因模型过大导致的操作卡顿问题；同时，为模型添加逼真的纹理、材质与动画效果，提升学生的沉浸式体验。

2.数据采集与传输技术：选用高精度、低延迟的物联网传感器，确保物理实验数据的精准采集；采用稳定、高效的数据传输协议，搭建可靠的数据传输通道，减少数据延迟与丢失，实现物理实体与虚拟镜像的实时数据同步；同时，建立数据存储与管理系统，对实验数据进行分类存储、备份与分析，为教学评估与场景优化提供支撑。

3.仿真模拟技术：结合计算机实验的特点，选用合适的仿真软件与算法，实现实验过程的精准模拟，确保虚拟实验的结果与物理实验高度一致；针对复杂实验场景（如网络攻

击、软件漏洞调试),设计合理的仿真逻辑,模拟真实的实验现象与问题,提升学生的问题解决能力;同时,支持实验参数的灵活调整,满足学生的自主探索与创新需求。

4.交互与可视化技术:设计简洁、直观的交互界面,支持学生的鼠标、键盘操作,以及虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等沉浸式交互方式,提升学生的操作体验;采用可视化技术,将实验数据、设备运行状态、实验流程等以图表、动画等形式直观展示,帮助学生快速理解实验过程与实验结果,同时方便教师对实验过程进行监控与指导。

三、数字孪生技术在高校计算机实验教学中的应用实践

(一)应用架构设计

结合数字孪生实验场景的构建成果,设计“三层两域”的应用架构,实现数字孪生技术与高校计算机实验教学的深度融合,确保应用的稳定性、可扩展性与实用性,架构分为感知层、平台层、应用层三个层次,以及物理实验域与虚拟实验域两个领域,具体设计如下:

1.感知层。感知层是应用架构的基础,主要负责物理实验域数据的采集与传输,由物联网传感器、数据采集终端、物联网网关等设备组成。传感器实时采集物理实验设备的运行参数、环境参数、学生操作数据等,通过数据采集终端进行初步处理,再通过物联网网关将数据传输至平台层,为虚拟实验域的仿真模拟与虚实联动提供数据支撑;同时,接收平台层下发的控制指令,控制物理实验设备的运行状态。

2.平台层。平台层是应用架构的核心,负责数据处理、模型管理、虚实联动与资源调度,是连接感知层与应用层的桥梁。主要包含四大模块:数据处理模块,对感知层采集的数据进行清洗、筛选、分析与存储,生成标准化的数据集;模型管理模块,负责虚拟模型的创建、更新、维护与调用,确保虚拟模型的准确性与时效性;虚实联动模块,实现物理实验域与虚拟实验域的实时数据同步、双向交互与协同控制;资源调度模块,对实验资源(虚拟模型、实验设备、存储空间等)进行合理调度,保障实验教学的顺利开展。

3.应用层。应用层是应用架构的终端,直接服务于教师与学生,根据教学需求提供多样化的应用功能,主要分为教师端与学生端:教师端主要功能包括实验课程管理、实验场景部署、学生操作监控、实验效果评估、个性化指导等,教师可以通过教师端查看学生的实验数据、操作记录,及时发现学生的问题并进行指导;学生端主要功能包括虚拟实验预习、物理实验实操、虚拟实验复盘、实验报告提交等,学生可以通过学生端随时随地开展实验练习,自主

探索实验内容,完成实验任务。

4.物理实验域与虚拟实验域。物理实验域是传统实验教学的载体,由计算机实验设备、实验场地、实验器材等组成,主要用于学生的物理实操实验,验证虚拟实验的结果;虚拟实验域是数字孪生技术的核心应用载体,由虚拟实验场景、虚拟实验设备、仿真模拟系统等组成,主要用于学生的预习、复习、创新探索与危险实验演练,与物理实验域形成互补,实现“虚实融合”的实验教学模式。

(二)分场景应用实施

基于构建的四大核心实验场景与“三层两域”应用架构,结合高校计算机实验教学的实际流程,分场景落地应用实施,确保每个场景都能有效服务于教学,提升实验教学质量,具体实施方式如下:

1.计算机硬件实验场景应用实施。针对计算机组成原理等课程,采用“虚拟预习—物理实操—虚拟复盘”的模式实施应用。课前,学生通过学生端登录虚拟硬件实验场景,自主完成硬件设备的虚拟组装、参数配置等预习任务,熟悉硬件结构与操作流程,提前掌握实验要点;课中,学生在物理实验域进行硬件实操,同时通过虚实联动功能,将物理操作实时同步到虚拟场景,教师通过教师端监控学生的操作过程,及时纠正错误;课后,学生通过虚拟场景进行复盘练习,模拟硬件故障排查与修复,巩固实验知识,加深对硬件工作原理的理解。

2.计算机网络实验场景应用实施。针对网络工程等课程,采用“虚拟设计—物理搭建—虚拟优化”的模式实施应用。学生首先在虚拟网络实验场景中,自主设计网络拓扑结构、配置网络参数,模拟网络运行状态,验证设计方案的可行性;然后在物理实验域搭建实际网络,将虚拟设计方案应用到物理场景中,进行实操测试;最后,通过虚拟场景模拟网络故障与网络攻击,开展防御实验,优化网络配置,提升网络安全防护能力。同时,教师可以通过平台层的数据统计,评估学生的网络设计与调试能力,进行个性化指导。

3.软件工程实验场景应用实施。针对软件工程等课程,采用“虚拟开发—协同实操—虚拟测试”的模式实施应用。学生在虚拟软件工程实验场景中,搭建虚拟开发环境,组建开发小组,开展多人协同开发,完成需求分析、编码实现等任务;通过虚拟场景的版本控制功能,管理代码版本,避免代码冲突;开发完成后,在虚拟场景中进行软件测试,模拟软件运行过程中的各类漏洞与问题,进行调试优化;最后,将虚拟开发的成果部署到物理服务器,完成整个软件开发流程,提升学生的软件开发与项目管理能力。

4.人工智能实验场景应用实施。针对人工智能等课程,

采用“虚拟训练—模型优化—实际应用”的模式实施应用。学生在虚拟人工智能实验场景中，上传数据集，选择合适的机器学习算法，调整模型参数，进行模型训练与测试，观察模型的训练过程与结果，优化模型性能；通过虚拟场景模拟复杂的应用场景（如图像识别、语音识别），测试模型的实用性；最后，将优化后的模型应用到物理实验中，验证模型的实际效果，提升学生的人工智能实验与应用能力。

（三）应用过程中的保障措施

为确保数字孪生技术在高校计算机实验教学中的顺利应用，提升应用效果，从技术、师资、管理、资金四个方面制定完善的保障措施，为应用实施提供有力支撑：

1.技术保障。组建专门的技术维护团队，负责数字孪生实验场景、应用平台的日常维护与更新，及时排查解决应用过程中出现的技术问题（如数据延迟、系统卡顿、模型偏差等）；建立技术升级机制，跟踪数字孪生技术、计算机技术的发展趋势，定期对实验场景与应用平台进行升级优化，提升技术先进性；加强网络安全与数据安全防护，部署防火墙、数据加密等安全技术，保障实验数据的安全性、与隐私性，防止数据泄露与滥用。

2.师资保障。开展教师培训工作，定期组织计算机专业教师参加数字孪生技术、虚拟仿真技术等相关培训，提升教师的技术应用能力与教学创新能力，确保教师能够熟练运用数字孪生实验场景开展教学活动；鼓励教师开展教学研究，探索数字孪生技术与实验教学融合的新模式、新方法，发表相关教学论文与研究成果；引进具备数字孪生技术与教学经验的复合型人才，充实师资队伍，提升教学与研究水平。

3.管理保障。建立完善的实验教学管理制度，明确教师与学生在数字孪生实验教学中的职责与要求，规范实验教学流程；制定实验教学评价体系，将学生的虚拟实验操作、物理实验实操、实验报告等纳入评价范围，实现教学效果的量化评估；加强实验资源管理，合理调度物理实验设备与虚拟实验资源，提高资源利用率；建立反馈机制，及时

收集教师与学生在应用过程中的意见与建议，不断优化实验场景与教学方案。

4.资金保障。争取高校专项经费支持，用于数字孪生实验场景的构建、应用平台的搭建、技术升级与设备维护；积极申报省级、国家级虚拟仿真实验教学项目，争取外部资金支持；加强与企业合作，引进企业的技术与资金，共建数字孪生实验教学基地，实现资源共享、优势互补，降低教学成本，提升应用效果。

四、结束语

数字孪生技术作为新一代数字化技术的核心，为高校计算机实验教学改革提供了全新的思路与手段，其通过构建物理实验场景的虚拟镜像，实现了虚实融合、实时联动的实验教学模式，有效破解了传统计算机实验教学中设备成本高、场景单一、风险可控性弱、个性化教学不足等痛点。本文围绕数字孪生技术的核心内涵与特征，系统探索了其在高校计算机实验教学中的场景构建原则、目标、流程与技术要点，设计了科学合理的应用架构，分场景落地了应用实施方案，并完善了相关保障措施，为高校计算机实验教学的数字化、智能化改革提供了理论支撑与实践参考。然而，数字孪生技术在高校计算机实验教学中的应用仍处于探索阶段，还存在一些问题有待解决，如虚拟模型的精准度有待提升、技术应用成本较高、师资队伍的技术能力仍需加强等。未来，我们将进一步深入研究数字孪生技术与计算机实验教学的融合路径，优化实验场景构建与应用方案，降低技术应用成本，提升师资队伍的技术水平；同时，结合人工智能、虚拟现实等技术的发展，丰富实验场景的功能与形式，推动实验教学模式的创新，助力培养更多具备实践创新能力与工程应用素养的计算机专业人人才，为高校计算机教育的高质量发展注入新的动力。

参考文献：

- [1] 廖季萍，曾莉萍.大数据可视化技术在高校计算机教学中的应用研究[J].教育思想理论研究，2025，3（1）：118-120.