

虚拟仿真技术在高频电子线路实验中的多模态教学应用研究

王建华

西北民族大学 甘肃 兰州 730000

摘要: 随着信息技术的迅猛发展,虚拟仿真技术在教育领域的应用日益广泛。特别是在高频电子线路实验教学中,传统模式面临硬件成本高、操作风险大、协作性不足等诸多挑战。本研究旨在探索融合虚拟仿真技术的多模态教学模式,通过构建虚拟仿真实验场景、设计交互机制、开发云端协作平台,实现“理论-虚拟-现实”三位一体的教学闭环。实践结果表明,该模式在提升实验沉浸感、强化团队协作能力及降低教学成本方面表现显著,为工科实验教学革新提供了新范式。本研究不仅丰富了高频电子线路实验教学的理论体系,也为其他工科实验教学提供了有益的参考和借鉴。

关键词: 虚拟仿真; 高频电子线路; 多模态教学

1 引言

在信息技术日新月异的今天,教育领域正经历着前所未有的变革。实验教学作为工科教育的重要组成部分,对于培养学生的实践能力和创新思维具有不可替代的作用。然而,在高频电子线路实验教学中,由于硬件成本高、操作风险大、实验环境受限等因素,传统实验教学模式难以满足现代教学的需求。因此,探索新的实验教学模式,提高实验教学效果,降低教学成本,成为当前工科教育亟待解决的问题。

虚拟仿真技术作为一种新兴的教学手段,以其独特的优势在实验教学领域得到了广泛应用。通过构建数字孪生实验环境,虚拟仿真技术能够模拟真实的实验场景,使学生在虚拟环境中进行实验操作,从而降低硬件成本,提高实验安全性,增强实验沉浸感。虚拟仿真技术更是实现了虚实融合,为实验教学带来了“时空压缩”与“感知增强”的双重效应。该模式通过构建虚拟仿真实验场景、设计交互机制、开发云端协作平台等措施,旨在提升实验教学效果,降低教学成本,培养学生的实践能力和创新思维。

2 高频电子线路实验教学困境与技术赋能

2.1 高频电子线路实验教学困境

高频电子线路实验作为电子工程专业的核心实践环节,长期面临以下三大挑战:

项目编号: 2023SJCXCYSFKC09

项目名称: 高频电子线路

项目类别: 2023甘肃省创新创业项目-创新创业教育示范课程

2.1.1 硬件成本高昂

高频电子线路实验所需设备,如频谱分析仪、信号发生器等,价格昂贵,且更新周期与摩尔定律存在矛盾。随着电子技术的快速发展,实验设备需要不断更新换代,以满足新的教学需求。然而,高昂的硬件成本使得高校在实验设备更新和维护上面临巨大压力,导致实验设备老化、数量不足,难以满足大规模实验教学的需求。

2.1.2 操作风险突出

高频电子线路实验涉及高频信号辐射、电路短路等安全隐患,操作不当容易引发安全事故。在传统实验教学中,学生需要在真实的实验环境中进行操作,由于安全风险的限制,学生的自主探索受到很大制约。教师为了确保实验安全,往往需要对实验过程进行严格控制,导致实验教学效果不佳。

2.1.3 协作模式单一

传统分组实验模式在高频电子线路实验教学中存在诸多问题。一方面,由于实验设备数量有限,学生往往需要分组进行实验,但分组实验易形成“强者代劳”现象,即实验能力较强的学生在实验中占据主导地位,而实验能力较弱的学生则缺乏足够的实践机会。另一方面,传统分组实验模式难以实现深度知识建构,学生在实验中往往只是机械地按照实验步骤进行操作,缺乏对实验原理的深入理解和思考^[1]。

2.2 虚拟仿真技术的技术赋能

虚拟仿真技术通过构建数字孪生实验环境,为破解高频电子线路实验教学中的难题提供了有力的技术支撑。它能够打造高度仿真的虚拟实验场景,让学生于虚

拟空间开展实验操作，有效降低硬件成本，同时大幅提升实验安全性，为实验教学带来了“资源集约”与“风险可控”的积极效应。

虚拟仿真技术借助计算机建模与仿真算法，构建出贴近真实的高频电子线路实验场景，让学生在虚拟环境中如同在现实场景里进行实验操作。这种沉浸式的体验极大地提升了学生的实验参与感，使他们能全身心投入到虚拟实验之中。同时，该技术显著降低了硬件成本并提高了实验安全性。由于实验在虚拟环境中进行，无需购置大量昂贵的实验设备，从而大幅削减了教学成本。此外，虚拟仿真技术能够模拟实验过程中的各种安全隐患场景，让学生在虚拟环境中提前了解并应对潜在风险，有效增强安全意识，降低实际实验中的风险^[2]。

2.2.1 教学框架设计与实施

对电容、电感等元件建立精确的数学模型，模拟其在不同电路条件下的电气特性，误差严格控制在一定范围内（可根据实际情况设定具体误差值）。通过精准的元件特性模拟，学生能更直观地了解元件的物理特性和工作原理，以及元件在不同条件下的工作状态，助力学生深入理解电路的工作原理和性能特点。

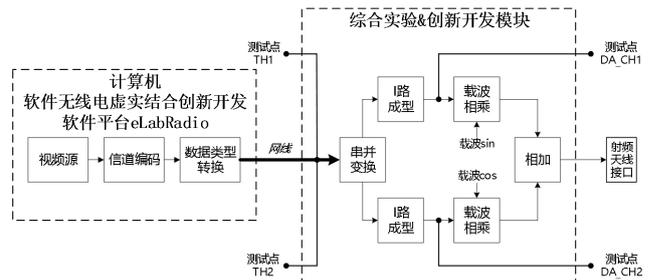


图1 发射系统框图

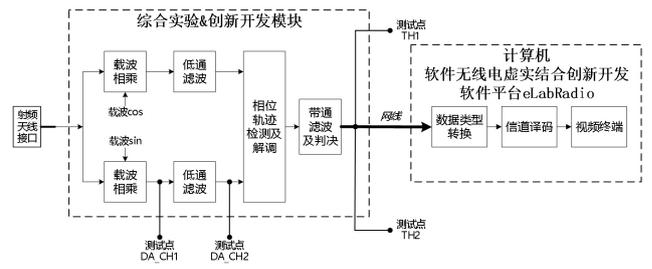


图2 接收实验框图

运用可视化技术呈现电路中电流、电压等参数的动态变化过程。通过动态展示，学生能够直观地观察电路中各参数的变化情况，更好地理解电路的工作过程和信号传输机制，提高对电路原理的理解和掌握程度。

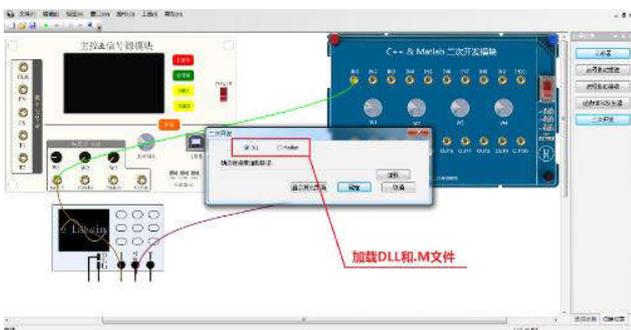
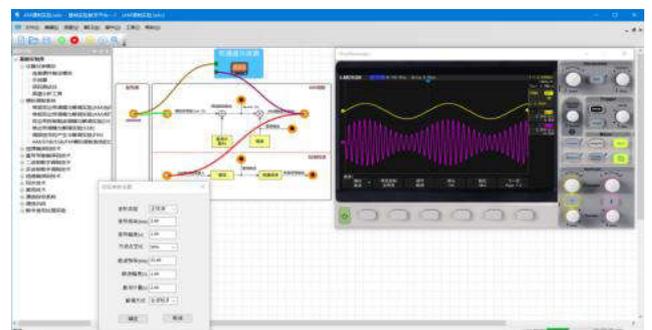


图3 软件无线电虚实结合创新开发软件平台

预设多种典型故障模式，如短路、断路、元件参数异常等，为学生提供故障诊断训练平台。通过故障模拟系统，学生能够模拟各种常见的电路故障现象，并进行故障诊断和排除训练。这种训练方式不仅能提升学生的故障排查能力，还能帮助他们深入理解电路的工作原理和故障机理。

为实现有效的虚拟实验交互体验，本研究设计了简洁实用的交互机制，主要涵盖操作指令交互与信息反馈交互。

学生通过键盘、鼠标等常规输入设备输入操作指令，对虚拟实验中的元件进行连接、参数设置等操作。系统能够准确识别学生的操作指令，并实时响应，确保实验操作的流畅性和准确性。这种操作方式简单易学，



符合学生日常使用习惯，便于学生快速上手开展实验。系统根据学生的操作实时反馈实验信息，包括电路连接状态、元件参数显示、实验结果数据等。反馈信息以直观的文本、图表等形式呈现，方便学生及时了解实验进展和结果。同时，系统还能对学生的错误操作给出提示信息，引导学生纠正错误，提高实验操作的正确性。

构建“端-边-云”协同架构，实现教学资源的云端共享和实时交互。

部署在实验室本地服务器，负责处理部分实时性要求较高的计算任务，如实验数据的初步处理、实验场景的快速渲染等。边缘计算节点能够减轻云端负担，提高虚拟实验的响应速度和流畅度，确保学生在本地进行虚拟实验操作时能够实时获取处理结果和反馈信息。

存储丰富的高频电子线路实验案例、教学资料、参考文档等资源,数量可达300+。云端资源库支持多种设备平台访问,学生可以通过互联网随时随地使用电脑、平板等设备访问云端资源库中的实验案例和教学资源,进行自主学习和实践操作。这种资源共享方式提高了教学资源的利用率和覆盖面,激发了学生的自主学习兴趣和积极性。

基于知识图谱构建智能辅导体系,能够对学生的实验操作和问题进行分析,提供实时的指导和帮助。AI助教系统可识别85%以上的常见操作错误,并针对不同错误给出详细的纠正建议和解释。同时,它还能根据学生的学习进度和实验情况,为学生推荐个性化的学习资源和实验项目,提高学生的学习效率和自主学习能力。

部署在实验室本地服务器,保障实时渲染和数据处理。边缘计算节点能够承担部分数据处理和渲染任务,从而减轻云端的负担并提高虚拟实验的流畅度和互动性。通过部署边缘计算节点,学生可以在本地进行虚拟实验操作,并实时获取处理结果和反馈信息。

存储300+实验案例,支持WebXR跨平台访问。云端资源库能够存储大量的实验案例和教学资源,并支持WebXR跨平台访问。学生可以通过互联网随时随地访问云端资源库中的实验案例和教学资源,进行自主学习和实践操作。这种资源共享方式不仅能够提高教学资源的利用率和覆盖面,还能够激发学生的自主学习兴趣和积极性。

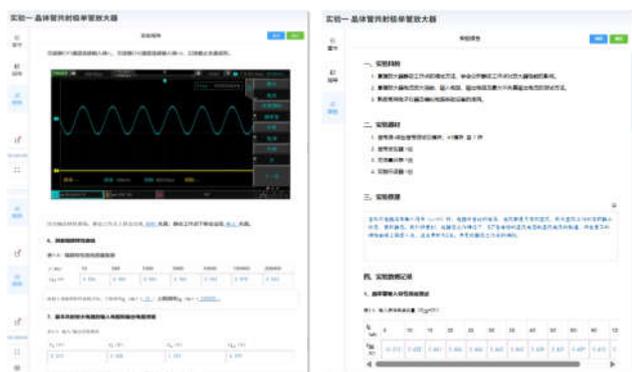


图4 云端实验资源

基于知识图谱提供实时指导,可识别85%以上的常见操作错误。AI助教系统能够根据学生的操作记录和反馈信息,提供实时的指导和帮助。通过基于知识图谱的智能分析技术,AI助教系统能够识别学生的常见操作错误并提供相应的纠正建议。这种智能化的指导方式不仅能够提高学生的学习效率和准确性,还能够培养学生的自主学习能力和解决问题的能力。



图5 AI助教分析

3 教学实证研究

3.1 实验设计

为验证多模态教学模式的有效性,本研究选取电子信息工程专业120名学生作为研究对象,分为实验组和对照组,每组60人。实验周期为16周,考核内容包括知识测试、操作考核和创新设计三个部分^[3]。

(1) 实验对象选择

本研究选取了我校的电子信息技术专业2021-2022级学生作为研究对象。这些学生已经学习了高频电子线路课程的基础理论知识,并具备一定的实验操作能力。通过随机抽样的方式,将120名学生分为实验组和对照组,每组60人。

(2) 实验周期安排

实验周期为16周,其中前8周为传统实验教学阶段,后8周为多模态教学模式教学阶段。在传统实验教学阶段,学生按照传统的实验教学方法进行实验操作和学习;在多模态教学模式教学阶段,学生采用本研究提出的多模态教学模式进行实验操作和学习。

(3) 考核内容设计

考核内容包括知识测试、操作考核和创新设计三个部分。知识测试主要考察学生对电路原理、参数计算等理论知识的掌握情况;操作考核主要考察学生的实践能力和动手能力;创新设计主要考察学生的创新能力和综合应用能力。具体考核内容和评分标准如下:

(1) 知识测试 (30%): 包括选择题、填空题和简答题等题型,主要考察学生对高频电子线路课程基础理论知识的掌握情况。评分标准采用百分制,满分为30分。

(2) 操作考核 (40%): 包括虚拟焊接、故障排查等实验操作项目,主要考察学生的实践能力和动手能力。评分标准采用百分制,满分为40分。其中,虚拟焊接占20分,故障排查占20分。

(3) 创新设计 (30%): 要求学生自主设计高频放大

器并完成仿真验证，主要考察学生的创新能力和综合应用能力。评分标准采用百分制，满分为30分。其中，设计方案占10分，仿真结果占10分，实验报告占10分。

3.2 实验过程实施

在实验过程中，我们按照以下步骤进行实施：

在实验开始前，我们对实验组和对照组的学生进行了相同的理论授课和实践操作培训。确保两组学生在实验开始前具备相同的知识水平和操作能力。同时，我们还对实验组的学生进行了多模态教学模式的培训和指导，使他们能够熟练掌握VR/AR设备的使用方法和多模态交互机制的操作技巧。

在实验过程中，我们对实验组和对照组的学生进行了全程监控和记录。通过实时观察学生的实验操作过程、收集学生的操作数据和反馈信息等方式，我们全面了解了学生的实验情况和学习效果。同时，我们还定期组织学生进行小组讨论和交流活动，以促进学生之间的沟通和协作。

在实验结束后，我们对实验组和对照组的学生进行了全面的评估和比较。通过知识测试、操作考核和创新设计等方面的考核内容和评分标准，我们对学生的实验效果和学习成果进行了客观、公正的评价。同时，我们还通过问卷调查和访谈等方式收集了学生的反馈意见和建议，以便进一步完善和优化多模态教学模式。

3.3 关键发现与分析

通过实证研究，本研究得出以下关键发现：

实验组学生在场景停留时间较对照组延长47%，注意力集中度提升29%。这一结果表明，多模态教学模式能够显著提升学生的实验沉浸感。通过虚拟实验场景和多模态交互机制的设计，学生能够更加真实地感受到实验过程中的各种现象和变化，从而更加专注于实验操作和学习过程。

实验组任务完成时间缩短35%，有效交流次数增加1.8倍。这一结果表明，多模态教学模式能够显著提高学生的团队协作能力和沟通效率。通过虚拟实验舱系统支持的多人同步操作和语音指令识别与手势交互功能，学生能够更加方便地进行团队协作和沟通交流。这种协作模式不仅能够培养学生的团队合作精神和沟通能力，还能够激发学生的创新思维和创造力。

虚拟实验室建设成本约为传统实验室的1/5，运维成本降低72%。这一结果表明，多模态教学模式在降低教学成本方面具有显著优势。通过虚拟仿真技术构建的虚拟实验室无需购买昂贵的实验设备，从而降低了建设成本；同时，虚拟实验室的运维成本也相对较低，因为虚

拟实验设备无需进行定期的维护和保养。虚拟实验室的建设成本和运维成本均显著低于传统实验室。

实验组在知识迁移能力（设计创新环节）得分高出对照组21.6%。这一结果表明，多模态教学模式能够显著提高学生的综合能力和创新思维。通过虚拟仿真技术构建的虚拟实验场景和多模态交互机制的设计，学生能够更加深入地理解实验原理和操作过程，并将所学知识应用到实际的设计创新中。

通过上述对比，实验组学生在场景停留时间和注意力集中度方面、在任务完成时间和有效交流次数方面、均显著优于对照组学生。这表明多模态教学模式在降低教学成本的同时，能够有效地提高学生的实验沉浸感和注意力集中度，团队协作能力和沟通效率，综合能力和创新思维。

4 教学模式创新点与挑战

4.1 创新价值

通过多模态线索引导，帮助学习者建立“现象-原理-应用”的完整认知链条。多模态教学模式通过视觉、听觉、触觉和协作等多种模态的线索引导，使学生能够更加深入地理解实验现象和原理，并将所学知识应用到实际的设计创新中。这种认知脚手架的设计能够有效地提高学生的学习和理解深度。

AI系统根据操作记录生成能力图谱，动态推送强化训练模块。多模态教学模式中的AI助教系统能够根据学生的操作记录和反馈信息，生成个性化的能力图谱，并根据能力图谱动态推送相应的强化训练模块。这种个性化的学习方式能够帮助学生更加有效地提高自己的学习水平和能力。

开发双模考核系统，支持虚拟实验数据与实物测试成绩的等效转换。多模态教学模式中的双模考核系统能够支持虚拟实验数据与实物测试成绩的等效转换，从而实现对学生能力的全面评估。这种虚实融合的评估方式能够更加客观地反映学生的实验能力和学习效果。

4.2 现存挑战

需探索设备租赁共享模式，降低学生使用成本。目前，高性能设备的价格仍然较高，这对于学生来说是一个不小的负担。因此，我们需要探索设备租赁共享模式，降低学生使用成本，使更多的学生能够享受到多模态教学模式带来的好处。

45岁以上教师中，仅38%能熟练操作虚拟实验室管理系统。目前，部分教师对虚拟仿真技术和多模态教学模式的了解和掌握程度还不够深入，这在一定程度上影响了多模态教学模式的推广和应用。因此，我们需要加强

对教师的培训和技术支持,提高他们的数字素养和操作能力。

过度依赖虚拟实验可能导致“现实脱节症”,需建立虚实衔接训练机制。虽然虚拟仿真技术能够为学生提供逼真的实验场景和操作体验,但过度依赖虚拟实验可能会导致学生缺乏实际操作能力和实践经验。因此,我们需要建立虚实衔接训练机制,引导学生将虚拟实验成果转化为实际应用,提高他们的实际操作能力和实践经验。

5 结论与展望

本研究基于高频电子线路实验教学中存在的问题和挑战,提出了一种融合虚拟仿真技术的多模态教学模式。通过构建三维可视化实验场景、设计交互机制、开发云端协作平台等措施,实现了“理论-虚拟-现实”三位一体教学闭环。实践表明,该模式在提升实验沉浸感、强化团队协作能力及降低教学成本方面表现显著。

未来,随着5G+XR技术的普及,本研究将进一步探索虚拟仿真技术在实验教学中的应用前景和发展趋势。

我们将继续完善和优化多模态教学模式,推动其在工科实验教学中的广泛应用和推广。同时,我们还将关注神经教育学等前沿领域的发展动态,将其引入到实验教学中来,为学生提供更加丰富、高效的学习体验。推动虚拟实验组件的模块化开发,建立跨校际的模型共享市场。这样可以使更多的教育工作者和研究者能够共享和利用虚拟实验资源,促进实验教学的创新和发展。

参考文献

- [1]刘伟伟,张艳玲,周培祥.虚实结合的高频电子线路实验教学改革方案设计[J].实验室科学,2025,28(02):119-123.
- [2]欧梅莲,余志强,廖贵成,等.虚拟仿真实验技术在高频电子线路课程中的教学改革探索[J].电子测试,2024,(03):87-91.DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2024.03.003.
- [3]张振红.“线上线下、虚实融合”的高频电子线路实验教学模式研究与实践[J].长治学院学报,2021,38(05):97-101.