

基于数据可视化的虚拟仿真实验模拟方法设计

唐洁¹ 范辉¹
TANG Jie FAN Hui

摘要

在虚拟仿真实验模拟中，数据可视化具有至关重要的作用，能够实时反映实验过程中的数据状态和变化，帮助用户更好地理解实验现象和结果。基于此，文章设计了一种基于数据可视化的虚拟仿真实验模拟方法。首先明确虚拟仿真实验的类型，涵盖互动探究型、远程协作型、高度沉浸型以及模块化拓展型，旨在丰富学习体验并满足不同教学需求。然后构建起一个基于数据结构可视化的虚拟仿真实验模型，该模型集成了数据模型、算法演示及互动资源，为用户提供了一个全方位、多层次的实验环境。通过将 Python 脚本与智能引导系统相结合，该模型实现了包括二次函数在内的多种实验过程的动态可视化。为实现全方位仿真实验模拟，模型整合了实验数据资源，如 UID、Python 脚本等，并引入智能引导系统以支持用户编写、调试程序，同时利用图形渲染技术将数据结构以可视化形式呈现。在调试过程中，系统能够识别并处理代码问题，优化代码质量。根据用户层次和课程需求，模型能够灵活调整虚拟与现实实验的比例。实验结果表明，在振动分析领域，当面对不同负载和风速变化的实验条件时，数据可视化技术能够迅速捕捉到相位差从 S1 的 30° 稳步增长至 S5 的 120° 这一细微变化，充分证明了该方法在提升实验效能和实用价值方面的卓越表现。

关键词

数据可视化；虚拟仿真；实验模拟；VR 技术；Python 语言

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.12.026

0 引言

在现代实验科学与工程技术的融合发展背景下，数据可视化在虚拟仿真实验模拟方法设计中的应用正变得越来越广泛。文献 [1] 通过构建低温环境下的高铁制动摩擦的虚拟仿真平台，并结合数据可视化技术，实现了对实验数据的直观展示与深入分析。文献 [2] 强调了虚拟仿真实验平台在实验教学中的重要性，并指出数据可视化是提升平台用户体验和教学效果的关键。通过数据可视化，用户能够更直观地理解实验现象，加深对理论知识的掌握，从而提高学习效率和实践能力。文献 [3] 利用数据可视化技术对液体火箭发动机尾焰的金属发射光谱进行了深入分析。通过构建仿真模型并结合实验数据，成功地将复杂的物理过程以图形化的方式呈现。文献 [4] 通过开发焊接虚拟仿真实验教学软件，并融入数据可视化技术，为用户提供了一个沉浸式的学习环境。用户可以在虚拟环境中进行焊接操作，并通过数据可视化实时观察焊接过程中的温度、应力等参数变化，从而加深对焊接原理

和技术要点的理解。

尽管现有的数据可视化方法在特定领域内已经取得了显著成效，但局限于特定的虚拟仿真实验类型，难以全面覆盖并适应多样化的用户群体及复杂多变的教学与研究需求。为了弥补这一不足，本文致力于提出一种创新的基于数据可视化的虚拟仿真实验模拟方法。该方法旨在通过增强数据可视化的灵活性与适应性，进一步优化和提升虚拟仿真实验在教学与研究领域的应用效果，从而满足不同用户群体的多样化需求。

1 确定虚拟仿真实验类型

在虚拟仿真实验模拟过程中，考虑互动探究型、远程协作型、高度沉浸型以及模块化拓展型等多种虚拟仿真实验类型，旨在满足多样化的学习需求、提升学习互动性和参与度、增强实验的真实感和沉浸感，并适应未来教育发展趋势。依据虚拟仿真实验技术实现路径与实验目标的差异性，虚拟仿真实验可细分为四大类型^[5]。

(1) 互动探究型实验

互动探究型实验强调用户在虚拟环境中的主动探索与发现过程。这类实验通过高度交互的仿真平台，模拟复杂的自

1. 甘肃农业大学 甘肃兰州 730070

[基金项目] 2024 年高等学校虚拟仿真教学创新实验室项目
“电子信息虚拟仿真实验教学中心”

然现象或科学原理,鼓励用户通过操作虚拟仪器、调整实验参数,观察并记录实验现象的变化,进而独立或协作探究背后的科学规律。

(2) 远程协作型实验

远程协作型实验则充分利用了互联网与云计算技术,打破了地域限制,实现了跨地域、跨时区的实验合作。用户可以在家中或任何联网地点,通过云端虚拟实验室与全球各地的用户共同参与实验项目。实验过程中,用户不仅能实时共享实验数据、讨论实验方案,还能利用虚拟现实技术“走进”对方的实验场景,进行更直观的交流。

(3) 高度沉浸型实验

通过集成高级虚拟现实(VR)技术、动作捕捉系统及智能反馈机制,用户仿佛置身于实验的核心,能够直接与虚拟环境中的物体、设备乃至实验现象进行深度互动。例如,在物理学中的“量子隧道效应”实验中,用户可以通过VR设备“亲手”操作微观粒子,观察并记录其在势垒间的穿透行为^[6],直观感受量子力学中的奇异现象。量子隧道效应概率公式为:

$$T = \exp \left\{ -\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m[V(x) - E]} \right\} \quad (1)$$

式中: $\hbar$ 表示约化普朗克常数; x_1 和 x_2 表示势垒的起始和结束位置; m 表示粒子质量; $V(x)$ 表示粒子在空间位置 x 处的势能; E 表示粒子的总能量。

这种实验类型不仅要求高精度的三维建模与渲染技术,还依赖于复杂的物理引擎来模拟实验过程的每一个细微变化。

(4) 模块化拓展型实验

在这类实验中,虚拟实验平台被设计成由多个可独立运行又相互关联的模块组成,用户可以根据自己的学习进度和兴趣选择不同的模块进行实验。同时,平台还支持用户自定义模块,鼓励用户根据实验需求设计新的实验装置或流程,实现个性化学习与创新实践。

2 调试数据结构可视化

在虚拟仿真实验中,用户根据确定的虚拟仿真实验类型探索线性结构、树结构与图结构的数据可视化调试过程。用户点击实验类型选择按钮,明确当前需调试的数据结构类型,随后细致分析实验目的与要求,构思出合理的数据处理与可视化方案。进入代码实现阶段,用户在代码编辑器中精心编写程序,力求简洁高效。完成编码后,自动进入可视化调试阶段,利用预先设定的算法与图形渲染技术,将抽象的数据结构以直观的图形方式呈现,便于用户观察与理解。此时,专注于识别几种关键的数据结构可视化相关的代码异味,如表1所示。

表1 数据结构可视化相关代码异味

序号	异味类型	源代码
1	过度耦合的数据处理模块	A.draw
2	冗余的可视化逻辑	drawTree
3	非直观的视图映射	mAPData
4	硬编码的视图参数	drawCircle
5	缺失的边界检查	render
6	混乱的视图更新逻辑	updateView1

若某类源代码内部充斥着多层嵌套的if-else逻辑或复杂的循环条件判断^[7],使得其逻辑流程错综复杂,逻辑复杂度的计算公式为:

$$V(G) = M - N + 2P \quad (2)$$

式中: M 表示源代码中边的数量; N 表示源代码中节点的数量; P 表示可视图中连接组件的数量。当逻辑复杂度指标飙升超过10,则该类显现出高复杂度代码异味,亟需重构优化。

在数据结构可视化调试中,当检测到代码异味时,黄色灯光会闪烁,亮度映射异味的严重程度。用户点击即可查看异味细节,并进行重构。通过拖拽时间轴或点击调试面板按钮,用户可以控制调试进程,实现算法执行的步进与回溯。编辑界面中,蓝绿双色指针并行,蓝色标识当前执行代码行,绿色预告下一行,清晰展示代码执行轨迹。内存舞台实时显示变量变化,堆栈空间变化与变量从属关系通过色彩编码明确,帮助用户掌握数据结构的内存布局。用户在解题区提交优化后的代码片段,以及关键执行点内存状态的可视化调试。

3 构建虚拟仿真实验模型

基于数据结构可视化的需求,构建如图1所示的虚拟仿真实验模型,集成了丰富的数据模型、算法演示及互动资源。此模型提供三种体验模式:VR深度沉浸、PC独立操作及网络协同探索,旨在满足不同学习场景。

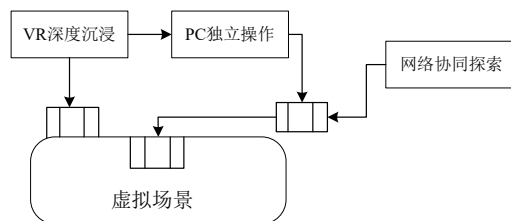


图1 虚拟仿真实验模型

在VR深度沉浸模式中,用户可以通过虚拟环境直观观察数据结构二叉树的动态变化^[8]。二叉树的深度 d 与其节点数 n 之间的关系,表示为:

$$d = \log_2(n+1) \quad (3)$$

针对用户的PC独立操作,结合“云教室”翻转课堂理念,鼓励用户间互助学习。该模式中,实验技能突出的用户通过

在线直播或录屏分享，引导相应成员深入理解实验原理与操作技巧，推动全体用户自主学习进程。PC 独立操作涉及快速排序时，算法的平均时间复杂度可以用公式表示为：

$$T(n) = t(n \log n)$$
 (4)

式中： t 表示快速排序算法所需的生长时间。

同时，网络协同探索打破地域限制，用户可随时随地接入，进行个性化的仿真实验探索，提交实验成果与心得，形成闭环学习体系。虚拟实验环境支持无数次模拟尝试，让用户们在反复实践中精通复杂实验流程，如生物基因编辑的虚拟模拟，从而加深理解并提升实践能力。

4 实现基于数据可视化的虚拟仿真实验模拟

为实现全方位虚拟仿真实验模拟，利用模型整合实验数据资源，包括标识符（UID）、Python 脚本、实验背景说明、执行指南及动态变化的变量状态与预期结果可视化。每次实验有唯一 UID，确保唯一性与可追溯性。Python 脚本提供灵活编程环境，适应不同学科需求。实验目标、知识要点及预期成果通过详尽文档明确学习方向。

执行步骤方面，引入智能引导系统，Python 程序计算并输出一个二次函数的值^[9]。函数形式为：

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$
 (5)

式中： a 、 b 、 c 表示常数。在程序开始时，设定 a 、 b 、 c 的值，并提示用户输入 x 的值，使用上述公式计算输出的 $f(x)$ 值，计算完成后，将 $f(x)$ 的值以图形化或文本形式显示在界面上，实时反馈变量值的动态变化及预期输出结果的可视化展示，使用户能直观理解程序运行过程及数据流动^[10]。

同时，课程设置根据用户层次和课时调整虚实实验比例，本科基础课程采用 2:2 虚实结合模式，强化软件操作与理论理解；研究生高级课程更多依赖虚拟仿真进行深度预习与方案设计，最终实操验证，激发创新思维与实践能力。

5 实验

5.1 实验条件

在基于数据可视化的虚拟仿真实验场景中，科研人员可自由构建多样化的实验环境，通过数据可视化工具 Unreal Engine，能够调整光线强度与色温，还能实时模拟温度、湿度等环境参数，实现高度定制的仿真实验条件，如表 2 所示。

表 2 仿真实验条件

参数名称	示例值
分辨率	1920×1080
帧率上限	60 帧 /s
重力	-9.81 m/s²
数据源接口	HTTP/WebSocket
可视化类型	图表
环境光照与阴影	动态 / 静态

参数名称	示例值
交互逻辑	C++ 脚本
光线强度	0%~100%
色温	2700 K（暖色调）~6500 K（冷色调）
温度	-20~50 ℃
湿度	0%~100%RH

在 Unreal Engine 中，这些参数通过 C++ 脚本进行动态模拟，如动态天气变化、水流模拟等，以提供更接近真实世界的虚拟实验环境。

5.2 实验准备

在振动分析领域，通过在虚拟环境中进行预实验，分析材料的性能和机构的运动情况。针对机电传动与控制课程，设计了 4 个虚拟仿真实验（E1~E4），这些实验包括电机调速、系统动态响应、装配与故障排查以及 PLC 逻辑编程，目的是为了增强用户对机电系统控制和故障处理的实际操作能力。同时，还构建了如图 2 所示的实验模型，以支持实验的实施。

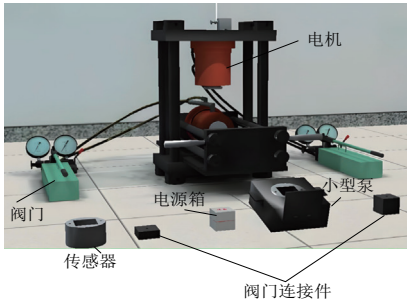


图 2 实验模型

为了模拟不同工况下的机械振动情况，利用上述实验模型，收集各样本在不同条件下的振动数据，实验样本如表 3 所示。

表 3 实验样本

编号	实验样本描述	振动特性
S1	单自由度弹簧振子	简谐振动
S2	多自由度机械臂	在不同负载下的振动响应
S3	旋转电机振动	在正常运转及不平衡状态下的振动特性
S4	风扇振动	风扇叶片不平衡、气流扰动等因素对振动的影响
S5	桥梁结构振动	不同风速、车辆负载下桥梁的振动行为
S6	航空发动机叶片振动	高速旋转叶片在气动力作用下的振动稳定性
S7	高速列车车轮与轨道振动	列车在不同速度、轨道条件下车轮与轨道的相互作用振动
S8	精密机床振动控制	机床加工过程中由切削力、主轴不平衡等引起的振动

上述表格中的实验样本 S1~S8，都包含了特定的振动特性与目标，旨在通过虚拟仿真实验帮助用户深入理解机械振动的复杂性和多样性。

5.3 实验指标

相位差, 作为衡量两个或多个振动信号之间时间相对偏移的度量, 是振动分析领域中理解振动动态特性的关键参数之一。尤其当系统中存在多个振动源时, 相位差的分析对于揭示它们之间的相互作用及整体振动行为至关重要。相位差的计算为:

$$\Delta\phi = \frac{x_2(t)}{A_2 \cos \omega t} - \frac{x_1(t)}{A_1 \cos \omega t} \quad (6)$$

式中: $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ 表示两个振动信号; A_1 、 A_2 表示两个信号的振幅; ω 表示振动信号角频率。

5.4 实验结果分析

为全面验证所提虚拟仿真实验模拟方法的实用性, 本文选取文献 [3-4] 中描述的方法作为对比基准, 进行了一系列针对相位差变化的对比分析实验, 结果如图 3 所示。

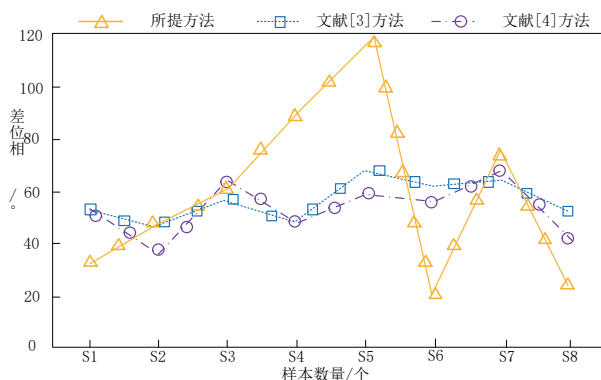


图3 实验样本相位差结果

从图3可以看出, 采用本文提出的虚拟仿真实验模拟方法, 相位差从实验阶段 S1 的 30° 稳步增长至 S5 的 120°。这一显著且平稳的变化趋势显示了该方法在模拟机电传动系统应对不同负载和风速变化等复杂实验条件时, 所表现出的高度动态响应能力和对系统细微变化的敏锐捕捉能力。数据可视化技术的有效应用, 使得这些关键变化能够实时、直观地呈现, 为性能评估与优化工作提供了坚实的数据基础和直观的视觉参考。与文献 [3-4] 中的对比方法相比, 在模拟相同实验条件下, 这两种方法在捕捉和响应系统快速变化方面显示出明显的局限性, 无法准确反映实验条件变化对机电传动系统性能的影响。这一对比结果不仅突出了所提方法在动态仿真领域的优势, 也进一步证实了数据可视化技术在提升实验模拟精度和实用性方面的重要作用。

6 结语

本文通过构建一种基于数据可视化的虚拟仿真实验模拟方法, 极大地丰富了学习体验, 并满足了不同层次与场景下的教学需求。模型的创新之处在于其融合了 Python 脚本、智

能引导系统及图形渲染技术, 使得实验过程得以精准模拟, 数据结构以直观、生动的形式展现, 促进了用户对实验现象和结果的深入理解。实验结果显示, 在如振动分析等复杂领域中, 数据可视化技术展现了其捕捉细微变化、提升实验效能的强大能力。展望未来, 随着技术的进一步发展, 基于数据可视化的虚拟仿真实验模拟方法将在教育、科研、工程等多个领域发挥关键作用, 促进知识传授模式的变革, 加速科研成果的转化, 并为工程技术问题的解决提供更为高效、直观的解决方案。

参考文献:

- [1] 张训, 黄勇智, 张梅仙, 等. 低温环境下实验数据可视化的高铁制动摩擦虚拟仿真平台开发 [J]. 实验科学与技术, 2024, 22 (3): 22-28.
- [2] 付冬波. 虚拟仿真实验平台设计与实现 [J]. 集成电路应用, 2022, 39 (4): 224-225.
- [3] 苏童, 雷庆春, 范玮. 液体火箭发动机尾焰金属发射光谱仿真与实验研究 [J]. 推进技术, 2024, 45 (2): 105-113.
- [4] 朱智, 张占伟, 莫春立, 等. 基于数值模拟的焊接虚拟仿真实验教学软件设计与实现 [J]. 中国现代教育装备, 2023, 49 (1): 27-30.
- [5] 张苏, 魏林慧, 王金贵. 甲烷-空气预混燃烧数值模拟仿真实验设计及教学应用 [J]. 化工高等教育, 2023, 40 (3): 113-119.
- [6] 张雪松, 陈金平, 周鹏. 基于数值模拟的占压管道力学响应虚拟仿真实验 [J]. 实验技术与管理, 2022, 39 (6): 73-81.
- [7] 徐国锋, 钟晓红. 基于数据可视化的电力数据融合及优化研究 [J]. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 2023, 45 (6): 972-976.
- [8] 杨政安. 大数据可视化分析技术运用探析 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13 (32): 46-49.
- [9] 骆岩林, 张怡冉, 刘嘉琪, 等. 数据可视化课程思政的探索与实践 [J]. 计算机教育, 2023, 16 (7): 51-53+57.
- [10] 王添男, 李新庆, 王艳萍, 等. 基于 Python 的气象数据可视化方法应用研究 [J]. 信息技术与信息化, 2023(7): 32-35.

【作者简介】

唐洁 (1989—), 女, 甘肃金昌人, 硕士研究生, 实验师, 研究方向: 计算机视觉。

范辉 (1991—), 男, 甘肃平凉人, 硕士研究生, 助教, 研究方向: 农业物联网。

(收稿日期: 2024-09-04)