



基于云渲染的虚拟仿真实验教学实践分析

孙振明¹, 侯运炳¹, 王 雷²

(1. 中国矿业大学(北京) 能源与矿业学院 北京 100083; 2. 北京龙软科技股份有限公司 北京 100190)

摘要: 云渲染作为一项提升资源共享工程中用户体验的先进技术已逐渐推广使用, 但其在教学过程中的作用、优势及存在问题有待进一步研究。首先, 依托国家虚拟仿真实验教学课程共享服务平台资源, 分析了虚拟仿真实验教学课程的共享技术现状, 分析了基于云渲染的虚拟仿真实验的技术优势; 其次, 以基于云渲染技术构建的综采放顶煤虚拟仿真教学实验为例, 介绍了实验建设内容及其在教学中的应用现状; 最后, 对基于云渲染的虚拟仿真实验教学系统的教学实践活动进行了总结, 分析了其中遇到的关键问题与相应的处理措施, 以期促进虚拟仿真实验教学在资源共享方面有更好的发展。

关键词: 云渲染; 虚拟仿真; 实验教学; 资源共享

中图分类号: G642.423

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20220386

Analysis of Virtual Simulation Experiment Teaching Practice Based on Cloud Rendering

SUN Zhenming¹, HOU Yunbing¹, WANG Lei²

(1. School of Energy and Mining Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Beijing LongRuan Technologies Inc., Beijing 100190, China)

Abstract: Cloud rendering, as an advanced technology to enhance the user experience of virtual simulation experiment in resource sharing, has been gradually promoted, but its advantages and problems in the teaching process need to be further studied. First of all, relying on the resources of the national virtual simulation experiment teaching course sharing service platform, the used sharing technologies of virtual simulation experiment teaching courses were analyzed, and the technical advantages of virtual simulation experiments based on cloud rendering were analyzed too. Secondly, taking the cloud-rendering-based virtual simulation teaching experiment of fully mechanized top coal caving as an example, the content of the experiment and its application status in teaching were introduced. Finally, the teaching practice activities of the cloud-rendering-based virtual simulation experiment teaching system are summarized and the problems encountered and the corresponding treatment measures are analyzed. The analysis is expected to promote a better development of virtual simulation experiment teaching in terms of resource sharing.

Key words: cloud rendering; virtual simulation; teaching system; resource sharing

虚拟仿真实验教学是教育信息化的重要组成部分。教育部先后发布了《关于开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知》《关于2017—2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知》和《关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作的通知》等文件^[1-2], 指出虚拟仿真实验教学应坚持问题导向, 重点解决真实实验项目条件不具备或实际运行困难, 涉及高危或极端环境, 高成本、高消耗、不可逆操作, 以及大

型综合训练等问题。对于矿业^[3-4]、安全^[5]、化学^[6-7]等学科, 虚拟仿真实验已在教学中的知识讲解、实习实践等方面发挥了重要作用, 逐渐成为教学过程中非常重要的一个环节^[8-9]。

建设虚拟仿真实验通常需要大量的资源投入, 为了更好地利用实验资源, 教育部提出了“建设具有扩展性、兼容性、前瞻性的管理和共享平台, 高效管理实验教学资源, 实现校内外、本地区及更广范围内的实验教学资源共享”的要

收稿日期: 2022-06-20; 修回日期: 2022-08-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0804300); 中国矿业大学(北京)教学改革项目(J211102)。

作者简介: 孙振明(1986-), 男, 博士, 讲师, 主要从事计算机技术在能源与矿业领域中的应用研究工作。

E-mail: 15811370151@163.com

求,并建设了国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台(<http://www.ilab-x.com/>,以下简称“共享服务平台”),加强项目应用与共享。截至2021年12月15日,共享服务平台已上线3000多个共享实验课程,有效促进了知识的传播。

实验内容加载时间是影响用户使用的重要指标,如果长时间等待将会降低用户使用意愿^[10],不利于实验资源的共享。云渲染技术利用云计算方式,将虚拟仿真实验的渲染工作转移到服务器完成,实验资源都在服务器处理,能够有效降低虚拟仿真实验的加载资源量和加载时间,提升用户操作体验^[11]。

因此,针对云渲染如何提升用户体验,在实验教学过程中云渲染的作用、优势及存在问题等内容,本文选取实验内容加载时间为参考指标,基于共享服务平台中的虚拟仿真实验课程,以参与建设的综采放顶煤虚拟仿真实验教学为例,开展了相关研究工作。

1 虚拟仿真实验共享技术现状分析

教育部2017年开始建设国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台,现已上线3250项虚拟仿真

实验,涵盖61个专业大类,其中已认定为“国家虚拟仿真实验教学一流课程”的项目有728门,覆盖了41个专业类,168个专业。本文选取示例项目所属的矿业类实验项目开展共享技术现状分析工作。

1.1 矿业类项目技术模式分析

共享服务平台中矿业类虚拟仿真实验共35个,其中已获认定为一流课程的项目10项。依据网站公开的项目描述、网络要求、技术架构等资料,将技术模式划分为WebGL、插件、本地、云渲染4种。其中,WebGL是利用浏览器的HTML5技术,将实验资源在用户浏览器内进行计算、渲染、展示,无需用户下载,但浏览器计算量大;插件是利用ActiveX等技术,将实验资源在本地计算,然后将结果渲染、展示在浏览器内,需要用户下载安装;本地是用户需要下载实验资源到本地计算机,作为独立软件进行计算、渲染、展示,需要用户下载安装;云渲染是实验资源在服务器内进行计算、渲染,通过网络传送到用户浏览器内进行展示,无需用户下载,但服务端计算量大。

通过对实验内容逐一测试,剔除无法开放访问的系统,各实验项目的技术模型如表1所示。

表1 国家虚拟仿真实验教学课程技术模式分析(矿业类,2021-12-15可开放访问项目)

序号	实验名称	建设单位	技术模式	一流课程
1	复杂铁矿资源加工虚拟仿真实验	中南大学	WebGL	是
2	井巷掘进及局部通风设计虚拟仿真实验	华北科技学院	插件	
3	煤矿事故应急救援虚拟仿真	河南理工大学	本地	
4	海底油气管道输送系统流动保障虚拟仿真实验	中国石油大学(北京)	WebGL	是
5	煤矿掘进安全虚拟仿真实验教学项目	黑龙江科技大学	WebGL	
6	综采放顶煤虚拟仿真教学实验	中国矿业大学(北京)	云渲染	是
7	地下油气形成聚集地质过程虚拟仿真实验	中国地质大学(北京)	本地	
8	石油工程虚拟仿真实验	中国地质大学(北京)	WebGL	
9	锚喷支护施工工艺虚拟仿真实验教学项目	山西大同大学	WebGL	
10	金属矿露天开采及边坡稳定虚拟实验教学系统	内蒙古工业大学	WebGL	
11	顶板运动信息监测与预警虚拟仿真实验项目	贵州理工学院	WebGL	
12	矿用隔爆型磁力起动机控制方法及故障分析虚拟仿真实验	湖南科技大学	WebGL	
13	煤矿智能化工作面开采虚拟仿真实验	中国矿业大学	WebGL	是
14	露天矿山配矿过程虚拟仿真实训系统	成都理工大学	WebGL	
15	深水油气钻井井控关井虚拟仿真实验	西南石油大学	WebGL	是
16	矿山岩层移动及控制虚拟仿真实验	太原理工大学	插件	是
17	煤矿井下采选充一体化虚拟仿真系统实验	太原理工大学	WebGL	
18	绿色智能开采-采区综合设计虚拟仿真实验	重庆大学	WebGL	
19	金属矿床地下开采工艺虚拟仿真实验	江西理工大学	插件	
20	海洋深水钻井平台认知及关键作业程序实训	中国石油大学(华东)	云渲染	是

共享技术模式占比分析如图 1 所示, 本地模式的 2 个项目均未获得一流课程认定, 云渲染模式的 2 个项目均获得了一流课程认定。

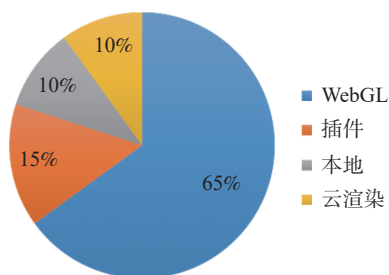


图 1 共享技术模式占比分析图

1.2 实验加载情况分析

虚拟仿真实验教学创新联盟技术工作委员会在《虚拟仿真实验教学课程建设与共享应用规范(试用版·2020)》^[12]中, 对用户体验提出“应尽量避免插件的安装”的要求。因此, 本文选取了无需用户下载安装, 可以直接使用浏览器打开学习的实验项目(共计 15 项), 进行加载情况的测试与分析。

1) 测试环境

测试用电脑为 Thinkpad P1 工作站, CPU 型号

为 Intel(R) Core(TM) i7-10750H, 内存为 32 GB, 浏览器为 Google Chrome 96.0.4664.110(正式版本, 64 位)。测试网络为 200 Mb 移动光宽带, 利用测速网(<https://www.speedtest.cn/>)进行网速测试, 如表 2 所示。

表 2 测试环境网速情况表

	下载(Mb/s)	上传(Mb/s)	时延(ms)	抖动(ms)	丢包(%)
1	244.00	61.82	8.00	1.00	0
2	245.53	103.71	11.00	9.14	0
3	247.41	115.71	7.00	0.78	0
平均	245.65	93.75	8.67	3.64	0

2) 测试结果

实验加载时间指从用户打开实验网页到用户可以交互操作实验的时间, 测试以 Chrome 浏览器的开发者工具中显示的网页加载结束时间为准。实验加载资源量以开发者工具中显示的网页加载资源量为准。

每个实验项目测试 3 次, 开始测试前, 清空网页对应浏览器缓存, 关闭电脑中与测试无关的程序。测试结果如表 3 所示。

表 3 虚拟仿真实验加载速度情况表

序号	实验名称	加载资源量 /MB	加载时间/s				资源下载速度/(Mb·s ⁻¹)
			No.1	No.2	No.3	平均	
1	复杂铁矿资源加工虚拟仿真实验	516.00	72.00	66.00	102.00	80.00	51.60
2	海底油气管道输送系统流动保障虚拟仿真实验	6.50	21.90	21.40	21.04	21.45	2.42
3	煤矿掘进安全虚拟仿真实验教学项目	343.00	132.00	114.00	114.00	120.00	22.87
4	综采放顶煤虚拟仿真教学实验	3.30	7.23	5.39	6.33	6.32	4.18
5	石油工程虚拟仿真实验	91.10	26.14	17.59	16.21	19.98	36.48
6	锚喷支护施工工艺虚拟仿真实验教学项目	30.60	28.50	36.99	26.15	30.55	8.01
7	金属矿露天开采及边坡稳定虚拟实验教学系统	77.80	288.00	288.00	300.00	292.00	2.13
8	顶板运动信息监测与预警虚拟仿真实验项目	88.90	12.47	12.87	11.44	12.26	58.01
9	矿用隔爆型磁力起动机控制方法及故障分析虚拟仿真实验	50.10	17.65	18.21	16.89	17.58	22.79
10	煤矿智能化工作面开采虚拟仿真实验	380.00	57.93	50.73	41.76	50.14	60.63
11	露天矿山配矿过程虚拟仿真实训系统	205.00	37.39	31.01	29.76	32.72	50.12
12	深水油气钻井井控关井虚拟仿真实验	107.00	246.00	252.00	228.00	242.00	3.54
13	煤矿井下采选充一体化虚拟仿真系统实验	453.00	474.00	456.00	474.00	468.00	7.74
14	绿色智能开采-采区综合设计虚拟仿真实验	276.00	72.00	72.00	78.00	74.00	29.84
15	海洋深水钻井平台认知及关键作业程序实训	1.00	8.00	6.80	6.44	7.08	1.13

注: 网页加载时间通常包括请求排队、建立连接、资源下载等多个阶段, 受测试工具限制, 资源下载速度采用加载资源量除以平均加载时间计算, 存在一定的误差, 但测试所得最高下载速度为 60.63 Mb/s, 远小于测试环境网络带宽, 因此, 后续分析不受测试环境和计算方法影响。网络速度单位为 Mb/s, 资源量单位为 MB, 其换算关系为 1 MB=8 Mb。

依据表3的测试结果,可以分析得出:

1) 加载时间最短的为“综采放顶煤虚拟仿真实验”,受益于采用的云渲染技术,实验加载资源量仅3.30 MB,在4.18 Mb/s的下载速度下,平均加载时间为6.32 s;

2) 加载时间最长的为“煤矿井下采选充一体化虚拟仿真系统实验”,实验加载资源量为453.00 MB,因其下载速度仅7.74 Mb/s,导致平均为468.00 s;

3) 加载资源量最多的为“复杂铁矿资源加工虚拟仿真实验”,实验加载资源量为516.00 MB,因其下载速度为51.60 Mb/s,最终平均加载时间为80.00 s,远优于加载资源量次多的“煤矿井下采选充一体化虚拟仿真系统实验”。

通过上述分析可以看出:基于云渲染技术的应用,具有加载资源量低、加载时间少等优势。除加载速度外,云渲染对于客户端设备的要求标准低,支持客户端也更具有多元性,如“综采放顶煤虚拟仿真实验”在上网本、iPad等设备也能流畅运行。

2 基于云渲染的综采放顶煤虚拟仿真实验教学

矿业类学科与现场结合比较紧密,但由于现场的危险性、复杂性,其无法满足教学与科研工作的需求。中国矿业大学(北京)为了更好地服务于矿业类学科的教学、科研工作,自2018年开始建设了采矿虚拟仿真实验室,并上线“综采放顶煤虚拟仿真实验”共享项目,于2020年获得国家一流课程认定。

2.1 实验建设内容

“综采放顶煤虚拟仿真实验”以真实矿井生产系统为原型背景,还原矿山真实作业环境、工业场景和工艺流程,为教学提供系统化全方位的虚拟仿真教学项目,引导学生在高度仿真的虚拟环境中学习。系统内容包括矿井基础认知、设备认知、综放工艺认知、知识考核4大模块。

2.2 教学应用现状

“综采放顶煤虚拟仿真实验”系统上线后,受到学校师生的关注,现在已作为采矿虚拟仿真实践、采煤学、能源工程概论等课程的实验教学、课程设计内容,同时已应用于大学生创新实践活动、采矿工程专业矿山实习等教学环节。

线上系统同时受到了华北科技学院、黑龙江科技大学、江西理工大学等多家高校应用。截至2021年12月15日,共享服务平台统计数据显示,实验系统浏览量47119人次,其中完成实验操作2676人次,实验成绩通过率84.2%,优秀成绩911人。

3 虚拟仿真实验教学实践分析

云渲染作为一项提升用户体验的先进技术,已在虚拟仿真实验项目中逐渐使用。新技术的应用难免会遇到各种各样的问题,结合“综采放顶煤虚拟仿真实验”系统在教学实践过程中应用情况,对遇到的问题及应对措施进行总结。

3.1 服务器资源不足

云渲染技术将资源的计算工作都移到了服务端,因此需要大量服务器资源。系统设计之初,考虑学校建设经费及每个班级的学生数(30人),系统购置了可以8名同学同时使用的服务器资源。理论情况下,一天可以满足(8人 $\times$ 12 h使用 $\div$ 每次实验2 h)48人使用。但是,多方面原因导致在教学过程中出现了服务器资源不足的问题。

1) 单人实验时间过长。因系统问题、操作问题等,存在一个人多次实验后才提交成绩的现象,部分同学占用服务器资源后却不及时操作,如有同学占用服务长达194 h,导致单人实验时长远超预估的2 h,统计数据显示正常用户用时平均为4 h左右。

2) 系统用户数超预期。课程受欢迎程度超出预期,导致对同时间段内使用系统的用户数量估计不足,单日最高访问量达到857人。

面对此问题,通过经验总结,在教学实践中采用如下解决办法。

1) 在系统显著位置,增加用户需提前阅读操作手册的提示;搭建QQ群、微信群等沟通渠道,指导学生操作;如果有必要,设置单次实验时长限制,在操作过程中显示倒计时。通过上述方法,有效降低用户单次实验的用时,提高系统资源利用率。

2) 合理分配不同课程学生的使用时段,避免都集中在期末使用。如果有经费条件,购置更多的服务器资源。

3.2 网络连接问题

云渲染技术的核心为网页即时通信,客户端

需要实时与服务器端进行数据通信,因此,其是否能够成功应用与网络环境密不可分。系统上线后遇到的网络问题有如下两方面。

1) 公有云部署访问正常,校内部署后只能校内访问。云渲染采用了 WebRTC 技术,底层默认为 P2P(peer to peer)连接,但是 P2P 连通率和稳定性并不是特别乐观。在公有云部署测试时,因公有云的网络架构及技术环境成熟,测试过程中没有遇到问题。当系统采购的设备到位,在校内完成部署后,出现无法在校外访问的问题。经调试后确认问题原因为学校采用了对称 NAT(network address translation),无法完成 P2P 穿透。

2) 校外访问可能会遇到“花屏”现象。为了维持实时通信,需要保证客户端和服务端之间有稳定的网络带宽。对于客户端来说,广域网访问时网络环境复杂,无法保证链路上每一路由节点的性能。对于服务端来说,学校对外为固定带宽的同一端口,学生使用高峰时段,占用带宽极大,对链路稳定性有很大影响。

针对此类问题,在教学实践过程中采取了如下解决方案:

1) 实验系统增加了转发服务,将 P2P 架构修改为 P2SP 架构,S 代表 Server(转发服务)。在系统运行过程中,如果存在 P2P 无法通信的情况,系统将切换为 P2SP 模式提供服务。

2) 广域网访问的网络问题无法仅通过系统的修改解决,建议实验系统在云渲染共享外,同时提供本地、插件等多种共享模式,为用户提供更多的选择,以实现更好的用户体验。

4 结束语

资源共享是虚拟仿真实验建设的重要内容,WebGL、本地、插件、云渲染是 4 种常用的资源共享技术模式,其中 WebGL 是实验建设过程中使用的主流技术。

将云渲染技术应用到虚拟仿真实验中,能够有效减少教学实验系统的数据传输量、缩短实验界面的加载时间,节约学生宝贵的学习时间,提升了实验系统的使用效率。而且,访问实验的终端配置要求也相应降低,不再需要较高性能的计

算硬件。通过使用云渲染技术,降低了教学实验系统的用户使用门槛,对于系统的扩大推广、远程共享等具有很好的支持作用。

由于云渲染技术将系统运算负载从客户端转移到了服务器端,且需要客户端和服务端之间的实时通讯,系统使用过程中可能面临服务器资源不足、网络连接问题等,需要有针对性得采取应对措施,提升系统服务质量。

参考文献

- [1] 熊宏齐. 国家虚拟仿真实验教学项目的新时代教学特征[J]. *实验技术与管理*, 2019, 36(9): 1-4.
- [2] 李平, 毛昌杰, 徐进. 开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设提高高校实验教学信息化水平[J]. *实验室研究与探索*, 2013, 32(11): 5-8.
- [3] 许争鸣, 由庆, 郭建平. 钻井虚拟仿真软件在油气钻井工程教学中的应用[J]. *当代化工研究*, 2021(22): 129-132.
- [4] 侯运炳, 姜喜迪, 权伟隆. 采矿与安全虚拟仿真实验教学系统的搭建[J]. *教育现代化*, 2019, 6(46): 40-43.
- [5] 姜琴, 张兰君, 施鹏飞, 等. 虚拟仿真赋能的安全工程专业实践教学改革和实践——以江苏海洋大学安全科学与工程系为例[J]. *大学教育*, 2021(12): 70-72.
- [6] 张万群, 朱平平, 邵伟, 等. 原位变温X射线衍射虚拟仿真实验建设与实践[J]. *大学化学*, 2022, 37(2): 146-156.
- [7] 诸葛福瑜, 曾英, 于旭东, 等. 卤水提锂虚拟仿真化工实验教学设计[J]. *实验室研究与探索*, 2021, 40(7): 176-179.
- [8] 陈见行, 张村. 疫情防控下采矿工程专业实践教学方式探究[J]. *高教学刊*, 2021, 7(23): 49-52.
- [9] 刘振峰, 郭为忠. 虚拟仿真实验教学课程资源设计及教学过程的改革与探索——以上海交通大学“设计与制造 II”课程为例[J]. *教育理论与实践*, 2022, 42(9): 51-54.
- [10] 张校君. 基于时间知觉理论的加载页面交互设计研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [11] 孙振明, 侯运炳, 王雷. 云渲染技术在虚拟仿真教学系统中的应用[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(7): 136-139.
- [12] 虚拟仿真实验教学创新联盟技术工作委员会. 虚拟仿真实验教学课程建设与共享应用规范(试用版·2020)[EB/OL]. [2021-12-15]. <http://www.ilab-x.com/info/details?id=89>.

编辑 钟晓