

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)02-0083-05

基于VR技术的线上沉浸式教学系统设计

李懿琼

(上海工艺美术职业学院,上海201808)

摘要:当前教学系统通过多投影技术可视化呈现教学内容,但教学画面构成过程极为复杂,导致面对并发用户时系统CPU占有率过高。为此,提出结合虚拟现实(virtual reality,VR)技术的线上沉浸式教学系统。硬件方面,设计交互触摸屏和VR头戴显示器。软件方面,在云计算技术的辅助下整合线上教学资源,构建线上沉浸式虚拟教学系统场景模型,再通过VR编辑器适配的阴影恢复形状模型、对数模型对虚拟场景进一步渲染,依靠交互脚本实现线上沉浸式交互教学。实验结果表明,该系统运行时,即便并发人数达到200人,系统CPU占有率仅为23.2%。

关键词:VR技术;沉浸式教学;资源整合;虚拟模型;交互脚本

中图分类号:TP391.9;G434

文献标志码:A

文章编号:1003-7241(2026)02-0083-05

Design of online immersive teaching system based on VR technology

LI Yiqiong

(Shanghai Art and Design Academy, Shanghai 201808, China)

Abstract: At present, the teaching system visualizes the teaching content through the multi-projection technology, but the composing process of the teaching picture is very complicated, which leads to the high CPU usage in the face of concurrent users. An online immersive teaching system combined with virtual reality (VR) technology is proposed. In terms of hardware, interactive touch screen and VR headset display are designed. In terms of software, with the aid of cloud computing technology, online teaching resources are integrated to build the scene model of online immersive virtual teaching system. Then, virtual scenes are further rendered by shadow shape recovery model and logarithmic model adapted to VR editor, and online immersive interactive teaching is realized by interactive scripts. The experimental results show that even if the number of concurrent users reaches 200, the CPU usage of the system is only 23.2%.

Keywords: VR technology; immersive teaching; resource integration; virtual model; interactive script

科学技术的进步引起教学系统的转变,不再采用单一的线下教学系统,而开始应用线上线下相结合的方式^[1]。目前,线下教学系统逐渐成熟,线上教学系统质量却始终难以提升^[2]。近年来,教育人员开始将新技术融入到线上教学课堂中,形成多种线上教学系统。

聂永涛利用虚拟现实技术、三维建模技术、数据库技术设计一款柴油机保养维修教学仿真系统,该系统由三维建模模块、任务策划模块、任务情节模块、数据结构模块和人机交互模块通过导入虚拟现实制作软件合成^[3]。但是,该系统教学画面构成过程极为复杂。刘泽宇等利用虚拟现实技术设计虚拟现实计算机辅助教学系统,教师端和学生端之间通过p2p联机,构成线上VR交互式多媒体教室系统^[4]。但是,该系统的适用性较差。杨横利用3D与虚拟现实技术设计一种算法沉浸式教学系统,该系统由三维建模、UI设计、交互脚本、摄像机漫游、多媒体嵌入和HTCVive平台及设备构建。但测试结果表明,该教学系统面对大量并发用

户时稳定性较差^[5]。

考虑到以往提出的教学系统存在很多不足之处,为进一步提升线上教学质量,基于VR技术构建一种新型线上沉浸式教学系统。从系统验证结果可以看出,该系统支持多名用户同时使用,且不会影响沉浸式教学系统的应用性能。

1 系统硬件设计

1.1 交互触摸屏设计

交互触摸屏是教学过程中人机交互的主要介质,也是实现线上沉浸式教学的基础。文中定义交互触摸屏构成的主要材料是玻璃底板、透明导电板板和透明绝缘薄膜。将玻璃底板放置在底部,上方依次布设导电板、绝缘薄膜,并使得导电板与控制器相连接。正常运行状态下,控制器发出交流电信号,导电板上的电荷从绝缘薄膜内部形成电场,人体接触到屏幕时引起电荷效应,从而产生交互动作。

收稿日期:2025-02-07;录用日期:2025-05-17

基金项目:教育部高等教育司第二批产学研合作协同育人项目(202002288044)

作者简介:李懿琼(1982—),女,本科,助理研究员,研究方向:软件,办公自动化。

引用本文:李懿琼.基于VR技术的线上沉浸式教学系统设计[J].自动化技术与应用,2026,45(2):83-86,127.(LI Yiqiong. Design of online immersive teaching system based on VR technology[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(2):83-86,127.)

1.2 VR头戴显示器设计

头戴显示器(head mounted display, HMD)是VR技术实现的基础设备,负责将高真实度的虚拟图像提供给用户。为了更好地输出虚拟信息,设计以光学结构为核心的VR显示器,其中光学结构原理如图1所示。

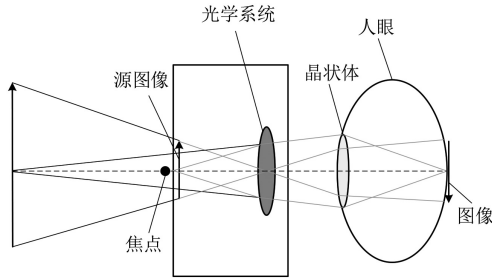


图1 HMD光学结构成像示意图

Fig. 1 HMD optical structure imaging diagram

根据图1可知,VR头戴显示器的主要构成部件,包括源图像、光学系统、电路系统等。其中,图像源负责产生高分辨率的虚拟教学图像,这部分应用的器件包括阴极射线管和硅基铁电液晶面板,并且通常生成的微图像在0.4~0.8英寸之间。

2 系统软件设计

2.1 建立线上教学资源整合方案

在沉浸式教学系统构建之前,需要整合当前存在的线上教学资源^[6],使其作为构建虚拟教学系统场景的依据。考虑到线上教学资源可能来自多个数据源,在整合阶段融合云计算技术,构建资源整合模型,具体如图2所示。

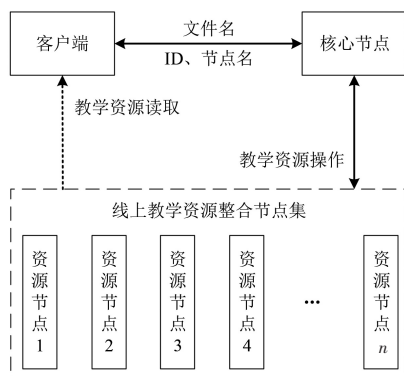


图2 线上教学资源整合模型结构图

Fig. 2 Online teaching resource integration model structure diagram

根据图2可知,线上教学资源整合模型中存在一个核心节点和多个资源节点,用户通过客户端发送教学资源整合申请,核心节点接收到整合请求后,从资源节点中搜索到对应资源,由客户端读取对应的教学资源。

考虑到线上沉浸式教学系统所需的资源量极大,为避免整合速率过低,文中参考多目标服务调度原理,考虑请求完成时间和负载均衡参数定义资源节点优先级^[7],选择合适的节点进行线上教学资源整合。其中,资源请求预计

完成时间可以通过式(1)计算得

$$T = \frac{E + \sum_{q=1}^Q T_q}{Q + 1} \quad (1)$$

式中, T 为教学资源整合请求预计完成时间, E 为请求预计计算时长, Q 为请求次数, T_q 为第 q 次整合请求的计算时长。

在这种情况下,线上教学资源整合请求完成时间越短,表明基于当前资源节点进行资源整合,具有更好的实时性。

第二项需要考虑的参数是负载均衡,需要保证每个正在运行的资源节点实时负载情况,始终低于其能承受的负载极限,才能达到提升教学资源整合速度的效果。其中,节点设备负载临界值可以通过式(2)进行计算得

$$L = \{L_1, L_2, L_3, L_4\} \quad (2)$$

式中, L 为节点设备负载临界值, L_1 为中央处理器运行负载临界值, L_2 为内存负载临界值, L_3 为存储器存储负载临界值, L_4 为网络负载临界值。

2.2 系统场景

采用“腾讯课堂”直播软件作为载体,在其基础上配合虚拟仿真技术,进行沉浸式虚拟教学系统场景设计。根据线上教学课程要求,制定合理的教学计划,针对线上教学资源图像进行数字化处理,构建每一节课所需的虚拟教学系统场景^[8]。在红外定位模块的作用下,确定数字化处理图像中每个像素点,在虚拟空间内的具体位置。从图像灰度值入手,将灰度化后的像素点高度表示为

$$\tau = \frac{R + G + B}{3} \quad (3)$$

式中, τ 为虚拟像素点高度值, R 为像素点的红分量, G 、 B 分别为像素点的绿、蓝分量。

随后,针对整个线上虚拟教学系统场景模型进行分析,确定中心像素点的高度值,具体计算公式为

$$\tau' = \frac{1}{mn} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \tau(x, y) \quad (4)$$

式中, τ' 为中心像素点高度, m 为虚拟教学系统场景模型的像素行数量, n 为模型的像素列数量, (x, y) 为中心点坐标。

若想应用VR技术实现线上沉浸式教学,需要构建更加真实的虚拟教学系统场景模型。在完成像素点高度计算后,根据教学内容进一步确定场景模型的纹理形状特征,将纹理形状描述为凸起、凹陷两类。其中,凸起几何形态的建模需要依靠正弦高度模型实现。

$$\bar{\tau} = H \sin \vartheta + H \quad (5)$$

式中, $\bar{\tau}$ 为虚拟教学系统场景模型中凸起像素点几何高度, H 为相对高度值, ϑ 为凸起面积。

根据式(5)可知,相对高度值的取值,是决定虚拟模型纹理特征的关键,为了简化凸起几何建模过程,提出将正弦高度模型转变为梯度模型,再进行求导分析。

$$\nabla = \frac{H \sin \vartheta + H}{\vartheta} = H \cos \vartheta \quad (6)$$

式中, ∇ 为梯度值。

凹陷几何建模和凸起几何建模方式相仿,都是以正弦高度模型为基础实现的。而线上沉浸式虚拟教学系统场景构建完成后,场景中的每个元素,都是由二维图像转换为三维物体。为加强虚拟教学系统场景的真实性,需要同时考虑三维模型渲染和二维元素适配。

实际操作过程中,应用适合 VR 编辑器的阴影恢复形状模型^[9],渲染 VR 虚拟教学系统场景内的平面纹理。深入分析原始图像的明暗变化,并构建明暗变化模型,在此基础上进行阴影恢复形状处理。首先定义光源入射角度,结合图像表面高度模型,即可建立式(7)所示的朗伯体表面反射模型。

$$\eta(x, y) = \gamma(a, b) = \frac{\cos \varepsilon + a \times \cos \varepsilon \times \sin \varepsilon + b \times \sin^2 \varepsilon}{\sqrt{1 + a^2 + b^2}} \quad (7)$$

式中, η 为反射亮度, (a, b) 为目标像素点的反射坐标, γ 为反射函数, ε 为光源入射角度。

应用式(7)所示的表面反射模型,进行虚拟教学系统场景渲染时,还需要建立正则化公式进行亮度约束,限制阴影恢复形状模型的运行参数。从亮度方程、反射图之间的关系入手,将亮度误差计算公式为

$$\Phi = \iint (U(x, y) - \gamma(a, b)) = \iint (U(x, y) - \gamma(a(x, y), b(x, y))) \quad (8)$$

式中, U 为原始图像, Φ 为亮度误差。

定义亮度误差计算结果作为标准值,后续线上虚拟教学系统场景构建过程中,需要确保输入图像、重建场景之间存在相同的亮度误差,从而加强沉浸式教学系统场景的真实性。

2.3 设计 3D 对象纹理渲染方法

通过上述操作,完成对整个虚拟教学系统场景的渲染,而后还需要针对每个场景内包含的 3D 对象,进行细节纹理渲染,这一操作主要包括 3 个环节,分别是确定渲染视图、确定三维模型边界、生成渲染数值^[10-13]。

线上教学 3D 对象的纹理渲染,需要先确定渲染视图。通常情况下,一个三维模型存在 3 个及以上的视图角度,每种视图表现不同的教学内容,不同视图相结合可以帮助学生更好地理解教学内容。参考二维图像分布情况,在 3D 对象俯视图纹理渲染时,可以从主要平面的法线方向入手,结合阴影形状恢复法进行连续性梯度还原。对于线上沉浸式教学所用的 3D 对象来说,其渲染曲线表现出许多断点,整体呈现为离散型曲线。

明确 3D 教学模型的边界位置后,在虚拟教学空间内,对该模型的高度进行还原处理,体现所有 3D 对象模型的高度差异。这一过程中,模型高度渲染所应用的数值,来自二维平面高度建模求解结果,在虚拟现实场景中,

完成细节渲染后进行线上教学。

2.4 实现线上沉浸式交互教学

在教学系统设计的最后,为加强学生线上学习的沉浸性,提出学生可以通过交互的方式,对 VR 虚拟教学系统场景进行有效控制。文中通过编写交互脚本,赋予虚拟场景模型和 UI 界面之间存在联系,实现系统的线上沉浸式交互功能。同时,交互脚本的实际编写依托于 C# 编程语言,搭建具有三层结构的交互脚本框架,该框架脚本分全局脚本、组件层脚本和算法层脚本。将顶层结构内的交互逻辑代码,称之为全局脚本,实现场景切换等交互逻辑。中间层和底层结构中包含的交互逻辑代码,分别为组件层脚本、算法层脚本,前者包含数据交换逻辑和系统掺进去切换逻辑,后者则包含线上沉浸式教学涉及的所有算法逻辑。交互脚本具体程序需依托 Unity 3D 引擎平台,结合 C# 编程语言,在虚拟场景模型中搭建 UI 界面。首先,通过整合分析收集的图片视频素材,运用 3ds Max 动画制作软件搭建贴合教学课堂实际情况的虚拟线上沉浸式教学三维模型。然后,将模型导出并转换成 Unity3D 软件需要的格式,导入 Unity3D 引擎中进行虚拟教学系统开发;最后,使用 Visual Studio Professional 编辑 C# 脚本语言,选择脚本 Option.cs 实现交互逻辑,开发相关软件以及设计系统 UI 界面。

同时,为加强学生的学习体验,在可视化的虚拟教学系统场景中,参考显示中人眼感知原理,设计学生可以通过佩戴 VR 头戴显示器,结合摄像机漫游技术,通过摄像机移动逻辑在人脑中达到教学系统场景漫游效果。此外,在线上沉浸式教学交互时,通过手指在交互触摸屏上进行操控,执行不同的交互操作,更好地观察教学系统场景内的 3D 教学模型,让学生更好地理解教学内容。

3 系统测试

3.1 测试准备

完成线上沉浸式教学系统的软硬件设计后,需要进行系统测试验证其应用性能,在土木工程专业课程教授过程中,房屋建筑学是基础专业课程,因为该课程的独特性,其具有较强的实践性,但受到学生实习条件的约束,大部分学生依旧只能通过理论化的方式获取课程知识。为帮助学生了解房屋建筑学知识,按照文中设计内容建立基于 VR 技术的房屋建筑学线上沉浸式教学系统。

在系统开发阶段,采用 B/S 架构开发教学系统,并应用 Java 语言构思系统界面框架图,制作直观、完善的线上沉浸式教学系统界面,最终得到系统主要界面组成框架如图 3 所示。

按照图 3 所示的框架,完成教学系统界面设计。为便于后续系统测试操作,将该系统发布为可执行播放文件,最终打包成为 .exe 可执行文件。考虑到开发后的系统难以直接打包为目标格式的文件,文中提出应用第三方软件进行辅助,在辅助软件中设置合理的发布参数,如图 4 所示。

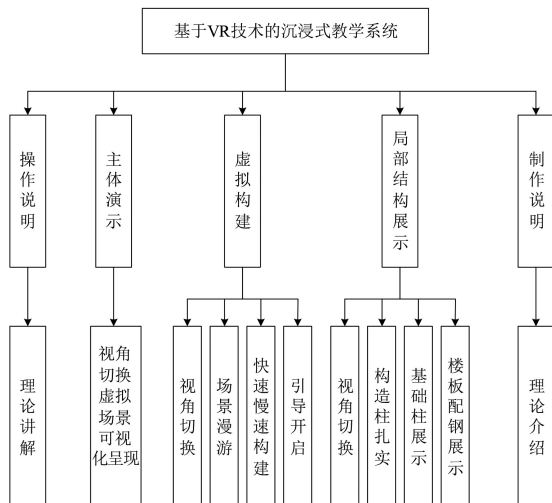
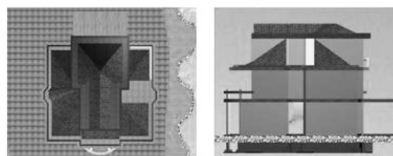


图3 系统界面设计框架图

Fig. 3 System interface design framework diagram



(a) 房屋建筑沉浸式教学模型



(b) 顶视图 (c) 右视图

图5 沉浸式教学系统场景

Fig. 5 Immersive teaching system scenario



图4 系统发布参数设置结果

Fig. 4 System release parameter settings results

如图4所示,系统发布参数设置完成后,点击指定按钮搜索目标文件,并通过生成按钮实现线上沉浸式教学系统程序打包。

从土木工程专业挑选200名学生,作为系统测试的参与人员,分别接收发布的系统文件,在自己的电子设备上安装该系统后,测试其沉浸式教学效果。

3.2 系统显示界面

教学系统运行过程中,主界面是沉浸式教学交互处理的第一步,该界面汇总房屋建筑学的主要教学方向,每个教学方向存在一个对应按钮,测试人员点击该按钮转入对应的沉浸式虚拟教学系统场景,实现线上房屋建筑沉浸式教学。教学系统显示的沉浸式教学系统场景,如图5所示。

图5(a)显示房屋建筑整体虚拟模型,为提升沉浸式教学效果,线上教学过程中需要不断切换视角,得到图5(b)、图5(c)所示的顶视角模型图和右视角模型图,便于从不同角度为土木工程专业学生讲解房屋建筑学知识。综上所述,所提基于VR技术的线上沉浸式教学系统具有可行性,可以辅助房屋建筑学教学知识的教学。

3.3 系统性能测试结果

为进一步检验教学系统的性能,在性能测试过程中,让200名学生依次登录教学系统,同步进行访问沉浸式教学系统的各项功能,最终得到不同并发数下教学系统CPU占有率变化情况如图6所示。

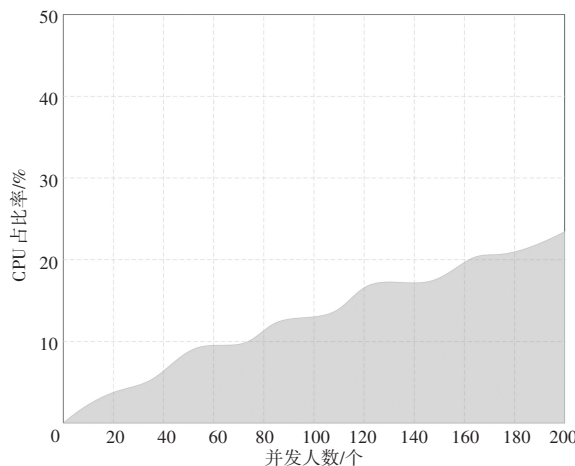


图6 不同并发数下教学系统CPU占有率变化情况

Fig. 6 CPU utilization variation in teaching system under different concurrent numbers

根据图6可知,随着并发数的不断增长,线上沉浸式教学系统的CPU占有率呈现出增长趋势,当系统并发人数高达200人时,CPU占有率最高,达到23.2%,依旧低于30%,表明所提线上沉浸式教学系统具有良好的应用性能,支持多名学生同步进行沉浸式学习。

4 结论

在线上教学不断受到重视的情况下,为了得到更好的教学效果,文中应用VR技术实现沉浸式教学,通过沉浸式交互操作,为学生提供全方位的观察角度,有利于学生更好地理解学习内容。

(下转第127页)