

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2019.04.023

欢迎按以下格式引用:张杰,陈恒鑫,王家辉.虚拟现实技术在中国古建筑教育的应用——斗拱文化体验式教学软件的设计与实现[J].高等建筑教育,2019,28(4):139-146.

# 虚拟现实技术在中国 古建筑教育的应用 ——斗拱文化体验式教学软件的设计与实现

张 杰,陈恒鑫,王家辉

(重庆大学 计算机学院,重庆 400044)

**摘要:**近年来虚拟现实技术日渐成熟,已经逐步应用在教育领域。为优化教育方式、实践教育改革,文章利用虚拟现实技术设计并实现了佛光寺斗拱文化体验式教学软件。针对佛光寺斗拱复杂度高、分辨构件难等问题,利用虚拟现实沉浸性、交互性、想象性的优势,构建一个交互式的虚拟仿真环境,让建筑类专业学生可以亲自动手参与斗拱搭建的过程。此斗拱文化体验式教学软件相较于传统的学习方式趣味度和知识保留程度更高,揭示了虚拟现实技术在古建筑教育领域使用的有效性,对传承中国古建筑文化有积极意义。

**关键词:**虚拟现实;体验式教学;古建筑;斗拱

**中图分类号:**G642.1;TU-4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2019)03-0139-08

中国古建筑以木材、砖瓦为主要建筑材料,以木构架结构为主要的结构方式。古建筑是一种文化精神的载体,古建筑教育则是对古建筑最好的保护和传承。中国古建筑有纷繁复杂、难以还原等特点,使相关课程的开展具有很高的难度,难以达到预期的效果。

山西五台山佛光寺是全国重点文物保护单位,距今有近两千年的历史,是国内现存的唯一唐代木构建筑<sup>[1]</sup>。佛光寺大殿使用了大量复杂的斗拱结构。斗拱是中国古代建筑特有的形式,由方形的斗、升、拱、翘、昂组成,是较大建筑物的柱与屋顶之间的过渡部分<sup>[2]</sup>。佛光寺大殿的斗拱构造精巧、造型美观,具有很高的艺术价值和研究价值,对了解唐代建筑有重要意义。斗拱种类很多,不同种类之间相似度高,形式和几何关系复杂,因此,文字图片形式的传统教学达不到预期的效果,而动手实践需要的材料和场地等费用又太过昂贵。

虚拟现实(Virtual Reality,VR)技术作为一门新兴技术,为教育领域提供了一个新的教育模式。

修回日期:2019-03-25

作者简介:张杰(1994—),男,重庆大学计算机学院硕士研究生,主要从事虚拟现实与计算机仿真研究,(E-mail)zhangjiezzj@qq.com。

如何利用这门新技术和媒介手段提升教学效果,是目前教育研究者重点关注的内容。为增加学生对中国传统建筑技术的理解,设计虚拟仿真软件来复原斗拱搭建的过程。相较于传统的教学模式,虚拟现实技术在教学中的应用实现了真实环境的高度还原,具有高度可视化的优点,让学生可亲自动手搭建斗拱。这种新型教学方式不仅能激发学生的学习兴趣,还减少了工程实践所需开销,同时也是将新型教育技术应用到古建筑教育领域的一个尝试,探索虚拟现实技术在教学中的应用对未来的教育模式优化具有重要意义。

## 一、虚拟现实技术在教育领域的应用

虚拟现实技术经过多年的发展,已广泛应用到教育领域,有多种教育理论支撑虚拟现实教学,包括构建学习理论中的情景化教学<sup>[3-4]</sup>、游戏化学习模式<sup>[5]</sup>等。

虚拟现实教学的主要方式是构建一个虚拟学习环境,学生在这个环境中接受知识,与虚拟物体互动,实时参与学习过程。

建筑教育注重建筑设计的可视化,是虚拟现实技术应用的重要领域。在国内已有多个高校在这方面进行了探索研究,例如,同济大学建筑规划景观虚拟仿真实验教学中心提出了以技术“基因图谱”来统一描述虚拟技术特征的方法和一套采用“有限”虚拟现实技术的应用方案<sup>[6]</sup>,探索如何利用有限的成本来建设符合教学内容和教学条件的虚拟实验,并利用这套理论搭建了“虚拟建筑认知与建造模拟实验系列(中国古建筑I)”,让学生对宁波保国寺进行构建认识与虚拟建造。

虚拟现实技术通过开创全新的学习场景、构建虚实结合的教学方法、节约教育成本等方式来促进教学工作 and 提高教学质量。河北工程大学水电学院实现了河床式水电站虚拟仿真实验<sup>[7]</sup>,利用虚拟现实技术让学生进行虚拟实习,解决了学生在实习过程中不能多视角动态观看水利枢纽、大坝、厂房等水利水电结构,无法亲自动手参与电站运行、安装和检修的问题,是虚拟现实技术在教育领域的有效应用。

## 二、虚拟现实教学与传统教学方式的结合

### (一) 将虚拟现实技术融入虚拟仿真实验平台

虚拟仿真实验是学科专业与信息技术深度融合的产物,利用计算机系统来模拟一个真实的物理系统,解决教学过程中时间、空间、人力和物理的限制。各大高校在虚拟仿真实验教学平台建设、实验教学资源建设和实验教学队伍建设及优质资源共享等方面开展了大量探索实践<sup>[8]</sup>。从仿真实验类型上看,演示型实验和验证型实验较多,而真正的交互型实验很少。虚拟现实技术的一大特征是具有虚实交互性,在虚拟仿真实验中融入虚拟现实技术可增加交互性,达到虚实互补、虚实结合的教学目的。例如,北京交通大学建立了土木工程虚拟仿真实验室,开发了隧道+地铁典型施工工法的VR模块、道路铁道工程实习现场VR模块<sup>[9]</sup>,是将虚拟现实技术融入虚拟仿真实验平台的典型代表。

### (二) 将虚拟现实技术作为多媒体教学的辅助手段

传统多媒体教学方式经过多年的发展早已成熟,在教学资源的丰富度上相较于虚拟现实技术等新型教学方式更有优势。但虚拟现实技术具有沉浸感强、趣味性高、可交互性强等优点,能激发学生的学习兴趣,提高教学质量和效果。

以建筑信息化多媒体教学为例,除了传统的文字图片等教学内容的展示外,目前极具前景的方向是使用BIM(Building Information Modeling)技术作为多媒体教学的载体,其核心思想是通过建立虚拟的建筑三维模型,利用数字化技术为模型建立完整的建筑工程信息库。建筑系学生在进行BIM软件教学的同时,可以引入虚拟现实技术来增强建筑设计的可视化程度和三维空间感,对学生的学习效果有一定的提升。例如,沈阳工业大学自主研发了土建类专业BIM与VR仿真教学平台系统<sup>[10]</sup>,在土木工程施工课教学中引入BIM与VR技术,通过VR技术的交互体验增加学生在施工管理中的实践能力和存在感,解决了新技术与传统技术的结合问题,节省了教育资源。

### 三、斗拱体验式虚拟现实软件教学环节设计

建筑系学生在学习“中国古代建筑史”时,会学习斗拱的知识。目前通常采用“课本+多媒体”的方式进行教学,然而,多媒体教学只能展示教学内容,单向传播知识,缺乏交互,导致在教学中缺乏动手实践的过程。

对于中国古建筑教学来讲,不仅要学习古建筑保护,更重要的是让学生理解和传承古建筑所承载的优秀传统技术和文化。针对古建筑的虚拟现实教学应用寥寥无几,因此,设计一个基于虚拟现实技术的教学软件来复原斗拱的搭建过程,进行斗拱教学。

先从教学环节和体验流程设计入手,遵循已有虚拟现实教学软件设计的经验,考虑虚拟现实软件与传统桌面软件的不同之处,针对虚拟现实的特点进行设计。以UE4(Unreal Engine 4)引擎为平台,创建高度拟真的虚拟学习环境,让学生在使用时有身临其境的感觉。

#### (一) 前期设计要素

**教学目的。**为使学生充分了解佛光寺斗拱的特点,掌握中国古建筑的木质结构相关知识,软件设计了学生参与斗拱搭建的场景。学生在使用过程中可以感受到中国古建筑的的魅力,了解中国古建筑的的特色构件——斗拱的搭建流程。

**学习者特点。**建筑类专业学生在学习古建筑时,往往会因为内容繁杂而缺乏学习兴趣。学生对虚拟现实技术比较感兴趣,在虚拟式的学习环境中学生会感到新颖,加入虚实互动的功能让学生对知识的记忆更加深刻。

**应用场合。**学习中国古代建筑史时,可以利用课余时间使用教学软件辅助学习,熟悉斗拱的结构,巩固知识点。沉浸式虚拟现实技术作为新型的教学手段还不够成熟,处于发展阶段,对硬件设备的要求也比较高,需要教师或其他学生指导实验者使用设备。

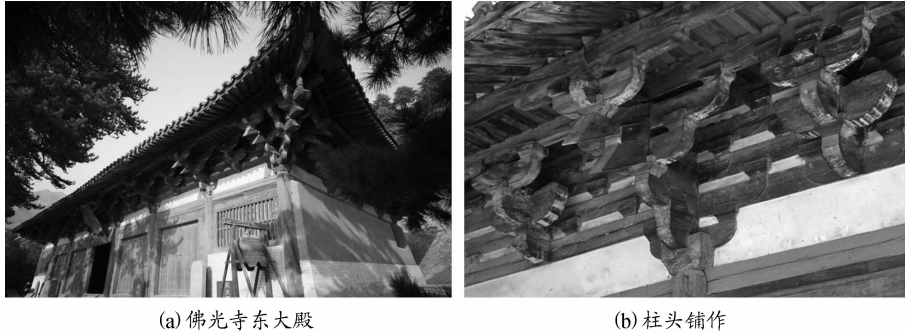
#### (二) 制定学习内容

软件主要针对佛光寺东大殿的斗拱展开(图1)。东大殿是佛光寺的正殿,在全寺最后的一重院落中,位置最高,是目前中国发现的最有份量的唐代建筑。

斗拱是学生相关古建筑的重点内容之一。为使学生更加轻松地了解斗拱的搭建流程、构件的形态与功能,使用虚拟现实技术来对文字、图片、视频等展示方式进行补充,发挥虚拟现实沉浸性、交互性、想象性的特点,使学生身临其境地参与斗拱的搭建。将佛光寺斗拱部分分离出来放置在一个特殊的区域,学生在这个区域对斗拱进行拼装学习,熟悉斗拱的搭建流程和各构件的形状、功能。

此外,软件还提供佛光寺东大殿漫游功能,学生可以进入佛光寺东大殿的虚拟场景漫游,熟悉

佛光寺的整体布局,了解斗拱在佛光寺东大殿的位置和作用。



(a) 佛光寺东大殿

(b) 柱头铺作

图1 佛光寺和其特色的斗拱

### (三) 体验流程设计

围绕斗拱搭建的过程,软件设计的整个场景采用电梯模式,下层用于输入姓名和相关信息,中间一层是详细教程,学生在此可选择是否漫游佛光寺场景,上层进入核心的斗拱搭建环节。搭建完成后,系统会显示搭建用时和评分,供学生参考。体验环节流程如图2所示。考虑到大多数学生对虚拟现实技术还比较陌生,没有使用虚拟现实相关游戏或应用的经验,故在教程环节中需要对运动控制器的使用、按键的详细功能、斗拱搭建的基本步骤进行详细说明,让学生了解如何在虚拟环境中展开交互。

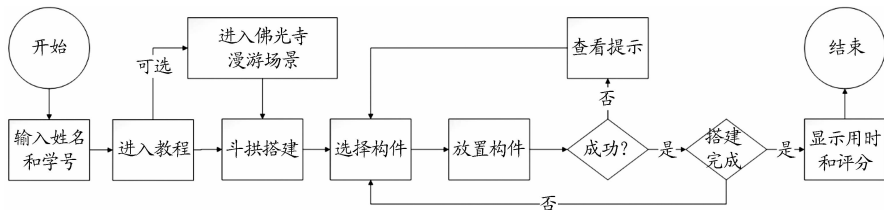


图2 体验环节流程图

### (四) 基于虚拟现实教学的设计策略

软件参考了文献[11]的叙述进行设计,利用虚拟现实技术建立仿真学习环境,来实现体验式学习。体验式学习是以学习者为中心,通过真实或虚拟地经历某一件事情或过程,并经过反思来获得知识、发展能力、生成情感的学习方式。

体验式学习相较于传统课本或多媒体等学习方式,有利于激发学习动机、增加学习者的参与感,也有利于具体经验向抽象概念转化。虚拟现实软件与传统桌面软件的不同之处是要求使用者实时参与其中,因此,提出以下用于设计虚拟现实软件的原则。

#### 1. 适当真实性和抽象性原则

虚拟现实的一大优势就是给使用者带来强烈的沉浸感,要求虚拟现实环境具有较高的拟真度,对环境的渲染要求更高,对模型要求更精细。同时,虚拟现实环境可实现在真实环境中无法实现的功能,使单人搭建斗拱成为可能。在斗拱搭建的场景中,应将使用者放置在一个高度仿真的环境,提高用户的沉浸度。将斗拱的构件按照一定比例缩小,在搭建过程中随时拖放和旋转已搭建好的部分,原地就可完成斗拱的搭建。

#### 2. 易于操作原则

沉浸式虚拟现实技术使学习与真实世界隔离开,在虚拟环境中使用运动控制器与周围物

体进行交互。交互设计不合理,易给学习者带来很大的困扰,学习者不知道如何在虚拟空间中进行场景切换,影响其学习的兴趣和积极性。在虚拟现实,应采取最常用的操作方式,并在手柄按键处添加提示信息。在斗拱搭建环节,将限制用户的移动,并添加一个教学过程,利用图标和文字信息使用户熟悉在虚拟环境中的操作。

### 3.短时间使用原则

由于虚拟现实技术的局限性,用户长时间在一个虚拟、封闭的体验式学习环境中,进行体验、观察和操作等学习活动,包括动脑、动手、肢体动作等,会产生一定的眩晕感和不适感。学习内容不宜太多和过于复杂,否则会给学习者带来较大的心理负担。模仿现实的搭建过程,不会给学习者带来过多的学习时间成本。在搭建过程中,遇到不确定的步骤时,可以随时查看提示,方便学习者操控。浏览漫游佛光寺东大殿为可选择项,仅仅是对佛光寺的整体布局留下印象,不会有过多的互动内容让学习者感到疲惫。

## 四、虚拟现实教学软件的具体实现

根据设计的内容使用 3DMax 软件完成主要的建模工作,然后利用 UE4 引擎作为软件的实现平台。UE4 引擎是虚拟现实应用中最常用的软件之一,优点是功能丰富、渲染能力强大,非常适合构建虚拟学习环境,同时该引擎支持 C++ 编程语言,适合内容和功能扩展。硬件主要使用 HTC vive 头戴显示器及高性能 PC。

### (一)佛光寺东大殿场景及斗拱模型制作

文献[12]以大觉寺的虚拟现实系统为例,详细介绍了中国古建筑虚拟现实系统实现过程中的数据采集和处理,对虚拟现实教学软件的数据收集有重要的参考意义。依照大觉寺虚拟现实系统的数据采集和贴图处理步骤进行设计,根据 UE4 引擎的特点给予适当调整。

根据现存的佛光寺资料和佛光寺实地信息,在 3DMax 软件中制作对应的模型,然后将模型文件导入 UE4 中,设计与实物对应的贴图和材质(图 3)。在 UE4 中建造地形和佛光寺东大殿周围的环境,添加光源进行烘焙,尽可能还原现实中的场景。

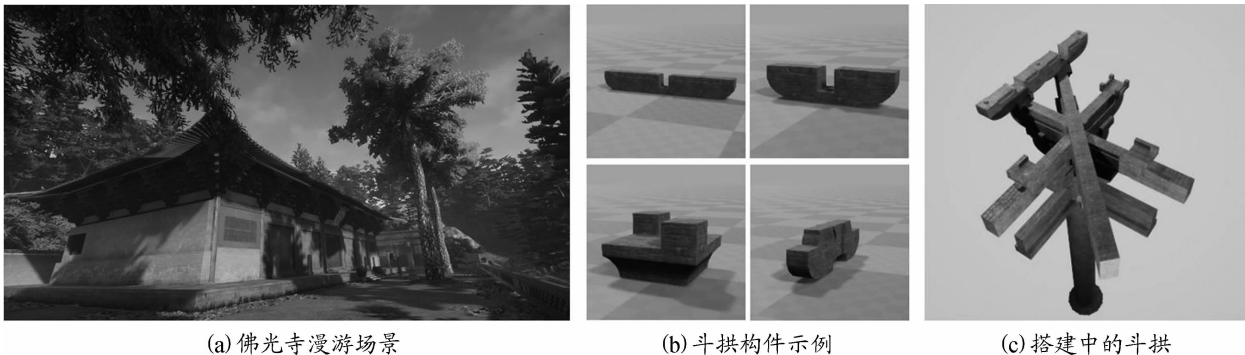


图 3 模型示例

佛光寺的斗拱是佛光寺的特色部分,也是学生学习的重点对象。佛光寺斗拱共有 7 种,选取其中具有代表性的 3 种斗拱——外檐柱头铺作、外檐转角铺作、外檐补间铺作。斗拱作为学生交互设计的主要对象,模型设计的质量直接影响学生的操作感受。佛光寺斗拱经长时间的风吹日晒,部分构件发生了一定的腐蚀。软件着重于斗拱搭建过程,注重的是斗拱的形状和结构关系,忽略因时间

引起的腐蚀和晦暗。所有斗拱均由古建筑专家提供详细资料,用于对每种构件建模和贴图材质制作。

## (二) 斗拱搭建逻辑的设计和实现

佛光寺东大殿的斗拱有多种类型,每种斗拱的搭建流程都不一样。为了反映斗拱的正确搭建流程和构件之间的正确关系,方便在不同的斗拱之间进行扩展,用 C++语言定义斗拱搭建过程中的各种逻辑关系,如图 4 所示。通过程序建模,学生能在教学环节中自己动手搭建斗拱,并能通过相应的接口分辨搭建步骤的正确与否。

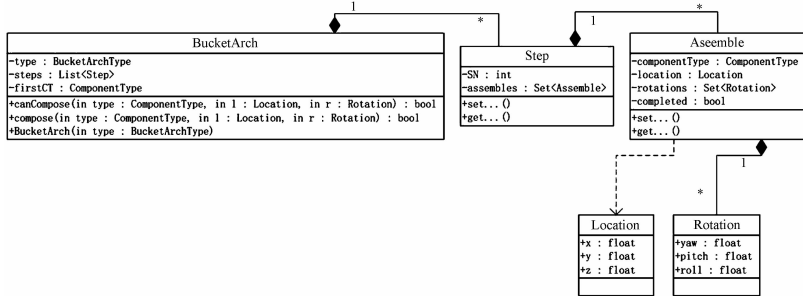


图 4 斗拱搭建设计类图

图 4 中, BucketArch 代表斗拱, Step 代表搭建步骤, Assemble 代表两个构件的关系。 Location 和 Rotation 分别用来表示构件的相对位置和相对旋转角度。对于有对称性的构件,采用多个相对旋转角度来记录构件之间的关系。同时,定义两个枚举类 BAT ( BucketArchType )、CT ( ComponentType ) 来表示不同的斗拱类型和构件类型。学生在体验时先通过枚举类选择对应的斗拱,在斗拱搭建过程中,从菜单中选出构件,调用 compose 接口判断此构件是否为当前步骤所需。学生在放置构件时,通过 compose 接口判断构件放置的位置是否正确。斗拱搭建过程比较复杂,学生在搭建过程中不知道如何放置构件而停滞不前,因此,添加提示信息相当有必要。在合适的地方存放了斗拱正确搭建过程的三维演示动画,学生在遇到困难时可以随时查看演示动画,从而使搭建过程继续下去。

## (三) 虚拟现实常用交互功能的实现

利用 UE4 引擎的蓝图可视化编程工具和 C++相结合,对重要的功能和操作进行编程设计,包括斗拱的旋转和拖拽、搭建用时和步骤的显示、斗拱构件选择菜单自动生成等,图 5 展示了虚拟现实软件中核心的斗拱搭建部分。在漫游佛光寺东大殿时,通过虚拟现实中常见的瞬移漫游方式,可有效减少学生在虚拟现实环境中发生眩晕的概率。

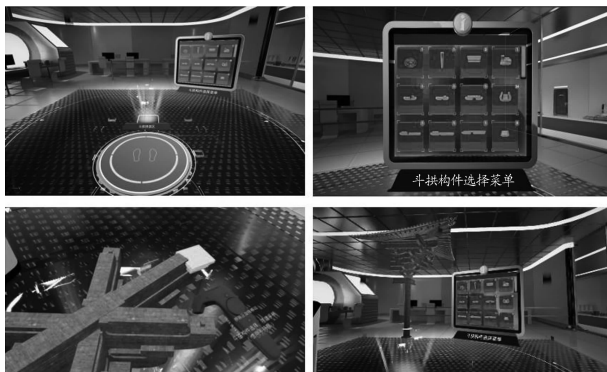


图 5 在虚拟学习场景中展示斗拱搭建过程

## 五、学生参与结果的调查分析

### (一) 调查目的和步骤

为验证虚拟现实软件对学生学习斗拱知识的教学效果,设计了一个对照传统教学方式的调查实验。

参与调查的学生共有 25 名,都是在读研究生,其中 18 名为建筑类专业学生。这些学生没有使用过或很少使用过虚拟现实设备。

学生佩戴好虚拟现实设备,按照相应的流程,先输入姓名学号,查看具体的教程,再进入斗拱搭建环节,完成斗拱搭建,记忆每个斗拱构件的名字和位置等信息。完成实验后,对每位学生进行问卷调查和知识检测。使用问卷来调查学生对虚拟现实软件的体验感受和教学评价。知识检测的内容分为两类,一类是识别不同的构件,包括构件的名字和形状,另一类是斗拱在搭建过程中所在步骤及与其他构件之间的相对关系。

按照传统的多媒体教学方式设置对照组,利用纸质资料和斗拱搭建的演示动画来进行教学。学生用相同的时间学习相关的斗拱知识,最后完成相同内容的知识检测。

### (二) 调查结果反馈

大多数学生对虚拟现实教学方式的评价是积极的,相较于传统方式有更浓的学习兴趣。通过记录答题正确次数和正确率(图 6、表 1)来反映学生的学习效果,以单因素方差分析(表 2)检验两种教学方式在答题正确率上的差异,可知虚拟现实教学中学生的答题正确率显著高于多媒体教学的正确率,验证了虚拟现实技术对古建筑教育的推动作用。

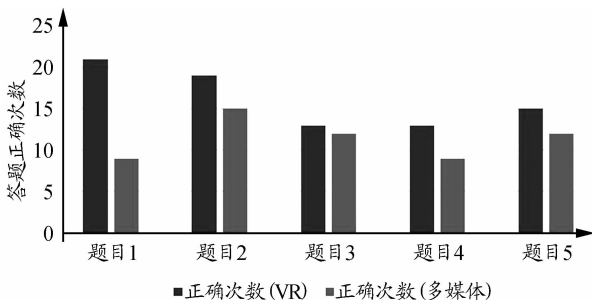


图 6 斗拱搭建知识点检测结果

表 1 答题正确率结果统计

分组	观测数	求和	平均	方差
正确率 (VR)	5	3.24	0.648	0.021
正确率 (多媒体)	5	2.28	0.456	0.010

表 2 统计结果方差分析

差异源	SS	df	MS	F	P 值	F crit
组间	0.092	1	0.092	5.908	0.041	5.318
组内	0.125	8	0.016			
总计	0.217	9				

## 六、结语

构思、设计用于中国古建筑教育的佛光寺斗拱搭建体验式教学软件,提供给建筑专业学生学习使用。软件充分利用了虚拟现实在视觉效果和交互性上的优势,构建了一个体验式、沉浸式的学习环境。针对繁多的斗拱种类和复杂的拼接步骤和细节,设计了具有高还原度的斗拱搭建交互过程,

使斗拱这一中国古建筑元素在虚拟现实环境下得以重现。在下一步的工作中,将软件应用于一般类建筑,实现更多功能、更多角度的交互设计,设计一套科学的评分系统来辅助教学活动的开展,进行结果测评,使这个软件成为建筑系仿真实验教学的高度集成体。

#### 参考文献:

- [1] 梁思成.记五台山佛光寺的建筑——荟萃在一寺的魏、齐、唐、宋的四个孤例;荟萃在一殿的唐代四种艺术[J].文物, 1953(Z1):76-89.
- [2] 殷亚静,李冬.斗拱的演变及中国古代建筑形式探微[J].中国建筑装饰装修,2010(5):198-200.
- [3] PAN Z P, CHEOK A D, YANG H W, et al. Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments[J]. Computers & Graphics, 2016(30):20-28.
- [4] YACOB A B, SAMAN M Y B, YUSOFF M H B. Constructivism learning theory for programming through an e-learning[C]// 2012 6th International Conference on New Trends in Information Science, Service Science and Data Mining (ISSDM2012), Taipei, 2012: 639-643.
- [5] KIILI K. Digital game-based learning: Towards an experimental gaming model[J].The Internet and Higher Education, 2005 (8):13-24.
- [6] 孙澄宇,许迪琼,汤众.在线虚拟实验在建筑教育中的技术应用方案讨论与效果评估[J].实验技术与管理,2017,34 (1):10-15.
- [7] 尹红霞,王一新,简新平.虚拟仿真系统在水电站教学中的应用研究[J].高等建筑教育,2016,25(2):171-173.
- [8] 王淑婧,贺行洋,邹贻权,等.土建类虚拟仿真实验教学资源持续建设与实践[J].高等建筑教育,2018,27(5):159-165.
- [9] 陈剑为,田君华,陈曦,等.土力学虚拟仿真实验模块的开发与建设[J].高等建筑教育,2018,27(6):155-160.
- [10] 陆海燕,鲍文博,宁宝宽,等.BIM与VR技术在土木工程施工教学改革中的探索与实践[J].高等建筑教育,2018,27 (5):127-131.
- [11] 钟正,陈卫东.基于VR技术的体验式学习环境设计策略与案例实现[J].中国电化教育,2018(2):51-58.
- [12] 孙悦,鲍泓,马楠.中国古建筑虚拟现实系统的数据采集和处理[J].北京联合大学学报(自然科学版),2008(3):40-43.

## Application of virtual reality in Chinese ancient architecture education: Design and implementation of experiential teaching soft of bucket arch culture

ZHANG Jie , CHEN Hengxin, WANG Jiahui

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

**Abstract:** In recent years, virtual reality technology has become increasingly mature and has gradually been applied in the field of education. In order to optimize the education mode and practice education reform, the article uses virtual reality technology to design and implement a bucket arch culture experiential teaching application for the famous ancient architecture Foguang Temple. The components of the bucket arch have the characteristics of high complexity and difficulty in distinguishing. Because of the immersive, interactive, and imaginative advantages of virtual reality, architectural students can participate in the process of bucket arch construction in the virtual environment. The results of student participation show that the bucket arch learning virtual reality platform is higher than the traditional learning mode in interest and knowledge retention. It reveals the effectiveness of virtual reality in the field of ancient architecture education and has positive significance for inheriting ancient Chinese architectural culture.

**Key words:** virtual reality; experiential teaching; ancient architecture; bucket arch construction

(责任编辑 周沫)