

虚拟现实（VR）技术在馆藏古琴保护修复中的应用研究

王宜飞^{1, 2} 孙 嵩³ 赵雄伟⁴

（1. 科技考古与文物保护利用湖南省重点实验室，湖南长沙，410005；2. 湖南省博物馆，湖南长沙，410005；3. 上海大学文化遗产与信息管理学院；4. 重庆中国三峡博物馆，重庆，400015）

摘要 本文介绍了VR技术特点和在文物保护修复中的应用现状，并以湖南博物院馆藏明代古琴“宝裘”为例设计、开发古琴修复VR系统。该系统依托HTC Vive VR眼镜设备，根据文物真实病害和文物修复实际操作步骤，虚拟实现古琴文物修复流程，通过文字和语音提示引导文物修复模拟练习，可为文物修复人才培养提供规范、高效的支撑，还为培养公众文物保护意识提供了全新的虚拟现实平台，为数字技术在文物领域的创新应用提供了崭新思路和实践参考。

关键词 VR 古琴 保护修复

引 言

虚拟现实（virtual reality，VR）综合了计算机图形学、计算机仿真技术、多媒体技术和传感技术等，通过对真实的客观世界进行模拟再现，创造出一个逼真的，具有视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉的感官世界；而且还可以通过感觉、语言、手势等方式进行交互式操作，让用户在虚拟现实世界体验到最真实的感受^[1]。VR具有沉浸性、交互性、多感知性、构想性、自主性的特征。

目前VR在诸多领域已经开展实际应用研究和开发，以医学行业为例，张翠翠^[2]探讨了VR相较于医学传统教学的优越性。李琳等^[3]分析VR技术应用于真实医疗临床教学的可行性与具体设想，提出将VR技术适当地应用于医学教学将为医疗教育事业改革提供新的思路与借鉴。杨凯等^[4]研发基于实时VR和体感控制技术的具备远程查房、远程诊断、自助消毒等功能的医疗辅助机器人“守护白衣”。

在文化遗产保护领域，洪秋月^[5]认为VR技术应用于文物保护具有打破传统保护方法局限性、实现更好的保护效果、融合更多感官参与体验的优势。李德仁^[6]提出VR技术有助于增强文物遗产保护效果、有助于丰富文物遗产的展示机会、在文物遗产保护中突破时间空间局限。刘祥森、刘艳玲^[7]阐述了采用数字化保护傩文化的方法以及虚拟现实技术的优势，提出了利用虚拟现实技术保护傩文化的解决方案。张彬^[8]利用VR技术提高上海市青浦区青龙镇出土文物的信息传递效率和影

响力，对参观者进行系统性的青龙镇文物介绍，充分了解青龙镇的历史文化底蕴。崔英来^[9]运用VR技术实现对文物进行数字化修复，提高文物展出率及展出效果，优化提升文物保护技术手段。综上所述，将VR应用于文物保护修复领域具有技术领先优势和实践基础。

古琴，又名七弦琴，是中国最古老的弹拨乐器之一，有着3000多年的历史，作为“琴棋书画”四艺之首，它以其宁静空灵的音色和古朴的风格受到历代文人的青睐，对文人阶层的生活方式产生了持久而广泛的影响。本文以湖南省博物馆藏明代古琴“宝裘”为研究对象（图1），首次将VR应用于可移动文物修复过程的模拟，为VR的创造性发展和创新性转化开拓一个崭新的应用场景。

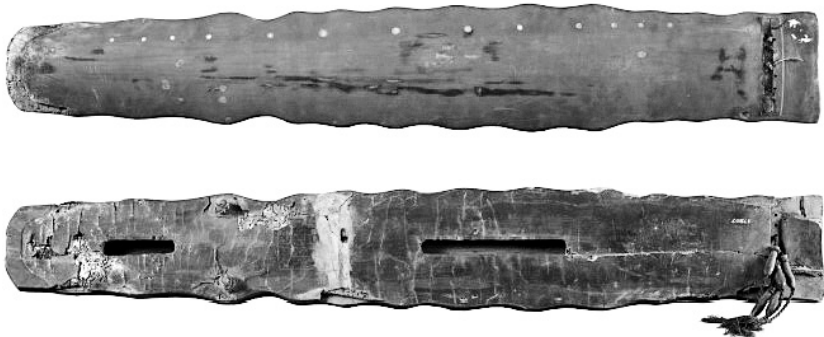


图1 湖南省博物馆藏明代古琴“宝裘”修复前照片

1 馆藏古琴“宝裘”修复VR系统的研发

1.1 技术选型

系统前端框架使用Unity3D平台和C#框架，该框架可持续性好、功能丰富、能够满足项目功能、性能、稳定性等方面的综合需求。后端框架采用微服务架构，便于采用敏捷开发模式，快速迭代，便捷维护，在实际应用中，可以通过后端提供多样化的修复工具替代选项，丰富使用体验。对于数据库，遵循稳定可靠、可扩展和安全性原则，选取MySQL标准版数据库，以满足系统数据存储的功能和性能需求。

上述技术选型均为目前主流的应用系统开发选型，性能成熟、可靠，且最终提供的功能交互效果符合用户的使用习惯。按照开放、标准的RESTful API规范（即用URL定位资源、用HTTP动词GET、POST、PUT、DELETE描述操作）进行数据接口的设计和开发，通过统一标准的JSON API实现系统间的数据对接与共享，能够保证在系统建成后，系统功能的增加和优化不会导致系统结构的重大调整。同时上述技术选型均为目前较为成熟可靠的技术方案，经历过大量的大型企业信息化实施的检验，具有极高的技术可行性。

1.2 硬件配置

HTC Vive VR眼镜是馆藏古琴“宝裘”修复VR系统的硬件基础，能够为系统实际应用效果和体验提供良好的技术支撑。HTC Vive VR眼镜具体配置见表1。

表1 硬件配置	
产品类型	外接式头戴VR设备
分辨率	双眼：2160×1200；单眼：1080×1200
刷新率	90fps
追踪范围	3.5m×3.5m
控制器	体感控制器×2
主要性能	位置追踪的游戏控制器，Steambox主机，内置陀螺仪、加速度计和激光定位传感器，360°定位覆盖。提供一个新的Vive Phone Services的功能，可以接听回拨电话、传讯息与日历的功能

1.3 技术路线

1.3.1 馆藏古琴“宝裘”三维建模

VR技术的核心是在虚拟的数字空间中模拟真实世界中的事物，这就需要一个逼真的三维模型作为信息展示的载体。首先对湖南博物院馆藏明代古琴“宝裘”进行三维建模，建模过程包括三维数据采集（图2）、三维模型制作（图3）。



图2 馆藏古琴“宝裘”三维模型数据采集现场



图3 纹理贴图后的馆藏古琴“宝裘”三维模型

根据采集现场和文物体积、大小、质地等条件，在合理搭建的扫描和拍摄环境中，利用手持激光扫描仪和结构光扫描仪采集文物点云数据，通过摄影获取文物影像数据。利用3DS MAX软件，根据微米级三维模型成果的精度要求，计算和定义每个中间成果的理论精度，制定原始数据预处理、模型UV编辑、模型贴图映射等流程的标准和规范，并通过严格控制数据处理过程每一步的工

艺操作，完成高保真、高精度的古琴三维模型制作。

1.3.2 古琴修复材料、工具动画制作

使用3DS MAX软件，制作修复过程中需要用到的材料工具模型，并为部分道具提供动画功能，为虚拟现实修复系统提供更加生动的操作体验。

1.3.3 逻辑交互功能开发

使用引擎的烘焙系统，将制作好的场景模型进行打光渲染，提升画面渲染流畅度，保证系统运行的稳定性。

使用引擎粒子系统，制作特效动画，丰富场景的画面感，同时有效吸引修复人员的注意力，引导修复人员按照修复步骤使用修复工具，并提高修复人员对修复步骤的理解及记忆。

使用引擎的物理碰撞系统，让VR设备理解修复人员的每一步操作，并进行反馈。当修复人员使用手柄拿起修复工具、使用修复材料时，物理碰撞系统可以检测到手柄对虚拟环境中的工具使用情况，方便修复人员模拟修复古琴，并在使用不同的修复工具后展示相应的修复效果。

1.3.4 VR设备调试

将虚拟现实修复系统安装到主机中，将VR设备和主机进行连接，安装调试定位器，测试系统运行是否正常，虚拟修复逻辑及反馈是否合理，根据不同情况重新调整系统参数。

上述技术路线如图4所示。

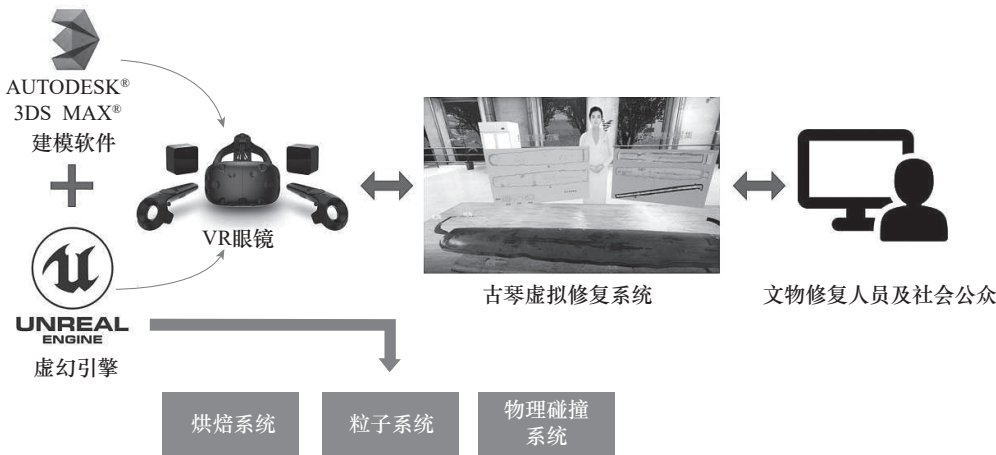


图4 馆藏古琴“宝裘”修复VR系统技术路线图

2 馆藏古琴“宝裘”修复VR系统的功能

馆藏古琴“宝裘”修复VR系统功能模块如图5所示。

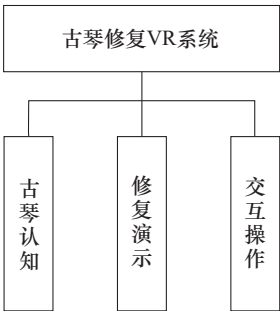


图5 馆藏古琴“宝裘”修复VR系统功能模块示意图

2.1 古琴知识认知

对古琴基础知识的充分认知，是开展古琴修复工作的基础，也是确保修复效果、修复质量的必要前提。系统依托HTC Vive VR眼镜设备和虚拟现实技术，使用户能够借助沉浸式体验方式，了解和学习古琴相关基础知识（图6），并以“宝裘”为例，查看古琴病害状况和内部结构（图7），为后续操作做好前期知识储备。



图6 古琴基础知识介绍

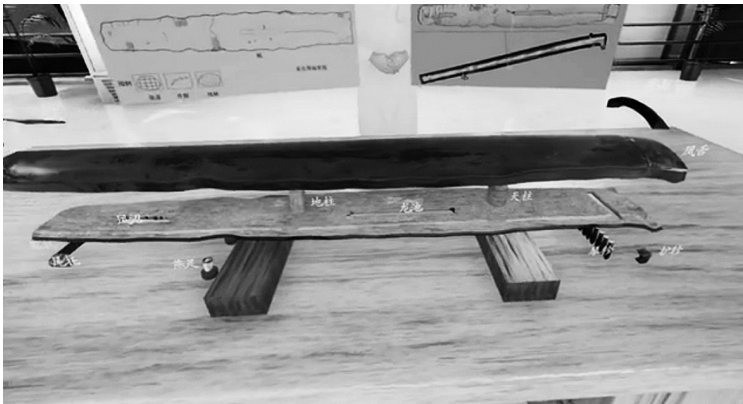


图7 古琴病害及内部结构展示

2.2 古琴修复演示

鉴于现实条件下社会公众对馆藏古琴修复工作的了解程度不足，部分缺乏经验的修复人员也可能存在操作不规范性的问题。因此，该VR修复系统以湖南省博物馆藏明代古琴“宝裘”的修复过程作为虚拟修复案例，按照标准、规范的操作流程，展示完整的古琴修复工作流程和操作流程，实

现对古琴修复基本知识和技能的经验、教育和指导，帮助用户初步掌握整个修复过程，为后续交互操作提供参考。

2.3 古琴修复交互操作

实践是提升学习效果的最佳手段。在古琴修复虚拟练习过程中，使用者可按照文字提示和语音解说，通过VR眼镜设备的操作手柄进行古琴修复交互操作。在系统识别出相应文物病害后，使用者可以跟随文字和声音提示，利用虚拟修复台上的修复工具和材料，按照实际修复流程分别模拟清洗、加固、补配、补灰、打磨、上漆、研磨等修复步骤，并且查看虚拟修复操作的效果，从而获取真实的沉浸式文物修复体验（图8~图13）。



图8 虚拟修复工作台



图9 古琴文物病害识别



图10 修复步骤——清洗



图11 修复步骤——补灰

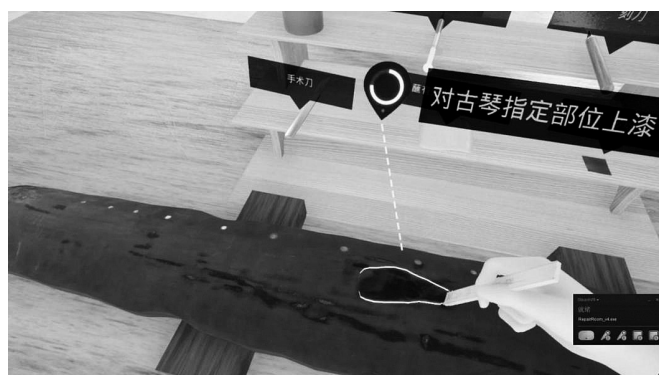


图12 修复步骤——上漆



图13 修复步骤——打磨

3 馆藏古琴“宝裘”修复VR系统的应用

在该系统实际使用过程中，用户首先需要佩戴好VR眼镜，初入场景时，系统将提供操作示意图，引导用户快速上手。接下来，用户可跟随虚拟操作台上的文字和语音讲解，使用操作手柄，选择修复工具和材料，进行交互操作。简短的文字配合语音讲解的方式，能够避免用户因为长时间聚焦于文本出现疲劳和眩晕等可能症状。通过VR系统，用户将获得身临其境的修复体验，相较于传统图文、视频而言，实践性极强。用户在实践中将获得来自系统的反馈，更能充分激发学习和体验的兴趣。

2020年5月，该系统上线重庆中国三峡博物馆三峡文物科技保护基地科普数字体验馆。围绕古琴文物的价值认知、古琴保护修复技术等，通过沉浸式虚拟体验，向公众完整、系统地展示古琴文物修复全过程，传播文物保护理念、知识，让公众在保护文物的过程中了解历史，传承中华优秀传统文化（图14）。



图14 观众体验馆藏古琴“宝袭”修复VR系统

该系统典型应用场景包括公众文物修复体验活动、文物修复师的培训、练习和技能考核，而且在三种不同模式下，系统所提供的修复操作精度和知识深度不同，能够满足不同场景下用户的不同需求。

第一，公众可利用系统学习古琴文物基础知识，并以沉浸式的方式亲身体验古琴文物修复过程，满足好奇心，培养文物保护意识，弘扬和培育民族自豪感、自信心。

第二，文物修复师是从事文物本体历史、艺术与科学价值研判，保存状况分析，并进行加固、清洗、补全、表面封护等工作的人员。修复师可根据系统演示学习修复过程并实际操作，系统将对操作结果予以评估，帮助修复师提高文物修复工作熟练程度，在积累文物修复经验、提高文物修复质量的同时，降低文物保护性损害的风险。截至2016年10月31日，按照可移动文物保存状态统计，腐蚀损毁严重、急需修复的为1134956件，数量占比1.81%；部分损腐，需要修复的为23222812件，数量占比37.12%^[10]。而在2015年开展的首次全国文博系统关于文物修复师的调研中，92%的单位认为文物修复师配备不足。文物修复人才数量短缺和培养困难可见一斑，本系统不受场地的限制，在营造培训的真实感与临场感的同时，缩短修复培训周期，降低修复培训成本，从而实现更大规模更多受众的重复性、实时化的文物修复专业教育培训^[11]。

按照人力资源和社会保障部颁布的《文物修复师国家职业技能标准（2021年版）》，文物修复师职业等级分为五个等级：五级、四级、三级、二级、一级。对修复师职业等级进行鉴定时须进行技能考核，技能考核主要采用现场操作、模拟操作等方式进行，主要考核从业人员从事本职业应具备的技能水平^[12]。现场操作可能会受到修复对象、材料、工具、设备等条件限制，而采用虚拟修复系统则不存在上述问题，尤其是可以做到修复对象的一致性，这在现实条件下是无法实现的，从而确保考核的客观性和公正性。

结 语

馆藏古琴“宝裘”修复VR系统依托HTC Vive VR眼镜设备,根据文物真实病害情况和文物保护行业竹木漆器类文物保护修复相关规范、内容、要求,模拟现实中的可移动文物修复流程。通过文字和语音提示引导文物修复模拟练习,将三维建模技术和VR技术应用于文物修复教育和体验中,不仅为可移动文物修复人才培养提供规范、高效的支撑,还为公众文物保护意识培养提供了全新的虚拟现实平台,也能够为其他材质可移动文物修复的虚拟体验与培训、教学提供借鉴,为数字技术在文物领域的创新应用提供崭新思路和实践参考。

未来,以VR为代表的MR、AR等数字技术,将被更广泛地应用于可移动文物保护修复技艺体验教学传承、文物制作工艺复原研究和文物数字化展示利用等方向,将为中华优秀传统文化的保护传承与传播带来全新变革。

参 考 文 献

- [1] 周鼎. VR技术在地震后文物建筑修复设计中的应用 [J]. 兰州理工大学学报, 2011, 37: 306-310.
- [2] 张翠翠. VR虚拟仿真技术在医学教学中的应用 [J]. 科教文汇 (下旬刊), 2021 (18): 116-117.
- [3] 李琳, 王金平, 黄力. 基于VR技术再现真实医疗应用于临床教学的探讨 [J]. 中医教育ECM, 2020, 39 (1), 78-81.
- [4] 杨凯, 武斌, 徐楚, 等. 基于实时VR和体感控制的医疗辅助机器人——“守护白衣” [J]. 物联网技术, 2021, 11 (9): 2, 228-229.
- [5] 洪秋月. 探讨VR技术在文物保护工作方面的应用 [J]. 中国民族博览, 2019 (7): 228-229.
- [6] 李德仁. 虚拟现实技术在文化遗产保护中的应用 [J]. 云南师范大学学报 (哲学社会科学版), 2008, 40 (4): 1-7.
- [7] 刘祥森, 刘艳玲. 虚拟现实技术在雒文化保护中的应用 [J]. 萍乡学院学报, 2018, 35 (6): 85-88.
- [8] 张彬. 虚拟现实技术在文物遗产保护和博物馆教育中的应用研究 [J]. 计算机产品与流通, 2019 (4): 185.
- [9] 崔英来. 虚拟现实技术在文物博物行业中的作用 [J]. 决策探索 (下), 2018 (7): 16-17.
- [10] 国务院第一次全国可移动文物普查领导小组办公室, 国家文物局. 第一次全国可移动文物普查数据公报 [N]. 中国文物报, 2017-04-08 (003).
- [11] 张晓彤, 詹长法. 万古传物 百年树人——浅谈文物修复人才现状及教育 [J]. 遗产与保护研究, 2016, 1 (1): 122-125.
- [12] 张影. 文物行业首个职业技能标准颁布 [N]. 中国文化报, 2021-10-20 (001).