DOI：10.19789/j.1004-9398.2025.06.011
文献引用：栾浩宇，董恒硕，郭苏嘉，等．基于WebVR的虚拟在线展览实现方法[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2025，46（6）：79-87.
LUAN H Y，DONG H S，GUO S J，et al. Implementation method of virtual online exhibition based on WebVR [J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2025，46（6）：79-87.

基于WebVR的虚拟在线展览实现方法*

栾浩宇[1]，董恒硕[2]，郭苏嘉[1]，杨焕瑜[1]，员雅丽[1**]

（1. 首都师范大学历史学院，北京　100048；2. 首都师范大学资源环境与旅游学院，北京　100048）

摘要：基于网页的虚拟现实技术（WebVR）具有广泛的应用前景。本研究基于开源的A-Frame框架，提出一种兼容多平台、信息传递高效且互动体验丰富的虚拟线上展览实现方法。本研究开发了：（1）具备在线展示与教育功能的“多功能虚拟展柜”和“自动语音导览”模块；（2）体现WebVR沉浸式交互优势的“壁画拼接与修复”“虚拟编钟演奏”等互动体验项目；（3）自动化的图形性能测试与显示效果优化工具；（4）适用于主流设备平台的多种交互与控制方法；（5）支持内容开发者收集用户反馈并开展观众行为分析的技术支持。总体而言，该方法兼具实用性与可推广性，能够在可控成本下以普惠、高效、均衡的方式为公众提供优质在线公共文化服务。

关键词：数字博物馆；虚拟现实；在线展览
中图分类号：C28；K85　　**文献标志码**：A

Implementation method of virtual online exhibition based on WebVR*

LUAN Haoyu[1]，DONG Hengshuo[2]，GUO Sujia[1]，YANG Huanyu[1]，YUN Yali[1**]

（1. School of History，Capital Normal University，Beijing　100048；2. College of Resource Environment and Tourism，Capital Normal University，Beijing　100048）

Abstract：Web-based virtual reality（WebVR）holds great promise for a wide range of applications. This study presents a method for implementing virtual online exhibitions using the open-source A-Frame framework，characterized by cross-platform compatibility，efficient information delivery，and rich interactive experiences. The following functional modules were developed：（1）a multi-functional virtual showcase was created to support online display，while an automatic voice-guided tour module was designed to enhance educational engagement.（2）Interactive experiences such as mural splicing and restoration，as well as virtual chime-bell performances，were developed to highlight the immersive and interactive advantages of WebVR.（3）Automated tools were implemented for graphics performance testing，alongside modules for optimizing display quality.（4）Multiple interaction and control methods were tailored to ensure compatibility with mainstream device platforms.（5）Technical support modules were introduced to help content developers collect user feedback and perform audience behavior analysis. Overall，the proposed method offers both practicality and scalability，

收稿日期：2024-08-10
*北京市属高校教师队伍建设支持计划优秀青年人才项目（BPHR202203134）
**通信作者：yaliyun@cnu.edu.cn

making it possible to deliver high-quality online public cultural services in an inclusive, efficient, and balance manner while keeping costs manageable.

Keywords: digital museum; virtual reality; online exhibition

CLC: C28; K85 **DC**: A

0 引 言

当今的博物馆已发展成为集收藏、保护、教育、研究与文化交流等多种功能于一体的综合性平台,在文化传播与社会教育中扮演重要角色。然而,长期以来,博物馆公共文化服务的开展主要依赖于“固定地点+观众来访”的模式,这种固有模式为博物馆职能的发挥带来了诸多制约性因素,如展览空间固定且有限、建设与运营成本高昂、地区间文化资源失衡加剧以及互动性展示手段不足等[1-3]。

随着相关技术的不断发展与完善,虚拟现实(virtual reality, VR)展览逐渐受到学界关注。其在时间与空间上的高度自由性,拓展了博物馆线上展览的技术手段与应用场景,为在线公共文化服务提供了新的平台。在信息化、智能化技术日益深入生活的背景下,推动VR技术在博物馆领域的应用,有望打破传统展陈模式所带来的诸多限制,进一步契合当今社会的发展趋势,促进传统博物馆的数字化转型,借助计算机网络技术实现公共文化资源的高水平、普惠性共享。

VR是一种以计算机技术为核心,结合多种相关科学,用于生成高度拟真的数字化虚拟环境的技术体系[4]。进入21世纪以来,尽管VR技术的商业化进程不断加速,但高昂的开发与应用成本仍是制约其大规模推广的主要障碍。以浏览器为通用载体,将基础的VR体验普及至一般设备,是网页VR技术(WebVR)诞生的初衷。广义上的WebVR是指基于网页浏览器实现VR体验的一类技术;而在狭义上,尤其是开发者语境中,WebVR通常特指一类基于WebVR应用编程接口(application programming interface, WebVR API)开发的应用。WebVR应用不仅可以将画面输出至专用的VR或增强现实(augmented reality, AR)显示设备,也能够在传统终端设备(如电脑和手机)上提供非沉浸式的三维图形界面。目前,基于Chromium、WebKithe和Mozilla Quantum等主流内核构建的浏览器均已对WebVR API提供了良好的兼容支持。广泛安装上述浏览器的设备能够如同访问普通网页一样直接在浏览器中运行WebVR应用。对广大博物馆潜在观众而言,该技术显著降低了访问VR内容的设备门槛与学习成本;对在线展览的运营方和开发者而言,WebVR也能大幅减少因设备差异所产生的适配开发成本。总的来说,WebVR具备低成本、强兼容等显著技术优势,是构建面向未来的博物馆虚拟线上展览的理想技术途径,有助于实现低门槛、多终端的沉浸式展览体验。

WebVR技术也在不断地完善,开发者在性能分析[5]、网络传输优化[6-7]、任务卸载算法[8]及多媒体内容支持[9]等方面做了大量研究,持续提升经济性和灵活性,强化了低成本与强兼容性的核心优势。基于WebVR技术的应用案例持续涌现,如远程在线教育[10-11]、多人在线协同[12]、医学影像显示[13-14]和地理信息系统[15]等领域。值得注意的是,WebVR技术在线上文化传播和展览领域的应用潜力得到了更加广泛关注:Chotrov和Bachvarov[16]提出了一种基于WebVR技术的“网络文化遗产在线呈现框架”;张柏林等[17]基于A-frame框架开发了泰安市博物馆在线虚拟博物馆;杨学瑜等[18]基于WebVR技术设计了大运河文化遗产体验系统;陈宇锋[19]基于WebVR技术设计了题为“良渚文化文明之光”的虚拟主题展览;陈枫和王峰[20]在故宫博物院推出了“全景故宫”“朱棣建造紫禁城VR沉浸式体验馆”等一系列在线体验项目[20]。

当前,WebVR还存在与实际应用环境脱节、未能充分发挥该技术路线独特优势等问题。例如,未针对不同设备平台设计适配的移动与交互控制系统,未考虑设备性能差异而采用统一的画面设置,仅将三维模型简单置于虚拟空间中而忽视交互功能开发等。本研究所提出的方法聚焦于WebVR虚拟线上展览相关功能的开发,旨在充分发挥WebVR的跨平台优势,构建一种兼具多平台兼容性、高效信息传递与优质交互体验,具有一定推广价值的虚拟线上展览实现方法。

1　技术路线

1.1　文物模型采集和处理

数字化文物模型及相关媒体资料是WebVR虚拟线上展览的主要展示对象。对于互联网上已有开源资料的文物,可直接下载其三维模型,并转换为.glb或.obj格式文件;而针对无公开三维模型的文物,则可通过多种手段进行三维重建。常用的技术路线包括人工手动建模、三维激光扫描建模以及基于摄影测量的三维重建等。本文主要采用摄影测量的方法获取文物展品的三维模型,同时借助如Blender等三维建模软件进行进一步调整与优化,进行裁剪文物主体以外的多余部分、调整材质光泽、编辑纹理贴图等操作,力求尽可能真实地还原文物的原始面貌。还需为所有文物模型制作多个版本,使其分别具有不同的网格密度与纹理分辨率,以适配不同的应用场景与设备性能。

1.2　前后端软件架构

作为一种在线应用程序,WebVR应用的开发与运行通常遵循浏览器/服务器(browser/serve,B/S)架构。B/S架构的系统通过超文本传输安全协议向用户端分发应用界面,使得应用无需依赖专用客户端即可运行,从而显著降低开发、部署和维护的成本。同时,得益于主流浏览器对网页图形库(web graphics library,WebGL)API和WebVR API的广泛支持,该架构具备优异的跨平台兼容性,能够适配桌面端、移动端及各类扩展现实设备。

本研究设计的系统架构见图1,划分为服务器与浏览器(用户端)程序2个部分。服务器程序主要负责数据库管理、媒体资源存储与分发、用户请求处理及实时通信等功能,以便为用户端程序提供稳定高效的数据支持与服务保障。浏览器程序为基于A-Frame框架开发的WebVR在线应用。A-Frame是由Mozilla推出,并由开源社区维护的一种基于Three.js、WebGL和WebVR API构建的开源VR框架,使开发者能够通过超文本标记语言(hypertext markup language,HTML)标签定义三维场景结构,快速搭建虚拟环境与动画效果。开发者可通过JavaScript对A-Frame组件进行灵活控制或自定义功能模块,还可直接调用底层的Three.js API以实现复杂的用户交互逻辑和动画效果等,从而满足VR应用开发中的多样化需求。在本研究中,基于A-Frame框架开发的各类模块可进一步划分为支持性模块与功能性模块。支持性模块主要面向系统性能与用户体验优化,例如通过性能测试与画面预设调整,确保程序在不同设备上的流畅运行、为用户提供与其设备形态相匹配的交互与控制方式等。功能性模块则围绕博物馆展览内容需求进行设计开发,涵盖虚拟环境搭建、展品三维模型展示、视频语音讲解、观众交互体验设计和用户行为数据采集等,旨在全面支撑博物馆虚拟线上展览体验的实现与优化。

2　功能实现

2.1　图形性能测试和显示效果优化

为了在视觉效果与设备性能之间取得平衡,确保本程序能够在尽可能多的设备上流畅运行,本方法设计了一套自动检测设备图形性能并动态调整

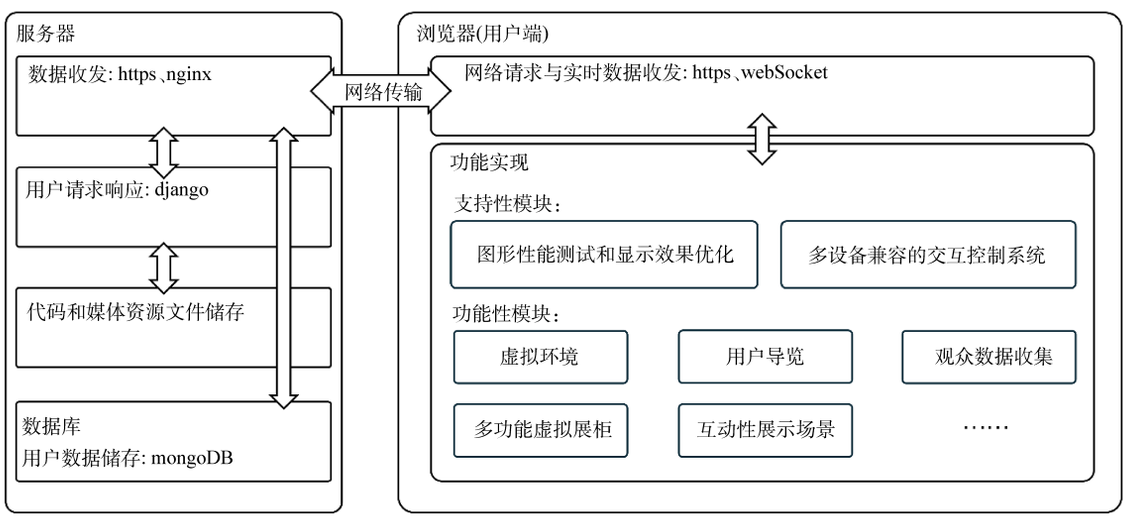


图1　基于浏览器和服务器结构的系统架构示意

画面预设的程序逻辑。程序流程包括检测设备显示刷新率上限,运行图形负载模拟测试,输出性能测试结果和自动调整画面预设4个步骤。程序首先在无模型加载的环境下测量设备的最高渲染帧率,并将其向上取整后定义为fps-max,同时设定其90%为图形性能测试的合格标准fps-pass。这一步骤旨在确定显示设备的实际刷新率上限,并据此为后续性能等级评估设定基准值。图形负载模拟场景由JavaScript脚本控制预设的测试模型和光源依次加载,以模拟逐渐增加的图形渲染压力。完整测试流程的程序逻辑见图2。在上述测试过程中,程序将按照性能开销递增的次序依次模拟5万和15万三角面,以及4个额外点光源照射下的15万三角面模型的渲染压力。随着图形负载的增加,部分设备可能出现帧率下降或画面卡顿现象。当JavaScript脚本检测到实际渲染帧率低于fps-pass标准时,程序将记录此时对应的性能等级,性能等级越高代表画面效果越精细,同时对设备性能要求也越高。测试完成后,在用户参观过程中,程序将依据测得的性能等级动态控制模型细节、光照数量等渲染要素的加载策略,以在保障画面流畅和用户体验舒适的前提下,尽可能呈现高品质的视觉效果。

2.2　多设备兼容的交互和控制系统

为市面上繁杂的设备提供兼容支持是基于WebVR技术实现普惠性线上虚拟展览的基本要求,同时这也为交互和控制系统的设计带来了较大挑战。根据观众所使用的设备及其相应的输入模式可划分为4种典型情况(表2),当用户使用VR一体机或个人电脑(personal computer,PC)VR时,观众需佩戴VR头戴显示器(head-mounted display,HMD),双手持VR控制器执行输入操作;当用户使用智能手机并开启VR显示模式后通常需搭配类似“谷歌纸板眼镜”的简易VR装置,在此状态下智能手机内置的陀螺仪将作为唯一可用的输入设备;当用户使用智能手机或平板电脑等触屏设备且不开启VR显示模式进行参观时则可通过触摸屏幕进行人机交互;当用户使用PC时,通常可通过键盘和鼠标实现输入操作。本方法针对上述4种典型场景分别开发了与之相适应的交互和控制方法,以实现尽可能广泛的设备支持。

如表2所示,当配备有VR控制器时,可引入激光指针组件;该组件通过A-Frame内集成的WebXR Device API获取VR控制器的位姿,借助Gamepad API捕获按键和摇杆输入,从而实现在虚拟空间中的精确交互。针对使用键盘与鼠标输入的PC用户,可同时使用wasd-controls组件(用于实现键盘方向控制)、look-controls(支持鼠标/陀螺仪的视角控制)组件及光标组件分别实现对位移、视角旋转和点击动作的支持。上述2种交互控制模式已有较为成熟的解决方案且受A-frame框架支持较好,基于对A-frame内置组件的调用即可达成较好的用户体验。针对手机VR或触屏设备用户则需根据其设备形态及输入方式开发与之相适应的交互和控制模式。

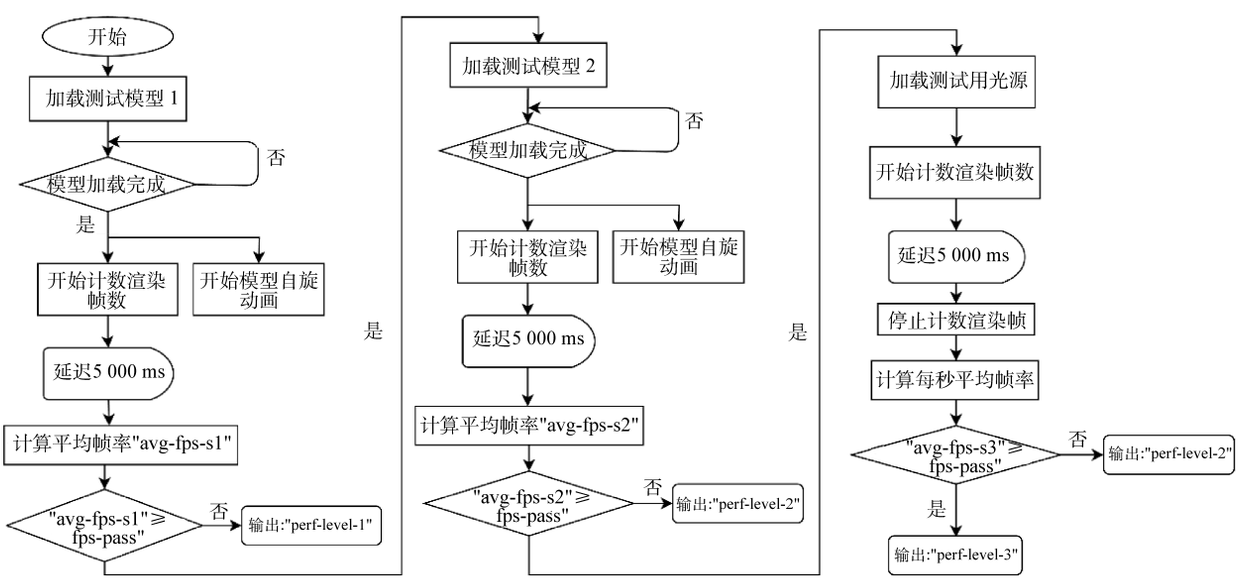


图2　自动化性能测试程序流程

表2　多设备兼容的交互控制模式

显示设备	输入设备	交互与控制方法
VR一体机、VR头戴显示器	VR控制器	激光指针控制
手机+简易VR设备	陀螺仪	光标+凝视点击
触屏设备	触摸屏	虚拟按钮+虚拟摇杆
PC	键盘、鼠标	键盘移动+鼠标点击

注:VR为虚拟现实;PC为个人电脑。

针对潜在用户基数巨大但输入手段受限严重的手机VR用户,本方法使用“凝视交互”的控制模式。在功能的实现上,可首先在相机实体上挂载look-controls组件,通过Device Orientation API实现对设备陀螺仪数据的实时监听。随后引入光标组件以定义一个基于设备方向数据的悬浮光标,在此基础上为光标添加凝视点击功能,即当光标与被赋予可点击属性的元素持续重叠一定时间(本方法中为1 500 ms)后即可触发对相应元素的一次点击事件,利用JavaScript脚本对点击事件进行监听,程序即可对用户凝视点击输入做出基本响应。为满足手机VR用户的位移控制需求,本方法以上述的凝视点击交互模式为基础,开发了一种兼具移动控制、方向指示和交互模式切换的“移动控制轮盘”作为基本交互控件(图3),蓝色扇形圆环悬浮于地面,随观众位移和视角转动同步移动,为此扇形圆环绑定一个可循环重复触发的点击事件监听器,当观众转动头部使光标与扇形圆环相交并点击后将触发主相机及其附属组件在对应方向上的位移动作,若用户持续通过凝视动作点击扇形圆环,则将以最短500 ms的固定间隔连续发出位移指令,以此实现观众向任意方向上的连贯行走。为增强移动过程中的视觉反馈,本方法中还添加了一个箭头状的用户界面(user interface,UI)元素,当位移动作执行时,将生成一枚浮动穿梭的箭头用以指示观众位移的方向和距离。与移动控制轮盘绑定的Fn悬浮按钮则用于控制点击交互模式,如可将光标交互模式由默认的点击切换为选择或抓取,借此实现与虚拟场景中不同元素的多种交互动作。总的来说,上述的操作逻辑在仅需读取陀螺仪数据的条件下实现了对点击、位移、行走、选择、抓取和放下等一系列关键交互动作的支持,基本解决了手机VR模式下输入手段受限带来的人机交互困境。

针对未开启VR显示模式下的手机或平板电脑等触屏设备用户,本方法参照市面上主流的移动游戏开发基于虚拟方向按钮和摇杆交互和控模式,见图4。观众可通过“点击”或“按住”左侧按钮的方式控制自身在虚拟空间中的缓慢或快速行走,拖动右侧的虚拟摇杆则可控制视角转动或借助屏幕中心的光标与场景中的元素进行交互,对于触屏设备用户来说上述交互模式是符合直觉且易于掌握的。

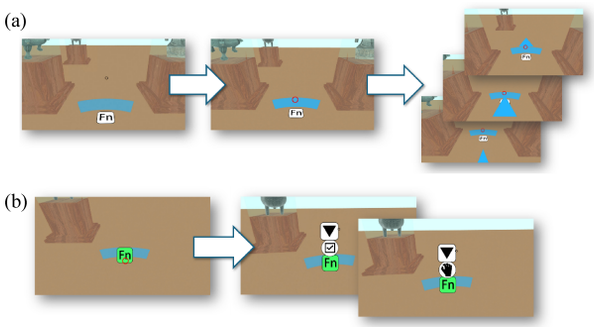


图3　适用于手机VR(仅陀螺仪输入)的交互控件
(a)移动控制轮盘的方向指示及交互功能;
(b)利用悬浮按键进行交互模式切换

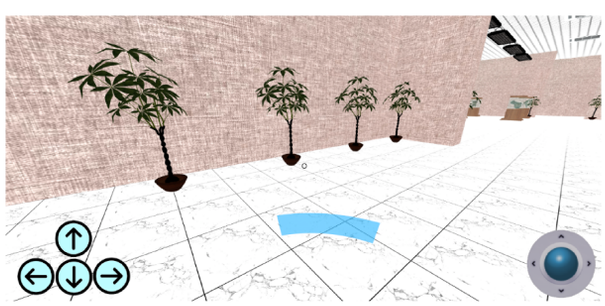


图4　适用于触屏设备的移动和交互控件

2.3　虚拟环境

本研究在构建虚拟展陈环境时采用二维贴图与三维模型相结合的方式,以求在视觉效果与性能开销之间实现平衡。对于地面、墙壁和壁画等规则几何体,可直接利用A-Frame提供的几何体组件创建并定义其尺寸、形状和纹理等基本属性;对于展品、辅助展品及其他结构复杂的展厅部件,则根据其重要性采用不同精度等级的三维模型呈现,此外,场景中的几何实体还集成了碰撞检测与物理模拟,以增强交互过程中的拟真感;对于天空球、远景背景等次要元素,则通过性能开销较低的全景贴图进行搭建。上述3种方式的灵活应用,可优先保障核心展览元素(如展品模型、多媒体信息)的显示精度,并在可控的性能成本下实现均衡的虚拟视觉体验。

2.4　多功能虚拟展柜

虚拟展柜系统是本方法中用以实现高效信息

传递的关键子系统,其设计旨在利用WebVR技术平台整合多种数字多媒体,在虚拟网络空间中为博物馆观众提供一种高效、可靠且易用的知识学习和信息传递工具。

在技术应用上,多功能虚拟展柜依赖A-frame框架提供的几何体和动画编辑功能搭建,使用JavaScript脚本实现复杂的展柜内功能交互逻辑及动画编排。在功能设置上,多功能虚拟展柜整合了4个常见的数字媒体形式,分别为展品提供了三维模型查看、视频展示、展品图册阅览和语音讲解功能。多功能虚拟展柜以悬浮虚拟按钮为UI控件,其界面效果见图5,用以将观众的交互动作与多媒体内容相关联,展柜内各功能模块的进入、控制和退出等基本操作由多级菜单式的UI控件实现。总之,多功能虚展柜在UI交互层级上可分为3层,其具体功能见图6,在模型展示功能模块中,观众可使用虚拟按钮控制文物三维模型的放大、缩小、旋转和局部照亮等操作,使观众得以通过全方位视角查看文

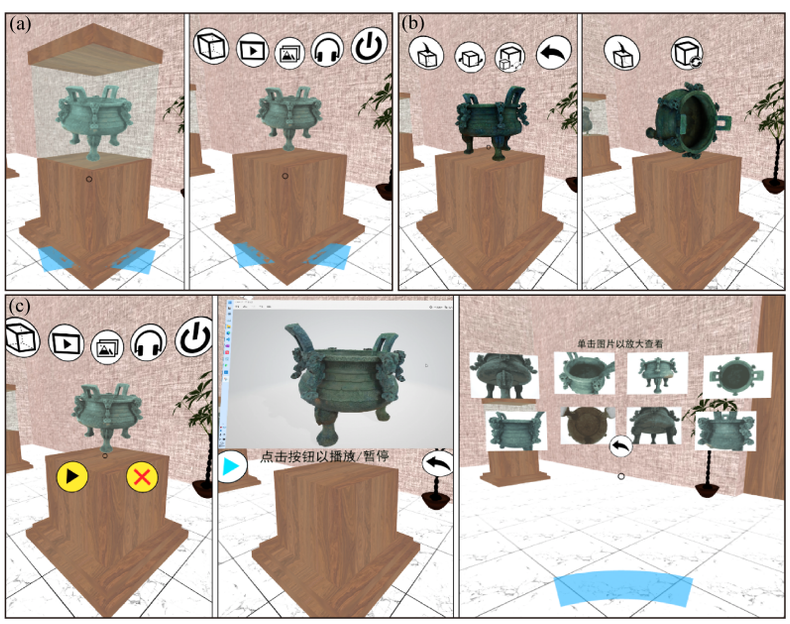


图5　多功能虚拟展柜交互功能

(a)多功能虚拟展柜外观;(b)展品模型查看及交互功能;(c)展品多媒体资料展示功能

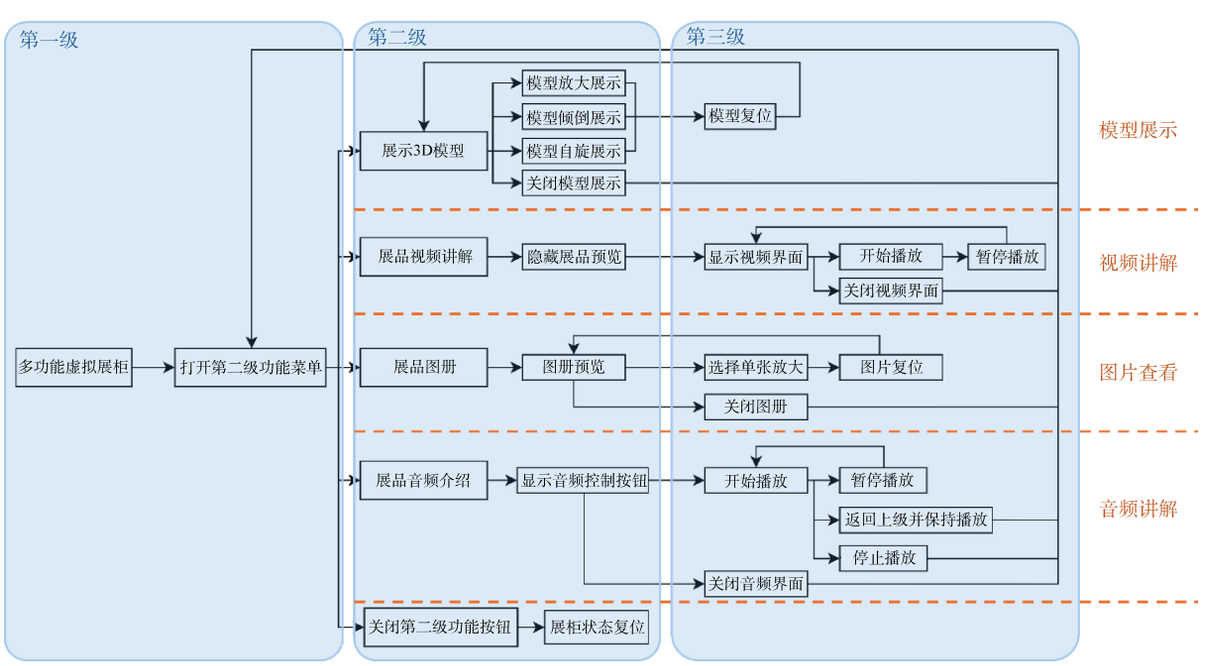


图6　多功能虚拟展柜观众交互逻辑示意

物展品的各处细节,相较于线下实体展览提供了更高的自由度;视频或音频讲解功能则支持观众自由切换媒体文件的前台或后台播放,方便观众将讲解中的内容与展品模型相对照。在视觉外观上,多功能虚拟展柜模仿了现实博物馆中常见的木制展柜外观,与数字孪生型虚拟线上博物馆具有较高的契合度,能够减少初次体验时带给观众的陌生感。

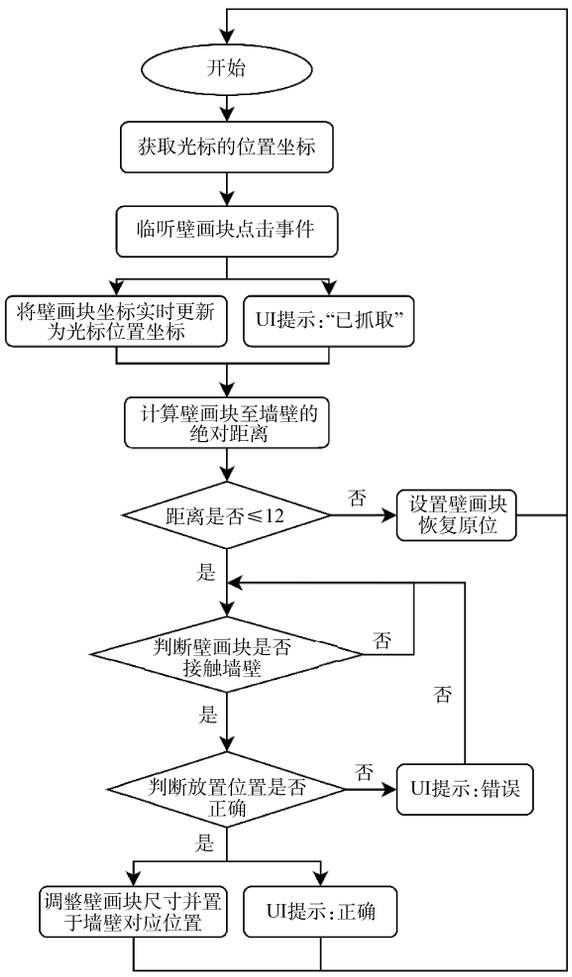
此外,该多功能虚拟展柜还具有模块化、可复用的特性。若需快速创建多个展柜,只需将全部所需多媒体文件导入相应数据库,并在HTML和JavaScript文本中批量替换特定字段,即可快速将大量展览内容与该多功能虚拟展柜完成适配。利用A-Frame框架提供的实体创建与管理功能,展柜内集成的模型展示、视频讲解、展品图册等功能的UI界面分别整合于数个相对独立的A-Frame自定义组件下,并由多个解耦封装的JavaScript脚本控制,这种模块化的设计能够支持展柜内各项子功能的灵活拆分与重组,以适应不同展览实例中的具体需求。

2.5 互动性展示场景

受文物保护和维持秩序等需要,在传统依赖实体文物进行信息传递的展览中,观众几乎无法与文物原件进行直接互动。受技术平台所限,基于二维平面网页或全景图片技术开发的线上展览在沉浸感和可交互性上同样存在较大短板,使其难以在虚拟空间中为观众提供可媲美现实的感官体验。在本方法中,利用WebVR技术创建了一系列互动场景,使观众能够直接与珍贵文物的数字化副本进行交互。这不仅有助于激发观众兴趣、提高参观积极性,还能帮助观众建立对特定文物的直观认知,增强人与文物的情感联系。

在本方法中以现藏于宾夕法尼亚大学博物馆的明代所绘广胜寺下寺前殿药师佛佛会图壁画为例,开发了允许观众亲手对壁画残块进行拼接修复的互动式展览项目。

该场景主体由多个壁画残块和1面用于承载壁画的墙壁组成,壁画残块既是展品本身,同时也是观众进行互动体验的对象。在实现方法上,需按照文物现状创建一系列数字化副本及所需的虚拟场景,并通过JavaScript脚本响应用户与场景中元素的互动,其程序逻辑见图7,为指导观众顺利完成交互动作,本方法使用了由用户位置坐标和交互事件作为触发条件的语音导览功能。进入展览区域后,观



注:UI为用户界面。

图7 广胜寺下寺壁画互动式展示场景程序逻辑

众将在语音提示下将光标由默认的点击模式切换为抓取模式,通过点击可抓取壁画残块并使其跟随光标移动,待观众将其运送并放置于墙壁相应位置上时,程序将对放置位置正确与否作出判定并显示对应的UI提示和动画效果。若观众移动出特定范围或将壁画残块放置于错误位置,壁画块将恢复至原始状态并显示UI提示及语音提醒,以指导观众重新尝试拼接。在所有壁画残块均被置于正确位置后,壁画残块将被自动拼接复原,并最终以完整的姿态展现给观众。随之开始播放的语音和视频讲解将带领观众进一步欣赏展品并了解其背后的历史文化。在上述过程中,观众通过亲身参与、动手操作、收听讲解和观看介绍视频等形式深度参与了基于数字孪生展品和多媒体信息流打造的互动式展示教育项目,借助VR技术提供了传统在线展览技术所不能及的沉浸式交互性体验。

在本方法中实现的虚拟编钟演奏互动场景见

图8,场景中所展示青铜甬钟现藏于首都师范大学博物馆,其数字建模为基于摄影测量方法利用Metashape、blender等软件制作,并采集录制了其敲击音。为实现此互动场景需以文物数字建模原件为基础创建一系列大小各异的模型副本和与之相应的敲击音效,并创建用于响应观众与虚拟元素间交互的JavaScript脚本。观众可在语音引导下将光标切换为抓取模式并“拿起”场景中的击锤,持击锤点击任意编钟即可触发敲击音效及编钟摆动动画,此场景在声音和形态上实现了对青铜编钟乐器的模拟,以满足观众与珍贵文物进行零距离互动的渴望,使观众在沉浸式互动体验中亲身感受中国古代传统乐器及音乐的魅力。

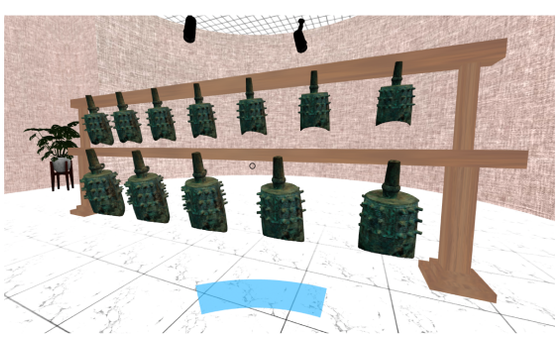


图8 虚拟编钟演奏互动场景

2.6 观众数据收集

为实现对观众偏好、行为习惯和展品吸引力等关键信息的进一步收集和分析,本研究还实现了3类观众数据采集功能。(1)是一系列分布设置于参观流程中的虚拟调查问卷,其在外观上参考了传统的网页式问卷,相较于观展活动结束后另行填写问卷的形式来说,内嵌于虚拟场景中的调查问卷可降低一次性回答过多问题给观众带来的厌烦情绪,并有效提高观众反馈信息的获取效率。(2)是记录并绘制观众在展览中的完整移动路径。该功能由一系列JavaScript脚本实现,在场景加载完毕后,程序将每秒获取一次观众当前所处的位置坐标,并以“观众ID+序号+时间+坐标”的格式生成观展路径记录文件。数据将回传服务器并存入数据库,可供后续的观众行为研究之用,如借助地理信息系统进行参观路线绘制和展品偏好分析等。(3)是依赖一系列事件监听器和数据库实现的观众交互日志记录功能,程序将自动记录并生成每位观众在每次参观活动中与虚拟场景或展品进行的交互操作日志,包括点击时间、互动对象、交互类型及其时间戳等信息。综合利用以上数据,可服务于线上展览的观众研究,以便展览策划者在形式和内容层面不断对虚拟线上展览作出调整优化。

3 结束语

本研究成功构建了具备实用价值的WebVR虚拟线上展览方法,达成了预期的功能设计目标。将WebVR技术与博物馆线上展览相结合,实现了一种具有广泛应用前景的知识文化传播新模式。该方法基于WebVR技术开发,依托网页浏览器运行,具备广泛兼容电脑、手机、平板、VR一体机与VR HMD等设备的能力;实现了自动化的性能测试和显示效果设置;以“多功能虚拟展柜”作为藏品展示的核心载体,其融合了经典的外观设计与直观的交互逻辑,集成高精度建模、音视频、图文等多媒体内容,在提高展示实用性的同时,进一步优化了信息传递效率;项目还开发了壁画拼接修复互动展示场景和编钟演奏互动场景,展现了WebVR在互动式展览中的潜力,充分发挥了WebVR技术在沉浸感和交互性上的优势;相较于传统VR应用,本项目基于Web平台进行分发,突破了时空限制,简化了开发和使用门槛,使其更易推广普及,同时在开发难度与运营成本方面亦具有显著优势。

然而,本研究仍存在若干亟待改进之处:第一,由于未能与博物馆等专业机构建立合作,数字展品资料获取较为困难,本研究多依赖网络公开资源,部分来自首都师范大学历史博物馆的采集。部分文物缺失器名、年代、埋藏与出土等背景信息,给展览内容的设计与呈现带来了一定挑战。第二,多媒体资源的制作难度大、成本高,尤其是音视频内容的创作流程长、专业要求较高,超出了个人开发者的能力范畴。纪录片或电视节目片段则因版权限制无法使用,进一步限制了多媒体资料的丰富度和完整性。第三,文物三维模型的重建效果仍待提高,本研究采用摄影测量技术进行了三维重建,通过Metashape构建模型并借助Blender进行后期处理,部分模型存在颜色失真与精度不足等问题。

本研究立足于解决博物馆教育与展览中的现实问题,探索基于WebVR技术的虚拟在线展览模式。考虑到实体博物馆的空间分布失衡以及公共文化服务的普惠性需求,本研究在前人实践的基础上,重点优化了WebVR应用在复杂软硬件环境下的

适配能力,尽可能降低了访问门槛,力求将高质量的VR在线展览呈现给更广泛的受众。推动WebVR技术在博物馆在线展览领域的应用,有望缓解因地区发展不平衡带来的公共文化服务权益失衡,促进科学知识与优秀传统文化的广泛传播,更好地满足人民群众对高质量公共文化服务日益增长的需求。

参 考 文 献

[1] 单霁翔.关于博物馆的社会职能[J].中国文化遗产,2011(1):8-25+6.

[2] 安来顺.今天的博物馆站在了哪里?对ICOM博物馆定义修订的初步观察与分析[J].东南文化,2020(1):126-133+189-192.

[3] 宋向光.博物馆定义与当代博物馆的发展[J].中国博物馆,2003(4):1-6.

[4] 赵沁平.虚拟现实综述[J].中国科学(F辑:信息科学),2009,39(1):2-46.

[5] TOASA R M, BALDEÓN EGAS P F, GAIBOR SALTOS M A, et al. Performance evaluation of WebGL and WebVR apps in VR environments[C]//BEBIS G. Advances in visual computing. Proceedings of the 14th international symposium on visual computing, ISVC 2019. Cham:Springer,2019:564-575.

[6] HU Y, CHEN Z, LIU X, et al. WebTorrent based fine-grained P2P transmission of large-scale WebVR indoor scenes[C]//ACM. Proceedings of the 22nd international conference on 3D web technology. New York: ACM, 2017:1-8.

[7] LV Z, YIN T, HAN Y, et al. WebVR-web virtual reality engine based on P2P network[J]. Journal of Networks, 2011,6(7):990-997.

[8] YANG Y, FENG L, QUE X, et al. Energy and quality-aware task offloading for WebVR service in terminal-aided mobile edge network[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2022,71(8):8825-8838.

[9] MARX R, VANHOVE S, VANMONTFORT W, et al. DOM2AFRAME:putting the web back in WebVR[C]// IEEE. 2017 International conference on 3D immersion (IC3D). Piscataway:IEEE,2017:1-8.

[10] TAKAC M. Application of web-based immersive virtual reality in mathematics education[C]//IEEE. 2020 21st International carpathian control conference (ICCC). Piscataway:IEEE,2020:1-6.

[11] GLASSERMAN-MORALES L D, RUIZ-RAMÍREZ J A, ESTRADA F J R. Transforming higher education using WebVR: a case study[J]. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje,2022,17(3):230-234.

[12] MCGREGOR A, HAWKINSON E. WebVR in the facilitation of model united nations simulations[C]// IEEE.2022 8th International conference of the Immersive learning research network (iLRN). Piscataway: IEEE, 2022:1-6.

[13] KOKELJ Ž, BOHAK C, MAROLT M. A web-based virtual reality environment for medical visualization [C]//IEEE. 2018 41st International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO). Piscataway: IEEE, 2018:299-302.

[14] XU G, LAN Y, ZHOU W, et al. An IoT-based framework of WebVR visualization for medical big data in connected health[J]. IEEE Access, 2019, 7: 173866-173874.

[15] LETIĆ M, NENADIĆ K, NIKOLIĆ L. Real-time map projection in virtual reality using WebVR [C]// IEEE.2018 41st International Convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO). Piscataway: IEEE, 2018: 1439-1443.

[16] CHOTROV D, BACHVAROV A. A flexible framework for web-based virtual reality presentation of cultural heritage [C]//AIP. AIP Conference Proceedings. Sozopol: AIP 2021,2333(1):140002.

[17] 张柏林,刘华清,尹猛,等.基于A-Frame的博物馆漫游系统设计[J].软件,2018,39(9):51-54.

[18] 杨学瑜,姜旭,姜百涛.基于WebVR技术的大运河文化遗产体验系统的开发:以北京南新仓为例[J].长江信息通信,2021(1):94-96.

[19] 陈宇锋.基于WebVR的良渚文化虚拟展馆设计[J].艺术与设计(理论版),2023(8):94-97.

[20] 陈枫,王峰.VR/AR技术在虚拟博物馆游览系统中的应用研究:以故宫博物院为例[J].大众文艺,2020(4):61-62.

(责任编辑:李拓宇)