

基于 UE5 引擎的包公祠数字文化教育展馆设计与实现

杨艳瑜¹ 李广松¹ 曾雪峰¹ 刘树林² 吴韬宇¹

YANG Yanyu LI Guangsong ZENG Xuefeng LIU Shulin WU Taoyu

摘要

随着数字孪生与虚拟现实技术的飞速发展,文化遗产的数字化保护与传播成为重要课题。文章以北宋名臣包拯的纪念地——肇庆包公祠为研究对象,探讨基于 Unreal Engine 5 (UE5) 引擎的包公祠数字文化教育展馆设计与实现。通过三维建模、动态光影渲染、交互设计等技术,实现包公祠建筑群历史文化场景的数字化复原,并结合廉政教育与沉浸式体验功能,探索文化遗产在虚拟空间中的传承与创新。结果表明,该方案在场景还原度、用户沉浸感、交互趣味性等方面具有显著优势,为非遗文化教育基地的数字化转型提供技术参照。

关键词

UR5 引擎; 虚拟现实; 文化传播; 交互体验设计

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2026.02.010

0 引言

肇庆包公祠是民众为纪念包拯治理端州今“肇庆”的功绩而建,是岭南地区重要的廉洁文化符号。然而,在当今数字化与信息化飞速发展的时代,传统的文化遗产展示方式逐渐显露出一定的局限性。受物理空间与文物保护要求的制约,肇庆包公祠在展览形式、内容呈现与互动体验方面面临诸多挑战。一方面,实体展馆的空间有限,难以全面、细致地展示包公祠的建筑细节、历史文物及相关文化背景;另一方面,静态的展板、实物陈列等方式在信息传递上缺乏动态性与层次感,难以满足现代观众特别是年轻群体对沉浸式、交互式体验的需求。此外,传统展览的传播范围受地域限制,无法让更多远离肇庆的人群便捷地接触和了解这一文化遗产,这在很大程度上制约了其文化影响力与社会教育功能的发挥。

为解决这些问题,本项目旨在依托虚幻引擎 5 (UE5) 这一先进技术,构建“包公祠非遗文化数字化教育展馆”。UE5 所支持的高精度模型与动态全局光照,能对祠堂建筑、文物进行沉浸式、超写实的数字化复原,创造出身临其境的视觉场景。更重要的是,其强大的交互设计能力,允许

融入叙事导览、情景互动与教育游戏,将静态的历史文化转化为可参与、可探索的动态体验。项目致力于以数字科技活化传统文化,使这一宝贵的廉洁文化符号在新时代焕发更强大的生命力和传播力。

1 研究设计

本研究采用基于设计的研究范式 (DBR), 结合 ADDIE (分析 - 设计 - 开发 - 实施 - 评估) 系统化模型开展游戏化学习设计。在分析阶段,首先将肇庆包公祠非遗文化元素融入数字化教育展馆场景建构,通过系统流程图明确开发路径;设计阶段运用 UE5 引擎构建三维可视化模型,实现历史场景数字化还原与核心游戏逻辑开发;开发过程中采用迭代式原型设计,经多轮用户测试验证功能完整性与交互体验。该研究通过 ADDIE 模型的结构化流程,有效整合文化遗产数字化需求与教育游戏设计规范,最终形成兼具文化传承价值与数字效能的沉浸式学习工具。

2 虚拟展馆整体设计

2.1 需求分析

数字化教育展馆通过分层架构实现多维功能集成^[1]:交互层以视觉风格统一性、画面表现张力及沉浸式体验设计为核心,构成吸引用户的核心要素;表现层聚焦空间场景建模、角色形象塑造、动态效果呈现及文物数字化还原,通过高精度视觉传达提升内容真实感;数据逻辑层采用模块化架构,基于独立功能单元件的蓝图通信机制实现角色行为控制、文物信息交互及 UI 系统联动。本研究重点突破蓝图结构的协同应用,在角色状态管理、文物多维信息及跨终端交互适配

1. 广东职业技术学院 广东佛山 528000

2. 广州华商学院 广东广州 510655

[基金项目] 2023 年广东省高职教育教学改革研究与实践项目 (2023JG180); 2023 年广东省普通高校青年创新人才类项目 (2023WQNCX116); 肇庆市 2025 年度哲学社会科学规划项目 (25GJ-457); 2024 年广东职业技术学院人工智能赋能课程建设示范项目 (XJKC202440)

等关键技术形成创新解决方案。

2.2 设计思路

本研究中的非遗文化数字化教育展馆是以弘扬“清正廉洁”精神、“清心直道”品格等文化内涵为核心，旨在引导当代青年深入认知并传承文化精髓，培养文化传承者。本数字化教育展馆基于 UE5 引擎开发，凭借其多终端适配、跨平台兼容及实时渲染技术优势构建数字化展陈体系^[2-3]。数字化教育展馆采用双模态交互架构，如图 1 所示。PC 端通过 PICO Note 3 VR 设备实现第一/三人称沉浸式漫游，支持视角自由切换的具身化体验，并依托手柄射线精确操控虚拟交互；移动端则面向 Android 系统优化触控交互，通过界面数字按钮实现便捷操作。这种虚实融合的交互模式有效强化了文化传播的沉浸感知与情感共鸣^[4]。

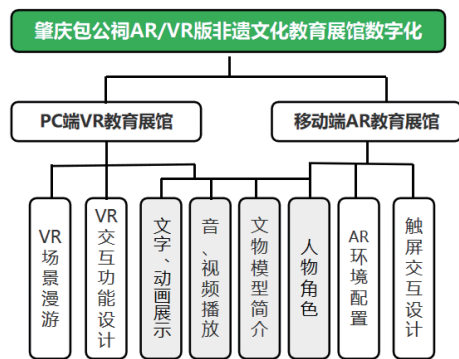


图 1 肇庆包公祠非遗文化数字化教育展馆功能结构

2.3 技术路线

(1) 三维模型构建

在元宇宙技术浪潮中，三维模型软件在三维场景构造和实体行为设计领域展现出不可替代的技术支撑作用。本研究基于 3DsMax 软件平台完成数字展馆的静态模型资产（如壁画、展柜、砚台等）建模工作，并结合动作捕捉技术与 CMAvatar 系统实现第三人称角色骨骼绑定及动作制作。值得强调的是，空间结构的合理搭建直接影响数字化教育展馆的沉浸体验质量^[5]，角色骨骼系统的精准构建更是决定 Idle 站立、Running 奔跑、Touch 触碰、Walk 行走等关键动画表现的技术基础，二者共同构成数字化教育展馆的核心要素。

(2) 二维图像识别

本研究基于二维图像识别技术实现数字化教育展馆中的三维模型（如壁画、展柜、砚台等）的纹理映射与用户界面交互设计。其中，贴图精度直接决定模型还原度，而高保真交互界面通过多模态视觉反馈机制，可有效提升用户的持续性沉浸感知。

(3) 游戏逻辑控制

UE5 凭借其卓越的实时全局光照渲染能力和完全开源的

代码架构，为非遗文化数字化开发提供了高性能技术支撑。该引擎采用“C++ 与蓝图技术”开发模式，其中蓝图作为可视化脚本系统，通过模块化节点将材质配置、动画控制、交互逻辑等核心功能进行可视化编程。在包公非遗文化数字化教育展馆开发中，基于蓝图构建的流式交互系统实现了展品联动、场景切换及用户行为反馈的动态链接，结合 UE5 的 Nanite 虚拟几何体技术与 Lumen 全动态光照系统，不仅精准还原了宋代建筑细节与廉政文化展陈，更通过空间音效定位与视线追踪技术打造出多维度沉浸体验，使非遗传承从静态展示升级为可交互的文化认知场域^[6]。

2.4 开发流程

本次非遗文化数字化教育展馆以突破时空限制、实现“包拯”非遗文化精神的沉浸式传承为目标，采用五阶递进式开发流程（如图 2 所示）：

（1）通过二维图像识别技术完成非遗文化数字化展馆的砚台、笔画、展品等三维模型纹理映射与用户界面（UI）交互原型设计；

（2）运用三维建模软件构建砚台、展柜等实体模型，经 UE5 引擎的材质球系统实现高精度纹理映射，结合 Nanite 虚拟几何体技术优化模型面数；

（3）在 UE5 引擎中搭建三维空间场景，通过 Lumen 全动态光照系统强化环境沉浸感；

（4）利用蓝图可视化脚本系统构建数据流架构，集成 UMG 界面系统、碰撞检测机制及动画状态机，形成展品互动、场景漫游、视线响应的多模态交互体系；

（5）通过 EXE 打包测试与 Bug 修复，形成可迭代的数字非遗传承解决方案。该技术路线深度融合计算机图形学与文化遗产数字化需求，构建了从静态展示到动态交互的完整文化传播链条。

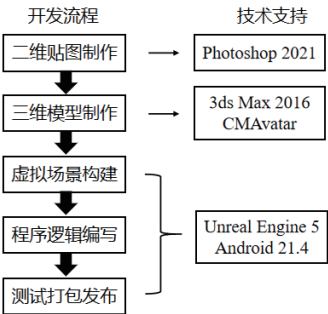


图 2 肇庆包公祠非遗文化数字化教育展馆开发流程与技术路线

3 数字化教育展馆功能实现

本数字化教育展馆分为 PC 端 VR 教育展馆和移动端 AR 教育展馆两个版本，本数字化教育展馆基于 UE5 引擎开发平台，支持 PC 端、移动端等平台发布，且移动端 AR 数字化教育展馆是与 VR 数字化教育展馆内容开发、改进、优化与

打包,故本研究重点阐述PC端VR教育展馆的主要开发过程。

3.1 数字教育展馆环境搭建

基于UE5平台的非遗文化数字化展馆开发流程中,首先通过Datasmith工具链将3Ds Max 2016制作的包公祠场景模型导出为FBX格式文件,经FBX导入器解析后生成高精度静态网格资源库。该资产库包含视台、展柜、文物等静态网格体(Static Mesh),按规范化命名规则存储于“Geometry”目录层级结构中,实现数字资产的集中化管理与高效调用。图3为导入后资产库的可视化缩略图索引,图4则展示了基于UE5视口的Top视图场景布局,完整呈现了展馆的空间拓扑关系与数字资产分布状态。

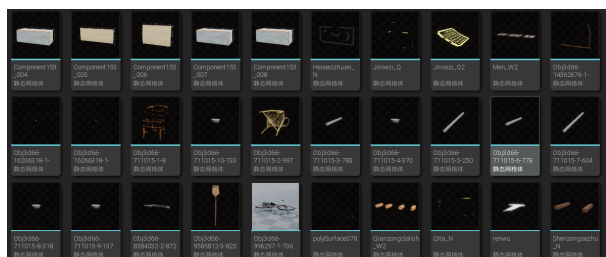


图3 包公祠非遗文化数字化教育展馆资产缩略图(部分)

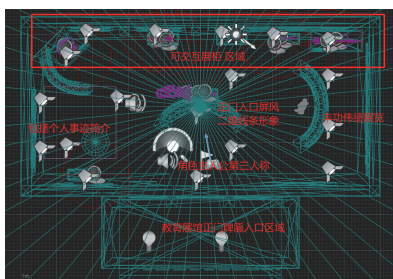


图4 数字化教育展馆场景Top视图

肇庆包公祠非遗文化数字化教育展馆基于UE5构建立方体空间架构,采用黑白极简风格诠释廉洁主题,突出包拯廉洁公正的文化精神特色。场景以三维牌楼为入口,正厅设置二维矢量形象屏风作为视觉锚点,顺时针规划包拯生平叙事动线,依次呈现图文展墙、可交互展柜及功绩数字长卷等。为保障物理交互真实性,系统配置NavMesh导航网格与碰撞盒组件,对门窗、展柜、屏风等关键对象实施刚体动力学约束,避免“破门而入”“穿墙而过”等穿模现象,杜绝违反物理规律的现象。

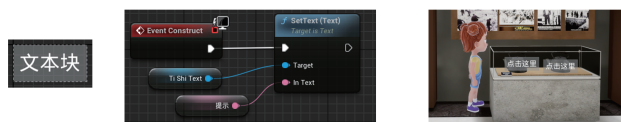
3.2 交互设计

交互设计是数字化教育展馆的“隐形桥梁”,连接技术与人文、功能与情感。它不仅提升了用户体验的流畅度与趣味性,更通过参与式叙事和个性化服务,让文化遗产从静态展示变为可感知、可互动的活态传承载体。

(1) 提示设计

肇庆包公祠非遗文化数字化教育展馆的交互系统是通过三维空间触发器实现动态交互引导。每件展柜陈列2~3件

文物数字化模型,当用户进入预设半径为1.0 m的球形触发区域时,系统自动激活半透明操作提示面板,突出显示“点击这里”交互区域。场景视口(图5(a))展示触发器控件UI设计,蓝图编辑视口(图5(b))呈现基于“Event Construct”组件的事件触发逻辑,展示效果视口(图5(c))则直观显示运行时提示面板的淡入动画效果。



(a) 提示设计视口 (b) 蓝图编辑视口 (c) 提示效果展示

图5 提示设计逻辑

(2) 详情页展示设计

教育展馆中设计了文物展品的详情展示,从上到下依次为文物标题区域、详情展示区域、按钮交互区域如图6所示。其中文物标题选择“Text”组件绑定,并定位中心锚点;详情展示区域选择“Horizontal box”分为左右侧水平结构,并分别用“Cladding”组件包裹,其中左侧以“Text”组件显示具体的文物详情信息,右侧以“Image”组件显示具体文物;按钮选择“Button”组件绑定,分别设置有“返回、视频、展示”3个按钮,点击对应的按钮实现对应功能。

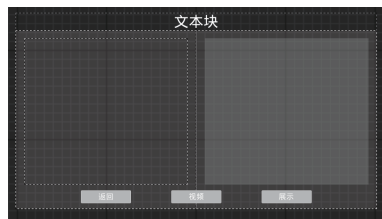


图6 文物展示详情UI设计界面

教育展馆中有多件文物展品,若每个展品都创建一个UI空间蓝图,会出现代码冗余现象,增加了项目运行负荷。因此,项目中通过创建“Structure”蓝图,将物品的名称、介绍、贴图、视频、旋转、位置等一系列参数用同一个“Structure”蓝图封装(如图7所示),然后通过在对应该文物蓝图中创建一个Public属性的“Structure”类型的变量,调用各参数赋值的逻辑(如图8所示),每个参数的具体详细信息需通过“Details”面板上的默认变量进行针对性赋值,最终实现每件文物展示对应的文物详情信息,如图9所示。



图7 “Structure”蓝图

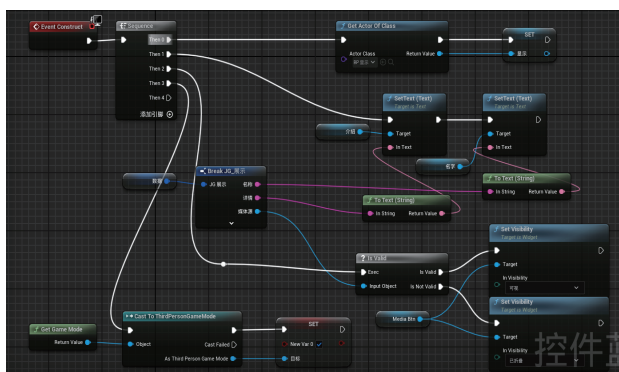


图8 详情页展示设计蓝图视口(部分蓝图)



图 9 展示效果视口

4 游戏测试

肇庆包公祠非遗文化数字化教育展馆通过系统性软件测试实现品质验证。基于 UE5 引擎开发的游戏测试体系, 重点针对跨平台兼容性、交互功能完整性及视觉呈现效果进行质量验证。开发团队完成 Windows 与 Android 系统的双重适配开发, 生成对应平台可执行文件, 并通过引擎封装确保不同设备端的运行稳定性。核心测试维度包括三维场景建模精度校验、UI 界面响应逻辑验证、文物数字化展陈的交互反馈机制测试, 以及角色骨骼动画平滑度 (Idle/Walk/Running/Touch 动作序列) 与第一人称 / 第三人称视角切换的坐标映射准确性检测。如图 10 所示。



图 10 测试效果图 (PC 端)

通过访谈并总结 112 位体验者对数字化教育展馆的感受,得出以下结论: 教育展馆运行状况良好, 没有明显 Bug 提示,

场景与UI交互界面显示效果良好,系统能够根据体验者需求,顺畅地切换第一人称、第三人称视角,且没有出现黑屏或闪退现象。游戏过程中参数交互显示正常,没有乱码或黑屏等问题出现。

5 总结与展望

本研究基于数字孪生技术构建非遗文化传播新范式,针对传统文化传承的时空壁垒问题,创新性设计并开发了PC端VR数字化教育展馆和移动端AR数字化教育展馆两个版本,实现了肇庆包公祠非遗文化的数字化重构与交互体验设计,营造良好的视觉体验效果,提供完备的数字化教育展馆功能,大大增加了远程体验教育展馆的真实性。借助先进的UE5引擎展开肇庆包公祠非遗文化数字化教育展馆的设计与开发,通过使用引擎自带的可视化蓝图编程实现教育展馆的各交互功能,提高教育展馆的易用性和可拓展性。本教育展馆目前只在学校层面上进行测试与应用,将其应用范围扩展至全市、全省是后续进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] 左德遥,高峰.一种VR/AR红色文化虚拟仿真教育虚拟展馆设计与实现[J].计算机时代,2022(2):66-68.
- [2] 刘树林,杨艳瑜.基于UE4的肇庆古城墙酷跑类数字游戏开发与实践[J].电脑与电信,2025(1):37-41.
- [3] 杨艳瑜,曾雪峰,李广松,等.基于UE4的虚拟展馆设计与开发:以“南派”醒狮为例[J].计算机时代,2023(11):79-82.
- [4] 渠焱.基于UE4引擎的数字博物馆的交互设计研究[J].建筑与文化,2024(6):31-33.
- [5] 左未.Unreal Engine 5 从入门到精通[M].北京:中国铁道出版社有限公司,2023.
- [6] 纪家冉,李斯雨.江南传统民居建筑数字博物馆交互设计研究[J].城市建筑空间,2024,31(5):103-105.

【作者简介】

杨艳瑜(1993—),女,河南安阳人,硕士研究生,讲师,研究方向:软件技术、虚拟现实开发技术。

(收稿日期: 2025-07-14 修回日期: 2026-01-29)