

The Mutual Generation of Reality and Illusion: Digital Reconstruction of Watermark Printmaking under XR Technology

Jinyi Wang Zhenwei Mao

ZTO Consulting & Design Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210019, China

Abstract

This paper focuses on the digital inheritance of watermark woodblock prints, exploring their “interplay of reality and virtuality” through XR technology. By analyzing domestic and international XR art cases, it validates the empowering effects of spatial computing, real-time rendering, and immersive interaction technologies on traditional art. The study elucidates the core technological implementation logic: spatial positioning and 3D modeling technologies accurately reproduce the texture of watermark woodblock prints, while PBR rendering and dynamic lighting models restore the artistic language. Practice demonstrates that XR technology transcends the limitations of traditional art media, activating its contemporary vitality through the narrative fusion of reality and virtuality. Future research will expand to AI-driven content generation and cross-media artistic expression, proposing a “technological deconstruction—cultural reconstruction” paradigm to provide new pathways for the digital inheritance and innovative dissemination of China’s traditional painting.

Keywords

digital experience platform; cross-media; spatial computing; XR

虚实相生：XR 技术下的水印版画数字重塑

王金怡 毛圳伟

中通服咨询设计研究院有限公司，中国·江苏南京 210019

摘要

本文聚焦水印版画的数字化传承，基于XR技术探索其“虚实相生”的重塑路径。通过分析国内外XR艺术案例，验证空间计算、实时渲染及沉浸式交互技术对传统艺术的赋能效果。研究解析核心技术实现逻辑：空间定位与三维建模技术精准复现水印版画肌理，PBR渲染与动态光照模型还原艺术语言。实践表明，XR技术突破传统艺术载体限制，通过虚实融合叙事激活其当代生命力。未来研究将拓展至AI驱动内容生成、跨媒介艺术表达方向，提出“技术解构—文化重构”范式，为中国传统绘画的数字化传承与创新传播提供新路径。

关键词

数字体验平台；跨媒介；空间计算；XR

1 引言：传统与现代的邂逅

在数字化与人工智能（AI）技术迅猛发展的背景下，中国传统绘画的保护与传播面临新机遇与挑战。水印版画作为中国传统绘画的重要组成部分，以木板雕刻与分版套印为核心工艺，凭借细腻的层次感、柔和的色彩过渡及手工温度，承载着中华美学精神。然而，由于其复杂的制作工艺和高度的专业性，普通公众往往难以全面认知和理解水印版画的

独特价值及其背后的技艺精髓，急需通过更有效的传播与科普手段加以推广，实现艺术作品从物理空间到数字空间的跨越。

扩展现实（XR）技术（AR/VR/MR）以虚实融合与实时交互为优势，为文化资产的数字化表达提供了创新路径。当前，XR技术已在虚拟博物馆、沉浸式教育及公众参与式体验等领域取得进展，但其在中国传统书画中的应用仍面临技术瓶颈：空间感知精度不足导致虚实融合失真、高保真渲染对移动设备性能要求苛刻、交互设计缺乏文化语境适配性。

本文聚焦水印版画与XR技术的深度融合，旨在构建交互式数字体验平台，解决中国传统绘画传播中“高门槛、低参与”的痛点。通过空间计算优化、轻量化PBR渲染管

【作者简介】王金怡（1990-），女，满族，中国江苏南京人，硕士，工艺美术师、工程师，从事数字化转型与智能空间设计、用户体验与人机交互、共享经济模式下的空间资源优化研究。

线开发及文化语境驱动的交互设计，实现版画技艺的动态还原与场景化呈现，探索个性化推荐与智能交互的可能性。

水印版画的数字化转型不仅关乎传统文化的现代延续，更需依托技术创新实现艺术表达的突破。本文将以“虚实相生”为核心理念，围绕 XR 技术对水印版画的重塑展开系统性研究。首先，通过梳理国内外典型 XR 艺术案例，验证技术赋能传统艺术的可行性与多样性；其次，聚焦空间计算、实时渲染等关键技术，解析其在水印版画数字化中的实现路径与技术难点；最后，基于实践成果与技术趋势，提出数字水印版画的可持续发展路径。这一框架旨在为传统艺术的科技化转型提供理论支撑与实践参考。

2 跨领域融合案例赏析

2.1 故宫博物院“数字文物库”

故宫博物院以“数字多宝阁”为窗口对文物进行三维数字化展示，利用高精度的三维数据立体全方位地展示文物的细节和全貌，“数字多宝阁”最大限度还原文物的几何形状、表面纹理甚至光影流动，进而拆解、展开、标注，让观众获得比观看实物更为丰富的信息和体验。

数字文物的互联和共融，为文物注入了新的生命力，促进了文物资源与科技创新成果的有机融合，以更加时尚、优美的方式跨越时空，展示古代文化和工艺。此外，2022年起《故宫日历》基于小程序提供包括视频、动画等多种形式、极具创意的 AR 内容，通过三维信息交互体验，在空间维度上给用户带来了巨大价值，通过虚拟信息与真实文物巧妙的融合，让日历中的文物“活起来”。

随着“数字故宫”建设步伐的加快，“数字多宝阁”“故宫名画记”等文物展示平台以及“故宫博物院”小程序、“每日故宫”应用程序等一系列文物数字化产品持续发力，将故宫文物搬上“云端”，实现文物数字化保护成果的开放共享。

2.2 “数字敦煌”资源库平台建设

在 2024 中国国际大数据产业博览会上，“数字敦煌”

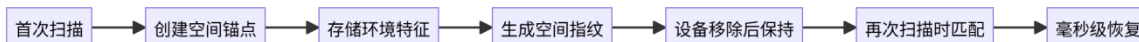


图 1 空间锚定记忆系统流程

3.2 实时渲染技术：移动平台的视觉革新

在移动设备上实现接近 PC 级的视觉保真度，是提升用户感知质量的关键。研究采用基于物理的 PBR 渲染技术，针对水印版画工具的材质特性进行分层渲染优化。金属工具通过镜面反射模型模拟高光效果，并结合次表面散射算法还原划痕细节；木质工具则利用次表面散射技术呈现真实的纹理与年轮效果。同时，系统通过动态磨损模拟算法生成符合物理规律的划痕与油渍，增强工具使用的“手工感”。

动态光源管理系统的引入进一步提升了虚实融合的真实性。系统通过前置摄像头实时捕捉环境光照参数，并将其映射至虚拟物体，实现虚实光影同步。主光源匹配算法智能

资源库平台入选首批“数字中国建设典型案例”，成为数字文化领域的代表性成果。该平台通过数字化手段对壁画、雕像等不可移动文物进行高精度采集与再现，构建了集保护、研究、传播于一体的数字资源体系，为文化遗产的可持续传承提供了科技支撑。

“数字敦煌”平台整合了敦煌石窟的高清壁画图像、线描图、三维模型、虚拟漫游及多媒体内容，融合数字资产管理、区块链确权、用户实名认证与自动清算等功能，有效解决了文物数据在存储、流转、权属与安全等方面存在的难题。平台不仅实现文物信息的永久保存，还面向全球学者与公众开放共享，推动敦煌文化的全球传播与学术研究。

3 核心技术解析：从虚拟到现实的艺术再造

水印版画与扩展现实（XR）技术的深度融合，依赖于空间计算、实时渲染及虚实融合等核心技术的协同支撑。本研究以解决“高门槛、低参与”的传播痛点为目标，探索技术实现路径，并通过实践验证其可行性与创新性。

3.1 空间计算技术：虚实融合的精密桥梁

空间计算是实现物理世界与数字内容无缝衔接的核心。通过 SLAM 算法与深度相机技术，系统能够实时解析环境三维结构，并生成高精度的空间模型。例如，在水印版画工具识别场景中，用户扫描刻刀或印版时，系统通过特征点提取、空间定位及场景建模三步流程，实现工具在三维空间中的 6 自由度位姿计算，精度达 $\pm 2\text{mm}$ 。这一技术解决了传统 AR 应用中虚实错位的问题，即使在动态环境中，系统仍能通过“特征点预测算法”保持虚拟内容的稳定性。

此外，研究引入了相对空间锚定机制，在用户扫描特定工具时，系统在其周围建立直径 15 厘米的虚拟锚定区域，记忆空间坐标关系。即使用户中断体验后重新扫描，虚拟内容仍能以毫米级精度恢复至原位置。这一机制在测试中表现稳定，24 小时后位置偏移不超过 3mm，显著提升了沉浸式体验的流畅性。

识别环境主光源方位，生成平行光与镜面反射；接触阴影算法根据虚拟物体与真实表面的高度差生成自然过渡的软阴影。为平衡画质与性能，系统通过动态调整光源数量优化运行效率。

3.3 交互体验设计：数字文化体验的深化

水印版画数字化平台通过动态布局引擎实现跨终端适配，系统智能识别设备屏幕尺寸与 DPI 参数，动态调整界面元素布局与缩放比例。交互系统基于 UGUI 事件架构支持多点触控，结合压力感应算法与手势轨迹追踪模型，实现雕刻模拟中的力度映射与模型旋转等高精度操作。



图 2 工具受光表现

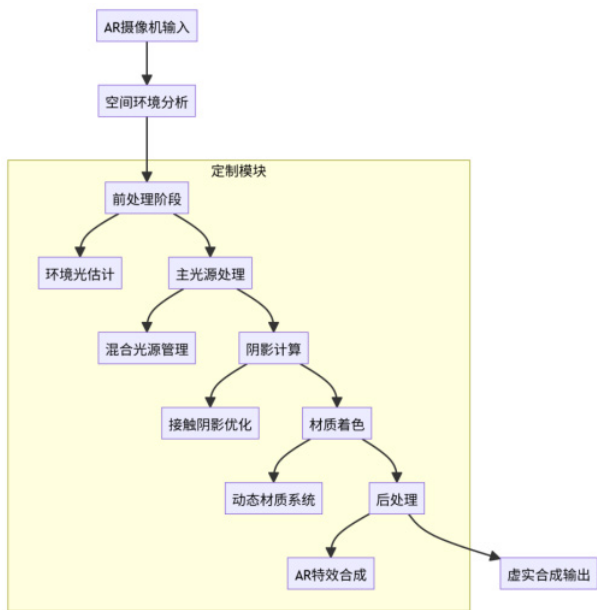


图 3 空间锚定记忆系统流程

DoTween 插值引擎构建的分步骤动画序列，通过关键帧插值与逐帧渲染技术，将雕刻、分版、套印等工艺分解为可交互的动态演示，呈现刀具切入木板的深度变化及油墨渗透效果。交互逻辑设计融入水印版画的文化语义，根据用户操作路径实时生成工艺提示，并在套印错误时通过视觉反馈引导修正。该方案验证了动态内容呈现与自然交互设计在传统文化数字化中的可行性，为后续 AI 驱动的个性化推荐与沉浸式学习场景奠定技术基础。

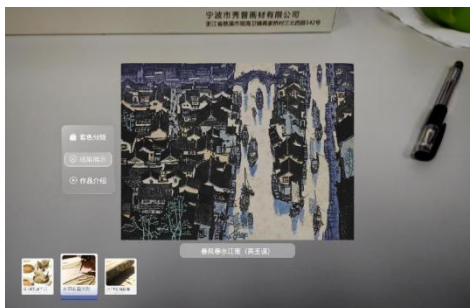


图 4 版印流程 - 成果展示界面

4 未来展望：科技与文化的共生之路

媒介始终是艺术创新的重要推动力。在水印版画与扩展现实 (XR) 技术融合的实践中，数字技术已展现出突破物理边界、重构艺术表达的可能性。未来，这一领域的探索将聚焦于技术深化、体验升级与文化遗产的协同演进。

技术革新与艺术表达的融合将成为核心方向。随着人工智能、WebXR 等技术的迭代，数字艺术将突破静态展示的局限，向动态化、场景化转型。例如，通过机器学习算法分析用户行为数据，可动态生成个性化的版画技艺教学路径；借助轻量化 WebXR 技术，数字体验平台可实现跨终端兼容，使公众通过不同设备进入虚拟空间，沉浸式感受版画制作的工艺细节。

用户体验的优化需进一步聚焦细节。在硬件适配层面，应持续提升低性能设备的渲染效率，通过 LOD 策略与自适应算法，确保高精度内容在不同终端的流畅呈现。多模态交互的引入将增强操作的真实感，例如用户可通过语音调用虚拟工具库，或通过肢体动作模拟雕刻过程，使技术更贴合传统技艺的实践逻辑。此外，文化语义的深度嵌入是关键——通过构建工艺步骤与历史背景的知识图谱，将技术实现与文化叙事有机结合，让数字体验不仅是视觉的震撼，更是精神的共鸣。

生态构建与文化遗产则是可持续发展的基石。产学研用一体化模式的深化，将推动数字平台在博物馆、学校及社区的落地应用，形成“技术+文化+教育”的协同生态。例如，数字艺术可成为连接传统与现代的桥梁，通过动态化、交互化的表达方式，激活传统文化资源的当代价值。扎根水印版画技艺的沃土，运用现代科技重构艺术语言，既能以数字形式讲好中国故事，也为传统技艺的创造性转化提供新路径。

未来，数字艺术的发展需超越技术的简单叠加，回归对人文精神的深度挖掘。创作者应在扎实艺术修养的基础上，掌握多学科知识，将科学思维与艺术想象相融，以数字语言诠释传统美学。正如水印版画交互式平台所展现的，数字技术不仅是工具，更是让文化“活”起来的催化剂。期待更多创作者以开放视野探索技术边界，在传承中创新，在创新中传承，使数字艺术真正成为连接古今、沟通中外的文化纽带。

参考文献

- [1] 联物呈情：跨媒介艺术的交互介入性[J].岳文文; 黄立一.华侨大学学报, 2024(10)
- [2] 新媒体技术对艺术创新与传播的影响研究[J].李玉玲.美术, 2025(03)
- [3] 数字媒介语境下美术馆传播范式的多维转向[J].宗洁.美术, 2024(02)
- [4] 用数字技术讲好美术故事——范迪安院长专访[J].美术观察, 2022(10)
- [5] 古意新瞻：中国传统书画在威尼斯双年展的艺术跨越[J].李碧; 彭志.美术观察, 2025(06)