

古建筑修复工程中数字孪生可视化辅助决策系统开发

张先雁

厦门市鼓浪屿文化旅游中心 福建厦门

【摘要】古建筑作为历史文化的重要载体，其修复工作至关重要。传统修复方法存在信息不全面、决策主观性强等问题。数字孪生可视化辅助决策系统为解决这些问题提供了新途径。该系统借助先进技术构建古建筑数字孪生体，实现可视化展示与交互。在修复过程中，能模拟不同方案效果，评估其可行性，辅助决策者做出科学选择。可实时监测修复进度与质量，及时调整策略，保障修复工程顺利进行，推动古建筑保护事业发展。

【关键词】古建筑修复；数字孪生；可视化；辅助决策；系统开发

【收稿日期】2025 年 6 月 14 日

【出刊日期】2025 年 7 月 15 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250117

Development of digital twin visualization assisted decision system in ancient building restoration project

Xianyan Zhang

Gulangyu Cultural Tourism Center, Xiamen City, Xiamen, Fujian

【Abstract】 Ancient buildings, as significant carriers of historical and cultural heritage, require crucial restoration work. Traditional restoration methods often suffer from issues such as incomplete information and subjective decision-making. The digital twin visualization decision support system offers a new solution to these problems. This system uses advanced technology to create digital twins of ancient buildings, enabling visual presentations and interactive experiences. During the restoration process, it can simulate the effects of various restoration plans, assess their feasibility, and assist decision-makers in making informed choices. It also allows for real-time monitoring of the restoration progress and quality, enabling timely adjustments to strategies to ensure the smooth progress of the restoration project and promote the development of ancient building conservation efforts.

【Keywords】 Restoration of ancient buildings; Digital twin; Visualization; Decision support; System development

引言

古建筑承载着丰富的历史文化信息，是民族智慧的结晶。然而，随着时间推移，自然侵蚀与人为破坏导致大量古建筑面临损毁危机，修复工作刻不容缓。传统修复方法主要依赖专家经验与有限资料，主观性强，易造成修复偏差甚至二次破坏。开发数字孪生可视化辅助决策系统，可整合多源数据，直观呈现古建筑状况与修复过程，为决策者提供科学、精准依据，提高修复工程效率与质量，对古建筑保护意义重大。

1 古建筑修复现状与挑战

古建筑历经岁月沧桑，遭受风雨侵蚀、地震灾害以及人为活动的影响，普遍存在结构损坏、构件

缺失、材料老化等问题。许多古建筑的墙体出现裂缝，木构件腐朽，屋顶瓦片脱落，严重威胁其结构安全与外观风貌。当前古建筑修复工作面临诸多严峻挑战^[1]。在信息获取方面，传统方法主要依靠人工测量、历史文献查阅与专家经验判断，难以全面、准确地掌握建筑的原始构造、材料特性以及损坏程度。部分古建筑历经多次修缮，原始信息缺失，增加了信息获取的难度。

在修复方案制定环节，由于缺乏科学依据，多依赖专家个人经验，主观性较强。不同专家对建筑风格、历史价值与修复原则的理解存在差异，导致修复方案难以达成统一，甚至出现相互矛盾的情况。一些修复方案过于注重外观恢复，忽视了建筑的结

构安全与历史信息的保留,造成不可挽回的损失。修复过程中的监控与调整也是一大难题。传统修复方式难以实时掌握工程进度与质量,发现问题时往往已造成较大影响,调整成本高且效果不佳^[2]。修复过程中对古建筑周边环境的影响也缺乏有效评估,可能导致新的破坏。这些问题严重制约了古建筑修复工程的发展,迫切需要创新技术与方法来加以解决。

2 数字孪生技术原理与应用

数字孪生技术是基于物理实体在虚拟空间构建的数字化映射,通过传感器、物联网、大数据等技术实时采集物理实体的各种数据,构建精确的数字模型,实现虚拟与现实之间的实时交互与同步更新。在古建筑修复中,数字孪生技术发挥着重要作用。利用三维激光扫描技术,可快速、高精度地获取古建筑的几何信息,包括建筑的整体轮廓、构件尺寸与空间位置等^[3]。无人机航拍技术则能从空中视角获取建筑的外观纹理与周边环境信息,为数字孪生模型的构建提供全面的数据支持。结合 BIM(建筑信息模型)技术,将这些数据进行整合与处理,构建出包含古建筑几何、材料、结构等多方面信息的数字孪生体。

数字孪生体不仅能直观展示古建筑的现状,还可模拟其在不同环境条件下的变化。模拟地震、风雨等自然灾害对建筑结构的影响,评估建筑的抗震、抗风性能;模拟不同修复方案对建筑外观与结构的影响,预测修复后的效果。通过这些模拟分析,为修复决策提供科学依据,避免盲目修复带来的风险。数字孪生技术还可实现古建筑修复过程的动态监测与管理^[4]。在修复过程中,实时采集施工数据,与数字孪生模型进行对比分析,及时发现施工偏差与质量问题,并调整施工方案,确保修复工程按照预定目标顺利进行。

3 可视化辅助决策系统架构设计

数据采集层是系统的基础支撑,它承担着收集古建筑多源数据的重要任务。这些数据来源广泛且格式多样,涵盖了三维激光扫描数据、无人机航拍数据、历史文献资料、现场监测数据等多个方面。三维激光扫描数据能够精确获取古建筑的几何形状和空间尺寸信息,为构建数字孪生模型提供基础的几何数据;无人机航拍数据则从宏观角度捕捉古建筑的外观纹理、周边环境以及整体布局,为模型增添

丰富的外观信息;历史文献资料包含了古建筑的历史沿革、建筑风格、文化价值等重要信息,有助于深入理解古建筑的文化内涵;现场监测数据则实时反映古建筑当前的损坏状况、结构稳定性等动态信息。为了确保数据的全面性和准确性,数据采集层采用了多种先进的技术手段和设备。在三维激光扫描方面,选用了高精度的激光扫描仪,能够在短时间内获取大量精确的点云数据;在无人机航拍上,运用了具备高分辨率摄像头和稳定飞行性能的无人机,以保证航拍图像的质量和清晰度。

数据处理层对采集到的原始数据进行一系列的处理操作,包括清洗、融合与转换。数据清洗过程旨在去除数据中的噪声和错误信息,提高数据的质量。由于采集到的数据可能受到环境干扰、设备误差等因素的影响,存在一些异常值或错误数据,通过数据清洗算法和人工审核相结合的方式,对这些数据进行识别和修正,确保数据的准确性和一致性^[5]。数据融合是将不同来源的数据进行整合,形成一个完整、准确的数据集。将三维激光扫描得到的几何数据与无人机航拍获取的外观纹理数据进行融合,使数字孪生模型既具有精确的几何形状,又具备逼真的外观效果。将历史文献资料中的文字信息与现场监测数据中的数值信息进行融合,为模型添加更多的语义信息和动态特征。数据转换则是将处理后的数据转换为适合后续处理与分析的格式。

模型构建层利用处理后的数据构建古建筑的数字孪生模型。该模型是一个高度集成和复杂的信息载体,不仅包含建筑的几何信息,如建筑的整体轮廓、构件尺寸、空间位置等,还涵盖材料属性、结构力学特性、历史变迁等多方面信息。在材料属性方面,详细记录了古建筑所使用的各种材料的类型、成分、物理性质和化学性质等,为模拟材料在不同环境条件下的变化提供依据;结构力学特性则描述了建筑结构的受力情况、承载能力、稳定性等,有助于评估建筑在不同荷载作用下的响应;历史变迁信息记录了古建筑在不同历史时期的修缮、改造和损坏情况,为理解建筑的发展历程和修复需求提供参考^[6]。在模型构建过程中,需要运用先进的建模算法与技术,如参数化建模、逆向工程建模等,确保模型的准确性与真实性。参数化建模方法通过定义一系列参数来控制模型的形状和特征,能够快速生成不同风格的建筑模型,并方便对模型进行修改和优化;

逆向工程建模技术则通过对实物进行扫描和测量,获取其几何数据,然后利用软件进行曲面重构和模型生成,能够精确还原古建筑的外观和结构。

4 系统实现与效果评估

系统开发采用先进的编程语言与图形处理技术,以确保系统的稳定性、高效性与出色的可视化效果。在编程语言的选择上,综合考虑了系统的功能需求、性能要求以及开发效率等因素,选用了具有强大功能、丰富库支持且广泛应用的编程语言,如 Python,它拥有丰富的科学计算库和图形处理库,能够高效地处理复杂的数据计算和图形渲染任务。结合 C++ 等高性能语言,用于对系统关键模块进行优化,提升系统的运行速度和响应能力。在图形处理技术方面,运用了先进的三维图形渲染引擎,如 Unity 或 Unreal Engine 等,这些引擎具备强大的图形渲染能力和逼真的物理模拟效果,能够为古建筑的数字孪生模型提供高度逼真的可视化展示。

在开发过程中,高度重视系统的模块化设计与可扩展性。模块化设计将系统划分为多个独立的功能模块,如数据采集模块、数据处理模块、模型构建模块、可视化展示模块和决策支持模块等。每个模块具有明确的输入输出接口和功能定义,便于开发人员进行独立开发、测试和维护。这种设计方式不仅提高了开发效率,降低了开发难度,还增强了系统的可维护性和可扩展性^[7]。为了实现系统的可扩展性,采用了插件式架构和开放的应用程序编程接口(API)。插件式架构允许系统在不修改核心代码的情况下,通过添加或替换插件来扩展系统的功能。当需要支持新的数据采集设备或新的图形渲染算法时,只需开发相应的插件并集成到系统中即可。

为验证系统的实际效果,选取具有代表性的古建筑修复项目进行实际应用。在项目实施过程中,系统充分发挥其先进的技术优势,准确构建了古建筑的数字孪生体。通过多种数据采集技术,如三维激光扫描、无人机航拍等,获取了古建筑的详细几何信息和外观纹理数据,并结合历史文献资料和现场监测数据,构建了包含丰富信息的数字孪生模型。该模型不仅精确还原了古建筑的外观和结构,还模拟了其材料特性和力学性能,为修复过程的三维可视化模拟提供了坚实的基础。决策者通过系统直观地了解了建筑的损坏情况与修复需求^[8]。系统以三维可视化的形式呈现了古建筑的数字孪生模型,决

策者可以通过交互式界面自由旋转、缩放和查看模型,清晰地观察到建筑的每一处损坏细节,如裂缝的位置、宽度和深度,木构件的腐朽程度等。

5 结语

数字孪生可视化辅助决策系统在古建筑修复工程中的应用,为解决传统修复方法存在的问题提供了有效途径。该系统通过构建数字孪生体与实现可视化展示,提高了修复方案制定的准确性与效率,保障了修复工程的质量与安全。未来,随着数字技术的持续创新与发展,数字孪生可视化辅助决策系统将不断完善与优化。其功能将更加丰富,能够更好地适应不同类型古建筑的修复需求;与其他技术的融合将更加深入,如人工智能、大数据分析等,进一步提升系统的智能化水平。

参考文献

- [1] 鲜灿龙,袁逸萍,晁永生.基于数字孪生的纺纱车间能耗可视化系统[J].上海纺织科技,2025,53(04):29-33.
- [2] 吴龙腾,何剑军,郭乾.配电自动化终端设备的可视化数字孪生离线故障预判方法研究[J].电测与仪表,2025,62(04):65-72.
- [3] 陈彦昊,居里锴,周成.盒式包装机安全防护数字孪生可视化监测系统构建[J].机电产品开发与创新,2025,38(02): 64-67.
- [4] 谢志伟,杨雪荣,张晓伟,等.基于数字孪生的基坑三维可视化实时监测方法[J].自动化应用,2025,66(06):80-83.
- [5] 夏时谦,周武.基于数字孪生的智慧高线可视化管控系统应用实践[J].冶金自动化,2025,49(02):1-13.
- [6] 冯海鹏,秦继,王东旭,等.基于数字孪生的输电线路施工过程可视化监测方法[J].大众用电,2025,40(02):61-62.
- [7] 孟博洋,孙文星,岳彩旭,等.面向数字孪生的多轴数控机床建模及实时可视化仿真[J].哈尔滨理工大学学报,2025,30(01):148-156.
- [8] 黄凯,马国财,曹志宏,等.基于数字孪生的离散车间可视化系统[J].机械设计与制造工程,2025,54(02):81-86.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS