

The intelligent transformation path of old residential area renewal in smart city from the perspective of digital twin

Shasha Chen¹ Junhao Luo^{2*}

1. Yunnan College of Economics, Trade and Foreign Affairs, Kunming, Yunnan, 650000, China

2. Yunnan Yihui Architectural Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

Under the background of smart city construction, the renewal of old neighborhoods and urban villages faces many challenges, and the emergence of digital twin technology provides innovative solutions. In this paper, we analyze the theoretical basis and application strategy of digital twin in the renewal of old districts and urban villages from the perspective of digital twin, and realize the accurate assessment and simulation optimization of the renewal area by constructing the digital twin model and integrating multi-source data. Combined with practical cases, the digital twin-driven intelligent transformation path is elaborated in detail, covering infrastructure upgrading, public space optimization, expropriation and demolition management, etc. The aim is to provide a scientific and efficient implementation path for the renewal of old districts and urban villages in smart cities, to improve the quality of life of the residents, and to promote the sustainable development of the city.

Keywords

digital twin; old neighborhood renewal; urban village transformation; intelligent transformation

数字孪生视角下智慧城市老旧小区更新的智慧化改造路径

陈沙沙¹ 罗峻豪^{2*}

1. 云南经贸外事职业学院, 中国·云南 昆明 650000

2. 云南奕辉建筑设计有限公司, 中国·云南 昆明 650000

摘 要

在智慧城市建设的大背景下, 老旧小区及城中村更新面临诸多挑战, 数字孪生技术的出现为其提供了创新解决方案。本文从数字孪生视角出发, 深入剖析其在老旧小区及城中村更新中的理论基础与应用策略, 通过构建数字孪生模型, 整合多源数据, 实现对更新区域的精准评估与模拟优化。结合实际案例, 详细阐述数字孪生驱动的智慧化改造路径, 涵盖基础设施升级、公共空间优化、征拆管理等方面, 旨在为智慧城市老旧小区及城中村更新提供科学、高效的实施路径, 提升居民生活质量, 推动城市可持续发展。

关键词

数字孪生; 老旧小区更新; 城中村改造; 智慧化改造

1 引言

随着城市化进程的加速, 老旧小区及城中村的更新改造成为提升城市品质、改善居民生活条件的关键任务^[1]。然而, 传统更新模式存在基础设施老化、空间利用不合理、管理效率低下、征拆过程矛盾突出等问题, 难以满足居民日益

增长的美好生活需求^[2]。数字孪生作为一种新兴技术, 通过构建与物理实体对应的虚拟模型, 实现对现实世界的实时映射与智能管控, 为老旧小区及城中村的智慧化改造提供了新的思路与方法^[3]。将数字孪生技术应用于更新过程, 能够全面整合各类信息, 精准分析问题, 优化改造方案, 提高改造的科学性与有效性, 助力打造宜居、宜业、宜游的智慧社区^[4]。

2 数字孪生技术概述

2.1 概念与原理

数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据, 集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程, 在虚拟空间中完成映射, 从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程^[5]。其核心原理是通过数据采集、传输与处理, 构建与物理实体高度相似的虚拟模型, 并利用实时数

【作者简介】陈沙沙(1987-), 女, 中国云南昆明人, 硕士, 高级工程师, 从事建筑空间智能、数字孪生、城市更新研究。

【通讯作者】罗峻豪(1983-), 男, 中国云南普洱人, 本科, 高级工程师, 从事建筑空间智能、建筑工程、城市更新研究。

据驱动模型动态更新,实现对物理实体的状态监测、性能预测与优化控制。在老旧小区和城中村场景中,数字孪生模型涵盖建筑结构、基础设施、环境设施、人员活动、征拆信息等多个层面,通过实时感知与数据分析,为更新改造提供精准依据^[6]。

2.2 关键技术构成

物联网技术:在区域部署温湿度、烟雾、流量传感器及摄像头,实时采集环境、设施运行、征拆现场数据并传输,为数字孪生模型供基础数据,如城中村征拆现场装设备可监测进展与安全^[7]。

大数据与云计算:大数据存管、分析海量区域数据,挖掘价值;云计算提供强算力保障模型高效运行,分析征拆、居民反馈数据可优化方案与策略。

建模与仿真技术:借 BIM、GIS 建区域三维模型,结合物理模型与算法仿真运行状态、征拆过程,规划阶段可预测不同征拆方案对居民生活、交通的影响,辅助决策^[8]。

可视化技术:将数字孪生模型直观呈现,如用三维地图展示房屋、设施、征拆进度,方便管理与公众了解,城中村改造中可将征拆现场孪生搬至会议现场辅助决策^[9]。

3 数字孪生驱动老旧小区及城中村更新的理论分析

3.1 精准评估与问题诊断

传统评估依赖人工经验,存在信息不全、准确性低的问题;数字孪生整合物联网数据、GIS 地理信息及居民反馈、征拆数据,可全面掌握道路、管网、征拆产权等情况,为更新提供依据,还能构建可视化拆迁底数库,规避虚报工程量风险^[10]。

以城中村改造为例,通过数字孪生模型构建可视化拆迁底数库,采集区域内基本地理信息数据(房屋建筑面积、占地面积、分层、结构等),并开展用地权属、房屋产权等摸底调查,实现不动产籍调查精度高效作业,有效规避虚报、谎报拆迁工程量的风险。

如在昭宗片区城中村改造中,通过实景三维建模和三维 GIS,建立地上地下一体化全空间拆迁可视化基础场景,绘制全部不动产单元位置、权属等信息,与房屋征收系统的数据信息相关联,实现图属一体化,快速定位精准到户。

3.2 模拟优化与方案决策

数字孪生可对更新改造方案模拟仿真,调整建筑布局、征拆顺序等参数,预测环境舒适度、征拆效率、居民满意度等指标,辅助选最优方案;还能模拟“未拆先拆”“拆后复原”,分析征拆赔偿方案影响,结合历史序列分析监测拆迁进度、对比影像,辅助查处违建与评估历史情况^[12]。

3.3 全生命周期管理与持续优化

数字孪生贯穿更新全周期:规划设计阶段辅助方案论证优化,建设施工(征拆)阶段实时管控进度质量与征拆过程,运营管理阶段监测运行状态并优化。在征拆管理中,可实现档案空间化“一权一档”,建立时空逻辑的空间场景化档案,解决档案更新混淆问题,管控拆迁工作量^{[13][14]}。

4 数字孪生视角下老旧小区及城中村智慧化改造路径

4.1 基础设施智慧化升级

智慧能源系统:通过安装智能电表、水表、气表等设备,实现对能源消耗的实时监测与精准计量。利用数字孪生模型分析能源消耗数据,找出高耗能环节与设备,制定针对性的节能措施,如优化照明系统、升级空调设备等。同时,引入分布式能源系统,如太阳能板、风力发电机等,实现能源的自给自足与优化配置^[14]。

智慧交通系统:借助数字孪生技术优化区域交通规划,通过模拟车辆轨迹与停车需求,合理设置道路标识、停车位;引入智能停车管理系统实现车位实时监测与在线预订,同时加强与周边公交系统衔接,优化公交线路及站点,便利居民出行^[10]。

智慧通信系统:全面提升区域的通信网络覆盖,推进 5G 基站建设,实现高速、稳定的网络连接。同时,整合区域内的通信线路,避免线路杂乱现象,提高通信安全性与可靠性。通过智慧通信系统,为区域的智能化应用提供数据传输保障,如智能家居控制、征拆信息的实时传输等。

4.2 征拆管理智慧化

可视化拆迁底数库:依托城中村实景三维数据,采集房屋、用地信息,建数字孪生三维场景与数据底库^[15],实现红线到住户层层定位,精准管房,高效摸底。

拆迁可视化会商:用模拟技术会商赔偿、管线迁移等问题;通过“未拆先拆”“拆后复原”模拟解工期问题,虚拟分析管线、定迁移方案,提动迁效率。

公众参与平台:搭在线平台,供居民、商户查拆迁计划、补偿、安置方案并反馈;虚实展示回迁实景,助居民规划生活,提支持度与签约积极性,增透明度与公信力。

实时监控与信息发布:借现场摄像头、传感器监控拆迁进展与安全,通过官方渠道及时发信息,保公众获信时效与准确^[14]。

可视化决策及汇报:将征拆孪生场景引入会议,助多方沉浸式决策;可视化汇报比传统更高效,可场景化呈改造进度,直定拆迁痛点。

4.3 建筑本体智慧化改造

智慧建筑运维:以数字孪生技术开展小区、城中村建筑全生命周期运维,在建筑关键部位装传感器,实时监测结构安全与设备状态;借模型分析数据,预测设备故障、提前维保,降故障率、延建筑寿命。

建筑节能与环境:用数字孪生模型分析建筑能耗,制定节能改造方案(如换节能门窗、加外墙保温);结合绿色建筑技术,优化自然通风与采光,提升室内舒适度。

4.4 监督管理智慧化

在城中村改造中,将“数字孪生”三维可视化技术嵌入项目监督,打造全流程智慧监督平台。在系统中嵌入“廉洁拆迁”监督模块,为征迁改造片区的相关廉洁风险点设定监控阈值。通过打通多部门数据壁垒,实现征迁户基础信息、补

偿协议、资金流向等数据交叉验证。当出现补偿异常情况时，触发红色预警，传送纪检监察机关，即时开展相关流程。

建立“红黄蓝”三色督办机制，对超期未处置的黄色预警发函提醒，对涉及违规违纪的红色预警直查快办，对程序瑕疵的蓝色预警督促立行立改。如在昭宗社区征迁指挥部，智慧大屏上的三维建模地图通过不同颜色标注征迁户的状态，绿色代表已完成合规审查，黄色标注待核实论证的争议房屋，红色闪烁点提示存在补偿异常风险的房屋，方便监督检查。

5 老旧小区及城中村数字孪生改造实践 ——以五华区城中村改造为例

在城市更新进程中，老旧小区与城中村改造因涉及主体多元、利益关系复杂、廉政风险点密集等特点，成为基层治理的重点与难点。昆明市五华区将“数字孪生”三维可视化技术深度嵌入城中村改造全流程，构建智慧监督体系，为破解改造中的监管难题提供了实践范本。

五华区黑林铺昭宗片区城中村改造项目重启后，曾面临档案资料混乱、动态监管滞后、廉政风险突出等问题。对此，区纪委监委以技术赋能监督为核心，推动街道将纪检监察功能与数字孪生管理系统深度融合，打造覆盖征迁全流程的智慧监督平台。该平台通过三大机制实现精准监管。

5.1 数据穿透式整合机制

平台打通自然资源、人社、街道办、拆迁公司、银行等多部门数据壁垒，整合征迁户房屋坐标、产权证明、补偿协议、资金流向等核心信息，形成“一户一档”的三维数据画像。借助AI智能分析技术，系统可基于房屋面积、层数等参数自动测算补偿基准价，并关联户主信息锁定补偿对象，实现基础数据与补偿标准的交叉验证。

5.2 异常智能预警机制

平台针对“廉洁拆迁”设定多维度监控阈值，当出现“补偿金额超基准价3%”“同一户重复签约”“突击加盖违建”等异常情况时，系统即时触发红色预警，同步推送至纪检监察机关，支持调查取证、账户冻结等快速处置。例如，在昭宗片区改造中，系统通过比对历年卫星影像，自动识别某户“突击加盖”行为并锁定违建事实，为追责履职不到位问题提供数据支撑。

5.3 可视化动态监管机制

基于三维建模的平台，以颜色编码呈现征迁状态：绿色为合规征迁户，黄色标注争议房屋，红色闪烁提示补偿异常。监督人员通过智慧大屏实时调取每户航拍影像、补偿明细，替代传统纸质核查，实现从“被动受理”到“主动发现”的转变。

五华区同步建立“红黄蓝”三色督办机制：红色预警违规违纪问题直查快办，黄色预警超期事项督促整改，蓝色预警程序瑕疵立行立改。系统运行以来，累计预警46次，纠正补偿偏差23处，推动昭宗片区一批次征迁10日内签约

率90%、满意率100%，完成350户征迁。

此外，该实践将数字孪生从征迁延伸至长效治理：三维场景留存的数据为安置房分配、集体“三资”管理等构建不可篡改底库，形成“全周期数字化监督”闭环，既提升改造监督质效，又推动权力公开，为破解基层治理问题提供可复制经验。

6 结论与展望

数字孪生技术为智慧城市老旧小区及城中村更新提供智慧化方案，通过建模解决基建老化、征拆难等问题，提升居民生活质量、推动城市可持续发展；未来需强化技术研发与数据规范，将其应用从征迁延伸至安置房分配、三资管理等领域，以全周期数字化管理助力城市高质量发展与智慧宜居社区建设。

参考文献

- [1] 何遥.智慧社区的现状与发展[J].中国公共安全,2014(Z2)
- [2] 钱德沛.以数字孪生技术促进应急治理现代化[J].国家治理,2024(03), 35-40
- [3] 马震.智慧城市建设对经济高质量发展的影响研究——基于城市韧性视角的分析[J].华东经济管理,2024(03), 47-57.
- [4] 陈建平.提效与赋能:数字孪生技术助推智慧城市现代化的双维逻辑[J].河南社会科学,2023(12),96-104.
- [5] 高艳丽;陈才;张育雄.数字孪生城市:智慧城市建设主流模式[J].中国建设信息化,2019(21), 8-12.
- [6] 万励,尹萃懿,汤俊卿,张龙飞,Timea NOCHTA&Jennifer SCHOOLING.数字孪生在城市规划实践应用中的批判性思考[J].上海城市规划,2023(05), 18-23.
- [7] 刘大同,郭凯,王本宽,彭宇.数字孪生技术综述与展望[J].仪器仪表学报,2018(11), 1-10.
- [8] 季晓琼.试论中国智慧社区发展现状与对策研究[J].中国新通信,2021(18), 47-48.
- [9] 樊静静.浅析智慧住区标准化现状[J].智能建筑与智慧城市,2017(07), 30-32.
- [10] 向玉琼,谢新水.数字孪生城市治理:变革、困境与对策[J].电子政务,2021(10), 69-80.
- [11] 高志华.基于数字孪生的智慧城市建设发展研究[J].中国信息化·2021(02),99-100.
- [12] 陶飞;刘蔚然;刘检华;刘晓军;刘强;屈挺;胡天亮;张执南;向峰;徐文君;王军强;张映锋;刘振宇;李浩;程江峰;戚庆林;张萌;张贺;隋芳媛;何立荣;易旺民;程辉.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018(01).
- [13] 王慧君.新型数字化测绘在城市更新项目中的应用研究.新城建科技.2025(04),86-88.
- [14] 任静;胡晓海;贺鹏真;刘婷城市更新设计中韵律表达策略研究——以贵阳市花溪老城片区为例.城市建筑空间,2025,32(04),75-78.
- [15] 冯时,耶律根迪,马福源.基于BIM+GIS融合技术的智慧化建设及应用研究[J].智能城市,2024,10(7):95-97.