

数字孪生技术驱动下的城市更新策略探究

郭雨濛

合肥财经职业学院, 安徽 合肥 231200

DOI: 10.61369/IED.2024120007

摘 要 : 本研究聚焦数字孪生技术驱动下的城市更新策略。在城市更新中, 其作用显著, 规划设计时可模拟评估方案, 建设施工时能监控施工过程, 运营管理时可反映城市运行状态, 还能促进多方协同。该技术原理是创建与物理实体对应的虚拟模型并实现实时数据交互, 体系架构包含感知层到应用层多个层级, 涉及物联网、大数据等关键技术, 具有实时性、精准性等特点。展望未来, 数字孪生技术将与更多新兴技术融合, 如区块链、VR/AR 等, 为城市更新提供更强支持, 助力打造智能、绿色、宜居城市。

关键词 : 城市更新; 数字孪生技术; 三维虚拟模型

Exploration of Urban - renewal Strategies Driven by Digital - Twin Technology

Guo Yumeng

Hefei Vocational College of Finance and Economics, Hefei, Anhui 231200

Abstract : This research centers on urban - renewal strategies propelled by digital - twin technology. In urban renewal, this technology makes a significant difference. It can simulate and evaluate plans during planning and design, monitor construction in real - time, mirror the urban - operation status in operation and management, and boost multi - party collaboration. The technology works by creating a virtual model corresponding to the physical entity and enabling real - time data interaction. Its architecture spans multiple layers from the perception layer to the application layer, incorporating key technologies like IoT and big data, and it is characterized by real - time and precise features. Looking ahead, digital - twin technology will merge with emerging technologies such as blockchain and VR/AR, offering stronger support for urban renewal and helping to build smart, eco - friendly, and livable cities.

Keywords : urban renewal; digital twin technology; 3D virtual model

一、研究背景与意义

随着城市化进程加快, 城市规模扩张、人口增多, 面临基础设施老化、空间利用低效、生态恶化等挑战, 这影响了城市可持续发展和居民生活质量, 城市更新势在必行。城市更新是城市多方面的全面升级, 对推动城市高质量发展、满足民众美好生活需求意义重大。数字技术的快速发展为城市更新带来新机遇, 其中数字孪生技术备受关注。它源于美国 NASA 的“阿波罗计划”, 起初用于航天飞行器监测诊断, 后借助物联网等技术, 拓展到城市管理等多个行业。在城市领域, 数字孪生技术通过构建虚拟模型, 实现对城市全方位的数字化映射和实时监测, 为城市规划、建设、管理和运营提供全新思路和方法。

将数字孪生技术应用于城市更新, 能带来诸多积极变化。规划设计时, 可模拟评估不同方案, 预测效果, 为决策提供依据, 提升规划质量, 避免资源浪费和社会问题; 建设施工时, 能实时监控施工过程, 及时解决问题, 提高施工效率和质量; 运营管理时, 可实时反映城市运行状态, 辅助管理者决策, 优化资源配置, 提升城市运行和管理水平。

二、数字孪生技术解析

(一) 技术原理与体系架构

数字孪生技术是一种通过数字化手段创建与物理实体相对应的虚拟模型, 并实现两者之间实时数据交互和同步的技术。其核心原理是利用物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术, 对物理实体的全生命周期进行数字化映射和仿真分析。

在数据采集环节, 通过在物理实体上部署大量的传感器, 如温度传感器、压力传感器、位置传感器等, 以及利用卫星遥感、无人机测绘、地理信息系统 (GIS) 等技术, 获取物理实体的各类数据, 包括几何形状、物理属性、运行状态、环境参数等。这些数据是构建数字孪生模型的基础, 其准确性和完整性直接影响到数字孪生模型的质量和 application 效果。

建模环节则是依据采集到的数据, 运用数学模型、物理模型、计算机图形学等技术, 构建与物理实体高度相似的虚拟模型。该虚拟模型不仅要在几何形状上与物理实体一致, 还要能够准确反映物理实体的物理特性和行为规律。以建筑数字孪生模型为例, 建模过程中需要考虑建筑的结构力学、热工性能、声学特

性等多方面因素，通过建立相应的数学模型和物理模型，实现对建筑在不同工况下的性能模拟和分析。

仿真环节基于构建好的数字孪生模型，利用仿真软件和算法，对物理实体的运行过程和未来发展趋势进行模拟和预测。通过设置不同的仿真场景和参数，如不同的交通流量、能源消耗模式、环境变化等，可以分析物理实体在不同条件下的响应和性能表现，为决策提供科学依据。在城市交通数字孪生模型中，可以通过仿真分析不同交通管制方案对交通流量的影响，从而优化交通管理策略，提高交通运行效率。

（二）关键技术与应用特点

数字孪生技术依赖于多项关键技术的无缝融合与协同运作，这些技术共同为其实现和应用提供支撑。物联网是数字孪生的基石。通过在物理实体上部署大量的传感器和物联网设备，实现了物理实体与数字模型之间的数据实时采集与传输。这使得数字模型能够即时反映物理实体的状态变化。

大数据技术对于数字孪生技术而言至关重要。在数字孪生的应用中，会产生海量的多源异构数据，其中包括传感器数据、业务数据以及环境数据等。大数据技术能够对这些数据进行高效的存储、管理和分析，挖掘数据中的潜在价值，为数字孪生模型的优化以及决策过程提供数据支持。通过对城市交通大数据的分析，人们可以了解交通流量的变化规律，并识别出拥堵的热点区域，进而优化交通规划。

人工智能（AI）技术在数字孪生领域中发挥着关键作用。机器学习、深度学习等人工智能算法可以对数字孪生模型进行优化和完善，提高模型的精度和准确性^[7]。此外，人工智能技术还能实现对物理实体的智能诊断、预测性维护以及自主决策等功能。

虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术为数字孪生带来了更加直观且沉浸式的交互体验^[8]。用户可以通过虚拟现实/增强现实设备，在虚拟环境中与数字孪生模型进行交互，实时查看物理实体的状态信息。在建筑设计领域，设计师能够利用虚拟现实技术，沉浸式地感受建筑的空间布局和设计效果，及时发现并优化设计中存在的缺陷。

三、数字孪生技术在城市更新中的应用场景

（一）数字化建模与可视化展示

在城市更新的规划与设计阶段，数字孪生技术的首要应用便是对城市进行全面的数字化建模^[9]。通过整合地理信息系统（GIS）、建筑信息模型（BIM）、遥感影像、物联网感知数据等多源数据，^[1]构建出与现实城市高度契合的三维虚拟模型。

在交通网络上，结合交通流量监测数据和交通规划信息，将城市的道路、桥梁、地铁、公交等交通设施纳入数字孪生模型中^[10]。通过对交通数据的实时采集和分析，能够实时反映交通流量的变化情况，为交通规划和管理提供数据支持。在城市更新项

目中，可以利用数字孪生模型模拟不同交通规划方案下的交通流量分布，优化交通设施布局，缓解交通拥堵。

数字孪生技术的可视化展示功能使城市更新得更加直观、形象^[2]。规划者和决策者可以通过虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、大屏幕展示等技术，沉浸式地体验城市的三维虚拟模型，从不同角度、不同尺度观察城市的现状和规划方案。在VR环境中，用户可以身临其境地漫步在虚拟城市中，感受建筑的空间布局、街道的尺度和氛围，以及公共空间的设计效果^[11]。这种沉浸式的体验方式能够帮助规划者更好地发现规划方案中存在的问题，如建筑之间的空间关系不协调、公共空间的可达性不足等，从而及时进行调整和优化。

（二）建筑与基础设施建设——建筑全生命周期管理

在建筑全生命周期管理中，数字孪生技术贯穿始终，发挥着极为关键的作用。

设计阶段，设计师借助数字孪生技术创建三维虚拟模型，其涵盖建筑几何形状、外观设计，以及结构力学、热工性能、声学特性等物理信息^[3]。基于这些信息，设计师能在虚拟环境中模拟不同设计方案对建筑性能的影响，如建筑朝向、开窗面积对采光通风的影响，进而选出最优设计方案，提升建筑设计质量与性能^[12]。例如上海多个高层写字楼设计时，设计师利用该技术模拟幕墙在不同气候条件下的热传递、太阳辐射得热情况，优化幕墙设计，降低建筑能耗，提高室内舒适度，提升设计效率和协同性。

施工阶段，数字孪生技术将BIM与施工现场物联网感知数据结合，构建施工过程数字孪生模型，实现对施工进度、质量、安全的实时监控与管理^[13]。通过在施工现场部署传感器采集数据并反馈到模型，可实时跟踪施工进度，发现偏差及时调整。在质量控制上，借助传感器采集关键节点和工序数据，如混凝土浇筑的温度、压力数据，经模型分析判断质量，发现问题及时预警整改。

建筑运营阶段，数字孪生技术同样不可或缺。通过建立运营数字孪生模型，实时采集能源消耗、设备运行状态、室内环境参数等数据，实现智能化管理和优化^[4]。在能源管理上，分析能耗数据，找出高峰时段和高耗能设备，制定策略降低能耗，实现节能减排。室内环境管理上，模型依据环境参数自动调整空调、照明设备，提升用户舒适度^[14]。如某智能建筑借助数字孪生技术，能源消耗降低20%，设备维护效果显著提升。

四、结论与展望

（一）未来发展趋势展望

展望未来，数字孪生技术在城市更新中的应用将呈现出更加广阔的发展前景和多元化的发展趋势^[15]。随着物联网、大数据、人工智能、5G等新一代信息技术的不断发展和深度融合，数字

孪生技术将不断创新和完善，为城市更新提供更加强大的技术支持和解决方案。

在技术融合与创新方面，数字孪生技术将与更多新兴技术深度融合，实现技术创新与突破^[5]。它与区块链技术的融合将增强数据安全性和可信度，确保数字孪生模型中数据的真实性和完整性。这为城市更新中的数据共享与协同工作提供了更可靠的安全

保障。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术的融入，将为城市更新带来更具沉浸感的体验和直观的交互方式^[6]。在城市规划展览中，虚拟现实/增强现实技术让居民和决策者能够身临其境地感受城市更新的效果，增强他们对规划方案的理解和认同感，提升决策的科学性和合理性。

参考文献

- [1] 李伯虎, 张霖, 王时龙, 等. 数字孪生技术发展现状与展望 [J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23 (12): 2405-2415.
- [2] Grieves M, Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictability in Product Development, Operations, and Support [M]. London: Springer, 2017: 89-104.
- [3] 赵红颖, 陈江, 李刚. 数字孪生城市研究与实践进展综述 [J]. 地理信息世界, 2020, 27 (02): 1-7.
- [4] Tao F, Qi Q, Liu A, et al. Digital Twin: A Survey [J]. International Journal of Automation and Computing, 2019, 16 (1): 1-18.
- [5] 袁烽, 张笑. 数字孪生驱动的未来城市 [J]. 时代建筑, 2020 (02): 16-21.
- [6] 宋刚, 王毅, 王有强. 数字孪生城市: 创新规划、建设、治理与运营模式 [J]. 城市发展研究, 2021, 28 (04): 51-57.
- [7] 雄安新区数字城市实验室. 雄安新区数字孪生城市技术框架白皮书 [R]. 雄安新区数字城市实验室, 2020.
- [8] 上海城市规划设计研究院. 上海数字孪生城市发展报告 [R]. 上海城市规划设计研究院, 2021.
- [9] 居德华. 论数字孪生方法在城市更新中的应用 [J]. 城市管理与科技, 2022, 23(3): 23-25.
- [10] 刘奕, 瞿开磊, 江颀. 城市更新的数字化思索 [J]. 华中建筑, 41.5(2023): 172-177.
- [11] 蔡宇凌, 杨署, 沈新为. 大型既有建筑改造设计的数字化技术路径探索 [J]. 土木工程信息技术, 16.5(2024): 131-135.
- [12] 甄子霏, 宋恒之. 数字虚拟技术下旧工业社区更新的探讨——以顺德糖厂片区为例 [C]// 美丽中国, 共建共治共享——2024中国城市规划年会论文集(03城市更新). 2024.
- [13] 邱樱, 李爱群. 智慧建筑和建造“城市-建筑-人”耦合视角下数字孪生技术应用与分圈层场景构建 [J]. 工业建筑, 180-189(2023).
- [14] 曾思铭, 冷先凯, 徐志浪, 董红芸, 陈文杰. “基于数字孪生的智慧社区建设与应用.” 6(2024): 143-147.
- [15] 居德华. 论数字孪生方法在城市更新中的应用 [J]. 城市管理与科技, 23.3(2022): 23-25.