

苏州古城历史文化遗产保护与活化的数字孪生方法*

杨滔 李晶 李梦垚 缪杨兵 田颖 孙令国

提 要 为了实现文化遗产的保护与活化利用,实现习近平总书记提出的“让更多文物和文化遗产活起来,营造传承中华文明的浓厚社会氛围”,数字孪生正日益成为实现这一目标的新工具与新平台。以苏州CIM+古城保护更新平台的建设实践为基础,梳理苏州古城保护与更新的现实挑战、理论基础和数字孪生技术基础,创新性地提出苏州古城的数字孪生架构,并以数字再现、价值识别、推演决策、综合治理作为场景驱动,以空间编码体系、分布式架构、实时响应模拟、人机柔性交互为技术驱动,解决古城保护与活化发展的矛盾,推动苏州古城的可持续发展,并对苏州古城传统建造方式的数字化复兴、传统生活模式的数字化演进和传统文化价值的数字化提升进行未来展望。通过这些实践与总结,为将来更大范围、更深程度、更高要求实现城市历史文化遗产保护与活化提供了坚实的方法。

关键词 文化遗产;数字孪生场景;古城保护与活化;数字技术驱动

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202401010
文章编号 1000-3363(2024)01-0082-09

作者简介

杨滔,清华大学建筑学院副教授,自然资源部智慧人居环境与空间规划治理技术创新中心副主任, yangtao128@tsinghua.edu.cn

李晶,中规院(北京)规划设计公司高级架构师

李梦垚,中规院(北京)规划设计公司规划师,通信作者, mengyao-119@163.com

缪杨兵,中国城市规划设计研究院主任,高级规划师

田颖,清华大学建筑学院博士研究生,中规院(北京)规划设计公司规划师

孙令国,苏州市空间规划智库平台主任

Digital Twins Method for Protecting and Revitalizing the Urban Historic and Cultural Heritage of Suzhou Ancient City

YANG Tao, LI Jing, LI Mengyao, MIAO Yangbing, TIAN Ying, SUN Lingguo

Abstract: In pursuit of the protection and revitalization China's cultural heritage, and in alignment with President Xi Jinping's vision to "bring more cultural relics and heritage to life and create a strong social atmosphere for the continuation of Chinese civilization", the digital twins method emerges as a new tool and platform to achieve these goals. Based on the establishment of Suzhou CIM+ Ancient City Protection and Renewal Platform, this paper assesses the practical challenges faced by Suzhou Ancient City and explicates the theoretical and technological foundations of digital twins. It proposes the development of a digital twins architecture for Suzhou Ancient City, a technology system that features scenario-based digital reproduction, value recognition, deductive decision-making, and comprehensive governance. with the spatial coding system, distributed architecture, real-time response simulation, and human-computer flexible interaction driven by the latest technology. The method holds promise in resolving the conflict between the protection and regeneration of historic cities and attaining sustainability for Suzhou Ancient City. The paper also explores the future prospects of further digitalizing traditional construction techniques, traditional life styles, and traditional cultural values of Suzhou Ancient City. The research provides a valuable method for protecting and revitalizing urban historical and cultural heritage, with implications extending beyond Suzhou to achieve sophisticated and high-quality preservation of future cities.

Keywords: cultural heritage; digital twins scenarios; ancient city protection and revitalization; digital-tech-driven

党的十八大以来,习近平总书记多次强调文化自信对中华民族发展的重要性,提出“文化自信,是更基础、更广泛、更深厚的自信,是更基本、更深沉、更持久的力量”。2021年3月发布的“十四五”纲要也提出要“推动中华优秀传统文化创造性转化、创新性发展,加强文物科技创新”^[1]。2022年5月印发的《关于推进实施国家文化数字化战略的意见》,明确到2035年建成物理分布、逻辑关联、快速链接、高效搜索、全面共享、重点集成的国家文化大数据体系,中华文化全景呈现,中华文化数字化成果全民共享^[2]。古城、古镇的更新与发展过程经常会陷入保护与发展的矛盾中,走向一些误区,例如:拆除重建导致原有的历史文化遗产遭到破坏;新的建设项目与传统的历史风貌、城市肌理不符合;注入新的文旅和商业,但欠缺对原住民的考虑,欠缺对房屋居住条

* 国家重点研发计划项目“城市更新设计理论与方法”(项目编号:2022YFC3800301)

件、基础设施、公共空间等的改善,居民幸福感和体验感低^[3-4]。基于苏州古城保护与更新的案例,提出数字孪生的技术与方法框架,以期探索城市历史文化遗产保护与活化的数字化新路径,力图推动我国优秀传统文化价值观和新兴文化生活方式的有机融合。

1 研究背景

1.1 保护与更新理论新发展

城市历史文化遗产的保护和更新利用已具备一定的理论基础和实践。历史文化遗产的保护始于19世纪,经历了从有形到无形、从单体到整体、从单一策略到分级分类的演变过程^[5-7],较为典型的是有机更新理论以及可持续性保护理论,前者注重系统性保护历史文化遗产的原真性、整体性,延续历史肌理^[8-9],后者将可持续性原则引入城市遗产保护领域,不再拘泥于“真实性”的争论,更关注历史文化遗产对于相关利益主体的长期意义^[10-11]。在“保护”的框架外,也有学者^[12-13]将历史文化遗产与社会学领域结合,探索遗产的更新利用方式。例如结合城市触媒理论,将物质性的传统工厂改造、历史建筑修缮、社区小微公园建设,或雕塑小品、建筑物外立面的门窗、雕花等,或非物质性的主题活动、节庆宣传等作为古城更新过程中的触媒元素植入点,利用这些从城市环境中而来的触媒,促使城市发生变化并产生“链式反应”,以小规模、渐进性的更新带动周边环境整体的更新活化和持续性发展。芝加哥大学教授克拉克提出的场景理论则是从生产者、工作者视角转为从消费者的视角出发,在传统的物理空间基础上融入文化内涵,提出场景主要包括社区空间、便利性文化生活设施、多样性活动、人群、共同文化价值观等五个要素^[14-15],场景中各要素组合对社会经济现象形成和城市持续发展有推动作用。

场景的实质是建构汇聚人、地、事、物的消费模式。结合渐进式的保护与更新的基础,以建筑、地块等小微尺度的空间为着力点,进一步通过多元要素的创意组合塑造场景,可以触发出更大价值的新需求与新应用,促进整体性保护

与可持续发展。然而,传统场景理论中对不同文化价值观和场景的定义是基于西方大城市的案例研究得到的,其分类不完全适合于当前我国的历史文化名城保护与更新,我国一些老街景区、文化景点等场景塑造的结果也往往不尽如人意。而且无论是触媒理论还是场景理论,其背后的实现机制还很复杂,目前缺少应用后对实现效果的客观评价方式。运用数字技术,则可以节约投资与建造成本,将场景应用在数字空间之中去发现触媒,并检验触媒的价值,通过数字与实体的互动,再去真实投资建设与保护,并把数字空间的收益用于实体空间的建造与运行,形成虚实循环的数字与实体经济。

1.2 数字孪生技术基础

数字孪生的概念最初是由Grieves教授于2003年在美国密歇根大学产品生命周期管理课程上提出的,早期应用于军事工业领域。目前对数字孪生尚未形成统一的认识,主要认为包括物理实体、虚拟实体、虚实之间的连接和数据以及服务等维度^[16-18],数字孪生通过在虚拟的信息空间构建物理实体的数字镜像,使难以建模的复杂物理系统可视化,进而为复杂物理系统的控制与优化提供参考^[19]。随着大数据、云计算、物联网、虚拟/增强/混合现实、人工智能等新兴技术的发展,数字孪生技术开始在城市领域渗透,出现了数字孪生城市的概念,即构建现实城市与数字城市的映射和互动,实现物理世界与数字世界完全对应、融合和演进,并驱动城市智能化的过程^[20]。

随着数字孪生技术的发展,历史文化遗产的数字化建设方式有所创新,保护与活化也有了新路径。运用三维建模技术为历史建筑、历史街区的修复和复原提供样本^[21-22],用于文物建库留档、遗产抢救保护,同时建立实体文化遗产的数字形象,结合云平台 and AR、VR等互动体验方式打造数字博物馆,实现线上云游览、三维沉浸式游览,促进文化传播和传承。同时,利用空间大数据技术对文化遗产的空间位置信息、保护规划信息、历史信息等进行存储,支撑历史街区、历史城区的保护与更新中的相

关分析工作,包括历史街区现状调查、规划设计、管理控制、价值评估,以及基于空间句法分析历史街区的空间形式与空间社会形态、形态结构、用地布局的关系及合理性等^[23]。

另外,城市智能/信息模型(City Intelligent/Information Modeling, CIM)技术通过整合BIM、GIS、IoT等技术,对文物保护信息、历史资料等非矢量的数据进行空间落位,并与精细化的历史模型等三维数据融合,有利于文化遗产信息的集成化管理和应用,通过实时动态数据的采集、传输、处理、分析、建模,结合实时动态数据实现文物环境监测、人流车流监测分析、街区环境现状分析等,对物质文化遗产的状态进行监测预警,并结合仿真模型与AI进行突发状况的预测和解决方案模拟^[24-26]。

从以往的研究和实践可以发现,数字孪生技术在历史文化遗产保护与活化上的应用已经从单纯的数据采集、三维建模、可视化展示向综合性的决策分析支撑转变^[27],既能掌握真实完整的信息,也有利于更最大限度地发挥文化价值,进行文化推广传播,彰显和传承文化自信。然而,对古城而言仍然存在实施难点。

一是数字建模门槛高。虽然已有多高精的测绘和三维建模技术,但古城中老房子较多,构建能真实反映实体古城微观细节、古建筑构件、历史建筑内部结构的高精度模型需要较大的投入,目前此类技术尚未大规模应用,往往只针对个别重要的文保单位、历史建筑进行三维点云建模、室内高精度建模等。数字孪生城市建设成本高、周期长,单纯依靠政府投资难以保障持续的数据更新和运维。二是数字化应用待挖掘。目前的数字技术应用集中在数字文旅和历史遗产数字化档案上,但对文化遗产数据的挖掘、实体模型与语义信息的融合仍较为欠缺^[28],尚未建立起虚拟对现实的反馈和引导,缺少对古城活化、城市更新等的辅助决策机制,也欠缺公众参与到文化传播和传承的有效路径。技术并不能解决所有问题,在实践中如何更好地运用数字孪生技术去保护、活化、再现历史文化遗产,实现苏州古城文化的复兴和持续发展是需要进一步思考的内容。

1.3 苏州古城保护与更新的挑战

苏州作为全国第一批历史文化名城, 2500年历史的古城分布着上百个文物保护单位, 众多物质和非物质文化遗产点缀其中, 水陆双棋盘格局的城市肌理独特且保留相对完整, 多年来一直坚持着保护为主的总体方针。对于苏州古城的历史文化遗产保护, 不仅仅是对遗产本身的保护, 更重要的是对其进行活化利用, 发挥文化遗产的价值, 综合考虑古城的经济发展和民生保障^[29]。目前苏州在保护与更新的双重要求下仍存在一些现实难题。

一方面, 古城保护整体格局的发展空间有限。古城严格落实历史文化保护规划, 文保单位、保护建筑众多, 房屋质量参差不齐, 私房、直管公房、混合所有等房屋产权类型复杂、居住人口混杂, 以政府为主导的多年小规模渐进式“微更新”经验虽能加强保护, 但未能长期发挥激发更新和经济发展的作用, 仅仅依靠政府不断的投资建设难以实现可持续。

另一方面, 精细化治理背景下多源数据汇聚融合难。寻找古城保护与更新活化发展方向需要全面精准的数据, 但现时数据往往分散在不同部门、不同企业中, 人口、文化等非矢量数据尚缺乏精准落位, 宗地、地块等空间单元彼此交叉不统一, 在精细化治理的需求下缺少房产等微观尺度的数据, 各类数据亟待统一的标准规范进行规整融合^[30]。

上述问题导致各方信息不对称, 多元主体协商决策难。投资者需要知道哪些是要保护的建筑或非物质文化遗产, 在更新过程中避免对文化遗产造成破坏, 同时又可以利用文化场景的策划推动经济效益提升; 建设者需要知道有哪些适用于苏州古城的传统或先进技术, 结合实际建筑情况选用合适的技术进行建筑修缮或更新; 保护者或政府方需要同时了解哪里有合适的投资者和技术, 对古城保护更新进行整体管控和引导; 消费者或社会公众则想知道古城内有哪些值得体验的文化场景。因此, 总的来看, 苏州古城需要探索如何在保护的整体框架下运用数字孪生技术有效调动社会各方资源, 推动投资、建设、文化保护、消费体验等资源的匹配, 促进多元主体

的协商共治, 推动古城可持续发展。

2 场景驱动的苏州古城数字孪生

数字孪生场景对苏州古城数字孪生的整体构建具有驱动作用, 从而夯实古城数字孪生架构的基石。首先, 场景本身为数据采集或机器学习提供了一种参考系, 以场景需求来推动数据的重组, 并搭建不同模型之间的参数联系。其次, 数据的融合或模型的迭代又构成多层场景的学习过程, 围绕场景的实现, 不同模型通过定制化组合共同作用, 形成业务与数据的互动, 从不同的维度去模拟空间场景的功能运行, 推动数字孪生场景的搭建。最后, 数字孪生通过这种学习过程, 将真实世界之中的人、地、事、物抽象为数字世界之中的知识, 并在真实的空间场景中得以再生产, 加速知识的迭代, 孕育出人机互动的智慧, 通过反复校验、迭代的过程构建起多层次、多精度、多模态的复杂场景系统^[31]。因此, 基于场景构建数据、基于数据挖掘价值、基于价值推演模拟, 支撑起各种宏观与微观的决策, 构建起从认识到识别、从决策到治理的古城保护更新活化利用的全过程, 最终实现古城孪生的整

体可持续发展闭环。

2.1 苏州古城的数字孪生架构

当前的苏州古城的保护更新需要构建一个整体的场景, 将古城中各种历史文化要素、人群、社会环境等纳入其中, 通过数字化要素反映出古城物质形态的原真性, 强调古城的整体性保护, 同时也需要新的引爆点作为触媒, 通过社会经济文化的全场景孪生互动来激活古城的价值。苏州市正在全面推进数字苏州建设, 已基本建成苏州市城市信息模型(CIM)基础平台^[32], 并以历史城区19.2 km²为试点率先探索古城的数字孪生示范应用(图1)。习近平总书记于2023年7月6日视察了苏州古城, 谈到“苏州在传统与现代的结合上做得很好, 这里不仅有历史文化的传承, 而且有高科技创新和高质量发展, 代表未来的发展方向”^[33]。本文结合上述理论和技术基础, 提出运用数字孪生技术构建“数字孪生场景”, 以全时空共享、全周期共治、全领域孪生互动为目标, 建设苏州古城的数字孪生系统, 在场景、技术的双驱动下, 释放古城独特的文化价值, 实现历史文化遗产的保护与活化。

区别于传统场景理论所定义的场景,

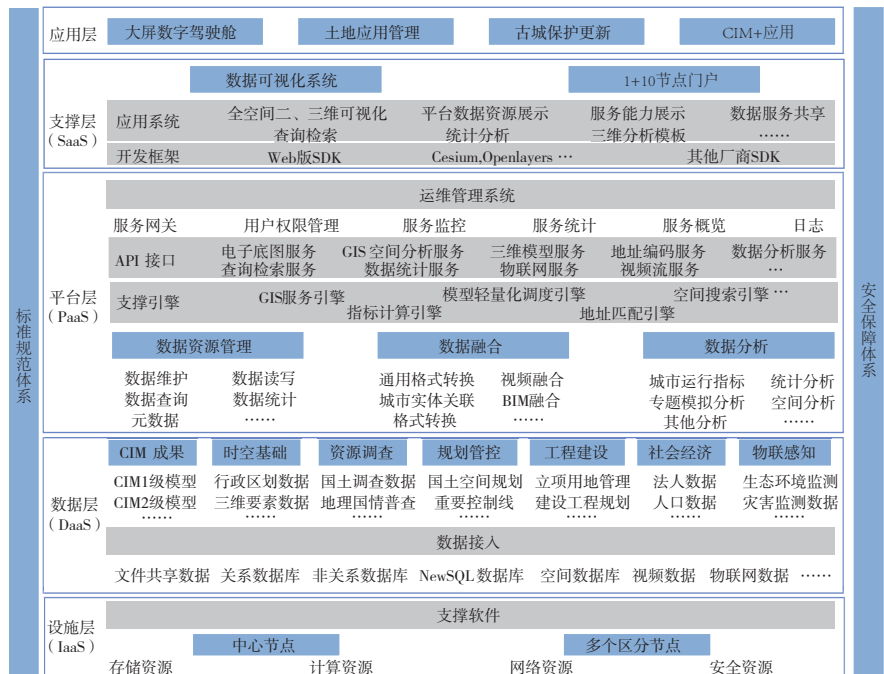


图1 苏州古城数字孪生架构图

Fig.1 The architecture of the digital twins of the ancient city of Suzhou

数字孪生场景一方面是指现实中场景在数字界面上的再现和反映,另一方面是在数字环境对现实场景的反馈过程中对现实场景模拟而产生的新场景,同时再反馈给现实场景,对现实场景进行调优的循环过程。传统场景理论将“空间”从单纯的物理层面上升到社会层面,而数字孪生城市中的“空间”则进一步从现实层面上升到虚拟层面,能够以数字化、抽象化的方式反映城市的实体空间、社会经济、文化生活等,形成数字孪生场景。

对于苏州古城而言,这样的数字孪生场景既反映了古城实体,凸显古城的城市肌理,也体现了古城所蕴含的文化价值观,同时还提供了一种全新的视角,在融合了感知、互动、反馈能力后,构建起一个更加智能的古城空间。正如场景理论中各个元素是相互有机关联的^[34],数字孪生场景也可以通过数字要素的组合,对场景进行新的解耦和重构^[35]。

结合数字孪生技术和传统的场景理论搭建新的“数字孪生场景”,既能弥补技术本身对本地文化需求和文化价值观反映不足的弱点,也可以基于场景梳理构建相应业务条线的数据,通过统一空间单元体系打通业务条线数据,从不同数据要素组合中发现新的问题;运用分布式架构支撑分散在各地的历史文化遗产在数字层面进行高效汇聚、便捷访问、全面共享;基于物联感知的实时监测数据,利用大数据和机器学习技术进一步发掘场景的内在规律、运行规则,实现对现实城市的科学模拟,推动数字孪生城市的综合决策与治理;通过人机交互方式和场景再造推动新的文化特征和价值取向的形成,进而实现传统生活模式的演进和文化价值的提升,实现整体的可持续发展目标。见图2。

2.2 实体古城保护的数字再现

整合多维时空数据,构建古城数字底板,结合历史图纸、现状模型、城市设计模型等三维模型和社会经济属性数据,实现古城过去、现在、未来场景的数字化再现与文化价值重构。数字底板包括两个方面。一方面是从物质形态入手,通过数字化建模对房屋、建筑、院落、文物保护单位、古树、古桥、古井、

河流水系、街巷道路等古城各类实体要素进行保护。根据不同空间尺度的需求,会涉及不同精度的模型,例如:高精度的倾斜摄影模型最接近古城真实现状(图3),能在较大尺度实现大范围的现状概览,直观看到古城的风貌特色,加强对整体视线通廊、建筑高度的管控;单

体化建筑模型、分层分户模型可以展现出建筑形态、立面和相关属性信息;构件级的模型,如BIM模型则可以反映出古建筑的室内、构件等细节;人工精模经过游戏引擎渲染之后(图4)则可以让用户感受到身临其境的感觉,对文化体验和宣传大有裨益。

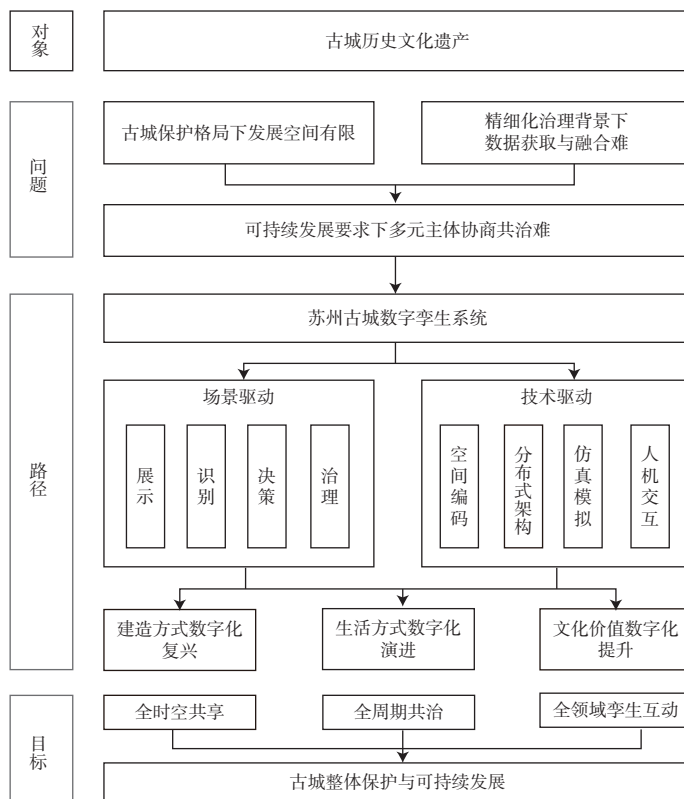


图2 基于数字孪生场景的城市历史文化遗产保护与活化利用路径图

Fig.2 The process of urban historic and cultural heritage protection and revitalization based on digital twins scenarios



图3 古城三维实景

Fig.3 The three-dimensional view of Suzhou Ancient City

另一方面,数字底板场景也是社会经济活动与古城文化价值观的体现,古城中的老街老宅等实体是人们生活记忆的落脚点,从可持续角度来看,对历史文化遗产的保护离不开对人的关注和对文化价值的传承,包括与人们生活息息相关的居住环境、生产生活方式、传统习俗等,这些也属于文化保护与传承的重要部分。通过对空间及相关设施、人口、交通等社会经济数据的汇聚融合展示,实现古城运行全周期、全业务、全要素、全数据的基础底板,综合历史文化遗产保护的核心要义,进行数字化再现。

2.3 实体古城活化的价值识别

场景价值是可以被识别和测量的。在古城数字孪生之中,多元的空间场景往往被不同的指标进行描述性解析,转化为定量的指标体系,抽象地对应于空间场景本身。这些指标有可能直接来源于对数据的深度学习,也可能来自对模型计算结果的深度挖掘。

基于数字底板,从不同维度、不同要素、不同指标入手,从生态、社会、经济、文化等多个维度构建数字孪生的“识别”场景,对数字要素及要素间的关系进行抽象化和重组,构建评估模型,对古城进行评估和价值挖掘,形成古城一幅幅独特的数字画像,反映出现实场景的运行规律、古城历史文化遗产的价值、古城发展中隐藏的问题。在此基础上,可以识别出需要强化历史文化保护和管控的地区、可以进行微更新的地块抑或是具有较大更新潜力的区域(图5),以细颗粒度的数据为政府部门、投资实施主体等提供精细化的数据和科学的分析结果,同时有利于明确古城更新项目所涉及的人口量、建筑量、资源量,辅助相应主体做出更加准确的决策判断,推动后续古城保护与活化更新在项目层面的实施落地。

2.4 古城数字孪生的推演决策

在“识别”场景价值的基础上,结合保护与更新的双重需求,将古城视为有机整体,结合古城保护更新发展总体规划与古城更新业务流程,通过数字孪生技术模拟出具有本地社会特征和需求

的数字决策场景,提供辅助项目选址、规划条件给出、设计方案管控和影响评估等功能,辅助古城规划建设管理的全生命周期,构建古城更新多主体会商平台,探索三维数字化、智能化方式创新古城保护更新模式。

例如:在古城更新项目的策划和选址时,可以通过调整不同指标自动模拟出空间地块模型,对项目实施效果进行预判,并结合历史文化名城保护的要求,与三维现状模型联动,查看城市整体的空间形态和风貌状况;通过系统算法,预先对搬迁安置人口、交通流量影响、公厕设施需求等社会影响及拆迁改造成本、复建规模、融资总量等经济影响进行定量估算,平衡更新过程中居民、政

府、投资商等不同参与方的综合利益。见图6。

又如,在更微观尺度,可以通过在线调整建筑立面颜色、更换屋顶等,对街巷立面管理、老宅修缮、违建拆除等进行在线模拟,体现多主体参与,塑造符合现实规律和业务规则的数字孪生场景,结合信息化平台、手机App等不同形式的人机交互,辅助更新政策、决策的制定。

2.5 古城数字孪生的综合治理

将数字孪生技术应用到城市运行、城市管理、社会治理、应急管理等领域,实现全主体映射、全要素感知、全场景赋能。运用物联网、边缘计算、云计算

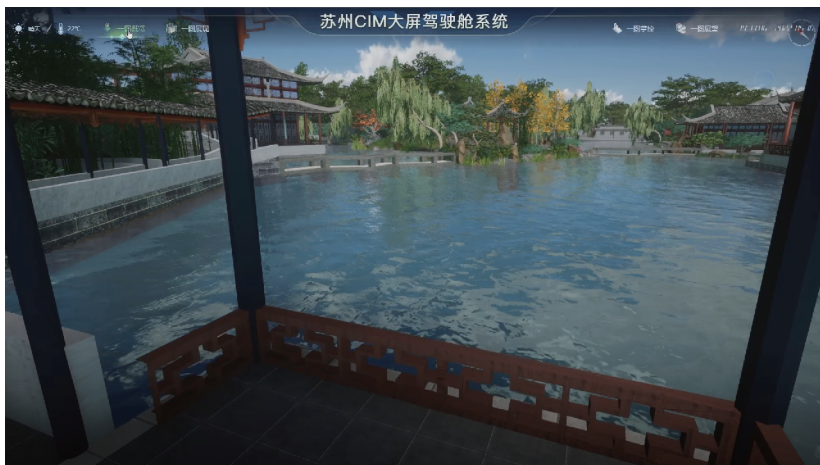


图4 古城精细化园林

Fig.4 The high resolution of a selected garden in Suzhou Ancient City



图5 CIM+古城保护更新——地块潜力评估

Fig.5 The assessment of development potential for each plot: the CIM+ regeneration for Suzhou Ancient City

等技术,结合各类要素在虚拟空间的可视化展示,对古城中原本不可见的地下管廊、地下管线以及交通要道、重大市政基础设施等城市生命线工程进行精准监测,在古城数字孪生中全范围反映真实场景的运行态势;结合模拟仿真技术,实现交通流量、人群活动、自然灾害、疫情扩散等的仿真,为交通拥堵治理、景区景点人群疏散、疫情精准防控等提供智能预测服务。

结合数字孪生平台中的现状、规划数据以及地上、地下数据,为多部门多专家会商给出项目的规划设计条件提供基础底板支撑,便于政府细化项目管控要求,落实规划条件,为古城保护与更新制定精细化的管理要求(图7);结合公众参与,为市民提供更加便利的数字化工公共服务;不断丰富数字孪生场景,促进古城保护更智慧、古城治理更科学,推动古城城市规划、建设、管理和运行一体化闭环运转,展现数字孪生城市的高阶智慧。

3 技术驱动的苏州古城数字孪生

3.1 实体与空间编码体系

从数字孪生场景需求出发,梳理出苏州古城数字孪生的最小空间单元为建筑,并建立覆盖建筑、宗地、地块、网格、社区、街道、区县、城市等不同层级空间单元的关联关系和不同类型的空间实体,打通不同领域业务与数据的关系,满足三维数据属性挂载需求及二、三维一体化的应用场景,为每一个空间单元、空间实体建立唯一的“身份证”编码。见图8。

基于空间编码建立古城数字孪生虚实映射的锚点,实现对每一棵古树、古桥、古宅等的管理,整合关联数据并实现建筑、宗地、规划地块、社区、街坊的数据贯通,各种历史文化保护限制条件、优势条件、其他相关现状数据等也得以基于同一空间单元统一成“块”。

编码本身也是内置的算法,建构了空间识别与交易的“度量衡”,在加强对历史文化遗产数字要素的管理的同时,为古城的更新研究和综合治理提供基础,便于任意文化要素、任意地块、任意空间范围内相关的信息的查询、共享,未



图6 CIM+古城保护更新——选址决策

Fig.6 The location selection decision: the CIM+ regeneration for Suzhou Ancient City

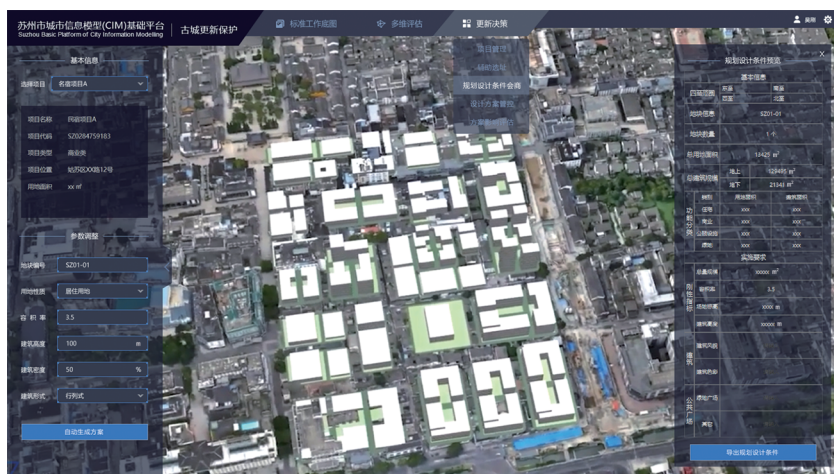


图7 CIM+古城保护更新——规划条件会商

Fig.7 The negotiation for planning permit specifications: the CIM+ regeneration for Suzhou Ancient City

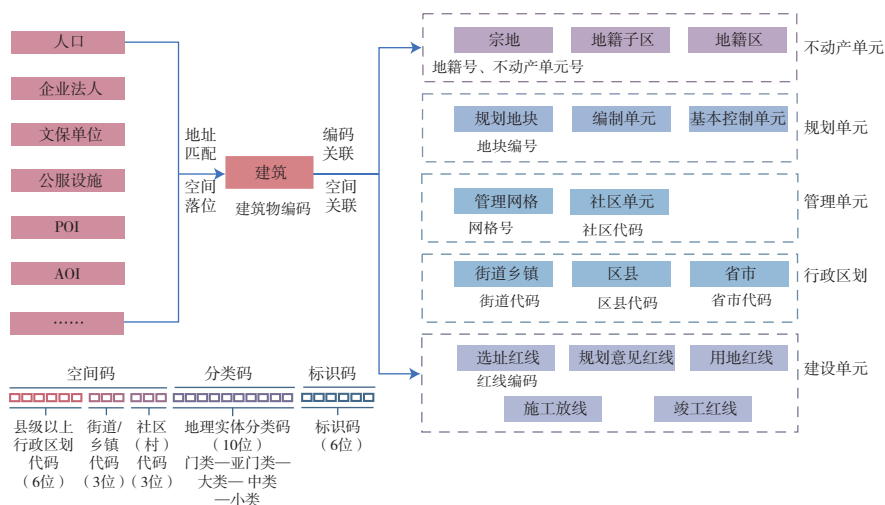


图8 苏州数字孪生城市标准——空间编码体系

Fig.8 The system for spatial coding: the standard for the digital twins of Suzhou

来可实现以“块”为单元的数据共享、数据交易。

3.2 连通基层与世界各地的分布式架构体系

在传统的信息系统中,分布式架构是利用高速计算机网络将物理上分散的多个单元连接起来组成一个逻辑上统一的整体^[36],可以有效解决高并发的数据问题,提供可扩展性以及高可用性。古城数字孪生借鉴分布式架构的思想,打造一个用户高效快速访问、连通基层与世界各地的分布式架构体系来加强古城的文化传播和与世界各地之间的文化交流,实现历史文化遗产的活化利用。

一方面,不同类型的历史文化保护对象均以数字要素的形式汇聚在古城数字孪生中,包括国家级、省级、市级等文物保护单位以及历史建筑、尚未核定为保护单位的不可移动文物、非物质文化遗产等,这些数字要素在古城、街区、街坊、地块、建筑等不同空间尺度下得到进一步的细化展示,并在古城保护和更新中转化为相应空间单元的管控要求,实现精细化的历史文化保护与空间治理。

另一方面,未来在苏州古城外,不同地区、不同城市、不同国家的历史文化资源要素也能以同样的层级架构构建自身的历史文化分布式数据节点,各地的节点通过高速计算机网络实现互联互通,通过“众筹”方式共建苏州古城数字孪生系统,促进数字孪生文化资源的高效汇聚,在支持高并发访问的情况下对世界各地公众开放,公众可以在数字孪生场景中感受多元文化特色,加强文化遗产资源的保护、传承和开发,促进全球历史文化的交流和文化艺术的繁荣。

3.3 基于可信大数据与AI的实时响应模拟

数字孪生城市建设中较为重要的技术是算法与仿真,通过在数字孪生世界中基于物联感知等可信的大数据与AI进行实时模拟,可以解决在现实世界中无法通过模拟来实现的各种复杂场景的仿真和决策。在古城保护方面,通过对历史文化遗产进行三维扫描和建模,并按真实点位接入物联感知监测数据,方便用户实时感知遗产的各类真实动态数据,

通过系统设置相应阈值,加强对遗产的动态保护和监测预警,及时发现文化遗产的变化并处理危机。

在古城活化利用方面,通过在数字孪生空间中融入古城内各景区的实时人流监测数据,结合人口画像如年龄、性别、来源等信息,可以在景区人流量大的地方通过策划相应的线下活动或配套相应的商业设施来提升古城的活力。在古城的安全应急方面,通过对古城内的地下管线、建筑、道路、设施小品等进行精细化的三维建模,并在不同的点位安装相应的监控或报警装置,通过可信的AI学习,当古城内发现一些危险物品或危险源时,可以提前对危险情况进行预警,或当危险情况发生时,也可以及时地进行应急方案的模拟和推荐,使应急处置效果达到最优。

3.4 面向古城保护的人机柔性交互

数字孪生城市建设的另一重要技术则是交互与控制。数字孪生空间作为一个与现实世界实时映射的空间,可以通过对虚拟空间中物体的控制来达到相应的效果,进而对现实世界中相应的决策提供支撑。在古城保护与活化中该技术尤为重要。在文化保护方面,在对历史文化街区内的更新项目进行规划方案审批时,通过将方案置于真实场景中进行比对和查看,用户可以第一人称视角亲身置于方案周边的道路上或某一特定位置对方案进行真实感受,查看该方案是否与周边的建筑风貌协调、是否会遮挡某些重要标志性建筑、是否会影响视线廊道等,同时支持在线换材质、换颜色、换构件,通过这种人机柔性交互来辅助规划方案审查,从而最大限度地保护古城的风貌和肌理。

在古城文化活化传承方面,通过对保护建筑进行精细化的建模和原始资料的收集与挂接,搭建虚拟的数字博物馆,用户可以在数字空间中真实地看到该保护建筑的每一个构件、每一处细致的纹理,甚至其背后蕴藏的文化典故、史籍资料等,采用柔性的人机交互形式,通过多终端应用、友好的互动界面、简洁流畅的操作体验等,可以让用户不受时间和地点的限制,更真实地感受到历史文化遗产的魅力,以“人与场景”对话

的方式还原历史文化遗产的文化原真性,实现对文化遗产价值的提升和传承。

4 苏州古城数字孪生的未来展望

4.1 古城传统建造方式的数字化复兴

当前苏州古城内主要存在两种更新方式,一种是对保护建筑的修缮,一种是对普通建筑的改建扩建或重建。数字孪生技术便于对各类保护建筑做更精准科学的修缮和复原,并加强对新建建筑的审查和管理,满足古城保护精细化管理和多专业协同的场景。

对于历史文化保护类的建筑,数字孪生技术一是可以真实记录并还原当前建筑最真实最精细的数据,对古代建造材料进行分析和模拟,在对构件进行数字化记录的同时,也对古建筑建造技艺这种非物质的文化遗产进行记录,对古代建造工艺流程进行复刻,从而在数字孪生空间中模拟历史建筑的建造过程,还可结合3D打印、模块化建造等技术,对珍贵的构件进行复制生产,为将来历史建筑的修缮和复原提供宝贵的资产。二是可通过数字模拟的方式在线模拟出不同修缮方案的效果,辅助确定与古城现实场景最适配的方案。此外,还可结合低碳技术,探索老旧建筑的更新改造,通过节能改造、能耗监测、自动调控等方式提高用能效率,打造低碳、零碳建筑,实现新老建造技术的结合。

4.2 古城传统生活模式的数字化演进

拥有2500年历史的苏州古城至今还保持着“水陆并行、河街相邻”的双棋盘格局和“小桥流水、粉墙黛瓦”的独特风貌。在物质文化遗产仍被保存良好的今天,数字孪生技术可以更好地实现传统生活模式的数字化演进,让古城真正做到“外面看上去历史2500年、里面走进体验2035年”。

数字孪生技术对于古城传统生活模式的改变主要有两种。一种是通过各行各业的数字孪生来提升人在现实世界中的生活体验,例如数字化创意与古城内小桥流水园林式的“慢”生活方式的结合,人们在数字孪生古城中可以通过数字化进行便捷的生活连接,包括在线观看、线上课堂、远程办公、智慧医院、

智慧商超等,在实体古城中则依旧能体验到生态宜居、宜人惬意的建成环境;又如物联感知、边缘计算与自动驾驶技术的结合,未来将推动无人车等新型交通工具的应用,提高交通运行效率,进一步节省道路空间,将街道还给人们,提供更多的慢行空间、可变活动空间。另一种是通过建造与现实世界孪生复刻的数字世界,使人们可以在数字空间体验数字生活场景,例如打造个人独特的数字形象,在数字古城中体验购物、娱乐等各类生活场景,也可以在虚拟世界中参与众智众创活动,模拟体验古城的规划、设计和更新改造,运营自己的数字资产,一些好的内容和模式也可以被搬到现实世界中进行复刻,提升现实中人民的获得感和幸福感。

4.3 古城传统文化价值的数字化提升

通过数字孪生技术对古城的文化遗产进行数字化再现,可以推动相关“文化资源”到“文化资产”的转化,全面提升古城的文化价值。历史文化遗产的价值包含两个层面,一是文化遗产本身的价值,二是文化遗产所衍生出的产业链价值。

一方面,利用文化遗产促进区域特色文化产业发展,以文化遗产催生品牌,以品牌带动产业,通过产业反哺文化遗产的方式增加居民收入,激活内部发展动力,促进区域特色产业发展^[37],例如天空之城2077苏州项目,便是探索对苏州历史文化要素进行解构与重构,通过沉浸式场景体验、虚拟现实社交等方式,将历史的、现在的、过去的苏州以数字的形式展示出来,进而带动当地的文化消费与城市发展。

另一方面,古城数字孪生还可以为古城中的各种历史文化遗产的数字要素提供展示与交易的场景,未来在元宇宙中历史文化遗产可以永远留存,还可跨越现实空间,通过元宇宙将各种物质的、非物质的历史文化遗产重组成一个全新的虚拟空间的文明群落,增强数字孪生场景的体验感,面向全世界的人展开相关的文化创造和经济交易活动场景,对文化遗产的文化衍生品进行数字交易。通过数字化的方式对文物或古代建筑物的工艺、材料、技术、文化内涵、故事、

生活方式等进行更大规模的传播与消费,反过来又提升对文物和古建的保护,并促进新业态创意的出现,推动实体世界的消费和交易场景,将历史文化遗产的影响范围从本地、中国扩展至全球环境,实现古城传统文化价值的数字化提升。

5 结语

数字孪生技术是历史文化遗产保护与活化的新工具,也是让生活更美好的手段。生活中的需求为技术提供了创新思路和应用场景,技术在古城数字孪生场景中的模拟、实验反过来也会促进现实中相关新兴技术产业的发展,并在现实生活中得以应用,创造新的生活体验和生活方式。本文通过梳理以往苏州古城保护与更新过程中的问题,结合其现状情况和发展需求,创造性地提出运用数字孪生技术构建“数字孪生场景”,搭建苏州古城数字孪生系统,探索场景和技术双轮驱动的数字孪生古城建设模式,解决苏州古城保护与更新过程中的矛盾,释放古城独特的文化价值,推动历史文化遗产的保护、利用与传承,实现古城的整体性保护与可持续发展,并探索未来苏州古城数字孪生在数字经济、数字生活、数字文化方面的应用,实现全时空共享、全周期共治、全领域孪生互动。在数字孪生的基础上,传统文化价值观和新兴文化生活方式的不断融合,生活文化得以不断迭代,古城的品质内涵得以永恒。

然而,数字孪生技术目前仍然在初期阶段,可视化能力要远大于模拟仿真与互操作能力,且国产化的可视化能力仍然亟待提升。因此,苏州古城数字孪生的过程将会是逐步迭代的。一是基于古城保护与更新的各行各业的知识需要转化为模拟仿真模型,才能在未来实现跨专业的协同模型创新突破;二是基于古城感知数据的积累需要根据有效应用场景去牵引,才能在使用过程之中不断地更新数据,维持古城数字孪生平台本身的活力;三是古城的创意创新需要及时拥抱生成式数字技术(如生成式大模型),尽可能地创造出古城新的经济、生活、文化、管理等新模式,让古城的传统物件与文化在老百姓的日常生活之

中不断得以创造性延续与弘扬。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OL]. 新华社. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm, 2021-03-13
- [2] 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于推进实施国家文化数字化战略的意见》[EB/OL]. 新华社. http://www.gov.cn/zhengce/2022-05/22/content_5691759.htm, 2022-05-22
- [3] 张松. 城市生活遗产保护传承机制建设的理念及路径: 上海历史风貌保护实践的经验与挑战[J]. 城市规划学刊, 2021(6): 100-108.
- [4] 张松, 张广汉, 张杰, 等. “新时代中国特色历史城市的价值认识及保护要义”学术笔谈会[J]. 城市规划学刊, 2018(1): 1-9.
- [5] 兰伟杰, 胡敏, 赵中枢. 历史文化名城保护制度的回顾、特征与展望[J]. 城市规划学刊, 2019(2): 30-35.
- [6] 常青, 阮仪三, 张松, 等. “文化传承与历史保护”学术笔谈[J]. 城市规划学刊, 2019(S1): 105-108.
- [7] 党安荣, 梁媛媛, 陈麦尼, 等. 历史文化名城保护的信息技术方法研究进展与趋势[J]. 中国名城, 2021, 35(4): 33-37.
- [8] 陈蔚, 胡斌. 我国历史文化遗产保护理论体系的框架性研究[J]. 室内设计, 2012, 27(5): 35-38.
- [9] 黄勇, 石亚灵. 国内外历史街区保护更新规划与实践评述及启示[J]. 规划师, 2015, 31(4): 98-104.
- [10] 屠李, 张超荣, 赵鹏军. 走向可持续性保护: 城市遗产保护的演进与规划响应[C]//新常态: 传承与变革——2015中国城市规划年会论文集(08城市文化). 2015.
- [11] 刘辉龙. 基于“有机更新”理论的北京南锣鼓巷历史文化保护区的提升策略[J]. 中国文化遗产, 2018(4): 85-92.
- [12] 朱佳奇, 夏健, 刘露. 基于“城市触媒”理论的历史文化街区保护更新研究: 以苏州古城15号街坊为例[J]. 苏州科技大学学报(工程技术版), 2020, 33(2): 45-50.
- [13] 秦海东, 胡李平. 基于城市触媒效应的传统商业街区微更新策略[J]. 规划师, 2019, 35(S1): 81-86.
- [14] 李和平, 新泓, Terry N. Clark, 等. 场景理论及其在我国历史城镇保护与更新中的应用[J]. 城市规划学刊, 2022(3): 102-110.

- [15] 吴军,夏建中,特里·克拉克.场景理论与城市发展:芝加哥学派城市研究新理论范式[J].中国名城,2013(12):8-14.
- [16] GLAESSGEN E, STARGEL D. The digital twin paradigm for future NASA and U. S. Air Force vehicles[C]//Proceedings of the 53rd AIAA/ ASME/ ASCE/ AHS/ ASC Structures. Structural Dynamics and Materials Conference. Honolulu, USA: AIAA, 2012.
- [17] TAO Fei, ZHANG Meng, LIU Yu, et al. Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2018, 67 (1):169-172.
- [18] 陶飞,刘蔚然,张萌,等.数字孪生五维模型及十大领域应用[J].计算机集成制造系统,2019,25(1):1-18.
- [19] 杨林瑶,陈思远,王晓,等.数字孪生与并行系统:发展现状、对比及展望[J].自动化学报,2019,45(11):2001-2031.
- [20] 党安荣,王飞飞,曲葳,等.城市信息模型(CIM)赋能新型智慧城市发展综述[J].中国名城,2022,36(1):40-45.
- [21] 杨昕.数字技术在历史建筑保护与修复中的应用研究[J].中国房地产,2021(21):74-79.
- [22] 周庆,吕扬,李兵.多时态三维技术在历史文化街区保护中的应用:以北京石景山区模式口文保区修缮整治为例[J].北京测绘,2018,32(1):84-88.
- [23] 陈仲光,徐建刚,蒋海兵.基于空间句法的历史街区多尺度空间分析研究:以福州三坊七巷历史街区为例[J].城市规划,2009(8):92-96.
- [24] 秦晓珠,张兴旺.数字孪生技术在物质文化遗产数字化建设中的应用[J].情报资料工作,2018(2):103-111.
- [25] 吴志强,甘惟,臧伟,等.城市智能模型(CIM)的概念及发展[J].城市规划,2021,45(4):106-113.
- [26] 吴志强,甘惟,刘朝晖,等.AI城市:理论与模型架构[J].城市规划学刊,2022(5):17-23.
- [27] 吴志强,王坚,李德仁,等.智慧城市热潮下的“冷”思考学术笔谈[J].城市规划学刊,2022(2):1-11.
- [28] 张智,党安荣,侯妙乐,等.长城文化遗产保护与利用的信息技术方法框架构建[J].遥感学报,2021,25(12):2339-2350.
- [29] 王承华,张进帅,姜劲松.微更新视角下的历史文化街区保护与更新:苏州平江历史文化街区城市设计[J].城市规划学刊,2017(6):96-104.
- [30] 杨俊宴.从数字设计到数字管控:第四代城市设计范型的威海探索[J].城市规划学刊,2020(2):109-118.
- [31] 杨俊宴,程洋,邵典.从静态蓝图到动态智能规则:城市设计数字化管理平台理论初探[J].城市规划学刊,2018(2):65-74.
- [32] 杨滔,李晶,张月朋,等.城市信息模型(CIM)平台顶层设计的理论与方法探讨:以苏州为例[J].城市发展研究,2022,29(7):24-29.
- [33] 把握好现代化进程中传统与现代的关系[EB/OL].人民日报. http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-09/11/nw.D110000renmrb_20230911_1-09.htm, 2023-09-11.
- [34] 吴军.城市社会学研究前沿:场景理论述评[J].社会学评论,2014,2(2):90-95.
- [35] 温雯,戴俊骋.场景理论的范式转型及其中国实践[J].山东大学学报(哲学社会科学版),2021(1):44-53.
- [36] 李明.浅谈分布式数据库在组织机构代码系统中的应用[J].山东纺织经济,2007(4):2.
- [37] 黄永林,李媛媛.文化强国战略背景下的中国文化遗产保护与利用[J].理论月刊,2022(3):68-78.

修回: 2023-11