

引文格式: 杨晓飞,吴真真,唐超,等.数字孪生背景下的城市全空间数据服务体系建设[J].北京测绘,2022,36(7):875-880.

Reference format: YANG Xiaofei, WU Zhenzhen, TANG Chao, et al. The construction and service of urban whole space data system under the background of digital twin[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2022,36(7):875-880.

DOI: 10.19580/j.cnki.1007-3000.2022.07.010

# 数字孪生背景下的城市全空间数据服务体系建设

杨晓飞<sup>1,2,3</sup> 吴真真<sup>4</sup> 唐超<sup>1,3</sup> 王思锴<sup>1</sup> 王晓静<sup>1,3</sup>

(1. 北京城建勘测设计研究院有限责任公司, 北京 100101; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 3. 城市智能感知与精密测量工程技术中心, 北京 100101; 4. 中国安全生产科学研究院, 北京 100012)

**[摘要]** 在“新基建”、数字经济等政策推动下,数字孪生城市建设进入新的发展时期,本文结合数字孪生城市建设现状,提出构建城市全空间数据服务体系的理念,在充分论述城市全空间数据服务体系的必要性及核心地位的基础上,作者结合南京市城市信息服务平台建设经验,以城市全空间数据服务体系为研究对象,从总体架构、实施路径两方面进行初步探索,为数字孪生城市建设提供理论依据。

**[关键词]** 数字孪生; 数据融合; 城市全空间数据服务体系

**[中图分类号]** P208 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1007-3000(2022)07-0875-06

## 0 引言

自 2018 年中央经济工作会议提出“新型基础设施建设”(以下简称“新基建”)以来,国家在相关领域的投入不断增加;2020 年 3 月,面对新冠疫情给全球经济造成的负面影响,中共中央政治局常务委员会再次强调“要加大公共卫生服务、应急物资保障领域投入,加快 5G 网络、数据中心等新型基础设施建设进度”。政策的支持给“新基建”注入强大的生命力,由“新基建”引燃数字孪生城市、数字经济等又一波热潮。

“新基建”主要涵盖信息基础设施、融合基础设施、创新基础设施三个层面,数字孪生城市同样由全空间数据体系、数据服务平台以及全面覆盖城市生活的创新应用构成,其中全空间的数据体系为数据中台和顶层应用的基础框架。“新基建”的实施为数字孪生城市建设,尤其是城市全空间的数据服务体系建设提出更高的要求也带

来了新的机遇<sup>[1]</sup>。

## 1 数字孪生技术应用现状及问题

数字孪生的概念最早由美国宇航局提出,其目的是在地球上对外太空的航天器运行计划进行仿真模拟,减小航天器发生事故或遭遇灾害的概率,经过六十余年的发展,数字孪生概念已经延展到人们日常生活的各个方面<sup>[2-3]</sup>。可以将数字孪生的概念定义为对应物理世界的信息集合,该集合容纳了从微观角度到宏观世界的一切对象,并且能够全面真实地表达其特征,同时亦可借助特定的数据交互方式与真实世界互动。有学者进一步扩充了数字孪生在数据覆盖范围、结果预测、控制流程中的重要作用,指出数字孪生是以数字化方式创建物理实体的虚拟对象,借助多源数据(历史、实时)以及特定的数据分析、算法模型,用于指定对象的模拟、预测、验证并与物理空间实体互动技术方法。落脚到城

**[收稿日期]** 2021-12-13

**[基金项目]** 北京市科技专项(Z201100008520038);北京市科协金桥工程种子资金 A 类项目(ZZ20002)

**[作者简介]** 杨晓飞(1988—),男,河北邯郸人,博士,高级工程师,从事测绘、GIS、轨道交通信息化研究。

**E-mail:** yangxiaofei@cki.com.cn

市管理上来说,数字孪生城市不仅仅是指物理环境,还包括各种行业管理、城市管理、企业管理流程、商业活动等所有人们行为过程被映射到网络环境的现象<sup>[4-7]</sup>。

### 1.1 数字孪生技术应用现状

数字孪生城市是物理城市实体对象在数字世界的虚拟实体,该数字世界除了具备传统数字孪生可视化的特征外,更重要的是具有全局视野、精准映射、模拟仿真、虚实交互、智能干预等特性,通过虚拟与现实的数据交互为城市管理提供新的技术手段。城市全空间数据服务体系以空间信息模型作为各种城市管理场景行业数据融合共享的基础,集成 IOT 物联感知数据,以数据治理为数据更新、应用的保障,为城市管理场景提供精细化数据和能力<sup>[8-9]</sup>。

随着数字孪生城市的兴起及“新基建”政策推动,城市信息模型(city information modeling, CIM)成为数字孪生城市另一个代名词,即融合了建筑信息模型、地理信息系统、物联网等技术为基础,汇聚城市的全空间模型、城市管理的全过程(历史、现状、未来)信息数据以及实时感知数据,构建起城市从规划、建设到管理的三维数字空间的有机综合体<sup>[10]</sup>,其基础是覆盖地上、地下的全空间数据服务体系,其核心是通过二者交互优化时空资源配给,摆脱传统单靠管理策略或经验的主观性,提供一种新的资源的配置线,即从时间维度建立实时协同反馈的城市治理模式<sup>[11-12]</sup>。

国内将数字孪生技术应用在城市建设源于雄安新区智慧城市纲要“坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设,适度超前布局智能基础设施,打造全球领先的数字城市。”2020年住建部发布了《关于加快推进新型基础设施建设的指导意见》,鼓励各省市在加大新型基础设施建设投入的同时注重搭建数字孪生平台,加快城市智慧化进程。但结合国内外主要城市在数字孪生建设进程来看,该技术应用尚未成熟,大多数研究仍处于探索阶段<sup>[13-15]</sup>。

从现状来看,目前国际上和国内数字孪生城市建设大多仍停留在数据整合集成阶段,即建筑信息建模(building information modeling, BIM)、地理信息系统(geographic information system, GIS)

模型融合型映射,数据由现实世界单向传递至数据模型,并未实现由孪生模型向现实世界的反馈。虽然美国、英国、新加坡、日本等少数发达国家也从国家政府层面对数据孪生建设提出相应的要求和政策指引,但应用方面依然处在二维地理信息加专题应用阶段,极少数发达城市逐步开展建立示范园区的三维建筑模型、倾斜摄影模型、高分影像等,离真正基于全空间数据服务体系的数字孪生城市的规划长远目标相差还很远。

综上所述,当前数字孪生城市建设仍处于起步探索阶段,要想真正实现数字孪生技术的深度应用,仍缺乏一个数据综合平台,即可以实时映射的城市全空间对象的数据体系,该体系也是描绘细节、呈现趋势、推演未来的综合信息载体。因此,对城市全空间数据服务体系建设的深度研究应先于数字孪生城市规划同步开展。

### 1.2 存在问题

通过对数字孪生技术应用的研究发现,数字孪生城市之所以仍停留在单个系统、小范围具体业务层面,无法广泛推广至整个城市管理当中,除去技术发展限制外,是因为存在以下几个问题:

一是顶层设计问题。构建数字孪生城市总体设计至少应该涵盖基础标准、数据框架、资源统筹、业务规范四个方面的内容,许多城市在总体规划阶段未做好顶层设计,具体应用场景建设过程中缺乏整体统筹的平台理念,没有考虑到城市级的业务场景存在跨层级、跨地域、跨系统、跨部门的特点,造成基础数据与平台的重复建设、重复投资,也较容易形成“数据孤岛”<sup>[10]</sup>。

二是数据框架及数据融合问题。数据是数字孪生技术的根本基础,统一的数据框架标准是数字孪生技术发展的前提条件,一个统一和协同的城市全空间数据服务框架是未来数字孪生城市领域不可或缺的一部分。

数字孪生技术涉及城市全空间范围的多源异构数据,数据本身的差异性导致数据融合存在一定难度即,数据源类型不同、空间尺度不一致;数据属性不同,结构化、非结构化和半结构化数据并存;空间坐标系统多样,数据准确性难以保障;城市级数据的更新、存储与计算分析能力不

足;全空间数据分类、编码规则不同,服务商数据格式不同造成数据传递信息损失。

三是资源整合问题。城市全空间数据在一定程度上属于特定建设单位或业务的数字资产,而当各个专业领域的的数据按照某种标准、公共政策汇聚为城市全空间数据服务体系之后,这些数字资产一定程度上就转化为公共数字资产;城市全空间数据体系涉及海量的数据存储和计算、分析服务,传统的数据中心难以承载如此规模的数据存储及运算能力,通过云技术实现多方资源的统筹整合是今后数字孪生城市的重要研究方向之一。

此外,通过城市全空间数据服务体系构建的数字孪生城市是一个多维系统的融合,在数据、业务和流程交互环节均需多部门协同,破除传统城市管理之中的单线管理模式,涉及城市管理部门的架构调整及资源重组。

四是数据及网络安全问题,即数据的存储和传输安全。数字孪生城市各个系统在实际应用过程中,会循环往复地产生海量业务数据并在子系统间传递,部分生产、企业管理和外部服务数据为涉密敏感数据,网络存储和传输过程中存在泄密风险,需要同样筑牢数字孪生城市的安全防护体系。

## 2 城市全空间数据服务体系建设研究

数字孪生的本质是基于全空间数据服务体系的具体业务应用的控制管理过程,因此可以将数字孪生核心概括为七个要素:物理空间、数字空间、数据、模型、控制、交互、服务,即带有数据的模型与现实空间管理业务的互动关系<sup>[16]</sup>。

由此可见,城市全空间数据服务体系就是把城市全空间对象模型、信息融合,与城市管理数据分析平台、云计算平台、AI 平台融合合并并提供相应的服务。作为数字孪生城市的信息化底座,该数据服务体系所指的全空间数据对象包括城市空间规划数据、基础地理数据、建筑 BIM 数据、IOT 数据以及城市管理当中产生的经济、社会、民生等与城市建设、发展相关的所有数据<sup>[17-18]</sup>。

### 2.1 城市全空间数据服务体系总体设计

城市全空间数据服务体系的建设和发展是众多创新技术共同发展的结果,笔者认为从数据采集到功能实现主要分为四个层次:即在统一标准框架(数据标准、传输标准、接口标准及服务标准)下的数据源层、基础设施层、平台层及应用层,各个层次之间的关系及所包含的数据服务内容如图 1 所示。

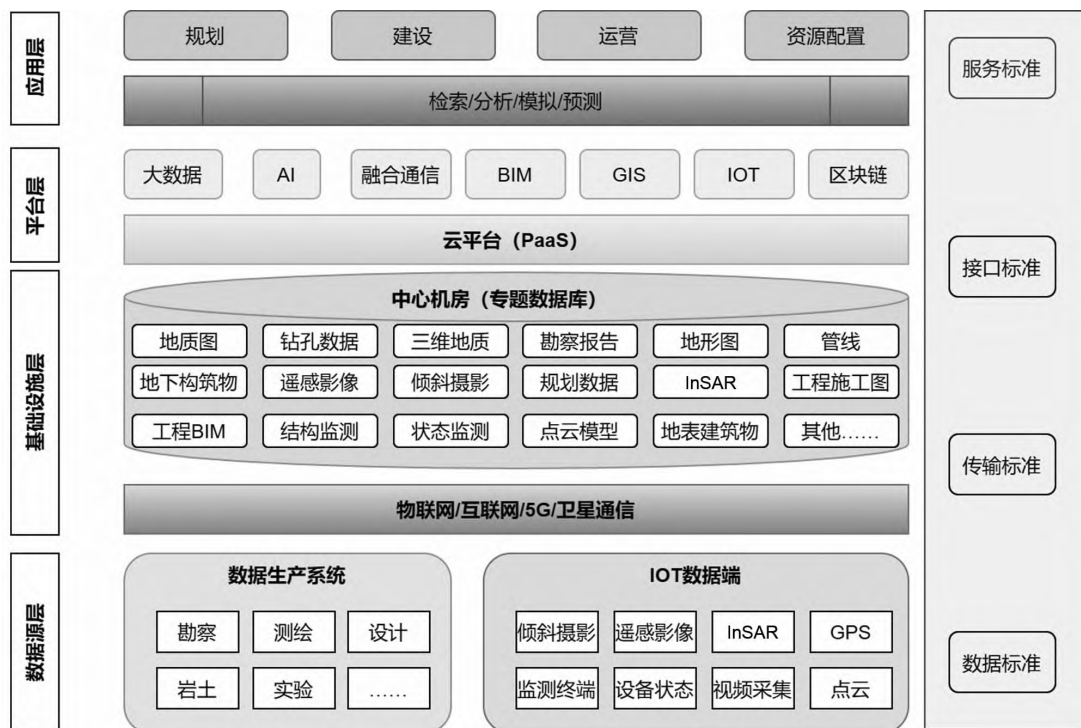


图 1 城市全空间数据服务总体架构图

### 2.1.1 数据源层

数据源层又称数据采集层,主要是指整个全空间数据服务体系的数据输入。一是依据数据产生的来源不同进一步细分为数据生产系统,包括工程勘察数据、城市测绘数据、规划设计数据、岩土施工数据以及部分实验室检测数据等;二是物联网端或设备采集的城市全空间要素数据,包括地表倾斜摄影模型、遥感影像、矢量地图、合成孔径雷达干涉(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)影像、点云数据、部分生产过程中的视频、设备运行状态以及各种监测终端传输的监测数据等。

数据源层是整个全空间数据服务体系的基本要素,其丰富程度直接决定后续数字孪生技术应用的深度及细度。

### 2.1.2 基础设施层

该层主要是指构成城市全空间数据服务体系必要的物理、软件基础设施设备(含配套软件),包括数据传输设施及数据中心机房(含专题数据库)两方面内容。传输层包括数据源层数据到数据库中的所有数据传输方式,互联网、物联网、卫星通信及5G通信等途径;数据中心机房即为城市全空间数据服务体系提供数据分类、清洗、编码、存储等过程的数据中枢,涵盖全部数据源层的多个专题数据库。

基础设施层是整个城市全空间数据服务体系的物理中枢,是连接数据源层和平台层不可或缺的一环。

### 2.1.3 平台层

由于城市全空间数据服务体系有处理海量数据的能力需求,该层可部署在分布式处理的云平台架构上,具有灵活扩展的特点,同时具备海量并发处理的算力。即在云服务的基础上,依据业务层的需求,扩展添加大数据平台、AI平台、BIM平台、GIS平台、物联网(internet of things, IOT)平台、数据融合服务平台、区块链分析平台等先进的技术创新平台提高城市全空间数据云存储与计算能力,提升全息地物要素智能化提取水平。

该层次为城市全空间数据服务体系提供基础平台引擎和3D渲染&三维演示展现及分析系统,是全空间数据的汇聚、融合、转换、关联、管

理、共享、应用的核心引擎,也是本节所述数据服务体系的核心内容。

### 2.1.4 应用层

通过平台层调用专题数据库中的数据进行操作,通过浏览、查询、定位、统计等,功能包括二维和三维地图基本配置、数据浏览、数据查询、数据统计分析、图层配置、二维及三维数据联动渲染展示等功能直接与顶层业务相关联,最终实现城市规划建设、建设管理、运营维护、资源动态调整配置等孪生模拟及与现实城市的管理互动。

构建城市全空间数据服务体系涉及城市发展过程中的多源异构数据融合服务及空间计算、数据挖掘等内容,所有上层服务的基础前提是基于统一数据服务标准体系:统一数据标准、统一的传输标准、统一的接口标准及统一的服务标准。分别从数据格式、语义信息、网络传输、平台交互以及对外应用服务等层面进行约束,打通传统系统服务中因数据差异造成的“孤岛”问题。

## 2.2 城市全空间数据服务体系建设路径

目前国内外尚未形成成熟的城市全空间数据服务体系建设经验可供借鉴,本文在明确城市全空间数据服务体系总体架构的基础上,将结合南京初步探索该体系的具体实施路径。

目前,南京市已经完成了CIM总体设计及部分业务的示范运行,在江北新区初步设计出中央商务区数字孪生体系,创新地提出“5+5+N”的建设思路,即在智慧管廊管线、智慧交通、智慧生态景观、智慧建筑、智慧市政五大核心智慧化应用场景基础上,逐步拓展出N类示范智慧应用;南部新城则以产城融合为主线,以规划建设运营管理一体化为目标,构建虚实结合的孪生城市,实现以数据刻画新城、可视管理新城、智能驱动新城;建邺区在CIM基础平台上搭建了“智慧工地综合管理平台”,同时结合江岛生态监控系统需求,完成江心洲生态监控一张图,实现江岛生态的精细管理。

通过南京市CIM平台建设及示范应用场景可以梳理出一条数字孪生建设探索之路:顶层设计优先,统一部署CIM平台的建设蓝图;统一标准引领,夯实CIM平台建设基础;重视基础数据融合体系建设,激活CIM平台潜在能力;业务功能设计及实现,形成承载数字孪生城市业务运行

载体。

### 2.2.1 顶层设计

通过顶层设计明确城市全空间数据服务体系的总体建设目标,结合对当前城市管理已有系统、平台间的数据、流程、业务及交互关系,重新梳理并厘清总体建设的业务逻辑和业务边界,构建基于城市全空间数据服务体系的数字孪生城市架构。

顶层设计是后续实施建设的总纲领,具备随着实施进展逐步细化的特征,只有做好顶层设计才能避免后续建设过程中的盲目冒进。

### 2.2.2 统一标准

针对城市全空间数据服务体系中的多源异构数据,应该从数据标准、传输标准、接口标准及服务标准四个层次进行约束,通过数据存储标准、数据语义标准、数据交换标准三个维度在数据采集、模型创建阶段消除或减小同类数据间的差异。

专题数据库中存放的数据应该是经过统一分类、编码体系,具备符合应用要求的模型深度的数据模型,按数据类别进行专题汇总存储的数据对象。

### 2.2.3 数据汇集、融合

在顶层设计、统一标准的前提下,数据的汇集、融合即通过生产管理系统或物联网端设备将城市全空间数据进行采集的过程。该过程可以划分为三步来完成:①数据重构与清洗,现实城市管理过程中产生的表格、文本、图像、模型等数据分解重构,按类别形成统一数据格式及编码体系;②构建城市全空间数据服务体系,即建立虚拟的数字城市空间,以视觉真实、地理真实、物理真实三个维度来定义模型标准,通过统一的虚拟空间坐标体系形成包含城市全要素的三维模型库;③在虚拟数字空间建立模型共享平台及标准接口,以实现孪生城市各个业务系统间的数据共享及流程协同,展现出智慧城市的高效、便捷性。

### 2.2.4 业务实现

业务实现阶段是将物理空间中城市管理的业务通过开放的技术架构,通过编码构建城市全空间、三维可视化、信息丰富、数据可交互的数字孪生城市体系,推动数字城市和物理城市同步规

划和建设。

## 3 结束语

(1) 伴随着新型测绘、模拟仿真、AI、云服务、大数据等技术的不断完善、成熟,与物理城市建设管理同步规划的数字孪生城市建设已经具备技术条件,数字孪生城市建设必将有力推动智慧城市建设的步伐。

(2) 构建数字孪生城市的必要条件是建立承载孪生信息的载体,即本文论述的城市全空间数据服务体系,该数据服务体系通过数据源、基础设施、平台以及应用层可为数字孪生城市提供覆盖城市地上、地下以及历史数据的基础数据载体;通过顶层设计、统一标准、数据融合及业务实现可完成城市全空间数据服务体系建设。

(3) 当前构建城市全空间数据服务体系面临的技术难题通过技术创新发展便可很好地解决;管理层面的标准落地、数据互通、资源共享仍有待城市管理方、技术服务商、产品供应商等多方协同,以开放、包容、共享的理念共同建设一个资源集约、管理高效、运行便捷的综合城市服务平台。

## 参考文献

- [1] 2021 智慧城市: 新基建引燃数字孪生[J]. 城市开发, 2021(4): 63-65.
- [2] 吴晨. 构筑统一数字底座, 推动数字孪生城市建设[J]. 北京观察, 2021(2): 73.
- [3] 霍慧, 饶光, 冯伟斌. 新发展格局下城市数字化转型研究与思考[J]. 信息通信技术, 2021, 15(1): 14-20.
- [4] 冯朝明. 基于 CIM 智慧城市的规划[J]. 信息通信技术, 2021, 15(1): 59-64.
- [5] 张新长. 数字孪生推动新型智慧城市建设[N]. 中国自然资源报, 2021-01-29(007).
- [6] 王建翔, 胡蔚. BIM 技术在智慧城市“数字孪生”建设工程的应用初步分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(1): 94-95, 98.
- [7] 杨滔, 杨保军, 鲍巧玲, 等. 数字孪生城市与城市信息模型(CIM) 思辨——以雄安新区规划建设 BIM 管理平台项目为例[J]. 城乡建设, 2021(2): 34-37.
- [8] 高颖. 基于 CIM 的智慧交通与智慧道路感知体系[J]. 中国交通信息化, 2021(1): 113-115.
- [9] 王聪. 基于时空信息模型的智慧城市数字底座设计初探[J/OL]. 测绘地理信息: 1-4 [2021-03-18]. <https://doi.org/10.14188/j.2095-6045.2020088>.
- [10] 吴掠梅. 南京市城市信息模型平台设计与应用[A]. 南京市

- 国土资源信息中心、江苏省测绘地理信息学会、南京市国土资源信息中心30周年学术交流会议论文集[C].南京市国土资源信息中心、江苏省测绘地理信息学会《现代测绘》编辑部,2020:5.
- [11] 杨滔,张晔理,秦潇雨.城市信息模型(CIM)作为“城市数字领土”[J].北京规划建设,2020(6):75-78.
- [12] 刘晓伦.CIM与数字孪生城市的关系[J].中国测绘,2020(11):82-84.
- [13] 张一飞.浅谈人工智能对摄影测量与遥感技术发展的影响[J].科技创新与生产力,2020(11):52-54.
- [14] 杜明芳.数字孪生建筑:实现建筑一体化管控[J].中国建设信息化,2020(20):40-43.
- [15] 唐怀坤,史一飞.基于数字孪生理念的智慧城市顶层设计重构[J].智能建筑与智慧城市,2020(10):15-16.
- [16] 杜明芳.数字孪生城市视角的城市信息模型及现代城市治理研究[J].中国建设信息化,2020(17):54-57.
- [17] 李志鹏,金雯,王斯健,等.数字孪生下的超大城市空间三维信息的建设与更新技术研究[J].科技资讯,2020,18(22):3-9.
- [18] 顾建祥,杨必胜,董震,等.面向数字孪生城市的智能化全息测绘[J].测绘通报,2020(6):134-140.

## The construction and service of urban whole space data system under the background of digital twin

YANG Xiaofei<sup>1,2,3</sup>, WU Zhenzhen<sup>4</sup>, TANG Chao<sup>1,3</sup>, WANG Sikai<sup>1</sup>, WANG Xiaojing<sup>1,3</sup>

- (1. Beijing Urban Construction Exploration & Surveying Design Research Institute Company Limited., Beijing 100101, China;  
2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;  
3. Urban Intelligent Sensing and Precision Measurement Engineering and Technology Center, Beijing 100101, China;  
4. China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Driven by new infrastructure, digital economy policy, digital twin city construction entered a new development period. In this paper, it put forward the concept of construction of urban full spatial data service system, combined with the digital twin city construction situation. It took the urban full space data service system as the research object based on the experience of the construction of urban information service platform in Nanjing, and made a preliminary exploration from two aspects of overall structure and implementation path, so as to provide theoretical basis for the construction of digital twin city.

**Keywords:** digital twin; data fusion; urban whole space data service system