

面向城市数字孪生的多尺度三维建模方法研究*

于海洋^{1,2}, 封顺天^{1,2}, 崔立鹏¹

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209; 2. 中电信数字城市科技有限公司, 河北 保定 071000)

摘要: 城市三维模型作为城市物理实体的立体可视化表达, 是连接物理空间与数字空间的桥梁, 也是实现城市数字孪生的关键基础。对当前城市数字化三维重建技术及应用进行研究, 从不同尺度的三维建模方法出发, 对“天空地室元”多尺度全要素建模方法进行总结, 并分析数字孪生城市三维重建面临的挑战和趋势。

关键词: 数字空间; 孪生城市; 三维建模; 多尺度; 全要素

中图分类号: TN919.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211950

中文引用格式: 于海洋, 封顺天, 崔立鹏. 面向城市数字孪生的多尺度三维建模方法研究[J]. 电子技术应用, 2022, 48(7): 78-80, 85.

英文引用格式: Yu Haiyang, Feng Shuntian, Cui Lipeng. Research on multi-scale 3D modeling method for urban digital twin[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(7): 78-80, 85.

Research on multi-scale 3D modeling method for urban digital twin

Yu Haiyang^{1,2}, Feng Shuntian^{1,2}, Cui Lipeng¹

(1. Research Institute of China Telecom Corporation Limited, Beijing 102209, China;

2. China Telecom Digital City Technology Co., Ltd., Baoding 071000, China)

Abstract: The city's 3D model is a bridge connecting physical space and digital space as a three-dimensional visual representation of urban physical entities, and it's also a key foundation for the realization of urban digital twins. This paper studies the current digital 3D reconstruction technology and application of cities, and summarizes the multi-scale full-element modeling method of "sky, ground and room element". The challenges and trends of digital twin urban 3D reconstruction are analyzed.

Key words: cyberspace; urban digital twin; 3D modeling; multiscale; total factor

0 引言

数字孪生城市通过物理城市与数字城市相互映射, 在数字世界里构建物理城市的运行框架和体系, 通过高效协同、低成本试错、智能化决策, 实现城市资源最优配置。

国家发改委、网信办等多部委及地方政府密集出台政策文件, 加快推动数字孪生城市建设。2020年4月, 国家发改委和中央网信办联合发布《关于推进“上云用数赋智”行动, 培育新经济发展实施方案》提出“数字孪生创新计划”, 要求“各方参与提出数字孪生的解决方案”^[1]。2021年3月, 十三届全国人大四次会议通过了“第十四个五年规划和2035年远景目标纲要”, 规划中指出分级分类推进新型智慧城市建设, 完善城市信息模型平台和运行管理服务平台, 构建城市数据资源体系, 推进城市数据大脑建设, 探索建设数字孪生城市^[2]。

城市物理空间的反向三维建模是实现孪生城市数

字映射的基础。本文总结当前城市数字化三维重建技术, 从不同尺度的三维建模方法出发, 归纳出“天空地室元”多尺度全要素建模, 并对未来数字孪生城市三维重建面临的挑战和趋势做出分析。

1 城市数字孪生与多尺度建模

传统的基于地理投影和符号化的二维地图数据无法全面、真实、完整地映射物理城市。面向数字孪生城市应用的三维模型能够对城市空间、建筑与设施、资源与环境等全要素实体对象和设计对象进行三维数字表达^[3]。

面向城市数字孪生的多尺度全要素建模需要采用航天航空、地上地下、不同尺度数据采集技术, 对城市全要素进行数字化三维建模^[4]。主要方法是针对已有的城市物理空间, 通过摄影、扫描等方式获取城市结构和纹理信息, 利用建模工具反向构建模型完成城市数字化三维重建。通过构建全空间的城市数据底板, 实现数字空间与物理空间的精准映射, 为数字孪生城市可视化展现、智能计算分析、仿真模拟和智能决策等提供数据基础, 支撑数字孪生城市应用^[5]。

* 基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFB2104400)

2 多尺度全要素三维建模

由宏观到微观、从室外到室内等不同粒度、不同精度的城市孪生体物理还原,需要用到多元、多尺度的建模手段^[6]。本文提出的“天空地室元”多尺度全要素建模方法主要指航天对地观测、航空倾斜摄影、地面激光扫描、室内外人工建模以及面向设备元素精建模等,技术方案图如图 1 所示。

2.1 航天对地观测

航天对地观测技术也称航天遥感技术,以电磁波理论为基础,收集并处理远距离目标辐射、反射产生的电磁波信息,实现对地面的各种目标对象进行探测和识别^[7]。目前我国航天遥感采集方式已经覆盖光学和雷达,包含多光谱、全色、高光谱等多种色谱信息的采集能力,构成了具有多种光谱分辨率、多时间和空间分辨率的对地观测系统^[8]。

航天对地观测技术能够快速、实时、动态获取不同尺度和精度的大范围的地表信息,特别适用于获取城市地表地物及环境快速变化信息,航天遥感数据成为城市基础地形地貌数据的重要组成部分。多类型遥感影像能够获取地表纹理、光谱等信息,对城市的发展变化、植被生长、水质等进行动态监测以及预测。航天遥感地形数据能够反映大范围城市地形起伏特征,对于城市空间发展规划、城市洪涝灾害预警等具有重要意义。基于遥感影像提取城市建筑物轮廓信息,并根据自动化及半自动化提取手段,生成城市级建筑白膜数据,能够为数字孪生城市提供大范围城市三维底板数据,真实模拟城市空间布局及分布^[9]。

2.2 无人机倾斜摄影

无人机倾斜摄影是利用安装在无人飞行平台上的多角度摄像装置,并布设一定重叠度的飞行路线及拍摄点位,从每个点位多角度对目标区域进行拍摄,获得详细、准确的地面物体纹理信息,同时记录拍摄点位无人机位置和姿态信息。数据获取后,通过空中三角测量、区

域网联合平差等计算处理,可复建出被测目标的三维实景模型。三维模型中每一点位均带有坐标信息且色彩真实,能够准确反映出城市建筑的外观、位置、高度等属性,因此也被称为实景三维建模技术。

无人机倾斜摄影测量技术不仅适用范围广、成本低,而且测绘效率及测绘精度较高,其推广应用大大降低了城市三维数据生产的人工成本和时间周期,推动了三维数据的大范围推广及应用,为智慧城市建设提供丰富的数据基础^[10]。

2.3 地面激光扫描

基于激光扫描数据的三维场景重建技术是利用三维激光扫描仪发射激光束,通过计算其飞行时间及激光特征,量测被测空间的深度信息,得到空间的三维点云。通过对空间多点、多角度的扫描采集,获取具有空间坐标信息的场景密集三维点云。

相对于传统的基于图片的三维场景重建方法,基于激光扫描的三维场景重建技术其获取的几何信息准确性更高,在城市环境监测、地表资源获取、城市建设规划等领域得到广泛应用。一方面,将地面激光扫描与无人机倾斜摄影等技术手段相结合,弥补由于无人机空中飞行及建筑物遮挡等所导致的地表部分区域点云数据缺失、精度不足等问题,将地面激光扫描点云数据与倾斜摄影点云数据进行融合,形成数据完整、高精度的密集点云模型,进而完成城市级三维重建;另一方面,基于地面激光扫描点云与可见光成像数据融合,生成带有纹理信息的彩色激光点云,基于彩色点云通过人工或自动化提取,形成城市空间的轮廓特征,进一步利用可见光成像数据对相应空间位置进行纹理贴图,构建高精度的城市三维模型。

2.4 室内外人工三维重建

在数字城市建设初期,以人工三维建模为主要数字模型重建手段,其技术路线较为成熟。通常基于 CAD 数字地形图或建筑图纸,获取物理空间结构和高度信息,



图 1 “天空地室元”多尺度建模方案

将二维矢量面数据进行升维,构成三维白模数据。后期通过人工摄影摄像的方式获取室内外建筑、地面、景观以及设备设施等物体的外表面图像,利用图形处理软件对获取图像进行校正后,对模型进行纹理贴图、渲染和烘焙,实现三维空间的真实表达^[11]。

人工三维重建的精度高,对城市室外建筑物及室内空间的表达更加细粒度,模型整体色彩逼真、美观,但传统方法制作复杂,耗时耗力,成本较高^[12]。随着 AI 的发展,图形自动化识别的技术也在不断发展,通过将规范化的二维 CAD 平面图纸自动/半自动地转换为三维白膜能够大大减少工作量。

2.5 设备元素精建模

数字孪生城市中面向设备、设施的高精度建模,通常采用手持式激光、结构光等非接触光学扫描的方式进行。通过将激光或结构光投射到空间中,采集其反射的光学特征,获取测量对象的三维点云,基于点云构建简易三维模型,通过纹理贴图及模型优化,生成高精度设备元素级三维模型。

该建模手段借助于光学扫描仪,通过对目标对象进行不接触扫描,便可通过处理软件自动生成点云数据和初步三维模型,人工干预少,自动化水平高。同时,目标对象要素相对位置准确、模型精度和精细度高,甚至可以准确构建螺丝螺纹等细节特征,正因如此,其原始数据量大,该方法多适用于室内模型建设,建设单价较高^[13]。

3 挑战及趋势分析

城市的物理构成元素千姿百态,数字孪生模型尺度、精度各异,其建模手段多样,通过将多样化的模型元素进行合理的组合、编排,才能最大程度、最逼真地映射物理空间^[14]。经过多年的技术演进,在模型构建、融合以及可视化等方面,面向城市数据孪生的三维建模方法仍存在诸多挑战:

(1)多源数据融合难

面向不同尺度构建的三维模型的格式不统一,城市数字孪生场景搭建中,需要对模型进行汇聚、组合和编排,往往需要格式转换与适配。一方面,格式转换过程中,常常面临信息丢失、失真的问题;另一方面,融合展现平台对于多尺度模型适配成本高,需兼容不同精度并保证可视化效果统一,难度大。

(2)大规模结构化建模难

基于卫星遥感以及无人机摄影能够大规模获取地表信息,所解析的栅格文件、模型数据通常为非结构化数据,数据量庞大、单体化困难等问题使其局限于“看一看”,如要用于数字孪生城市应用,往往需要借助于人工进行单体化分割,其结构化成本高,效率低。人工建模以及激光建模可构建具有语义信息的三维模型,但其难以大范围快速获取。

(3)模型快速更新难

自然环境的改变、人类社会的活动导致城市空间处于不断变化之中,其数字孪生空间应能快速映射变化并做出更新调整。然而,目前的三维建模手段及方式多采用的是数据采集-数据处理-模型优化-数据发布的技术路线,其往往需要大量的后期工作,无法适应模型的快速变化、实时更新。

为了应对上述困难和挑战,未来必将发展面向数字化转型趋势下的新型城市测绘。首先,利用自动化、智能化程度更高的建模设备和方法,快速构建覆盖二三维、地上地下、室内外一体化的全息数字模型。其次,建模成果将向结构化、语义化方向发展,实现人类可理解、机器可识别。再次,综合利用移动测量、众包测图等多种技术手段实现城市空间变化感知与及时更新,提高模型成果的现势性^[15]。

4 结论

近年来,部分城市陆续启动数字孪生城市项目,数字孪生城市从概念培育期进入建设实施期。面向规模大、结构复杂的城市级数字孪生,需要多种建模手段,融合多尺度全要素模型成果。本文通过归纳不同尺度的建模方法,提出“天空地室元”多尺度全要素建模方法,并对不同模型成果在孪生城市的应用进行分析。随着城市的快速发展和应用多元化,传统的建模手段也面临着诸多挑战,其智能化更高、实时性更好的结构化建模是未来面向城市数字孪生多尺度建模的发展方向。

参考文献

- [1] 国家发展改革委、中央网信办.关于推进“上云用数赋智”行动培育新经济发展实施方案[Z].2020.
- [2] 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[M].北京:人民出版社,2021.
- [3] 中国电子技术标准化研究院,树根互联技术有限公司.数字孪生应用白皮书[Z].2020.
- [4] 中国信息通信研究院.数字孪生城市白皮书[Z].2020.
- [5] 姜春雷.3S 大数据和城市大脑赋能的智慧城市精细化管理[J].智能建筑与智慧城市,2021,4(1):53-55.
- [6] 孙硕.智慧城市建设中测绘地理信息系统的应用研究[J].绿色环保建材,2020,4(4):39,42.
- [7] 田瑜基.智慧城市建设中高分卫星遥感数据研究[J].现代信息科技,2020,4(16):40-42.
- [8] 崔巍然.基于遥感技术的智慧城市基础数据研究[J].智能建筑与智慧城市,2020,4(7):21-22.
- [9] 张洪栋.摄影测量与遥感在智慧城市建设中的应用研究[J].居业,2020,4(8):8-9.
- [10] 王秋颖,王楠.无人机倾斜摄影融合 GIS 技术在智慧城市中的应用[J].智能建筑,2020,4(5):58-59,77.
- [11] 曾雅娟.人工建模与倾斜摄影建模技术对比研究-以昌吉市三维仿真数据库建设为例[J].科技创新与生产力,2017,4(6):56-60.

(下转第 85 页)

明 YOLO-q-v3 模型完成训练。

3.4.2 实验结果对比及分析

本文改进的 YOLO-q-v3 算法首先能够准确地将数据集中的裂痕缺陷识别出来,并与原算法在同一实验环境下对同一数据集进行比较试验。

从表 3 的各项评估指标可以看出,本文 YOLO-q-v3 算法的精度 P 比原 YOLO v3 算法的精度减少了 0.4%,两个算法的召回率 R 相同, YOLO-q-v3 算法的 $F1$ 值比原 YOLO v3 算法下降 0.1%。

表 3 不同算法指标对比

算法	P	R	$F1$	检测速率/(f/s)
YOLO v3	0.921	0.915 3	0.947	41.17
YOLO-q-v3	0.917	0.915 3	0.937	51.28

实验结果表明,本文 YOLO-q-v3 算法能够准确地识别数据集中的缺陷,虽然在检测精度上对比原算法有所下降,但是下降幅度不大,并且在识别效率上比原算法有所提高,比原算法检测速率提高了 24%。

4 结论

本文对 YOLO v3 算法的 DarkNet-53 网络结构进行了相应的删减改进,使用 FPN,提出了 YOLO-q-v3 算法进行手机屏幕缺陷检测,减少了计算量,使得算法更适合需要实时检测的要求,如手机生产线对缺陷检测速度有着严格要求。本文 YOLO-q-v3 能够正确识别出手机屏幕裂痕,该算法能够满足手机裂痕的非人工检测,检测效率比 YOLO v3 算法有所提高。

参考文献

- [1] 刘恒.基于全卷积网络的手机液晶面板缺陷检测算法研究[D].重庆:重庆邮电大学,2019.
- [2] 李晨.基于机器视觉的不同属性表面中微弱缺陷的检测技术研究[D].杭州:浙江大学,2018.
- [3] 王思宇,郭阳宽,郭会梁,等.手机屏幕表面划痕检测系统研究[J].数字技术与应用,2018,36(4):57-58.

- [4] 高如新,任晓朵,吴献,等.基于图像处理的手持屏幕缺陷检测系统研究[J].测控技术,2017,36(4):26-30.
- [5] 彭赶,张平,潘奕创.基于机器视觉的手持屏幕缺陷检测系统研究[J].自动化技术与应用,2018,37(9):104-107,127.
- [6] 应冬梅,郭阳宽,张晓青.基于手机屏幕缺陷检测系统设计[J].现代工业经济和信息化,2020,10(2):51-52.
- [7] 王森,伍星,张印辉,等.基于深度学习的全卷积网络图像裂纹检测[J].计算机辅助设计与图形学学报,2018,30(5):859-867.
- [8] 余永维,殷国富,殷鹰,等.基于深度学习网络的射线图像缺陷识别方法[J].仪器仪表学报,2014,35(9):2012-2019.
- [9] 李梦园.深度学习算法在表面缺陷识别中的应用研究[D].杭州:浙江工业大学,2015.
- [10] 宋威.基于深度卷积神经网络的手持屏幕缺陷检测[D].成都:电子科技大学,2019.
- [11] 史磊,荆明娥,范益波,等.基于 R-CNN 算法的分割检测算法[J].复旦学报(自然科学版),2020,59(4):412-418.
- [12] 袁鹏泰.多人姿态估计算法研究及应用[D].南京:南京航空航天大学,2019.
- [13] 黄家才,邹俊,丁凌,等.基于改进 YOLO v3 算法的零件目标快速检测方法[J].南京工程学院学报(自然科学版),2020,18(3):6-11.
- [14] 岳晓新,贾君霞,陈喜东,等.改进 YOLO V3 的道路小目标检测[J].计算机工程与应用,2020,56(21):218-223.
- [15] 周志锋,万旺根,王旭智.基于 YOLO V3 框架改进的目标检测[J].电子测量技术,2020,43(18):102-106.

(收稿日期:2021-06-23)

作者简介:

杨戈(1974-),男,博士,副教授,主要研究方向:人工智能技术、计算机视觉技术。

刘思瀚(1999-),男,本科,主要研究方向:计算机视觉、双目立体视觉技术。



扫码下载电子文档

(上接第 80 页)

- [12] 朱荷欢,武文,孙玉婷.三维建模不同技术方法的特点研究及应用思考[C]//南京市国土资源信息中心 30 周年学术交流论文集,2020:31-34.
- [13] 郭猛.三维建模的技术方法特点研究及应用[J].智慧城市,2021,7(14):58-59.
- [14] 李德仁.基于数字孪生的智慧城市[J].互联网天地,2021(7):12.
- [15] 许旭,鲁金萍.“十四五”时期我国新型智慧城市建设的七大趋势[J].网络安全和信息化,2021(7):4-7.

(收稿日期:2021-07-16)

作者简介:

于海洋(1987-),通信作者,男,硕士,工程师,主要研究方向:数字孪生、5G 行业应用、网联无人机, E-mail: yuhy8@chinatelecom.cn.

封顺天(1980-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:数字孪生城市、数据治理、数据交易。

崔立鹏(1990-),男,硕士,工程师,主要研究方向:智慧交通、数字孪生应用。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所