

基于三维激光点云技术的城市轨道交通 线路空间数字底座建设

赵 刚

(上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海)

摘 要 [目的]为推动上海轨道交通数字化转型、高质量发展,需通过建设数字孪生模型,打造统一、权威、精准的空间数据底板,为线网规划、建设、运维、管理等涉及空间地理的应用场景提供空间数据服务。[方法]结合实际场景和存量数据,采用三维激光点云、卫星遥感及无人机等技术进行三维重建,生成空间数字底座模型。利用手持式三维激光扫描仪采集城市轨道交通专题空间数据,将采集的点云数据模型单体化,利用GIS(地理信息系统)将城市轨道交通实景三维模型、规划和控制数据以及各种空间基础地理数据接入可视化平台,建立“全空间、全周期、全要素”空间数字底座。以上海轨道交通九亭站为例,制作站场分层平面图和三维实景模型,将模型文件与各种属性信息进行挂接后接入城市轨道交通线路空间数字底座中。[结果及结论]城市轨道交通线路空间数字底座结合空间基础地理数据,可为线网“规划—设计—管理—运营”提供统一的空间地理服务。将车站三维实景模型以及建设中征地范围信息接入空间数字底座中,便于开展城市轨道交通房地和固定资产日常管理,为城市轨道交通日常运营和管理提供权威、准确、直观的决策依据。

关键词 城市轨道交通;空间数字底座;三维激光点云

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.04.040

Construction of Urban Rail Transit Line Spatial Digital Base Using 3D Laser Point Cloud Technology

ZHAO Gang

(Shanghai Shentong Metro Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

Abstract [Objective] In order to facilitate the digital transformation and high-quality development of Shanghai rail transit, it is imperative to construct a digital twin model and create a unified, authoritative, and precise spatial database, providing spatial data service capabilities for application scenarios involving spatial geography such as line network planning, construction, operation and maintenance, and management. [Method] Combined actual scenes and stock data, a variety of tech-

nologies such as 3D laser point cloud, satellite remote sensing and drones are used for 3D reconstruction to generate a spatial digital base model. Urban rail transit thematic spatial data is collected using handheld 3D laser scanners, and the collected point cloud data model is monomerized. Utilizing GIS (geographic information system) technology, the urban rail transit real-world 3D model, planning and control data, and various spatial basic geographic data are integrated into a visualization platform to establish a 'full-space, full-period, and full-factor' spatial digital base. Taking Shanghai Rail Transit Jiuting Station as example, the layered floor plans and a 3D real-world model of the station are created, and the model files are linked with various attribute information before being integrated into the urban rail transit line spatial digital base. [Result & Conclusion] The urban rail transit line spatial digital base, combined with spatial basic geographic data, can provide unified spatial geographic services for the 'planning-design-management-operation' of the network. Integrating 3D real-world models of stations and information on land acquisition ranges under construction into the spatial digital base could facilitate the daily management of urban rail transit real estate and fixed assets, providing authoritative, accurate and intuitive decision-making basis for the daily operation and management of urban rail transit.

Key words urban rail transit; digital base; 3D laser point cloud

近年来,数字孪生技术已广泛应用于城市轨道交通领域,用以实时监测和管理,提升系统的安全性、运营效率和管理水平^[1-2]。为推动城市轨道交通高质量发展,上海积极开展“全空间、全周期、全要素”的城市轨道交通系统空间数字底座建设^[3]。

空间数字底座建设是上海轨道交通各类涉及空间地理的信息化管理的基础^[4],包括空间基础地理服务、线路空间优化与更新,其中线路空间是数据底座基础。在上海轨道交通在建设和运营过程中,已广泛应用三维激光扫描技术采集数据,例如应用于

隧道内病害检测的移动式三维激光扫描仪、应用于车站竣工测量和车站管线建模的架站式三维激光扫描仪等,但也存在扫描作业时效率低且影响乘客出行及车站正常运行等问题。本文提出采用手持式三维激光扫描仪,这种方式能够快速高效获取点云数据,有助于打造统一、权威、精准的空间数据底板,支撑上海轨道交通的各类智能应用,为线网规划、建设、运维、管理等涉及空间地理的应用场景提供空间数据服务。

1 空间数字底座建设面临的主要问题及建设目标

1.1 主要问题

上海轨道交通在早期建设过程中,由于技术和管理等方面原因,导致部分图纸资料缺失,而且资料准确性也无法保证,因而难以支撑精细化管理要求。

1) 存量数据缺失。有些早期建设城市轨道交通项目,其建设过程中的图纸和资料可能存在遗失或损毁情况。保存技术不先进,以及建设和运营人员流动性较大,这些都可能会对图纸和资料的保存产生影响。

2) 存量数据的质量和准确性难以保证。1990年,上海轨道交通建设初期,工程设计图纸主要依靠人工手绘,精度差、信息少。直至90年代末期CAD(计算机辅助设计)制图软件在工程中的普及,才解决了手绘制图的不足之处,大大提高了图纸和资料的准确性。但随着城市发展,原有线路、车站以及建筑物本身因更新改造或布局调整均可能已发生了翻天覆地变化,原有的图纸资料已无法满足管理需要。

3) 数据获取、更新和维护难度及成本高。数字底座的建设需要大量的数据支撑,包括三维激光点云数据、卫星遥感数据及无人机数据等,同时为保证数字孪生模型的实时性和准确性,数据应实时更新和维护,因此需要投入大量的人力、物力和财力。

4) 数据保护和隐私问题。空间数字底座中包含大量数据,涉及到企业隐私和商业机密以及城市安全等敏感信息,需要加强数据保护和隐私保护措施,以保证数据的安全性和可信度。

1.2 建设目标

1) 形成一套多层次、可阅读的城市轨道交通家底。基于城市轨道交通线路建设全过程,调研收集相关业务管理需求,梳理全网涵盖前期规划

资料和房屋土地信息等空间数字底座数据清单,并对既有线路按照应收尽收原则,通过查阅、调档等方式收集信息并建设数据库,全面摸清数据家底。同时以空间数据库为基础,设计指标看板与线路资产相关联,从宏观到微观统计展示项目资产和土地情况等。

2) 建成一套可信、可追溯的建设成果。为能更精细化管理线路全过程,形成全生命周期管理,将城市轨道交通建设分为初步设计、报规阶段、竣工规划测量、现状阶段和确权阶段等五个阶段。不同阶段的数据叠加,可直观反应建设过程变化。通过阶段差异分析线路建设、确权及验收等情况,形成土地、资产等具有时间戳的历史档案,形成一套既可信又可追溯的建设成果,为城市轨道交通提供集成融合、开放共享、精准权威的底座空间服务^[5]。

2 空间数字底座数据信息与建设方法

2.1 数据信息

上海轨道交通空间数字底座建设将结合线路建设情况,按既有线路、在建线路和“十四五”期间规划线路进行分类实施、分步推进的工作要求开展。空间数字底座接入的数据包括以全要素地图数据、高分辨率的卫星影像数据及建筑三维白模数据为主的空间基础地理数据和城市轨道交通线路专题空间数据。城市轨道交通线路专题空间数据包括线路周边基础数据、线路矢量数据、用地范围数据及建设过程中的规划核验数据。城市轨道交通空间数字底座底板数据类型如表1所示。

接入空间基础地理数据,能够为其他系统提供标准地图服务和功能服务,为各类智能应用场景提供标准统一、开放共享的空间地理数据服务。接入城市轨道交通线路专题空间数据,能够为线网“规划—设计—管理—运营”提供统一空间地理服务。

2.2 建设方法

空间数字底座的建设需要结合实际场景和存量数据,采用多种数据获取手段,包括三维激光点云技术、卫星遥感技术、无人机技术等。在数据获取过程中,需考虑数据的精度和分辨率等因素,确保空间数字底座的可靠性和准确性。在数据获取之后,对数据进行去噪、滤波、采样等预处理,将不同数据源的数据融合配准,提高数据的质量和准确性,然后对数据进行三维重建,生成空间数字底座模型。

表 1 城市轨道交通空间数字底座底板数据类型表

Tab. 1 Data types for urban rail transit spatial digital base plate

数据类别	数据名称	精度范围/m	应用业务
空间基础地理数据	全要素地图数据	0.1	展示底图服务
	卫星影像图	0.5	
	建筑三维白模	平面:0.2	
	地名、地址、门牌号数据		
线路周边基础数据	带状地形图	0.1	
	遥感影像(0.1 m 分辨率)	0.1	
	各类控制线	0.05	
	地面高程模型	0.4	
	车站主体结构		
城市轨道交通线路专题 空间数据	出入口和风井	0.1	规划、建设、管理、运维
	盾构区间		
	线路矢量数据		
	敞开段、地面及高架区间		
	停车场		
	主变电站		
	车场上盖开发		
	用地范围数据		
	地下征地范围		
	施工借地范围		
	线路不动产	0.05	

对于在建线路和规划线路,收集空间基础地理数据、线路专题空间数据及 BIM(建筑信息模型)数据,经核对和轻量化后接入空间数字底座平台。对无 BIM 模型设计移交的老线路,采用手持式三维激光扫描设备进行线路的点云数据采集。手持式三维激光扫描仪相较于架站式三维激光扫描仪,极大地提高了数据采集效率,采集单个车站数据的时间少于 1 d,且不受作业空间限制,走到即可获取数据,数据获取难度和成本大大降低。城市轨道交通线路点云数据获取具体流程如下:

- 1) 三维激光点云数据采集。三维激光扫描技术基于高速的激光扫描测量方法,可快速获取高分辨率的物体表面空间信息^[6]。考虑到城市轨道交通数据采集空间的局限性,采用 Leica BLK2GO 手持式三维激光扫描仪进行城市轨道交通管理要素的数据采集。
- 2) 点云数据处理。对采集到的点云数据进行预处理,包括点云去噪、点云配准、点云分割等。对处理后的点云数据进行单体化和三维模型重建。
- 3) 数据融合。将处理后的二维数据和三维数据进行融合,通过属性挂接明确关系网络,形成一体化的数据集,以实现二维、三维数据的无缝切换和交互。
- 4) 可视化展示。根据实际业务需求使用可视化技术将二维、三维数据进行展示,包括图像展

示、三维模型展示等,以实现用户对数据的浏览和操作。

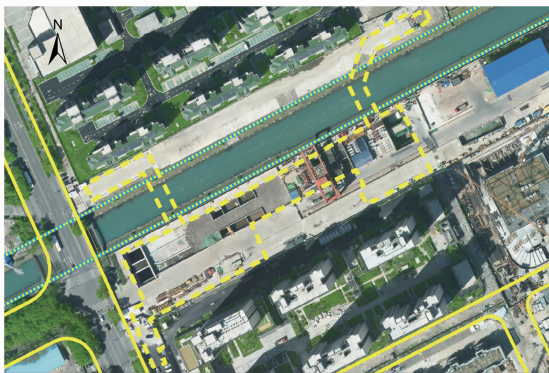
5) 数据更新。对于结构改造较大的车站,可利用手持三维激光扫描仪按一定周期补充扫描和更新图形。对于布局调整过的车站,可结合运维人员实际巡检等工作,通过系统平台自主编辑更新,实现全生命周期视角对空间数字底座进行更新。

3 数字空间底座应用

3.1 案例分析

在城市轨道交通空间数字底座建设中,车站作为重要节点,不仅是为市民出行提供服务的窗口,也是运营管理的基本单元。如图 1 所示,空间数字底座中接入影像、地形、车站用地范围线以及各种规划控制线,城市轨道交通各部门的管理人员无需安排测量人员现场勘测就可直观发现车站周围是否存在道路红线侵占以及周边建筑物是否存在侵限情况。

车站日常运营管理还涉及车站房屋、车辆、安防设备、消防设备、照明设备等,仅仅知道车站的范围和周边情况无法满足精细化管理。实现房屋、设备等资产的空间数字化管理,可以为车站日常运营和管理提供权威、准确、直观的决策依据。以上海轨道交通九亭站为试点,通过三维激光扫描获得该站实景点云数据如图 2 所示。



注：—— 车站主体边线；—— 规划道路红线；—— 河道蓝线。

图 1 车站空间基础地理数据示意图

Fig. 1 Diagram of station spatial basic geographic data

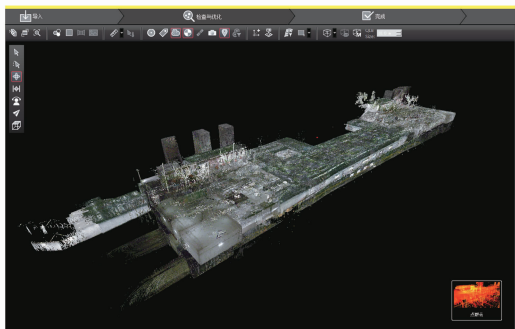


图 2 九亭站实景点云信息

Fig. 2 Point cloud information of Jiuting Station actual scenes

根据实景点云数据制作站场分层平面图和三维实景模型,并对车站内部如出入口、结建口、闸机、自动售货机、售票机等各种设施以及车站管理用房内的重要设备进行单体化建模,利用 GIS(地理信息系统)将模型文件与各种属性信息进行挂接,特别是对房屋与已有的台账信息进行属性匹配,最后利用可视化技术将模型接入空间数字底座中。挂接属性信息后接入数字底座平台中的九亭站三维模型如图 3 所示。通过车站三维模型,可实现房屋空间分布、功能用途查询、面积数量统计分析、设备管理和维护、报表输出和查询等满足车站日常运营管理的功能。

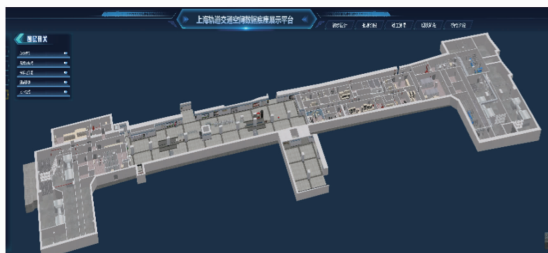


图 3 九亭站三维模型图

Fig. 3 Diagram of Jiuting Station 3D model

3.2 应用场景

将空间数字底座建成城市轨道交通线路“全空间、全周期、全要素”空间数据管理模式,旨在为线网“规划—建设—运维—管理”提供统一空间地理信息服务,同时可支撑上海轨道交通各类涉及地理空间的应用场景,最终实现数字化转型这一核心目标。

1) 应用场景一:辅助规划选址和优化设计方案。结合影像图和数字高程模型,通过三维建模或 BIM 模型手段将站点设计方案与现状影像图叠加^[7],直观展现车站布设图形和设计方案全景,进而更方便辅助线路选线和设计方案调整,加强细节管控,全面提升设计方案的可行性。对于结建工程,以及已运营线路改造、新建线路换乘设计等,利用车站三维实景模型融合 BIM 设计分析,可减少非必要的现场重新勘测。

2) 应用场景二:房地和固定资产日常管理。将车站的房屋、设备等三维实景模型以及建设中征地范围信息接入空间数字底座中,管理人员利用三维可视化空间数字底座可实现车站公共区域和管理用房等实景的三维场景漫游,并全局掌握土地管理范围,直观地了解房屋空间分布、重要设施设备位置和权责界面。与常规资产管理系统中显示资产表格条目相比,利用三维可视化空间数字底座进行资产管理,管理人员通过直接点击即可查询资产实体模型和变更资产信息,可为管理人员提供更直观、全面的资产信息和维护情况,支持管理人员快速发现和解决设备问题,提高管理效率和准确性。

4 结语

空间数字底座建设可为城市轨道交通高质量发展、高效能治理提供坚实的数据基础。本文利用三维激光扫描仪对城市轨道交通专题空间数据进行采集,将采集到的点云数据模型单体化,利用 GIS 技术将城市轨道交通实景三维模型、规划和控制数据以及各种空间基础地理数据接入可视化平台中,形成一个可升级、可共享的空间数据底板,可为城市轨道交通系统的数字化转型提供重要的支持和参考,可为城市轨道交通的规划、建设、运营与管理提供有力的技术保障,能够助力上海提供全球一流的城市轨道交通服务,构建追求卓越的全球城市。

参考文献

[1] 吴锋,张层威,詹鸿基,等. 基于 BIM+GIS 的地铁全生命周期

- 信息化平台探索[J]. 铁路技术创新, 2023(1): 86.
- WU Feng, ZHANG Cengwei, ZHAN Hongji, et al. On information platform for full life cycle management of metro based on BIM+GIS[J]. Railway Technical Innovation, 2023(1): 86.
- [2] 赵刚. 城市轨道交通资产管理信息系统建设研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 6.
- ZHAO Gang. Research on the construction of urban rail transit asset management information system[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 6.
- [3] 赵刚. 基于“智慧地铁”的城市轨道交通资产管理系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(1): 166.
- ZHAO Gang. Research on urban rail transit asset management system based on 'smart metro'[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(1): 166.
- [4] 贾泽露, 朱毅, 唐文武. 服务城市精细治理的数字底座关键技术研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(2): 67.
- JIA Zelu, ZHU Yi, TANG Wenwu. Research on key technologies of digital base for urban fine governance[J]. Geospatial Information, 2023, 21(2): 67.
- [5] 保丽霞, 吴志周. 服务于复杂交通管理需求的数字化底座框架[J]. 中国交通信息化, 2023(A1): 293.
- BAO Lixia, WU Zhizhou. A digital infrastructure framework for complex traffic management needs[J]. China Transportation Informatization, 2023(A1): 293.
- [6] 陆培庆, 唐超. 移动式三维激光扫描技术在地铁隧道变形监测中的应用[J]. 测绘通报, 2020(5): 155.
- LU Peiqing, TANG Chao. Application of mobile 3D laser scanning technology in deformation monitoring of subway tunnels[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(5): 155.
- [7] 吴祥龙, 高华, 解兴申, 等. 基于 BIM+GIS 的城市轨道交通选线应用研究[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(3): 18.
- WU Xianglong, GAO Hua, XIE Xingshen, et al. Research on application of the route selection in urban rail transit based on BIM+GIS[J]. Railway Standard Design, 2022, 66(3): 18.
- 收稿日期:2023-08-02 修回日期:2023-11-12 出版日期:2024-04-10
Received:2023-08-02 Revised:2023-11-12 Published:2024-04-10
- 作者:赵刚, 高级工程师, zhaogsmtdc@sina.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 210 页)

- Nanjing Metro Group Co., Ltd. White paper on 5G public-private network in rail transit industry[Z]. Nanjing: Nanjing Metro Group Co., Ltd., 2021.
- [2] 杨勇, 孙舒森, 王国华, 等. 南京地铁 5G 公专网智能应用探索及实践[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(8): 59.
- YANG Yong, SUN Shumiao, WANG Guohua, et al. Exploration of intelligent application of 5G public network specialized in Nanjing Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(8): 59.
- [3] 江苏省通信学会. 城市轨道交通 5G 公网移动通信系统建设标准: T/JSIC 013-2021[S]. 南京: 江苏省通信学会, 2021.
- Jiangsu Institute of Communication. Construction standards for urban rail transit 5G public network mobile communication system: T/JSIC 013-2021[S]. Nanjing: Jiangsu Institute of Communication, 2021.
- [4] 黄高云. 基于不同场景的 5G 无线网络规划分析[J]. 长江信息通信, 2022(5): 178.
- HUANG Gaoyun. Analysis of 5G wireless network planning based on different scenarios[J]. Changjiang Information & Communications, 2022(5): 178.
- [5] 何涛, 党选丽. 城市轨道交通 5G 公专网建设思路探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2021(12): 85.
- HE Tao, DANG Xuanli. Discussion on construction of 5G public and private networks of urban rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2021(12): 85.
- 收稿日期:2023-12-14 修回日期:2024-01-20 出版日期:2024-04-10
Received:2023-12-14 Revised:2024-01-20 Published:2024-04-10
- 作者:刘为俊, 高级工程师, 99069293@qq.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

<http://umt1998.tongji.edu.cn>