第 9 卷◆第 4 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

城市级实景三维模型快速构建与数据轻量化技术探析

张利华
江西省自然资源测绘与监测院
DOI:10.32629/gmsm.v9i4.2510

[摘　要] 随着新型基础测绘体系建设的深入推进,实景三维中国建设已成为数字中国的重要空间基底。城市级实景三维模型作为承载城市物理空间、社会活动及自然资源信息的核心载体,在智慧城市管理、应急指挥、国土空间规划等领域发挥着不可替代的作用。然而,面对广域覆盖、高精细度建模的需求,传统数据采集与处理模式存在周期长、成本高、数据体量庞大等问题,严重制约了实景三维数据的规模化生产与实时应用。因此,探索高效的城市级实景三维模型快速构建方法,并结合先进的数据轻量化技术以实现海量三维数据的高效存储、传输与渲染,已成为当前地理信息科学领域亟待突破的关键技术难题。
[关键词] 城市级实景三维模型；快速构建；数据轻量化技术
中图分类号：P208　**文献标识码**：A

Exploring Fast Construction of City-Level 3D Models and Data Lightweighting Techniques

Lihua Zhang
Jiangxi Provincial Institute of Natural Resources Surveying and Monitoring

[Abstract] As the construction of the new basic surveying and mapping system progresses, building a 3D real-world China has become an important spatial foundation for Digital China. City-level 3D real-world models, serving as the core carriers for urban physical space, social activities, and natural resource information, play an irreplaceable role in smart city management, emergency command, land and space planning, and more. However, facing demands for wide coverage and high-detail modeling, traditional data collection and processing methods have issues like long cycles, high costs, and huge data volumes, which seriously limit the large-scale production and real-time application of 3D real-world data. Therefore, exploring efficient methods for quickly building city-level 3D real-world models, along with using advanced data lightweight technologies for efficient storage, transmission, and rendering of massive 3D data, has become a key technical challenge that urgently needs breakthroughs in the field of geographic information science.
[Key words] City-level real 3D models; fast construction; data lightweight technology

引言

当前,倾斜摄影测量、激光雷达扫描、移动测量系统组成的多源感知技术,虽已提升数据获取效率,但海量异构数据的自动化处理与高精度重建仍存在计算复杂、周期长等瓶颈。传统建模依赖高性能计算集群,无法满足城市管理对数据时效性与动态更新的需求。同时,高保真实景三维模型面片多、纹理精度高,数据体量庞大,对带宽、存储、渲染能力造成挑战,制约其在Web端、移动端的流畅应用。在此背景下,如何实现建模全流程加速,并在保证视觉保真度与几何精度的前提下压缩数据体积,成为学术界与产业界共同关注的焦点。快速构建技术通过优化算法、引入并行计算和智能化语义分割缩短周期,数据轻量化技术通过几何简化、纹理压缩、层次细节(LOD)构建和实例化渲染降低数据冗余,二者相辅相成,是提升实景三维应用效能的关键路径。本文综述两类核心技术研究现状,为建设高效实用的城市级实景三维服务体系提供理论与技术参考。

1 城市级实景三维模型的优势

1.1高保真空间表达与多维信息融合能力

相较于传统二维地图或简易三维模型,城市级实景三维模型能够真实还原城市地表及地上建筑物的几何形态、纹理细节及空间拓扑关系,实现从“抽象符号”到“真实场景”的跨越。这种高保真的可视化效果不仅提升了空间数据的直观性与可读性,更为城市规划、建筑设计等领域提供了精确的空间量测与分析基础。同时,实景三维模型具备强大的多源数据承载能力,可将物联网传感器数据、人口社会经济数据、地下管线信息等异

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

构数据通过空间位置进行关联与融合,构建起物理世界与数字世界的映射纽带。这种多维信息的深度融合,打破了传统地理信息系统的数据孤岛效应,为城市运行状态的实时监测、复杂场景下的模拟推演以及跨部门协同治理提供了统一的空间底座,显著提升了城市管理的精细化水平与科学决策能力。

1.2全要素场景覆盖与动态更新潜力

城市级实景三维模型突破了传统测绘仅关注地表静态要素的局限,实现了对地上建筑、地下空间、水体植被及基础设施等城市全要素的立体化表达。这种全要素覆盖特性使得模型能够更完整地反映城市复杂的空间结构与功能布局,为城市体检、生态评估及灾害模拟提供了全面的数据支撑。此外,随着感知技术的进步与自动化处理流程的优化,实景三维模型具备了从“一次性建库”向“常态化更新”转变的技术基础。通过结合增量更新算法与变化检测技术,模型能够及时捕捉城市建设中的细微变化,保持数据的现势性与时效性。这种动态更新能力不仅降低了长期维护成本,还确保了数字孪生城市底座与现实物理世界的同步演进,为智慧城市的长效运营与可持续发展奠定了坚实的数据基础。

1.3沉浸式交互体验与多终端适配优势

城市级实景三维模型基于真实的地理空间坐标构建,具备天然的尺度感与空间连续性,能够为用户提供身临其境的视觉体验与直观的导航服务。这种沉浸式的交互方式极大地降低了公众理解复杂城市空间的门槛,提升了政务服务、文化旅游及公众参与的社会效益。同时,得益于数据轻量化技术的支撑,经过优化的实景三维模型能够适应从高性能工作站到移动智能终端等不同算力平台的渲染需求。通过流式加载与按需调度机制,用户可在Web浏览器、移动APP及VR/AR设备等多种终端上流畅访问海量三维数据,实现了跨平台、跨场景的无缝衔接。这种广泛的终端适配能力打破了传统三维应用对专用硬件的依赖,促进了实景三维成果在社会各领域的普及化应用,为构建全民共享的数字空间服务体系提供了技术可能。

2 城市级实景三维模型快速构建的方法

2.1多源数据协同采集与预处理

城市级实景三维模型的快速构建,首先取决于数据获取与预处理环节的效率。当前,倾斜摄影测量、机载与车载激光雷达、移动测量系统、无人机遥感及卫星影像等技术已形成互补格局:倾斜摄影能够快速获取大范围纹理丰富的多视角影像,激光雷达可穿透植被并获取高精度几何信息,移动测量系统则适合街道级细节补采。从技术流程看,快速构建并非单一手段的简单替代,而是多源数据的协同采集与统一处理。具体而言,需要在统一时空基准下完成多传感器时间同步、坐标配准、色彩匀染、噪声剔除与冗余过滤,并借助自动空中三角测量、影像匹配与点云配准算法,将异构数据转化为结构一致、精度可控的融合数据集。通过引入自动化预处理流程和智能质量检查机制,可显著减少人工干预,缩短从外业采集到内业建模的等待时间,为后续密集重建与语义建模奠定高效、可靠的数据基础。

2.2基于并行计算与GPU加速的自动化重建

面对城市级场景中影像数量大、点云密度高、覆盖范围广的特点,传统串行处理模式难以满足时效性要求。快速构建的核心突破之一,在于将摄影测量与计算机视觉算法迁移到并行计算架构之上。例如,在光束法平差、密集匹配、深度图融合、网格生成与纹理映射等环节,可采用CPU-GPU异构计算、分布式集群调度和多任务流水线技术,将海量计算任务分解为可并行执行的单元。GPU凭借强大的浮点运算与纹理处理能力,能够大幅加速半全局匹配、多视图立体匹配和泊松重建等步骤;分布式计算则可通过负载均衡与内存优化,支撑城市级数据的批量处理。换言之,并行计算与GPU加速并非单纯提升硬件性能,而是通过算法重构与任务调度,使建模全流程从“按天计算”向“按小时甚至按分钟响应”转变,从而满足城市管理对动态更新和应急响应的现实需求。

2.3智能语义分割与结构化建模

自动化重建若仅依赖几何与纹理信息,往往难以区分建筑、道路、植被、水体、车辆等城市要素,导致模型虽逼真但语义不明、编辑困难。因此,快速构建技术正逐步引入深度学习驱动的语义分割与目标识别方法。通过对影像和点云进行像素级或点级分类,可自动提取建筑物立面、屋顶、道路边界、植被区域及基础设施部件,并在此基础上开展结构化重建与规则化处理。例如,对建筑轮廓进行正交化、对道路进行中心线拟合、对植被进行简化表达,既保留了城市级模型的关键空间特征,又减少了无效面片和纹理冗余。语义信息的介入,使建模过程从“全自动几何复制”走向“语义引导的智能重建”,不仅提升了模型的可读性与可分析性,也为后续数据轻量化提供了明确的简化依据。

2.4增量更新与动态重建机制

城市空间始终处于变化之中,一次性建库模式难以维持实景三维模型的现势性。快速构建方法需要与变化检测、增量更新和局部重建机制相结合。通过将新采集数据与已有模型进行配准比对,可自动识别新增建筑、拆除区域、道路改造等变化图斑,并仅对变化区域执行重建与替换,避免全区域重复计算。这种“整体控制、局部更新”的策略,可显著降低计算量与数据维护成本。同时,结合版本管理与时序数据库,模型能够记录不同时期的城市状态,为城市体检、违建监测和灾害评估提供可追溯的空间依据。由此,城市级实景三维模型不再只是静态成果,而成为可持续演进、动态同步的数字孪生底座。

3 城市级实景三维模型数据轻量化技术

3.1几何简化与多细节层次构建

高保真实景三维模型通常包含海量三角面片,直接加载会造成存储、传输和渲染压力。几何简化技术通过边折叠、顶点聚类、二次误差度量等方法,在控制几何误差的前提下减少面片数量。与此同时,多细节层次(LOD)构建根据观察距离和屏幕像素误差,为同一区域生成不同精度的模型版本:近景保留精细结构,远景调用简化模型。四叉树、八叉树及层次化LOD组织方式,可实现空间数据的快速索引与调度。其目标并非一味压缩,而是

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

在视觉保真度与几何精度之间取得平衡,使城市级模型能够在有限算力下保持可接受的表达效果。

3.2纹理压缩与高效编码

纹理数据往往是实景三维模型体积的重要组成部分。针对高分辨率纹理,可采用纹理图集、分辨率分级、有损与无损压缩相结合的策略,如WebP、KTX2、ASTC等编码格式,在减少数据量的同时保持视觉质量。对于重复出现的建筑立面、道路铺装和植被纹理,可通过实例化引用与共享纹理降低冗余。纹理压缩还需与LOD机制联动：远景使用低分辨率纹理,近景按需加载高清纹理,从而实现“该清晰处清晰、该简化处简化”的自适应表达。这样既降低了带宽占用,也提升了Web端和移动端的加载速度。

3.3实例化渲染与流式调度

城市中存在大量形态相似的路灯、树木、车辆、护栏等要素,若逐一建模与渲染,将造成显著的数据重复。实例化渲染技术通过共享几何与材质,仅记录位置、姿态和属性差异,可大幅降低内存占用与绘制调用次数。在传输层面,流式加载与按需调度机制依据视点位置、视锥范围和网络状态,动态请求当前可见区域的数据块,并结合3DTiles等标准实现分块传输、渐进加载和遮挡剔除。由此,用户无需等待全部数据下载完成,即可获得连续、流畅的三维浏览体验。这种机制是实景三维模型走向大众化应用的重要支撑。

3.4轻量化质量评价与自适应策略

数据轻量化不能仅以压缩率为唯一指标,还需综合考量几何精度、纹理保真度、视觉感知质量、加载帧率和交互延迟等因素。针对不同应用场景,应建立差异化质量评价体系。规划分析更关注几何精度,公众展示更关注视觉体验,应急指挥则更强调实时调度能力。基于此,可发展自适应轻量化策略,根据终端算力、网络带宽和用户任务动态调整模型精度与传输策略。换言之,轻量化的本质不是简单“删减数据”,而是围绕应用目标进行智能化、可配置的数据组织与表达。

4 快速构建与数据轻量化的协同路径

4.1全流程算法协同

快速构建与数据轻量化并非两个彼此独立的阶段。若在建模初期即引入语义分割、LOD规划和实例化识别,便可在生成阶段减少无效几何与纹理,避免后期反复简化。例如,语义信息可指导建筑、植被和道路采用不同的简化规则；增量更新可只处理变化区域并同步更新LOD结构;并行计算则可同时服务于重建与轻量化编码。通过构建“采集—处理—建模—轻量化—服务”一体化流水线,能够显著提升城市级实景三维数据的生产效率与应用效能。

4.2云边端协同与标准化服务

针对广域覆盖的海量城市级三维数据,单一终端算力难以独立完成全量数据的存储、计算与实时渲染任务。云边端协同架构可将计算密集型的模型重建与轻量化处理任务部署于云端,将高频访问的热点数据缓存至边缘节点,最终由终端根据可视范围完成数据的按需加载与场景渲染,实现算力资源的优化配置。此外,标准化的数据格式、服务接口与质量控制规范是实现城市级实景三维规模化应用的前提。唯有建立统一的标准体系,实现多源异构数据的互联互通、多终端算力环境的自适应适配与多部门间的数据开放共享,城市级实景三维模型才能深度融入智慧城市建设、国土空间规划、应急指挥管理与公共服务供给等各类应用场景。

5 结语

城市级实景三维模型的快速构建与数据轻量化是支撑实景三维中国建设与数字孪生城市发展的核心技术。其中,快速构建技术解决建模效率与动态更新时效性的痛点问题,数据轻量化技术破解海量数据存储、网络传输与实时渲染的应用瓶颈,二者协同互补,共同推动实景三维服务模式完成转型,由传统高成本、小范围的静态展示,向高效率、广覆盖的动态服务与全民共享方向演进。未来,伴随人工智能、并行计算、云边端协同与标准化体系的持续发展,城市级实景三维模型可在几何精度、更新时效与应用可用性之间达成更优的均衡配置,为数字中国与智慧社会建设筑牢高质量三维空间基底。

[参考文献]

[1]许中胜.实景三维建设中的智能感知与自动化处理技术探析[J].智能建筑与智慧城市,2026,(9):45-47.

[2]张翀,郑福海,洪倩倩,等.实景三维在智慧城市建设中的应用[J].测绘与空间地理信息,2026,49(S2):215-217.

[3]胥伟,刘广凯.城市级实景三维模型动态更新方法研究[J].产业创新研究,2026,(11):107-109.

[4]丁磊.市县城市级实景三维建设技术探讨[J].测绘与空间地理信息,2026,49(3):100-102.

[5]徐晨.实景三维在城市国土空间监测中的应用[J].北京测绘,2025,39(8):1135-1139.

作者简介：

张利华(1969--),男,汉族,江西省人,大专,工程师,测绘。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.