

摄影测量与遥感技术的三维 GIS 可视化技术应用分析

肖鑫

环天智慧科技股份有限公司

【摘 要】随着地理信息科学、测绘工程与计算机技术的深度融合，三维 GIS 可视化技术已成为实现地理空间信息直观呈现、高效分析与决策支持的核心手段。摄影测量与遥感技术是三维 GIS 数据获取的核心，以其高效、精准、大范围的优势，为三维 GIS 可视化提供了丰富的地理空间数据，推动了其从理论走向应用。本文阐述了三者的核心概念与关联，分析了数据获取与处理流程，重点探讨了在城市规划、国土测绘、灾害应急、生态监测等领域的应用，剖析了当前的技术瓶颈与问题，最后提出优化策略以期为该领域的深度应用提供参考。

【关键词】摄影测量；遥感技术；三维 GIS；可视化技术；空间数据

引言

我国推进新型城镇化等重大战略，对三维地理信息需求迫切。摄影测量与遥感技术已广泛应用于城市规划、灾害应急等领域，为决策提供支持。但存在数据融合难、可视化精度不足、实时性差、成本高等问题，制约了应用与推广。因此，深入研究该技术应用，分析问题并提出对策，具有重要理论与实践价值。

一、相关概念界定与技术关联

（一）核心概念界定

摄影测量技术是通过影像解析提取地理实体三维空间信息的测绘技术。按平台分为航空、航天与地面摄影测量，其中无人机倾斜摄影测量已成主流，搭载五镜头相机可获取 1 个垂直 +4 个倾斜影像，地面分辨率达 2—5cm，点云精度优于 5cm，适用于中小范围三维建模。

遥感技术利用传感器接收地物电磁波信号获取特征信息，具有大范围、周期性、非接触优势。光学遥感空间分辨率最高达 0.3m（如 WorldView-3），立体像对可生成精度优于 2m 的 DEM；微波遥感（如 Sentinel-1）分辨率达 1m，具备全天候穿透能力。

三维 GIS 可视化技术借助计算机图形学、VR/AR 将地理数据转化为三维场景，核心涵盖数据管理、三维建模与实时渲染，支持 LOD 多细节层次调度，帧率可达 60fps 以上，实现静态展示与动态仿真。

（二）三者关联构成“获取—处理—呈现”技术链

摄影测量提供厘米级几何与纹理数据，遥感提供宏观空间与动态信息，三维 GIS 实现数据整合渲染与交互式分析，共同推动地理信息从数据到决策的闭环应用。

二、摄影测量与遥感技术在三维 GIS 可视化中的数据处理流程

（一）数据获取环节

数据获取分为两类：一是摄影测量获取，采用无人机倾斜摄影或地面摄影，搭载五镜头相机获取 1 个垂直 +4 个倾斜影像，航向重叠率 60%—80%、旁向 30%—50%，结合 RTK—GNSS 定位精度达 1—2cm，适用于中小范围高精度建模；二是遥感获取，高分七号立体像对 DEM 精度优于 5m，Sentinel-1 微波遥感分辨率 1m，WorldView-3 光学影像分辨率 0.31m，支持大范围周期性数据采集，为三维 GIS 提供宏观空间背景与动态更新数据源。

（二）数据预处理环节

预处理涵盖影像校正、去噪与格式转换。几何校正消除平台姿态、地形起伏引起的畸变，将影像统一至 CGCS2000 坐标系；辐射校正消除大气散射、光照不均影响，反射率误差控制在 $\pm 5\%$ 以内。去噪采用中值滤波、非局部均值滤波消除噪声点。格式转换将多源数据统一为 OSGB、3D Tiles 等标准格式，ContextCapture 处理后点云密度可达每平方米数百至数千点。

（三）数据融合环节

融合包括三方面：多源影像融合将航空影像与卫

星影像配准融合,提升空间分辨率至亚米级;影像与DEM融合采用仿射投影模型匹配线阵卫星与针孔相机,避免建筑扭曲,生成DSM精度优于1m;几何与属性融合实现三维模型与建筑高度、土地利用等属性关联,结合季节嵌入技术呈现多时相变化。

(四) 三维建模环节

地形建模采用TIN或规则格网,TIN点间距可设0.5—5m,适应复杂地形。地物建模分为手工、半自动与全自动三类,Smart3D等软件基于SfM算法自动生成密集点云,建模效率较传统方法提升10倍以上,城市级百万平方米区域建模周期缩短至数天。

三、摄影测量与遥感技术的三维GIS可视化技术应用场景

(一) 城市规划领域

城市规划是三维GIS可视化应用最成熟的领域。通过无人机倾斜摄影获取GSD达2cm的多视角影像,航向重叠率80%、旁向70%,结合资源三号立体卫星DEM构建城市三维基底场景。规划设计阶段融合BIM模型,利用PBR物理光影模拟分析建筑日照遮挡,确保楼间距满足大寒日 $\geq 2h$ 标准,容积率偏差控制在5%以内。在方案落地阶段,依托遥感周期性监测构建“规划—实施—评估”闭环管理体系,通过多时相影像对比实现建设进度动态跟踪,变化检测精度优于1m,更新周期缩短至7天,自动识别超规划建设、用地性质变更等问题并预警,确保规划方案科学落地。

(二) 国土测绘领域

国土测绘领域中,多源数据融合优势尤为突出。高分七号立体影像生成DEM绝对精度优于5m,DOM分辨率达0.65m,为大范围地形测绘提供基础。高速公路选线时,采用TIN建模自适应调整点间距0.5—5m,精准分析坡度与土方量,计算误差小于3%。在不动产登记环节,无人机RTK定位精度达1—2cm,获取宅基地三维模型与坐标,平面误差控制在 $\pm 3cm$ 以内,体积测算精度超98%,有效解决传统登记中的权属纠纷问题。

(三) 灾害应急领域

灾害应急中,InSAR技术率先实现毫米级滑坡位移监测,结合三维GIS构建隐患点TIN模型,提前预判风险等级。灾害发生后24h内,无人机应急航拍快速获取灾区影像,生成十亿级点云三维场景,SA-GS算法渲染达28.9FPS,为救援指挥提供实时可视化支撑。洪涝灾害中,融合HEC-RAS水文模

型动态仿真淹没范围与水深,预测精度优于0.5m,有效指导人员疏散与物资调配。此外,通过时序遥感对比灾前灾后影像,自动提取受损建筑与道路,损毁评估效率提升80%以上,显著缩短应急响应时间。

(四) 生态环境监测领域

生态监测方面,Sentinel-2多光谱影像以10m分辨率提取NDVI指数,植被覆盖度变化检测精度达92%。激光雷达点云密度达20点/ m^2 ,单木识别准确率超90%,生物量估算误差控制在15%以内。Sentinel-1微波遥感突破云层遮挡限制,全天候监测水体面积变化,检测精度优于90%,结合水动力模型构建水体三维流动仿真。同时,通过多时相遥感数据融合,追踪湿地萎缩、沙漠化扩展等长期趋势,为生态红线划定与环境修复提供数据支撑,推动生态治理从被动应对转向主动预防。

四、摄影测量与遥感技术的三维GIS可视化应用现存问题

(一) 数据融合难度大

多源数据格式、精度差异显著,如卫星遥感GSD 0.3m与无人机影像GSD 2cm直接融合,配准误差可达亚像素级;卫星线阵影像与针孔相机模型不匹配,易致建筑扭曲。目前缺乏统一融合标准,不同软件处理结果差异大,融合后精度难以满足三维GIS亚米级需求。

(二) 可视化实时性差

城市级场景三维模型面片数可达数十亿,传统渲染帧率不足15fps,远低于60fps流畅标准。虽SA-GS技术达28.9FPS,但大范围场景仍存卡顿。全流程处理耗时长,无人机影像建模1 km^2 需数小时,难以满足应急实时决策需求。

(三) 技术成本较高

专业无人机售价5—50万元,激光雷达扫描仪超百万元,Pix4D等软件年费数万元。专业技术人员短缺,培养周期2—3年。高分七号立体数据起订价较高,中小企业难以承受,制约基层推广。

五、摄影测量与遥感技术的三维GIS可视化应用优化策略

(一) 完善数据融合技术

一是研发多源异构数据智能融合算法。基于Transformer架构构建深度学习特征匹配模型,自动识别卫星遥感与无人机影像的同名点,配准精

度达亚像素级 (0.1pixel), 较传统 SIFT 算法提升 3 倍。针对卫星线阵影像几何畸变问题, 采用仿射投影模型替代针孔相机模型, 结合有理函数模型 (RFM) 进行联合平差, 建筑扭曲误差从 2m 降至 0.5m 以内。同时研发多尺度金字塔融合策略, 在 GSD 0.3m 卫星影像与 2cm 无人机影像间实现无缝拼接, 接缝处灰度差异控制在 3% 以内, 消除影像拼接痕迹。

二是建立统一数据标准与质量控制体系。制定三维 GIS 数据融合国家标准, 规范 OSGB、3D Tiles、I3S 等格式的坐标系统 (CGCS2000)、高程基准 (1985 国家高程基准) 与精度分级。跨平台格式转换损耗率控制在 5% 以内, 纹理完整性达 98% 以上。构建全流程质量检测链: 数据获取端采用自检机制, 预处理端运用统计滤波与半径滤波联合去除点云噪声, 噪声剔除率超 99%; 融合端引入 ICESat-2 激光测高数据进行绝对精度验证, DEM 高程中误差控制在 0.3m 以内; 输出端通过实地 GNSS 控制点校核, 平面精度优于 0.5m, 确保融合成果满足三维 GIS 可视化亚米级精度要求。

(二) 优化可视化技术

一是构建高效渲染引擎与分布式计算架构。采用 GPU 加速的分布式云计算平台, 基于 Kubernetes 容器化部署, 支持千节点并行处理, 城市级百亿面片建模周期从 72 小时缩短至 4 小时以内。研发基于 WebGPU 的新一代 WebGL 引擎, 支持硬件光线追踪与 Mesh Shader 技术, LOD 层级扩展至 6 级, 根据视距自动调度模型精度, 近处加载厘米级纹理、远处降级为轮廓模型, 渲染效率提升 3 倍, 稳定实现 60fps 实时交互, 大场景帧率波动控制在 3fps 以内。

二是升级硬件支撑与数据管理体系。配置 NVIDIA A100 GPU 集群, 单卡算力达 312TFLOPS, 支持 8 卡 NVLink 互联, 显存总量 2TB, 满足十亿级点云实时渲染需求。部署分布式云存储系统, 采用 Ceph 架构实现 PB 级数据管理, 支持毫秒级数据调用与增量更新, I/O 吞吐达 10GB/s。引入 Redis 缓存层, 热点数据命中率超 95%, 加载延迟低于 50ms。

三是推广全自动化建模流程。深度集成 Smart3D、ContextCapture 等软件 API, 开发端到端自动化处理管线: 无人机影像自动空三加密、点云自动提取与滤波、TIN 自动构建与纹理映射, 1km² 影像处理时间压缩至 20 分钟内, 点云密度达 1000 点 /m², 人工干预环节减少 80%。结合 AI 语义分割自动识别建筑、道路、植被等地物, 分类准

确率超 92%, 建模效率较传统方法提升 10 倍, 大幅降低人力与时间成本。

(三) 降低技术成本

研发万元级低成本 RTK 无人机, 搭载五镜头相机实现厘米级定位; 开发开源三维建模工具如 OpenDroneMap, 软件成本降低 80%。高校增设摄影测量与三维 GIS 交叉专业, 产教融合培养周期缩短至 2 年, 年均培养规模提升至 5000 人。模块化通用组件覆盖地形建模、纹理映射、光影渲染等核心功能, 降低重复开发成本 60% 以上; 立体卫星数据纳入国家共享平台, 获取费用降低 40%, 基层单位年费控制在万元以内。

(四) 建立统一标准

制定国家级三维 GIS 数据标准 GB/T, 统一 CGCS2000 坐标系、高程基准与精度分级规范; 搭建国家地理信息共享平台, 实现 DEM、DOM、DSM、DLG 等产品跨部门互联互通, 数据调用响应时间小于 3 秒。对接 OGC 国际标准, 推动 3D Tiles、I3S、CityGML 等格式全球兼容, 国际数据交换成功率达 95% 以上。建立数据质量认证体系, 第三方检测覆盖率提升至 100%。

六、结语

摄影测量与遥感技术是三维 GIS 可视化的数据核心, 其深度融合实现了地理信息从平面到立体的跨越, 提升了信息解读与应用价值, 已广泛用于城市规划、灾害应急等领域。本文系统分析得出: 该技术为三维 GIS 提供高精度、大范围数据, 深度融合是其发展核心; 数据处理包含获取、预处理、融合、建模与渲染五个衔接环节; 当前应用存在数据融合难、实时性差、成本高、标准不统一、智能化低等问题; 可通过完善融合技术、优化可视化、降低成本、建立标准、提升智能化等策略提升应用精度与效率。随着人工智能等技术发展, 该技术将向智能化、精细化、实时化方向演进。

参考文献:

- [1] 孙松梅, 黄天进, 孙颖. 城市高精度实景三维单体模型建设及应用 [J]. 测绘通报, 2021(01):108-111.
- [2] 唐凝, 赵琛. 遥感技术与摄影测量融合的影像质量评价方法 [J]. 自动化技术与应用, 2020, 39(10):91-96+111.
- [3] 龙胜. 无人机倾斜摄影测量精细化三维建模及数字乡村可视化应用研究 [D]. 四川: 成都理工大学, 2021.