

面向智慧城市建设的三维地理信息系统建模与优化方法研究

周 进

抚州市金土勘测规划有限责任公司 江西抚州 344099

摘 要: 在全球城市化进程不断加速的大环境下, 智慧城市建设逐渐成为实现城市可持续发展的重要路径, 而三维地理信息系统(3D GIS)因具备强大的空间信息处理和可视化能力, 能够为智慧城市规划、管理与运行提供关键技术支持。基于此, 本文围绕面向智慧城市建设的3D GIS建模与优化方法展开系统研究, 阐述数据采集、处理以及各类建模技术的原理与特性, 深入剖析现有建模过程存在的问题并提出针对性优化策略, 同时探讨未来发展趋势, 以期推动3D GIS技术在智慧城市建设中实现更高效、精准的应用。

关键词: 智慧城市; 三维地理信息系统; 建模方法; 优化策略

引言

智慧城市借助信息技术与城市发展深度融合, 实现城市资源高效配置、运行智能管理和居民生活品质提升, 而准确直观的地理空间信息是其建设重要基础。传统二维GIS在展现地理信息时存在局限, 三维地理信息系统(3D GIS)则能更真实反映地理实体空间形态、拓扑关系和属性信息, 为城市管理者 and 决策者提供更全面深入的空间分析视角, 在城市规划设计、交通管理、公共安全应急等智慧城市建设的多个关键领域都发挥着不可替代的作用。不过随着智慧城市对地理信息需求持续增长, 对3D GIS建模的精度、效率和数据处理能力也提出了更高标准, 因此开展面向智慧城市建设的3D GIS建模与优化方法研究, 兼具重要理论价值与现实意义。

一、三维地理信息系统建模技术

(一) 数据采集与处理

3D GIS建模数据采集质量和完整性直接影响建模效果, 当前主要借助激光扫描、航空摄影测量、卫星遥感等技术, 同时结合地面调查与物联网传感器获取多源数据。激光扫描有地面和机载两种, 地面激光扫描适用于建筑物立面和城市基础设施精细建模, 能获得厘米级甚至毫米级精度点云数据, 机载激光扫描搭载于飞行器, 可快速获取大范围地形和地物数据, 不过两种方式采集的数据都需进行去噪和滤波预处理。航空摄影测量通过无人机或飞机搭载相机从多角度拍摄影像, 经特征匹配和立体解算生成DSM、DOM及三维点云, 在中小区域建模中应用广泛, 具有成本低、灵活性高的优点, 但易受

天气和光照影响且处理过程复杂^[1]。卫星遥感因覆盖范围广、周期性强, 常用于宏观地理信息获取和地形地貌分析, 不过存在光谱与空间分辨率难以兼顾的问题, 需与其他数据融合使用。GPS、倾角传感器等物联网传感器可提供实时动态数据, 增强3D GIS模型的时效性与实用性。采集到的多源数据还需经过格式转换、坐标系统一和配准等预处理, 才能实现融合应用。

(二) 建模方法

1. 多边形建模

多边形建模是3D GIS中常用建模方法, 以三角形或四边形为基本单元, 通过组合多边形构建三维模型表面。在城市建模场景下, 建筑物、道路、桥梁等具有规则几何形状的地物模型都适用多边形建模方法, 其建模过程常以二维矢量数据或点云数据为起点, 通过轮廓提取、面片生成、纹理映射等操作完成三维模型构建。如基于建筑物二维轮廓线, 利用拉伸、倒角等操作生成三维实体模型, 再将真实建筑纹理映射到模型表面, 提升模型逼真度。多边形建模的灵活性高, 建模人员能通过调整多边形顶点位置、边的长度和角度, 方便地编辑修改模型, 精确控制模型细节, 塑造各种复杂几何形状; 且在计算机图形学中兼容性良好, 大多数三维建模软件和GIS平台都支持其导入、导出和渲染。但随着模型复杂度增加, 多边形数量会急剧增长, 导致数据量庞大, 对计算机存储和计算能力要求更高, 在大规模城市建模场景下, 其绘制和渲染效率显著降低, 影响系统运行性能。

2. NURBS建模

NURBS(非均匀有理B样条)建模依托数学曲线和

曲面理论,借助控制点与权因子定义曲线和曲面形状,与多边形建模相比,它能精准呈现规则几何形状(如圆、圆柱)和自由曲面形状,因此在城市不规则建筑、景观雕塑等复杂造型建模中广泛应用,像设计具有流线型外观的现代建筑时,就能准确表达建筑曲面形态、展现独特设计理念。NURBS建模凭借较少参数便可精确描述复杂形状,数据量小,还便于进行缩放、旋转、平移等几何变换,其曲线和曲面光滑性与连续性良好,能生成高质量模型表面;但NURBS建模对数学知识和专业技能要求高,建模过程复杂,调整模型形状需修改控制点和权因子,对建模人员技术水平要求高,与其他建模方法或数据格式交互时,也可能出现兼容性问题^[2]。

3. 体素建模

体素建模把三维空间分割成无数小立方体即体素,每个体素都有特定属性值,依靠这些属性变化来呈现物体内部构造和外观;在城市建模领域,无论是模拟地形起伏、构建地下空间还是展示建筑物内部结构,都能发挥作用,像在构建城市地下管网模型时可清晰呈现管网分布、连接状态及内部流体情况,地形建模中则通过体素高程值变化体现地势高低。体素建模的优点在于能直观展现物体三维空间信息,方便开展空间分析与模拟工作,比如在洪水淹没模拟中可以快速算出淹没范围和深度,还具备良好的空间拓扑关系表达能力,能够准确描述物体间邻接、包含等关系;不过它也存在明显的局限性,由于数据量庞大,特别是高分辨率建模时,海量体素数据会给存储和计算带来巨大压力,并且细节表现能力相对不足,难以精准呈现物体复杂的表面形状。

4. 点云建模

点云建模是直接利用激光扫描、航空摄影测量等方式获取的点云数据来构建三维模型的技术,这些点云数据记录着大量离散点的三维坐标信息,通过滤波、分类、插值等处理手段,能提取地物几何特征从而生成三维模型。像在城市快速建模场景里,借助机载激光扫描获取点云数据,运用自动分类算法分离出建筑物点、地形点、植被点等,再对建筑物点云进行表面重建,即可生成建筑物三维模型。这种建模技术能够快速获取真实世界三维信息,凭借快速的数据采集和处理流程实现快速建模,同时完整保留原始数据,与其他建模方法相比,因减少人工干预而显著提高建模效率。不过点云数据存在不规则、稀疏的特性,构建模型时容易出现细节丢失、表面不连续等问题,并且其处理分析依赖专业算法和软件,

数据处理流程相对复杂。

二、三维地理信息系统建模的优化方法

(一) 数据精简

在3D GIS建模中原始数据常含大量冗余信息,数据精简对提高建模效率、降低存储成本至关重要。点云数据常用体素格网法、随机采样法和曲率采样法进行精简,体素格网法将点云数据划分到多个体素格网内并在每个格网选取一个代表性点,在维持模型基本形状的同时大幅降低数据量且计算效率高;随机采样法从原始点云中随机抽取一定比例的点,操作简便但易造成模型细节丢失;曲率采样法依据点云曲率变化采样,在曲率较大区域保留更多点,适用于对模型精度要求高的场景。对于多边形模型,网格简化算法是主要的数据精简方式,边折叠算法作为经典的网格简化算法,通过不断合并相邻三角形面片将边折叠为点逐步减少多边形数量,折叠过程中计算边折叠前后模型的几何误差并选择误差最小的边进行折叠以保证模型视觉效果和几何精度;顶点聚类算法则通过合并空间距离相近的顶点实现多边形模型简化^[3]。

(二) 多分辨率模型构建

在不同应用场景中为同时满足对模型精度和显示效率的需求,构建多分辨率模型是行之有效的优化策略。该模型基于不同细节层次(Level of Detail, LOD)对同一地理实体建模,具体应用时在远距离观察或精度要求不高的场景下采用低分辨率模型,以减少数据传输和渲染量、提高显示速度,而在近距离观察或需要详细信息的场景下则切换到高分辨率模型展示更多细节。多分辨率模型构建方法中基于几何简化的方式是对原始高分辨率模型逐步简化,生成不同层次低分辨率模型,在渲染过程中依据观察者与模型的距离、观察视角等因素动态选择合适分辨率模型进行显示;基于影像金字塔的方法则通过对纹理影像进行不同尺度重采样,生成一系列不同分辨率的影像金字塔,并结合几何模型简化实现多分辨率显示;深度学习技术也可用于训练模型自动生成不同分辨率模型,从而提高多分辨率模型构建的自动化程度与效率。

(三) 数据压缩

数据压缩作为减少3D GIS数据存储空间、提升数据传输效率的关键手段,根据数据类型的不同采用不同的压缩算法。几何数据常用哈夫曼编码、行程长度编码、小波变换等压缩算法,其中哈夫曼编码通过为数据中高频出现的符号赋予较短编码实现压缩,行程长度编码则

适用于大量重复数据场景，将连续重复数据编码为一个符号与重复次数，而小波变换能把数据从空间域转换到频率域，通过量化和舍弃高频系数实现压缩并保留一定细节特征。纹理数据方面，JPEG和PNG是常用压缩格式，JPEG属于有损压缩格式，通过去除人眼不敏感的高频信息压缩数据，适用于对图像质量要求不高的场景，PNG作为无损压缩格式，可在不损失图像质量的前提下实现一定程度压缩，适用于对图像细节要求较高的场景。三维模型整体压缩还可采用基于模型结构的压缩算法，将模型拓扑结构编码和几何信息压缩相结合以进一步提高压缩比^[4]。

（四）并行计算与分布式处理

随着智慧城市建设推进地理信息数据量持续激增，传统串行计算方式难以满足处理需求，而并行计算和分布式处理技术凭借多核处理器、集群计算等硬件资源可有效提升数据处理效率。其中并行计算常用多线程技术和GPU加速：多线程技术将数据处理任务拆解为子任务分配至多个线程并行执行，如在点云数据滤波处理时将点云划分为子区域，每个线程负责一个子区域滤波从而加快处理速度；GPU（图形处理器）因拥有大量计算核心具备强大并行计算能力，在3D GIS建模中利用GPU加速技术可实现点云数据快速渲染、多边形模型实时绘制等操作，显著提升图形处理效率。分布式处理技术则是将数据与计算任务分散到多个计算节点，通过分布式文件系统（如Hadoop Distributed File System, HDFS）存储地理信息数据，借助分布式计算框架（如Apache Spark）并行分析处理数据，在大规模城市三维建模场景中，分布式处理技术可将建模任务分配至多个服务器节点，各节点负责部分区域建模工作后再合并结果，大幅提高建模效率与系统可扩展性。

三、三维地理信息系统建模面临的挑战与发展趋势

（一）面临的挑战

3D GIS建模技术在智慧城市建设虽已取得显著进展却仍面临诸多挑战，其中多源异构数据的融合难题首当其冲。智慧城市建设涉及地理空间、物联网、社会经济等各类数据，它们在格式、坐标系、语义等方面存在差异，如何实现不同类型数据的高效融合与协同应用成为一大关键问题。城市作为动态变化的复杂系统，地理实体属性和空间形态持续改变，这使得3D GIS模型的实时更新困难重重，保证模型现势性是亟待攻克的难关。而

且随着3D GIS应用场景不断拓展，系统性能要求日益提升，如何在确保模型精度的同时进一步提高系统运行效率与响应速度，同样是3D GIS建模必须应对的重要挑战。

（二）发展趋势

未来3D GIS建模技术将朝着智能化、集成化和动态化方向发展，人工智能技术融入其中推动3D GIS建模自动化与智能化进程，比如借助深度学习算法实现点云数据自动分类、建筑物自动提取及三维重建，以此减少人工干预并提升建模效率与精度；3D GIS还将与物联网、大数据、云计算等技术深度融合，达成数据实时采集、传输、存储与分析，进而构建更智能高效的智慧城市空间信息服务平台；动态建模技术也将进一步发展，通过实时获取城市动态数据，实现3D GIS模型动态更新与可视化展示，为智慧城市实时管理和决策提供有力支持^[5]。

结论

三维地理信息系统（3D GIS）建模与优化方法作为智慧城市建设的核心技术，其重要性不言而喻。本文全面阐述3D GIS建模技术，深入分析现有建模方法的优缺点并提出针对性优化策略，通过数据精简、多分辨率模型构建、数据压缩以及并行计算与分布式处理等优化手段，能有效提升3D GIS建模的效率和精度，同时降低数据存储与处理成本。不过3D GIS建模在数据融合、模型更新和系统性能等方面仍存在挑战，而随着相关技术的持续发展，未来3D GIS有望在智慧城市建设中发挥更大作用，推动城市朝着智能化、可持续化方向发展。

参考文献

- [1] 李濛, 何倩, 李广明, 等. 面向数字孪生城市的三维GIS基础软件技术创新及应用[J]. 上海城市规划, 2023(5): 36-43.
- [2] 楼虎安, 方挺. 智慧城市中的三维地理信息系统建设与应用研究[J]. 中国信息界, 2025(4): 36-37.
- [3] 罗军, 吴彬彬, 孙国辉. 基于GIS+BIM的三维建模方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(4): 162-165.
- [4] 王少南. 测绘地理信息系统在智慧城市建设中的应用研究[J]. 安家, 2025(1): 25-27.
- [5] 漆婧. 智慧城市建设中地理信息系统的应用研究[J]. 消费电子, 2024(5): 72-74.