

工程测量——三维建模一体化技术体系构建 与复杂地形场景还原度优化

张建华

身份证号: 500233198908138142

DOI:10.61369/ME.2025010002

摘要： 介绍全站仪、GNSS、三维激光扫描等工程测量技术，阐述三维建模一体化技术体系的关键流程及多源异构数据融合方法，还涉及移动测量系统、地形特征量化等内容，强调提升复杂地形场景还原度的多种技术，以及一体化技术的应用和未来发展方向。

关键词： 工程测量；三维建模；复杂地形

Engineering Surveying--Construction of Integrated Technology System of 3d Modeling and Optimization of Complex Terrain Scene Restoration

Zhang Jianhua

ID: 500233198908138142

Abstract： This paper introduces engineering surveying technologies such as total stations, GNSS, and 3D laser scanning. It elaborates on the key processes of an integrated 3D modeling technology system and methods for multi-source heterogeneous data fusion. The content also covers mobile measurement systems and terrain feature quantification, emphasizing various techniques to enhance the fidelity of complex terrain scenarios, as well as the application and future development directions of integrated technologies

Keywords： engineering surveying; 3D modeling; complex terrain

引言

随着工程测量技术的不断发展，如全站仪、GNSS和三维激光扫描技术等为三维建模一体化技术体系提供了数据基础（工程测量技术发展现状）。近年来，国家对测绘地理信息领域的政策支持不断加强，2021年发布的《自然资源部关于促进智能测绘发展的指导意见》强调了技术创新和融合的重要性。在此背景下，三维建模一体化技术体系涵盖了点云配准、曲面重建等关键流程，同时涉及多源异构数据融合、移动测量系统集成等方面。这些技术对复杂地形场景还原度的优化至关重要，包括地形几何特征量化、植被类型识别等内容。同时，需构建精度验证体系和误差传播控制模型。目前，其已在矿山监测和智慧城市等领域取得应用效果。未来，人工智能与边缘计算将为技术发展提供重要支撑。

一、三维建模一体化技术体系理论基础

（一）工程测量基础原理与方法

全站仪通过测量角度和距离来确定目标点的空间位置，其角度测量基于水平度盘和垂直度盘，距离测量采用电磁波测距原理^[1]。GNSS则是利用卫星信号进行定位，通过接收多颗卫星的信号，根据卫星的位置和信号传播时间来计算接收机的位置。三维激光扫描技术是通过发射激光束并接收反射光来获取目标物体的表面信息，从而得到点云数据。在点云数据获取过程中，需要考虑多种误差来源，如仪器误差、环境误差等。通过建立误差控制模型，可有效提升数据质量。这些工程测量技术为三维建模一体

化技术体系提供了重要的数据基础。

（二）三维建模技术框架

三维建模一体化技术体系涵盖多个关键技术流程。点云配准是基础，通过精确的算法将不同视角获取的点云数据进行匹配，为后续建模提供准确的空间位置信息^[2]。曲面重建则是在配准后的点云基础上，构建物体的表面模型，以准确还原物体的几何形状。纹理映射进一步增强模型的真实感，将采集到的纹理信息映射到重建的曲面上，使模型更加逼真。同时，BIM与GIS技术的融合为协同建模提供了新的机制。BIM侧重于建筑信息的精细化管理，GIS则擅长空间地理信息的处理，两者融合可实现更全面、准确的三维建模，适用于复杂的工程测量与地形场景还原^[2]。

二、一体化技术体系构建方法论

（一）多源数据融合策略

激光点云、倾斜摄影测量与遥感影像等多源异构数据融合是构建一体化技术体系的关键。需研究融合算法，以充分利用各数据源的优势。其中，基于特征匹配的时空基准统一方法尤为重要。通过精确识别不同数据源中的特征，建立起统一的时空基准，确保数据在时间和空间上的一致性^[3]。这有助于提高三维建模的准确性和完整性，为复杂地形场景还原度优化奠定基础。同时，融合过程中还需考虑数据的分辨率、精度等差异，采用合适的加权策略等方法，以实现更高效、准确的数据融合，更好地服务于工程测量和三维建模一体化技术体系。

（二）硬件集成与软件架构

移动测量系统需集成多种传感器，如激光扫描仪、相机等，要实现多传感器时空同步，需精确校准各传感器的时间和空间参数。在硬件上，可采用高精度的时钟同步模块以及精确的定位装置，确保传感器数据在时间和空间上的一致性^[4]。对于软件架构，开发支持实时数据处理的分布式计算平台至关重要。此架构应具备高效的数据传输和处理能力，可采用分布式计算框架，如 Apache Spark 等，将数据分割处理，提高处理效率。同时，软件应能对不同传感器的数据进行融合处理，以获取更全面准确的测量信息。

三、复杂地形场景特征解析

（一）地形几何特征量化

1. 地表粗糙度计算模型

地形几何特征量化是复杂地形场景特征解析的重要部分。通过对地形的几何特征进行量化，可以更好地理解地形的复杂性。在量化过程中，需要考虑地形的高程变化、坡度、坡向等因素。这些因素可以通过数字高程模型（DEM）来获取。地表粗糙度计算模型则是基于地形几何特征量化的结果。它可以用来描述地形表面的粗糙程度。常用的地表粗糙度计算模型包括均方根高度、算术平均偏差等。这些模型可以通过对地形表面的高程数据进行统计分析来计算。通过建立地形复杂度评价指标体系，可以更好地评估复杂地形场景的特征，为工程测量和三维建模提供更准确的基础数据^[5]。

2. 地形突变区域识别

复杂地形场景中，地形几何特征量化及地形突变区域识别至关重要。对于地形几何特征量化，需采用合适的数学方法对地形的起伏、坡度、曲率等进行精确描述^[6]。通过这些量化指标，能更好地理解地形的基本几何特性。在地形突变区域识别方面，开发基于曲率分析与边缘检测的算法是关键。曲率分析可检测出地形曲率的异常变化区域，这些区域往往是断崖、沟壑等特殊地貌的潜在位置。边缘检测则能进一步确定这些特殊地貌的边界，从而准确识别出地形突变区域，为复杂地形场景的特征解析提供重要依据。

（二）地表覆盖物分类研究

1. 植被三维结构解析

植被类型识别是复杂地形场景地表覆盖物分类的重要部分。点云强度与光谱特征融合的方法在植被类型识别中具有重要意义。点云强度反映了物体对激光的反射能力，不同植被类型可能具有不同的点云强度特征。光谱特征则包含了植被在不同波段的反射和吸收信息，能提供更丰富的植被生理和生化特性相关数据。通过融合这两种特征，可以更准确地识别植被类型。例如，某些植被可能在特定波段有独特的光谱吸收峰，同时其点云强度也有别于其他植被。利用这些特点进行综合分析，能够提高植被类型识别的精度和可靠性，为复杂地形场景地表覆盖物分类研究提供更准确的数据基础^[7]。

2. 人工建筑建模规范

复杂地形场景包含多种地表覆盖物和人工建筑，需对其进行深入研究和规范建模。对于地表覆盖物，应根据其材质、分布等特征进行分类，这有助于准确还原地形场景^[8]。人工建筑建模需制定严格规范，包括建筑物立面几何精度和纹理分辨率的标准。立面几何精度要确保建筑形状和尺寸的准确性，以符合实际情况。纹理分辨率应满足在不同视角和距离下都能呈现清晰的外观，避免出现模糊或失真现象。通过对这些方面的规范和研究，可提高复杂地形场景的还原度，为工程测量—三维建模一体化技术体系的构建提供有力支持。

四、场景还原度优化关键技术

（一）多尺度建模优化

1. LOD 动态调度机制

设计基于视点距离的细节层次自适应切换策略，能够有效提升场景还原度。通过实时监测视点与场景中物体的距离，动态调整模型的细节层次（LOD）。当视点距离物体较远时，使用较低细节层次的模型，减少计算量和渲染负担；当视点靠近物体时，切换到高细节层次模型，保证场景的真实感和准确性。这种自适应切换机制基于多尺度建模优化思想，综合考虑了不同尺度下模型的特点和需求，在保证视觉效果的同时提高了系统的运行效率，为复杂地形场景还原提供了关键技术支持^[9]。

2. 特征保持简化算法

开发顾及地形特征的网格简化与顶点优化方法，对于提升复杂地形场景还原度至关重要。通过对地形特征的精确分析，能够在简化网格的同时，最大程度地保持地形的关键特征。利用多尺度建模的思想，在不同尺度下对地形进行描述，根据实际需求确定合适的简化程度。采用先进的顶点优化算法，调整顶点的位置，使其更符合地形的真实形态。这种方法不仅可以有效减少数据量，提高计算效率，还能保证场景还原的准确性和真实性，为工程测量—三维建模一体化技术体系的构建提供有力支持^[10]。

（二）动态纹理映射技术

1. 光照一致性处理

光照一致性处理是场景还原度优化的关键技术之一。在动态

纹理映射技术应用中，为确保光照效果符合实际场景，需对光照一致性进行处理。通过分析不同光照条件下的纹理特征和光影变化规律，建立光照模型。该模型能够模拟不同角度、强度的光线对物体表面的影响。利用该模型对纹理进行光照调整，使其在不同视角和光照环境下都能呈现出自然、真实的效果。同时，考虑到场景中可能存在的反射、折射等光学现象，对光照模型进行进一步优化，以准确还原复杂地形场景中的光照效果，提高场景还原度。

2. 时序数据融合建模

动态纹理映射技术与时序数据融合建模在构建支持季节变化与工程进展的动态场景更新模型中至关重要。动态纹理映射技术可通过对不同时间获取的纹理数据进行处理，使其能更好地贴合三维模型表面，增强模型的真实感。时序数据融合建模则是将不同时间节点的测量数据进行融合，充分考虑季节变化和工程进展带来的地形地貌改变。它需要对时序数据的特征进行提取和分析，建立合理的融合模型，以准确反映场景的动态变化。例如，对于植被覆盖区域，随着季节变化，植被的颜色和密度会改变，通过时序数据融合建模可将这些变化融入三维模型中，提高复杂地形场景的还原度。

（三）精度验证体系构建

1. 三维比对分析方法

为优化复杂地形场景还原度，构建精度验证体系与三维比对分析方法至关重要。在空间配准方面，需确立统一的坐标系统，使模型与实测数据在空间上精准对应。通过精确的算法，将两者的空间位置进行匹配，为后续分析奠定基础。偏差可视化系统则能直观呈现模型与实测数据间的差异。利用色彩、图形等方式，将偏差值在三维空间中展示，便于快速定位和分析误差较大的区域。

域。在三维比对分析方法中，可从多个维度对模型和实测数据进行比较。例如，对比地形的高程、坡度、坡向等关键参数，综合评估模型的准确性，为场景还原度的优化提供有力依据。

2. 误差传播控制模型

为优化复杂地形场景还原度，构建精度验证体系及误差传播控制模型至关重要。通过建立数学模型量化测量误差对最终建模精度的累积影响规律。分析误差在各个测量环节及数据处理过程中的传播路径，确定误差源及其对结果的影响权重。考虑测量仪器精度、测量方法、环境因素等多种变量，建立误差传播的动态模型。利用该模型预测不同误差条件下的建模精度，为精度验证提供理论依据。同时，通过实际测量数据对模型进行验证和修正，确保模型的准确性和可靠性，从而实现对误差的有效控制，提高场景还原度。

五、总结

一体化技术体系在矿山监测和智慧城市等领域取得了显著应用效果。在矿山监测中，能精准获取地形数据，为安全生产提供保障；在智慧城市建设里，有助于城市空间信息的整合与管理。然而，在高植被覆盖率区域建模方面存在技术瓶颈，植被的复杂结构和遮挡影响数据采集和模型构建的准确性。展望未来，人工智能与边缘计算在实时三维重建中具有广阔发展前景。人工智能可通过学习大量数据优化建模算法，提高建模效率和精度；边缘计算能实现数据的快速处理和分析，满足实时性要求，为三维建模一体化技术体系的进一步完善和复杂地形场景还原度的提升提供有力支持。

参考文献

[1] 王治铭. 复杂地形三维多分辨率模型构建方法研究 [D]. 北京林业大学, 2021.
[2] 张艺璇. 复杂地形风电场流场测量与 CFD 模拟 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.
[3] 尚鑫. 三维地形场景编辑系统的研究与实现 [D]. 北京工业大学, 2015.
[4] 刘金龙. 基于人工倾斜摄影测量的微地形三维建模方法研究 [D]. 西北农林科技大学, 2019.
[5] 王林云. 多分辨率海陆一体化三维地形建模 [D]. 山东科技大学, 2020.
[6] 罗龙, 赵云龙. 输电线路场景三维建模与还原 [J]. 电子元件与信息技术, 2021, 5(5): 91-92.
[7] 贾来强, 王健, 白军虎, 等. 基于倾斜摄影技术的输电线路走廊三维场景重建方法的研究与应用 [J]. 电工技术, 2021(4): 128-130.
[8] 张代航, 赵浩, 冉怡静. RTK 技术在矿山测量工程中的应用研究 [J]. 世界有色金属, 2021(13): 36-37.
[9] 赵迪, 戴志鹏, 李世其, 等. 巡视探测任务中复杂地形信息感知与场景建模 [J]. 航天器工程, 2019, 05(5): 32-38.
[10] 皮志荣. 地面三维激光扫描技术在工程测量中的实践 [J]. 江西建材, 2017(24): 219, 224.