

多源遥感数据融合在地形测绘中的关键技术应用

吕维汉¹, 赵钧儒²

(1. 山东协和人力资源有限公司, 山东 济南 250100;
2. 山东省煤田地质局物探测量队, 山东 济南 250102)

摘要 地形测绘作为地理信息获取的重要环节, 对国土资源管理、城市规划、环境保护和灾害防控等领域具有重要支撑作用。本文围绕多源遥感数据的特性及融合技术展开分析, 包括数据预处理、配准技术、特征级与决策级融合、深度学习与智能算法应用, 探讨了融合技术在数字高程模型构建、地形要素提取、动态监测及应用实践中的作用, 以期显著提升地形测绘的精度和信息完整性提供参考, 进而为地形建模、灾害监测、城市规划及资源管理提供技术支持。

关键词 多源遥感; 数据融合技术; 地形测绘; 地形建模

中图分类号: P217; TP751

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.17.010

0 引言

传统单一数据源测绘方法存在精度受限、信息维度不足及环境依赖性强的问题, 而多源数据融合技术能够充分发挥光学影像、雷达数据、激光雷达点云和无人机影像等数据源的互补优势, 实现地形信息的高精度获取和综合表达。多源数据融合技术能够充分利用不同数据源的互补优势, 实现对复杂地形的精细建模, 提高数字高程模型和地形要素提取的精度。

1 多源遥感数据类型与特点分析

1.1 光学遥感数据

光学遥感数据主要包括高分辨率卫星影像和航空摄影影像。高分辨率卫星影像能够覆盖大范围区域, 同时提供精细的空间信息, 便于地物识别和地形特征提取。航空摄影影像具有更高的空间分辨率和灵活的拍摄角度, 可针对局地重点区域进行精细观测。光学遥感数据的优势在于空间分辨率高、影像清晰、信息直观, 能够直观反映地表形态, 为数字高程模型和地形要素提取提供基础数据。然而, 光学遥感数据也存在局限, 其观测质量受天气条件和光照状况影响明显, 如云层覆盖或低光照环境会导致影像信息缺失或失真。

1.2 雷达遥感数据

雷达遥感数据主要指合成孔径雷达获取的影像数据, 其通过微波信号探测地表, 具有全天候、全天时

观测能力^[1]。这使得合成孔径雷达能够在云雾、降雨或夜间等光学遥感难以观测的环境下, 依然获取稳定的地形信息。合成孔径雷达的优势在于能够穿透云雾获取地形起伏信息, 适用于山地、丘陵及复杂城市环境的地形测绘。合成孔径雷达数据可通过干涉处理生成数字高程模型, 支持地形变化监测和地表沉降分析。其局限性主要是噪声干扰较多, 尤其是散斑噪声, 以及几何畸变和信号反射复杂, 处理难度大, 对数据解译和融合提出了较高要求。

1.3 激光雷达数据

激光雷达数据能够获取高精度三维地形点云, 是精细地形测绘的重要手段。激光雷达通过激光脉冲扫描地表, 生成高密度点云, 能够准确测量地表高程和微地形特征。其优势在于测绘精度高、点云密度大, 能够捕捉山脊、河谷、道路高差及建筑物细节等复杂地形特征, 为数字高程模型和数字地表模型的生成提供精确基础。激光雷达数据成本高、数据量庞大, 对存储、传输及处理能力要求高, 同时在密集植被覆盖区域会存在测量遮挡问题, 需要与其他数据源结合使用以保证数据完整性。

1.4 无人机与移动测量数据

无人机与移动测量数据在地形测绘中具有灵活采集的优势。无人机能够在低空飞行, 自由调整航线和拍摄角度, 对特定区域进行高分辨率影像采集, 非常适

作者简介: 吕维汉(1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 测绘。

合局地测绘或重点区域观测^[2]。移动测量系统通过车辆搭载传感器,可实现沿线或城市街区连续测绘。无人机与移动测量数据与传统遥感数据互为补充,能够捕捉微地形和局地细节,还可以与光学、合成孔径雷达及激光雷达数据融合,实现宏观覆盖与局部精细测绘的有机结合,从而提升地形测绘的整体精度和信息完整性。

2 多源数据融合关键技术方法应用

2.1 数据预处理与配准技术

由于不同传感器的数据在空间分辨率、观测时间、拍摄角度和几何投影上存在差异,数据必须经过严格的空配准和时间配准,以确保同一地理位置的多源数据能够准确对应。空配准通常通过控制点匹配、影像特征点提取和投影变换实现,而时间配准则保证多时相数据能够反映同一测绘周期内的地形变化,避免因观测时间差异产生的误差。

几何校正是数据预处理的重要环节,其通过纠正遥感数据在获取过程中产生的畸变,包括传感器几何误差、大气折射影响和地球曲率效应,使数据在地理坐标系下达到精确定位要求。几何校正为后续多源数据融合提供统一参考框架,也保证了地形特征的空间准确性,为精细建模和地物分析提供可靠基础。

数据降噪与缺失值处理也是数据预处理的重要环节。多源遥感数据中普遍存在噪声干扰,如合成孔径雷达数据中的散斑噪声、光学影像的光照或云雾干扰,以及激光雷达点云的测量误差,需要采用滤波、插值或统计方法进行处理。数据采集过程中会出现的缺失值或空缺区域,也需通过插值、融合或多源数据互补来填补,以保证测绘数据的完整性和连续性。

2.2 特征级融合方法

特征级融合方法是多源遥感数据融合的重要手段,其通过对不同数据源的纹理、形态和光谱特征进行提取与整合,实现对地形信息的精细表达^[3]。在地形测绘中,光学影像提供丰富的光谱信息,有助于地物识别,合成孔径雷达影像能够反映地形起伏与粗糙度特征,激光雷达点云则精确描述地表高程和微地形结构。通过特征级融合,可以将这些多维信息综合起来,生成更全面、更准确的地形特征集,为后续地形建模和分析提供基础数据。

特征级融合的优势在于能够在保持各数据源原始信息的同时,充分利用它们的互补特性,提升地形测绘精度和复杂地形要素提取能力。例如:在山区或城市高楼区域,通过融合光学影像的纹理与光谱信息、合成孔径雷达的形态特征以及激光雷达的高度信息,可以更准确地识别山体坡度、建筑物轮廓及河流走向,实现对微地形和宏观地貌的综合分析。

2.3 决策级融合方法

决策级融合方法是多源遥感数据融合的重要层次,其通过对不同数据源分类结果或判别信息进行整合,实现地形要素的高精度提取。与特征级融合直接处理原始数据不同,决策级融合关注各数据源在地形分类或地物识别上的判定结果,并通过逻辑、概率或统计方法进行组合,从而提高测绘结果的可靠性和准确性。例如:将光学影像的土地覆盖分类结果与合成孔径雷达影像的地形起伏信息以及激光雷达的高程分类结果进行融合,可以综合各类判别信息,生成更精确的地形要素图。

决策级融合的优势在于能够充分利用多源数据在分类或判别任务中的互补性,降低单一数据源分类误差对测绘结果的影响。在复杂地形或多种地物混杂的区域,通过决策级融合可以有效提升地形边界识别、坡度判断、河道提取等要素的精度和稳定性。决策级融合方法具有较强的灵活性,可以根据不同测绘目标和数据特点选择加权融合、投票法或贝叶斯方法等多种融合策略,实现针对性优化。

2.4 深度学习与智能算法融合

深度学习模型能够自动学习和提取数据中的高维特征,实现多源信息的高效融合,从而提升地形测绘的精度与智能化水平。卷积神经网络在多源遥感影像融合中被广泛应用,其通过多层卷积和池化操作,可以自动提取光学影像的纹理特征、合成孔径雷达影像的形态信息以及激光雷达的高度特征,实现数据特征的高效融合^[4]。卷积神经网络在分类、分割和地形要素提取任务中表现出较高的准确性,能够适应复杂地形和异构数据源的融合需求。Transformer 模型通过自注意力机制,可以有效捕捉多源数据之间的长距离空间依赖关系和跨模态关联,对于多时相、多分辨率数据的融合处理具有独特优势,特别适用于大范围地形变化监测和动态地形建模。

深度学习与智能算法融合的核心价值在于自动化和高精度特征提取。通过训练端到端模型,系统能够自主学习不同遥感数据源的互补信息,无需依赖复杂的人工特征工程。这类方法能够支持三维地形建模、数字高程模型生成和微地形识别,实现对复杂地貌和城市空间结构的精准表示。

2.5 大数据与云计算在多源遥感数据融合中的应用

大数据与云计算在多源遥感数据融合中的核心价值体现在数据存储、分布式处理和实时分析能力上。通过云平台,遥感数据可以实现集中存储和统一管理,支持跨地域、跨设备的数据访问与共享。在处理方面,基于分布式计算的算法能够快速完成数据预处理、配准、特征提取和融合分析,有效解决单机处理效率低

下的问题。借助云计算的弹性计算能力,可在多源数据处理任务中按需分配计算资源,实现大规模遥感数据的实时处理与分析,为动态地形监测和快速地形建模提供技术保障。

大数据技术还支持对融合结果进行精度评估、异常检测和趋势分析,使地形测绘能够生成高精度的数字高程模型,还可以提供地形变化的预测与决策支持。通过云计算和大数据平台,测绘数据能够与地理信息系统、人工智能算法以及深度学习模型高效整合,实现多源遥感数据在地形测绘中的智能化处理。

3 多源数据融合在地形测绘中的应用实践

3.1 地形精细建模

地形精细建模是多源遥感数据融合在地形测绘中的核心应用之一,其目标是通过整合光学影像、合成孔径雷达影像、激光雷达点云及无人机低空影像等多源数据,生成高精度、三维可视的地形模型。数字高程模型和数字地表模型是地形精细建模的基础成果,数字高程模型主要反映裸地表面高程信息,而数字地表模型则包含地表覆盖物(建筑物、植被等)的高度信息^[5]。

在数字高程模型和数字地表模型生成过程中,多源遥感数据融合能够显著提升精度和细节还原能力。光学影像提供的高分辨率纹理信息有助于地物边界识别,合成孔径雷达数据可补充坡度变化和粗糙度特征,激光雷达点云提供高精度的高度信息,而无人机低空影像可补充局地细节。通过特征级融合、决策级融合及深度学习算法,能够将不同数据源的优势互补,实现数字高程和地表模型的精细化建模,提高地形要素提取的准确性和可靠性。

在实际应用中,城市微地形与复杂地貌的建模案例表明,多源数据融合能够有效解决高楼密集区、河流岸线、山地坡面等复杂地形的建模难题。例如:在城市规划与基础设施建设中,通过融合激光雷达点云和光学影像,可精确还原道路高差、建筑轮廓和地面坡度,为施工设计和环境分析提供依据。在山区或丘陵地带,融合合成孔径雷达和激光雷达数据能够准确捕捉山脊线、河谷地形及坡面起伏,实现对地形微特征的全面反映。

3.2 变化监测与动态测绘

变化监测与动态测绘是多源遥感数据融合在地形测绘中的重要应用方向,旨在通过连续观测和数据对比,及时获取地形及地表特征的变化信息。在实际测绘中,河流流向变化、山体滑坡或塌方、道路沉降及城市扩展等地形动态,对资源管理、环境保护和基础设施建设具有重要影响。通过融合光学影像、合成孔径雷达影像、激光雷达点云及无人机低空影像等多源

数据,可以在不同时间尺度上获取地形变化信息,实现对地表动态的精准监测。

在河流监测方面,多源数据融合能够提供水体边界和河床高程的精确变化信息,为洪水预警、水资源管理和河道治理提供依据^[6]。山体地形变化,如滑坡、泥石流等灾害,通常具有局地性和突发性,通过多源数据的时间序列分析,可以及时捕捉地形异常变化,辅助地质灾害预警和应急管理。对于道路沉降或城市扩展,多源数据融合能够精确记录道路高差和地面沉降情况,还能识别土地利用变化和城市扩展趋势,为规划与管理提供科学依据。

变化监测与动态测绘的优势在于多源数据的互补性。光学影像可以直观显示地表覆盖变化,合成孔径雷达影像能够在云雾天气下获取地形起伏信息,激光雷达点云提供高精度三维高度数据,而无人机影像可捕捉局地微地形变化。通过时间序列数据的对比与融合分析,能够发现宏观地形变化,还能识别微小地形变动,实现对自然环境和人工地表的动态管理。

4 结束语

多源遥感数据融合在地形测绘中展现出显著的技术优势。通过整合光学影像、合成孔径雷达数据、激光雷达点云以及无人机低空影像等不同类型的数源,融合方法能够充分发挥各类数据的互补性,实现地形信息的高精度、高完整性获取。在数据预处理、配准、特征提取、决策融合及深度学习算法的支持下,多源融合提高了数字高程模型和数字地表模型的精度,还增强了复杂地形和微地形特征的识别能力,为地形测绘提供了可靠的数据基础。在河流、山体、道路及城市微地形等动态监测中,多源融合技术实现了高效、连续的数据处理,为灾害预警、城市规划、交通工程及资源管理提供了可靠支撑。

参考文献:

- [1] 张媛媛,陈金容.高分辨率卫星遥感与AI技术结合的地形测绘方法研究[J].中国高新科技,2025(17):124-126.
- [2] 刘宇红.基于无人机遥感测绘数据的三维建模技术探讨[J].科技资讯,2025,23(12):20-22.
- [3] 徐静静.基于深度学习的测绘遥感多元数据整合技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(16):181-183.
- [4] 任彭睿智.无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用分析[J].建材发展导向,2025,23(10):1-3.
- [5] 何守健,冯宝义,赵焕仁.多源遥感技术在国土测绘中的应用研究[J].中国高新科技,2025(07):140-142.
- [6] 白洁.遥感测绘技术在测绘工作中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(07):40-42.