

多源卫星遥感数据融合在大区域地形测绘中的关键技术研究

于文雨¹ 吴启航²

1. 黑龙江科技大学; 2. 福建农林大学

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13248

[摘要] 多源遥感数据的融合是实现大区域地形测绘的重要手段, 本文对多源卫星遥感数据融合在大区域地形测绘中的关键技术进行了深入的研究, 首先对多源遥感数据的类型与特点进行了阐述, 分析了不同遥感卫星数据的优缺点。其次, 从提高地形测绘精度、提升地形测绘分辨率、增强地形测绘时效性三个方面, 对多源卫星遥感数据融合在大区域地形测绘中的应用优势进行了分析。最后对多源卫星遥感数据融合的关键技术进行了探讨, 研究表明, 合理利用多源遥感数据进行融合, 可以有效地融合多源数据, 为大区域地形测绘提供更加丰富和精准的数据支撑, 促进相关领域的发展。

[关键词] 多源卫星遥感; 数据融合; 大区域地形测绘; 关键技术

引言

近年来, 随着遥感技术的不断进步, 多源遥感数据已被广泛用于大区域地形测量。多源卫星遥感数据主要包括光学、雷达等多种类型的卫星遥感数据。不同类型的遥感卫星各有优势, 光学遥感卫星可获得对地目标的高分辨率图像信息, 而雷达卫星则不受气象、光照等条件的限制。在大区域地形测绘中, 单靠遥感数据往往很难满足高精度测绘的需要。例如, 雨雪、云雾等天气条件下, 光学遥感资料的像质严重下降, 雷达遥感资料分辨率不高。因此, 对多源遥感数据进行融合, 可以充分利用多源遥感数据的优势, 弥补单一数据的不足。多源遥感数据的融合涉及到数据配准和融合算法等多个关键技术问题, 这些技术的研究对提高大区域地形测绘的精度与效率具有重要意义。然而, 当前多源遥感影像融合技术在实际应用中还存在数据一致性差、融合算法自适应性差等问题。因此, 对多源遥感数据融合的大区域地形测绘关键技术进行深入研究, 具有重要的理论与应用价值。

一、多源卫星遥感数据概述

(一) 光学遥感卫星数据特点

光学卫星遥感数据是指通过搭载在卫星上的光学传感器收集的地球表面信息的数字化数据, 该方法具有空间分辨率高、能清楚地反映地物的形状和纹理等特性^[1]。具体的说, 高分辨率光学遥感卫星能够清晰地分辨出建筑物和道路等细节。另外, 光学遥感数据具有丰富的光谱信息, 可根据不同波段进行组合识别。然而, 由于光学遥感受到气象、光照等因素的限制, 在云、尘等气象条件下, 成像质量受到严重影响, 难以获得清晰的图像。

(二) 雷达遥感卫星数据特点

雷达遥感卫星以电磁波发射和接收地面反射回波的方式获取资料, 它最大的优点是可以穿透云层和雨水等恶劣天气, 实现全天候观测。雷达资料能提供地形的三维信息, 如地形高度等。另外, 雷达遥感具有很强的地面穿透能力, 可以探测到一定深度下的地下信息。然而, 雷达遥感资料的分辨率较低, 加上雷达阴影等因素的影响, 使得资料的精度和可译性受到影响。

(三) 其他类型卫星遥感数据特点

除了光学、雷达遥感之外, 还存在其他类型的激光雷达遥感数据, 激光雷达是一种以激光为载体, 发射一束激光束和测量其往返时间的方法, 通过这种方法, 可以得到物体的距离信息。此外, 还有高光谱遥感数据, 高光谱遥感数据具有光谱分辨率高、分类准确等优点。

二、多源卫星遥感数据融合在大区域地形测绘中的优势

(一) 提高地形测绘精度

在大区域地形测绘中, 单靠遥感数据往往有其局限性。多源遥感数据融合可以有效解决上述难题, 大幅提升地

形测绘精度, 如光学遥感数据在空间分辨率方面具有突出的优势, 可以清晰地展现地表的精细特征, 但由于受天气条件的影响, 在云、雨等天气条件下, 观测效果并不理想^[2]。而雷达遥感技术却弥补了这方面的不足, 它具有全天候观测能力, 可以在任何天气条件下稳定获取地形信息。将二者结合, 可获得更为精确的地形地貌信息, 如山川纹理、河流走向等, 并可获得更精确的高程信息, 从而减少因数据单一带来的误差。

(二) 提升地形测绘分辨率

多源遥感数据融合是提高地形测绘精度的重要途径之一, 不同类型的卫星传感器, 在分辨率上各有优势。高分辨率光学遥感数据能提供清晰的地物图像, 便于测绘人员对不同地形要素进行准确识别与区分。而雷达遥感数据具有较低的分辨率, 如能穿透植被, 获取植被下方的地形特征等特殊信息。两种类型的数据融合在一起, 一方面能够保持较高的空间分辨率, 使得地形测绘的结果具有更高的细节精度; 另一方面, 这两种技术的融合, 不仅可以获得更为丰富的地表结构信息, 还可以获取植被覆盖下的地表结构、地形起伏等丰富的地物信息, 从而全面提高地形测绘的整体分辨率, 为后续的分析与应用提供高质量的数据支撑。

(三) 增强地形测绘时效性

多源遥感数据融合是提高地形测绘时效性的重要手段, 在大区域地形测绘中, 不同卫星观测周期、覆盖范围各不相同。尽管光学遥感卫星能够在良好的天气条件下获得高质量的数据, 但是当遇到强降水、沙尘等恶劣天气时就会失效, 严重影响地形测绘工作的开展。在这种情况下, 雷达遥感卫星不受气象条件影响的优点得到了充分发挥, 可以持续采集数据, 保证了地形测绘的连续性。另外, 利用先进的数据处理技术, 实现多源数据的快速处理与融合, 大大缩短了地形测绘的时间。这对于一些对时间要求较高的实际应用, 如应急救援中的地形评价、城市建设中的快速测绘等具有重要作用, 可以为决策提供精确的地形信息支撑^[3]。

三、多源卫星遥感数据融合关键技术

(一) 数据配准技术

数据配准是多源遥感数据融合的基础, 实现多源遥感数据在时空上的精确匹配, 是实现多源遥感数据融合的关键。在高分遥感影像中, 常用的基于角点的配准方法(如: 建筑物转角等), 通过对角点的检测与匹配, 可以初步实现影像间的配准。实验结果表明, 利用角点检测技术对复杂场景进行配准可以达到亚像素级的精度。边缘点可以帮助提取地物轮廓, 例如河流、道路等, 进一步提高了配准的精度。在基于图像的配准方法中, 互相关算法对灰度变化相对稳定的图像具有较好的效果, 如沙漠等区域, 可以根据灰度信息进行配准, 部分实验表明, 在简单场景下, 这种方法的配准误差可

以达到2~3个像素。

然而, 多源遥感数据面临着诸多挑战。例如, 光学卫星与雷达卫星成像机理完全不同, 光学图像容易受到光照和云的影响, 而雷达图像虽然能够穿透云层, 但存在几何形变。在山区, 受地形起伏影响, 多源遥感影像可能产生几何畸变, 在山区光学与雷达影像配准中, 未经优化处理, 其几何误差可达10—20个像素以上。同时, 不同的卫星在辐射定标过程中存在着不同的辐射特征, 如亮度、颜色等。因此, 在实际应用方面, 需要进一步研究和改进算法。如采用结合特征与图像灰度信息的混合配准算法, 先利用特征点快速确定大致配准位置, 再依据灰度信息进行微调, 从而提高配准精度和效率。在城市地区的多源数据配准中, 该方法能有效应对复杂场景, 经过实际测试, 可将配准精度提升至亚像素级别, 大幅优于传统单一算法。

(二) 基于像元层的数据融合技术

像元层数据融合是在像元级上直接处理不同传感器影像的方法, 在实际应用中, 对同一区域的多光谱与全色影像, 可以根据影像的光谱特征及空间分辨率给予不同的权重。如在植被监测方面, 可以在多波段影像上对植被敏感的波段赋予较大的权重, 从而保留植被的信息, 利用全色影像提高空间分辨率。有研究发现, 将加权平均方法应用于某一区域的植被覆盖监测中, 可使监测精度提高15%左右。利用PCA方法对多源数据进行处理, 可以把主要信息集中于几个主元上, 如在土地利用变化分析中, 采用主成分变换方法, 突出变化信息, 剔除冗余信息^[4]。利用主成分分析方法对某城市5年土地利用变化监测数据进行了验证, 结果表明, 该方法提取的变化信息精度大于80%。采用IHS变换方法对彩色图像进行融合, 效果明显。以城市景观图像为例, 在将RGB空间变换为IHS空间后, 用高分辨率影像的亮度成分替代低分辨率彩色影像的亮度成分, 使得融合后的影像不仅具有较高的分辨率, 而且具有丰富的色彩信息。采用IHS变换方法进行融合后, 图像的空间分辨率提高了30%左右, 视觉效果得到了显著提高。然而, 由于不同传感器的辐射特征存在差异, 例如同一地物在不同卫星上的反射率不一样, 这就会造成影像的光谱畸变。在作物长势监测过程中, 光谱失真会影响作物健康状况的判定, 已有研究表明, 光谱畸变可导致作物健康状况监测精度下降10%~20%。

(三) 基于特征层的数据融合技术

特征层数据融合就是先将图像特征提取出来, 然后再将其融合。在基于特征点的融合方法中, 在森林火灾监测中, 即从多幅遥感影像中提取火点特征点(如高温区形成的特征点), 对这些特征点进行匹配与融合, 并基于融合的特征点重构林火区域图像, 实现对林火范围及蔓延方向的精确定位。以林火监测为例, 利用特征点融合技术, 可在10分钟内完成初步的火区定位, 火灾范围判定误差小于5%。基于区域的融合方法在城市规划中应用广泛, 将城市遥感影像分割成商业区、居民区等不同区域, 并融合各区域的纹理、形状等特征, 如商业区建筑密度大、纹理特征明显等特点, 将多幅卫星影像数据融合, 可以更精确地分析商业活动的空间分布与规模。以某大城市商业区为例, 采用区域特征融合方法, 将商业活动区识别精度由传统方法的70%提高到85%。基于特征层的融合方法, 可以有效地减少数据量, 提高处理效率。然而, 对于一些细节丰富的场景, 如文物古迹监控等, 由于特征提取能力有限, 可能会丢失部分细节信息, 从而对文物细微变化的检测。

(四) 基于决策层的数据融合技术

决策层数据融合就是在对多个源数据进行独立分析并进行决策的基础上进行融合的结果。例如, 光学与雷达遥感在农业监测中, 光学影像可以清楚地识别农作物种类及长势, 雷达影像则具有较大的优势, 如土壤湿度、作物倒伏等。利

用光学影像识别不同作物分布, 雷达影像判别土壤水分区域差异, 最后融合分类结果。投票法适用于简单的情况, 比如在判定一个地区是否发生洪灾时, 由多个数据源对决策结果进行表决, 大多数结果决定最后的评判。通过洪水监测试验, 将多源数据融合作为一种决策方法, 对洪涝灾害范围的判断准确率达85%以上。贝叶斯决策方法在应对复杂情形时具有更大的优势, 通过贝叶斯原理对不同决策结果进行概率计算, 提高决策的科学性。将贝叶斯决策方法应用于森林病虫害风险评价中, 将单一数据源的风险评价精度提高到75%以上。在遥感影像中, 遥感影像显示植被正常, 而雷达影像则显示区域湿度异常, 这就需要引入专家知识, 通过调整不同决策结果的权重来解决冲突^[5]。

(五) 融合算法优化

为了提高多源遥感影像的融合质量, 需要对融合算法进行优化。针对已有算法的改进, 以加权平均方法为例, 针对多源气象卫星资料融合过程中不同气象要素(温湿度等)的变化趋势及重要程度进行自适应调整权重。在温度变化很快的地区, 要对温度变化的数据来源给予较大的权重, 以便更精确地监控温度的变化。实际应用表明, 改进后的加权平均方法对某区域的温度监测精度提高了10%左右。将机器学习与深度学习相结合, 具有明显的优势。针对高分辨遥感影像融合问题, 以卷积神经网络(CNN)为例, 利用海量已有标记数据对卷积神经网络进行训练, 自动学习不同影像特征及融合规则。卷积神经网络能够有效地融合多源影像信息, 精确识别建筑物边界与结构, 具有较高的效率和准确性。通过对一个城市的房屋提取实验表明, 基于卷积神经网络的房屋识别精度可以达到90%以上, 而传统的基于卷积神经网络的房屋识别精度只有70%。这一研究成果将为多源遥感数据在环境监测、灾害预警等领域的应用提供更加可靠的数据支撑。

结束语

总之, 多源遥感数据融合技术在大区域地形测绘领域具有广阔的应用前景。通过开展多源遥感数据融合的关键技术研究, 包括数据配准、像元层、特征层与决策层的融合、融合算法的优化等, 可以有效提升大范围地形测量的精度、分辨率和时效性。然而, 现有的多源遥感数据融合技术仍然存在数据一致性差、融合算法自适应性差等问题。同时, 随着卫星遥感技术的不断进步, 新的传感器、新的数据类型不断涌现, 为适应日益增长的大区域地形测绘需求, 亟需研究新的融合方法与技术。通过本文的研究, 期望通过多源遥感数据的融合, 为大区域地形测绘提供更加丰富和精确的数据支撑, 促进地形测绘学科的持续发展。

[参考文献]

- [1] 徐耀文, 胡文学, 李斐洋. 多源数据融合技术在地形测绘中的应用[J]. 模型世界, 2023 (24): 44-46.
- [2] 朱腾, 陈友滨. 基于多源遥感数据的大范围仿真三维地形重建[J]. 智能城市, 2024, 10 (5): 7-9.
- [3] 黄子洋. 基于“星-空-地”多源数据的复杂山地植被覆盖度反演方法[D]. 陕西: 长安大学, 2023.
- [4] 么嘉棋, 常奂宇, 王梦然, 等. 新一代水文水资源监测卫星SWOT数据特征、应用与展望[J]. 地球科学进展, 2024, 39 (4): 374-390.
- [5] 谢光明. 测绘技术在特殊地形测绘工程中的应用探讨[C]//2024智慧施工与规划设计学术交流会议论文集. 2024: 1-4.

作者简介:

- 1 于文雨(1998—本科 黑龙江科技大学, 研究方向: 多源卫星遥感数据融合在大区域地形测绘中的关键技术研究);
- 2 吴启航(1997年—), 硕士研究生、主要从事土地调查和数字土壤制图、福建农林大学。