

Application of multi-source remote sensing data fusion technology in dynamic land use monitoring

Zhiqiang Ju

Shanxi Linyuan Geological Survey Co. Ltd., Jinzhong, Shanxi, 030600, China

Abstract

Dynamic land use monitoring serves as a crucial foundation for global change research and regional resource management. Multi-source remote sensing data, with their complementary advantages in spatial resolution, spectral characteristics, and temporal coverage, provide conditions for improving monitoring accuracy and timeliness. However, scale differences and noise interference between sensors make it challenging for single data sources to comprehensively support dynamic identification. This paper reviews the theories and methods of multi-source data fusion, summarizes key technologies at the pixel-level, feature-level, and decision-making level, and analyzes case studies including cultivated land change, urban expansion, and forest cover monitoring. The study demonstrates that multi-source fusion significantly enhances monitoring precision and reliability, driving the development of intelligent and multidimensional land use dynamics monitoring, thereby providing technical support for national land planning and ecological conservation.

Keywords

multi-source remote sensing data; data fusion technology; land use; dynamic monitoring; spatial information processing

多源遥感数据融合技术在土地利用动态监测中的应用研究

巨志强

山西林源地质测绘有限公司, 中国·山西 晋中 030600

摘要

土地利用动态监测是全球变化研究和区域资源管理的重要基础。多源遥感数据在空间分辨率、光谱特性与时间覆盖方面具有互补优势, 为提高监测精度和时效性提供了条件。但不同传感器间存在尺度差异与噪声干扰, 单一数据源难以全面支撑动态识别。本文梳理了多源数据融合的理论与方法, 归纳了像素级、特征级和决策级等关键技术, 并结合耕地变化、城镇扩张和森林覆盖监测等案例进行分析。研究指出, 多源融合可显著提升监测的精度与可靠性, 推动土地利用动态监测向智能化与多维度发展, 为国土规划和生态保护提供技术支持。

关键词

多源遥感数据; 数据融合技术; 土地利用; 动态监测; 空间信息处理

1 引言

土地利用的动态变化不仅反映了人类社会经济发展的空间格局, 也直接影响区域生态安全与可持续发展战略实施。如何在广域尺度上实现对土地利用变化的精准监测与快速识别, 一直是地理信息科学、遥感科学及环境管理研究的热点。传统基于单一传感器的遥感监测在时空分辨率、数据连续性与地物识别精度方面均存在一定不足, 而多源遥感数据融合技术的兴起, 为提升土地利用动态监测能力提供了新的契机。本文旨在结合理论、技术与应用层面, 系统探讨多源遥感数据融合技术在土地利用动态监测中的应用路径及其前景, 以期对相关研究与实践提供参考。

【作者简介】巨志强(1986-), 男, 中国山西晋中人, 本科, 工程师, 从事摄影测量与遥感研究。

2 多源遥感数据融合的理论基础与发展脉络

2.1 多源数据融合的科学内涵

多源数据融合是指在统一空间参考与时间框架下, 将不同传感器获取的数据进行综合处理, 以获取更加全面、准确与可靠的地理信息。其核心目标在于克服单一数据源的局限, 实现数据优势互补与信息重构。随着遥感技术的发展, 从早期的多光谱传感器到如今的高分辨率光学卫星、合成孔径雷达(SAR)、激光雷达(LiDAR)以及无人机航拍影像, 数据类型愈加多样, 融合需求随之增强。

2.2 数据融合技术的发展历程

早期融合方法多基于光学影像的波段运算, 随着计算机图像处理技术与机器学习方法的发展, 融合手段逐渐向多层次、多维度方向演进。从最初的简单加权平均、主成分变换, 到小波变换、贝叶斯推理, 再到近年来的深度学习与人

工智能驱动的自适应融合，数据融合的技术框架不断完善。尤其是在云计算与大数据环境下，融合技术逐渐实现了从离线批处理向在线快速处理的转变。

2.3 融合理论的多学科支撑

多源遥感数据融合不仅依赖于遥感影像处理本身，还融合了信号处理、模式识别、统计分析和人工智能等学科成果。在数学上，融合技术需要借助概率论、模糊数学、优化算法等工具实现数据重构；在工程应用上，则依赖于高性能计算平台和分布式数据管理模式。因此，多源数据融合已经成为典型的跨学科交叉研究领域。

3 多源遥感数据融合的关键技术方法

3.1 像素级融合技术

像素级融合是多源遥感数据融合中最基础的层次，其核心思想是对不同来源影像在像素层面进行合成与优化，从而获得兼具空间分辨率与光谱信息优势的综合影像。常见方法包括主成分分析（PCA）、IHS 变换、小波变换等，它们能够增强影像的细节表现力，改善地物边界识别效果，广泛应用于城市扩张、农田分布和林地划分等监测任务。近年来，随着深度学习的发展，卷积神经网络（CNN）被引入到像素级融合中，通过自动学习影像特征实现高保真度的融合结果，有效缓解了光谱失真的问题，并提升了在复杂场景下的适用性与鲁棒性。

3.2 特征级融合技术

特征级融合主要关注于从不同传感器数据中提取关键特征，并在特征层面进行整合与筛选。与像素级融合相比，该方法更强调对数据语义的表达能力，能够在保留重要信息的同时减少冗余数据，提高分类与识别的精度。例如，光学影像在光谱特性表达上具有优势，而合成孔径雷达（SAR）则在反映地表粗糙度和结构特征方面表现突出，将两者特征相结合，能够有效提升农作物识别、湿地分布提取及地表覆盖变化监测的精度。随着机器学习与模式识别方法的发展，特征级融合逐渐引入特征选择、降维与优化算法，使得融合结果在表达效率与判别能力上得到进一步提升，为土地利用动态监测提供了更可靠的技术支持。

3.3 决策级融合技术

决策级融合强调在分类或识别的结果层面进行多源数据的综合整合，其基本原理是利用多个独立分类器或识别模型的输出结果，通过加权投票、概率统计或规则推理实现最终判定。该方法的优势在于能够有效提升复杂地表环境下监测的鲁棒性和整体精度，尤其适用于大范围、多样化的土地利用动态变化分析。在实际应用中，不同模型可能对不同地物类型有差异化的识别能力，而决策级融合能够综合多模型的优势，减少单一模型的误判率。近年来，集成学习和迁移学习等人工智能技术的引入，使决策级融合在动态监测任务中的表现更加优异，不仅提高了监测的效率，还增强了对异常变化的敏感性和解释力，为实现智能化、多维度的土地利

用监测奠定了坚实基础。

4 多源遥感数据融合在土地利用动态监测中的典型应用

4.1 耕地变化监测

耕地资源作为粮食安全的重要保障，其动态变化直接影响国家农业生产能力与区域生态环境稳定性。传统依赖单一光学影像的监测容易受到云层、大气条件及传感器局限的干扰，导致耕地边界提取和面积估算存在误差。多源遥感数据融合技术通过整合光学影像与合成孔径雷达（SAR）数据，将光学影像的高光谱特征与雷达影像的穿透能力结合起来，在提高空间分辨率的同时有效减少外界干扰，从而实现耕地范围的精准提取与时序动态分析。在具体应用中，融合方法能够揭示耕地抛荒、非农化转变以及复耕等动态变化过程，支持农业部门在政策制定中采取更加科学的措施。例如，在农作物生长周期内，通过融合多时相数据，可实现对耕地利用强度和种植结构的精确评估，进而为农业补贴、粮食安全预警及耕地保护提供可靠支撑。

4.2 城镇扩张与建设用地监测

随着城市化进程的加快，城镇用地扩张已成为土地利用动态监测的重要内容。单一遥感数据往往难以及时、全面捕捉城市边缘的快速扩展和内部土地利用的复杂变化，而多源数据融合技术为解决这一难题提供了新路径。通过结合高分辨率光学影像与夜光遥感数据，不仅能够清晰 delineate 城镇建设区的范围，还能反映城市活动强度与空间分布特征，从而更准确地刻画城市扩展速度与方向。同时，基于多时相影像的时序融合处理，还可以追踪城市化进程中的土地利用转型过程，例如农地转为建设用地、低密度开发向高密度开发的演变等，为政府在城市规划、基础设施布局与土地政策制定中提供科学依据。实践研究表明，多源融合在城镇边缘监测和快速识别新建区方面优势明显，能够在早期阶段捕捉建设用地扩张迹象，提升监测的前瞻性和预警性。特别是在大都市圈和新区开发中，该技术为合理调控土地供给、优化城市空间结构提供了重要的技术支撑。

4.3 森林覆盖与生态环境监测

森林作为全球生态系统的重要组成部分，其动态变化直接关系到生物多样性保护、碳循环平衡与气候变化应对。传统的光学遥感监测在估算森林覆盖率和识别林分类型方面虽有一定优势，但受限于季节性变化和天气条件，数据连续性和精度不足。多源遥感数据融合通过整合光学数据、雷达数据和激光雷达（LiDAR）点云，能够实现从平面覆盖率达到三维结构参数的综合获取。例如，光学影像可提供物种信息，雷达数据能够在云层遮挡下稳定观测森林覆盖，而激光雷达则能精确反映林冠高度与林分结构特征。三类数据的有机结合，使森林资源监测的精度与维度显著提升，为森林碳储量核算和生态系统健康评价提供了科学依据。在全球及区域研究中，亚马逊热带雨林和中国东北林区已成为典型的应

用案例,验证了融合技术在揭示森林退化、火灾影响及恢复过程中的有效性。随着碳中和战略的推进,基于多源融合的森林监测将为生态保护政策与国际环境治理提供重要的数据支撑。

5 多源遥感数据融合应用中的挑战与未来趋势

5.1 数据获取与共享机制不足

在多源遥感数据融合应用过程中,数据获取与共享机制的缺陷仍是制约其广泛推广的重要因素。不同遥感传感器受制于轨道周期、成像模式及成像条件,其获取时间存在差异,难以实现多源数据的同步覆盖。同时,部分高分辨率影像因受商业化限制,数据获取成本较高,导致研究与应用中存在时效性不足与空间覆盖不均衡的问题。此外,不同部门在数据管理与使用上存在壁垒,形成“信息孤岛”,使得跨行业、跨区域的数据融合受到阻碍。虽然近年来国家与国际层面逐步推动遥感数据的开放与共享,但在数据标准化、接口兼容性以及安全合规方面仍面临挑战。要突破这一瓶颈,需要构建统一的数据共享平台,推动政府、科研机构与企业之间的资源协同,实现多源数据的高效互通与开放利用,从而为土地利用动态监测提供持续、稳定且高质量的数据支持。

5.2 融合算法的精度与效率矛盾

在实际应用中,融合算法的精度与效率往往难以兼顾。高精度的数据融合方法通常依赖于复杂的数学模型与多维度特征提取过程,如基于深度卷积神经网络的像素级融合或多模态特征空间重构,虽然能够有效提高地物识别精度与变化检测能力,但其计算复杂度高,处理速度较慢,难以满足大尺度土地利用动态监测对实时性与高效性的需求。与此同时,一些简化模型或低复杂度算法虽然能够显著提升处理速度,但在精度与鲁棒性上存在明显不足,容易导致信息丢失与识别偏差。随着遥感数据规模的急剧增长,这一矛盾愈发突出。为实现平衡,未来应重点发展并行计算、云计算和图形处理单元加速等新型计算架构,同时推动融合算法的轻量化与自适应优化。在理论与实践结合的基础上探索“高精度—高效率”并行发展的新路径,才能真正突破融合算法应用的瓶颈。

5.3 智能化与自动化发展趋势

在人工智能快速发展的背景下,智能化与自动化已经

成为多源遥感数据融合技术的重要发展趋势。传统融合方法往往依赖人工设定参数与规则,效率较低且易受主观因素影响,而深度学习、迁移学习与强化学习等人工智能方法的引入,为融合过程提供了更强的自适应能力。基于深度学习的自适应融合模型能够在大规模样本的训练下自动学习不同传感器数据之间的特征关系,实现高效而精准的动态监测。同时,自动化处理流程的构建使得多源数据能够在采集、预处理、融合到输出结果的全链条环节中实现无缝衔接,极大提高了监测效率与时效性。未来,随着无人机、星座遥感与实时数据流的不断普及,智能化与自动化融合技术将更加凸显优势。其不仅能够降低人工干预的比例,还能实现动态监测的实时预警与智能决策支持,从而推动土地利用监测向高效、智能、可持续的方向迈进。

6 结语

多源遥感数据融合技术的应用,为土地利用动态监测提供了前所未有的机遇。通过像素级、特征级与决策级的多层次融合,可以有效提升监测的精度与可靠性,在耕地保护、城市扩张分析、森林资源监测等方面展现出显著优势。然而,当前在数据共享、算法优化与应用推广方面仍存在瓶颈。未来,应进一步加强跨学科协同研究,推动数据融合与人工智能、大数据技术的深度结合,实现土地利用监测的智能化、精细化与实时化,为国土空间治理与可持续发展战略实施提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 陈俊任,韩婷婷,牛悦娇,等.基于遥感技术的曹妃甸区土地利用变化分析[J/OL].安徽农业科学,1-8[2025-09-19].
- [2] 王剑.基于遥感技术对阿拉尔市土地利用变化分析及预测[D].塔里木大学,2024.
- [3] 陈智勇,吴耀炜,林港特,等.基于遥感生态指数的粤港澳生态环境质量与土地利用变化空间关系[J].环境科学,2024,45(11):6433-6447.
- [4] 郭建鹏,张宝林,潘丽杰,等.基于遥感的呼和浩特市1980—2020年土地利用变化研究[C]//中国环境科学学会(Chinese Society For Environmental Sciences).中国环境科学学会2023年科学技术年会论文集(四).内蒙古师范大学化学与环境科学学院;内蒙古自治区环境化学重点实验室;2023:332-339.
- [5] 于超.基于遥感和土地利用变化的山东省生态系统服务价值估算研究[D].曲阜师范大学,2021.