

削弱了精度验证对模型改进的指导作用,亟需构建多维度、多尺度、多指标的验证体系,通过集成实测、数值模拟、遥感监测等手段,实现沉陷预计结果的全面、动态、精准评估。

5 矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证方法优化策略

5.1 数据融合提反演之质

为提升矿山开采沉陷参数反演的精准度,需构建多源数据协同融合体系。首先,整合地质、监测与遥感三类数据:地质数据(如钻孔岩性、断层分布)提供岩层基础信息,监测数据(如GPS位移、倾斜仪数据)捕捉地表实时形变,遥感数据(如InSAR干涉图、无人机影像)获取大范围沉陷特征。通过空间配准与时间同步技术,将三类数据在统一坐标系下对齐,消除尺度与分辨率差异。其次,采用深度学习中的特征融合网络(如多模态Transformer模型)对多源数据进行联合学习,自动提取数据中的时空关联特征(如开采扰动与沉陷的滞后效应)。进一步,构建基于贝叶斯推断的参数反演框架,将融合数据作为先验信息,结合物理模型(如弹性力学方程)进行后验更新,实现参数的精准估计。例如,利用InSAR数据的大范围覆盖优势与GPS数据的高精度特性,通过特征融合网络学习两者的互补信息,提高反演参数的稳定性。最终,通过交叉验证评估融合数据对反演精度的提升效果,例如对比单一数据源与融合数据反演结果的均方根误差(RMSE)与平均绝对误差(MAE),确保融合数据显著降低预测偏差。通过多源数据融合,可有效弥补单一数据源的局限性,为参数反演提供更全面、更可靠的输入,支撑矿山开采沉陷的精细化预测。

5.2 模型创新增验证之效

为增强矿山开采沉陷预测的验证效果,需推动模型方法的创新。一方面,引入多尺度、多物理场耦合模型,将岩体力学(如应力-应变关系)、渗流力学(如孔隙水压力)与损伤力学(如裂隙扩展)纳入统一框架,采用离散元-有限元耦合方法,在断层带等局部区域使用离散元模拟裂隙演化,在完整岩体区域使用有限元模拟整体变形,实现复杂地质条件的精细化建模。另一方面,结合图神经网络(GNN)与迁移学习技术,利用已有矿区的实测数据与数值模拟结果,构建数据-物理混合驱动模型,自动学习数据中的复杂规律(如开采深度与沉降幅度的非线性关系),并通过微调策略快速适配到新矿区。此外,开发动态验证机制,通过实时监测数据(如地表位移、微震信号)与模型预测结果的在线对比,利用强化学习算法自动调整模型参数,实现预测模型的自适应优化。通过模型创新,可显著提升沉陷预测的精

度与验证效率,为矿山安全开采提供科学依据。

5.3 多元验证保评估之全

为确保矿山开采沉陷预测结果的全面性与可靠性,需构建多维度验证体系。首先,在空间维度上,采用“点-线-面”三级验证策略:点验证聚焦关键监测点(如采空区边缘),线验证覆盖开采工作面走向与倾向,面验证针对矿区整体,结合地面激光扫描与无人机航测数据,评估沉降形态的空间分布特征。其次,在时间维度上,建立动态验证机制,结合实时监测数据(如每小时更新的位移数据)与历史沉陷数据,利用时间序列分析方法(如LSTM神经网络)预测未来沉降趋势,并与模型预测结果对比,评估预测的时效性。进一步,在指标维度上,构建综合评估体系,涵盖均方根误差(RMSE)、相关系数(R^2)、形态相似度(SSIM)及概率分布一致性(KL散度)等指标,量化预测结果的准确性。最终,通过交叉验证与不确定性分析(如蒙特卡洛模拟),评估模型参数与输入数据的不确定性对预测结果的影响,确保评估结果的稳健性。通过多元验证,可实现矿山开采沉陷预测结果的全面、精准评估,为矿山灾害防控提供可靠支撑。

6 结语

矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证,作为矿业工程领域中的核心技术环节,其重要性贯穿于矿山生产运营的每一个环节。它不仅是保障矿山安全生产、预防地质灾害的重要手段,更是实现资源高效利用、推动生态保护与修复的关键支撑,其价值与意义无可估量。为推动矿业工程的可持续发展,面对矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证的现实困境,广大管理者和技术人员要采取对应的措施积极应对,为提升反演精度与验证效果打好基础。未来随着技术的不断进步与应用实践的深入,矿山开采沉陷预计参数反演与精度验证将更加精准、高效,为矿山安全开采与生态修复提供更加坚实的科学支撑,助力矿业工程迈向新的发展阶段。

参考文献

- [1] 陈元非,王磊,查剑锋.矿山开采沉陷预计与分析[J].煤矿安全,2017,48(01):99-102+106.DOI:10.13347/j.cnki.mkaq.2017.01.027.
- [2] 杨晓玉,朱晓峻.基于稳健遗传算法的矿山开采沉陷预计参数反演[J].金属矿山,2023,(08):237-244.DOI:10.19614/j.cnki.jsks.202308030.
- [3] 王钰涵.矿山地质灾害防治策略及地质环境保护[J].现代盐化工,2025,52(01):117-119.DOI:10.19465/j.cnki.2095-9710.2025.01.052.
- [4] 韩光胜,程健维,易光旺.国外矿山开采沉陷预计技术研究及应用概述[J].中国安全生产科学技术,2011,7(10):41-45.

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

Ping Wang

Beijing Urban Construction North Group Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

With the rapid development of China's economy and society, especially the accelerated pace of urbanization, industrialization, and adjustments in agricultural industrial structure, significant changes have occurred in land use at this stage. To strengthen land management and conduct accurate surveys on land use change updates to reflect the current status of land use, it is possible to integrate multi-source remote sensing data for precise and comprehensive dynamic monitoring, reflecting the land situation and providing crucial references for various tasks. In light of this, this study primarily analyzes the advantages of integrating multi-source remote sensing data, explores its application scenarios and situations in land use change monitoring, and offers valuable insights for relevant personnel.

Keywords

multi-source remote sensing data fusion; land use; change monitoring

多源遥感数据融合在土地利用变化监测中的应用

王平

北京城建北方集团有限公司, 中国·北京 100000

摘要

随着我国经济建设及社会迅速发展,尤其是城市化、工业化和农业产业结构调整步伐的进一步加快,使得现阶段土地利用发生了很大的变化。为了加强土地管理,做好土地利用变化更新的调查工作,准确反映土地利用现状,可以将多源遥感数据融合应用,开展精准全面的动态监测工作,反映土地情况,为各项工作提供重要的依据。鉴于此,开展本文的研究工作,主要分析多源遥感数据融合的应用优势,探究其在土地利用变化监测中的应用情况和应用场景,以供相关人员参考。

关键词

多源遥感数据融合; 土地利用; 变化监测

1 引言

我国常规土地调查监测工作中,很难获得更加实时准确、数字化的基础信息,因此现阶段通过发挥多源遥感数据的特点优势,弥补传统工作的不足,促进多源数据融合,为工作提供依据。多源遥感数据可以提高数据的精度扩展信息获取范围,有效提取和识别其中的特征,提高数据资源的利用率,从而监测土地利用变化的具体情况,开展合理规划工作。

2 多源遥感数据融合在土地利用变化监测中的应用优势

多源遥感数据融合应用于土地利用变化监测工作中,具有诸多应用优势。首先,它可以提高数据精度和可靠性。

不同遥感数据来源具有不同的空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率,通过有效融合,可以弥补单一数据源存在的不足之处^[1]。确保土地利用监测工作更加可靠,数据精度更高。其次,可以扩展信息获取范围。不同遥感传感器获取不同波段的电磁波信息,反映不同的物理和化学性质。而通过融合多源遥感数据,可以获得更加全面的信息,实现土地利用变化监测信息获取范围的进一步拓展。例如,红外遥感数据提供地物的温度信息,光学遥感数据提供地物的颜色、纹理和形状信息有效融合,获得更加丰富的土地信息。第三,可以增强特征提取能力。多源遥感数据包含了十分丰富的特征信息,通过融合不同数据源的特征,从而增强特征提取能力。第四,可以提高分类识别能力。不同遥感数据源的特征信息具有互补性,通过融合处理,可以丰富分类信息,减少分类混淆。第五,可以提高数据处理效率。多源遥感数据融合,将预处理、特征提取和分类识别流程集中在统一框架中,简化数据处理的过程,提高工作效率。红外遥感图像如图1所示。

【作者简介】王平(1973-),男,中国四川眉山人,本科,工程师,从事工程测量研究。

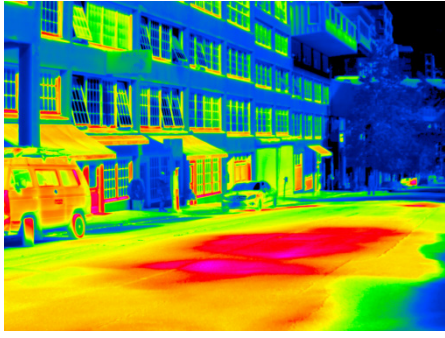


图 1 热红外遥感图像

3 多源遥感数据融合在土地利用变化监测中的应用

3.1 数据的预处理

在土地利用变化监测工作中将多源遥感数据进行融合，要先对数据进行预处理，可以有效保障整体的质量。预处理涉及了一系列的技术方法。对数据进行辐射校正。通过大气校正可有效消除大气散射和吸收的影响，恢复地表真实的反射率。通过几何校正，校正图像中的几何失真，与已知的参考坐标系相匹配。定标将原始数字编号转化为物理量。噪声消除中，可以通过图像滤波或傅里叶变换的技术去除辐射噪声^[2]。使用校正传感器扫描引入的系统性条状噪声。可以通过光谱指数阈值分割或图像合成技术，有效识别和去除云和阴影。

可以采用图像增强技术。扩大图像中亮度值的范围，增强对比度，提高视觉效果。使用锐化处理可以突出图像中的边缘和纹理，增强细节。使用变换的方法可以通过主成分分析、正交变换等技术转换图像中的信息，突出感兴趣的特征。

数据格式转换将图像投影到所需要的坐标系，与其他数据源相兼容。同时根据特定软件的需求，将图像转化为不同的数据格式，便于融合利用。

3.2 融合类型

将多源遥感数据融合涉及了多种融合类型，包括特征级融合、决策级融合、像元级融合和深度学习融合。

特征级融合指的是通过提取光谱、纹理、形状等特征后进行融合的方法，常用的算法有主成分分析、决策树、支持向量机^[3]。光谱特征主要包括光谱曲线、波段反射率、植被指数等。纹理特征包括局部二值模式和灰度共生矩阵。空间特征主要提取形状和邻域一致性。时序特征主要提取季节变化曲线。应用主成分分析法主要是将多源特征投影到新的正交空间，提取方差最大的主成分，减少维度的同时，也能保留关键变化信号。应用独立成分分析法，主要分离数据中的独立特征成分，例如其中的土壤、建筑的独立信号，适用于复杂地物混合区域。应用决策树时，利用 Gini 指数选择最优分裂特征，构建层次化决策规则，主要适用于非线性关

系建模。应用支持向量机时，将光学光谱特征与 SAR 的散射特征级联成多维特征向量，有效提升精度。

决策级融合主要是基于多源数据独立分类结果进行决策整合的一种方法比较适用于复杂场景的综合判断，可以结合专家知识规则，进一步优化决策。能够对多源数据独立处理后的分类结果、变化检测图等决策性输出进行整合，实现最高层次的融合。融合算法主要包括统计决策法、证据理论和规则引擎。统计决策法中可以使用投票法和贝叶斯网络。投票法主要包括多数投票和加权投票。贝叶斯网络主要构建概率图模型量化多源决策的依赖关系，比较适用于因果关系明确的场景。证据理论指的是可以使用信用函数表示各数据源对某类别的支持度。规则引擎指的是基于专家知识设定融合规则，比较适用于业务化监测系统。

像元级融合指的是直接对原始数据进行物理量整合的一种方法，它可以有效提升影像空间分辨率，例如包括 HIS 变换、小波变换等^[4]。主要通过高空间或光谱分辨率数据的优势互补，可以生成兼具高空间细节与丰富光谱信息的新影像。适用于高分辨率影像生产和多云地区监测场景中。可以保留更为完整的细节，支持亚像元级变化检测，但对数据配准精度要求极高。

深度学习融合指的是利用卷积神经网络等模型，自动学习多源数据互补特征的一种融合方法。该方法打破了传统层次的界限，实现了决策层面多层级的关联，适用于复杂非线性的场景。可以应用多模态网络结构，实现不同模态的有效关联。应用生成对抗网络，指的是生成器融合多源数据生成高逼真合成影像，可以区分真实与合成数据。应用孪生网络，输入多时相多源影像，通过共享权重的编码器，提取其中的特征，用于检测变化范围。

4 多源遥感数据融合在土地利用变化监测中的应用场景

4.1 城市扩张监测

在城市扩张监测工作中，可以应用多源遥感数据融合的方式。精准捕捉城市边缘扩张、建筑密度变化等情况，支撑城市规划与耕地保护。在具体应用中可以将光学与雷达数据结合。高空间分辨率影像用于识别建筑边界中分辨率影像，监测大范围扩张趋势。与雷达数据结合，可以全天候监测城市边缘的扩张动态，尤其在多云地区，效果十分显著。也可以将无人机与卫星数据协同，高分辨率无人机影像可以补充卫星数据的细节，精准地提取土地变化中的特征，为规划工作提供依据。例如，如图 2 所示，重庆市从“空天地一体化遥感数据获取与处理”、“多源数据融合与遥感产品生产”、“时空数据挖掘与信息提取”、“以及应用模型开发与行业示范”，建设 4 个技术研发平台、3 个地面观测数据获取平台和 1 个技术集成系统，建成重庆市社会 - 经济 - 环境监测与预警系统。