

多源遥感数据支持下地表覆盖变化的识别与分析研究

郑凯

湖北文理学院, 湖北 襄阳 441053

[摘要] 地表覆盖变化能够综合反映区域生态环境演变、资源利用调整和人类活动影响。单一遥感数据受空间分辨率、时间分辨率、云覆盖及地物光谱混淆等因素限制, 难以稳定识别复杂地表变化。文章分析光学遥感、合成孔径雷达和全球土地覆盖产品的互补特征, 构建数据预处理、特征融合、分类识别、变化检测及精度评价的分析框架, 并结合典型土地覆盖产品的公开参数与精度数据讨论多源数据的应用效果。研究认为, 多源遥感能够增强复杂地物的区分能力和连续监测水平, 分类体系差异、尺度效应与时相不一致仍是影响变化识别可靠性的关键因素。

[关键词] 多源遥感; 地表覆盖; 变化识别; 数据融合; 精度评价

DOI: 10.64635/ja.2026.1470

中图分类号: P237

文献标识码: A

Research on Identification and Analysis of Land Cover Change Supported by Multi-Source Remote Sensing Data

Zheng Kai

Hubei University of Arts and Science, Xiangyang, Hubei 441053, China

Abstract: Land cover change can comprehensively reflect regional ecological environment evolution, resource utilization adjustment, and the impact of human activities. Single-source remote sensing data are limited by factors such as spatial resolution, temporal resolution, cloud coverage, and spectral confusion among ground objects, making it difficult to stably identify complex land surface changes. This paper analyzes the complementary characteristics of optical remote sensing, synthetic aperture radar, and global land cover products, and constructs an analytical framework covering data preprocessing, feature fusion, classification recognition, change detection, and accuracy evaluation. It also discusses the application effects of multi-source data in combination with publicly available parameters and accuracy data of typical land cover products. The study suggests that multi-source remote sensing can enhance the discrimination ability for complex ground objects and improve continuous monitoring, while differences in classification systems, scale effects, and temporal inconsistency remain key factors affecting the reliability of change identification.

Keywords: multi-source remote sensing; land cover; change identification; data fusion; accuracy evaluation

引言

地表覆盖是地球陆地表层自然地物和人工地物空间状态的综合反映, 包括林地、草地、耕地、水体、裸地、建设用地等基本类型。土地利用方式改变、城市空间扩张、植被恢复、水体消长及生态退化均可在地表覆盖格局中形成明显响应。准确识别不同阶段的覆盖变化, 对于资源调查、生态环境评价、国土空间管理和区域可持续发展具有重要意义。

遥感具有观测范围大、重复获取能力强和空间信息完整等特点, 已经成为地表覆盖调查与动态监测的重要技术手段。长期以来, Landsat、MODIS 等光学遥感数据在区域和全球土地覆盖制图中得到广泛应用。随着 Sentinel 系列卫星和高分辨率遥感数据的发展, 地表覆盖识别逐步由单一数据分类转向光谱、

时间序列、雷达散射和已有土地覆盖产品共同参与的多源分析。

已有研究表明, 不同土地覆盖产品即便面向相同区域, 其分类结果仍可能存在较大空间差异。对中国及周边区域多种大尺度土地覆盖数据集进行比较后发现, 不同产品之间的总体空间一致性并不高, 同类地物在不同数据集中的空间分布也存在明显差异^[1]。相关研究构建 30 m 全球地表覆盖遥感制图生产体系后, 产品总体分类精度达到 80% 以上^[2]。这些结果说明, 多源遥感能够扩大信息来源, 但不同数据之间仍需经过尺度统一、类别转换和质量控制才能用于变化判断。

1 多源遥感数据及其地表覆盖表征能力

1.1 光学遥感数据的光谱识别特征

光学遥感依靠不同地物对电磁波的反射差异识别

地表类型。健康植被在红光波段吸收较强,在近红外波段反射明显增强;水体在近红外和短波红外区域通常呈低反射特征;裸土、建设用地和岩石则具有不同的可见光及短波红外响应。利用这些光谱差异,可以通过波段组合和指数计算增强地物可分性。

Landsat 系列数据具有较长时间跨度,其 30m 空间分辨率适合开展区域多年变化分析。Sentinel-2 的可见光和近红外主要波段达到 10m 空间分辨率,并配置多个红边波段,对植被生长状态、农田类型和城市地物具有较好的识别能力。两类数据联合使用,可以同时满足长期变化分析和较高空间精度制图需求。

光学影像的主要限制来自云层、阴影和季节差异。同一块耕地在播种期、生长期和收获期表现出明显不同的光谱状态。湿地、裸地和季节性水体也会随着水文条件变化产生较大反射差异。若仅依据单期影像分类,可能把正常季节变化误认为覆盖类型转化。

1.2 雷达与土地覆盖产品的补充作用

合成孔径雷达主动发射微波并接收地物后向散射信号,不依赖太阳光照,并具有较强穿云能力。Sentinel-1 的 VV 和 VH 极化数据能够反映地表粗糙度、植被结构及含水状态,在多云地区、湿地和农田识别中具有明显补充价值。

雷达影像与光学影像反映的是不同地物属性。光学数据侧重地表反射和光谱差异,雷达数据对结构、介电特性和水分变化更加敏感。二者联合后,可以减轻单一光谱信息造成的同谱异物现象。

成熟土地覆盖产品也是多源分析的重要信息来源。ESA WorldCover 2021 采用 Sentinel-1 和 Sentinel-2 数据形成 10m 全球土地覆盖产品,包含 11 种基本地表覆盖类型,其全球总体精度为 76.7%。Dynamic World 同样采用 10m Sentinel-2 数据,利用深度学习模型形成 9 类近实时土地覆盖结果,其全球验证中单景分类与专家标注一致率达到 73.8%^[5]。

2 多源数据支持下的地表覆盖识别方法

2.1 数据预处理与时空一致化

多源数据应用首先需要建立统一的空间和时间基准。不同传感器在投影方式、空间分辨率、成像时间和辐射特征方面均存在差异,未经处理的数据直接叠加容易形成位置错位和虚假变化。

光学遥感数据通常需要开展辐射校正、大气校正、云检测、阴影去除和影像合成。针对年度土地覆盖分类,可以采用生长季多期影像合成,降低单景影像受云、气溶胶和局部异常影响。雷达数据则需要完成幅

射定标、斑点噪声处理、几何校正和地形校正。

不同分辨率数据需要确定统一分析尺度。30m 数据重采样至 10m 后,像元数量虽然增加,却不能形成真实新增空间信息。因此,尺度选择应服务于研究目标。区域多年变化分析可以保持 30m 尺度,小尺度城市扩张、河岸变化及破碎农田识别则可以采用 10m 尺度。

时间一致性也直接影响变化结果。两期影像应尽量选择相同季节和相近物候阶段。如果前一期为农作物生长期、后一期为收获期,即使土地利用方式没有变化,也可能产生较大的光谱差异。

2.2 多维特征构建及分类识别

多源遥感分类需要将原始数据转化为具有地物判别能力的特征集合。光学数据可采用原始波段,并进一步提取归一化植被指数、水体指数、建筑指数和红边植被特征。雷达数据可提取 VV、VH 后向散射系数、极化比值及纹理信息。

时间序列特征能够改善季节性地物识别。例如耕地与草地在单个时相上可能具有相近植被指数,但全年变化规律不同。农田常表现出播种、生长、成熟和收获形成的明显周期,天然草地的季节曲线相对连续。通过均值、最大值、最小值、标准差和峰值时间等指标,可以强化物候差异。

分类算法可采用随机森林、支持向量机、梯度提升树和深度学习网络。随机森林对高维数据具有较好的适应能力,能够同时处理光谱指数、雷达散射和地形等变量。深度学习则能够进一步利用像元周边空间信息,在样本数量充足的条件下具有较强的复杂地物识别能力。

多源特征并非越多越好。高度相关的变量可能产生信息冗余,并增加模型复杂程度。特征构建后应结合变量重要性、相关系数或降维方法筛选有效变量,使分类依据更加稳定。

2.3 分类精度检验

分类结果需要通过独立样本进行精度评价。常用指标包括总体精度、用户精度、生产者精度及混淆矩阵。总体精度反映正确分类样本占全部验证样本的比例,用户精度和生产者精度则可以进一步揭示不同地类的错分和漏分情况。

有研究以陕西省地表覆盖产品为例开展空间分层抽样精度评价,从 7 类地表覆盖中选取 1467 个验证样本,所得总体精度为 79.96%,Kappa 系数为 0.74^[3]。该结果说明,地表覆盖精度评价不仅与样本数量有关,样本空间分布和类别代表性同样重要。

针对全球 30m 土地覆盖产品开展的区域尺度评价也强调了分类误差的空间异质性,不同地类和不同区域的识别效果存在明显差异^[4]。因此,不能只依据单一总体精度评价多源分类质量,还应分析不同类别的误差来源。

3 地表覆盖变化检测与特征分析

3.1 分类后比较与类型转移识别

分类后比较是土地覆盖变化分析中应用较广的方法。分别对两个时期进行土地覆盖分类,再对分类图进行空间叠加,可以形成土地覆盖转移矩阵,并明确不同类型之间的转化方向。

耕地转为建设用地通常能够反映城市开发和基础设施建设,裸地转为林地或草地可反映植被恢复,水体转为裸地可能与水位下降、河道变化及季节性干涸有关。通过统计不同类型转入和转出面积,可以进一步分析变化强度与主要转移方向。

分类后比较的主要问题是两期分类误差会共同进入变化结果。如果每一期都存在错分,叠加以后容易产生虚假变化。地物边界区域尤其容易受到配准偏差影响。两个时期像元位置仅发生少量偏移,就可能在道路、河岸和林地边缘形成成片变化像元。

因此,变化结果应结合高分辨率影像、连续时相数据和最小变化斑块进行复核。面积很小且仅短期出现的变化,应谨慎认定为真实覆盖转化。

3.2 时间序列条件下的动态变化识别

时间序列遥感能够观察地表状态的持续变化,比单纯两期比较更有利于排除短期波动。基于全部可用 Landsat 数据的连续变化检测方法通过时间序列模型识别土地覆盖突变和长期趋势,为连续变化监测提供了代表性方法^[6]。

Dynamic World 等近实时土地覆盖产品进一步扩大了时间序列分析条件。该产品能够针对符合条件的 Sentinel-2 影像提供各土地覆盖类型概率值^[5]。与仅输出单一标签相比,类别概率更适合判断变化过程。

例如某一区域“耕地”概率持续下降,“建设用地”概率连续多个时期提高并最终保持稳定,可认为覆盖类型转化具有较高可信度。如果某类概率仅在短时期升高,随后恢复原状态,则更可能反映农事活动、季节性水体或临时裸地。

变化持续时间也是识别的重要依据。建设用地扩张通常具有不可逆或长期稳定特征,水体面积和农业植被则具有明显季节波动。针对不同地物设置相同时间阈值容易产生偏差,需要结合地物自身变化规律进

行判断。

4 多源遥感变化识别的主要影响因素与优化

4.1 数据尺度和分类体系差异

空间分辨率直接影响地物边界和小斑块识别。10m 数据能够识别较细的道路、河渠和农田边界,30m 数据更容易形成混合像元。同一研究区域采用不同尺度数据后,建设用地、水体和碎片化植被面积可能产生明显差异。

分类体系也是多产品比较中的重要误差来源。对多类土地覆盖产品进行比较后发现,不同数据集之间同类地物的空间一致性整体较低^[1]。对 4 类全球土地覆盖产品在中国区域进行评价后发现,MODIS 和 GLC2000 对中国耕地的总体识别效果优于 UMD 和 IGBP-DISCover,同时不同区域表现差异明显^[4]。

不同产品之间开展变化分析前,应首先进行类别映射。例如将不同数据中的“人工地表”“不透水面”“建设用地”统一为同一上位类别,将细分森林类型合并为林地,避免把分类定义差异误判为实际地表变化。

4.2 混合像元与地物时相差异

一个遥感像元内部可能同时存在多种地物。城市边缘区域可同时包含道路、建筑、绿地和裸地,河岸附近则可能包含水体、湿地植被和裸露滩地。当像元尺度较大时,分类模型只能选择其中占优势的类型,由此形成混合像元误差。

时相差异也会改变地物光谱和散射特征。农田收获后容易与裸地混淆,湿地在枯水季可能被识别为草地或裸地,落叶林在冬季的光谱特征也与生长季存在明显差别。

解决这类问题需要提高多时相信息利用程度。光学时间序列可以提供物候变化,SAR 能够补充植被结构和水分信息,高分辨率影像可用于复杂边界核查。多种证据共同参与,有利于降低单一时相判断造成的误差。

4.3 数据融合与变化结果可靠性提升

多源融合可以在特征层、决策层和结果层实施。特征层融合将光谱、指数、SAR 及地形等信息同时输入分类模型,适用于数据空间一致性较高的情况。决策层融合则分别建立多个分类模型,再根据分类概率或可信度形成综合结果。

已有研究提出,应将现有多源土地覆盖分类信息进行决策融合,以获得精度更高的土地覆盖数据^[4]。这一思路对于变化检测同样适用。如果同一变化同时被光学数据、雷达数据和独立土地覆盖产品识别,其

可信程度通常高于单一数据源判断。

变化结果可以划分为不同可信等级。多数据源和连续时相均支持的变化划为高可信变化, 仅由单一影像识别且缺少时间连续性的结果可作为待核查对象。通过可信度分级, 可以降低面积统计中过度依赖单次分类的风险。

5 结语

多源遥感数据能够从光谱、结构、时间和既有分类成果等多个方面增强地表覆盖变化识别能力。光学影像适合分析地物光谱和植被状态, 合成孔径雷达可以弥补云覆盖条件下的观测不足, 已有全球土地覆盖产品则能够为类别判断和结果验证提供参考。不同信息之间形成互补后, 复杂地物和连续变化的识别条件得到改善。

变化识别的可靠性仍受到空间分辨率、分类体系、观测季节、混合像元和样本质量影响。不同产品之间存在差异, 并不意味着这些差异全部属于真实土地覆盖变化。实际分析需要先完成空间尺度统一、类别体系转换和时间匹配, 再进行分类结果比较。

分类后比较能够清晰表达不同土地覆盖类型之间的转移方向, 时间序列方法则有利于判断变化持续性并排除短期季节波动。多源遥感变化分析应进一步加强光学、SAR 和成熟覆盖产品之间的协同利用, 同时建立独立精度评价和变化可信度分级方法。通过数据来源、分类模型、时间序列和验证样本的共同约束,

可以提高地表覆盖变化结果的准确性与解释能力, 为区域资源环境调查和生态变化监测提供更加可靠的数据依据。

〔参考文献〕

- [1] 杨永可, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 大尺度土地覆盖数据集在中国及周边区域的精度评价 [J]. 遥感学报, 2014, 18(2): 453-475.
- [2] 廖安平, 彭舒, 武昊, 等. 30m 全球地表覆盖遥感制图生产体系与实践 [J]. 测绘通报, 2015(10): 4-8.
- [3] 孟文, 童小华, 谢欢, 等. 基于空间抽样的区域土地覆盖遥感制图产品精度评估——以陕西省为例 [J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(6): 742-749.
- [4] 吴文斌, 杨鹏, 张莉, 等. 四类全球土地覆盖数据在中国区域的精度评价 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 167-173.
- [5] Brown C F, Brumby S P, Guzder-Williams B, et al. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping[J]. Scientific Data, 2022, 9: 251.
- [6] Zhu Z, Woodcock C E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 144: 152-171.