

常态化遥感监测支撑年度国土变更调查的智能变化检测技术研究

杨慧娟

禄劝彝族苗族自治县自然资源局 云南 昆明 650000

【摘要】：国土空间治理现代化对土地利用动态监测的时效性与精准性提出更高要求。年度国土变更调查传统人工集中作业模式难以适配高频全覆盖监管需求，常态化遥感监测为其提供持续数据供给，智能变化检测则是数据向业务成果转化的核心支撑。针对当前技术在语义精度、时序适配性、业务契合度方面的不足，构建多源数据处理、层级化检测、知识约束校准、人机协同核验的完整技术路径，可有效提升地类变化发现的效率与准确性，推动国土变更调查向智能化常态化转型，为国土空间精细化治理提供技术保障。

【关键词】：常态化遥感监测；国土变更调查；智能变化检测

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.031

引言

遥感技术的发展为土地利用动态监测提供新路径。高分辨率对地观测系统的完善，使遥感数据的空间、时间与光谱分辨率持续提升，数据获取门槛不断降低，为高频次全覆盖国土空间监测提供数据基础。常态化遥感监测逐步成为自然资源监管的重要技术手段，通过固定周期获取全域遥感影像，持续捕捉地表覆盖动态变化，打破传统年度调查的时间局限。变化检测是遥感监测支撑国土调查的核心环节，目标是从不同时相遥感影像中识别地表覆盖变化的区域与类型。早期变化检测多基于像素光谱差异的传统算法，受辐射差异、物候变化、配准误差等影响，伪变化占比高，语义信息不足，难以直接满足地类转换识别需求。近年来深度学习技术的突破，为遥感影像变化检测提供新范式，深度神经网络在特征提取与抗干扰能力上优势显著，成为该领域研究热点。

1 年度国土变更调查与常态化遥感监测的耦合逻辑

（1）年度国土变更调查的业务属性与技术瓶颈：年度国土变更调查是自然资源管理的基础性法定工作，核心任务是全面调查年度内土地利用变化，更新土地利用现状数据库，保障成果现势性。调查成果服务于耕地保护考核、国土空间规划监督、建设用地审批、生态修复等核心业务，有严格的精度标准与规范要求，成果真实性直接影响管理决策的科学性。传统变更调查以年度集中式作业为主，以年末时点遥感影像为底图，通过人工目视解译提取疑似变化图斑，结合外业核查确认地类变化，最终完成数据库更新。该模式虽已形成成熟流程，但在当前治理需求下逐渐暴露技术瓶颈。变化发现时效性不足，集中式作业仅能

捕捉年末相对上年的变化状态，无法掌握年内变化的发生时间与动态过程，对中途发生又恢复的变化难以识别，难以为日常监管提供及时线索。作业成本与效率存在矛盾，全覆盖人工目视解译需投入大量人力，作业周期长，解译质量受人员经验影响大，不同区域与作业组标准难以统一，易出现漏判误判。

（2）常态化遥感监测的技术特征与应用优势：常态化遥感监测依托多源遥感数据资源，按固定周期对指定区域开展持续观测与信息提取，动态掌握地表覆盖与土地利用变化。随着我国高分辨率卫星星座完善，配合航空遥感、低空无人机等手段，常态化监测的数据供给能力显著提升，已具备支撑全域高频监测的基础条件。与传统单期遥感调查相比，常态化监测数据供给具有持续性与周期性，可按固定频次获取影像，形成连续时间序列观测成果，完整记录地表变化过程，为变化识别与验证提供多维度信息支撑。监测范围具有全覆盖性，卫星遥感可实现行政区域无缝覆盖，不受地理与交通条件限制，弥补人工巡查盲区，实现地类变化全面捕捉。监测成果具有可追溯性，多时序影像存档可为变化图斑回溯验证提供依据，便于核查变化起始时间与演变过程，支撑变更调查举证与核验。

2 面向国土变更调查的智能变化检测技术基础

2.1 多源遥感影像的标准化预处理体系

变化检测精度高度依赖不同时相影像的一致性，常态化监测涉及多传感器、多时相、多分辨率的多源数据，必须经过标准化预处理，才能为后续变化检测提供可靠基础，核心是消除非地类变化因素带来的影像差异，保障时相间的可比性。辐射校正是首要环节，

不同时相影像受大气条件、太阳高度角、传感器特性等影响,相同地物光谱辐射值存在差异,易被误判为地类变化。通过大气校正消除散射与吸收影响,再以基准期影像为参照开展辐射归一化,可使不同时相辐射基准保持一致,降低检测误差。针对不同传感器影像,还需通过光谱归一化弥合光谱响应函数差异,提升数据兼容性。几何配准是另一核心内容,像素级变化检测要求影像空间位置严格对应,配准误差会导致变化边界偏移,甚至产生大量伪变化像素。需建立统一空间坐标基准,通过高精度几何校正与配准算法,将所有时相影像统一到同一坐标系,保障亚像素级配准精度。

2.2 像素级变化检测的深度学习技术范式

像素级变化检测是变化识别的基础环节,目标是从多期影像中精准定位变化像素区域,输出二值化变化掩码。传统像素级检测多基于光谱差值、主成分分析等方法,原理简单、计算效率高,但仅依靠底层光谱特征,抗干扰能力弱,伪变化占比高,边界精度不足。深度学习为像素级变化检测带来范式提升,基于卷积神经网络的孪生网络是当前主流框架,采用权值共享的卷积支路提取两期影像深度特征,再通过特征差异度量与解码模块输出检测结果。深度神经网络可自动提取影像多层次特征,从底层纹理边缘到高层语义特征,特征表达能力更强,能更准确区分真实变化与伪变化。针对遥感影像多尺度特性,基于U型网络的变体结构通过跳跃连接融合不同层级特征,可同时捕捉大尺度建设用地与小尺度零散耕地变化,提升不同尺寸图斑的检测精度^[1]。

2.3 语义级变化提取的地类识别技术

国土变更调查的核心需求是掌握地类转换情况,明确变化区域的地类转变方向,这就需要语义级变化检测技术,不仅要定位变化区域,还要识别变化前后的土地利用类型,输出符合分类标准的地类转换信息。当前语义级检测主要有两种路径,一种是分类后比较的分步式路径,分别对两期影像开展语义分割得到地类分类图,再叠加对比获取变化区域与转换关系。该路径技术成熟,可同时输出两期地类现状图,便于与现状数据库衔接,但分类误差会在两次分类中累积,检测精度受单期分类精度影响较大。另一种是端到端的语义变化检测路径,通过统一深度学习模型输入两期影像,直接输出变化区域及地类转换类型,可减少分步处理的误差传递,精度潜力更高,但模型结构更复杂,对训练样本要求更高,泛化能力提升难度更大。

3 支撑常态化监测的智能变化检测创新路径

3.1 时序增量式变化检测的动态更新机制

传统变化检测多基于两期影像静态对比,难以充分发挥常态化监测多时序数据价值。针对连续观测特征构建时序增量式检测机制,可实现变化动态发现与持续更新,提升检测效率与时序合理性。增量式检测核心是建立基准本底与动态更新相结合的体系,以年度变更调查成果为基准本底,结合基准期影像构建本底特征库。新一期影像获取后,无需重新与基准期全量对比,以上一期成果为基础开展增量检测,识别新增变化区域,同步更新图斑时序属性。该模式避免重复计算未变化区域,大幅提升多期监测效率,适配高频次更新需求。时序特征的引入可提升变化识别准确性,减少季节性伪变化干扰。单两期影像难以区分农作物季相波动与真实地类转换,基于连续时间序列的光谱指数与物候参数,可构建地物时序变化曲线,通过曲线形态异常区分临时性波动与永久性变化^[2]。

3.2 地类知识约束下的变化语义校准方法

纯数据驱动的深度学习语义识别模型,易出现不符合现实逻辑的地类转换结果,影响成果业务可用性。将国土调查领域知识与业务规则引入变化检测流程,构建知识约束下的语义校准方法,可提升检测结果的合理性与业务适配性。首先需构建结构化的地类知识与业务规则体系,将国土调查分类体系、地类转换逻辑、空间管制规则等内容结构化表达,形成可被计算机识别的知识规则库,涵盖地类转换规则、管制区域约束、地类空间形态先验知识等,为语义识别提供逻辑约束。语义校准嵌入变化检测后处理环节,模型输出初步结果后,通过知识规则库对图斑进行逻辑校验,识别异常结果。对异常图斑可通过规则推理直接修正,也可标记为高风险待核验对象,优先推送人工核查,提升质量控制针对性。知识与数据驱动结合的路径,既保留深度学习的特征优势,又弥补数据驱动的逻辑缺陷,减少业务层面的检测错误,提升成果实用价值,也降低模型对标注样本的依赖,在样本不足区域可维持稳定质量^[3]。

3.3 人机协同的变化图斑核验与质量控制模式

受遥感分辨率、地类复杂性、算法水平等限制,完全自动化变化检测目前无法达到变更调查的法定精度要求。构建人机协同的图斑核验与质量控制模式,结合人工智能批量处理效率与人工判断的准确性,是当前最具落地性的方案。人机协同核心是基于置信度的差异化核验策略,通过对模型输出的图斑开展置信

度评估,综合分类概率、地类复杂度、区域先验变化概率等因素,划分不同置信等级。高置信度图斑可直接纳入初步成果,中低置信度与异常图斑则推送人工核验,将人工精力集中在易出错部分,在保障质量的前提下大幅减少人工工作量。为提升核验效率,需构建智能辅助工具,在核验界面自动叠加多时序影像、地类本底、管制数据等辅助信息,提供边界调整、地类快速赋值等功能,简化操作流程。外业核查可将图斑导入移动终端,结合定位精准导航,提升外业效率。人机协同还形成模型迭代闭环,核验与核查结果既可作为最终成果,也可作为新样本反馈优化模型,随着业务数据积累,模型精度持续提升,形成正向循环,推动技术体系持续迭代^[4]。

4 技术应用的业务适配与发展方向

4.1 常态化监测与年度变更调查的业务衔接

智能变化检测技术落地需与变更调查业务体系深度衔接,核心是建立流程与标准对接机制。流程上,将常态化监测作为变更调查前置环节,通过季度监测提前发现变化线索,分批下发预核查,将年末集中工作分散到日常,缓解作业压力。年度调查阶段以累积监测成果为基础,补充年末时点检测,形成年度图斑成果,压缩内业周期。标准上,检测成果需适配调查技术标准,地类分类对应国标,图斑属性符合数据库规范,确保可直接汇入数据库,同时建立质量检验标准,保障成果法定有效性。此外建立成果汇交共享机制,阶段性成果可支撑日常监管,实现一次监测多次应用,提升数据价值。

4.2 基层调查作业的技术适配与效能提升

基层是变更调查的执行主体,技术落地需考虑基层技术条件,做好轻量化适配,降低工作负担。作业工具需轻量化易用化,将复杂算法封装后台,提供可

视化简便作业平台,基层人员无需掌握算法原理,即可完成图斑核验上报等工作,界面贴合作业习惯,降低使用门槛。模型需区域化适配,针对不同地理分区与土地利用特点,基于区域样本微调模型,提升当地检测精度,复杂区域优化特征提取策略,强化细碎图斑识别。算力采用云端加端侧架构,计算密集型任务在云端完成,基层通过网络访问成果,无需本地高性能设备,降低硬件成本,优化加载效率,保障作业流畅^[5]。

4.3 技术体系的长期演进方向

随着遥感与人工智能技术发展,智能变化检测技术将持续演进,向高精度、高效率、全场景方向发展。多源数据融合将深化,在光学遥感基础上融入合成孔径雷达数据,利用全天候优势弥补天气影响,提升监测稳定性,结合无人机与地面监测形成立体体系,丰富数据源。遥感大模型是重要方向,通用大模型与遥感知识结合,可提升泛化与小样本学习能力,减少对标注样本的依赖,降低定制化成本。长期来看,技术将向全链路智能化演进,从数据获取到成果入库逐步实现全流程自动化闭环,应用场景也将不断拓展,支撑耕地保护、规划监测、生态评估等多领域工作,为国土空间治理提供全面技术支撑。

5 结语

常态化遥感监测为年度国土变更调查智能化转型提供数据基础,智能变化检测技术是打通数据与业务的核心关键。构建从数据预处理、变化定位到地类识别的完整技术链条,结合时序增量检测、知识语义校准、人机协同核验等创新路径,可有效提升变化检测的效率、精度与业务适配性,推动变更调查从集中人工模式向常态智能模式转型,为自然资源精细化治理提供技术保障。

参考文献:

- [1] 许风成.融合多源卫星遥感数据的国土调查动态监测技术研究[J].中国高新科技,2025,(7):143-145.
- [2] 吴东资.遥感技术在国土空间土地利用变化监测中的应用[J].今日国土,2025,(Z1):38-39.
- [3] 万海峰,王源鋈,王刘松用,等.基于国土变更遥感监测的土地资源利用分析:以贵州省铜仁市为例[J].北京测绘,2024,38(3):374-380.
- [4] 蒋林洋.卫星遥感在国土空间规划实施监测评估体系中的应用——以广东省龙川县为例[J].测绘技术装备,2024,26(1):47-52.
- [5] 王俊枝,窦银银,薛志忠,等.基于主体功能区划的内蒙古自治区近30年国土空间演化遥感监测与分析[J].测绘通报,2023,(4):54-58.