

基于高光谱卫星遥感影像的自然资源变化自动监测研究

——以广西隆安县为例

● 冯一军¹, 梁 绕¹, 纪 婵²

(1. 广西自然资源调查监测院, 广西 南宁 530022; 2. 珠海欧比特宇航科技股份有限公司, 广东 珠海 519000)

[摘要] 及时掌握地表自然要素的变化情况, 是开展常态化自然资源调查监测的业务需求也是关键难点。文章基于两期“珠海一号”高光谱卫星(以下简称 OHS)遥感影像, 采用深层卷积神经网络构建地表覆盖分类模型, 以广西隆安县为试验区, 提取该县自然资源变化信息, 并将提取结果通过外业核查的方式与第三次全国国土调查(以下简称“三调”)成果进行比对验证。研究表明, 多时相的 OHS 遥感影像自动化监测的自然资源变化信息精度可达 70%, 形成误差的主要原因是云层干扰和算法误差, 云层干扰误差可以通过人工目视解译来修正, 算法误差可通过增加样本量进行改进, 以提高信息提取的准确率。

[关键词] 高光谱; 自然资源; 变化监测

广西位于我国华南地区, 地形地貌复杂, 自然资源种类丰富、分布广, 气候多变, 自然灾害频发。自然资源调查的图斑破碎分散、难以识别, 按照以往传统的“光学影像解译+外业核查举证”调查方式需要花费大量的人力、物力。基于现代测绘地理信息技术, 结合互联网、大数据、云平台等新技术, 创新调查监测新模式将是未来广西自然资源调查监测体系建设的研究方向^[1]。高光谱遥感数据具有光谱连续性, 每 1 个像素都包含大量的信息, 能够形成 1 条连续的光谱曲线, 反映地物特征^[2]。研究小组

基于高光谱卫星影像, 探索其在广西自然资源调查领域中的应用前景。

1 研究方法

研究小组利用多期不同时相的高光谱数据, 进行预处理, 包括辐射校正、几何校正和影像配准等; 然后根据不同时相影像数据的光谱特征差异自动监测出变化范围; 接着以变化范围为基础结合样本库, 对变化范围进行地类判断; 最后通过对比“三调”成果以及外业核查的方式, 对高光谱影像数据所提取的变化范围与变化信息的准确性进行量化分析, 从而对当前高光谱

[作者简介] 冯一军(1976—), 男, 2005年7月毕业于武汉大学, 地理信息系统专业, 主要从事测绘地理信息相关工作, 工程师。

影像监测技术进行有效的评估。

1.1 遥感数据源选取

研究小组对 OHS 获取的遥感影像数据进行研究，其轨道高度为 520 km，涉及 32 个波段，覆盖光谱范围为 466 nm ~ 940 nm，空间分辨率为 10 m。研究小组以广西隆安县为研究区域进行试验，采用 2020 年上半年获取的数据来作研究，经分析抽取了其中两个时期不同时相的 OHS 遥感影像（以下简称“两期影像”）作为遥感数据源，通过分析对比影像光谱差异，对地表自然资源进行变化信息与范围提取。

1.2 高光谱遥感影像数据处理与解译

研究小组在对 OHS 遥感影像进行辐射定标、大气校正和几何校正后，为了自动提取变化信息，还对“两期影像”进行影像间的配准以及裁剪出相同区域的数据范围。传感器的定标系数可支持多个 OHS 传感器。采用的辐射定标公式为：

$$Le = gain \times \frac{DN}{TDIStage} + offset \quad (1)$$

式 (1) 中， Le 为表观辐亮度； $gain$ 为绝对辐射定标增益系数； DN 为影像的像素值； $offset$ 为绝对辐射定标偏移系数； $TDIStage$ 为积分级数，在影像文件夹中 meta 数据中的字段 $\langle TDIStages \rangle \dots \dots \langle /TDIStages \rangle$ 读取。

大气校正采用的是 FLAASH 算法，根据研究区域的位置和影像获取时间，选择 Tropical 大气校正算法，气溶胶设置为 rural，将影像从表观辐亮度数据转换成地表反射率数据。几何校正采用数据中的正射校正文件（_rpc.txt），参考 DEM 数据采用 GMTED2010，校正误差在 1 个像素内。影像间的配准是以其中 1 期影像为基底，通过“两期影像”上的同名点进行配准，总体误差控制在 1 个像素以内。影像裁剪是利用裁剪工具将“两期影像”中完全重叠的区域裁剪出来，保证“两期影像”的检测范围

一致。以上数据处理均在可视化图像处理软件（ENVI）中完成。研究小组根据不同时相的卫星影像数据，在变化区域范围内，采用深度学习算法进行地表覆盖信息的识别和提取。首先对全部数据进行归一化处理，降低不同维度数据之间的差异性，提高网络梯度下降求最优解的速度，对不同类别的地物随机取点作为训练集，其他点为测试集；然后以该训练集的各点为中心，取 $n \times n \times bands$ 的数据块作为输入数据，预测中心点像素的类别；最后搭建深层卷积神经网络，输入全部数据、训练好的模型，可初步提取地表覆盖类型的变化图斑范围（见图 1），按类型分为裸地、耕地、林地、坑塘水面和建设用地等。

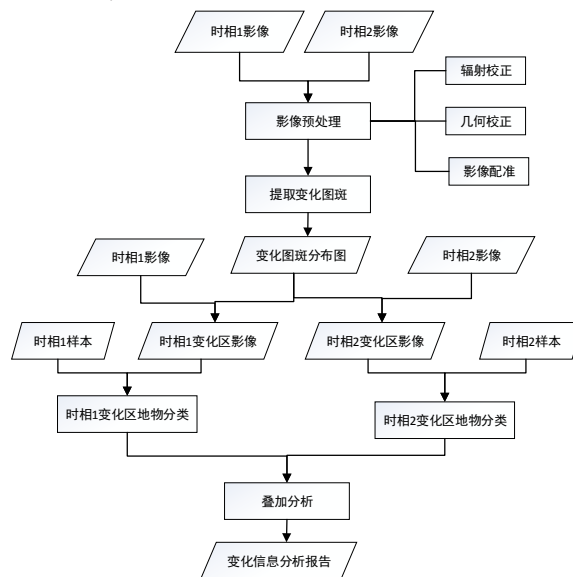


图 1 基于高光谱影像地表自然资源变化信息提取图

2 测试结论与分析

2.1 变化图斑范围提取结果分析

研究小组通过对比分析“两期影像”的光谱差异，对广西隆安县的地表覆盖类型的变化图斑进行检测，并统计了地表覆盖类型的变化图斑的尺寸（见表 1）。为了保障变化信息的遗漏率，研究小组在提取变化结果的时候保留了所有大于 2 个像素的图斑信息，经统计发现

表 1 广西隆安县地表覆盖变化图斑统计表

图斑尺寸 (像素)	当前尺寸下 图斑数目 (个)	占比 (%)
2 ~ 10 (200 ~ 1 000 m ²)	281	65.35
10 ~ 50 (1 000 ~ 5 000 m ²)	99	23.02
50 ~ 100 (5 000 ~ 10 000 m ²)	27	6.28
> 100 (超过 10 000 m ²)	23	5.35
合计	430	100

共有 430 个地表覆盖类型的变化图斑, 其中, 最大的尺寸超过 100 个像素, 2 ~ 10 个像素大小的最多, 占比 65.35%; 大于 100 个像素的占比 5.35%。

研究小组通过叠加广西隆安县行政区划的范围线, 最终选定范围内的 183 个地表变化图斑进行分析, 以地表覆盖变化图斑范围为基础, 结合“三调”数据与 2020 年奥维互动地图的卫星影像数据 (以下简称奥维数据) 进行比较分析。若在变化图斑范围内, 奥维数据与“三调”数据反映出的地类一致的, 视为正确, 否则视为错误。

经研究小组分析, 183 个图斑经奥维数据与“三调”数据比对, 确实发生地表覆盖变化的图斑有 140 个, 实地疑似未发生变化的图斑有 43 个。研究小组对疑似未发生变化的图斑进行实地核查, 发现其中 38 个图斑确实未发生变化, 5 个图斑已发生变化, 具体结果见表 2。

核查结果表明, OHS 遥感影像可以对实际发生变化的图斑进行全提取。但是高光谱遥感数据的光谱信息丰富, 在样本数量较小的情况下, 往往会提取到多余的伪变化图斑, 后期需要花费一定的人力、物力进行外业核查, 可结合光学影像进行适当修正, 减少外业核查工作量。

研究小组对 OHS 遥感影像提取出的覆盖类

型的伪变化图斑进行分析, 发现伪变化图斑被额外提取的原因, 主要有以下 2 点: 一是云层阴影造成的计算机误判 (见图 2)。二是算法误差, 即算法本身的缺陷导致的误差。前一类误差可以通过目视解译, 进行人工剔除; 后一类误差可通过增加样本量提升算法精度。



图 2 云层误差实例图

2.2 变化图斑信息准确性分析

研究小组只验证地表覆盖是否发生变化以及地类认定是否准确, 不对量化方面进行评估。

2.2.1 变化图斑地类判别和分析

研究小组基于当前已有的高光谱影像样本数据库, 将所提取的广西隆安县的 183 个地表覆盖变化图斑划分为 5 种类型, 分别是林地变为建设用地, 从裸地变为林地, 从耕地变为林地, 从裸地变为耕地及从耕地变为裸地, 并将上述 5 类图斑变化前的地表覆盖信息与“三调”成果数据进行比对, 结果见表 3。

根据表 3 的统计结果, 研究小组得出的结论——耕地: OHS 数据提取的 140 个耕地图斑中, 与“三调”成果地类相符的图斑为 67 个, 准确率为 47.86%。误判类型主要为园地与林地。其中园地误判是由于高光谱遥感数据在地物分类时没有单独对园地进行地类划分, 把园地归为耕地, 如排除此项干扰, 耕地判断的准确率可达 70%。

林地: 基于 OHS 遥感影像经计算提取的 4

表 2 广西隆安县地表覆盖图斑监测核查情况表

变化图斑提取方式	实际变化图斑个数	提取变化图斑个数	偏差率 (%)	准确率 (%)
高光谱技术	145	183	20.77	79.23
高光谱技术 + 光学影像目视解译修正	145	140	3.57	100

表 3 广西隆安县地类图斑类别与“三调”分类数据成果初步比对表

单位：个

OHS 分类结果	“三调”分类数据											
	耕地	林地	园地	设施农业用地	采矿用地	工业用地	农村宅基地	公路用地	水库水面	坑塘水面	河流水面	合计
耕地	67	31	30	4	1	0	1	2	2	1	1	140
林地	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
裸地	4	23	5	3	0	1	0	0	0	3	0	39
总计	71	57	35	7	1	1	1	2	3	4	1	183

个林地图斑中，与“三调”成果地类相符的图斑有 3 个，准确率为 75%。其中有 1 个被误判为水库水面，造成误判的主要原因是云层阴影的干扰。

裸地：基于 OHS 遥感影像经计算提取的 39 个裸地图斑中，与“三调”成果地类相符的图斑为 0 个。误判主要类型为耕地、林地、园地，形成误判的主要原因是受季节的影响，部分耕地正处于翻耕、休耕状态，其裸露的表土被计算机识别为裸地。同时受林木生长状态的影响，个别疏密度较低的林地也会被计算机误判为裸地。因此考虑到单一时点对裸地判断存在一定的局限性，为了进一步增强样本影像的时间节点，本次实验在与“三调”成果进行横向对比的情况下，对被 OHS 数据误判为裸地的 39 个图斑进行了外业核查，得出以下结果（见表 4）。

表 4 广西隆安县某区域裸地变化监测情况表

地表覆盖类型变化	正确个数	错误个数	总计个数	正确率(%)
从裸地变为耕地	5	13	18	27.78
从裸地变为林地	21	0	21	100
总计	26	13	39	66.66

从表 4 可以看出，高光谱遥感数据对裸地的判断属于对地表覆盖的瞬时判断，实际上属于中性判断，这种判断需要结合多期高光谱影像进行综合比较才能得出相对确切的结果。为了方便统计实验数据，研究小组在统计实验准确率的过程中，将外业核查后的 39 个地表覆盖的图斑，与外业核查前被归类为耕地、园地的 144 个图斑对比，最终准确率见表 5。

2.2.2 误差分析

分析实验结果后，研究小组发现，造成地类误判的原因主要有以下 2 个方面：一是算法误差，即受计算机分类模型的影响而造成的地类分类误差，如实验中计算机误把林地错判成耕地，该误差可通过后期完善相关模型算法来减少。二是地类分类误差，该误差可分为 2 种情况，一种是地类分类体系上的误差，如高光谱自动识别技术在地类划分中没有像“三调”一样将园地作为单独的地类划分，因此会出现实验中将“三调”中的园地误判成耕地的情况；另一种是地类分类方法的误差，高光谱对裸地的判断更多的是表达地块在某个时间点的地表有无种植作物、有无水域覆盖的一种瞬时状态。现实中，同一地类的地表覆盖会根据不同的时间呈现不同的状态，如耕地，其在耕作、翻耕、休耕状态下的地表覆盖情况是不同的；河流水面，水库在枯水期、平水期、丰水期的地表覆盖情况也是如此，因此凭某个时间节点有无种植作物、有无水域覆盖并不能有效地反映其地类的实际情况。

综上所述，高光谱针对某一时点的地类判断，往往受时间节点的限制而造成误判，如实验中“三调”的坑塘水面被误判成林地，“三调”

表 5 OHS 数据地类自动识别情况一览表

变化监测	正确个数	错误个数	总计个数	正确率(%)
耕地	102	56	158	64.56
林地	24	1	25	96
总计	126	57	183	68.85

的林地、园地误判成裸地多受此影响。因此, 研究小组建议, 在实际操作中通过增加不同时段的高光谱影像加强数据比对和后期人工结合光学影像进行适当修正来增强信息提取准确率。

2.3 综合结果分析

高光谱遥感影像数据具有较高的光谱分辨率, 拥有丰富的光谱信息, 可成为对地观测的新的技术手段。在自然资源监测应用方面, 研究小组发现, 通过计算机遥感解译技术自动提取自然资源分布信息, 并结合多时相的监测, 可快速提取并初步评估影像中自然资源的变化信息, 包括动态监测、土地覆盖、变化情况、变化图斑分布及变化类型, 为后期提取自然资源实际变化信息指明了方向。

实验结果表明, 目前高光谱遥感影像自动监测技术在一定程度上能反映地表的变化情况, 但为了提高自然资源调查监测技术的准确率与稳定性, 还需要结合光学影像、基础数据以及外业调查实际情况进行综合分析。主要有以下 3 个原因: 一是高光谱影像在拍摄过程中受外界环境, 如云层、亮度导致高光谱影像不能准确反映地表覆盖的实际情况。二是计算机对高光谱影像算法误差, 高光谱遥感影像数据在变化信息定性方面的准确程度取决于样本信息的丰富程度。目前高光谱遥感技术在广西区内应用较少, 样本信息的缺乏也在一定程度上影响了数据的准确性。三是标准误差。高光谱与计算机识别, 是通过光谱反映的某一地块在某一时间上的地表覆盖来进行地类判断的, 而在实际调查领域, 一个地块的具体分类应该是根据某一时间段的地表覆盖情况以及周边的环境进行综合判断。因此, 不同评价标准下对地类的判断会造成一定的误差, 需要后期进行人工目视解译以及对基础国土数据进行适当修正。

3 应用方向

“两统一”是机构改革后赋予自然资源主管部门的新职责。利用现代遥感技术持续加强对土地、矿产、水系、林草等自然资源开放利用情况的全面监管, 推进“山水林田湖草”生命共同体与经济社会的协调发展是未来一段时间内自然资源调查监测工作重要的一项技术服务^[3-4]。基于高光谱影像的监测技术, 结合多时相、多来源的遥感影像数据, 在短时间内能提取地表覆盖发生变化的初步范围, 并进行地类认定, 有助于自然资源主管部门开展土地变更调查、地理国情监测等常规性、常态性的自然资源调查工作, 帮助相关单位及时掌握自然资源变化情况, 同时还可以结合专题的数据库对独特的自然资源如耕地、永久基本农田、生态红线、自然保护地进行重点动态监测, 为地方土地利用动态监察执法工作提供技术保障^[5-6]。

4 结语

研究小组利用 OHS 遥感影像结合“三调”成果数据, 对广西隆安县的自然资源变化监测进行研究和探索, 主要包括变化图斑提取、变化类型分析以及结果验证。(1) OHS 遥感影像自动提取的自然资源变化图斑的正确率可达 70%, 且提取最小图斑为 2 个像元; (2) 造成的自动提取误差主要有云层干扰误差和算法误差。云层干扰误差可以通过人工目视解译进行修正, 算法误差可通过增加样本量和模型优化进一步提高精度。(3) 利用多期高光谱卫星数据自动提取的自然资源变化信息, 经过人工后期修正可满足广西自然资源变化监测常态化的需求。随着人们对高光谱数据潜力的不断开发, 以及更多的地面实测样本的辅助, 融合高空间分辨率光学影像、雷达等多源遥感数据的监测技术将在研究农地非农化、农地非粮化等粮食安全领域方面拥有更广阔的发展前景。■

[参考文献]

- [1] 黄景金, 唐长增, 李毅, 等. 广西自然资源调查监测体系构建[J]. 国土资源遥感, 2020(2): 154-161.
- [2] 孙晓敏, 郑利娟, 吴军, 等. 基于U-net的“高分五号”卫星高光谱图像土地类型分类[J]. 航天返回与遥感, 2019, 40(6): 99-106.
- [3] 段松江, 肖邓, 范文武. 重庆市自然资源变化遥感监测体系构建初探[J]. 地理空间信息, 2020, 18(7): 70-71+77.
- [4] 黄露, 王爱华, 陈君, 等. 自然资源管理中的测绘地理信息技术支撑[J]. 地理空间信息, 2020, 18(7): 114-115+124.
- [5] 白贵霞. 奋力开创自然资源调查监测新局面——访谈自然资源调查监测司司长[J]. 国土资源, 2020(18): 6-8.
- [6] 王化娟. 一种基于遥感影像疑似违法用地图斑提取方法的研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 4(3): 175-177.

(上接第52页)

通过准确填写身份信息, 设置密码或短信验证进行注册, 只有注册的用户才能进行业务办理。

(6) 权限管理。对于普通用户, 即未注册用户, 只能使用和浏览办理进度查询、办事指南、内部公告公示、政策法规、用户注册; 对于注册办证用户, 即注册用户, 可使用和浏览在线申请、在线资料管理、在线查询、办事指南、内部公告公示、政策法规、用户注册等。

4 软件应用情况

广西不动产APP借助云服务、大数据、“互联网+”等信息通讯技术, 是“互联网+”不动产登记便民措施。它通过智能比对、活体认证、数据加密等关键技术来保障登记数据安全、准确; 通过数字政务“一体化”平台的政务数据共享交换平台与横向部门开展数据集成共享和交互, 用户可以实现“一站式”办理; 利用在线支付、电子签章、CA认证数字证书等技术, 让用户便捷完成登记申请, 快速得到登记结果。

广西不动产登记移动APP系统自2020年11月3日投入使用, 申请人按照网上申请、网上提交、网上审核、现场核验、现场发证的方式即可办理相关业务。截至2020年12月1日,

全区实现业务申请总量782345件, 受理成功738146件, 受理成功占比达94.4%。

5 结语

通过移动APP的应用, 广西不动产登记业务服务范围得到了进一步地拓展, 将“24小时不打烊”的目标延伸到了智能手机平台, 使得用户不再依赖于有限的固定环境(如登记场所、台式计算机和固定网络等)开展登记业务的办理, 是推进贯彻落实“互联网+”不动产登记、发挥移动端方便快捷的优势、高效实用提供贴心服务的重要改革举措。■

[参考文献]

- [1] 朱剑, 杨如军, 李双青. 广西不动产登记信息管理平台设计与实现研究[J]. 地理信息世界, 2019(6): 132-138.
- [2] 方从刚, 黄志勤, 武椿江, 等. 基于不动产统一登记数据的不动产大数据框架初探[J]. 中国国土资源经济, 2017(9): 30-34.
- [3] 冯永玉, 关纯安, 王志强, 等. 不动产登记跨网数据交换系统设计与实现[J]. 山东国土资源, 2020(11): 81-84.