

基于高分遥感的耕地监测关键技术研究

刘专^{1,2} 潘栋^{1,2*} 胡赛花^{1,2}

(1.湖南第二测绘院,湖南长沙 410029; 2.南方丘陵区自然资源监测监管重点实验室,湖南长沙 410029)

摘要 随着人口快速增长与耕地数量逐渐减少的矛盾日益突出,我国粮食安全面临大考,迫切需要执行最严格的耕地保护制度。从耕地减少和耕地增加 2 个方面开展耕地监测,阐述了耕地监测的主要流程,研究了耕地监测流程中高分遥感智能解译等关键技术,并以 A 县 2022 年第 1 季度耕地监测为工程实例,对智能提取结果进行了精度分析,测算了查全率和准确率 2 项评价指标,满足耕地监测需求。该研究拓展了人工智能在耕地监测中的创新应用,进一步提升了耕地监测监管现代化水平。

关键词 耕地监测; 高分遥感; 智能解译

中图分类号 S127 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)18-0217-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.18.052



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Key Technologies of Cultivated Land Monitoring Based on High-resolution Remote Sensing

LIU Zhuan^{1,2}, PAN Dong^{1,2}, HU Sai-hua^{1,2} (1.The Second Surveying and Mapping Institute of Hu'nan, Changsha, Hunan 410029; 2.Key Laboratory of Natural Resources Monitoring and Supervision in Southern Hilly Region, Changsha, Hu'nan 410029)

Abstract With the increasingly prominent contradiction between the rapid population growth and the gradual reduction of the amount of cultivated land, China's food security is facing a major test, and it is urgent to implement the strictest cultivated land protection system. In this research, cultivated land monitoring was carried out from two aspects of cultivated land reduction and cultivated land increase, the main process of cultivated land monitoring was expounded, and key technologies such as intelligent interpretation of high-resolution remote sensing in the cultivated land monitoring process were studied. For example, the precision analysis of the intelligent extraction results was carried out, and the two evaluation indicators of recall and accuracy were calculated to meet the needs of cultivated land monitoring. This paper expanded the innovative application of artificial intelligence in cultivated land monitoring, and further improved the modernization level of cultivated land monitoring and supervision.

Key words Cultivated land monitoring; High score remote sensing; Intelligent interpretation

近年来,人口快速增长与耕地数量逐渐减少间的矛盾日益突出,再加上地区冲突、气候变化、经济衰退、新冠肺炎疫情等影响,导致我国粮食安全面临大考^[1],迫切需要执行最严格的耕地保护制度。2020 年,我国相继下发《国务院办公厅关于坚决制止耕地“非农化”行为的通知》《国务院办公厅关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》,要求坚决守住耕地红线。传统的耕地监测主要采用人工目视解译等方法,该方法工作强度大、效率低、易出错,已经难以适应当前耕地常态化监测监管形势需求^[2]。大数据、人工智能、5G、区块链、知识图谱、空间信息等高新技术的迅猛发展和交叉融合,为耕地保护监测监管提供了必要的技术支撑和保障条件。研究耕地遥感监测关键技术对于提升自然资源管理现代化水平、全面压实耕地保护责任、保障社会安定和国家安全具有非常深远的意义。鉴于此,笔者从耕地减少和耕地增加 2 个方面开展耕地监测,阐述了耕地监测的主要流程,研究了耕地监测流程中高分遥感智能解译等关键技术,并以 A 县 2022 年第 1 季度耕地监测为工程实例,对智能提取结果进行了精度分析,测算了查全率和准确率 2 项评价指标,满足耕地监测需求,旨在拓展人工智能在耕地监测中的创新应用,进一步提升了耕地监测监管现代化水平。

1 总体设计

1.1 监测内容 耕地监测内容主要分为新增耕地、批准范围

基金项目 湖南省自然资源科技计划(2022-08)。

作者简介 刘专(1978—),男,湖南新化人,高级工程师,从事摄影测量与遥感、自然资源调查监测研究。*通信作者,工程师,硕士,从事自然资源调查监测研究。

收稿日期 2022-06-01;修回日期 2022-07-11

内耕地减少、耕地“非农化”和耕地“非粮化”4 个方面。其中,新增耕地主要包括补充耕地项目增加、耕地整改恢复增加和农民自主开垦增加;批准范围内耕地减少是指在用地审批红线范围内耕地减少的情况;耕地“非农化”主要包括非农化违法用地、公共服务设施、农民建房、临时用地等占用耕地的行为;耕地“非粮化”主要包括设施农用地、农村灌溉设施、农村道路、农业结构调整、坑塘水面等占用耕地的行为,如表 1 所示。

1.2 监测指标设定

1.2.1 监测更新机制。建立“月发现、季小结、年总结”监测更新机制。“月发现”是指每月根据当月采集的卫星影像,对比上年末 1 m 分辨率卫星影像,提取新增耕地、耕地非粮化和非农化图斑。“季小结”是指每季度根据当季采集的卫星影像,对比上年第 4 季度 1 m 分辨率卫星影像,提取新增耕地、耕地非粮化和非农化图斑。“年总结”是指年末根据年度卫星影像,对比上年第 4 季度 1 m 分辨率卫星影像,提取新增耕地、耕地“非农化”和耕地“非粮化”图斑。

1.2.2 最小上图面积。新增耕地图斑最小上图面积为 400 m²,耕地“非粮化”(除设施农用地)图斑最小上图面积为 400 m²,耕地“非农化”和设施农用地图斑最小上图面积为 200 m²。

1.3 监测流程 耕地监测流程大致可分为以下 4 个阶段:

1.3.1 资料收集与处理阶段。收集年度国土变更调查数据、地理国情监测数据、用地审批数据、增减挂钩数据、补充耕地项目数据、永久基本农田划定数据、高分遥感影像数据等。对收集的数据进行统一坐标转换、影像预处理等。

1.3.2 遥感解译阶段。首先建立样本库,立足大量样本训

练,利用深度学习算法智能提取耕地变化图斑,然后利用人工交互解译,补充提取自动解译漏提图斑。

表 1 耕地监测内容

Table 1 The contents of cultivated land monitoring

序号 Code	监测类型 Monitoring type	变化前地类 Land type before changing	变化后地类 Land type after changing	具体情形 Specific situation
1	新增耕地	非耕地	耕地	补充耕地项目增加、耕地整改恢复增加、农民自主开垦增加
2	批准范围内耕地减少	耕地	非耕地	批准类占用耕地
3	耕地“非农化”	耕地	建设用地	非农化违法用地、公共服务设施、农民建房、临时用地等占用耕地
4	耕地“非粮化”	耕地	园/林/草/设施农用地/坑塘水面等	设施农用地、农村灌溉设施、农村道路、农业结构调整、坑塘水面等占用耕地

1.3.3 外业调查核实阶段。对提取的耕地变化图斑全部开展外业调查核实,查明各图斑的变化类型、变化范围等实地情况,去除内业提取发现的伪变化图斑。

1.3.4 数据库建设与清单形成阶段。根据外业调查核实结果,建立耕地变化监测成果数据库,并生成耕地变化清单。

2 关键技术

2.1 基于遥感影像变化图斑智能提取技术

2.1.1 变化样本库建设。

(1) 基本要求。综合利用国土调查等带有标签的地表覆盖分类数据及相关公开的带有类别标记的遥感影像数据库,考虑样本的纯度、数量、分布等因素,样本采集要求尽可能选择采集地区的所有地类^[3];每一种地类分布情况和表现形式

要有典型代表性,记录样本的地类名称、成像时间、地理坐标等属性信息须完整,建立新增耕地、耕地非粮化和非农化等耕地变化样本数据库。

(2) 样本规格。像素值为 1 024×1 024 的 3 组图片,其中 x 文件夹包含 2 张 jpg 和 y 文件夹内 1 张 png。jpg 代表前后时影像,png 代表标记二值图(图 1)。其中,二值图由白色区域(像数值为 255)代表标记的变化区域,反之黑色区域(像数值为 0)代表未发生变化区域。如果将这一组样本输入训练模型,人工智能会将白色区域标记为正样本,黑色区域标记为负样本。所以 1 组样本可以包含正样本、负样本,也可以只包含负样本(如云雾的负样本二值图可为全黑)。



图 1 变化样本库样本

Fig.1 Change sample library sample

2.1.2 构建深度学习模型。深度学习采用卷积神经网络模型,模型为特征提取层、金字塔池化层、特征融合输出层和全连

接层 4 个部分^[4]。框架如图 2.3 所示。基于样本构建并优化遥感影像深度学习模型,整体工作分为 2 个阶段,即训练和处理。

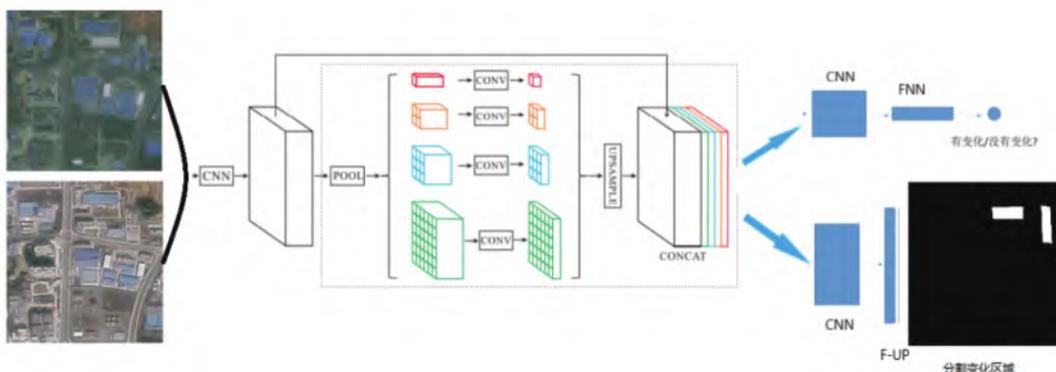


图 2 变化检测网络结构示意图

Fig.2 Change detection network structure schematic

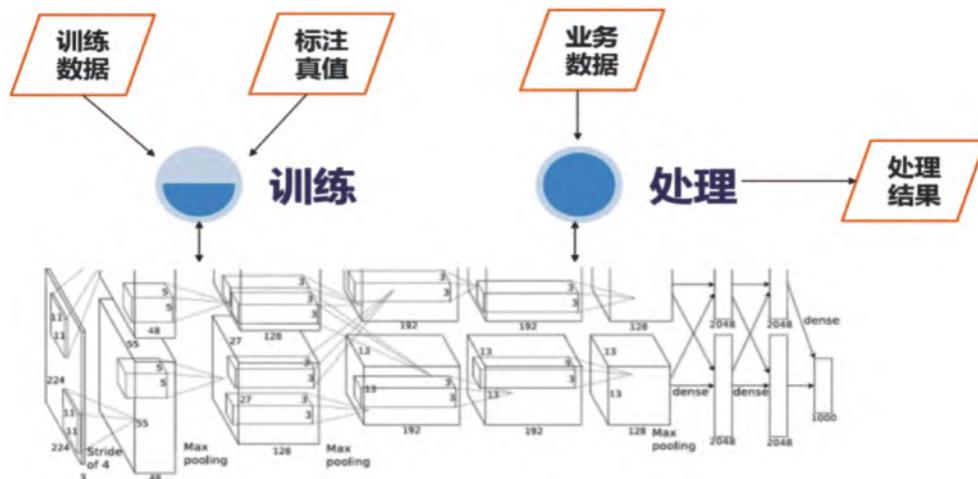


图 3 深度学习算法模型构建

Fig.3 Deep learning algorithm model construction

训练阶段主要是基于大数据(即训练数据和标注真值)和设计好的神经网络,不断地调节参数,如网络的层数等,深度学习算法由数据驱动,模型结构中的参数对深度学习的结果有明显影响。参数调整目的是为每个参数寻找最优值,以改善模型正确率^[5]。同时,根据验证结果对模型进行修正,迭代训练样本、调整模型参数,最终得到最优网络模型和参数。

处理阶段基于学习阶段得到的网络模型和参数,针对业务数据进行全自动的处理,得到处理结果。

2.1.3 模型训练与优化。神经网络输入为训练数据,输出为当前网络状态下的预测结果,使用已有的真值进行监督,利用当前神经网络的预测输出与真值计算损失函数,然后使用梯度反向传播算法将损失值在神经网络中进行反向传递,计算神经网络中每个参数的更新梯度值,从而对整个神经网络优化^[6-8]。在实际网络训练中,采用随机梯度下降法(SGD)等优化算法,使得神经网络能够收敛到一个好的状态。随机梯度下降法(SGD)在每次迭代的过程中会选取一部分样本(例如 50 个,称为 1 个 mini-batch)^[9],使用这部分样本通过

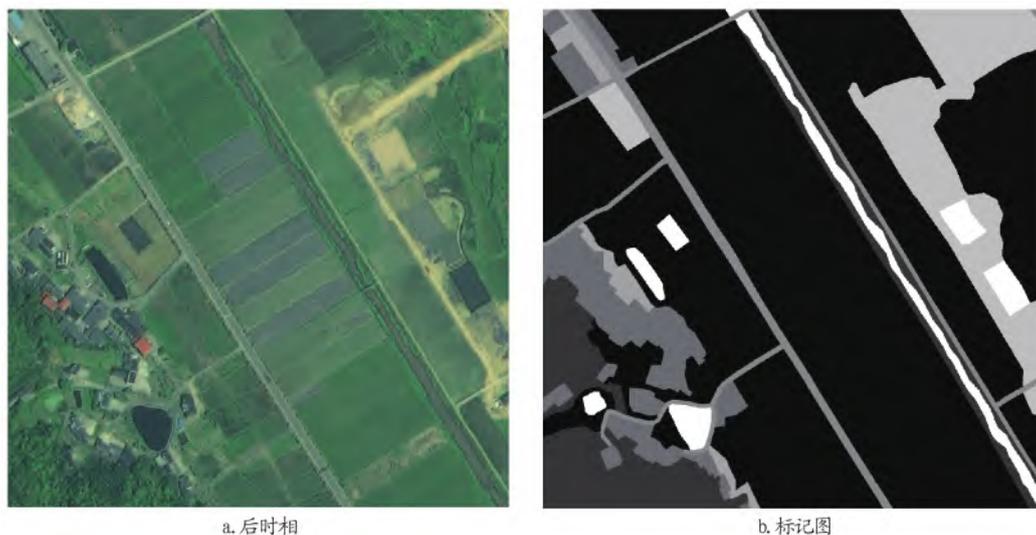
梯度反向传播算法对神经网络中的每个参数进行 1 次优化更新;然后在下 1 次迭代时重新选择一部分样本,在上 1 次优化的基础上对神经网络的参数进行进一步优化更新;整个优化过程如此迭代进行。

2.1.4 模型验证。利用已知真值信息,验证不同地形、不同地表覆盖等条件下相关深度学习算法模型的可用性与普适性,若能够较好地检测出结果,则提交模型接口,开展线上试运行;若漏检较多,则有针对性地补充未检测出的样本信息,微调网络结构,迭代优化模型,直至效果满意为止。

2.2 典型地物要素智能识别提取技术

2.2.1 典型地物样本库建设。

(1) 基本要求。地物分类样本通过地理国情监测成果获得。找到当前时期的国情监测成果的矢量和对应的影像,以县为单位,将分幅影像拼接为完整的县,必须要求以县为单位的矢量不可出现影像无覆盖区域,矢量地类与影像出现严重不套和的情况(图 4)。



a. 后时相

b. 标记图

图 4 典型地物样本库样本

Fig.4 Samples from the sample library of typical ground objects

(2) 样本规格。像素值为 $1\ 024 \times 1\ 024$ 的 2 组图片, 其中包含 1 张 jpg 影像和标记图 png 以下为 1 组示例样本。一张标记图必须将影像上所有的地类标记, 一组典型地类样本组包含多个地类的标记, 当前像素点不同的值代表了不同的地类, 其中白色代表水域, 黑色代表种植植被, 不同的灰度值分别代表建筑区、道路、林草覆盖等。

2.2.2 Deep Lab 网络模型构建。结合典型地物识别样本库, 实现全自动、快速、高精度分类, 并使算法的分类能力在不断的 application 过程中智能迭代提升, 实现典型地物信息提取识别^[10-11]。Deep Lab 系列语义分割模型是针对图像进行像素级分类任务而设计的^[12]。像素级分类任务在计算机视觉中属于底层任务, 因此特征图的尺寸和空间不变性对任务性能的影响更大。

在处理像素级分类任务中存在 2 个普遍困难^[13]: 首先, 为了使网络模型学习到更多抽象特征, 在编码阶段会不断地执行下采样操作, 该操作导致了特征的分辨率不断降低, 并最终导致预测任务中需要的富含丰富空间上下文信息的密集特征无法被提取; 其次, 在面对不同尺度的目标时, 如何有效提取不同尺度的物体特征也是一个棘手的问题^[14]。为了解决提取密集特征的问题, Deep Lab 利用了空洞卷积提取密

集特征来执行像素级分类任务, 空洞卷积本质是常规的卷积中增加空洞, 通过空洞增加感受野之后, 通过一定的膨胀率提升感受野, 保持了原有特征图的分辨率^[15]。

3 工程应用

工程应用以 A 县 2022 年第 1 季度为例。

3.1 A 县监测概况 A 县县域面积接近 $2\ 100\ \text{km}^2$, 截至 2021 年 11 月 1 日, 该县常住人口约为 80 万人, 由山地、丘陵、岗地、平原、水面等地貌构成。采用的遥感影像为 2022 年第 1 季度遥感影像和 2021 年第 4 季度遥感影像, 对应参数如表 2 所示, 参考数据为 2020 年度国土变更调查成果。

表 2 高分遥感对应参数

Table 2 Corresponding parameters of high score remote sensing

序号 Code	影像时相 Image phase	数据源 Data source	分辨率 Resolution // m
1	2021 年第 4 季度	BJ2、JL1、GF2 等	1
2	2022 年第 1 季度	BJ2、JL1、GF2 等	1

3.2 变化图斑提取示例 耕地遥感监测提取变化图斑示例如表 3 所示。监测类型分别为新增耕地、耕地非粮化和耕地非农化。

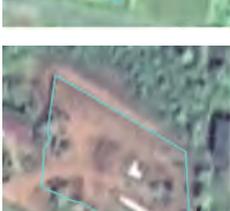
表 3 耕地遥感监测提取变化图斑示例

Table 3 Example of extracting change patches from remote sensing monitoring of cultivated land

监测类型 Monitoring type	具体情形 Specific situation	前时相 Before phase	后时相 After phase
新增耕地 New land	补充耕地项目		
	耕地整改恢复增加		
	农民自主开垦		
耕地非粮化 Non-grain arable use of cultivated land	设施农用地		

接下表

续表 3

监测类型 Monitoring type	具体情形 Specific situation	前时相 Before phase	后时相 After phase
	农村灌溉设施		
	农村道路		
	农业结构调整		
	坑塘水面		
耕地非农化 Non-agricultural use of cultivated land	非农化违法用地		
	公共服务设施		
	农民建房		

接下表

续表 3

监测类型 Monitoring type	具体情形 Specific situation	前时相 Before phase	后时相 After phase
	临时用地		

3.3 结果与精度分析

3.3.1 监测结果。

(1) 遥感信息智能提取情况。利用遥感影像变化图斑智能提取技术,根据 A 县 2022 年第 1 季度遥感影像数据和 2021 年第 4 季度遥感影像对比分析,提取变化图斑 269 个,经过外业调查核实后,确定实际变化图斑 207 个,其中新增耕地图斑 31 个;批准范围内耕地图斑 75 个;耕地“非农化”图斑 21 个;耕地“非粮化”图斑 80 个。

(2) 实际监测情况。采用智能提取+人机交互提取耕地变化图斑的方式,A 县 2022 年第 1 季度耕地监测情况为:提取变化图斑 304 个,经过外业调查核实后,确定实际变化图斑 255 个,其中新增耕地图斑 44 个;批准范围内耕地 82 个;耕地“非农化”图斑 22 个;耕地“非粮化”图斑 107 个。

3.3.2 精度分析。

(1) 查全率。查全率(R)是衡量遥感影像变化图斑智能提取技术提取变化图斑能力的一种尺度,指智能提取技术提取的实际变化图斑个数(W)与实际变化图斑个数(X)之比,用公式可表示为:

$$R = \frac{W}{X}$$

本次查全率为 81%,查全率较高。

(2) 准确率。准确率(P)是衡量遥感影像变化图斑智能提取技术提取变化图斑正确程度的一种尺度,指智能提取技术提取的实际变化图斑个数(W)与智能提取技术提取的变化图斑个数(M)之比,用公式可表示为:

$$P = \frac{W}{M}$$

准确率为 77%,智能提取技术提取图斑正确率满足要求,证明该方法可有效地运用于耕地遥感监测中。

4 小结

(1) 该研究对耕地监测内容进行了细化分类,从耕地减少和耕地增加 2 个方面监测,耕地监测内容主要分为新增耕地、批准类耕地减少、耕地非粮化和耕地非农化 4 个方面的类型。

(2) 高分遥感解译作为整个耕地监测技术流程中最关键的核心,在研究遥感影像变化图斑智能提取技术的基础上,补充研究了典型地物要素智能识别提取技术,并以 A 县 2022 年第 1 季度耕地监测为工程实例,对智能提取精度进行了分析,查全率为 81%,准确率为 77%,工作效率是传统人工目视解译的 3 倍,满足耕地监测需求。

(3) 该研究拓展了人工智能在耕地监测中的创新应用,进一步提升了耕地监测监管现代化水平,对相关部门全面压实耕地保护责任提供决策依据,采取有关措施具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 农昕.全面深入推进耕地质量监测与保护,确保国家粮食安全[J].农经,2021(3):46-50.
- [2] 林勇军,杨芳玲.耕地现状动态监测技术体系研究:以深圳市为例[J].测绘与空间地理信息,2021,44(7):84-89,94.
- [3] 眭海刚,王建勋,华丽.遥感耕地监测现状与方法综述[J].广西科学,2022,29(1):1-12.
- [4] 陶超,阴紫薇,朱庆.遥感影像智能解译:从监督学习到自监督学习[J].测绘学报,2021,50(8):1122-1134.
- [5] 石婷婷,戴腾,厉芳婷.基于深度学习的耕地“非农化”遥感监测初探[J].地理空间信息,2022,20(3):34-37.
- [6] 赵智韬,赵理君,张正.基于容器云技术的典型遥感智能解译算法集成[J].大数据,2022,8(2):58-74.
- [7] 龚健雅,许越,胡翔云.遥感影像智能解译样本库现状与研究[J].测绘学报,2021,50(8):1013-1022.
- [8] 黄浦江,梁英竹,蒋巧璐.面向国土空间资源的遥感解译方法和应用研究进展[J].智能城市,2021,7(3):9-10.
- [9] WEI S.A new single-image fog removal algorithm based on physical model[J].Optik,2013,124(21):4770-4775.
- [10] 邓春梅,李茂芬,李玉萍.基于 ZigBee 无线传感器网络的海南省耕地监测管理系统[J].安徽农业科学,2018,46(3):161-164.
- [11] 刘巍,吴志峰,骆剑承.深度学习支持下的丘陵山区耕地高分辨率遥感信息分区提取方法[J].测绘学报,2021,50(1):105-116.
- [12] 陈颖莹,戚文骏.基于国产高分辨率卫星影像的地理国情普查监测研究[J].科技创新导报,2019,16(1):42-43.
- [13] 王唯.持续开展耕地“非农化”“非粮化”监测河南开展 2020 年度国土变更调查[J].资源导刊,2021(2):9.
- [14] LIU L,LIU Z,J GONG J Z et al.Quantifying the amount heterogeneity, and pattern of farmland: Implications for China's requisition-compensation balance of farmland policy[J].Land use policy,2019,81:256-266.
- [15] SHIAU Y H,CHEN P Y,YANG H Y et al.Weighted haze removal method with halo prevention[J].Journal of visual communication and image representation,2014,25(2):445-453.