

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2021.04.010

基于无人机影像的疑似违法用地精准监测

徐海滨¹, 邢汉发^{1,2}, 王召海¹, 张焕雪¹

(1. 山东师范大学 地理与环境学院, 山东 济南 250358; 2. 华南师范大学 地理科学学院, 广东 广州 510631)

摘要: 疑似违法用地是指对海域、山体、林地、耕地等用地的疑似违法侵占行为, 对其进行精准监测是查实查清土地资源的重要手段。无人机影像以高空间分辨率、低成本、高效快速等优势成为土地资源精准监测的重要数据源, 对象尺度作为其主要的研究单元存在优选最佳分割参数时主观性强、表征对象属性信息时时相特征利用率不足等问题。以近年来经济快速发展的威海市经济技术开发区(经区)作为研究区, 首先提出了无人机影像最佳分割尺度定量化评价指标, 然后充分挖掘了反映疑似违法用地客观规律的影像多时相特征, 通过时空交互分析最终发现, 2017年和2019年经区的疑似违法用地多分布于矿山、湖岸线等地, 验证精度达到86%。研究结果不仅为特殊土地利用类型的精准监测提供了技术方案和理论支撑, 而且对推动威海市经区精致城市建设、提高土地资源利用效率等具有重要意义。

关键词: 疑似违法用地; 无人机影像; 最佳分割尺度; 多时相特征

中图分类号: P231

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2021)04-0536-08

Accurate mapping of suspected illegal land use using UAV images

XU Haibin¹, XING Hanfa^{1,2}, WANG Zhaohai¹, ZHANG Huanxue¹

(1. College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250358, China;

2. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Suspected illegal land use refers to the suspected illegal encroachment on sea areas, mountains, forestland, cultivated land and other land. Accurate mapping is an important means to verify and verify land resources. UAV image has become an important data source for accurate monitoring of land resources due to its advantages of high spatial resolution, low cost, high efficiency, etc. Object scale, as its main research unit, has such problems as strong subjectivity when optimizing optimal segmentation parameters and insufficient utilization of constant phase characteristics of represented object attribute information. In recent years, the rapid economic development of Weihai economic and technological development zone as the study area, the UAV image optimal segmentation scale quantitative evaluation index is first proposed, with the images reflecting the objective law of suspected illegal use of land for phase characteristics, which is through the interaction of time and space analysis and found in 2017 and 2019 by the suspected illegal land distribution in places such as mines, lakeshore and verification accuracy reaching 86%. The research results not only provide technical scheme and theoretical support for the accurate monitoring of special land use types, but also have great significance for promoting the construction of delicate city and improving the efficiency of land resource utilization in Weihai economic district.

Key words: suspected illegal land use; UAV image; optimal segmentation scale; multi-temporal characteristic

疑似违法用地是指对海域、山体、林地、耕地等 用地的疑似违法侵占行为, 是一种特殊的土地利用

收稿日期: 2020-11-29; 网络出版日期: 2021-04-06

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.n.20210406.1439.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41971406)

第一作者: 徐海滨, 男, 硕士生, 研究方向为遥感分析。E-mail: xuhaibingiser@163.com

通信作者: 张焕雪, 女, 博士, 讲师, 研究方向为农业遥感。E-mail: zhanghuanxue@126.com

类型,对其进行精准监测是地理国情监测的一项重要内容^[1],也是查实查清土地资源的重要手段^[2],对提高土地资源利用效率、监控和管理城市用地建设、提升城市管理决策的科学化水平^[3]均具有重要的现实意义。目前,疑似违法用地监测主要采取工作人员实地走访和调查的方式,需要耗费大量人力、物力,且工作效率低、精度差^[4]。随着对地观测技术的快速发展,中低分辨率遥感卫星以其速度快、时效性高、范围广等特点,在疑似违法用地监测方面得到了广泛应用,但受影像空间分辨率的影响,其解译精度仍无法满足违法用地精准监测的精度要求^[5]。

亚米级空间分辨率数据^[6](如 GF-2、QuickBird、WorldView 等)的出现,为疑似违法用地的精准监测提供了可能。如王耀润等^[7]基于两期优于 1m 分辨率的正射影像数据,对矿山开发状况变化信息进行了定量分析;叶琴^[8]基于高分辨率卫片数据,探讨了土地执法检查的工作方法及流程;曹端广等^[9]基于高精度无人机倾斜影像数据进行城镇违法用地监测研究;Prakash 等^[10]基于影像比值法进行煤炭矿区的用地类型监测。然而,上述研究多是在像元尺度上开展的,并没有充分考虑高分辨率影像像元属性和位置的相互关系,存在“椒盐现象”^[11]。对此,面向对象的多尺度分割技术成功解决了这一问题^[12,13],李德仁等^[14]利用国产高分辨率遥感卫星数据,在对象尺度上实现了每个季度对北京市违章建筑的监测;侯小艳^[15]基于 WV2 影像和 GF-2 影像数据,采用图像分割算法,在对象尺度上生产出疑似违法新增建设用地信息产品;Niemeyer 等^[16]基于对象特征的语义变化模型确定了显著变化区域。在上述研究中,分割尺度的选择直接影响着土地利用的分类精度。目前,确定分割尺度最直接的方法是目视判断^[17],如杨杰等^[18]利用目视判断的方法确定了最佳分割尺度,实现了对疑似违章建筑的提取;Duro 等^[19]通过目视判读,确定了 SPOT-5 影像的最佳分割尺度,进而实现了农业景观的分类研究;Huang 等^[20]通过目视判断方法,实现了城市高光谱影像的最佳尺度分割。但是,此类方法往往需要反复试验才能确定最佳分割尺度,工作量大、主观性强,亟需寻找一种针对最佳分割尺度的量化评价方法。目前,常用的评价方法有:最大面积法^[21]、灰度均值标准差^[22]、GLCM 均值标准差^[23]等。这些方法均是通过定量分析确定最佳分割尺度,也确实提高了多尺度的分割精度,但是,最大面积法只能确定最优分割尺度的区间;灰度均值标准差和 GLCM

均值标准差则是基于分割后影像的光谱和纹理信息评价分割效果,而本研究所用的无人机数据只有三个波段,且地物纹理信息多样,故这两种方法均不适用。因此,本研究借鉴 Zhang 等^[24]提出的分割尺度评价方法,通过分析分割对象与参考对象之间的拓扑和几何相似度,进行最佳分割尺度的优选。

时相特征是疑似违法用地精准监测的重要信息依据,吴田军等^[25]利用多期的 WorldView-2 影像和 ZY3 影像数据,获取了高精度的疑似违法新增建设用地;胡新宇等^[26]利用多时相高分辨率遥感卫星实现了违法监测的核查。目前,关于时相特征的研究多局限于变化检测,其对无人机影像时相特征的挖掘尚不够充分、利用率不高,因此还需进一步探索针对疑似违法用地的时空特征分析策略。

威海市经济技术开发区(经区)作为威海市对外开放的桥头堡,近年来经济社会发展迅速、人类活动剧烈、土地利用变化较大,出现了大量的疑似违法用地区域。本研究以经区作为研究区,首先探讨无人机影像最佳分割尺度优选方法,然后充分挖掘反映疑似违法用地客观规律的多时相特征,通过时空交互分析,最终获得了经区 2017 年和 2019 年的疑似违法用地精准监测结果。

1 研究区域

威海市经区位于北纬 37°15′至 37°27′,东经 122°3′至 122°42′,辖 3 个镇、3 个街道(见图 1);地形以缓坡丘陵居多,山体多岩石裸露,土层覆盖较薄,山间谷地开阔,平原多为山前小平原、冲洪积小平原和滨海小平原。作为威海市打造的精致城市样板片区,经区近几年经济社会快速发展,城市扩张迅速,土地利用变化剧烈。

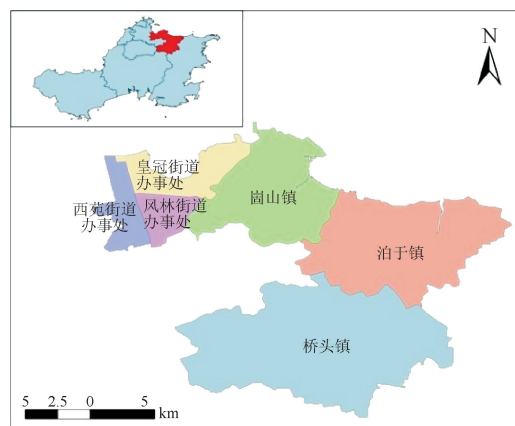


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of research area

2 研究数据与研究方法

2.1 研究数据

2.1.1 无人机影像

本研究基于无人机系统开展数据采集和获取工作,采集时间为所在年份的 5 月,并针对拍摄影像进行了基于地面控制并以外方位元素为约束的影像匹配。

无人机数据采集过程中,飞行航高平均为

187.5 m,航向与旁向重叠度约为 75%、55%,获取影像对应地面空间分辨率约为 0.5 m。最终生成了 2015 年、2017 年、2019 年三期 0.5 m 分辨率的无人机影像(见图 2),为开展疑似违法用地监测提供了数据基础。

无人机影像的预处理主要为地理配准,误差要求小于 0.2 个像元,影像与地图间配准精度在 0.5~0.75 mm,从而确保产生较少的伪变化信息,减小对违法用地监测结果的影响。

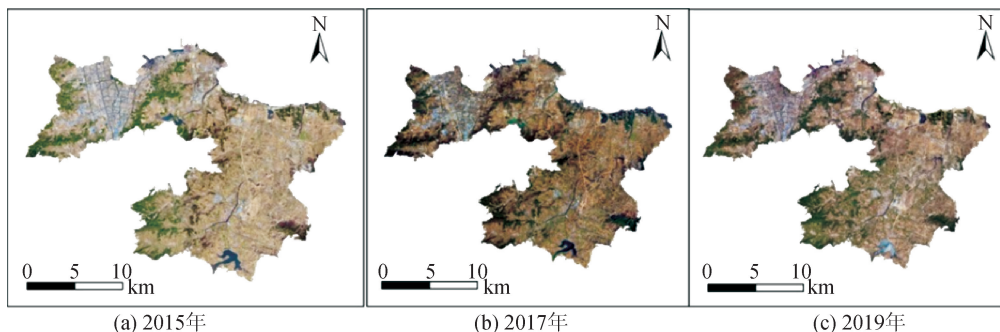


图 2 无人机影像
Fig. 2 UAV images

2.1.2 辅助数据

为了保证疑似违法用地的分类精度,将 2015 年、2017 年、2019 年三年的实地调查数据作为辅助数据。每个年份共有 300 个辅助样本点:建成区、植被、水体、耕地、裸地和道路 6 种土地利用类型的样本点各 50 个。每个辅助样本点的实地位置由具有 ±5 m 定位精度的差分 GPS 来确定。其中,在辅助数据调查过程中,本研究的定位点尽可能选在地块的几何重心,以减少精度差分造成的误差。

2.2 研究方法

本研究实现了经区疑似违法用地的精准监测,总体思路如图 3 所示。

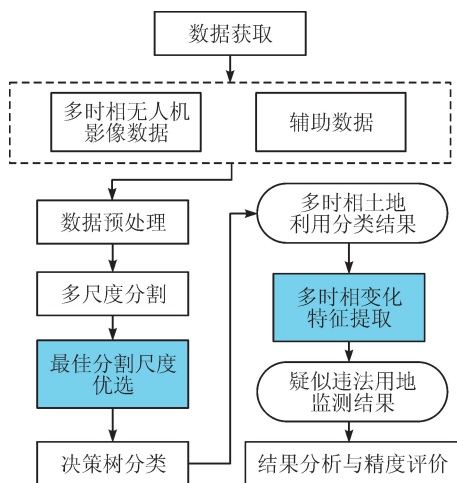


图 3 研究思路
Fig. 3 Research framework

首先,提出了无人机影像最佳分割尺度定量化评价指标,采用面向对象的方法对多时相无人机影像数据进行土地利用类型划分;然后,充分挖掘反映疑似违法用地客观规律的多时相特征;最后,通过时空交互分析,实现了威海市经区 2017 年和 2019 年的疑似违法用地监测,并完成了精度验证。

2.2.1 最佳分割尺度优选

为了评价不同时相无人机影像分类的最佳分割尺度,本研究提出了三个定量化评价指标。首先选择 250、200、150、100、50、10 共 6 个尺度等级,从辅助数据中随机抽取 50 个样本作为参考对象,测量分割对象与参考对象之间的拓扑和几何相似度;然后定义与引用对象相交超过 10% 的对象作为感兴趣的分割对象,提取参考对象和分割对象之间的重叠区域;最后计算出三个指标:重叠区域与参考对象的相对面积(RA_{or});重叠区域与分割对象的相对面积(RA_{os});分割对象与参考对象的位置差(D_{sr}),即计算分割对象的质心与参考对象质心的平均距离。具体公式为:

$$RA_{or} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{A_o(i)}{A_r} \quad (1)$$

$$RA_{os} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{A_o(i)}{A_s(i)} \quad (2)$$

$$D_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(X_s(i) - X_r)^2 + (Y_s(i) - Y_r)^2} \quad (3)$$

式中: n 表示多尺度分割的对象数量; A_r 为参考对象的面积; $A_o(i)$ 表示与参考对象关联的第 i 个重叠区域的面积; $A_s(i)$ 为分割后的第 i 个对象的面积; $X_s(i)$ 和 $Y_s(i)$ 为第 i 个分割对象的质心坐标; X_r 和 Y_r 为参考对象的质心坐标。利用 RA_{or} 和 RA_{os} 对分割对象与参考对象之间的拓扑相似性进行评价,其值越接近 100,表示分割效果越好。综合考虑 RA_{or} 、 RA_{os} 和 D_{sr} 这三个指标,可以从整体上判断对象的分割质量^[27]。

2.2.2 土地利用类型识别

根据研究区实际的土地利用类型以及辅助样本点数据,选择建成区、植被、水体、耕地、裸地和道路为最终的土地利用分类类型。采用了基于 C5.0 算法的决策树分类方法,该算法能够利用属性的信息增益率来完成有效分类属性特征的自动选择,并生成分类模型。

2.2.3 多时相变化特征提取

考虑到疑似违法侵占大多会改变原有的土地利用类型,即将耕地、水体、植被等用地类型人为侵占为裸地,并在裸地的基础上进行开发建设,而建设用地的开发建设存在一定的时间周期,本研究的时间间隔又仅为 2 年,因此,本研究暂不对耕地、水体、植被、裸地变为建设用地的变化特征进行提取。本研究采用分类后比较法进行多时相无人机影像的变化监测,在此基础上,对耕地、植被、水体、建成区变为裸地的变化类型进行判断验证,剔除明显合法、合理的用地变化,保留疑似违法用地。基于威海市自然资源和规划局已公示的研究区和研究时间段内的规划核实批后公布信息,判断用地变化是否合法、合理,若发生变化的地块没有规划核实批后公布信息,则判定为疑似违法用地。精度评价以影像分割对象为基本单元,基于辅助样点数据,统计正确监测、漏检、图斑个数作为评价指标。

3 结果与分析

3.1 最佳分割尺度评价结果

基于最佳分割尺度,可以得到与土地利用地物单元实际边界吻合的影像对象边界,否则会造成对象单元的破碎或者对象边界超出实际的地物单元边界。基于本研究提出的量化评价指标,得到最佳分割尺度,如图 4 所示。2015 年,当分割尺度为 10 时, RA_{or} 值较低,约为 20%,而 RA_{os} 值较高,约为 90%。这说明影像分割尺度较小,无人机影像分割过度,分割对象数量较多,整体分割情况比较破碎,大部分地物被分割成多个对象,分割质量不高。当

分割尺度为 250 时, RA_{or} 值较高,约为 85%,而 RA_{os} 值较低,约为 50%。这说明影像分割尺度较大,无人机影像分割不足,有些地物与其周围地物被分割到了一起。当分割尺度为 150 时, RA_{or} 和 RA_{os} 取值比较接近,影像分割结果相对比较完整,且大部分分割对象没有产生破碎现象。因此,2015 年影像的最佳分割尺度为 150。同理,2017 年、2019 年的影像最佳分割尺度分别为 150、175。

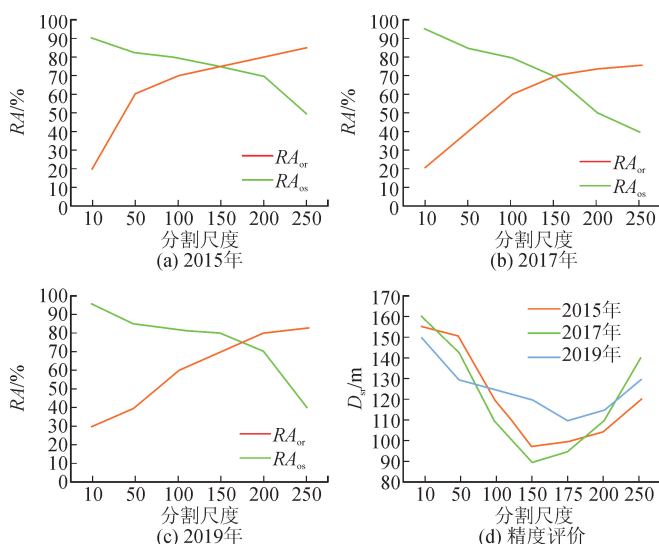


图 4 最佳分割尺度评价结果

Fig. 4 Optimal segmentation scale evaluation results

分割对象的位置精度如图 4(d) 所示。对于给定的参考对象,当分割尺度较小时,会产生破碎化的分割结果,进而导致 D_{sr} 值较大;当分割尺度较大时,分割结果会比参考对象更大,也会导致 D_{sr} 值变大;当分割尺度为最佳分割尺度时,三个年份的 D_{sr} 值均较小。综合拓扑精度 (RA_{or} 和 RA_{os}) 和位置精度 (D_{sr}) 的评价结果,2015 年、2017 年、2019 年三个年份无人机影像的最佳分割尺度分别为 150、150、175。

本研究采用最大面积法来验证所选最佳分割尺度的准确性。最大面积法是指按照一定的步长进行尺度的递增设置,利用多次重复分割实验,对不同分割尺度参数下影像对象的最大面积进行统计,进而确定最优分割尺度^[28]。本研究定义分割尺度的步长为 20,分割尺度与最大面积的变化关系如图 5 所示 (X 轴为分割尺度; Y 轴为最大面积,单位为 km^2)。由图 5(a) 可知,随着分割尺度的增加,地块的最大面积不断增加;在 $[140, 160]$ 区间内,地块最大面积增长较缓;在 $[160, 220]$ 区间内,地块最大面积增长速度加快。这说明 2015 年影像的最佳分割尺度位于 $[140, 160]$ 这一区间,而本研究所求的 2015 年的分割尺度为 150,正好位于这一区间范围

内。同理,2017年、2019年的最佳分割尺度也位于最大面积法求得的最佳分割区间范围内。这说明,

本研究的最佳分割尺度优选方法是可行的,且具有一定的优势。

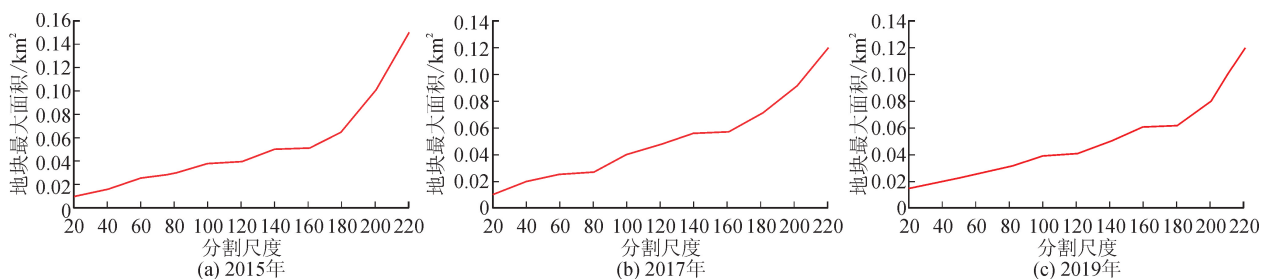


图5 最大面积法尺度分割结果
Fig. 5 Results by maximum area method

3.2 土地利用分类结果

基于无人机影像 2015 年的土地利用分类结果(图 6(a)),耕地主要分布在经区的东部和南部,面积约 150 km²,占比为 50.14%;其次是建成区主要分布在经区的西部,面积约为 61 km²,占比为 20.33%;植被面积约为 58 km²,占比为 19.25%;裸地面积约为 16 km²,占比为 5.34%;水体面积约为 8 km²,占比为 2.66%;道路面积约为 7 km²,占比为 2.28%。

基于无人机影像 2017 年的土地利用分类结果(图 6(b)),耕地面积最大,约为 147 km²,占比为 47.61%;

其次是建成区,面积约为 61 km²,占比为 19.8%;植被面积约为 60 km²,占比为 19.5%;裸地面积约为 23 km²,占比为 7.33%;水体的面积约为 11 km²,占比为 3.41%;道路面积约为 7 km²,占比为 2.35%。

基于无人机影像 2019 年的土地利用分类结果(图 6(c)),耕地面积最大,约为 144 km²,占比为 46.63%;其次是建成区,面积约为 62 km²,占比为 20.11%;植被面积约为 60 km²,占比为 19.51%;裸地面积约为 24 km²,占比为 7.74%;水体面积约为 11 km²,占比为 3.48%;道路面积约为 8 km²,占比为 2.52%。

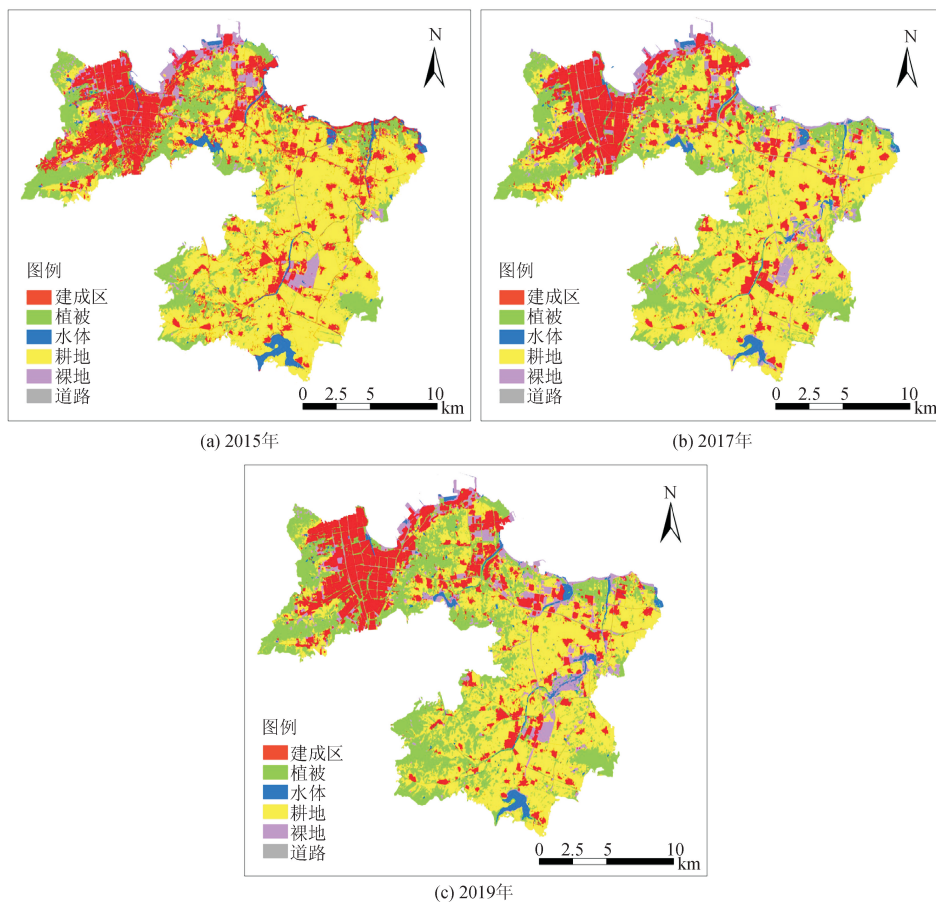
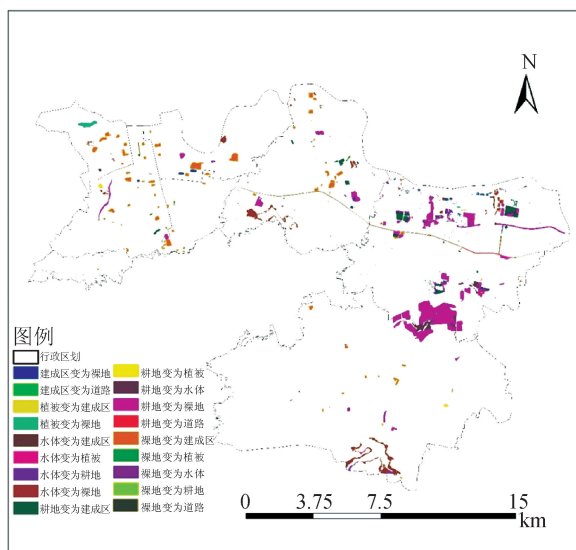


图6 基于无人机影像的土地利用分类结果

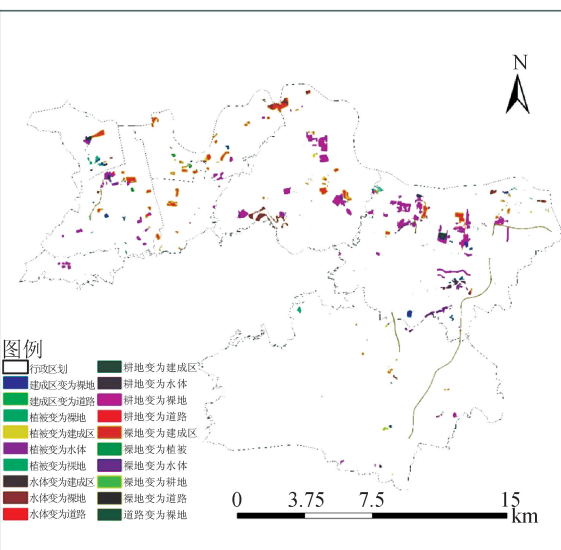
Fig. 6 Land use classification results based on UAV images

3.3 多时相变化特征提取结果

图 7(a)为 2015 年—2017 年间土地利用变化。从空间分布来看,2015—2017 年间的变化主要集中在滨海新城。从变化统计来看,其总体变化面积为 12.63 km²,其中变化最大的是耕地变为裸地,约占整体变化的 46.46%;其次为裸地变为建成区,约占整体变化的 15.46%。



(a) 2015—2017 年土地利用变化结果



(b) 2017—2019 年土地利用变化结果

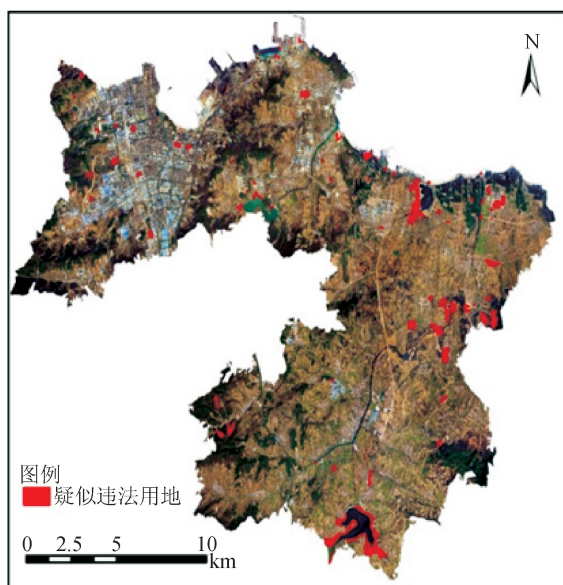
图 7 多时相变化特征提取结果

Fig. 7 Multi-temporal feature extraction results

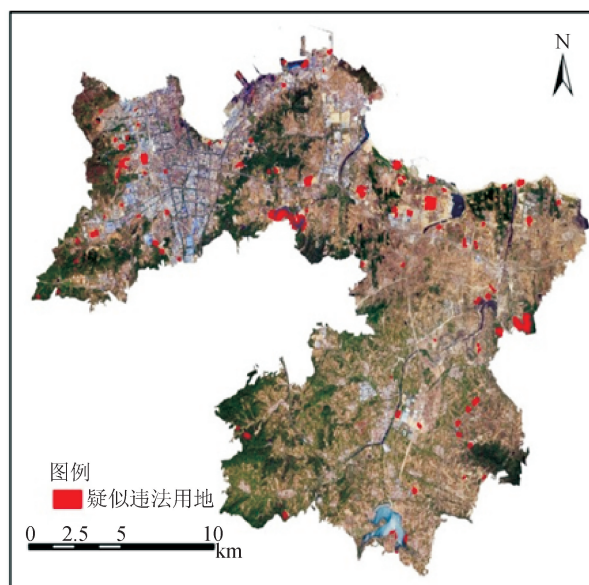
3.4 疑似违法用地监测及精度评价结果

通过分析疑似违法用地的多时相变化特征,并基于人机交互删除了合法的用地变化,得到了 2017 年、2019 年的疑似违法用地监测结果,如图 8 所示。

由图可知,2017 年疑似违法用地监测对象图斑为 112 个,2019 年疑似违法用地监测对象图斑为 107 个。通过辅助样本点对比可以发现,威海市经区疑似违法用地多分布于矿山、湖岸线等地。



(a) 2017年



(b) 2019年

图 8 疑似违法用地监测结果

Fig. 8 Monitoring results of suspected illegal land use

利用辅助数据,对2017年、2019年的疑似违法用地监测结果进行了精度评价。2017年,疑似违法用地精度评价参考样本点为50个,其中正确监测数42个、错误监测数5个、遗漏数3个,精度为84%;2019年,疑似违法用地精度评价参考样本点为50个,其中正确监测数44个、错误监测数2个、遗漏数4个,精度为88%;2017年和2019年,疑似违法用地总体监测精度达到了86%。其中,错误监测样本点的出现是因为在分类过程中误将其分成了裸地,从而造成监测结果错误;而遗漏监测样本点的出现则是因为在人机交互删除用地变化的过程中判断错误,造成了遗漏监测。

4 结论与展望

本研究以威海市经济技术开发区为研究区,提出了无人机影像最佳分割尺度的定量化评价指标,挖掘了反映疑似违法用地客观规律的多时相特征,获得了经区2017年和2019年的疑似违法用地监测结果,发现经区的疑似违法用地多分布于矿山、湖岸线等地,经验证,精度达到86%。研究结果不仅为特殊土地利用类型的精准监测提供了技术方案和理论支撑,而且对推动威海市经区精致城市建设、提高土地资源利用效率等具有重要意义。

但是,本研究时相跨度为两个年份,且没有考虑已有建设用地中存在的疑似违法用地情况,在未来的研究中,应在更加精细的时相尺度上开展疑似违法用地的精准监测研究,并对已有建设用地中的疑似违法用地进行监测。另外,本研究在进行多时相变化特征提取时,只是定性的判断了明显合法、合理的用地变化,容易产生遗漏监测,在今后的研究中,拟结合多源数据建立评价指标体系,以定量分析多时相的特征变化是否合理、合法,进而提高监测结果的准确性。同时,在进行面向对象土地利用分类时,拟加入隶属度函数来提高分类结果的准确度,进而减少错误监测的发生。

参考文献:

- [1] 杜培军,王欣,蒙亚平,等. 面向地理国情监测的变化检测与地表覆盖信息更新方法[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(4):857-866.
DU Peijun, WANG Xin, MENG Yaping, et al. Effective change detection approaches for geographic national condition monitoring and land cover map updating[J]. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(4): 857-866.
- [2] 范建双,任逸蓉. 违法用地对土地可持续集约利用的影响机制及效应研究[J]. 中国土地科学, 2018, 32(3): 52-58.
- [3] 余永欣,刘博文,秦飞,等. 基于地理国情信息的城乡规划用地演变分析研究[J]. 北京测绘, 2018, 32(12):33-37.
YU Yongxin, LIU Bowen, QIN Fei, et al. Analysis and research on the evolution of urban and rural planning land based on the information of national geographic conditions[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2018, 32(12): 33-37
- [4] 史文中,陈鹏飞,张效康. 地理国情监测可靠性分析[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1620-1626.
SHI Wenzhong, CHEN Pengfei, ZHANG Xiaokang. Reliability analysis in geographical conditions monitoring [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 1620-1626.
- [5] 蔡丽萍,李梅. 利用遥感影像进行违法建设行为的监测调查[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(5): 128-132.
CAI Liping, LI Mei. Monitoring survey of illegal construction using remote sensing images[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2013, 36(5): 128-132.
- [6] 赵越,卢力,丁峰,等. 卫星遥感技术在违法开工项目监测识别系统中的应用实例[J]. 环境工程, 2015, 33(1): 146-149, 158.
ZHAO Yue, LU Li, DING Feng, et al. Application and examples of satellite remote sensing technology in illegal construction projects monitoring identification system[J]. Environmental Engineering, 2015, 33(1): 146-149, 158.
- [7] 王耀润,田淑芳,郑健,等. 基于空间统计学的矿山开发状况变化信息定量分析研究——以福建省宁德市为例[J]. 测绘工程, 2020, 29(4): 60-69.
WANG Yaorun, TIAN Shufang, ZHENG Jian, et al. Quantitative analysis and research of the change information of mine development based on spatial statistics: a case study of Ningde City[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2020, 29(4): 60-69.
- [8] 叶琴. 利用卫星影像进行土地执法检查的工作方法及流程[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(6):126-127.
YE Qin. Method and workflow of land law enforcement inspection by using satellite image [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2013, 36(6):126-127.
- [9] 曹端广,郑国强,马银,等. 基于倾斜摄影的城镇违法用地监测系统研究[J]. 山东建筑大学学报, 2020, 35(1): 97-102.
CAO Duanguang, ZHENG Guoqiang, MA Yin, et al. Research on urban illegal land use monitoring system based on tilt photography [J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2020, 35(1): 97-102.
- [10] PRAKASH A, GUPTA R P. Land-use mapping and change detection in a coal mining area-a case study in

- the Jharia coalfield, India[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(3): 391-410.
- [11] 刘扬, 付征叶, 郑逢斌. 高分辨率遥感影像目标分类与识别研究进展[J]. *地球信息科学学报*, 2015, 17(9):1080-1091.
- LIU Yang, FU Zhengye, ZHENG Fengbin. Review on high resolution remote sensing image classification and recognition[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2015, 17(9):1080-1091.
- [12] 刘波, 燕琴, 马磊, 等. 一种结合空间邻域关系特征的面向对象遥感影像变化检测方法[J]. *测绘工程*, 2019, 28(1):60-64.
- LIU Bo, YAN Qin, MA Lei, et al. An object oriented remote sensing image change detection method combined with spatial neighborhood relationships[J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2019, 28(1):60-64.
- [13] 唐侃, 邹波, 汤振华, 等. 融合像素级和对象级的遥感图像变化检测方法[J]. *测绘科学*, 2017, 42(5): 106-112.
- TANG Kan, ZOU Bo, TANG Zhenhua, et al. A detection method of remote sensing images changes by fused pixel-level and object-level[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2017, 42(5): 106-112.
- [14] 李德仁, 王密, 胡芬. 利用我国高分辨率卫星影像监测北京市违章建筑[J]. *科学通报*, 2009(3): 305-311.
- [15] 侯小艳. 基于高分辨率卫星影像的土地执法监测研究[J]. *科技创新导报*, 2019, 16(32): 40-41.
- [16] NIEMEYER I, NUSSBAUM S. Change detection: the potential for nuclear safeguards [M]. Berlin: Springer, 2006: 335-348.
- [17] 王芳, 杨武年, 王建, 等. 遥感影像多尺度分割中最优尺度的选取及评价[J]. *遥感技术与应用*, 2020, 35(3): 623-633.
- WANG Fang, YANG Wunian, WANG Jian, et al. Selection and evaluation of the optimal scale in multi-scale segmentation of remote sensing images [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2020, 35(3): 623-633.
- [18] 杨杰, 高伟, 段茜茜, 等. 面向多尺度分割的疑似违章建筑提取算法[J]. *大气与环境光学学报*, 2021, 16(1): 67-73.
- YANG Jie, GAO Wei, DUAN Xixi, et al. Multi-scale segmentation-oriented extraction algorithm for suspected illegal buildings [J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2021, 16(1): 67-73.
- [19] DURO D C, FRANKLIN S E, DUBÉ M G. A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 118: 259-272.
- [20] HUANG X, ZHANG L. An adaptive mean-shift analysis approach for object extraction and classification from urban hyperspectral imagery[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2008, 46(12): 4173-4185.
- [21] 王芳, 杨武年, 王建, 等. GF-2 影像城市地物分类方法探讨[J]. *测绘通报*, 2019(7): 12-16.
- WANG Fang, YANG Wunian, WANG Jian, et al. Discussion on classification methods of urban features based on GF-2 images[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2019(7): 12-16.
- [22] 朱晓霞. 高精度地表覆盖数据优化影像分割方法及在自然资源监测中的应用[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2020.
- ZHU Xiaoxia. Optimizing image segmentation based on high-precision land cover data method and application in natural resource monitoring [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2020.
- [23] 张伟伟, 薄华, 王晓峰. 多特征-谱聚类的 SAR 图像溢油分割[J]. *智能系统学报*, 2010, 5(6): 551-555.
- ZHANG Weiwei, BO Hua, WANG Xiaofeng. SAR oil spill image segmentation based on a multi-spectral clustering algorithm[J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2010, 5(6): 551-555.
- [24] ZHANG H, LI Q, LIU J, et al. Object-based crop classification using multi-temporal SPOT-5 imagery and textural features with a random forest classifier[J]. *Geocarto International*, 2018, 33(10): 1017-1035.
- [25] 吴田军, 夏列钢, 吴炜, 等. 土地执法监察中的高分辨率遥感及变化检测技术[J]. *地球信息科学学报*, 2016, 18(7): 962-968.
- WU Tianjun, XIA Liegang, WU Wei, et al. The application of high-resolution remote sensing and change detection technologies in law enforcement and supervision of land resources [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2016, 18(7): 962-968.
- [26] 胡新宇, 张志华, 文江平, 等. 高分辨率遥感卫星在监测违法建设中的应用研究[J]. *城市管理与科技*, 2010, 12(5):109-112.
- [27] KE Y, QUACKENBUSH L J, IM J. Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(6):1141-1154.
- [28] 李晓靖, 彭道黎, 王海宾. 基于最优尺度和规则的高分辨率影像分类研究[J]. *测绘工程*, 2017, 26(9):14-22.
- LI Xiaojing, PENG Daoli, WANG Haibin. Classification of high-resolution image based on optimal scale and rule[J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2017, 26(9):14-22.

(责任编辑 周 蓓)