

doi: 10.6046/zrzyg.2021056

引用格式: 孙一鸣, 张宝钢, 吴其重, 等. 国产微景一号小卫星影像的城市裸地识别应用[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(1): 189–197. (Sun Y M, Zhang B G, Wu Q Z, et al. Application of domestic low-cost micro-satellite images in urban bare land identification [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(1): 189–197.)

国产微景一号小卫星影像的城市裸地识别应用

孙一鸣¹, 张宝钢¹, 吴其重¹, 刘奥博¹, 高超², 牛静³, 何平³

(1. 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875; 2. 中国人民解放军 63921 部队, 北京 100094; 3. 深圳航天东方红卫星有限公司, 深圳 518000)

摘要: 低成本微小卫星及其星座组成是近年来卫星遥感领域发展的重要方向之一, 可有效弥补单一卫星过境频次过少和组网成本过高的问题。遥感卫星监测具有覆盖面广、不易受人为干扰的优点, 是生态环境领域获取裸地信息的重要手段。该文基于国产微景系列低成本微小卫星的遥感影像数据开展了城市裸地识别的探索性研究, 并将其结果与美国陆地系列卫星(Landsat8)影像进行了对比分析, 探讨国产微小卫星在生态环境领域裸地识别应用中的可靠性。以山东省日照市东港区城区为研究区域, 构建无监督植被指数(ExG-ExR)和最大似然法结合的提取方法, 并加以应用。结果表明: ①微景一号02星拍摄的5 m空间分辨率全色影像能清晰反映研究城区现状, 影像具有高空间分辨率, 对地物细节拍摄更清楚, 但相比Landsat8影像缺乏波段优势; ②微景一号02星影像总分类精度为93.3%, Kappa系数可达到0.85, 微景系列小卫星在裸地识别具有一定的可靠性; ③微景一号02卫星与Landsat8卫星提取日照东港城区裸地面积相差1.5个百分点, 表明在拍摄时间相近和一致地理坐标校正情况下, 算法得当, 微景系列小卫星在裸地识别方面具有与传统主流卫星相当的城区裸地反演识别能力。

关键词: 微小卫星; 裸地反演; 微景一号系列卫星

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)01-0189-09

0 引言

大气污染治理是我国生态环境治理的重要一环, 扬尘排放是大部分城市可吸入颗粒物的重要来源^[1-3], 主要由交通扬尘、料堆扬尘、施工扬尘和裸露面扬尘等组成^[4]。例如沿海城市浙江省宁波市的城市扬尘源解析结果显示, 裸露地扬尘是贡献率最大的城市扬尘源^[5], 气候条件、土壤性质、地形和植被覆盖等会主要影响颗粒物风蚀扬尘过程^[6]。大气污染防治需要准确的排放源清单^[7], 研究表明施工裸地扬尘主要分布在城市主城区中^[8-9], 大规模批量识别城市裸地对开展城市扬尘研究和排放清单的准确制定具有重要作用。

近年来, 许多学者基于光学卫星遥感影像对我国城市区域裸地面积的反演识别进行了大量研究, 如利用美国Landsat系列卫星对北京平原区和常州

裸露地进行提取分析^[10-11], 利用高分辨率卫星资源三号、Pleiades卫星与中等分辨率卫星Landsat系列相结合对天津扬尘污染源的遥感监测^[12], 利用QuickBird高分辨率影像来进行影像地物分类研究^[13-14]。国产卫星产品方面, 徐媛倩等^[15]利用环境一号卫星对郑州市裸露地面积提取分析; 张立坤等^[16]采用高分一号(GF-1)和北京二号(BJ-2)等卫星对北京建筑施工裸地提取分析。目前基于主流中高分辨率光学遥感数据提取城市裸地的研究较为成熟, 已广泛应用于大气污染防治工作中, 李丹等^[17]利用高分一号(GF-1)与Landsat8卫星进行了土地利用解译对比, 证明了国产高分辨率卫星在地物解译分类方面具有与Landsat8卫星相当的准确性, 但前人所采用的国产卫星依然是成本较高的传统卫星。微小卫星通常指重量在10~100 kg的人造卫星, 具有重量轻、体积小、研制周期短、成本低等特点。利用微小卫星的特性, 使用多颗遥感微小卫

收稿日期: 2021-03-01; 修订日期: 2021-05-31

基金项目: 国家重点研发计划项目“全球关键区域大气污染协同控制策略”(编号: 2020YFA0607804)、国家重点研发计划项目“全耦合多尺度空气质量预报平台研发和示范应用”(编号: 2017YFC0209805)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目及北京高精尖学科“陆地表层学”共同资助。

第一作者: 孙一鸣(1998-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境遥感、空气质量模式与模拟。Email: symkfz@outlook.com。

通信作者: 张宝钢(1984-), 男, 工程师, 主要研究方向为极地环境遥感、极地无人机遥感技术。Email: zhang_bob@bnu.edu.cn。

星组进行对地观测,可以实现低成本、高时间分辨率的遥感数据获取,具有广阔的应用前景。例如,美国 Planet 公司的鸽群星座是小卫星遥感卫星星座的一个成功案例,自 2015 年至今已陆续发射 300 余颗名为“鸽子”的遥感小卫星组网进行对地观测,目前现役在轨投入运行“鸽子”卫星超过 100 颗,可以实现每日中高分辨率全球全覆盖影像获取,弥补了主流中高分辨率遥感卫星重访周期长的缺点。其数据已广泛应用于农业、政府管理、教育科研、保险、能源管理、林业、土地利用监测等方方面面。在我国,采用微小卫星平台的遥感卫星星座也是目前的发展趋势之一,许多商业航天企业陆续发布了自己的遥感微小卫星星座计划,并且均推出了成熟的平台和技术方案,但在星座规模、数据易用性等方面仍与国外存在较大的差距。微小卫星遥感载荷受限于平台尺寸和成本控制等因素,在成像质量、谱段数量、几何和辐射精度等指标上远不如 Landsat 等主流遥感卫星,即使是同一星座的不同卫星,数据间的一致性也较差,制约了卫星数据的应用,导致了基于国产微小卫星遥感数据的相关应用研究仍十分有限。

本文综合分析微景一号卫星同国内外主流遥感监测卫星的相关参数,并对微景一号 02 星影像质量以及影像反演识别城市裸地进行评估。研究采用目前在环境监测及裸地反演研究中主流的美国航空航天局(NASA) Landsat8 卫星影像作为参照,与所关注的微景一号微小卫星遥感影像提取的城市裸地进行对比分析,分析微景一号 02 星目前的影像拍摄质量,评价微小卫星在反演识别城市裸地方面的能力。同时利用微景一号 02 星和 Landsat8 卫星影像提取出的城区裸地图斑,计算城区的裸地面积,这一工作还将为未来城区扬尘排放清单构建提供基础数据支持。文章最后还探讨了低成本微小卫星未来科研应用前景。

1 材料与方法

1.1 卫星介绍

微景一号是深圳航天东方红卫星有限公司研制的国产低成本微小卫星星座,该星座计划发射 80 颗微小卫星组成遥感卫星对地观测星座系统。微小卫星具有低成本、短周期、部署搭载发射灵活的特点,微景一号星座的首发星即京师一号卫星(BNU-1),又名微景一号 01 星,整星重量 16 kg,研制成本在 1 000 万元以内,携带的宽幅相机主要用于极地环境遥感监测,可实现每 5 d 对南北纬 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 完成一次全覆盖成像^[18];同时还携带一台 8 m 空间分

分辨率、25 km 幅宽的光学相机,可用于中纬度地区重点区域较高分辨率遥感观测。微景一号 02 星是微景一号星座的第二颗组网卫星,卫星轨道为太阳同步轨道,与 01 星采用相同的卫星平台,搭载一台 5 m 空间分辨率光学视频相机载荷,可用于国土普查、作物估产、灾害监测、城市规划等对地成像观测。

Landsat8 是美国陆地卫星计划的第八颗卫星,于 2013 年 2 月 11 日发射,携带陆地成像仪(OLI)和热红外传感器(TIRS)。该卫星一共有 11 个波段,波段 8 为 15 m 空间分辨率的全色波段,热红外传感器(TIRS)的 2 个热红外谱段的空间分辨率为 100 m,其余波段均为 30 m 空间分辨率。其中陆地成像仪(OLI)有 9 个波段,成像幅宽为 185 km,可实现每 16 d 完成一次全球覆盖。Landsat8 影像在全球生态环境变化监测方面发挥了积极作用^[19]。微景一号星座卫星和 Landsat8 卫星主要参数指标如表 1 所示。

表 1 微景一号星座卫星和 Landsat8 卫星主要参数

Tab. 1 Main parameters of Microscope 1 series satellite and Landsat8 satellite

参数	微景一号 01 星 (京师一号)	微景一号 02 星	Landsat8 卫星
轨道参数	739 km, SSO 轨道, 降交点 10:30	492 km, SSO 轨道, 降交点 10:30	705 km, 降交点 10:00
图像分辨率/m	宽幅相机: 73.9 中分相机: 8	4.9	OLI: 30 (B1 - B7, B9), 15 (B8) TIRS: 100
波段/nm	宽幅相机: 470 ~ 770 中分相机: 420 ~ 700	蓝光: 400 ~ 500 绿光: 490 ~ 580 红光: 580 ~ 700	B2: 450 ~ 515 B3: 525 ~ 600 B4: 630 ~ 680 B5: 845 ~ 885
尺寸/m ³	<0.5 × 0.5 × 0.5	0.5 × 0.4 × 0.4	—

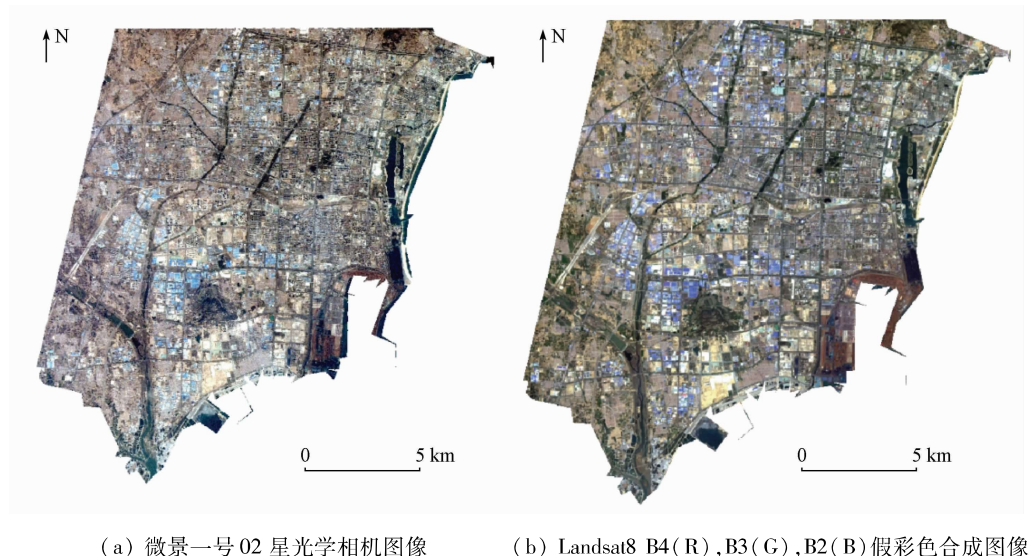
1.2 研究区域与数据介绍

选取山东省日照市作为研究区域。日照市位于 $E118^{\circ}25' \sim 119^{\circ}39'$, $N35^{\circ}04' \sim 36^{\circ}04'$ 之间,地处我国山东半岛东南部,市域总面积为 5 358.6 km²,城市建成区面积为 110.7 km²,年末常住人口城镇化率为 60.35%。日照市山地占总面积的 19.7%,丘陵占 52.9%,平原占 19.9%,水域占 7.5%。日照市是未来山东乃至我国重要的钢铁产能基地,近年来城市建设较快,城市裸地分布范围较广,东港区是其主要城市区域。

本文研究区域聚焦日照市东港区主要城市区域(图 1),研究区域面积为 235.4 km²。采用微景一号 02 号卫星拍摄的 2020 年 4 月份日照市东港区主要城区光学影像作为实验分析影像,影像数据为 5 m 空间分辨率真彩色影像。采用的参照影像 Landsat8

卫星遥感影像同样拍摄于2020年4月,选取云量阴影小于10%的影像作为合格影像,在保证裸地提取的前提下共获取2景Landsat8可用影像作为实验对

照,并通过地理坐标配准与图像掩模裁剪处理获得与微景一号影像一致的研究区域大小。



(a) 微景一号02星光学相机图像

(b) Landsat8 B4(R), B3(G), B2(B)假彩色合成图像

图1 研究区域日照市东港区主要城区影像

Fig. 1 Remote sensing images of research area

1.3 图像数据处理方法

本研究选取Landsat8卫星影像数据和微景一号02卫星影像做对比性研究,以研究评估微景系列小卫星所采集影像质量。对于微景一号星座02卫星,出于成本控制的考虑,小卫星在平台和载荷研制中广泛使用了工业级元器件,原始影像存在较大的几何畸变和辐射误差,需要对拍摄影像进行预处理。对于辐射部分,微景一号02星的绝对辐射定标精度 $\leq 7\%$,相对辐射定标精度 $\leq 3\%$;在几何精度上,影像的无控定位精度为500 m左右。利用ENVI软件自带的Image Registration Workflow工具将微景一号02星影像与Landsat8影像配准,匹配算法选择Cross Correlation,最小阈值定义为0.6,配准后影像误差精度控制在1~3个像元^[12]。使用预处理后的影像进行后续裸地信息提取。常用的提取方法有监督分类方法和混合分类方法。监督分类方法在遥感图像分类研究中广泛应用^[20];相比起单一的监督分类,混合分类的方式得到的分类精确度更高^[21-22]。对于卫星影像裸地信息的识别提取构建了增强裸土指数(enhanced bare soil index, EB-SI)^[23],可最大程度地增强裸地信息。但因微景一号02星的影像只有RGB这3个可见光波段,无法满足计算EBSI的波段需求。本文采用基于可见光波段的无监督植被指数($ExG - ExR$)^[24]和监督分类(最大似然法)结合的方法对其影像进行处理。可见光植被指数($ExG - ExR$)利用影

像的RGB波段,由 ExG ^[25]减去 ExR ^[26]得到,可较好增强影像植被信息,其计算公式为:

$$ExG = 2g - r - b, \quad (1)$$

$$ExR = 1.4r - g, \quad (2)$$

式中: ExG 为绿色增强植被指数,可有效增强植被信息; ExR 为红色增强植被指数,可消除图像红光波段的异常影响。其中 r, g 和 b 的计算公式分别为:

$$r = \frac{R}{R + G + B}, \quad (3)$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}, \quad (4)$$

$$b = \frac{B}{R + G + B}, \quad (5)$$

式中 R, G, B 分别为每个图像像元的实际值,微景一号对应红光、绿光、蓝光3个波段,Landsat8影像对应B4, B3, B2波段。可见光植被指数($ExG - ExR$)计算结果如图2所示。阈值分割法是一种简单高效的分类方法^[27],崔方宁等^[28]利用Landsat影像数据和阈值分割法分析了北京冬小麦面积与裸地之间的转化。到目前为止阈值分割图像方法种类和分类方式繁多,如基于直方图区域的阈值分割方法、基于空间特征信息的阈值分割方法、基于模糊集的阈值分割方法和基于非Shannon熵的阈值分割方法^[29]。

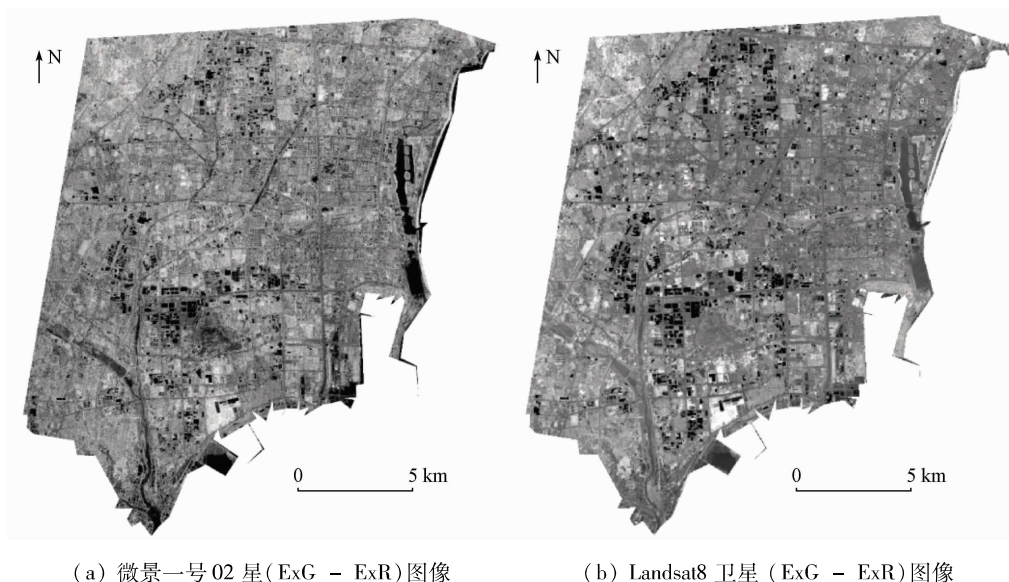


图2 研究区域日照市东港区主要城区植被指数图像

Fig. 2 Vegetation indices image of research area

对于微景一号 02 星影像 (ExG - ExR) 指数, 采用阈值分割法进行植被像元和非植被像元的分割。本研究采用基于直方图确定阈值的图像像元分割的方法, 将分割出的非植被影像作为掩模对原微景一号 02 星真彩色图像进行掩模裁剪, 掩模裁剪后的真彩色图像作为待处理影像, 选择最大似然法分类器, 选取合适样本 (表 2) 并进行监督分类, 得到最终的分类结果, 提取出裸地像元。

表2 微景一号 02 星裁剪后影像不同地物特征分离度

Tab. 2 Separable parameter of terrain objects of MV-1 Constellation

地物	建筑物	水体	裸地
建筑物	0	1.99	1.99
水体		0	2.00
裸地			0

对于 Landsat8 影像, 本研究使用与微景一号 02 星相近时相 (2020 年 4 月) 的数据, 经过图像拼接和掩模裁剪等处理后得到与微景一号 02 星一致的研究区域影像, 尽可能保持研究数据的时空一致性。随后采用相同的 (ExG - ExR) 指数的阈值分割方法进行裸地信息的提取, (ExG - ExR) 指数结果 (图 2) 与监督分类最大似然所采用样本 (表 3) 同样表现了较好的地物分离度。

表3 Landsat8 裁剪后影像不同地物特征分离度

Tab. 3 Separable parameter of terrain objects of Landsat8

地物	建筑物	水体	裸地
建筑物	0	1.92	1.91
水体		0	1.99
裸地			0

在分类精度评价上, 利用 ENVI 软件随机点生

成工具 Generate Random Sample 在研究影像裸地像元和非裸地像元分别撒下随机点, 对这些点进行目视解译, 统计分析精度指标。微景一号 02 星影像和 Landsat8 卫星影像处理流程如图 3 所示。

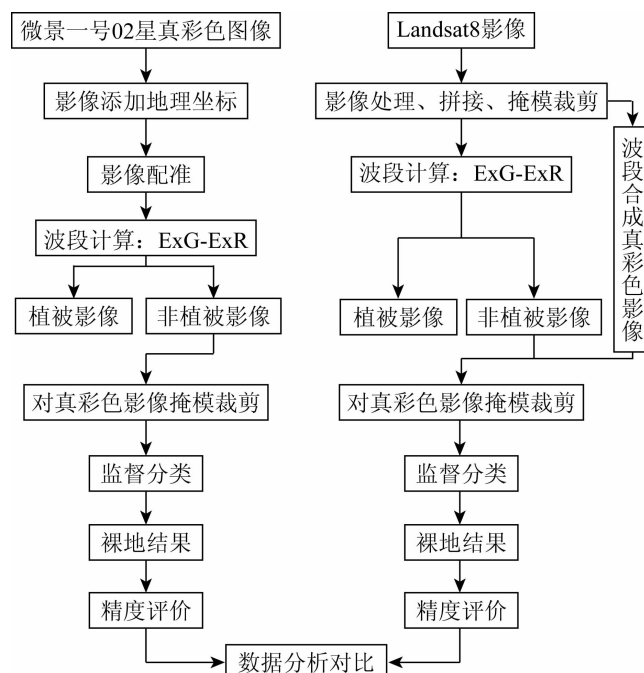


图3 影像处理流程

Fig. 3 Flow chart of image processing

2 结果与讨论

2.1 卫星影像识别能力

经过预处理后的微景一号 02 星拍摄的日照市东港区主城区真彩色影像如图 1 所示。目视可知, 相较于 Landsat8 合成的真彩色影像, 微景一号 02 星数据在辐射上存在一定的失真, 但由于具有较高的空间分辨率, 因此同样能够清楚分辨地物特征。

在影像的空间分辨率上,微景一号 02 星空间分辨率更高,可以获取更丰富的地物纹理细节,以山东省日照市东港区青岛路周边为例(图 4),微景一号影像可以清楚看到道路左侧的建筑物和道路右侧的亮度值很高的裸地。但 Landsat8 真彩色影像分辨建筑物是较为模糊的像元,且对于道路右侧的裸地来说,虽然也能较好地提取高亮度的裸地像元,但较低的空间分辨率会在裸地反演识别时造成对非裸地的

错判或漏判。在光谱分辨率上,微景一号 02 星只有可见光波段,而 Landsat8 共有 9 个波段,多波段在反演识别不同地物时具有明显的优势。如图 4 所示,由 Landsat8 卫星 B5,B4,B3 波段合成的标准假彩色影像,利用植被在近红外波段的高反射率特性,更有利于植被(影像中红色)的识别。因此在影像处理中,可以通过先剔除植被后再进行裸地或者所需地物的提取,避免植被同其他地物的错误识别。

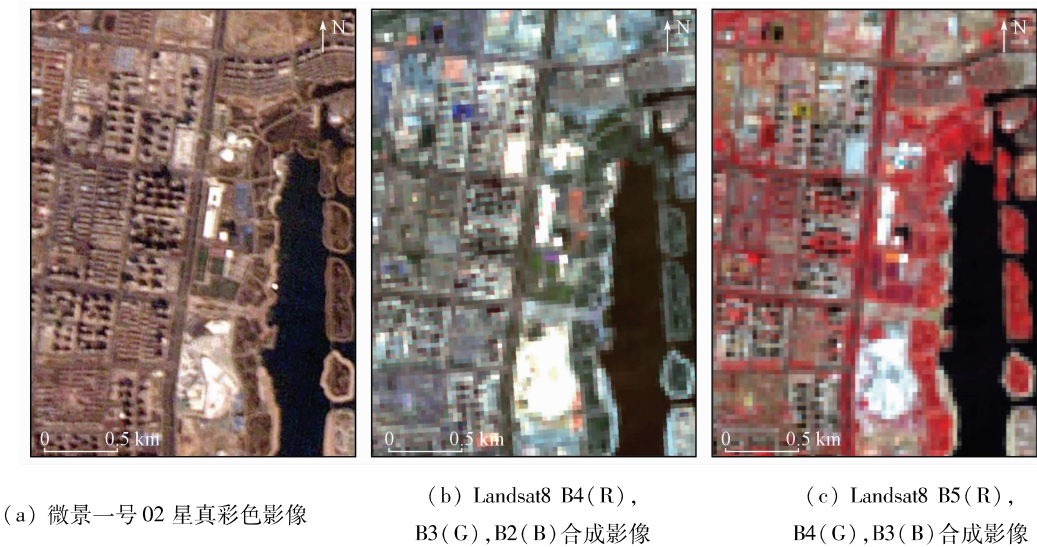


图 4 日照市东港区青岛路影像

Fig. 4 Qingdao road image of Donggang District, Rizhao City

2.2 微景一号 02 星反演识别裸地

提取的 2020 年 4 月研究区域裸地如图 5 所示。研究表明,微景一号 02 星和 Landsat8 卫星影像提取

出的裸地面积分别为 18.0 km²和 20.4 km²,占研究区域总面积 7.2%和 8.7%,两者提取的裸地面积占比研究区面积差异为 1.5 个百分点。

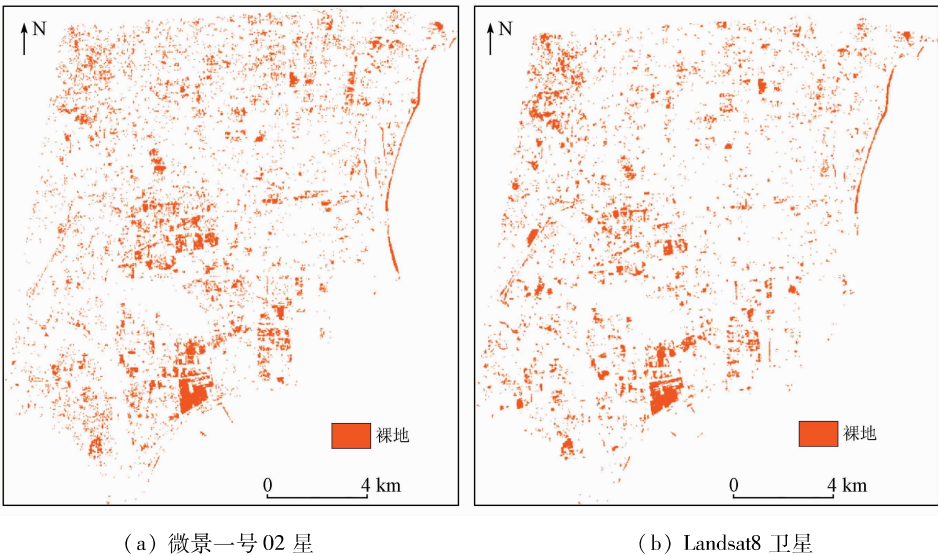


图 5 裸地提取结果

Fig. 5 Extracted results of bare land

图 5 可以看出,微景一号 02 星影像和 Landsat8 影像提取的裸地面积分布具有较好的一致性,都以东港城区东部核心街道为中心,裸地向四周城市郊区扩散分布。本文进一步提取城市边缘沙滩和典型裸地进行影像细节对比分析。微景一号 02 星在研

究区域的东部海岸边提取的裸地像元多于 Landsat8 影像提取的裸地像元,通过分析真彩色影像(图 6 (a)和(c))发现产生提取裸地差异的原因可能为研究区域中 Landsat8 影像由于空间分辨率原因导致部分沙滩与周边像元混合,造成这部分沙滩在影像上

没有被提取。研究区域南部,微景一号 02 星提取的典型裸地像元(图 6(b)和(d))与 Landsat8 影像提取的典型裸地像元基本一致,造成的细微差异由于

空间分辨率不同与拍摄时间略微不同导致地物特征差异所导致。

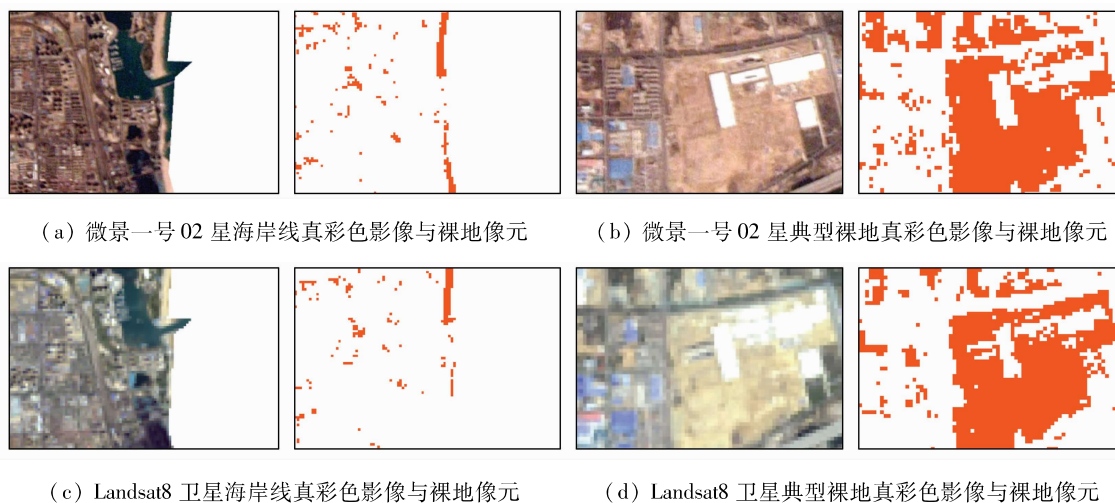


图 6 微景一号 02 星影像与 Landsat8 卫星影像裸地提取对比

Fig. 6 Comparison of extraction results of bare land

2.3 卫星提取裸地精度评价

为了评价微景一号 02 星和 Landsat8 卫星影像的裸地提取精度,本研究使用 ENVI 软件随机点工具 Generate Random Sample 对微景一号 02 星和 Landsat8 卫星影像分层抽象,对裸地像元和非裸地像元分别撒下 300 个和 500 个随机点,再利用微景一号 02 星和 Landsat8 卫星真彩色影像对随机点进行目视解译,并将目视解译结果与卫星影像的分类结果进行混淆矩阵与 Kappa 系数计算。结果显示微景一号 02 星影像分类精度为 93.3%,Kappa 系数达到 0.85; Landsat8 卫星影像总分类精度为 91.2%,Kappa 系数为 0.81。2 颗卫星影像分类精度评价结果见表 4 和表 5。为了进一步探讨裸地提取误差,同时采用提取重合面积比例比较这一指标,利用 Python3.6 软件提取重合面积,同时将误差范围定义为 1~3 个网格数。计算结果显示提取裸地重合面积为 13.0 km²,占比微景一号 02 星提取裸地像元面积超过 72.2%。

表 4 微景一号 02 星分类精度评价

Tab. 4 Accuracy validation results of MV-1

Constellation satellite classification

分类精度验证	目视解译结果		行像元	使用者精度/%
	裸地像元	非裸地像元		
裸地像元	271	29	300	90.3
非裸地像元	26	474	500	94.1
列像元	297	503	800	
生产者精度/%	91.2	94.2		
总精度/%	93.3		Kappa = 0.85	

表 5 Landsat8 卫星影像分类精度评价

Tab. 5 Accuracy validation results of Landsat8

satellite classification

分类精度验证	目视解译结果		行像元	使用者精度/%
	裸地像元	非裸地像元		
裸地像元	268	32	300	89.3
非裸地像元	38	462	500	92.4
列像元	306	494	800	
生产者精度/%	87.6	93.5		
总精度/%	91.2		Kappa = 0.81	

卫星遥感影像处理过程中阈值分割与监督分类的样本差异都会导致提取裸地像元的差异。从最终结果来看,相较于整体研究区,微景一号 02 星与 Landsat8 卫星影像中裸地面积提取的差异为 1.5 个百分点,以微景一号 02 星为基准,裸地提取重合度超过 72.2%,说明两者在保证拍摄时间相对一致及空间地理坐标配准的前提下,采取当前处理流程对日照市裸地进行摄取,低成本小卫星(微景一号 02 星)能保证获得与 Landsat8 卫星相对一致的提取结果。

2.4 卫星应用与发展展望

研究表明,微景一号 02 星与 Landsat8 卫星对裸地面积提取的差异仅为 1.5 个百分点,2 类卫星影像识别的城市裸地的时空分布具有一致性。互为参照的结果也能表明国产微小卫星数据能够有效应用于裸地反演与提取。

目前我国约 60% 的微小卫星在高校以及科研相关领域投入使用^[30]。随着微景一号星座系统的不断完善,若实现设计中的 80 颗微纳卫星组成的遥感卫星星座系统,利用其中等空间分辨率以及高时间分辨

率的优势,将在国土普查、作物估产、灾害监测、城市规划以及极地观测发挥重要作用,促进我国相关研究的开展,产生广泛的社会服务效益。

3 结论

本文研究基于微小卫星微景一号 02 星拍摄的 2020 年 4 月日照市东港区影像,利用(ExG - ExR)指数与监督分类结合的方式提取裸地。并在保证时空相对一致以及相同处理流程的情况下,以 Landsat8 影像作为对照提取城区裸地,验证分析探讨国产小卫星微景一号 02 星对城市裸地的提取效果,得出的主要结论如下:

1) 5 m 空间分辨率的微景一号 02 星影像与 30 m 空间分辨率的 Landsat8 卫星影像相比,具有分辨率优势,对地物细节拍摄得更清楚。但 Landsat8 影像具有多波段优势,对于颜色相近的不同地物通过不同波段组合具有更好的分辨能力。

2) 在保证相近的拍摄时间和一致地理坐标的情况下,微景一号 02 卫星与 Landsat8 卫星影像提取出来日照市东港区主要城区的裸地面积分别为 18.0 km² 和 20.4 km²,分别占研究区域面积的 7.2% 和 8.7%。微景一号 02 星与 Landsat8 卫星提取分类精度均达到 90% 以上,Kappa 系数也都大于 0.80。

3) 微景一号 02 星与 Landsat8 卫星反演识别日照市东港区主城区裸地面积有 1.5 个百分点的差异,裸地提取重合度占比微景一号 02 星裸地像元面积超过 72.2%,表明微景一号 02 星可以同传统遥感卫星例如 Landsat8 一样提供相当的裸地反演识别产品。

随着微景一号星座系统的发展,微景一号星座卫星能够提供稳定的影像质量,并且有着高空间分辨率以及过境时间的优势。随着星座系统的完善部署,更多微小卫星的发射升空和运用,能够提供更多种类型和稳定高效的数据服务,并在科研与遥感监测领域大有作为。

参考文献(References):

- [1] 胡敏,唐倩,彭剑飞,等.我国大气颗粒物来源及特征分析[J].环境与可持续发展,2011,36(5):15-19.
Hu M, Tang Q, Peng J F, et al. Study on characterization and source apportionment of atmospheric particulate matter in China[J]. Environment and Sustainable Development, 2011, 36(5): 15-19.
- [2] 黄辉军,刘红年,蒋维楣,等.南京市 PM_{2.5} 物理化学特性及来源解析[J].气候与环境研究,2006,11(6):713-722.
Huang H J, Liu H N, Jiang W M, et al. Physical and chemical characteristics and source apportionment of PM_{2.5} in Nanjing[J]. Climatic and Environmental Research, 2006, 11(6): 713-722.
- [3] 陈瑞敏,吴雁,康文英,等.连续雾霾天气污染物浓度变化及天气形势特征分析[J].气候与环境研究,2014,19(2):209-218.
Chen R M, Wu Y, Kang W Y, et al. Analysis of pollutant concentrations and characteristics of continuous smoggy weather[J]. Climatic and Environmental Research, 2014, 19(2): 209-218.
- [4] 王社扣,王体健,石睿,等.南京市不同类型扬尘源排放清单估计[J].中国科学院大学学报,2014,31(3):351-359.
Wang S K, Wang T J, Shi R, et al. Estimation of different fugitive dust emission inventory in Nanjing[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2014, 31(3): 351-359.
- [5] 方小珍,孙列,毕晓辉,等.宁波城市扬尘化学组成特征及其来源解析[J].环境污染与防治,2014,36(1):55-59.
Fang X Z, Sun L, Bi X H, et al. The chemical compositions and sources apportionment of re-suspended dust in Ningbo[J]. Environmental Pollution and Control, 2014, 36(1): 55-59.
- [6] Gillette D A, Passi R. Modeling dust emission caused by wind erosion[J]. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 1988, 93(d11): 14233-14242.
- [7] 潘月云,李楠,郑君瑜,等.广东省人为源大气污染物排放清单及特征研究[J].环境科学学报,2015,35(9):2655-2669.
Pan Y Y, Li N, Zheng J Y, et al. Emission inventory and characteristics of anthropogenic air pollutant sources in Guangdong Province[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(9): 2655-2669.
- [8] 肖晗,杨晓春,吴其重,等.西安市建筑施工扬尘排放的模型估算[J].环境科学学报,2019,39(1):222-228.
Xiao H, Yang X C, Wu Q Z, et al. Estimate emissions of construction fugitive dust in Xi'an[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, 39(1): 222-228.
- [9] 薛亦峰,周震,黄玉虎,等.北京市建筑施工扬尘排放特征[J].环境科学,2017,38(6):2231-2237.
Xue Y F, Zhou Z, Huang Y H, et al. Fugitive dust emission characteristics from building construction sites of Beijing[J]. Environmental Science, 2017, 38(6): 2231-2237.
- [10] 刘奥博,吴其重,陈雅婷,等.北京市平原区裸露地风蚀扬尘排放量[J].中国环境科学,2018,38(2):471-477.
Liu A B, Wu Q Z, Chen Y T, et al. Estimation of dust emissions from bare soil erosion over Beijing plain area[J]. China Environmental Science, 2018, 38(2): 471-477.
- [11] 杨卫芬,程钟,张洁,等.常州市裸露地面风蚀扬尘排放清单及分布特征研究[J].环境监测管理与技术,2020,32(2):56-60.
Yang W F, Cheng Z, Zhang J, et al. Research on emission inventory and distribution characteristics of wind erosion dust from bare ground in Changzhou[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2020, 32(2): 56-60.
- [12] 熊文成,徐永明,李京荣,等.天津市扬尘污染源中高分辨率遥感监测[J].遥感信息,2017,32(3):45-49.
Xiong W C, Xu Y M, Li J R, et al. Urban dust pollution sources monitoring based on medium and high resolution satellite imagery in Tianjin[J]. Remote Sensing Information, 2017, 32(3): 45-49.
- [13] 邓媛媛,巫兆聪,易俐娜,等.面向对象的高分辨率影像农用地分类[J].国土资源遥感,2010,22(4):117-121. doi: 10.6046/gtzyyg.2016.02.15.
Deng Y Y, Wu Z C, Yi L N, et al. Research on object-oriented classification of agricultural land based on high resolution images

- [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2010, 22(4): 117 – 121. doi: 10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 15.
- [14] 李亮, 应国伟, 文学虎, 等. 融合时间特征的高分辨率遥感影像分类[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(2): 91 – 98. doi: 10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 15.
- Li L, Ying G W, Wen X H, et al. Classification of high spatial resolution remotely sensed images by temporal feature fusion[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(2): 91 – 98. doi: 10.6046/gtzyyg. 2016. 02. 15.
- [15] 徐媛倩, 姜楠, 燕启社, 等. 郑州市裸露地面风蚀扬尘排放清单研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(4): 22 – 27.
- Xu Y Q, Jiang N, Yan Q S, et al. Research on emission inventory of bareness wind erosion dust in Zhengzhou[J]. Environmental Pollution and Control, 2016, 38(4): 22 – 27.
- [16] 张立坤, 李令军, 姜磊, 等. 北京建筑施工裸地时空变化及扬尘污染排放[J]. 环境科学, 2019, 40(1): 135 – 142.
- Zhang L K, Li L J, Jiang L, et al. Spatial and temporal distribution characteristics and fugitive dust emission of building sites in Beijing[J]. Environmental Science, 2019, 40(1): 135 – 142.
- [17] 李丹, 梅晓丹, 赵鹤, 等. GF-1 与 Landsat8 影像土地利用遥感解译对比分析[J]. 测绘工程, 2018, 27(10): 42 – 45.
- Li D, Mei X D, Zhao H, et al. Comparative analysis of GF-1 and Landsat8 image land use remote sensing interpretation[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2018, 27(10): 42 – 45.
- [18] 牛静. 京师一号卫星[J]. 卫星应用, 2019(10): 70.
- Niu J. Jingshi-1 (BNU-1) microsat[J]. Satellite Application, 2019(10): 70.
- [19] 徐涵秋, 唐菲. 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat8 遥感影像新增特征及其生态环境意义[J]. 生态学报, 2013, 33(11): 3249 – 3257.
- Xu H Q, Tang F. Analysis of new characteristics of the first Landsat8 image and their ecoenvironmental significance[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3249 – 3257.
- [20] 王振武, 孙佳骏, 于忠义, 等. 基于支持向量机的遥感图像分类研究综述[J]. 计算机科学, 2016, 43(9): 11 – 17.
- Wang Z W, Sun J J, Yu Z Y, et al. Review of remote sensing image classification based on support vector machine[J]. Computer Science, 2016, 43(9): 11 – 17.
- [21] 吴非权, 马海州, 沙占江, 等. 基于决策树与监督、非监督分类方法相结合模型的遥感应用研究[J]. 盐湖研究, 2005, 13(4): 9 – 13.
- Wu F Q, Ma H Z, Sha Z J, et al. Combining the decision tree and supervised, unsupervised technique to classify the satellite images[J]. Journal of Salt Lake Research, 2005, 13(4): 9 – 13.
- [22] 柏延臣, 王劲峰. 结合多分类器的遥感数据专题分类方法研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 555 – 563.
- Bo Y C, Wang J F. Combining multiple classifiers for thematic classification of remotely sensed data[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 555 – 563.
- [23] 吴志杰, 赵书河. 基于 TM 图像的“增强的指数型建筑用地指数”研究[J]. 国土资源遥感, 2012, 24(2): 50 – 55. doi: 10.6046/gtzyyg. 2012. 02. 10.
- Wu Z J, Zhao S H. A study of enhanced index-based built-up index based on Landsat TM imagery[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2012, 24(2): 50 – 55. doi: 10.6046/gtzyyg. 2012. 02. 10.
- [24] Meyer G E, Neto J C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 63(2): 282 – 293.
- [25] Woebbecke D M, Meyer G E, Vonbargen K, et al. Color indexes for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions[J]. Transactions of The ASAE, 1995, 38(1): 259 – 269.
- [26] Meyer G, Hindman T, Laksmi K. Machine vision detection parameters for plant species identification[J]. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1999, 3543.
- [27] Sezgin M, Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 146 – 168.
- [28] 崔方宁, 宋晓宇, 孙宝生, 等. 基于多时相 TM 影像的冬小麦面积变化监测[J]. 遥感信息, 2012, 27(5): 89 – 95.
- Cui F N, Song X Y, Sun B S, et al. Change detection of winter wheat area based on multi-temporal TM images[J]. Remote Sensing Information, 2012, 27(5): 89 – 95.
- [29] 吴一全, 孟天亮, 吴诗姝. 图像阈值分割方法研究进展 20 年 (1994—2014)[J]. 数据采集与处理, 2015, 30(1): 1 – 23.
- Wu Y Q, Meng T L, Wu S H. Research progress of image thresholding methods in recent 20 years (1994—2014)[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2015, 30(1): 1 – 23.
- [30] 周钰哲. 微小卫星特性与应用发展概述[J]. 数字通信世界, 2018(12): 26 – 27.
- Zhou Y Z. Overview of microsatellite characteristics and application development[J]. Digital Communication World, 2018(12): 26 – 27.

Application of domestic low – cost micro – satellite images in urban bare land identification

SUN Yiming¹, ZHANG Baogang¹, WU Qizhong¹, LIU Aobo¹, GAO Chao², NIU Jing³, HE Ping³

(1. College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Unit 63921 of People's Liberation Army, Beijing 100094, China; 3. Shenzhen Aerospace

Dongfanghong Satellite Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Low – cost microsatellites and their constellations are important directions in the development of satellite remote sensing in recent years. This is because they can effectively alleviate the questions such as the low transit

frequency of a single satellite and the high networking cost of satellites. Monitoring using remote sensing satellites is an important means to obtain bare land information in the ecological field owing to its wide coverage area and immunity to man-made interference. This study carried out exploratory research on urban bare land identification using the remote sensing images of low-cost micro-satellites of MV-1 Constellation. The identification results were compared to those obtained using Landsat8 images to explore the reliability of the implication of domestic low-cost micro-satellite images in urban bare land identification. To this end, this study selected Donggang District, Rizhao City, Shandong Province as an example and developed the extraction method that combines unsupervised vegetation indices-excess green and excess red (ExG-ExR)-with the maximum likelihood method. The results are as follows. ① The panchromatic images with a resolution of 5 m that were shot by Micro-satellite No. 02 of MV-1 Constellation can clearly reflect the current status of Donggang District. They have higher resolution and perform better in capturing details of ground features. However, they lack wave band advantages over Landsat8 images. ② The images of Micro-satellite No. 02 had an overall classification accuracy of 93.3% and a Kappa coefficient of up to 0.85. Therefore, the micro-satellites of MV-1 Constellation are reliable in bare land identification to some extent. ③ The difference between the bare land area in the Donggang urban area identified using Micro-satellite No. 02 images and Landsat8 images was 1.5 percentage points. This indicates that micro-satellites of MV-1 Constellation have equivalent inversion capacity in urban bare land identification to mainstream satellites under the conditions of proper algorithms, close shooting time, and consistent geo-coordinate correction.

Keywords: microsatellite; bare land inversion; satellites of MV-1 Constellation

(责任编辑: 李 瑜)