

# 利用融合后 WorldView 短波红外影像构建地物指数 及自动化分类研究

孟庆臻, 赵展

(山东建筑大学 测绘地理信息学院, 山东 济南 250101)

**摘要:** WorldView 卫星能够获取高分辨率的“可见光-近红外-短波红外”影像, 能够更好地反映地物光谱特性。对 WorldView 影像上各类地物的典型光谱特征进行分析, 利用融合后的 WorldView 的短波红外影像构建了一系列新的地物指数, 能够较好地地区分地物。利用这些指数结合形状等其他特征能够建立简单有效的规则集描述地物。在此基础上提出一种结合规则集和最近邻分类器的自动化分类方法。该方法首先利用地物的光谱特征、地物指数和形状特征建立规则集提取分类样本, 然后训练最近邻监督分类器分类, 实现自动化程度较高的地物分类。实验影像分类结果的总体精度达到 94.1%, Kappa 系数达到 0.91, 证明了该方法的有效性。

**关键词:** 短波红外; 图像分类; 地物识别; 自动化分类

中图分类号: TP391.413 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)07-0079-06

## Research on Building Land Index and Automatic Classification using Fusion WorldView Shortwave Infrared Images

MENG Qingzhen, ZHAO Zhan

(School of Surveying and Geo-informatics, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

**Abstract:** The WorldView satellite can obtain high resolution image covering the visible to near-infrared and short wave infrared wavelength ranges, which can better reflect the spectral characteristics of ground features. The typical spectral characteristics of various features in WorldView image are analyzed, and a new set of feature indexes, which are more discriminative, is proposed using short wave infrared bands of WorldView image in this paper. Using the new feature indexes, simple and effective rule set can be established to describe various ground features jointly with other characteristics such as shape. A new automated classification method combining rule set and nearest neighbor classifier is proposed on this basis. In this method, a rule set is established to extract the classification samples based on the spectral, feature index and shape characteristics of the ground feature, and then the supervised classifier is trained to classify the ground objects with high degree of automation. The overall classification accuracy of the experimental images is 94.1%, and the Kappa coefficient is 0.91, which proves the effectiveness of the proposed method.

**Keywords:** short wave infrared; image classification; ground objects identification; mechanized classification

### 0 引言

高分辨率遥感卫星影像一般空间分辨率较高但成像波段数较少, 难以充分反映不同地物的反射波谱特性, 制约了其精细提取地物信息能力, 且制作高精度地物分类影像往往耗费较多的时间和人力。WorldView-3、4 卫星是目前世界上成像光谱范围最宽的高分辨率民用遥感卫星, 相比于大多数遥感卫星只有蓝、绿、红、近红外四个成像波段, WorldView-3、4 卫星拥有 8 个可见光-近红外波段和 8 个短波红外(short wave infrared, SWIR)波段, 覆盖了

300 nm-2 365 nm 之间的波谱范围, 能够更好地反映不同地物的反射波谱特性, 有利于区分识别地物。国内外研究者对 WorldView-3、4 影像的应用进行了广泛研究。WorldView 影像中的红边波段和短波红外波段对农业精细遥感具有重要意义, 特别是短波段红外波段尤其有利于提高杂草、作物残茬、玉米和大豆等类别的分类精度<sup>[1]</sup>; 而在精细尺度农作物产量预测研究中, 四个时相的 WorldView 3 影像预测精度表现优于整个生长季的 25 个时相 PlanetScope 影像, 这主要归功于 WV-3 的 SWIR 波段以及红边波段<sup>[2]</sup>。另一方面, 作物秸秆在保持土壤水分、增加土壤有机碳、防止水土流失等方面具有重要作用, 研究表明 2 100-2 300 nm 波段的短波红外电磁波对纤维素和木质素吸收特征十分敏感, 利用 WorldView 短波红外影

\*基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2019FY202502); 山东建筑大学博士科研基金(X19031Z)

收稿日期: 2024-06-01

像可以构建相关作物残茬指数,进行精确的农作物残留物覆盖制图<sup>[3-5]</sup>。WorldView 短波红外影像在塑料温室制图也有重要应用,研究表明基于SWIR波段构建的归一化差分塑性指数(normalized difference planosol index, NDPI)等对于塑料大棚有较高的预测能力,提取精度优于97%<sup>[6]</sup>。而在热带半落叶林的树种识别研究中,加入WorldView-3短波红外波段后,树种识别的生产者精度平均提高了7.8%<sup>[7]</sup>。此外,短波红外影像在矿物探测领域具有重要应用<sup>[8]</sup>,国内外研究者利用Worldview3短波红外影像进行热液蚀变矿物探测、制图中展开了较多研究,如碳酸盐岩铅锌成矿制图<sup>[9]</sup>、铝镁矿制图<sup>[10-11]</sup>等。诸多对比研究表明,得益于Worldview3短波红外影像的空间分辨率和光谱分辨率均较高的,其提供了其他多光谱卫星无可比拟的矿物遥感制图能力,精度远远优于ASTER等其他卫星影像<sup>[12-14]</sup>。而WorldView3影像的第四短波红外波段(1 700 nm)对于烃类化合物较敏感<sup>[15]</sup>,可以用于露天矿砂中的沥青含量探测。此外,也有研究探索了WorldView 影像在其他领域的应用,如野火燃烧后的影响分析<sup>[16]</sup>、盐碱沼泽地分类<sup>[17]</sup>等,WorldView 短波红外影像均表现出很高的应用潜力。

现有研究证明WorldView的“可见光-近红外-短波红外”影像具有较高的地物信息提取潜力。然而由于感光成像原理差异,WorldView的短波红外影像的空间分辨率明显低于可见光-近红外波段影像。本文首先使用融合方法将短波红外影像的空间分辨率提升至同可见光-近红外波段影像一致,然后基于融合后的影像构建各种地物指数,利用构建的新地物指数集合地物形状特征可以建立简单有效的规则集描述地物,将规则集和监督分类器相结合,利用规则集实现自动获取分类样本并对分类结果进行修正,提高分类的自动化程度同时取得较高的分类精度,大幅降低了人工选取样本及结果修正所耗费的人力和时间。

## 1 研究区域与数据

本文的研究区域位于武汉市东西湖区,实验数据是WorldView 3卫星影像。WorldView 3卫星搭载了两个传感器,可见光-近红外传感器包含了海岸带(下文中简称为C)、蓝(简称为B)、绿(简称为G)、黄(简称为Y)、红(简称为R)、红边(简称为RE)、第一近红外(简称为NIR1)、第二近红外波段(简称为NIR2)等8个成像波段,短波红外传感器同样包含了8个波段(简称为SWIR1~8)。使用ENVI5.3软件分别对实验影像进行辐射定标和大气校正,将影像像素灰度值转换为反射率。实验影像如图1所示,从图上可以看出,实验影像上地物类型丰富,存在水体、裸地、植被、道路、各种不同建筑物等。



图1 实验区域与影像

由于感光成像原理差异,可见光-近红外波段影像和短波红外影像的空间分辨率并不一致,前者的空间分辨率为1.2 m,而后的空间分辨率只有7.5 m。因此,需要采用一定的处理方法将短波红外影像空间分辨率的分辨率提升至与可见光-近红外影像相同。本文采用结合主分量变换和小波变换的方法<sup>[18]</sup>提升短波红外影像分辨率。该方法首先分别对可见光-近红外影像和短波红外影像做主分量变换,然后分别对两个第一主分量图像做小波变换,然后用可见光-近红外影像第一主分量的高频信息替换短波红外影像第一主分量的高频信息,最后通过反小波变换和反主分量变换得到分辨率提升后的短波红外影像。提升效果如图2所示(SWIR4、3、2组合),从图中可以看出,在显著提升短波红外影像的空间分辨率同时,很好地保留了原始光谱特性。将分辨率提升后的短波红外影像和可见光-近红外影像组合,组成覆盖“可见光-近红外-短波红外”范围,总共十六个波段图像作为研究实验图像,如图3(a)所示(SWIR5、NIR2、R组合)。为了检查本文方法实验分类精度,采用人工目视判别影像确定影像上真实地物类别,所建立的精度检查样本如图3(b)所示。



(a) 原始短波红外影像



(b) 融合后的短波红外影像

图2 短波红外影像分辨率提升效果

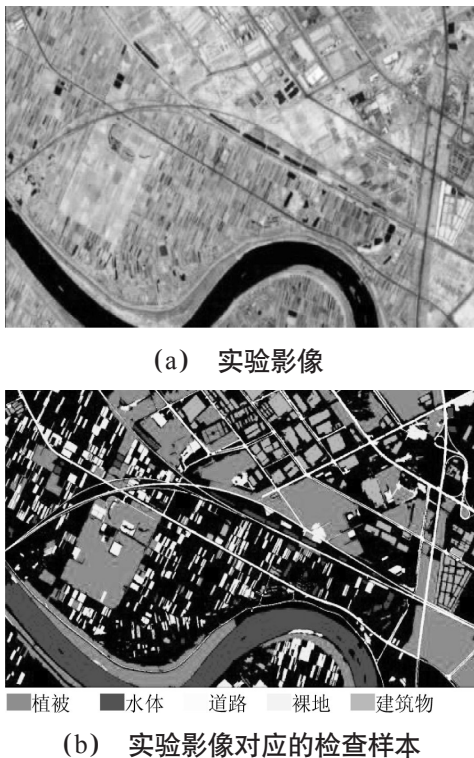


图3 WorldView 实验影像及对应地面真实类别检查样本

## 2 地物特征指数构建及提取规则分析

利用融合后的十六波段“可见光-近红外-短波红外”影像分析地物光谱特征,构建地物指数。在影像上选择典型的不同的地物类别包括植被、水体、裸地、水泥道路、建筑物(包括沥青屋顶和非沥青屋顶)等,显示反射波谱特性曲线如图4所示。通过分析各种地物的反射波谱曲线构建新的地物指数,基于新的地物指数结合其他特征(如形状特征)可以建立简单规则提取地物。

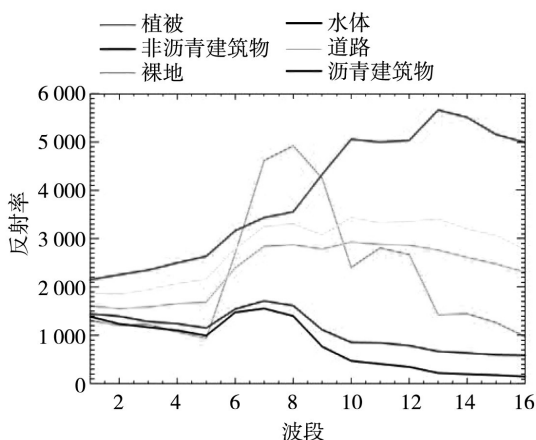


图4 WorldView 影像上不同地物的反射光谱曲线

水体的整体反射率较低,如图4所示,在可见光-近红外影像上,沥青材质的地物(如公路、房屋等)容易跟水体混淆,但在短波红外波段,二者有明显的区别。传统水体

指数(normalized difference water index, NDWI)是利用绿波段和近红外波段构建,即  $NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR}$ 。徐涵秋<sup>[19]</sup>针对TM影像,提出利用短波红外波段(TM的第五波段)代替近红外波段改进水体指数具有更好的水体区分能力。本文采用反射率更高的海岸带波段代替绿波段,在8个短波红外波段中选择第8短波红外波段,利用水体在二者上的反射率差异构建一个新的水体指数:

$$NDWI_{CS} = \frac{C - SWIR8}{C + SWIR8} \quad (1)$$

大部分建筑物的反射特点是在短波红外反射率较高,近红外波段次之,可见光波段最低。因此,利用短波红外和近红外波段的反射率差异可以构造归一化建筑物指数(normalized difference building index, NDBI)。以往的研究中,NDBI是基于中分辨率的Landsat TM影像构建的<sup>[20]</sup>,WorldView影像具有光谱分辨率更高的短波红外和近红外成像波段,有利于构建更好的NDBI。经过比较,选择第五短波红外波段和第二近红外波段构建针对WorldView影像的NDBI指数:

$$NDBI = \frac{SWIR5 - NIR2}{SWIR5 + NIR2} \quad (2)$$

裸地的反射特性与建筑物有一定程度的相似,同样是短波红外反射率>近红外波段>可见光波段,区别在于裸地在短波红外反射率与近红外波段差异更小,与可见光波段差异更大。因此,利用第四短波红外波段和红外波段构建归一化裸土指数(normalized difference building index, NDSI):

$$NDSI = \frac{SWIR4 - R}{SWIR4 + R} \quad (3)$$

需要注意的是,由于反射特性接近,建筑物和裸地易于混淆,建筑物也可能具有较高的NDSI数值,裸地也可能具有较高的NDBI数值。整体上建筑物的NDBI数值高于裸地,而NDSI低于裸地,结合两个指数可以区分二者,建立简单规则集提取。另一方面,建筑物的材料多种多样,其中沥青屋顶的建筑物较特殊,表现沥青的反射特性,NDBI数值较低。如前文所述,沥青的NDWI数值较高,且建筑物一般具有比较规则的矩形形状。对于这一类建筑物,可以利用NDWI和矩形度特征与其他地物进行区分。同样,由于建筑材料的相近,道路的光谱特征非常易于同建筑物和裸地混淆,而道路具有十分明显的长条带形状特征,因此可以利用长宽比特征提取道路。这里长宽比特征定义为对象最小外包矩形的长边和短边比值。对于部分“L”“Y”或“X”型的道路对象,其长宽比数值可能并不高,此时可以用紧致性特征区分,紧致性定义

为对象最小外包矩形面积与对象面积之比。

植被的光谱特性是在绿、近红外、短波红外波段存在反射峰值,在红、短波红外存在反射谷值,在绝大部分高分影像上只利用红波段和近红外波段的波谱特性,如归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)代表的各种植被指数,但这类指数对于同样红波段反射低和近红外反射高的地物也具有较高数值(如彩钢工厂的屋顶),对阈值设置造成困难。如图4所示 WorldView 影像包括了蓝波段到短波红外波段的光谱范围,可以全面地反映植被的反射特性,这种曲线的形状特征相比于单一指数具有更好的区分能力。因此,结合利用NDVI和 WorldView 影像上植被的反射波谱曲线特征,可以非常容易地将植被与其他地物区分。

### 3 规则集和监督分类器相结合的自动化分类方法

基于训练样本的监督分类方法是最常用的影像分类方法,训练样本的选择对分类结果有较大的影响。一般要求训练样本具有准确性、代表性和统计性,并在分类结果不理想时进行调整<sup>[21]</sup>,在实际应用中样本选择是一个较费时费力的过程。目前热门的基于深度学习的分类方法更是要求数据量巨大的训练样本集<sup>[22]</sup>。另一种常用的方法是基于专家知识和地物特征建立提取规则(集)提取各类地物,例如利用归一化植被指数提取植被,利用归一化水体指数提取水体等。这类方法的问题是一般仅适用于植被、水体等特征非常明显的地物,另一方面是在规则中设置合适阈值并不容易。WorldView 3 影像包含了“可见光-近红外-短波红外”的光谱范围,能够更好地反应各种地物的独特光谱特性。基于地物类别的先验知识,充分利用前文所述基于 WorldView 影像光谱特征构建的各种地物指数并结合一定的形状特征,建立简单的规则集从影像中自动获取各个类别的分类样本,训练监督分类器,实现自动分类过程,对于分类结果中的明显错误,可进一步利用规则集进行后处理修正。整体流程如图5所示。在本文方法中,规则集的作用是获取分类样本,只需保证提取的样本准确且有一定数量即可,因此对于阈值设置要求较低。基于上文对各类地物的特征分析和地物指数,结合各类地物的光谱、形状特征,针对实验影像建立提取规则集提取样本。在建立提取规则时,利用地物的光谱特征,尽量建立不同波段间相互大小关系规则,以减少阈值确定工作。在阈值确定过程中,由于规则的作用是提取一定数量的样本,并不需要提取所有对象。因

此阈值设置中只需保证没有误提样本即可,阈值设置的难度显著降低。其中,建筑物由于非沥青屋顶房屋和沥青屋顶房屋光谱特征差异较大,建立两个规则集分别提取,其他地物均建立一个规则集。最终建立的样本提取规则集如表1所示。

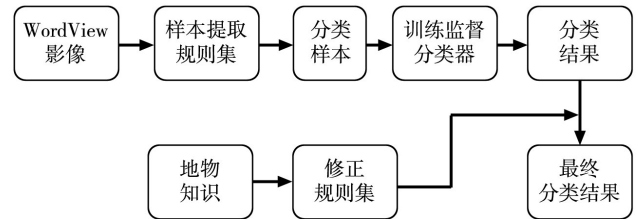


图5 WorldView 影像分类流程

表1 样本提取规则集

类别	提取规则
植被	$NDVI > 0.3; Nir2 > Swir3 > Swir7; Nir2 > G > R; Swir3 > Swir2$
建筑物	$NDBI > 0.1; Swir3 > Nir2 > G$ (提取非沥青房屋) 或 $0.3 < NDWICS < 0.7; NDVI < 0.3; 矩形体 > 0.96$ (提取沥青房屋)
道路	长宽比 $> 20; NDVI < 0.3$
裸地	$NDBI < 0.01; NDSI > 0.3; Swir3 > Nir2 > G; Nir2 > G$ ; 长宽比 $< 5$
水体	$NDWICS > 0.7$

基于规则集提取分类样本后,利用样本训练分类器对整个影像进行自动分类。由于不同地物之间存在光谱、形状等特征的相似性,分类结果仍然存在相似地物间的混淆错分。此时,同样可以利用上述规则对部分明显错分结果进行一定修正。

### 4 实验结果与分析

WorldView 影像空间分辨率较高,为了避免分类结果的“椒盐现象”以及充分利用形状特征,采用基于面向对象分析的分类方法。首先对影像进行多尺度分割,分割过程中形状参数权值设为0.4,紧致性参数设为0.5。分割过程中,采用逐渐增加分割尺度方式获得合适的分割结果。经过比较,选择尺度120的分割结果进行分类。对于实验图像,利用建立的样本提取规则集提取的样本如图6所示。

利用提取的样本训练最近邻分类器对整个影像分类,分类特征使用全部16个光谱特征和上文计算的NDVI、NDWI、NDBI、NDSI等指数特征,以及长宽比、矩形体等形状特征。分类结果如图7所示。从图中可以看出,监督分类结果仍然存在一定的混淆,特别是光谱特征相近的裸地、道路、建筑物之间存在错分,如部分裸土农田被误分为道路,部分道路被误分为裸地,部分建筑物被误分

为道路等。针对这些错分,可以进一步建立错分修正规则集修正明显错分区域。其中,细长的裸土农田在形状和光谱上都与道路样本接近而被误分为道路。道路一般是相互连通形成路网,因此先将相邻的道路连接形成较大的道路对象,此时真实的道路对象面积较大,紧致性数值较大,因此可以利用这两个特征并结合其他特征修正为正确的类别(主要是裸地或建筑物,二者可通过NDBI进行区分)。同理,部分“L”或“X”型的道路被误分为其他地物,通过紧致性可以修正。而被误分为植被的裸地通过NDVI即可简单修正。最终建立的修正规则集如表2所示。

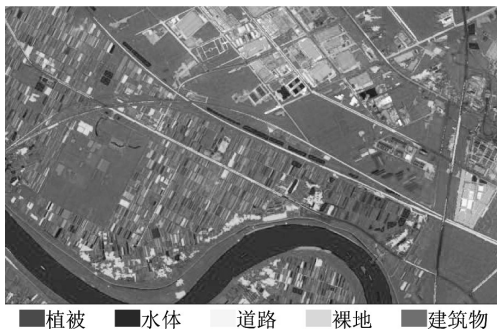


图6 基于规则集自动提取的训练样本

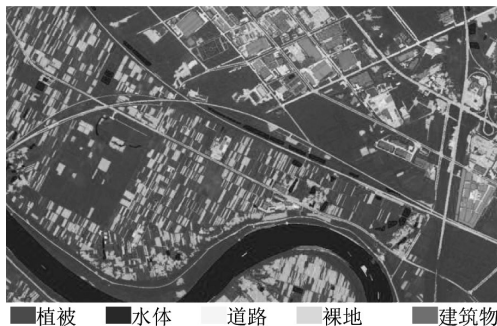


图7 最近邻监督分类结果

表2 错分修正规则集

错分类别	修正类别	修正规则
道路	裸地	紧致性<3;长宽比<5;NDBI<-0.1;面积<5 000
植被	裸地	NDVI<0.3;
道路	建筑物	紧致性<3;长宽比<5;NDBI>-0.1;面积<60 000
建筑物、裸地、植被	道路	紧致性>15

修正后的最终分类结果如图8所示。从图中可以看出,部分区域中道路、裸地、建筑物等之间错分混淆现象得到了明显的改善,各类地物类别准确性较高。利用上文所述的地面真实类别结果对分类结果进行精度评价,统计结果如表3所示。从表中可以看出,自然地物如水体、植被等分类精度较高,用户精度和生产者精度均在96%以上,道路、建筑物等人工地物精度相对低一些,基本超过85%。总的来说,实验影像分类的总体精度达到94.1%,Kappa系数达到0.91,证明了WorldView的“可见

光-近红外-短波红外”影像对地物精确分类的区分性能,以及本文所提出的自动化分类方法的有效性。另一方面,分类结果中仍然存在错分现象,主要是部分建筑物被误分为道路或裸地。主要是村落中的房屋与植被相互遮掩易被误分,以及部分房屋与道路相连被误分。本文下一步研究的方向是改善分割结果,并加入纹理等更多空间分类特征,进一步提高建筑物等人工地物的分类精度。

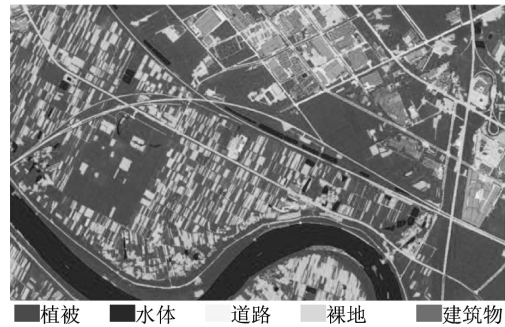


图8 最终分类结果

表3 分类结果精度检查

分类类别 \ 真实类别	植被	建筑物	裸地	道路	水体	用户精度
植被	3 162 572	14 021	73 542	35 094	6 270	96.1%
建筑物	849	597 075	36 997	6 101	0	93.1%
裸地	28 258	78 042	913 122	40 033	626	86.1%
道路	6 070	58 014	7 970	595 335	0	89.2%
水体	0	0	0	0	957 851	100.0%
生产者精度	98.9%	79.9%	88.5%	88.0%	99.3%	
总体精度	94.1%					
Kappa系数	0.91					

## 5 结束语

本文基于融合后的WorldView“可见光-近红外-短波红外”影像,分析各类地物的典型光谱特征并提出一系列地物指数,对各类地物具有较好的区分能力。利用地物的光谱特征、地物指数和形状特征提出一种结合样本提取规则和监督分类器的自动化分类方法,实现自动化程度较高的高精度地物分类,提高了处理效率,实验影像的总体分类精度达到94.1%,Kappa系数达到0.91。在分类结果中,人工地物的分类精度相对低于自然地物。研究分析人工地物在WorldView各波段影像上的纹理、上下文等空间特征,提高人工地物的分类精度,是下一步的主要研究内容。

## 参考文献:

- [1] SIDDIKI P, SAGAN V, MAIMAITIJIANG M, et al. dPEN: Deep progressively expanded network for mapping heterogeneous agricultural landscape using WorldView-3 satellite imagery [J]. Remote

sensing of environment, 2019(221): 756-772.

[2] VSA B, MMA B, SBA B, et al. Field-scale crop yield prediction using multi-temp-oral WorldView-3 and PlanetScope satellite data and deep learning[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2021(174): 265-281.

[3] HIVELY W D, LAMB B T, DAUGHTRY C S T, et al. Mapping crop residue and tillage intensity using WorldView-3 satellite shortwave infrared residue indices[J]. Remote Sensing, 2018, 10(10): 1657.

[4] HIVELY W D, SHERMEYER J, LAMB B T, et al. Mapping crop residue by combining Landsat and WorldView-3 satellite imagery[J]. Remote Sensing, 2019, 11(16): 1857.

[5] QUEMADA M, HIVELY W D, DAUGHTRY C S T, et al. Improved crop residue cover estimates obtained by coupling spectral indices for residue and moisture[J]. Remote Sensing of Environment, 2018(206): 33-44.

[6] AGUILAR M A, JIMÉNEZ-LAO R, AGUILAR F J. Evaluation of object-based greenhouse mapping using WorldView-3 VNIR and SWIR Data: a case study from almería (Spain)[J]. Remote Sensing, 2021, 13(11): 2133.

[7] FERREIRA M P, WAGNER F H, ARAGÃO L E O C, et al. Tree species classification in tropical forests using visible to short-wave infrared WorldView-3 images and texture analysis [J]. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 2019(149): 119-131.

[8] PARK H, CHOI J. Mineral detection using sharpened VNIR and SWIR bands of Worldview-3 satellite imagery[J]. Sustainability, 2021, 13(10): 5518.

[9] SEKANDARI M, MASOUMI I, BEIRANVAND POUR A, et al. Application of Landsat-8, Sentinel-2, ASTER and WorldView-3 spectral imagery for exploration of carbonate-hosted Pb-Zn deposits in the Central Iranian Terrane (CIT)[J]. Remote Sensing, 2020, 12(8): 1239.

[10] SUN Y, TIAN S, DI B. Extracting mineral alteration information using World-View-3 data[J]. Geoscience Frontiers, 2017, 8(5): 1051-1062.

[11] SON Y S, YOU B W, BANG E S, et al. Mapping alteration mineralogy in eastern tsogettsetsii, mongolia, based on the world-view-3 and field shortwave-infrared spectroscopy analyses [J]. Remote Sensing, 2021, 13(5): 914.

[12] SALEHI T, H TANGESTANI M. Evaluation of world-view-3 vnir and swir data for hydrothermal alteration mapping for mineral exploration: case study from northeastern isfahan, iran[J]. Natural Resources Research, 2020(29): 3479-3503.

[13] YE B, TIAN S, GE J, et al. Assessment of WorldView-3 data for lithological mapping[J]. Remote Sensing, 2017, 9(11): 1132.

[14] KRUSE F A, BAUGH W M, PERRY S L. Validation of DigitalGlobe WorldView-3 Earth imaging satellite shortwave infrared bands for mineral mapping [J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2015, 9(1): 096044.

[15] ASADZADEH S, DE SOUZA FILHO C R, NANNI M R, et al. Multi-scale mapping of oil-sands in Anhembi (Brazil) using imaging spectroscopy [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019(82): 101894.

[16] WARNER T A, SKOWRONSKI N S, GALLAGHER M R. High spatial resolution burn severity mapping of the New Jersey Pine Barrens with WorldView-3 near-infrared and shortwave infrared imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2017, 38(2): 598-616.

[17] COLLIN A, LAMBERT N, ETIENNE S. Satellite-based salt marsh elevation, vegetation height, and species composition mapping using the superspectral World-View-3 imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2018, 39(17): 5619-5637.

[18] 赵展, 卢莹, 复旺, 等. 利用融合方法提升 WorldView 短波红外影像分辨率[J]. 测绘通报, 2017(12): 16-20.

[19] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.

[20] ZHA Y, GAO J, S. N I. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3): 583-594.

[21] 孙家柄. 遥感原理与应用(第3版)[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2013: 214-221.

[22] 门计林, 刘越岩, 张斌, 等. 多结构卷积神经网络特征级联的高分影像土地利用分类[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2019, 44(12): 1841-1848.

作者简介: 孟庆臻(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 资源与环境专业, 遥感 GIS。

通信作者: 赵展(1984—), 男, 讲师, 研究方向: 遥感图像分类、变化检测。