

引用格式:方朝阳,郭浩,陶长华,等.鄱阳湖南矶湿地景观信息高分辨率遥感提取[J].地球信息科学学报,2016,18(6):847-856. [Fang C Y, Wu H, Tao C H, *et al.* 2016. The wetland information extraction research of Nanji wetland in Poyang lake based on high resolution remote sensing image. Journal of Geo-information Science, 18(6):847-856.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00847

鄱阳湖南矶湿地景观信息高分辨率遥感提取

方朝阳^{1,2,3}, 郭浩², 陶长华², 高丹^{1,2,3}, 周华⁴

1. 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022;
2. 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022;
3. 流域生态与地理环境监测国家测绘地理信息局重点实验室, 南昌 330209; 4. 江西省地理国情监测遥感院, 南昌 330046

The Wetland Information Extraction Research of Nanji Wetland in Poyang Lake Based on High Resolution Remote Sensing Image

FANG Chaoyang^{1,2,3*}, WU Hao², TAO Zhanghua², GAO Dan^{1,2,3} and ZHOU Hua⁴

1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;
2. School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 3. Key Laboratory of Watershed Ecology and Geographical Environment Monitoring, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Nanchang 330209, China; 4. Institute of Remote Sensing Monitoring of Geographical Conditions, Nanchang 330046, China

Abstract: The Nanji wetland of Poyang Lake is a typical wetland of the water-carrying type. It is quite difficult to accurately extract the information of wetland landscape from remote sensing images with the traditional information extraction approaches due to the complicated hydrology conditions and arduous field verification, and moreover, the mud flat, swamp and infested water (schistosomiasis) is widely distributed in the region. This study chose GF image as the data source, with the auxiliary data of digital elevation model (DEM), normalized difference vegetation index (NDVI) and normalized difference water index (NDWI) to ensure the accuracy of information extraction. And it uses the object-oriented classification method to extract the landscape information of the Nanji wetland, which achieved some reasonable classification results indicating in the following part; (1) Based on the object-oriented classification of domestic GF satellite remote sensing images, which contains the spectral, spatial structure and texture features, this study makes a comprehensive utilization of the multi-source data in the classification calculation, and the precision of its classification result is significantly higher than the object-oriented classification of single-source; (2) The object-oriented method of multi-source remote sensing data has better distinguish ability for mixed pixels. It obtains a higher overall accuracy of 94.3275% and a Kappa coefficient of 0.9324, which indicates a distinctive high degree of accuracy and reliability. It has effectively solved the classification problem in extracting the wetland landscape of water-carrying; (3) This method makes up the deficiency in the object-oriented classification method of single-source remote sensing image, and it acts as an important reference and has the practical significance for effectively extracting the information of water-carrying wetland landscape through the domestic GF remote sensing image. Finally, we put forward some issues to be resolved and illustrated the future research direction of the object-oriented classification of multi-source data.

Key words: GF-1 remote sensing image; Nanji wetland; multi-source data; object-oriented classification

***Corresponding author:** FANG Chaoyang, E-mail: fcy@jxnu.edu.cn

收稿日期 2015-09-16; 修回日期: 2015-11-06.

基金项目 江西省重大生态安全问题监控协同创新中心(JXS-EW-00); 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室主任基金(ZK2013004); 江西省对外科技合作计划(20123BDH80012); 国家测绘地理信息公益性行业科研专项(201512026); 国家科技支撑计划课题(2015BAH50F03)。

作者简介 方朝阳(1971-), 男, 江西南丰人, 博士, 教授, 主要从事空间信息科学、环境遥感和虚拟现实研究。
E-mail: fcy@jxnu.edu.cn

摘要 鄱阳湖南矶湿地是亚热带典型过水性湿地,由于该区域水文情况复杂,且泥滩、沼泽和疫水(血吸虫)分布较广,导致野外考察验证工作困难,使用传统的遥感信息提取方法很难保证该地区湿地景观的提取精度。本文以高分一号影像为数据源,综合运用数字高程模型(DEM)、归一化植被指数(NDVI)、归一化水体指数(NDWI)等辅助数据,采用面向对象分类方法,对鄱阳湖南矶湿地景观信息进行提取研究,并取得了较好的分类效果。研究结果表明:(1)基于国产高分辨率影像的面向对象分类,既兼顾了国产高分辨率影像光谱、空间、结构、纹理信息,又综合利用多源辅助数据参与到分类计算中,分类精度得到明显的提升;(2)基于面向对象与多源数据分类方法对湿地混合像元有较好地识别能力,可获得较高的总体分类精度(94.3275%)和Kappa系数(0.9324),说明利用多源数据的面向对象方法提取湿地信息是可行的,其分类结果具有较高的准确性和可信度,较好地解决了过水性湿地景观分类问题;(3)该分类方法弥补了单一遥感影像分类方法的不足,对研究国产高分卫星在提取过水性湿地景观信息方面具有重要的参考和实际意义。最后,分析了多源数据面向对象分类尚待解决的问题和下一步的研究方向。

关键词: GF-1 遥感影像;南矶湿地;多源数据;面向对象分类

1 引言

湿地有“地球之肾”之称,是自然界最重要的生态系统之一,对生物多样性保护和人类环境具有重要的意义。湿地景观类型分类是进行湿地研究的重点和基础,对各湿地景观类型边界的确定、面积的统计以及后续湿地科学研究(湿地结构、功能、价值等)结果的精度和有效性均造成直接的影响^[1-2]。因而湿地景观遥感信息分类效率和精度成为当前研究的热点^[3-4]。

遥感技术不断向多平台、多时像、多光谱、多传感器和高空间分辨率趋势发展,利用光学、热红外和雷达等对地观测卫星系统获取大范围实时的高精度地物信息^[5]。目前,目视解译和计算机自动分类是遥感信息分类的2种主要方法^[6]。目视解译方法具有地物类型定位差、地物解译时间周期长、工作量大、解译主观性强以及要求研究者具有丰富的知识经验等缺点^[7-9]。而传统基于像元计算机自动分类主要利用影像光谱信息进行湿地信息提取,没有对高空间分辨率影像丰富的纹理、结构信息加以充分利用,使分类结果出现大量的“椒盐现象”,因此分类精度不能满足实际需要^[10]。由于前2种分类方法的缺陷,针对高空间分辨率影像的面向对象分类方法应运而生。面向对象分类方法以“对象”为处理单元,这些“对象”则是由相同地物类型像元而组成,因此很大程度上解决了基于像元分类出现的光谱混淆、混合像元的问题^[11-12]。

目前,国内外已有许多学者开展了面向对象遥感信息提取研究和尝试。在国外,Mui等^[13]采用多尺度分割的面向对象方法对加拿大Ontario省3个不同类型湿地进行分类,其中高分辨率遥感影像对分类精度有至关重要的影响。Dronova Iryna等^[14]

通过选取了8景鄱阳湖低水位时期的北京一号小卫星影像,利用面向对象分类方法对其进行湿地类型分类,结果验证了基于面向对象方法对北京一号卫星的湿地分类结果具有良好的适应性。在国内,莫立江等^[15]利用Landsat TM影像数据,以杭州湾南岸地区为研究区域,分析了面向对象方法在中低分辨率遥感影像的湿地信息提取中的有效性。程乾等^[16]基于高分一号和资源3号影像,采用面向对象分类法和最大似然法对杭州湾南岸滨海陆地土地覆盖信息分别进行提取和比较,其结果表明面向对象分类方法获得更高的分类精度。此外,也有众多学者把多源数据作为辅助数据加入遥感信息提取研究中,如袁金国等^[5]以河北丰宁县为例,说明多源数据融合方法在遥感信息提取中的具体应用。张继平等^[6]基于ASTER影像,运用面向对象分类方法,对珠穆朗玛峰国家级自然保护区核心区的水体及冰川信息进行了提取研究。孔博等^[8]基于面向对象多源数据对横跨3个国家(尼泊尔、中国、印度)的国际跨界河流(柯西河流域)进行了土地覆被分类和提取,证明了国际跨界河流土地覆被分类方法的可行性和准确性。

鄱阳湖南矶湿地作为国内最大的内陆河口三角洲,受到河、湖、陆三重作用,是亚热带内陆典型的水位高动态变化型过水性湿地,且湿地景观多处于水生、半水生环境下的水陆过渡带,在遥感影像上容易出现混合像元,使各景观类型更难以辨别,而使用传统的基于像元的分类方法容易导致湿地景观类型的错分、漏分,影响分类精度。因此,如何快速、准确地对过水性湿地信息的提取是当前亟待解决的问题。近年来,国内外众多学者对多源遥感数据融合的面向对象法的湿地景观信息提取进行了大量的研究,但大多数参与湿地面向对象分类的

数据为国外遥感影像或中低分辨率多源数据,由于中低分辨率多源数据受空间分辨率的制约,其在解决小尺度复杂性过水性湿地信息提取方面存在较大的不足。而湿地类型与非湿地类型在高程、遥感指数等特征信息方面均存在明显的差异,因而可综合利用国产高分辨率影像、DEM等多源数据可有效地对湿地与非湿地类型进行区分。然而,目前针对国产高分辨率影像以及DEM等数据参与面向对象分类研究还处于初始阶段^[17]。

鄱阳湖南矶湿地的生物多样性是鄱阳湖湿地中最富集的地区之一,具有“鄱湖宝岛、湿地明珠”之称,作为全球重要水鸟栖息地和中转站,其栖息地的保护直接关系到鄱阳湖甚至是全球的生态安全。但是,目前针对该区域进行湿地遥感景观信息提取方面鲜有研究,不利于南矶湿地资源的科学管理与保护。因此,本文以鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区为研究区,基于最新国产高分一号遥感影像和多源数据,采用面向对象方法,对研究区湿地景观类型进行自动化提取。

2 研究区域与数据

2.1 研究区概况

鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区位于鄱阳

湖南部区域,是由赣江三大支流(南支、中支和北支)冲击形成的内陆河口三角洲,保护区面积333 km²,地理位置介于116°10'24"~116°23'50"E,28°52'21"~29°06'46"N之间。保护区属亚热带季风气候区,地貌形态以湖泊和岛屿(南山、矾山二岛)为主(图1)。

2.2 数据

高分一号卫星搭载了2台(2 m/8 m分辨率)PMS多光谱相机(表1),以及4台16 m分辨率WFV多光谱相机。本文使用的是2013年12月21日高分一号PMS相机影像,当天影像质量良好,无云覆盖。

表1 高分一号PMS相机波段信息

Tab.1 Band information of GF-1 PMS image

波段	空间分辨率/m	波谱范围/ μm
全色波段	2	0.45~0.90
蓝色波段	8	0.45~0.52
绿色波段		0.52~0.59
红色波段		0.63~0.69
近红外波段		0.77~0.89

其他辅助数据包括:1:50 000 DEM数据、ND-VI、NDWI、基础地理数据(研究区边界图、功能区划图、水系图等)、鄱阳湖土地利用数据、鄱阳湖地图集和野外实地调查资料等。

(1)归一化植被指数
NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)

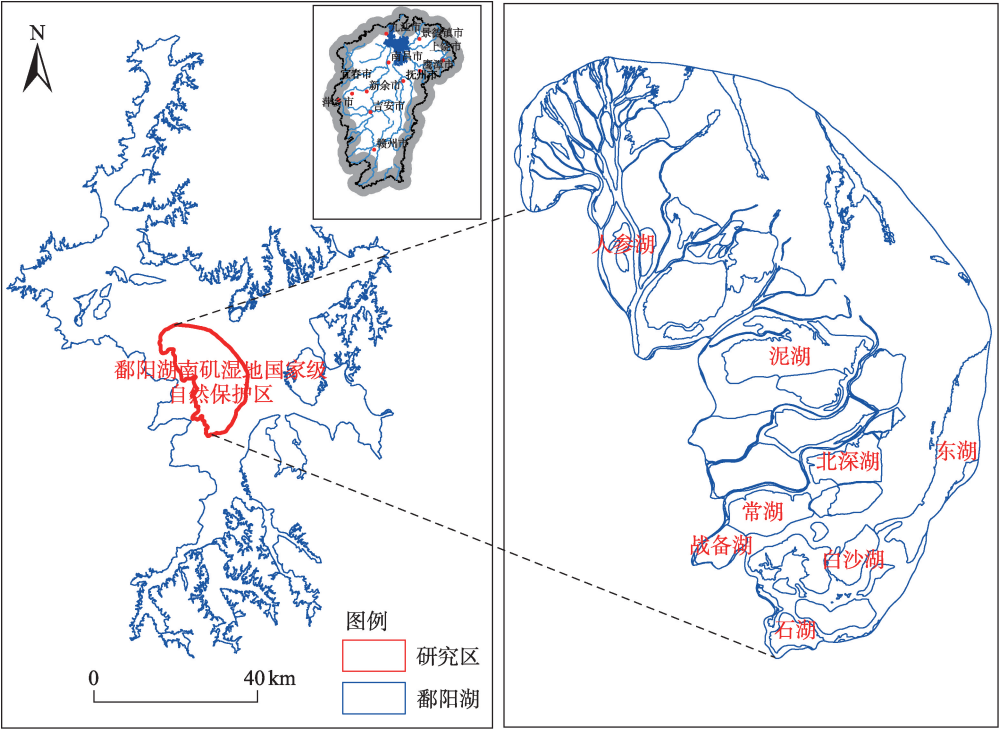


图1 研究区地理位置图
Fig.1 Location of the study area

归一化植被指数,既可显示植被的分布情况,也可反映植被生长状态,因此广泛用于植被覆盖度监测、植被分布范围提取、植被健康程度检测以及生长状况等方面的研究。其计算公式如式(1)所示。

$$NDVI = \frac{p_{nir} - p_{red}}{p_{nir} + p_{red}} \quad (1)$$

(2)归一化水体指数

NDWI (Normalized Difference Water Index) 归一化水体指数,用来提取影像中的水体信息,效果较好。其计算公式如式(2)所示。

$$NDWI = \frac{p_{green} - p_{nir}}{p_{green} + p_{nir}} \quad (2)$$

式中: p_{green} 、 p_{red} 、 p_{nir} 分别代表高分一号遥感影像绿波段、红波段、近红外波段反射率。

3 湿地分类与数据处理

3.1 湿地分类

分类系统必须根据研究目的来确定,分类层次对应着相应的研究尺度^[18]。同时,湿地分类精度提高直接受分类系统构建的制约。国际上还没有一个公认的湿地分类标准、体系和方案^[19],湿地分类系统制定关系着图像处理、解译以及湿地制图工作。目前,湿地景观分类通常参考国际湿地公约和国家林业局湿地调查所采用的分类体系^[20-22],公认的湿地分类标准是1990年第四届缔约国大会上建立的《湿地公约》的分类系统,后来经过进一步修正,海洋和海岸湿地为12类、内陆湿地为20类、人工湿地为10类,其中内陆湿地属于天然湿地的一种,并把水塘分类为人工湿地^[23]。依据研究区遥感影像湿地景观类型特点和保护区实际情况,结合已有的研究资料和国内外普遍采用的湿地分类体系,采用如表2湿地景观分类系统。南矶湿地水田和旱地面积较少,且集中分布在南山岛和矾山岛,在遥感影像上较难区分,因此把2类归为耕地。研究区道路、居民点和工矿用地面积较小且集中分布,故归为建筑用地。

3.2 技术路线

本文以鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区为研究对象,利用GF-1丰富的结构和纹理信息,选取具有典型特征的湿地类型,对实验区进行面向对象的分类实验。首先对GF-1遥感影像进行预处理工

作,包括辐射定标、大气纠正、正射纠正、镶嵌、融合及裁剪等工作;其次把所有数据统一投影到WGS1984坐标;而后对多源数据进行面向对象分类湿地景观信息提取;最后对湿地分类结果进行精度评价和分析。具体技术路线如图2所示。

4 湿地信息提取

由于湿地和非湿地的特点非常明显,根据南矶湿地地形特点,非湿地类型主要分布于南山岛和矾山岛,而两岛又是整个研究区地势最高的区域。因此可以通过设置DEM阈值进行提取。研究区地势较为低洼且平坦,主要以洲滩和水体为主,因此湿地类型分布范围较广,而非湿地分布较为集中且面积较小。本文通过选取不同景观类型的训练样区后,设置 $DEM \geq 15.64$ m为非湿地, $DEM < 15.64$ m为湿地类型。然后,通过设置高分一号1-4波段、NDVI、NDWI和DEM阈值进行不同种类湿地景观提取。具体分类规则如图3所示。

4.1 湿地类型的提取










(1)河流、湖泊信息提取

通常水体信息可以通过光谱信息来提取,但是由于研究区域水体复杂,水网密布,且水体的深浅和浑浊度的不同,提取效果不理想。通过引入NDWI归一化水体指数,设定NDWI阈值易区分这些水体与其他地物类型。河流、湖泊空间特征明显,可通过空间特征进行区分。由于河流的周长较长、圆度较小,而湖泊、水塘圆度较为相似,但湖泊的空间连续性较好,湖泊面积相对较大,所以易区分河流、湖泊和鱼塘。

(2)泥滩、草洲、茭白提取

草洲和泥滩2种地物的高程相似,因此仅利用高程信息很难将二者提取出来,可通过GF-1丰富的明度、色度和饱和度信息,找出不同景观类型的颜色空间差异性,并设定相应的颜色空间规则阈值进行湿地信息提取。由于草洲在GF-1假彩色影像中呈现深浅不一的红色,而泥滩呈现浅灰色和深灰色,很容易将二者区分开来。当然,也有部分泥滩、草洲易在其交界的区域形成混合像元,可通过NDVI阈值进一步区分。而茭白分布于地势低洼的地区,水份较多,光谱颜色呈浅白色,易与泥滩和草洲区分。研究区湿地类型提取结果如图4所示。

表2 鄱阳湖南矶湿地景观分类系统及其各类型景观解译标志

Tab.2 Classification system and interpretable symbols for each type of the wetland landscape						
一级类型		二级类型	颜色特征	形状、纹理	遥感影像	类型含义
湿地	天然湿地	河流	浅蓝色、深蓝色	线状;均匀		水流速度较快的水体,深度较大
		湖泊	浅蓝色、深蓝色	大面积面状;总体均匀,局部无规则		主要是包括保护区蝶形湖泊群和部分主湖体,水深较浅,一般为理想的涉禽和游禽栖息地
		泥滩	深灰色、浅灰色	环状或面状;均匀		水生床出露,紧接水体
		草洲	浅红色、深红色、褐色略带黄色	环状或面状;总体均匀		主要包括南荻群丛、芦苇群丛和苔草群丛等
		茭白	白色、浅黄色	面状;总体均匀		主要分布于地形较为低洼地区
人工湿地	鱼塘	深蓝色	规则矩形;均匀		形状较为规则的水产养殖地	
非湿地	耕地	深红色、浅红色	面状;总体均匀		包括旱地和水田,主要分布在南山岛和矾山岛	
	建筑用地	灰白色	无规则面状;不均匀		包括道路、居民、水坝和建筑设施,集中分布在南山岛和矾山岛	
	林地	深红色	面状;较为均匀		包括树木和高大的灌丛,主要分布于矾山岛	

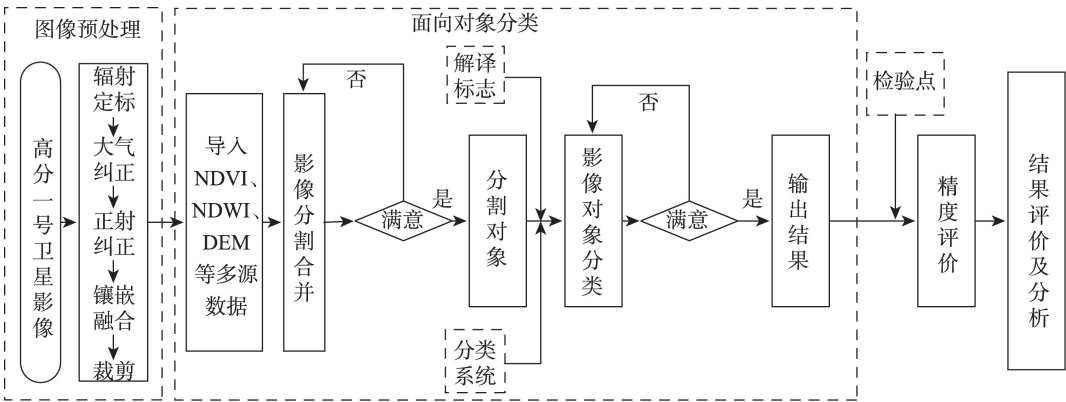


图2 技术路线流程图

Fig.2 The technique flow chart

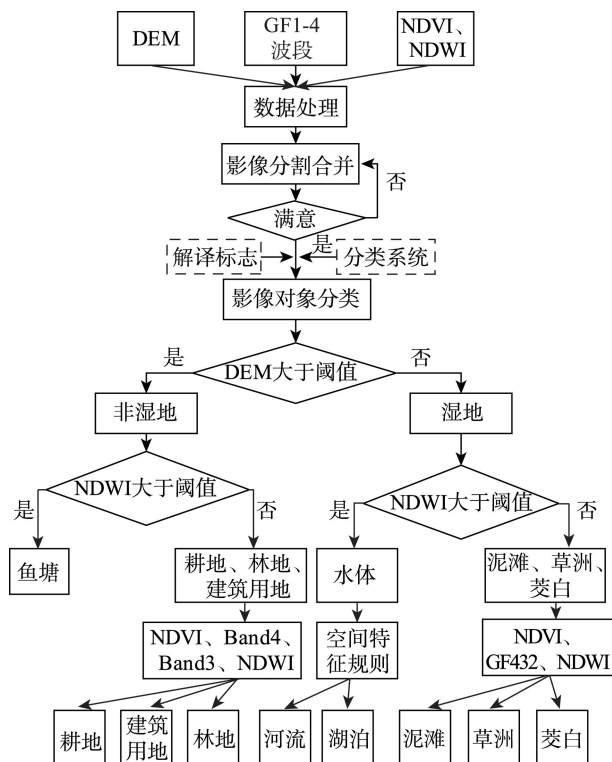


图3 鄱阳湖南矶湿地类型分类规则示意图

Fig.3 Schematic diagram of wetland classification rules

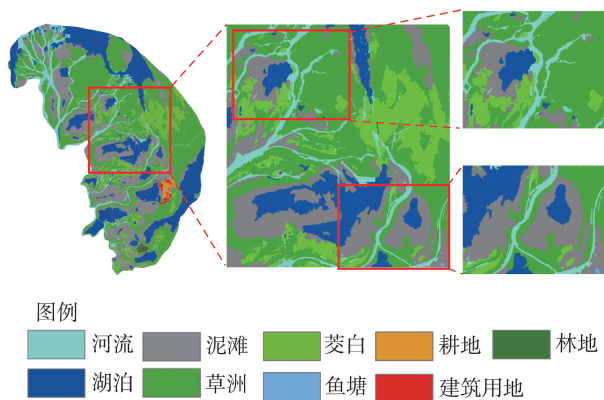


图4 研究区内湿地类型提取结果图

Fig.4 Wetland type extraction results of the study area

4.2 非湿地类型的提取

研究区非湿地类型主要包括耕地、建筑用地和林地,其中耕地、建筑用地主要分布在南山岛,林地分布于矾山岛。而两岛也是整个保护区地势最高的区域,所以大部分区域海拔都在 15.64 m 以上。保护区地广人稀,人口较少,耕地、建筑用地和林地分布范围较小且集中。3种地物类型呈现交错分布格局,通过DEM阈值很难将其区分,故本文通过设置NDWI阈值来提取两岛水体信息。利用GF-1 Band3红色波段处于叶绿素吸收区域,用来提取耕

地、建筑用地和林地,其中林地的NDVI较大且NDWI较小,再根据将Band3的阈值设置在2317和2293之间,就可以完全提取林地分布区域。而耕地和建筑用地可以通过设置NDWI阈值-0.3989,快速地提取出耕地和建筑用地的分布区域。由于水体类型中的鱼塘和湖泊在光谱颜色较难区分,只能通过空间特征参数,对这2种地物类型加以区分。研究区非湿地类型提取结果如图5所示。

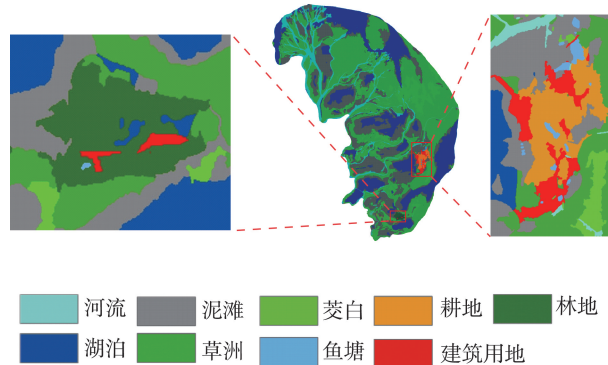


图5 研究区内非湿地类型提取结果图

Fig.5 Non-wetland type extraction results of the study area

5 结果和分析

5.1 分类结果

利用2013年12月21日高分一号2 m分辨率多光谱数据,结合研究区多源数据,使用面向对象分类方法对鄱阳湖南矶湿地景观类型信息进行自动化提取,然后与基于单一遥感数据分类结果进行对比,研究适用于高空间分辨率遥感影像对过水性湿地类型提取方法。2种不同分类结果如图6所示。

5.2 精度评价

为了保证遥感影像解译的准确性,研究小组于2014年1月至2月对南矶湿地进行了实地考察,由于研究区地形复杂,沼泽、疫水(血吸虫)分布范围较广,野外调查区域主要分布于研究区简易公路两侧、南山岛、矾山岛、部分“塹秋湖”(战备湖、常湖、北深湖、白沙湖等,如图1所示)及其周边区域。本研究采用误差矩阵法来检验南矶湿地景观类型分类结果,其中野外验证点500个,其他参考点运用随机采样法生成,随机生成的参考点景观类型根据2013年12月21日Google earth高精度地图进行对照确认,以避免研究区水位涨落造成湿地景观类型的变化。

表4 基于单源遥感数据面向对象分类精度评价

Tab.4 Accuracy assessment results of the classification method based on the object-oriented classification of single-source data

实际地类	参考地类									总计	用户精度/(%)
	河流	湖泊	泥滩	草洲	茭白	鱼塘	耕地	建筑用地	林地		
河流	223	4	41	1	2	0	0	0	0	271	82.29
湖泊	6	248	5	0	1	0	0	0	0	260	95.38
泥滩	3	1	265	0	2	3	1	3	0	278	95.32
草洲	2	0	20	322	8	0	22	9	4	387	83.20
茭白	1	0	0	2	320	0	0	1	0	324	98.77
鱼塘	0	0	1	0	1	39	0	0	0	41	95.12
耕地	1	0	0	2	0	0	37	7	0	47	78.72
建筑用地	4	0	0	0	0	0	3	25	0	32	78.13
林地	0	0	0	0	1	0	0	32	37	70	52.86
总计	240	253	332	327	335	42	63	77	41	1710	
生产精度/(%)	92.92	98.02	79.82	98.47	95.52	92.86	58.73	32.47	90.24		
总体精度/(%)											88.6550
kappa 系数											0.8649

利用面向对象分类方法对多源数据和单一遥感影像湿地景观类型进行提取,同时分别进行精度评价。由表3、4对比可看出,采用多源数据的面向对象的分类方法精度高于单一遥感影像分类。用户精度指示分类图的可靠性较高。以泥滩为例,表4中96.9%被正确划分到泥滩类型中,0.31%的河流类型、0.62%的茭白类型、2.17%的耕地类型错分到泥滩中。而生产精度是指原本是该种地物类型,然后划分到其他地物类型,造成了先前地物类型的漏分。以河流为例,表3中95.42%被正确划分到河流类型中,划分到湖泊、泥滩、草洲、茭白、耕地和建筑用地类型分别占到总体的0.83%、0.42%、0.83%、0.42%、0.42%和1.67%,共造成了4.58%的河流类型漏分。总体分类精度是指在所有的样本中被正确分类的样本比例,其湿地分类结果与实际的湿地景观类型保持一致。在分类精度中,林地误分较严重。这主要原因是矾山建筑用地极少,其建筑物和林地多形成混合像元,不容易将其区分。设置分割尺度时,把少量的建筑用地对象合并成林地类型。因此,建筑用地的生产精度也较低,许多建筑用地类型被划分为林地,造成了建筑用地类型的漏分。

6 结论

本文基于高分一号遥感影像,融合NDVI、NDWI、DEM等多源数据,采用面向对象的分类方法,对鄱阳湖南矶湿地进行了湿地景观类型自动化提取研

究。在综合利用了多源数据的基础上,分析了南矶湿地各景观类型在光谱、纹理以及空间结构上的不同特点,通过合理设置湿地景观类型提取阈值,构建适合于鄱阳湖南矶湿地景观类型提取规则,最后对分类结果进行了后期处理和精度评价。结果显示,虽然多源数据的面向对象分类方法提取的湿地类型出现一定程度的错分、漏分现象,但相对于以往基于像元和单一遥感影像的分类方法,该方法的分类精度更高,可以满足鄱阳湖南矶湿地类型提取的精度要求,具有在过水性湿地信息应用的可行性和潜力,同时对国内外复杂性的过水性湿地景观信息提取具有一定参考和借鉴意义

基于多源数据的面向对象分类方法对光谱混淆、边界模糊与混合像元严重的河流、湖泊、鱼塘、泥滩有较好的识别能力,尤其是在区分地物斑块较小的鱼塘、建筑用地、耕地和林地方面,体现了多源数据在复杂湿地地物类型和斑块较小地物信息提取方面的优势;通过对多源数据的面向对象分类方法和基于单一遥感影像分类的对比可知,前者的分类精度高于后者,说明多源数据参与分类对分类精度的提高具有重要的作用。同时,面向对象的分割尺度直接影响分类精度,所以选择最优的分割尺度至关重要。

由于鄱阳湖南矶湿地处于特殊的地理环境,不同年份和季节水位变化较大,湿地类型复杂多变以及多源数据空间分辨率不一致,这些因素都影响了湿地类型的识别与分类精度的提高。虽然,多源数

据的面向对象分类方法精度较高,但该方法具有一定的局限性,如影像分割尺度、特征空间以及提取规则构建都需要专家知识与人工参与,而研究者主观因素对最终湿地分类结果造成较大的影响,因此要求研究者具有丰富的知识与经验。今后,要加强对最优分割尺度选取智能化和分割精度评价研究,使湿地遥感信息提取更有效、准确。

参考文献(References):

- [1] 曹宇,莫利江,李艳,等.湿地景观生态分类研究进展[J].应用生态学报,2009,20(12):3084-3092. [Cao Y, Mo L J, Li Y, *et al.* Wetland landscape ecological classification research progress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009,20(12):3084-3092.]
- [2] 张继平,张懿锂,刘峰贵,等.长江源区当曲流域高寒湿地类型划分及分布研究[J].湿地科学,2011,9(3):218-226. [Zhang J P, Zhang Y L, Liu F G, *et al.* Classification and distribution of alpine wetland of Damqu river basin in the source region of the Yangze River[J]. Wetland Science, 2011,9(3):218-226.]
- [3] Ramsey E W III, Chappell D K, Baldwin D G. AVHRR imagery used to identify hurricane damage in a forested wetland of Louisiana[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1997,63:293-297.
- [4] Shalaby A, Tateishi R. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land-cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt[J]. Applied Geography, 2007,27:28-41.
- [5] 袁金国,王卫.多源遥感数据融合应用研究[J].地球信息科学,2005,7(3):97-103. [Yuan J G, Wang W. Research on multi-source remote sensing information fusion application[J]. Geo-information Science, 2005,7(3):97-103.]
- [6] 张继平,刘林山,张懿锂,等.面向对象的极高海拔区水体及冰川信息提取——以珠穆朗玛峰国家级自然保护区核心区为例[J].地球信息科学学报,2010,12(4):517-523. [Zhang J P, Liu L S, Zhang Y L, *et al.* Object-oriented information extraction of water bodies and glaciers in extreme high altitude area a case study of the core area of Mt Qomolangma (Everest) national nature preserve[J]. Journal of Geo-information Science, 2010,12(4):517-523.]
- [7] 党安荣,何新东,史慧珍,等.土地利用信息的多元分析提取[J].地球信息科学,2004,6(2):62-66. [Dang A R, He X D, Shi H Z, *et al.* Study on extraction method of land use information[J]. Geo- information Science, 2004,6(2):62-66.]
- [8] 孔博,邓伟,李爱农,等.多源数据的面向对象国际河流土地覆被分类研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2015,40(7):943-949. [Kong B, Deng W, Li A N, *et al.* Object-oriented Landcover classification of multi- source remote sensing data in international trans-boundary river[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015,40(7):943-949.]
- [9] 苏伟,李京,陈云浩,等.基于多尺度影像分割的面向对象城市土地覆被分类研究——以马来西亚吉隆坡市中心区为例[J].遥感学报,2007,11(4):521-530. [Su W, Li J, Chen Y H, *et al.* Object-oriented urban land-cover classification of multi- scale image segmentation method-a case study in Kuala Lumpur city center, Malaysia[J]. Journal of Remote Sensing, 2007,11(4):521-530.]
- [10] Myint S W, Gower P, Brazel A, *et al.* Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2011,115:1145-1161.
- [11] 郑利娟,李小娟,胡德勇,等.基于对象和DEM的湿地信息提取——以洪河沼泽湿地为例[J].遥感技术与应用,2009,24(3):346-351. [Zheng L J, Li X J, Hu D Y, *et al.* Wetland information extraction based on DEM and the object-a case study in Honghe Wetland[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009,24(3):346-351.]
- [12] Im J, Jensen J R, Tullis J A. Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(2):399-423.
- [13] Mui A, He Y H, Weng Q H. An object-based approach to delineate wetlands across landscapes of varied disturbance with high spatial resolution satellite imagery[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015,109:30-46.
- [14] Dronova I, Gong P, Wang L. Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China[J]. Remote Sensing of Environment, 2011,115:3220-3236.
- [15] 莫利江,曹宇,胡远满,等.面向对象的湿地景观遥感分类——以杭州湾南岸地区为例[J].湿地科学,2012,10(2):206-213. [Mo L J, Cao Y, Hu Y M, *et al.* Object-oriented classification for satellite remote sensing of wetlands: a case study in southern Hangzhou Bay area[J]. Wetland Science, 2012,10(2):206-213.]
- [16] 程乾,陈金凤.基于高分1号杭州湾南岸滨海陆地土地覆盖信息提取方法研究[J].自然资源学报,2015,30(2):350-360. [Cheng Q, Chen J F. Research on the extraction method of landcover information in southern coastal land of Hangzhou Bay Based on GF-1 image[J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(2):350-360.]

- [17] 陈建龙,王语檬,侯淑涛,等.面向对象和DEM的ZY-1 02C影像湿地提取研究[J].地球信息科学学报,2015,17(9):1103-1109. [Chen J L, Wang Y M, Hou S T, *et al.* Wetland information extraction of ZY-1 02C image based on the object and DEM[J]. Journal of Geo-information Science, 2015,17(9):1103-1109.]
- [18] 刘红玉,吕宪国.三江平原湿地景观生态制图分类系统研究[J].地理科学,1999,19(5):432-436. [Liu H Y, Lu X G. Study on classification system of middle scale landscape ecology mapping in the Sanjiang Plain[J]. Scientia Geographica Sinica, 1999,19(5):432-436.]
- [19] 杨永兴.国际湿地科学研究进展与中国湿地科学研究优先领域与展望[J].地球科学进展,2002,17(4):505-514. [Yang Y X. New knowledge on the progress of international wetland science research and priority field and prospect of Chinese wetland science research[J]. Advance in Earth Sciences, 2002,17(4):505-514.]
- [20] 牛振国,宫鹏,程晓,等.中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析[J].中国科学D辑:地球科学,2009,39(2):188-203. [Niu Z G, Gong P, Cheng X, *et al.* Geographical characteristics of China's wetland derived from remote sensing[J]. Science in China Series D: Earth Science, 2009,39(2):188-203.]
- [21] 宫鹏,牛振国,程晓,等.中国1990和2000基准年湿地变化遥感[J].中国科学:地球科学,2010,40(6):768-775. [Gong P, Niu Z G, Cheng X, *et al.* China's wetland change (1990-2000) determined by remote sensing[J]. Scientia Sinica: Terrae, 2010,40(6),768-775.]
- [22] 陈建,王世岩,毛战坡.1976-2008年黄河三角洲湿地变化的遥感监测[J].地理科学进展,2011,30(5):585-592. [Chen J, Wang S Y, Mao Z P. Monitoring wetland changes in Yellow River Delta by remote sensing during 1976-2008[J]. Progress in Geography, 2011,30(5):585-592.]
- [23] 崔保山,杨志峰.湿地学[M].北京:北京师范大学出版社,2006. [Cui B S, Yang Z F. Wetland science[M]. Beijing: Beijing Normal University Publishing, 2006.]