

doi: 10.6046/gtzyyg.2017.01.22

引用格式: 吴军超,李利伟,胡圣武. 基于多分类器集成的GF-1影像围填海地物识别[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1): 143-148. (Wu J C, Li L W, Hu S W. Identification of coastal reclamation from GF-1 imagery using ensemble classification strategy[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(1): 143-148.)

基于多分类器集成的GF-1影像围填海地物识别

吴军超^{1,2}, 李利伟², 胡圣武¹

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所数字地球科学重点实验室, 北京 100094)

摘要: 围填海是人类获取海洋资源的重要方式。监测围填海的变化是海岸带管理、海岸带演变研究中一项非常重要的任务。然而, 围填海地物复杂多变, 给利用遥感技术监测围填海带来困难。为此, 通过构造识别地物类别的10个特征因子(GF-1的Band1—4波段的均值特征、波段均值的均值、对象面积、对象周长、外接矩形面积、对象面积与外接矩形面积之比和对象周长与对象面积之比), 提出一种识别GF-1影像中围填海地物的多分类器集成算法; 对特征因子进行集成, 构建出单个特征分类器模型、光谱特征分类器模型、形态特征分类器模型和所有特征集成分类器模型4种组合特征分类器模型; 对每种分类器模型进行试验研究, 并对比分析4种集成模型的多分类器围填海地物识别精度。结果表明, 单个特征分类器模型识别精度最高达到82.03%, 光谱特征分类器模型识别精度为63.28%, 形态特征分类器模型识别精度为87.50%, 所有特征集成分类器模型识别精度为80.47%。本研究结果可为监测围填海变化提供较好的解决方案。

关键词: 围填海; 遥感; 多分类器集成; 地物识别

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2017)01-0143-06

0 引言

围填海是人类获取海洋资源的重要方式, 但是围填海在给人类带来经济效益和社会效益的同时, 也对近海的生态环境产生了很大的负面影响^[1]。遥感技术以其低成本、快速、准确、大范围对地观测能力被引入到海域使用情况调查中, 成为海域调查的有力手段^[2-5]。高空间分辨率遥感影像中所反映的地物信息更加详细和丰富, 地物的边界、形状、内部结构、表面纹理等信息更加清晰; 然而, 高空间分辨率影像中过多的地物细节信息会造成光谱异质性的干扰, 这给传统基于像元光谱信息的围填海地物识别带来了困难和挑战^[3]; 因此, 需要研究合适高空间分辨率遥感影像的地物识别算法。

国内外学者对海岸带和海岸线的变化检测研究比较深入, 取得的理论成果比较丰富。但对围填海的研究不是很多, 有关围填海变化区域地物识别的算法研究还比较少, 例如: 张旭凯等^[6]提出了一种结合海岸类型和潮位校正的海岸线遥感提取方法,

取得了较高的精度; 刘鹏程^[7]对不同类型的海岸线进行特征提取时引入了水平集理论, 在各类航空和卫星遥感影像中具有一定的鲁棒性, 对边缘信息检测较为灵敏。徐进勇等^[8]分析了各种用途的用海类型, 提出了填海造地的遥感监测流程, 并在曹妃甸新区和滦河口进行了填海造地信息提取试验, 取得了较高的精度; 周小成等^[9]利用ASTER影像结合光谱特征和水产养殖地空间增强的技术, 研究实现了水产养殖信息自动提取。以上研究都是针对单独1个类别的海域用地类别进行提取, 未能系统地形成一套对围填海地物类别提取与分类的流程。鞠明明等^[10-11]和汪闽等^[12]提出了围填海区域地物分类处理流程, 进行了软件系统设计并予以实现。他们采用的是级联序列构造的策略^[13], 即后一个特征分类依赖于前一个特征的分类结果, 一旦前一个特征分类出现错误, 将导致后续分类在其错误基础上进行, 所以这种策略在一定程度上制约了目标地物的识别精度。

在模式分类中, 通常一个分类器不能在所有情况下都稳定地达到较高的分类精度, 不同的分类器

收稿日期: 2015-07-09; 修订日期: 2015-08-10

基金项目: 国家海洋局项目“基于卫星遥感的围填海信息自动变化检测技术与系统开发”(编号: Y4H0970034)资助。

第一作者: 吴军超(1987-), 男, 硕士研究生, 研究方向为光学遥感图像信息提取。Email: wujunchao.hpu@163.com。

能够提供待分类模式的互补信息。因此,组合分类器是一种很有效的方法,能够获取比任何单一分类器都更好的效果^[14]。Du^[13]研究了各种特征集成后的地物分类精度,最终得到多特征集成的模型对地物类别分类精度要高于单一分类器的结论。基于以上研究成果,考虑到研究区域以及研究对象的复杂性,本文依据集成学习的思想和 10 种辐射及形态特征,采用最小距离分类器投票决策的方法进行围填海地物识别的研究。

1 研究区域与试验数据

本文选择厦门港湾地区(E118.04° ~ 118.49°, N24.42° ~ 24.75°)作为围填海地物识别的研究区域。结合研究目的界定了围填海的内涵,即通过人

类在海岸线外进行围海和填海活动,使指定海域失去海洋属性,从而对其进行有效利用的方式^[3];并按照监测围填海的业务需求确定围填海的分类体系,为围填海的变化监测提供有效的数据支持和解决方案。

本次研究使用的高空间分辨率遥感数据是经过几何配准后的 2 幅 GF-1 的 2 m 空间分辨率的融合影像,GF-1 过境的时间分别是 2013 年 11 月和 2014 年 11 月。在对地物样本提取的过程中,采用了人工勾画的最小包含地物类别矢量斑块数据,在此斑块内存在非目标地物部分区域(如漂浮物斑块中含有少部分海水区域)也作为目标地物来对待。本研究假定勾画的地物斑块是围填海区域经过面向对象分割后的对象斑块,进而对勾画的地物斑块进行识别分类(图 1)。

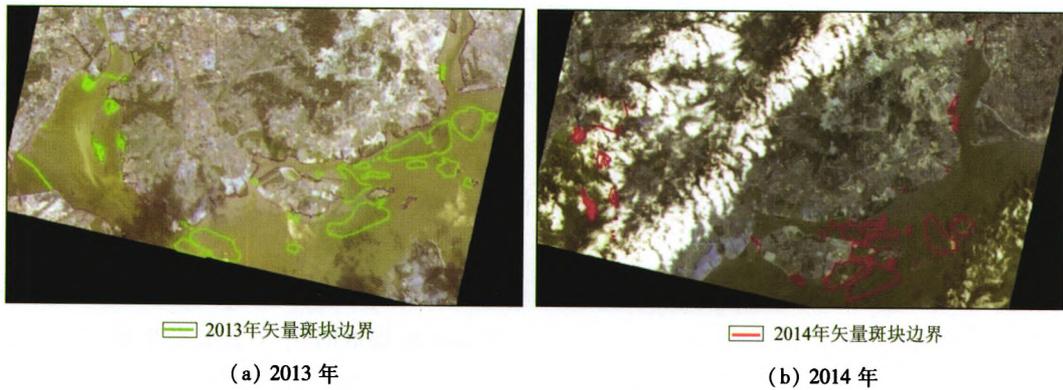


图 1 研究区试验样本矢量斑块数据

Fig. 1 Vector facets data of test samples in study area

根据海域使用遥感分类体系标准^[15],结合对围填海信息进行监测的业务需求,本文将研究区的围填海划分为填海造地、构筑物、漂浮物和围割海域等 4 个类别。

依据基础影像,勾画各地物类别的矢量数据,并构建它们的类别特征。围填海地物类别样本斑块如图 2 所示,综合分析围填海地物类别的样本特征,总结如表 1 所示。

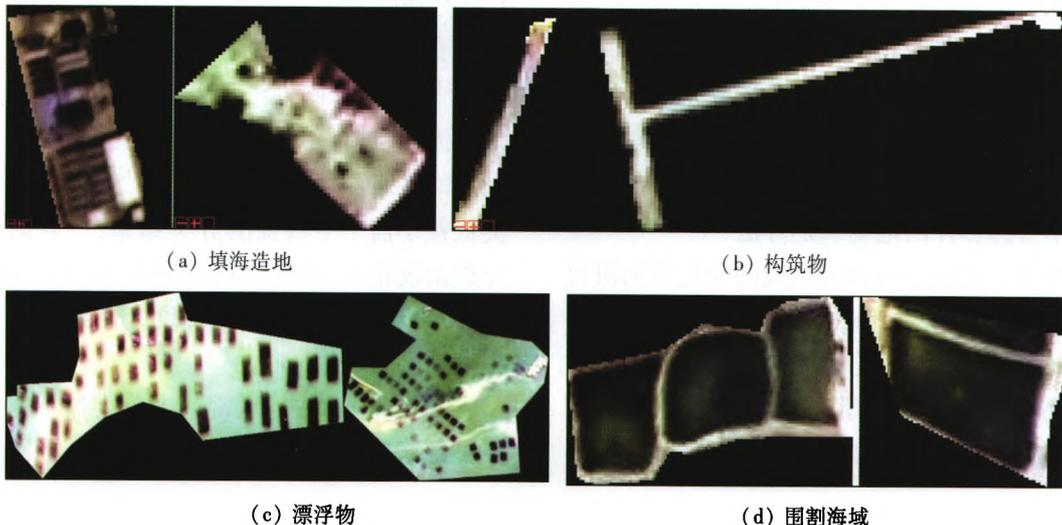


图 2 围填海地物类别样本

Fig. 2 Samples of coastal reclamation object classes

表 1 围填海地物类别特征

Tab.1 Features of coastal reclamation objects classes

一级类别	围填海地物特征
填海造地	形状相对规整,内部分布建筑物、裸土等;光谱异质性较强,光谱反映较强;色调和纹理信息没有明显规律,随内部地物目标而变化
构筑物	形态比较单一、呈线状;光谱反映较强;色调较亮,纹理特征单一
漂浮物	夹杂着水域,分布比较规则,与水体有明显差别,多呈相对规则的区域;色调较暗,纹理特征比较明显
围割海域	内部异质性较弱,多有光谱较为明显的分割水面;色调表现为在内部较暗,边缘较亮,纹理特征比较单一

2 技术路线

本文设计了一个多分类器集成系统,采用特征最小距离匹配的方式对围填海地物进行识别。多分类器包括描述地物类别的多种属性特征,基于投票决策方法实现对围填海地物的识别。详细算法流程如图 3 所示。

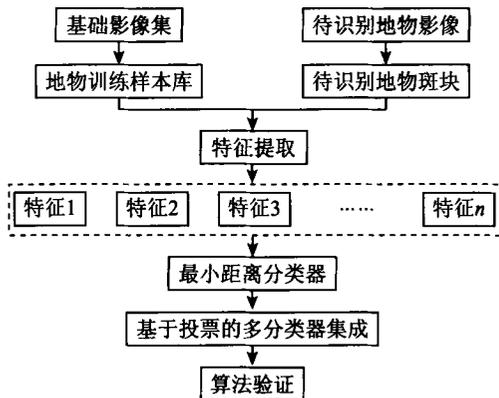


图 3 试验算法设计方案

Fig.3 Design scheme of test algorithm

1) 训练和验证样本库构建。利用基础影像集进行人机交互解译,获取地物类别样本,构建地物类别样本库。类别样本以地物对象斑块的形式获取,能够完整刻画地物形态和轮廓信息。

2) 特征提取。针对地物类别样本库中每一个对象进行 10 个特征的提取,包括: GF-1 影像 Band1—4 波段的均值特征、4 个波段均值的均值、对象面积、对象周长、对象外接矩形面积、对象面积与外接矩形面积之比以及对象周长与对象面积之比;组合 10 个特征构建地物类别样本特征知识库。

3) 最小距离分类器。依据获取的地物类别特征库以及待识别地物的对应特征信息,分别利用每一个特征采用最小距离法对每个待识别地物进行分类。

4) 投票决策的多分类器集成。依据每个特征

最小距离分类所对应的地物类别,统计出每个地物对应地物类别的个数;按照投票的策略,地物类别个数最多的地物类别就是待识别地物的类别。

5) 算法验证。基于 2014 年 GF-1 影像获取的验证对象斑块数据以及地物类别特征知识库,组合利用不同特征集合进行算法验证。

3 试验与分析

本次试验利用了 2013 年 GF-1 影像获取的地物类别作为训练样本,包括 7 个填海造地斑块、35 个构筑物斑块、9 个漂浮物斑块和 77 个围割海域斑块,共 128 个围填海地物斑块。待识别地物斑块是在 2014 年 GF-1 影像中人工勾画获取的 128 个对象斑块。

试验采取单个特征、光谱特征库、形态特征库、所有特征组合的特征库等 4 种分类器集成的形式,进行了 4 组围填海地物识别试验,并对比了 4 组试验的地物识别精度。

3.1 单个特征地物识别模型

针对上述 10 个特征分别进行了 10 个对比试验,对每个试验的围填海地物识别结果采用总体识别精度和 Kappa 系数的形式进行评估(表 2)。

表 2 单个特征围填海地物识别精度

Tab.2 Identification accuracy of coastal reclamation objects by single feature

特征类别	识别精度/%	Kappa
B1 灰度均值	64.84	0.392 7
B2 灰度均值	50.78	0.253 2
B3 灰度均值	45.31	0.127 0
B4 灰度均值	55.47	0.672 9
4 个波段均值的均值	57.81	0.283 8
对象面积	80.47	0.641 7
对象周长	75.00	0.539 2
对象外接矩形面积	76.56	0.562 8
对象面积与外接矩形面积之比	73.44	0.532 6
对象周长与对象面积之比	82.03	0.681 8

选择具有最高识别精度和最低识别精度的 2 个单特征,分别构建箱式图和混淆矩阵,采用识别精度最高的对象周长与对象面积之比特征的围填海地物识别结果的混淆矩阵如表 3 所示。

表 3 对象周长与对象面积之比特征地物识别混淆矩阵

Tab.3 Confusion matrix of object identification by feature of object perimeter and area ratio

地物类别	填海造地	构筑物	漂浮物	围割海域
填海造地	2	1	0	4
构筑物	1	32	0	2
漂浮物	0	0	6	3
围割海域	4	4	4	65
识别精度 = 82.03%		Kappa = 0.681 8		

采用识别精度最低的 B3 灰度均值特征的围填海地物识别结果的混淆矩阵如表 4 所示, Kappa 值仅 0.127 0。

表 4 B3 灰度均值特征地物识别混淆矩阵

Tab.4 Confusion matrix of object identification by feature of B3 gray value average

地物类别	填海造地	构筑物	漂浮物	围割海域
填海造地	3	1	1	2
构筑物	3	17	5	10
漂浮物	0	2	0	7
围割海域	16	23	0	38
识别精度 = 45.31%		Kappa = 0.127 0		

3.2 光谱特征模型

光谱特征模型包括 B1—4 灰度均值和波段均值的均值等 5 个特征。对围填海地物目标的识别精度为 63.28%, 统计围填海地物识别结果的混淆矩阵如表 5 所示。

表 5 光谱特征地物识别混淆矩阵

Tab.5 Confusion matrix of object identification by spectral features

地物类别	填海造地	构筑物	漂浮物	围割海域
填海造地	4	1	0	2
构筑物	1	22	0	12
漂浮物	0	0	0	9
围割海域	17	4	1	55
识别精度 = 63.28%		Kappa = 0.351 0		

3.3 形态特征模型

形态特征模型包括对象面积、对象周长、对象外接矩形面积、对象面积与对象外接矩形面积之比以及对象周长与对象面积之比等 5 个特征, 对围填海地物的识别精度为 87.50%。统计形态特征组合的围填海地物识别结果的混淆矩阵如表 6 所示。

表 6 形态特征地物识别混淆矩阵

Tab.6 Confusion matrix of object identification by morphological features

地物类别	填海造地	构筑物	漂浮物	围割海域
填海造地	4	1	0	2
构筑物	0	33	0	2
漂浮物	0	0	6	3
围割海域	0	6	2	69
识别精度 = 87.50%		Kappa = 0.772 2		

3.4 所有特征融合模型

所有特征包括 GF-1 影像 B1—4 的波段均值、4 个波段均值的均值、对象面积、对象周长、对象外接矩形面积、对象周长与对象面积之比以及对象面积与对象外接矩形面积之比, 共计 10 个特征, 对围填海地物的识别精度为 80.47%。统计所有特征地物识别结果的混淆矩阵如表 7 所示。

表 7 所有特征地物识别混淆矩阵

Tab.7 Confusion matrix of object identification by ensemble features

地物类别	填海造地	构筑物	漂浮物	围割海域
填海造地	4	1	0	2
构筑物	0	28	0	7
漂浮物	0	1	4	4
围割海域	6	3	1	67
识别精度 = 80.47%		Kappa = 0.703 9		

从以上试验结果可以看出, 单个特征对围填海地物识别的精度各不相同, 识别精度最差的为 B3 灰度均值特征, 识别精度为 45.31%; 光谱特征相对于形态特征对围填海地物的识别精度都不是很好; 单个形态特征相对光谱特征有更好的识别精度, 组合形态特征的识别精度要比各个形态特征的识别精度都要高。

其中, 造成光谱特征信息的围填海地物识别精度不高的原因是不同时相遥感影像辐射特征的偏差。用于构建特征知识库的地物类别样本库是依据 2013 年获取的 GF-1 影像建立的, 而待识别地物斑块是根据 2014 年获取的 GF-1 影像勾画的, 2 个时相的 GF-1 影像没有经过相对辐射校正, 影像获取时的大气条件不同, 造成相同地物在辐射特征信息上有偏差。

4 结论

通过对围填海地物识别算法的研究, 构建了多分类器集成策略模式, 对各种策略的地物识别结果进行了对比分析, 发现形态特征组合和所有特征组合的围填海识别精度分别达到了 87.50% 和 80.47%, 较好地满足了基于 GF-1 影像的围填海地物的自动识别要求。

本文提出的多特征集成的围填海地物识别算法仍存在一些不足, 其原因主要表现在 3 个方面: ① 试验区采用的 2014 年和 2013 年获取的 GF-1 影像没有经过相对辐射校正消除辐射偏差; ② 人工勾画对象斑块代价较高, 需要将识别算法研究成果与面向对象的分类算法相结合, 提高 GF-1 影像在围填海管理中的应用效率; ③ 不同形态特征在本文中体现出不同的性能, 对最终地物类别投票时, 没有对组合特征投票的权重按照对应特征识别能力进行赋权。在分析以上 3 个制约识别精度因素的基础上, 探索高精度的围填海识别算法, 并将其应用在更加精细的围填海地物识别中, 是今后研究的重点。

志谢: 感谢项目合作成员方梁建斌在遥感影像

围填海地物人工判读中的帮助,感谢项目组成员梁晓莉、罗丹在人工判读数据整理中的努力工作。

参考文献(References):

- [1] 张霞,庄智,张旭凯,等. 秦皇岛市海岸线遥感提取及变化监测[J]. 遥感技术与应用,2014,29(4):625-630.
Zhang X, Zhuang Z, Zhang X K, et al. Coastline extraction and change monitoring by remote sensing technology in Qinhuangdao City[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(4):625-630.
- [2] 粟云召,与君宝,韩广轩,等. 基于遥感的黄河三角洲海岸线变化研究[J]. 研究报告,2012,36(4):99-106.
Li Y Z, Yu J B, Han G X, et al. Coastline change detection of the Yellow River Delta by satellite remote sensing[J]. Marine Sciences, 2012, 36(4):99-106.
- [3] 高志强,刘向阳,宁吉才,等. 基于遥感的近30a中国海岸线和围填海面积变化及成因分析[J]. 农业工程学报,2014,30(12):140-147.
Gao Z Q, Liu X Y, Ning J C, et al. Analysis on changes in coastline and reclamation area and its causes based on 30-year satellite data in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(12):140-147.
- [4] Alesheikh A A, Ghorbanali A, Nouri N. Coastline change detection using remote sensing[J]. Technology Journal of Environmental Science & Technology, 2007, 4(1):61-66.
- [5] 李秀梅,袁承志,李月洋. 渤海湾海岸带遥感监测及时空变化[J]. 国土资源遥感,2013,25(2):156-163. doi:10.6046/gtzyyg. 2013.02.26.
Li X M, Yuan C Z, Li Y Y. Remote sensing monitoring and spatial-temporal variation of Bohai Bay coastal zone[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(2):156-163. doi:10.6046/gtzyyg. 2013.02.26.
- [6] 张旭凯,张霞,杨邦会,等. 结合海岸类型和潮位校正的海岸线遥感提取[J]. 国土资源遥感,2013,25(4):91-97. doi:10.6046/gtzyyg. 2013.04.15.
Zhang X K, Zhang X, Yang B H, et al. Coastline extraction using remote sensing based on coastal type and tidal correction[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(4):91-97. doi:10.6046/gtzyyg. 2013.04.15.
- [7] 刘鹏程. 基于水平集理论的海岸线轮廓特征提取[J]. 国土资源遥感,2015,27(2):75-79. doi:10.6046/gtzyyg. 2015.02.12.
Liu P C. Feature extraction of coastline contour based on level set theory[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(2):75-79. doi:10.6046/gtzyyg. 2015.02.12.
- [8] 徐进勇,张增祥,赵晓丽,等. 围填海遥感监测方法研究[J]. 测绘通报,2014(5):60-62,75.
Xu J Y, Zhang Z X, Zhao X L, et al. Remote sensing monitoring method of land reclamation[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2014(5):60-62,75.
- [9] 周小成,汪小钦,向天梁,等. 基于ASTER影像的近海水产养殖信息自动提取方法[J]. 湿地科学,2006,4(1):64-68.
Zhou X C, Wang X Q, Xiang T L, et al. Method of automatic extracting seaside aquaculture land based on ASTER remote sensing image[J]. Wetland Science, 2006, 4(1):64-68.
- [10] 鞠明明. 基于面向对象图像分析的围填海工程遥感信息提取技术研究[D]. 南京:南京师范大学,2013.
Ju M M. Remote-Sensing-Based Information Extraction of Reclamation Project Using Object-Oriented Image Analysis Technique[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.
- [11] 鞠明明,汪闽,张东,等. 基于面向对象图像分析技术的围填海用海工程遥感监测[J]. 海洋通报,2013,32(6):678-684.
Ju M M, Wang M, Zhang D, et al. Study on the remote-sensing-based monitoring of reclamation project area by using the object-oriented image analysis technique[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(6):678-684.
- [12] 汪闽,万其明,张大莺,等. 光谱、形状特征结合的多精度图像分割算法与应用[J]. 地球信息科学学报,2010,12(2):261-268.
Wang M, Wan Q M, Zhang D Q, et al. Multi-resolution remotely sensed image segmentation in combination with spectral and shape features[J]. Journal of Geo-Information Science, 2010, 12(2):261-268.
- [13] Du P J, Xia J S, Zhang W, et al. Multiple classifier system for remote sensing image classification: A review[J]. Sensors, 2012, 12(4):4764-4792.
- [14] Briem G J, Benediktsson J A, Sveinsson J R. Multiple classifiers applied to multisource remote sensing data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(10):2291-2299.
- [15] 国家海洋局. HY/T123-2009 海域使用分类[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
State Oceanic Administration Peoples Republic Of China. HY/T123-2009 Sea Area Use Classification[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2009.

Identification of coastal reclamation from GF-1 imagery using ensemble classification strategy

WU Junchao^{1,2}, LI Liwei², HU Shengwu¹

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. Key Laboratory of Digital Earth Sciences, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: The coastal reclamation is an important way for people to access marine resources. Monitoring the coastal reclamation changes is an important task in coastal zone management and coastal zone evolution study. However,

the coastal reclamation feature is complex, and it is difficult for remote sensing techniques to efficiently monitor reclamation. In this paper, the authors propose an ensemble classification algorithm for identifying four categories of reclamation using GF - 1 imagery. The ensemble classification is constructed based on minimum distance algorithm and 10 features from manually extracted image objects. The 10 features include four mean features of each object in the four bands of GF - 1 imagery respectively, mean value of the four mean features, object size, object perimeter, external rectangular area, ratio of object area, external rectangular area, ratio of object perimeter and object area. The proposed method was extensively tested by using two GF - 1 images from 2013 and 2014. The results show that the highest accuracy of single feature model is up to 82.03% , and the accuracy of spectral features based ensemble model and that of the spatial features based ensemble model are 63.28% and 87.50% respectively, and the accuracy of full feature based ensemble model is 80.47% . This study provides a useful solution for monitoring the coastal reclamation.

Keywords: coastal reclamation; remote sensing; ensemble classification; object identification

(责任编辑: 李 瑜)