

HJ-1 光学遥感影像船只检测——以鄱阳湖为例

李 建¹ 陈晓玲¹ 刘子潇² 田礼乔¹

¹ 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

² 天津市测绘院,天津,300381

摘要:以具有高时空分辨率、长时间序列观测优势的国产 HJ-1 CCD 数据,在使用面向对象方法实现水面均质区域分割的基础上,改进传统的 Contrast box 方法,增强了船只目标与背景像素的对比,实现了水面状况复杂的鄱阳湖船只提取。使用该方法分别对鄱阳湖枯水、丰水期 HJ1-CCD 数据进行船只检测实验,经精度验证,船只检测率可达 85%。对比传统阈值提取方法,该方法在浑浊复杂水体中船只提取的优质因数(FoM)远优于传统方法。由于采砂、运砂、航运等人为水上活动对水生态环境产生的严重影响,亟需加强船只活动的有效监管。该研究为鄱阳湖船只检测、采砂、运砂活动及水环境检测提供了有效途径,也为其他湖泊、沿海等区域的船只检测提供了方法,同时提升了国产 HJ 卫星在环境检测中的应用能力。

关键词:光学遥感;HJ-1A/B CCD;船只检测;鄱阳湖

中图法分类号:P231.5

文献标志码:A

遥感作为一种可获取大范围、连续观测数据的有效手段,被广泛应用于船只检测中,如基于 SAR 数据^[1,2]和基于高分光学影像数据^[3,4]的船只检测技术已相对较为成熟。SAR 数据具有全天候检测的能力和不受天气状况影响的优势;光学遥感数据的船只检测研究目前多集中在基于中高分辨率卫星数据的海上船只检测,如基于中低分辨率 MODIS 和 AVHRR 数据提取船只航线尾迹实现船只识别和基于中高分辨率 SPOT、Landsat 等数据目标识别的船只检测技术。Landsat TM/ETM⁺ 数据具备一定的船只检测能力^[5,6],然而其重访周期较长(16 d,受天气情况影响实际周期为 1 个月左右),并且自 2003 年以后,Landsat7 ETM⁺ 数据的条带问题严重限制了其应用。

环境减灾卫星星座(HJ)是我国于 2008 年成功发射的拥有自主知识产权的环境小卫星星座(HJ-1A/B),A、B 星均搭载两台 CCD 多光谱可见光相机。光学 CCD 相机具有幅宽大(720 km)、空间(30 m)和时间分辨率较高(重访周期 2 d)的特点,是目前可应用于遥感船只检测的时间和空间分辨率结合较好的光学数据源,Chen^[7]使

用 HJ CCD 蓝光波段针对沿海中大型船只检测进行了初步探讨,然而在内陆湖泊水体尤其是鄱阳湖浑浊水体的船只检测应用的研究还未出现。

本文以鄱阳湖为研究区域,针对其水面范围较大、水体状况(浑浊度)变化复杂、难以使用传统的检测手段实现船只提取的问题,在水面均质分割的基础上,改进传统的 Contrast box 方法,实现鄱阳湖浑浊复杂水体的船只检测。

1 研究区域与数据

鄱阳湖($28^{\circ}22' \sim 29^{\circ}45'$ N, $115^{\circ}47' \sim 116^{\circ}45'$ E)位于江西省北部,是我国最大的淡水湖泊。鄱阳湖具备良好的洪水调蓄能力以及保护生物多样性的生态功能,对于维系长江中下游乃至我国的生态安全都具有举足轻重的地位。赣江、抚河、信江、饶河、修水五大支流携带大量泥沙汇入鄱阳湖,每年鄱阳湖淤积的泥沙量高达 1 056.5 万吨^[8]。自 2001 年以来,鄱阳湖采砂业迅速兴起^[9],密集的采砂运砂船只活动对水体环境(如透明度)^[7,8]、渔业资源^[9]、水道及航运安全产生了巨

收稿日期:2013-03-25

项目来源:国家 863 计划资助项目(2012AA12A304);国家 973 计划资助项目(2011CB707106);国家自然科学基金资助项目(41101415,40906092,41071261);国家自然科学基金委创新研究群体科学基金资助项目(41021061);测绘遥感信息工程国家重点实验室专项科研经费和 985、国家重点实验室仪器设备专项经费资助项目。

第一作者:李建,博士生,主要研究方向为水环境遥感。E-mail:lijianxs1987@gmail.com

大影响。

本文从中国资源卫星应用中心 HJ-1A/B 卫星地面处理服务系统获取了鄱阳湖 2011 年丰水期的 HJ-1A/B CCD 影像。以近红外、红、绿光波段 RGB 组合作为目视判读底图,计算归一化水体指数(normal different water index, NDWI)数据作为船只检测影像,以增强船舶目标与水体的差异^[10]。

2 船只提取方法研究

船只检测是基于水体背景提取异常目标,清洁、平静的水面灰度分布较均匀,阈值分割方法可实现船只提取^[3]。但由于受多种环境因素(风浪、水流、水体浑浊等)的影响,传统阈值分割方法在复杂水面状况中的检测出现了较多的漏警和虚警。尤其是针对鄱阳湖水体浑浊变化程度的影响^[11],无法使用传统的分割方法实现 HJ CCD 数

据船只提取,因此,本文提出了一种基于水面均质分割的改进 Contrast box 方法实现鄱阳湖船只检测。

2.1 水面均质性区域分割

面向对象的分割综合运用影像的光谱、形状和空间关系等特征,在对象异质性最小的标准约束下,把同质像元或区域合并为一个对象^[12]。在每一步合并后的对象的异质性需小于给定的阈值,异质性由对象的光谱和形状差异来衡量,而形状的异质通过紧凑度和光滑度两个指标确定。分割尺度决定了分割过程结束的条件,较大的分割尺度导致更多的对象被合并,即生成的对象面积更大。本文使用 NWDI 进行区域分割,分割参数经实验选择如下:颜色(光谱)权重为 0.9,形状权重为 0.1,其中光滑度权重为 0.5。紧凑度权重为 0.5,分割尺度为 30。将分割后的水体范围按照浑浊程度划分为 3 个等级,分割结果及每个等级的典型区域直方图见图 1。

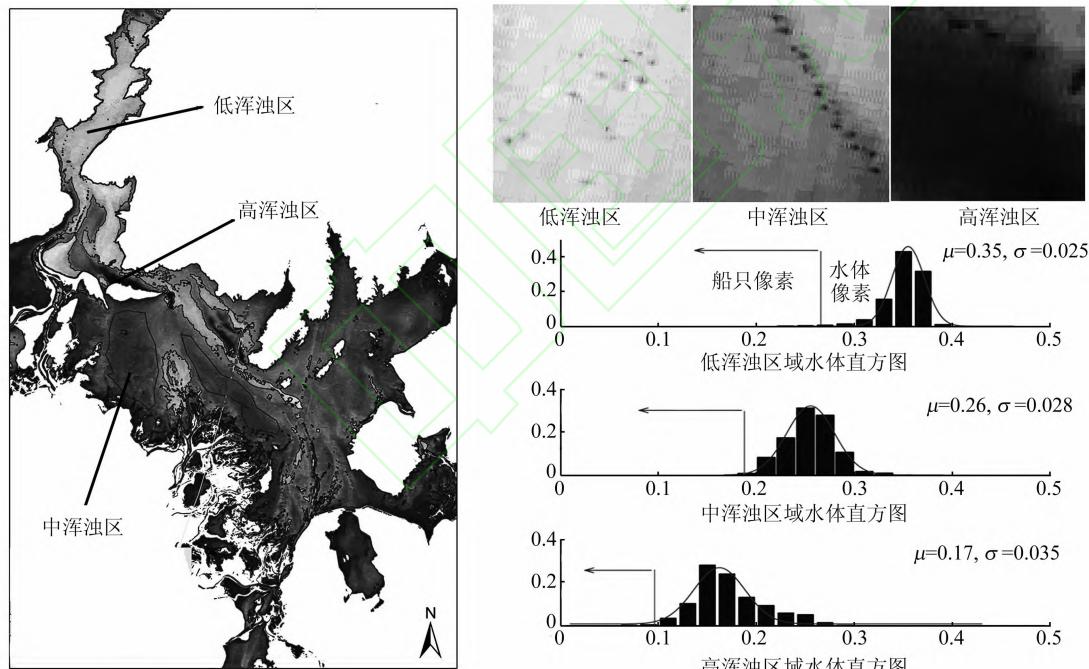


图 1 水面一致性分割结果

Fig. 1 Segmentation Results of Poyang Lake

分割结果显示了鄱阳湖水体的浑浊度变化显著,低浑浊区域水体直方图显示 NDWI 均值较高,水体背景区域的直方图近似符合高斯分布,直方图中的黑线代表满足统计学高斯分布 3σ 准则的区间范围,船只相对大范围的水体背景属于小概率事件。但若用全局阈值分割会引起大范围的误判,因此本文提出了改进的 Contrast box 方法。

2.2 改进的 Contrast box 方法

Contrast box 是目标自动识别(automatic target recognition, ATR)和船只检测常用的方法^[2](见图 2),该方法包括定义背景窗口、约束窗口和目标窗口,算法在目标窗口 T 中统计窗口均值,在对应的背景窗口 B 中统计均值和标准差,使用如下判别式判定窗口中心像素:

$$\mu_{bi} - \mu_{ti} > T_i * \sigma_{bi}$$

其中, μ_{bi} 为目标所在背景区 i 的统计均值; μ_{ti} 为目

标均值; σ_{bi} 为目标所在背景区 i 的标准差; T_i 为第 i 区域的判定阈值。改进的 Contrast box 在每一个目标像素窗口内根据区域分割结果进行如下统计: 首先判定中心像素所属区域等级 L_i ($i=1, 2, 3$), 然后统计背景窗口内所有属于 L_i 级别的背景像素均值 μ_{bi} 和方差 σ_{bi} , 统计过程中根据区域分割结果数据排除异质区域水体的影响, 同时消除该窗口背景区范围内已判定为船只的像素干扰, 最后应用 L_i 级别的阈值 T_i 判定该中心像素是否为船只。

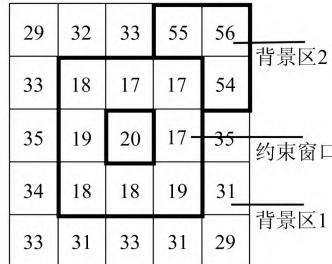


图 2 Contrast box 结构图

Fig. 2 Modified Architecture of Contrast box

Contrast box 方法的船只检测精度受背景窗口大小、约束窗口大小、目标区窗口大小和阈值 T 4 个参数的影响。根据 HJ CCD 数据空间分辨率与船只尺寸大小的关系, 将目标区窗口大小设

置为 1 个像素。约束窗口抑制目标及周围邻近像素对背景区特征统计的影响, 随着窗口的增大, 目标像素的影响减小, 但过大的窗口会导致背景区像素数据减少。因此, 需综合考虑各参数选择对检测精度的影响, 选择合适的 Contrast box 结构。

2.3 实验与评价

采用船只检测率 P_D ($P_D = (\text{检测数量}/\text{真实数量}) \times 100\%$) 和虚警数目 FA 为评价准则, 逐步调整不同的窗口大小组合结构, 获取了不同窗口结构下的船只检测结果, 如表 1 所示。可见, 在约束窗口大小固定的情况下, 较大的背景窗口可以降低背景中噪声对 U_{bi} 和 σ_{bi} 的影响, 提高船只的检测率, 同时也引起虚警数目的增加。约束窗口的设置可有效提高检测率, 由于相邻船只的存在, 3×3 的窗口大小无法完全消除船只背景数据的统计影响, 但窗口大小达到一定程度后 (7×7), 约束窗口的大小对检测率的提高作用趋于稳定, 过大的约束窗口反而会降低背景窗口内的有效像素, 造成虚警率提高, 因此综合两者的影响, 本文选择背景窗口大小为 51×51 , 约束窗口大小为 5×5 。另外, 在背景区有效像素数(背景区浑浊度级别和目标像素浑浊度级别相同)小于 100 时, 需增大窗口大小统计 U_{bi} 和 σ_{bi} 。

表 1 窗口大小选择

Tab. 1 Selection of Window Size

背景窗	3×3 约束窗		5×5 约束窗		51×51 约束窗	
	$P_D/\%$	FA	$P_D/\%$	FA	约束窗	$P_D/\%$
11×11	78.4	19	53.7	17	7×7	81.5
21×21	81.1	23	66.3	20	9×9	81.7
31×31	81.9	27	81.6	21	11×11	81.7
51×51	82	27	83.8	21		20

阈值 T 针对不同等级的浑浊度区域进行分级设置。根据水体浑浊度分级的大小, 阈值分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 。在低浑浊度水体, 船只与水体背景的 NDWI 差异相对显著, 可采用较高的阈值 t_1 作为判别条件, 而对于中高浑浊度水体, 阈值条件则需相应降低, 以提高检测率。本文根据大量实验, 设置 3 个级别的阈值梯度为 $T(3, 2.5, 2)$ 。高阈值可有效降低虚警, 同时也造成低对比度船只的检测, 综合选择阈值组合条件为 $T(3.5, 3, 2)$ 。综合以上分析, 最终的 Contrast box 结构为约束窗大小为 3, 背景窗为 51。对船只提取的初始结果进行面积过滤, 标记面积较大的区域, 通过目视判读该区域是否为船只。

3 结果与分析

由于船只检测的结果缺乏实测数据的验证, 结合国内外相关研究中常用的精度检验方法, 本文采用以下两种方法验证本文方法的有效性。

3.1 目视解译精度评价与方法对比

以 2011 年 7 月 5 日和 7 月 31 日丰水期鄱阳湖 HJ CCD 影像为实验数据, 使用近红外、红、绿三波段合成的 RGB 影像作为精度分析参考数据, 经目视判读解译, 获得船只分布影像部分结果如图 3 (a) 所示, 由于无法完全分辨船只相邻的情况, 因此采用像素数目代表船只数目, 船只检测率为 84%, 虚警数目为 33。对比本文方法检测结果与未进行水体同质区域分割检测的结果, 图 3 中白色框线内

为漏检船只,由于周围水体较浑浊,水体的 NDWI 值接近船只目标值而引起漏检。从图 3 也可发现,由于未进行区域分割引起的高、低浑浊区域水体交界处误判严重。为定量评价总体检测效果,引入品质因数(figure of merit, FoM)作为评价指标, $FoM = \text{检测数}/(\text{真实数} + \text{误判数})$, 品质因数越高,方法的有效性越高。从表 2 可见,本文方法和传统的阈值提取方法的品质因数分别为 0.82 和 0.58,说明本文船舶检测方法在内陆复杂水体的适用性远优于传统方法。

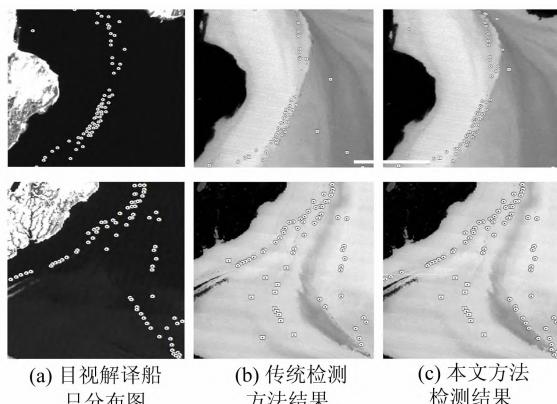


图 3 船只检测方法验证

Fig. 3 Verification of Ship Detection Method

表 2 船只检测结果评价

Tab. 2 Validation of Ship Detection Results

检测率/%	虚警数	漏检数	品质因数
本文方法	84	33	139
统检方法	61	224	364

3.2 使用 Google Earth 影像对比分析

为了进一步检验本文方法的有效性,选择枯水期鄱阳湖区域 2011 年 12 月 4 日 10:39 分过境的 HJ CCD 数据进行验证,同时通过 Google Earth 获取了当日 10 点过境的 WorldView-2 高分影像,分辨率为 0.5 m。图 4 所示为 HJ 卫星船只检测的结果,黑色圆点为正确检测到的船只,黑色圆圈标注区域对比高分影像为受小范围裸露滩涂影响的误判区域,其中高分影像中竖直框线 d 所选区域内

船只为运砂船只,在 HJ 影像上并未检测到该船只队列,经分析,其原因是两卫星数据过境时间相差近 40 min,该航行船队已驶出该检测区域。经整体对比分析,本文方法可有效检测大范围浑浊水体的船只。

4 结语

本文探讨了使用高时间分辨率 HJ 卫星 CCD 数据实现水体状况(浑浊度)高度变化的鄱阳湖区域船只检测的方法,并通过多种手段验证了其有效性。在基于面向对象的分割方法实现区域浑浊度同质分割的基础上,以区域分割数据为底图,改进了传统的 Contrast box 方法,经对比验证,该方法可有效提取水面状况复杂水体(鄱阳湖)的船只分布,降低由于风浪、浑浊度变化等引起的内陆、沿海地区水面异质导致的船只漏检、虚警。本文方法不仅为鄱阳湖采砂运砂船只检测提供了有力支持,也可推广到其他湖泊、海岸等区域的船只检测应用,同时提升了国产卫星在环境检测中的应用能力。由于缺乏实时船只检测数据,本文船只检测方法还需要在后续工作中进一步改进和验证。

参 考 文 献

- [1] Ai Jiaqiu, Qi Xiangyang, Yu Weidong. A New CFAR Ship Detection Algorithm Based on 2-D Joint Log-Normal Distribution in SAR Images[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2010, 7(4): 806-810
- [2] Corbane C, Najman L, Pecoul E. A Complete Processing Chain for Ship Detection Using Optical Satellite Imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(22): 5 837-5 854
- [3] Corbane C, Pecoul E, Demagistri L. Fully Automated Procedure for Ship Detection Using Optical Satellite Imagery[J]. *SPIE*, 2008, 7 150:7 150
- [4] Burgess D W. Automatic Ship Detection in Satellite Multispectral Imagery[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1993, 59(2): 229-237
- [5] Wu Guofeng, De Leeuw J, Skidmore A K. Performance of Landsat TM in Ship Detection in Turbid Waters[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2009, 11(1): 54-61
- [6] Xu Delong, Xiong Ming, Zhang Jing. Analysis on Hydrologic Characteristics of Poyang Lake[J]. *Yangtze River*, 2001, 32(2): 21-27(徐德龙,熊明,张晶)

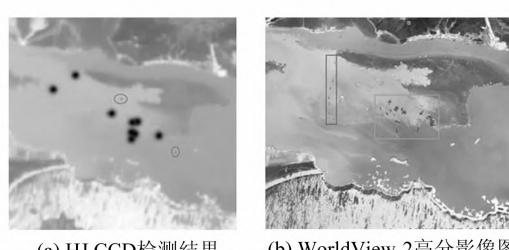


图 4 船只检测结果精度分析

Fig. 4 Accuracy Assessment of Ship Detection Results

- 鄱阳湖水文特性分析[J]. 人民长江, 2001, 32(2): 21-27)
- [7] Lian Feng, Hu Chuanmin, Chen X. Human Induced Turbidity Changes in Poyang Lake Between 2000 and 2010: Observations from MODIS[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 2012, 117 (C7): 309-320
- [8] Wu G F, De Leeuw J, Skidmore A K. Concurrent Monitoring of Vessels and Water Turbidity Enhances the Strength of Evidence in Remotely Sensed Dredging Impact Assessment[J]. *Water Res.*, 2007, 41 (15): 3 271-3 280
- [9] Zhong Yexi, Chen Shan. Impact of Dredging on Fish in Poyang Lake[J]. *J Fish Sci Technol.*, 2005, 101 (1): 15-18(钟业喜,陈姗. 采砂对鄱阳湖鱼类的影响研究[J]. 江西水产科技, 2001, 101(1): 15-18)
- [10] McFeeters S K. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1 425-1 432
- [11] Wu Guofeng, Cui Lijuan. Remote Sense-based Analysis of Sand Dredging Impact on Water Clarity in Poyang Lake[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 6 113-6 120(邬国锋,崔丽娟. 基于遥感技术的鄱阳湖采砂对水体透明度的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6 113-6 120)
- [12] Benz U C, Hofmann P, Willhauck G. Multi-resolution, Object-oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-ready Information[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, 58(3/4): 239-258

Detection of Ships in Homogeneous Regions from HJ-1 Optical Remote Sensing Images: A Case Study at the Poyang Lake

LI Jian¹ CHEN Xiaoling¹ LIU Zixiao² TIAN Liqiao¹

¹ State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

² Tianjin Institute of Surveying and Mapping, Tianjin 300381, China

Abstract: Taking advantage of high spatial-temporal resolution of HJ-1 CCD remote sensing data, we developed an Enhanced Contrast box method to detect ships for inland or coastal areas, where ship detection is usually impaired by the severe heterogeneities of highly turbid waters. First, the whole area was partitioned into many uniform regions based on object-oriented segmentation algorithm. Then, different Enhanced Contrast boxes were employed on each partition, as defined by various parameter combinations. The proposed method was tested and validated on Poyang Lake, the largest freshwater lake in China. As compared to threshold segmentation, the proposed Enhanced Contrast box method showed higher performance in terms of PD (Percent of Detection) and FoM (Figure of Merit) at a rate of 85% and 0.82 respectively. This study provides an efficient way to detect ships at large scale and high frequency based on HJ-1 CCD optical remote sensing data from the Poyang Lake as well as other inland lakes or coastal regions.

Key words: optical remote sensing; HJ-1A/B CCD; ship detection; the Poyang Lake

First author: LI Jian, PhD candidate, specializes in water environmental remote sensing. E-mail:lijianxs1987@gmail.com

Foundation support: The National 863 Program of China, No. 2012AA12A304; the National 973 Program of China, No. 2011CB707106; the National Natural Science Foundation of China, Nos. 41101415, 40906092, 41071261; the State Natural Science Fund Committee Innovative Research Groups Science Fund Project, No. 41021061; State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, and 985, State Key Laboratory Instruments and Equipment Portion of the Cost of Financing.