

基于多期遥感影像的砂质岸线提取方法

——以海阳沙滩为例

胡亚斌^{1,2}, 马毅^{1,2}, 孙伟富², 包玉海¹

(1. 内蒙古师范大学地理科学学院 呼和浩特 010022; 2. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

摘要: 文章提出一种基于发展多期影像和归一化水体指数(NDWI)的砂质岸线自动提取方法,以山东半岛海阳沙滩为实验区,应用 2005 年多个月份的 7 景 Landsat 5 TM 遥感影像为数据源,提取实验区砂质岸线。利用 908 专项修测岸线对提取的海岸线进行精度检验。结果表明,岸线偏差距离为 20.9 m、均方根误差(RMSE)为 33.6 m。该方法可为砂质岸线的提取与变迁分析研究提供参考依据。

关键词: 归一化水体指数;砂质岸线;岸线提取;遥感;山东海阳

中图分类号: P714.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-9857(2016)05-0032-06

A Method of Extracting Sandy Coastline Based on Multi-Temporal Images: a Case in Haiyang Beach

HU Yabin^{1,2}, MA Yi^{1,2}, SUN Weifu², BAO Yuhai¹

(1. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;
2. First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: The study developed an automatic method of extracting sandy coastline based on multi-temporal images and NDWI index, and took Haiyang beach which located at Shangdong Peninsula as the experimentation area. 7 typical remote sensing images of Landsat5 TM in several months of 2005 were used to extract sandy coastline, and then the accuracy of the extracted coastline was examined with 908 special re-survey coastline. The results showed that the deviation distance of coastline and RMSE were 20.9m and 33.6m respectively. The method that developed in this study can provide reference for sandy coastline extracting and analysis of changing.

Key words: NDWI, Sandy coastline, Coastline extracting, Remote sensing, Haiyang

1 引言

海岸线是海陆分界线,由于自然因素和人为因素

的影响,海岸线时刻处在一个连续、动态的变化过程,因此对于海岸线位置难以确定。国标《海洋学术语:海洋地质学》给出的海岸线定义为多年平均高潮位时

收稿日期:2015-11-11;修订日期:2016-03-28
基金项目:民用航天技术预先研究项目子课题“基于多源卫星数据融合的海岸侵蚀与风暴潮遥感监测方法研究”(2014090-090);国家海洋局第一海洋研究所基本科研业务费项目(2015T03).
作者简介:胡亚斌,硕士研究生,研究方向为海岛海岸带遥感与应用,电子信箱:994642285@qq.com
通信作者:马毅,研究员,博士,研究方向为海岛海岸带遥感与应用,电子信箱:mayimail@fio.org.cn

的海陆分界线^[1];夏东兴等认为海岸线是划分喜盐生物与淡水环境生物的界线^[2];海图上的海岸线既有平均高潮线也有低岸线,即小高潮时的水陆分界线。海岸线的蚀退与淤进在海面上升、海岸变化和海岸带区域发展规划中担任重要的角色^[3-4]。海岸线研究不仅有利于指导海岸带资源管理及生境变化监测,而且对沿海居民生存及促进海陆经济协调发展具有重要意义。

海岸线位置的确定是开展海岸带资源管理工作的前提。传统的海岸线测定是通过外业实地勘测界定,该方法费时费力且效率低;相比于传统的海岸线测定,利用遥感影像进行海岸线判绘具有覆盖范围广、任务周期短、人力投入少等特点。

目前基于遥感影像提取海岸线的方法可以归纳为自动提取和人—机交互提取两大类。

在自动提取方法中,光学卫星影像方面,前人结合 NDWI、MNDWI、SVM、DEM、边缘检测算子、图像纹理及数学形态学等方法提取海岸线^[5-11];光学航空影像方面,AmrYousef 采用多级形态学方法和 SVM 方法分别提取海岸线,并用蒙特卡罗模型估算海岸线的精度^[12];SAR 影像方面,Descombesa、Fugura 分别采用马尔科夫链算法和半自动提取程序提取海岸线^[13-14]。

部分学者在人—机交互岸线提取方法中做出了一定的贡献,如,White 等利用 1984 年、1987 年、1990 年和 1991 年 Landsat 卫星影像提取尼罗河三角洲河口地区海岸线,分析海岸线的动态变化^[15];翁宇斌等基于高分辨率遥感影像提取泉州市海岸线,结合信标 DGPS 实测数据对岸线进行修正,并评价岸线提取的精度^[16];孙伟富等利用 SPOT-5 影像,基于现场踏勘,分析影像中各类型海岸线的图谱特征,建立海岸线解译标志,提出各类海岸线提取的原则^[17];Mujabar 通过目视解译提取印度 Kanyakumari 和 Tuticorin 之间的岸线,并利用 DSAS 分析该海岸的淤蚀情况^[18]。上述两类方法大都是利用单景影像提取海岸线,岸线自动提取方法虽可较迅速提取出海岸线,但提取的岸线一般都是卫星或航空飞行器过境时的瞬时水边线,未考虑同一年份不同时间内潮汐对瞬时水边线位置的影

响,并不是严格意义的海岸线,部分学者虽考虑到潮汐影像,但都是基于单景单期影像进行潮汐校正,而人—机交互方法提取单景影像岸线虽保证了岸线的精度,但费时、费力。

本研究利用多期遥感影像,提出一种基于 NDWI 指数图像的砂质岸线自动提取方法。该方法利用研究区同一年份内的多期遥感影像来提取瞬时水边线,同时考虑到潮汐对岸线位置的影响因素,将多条潮汐校正的水边线上边线界定为遥感海岸线。本研究旨在提出一种快速、准确的砂质岸线提取方法,为海岸带资源规划管理提供数据支持。

2 研究区与数据预处理

2.1 研究区概况

海阳市位于黄海之滨,处于青岛、烟台、威海三个开放城市中心地带。研究区多西北风,近海为正规半日潮。海阳海滩底质多为沙质,且粒径均匀,坡度平缓,本研究选取 36°37′30″N—36°42′30″N、121°7′30″E—121°12′30″E 区域万米海滩砂质岸段为实验区,开展海岸线遥感提取。

2.2 数据与处理

所采用的卫星影像是 2005 年内的 7 景 Landsat 5TM 影像(表 1),这些影像已经经过辐射校正和几何校正,根据有关的质量报告,这些产品地理参考的精度等级高于 0.5 个像元。其他辅助数据包括“908”专项的海岸线成果和 2005 年的潮高统计数据。

表 1 遥感信息统计

影像序号	轨道号	成像时间	分辨率/m	潮高/cm
1	119/35	2005-03-23	30	110
2	119/35	2005-04-08	30	52
3	119/35	2005-06-11	30	201
4	119/35	2005-10-17	30	98
5	120/34	2005-04-15	30	249
6	120/34	2005-06-02	30	224
7	120/34	2005-11-09	30	242

注:影像均采用 Landsat 5 卫星和 TM 传感器。

由于在时相内不同的大气状况、土壤湿度、光照条件和传感器侧视角等影响,同一地区所成的影

像有较大的辐射差异^[19]。在进行影像分割时由于影像辐射差异的不同,造成同一地区的提取标准也有所不同。相对辐射归一化的目的是消除同一地区不同时相影像间的辐射差异,理论上能使不同影像中同一地物具有相同的辐射亮度。

目前相对辐射归一化的方法主要分为非线性校正法和线性校正法两种,本研究采用线性校正法中的图像回归法(IR)^[20-21]进行影像辐射归一化处理。辐射归一化处理过程中,需要首先选定以一个时相的影像作为参考影像,然后再将其他时相的影像校正到该影像上;考虑到图像上典型地物的破碎度,选择 2005 年 11 月 9 日的 Landsat 影像作为参考影像。根据式(1)至式(3)对其他时相影像进行校正。

$$y_k = a_k x_k + b_k \tag{1}$$

$$a_k = \frac{s_{z_k y_k}}{s_{z_k z_k}} \tag{2}$$

$$b_k = \overline{x_k} - a_k \overline{z_k} \tag{3}$$

式中: a_k 、 b_k 是 k 波段的归一化参数; x_k 、 y_k 分别为校正图像 k 波段归一化前后的像元灰度值; $\overline{x_k}$ 、 $\overline{z_k}$ 分别为校正影像和参考影像 k 波段的像元平均值; $s_{z_k y_k}$ 、 $s_{z_k z_k}$ 分别为校正影像与参考影像间 k 波段的协方差及参考影像本身的协方差。

由于本研究只利用遥感影像中的第二、四波段,因此只进行这两个波段的辐射归一化。辐射方程归一化参数如表 2 所示。

利用回归方程参数,建立各波段不同的图像回归线性转化方程,对其他时相的影像进行相对辐射归一化处理,得到辐射归一化后的遥感影像。

表 2 不同影像不同波段的辐射归一化方程系数

影像 序号	2 波段		4 波段	
	a	b	a	b
1	0.89	22.18	1.32	6.85
2	0.70	33.97	1.34	13.94
3	1.74	-13.07	2.09	-16.4
4	1.38	7.18	1.75	6.36
5	1.49	1.99	2.08	-8.01
6	0.80	12.97	1.22	0.78

3 岸线提取方法

首先利用相对辐射归一化后的多时相遥感数据,计算得出 NDWI 图像,选取合适的阈值分割形成多期水陆二值化图像;然后通过栅格矢量转换方法将二值化图像转为矢量数据,进而得到瞬时水边线;最后运用潮汐数据将瞬时水边线进行校正,获取多期校正水边线上界,即遥感海岸线。岸线提取流程如图 1 所示。

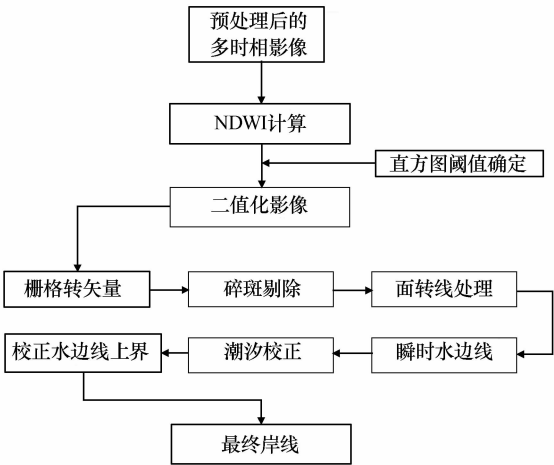


图 1 岸线提取流程

3.1 基于 NDWI 的图像分割与水边线提取

水体在绿光波段有较强的反射而在近红外波段有很强的吸收力,而植物和土壤的光谱特性正好相反,利用这一特点 McFeeter 提出归一化水体指数(NDWI)^[22]。综合考虑研究区地物类别及影像特征,本研究采用 NDWI 方法来分割水陆信息,从而提取水边线。NDWI 计算方法为:

$$NDWI = \frac{\rho_G - \rho_{NIR}}{\rho_G + \rho_{NIR}} \tag{4}$$

式中: ρ_G 、 ρ_{NIR} 分别表示绿光及近红外波段的反射率。

经分析研究区各期 NDWI 图像直方图,发现都呈双峰分布,在双峰之间的过渡区域内找到合适的阈值,可将水体信息和其他地物进行分离,得到二值化影像。通过分析各期 NDWI 图像直方图,确定图像分割阈值为 0.02。

根据阈值将各期 NDWI 图像进行分割,分割标准为大于阈值的灰度值赋值为 0、小于阈值的灰度

值赋值为 1, 得到 7 景水陆分割的二值化图像, 将二值化图像经栅矢化、碎斑处理、假边界剔除获取 7 期瞬时水边线。

3.2 潮汐校正

为消除潮差对瞬时水边线的影响,需对其进行潮汐校正,以获取校正水边线。校正原理如图 2 所示。

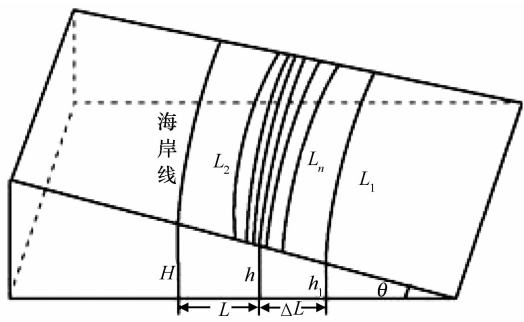


图 2 岸线校正原理

其中 $L_1, L_2, \dots, L_n$ 分别代表从卫星影像中提取的瞬时水边线, H 代表平均大潮高潮位的潮高, h_1, h 代表影像成像时的潮高, θ 为海岸坡度, ΔL 为图像上两水边线的距离, L 表示水边线 L_2 的校正距离。因此可得校正距离 L 的表达式为:

$$L = \frac{H - h}{h - h_1} \Delta L \quad (4)$$

通过查潮汐表可知,在各景影像成像时的潮高,多年年平均大潮高潮高为 382 cm。根据式(4)可得出各期岸线的校正距离 L (表 3)。

表 3 校正距离

影像序号	1	3	4	5	6	7
校正距离 L/m	78.65	73.48	112.62	110.80	138.11	94.82

3.3 基于多期遥感影像的岸线位置确定

根据海岸线的定义提出岸线位置确定原理:基于中分辨率(30 m)遥感影像得到的瞬时水边线经潮汐校正推算获取的校正水边线上界会近似平均大潮高潮线,从而确定岸线位置,岸线位置确定原理如图3所示。

岸线 A、B、C 为经潮汐校正推算后得到的 3 条岸线,3 条岸线之间存在交叉情况,基于岸线位置确定原理,选择岸线 A、B、C 邻近陆地部分线段作为新

岸线位置,即 3 条岸线的上界位置是本研究所定义岸线的位置(图 3)。

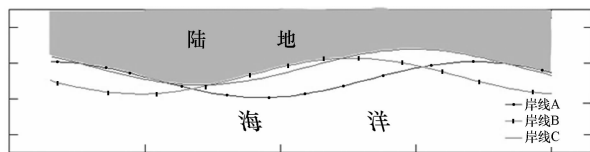


图 3 岸线位置确定原理

4 结果分析与精度验证

应用本研究自动提取和推算方法得到的校正水边线局部结果如图 4 所示。实验应用的遥感影像共 7 景,其中 1 景获取时像接近低潮位,结果表明利用该景影像推算提取的校正水边线与其他几景影像推算提取的校正水边线相差约 3 个像元;其他几景影像对应的都是较高潮位,推算提取的校正水边线基本聚集在一起,之间存在重叠与交叉情况,其分离距离没有超过 60 m,也就是在影像 2 倍分辨率之内,这是合理的,因为相对辐射归一化处理结果会影响水边线提取精度,加之潮汐校正推算的误差亦会影响。对于低潮位影像提取推算结果偏差较大的现象,可能是由于砂质海滩过宽使得坡度不恒定造成的推算偏差。

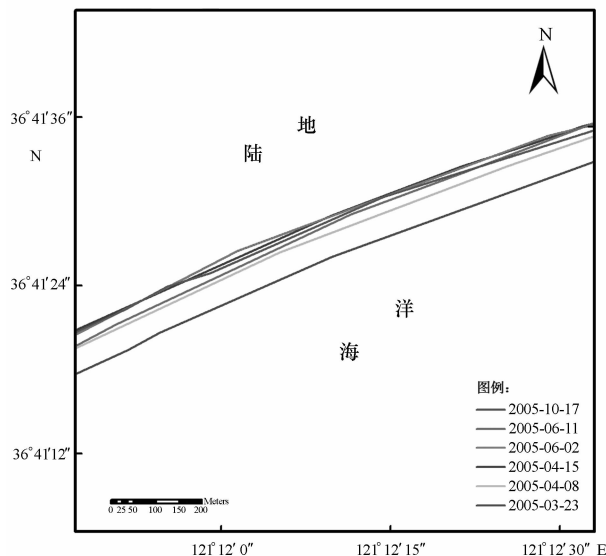


图 4 校正水边线局部

基于发展的砂质岸线自动提取方法获得的海岸线结果如图 5 所示。

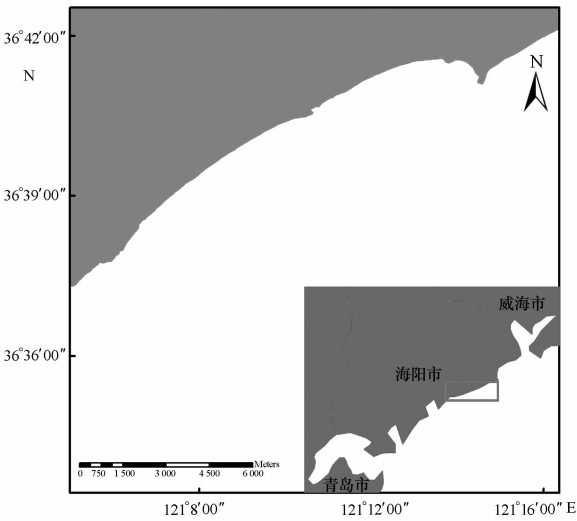


图5 海岸线结果

为验证基于多期遥感图像提取的砂质岸线精度,在“908”专项修测岸线和2005年提取岸线之间,以50 m为间距生成横断面(图6),从而计算出2005年岸线与“908”专项岸线的距离偏差。经计算得出,提取的海岸线到“908”专项修测岸线的均值和均方根误差分别为20.9 m和33.6 m。

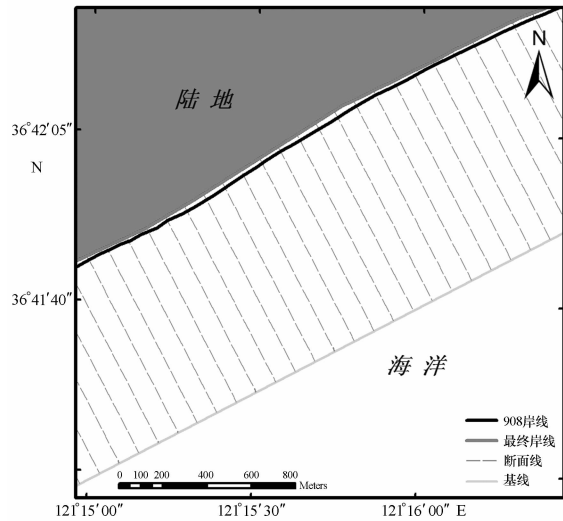


图6 岸线验证

5 结论与讨论

本文提出了一种基于发展多期影像和NDWI指数的砂质岸线自动提取方法,以2005年多个月份的7景Landsat 5 TM遥感影像为数据源,在原始影像进行辐射归一化的基础上,对瞬时水边线进行潮

汐校正,将多条校正水边线的上边线界定为遥感海岸线;利用发展的方法提取实验区砂质岸线,并利用“908”专项修测岸线进行验证,岸线偏差和均方根误差分别为20.9 m和33.6 m。

本研究发展的砂质岸线自动提取方法在海阳砂质海岸进行应用,对其他地区砂质岸线提取具有一定的参考和借鉴意义,但是否适用于其他类型的岸线提取还需要进一步探讨。经本研究发现,利用多期遥感影像提取砂质海岸线时,需存在接近较高潮位时获取的影像,否则基于该方法提取的砂质岸线精度偏低。

参考文献

[1] 国家质量技术监督局. GB/T 18190—2000 海洋学术语. 海洋地质学[S]. 北京:中国标准出版社,2000.

[2] 夏东兴. 海岸带地貌环境及其演化[M]. 北京:海洋出版社,2009.

[3] PARKER B B. The difficulties in measuring a consistently defined shoreline; the problem of vertical referencing[J]. Coastal Res, 2003(38): 44—56.

[4] BELLOMO D, PAJAK M J, SPARKS J. Coastal flood hazards and the national flood insurance program[J]. Coastal Res, 1999(28): 21—26.

[5] 朱长明, 张新, 骆剑承, 等. 基于样本自动选择和SVM结合的海岸线遥感自动提取[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(2): 69—74.

[6] 王李娟, 牛铮. 基于ETM遥感影像的海岸线提取与验证研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(2): 235—239.

[7] BOUCHAHMA M, YAN Wanglin. Automatic measurement of shoreline change on djerba island of tunisia [J]. Computer and Information Science, 2012, 5(5): 17—24.

[8] CHEN Weiwei, CHANG Hsienkuo. Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 84(1): 54—60.

[9] 刘善伟, 张杰, 马毅, 等. 遥感与DEM相结合的海岸线高精度提取方法[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(5): 613—618.

[10] 马小峰, 赵东至, 邢小罡, 等. 海岸线卫星遥感提取方法研究[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(2): 185—189.

[11] DONG D, LI Z, LIU Z, et al. Automated Techniques for Quantification of Coastline Change Rates using Landsat Imagery along California, China[C]//IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 2014, 17: 682—691.

(以下内容转至第49页)

“坐而论道，不如起而行之。”海洋强国战略最终要落脚于真实世界的具体实践，既要坚持开放性，积极学习借鉴海洋先进国家的有益经验，又要坚持系统性，科学制定目标合理、布局完善的整体规划，更要坚持实践性，稳步落实切实可行的具体

[18] SHEIKH M, CHANDRASEKAR. A Shoreline change analysis along the coast between kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline Analysis system [J]. Arabia Journal of Geoscience, 2011, 14 (4): 282-293.

[19] LI D, SUI H, PING X. Automatic change detection of geospatial data from imagery [J]. GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE, 2003, 6(3): 1-7.

[20] YANG C J, LO C P. Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-data satellite images [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2000, 66(8): 967-980.

[21] 丁丽霞, 周斌, 王人潮. 遥感监测中 5 种相对辐射校正方程研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(3): 269-276.

[22] MCFEETERS, S. K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17 (7): 1425-1432.