

最优分割尺度下盘锦海岸线的时空变迁

付杰¹, 宋伦¹, 雷利元¹, 李京忠²

(1. 辽宁省海洋水产科学研究院 大连 116023; 2. 许昌学院城市与环境学院 许昌 461000)

摘要:为研究盘锦海岸线的时空变迁,文章基于面向对象的多尺度分割技术,利用局部方差变化率算法计算水域的最优分割尺度,使用隶属度分类得到水边线,通过潮汐改正提取海岸线,系统分析 1990—2018 年盘锦沿海 4 个研究区的海岸线长度、变化距离和变化率以及海岸带向海推进面积的时空变化特征及其驱动因素。研究结果表明:4 期影像水边线提取的最优分割尺度分别为 118、91、114 和 104;辽河口、临港工业区、盘锦港区和辽滨主城区海岸带向海推进面积分别为 99.96 km²、43.96 km²、26.62 km² 和 26.91 km²;盘锦海岸线的巨大变化主要是由于资源枯竭型城市向海发展、全面转型和以港强市的政策导向作用。

关键词:海岸线;多尺度分割;局部方差变化率;水边线提取;填海造地

中图分类号:TP79;P74

文献标志码:A

文章编号:1005—9857(2021)08—0011—08

The Spatial and Temporal Changes of Panjin Coastlines Under Optimal Segmentation Scale

FU Jie¹, SONG Lun¹, LEI Liyuan¹, LI Jingzhong²

(1. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Xuchang University, Xuchang 461000, China)

Abstract: In order to study the temporal and spatial variation characteristics of Panjin coastlines, this paper used the change rate of local variance to calculate the optimal segmentation scale based on the object-oriented multiresolution segmentation technology, and used the membership classification to obtain the waterline, and then Panjin coastlines were extracted by tidal correction. This paper systematically analyzed the temporal and spatial variation characteristics and driving factors of coastlines length, change distance and change rate, and coastal zone propulsion area in four study areas along Panjin coast from 1990 to 2018. The results showed that the optimal segmentation scales of waterline extraction from the 4 remote sensing images were 118, 91, 114 and 104. The coastal increased areas towards the sea of Liaohe Estuary, Harbor Industrial Zone, Panjin Port and Liaobin Main City were 99.96 km², 43.96 km², 26.62 km² and 26.91 km², respec-

收稿日期:2021-05-10;修订日期:2021-07-14

基金项目:辽宁省自然科学基金项目“海洋公园生态承载力时空格局及驱动力机制研究”(20180551164)。

作者简介:付杰,助理研究员,硕士,研究方向为海岛海岸带遥感变化监测和海岛生态环境承载力评价

通信作者:李京忠,副教授,博士,研究方向为环境遥感和城市计算

tively. The dramatic changes in Panjin's coastline were mainly due to the development of resource-exhausted cities towards the sea, the comprehensive transformation and the policy-oriented role of a developing city based on port industries.

Keywords: Coastline, Multiresolution segmentation, Change rate of local variance, Extraction of water line, Land reclamation

0 引言

《海洋学术语:海洋地质学》(GB/T 18190—2000)将海岸线定义为海洋与陆地的分界线,在我国系指多年大潮平均高潮位时的海陆分界线。精准提取海岸线是海岸带调查的重要内容,充分利用现代、先进和成熟的航空摄影测量、高分辨率卫星遥感、无人机正射影像获取等遥感和地理信息手段快速获取海岸线信息,并对其变化情况进行统计、分析和评价,对于研究海岸带生态系统的结构和功能以及促进海岸带经济、社会和生态的协调发展具有十分重要的现实意义。

海岸线提取是海岸线监测的必要工作。与传统海岸线探测手段相比,遥感技术以高时效、大范围和动态性等优势逐渐成为高效快捷的海岸线提取技术。Tigny 等^[1]利用 1977—2000 年的卫星数据,分析意大利塞丁尼亚西海岸的海岸线变迁情况,并预测海岸线的演化趋势;王靖雯等^[2]针对潮间带遥感监测中存在的时相限制的“瓶颈”,依据卫星过境时的潮位信息建立潮位改正模型,将自动提取的瞬时水边线校正至平均高潮线位置;倪绍起等^[3]利用机载 LiDAR 系统获取的正射影像瞬时水边线,结合该系统提取的 DEM,利用已知控制点建立高程系统转换模型,通过潮汐模型反推研究区的海岸线;王建步等^[4]通过人工建立不同类型的海岸线遥感解译标志,开展 30 余年来辽河口海岸线的遥感变迁研究。

上述海岸线提取方法尚处在遥感图像人工解译和基于像素的光谱自动分类阶段。本研究采用面向对象的多尺度分割技术,提出基于局部方差变化率的算法,计算水体对应的最优分割尺度,确定水边线,并通过潮汐改正提取辽宁盘锦 1990 年、2002 年、2013 年和 2018 年 4 个时相的海岸线;借助数字岸线分析系统,结合 GIS 空间分析技术,系统

研究 1990—2018 年盘锦海岸线的长度、变化距离和变化率以及海岸带向海推进面积等的时空变化特征及其驱动因素,为辽河口“退养还滩”湿地生态修复专项整治行动以及辽东湾新区“港产城校”联动发展战略提供科学的决策支持。

1 研究区和数据源

1.1 研究区

盘锦地处辽西中部的辽河三角洲中心地带,海岸带蕴藏丰富的渔业资源、湿地资源、旅游资源、油气资源和港口资源。原始岸线类型以淤泥质自然岸线为主,经港口和新城建设,目前多为港口岸线和围填海岸线等人工岸线。根据辽东湾新区和辽河口生态区的建设需求,盘锦东部的养殖圈已全部退出,西部沿海正在开展“退养还滩”湿地修复工作,以期保护湿地资源环境、恢复滩涂湿地自然生态以及改善滩涂湿地生态环境。

根据盘锦海岸带的开发利用程度,本研究划分 4 个研究区,即辽河口、临港工业区、盘锦港区和辽滨主城区。①辽河口有河海交汇景观、芦苇荡景观和红海滩景观,海岸线从大凌河口东侧至二界沟渔港新港区南侧;②临港工业区以海洋装备制造、石油精细化工、综合工业和科技产业四大支柱产业为主体,海岸线从西防波堤主体工程北侧至盘锦港荣兴港区西侧边界线;③盘锦港区以发展大型临港产业为依托,重点发展油品、液体散货、粮食和集装箱等货物运输,已逐步发展为多功能和现代化的综合性港口,海岸线从盘锦船舶工业基地海上引堤工程至东防波堤主体工程;④辽滨主城区是市政府、新区管委会和大学城文体中心所在地,海岸线从盘锦港保税物流区东侧天山路至大辽河口南侧盘锦与营口海域分界线。

1.2 数据源

本研究的数据源选用 1990—2018 年的

Landsat 遥感影像,各年份对应的传感器类型分别为 1990 年 TM 影像、2002 年 ETM⁺ 影像、2013 年 OLI 影像和 2018 年 OLI 影像,每个年份选取同年的 2 期影像,用于水边线提取和潮位改正计算。搜集 2002 年的 1:5 万地形图,比例尺精度为 5 m,主要用于影像的几何精校正和提取海岸线的精度评价。搜集 12.5 m 分辨率的 DEM 进行正射校正,对研究区影像同时进行倾斜改正和投影差改正。

2 研究方法

2.1 技术路线

海岸线提取和变化研究主要包含 4 个部分:① Landsat 数据预处理的目的是获取高空间分辨率的正射影像图。对影像进行辐射定标、大气校正和几何配准,配准误差在 1 个像素之内;采用 DEM 数据进行正射校正后,将不同传感器的多光谱以及与之对应的全色波段进行波段融合。② 获取最优分割尺度。定量计算影像分割后的局部方差变化率,直观显示局部方差变化率随分割尺度的变化曲线,曲线对应的峰值即指向最优分割尺度。③ 采用面向对象的隶属度分类提取水边线并进行潮位改正,解译 4 个时相的海岸线。④ 分析海岸线的长度、变化距离、变化率、向海扩张面积和驱动力。

2.2 最优分割尺度获取

图像分割是面向对象分类技术中最基础和重要的问题,本研究采用多尺度分割算法,可在给定尺度获得较好的地物斑块提取效果。多尺度分割是自下而上的分割方式,其目的是实现分割后影像对象内部异质性的最小化。在分割过程中须综合考虑分割尺度和同质性准则组合参数(形状因子)。其中,分割尺度是核心,分割尺度越大,分割得到的对象数量越少,地物类别处于“欠分割”状态;而分割尺度越小,分割得到的对象数量越多,地物类别处于“过拟合”状态。形状因子决定形状异质性相对于光谱异质性的加权百分比,包括光滑度和紧致度 2 个因子^[5]。

影像对象总异质性的计算公式为:

$$h_{\text{shape}} = W_{\text{smooth}} \times h_{\text{smooth}} + W_{\text{compact}} \times h_{\text{compact}} \quad (1)$$

$$f = W_{\text{spectrum}} \times h_{\text{spectrum}} + W_{\text{shape}} \times h_{\text{shape}} \quad (2)$$

式中: f 为影像对象的总异质性,由光谱异质性和

形状异质性的加权平均值构成; h 为异质性; W 为权重。光滑度(smooth)与紧致度(compact)之和以及光谱(spectrum)与形状(shape)权重之和均为 1。

引入局部方差变化率,用于评价不同尺度分割结果的整体最大异质性。利用 ESP 2 模块^[6] 确定最佳分割尺度,使分割对象内同质性最大且对象间异质性最大。计算公式为:

$$LV = \frac{1}{m} \times \sum_{l=1}^m (C_L - \overline{C_L})^2 \quad (3)$$

$$ROC-LV = \left(\frac{LV - LV_{L-1}}{LV_{L-1}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

式中: LV 为局部方差; $ROC-LV$ 为局部方差变化率; m 为影像对象总个数; C_L 为单个影像对象在第 L 波段的亮度值; $\overline{C_L}$ 为所有影像对象在第 L 波段的亮度均值; LV_{L-1} 为以 L 目标层为基准的下一层局部方差。

2.3 隶属度分类

隶属度分类属于规则分类,与阈值分类相对应,是模糊逻辑分类器。本研究通过选择合适的特征,利用隶属度函数建立模糊分类判别规则,实现影像对象分类。分类中用于区分海洋与陆地的指数是改进的归一化差异水体指数,该算法被证明为有效的提取水边线算法^[7]:

$$MNDWI = \frac{p_{\text{Green}} - p_{\text{MIR}}}{p_{\text{Green}} + p_{\text{MIR}}} \quad (5)$$

式中: $MNDWI$ 为归一化差异水体指数; p_{Green} 为绿色波段亮度值; p_{MIR} 为中红外波段亮度值。

采用上述方法建立类描述的隶属度函数,在将海陆分离后导出水体的线状矢量图层,所得结果即水边线。

2.4 潮位改正

面向对象分割分类后提取的是卫星过顶时的瞬时水边线,然而盘锦地势平缓,除人工岸线受潮汐影响较小外,淤泥质岸线的微小水位差距即会对海岸线造成较大的偏差^[8]。因此,须对研究区的淤泥质水边线进行潮位改正,从而获取准确的海岸线位置。

潮位改正即根据卫星成像时刻的潮位高度、平均大潮高潮位高度和岸滩坡度角等信息,计算水边线至高潮线的水平距离。其中,岸滩坡度角的计算

公式为:

$$\theta = \arctan \left[\frac{h_2 - h_1}{\Delta L} \right] \quad (6)$$

式中: θ 为岸滩坡度角; h_1 和 h_2 分别为同年内 2 期影像卫星过顶时的潮位高度; ΔL 为提取的瞬时水边线的水平距离。

潮位改正距离的计算公式为:

$$L = \frac{(H - h_2)}{\tan \theta} \quad (7)$$

式中: L 为潮位改正距离; H 为平均大潮高潮位高度。

本研究以根据盘锦四道沟水文站 1952—1972 年和 2003 年统计资料求得的主要潮位特征值为计算依据,以当地四道沟的理论最低潮面为基准面起算, H 取值为 3.32 m。卫星过顶时的潮位高度和其他潮位信息可在国家海洋信息中心提供的全球潮汐预报服务平台 (<http://global-tide.nmdis.org.cn>) 查询,历史数据可通过国家海洋信息中心编制的“年度潮汐表”获取。

根据上述潮位改正原理,结合当地验潮站的统计资料,对盘锦的淤泥质岸线进行潮位改正,并完成各期海岸线的提取。

2.5 海岸线变化分析

通过上述方法得到 4 个时相修正后的海岸线数据,利用基于 ArcGIS 平台开发的数字岸线分析系统的功能模块^[9],计算海岸线的距离变化量和年变化速率,主要包括累积变化量 (SCE)、净变化量 (NSM)、端点变化率 (EPR) 和线性回归变化率 (LRR) 4 种算法。

(1) SCE 为每个断面上最远离基线和最接近基线的海岸线之间的距离,表示所有时相海岸线位置的海岸线运动的距离总变化,与时间无关。计算公式为:

$$SCE = d_j - d_i \quad (8)$$

式中: d_j 为最近海岸线与断面线的交点到基线的距离; d_i 为最远海岸线与断面线的交点到基线的距离。

(2) NSM 为每个断面上最远年份和最远年份的海岸线之间的距离,仅与 2 条海岸线的获取时间有关。计算公式为:

$$NSM = d_r - d_o \quad (9)$$

式中: d_r 为最近年份海岸线与断面线的交点到基线的距离; d_o 为最远年份海岸线与断面线的交点到基线的距离。

(3) EPR 的主要优点是计算简单,且仅需 2 条海岸线的数据;主要缺点是在有更多时相的海岸线数据可用的情况下,额外的信息被忽略了。计算公式为:

$$EPR = \frac{NSM}{\Delta Y_{r,o}} \quad (10)$$

式中: $\Delta Y_{r,o}$ 为最近年份海岸线与最远年份海岸线之间的时间间隔。

(4) LRR 根据最小二乘法拟合多时相海岸线的变化速率,其最大特点是无论趋势或精度如何变化而使用所有时期内的海岸线数据,但易受离群值的影响,且相对于其他统计方法得到的变化率倾向于低估。计算公式为:

$$y = a + bx \quad (11)$$

$$a = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y}) \quad (12)$$

$$LRR = b = \frac{\bar{y} - a\bar{x}}{\bar{x} - \bar{y}} \quad (13)$$

式中: y 为因变量,即海岸线与断面线交点的空间位置; a 为拟合的截距; b 为回归斜率即 LRR; x 为时间的自变量; x_i 为某时相海岸线的获取时间; y_i 为某时相海岸线与断面线的交点到基线的距离; $\bar{x}$ 为多时相海岸线的平均获取时间; $\bar{y}$ 为多时相海岸线与断面线的交点到基线的平均距离; n 为所有时相海岸线的总和。

3 数据处理

3.1 最佳同质性准则组合参数

不同的同质性准则组合参数对图像分割结果的影响显著。为探究最优分割尺度,应首先寻求形状因子和紧致度因子的最佳组合。分别采用默认参数、随机参数和参数在极值状态下的方法,图像分割效果并不理想,因此在不肯定分割尺度时,有必要分析不同同质性准则组合参数下分割结果的差异。

本研究采用固定单一参数因子法,将最优分割尺度假定为 100,寻找其他最佳组合参数^[10]。试验设计:①形状因子分别设置为 0.4、0.5、0.6、0.7 和

0.8,紧致度因子分别设置为 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 和 0.8,参数配对 30 组,用 4 期影像分别参与 30 组分割试验;②在影像中选定 2 类“纯净”地物即居民地和水域,随机选取样本数分别为 10 个和 15 个,均匀布设在研究区内;③统计不同组合参数下分割的 2 类地物的过拟合和欠分割的样本数,计算多边形与实际地物的重叠度(重叠面积占实际地物面积的比例),并统计重叠度低于 90% 的样本数;④采用权重赋分法,过拟合、欠分割和低重叠度的权重比为 3:3:4,排除分割过于破碎、分割不足和边界重叠度低的组合参数^[11],并对参数组合打分,得分越低则参数组合越好,直至得到 4 期最佳同质性准则组合参数(得分最低)(表 1)。

表 1 最佳同质性准则组合参数试验结果

地物 (样本数/个)	传感器	日期 (年—月—日)	形状因子	紧致度	过拟合 样本数/个	欠分割 样本数/个	低重叠度 样本数/个	得分
居民地 (10)	TM	1990—10—15	0.8	0.6	2	2	2	2.00
	ETM ⁺	2002—09—22	0.4	0.5	1	0	0	0.30
	OLI	2013—11—15	0.8	0.8	3	3	2	2.60
	OLI	2018—09—26	0.8	0.5	3	2	3	2.70
水域 (15)	TM	1990—10—15	0.8	0.6	4	2	4	3.40
	ETM ⁺	2002—09—22	0.4	0.5	2	1	1	1.30
	OLI	2013—11—15	0.8	0.8	5	3	3	3.60
	OLI	2018—09—26	0.8	0.5	4	3	2	2.90

注:过拟合即实际地物包括分割多边形超过 3 个;欠分割即分割多边形包括其他地物类型;低重叠度即重叠度低于 90%。

3.2 最优分割尺度

基于最佳同质性准则组合参数,在 20~120 的分割尺度范围内对 4 期影像开展以单位步长为 1 递增的多尺度分割测试,将形状因子和紧致度因子分别设置为上述 4 种最佳组合来计算最优分割尺度。

- (1)组 1(1990 年, $W_{shape}=0.8$, $W_{compact}=0.6$)
- (2)组 2(2002 年, $W_{shape}=0.4$, $W_{compact}=0.5$)
- (3)组 3(2013 年, $W_{shape}=0.8$, $W_{compact}=0.8$)
- (4)组 4(2018 年, $W_{shape}=0.8$, $W_{compact}=0.5$)

根据局部方差变化率随分割尺度的变化曲线,较明显的 3 处变化率(ROC)峰值即对应的最优分割尺度。组 1 对应的最优分割尺度为 35、50 和 118,组 2 对应的最优分割尺度为 49、85 和 91,组 3 对应的最优分割尺度为 34、56 和 114,组 4 对应的最优分割尺度为 39、69 和 104。

根据最佳同质性准则组合参数的试验结果,当最优分割尺度假定为 100 时,所得水域对象较为破

碎。由于水域属于大面积分布的地物,应采用较大尺度分割,避免水域内部的浅滩分割过于破碎。因此,4 期影像水边线提取的最优分割尺度为 118、91、114 和 104。

4 结果分析

海岸线长度与尺度和基准密切相关,海岸线提取受诸多主、客观因素的制约^[12-16]。遥感影像具有不同的时间分辨率和空间分辨率,且采用的大潮高潮线不同以及坐标系基准不统一,由此得到的海岸线数据毫无意义。因此,须建立统一的海岸线提取标准。

本研究的地理坐标系采用 CGCS 2000 坐标系,投影坐标系采用 3 度分带高斯克吕格坐标系(带号 41 N),潮位改正采用当地平均大潮高潮线,以此提取盘锦各时相的海岸线。

根据海岸线的形态、结构和功能确定基线数量,基线可为向陆或向海一侧,但前提是不同时相

的海岸线应在基线的同一侧。以横断面的最大搜索半径为长度,从基线向海岸线一侧设置断面线,确保断面线与各时期的海岸线相交。通过交点至基线的距离,结合海岸线提取日期,获得海岸线变化的时空特征。

4.1 辽河口

在辽河口西向海一侧设置基线 1 段,搜索半径为 8.00 km;在辽河口东向海一侧设置基线 1 段,搜索半径为 12.00 km;在辽河口东向陆一侧设置基线 3 段,搜索半径为 3.00 km。生成断面线的空间间隔为 100 m,累计生成断面线 691 条。

根据辽河口的基线和断面线可知:1990—2002 年自然岸线减少 30.94 km,人工岸线增长 50.78 km;2002—2013 年自然岸线增长 5.80 km,人工岸线增长 30.77 km;2013—2018 年自然岸线增长 1.83 km,人工岸线减少 1.65 km。2018 年海岸线长度为 176.16 km,其中自然岸线占比为 31.16%;与 1990 年相比,人工岸线的增长速度为 2.85 km/年,自然岸线的减少速度为 0.83 km/年。人工岸线增长的主要原因为辽河口西侧的自然滩涂开展围海养殖,海岸线不断向海推进;2002 年后自然岸线增长的主要原因为河口泥沙淤积使淤泥质岸线向海推进,此外“退养还滩”整治修复措施也初见成效。

1990—2018 年辽河口西侧海岸线变化剧烈的岸段集中在小河—三道沟—酒壶嘴;整个西侧岸段海岸线的平均变化距离为 2 364 m(SCE)和 2 212 m(NSM),平均变化率为 79 m/年(EPR),累计多年平均回归变化率为 82 m/年(LRR);最大变化距离为 6 197 m(SCE),最大变化率为 221 m/年(EPR),均位于盘山贝类增殖站裤裆沟管理站南侧向海推进处;最大累计多年回归变化率为 240 m/年(LRR),位于小河东侧向海推进处;最大侵蚀距离为 -1 129 m(NSM),最大侵蚀变化率为 -40 m/年(EPR),均位于鸳鸯沟向陆推进处。

1990—2018 年辽河口东侧海岸线变化剧烈的岸段分布在红海滩风景廊道入口的人工造地工程区以及三角洲水库南侧的围海养殖区和水稻田种植区;整个东侧岸段海岸线的平均变化距离为

727 m(SCE)和 693 m(NSM),平均变化率为 25 m/年(EPR),累计多年平均回归变化率为 24 m/年(LRR);最大变化距离为 10 314 m(SCE),最大变化率为 369 m/年(EPR),最大累计多年回归变化率为 349 m/年(LRR),均位于三角洲水库管理所南侧向海推进处,水库、水稻田和养殖区均在自然滩涂和河道基础上人工建设;最大侵蚀距离为 -337 m(NSM),最大侵蚀变化率为 -12 m/年(EPR),均位于河道与干鱼沟交汇处。

4.2 临港工业区

在辽东湾新区(包含临港工业区、盘锦港区和辽滨主城区)向海一侧设置基线 1 段,搜索半径为 12.00 km;在大辽河口西向海一侧设置基线 1 段,搜索半径为 1.50 km。生成断面线的空间间隔为 100 m,生成断面线为临港工业区 87 条、盘锦港区 41 条和辽滨主城区 129 条。

根据临港工业区的基线和断面线可知:1990—2002 年双井子村南侧的自然岸线减少 1.88 km 即全部消失,人工岸线减少 1.23 km,主要原因为大规模建设养殖围堤和盐田围堤;2002—2013 年人工岸线增长 10.46 km,主要原因为围堤基础上开展大规模填海造地工程建设,养殖业和盐业逐步退出,海岸线持续向海推进;2013—2018 年人工岸线增长 12.61 km,辽东湾新区填海造地工程建设结束并形成最终轮廓线。2018 年海岸线长度为 35.78 km,全部为人工岸线,较 1990 年的增长速度为 0.78 km/年,主要原因为该区借助港口优势大力发展石化和海洋装备制造业。

1990—2018 年临港工业区海岸线的平均变化距离为 6 939 m(SCE 和 NSM),平均变化率为 248 m/年(EPR),累计多年平均回归变化率为 231 m/年(LRR);最大变化距离为 9 607 m(SCE),最大变化率为 344 m/年(EPR),最大累计多年回归变化率为 339 m/年(LRR),均位于西大堤向海外缘线处;整个岸段无侵蚀和后退现象。

4.3 盘锦港区

根据盘锦港区的基线和断面线可知:1990—2002 年海滨村南侧的自然岸线减少 1.40 km 即全部消失,人工岸线增长 1.30 km,主要原因为淤泥质

岸线向盐田围堤岸线转化;2002—2013年人工岸线增长7.98 km,主要原因为2008年荣兴港区在海上引堤的基础上建设起步工程并于2010年开港,早期包含3个5 000吨级油品泊位以及3个3 000~5 000吨级多用途泊位和航道等配套项目,海岸线随引堤向海推进;2013—2018年人工岸线增长1.70 km,基本形成向海东防波堤与临港工业区西大堤的“双堤环抱”。2018年海岸线长度为14.89 km,全部为人工岸线,较1990年的增长速度为0.39 km/年,主要原因为该区是盘锦转型资源型城市、拓展城市功能、优化产业结构和发展外向型经济的重要依托。

1990—2018年盘锦港区海岸线的平均变化距离为7 391 m(SCE和NSM),平均变化率为264 m/年(EPR),累计多年平均回归变化率为296 m/年(LRR);最大变化距离为9 795 m(SCE),最大变化率为350 m/年(EPR),最大累计多年回归变化率为382 m/年(LRR),均位于某突堤码头向海外缘线处。

4.4 辽滨主城区

根据辽滨主城区的基线和断面线可知:1990—2002年大辽河口西侧的自然岸线减少1.85 km即全部消失,斗沟子村—有雁沟村南部的人工岸线减少7.87 km,主要原因为将“凹”型自然滩涂全部“截弯取直”开展围堤养殖;2002—2013年人工岸线增长6.12 km,主要原因为养殖业全部退出后开展大规模填海造地工程建设,并基本形成3座人工岛的雏形;2013—2018年人工岸线增长0.44 km,主要原因为建设体育场和含章湖东侧填海。2018年海岸线长度为50.94 km(含人工岛),较1990年的增长速度为1.09 km/年,主要原因为该区重点发展金融服务、现代高端商务、房地产和旅游度假等产业。

1990—2018年辽滨主城区海岸线的平均变化距离为2 462 m(SCE)和2 391 m(NSM),平均变化率为86 m/年(EPR),累计多年平均回归变化率为98 m/年(LRR);最大变化距离为8 180 m(SCE),最大变化率为293 m/年(EPR),最大累计多年回归变化率为321 m/年(LRR),均位于人工岛生态区斜坡护岸处。

4.5 海岸带向海推进面积

1990—2018年辽河口、临港工业区、盘锦港区和辽滨主城区海岸带向海推进面积分别为99.96 km²、43.96 km²、26.62 km²和26.91 km²。

1990—2002年围海养殖、围海晒盐、农田开垦和渔港码头建设等活动大量占用盘锦的潮间带和陆地湿地,海岸带向海推进面积为98.08 km²。随着船舶工业基地引堤项目的完工,盘锦港区多用途码头后方堆场建设拉开大规模填海造地工程建设的“序幕”,2002—2013年人为活动继续占用大片的自然滩涂、盐田坑塘和自然海域,海岸带向海推进面积为67.88 km²(不包含3个人工岛形成的15.85 km²)。2013—2018年盘锦的海洋产业结构在新一轮的发展中改变,港口建设、临港工业和城镇建设等逐步替代渔业,辽东湾新区的发展已初具规模,填海造地工程建设基本结束,海岸带向海推进面积为15.64 km²。

5 精度验证

本研究采用缓冲区分析法^[17]进行精度验证:对已有参考的2002年海岸线建立以1个像素为半径的缓冲区,将同期提取海岸线在缓冲区内的长度记为匹配长度,其他记为不匹配长度;建立提取海岸线的缓冲区,同样计算参考海岸线的匹配长度和不匹配长度。定量评价海岸线提取的准确度、完整度和总体精度,计算公式为:

$$A = \frac{TL}{TL + FN} \times 100\% \quad (14)$$

$$I = \frac{TL}{TL + FL} \times 100\% \quad (15)$$

$$F = \frac{2 \times A \times I}{A + I} \times 100\% \quad (16)$$

式中:A为准确度;I为完整度;F为总体精度;TL和FL分别为提取海岸线的匹配长度和不匹配长度;FN为参考海岸线的不匹配长度。

准确度反映海岸线提取的准确性,完整度反映正确提取真实海岸线的占比,总体精度则结合准确度与完整度。总体精度值越大,提取结果越精确。计算结果表明,本研究采用的面向对象的海岸线提取方法有效且可靠(表2)。

表 2 以 2002 年海岸线为参考的精度验证结果

参数	数值
TL/km	156.12
FL/km	14.03
FN/km	16.14
A/%	90.63
I/%	91.75
F/%	91.19

6 结语

本研究采用 1990 年、2002 年、2013 年和 2018 年的 Landsat 数据以及面向对象的方法,利用局部方差变化率算法计算水域所对应的最优分割尺度,使用隶属度分类得到水边线,通过潮汐改正提取海岸线,分析 1990—2018 年盘锦沿海 4 个研究区的海岸线长度、变化距离和变化率以及海岸带向海推进面积的时空变化特征及其驱动因素。

已有研究成果大多基于经验,通过反复试验目视判别并确定多尺度分割的重要参数(如分割尺度和形状因子),主观性较强。本研究采用固定单一参数因子法,对随机选取样本的过拟合、欠分割和重叠度进行综合评价,筛选最佳同质性准则组合参数;基于最佳同质性准则组合参数,定量计算 4 期影像在多分割尺度下的局部方差变化率并绘制曲线图,峰值指向水边线提取的最优分割尺度。

1990—2018 年盘锦海岸线的巨大变化主要是由于资源枯竭型城市向海发展、全面转型和以港强市的政策导向作用。未来通过“退养还滩”生态整治修复措施,盘锦辽河口内集中连片分布的养殖围堰人工岸线将恢复滩涂湿地自然岸线原貌,辽东湾新区的海岸线将趋向稳定。

参考文献

- [1] TIGNY V, OZER A, FALCO G D, et al. Relationship between the evolution of the shoreline and the posidonia oceanica mead-

ow limit in a sardinian coastal zone[J]. Journal of Coastal Research, 2007, 23(3): 787—793.

- [2] 王靖雯,牛振国. 基于潮位校正的盐城滨海潮间带遥感监测及变化分析[J]. 海洋学报, 2017, 39(5): 149—160.
- [3] 倪绍起,张杰,马毅,等. 基于机载 LiDAR 与潮汐推算的海岸带自然岸线遥感提取方法研究[J]. 海洋学研究, 2013, 31(3): 55—61.
- [4] 王建步,张杰,陈景云,等. 近 30 余年辽河口海岸线遥感变迁分析[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(1): 86—92.
- [5] 谭衢霖,刘正军,沈伟. 一种面向对象的遥感影像多尺度分割方法[J]. 北京交通大学学报, 2007(4): 111—114.
- [6] DRĂGUT L, CSILLIK O, EISANK C, et al. Automated parameterization for multi-scale image segmentation on multiple layers[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014, 88(100): 119—127.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] HIMMELSTOSS E A, HENDERSON R E, KRATZMANN M G, et al. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 5.0 user guide[R]. U. S. Geological Survey Open-File Report, 2018.
- [10] 刘金丽,陈钊,高金萍,等. 高分影像树种分类的最优分割尺度确定方法[J]. 林业科学, 2019, 55(11): 95—104.
- [11] 于欢,张树清,孔博,等. 面向对象遥感影像分类的最优分割尺度选择研究[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(2): 352—360.
- [12] 罗昆,丁波,龙根元. 基于多源遥感影像的宁远河口海岸线变迁分析[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(4): 187—192.
- [13] 刘鹏,王庆,战超,等. 基于 DSAS 和 FA 的 1959—2002 年黄河三角洲海岸线演变规律及影响因素研究[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(3): 585—594.
- [14] 毋亭,侯西勇. 海岸线变化研究综述[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 1170—1182.
- [15] 申家双,翟京生,郭海涛. 海岸线提取技术研究[J]. 海洋测绘, 2009, 29(6): 74—77.
- [16] SHEIK M. A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system [J]. Geo-spatial Information Science, 2011, 14(4): 282—293.
- [17] 吴一全,刘忠林. 遥感影像的海岸线自动提取方法研究进展[J]. 遥感学报, 2019, 23(4): 582—602.