

基于遥感影像的海岸线提取技术研究进展

李雪红¹ 赵 莹²

(1. 海军大连舰艇学院 训练部, 辽宁 大连 116018; 2. 长春市城乡规划设计研究院, 吉林 长春 130033)

摘要: 常用于水边线提取的遥感手段主要有卫星光学遥感、微波遥感和激光雷达技术。从这三种常用的水边线提取遥感技术角度出发, 分析比较了基于各类型数据提取水边线的主要方法原理、特点及适用情况。介绍了潮位校正和基于 DEM 数据的两种获取真实海岸线的研究方法以及三维激光扫描数据的应用。最后就目前该领域的不足之处提出了今后研究的可行性建议。

关键词: 卫星光学遥感; 微波遥感; 激光雷达; 海岸线; 水边线

中图分类号: P236 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3044(2016)04-0067-05

1 引 言

海岸线是地形图和海图的基础要素, 在测绘学中海图上的海岸线为多年平均大潮高潮的水陆分界线。作为划分海洋与陆地行政管理区域的基准线以及领海内水和陆地分界线等重要标志, 一直是人类关注的重要地形要素。

遥感技术不但具有全天候、同步观测、范围广、信息更新周期短、空间多尺度等特点, 且可以不被地理位置、天气情况和人为因素等影响, 能够应用于以往由于地理、环境等条件恶劣而不易于实地考察的岸带。但由于遥感影像成像时间很难保证恰巧为海岸线定义中的平均大潮高潮位置时刻, 因此需要通过一定方法将这一水边线重新校正至真正意义上的海岸线位置。常用水边线提取的遥感手段主要有卫星光学遥感、微波遥感、激光雷达技术三种。前人曾从各类遥感影像单独出发对海岸线提取方法进展有过评述, 但针对基于各类影像海岸线提取方法的系统总结与比较还不多见。本文围绕基于卫星光学遥感、微波遥感、激光雷达这三种影像数据在水边线提取方面的应用, 系统回顾了国内外近年来水边线提取方法的研究进展, 同时还探讨了基于潮位校正和结合 DEM 数据提取海岸线的技术以及三维激光扫描数据的应用, 对各种方法的优缺点、适用情况及存在的问题进行了分析并对未来该领域的发展方向提出了建议, 为开展海岸线提取的进一步深入研究做了铺垫。

2 水边线提取技术

由于卫星影像上的海岸线一般是海水与陆地的瞬时交界线, 即水边线。因此大部分海岸线自动提取算法研究实际上是针对影像上的水边线来进行提取, 需要通过一定的矫正手段对其进一步处理。但是由于水边线是精确海岸线获取的必要基础, 因而优秀的水边线提取算法有其重要的研究意义。

2.1 卫星光学遥感

利用星载光学遥感影像进行瞬时水边线提取的方法分为人工目视解译与自动信息提取。目视解译通过人机交互方式把海岸线描绘出来并保存成线性矢量图层。虽然其方法简单, 但精度受人为主观因素的影响。自动信息提取方法快捷, 计算过程可以多次重复, 是遥感应用领域研究的热点^[1]。受水陆边界特性的影响, 自动提取水边线实际上是一个图像分割的过程。目前主要应用的方法有阈值法、边缘检测法及神经网络分类法等。

2.1.1 阈值法

阈值法是通过数字图像的像元值进行分析来选取一系列分割阈值, 利用它们将图像分割成不同区域。其中密度分割法在水边线提取中广泛应用。密度分割法其主要适用于要分割物体与背景有强烈对比度的影像。但是, 当海岸区域有物体的阴影及散射特性很弱的植被时, 利用该方法提取水边线会存在一定的误差。此外, 噪声的影响也会使一些真正的海域, 如海湾等水域成为孤立区域, 从而引起误

收稿日期: 2015-04-27; 修回日期: 2015-11-28

作者简介: 李雪红(1970-), 女, 重庆人, 高级工程师, 主要从事遥感与地理信息应用研究。

判。区域增长提取法又称种子点增长,也是一种基于阈值思想的轮廓提取算法。它的基本原理是先选择一处标准的海域作为种子点,然后通过搜索其周围的相似像元对其进行集合处理,进而以种子点作为中心不断地向外扩张,最后对所有纳入该联通区域的像素点进行轮廓跟踪来获得水边线。利用区域增长算法获取的水边线虽然比较连续,但当图像有噪声,扩张区域周围像元值变化突然或局部方差变大时易导致水边线偏移,使结果不准确。

2.1.2 边缘检测法

图像中物质边缘对应的图像灰度与其周围像元灰度是不连续的。边缘检测算法就是根据某像元点邻域灰度值变化大于一定范围来判定该像素是否为边缘线。边缘检测算子大多数是基于方向导数掩模求卷积的方法,国内外学者通过一定的边缘算子搜索图像灰度值发生阶跃变化的位置来对水边线进行提取,常用的有 Sobel 算子^[2]、Roberts 算子^[3]及 Canny 算子^[4]。微分边缘算子对于不同种类的海岸适用效果有所不同^[5]。对于提取人工海岸, Sobel 算子用来提取多像素的边缘线,提取的精细度不够; Roberts 算子算法简单、速度快,提取的边缘线宽度较细,精度较高,但受噪声影响较大,提取的边缘是单像素,易间断; Canny 算子选取两个阈值来提取一个强边缘和一个弱边缘,只有当两种边缘相连结时弱边缘被采用,这种方法能够较好地切合原图像的边缘,也可以剔除假边缘信息,没有出现断点,提取人工海岸线效果较好。提取砂质海岸时由于 Sobel 算子对噪声的平滑作用显著,因此对处理灰度渐变和噪声较多的影像效果较好,但缺点是提取海岸线的边缘精度不高。Roberts 算子相比于其他算法而言,虽然运算速度快,边缘线的宽度较窄,定位精度较高,但同样易受噪声影响; Canny 算子受噪声影响特别大,而且不能兼顾局部的边缘信息,提取砂质海岸线的效果不太好。对于淤泥质海岸,由于其在图像上呈现比较复杂的边缘,边缘检测法的自动提取技术并不理想。

2.1.3 神经网络分类法

神经网络模型是人类神经系统一阶近似的数学模型,被广泛用于解决各类非线性问题。其采用多层拓扑结构,给定误差精度后通过多次迭代训练,直到误差稳定为止。Ryan^[6]对图像进行标准化处理后,采用神经网络监督分类方法确定了水边线。朱小鸽^[7]利用神经网络分类方法基于多时相 Landsat 卫星遥感图像对我国珠江三角洲附近十多年间海岸线变化情况进行了动态监测,同时统计

算了其陆地面积增长变化情况。神经网络分类法对信息的处理具有自组织、自学习的特点,对于地物类型相对复杂的海岸,在图像本身特征的基础上,可以利用以往分类过程中积累的经验不断训练修改其自身的结构及其识别方式以获得更准确的结果^[8]。

2.2 微波遥感

微波遥感具有全天候工作能力、不受云、雨、雾的影响,并且可在夜间工作,穿透力强、能透过植被、冰雪及干沙土以获得近地面以下的信息。其主要通过对各种地物由于自身表面粗糙度、复介电常数等性质不同使之发射或者反射的微波信号存在差异与变化来对其进行识别、分析及提取。基于微波的水边线算法主要有主动轮廓法、水平截集算法以及小波变换等。

2.2.1 主动轮廓法

主动轮廓法(Active Contour)也称 Snake 算法,其基本思想是先从图像感兴趣区外给出一条初始轮廓来表达目标边缘,并定义一个自变量包括边缘曲线的能量泛函,这样分割过程就转变为在初始位置向真实位置靠近的过程中求解能量泛函最小值的过程,即经过若干次迭代不断地改变轮廓线使其在图像中运动,最终逼近目标的真实边界位置,通常可通过求解函数对应的欧拉方程来实现。主动轮廓模型对初目标边缘要求比较高,同时由于模型的非凸性,有可能收敛到局部极值点甚至发散。因此,在之后的研究过程中许多学者针对其运行速度和检测效果进行了相应的改进。其中基于梯度矢量流的改进型主动轮廓法能够较好地克服传统主动轮廓算法在凹度较大的曲折水边线处不能很好收敛这一问题,同时也适合在噪声干扰比较严重的微波遥感影像上准确提取边缘。李林茹^[9]、范典等^[10]均基于微波遥感图像利用梯度矢量流的主动轮廓模型对确定的边缘点进行连接获得了连续水边线。

2.2.2 水平截集算法

1995年,Ravikanth 等人^[11]提出了“水平截集”(Level Set)算法。基于人类视觉特性,将低维的计算升到更高一维,用高一维度曲面的零值等高线作为目标边缘去分割低一维的目标。此方法演化曲线过程能够自然地改变拓扑结构,可以分裂、合并、形成尖角等,这些都使其优于主动轮廓法,但是,由于水平集算法也是基于能量最小化原理依次迭代,同时在每次迭代时都要将图像中所有点重新排列来构造三维曲面,导致计算量较大,计算复杂程度也有所增加,因此对于分辨率较高的图像运算耗时较长。为了提高收敛速度,欧阳越^[12]等基于 SAR 图像先

在低分辨率图像中用水平截集算法对影像进行粗分割,得到水边线的初始轮廓,然后将其映射到高分辨率图像上继续进行检测,这样可以大大降低水平集的迭代次数以便得到最后精确的结果。

2.2.3 小波变换

小波变换适用于 SAR 图像的水边线提取。该方法基于伸缩和平移的思想,将影像的灰度值转化为数字信号后,利用小波函数按不同分辨率对数字信号进行线性分解运算,找出交界处具有奇异性的位置并把它们依次连接起来从而获得水边线。小波变换的重要特性是具有时频局部化和多尺度性,时频局部化使小波变换具有可调的时频窗口来逼近信号的细节部分。多尺度特性能使边缘信号与噪声信号逐步分离开来。Niedermeier^[13]等人利用 SAR 影像采用小波边缘检测技术获得了与遥感图像中显示的海陆边界线对应较好的水边线。但是小波变换方法直接应用于当某些灰度值局部跳跃表现为噪声的图像时,高细节区会形成碎边缘片段,水边线难以连续。这时采用形态学方式,将碎区域合并再进行多尺度边缘检测,可以保持空间位置大致不变的情况下解决提取过程中水边线不连续的问题。

2.3 激光雷达

激光雷达(LiDAR)是一种主动式对地进行三维直接观察和测量的光学遥感设备,激光雷达快速直接获取地物点三维信息的特点,是传统摄影测量技术和地面常规测量方法无法取代的。理论上,由某个潮位面定义的海岸线高程值以及高精度激光雷达数据共同构建的三维地表模型就能够确定海岸线的平面位置,或依据潮位资料达到真实海岸线提取的目的。

很多学者研究了基于 LiDAR 数据自动提取海岸线的算法,如剖面分析法,它是一种基于线性的离散原始 LiDAR 高程值来得到平均大潮面^[14]的方法。以及基于从垂直校正的 LiDAR 数字高程模型(DEM 或者 网格)中提取等值线的等高线跟踪法^[15]。其中,剖面分析法需花费较长的处理时间,而由于许多制图软件中都能够根据数据自动生成等高线使得等高线跟踪法简单易操作。虽然这两种方法都能提取较高精度的海岸线,但是同时也存在着一些不足。首先,由于激光雷达数据是密集的不规律离散点云数据集,从中直接提取地形特征比较困难,因此上述算法都是先将点云内插成规则格网之后在此基础上进一步进行岸线提取工作的,而在内插数字高程的过程中会造成一定的精度损失。其次,传统数字高程内插算法无法准确地保留真实地

形特征,因此在地形突变的区域,这种内插方法会使海岸线提取误差较大。董保根等^[16]先利用离散点云构建三角网以减少内插规则格网带来的误差,克服了传统提取方法在地形突变处误差大的问题。然后进行顾及地形结构的点云高程修正,并利用动态阈值张力样条函数内插生成光滑海岸线。可以在保证提取精度的情况下获取平滑的海岸线。刘瑶等人针对 LiDAR 海域数据的几何特性,提出一种结合高程差的区域平坦度计算与密度过滤方法来获取岛礁,并得到了较高的完整性和准确性。

3 海岸线提取技术

利用遥感技术提取具有高程的海岸线一般基于两种思路:一种思路是根据瞬时水边线与潮位站数据利用时空模型来校正水边线以获得海岸线。另一种是通过获得潮滩 DEM 数据并结合当地平均大潮高潮面的高程值从而得到真正意义上的海岸线。

3.1 潮位校正的海岸线提取

潮位校正方法是通过影像成像瞬时潮位高度、历史平均大潮高潮位高度以及当日高潮的高程等信息,利用几何三角关系计算出水边线至高潮线的水平距离,从而对水边线进行修正来确定海岸线位置。利用此方法提取海岸线是在地形起伏可忽略不计的假设前提下进行的,并且需要有比较详细的历史潮位资料信息,因此只适用于地形起伏较小的海域。黄海军等^[17]考虑季节和卫星过顶时潮位的影响,采用三个时段的影像利用上述方法进行校正,分别得出海岸线位置,从而对黄河三角洲地区海岸线变化做了动态分析。马小峰等^[18]先通过边缘检测法完成对卫星图像中水边线的自动提取,同时利用已有的潮位数据与时间进行拟合分析,得到卫星过境时刻的潮位高度,再根据潮位校正原理得到真正意义上的海岸线位置。

3.2 结合 DEM 的海岸线提取

申家双等基于潮间带 DEM 和潮汐模型提出获取海岸线的基本思路。将水边线看作等高线,先通过不同时相的遥感影像获取各自成像时刻潮位下的相异水边线,然后利用潮汐模型进行推算,获得一系列高程信息。再通过插值方法得到潮间带数字高程模型,同时基于潮汐模型模拟出当地平均大潮高潮面的高程值,两者横切得到海岸线。刘善伟等^[19]以 SPOT5 融合影像为例给出了基岩、砾石、砂质、人工 4 种类型海岸线的解译标志建立方法和提取原则,提出结合精细 DEM 数据提取海岸线的方法,并验证了基于砂质岸线解译标志提取海岸线高程精度的可

靠性。倪绍起等^[20]提出一种利用机载 LiDAR 数据的点云进行三角网内插并与潮汐推算模型相结合的方法可用于砂质岸线和基岩岸线的提取。

3.3 通过海岸带三维激光扫描数据提取精密岸线的实践

由于遥感数据的来源不同、分辨率不同,甚至于元数据的不完善等因素,在理论上对遥感岸线提取的精度进行分析是一件很困难的工作。实践中我们可以利用精密岸线测量的结果对遥感岸线提取的精度予以分析。在较为平坦的海岸带地区,经典岸线的测量可以通过 GPS RTK 或全站仪进行。但在陡峭的海岸带地区,“岸线面海”的地貌形态使得全站仪的架设极为困难,工作效率很低。为此我们考虑利用船载激光三维扫描数据进行岸线提取。

实践中,船载激光三维扫描数据还可以配赋点影像数据在相关软件平台上进行人工交互提取平均大潮高潮面痕迹线。由此可以对传统定义中的岸线与通过 DEM 分析勾绘的平均大潮高潮线进行比较。

通过与实测数据的比较,激光三维扫描数据进行岸线提取的平面精度可达 20~30cm。而岸线点位分辨率可以达到厘米级,远非传统 GPS RTK 或全站仪测量法可比。

4 结束语

通过对全文的分析研究,对下一步研究建议如下。

(1) 利用高光谱数据。海岸线遥感提取近年来取得了许多有意义的成果,对于水陆边界清晰、水体洁净的沿海地区,其水边线提取作用现有的方法基本能够获得较好的结果,并且较以往传统方法海岸线提取的效率也有了很大的提高。但是,上述方法多基于像元分析,仍具有一定的局限性。有学者在退潮后对比潮滩的影像光谱与野外实测光谱后发现,由于潮滩中残余水体的影响使其对热红外波段影响较大。多波段遥感影像对于不同地物而言,其光谱之间的细微差异不是很明显,光谱特征不突出,因此对潮滩水陆分类效果有一定的限制。而波段数量多,波谱信息丰富的高光谱数据可以为海岸线提取方法的研究提供一个新思路,应积极探索特定波段上海岸线电磁波与周围地物的波谱差异,加强地物光谱特征及遥感成像机理研究。但目前航空高光谱成本还较高,数据获取不方便。星载高光谱数据虽然探测面积大、成本低,但由于目前在轨的星载高光谱遥感卫星只有 Hyperion 一个,沿海潮滩区域数据也较为稀缺使其仍未获得广泛的应用。

(2) 补充海岸带数据资料。遥感数据空间分辨率、DEM 数据精细程度等都直接影响着海岸线的提取精度。目前,在轨运行的涉海卫星约有 30 颗,其中作为中空间分辨率卫星的代表, TM、ETM+、SPOT、ASTER 等的影像已在海岸线提取中得到较广泛的应用。虽然目前如 WorldView 系列、GeoEye、IKONOS 以及我国的高分系列等亚米级空间分辨率卫星越来越多地应用于学术研究,但利用其开展海岸线提取的应用研究还很少,潮间带 DEM 数据更新工作滞后,由于微波雷达与激光雷达技术较之被动光学遥感具有许多优势,在海岸带滩涂应用中显示出巨大的潜力,因此应进一步开展此方面的研究,填补国内该部分研究领域的空白,并加快高精度、高分辨率的海岸带基础数据建设工作。

(3) 采用复合手段提高准确率。由于光学遥感、微波遥感、激光雷达等技术在海岸线调查中都存在着各自的优势与不足,集中多源遥感的技术优势,加强多源、多模式、多时相的数据融合及应用研究将是未来海岸线调查的发展方向。并且海岸线提取不仅是灰度值变化的图像分析过程,也应考虑其大小、形状、纹理等地学性质。近年来,随着 E-cognition 等面向对象商业软件的问世,ENVI 新版本中也加入了面向对象的处理模块,基于面向对象遥感信息提取的研究工作越来越受到关注。这种方法的研究对象不再是单独的像元,而是针对不同地物大小利用最适宜尺度对图像进行分割来构建多尺度网,然后综合考虑了地物几何、波谱、纹理以及空间关系等典型特征进行目标的分析和判别。将图像处理的基本理论与地学知识相结合,并根据各自岸线特点选择最优的提取方法能进一步提高准确率。

参考文献:

- [1] 陈勇. 海岸带滩涂资源遥感应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(2): 296-304.
- [2] 晁晖, 梁娜. 遥感技术支持下海岸线提取算法[J]. 河北联合大学学报: 自然科学版, 2014, 36(3): 82-84.
- [3] 韩震, 金亚秋. 星载红外与微波多源遥感数据提取长江口淤泥质潮滩水边线信息[J]. 自然科学进展, 2005, 15(8): 1000-1006.
- [4] 张朝阳, 冯伍法, 张俊华. 基于色差的遥感影像海岸线提取[J]. 测绘学院学报, 2005, 22(4): 259-262.
- [5] 刘晓莉, 范玉茹. 常用边缘检测算法在不同影像海岸线中提取比较研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(11): 149-151.
- [6] Ryan T W, Semintilli P J, Yuen P, et al. Extraction of Shoreline Features by Neural Nets and Image Processing

- [J]. Photogrammetry and Remote Sensing, 1991, 57 (7): 947-955.
- [7] 朱小鸽. 珠江口海岸线变化的遥感监测[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2): 19-22.
- [8] 余景, 陈丕茂, 贾晓平, 等. 基于遥感和GIS技术的水边线提取方法研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15989-15991.
- [9] 李林茹, 高双喜, 曹淑服. 基于小波变换和梯度矢量流Snake模型的ERS-1 SAR图像的海岸线探测[J]. 河北工业科技, 2004, 21(4): 24-33.
- [10] 范典, 郭华东, 岳焕印, 等. 基于二进小波变换的SAR图像湖岸线提取[J]. 遥感学报, 2002, 6(6): 511-516.
- [11] Ravikanth Mallad, i James Sethian, Baba Vemur. i Shapemodelling with frontpropagation: a level set approach [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1995, 17 (2): 158-175.
- [12] 欧阳越, 种劲松. 基于改进水平截集算法的SAR图像海岸线检测[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 456-460.
- [13] Niedermeier A, Romaneessen E, and Lehner S. Detection of coastlines in SAR images using wavelet methods [J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38 (5): 2270-2281.
- [14] Stockdon H, Sallenger A, Holman R, et al. Estimation of Shoreline Position and Change Using Airborne Topographic LiDAR Data [J]. Journal of Coastal Research, 2002, 18(3): 502-513.
- [15] Robertson W V, Whitman D, Zhang K Q, et al. Mapping Shoreline Position Using Airborne Laser Altimetry [J]. Journal of Coastal Research, 2004, 26(4): 884-892.
- [16] 董保根, 张良, 张钢, 等. 利用LiDAR点云提取有地形约束的光滑海岸线[J]. 测绘科学技术学报, 2012, 29(2): 113-117.
- [17] 黄海军, 李成治, 郭建军. 卫星影像在黄河三角洲岸线变化研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(2): 30-37.
- [18] 马小峰, 赵冬至, 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.
- [19] 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.
- [20] 倪绍超, 张杰, 马毅, 等. 基于机载LiDAR与潮汐推算的海岸带[J]. 海洋学研究, 2013, 31(3): 55-61.
- [21] 吴迪, 孙晶, 黄文骞, 等. 多源多算法遥感水边线提取适配模型研究[J]. 海洋测绘, 2014, 34(4): 50-54.

Research Progress of Techniques of Coastline Extraction Based on Remote Sensing Images

LI Xuehong¹, ZHAO Ying²

(1. Training Department of Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2. Changchun Institute of Urban Planning & Design, Changchun 130033, China)

Abstract: As remote sensing technology has prominent advantages of being macroscopic, full-time, fast, high-frequency and low cost, it is very suitable to acquire coastline. Remote sensing methods used in waterline extraction mainly include optical remote sensing, microwave remote sensing and laser radar technology. The principles, characteristics and applicable conditions of waterline extraction main method were analyzed and compared based on these three kinds of common remote sensing technology of waterline extraction. Then this paper introduces the two kinds of methods with tide correction or DEM data to obtain real coastlines and the application of 3d laser scan data. At last, feasible suggestion of the future research is forecasted based on its existent insufficiency.

Key words: optical remote sensing; microwave remote sensing; laser radar; coastline; waterline