

基于 LiDAR 点云提取海岸线的二值图像化改进方法

于彩霞^{1,2,3} 王家耀¹ 黄文骞³ 许 坚³

1 信息工程大学地理空间信息学院,河南 郑州,450052
2 地理信息工程国家重点实验室,陕西 西安,710054
3 大连舰艇学院,辽宁 大连,116018

摘 要:针对当前从激光雷达测量(light detection and ranging,LiDAR)点云中提取海岸线的二值图像化方法过于复杂,且无法评估提取岸线可靠性的现状,提出了一种改进方法。首先对 LiDAR 点云去噪,然后以平均大潮高潮面(mean high water springs,MHWS)高程为阈值,直接将 LiDAR 点云分割成水陆二值图像,通过水陆目标识别等图像处理过程,提取潮汐特征海岸线。实验表明,利用提出的二值图像化改进方法提取的海岸线可靠性高于当前已有方法的结果,且提取过程更简单,效率更高。

关键词:LiDAR;二值图像;海岸线;平均大潮高潮面;痕迹岸线

中图法分类号:P237;TP751 **文献标志码:**A

海岸线作为海陆交界线,对沿海的滩涂面积、湿地生态系统衰退等具有重要的指示作用;从测绘角度,海岸线是海洋和陆地表示的分界线,也是海岛礁形状描绘与面积量算的依据^[1],是海图和地形图上均不可或缺的重要线状地形要素。因此,如何快速、准确地确定海岸线的位置及监测其动态变化,一直是测绘及相关领域致力解决的难点和热点问题。

LiDAR 是近年来新兴的一种直接地理定位新技术,能够快速准确地获取高精度、高密度的三维空间信息,特别适合于在传统测量方法难以测绘的地区,如海岸带、岛礁等进行高精度测图^[1-3]。利用 LiDAR 点云数据提取海岸线的方法在国外研究较多,主要方法有海岸剖面法和等值线法^[3-8],前者运算量大,后者提取的岸线曲折抖动大。Liu 等^[9,10]采用平均高潮面(mean high water,MHW)与滤波后生成的 LiDAR 数字高程模型(digital elevation model,DEM)相交生成二值化图像,根据美国关于岸线与 MHW 面的定义,利用图像处理技术提取了 Texas 湾的海岸线,Zhang^[11]则在 Liu 的基础上提取了高潮线。两者的研究存在以下两个问题:①需要以构建海岸带 DEM 或海岸数字表面模型(digital surface model,DSM)为前提,事实上对于高精度、高密度的海量 LiDAR 点云,这类模型的构建过程

非常缓慢,计算量大,而且在构建过程中需对数据进行内插,易产生误差;②两者均试图采用蒙特卡洛模拟法进行精度评估,实际上蒙特卡洛模拟法只能证明二值图像法的稳定性,无法对提取海岸线的可靠性进行评估。

针对上述问题,本文对二值图像化方法进行改进,直接将数据预处理后的 LiDAR 点云经数据分割形成水陆二值图像,摒弃构建海岸 DEM 或海岸 DSM 的步骤,简化海岸线的提取过程,并联合中国近海海域精密潮汐模型,提取严格意义上的潮汐特征海岸线(即基于平均大潮高潮面的海岸线),最后通过实例对比不同方法提取海岸线所使用的时间,衡量不同岸线提取方法的效率;同时以实地考察、测量的痕迹岸线为比对基准,分别采用定性和定量的方法评估了不同方法所提取海岸线的可靠性与合理性。

1 方法与过程

1.1 二值图像化方法

二值图像化方法提取海岸线的基本思路是^[9-11]:根据 MHWS 高程值将由 LiDAR 点云构建的海岸 DEM 或海岸 DSM 分割为水陆二值图

像,然后检测二值图像的边缘即得海岸线。

在提取过程中,海岸 DEM 或海岸 DSM 的构建是一个复杂、耗时且易产生误差的过程:首先海岸 DEM 基于真实地面点云构建,真实地面点云是通过滤波算法从 LiDAR 原始点云中分离得到,目前对 LiDAR 点云的滤波研究较多,但未有一种滤波方法可以应对复杂多变的海岸地形^[12,13],即便是较为成熟的基于 TIN 的渐进加密滤波法^[14]也需要不断地试验和调整阈值以期得到合理的滤波效果,因此岸线的提取过程过于繁冗;其次由于海岸地形复杂多样,很难得到合理的海岸 DEM 或海岸 DSM(很难保留准确的地形特征);最后海岸 DEM 或海岸 DSM 的构建过程需要对点云进行内插^[15-16],易产生误差。

1.2 二值图像化改进方法

根据海岸线的定义^[17-18],在海岸线(特别是自然岸线)位置附近通常不会存在植被或建筑物等非地形要素,即海岸线附近的 LiDAR 点云是真实的地形数据。滤波与否对提取海岸线的精度不会产生影响。基于这一考虑,本文对二值图像提取海岸线算法进行改进,省略 LiDAR 点云的滤波过程,摒弃构建海岸 DEM 或海岸 DSM 过程,直接将数据预处理后的 LiDAR 点云进行二值化处理,既简化海岸线的提取过程,节省了时间,又减少因点云滤波和海岸 DEM/海岸 DSM 构建而产生的误差,提高了海岸线提取的精度。岸线提取具体流程如图 1 所示,主要包括 LiDAR 点云数据处理、MHWS 局部高程计算、水陆二值图像生成、水陆二值图像的图像处理、可靠性分析等 5 个技术环节。

1) LiDAR 点云数据处理

对 LiDAR 数据进行预处理,包括坐标转换和粗差剔除。坐标转换是指将 LiDAR 点云数据转换为 2000 国家大地坐标系(CGCS2000)和 1985 国家高程基准。根据 LiDAR 的工作原理以及点云数据采集的流程,获取的 LiDAR 点云不可避免地存在诸多粗差,如高点(激光脉冲可能打在飞鸟等悬浮物上引起)、低点(激光脉冲由于某种原因返回时间较长或由系统误差引起),以及孤立点云(激光脉冲打在在设备与目标之间的障碍物引起),这些粗差均为错误数据^[11,12],必须剔除,从而确保点云数据的质量。

2) MHWS 局部高程计算

在局部范围内,LiDAR 点云经坐标转换可表达为 (x,y,h) 或 (B,L,h) ,其中, h 为被测点的大地高, (x,y) 和 (B,L) 分别为目标点的平面坐标或

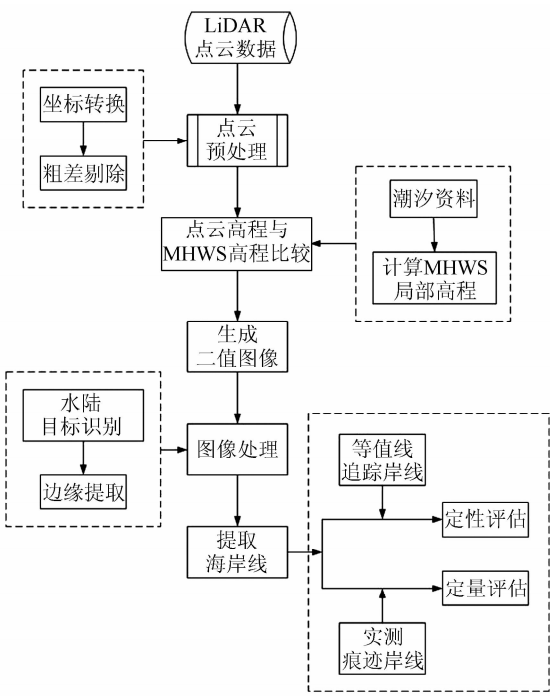


图 1 海岸线提取流程图

Fig. 1 Flowchart of Extracting Shoreline

地理坐标。

目标点的大地高通过式(1)转换为正常高:

$$H = h - N \tag{1}$$

式中, N 为大地水准面高,因在海岸区域,在本应用中视为高程异常。

通过潮汐资料计算得到该海域的平均大潮高,即确定海岸线的高程(平均大潮高潮线),在岸线高程已知情况下,可由式(2)计算:

$$H_{MHWS} = \zeta + A_{MHWS} \tag{2}$$

式中, A_{MHWS} 表示自当地平均海面起算的平均大潮高; ζ 为在国家高程基准中表达的海面地形高度^[17,19,20]; H_{MHWS} 为二值化阈值。

3) 水陆二值图像生成

$$f(i,j) = \begin{cases} 0, & f(i,j) \geq H_{MHWS} \\ 1, & f(i,j) < H_{MHWS} \end{cases} \tag{3}$$

式中, $f(i,j)$ 表示 (i,j) 处 LiDAR 点云的高程值。

通过式(3)将激光扫描点云转换为水陆二值图像。

4) 水陆二值图像处理

对生成的水陆二值图像进行处理的步骤如下。

(1)扫描识别水陆目标,删除伪目标。水陆二值图像中存在许多小的、不连续的区域,可能由低湿地、藻类海草残骸、波浪,数据空白等原因造成,视为“伪水域目标”或“伪陆地目标”,其边界线不是真正的海岸线,这些伪目标需要删除。识别二值图像中的水域和陆地像素,相对应地标记为水

域或陆地目标,并且分别计算每一目标的面积。设置面积阈值,从而排除掉多余的伪目标,可减少后续海岸线编辑处理的工作量。

(2)二值图像的边缘提取。对删除伪目标后的二值图像进行图像处理,先膨胀后腐蚀,使得图像边界更平滑。最后,对最终的水陆二值图像检测边缘,提取海岸线。

5)可靠性分析

本文分别从定性和定量角度对采用二值图像化改进方法提取的岸线(下文简称“改进岸线”)进行可靠性分析。

定性分析是指通过将改进岸线与等值线追踪岸线(下文简称“等值岸线”)和 Liu 的二值图像法提取的海岸线(下文简称“Liu 岸线”)叠加显示分析,从可视化的角度定性分析改进岸线的形态。

定量分析主要是通过以下方法评估不同方法提取海岸线的可靠性。将基于 LiDAR 数据提取的海岸线(下文简称 LiDAR 岸线,包括改进岸线和 Liu 岸线)与实地测量的痕迹岸线(下文简称“痕迹岸线”)进行高程比对和平面位置比对,得到高程和岸线变化梯度方向的平面位置差异均方根差和标准差,以验证 LiDAR 岸线提取的可靠性。

具体方法是在 LiDAR 岸线上每隔一定距离采样,并在岸线梯度方向上确定痕迹岸线的对应点。分别计算对应点的高差 ΔH_i 和平面位置差 ΔV_i ,并分别计算高程方向和水平方向差异的平均值、均方根差和标准差。而在局部范围内二类岸线高差差异的不一致性主要由实测岸线的高差不同所引起。

二类岸线高差的均值、均方根差和标准差分别为:

$$\text{Mean}_V = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_i}{n}$$

(4)

$$\text{RMS}_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^2 V_i}{n}}$$

(5)

$$\text{STD}_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_{V_i}^2}{n-1}}$$

(6)

式中, n 表示采样点的总数; $v_{V_i} = \Delta V_i - \text{Mean}_V$ 。

2 实验与分析

2.1 实验

实验区选在大连市老虎滩附近海岸带区域,此海岸区域地形复杂,性质为岩石陡岸,山体上覆

盖着植被,实地测量十分困难。LiDAR 数据由船载方式测得,采用中海达激光扫描仪 iScan 于 2013 年 8 月 31 日 10:37 采集,点云平均间距为 0.1 m,图 2 为截取的 LiDAR 点云数据,约 40 万个点。

实测痕迹岸线数据于 2013 年 10 月测量。从图 2 的红色虚线框可清晰地看出痕迹表现为一定宽度的条带,在实地测量时则一般取痕迹带的一条颜色过渡线连接测量点可得痕迹岸线。显然,其光滑程度取决于测点密度。

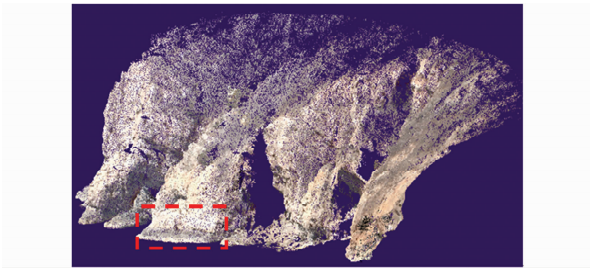


图 2 实验区域的真彩色点云数据
Fig. 2 True Color Point Clouds of Test Area

按照 § 1.2 所述步骤,提取海岸线过程如图 3 所示。首先根据中国近海海域精密潮汐模型和海面地形模型计算 MHWS 局部高程,以该高程为阈值,对预处理后的 LiDAR 点云进行二值化处理,得到初始的水陆二值图像,如图 3(a)所示;设置面积阈值,排除陆域中的伪水域目标和水域中的伪陆域目标,如图 3(b)所示;按照数学形态学的方法,通过闭运算即先膨胀后腐蚀的算法,光滑锯齿形边界线,矢量化二值图像得到平均大潮高潮海岸线,如图 3(c)中的红线所示。

将改进岸线、Liu 岸线、等值岸线,以及痕迹岸线叠加在海岸 DEM 上,如图 4(a)所示,红色表示改进岸线,紫色表示 Liu 岸线,黄色表示等值岸线,蓝色表示痕迹岸线。其中,图 4(b)和图 4(c)分别为图 4(a)中的蓝色方框和黑色方框的局部放大图。

2.2 效率分析

本文选择 3 名实验人员(具有初步的 LiDAR 数据处理能力)分别采用 Liu 提出的二值图像算法(下文简称“Liu 算法”)和本文提出的二值图像化改进方法(下文简称“改进算法”)从本实验区域的 LiDAR 点云中提取海岸线,完成海岸线提取的时间如表 1 所示。

从表 1 可以看出,采用改进算法提取海岸线的时间明显少于 Liu 算法所用时间。通过观察分析实验员的实验过程,在采用 Liu 算法时,近 1/3

表 1 不同实验员采用不同算法提取海岸线所用时间/min

采用方法	Different Persons/min			
	实验员 1 所用时间	实验员 2 所用时间	实验员 3 所用时间	平均时间
Liu 算法	30	37	42	36.3
改进算法	11	13	15	13

的时间花在 LiDAR 点云的滤波分类过程中,近 1/3 的时间花在海岸 DEM(TIN)的构建以及调整部分不合理的 TIN 中;而采用改进算法时,由于摒弃了这些过程,整个提取过程只包括将点云生成二值图像及对二值图像进行图像处理花费时间,作业员的工作量明显减少,所用时间也大幅减少。

2.3 可靠性分析

平均大潮高潮线是一条虚拟理论岸线,无明显标记,无法进行直接测绘,而痕迹线是指滩涂上沙砾等堆积形成的痕迹、岩石等因海水浸泡形成的痕迹,是实地测量的唯一可视依据^[16],如图 2 的红色虚线框所示,是最接近平均大潮高潮线的可视线。因此,在实际测量中,一般视痕迹线为海

岸线。本文以实地测量的痕迹岸线为比对岸线,分析二值图像改进法提取海岸线的可靠性。

(1) 定性分析

从海岸线的形态特征角度(图 4),等值岸线(黄色线)曲折、抖动,存在许多封闭多边形,这可能是由于藻类、海草沉积或数据空缺而引起的,而 Liu 岸线(紫色线)和改进岸线(红线)明显好于等值追踪岸线,形态较为平滑,这是因为对水陆二值图像进行了辨伪取真的处理(即扫描识别水陆目标、设定阈值、删除伪目标)。但相比于改进岸线,Liu 岸线与等值岸线的平面位置和岸线趋势更为相似,这是因为 Liu 岸线与等值追踪岸线均是从海岸 DEM 上提取岸线,海岸 DEM 中不合理的 TIN 及构建过程中产生的误差会传递到 Liu 岸线中,而改进岸线则是直接将 LiDAR 点云转换为水陆二值图像,因此,改进岸线更为合理。当海岸 DEM 中的不合理 TIN 较多时,改进岸线与其余两种岸线的形态差异较大(图 4(b)),当 TIN 较为规则时,差异明显减少(图 4(c))。可见,等值岸线和 Liu 岸线受构建的海岸 DEM 影响较大。



图 3 二值图像改进法提取海岸线
Fig. 3 Improved Binary Image Method to Extract Shoreline

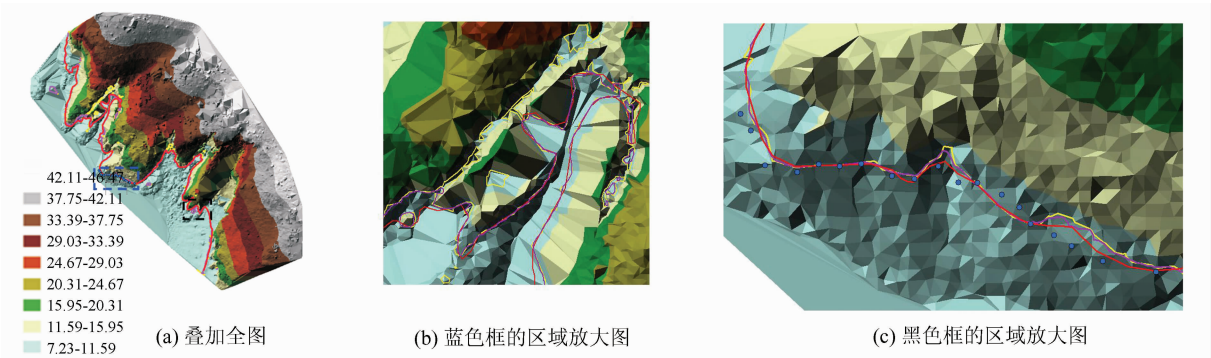


图 4 改进岸线、等值追踪岸线、Liu 岸线和痕迹岸线的叠加显示
Fig. 4 Overlay of Improved, Contour, Liu and Trace Shoreline

图 4(c)是痕迹岸线(以实地测量的采样点形式显示,蓝色)与改进岸线、Liu 岸线和等值追踪岸线的叠加放大图。由图中清楚地看出,改进岸线、Liu 岸线非常接近,而痕迹岸线与这两者在形态上有一定的差异,这是因为痕迹线并不是单纯的平均大潮高潮线,而是受到了波浪(涌浪)与滩涂相互作用的影响。

(2) 定量分析

通过痕迹岸线上的 19 个测量点(图 5),分别作 LiDAR 岸线的垂线,与改进岸线(红色)和 Liu 岸线(紫色)相交。改进岸线和 Liu 岸线到痕迹岸线的平面距离如图 6 所示,高程距离如图 7 所示。

按照式(3)计算其均方根误差,如表 2 所示。

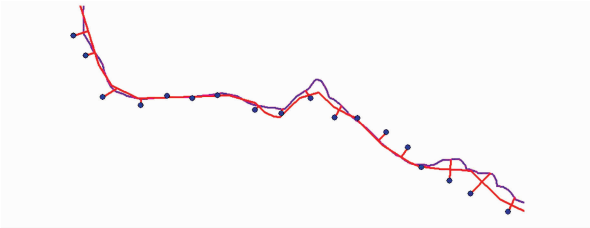


图 5 采样点在岸线上的分布情况

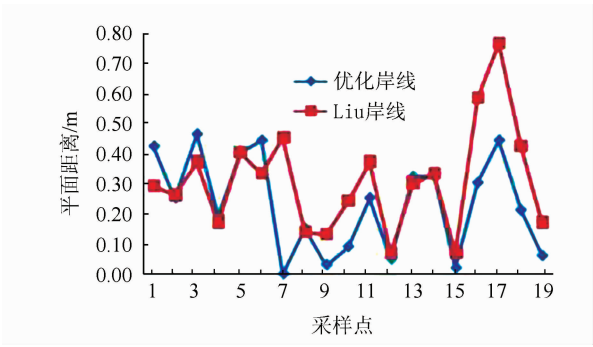


图 6 LiDAR 岸线到痕迹岸线的平面距离

Fig. 6 Plan Range Between LiDAR and Trace Shoreline

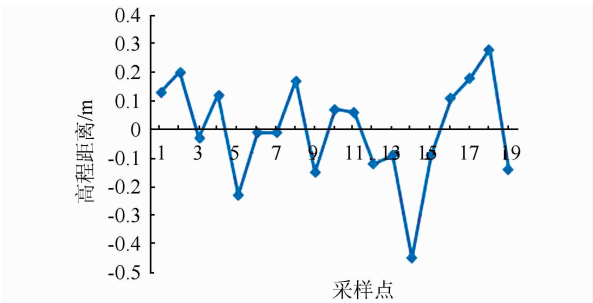


图 7 LiDAR 岸线到痕迹岸线的高程距离

Fig. 7 Verticalrange Between LiDAR and Trace Shoreline

表 2 改进岸线和 Liu 岸线的比较/m

Tab. 2 Comparison of Improved and Liu Shoreline/m

	LiDAR 岸线	平均值	均方根差	标准差
与痕迹岸线的平面距离	改进岸线	0. 23	0. 278	0. 159
	Liu 岸线	0. 31	0. 352	0. 174
与痕迹岸线的高程距离	改进岸线	0	0. 172	0. 177
	Liu 岸线	0	0. 172	0. 177

从岸线的平面位置来看,改进后的岸线比 Liu 岸线更接近痕迹岸线(图 6、表 2);从岸线的高程距离看(图 7、表 2),由于改进岸线和 Liu 岸线都是基于 LiDAR 点云和 MHWS 高程推算得到的固定值,而痕迹岸线是指岩石因海水浸泡形成的痕迹,在实地测量时则一般取痕迹带的中偏上部位的点测量,显然这种测量方式具有不确定性,且受主观因素影响较大,因此,痕迹岸线的高程不一。

岸线平面位置的确定同时受到海岸带坡度的影响,但对于本实验区域,由于坡度变化不大(1°左右),所以该指标对提取海岸线的影响不大,不予考虑。

3 结 语

1) 本文提出的二值图像化改进方法摒弃了

LiDAR 点云的滤波分类和海岸 DEM/海岸 DSM 的构建,使得海岸线提取的速度更快、效率更高。

2) 二值图像化改进方法对 LiDAR 点云进行滤除噪声,避免了粗差带来的严重失真;同时省略海岸 DEM/海岸 DSM 的构建,避免了其在构建过程中误差的影响,使得提取的海岸线更可靠性、形态更平滑,大大减少了海岸线后期编辑处理的工作量。

随着对地形岸线精度要求的提高,本文的研究为高效地提取高精度海岸线提供了一种有效的方法,并可扩展应用于其他等高线的提取。但本文只针对岩石陡岸这一海岸类型进行了研究,下一步将结合不同的海岸类型和地貌地形特征进行研究。

参 考 文 献

[1] Yu Caixia, Wang Jiayao, Xu Jun, et al. Advance of

- Shoreline Extraction Technology[J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2014, 31(3): 305-309 (于彩霞, 王家耀, 许军, 等. 海岸线提取技术研究进展[J]. 测绘科学与技术学报, 2014, 31(3): 305-309)
- [2] Zhang Yongjun, Wu Lei, Lin Liwen, et al. Automatic Water Body Extraction Based on LiDAR Data and Aerial Images[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(8): 936-940(张永军, 吴磊, 林立文, 等. 基于 LiDAR 数据和航空影像的水体自动提取[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(8): 936-940)
- [3] Limber P W, List J H, Warren J W, et al. Using Topographic LiDAR Data to Delineate the North Carolina Shoreline[C]. Proceedings of Coastal Sediments'07, New Orleans, Louisiana, 2007
- [4] 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
- [5] Weber K M, List J H, Morgan K L M. An Operational Mean high Water Datum for Determination of Shoreline Position from Topographic LiDAR Data[R]. USGS Open File Report 2005-1027, USA, 2005
- [6] Hess K W, Spargo E, Wong A, et al. VDatum for Coastal North Carolina: Tidal Datums, Marine Grids, and Sea Surface Topography[R]. NOAA Technical Report NOS CS 21, U S Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Maryland, 2014
- [7] Parker B. The Difficulties in Measuring a Consistently Defined Shoreline—the Problem of Vertical Referencing[J]. *Journal of Coastal Research Special Issue*, 2003(38): 44-56
- [8] Robertson W V, Whitman D, Zhang K Q, et al. Mapping Shoreline Position Using Airborne Laser Altimetry[J]. *Journal of Coastal Research*, 2004, 20(3): 884-892
- [9] Liu Hongxing, Douglas S, Gu Songgang. Automated Extraction of Shorelines from Airborne Light Detection and Ranging Data and Accuracy Assessment Based on Monte Carlo Simulation[J]. *Journal of Coastal Research*, 2007, 23(6): 1 359-1 369
- [10] Liu Hongxing, Lei Wang, Douglas S, et al. Algorithmic Foundation and Software Tools for Extracting Shoreline Features from Remote Sensing Imagery and LiDAR Data[J]. *Journal of Geographic Information System*, 2011(3): 99-119
- [11] Zhang Liang, Ma Hongchao, Wu Jianwei. Utilization of LiDAR and Tidal Gauge Data for Automatic Extracting high and low Tide Lines[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2012, 16(2): 405-410(张良, 马洪超, 邬建伟. 联合机载 LiDAR 数据和潮汐数据自动提取潮位线[J]. 遥感学报, 2012, 16(2): 405-410)
- [12] Sui Lichun, Zhang Yibin, Zhang Shuo, et al. Filtering of Airborne LiDAR Point Cloud Data Based on Progressive TIN[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(10): 1 159-1 163(隋立春, 张熠斌, 张硕, 等. 基于渐进三角网的机载 LiDAR 点云数据滤波[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(10): 1 159-1 163)
- [13] Wang Jinliang, Chen Lianjun. Review on Filtering Algorithm for LiDAR Point Cloud Data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(5): 632-638(王金亮, 陈联君. 激光雷达点云数据的滤波算法述评[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(5): 632-638)
- [14] Axelsson P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models[J]. *IAPRS*, 2000, 33(B4): 110-117
- [15] Li Zhilin, Zhu Qing. Digital Elevation Model[M]. 2nd eds. Wuhan: Wuhan University Press, 2012(李志林, 朱庆. 数字高程模型(第二版)[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2012)
- [16] Johns K H. A Comparison of Algorithms Used to Compute Hill Slope as a Property of the DEM[J]. *Computer and Geoscience*, 1998, 24(4): 315-323
- [17] Dang Yamin, Cheng Pengfei, Zhang Chuanyin, et al. Technology and Method of Surveying and Mapping Island/Reef[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2012(党亚民, 程鹏飞, 张传银, 等. 海岛礁测绘技术与方法[M]. 北京: 测绘出版社, 2012)
- [18] Xia Dongxing, Duan Yan, Wu Sangyun. Study on the Methodology of Recent Coastline Delimitation[J]. *Journal of Marine Science*, 2009, 27(增刊): 28-33(夏东兴, 段焱, 吴桑云. 现代海岸线划定方法研究[J]. 海洋学研究, 2009, 27(增刊): 28-33)
- [19] Bao Jingyang, Xun Jun. Tide Analysis from Altimeter Data and the Establishment and Application of Tide Model[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2013(暴景阳, 许军. 卫星测高数据的潮汐提取与建模应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2013)
- [20] Deng Kailiang, Bao Jingyang, Xu Jun, etc. High Resolution Mean Sea Surface over China Sea Obtained with Compelling-correction[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(12): 1 283-1 287(邓凯亮, 暴景阳, 许军, 等. 用强制改正法建立中国近海平均海平面高模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(12): 1 283-1 287)

[21] Li Ning, Zhang Lihua, Tian Zhen,et al. A Method for Extracting low Tide Line Using the Surface Intersection[J]. *Acta Geodaetica et Cartpgraphic Sinica*, 2014,43(5):537-544(李宁,张立华,田震,等. 利用曲面求交提取低潮线的方法[J]. 测绘学报,2014,43(5):537-544

An Improved Binary Image Method of Extracting Shoreline Based on LiDAR Data

YU Caixia^{1,2,3} WANG Jiayao¹ HUANG Wenqian³ XU Jian³

- 1 Institute of Geographic Spatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China
- 2 State Key Laboratory of Geo-information Engineering, Xi'an 710054, China
- 3 Dalian Navy Academy,Dalian 116018, China

Abstract: The binary image method can automate extraction of tidal datum referenced shorelines from light detection and ranging (LiDAR) data. With this method, spatially detailed and continuous shorelines can be derived. In this paper, an improved binary image method is developed in order to promote efficiency. Firstly, data preprocess is applied to the LiDAR data, including coordinate transformation and noise reduction, with the exception that no filter is used to generate an LiDAR DEM. Secondly, the LiDAR data is segmented into a binary image by intersection with the MHWS (mean high water springs) datum surface, whose height calculated by the tide gauge data or tidal model. Thirdly, the tidal datum referenced shorelines from the LiDAR data are extracted by a chain of image processing procedures, including object recognition, bogus-objects deletion, and edge detection. Finally, the accuracy of shorelines is evaluated by the comparison of LiDAR-derived shorelines with the ground survey data. An application shows that the improved method is more efficient and more reliably than the binary image method.

Key words: LiDAR; binary image; shoreline; MHWS; visual shoreline

First author: YU Caixia, PhD, lecturer, specializes in data processing of marine GIS. E-mail: yucaixiaxj@163.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation Younth Found, No. 41501500; the Open Research Fund Program of Key Laboratory of Geographic Information Engineering, Nos. SKLGIE2014-M-3-2, SKLGIE2016-M-4-1; the National Natural Science Foundation of China, Nos. 41471380,41601498; the Pre-research of 3rd 2110 Engineering of Dalian Navy Academy, No. DLJY-XY2014016.