

# 侧扫声呐图像海底线自动提取方法研究

赵建虎<sup>1</sup> 王 晓<sup>1</sup> 张红梅<sup>2</sup>

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079  
2 武汉大学动力与机械学院,湖北 武汉,430072

**摘 要:**针对现有方法在侧扫声呐水柱区图像受发射脉冲、海面回波、尾流及大面积悬浮物等干扰情况下海底线无法自动准确检测和提取,造成斜距改正后目标图像严重畸变和错位等问题,基于侧扫声呐成像机理以及图像特点,提出了海底线最后峰值检测法和基于海底变化渐进性和海底线对称性的海底线修复方法。结合 Kalman 滤波以及上述方法的特点和适用对象,提出了一种海底线自适应综合检测和提取的方法,并给出了完整的数据处理流程。该方法应用于烟台水域,消除了海况差、悬浮物遮挡等问题的影响,实现了复杂海洋噪声影响下海底线的自动跟踪。与外部测深数据比较,取得了均方根为 $\pm 0.17\text{ m}$ 的跟踪精度。

**关键词:**侧扫声呐图像;复杂海洋噪声;海底线检测;综合检测和提取

**中图法分类号:**P229 **文献标志码:**A

侧扫声呐(side scan sonar, SSS) 图像中的特征目标信息在海洋科学研究(如海底底质分布、深海热液形成机制)、海洋工程(如海底管线选址、海底地貌获取,沉船发现)和海洋军事等方面有重要的应用价值<sup>[1-4]</sup>。SSS 瀑布图中的海底线表征拖鱼到海底的距离,是目标量测、斜距改正及图像灰度均衡化的重要参数<sup>[5]</sup>。国际著名 SSS 图像处理软件如 Triton、SonarWeb 和 Discovery 等目前均设计了海底线半自动检测功能模块,采用方法主要为阈值控制法<sup>[6]</sup>。复杂噪声影响下提取海底线时,需根据情况分段人工设定阈值,效率低下且精度不高<sup>[7-8]</sup>。张济博等<sup>[9]</sup>认为海底线表征为图像边缘,借助 LOG 算子进行边缘特征提取,在 SSS 瀑布图像存在较少噪声的情况下实现了海底线的自动检测和提取。但当受发射脉冲、海面回波、尾流及大面积悬浮物等因素影响时,SSS 瀑布图像水柱区会出现严重的干扰图像,无论是国际商用软件还是 LOG 算法,均无法实现海底线的自动、准确检测和提取,导致后续斜距改正后条带图像中目标图像畸变、错位,成果无法应用<sup>[10]</sup>。

为此,本文通过分析各因素的影响特点,给出了不同影响下海底线的检测方法,提出了一种综合检测方法,解决了上述问题,实现了复杂海洋环

境下海底线的自动、准确提取。

## 1 SSS 成像机理及其影响因素分析

SSS 借助拖鱼内左右侧两个换能器,通过束控技术形成两束沿航迹向窄而垂直航迹向宽的扇形波束,并以球面波形式向海底传播,按距离远近反向散射回换能器形成时序回波<sup>[11]</sup>其 为 单 Ping (发射一次)测量过程,在图像中形成扫描线。SSS 发射声波后随即接收回波,因在水体中传播耗时形成水柱区图像;后续海底回波时序返回被换能器接收,形成图像区。两区交界实为垂直波束遇到海底后的第一个回波形成的图像,表征了海底,即图 1 所示海底线。根据两区灰度变化特征,基于传统最大振幅法或梯度法可实现海底线检测<sup>[6,9]</sup>。

若航迹线到海底线距离为  $w$ ,单侧图像宽度为  $W$ ,实际扫宽为  $S$  (数据采集过程中进行设置),则拖鱼高度  $H$  为:

$$H = \frac{S}{W}w \tag{1}$$

基于以上测量机理,侧扫声呐图像易受发射脉冲、水面回波及尾流、悬浮物和强吸收及反差底质等因素影响,图 2 给出了以上影响在水柱区形

成的干扰图像的特征。可以看出,空白的水柱区存在异常,将会导致传统海底线检测方法失效。

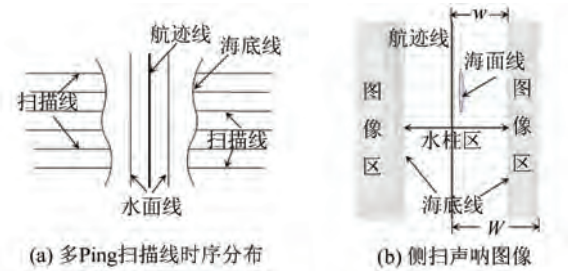


图 1 侧扫声呐成像原理  
Fig.1 Imaging Principle of SSS

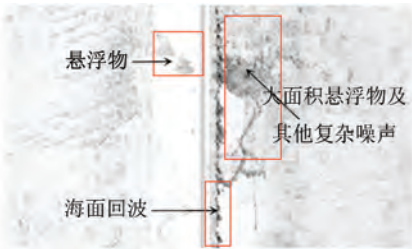


图 2 复杂海洋环境噪声给水柱区图像造成的干扰  
Fig.2 The Water Column Image Interfered by Complicated Marine Environment Noise

2 海底线综合检测和提取方法

2.1 最后峰值法

2.1.1 最后峰值法基本原理

基于 SSS 成像机理,Ping 扫描线的灰度曲线从水柱区到图像区会在海底线位置发生突变形成尖峰,据此可实现海底跟踪。当拖鱼下方出现上述干扰时,曲线的水柱部分会出现若干个尖峰(图 3),使基于单峰的海底线检测方法失效。

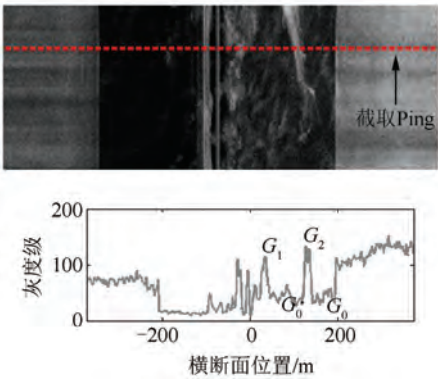


图 3 侧扫声呐图像 Ping 回波强度分布图  
Fig.3 A Ping Gray Level Distribution of SSS Image

从图 3 看出,水柱区对应 Ping 灰度曲线内若存在多个尖峰,其特点为:

(1)尖峰两侧灰度  $G_0$  远小于图像区灰度,水柱区灰度曲线变化规律为  $G_0-G_1-G_0-G_2\cdots$ ,而到达图像区后,不再出现  $G_0$ ;

(2)尖峰灰度  $G$  与其相邻灰度  $G_0$  的灰度差  $\Delta G$  变化较大,而图像区  $\Delta G$  较小。

据此,设相邻位置灰度差变化阈值为  $\Delta G_0$ ,建立如下水柱区峰值检测原则:

$$|\Delta G| > \Delta G_0 \tag{2}$$

若峰值灰度与其靠近水柱区一侧位置灰度的差值满足式(2),且与靠近图像区一侧位置的灰度差不满足式(2),则可判断该峰为水柱区最后峰,即海底点位置。以上原则给出了复杂环境下基于单 Ping 扫描线灰度变化特点的海底点检测方法。沿航迹检测每 Ping 的海底点,连接所有海底点即形成海底线。

SSS 测量中常存在丢 Ping 和 Ping 观测异常现象,基于上述方法将无法得到连续的海底线,需对检测到的海底线滤波。若将第  $j$  Ping 检测到的海底点作为滤波对象,借助沿航迹在该海底点上下各  $d$  个被检测到的海底点,可通过式(3)进行滑动平均滤波:

$$H'_j = \frac{1}{P} \sum_{j=i-d}^{i+d} H_j p_j, P = \sum_{j=i-d}^{i+d} p_j, p_j = 1 - \frac{j}{d} \tag{3}$$

式中, $H'_j$  为滤波后的值; $H_j$  为利用第  $j$  Ping 跟踪得到海底点借助式(1)计算得到的拖鱼高度;对应权为  $p_j$ ,根据到检测点的距离倒数确定; $d$  的大小可根据海底地形变化复杂性给出,地形变化平缓, $d$  设定为 10,否则设定为 5。

被检测的海底点正确与否可以借助式(4)原则来判断:

$$\text{若 } H_j - H_0 \leq \sigma_D, \text{ 正确} \tag{4}$$

式中, $\sigma_D$  为水深标准差,可依据  $2d$  个 Ping 检测到的海底点深度得到:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{[\Delta_j \Delta_j]}{2d-1}}, \Delta_j = H_j - H_0, H_0 = \frac{1}{2d} \sum H_j \tag{5}$$

2.1.2 海底线正确性判断原则

为检验上述海底线检测和提取方法的正确性,给出两个判断原则。

原则 1 对称原则。拖鱼内左右侧换能器相距非常近,接收到的第一个波束均来自正下方海底,经历深度相同,跟踪所得拖鱼高度应相等,两侧提取出的海底线应关于航迹线对称。拖鱼和换能器姿态会对 SSS 成像产生影响,但实验表明,其对海底线对称性的影响可忽略不计。

原则 2 海底地形连续变化原则。根据成像机理和式(1),利用检测到的海底点及其到航迹线的距离,可计算出拖鱼高度。拖鱼高度主要受渐进性的海底地形起伏和拖鱼深度变化影响,因此基于海底线计算得到的拖鱼高度序列理应具有渐变性。若存在突变,则表明海底跟踪不正确。

2.1.3 海底线自动检测和提取流程

海底线检测准确的关键是获得式(2)中准确的  $\Delta G_0$ 。受增益、底质及噪声影响,  $\Delta G_0$  在 SSS 条带图像中随位置不同而不同,给上述方法的应用带来了困难。为此,给出一种  $\Delta G_0$  自动探测方法和海底线自动检测方法,步骤如下。

1)根据经验,给定一个区分水柱区和回波区图像的经验阈值  $\Delta G_0$ 。水柱区图像灰度理应为 0,顾及噪声及海底吸收,可取小于 20 的值作为  $\Delta G_0$  初始值。

2)利用  $\Delta G_0$ ,沿航迹对每 Ping 扫描线开展基于最后峰值的海底点跟踪,并借助 § 2.1.2 中两个原则判断其正确性,将整个条带划分为正确跟踪段和错误跟踪段。

3)在正确跟踪段,计算每 Ping 扫描线最后峰对应灰度与其左侧峰谷对应灰度的差值  $\Delta G$ ,取该 Ping 断面前后各 10 Ping 所得  $\Delta G$  的平均值作为  $\Delta G_0$ ;同时,借助式(1)计算每个海底点的深度  $H$  及其平均深度  $H_0$ 。

4)对错误跟踪段,借助其前后正确跟踪段的  $\Delta G_0$  和  $H_0$  内插法得到该段的  $\Delta G_0$  和  $H_0$ ,以  $\Delta G_0$  和  $H_0$  为约束,重新对错误段实施海底线检测。

5)重复步骤 2)~4),完成整条测线海底线检测,并形成整个 SSS 条带的海底线。

以上实则以正确段  $\Delta G_0$  和  $H_0$  为幅度阈值和深度约束,实现条带图像不同段海底线的自动检测,消除了噪声、悬浮物、底质异常等对传统海底线检测方法的影响。

2.2 基于海床渐变性的异常跟踪段修复

最后峰值法解决了海面回波、少量离散悬浮物等填充水柱区情况下的海底跟踪问题,但不能解决复杂悬浮物或强噪声分布于水柱区情况下的跟踪问题(图 4)。为此,本文提出一种基于地形变化趋势的异常跟踪段海底线修复方法。

海底地形连续变化原则中,拖鱼深度一定时,海底线检测所得拖鱼高度反映了海底地形起伏。考虑地形变化渐进性,对于一个区段,可借助其前后正常区段的地形变化,构建地形变化趋势模型,借助该模型内插出异常跟踪段地形或拖鱼高度

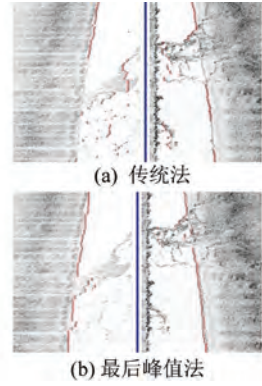


图 4 悬浮物横跨整个水柱区情况下传统方法及最后峰值法的海底跟踪结果

Fig.4 Tracking Results by Traditional and Last Peak Method for a SSS Image with Suspended Solids

$H$ :

$$H = f(l) = a_0 + \sum_{j=1}^N a_j l_j \quad (6)$$

式中,  $l$  为 Ping 位置到参考点距离,参考点可选沿航迹错误跟踪段前或后一个正确跟踪段的开始位置;  $a_0$ 、 $a_j$  ( $j=1,2,3,\dots,N$ ) 为多项式模型系数(待求量);  $N$  为模型阶数。

为了确保式(6)解算正确,当正确段长度较短时,可取错误段上下各 2~3 个正确段拖鱼高度  $H$  序列建模。模型阶数  $N$  可根据模型精度  $\sigma_m$  和海底跟踪精度  $\sigma_0$  自适应确定。SSS 的第一个回波同测深功效相同,因此  $\sigma_0$  可近似的取测深精度,即 3‰水深:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{[\Delta_j \Delta_j]}{n-1}}, \Delta_j = H_j - f(l_j) \quad (7)$$

如果  $\sigma_m$  大于  $\sigma_0$ ,则需要调整模型阶数,直到满足  $\sigma_m$  小于  $\sigma_0$  为止。确定式(7)模型后,借助错误跟踪段的  $l$  可计算出对应的拖鱼高度  $H$ ,进而获得错误跟踪段的海底线。

借助对称原则判断错误跟踪段,会出现左、右舷中一侧跟踪正确或均跟踪错误两种情况,无论何种情况,均可借助地形变化一致性原则来判断。将第  $k$  段错误跟踪段对应 Ping 位置  $l_k$  代入式(7),计算  $H_k$ ,并与原始海底点检测所得拖鱼高度  $H_k^s$  比较,借助式(8)判断错误的一侧:

$$\text{若 } \Delta_{\text{mean}} < 3\sigma_0, \text{ 正确} \quad (8)$$

式中,  $\Delta_{\text{mean}} = \text{Mean}(\{\Delta_k\})$ ,  $k=1,2,\dots,m$ ;  $m$  为异常段 Ping 数;  $\Delta_k = |H_k^s - H_k|$ ; Mean 表示平均函数。

若左舷或右舷一侧跟踪正确,而另一侧跟踪不正确,则根据对称原则,将正确一侧的海底线以航迹线为对称轴复制到另一侧,替代检测得到的



不正确的海底线。对于两侧均跟踪错误的情况,则直接根据模型  $f(l)$  计算拖鱼到海底的高度,进而根据式(1)反算出  $w$ , 结合航迹线,即可得到海底线位置。

2.3 Kalman 滤波

借助以上方法基本可以实现海底线的自动跟踪,但还无法解决图 5(a)中海底被悬浮物完全覆盖的问题。考虑测量过程中拖鱼深度及海底地形变化的渐进性,可借助 Kalman 滤波来实现这种影响下的海底线修复。Kalman 滤波的状态、量测方程为:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_k = \mathbf{A}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \\ \mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \end{cases} \quad (9)$$

式中,  $\mathbf{x}_k$  为第  $k$  Ping 的状态向量;  $\mathbf{z}_k$  为对应的海底跟踪值(即拖鱼高度);  $\mathbf{H}$  为量测矩阵,  $\mathbf{A}$  为转移矩阵,考虑到海底渐进性变化原则,  $\mathbf{H}$ 、 $\mathbf{A}$  都设定为  $\mathbf{1}$ ;  $\mathbf{w}_{k-1}$  为状态噪声,  $\mathbf{v}_k$  为观测噪声,二者均为高斯白噪声,其方差分别为  $Q$  和  $R$ ,根据海底线跟踪精度  $\sigma_0$ 、 $Q$  和  $R$  初值均设置为  $\sigma_0$ 。根据前述海底线正确性判断原则,若找到不正确跟踪区间位于  $(k_1 - k_2)$  Ping 之间,在其上、下各扩展  $d$  Ping,对左、右舷不正确区域分别进行 Kalman 滤波。对第  $j$  个滤波值,联合其前后各  $d/4$  个 Ping 跟踪值,计算中误差,并将其作为当前滤波的  $R$  值。将滤波值与原始跟踪值比较,计算偏差绝对值  $|\Delta|$ ,若  $|\Delta| > 3\sigma_0$ ,则将滤波值  $x_k$  作为当前 Ping 的海底跟踪值。

图 5 给出了滤波前后的海底线。图 5(a)中,尽管采用了前述修复方法,悬浮物覆盖区的海底线仍不能正确反映实际,而经 Kalman 滤波后(图 5(b)),滤波结果真实地反映了悬浮物覆盖区的海底位置,且与前后海底线跟踪结果较为一致。

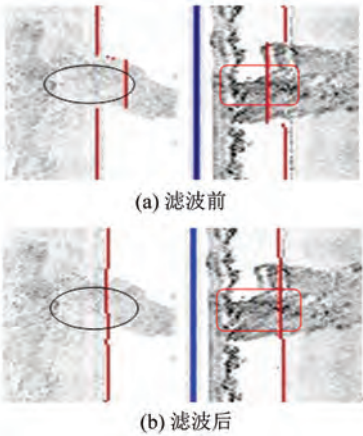


图 5 悬浮物覆盖区滤波前、后的海底线  
Fig.5 Bottom Lines of the Area Covered by Suspended Solids Before and After Kalman Filter

2.4 海底线综合跟踪

本文综合基于最后峰值法的海底线自动检测方法、基于地形变化趋势的异常跟踪段修复法以及 Kalman 滤波,提出了一种海底线自适应综合检测和提取方法。综合检测法实施流程如图 6 所示。

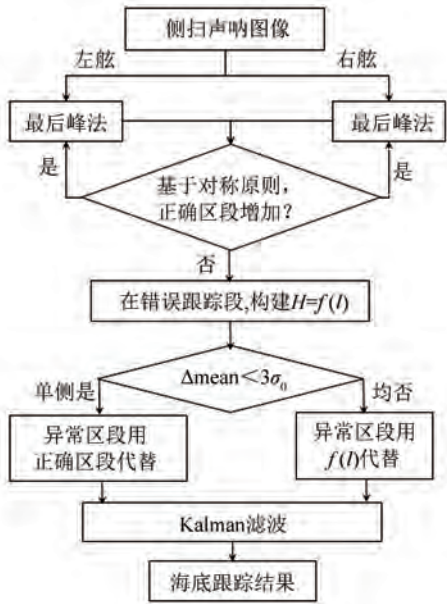


图 6 综合法海底线提取流程图  
Fig.6 Flowchart of Comprehensive Tracking Method

3 综合检测法及其他方法对比实验分析

为检验本文算法的正确性,以烟台某水域实测 SSS 图像为对象开展海底跟踪工作。实验区共布设了 3 条测线,测线 1 和 2 有单波束覆盖,SSS 仪器为 Analog and Digital (DSSS),设置扫描幅为 150 m,频率为 100 kHz,3 条测线长度分别为 3 054.15 m、3 100.37 m 和 3 090.70 m,实验区水深变化范围为 8~45 m,测量水体中悬浮物较多,形成的 SSS 图像质量较差。分别采用传统阈值法、最后峰值法和综合检测法对海底线进行检测和提取。采用综合法检测时,设置  $\Delta G_0 = 10$ ,  $d = 10$ ,海底跟踪精度  $\sigma_0 = 0.1$  m。测线 3 部分区域海底跟踪结果如图 7 所示。可见,传统阈值法受其机理缺陷,海底线提取不准;最后峰值法改进了传统阈值法的不足,水柱区存在离散干扰图像时依然能够正确地检测出海底线,但无法解决悬浮物影像横跨水柱区时的海底线跟踪问题;综合法有效地解决了上述问题,无论水柱区存在离散干扰图像还是被悬浮物影像全覆盖,均能够实现海

底线的正确检测和追踪。

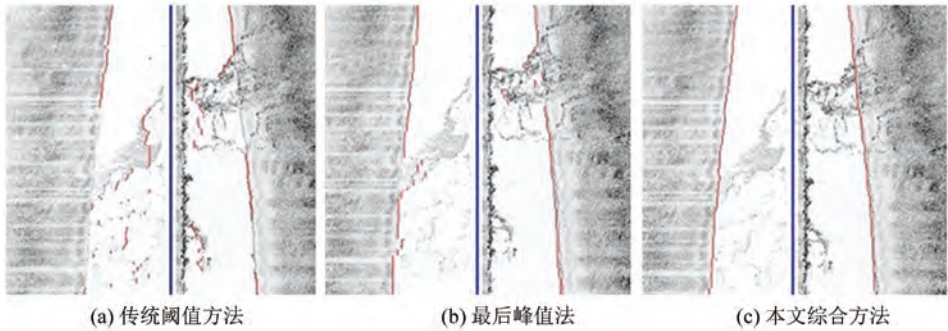


图 7 海底线提取结果  
Fig.7 Bottom Tracking Results

借助综合检测法对其余两个条带进行海底线检测,部分复杂区域海底线提取结果如图 8 所示。图 8 中, $S_1$ 、 $S_2$  表示测线 1 和 2, $A$  和  $B$  为这两个测线中的两个复杂区域。可以看出,尽管 SSS 图像受到了各种复杂环境因素的干扰,综合检测方法依然很好地实现了海底线的正确跟踪和提取。

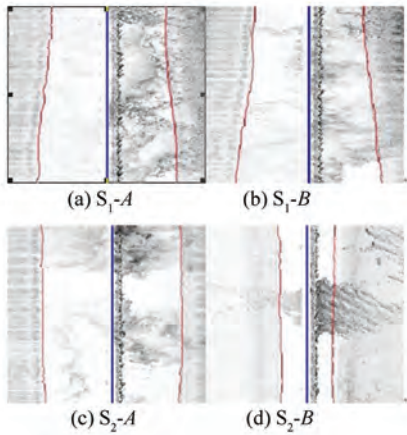


图 8 其它测线复杂区域海底线提取  
Fig.8 Bottom Tracking Results in Other Areas with Complicated Noise

$\Delta G_0$  根据 § 2.1.3 中方法自适应确定。为评估  $d$ 、 $\sigma_0$  对跟踪精度的影响,用测线 1 试验。提取海底线并依式(1)计算拖鱼高度,结合拖鱼上压力传感器及水位信息,计算海底地形高程;以实测地形数据为参考,海底线对应地形高程与之比较,统计参数见表 1、表 2。从表 1、表 2 可看出, $\sigma_0$  越大,跟踪精度越低,可认为是因门限放宽导致小异常段被忽视所致, $\sigma_0 = 0.1$  (约为水深 3‰) 时跟踪精度最高,与前述理论相符合; $d$  过大跟踪精度降低,过小则效率降低,且在连续异常时会导致异常无法发现,符合门限滤波基本原则。

表 1  $d=10$  时  $\sigma_0$  对海底跟踪的影响

Tab.1 Influence of $\sigma_0$ on Bottom Tracking as $d=10$		
$\sigma_0$	不正确区段个数	均方根误差/ $\pm m$
0.1	190	0.18
0.3	114	0.41
0.6	39	0.75
1.2	25	1.39

表 2  $\sigma_0=0.1$  时  $d$  取值对海底跟踪的影响

Tab.2 Influence of $d$ on Bottom Tracking as $\sigma_0=0.1$	
$d$	均方根误差/ $\pm m$
5	0.18
10	0.18
15	0.20
20	0.23

为定量评估综合法海底线提取精度,将 SSS 条带 1 和 2 图像中提取出的海底线计算海底地形高程;分别用海底线对应地形高程数据和实测单波束地形数据绘制该区域海床 DEM,结果如图 9 所示。可以看出,二者具有很好的一致性。偏差统计结果(表 3)中,条带 1、2 的偏差均方根分别为  $\pm 0.18 m$  和  $\pm 0.16 m$ ,与实际测深精度指标一致,从而表明了综合法检测和提取海底线的正确性。

表 3 海底跟踪所得海底地形高程与单波束地形高程偏差统计结果

Tab.3 Statistical Parameters of Seabed Elevations Obtained from the Bottom Tracking and the Single-Beam Sounding Data				
条带	最大偏差/ $m$	最小偏差/ $m$	均值/ $m$	均方根误差/ $\pm m$
$S_1$	0.70	-0.61	0.00	0.18
$S_2$	0.54	-0.48	-0.01	0.16

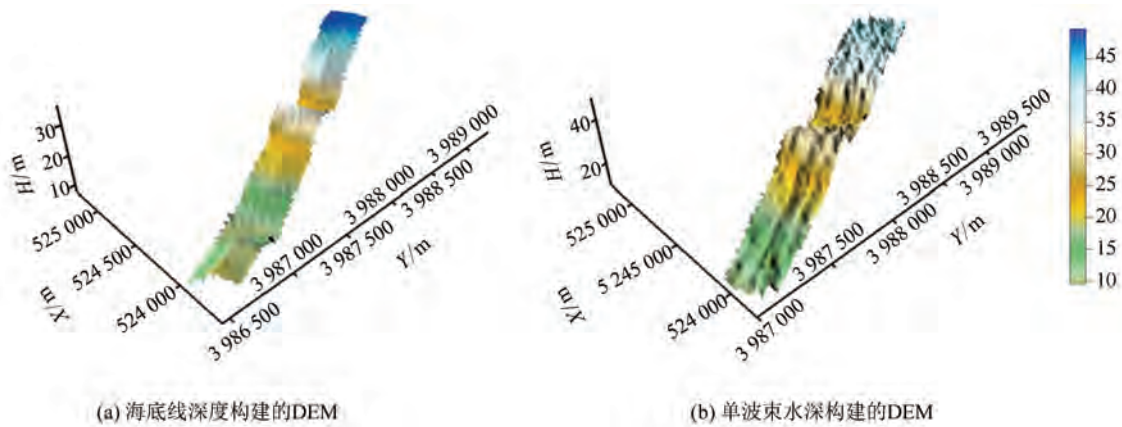


图 9 单波束和侧扫声呐提取拖鱼高度形成海底地形

Fig.9 DEMs Formed by Single-Beam Sounding Data and SSS Bottom Tracking Results

4 结 语

针对当前侧扫声呐数据处理中海底线跟踪方法的缺陷以及商用软件的不足,本文提出综合最后峰值检测法、基于海底变化渐进性和海底线对称性的海底线修复方法以及 Kalman 滤波的海底线综合提取方法,实现了复杂海洋环境噪声影响下侧扫声呐条带图像中海底线的自动检测和提取,并取得了均方根为 $\pm 0.17\text{ m}$ 的海底跟踪精度,为高质量侧扫声呐图像处理中海底线的自动提取提供了一种新的解决方案。

基于最后峰值法检测海底线时,为避免随机噪声的干扰,建议取多 Ping 平均统计进行峰值选取,Ping 个数的选取应结合海床地形变化的渐进性以及船速来综合确定。在基于对称原则判断最后峰值法跟踪海底正确与否时,左、右舷跟踪值的差值应小于 3 倍的跟踪精度。跟踪精度 $\sigma_0$ 可依实验区水深的 3‰概略给定。

参 考 文 献

[1] Bryant R. Side Scan Sonar for Hydrography-An Evaluation by the Canadian Hydrographic Service [J]. *The International Hydrographic Review*, 2015, 52(1): 43-55

[2] Davy C M, Fenton M B. Technical Note: Side-Scan Sonar Enables Rapid Detection of Aquatic Reptiles in Turbid Lotic Systems [J]. *European Journal of Wildlife Research*, 2013, 59(1): 123-127

[3] Nakamura K, Toki T, Mochizuki N, et al. Discovery of a New Hydrothermal Vent Based on an Underwater, High-Resolution Geophysical Survey[J].

*Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2013, 74: 1-10

[4] Healy C A, Schultz J J, Parker K, et al. Detecting Submerged Bodies: Controlled Research Using Side-Scan Sonar to Detect Submerged Proxy Cadavers [J]. *Journal of Forensic Sciences*, 2015, 60(3): 743-752

[5] Berkson J, Clay C. Transformation of Side-Scan Sonar Records to a Linear Display [J]. *The International Hydrographic Review*, 2015, 50(2): 55-59

[6] Tony M R. Triton-Sidescan Processing Guide -Software Version 7.6 [M]. USA: Triton Imaging Inc, 2014

[7] Charlot D, Schaaf R, Brossard X. Improving Sidescan Sonar Mosaic Accuracy by Accounting for Systematic Errors [C]. Oceans, MTS/IEEE Conference and Exhibition, Quebec, Canada, 2001

[8] Woock P, Christian F. Deep-Sea AUV Navigation Using Side-Scan Sonar Images and SLAM [C]. IEEE/MTS Oceans, Sydney, Australia, 2010

[9] Zhang Jibo, Pan Guofu, Ding Weifeng. Bottom Track Method in Side-Scan-Sonar Data Processing Based on LOG Operator [J]. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(3):324-328(张济博, 潘国富, 丁维凤. 基于 LOG 算子的侧扫声呐海底线检测[J]. 海洋通报, 2010, 29(3):324-328)

[10] Chavez P S, Isbrecht J A, Galanis P, et al. Processing, Mosaicking and Management of the Monterey Bay Digital Side-Scan-Sonar Images [J]. *Marine Geology*, 2002, 181(1): 305-315

[11] Kumagai H, Tsukioka S, Yamamoto H, et al. Hydrothermal Plumes Imaged by High-Resolution Side-Scan Sonar on a Cruising AUV, Urashima [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2010, 11(12): 2-8

# An Automatic Bottom Extracting Method for Side-Scan Sonar Image

ZHAO Jianhu<sup>1</sup> WANG Xiao<sup>1</sup> ZHANG Hongmei<sup>2</sup>

1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China

**Abstract:** The traditional side scan sonar (SSS) bottom tracking method is difficult to achieve ideal performance because the data is always influenced by complicated noise such as suspended solids, transmitted pulse, echoes from sea surface and ship wake flow. This will bring serious distortion and dislocation in the target image after SSS image processed by slant range correction. Based on the imaging mechanism and characteristic of side-scan sonar, this paper proposes the method of the last peak amplitude, the repair method of bottom extracting based on the trend of seafloor variation and the symmetry principle. Combining the Kalman filter and the characteristic and applicable object of the above methods, then gives an adaptive comprehensive bottom tracking and extracting method and the complete data processing flow. The proposed method achieved the function of tracking bottom automatically of SSS images obtained in an area of Yantai, where those SSS images were influenced by complicated marine noise and suspended solids. Compared with the external sounding data, the root mean deviation is  $\pm 0.17$  m which shows the proposed method has high accuracy.

**Key words:** side-scan sonar image; complicated marine noise; bottom tracking; comprehensive detection and extraction

**First author:** ZHAO Jianhu, PhD, professor, specializes in the marine survey. Email: jhzhao@sgg.whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41576107, 41376109, 41176068; the Key Laboratory of Surveying and Mapping Technology on Island and Reef, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, No.2015B08.