

多波束声呐水体影像沉船自动提取方法

李东辉^{1,2}, 郑双强^{1,2}, 陈建兵¹, 刘洪霞¹, 阳凡林^{1,2,3}

(1. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 自然资源部海岛(礁)测绘技术重点实验室, 山东 青岛 266590; 3. 山东省高校海洋测绘重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要: 为解决人工浏览水体数据耗时且无法保证结果可重复性的问题, 提高数据的利用率和定量分析能力, 通过分析水体数据的成像机理, 提出一种基于单帧水体影像自动提取沉船目标的算法, 利用噪声抑制、数学形态学方法检测目标边缘, 根据海底统计特性识别海底, 再结合深度特性实现海底与沉船目标分离。使用实测数据验证了沉船自动提取算法, 且抗噪性较强。通过水体影像提取的目标信息能够弥补水深点目标模型分辨率不足的缺点, 为后续目标三维精细建模奠定基础。

关键词: 多波束系统; 水体数据; 水体影像; 目标提取; 形态学边缘检测

中图分类号: P229.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2019)03-0011-08

DOI: 10.11759/hyxx20180722001

多波束测深系统(multibeam echosounder systems, MBES)由于其优良的底部检测性能和工作效率^[1-2]被国际上越来越多的调查船配备。随着水声、传感器、计算机、数字信号处理等技术的发展以及相关硬件的升级, 多波束系统拥有了采集、存储水体信息的能力, 其记录了换能器至海底开角扇区内完整的声学信息^[3], 继而水体中目标物的探测成为海洋测绘研究热点之一。水体数据作为水深、反向散射强度等数据的来源, 具有三维成像能力, 生成的水体影像(water column image, WCI)可直观展现水下目标, 已在海洋内波^[4]、鱼群^[5]、沉船^[6-8]、气泡、油气泄漏^[9]等诸多方面展现出其应用价值。

近年来, 多波束水体数据被广泛应用于水下目标探测, 通常使用人工浏览的方式搜寻并定位目标。Deimling、Weber 等国外学者相继利用水体数据探测气泡流并手动识别其源头^[10-12]; 刘芝波^[13]在水体数据精细探测沉船方面做了大量研究分析, 人工判读桅杆最浅点。但是, 手动浏览 WCI 不仅需要经验丰富的人员进行耗时繁琐的分析, 而且限制了参数优化和定量分析的可能性。因此, 国内外学者开始探索多波束水体数据的自动化处理方法。Marques^[14]提出一种使用水体数据自动跟踪水下目标物的算法, 并用以实例分析; Urban^[15]使用 WCIs 实现了气泡流的自动检测, 开始进行定量的气体释放评估; 张志刚^[16]利用多波束水体数据进行管道泄漏检测, 结合数字图像处理技术和底部检测算法获取疑似泄漏区域。

现有识别、提取算法面向特定目标, 仅对最小斜距(minimum slant range, MSR)范围内的数据进行分析处理。针对 MSR 有效区域保留法存在数据利用率较低的不足, 本文提出一种基于单帧水体影像图自动搜寻并提取沉船信息的算法, 有效剔除数据中冗余采样点、分离海底, 从而提取水体目标信息, 为后期目标三维精细建模奠定基础。

1 水体目标成像机理分析

提取水体中的某一目标, 首先需要检测到它。声波照射不同物体产生的回波信号有所差别, 可依据数据采集原理分析目标反向散射强度信息对水下目标进行检测识别。但水体数据中旁瓣干扰严重, 影响目标检测, 需要根据噪声特性加以去除。此外, 根据采集时旁瓣干扰特性选取合适的投影方式将水体数据直观展现是目标提取的关键。通过分析水体目标成像机理, 研究旁瓣干扰和海底采样点在影像中的表现特征, 有益于搜寻水体目标并对其所在区域做出准确判别。

收稿日期: 2018-07-22; 修回日期: 2018-10-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFF0212203, 2017YFC1405006, 2016YFC1401210, 2016YFB0501705); 山东省重点研发计划项目(2018GHY115002)

[Foundation: National Key R&D Program of China, No.2018YFF0212203, No.2017YFC1405006, No.2016YFC1401210, No.2016YFB0501705; Key R&D Program of Shandong Province, No.2018GHY115002]

作者简介: 李东辉(1994-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要从事海洋测绘研究, 电话: 15610517386, E-mail: 962932646@qq.com

1.1 水体数据获取原理

多波束按时间采样序列依次记录各波束完整的反向散射强度,采集的回波数据在空间上呈扇形分布。一个发射周期(Ping)内水体信息为一组二维点阵,所有 Ping 沿航迹方向依次排列可形成一个三棱柱体,能够直观展现覆盖水体的反向散射强度分布。

多波束测深系统一般采用振幅检测、相位检测以及振幅相位相结合的底部检测方法在波束内确定唯一采样点,即水深点。对于水体数据,单个波束内通常会检测到多个高强度海底时序采样点。海底采样点的数量随有效声照区面积^[17]的增大而增多:当入射角与投射海底区域夹角较大时,波束的有效声照区面积较小,能量相对集中,海底采样点数量较少;随着夹角减小及声波传播路径变长,有效声照区面积增大,海底回波的持续时间增加,能量较为分散,采样点增多。假设海底相对平坦、底质均匀、采样频率等设备参数不变,则同一发射周期内海底采样点由中间向两侧逐渐增多。

1.2 接收旁瓣干扰

波束形成算法是影响水体数据质量的主要因素。现阶段大部分多波束系统使用的波束形成算法(主动声呐应用相移波束形成),通过快速傅里叶变换(fast Fourier transform, FFT)对实时且大运算量的数据进行采集。而相移波束形成是基于对相位的运算,存在能量泄漏的缺点,易造成旁瓣干扰^[18]。旁瓣干扰主要分为接收旁瓣干扰和发射旁瓣干扰,其中接收旁瓣干扰对垂向图质量影响尤为显著,如图1所示,当水体中含有反向散射较强的目标时,相对于接收换能器相同距离处采样点强度值增强,明显大于海洋环境噪声级,形成“虚假目标”。这种被称为同距噪声的旁瓣干扰,是造成垂向图中目标难以识别的主要原因,其中,声波首次到达海底引发的噪声通常强于其余同距噪声,所形成弧段的半径即最小斜距。

1.3 扇形垂向水体影像图

水体数据根据投影方式不同有多种表达形式,扇形垂向水体影像图是水体信息最直观的成像方式。水体数据经过解析,将 Ping 内所有波束按波束角大小依次排列^[19],即形成波束阵列图(图2a),这是水体数据最简便、最基本的构图方式。波束阵列图以直角坐标形式展现,真实海底及水体目标发生

弯曲变形,因此需对采样点进行归位计算。根据采样频率、波束角、声速等参数将采样点转换为极坐标形式并归算至图像像素坐标,将反向散射强度与图像灰度关联,从而得到单帧扇形垂向水体影像图(图2b)。忽略载体姿态、换能器吃水、声线折射、成像截断误差等因素对成像精度的影响,扇形垂向图的纵坐标代表实际水深,且图像无形变,能够直观反映瞬时状态下水体信息,是水体数据分析与处理的重要方式。

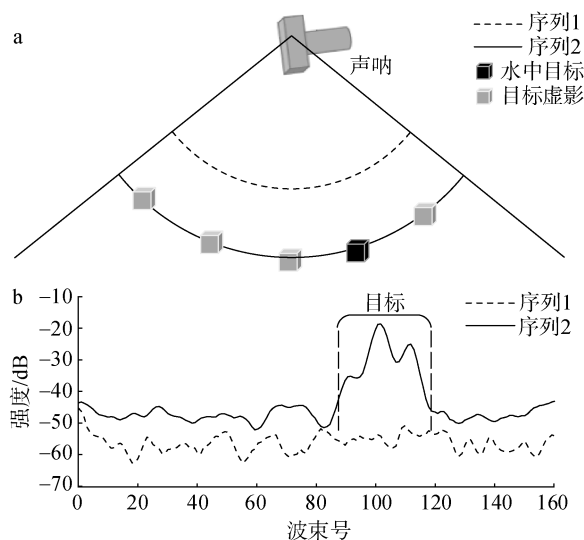


图1 接收旁瓣干扰造成的同距噪声

Fig. 1 Co-range noise caused by the receiver sidelobe

注: a: 接收旁瓣造成“虚假目标”; b: 目标引起背景点强度值增大

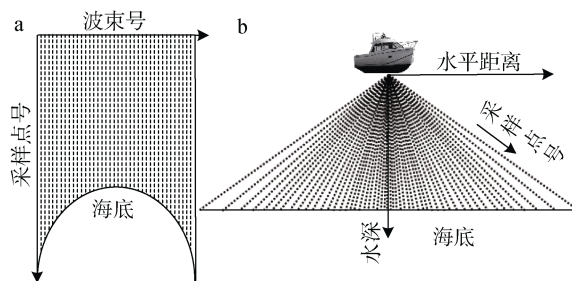


图2 水体数据成像表达

Fig. 2 Water column imaging

注: a: 波束阵列图; b: 扇形垂向水体影像图

2 水体目标自动提取方法

多波束水体数据需要经过解析、成像、插值等预处理操作,得到单帧垂向影像图。在对影像图进行分析后,根据噪声和海底展现的规律特点,该算法将采样点分为3类:水体背景点、海底采样点、目标

点。水体背景点可通过设定一个大于环境噪声级的强度阈值 N 进行滤除,海底采样点和目标点则需通过同距噪声抑制、数学形态学方法加以检测,经过海底特征识别、水体目标提取分离海底后,即得到水体目标。

2.1 同距噪声抑制

由角度序列波形(图1)可知,以换能器为中心的相同斜距弧段范围内具有强烈的噪声干扰,但目标处反向散射强度仍然处于峰值,明显大于水体背景采样点。对于典型的多波束设备,目标强度与同距噪声强度相差约 25 dB^[4]。利用这一特点,如图 3b,将同一弧段上的像素点(一个角度序列)视作一个局部邻域块,根据标准差^[20]设定某一局部阈值 S ,用以区分背景和目标。对扇区内水体背景采样点的强度值进行抑制,归化至海洋环境噪声级,得到高信噪比图像。

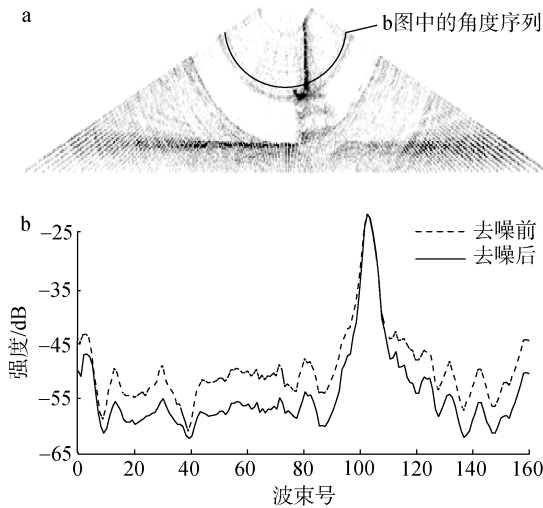


图3 同距噪声抑制示意图
Fig. 3 Diagram of co-range noise suppression
注: a: 原始影像图; b: 噪声抑制前后强度序列

$$S = E(\alpha_i) + A\sigma_i, \quad (1)$$

其中, $E(\alpha_i)$ 为第 i 个角度序列的均值, σ_i 为该序列对应的标准差, A 为标准差系数。

2.2 形态学边缘检测

边缘检测是定位水体目标的必要步骤。边缘作为图像最基本的特征之一,包含丰富的图像信息,是目标检测的有效途径。噪声抑制后的影像图仍含有噪声点,为提高边缘点准确性,减少噪声对检测结果的影响,使用图像平滑、二值化、形态学(腐蚀、膨胀)等数

字图像处理方法进行处理,详见表1。

表1 扇形垂向图处理方法及其作用

Tab. 1 Method used for the vertical sector chart and its function

处理方法	数学表达	作用
图像平滑	/	抑制噪声
图像二值化	/	使图像呈现黑白效果,凸显轮廓
开运算(先腐蚀后膨胀)	$P \circ Q = (P \ominus Q) \oplus Q$	消除孤立噪点的同时并不明显改变其面积
闭运算(先膨胀后腐蚀)	$P \bullet Q = (P \oplus Q) \ominus Q$	连接邻近物体、平滑其边界的同时并不明显改变其面积

注: P 为目标图像, Q 为结构元素, “ $\circ$ ”表示开运算, “ $\bullet$ ”表示闭运算, “ $\ominus$ ”表示腐蚀, “ $\oplus$ ”表示膨胀; “/”表示无统一数学表达。

水体数据中除旁瓣干扰,还存在海洋生物、机械电子等引发的多种噪声,在影像中通常以孤立噪点的形式表现。经形态学处理后的影像与噪声抑制后的影像做交运算,达到去除此类噪声的效果。对二值化影像使用经典的边缘检测算子进行操作,以 Sobel 算子为例,将其横向及纵向模板分别与形态学处理后的二值图像作平面卷积,得到横向及纵向边缘检测的图像(G_x 和 G_y),图像每一个像素点的梯度 G 使用公式(2)近似计算得到。梯度 G 的大小表示灰度变化程度,可简单地判断图像边缘点。

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (2)$$

2.3 海底特征识别

经过 Sobel 算子检测海底及水体目标边缘后,需要从丰富的图像边缘信息抽取用于判断目标区域的特征。由于形状、大小的差异,水体中不同目标物的采样点差异较大,而海底采样在数据采集过程中存在特定规律。由水体数据获取原理可知,同一发射周期内(发射频率、采样率、水体环境、底质等条件不变),各波束海底采样点数量起伏较小,呈现由中间向两侧逐渐增多的一般规律,与 Snippet 数据相对应。水体数据成像过程中,采样点等同为距换能器相同距离处该波束最大响应轴上的点,并未将其归算至海底表面,如图 4a 所示, A、E、H 三个采样点分别归算至 A'、E'、H', 扇形垂向图中海底呈现中间薄两边厚的特点。因此,选择海底厚度作为区分海底与目标的明显特征。为了便于计算,使用公式(3)将数据从高维度空间抽取特征,降维至低维空间,具体方法为:边缘图像每一列下边

缘点深度与上边缘深度做差,此深度差值作为“海底”厚度,将二维边缘信息投影至一维厚度信息(图 4b、c

中厚度使用图像纵坐标 $Y_{\max}$ 、 $Y_{\min}$ 差值表示)。

$$f(x) = Y_{\max} - Y_{\min}, \quad 0 \leq x \leq X. \quad (3)$$

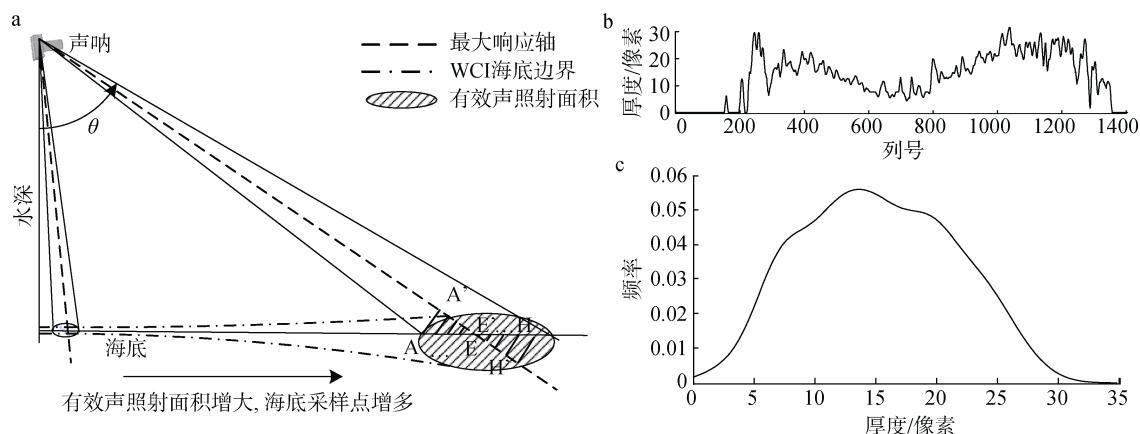


图 4 扇形垂向图中海底厚度特征

Fig. 4 Characteristics of the seabed thickness in the vertical sector chart

注: a: 海底采样示意图,以半个发射周期为例; b: 降维结果; c: 海底厚度概率密度分布

2.4 水体目标提取

经分析计算厚度统计特性可知,海底厚度大致符合高斯分布,而水体中目标物的存在使厚度显著增大。根据高斯分布特性,大于 $T=\mu+3\sigma$ 的“异常”数据判定为含有目标,根据公式(4)即可确定影像图中目标横向区域。当目标较大时,数学期望受到较大影响,因此使用 $T'=M+3\sigma$ 代替 T 进行判断,其中, M 为众数。

$$g(x) = \begin{cases} 1, & f(x) > T', 0 \leq x \leq X \\ 0, & f(x) < T', 0 \leq x \leq X \end{cases} \quad (4)$$

多波束系统探测沉船等较大物体时,目标面向换能器一侧遮挡声波而引起的透射、绕射,以及物体材质对声波的吸收,使另一侧反向散射强度较弱。形态学处理、边缘检测等方法不仅能够克服噪声对目

标判别的影响,同时抑制了目标弱回波区域,导致检测到的边界窄于实际物体宽度,无法准确定位目标区域。如果没有相邻条带用以拼接,可在目标区域判别过程中添加邻域,将背离声呐侧区域边界进行拓宽以保证提取结果的完整性。所添加邻域大小的最优结果需根据实际情况确定,主要与目标高度、换能器与目标相对位置有关。

横向区域内海底与水体目标通过水深实现分离。其水深提供以下方式进行计算:根据边缘点或系统判定的水深点获取目标周围水深,使用线性插值计算区域内海底的深度。

综上所述,水体目标信息提取的具体流程如图 5 所示。

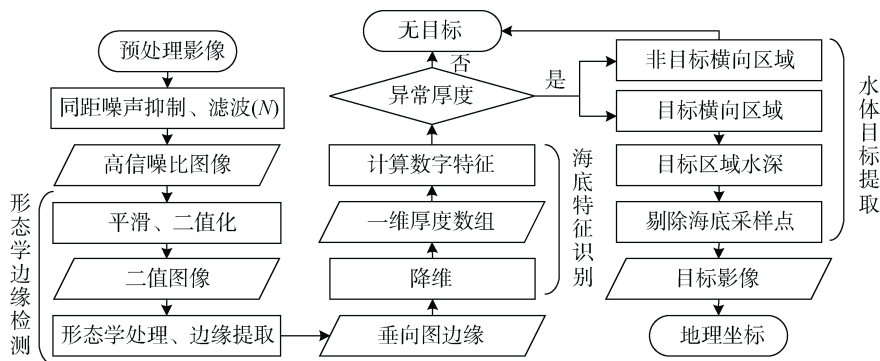


图 5 算法流程图

Fig. 5 Flowchart of the algorithm

3 实例分析

本次实验数据由 Kongsberg Maritime 提供, 使用 EM3002 多波束声呐系统采集的 *.all 格式水体数据, 波束开角设置为 130° , 采样率 7146.5 Hz, 总 Ping 数、接收波束数分别为 350 和 160。其探测目标为位于加拿大悉尼市附近的沉船: 船身长 54 m, 船上绳索、桅杆及设备保留完好, 沉没区域水深约 30 m, 具有较高的代表性。

扇形垂向图由换能器发射周期内各波束采样点归位计算后得到, 其波束覆盖扇区内存在大量空值点, 且空值区域由换能器向扇区外部逐渐扩大, 不

利于影像图的识别与使用, 需要进行插值处理。图 6b 是图 6a 采用改进最邻近插值法^[21]得到的影像图, 该方法针对水体数据特点, 具有充分利用原始数据、保留区域特征等优点, 能够满足后续使用的要求。

为表明噪声抑制效果, 采用不同单一阈值和局部阈值对单帧影像图进行处理, 结果如图 6c、d 所示。由图 6c 可知, 部分目标反向散射强度小于同距噪声, 通过单一阈值滤除噪声会删除大量目标点, 且水体影像特殊的噪声特性致使传统图像去噪算法难以发挥作用。对比图 6c、d 结果, 该方法能够有效抑制同距噪声, 突出水下目标物, 提高水体影像质量。

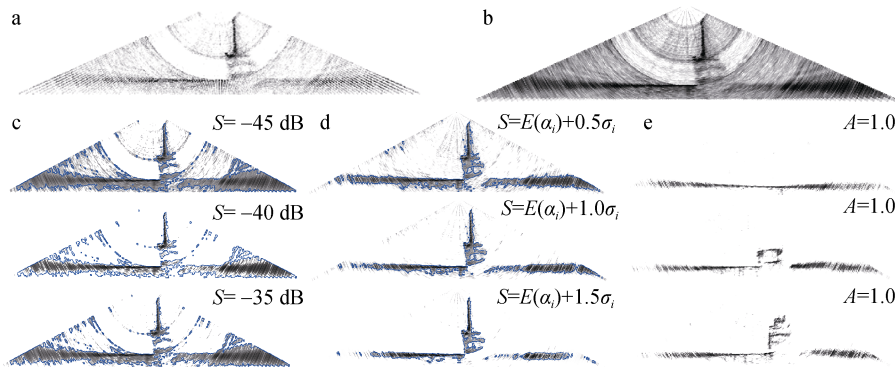


图 6 单帧影像图处理结果

Fig. 6 Processing results of a single WCI

注: a: 原始影像图; b: 改进最邻近插值后的影像图; c: 单一阈值去噪及边缘提取结果; d: 不同阈值噪声抑制及边缘提取结果; e: 不同 Ping 噪声抑制结果, $A=1.0$

由图 6d 可以看出, 局部阈值的选取对噪声抑制效果起重要作用。当系数 A 较小时, 噪声残留较多, 边缘误判现象严重; 随着 A 的增大, 同距噪声抑制效果更加显著, 但增大阈值同样削弱影像中海底特征, 不利于进一步识别海底、判断目标区域。 $A=1.0$ 时图像信噪比较高, 无明显边缘点误判情况, 且海底保留相对完整。选取系数 $A=1.0$ 处理不同 Ping 水体影像(图 6e), 均实现较理想的噪声抑制效果, 因此, 后续选择阈值 $S=E(\alpha_i)+\sigma_i$ 对插值后影像进行操作。

噪声抑制后的影像进行二值化、开运算、闭运算等操作, 得到图 7b 所示的二值图像。将其与图 7a 进行交运算, 对比处理前后图像可以看出, 图 7c 中无明显噪声且目标保留完整, 该方法对机械电子、海洋环境等噪声处理效果较好。此外, 图像二值化能够凸显目标轮廓, 分别使用 5 种不同算子进行检测, 均能够准确定位边缘, 且一阶(Roberts, Prewitt, Sobel)算子效率较高。统计 3 种一阶算子检测结果可知,

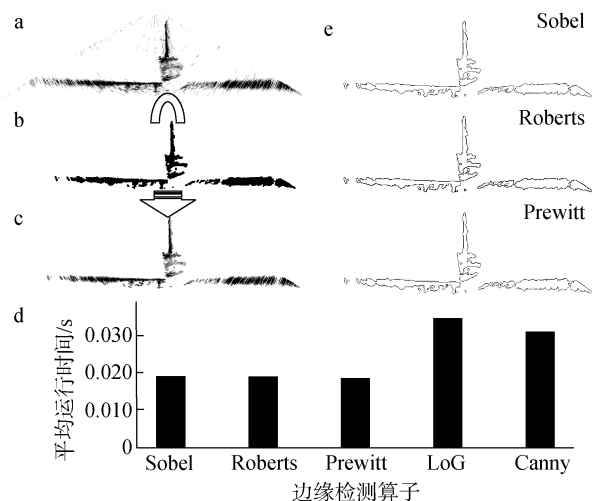


图 7 形态学边缘检测

Fig. 7 Edge detection using morphology

注: a: 高信噪比图像; b: 二值图像; c: 交运算后的图像; d: 不同算子平均运行时间; e: 不同算子边缘检测结果

任意两者间相同边缘点占比达 80%，同名边缘点相差不超过一个像素，因而边缘检测算子的选取对确定船体区域无显著影响。考虑到 Sobel 算子能够提供较准确的边缘方向信息，下文使用 Sobel 算子进行研究。

通过调节阈值 N 自动提取的目标三维点云如图 8a—图 8c 所示。多波束水体数据需进行声速剖面、潮位等各项改正，并通过坐标转换换算为地理框架下的深度和水平坐标，由于水体数据量非常大，如使用测深点位置归算模型将导致运行速度缓慢。本文算法对单帧图像进行操作，在计算坐标之前搜寻目标，剔除冗余的噪声、水体背景及海底采样点，能够避免大量不必要的计算。对比不同强度阈值 N (-40、-35、-30 dB) 滤波后的提取结果，均能较完

好地获取船体信息，验证了本文算法的有效性及抗噪能力。

旁瓣干扰是 WCI 分析及应用的一个难以解决的问题，海底引发的同距噪声严重影响 MSR 外部数据的使用。为此，一种简单有效的方法是 MSR 内部区域保留后使用单一阈值进行滤波(图 8e)。虽然这种方法被广泛使用，但其剔除噪点的同时删除了可能出现在 MSR 之外的目标数据；MSR 也限制了单条测线覆盖的有效水体范围，需要布设更加密集的测线，大大增加了外业工作量。图 8f 为单帧影像经噪声抑制、形态学处理、海底识别，最终提取后的目标图像，相比于图 8e 不仅噪声得到更好地抑制，而且提取到 MSR 之外的目标采样点，达到理想的效果。

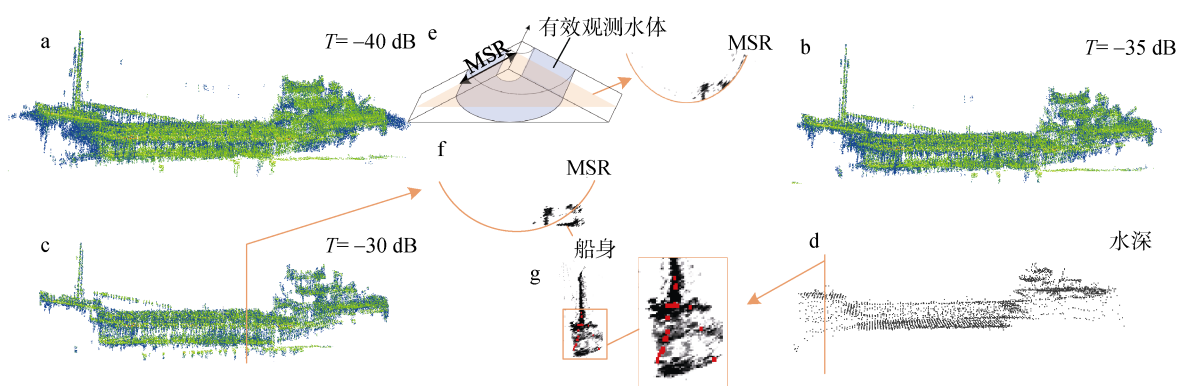


图 8 水体目标自动提取结果

Fig. 8 Automatic extraction of the underwater object

注: a~c: 不同强度滤波下水体数据自动提取的沉船三维点云信息(以反向散射强度附色); d: 为水深数据探测到的沉船点云; e: MSR 限制有效水体范围; f: MSR 外存在目标点($N=-30$ dB); g: 水深点无法探测桅杆, 且船身发生挤压(红点为系统检测到的水深点, $N=-30$ dB)

为进一步对比水体数据目标提取效果，使用水深点获取目标沉船(图 8d)。多波束水深测量作为水下目标探测的常用方式之一，侧重反映水深变化趋势，可大致描绘船身轮廓，具有清晰、便于处理等优点，然而底部检测算法难以判别船体表面，致使沉船发生挤压，且无法检测到桅杆(图 8g)。分析水深与水体探测结果可知，相比于水深测量，水体数据能够探测到桅杆(高纵横比目标)、绳索等船体局部特征，不仅提高探测分辨率，保留沉船真实形态，而且有利于确定沉船精确深度，保证通航安全。

4 讨论

人工分析的低效性和主观性不利于多波束水体数据的快速便捷使用，成为水体数据分析与进一步

研究亟待解决的难题。本文根据水体影像成像机理提出一种沉船自动提取算法，保证分析结果的可重现性，为水体数据定量分析奠定基础。并通过分析接收旁瓣干扰特性，综合噪声抑制、形态学边缘检测，有效解决水体数据不易处理、难以分辨等问题。使用实例验证了算法的有效性，弥补水深数据易于遗漏细长目标或测深分辨率不足的缺陷，更加完整地保留水体中目标物的形态。该算法在提取过程中并非针对特定沉船形态，对其他水体目标(羽状流、海底突起等)自动精准提取具有借鉴意义，有较强的实用价值。

参考文献:

[1] 刘经南, 赵建虎. 多波束测深系统的现状和发展趋势[J].

- 海洋测绘, 2002, 22(5): 3-6.
- Liu Jingnan, Zhao Jianhu. Status and development tendency for multibeam echosounder system[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2002, 22(5): 3-6.
- [2] 李东, 唐诚, 邹涛, 等. 基于多波束声呐的人工鱼礁区地形特征分析[J]. 海洋科学, 2017, 41(5): 127-133.
- Li Dong, Tang Cheng, Zou Tao, et al. Terrain character analysis of artificial reefs area based on multibeam echo sounder[J]. Marine Sciences, 2017, 41(5): 127-133.
- [3] 阳凡林, 韩李涛, 王瑞富, 等. 多波束声纳水柱影像探测中底层水域目标的研究进展[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2013, 32(6): 75-83.
- Yang Fanlin, Han Litao, Wang Ruifu, et al. Progress in object detection in middle and bottom-water based on multibeam water column image[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2013, 32(6): 75-83.
- [4] Clarke J E H. Applications of multibeam water column imaging for hydrographic survey[J]. Hydrographic Journal, 2006, 120(120): 3-15.
- [5] Melvin G D, Cochrane N A. Multibeam acoustic detection of fish and water column targets at high-flow sites[J]. Estuaries & Coasts, 2015, 38(1): 227-240.
- [6] Clarke J E H, Lamplugh M, Czotter K. Multibeam water column imaging: improved wreck least-depth determination[C]//Adam J K. Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference. Halifax, Canada: Canadian Hydrographic Association, 2006: 1-10.
- [7] Clarke J E H, Brucker S, Czotter K. Improved definition of wreck superstructure using multibeam water column imaging[J]. Journal of the Canadian Hydrographic Association, 2006, 68: 1-2.
- [8] Werf A V D. Mast tracking capability of EM3002D using water column imaging[D]. Fredericton, Canada: University of New Brunswick, 2010.
- [9] Deimling J S V, Papenberg C. Technical Note: Detection of gas bubble leakage via correlation of water column multibeam images[J]. Ocean Science, 2012, 8(2): 175-181.
- [10] Deimling J S V, Brockhoff J, Greinert J. Flare imaging with multibeam systems: Data processing for bubble detection at seeps[J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2007, 8(6): 1-7.
- [11] Weber T C, Mayer L A, Beaudoin J, et al. Mapping gas seeps with the deepwater multibeam echosounder on okeanos explorer[J]. Oceanography, 2012, 25: 54-55.
- [12] Colbo K, Ross T, Brown C, et al. A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders[J]. Estuarine Coastal & Shelf Science, 2014, 145(5): 41-56.
- [13] 刘芝波. 基于多波束水柱影像的沉船最浅点探测[D]. 青岛: 山东科技大学, 2015.
- Liu Zhibo. The least depth point detection of wreck using multibeam water column imaging[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2015.
- [14] Marques C R V. Automatic mid-water target detection using multibeam water column[D]. Fredericton, Canada: University of New Brunswick, 2012.
- [15] Urban P, Köser K, Greinert J. Processing of multibeam water column image data for automated bubble/seep detection and repeated mapping[J]. Limnology & Oceanography Methods, 2017, 15(1): 1-21.
- [16] 张志刚, 郭俊, 杨嘉斌, 等. 利用多波束水体成像数据进行管道气体泄漏检测[J]. 应用科技, 2018, 45(6): 12-16.
- Zhang Zhigang, Guo Jun, Yang Jiabin, et al. Multi-beam water imaging data for pipeline gas leak detection[J]. Applied Science and Technology, 2018, 45(6): 12-16.
- [17] 杨文瑞. 多波束声纳 Snippet 成像算法研究及其 DSP 实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2016.
- Yang Wenrui. Research of multibeam sonar Snippet imaging algorithm and its implementation on DSP[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2016.
- [18] 阳凡林, 暴景阳, 胡兴树. 水下地形测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2017: 138-148.
- Yang Fanlin, Bao Jingyang, Hu Xingshu. Oceanic Surveying and Mapping[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2017: 138-148.
- [19] 郑双强, 刘洪霞, 阳凡林, 等. 多波束声纳水柱影像分析工具的设计与实现[J]. 海洋测绘, 2016, 36(6): 46-49.
- Zheng Shuangqiang, Liu Hongxia, Yang Fanlin, et al. Design and implementation of multibeam sonar water column image analysis toolkit[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2016, 36(6): 46-49.
- [20] Zhao J, Meng J, Zhang H, et al. Comprehensive detection of gas plumes from multibeam water column Images with minimisation of noise interferences[J]. Sensors, 2017, 17(12): 2755.
- [21] 刘胜旋, 关永贤, 宋永志. 多波束水体影像的归位算法研究与实现[J]. 海洋测绘, 2016, 36(1): 43-47.
- Liu Shengxuan, Guan Yongxian, Song Yongzhi. Transformation algorithm research and realization of multibeam water column images[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2016, 36(1): 43-47.

Automatic extraction of wreck based on multibeam water column image

LI Dong-hui^{1, 2}, ZHENG Shuang-qiang^{1, 2}, CHEN Jian-bing¹, LIU Hong-xia¹,
YANG Fan-lin^{1, 2, 3}

(1. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. Key Laboratory of Surveying and Mapping Technology on Island and Reef, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266590, China; 3. Key Laboratory of Marine Surveying and Charting in Universities of Shandong, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Received: Jul. 22, 2018

Key words: multibeam echosounder system; water column data; water column image; object detection; morphologic edge detection

Abstract: To solve the problems of time consumption and inability to guarantee the repeatability of the results when browsing water column data manually and to further improve the data utilization and quantitative analysis capability, we propose an algorithm for the automatic extraction of wreck based on a single water column image (WCI) by analyzing the imaging mechanism of water column data. After detecting the edge of the object by noise suppression and mathematical morphology, the seafloor, which needs to be removed from WCIs with depth, can be identified according to the statistical characteristics. The efficiency of the method has been assessed with the measured data, and its noise immunity is strong. The object information extracted from the WCI can compensate for the drawback of the insufficient resolution of the depth model and lay the foundation for the detailed three-dimensional modeling of the object.

(本文编辑: 刘珊珊)