

多波束声呐和侧扫声呐数据 融合方法研究综述^{*}

房旭东, 钟贵才

(国家海洋局 第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘 要:多波束声呐系统与侧扫声呐系统均为海底面探测的重要工具,二者均采用声学方法,在工作原理上存在异同。本文简要介绍了二者的研究进展,分别对其数据处理进行了对比分析,认为多波束声呐处理方法侧重于数据的测量精度,而侧扫声呐则主要侧重于图像处理;归纳了当前二者主要的数据匹配融合方法,包括同名特征融合、基于 SURF 算法的匹配融合以及特征点融合,从数据采集原理上对数据融合方法进行了深入分析,发现在探头定位、单 ping 数据点分布以及 ping 之间的数据定位上存在一定的困难,即使经过一定的处理,二者采集的也非简单的平面图像,故二者的数据融合尚存在一定的难度。

关键词:多波束声呐;侧扫声呐;数据融合

中图分类号: P237

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2016.04.008

海洋在整个地球占据着 71% 的面积,其中蕴含着丰富的矿产资源与生物资源,近年来,随着海洋开发活动的需求逐渐加大以及电子、计算机等技术卓有成效的发展,多波束声呐(MBES)与侧扫声呐(SSS)等海底探测技术逐步完善,在海底工程、矿产资源调查中得到了广泛的应用,通过表面特征分析可较好地研究海底地质^[1]和大洋核杂岩研究^[2],并通过进一步分析接收的反射、散射信号,可较好地应用于海底底质分类、海底生境研究中^[3-4],二者都是采用声学方法,通过向海底发射接受声波来进行海底测绘,但二者的侧重点不同,在处理方法上存在较大差异。本文对二者的数据处理等分别进行了梳理,并就其融合方法进行了归纳总结,从配准方面进行了分析,以期为后期二者的数据处理及融合方法提供借鉴。

1 多波束与侧扫声呐系统概述

1.1 多波束声呐系统概述

多波束声呐系统最早出现于 20 世纪 70 年代,其不仅继承了回声测深仪的核心技术,而且在此基础上实现了对上百个海底测点水深值的检测,体现出无限的优越性。在该系统的支持下,能够精确地测量出某一宽度水下目标的形状、大小以及高低变化,对海底的基本地形进行可靠的描述。与传统的单波束回声测深仪相比,不仅测量范围大、速度快,

^{*} 收稿日期:2016-07-12

资助项目:海洋公益性行业科研专项——水下文物探测保护技术体系研究(201305038-1)

作者简介:房旭东(1983-),男,工程师,硕士,主要从事海洋地球物理方面研究. E-mail: fangxudong@tio.org.cn

(王 燕 编辑)

而且具有较高的精确度与检测效率,能够对数字化以及实时绘图进行有效的记录,并逐渐发展成为立体探测与自动绘图,提升了海底地形检测的效率。经历了多年的发展,多波束声呐系统在海深测量技术、集成化技术以及高分辨测量技术等方面均取得了一定的成就。我国的多波束测量技术起步较晚,最早的多波束测深声呐实验样机于20世纪80年代研制成功,尽管经过了不断的改进与发展,其与国外的检测设备还有着较大的差距,还处于初级阶段。

1.2 侧扫声呐系统概述

侧扫声呐也可以称为旁侧声呐,其作为一种声学仪器主要用于海底调查,在检测海底障碍物方面有着不可替代的作用。其利用声学脉冲技术能够实现对海底底质特性图像的检测,该系统中的换能器能够自由安装于侧船,且有专门的设备负责记录回波信号。回波信号的强度能够反映出海底触点的形状、尺寸、密度等,为各项海洋工程的顺利实现提供了必要的技术支撑。美国 Klein 公司近年来研发的 Klein5000 系列多波束侧扫声呐系统,采用波束控制与数字聚焦技术,在拖鱼每一侧同时生成数个相邻的平衡波束,可以实现高速拖拽全覆盖的同时获得高分辨率的微地貌信息,并可同步记录地形资料,2008 年法国 IXBLUE 公司推出了高性能合成孔径声呐系统 SHADOWS,意味着侧扫声呐硬件系统迈向了更高的台阶。我国的侧扫声呐系统自 20 世纪 70 年代研制以来,实现了由单侧悬挂式向双侧双频拖曳式的转变,目前已经基本上达到了世界先进水平。

2 数据处理

2.1 多波束声呐处理

传统的多波束数据的处理主要包括数据格式转换与读取、声速剖面数据处理、定位数据处理、潮位数据处理、姿态数据处理、深度数据处理、网格化、坐标系统及其转换等。在现代科学技术的支持下,多波束声呐系统在进行原始测深的过程中,不仅能够实现潮位、声速以及归心改正等,而且能够对波束脚印进行有效的计算,进而对测深数据进行滤波处理,将其中所涵盖的噪声以及虚假信号等剔除出去。

开展如导航定位、声速改正、潮汐改正以及测量参数改正等与多波束测深相关的专项技术研究,是多波束数据处理面临的主要任务^[5]。导航定位改正是指精密的测量获取多波束探头、GPS 接收机与罗经之间的相对位置关系后,获取探头的精确位置,并利用 GPS 的 1PPS 信号进行精确的时间同步^[6];其次为潮位的改正,海洋测深实际上就是对海底表面与某准基面差距进行测量,常见的有深度基准面、海洋大地水准面。除了采用现场测量的实时潮位信息外,在大区域或复杂区域进行多波束调查时还经常采用潮汐分区模型进行潮位改正^[7]或者 GPS 无验潮改正模式^[8]。声速改正包括表层声速和声速剖面改正,微小的表层声速差异可能会带来归算水深较大的误差,也会导致多波束回波呈现眉毛状或笑脸状失真。现阶段一般采用实时表层声速仪进行表层声速获取,且表层声速的测量误差最好控制在 1 m/s 以内^[9]。从声速改正模型^[10] $C=1\,449.2+4.5T-0.055T^2+0.000\,29T^3+1.34S-46.9-0.01TS+0.35T+0.016D$ 可知:声速随温度、盐度、深度(压力)的增加而增大,其中与温度的相关性最大,压力次之,盐度的影响最小。一般需同步进行声速剖面仪对声速剖面数据采集。

船姿测量参数改正主要包括纵摇、横摇和涌浪(动态吃水)等,该系列参数主要是因为换能器在安装时存在相对于船体的左右、前后等空间倾斜,影响波束在水体中的初始发射角,进而对水深数据在地理坐标系下的坐标产生影响。传统的可采用前期的姿态校正走航来获取相关参数在软件中进行运算,提高多波束测量成果的质量,应尽可能增大条带重叠率^[11]。

以上为多波束的数据处理,但是测量数据受仪器噪声、海况等多种因素的影响,多波束测深数据不可避免受到干扰,因此必须实施必要的滤波处理以确保测深数据的科学性。滤波方法按照人工干预占的比例大小可以分为人机交互式滤波和自动滤波^[12-13]。人机交互式滤波质量高,但效率低。自动滤波方法阈值偏大会包容粗差,阈值偏小会滤掉有效信息。

2.2 侧扫声呐图像处理技术

作为海底开发的重要基础设施,侧扫声呐能够实现水下高分辨成像,直接影响着海底探测的科学性与有效性。侧扫声呐数据处理主要包括两个方面:除噪和斜距校正。侧扫声呐是距离成像,工作时换能器距海底高度与系统量程之比可达 1 : 10,因此图像中目标存在着严重的透视收缩、叠掩和顶点位移等几何畸变,目前多采用基于声线跟踪法的斜距功能予以消除^[14];侧扫声呐系统在某时刻接收的回波,是水下各反射声波的矢量和,包含了各种噪音,严重时可能造成声图误判。因此,对侧扫声呐数据进行噪声处理十分必要^[15]。目前,主要包括以整幅图像为研究对象的光学图像滤波以及一维离散小波变换的实时噪声抑制等方法^[16]。

3 多波束与侧扫声呐数据的融合方法

多波束系统与侧扫声呐系统都是开发利用海洋的重要手段,二者相互结合在海洋调查^[17]、海底目标探测^[18]、失事船舶扫测^[19]等方面获得了较好的应用。多波束声呐系统不仅可以绘制高分辨率的海底地形图,而且还能同时利用海底反向散射强度绘制声呐图像^[20],但多波束图像具有分辨率低、图像质量差、随机干扰因素多、不直观、可读性差和无法实时比对等缺点^[21]。鉴于二者存在一定的互补性,国外学者很早就开始了这两套系统组合的可能性和优越性方面的研究,并取得了一定的效果^[22-23],我国的学者亦在二者的图像融合方面做了大量工作。

3.1 等深线与轮廓线的同名特征融合

数据经各项改正后,首先对两系统进行特征点的拾取(等深线特征点和灰度特征点)对 MBES 上的每个特征点,在 SSS 的位置误差范围内,选定特征点的集合,然后根据局部窗口内的相关系数测度确定同名点,其次以二次多项式作为影像之间的变形模型,根据同名点确定变形模型;然后计算同名点对在变形模型中的残差,剔除粗差,重新确定变形模型并对 SSS 数据、影像进行重采样,最后采用二进小波分别对重采样后的水深和回波强度图进行融合。该方法需要采用具有测深功能的侧扫声呐系统^[24]。

3.2 基于 SURF 特征的配准与融合

SURF 算法检测同一区域内侧扫声呐图像和多波束图像的特征点,通过最近邻匹配获得匹配点后,计算图像间的变换矩阵,利用空间变换完成配准,采用加权融合法实现两者的融合^[25]。赵建虎等对该算法进行了改进^[26],通过先粗匹配,后精匹配,最终实现图像匹配。侯雪等^[27]通过对低分辨率的图像进行升采样,使图像配准达到了较好的效果;另

外,对 SURF 算法中粗匹配的距离测度函数进行改进,提高了 SURF 算法的配准速度;然后利用 RANSAC 算法实现了多波束与侧扫声呐图像的精准配准;最后对配准后的图像进行小波变换融合。

3.3 特征点融合

从图像的轮廓线段中提取特征点,采取多项式拟合的方法实现图像的配准,对配准后的图像分别采用加权和小波变换的方法进行融合处理^[28]。

4 讨 论

通过以上分析可以发现,侧扫声呐系统与多波束系统均为对海底面的成像,二者相互结合可以更好地获得海底信息。相比较来看,多波束声呐系统主要偏重于海底地形测量,其对定位精度等要求较高,其数据处理也更多地偏向于定位与水深测量的精度控制等方面,而侧扫声呐系统则主要集中在声图的除噪与几何改正等。

二者图像的融合已经进行了较为深入的研究,其主要问题集中表现在定位的准确性方面:

1) 探头定位

多波束声呐系统探头一般固定于船体,其定位精度相对较高,而侧扫声呐一般采用拖拽方式,简单进行后拖计算的精度较差,虽然可同步采用超短基线进行拖鱼定位,但其精度相对多波束系统仍有较大差距,故在源头其定位精度就存在一定的难度,而二者均由探头发射、接收声学信号,探头定位无法保证的情况下,测量精度更是大打折扣。

2) 单 ping 误差(垂直航向)

多波束系统的一些传感器的误差对水深的影响自中央波束向边缘波束明显增大,即中央波束精度明显高于边缘波束精度^[29],而侧扫声呐单 ping 发射的声学信号在接收时按照等时排列,无法真正反映海底影像,采用斜距校正一般无法根除其影响。

3) ping 之间定位误差(平行航向)

不管采用何种方式,两个系统均由 GPS 提供定位信息,受限于 GPS 频率(一般为 1 Hz),多波束声呐系统在水深 20 m 以内每秒发射 4~5 个 ping,声呐系统每秒一般发射 3~4 个 ping,其每 ping 的定位信息一般采用内插的方式,而在这一秒的过程中探头位置已经发生了变化,因此对每一个 ping 的源头来说,其定位的准确性就会下降。

现有的数据融合多是在遥感影像算法等基础上进行改进的,在配准的过程中或多或少的会发生精度降低或分辨率降低的现象,同时多波束声呐系统和侧扫声呐系统与遥感影像大为不同,遥感影像为一个个平面拼接而成的平面,而两个声呐系统是由每一 ping 产生的线组成的平面,由于其探头存在空间的位移,每一 ping 都不处于同一平面,进而其波束发射方向亦存在改变,严格来说,二者应是三维的影像,故对其采用数据融合尚存在一定的困难。

5 结 论

本文梳理了多波束声呐系统和侧扫声呐系统的研究进展与处理方法,多波束声呐系统主要应用于海底高精度地形测量,其在定位与地形测量上精度较高,而侧扫声呐系统主要应用于海底成像,其成像精度高,但分辨率相对较差,二者相互验证可提高海底面探测

的精度与效率,但通过归纳前人对二者数据的融合,经深入分析发现,由于二者图像均是由线组成的平面,在定位的精确度上存在一定的不匹配,故现阶段高精度、高分辨率的数据融合尚存在一定的困难。

参考文献:

- [1] 刘乐军,傅命佐,李家钢,等. 荔湾 3-1 气田海底管道深水段地质灾害特征[J]. 海洋科学进展,2014,32(2):162-173.
- [2] 于志腾,李家彪,丁巍伟,等. 大洋核杂岩与拆离断层研究进展[J]. 海洋科学进展,2014,32(3):415-426.
- [3] WALTER D J, LAMBERT D N, YOUNG D C. Sediment facies determination using acoustic techniques in a shallow-water carbonate environment, Dry Tortugas, Florida[J]. Marine Geology, 2002, 182(1-2):161-177.
- [4] OVERMEEREN R V, CRAEYMEERSCH J, DALFSEN J V, et al. Acoustic habitat and shellfish mapping and monitoring in shallow coastal water-sidescan sonar experiences in the Netherlands[J]. Estuarine Coastal & Shelf Science, 2009, 85(3):437-448.
- [5] 李家彪. 多波束勘测原理技术与方法[M]. 北京:海洋出版社,1999.
- [6] 刘胜旋,林勇,黄辰虎. 1PPS 时间同步对多波束测深质量的影响[J]. 海洋测绘,2011,31(2):31-33.
- [7] 陆秀平,黄辰虎,黄谟涛,等. 浅水多波束测深潮汐改正技术研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2008,33(9):922-925.
- [8] 徐永斌,黄辰虎,申家双,等. 潮汐对多波束测深的影响及改正[J]. 海洋测绘,2008,28(2):29-32.
- [9] 朱小辰,肖付民,刘雁春,等. 表层声速对多波束测深影响的研究[J]. 海洋测绘,2007,27(2):23-25.
- [10] 汪晓晓. 海洋测深中声线跟踪模拟分析[J]. 黑龙江工程学院学报,2016,30(1):24-29.
- [11] 刘毅,周兴华,史永忠,等. 姿态测量误差对多波束测深数据影响分析[J]. 测绘工程,2015(9):31-33.
- [12] 闻亚,曾媛,芮晔,等. 基于多波束测深数据滤波方法研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版),2015(18):30-32.
- [13] 董江,任立生. 基于趋势面的多波束测深数据滤波方法[J]. 海洋测绘,2007,27(6):25-28.
- [14] 阳凡林,刘经南,赵建虎. 基于数据融合的侧扫声呐图像预处理[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2004,29(5):402-406.
- [15] BLONDEL P. The Handbook of Side-scan Sonar[M]. Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2009:73-74.
- [16] 熊传梁,夏伟,孙新轩,等. 一维小波变换在侧扫声呐图像去噪中的应用[J]. 海洋测绘,2013,33(3):29-32.
- [17] 罗深荣. 侧扫声呐和多波束测深系统在海洋调查中的综合应用[J]. 海洋测绘,2003,23(1):22-24.
- [18] 董庆亮,欧阳永忠,陈岳英,等. 侧扫声呐和多波束测深系统组合探测海底目标[J]. 海洋测绘,2009,29(5):51-53.
- [19] 罗深荣. 侧扫声呐和多波束测深系统在海洋调查中的综合应用[J]. 海洋测绘,2003,23(1):22-24.
- [20] LIU X, LI H S, ZHOU T, et al. Multibeam seafloor topography-geomorphology integrated detection technology[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Multimedia Technology (ICMT 2011), 2011: 3575-3578.
- [21] 赵建虎. 现代海洋学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2007.

- [22] LI R X, PAI S. Improvement of bathymetric data bases by shape from shading technique using side-scan sonar images[C]. Oceans'91 Ocean Technologies & Opportunities in the Pacific for the 90's, Honolulu:IEEE, 1991.
- [23] DEMOUSTIER C, LONSDALE P F, SHOR A N. Simultaneous operation of the sea beam multibeam echo-sounder and the SeaMARC II bathymetric sidescan sonar system[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1990, 15(2):84-94.
- [24] 阳凡林, 吴自银, 独知行, 等. 多波束声呐和侧扫声呐数字信息的配准及融合[J]. 武汉大学学报, 2006, 31(8):740-743.
- [25] 郭军. 基于 SURF 的声呐图像配准与融合方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(3):54-58.
- [26] 赵建虎, 王爱学, 郭军. 多波束与侧扫声呐图像区块信息融合方法研究[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2013, 38(3):287-290.
- [27] 侯雪, 周兴华, 唐秋华, 等. 基于 SURF 算法的多波束和侧扫声呐图像配准与融合[J]. 海洋通报, 2016, 35(1):38-45.
- [28] 欧阳壮志, 欧阳明达. 多波束图像与侧扫声呐图像的配准及融合[J]. 测绘技术装备, 2013(3):28-31.
- [29] GENG X Y, ZIELINSKI A. Precise multibeam acoustic bathymetry[J]. Marine Geodesy, 1999, 22(3):157-167.

Research Overview on Multi-beam and Side-scan Sonar Data Fusion

FANG Xu-dong, ZHONG Gui-cai

(The Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China)

Abstract: Multi-beam sonar system and side-scan sonar system are two important tools for the exploration of seabed. Both of them use acoustic method and there are similarities and differences in their working principle. Their research progress is briefly introduced and the data processing of the two systems is compared and analyzed. It has been recognized that the data processing of multi-beam sonar system focuses on the accuracy of data measurement, whereas the data processing of side-scan sonar is mainly emphasized particularly on the image processing. The main methods for the data matching and fusing used currently between the two systems are summarized, which include the feature fusion of the same name, the matching fusion based on the SURF algorithm and the characters fusion. From the principle of data acquisition, the data fusion methods are deeply analyzed. It is found that there exist some difficulties in the positioning of detector, the distribution of single Ping data point and the data positioning between the Pings. Even after a certain treatment, what collected by the two systems are not simple planar images. Thus, there are still some difficulties in the data fusion of the two systems.

Key words: multi-beam sonar; side-scan sonar; data fusion