

# 一种基于航迹线文件的声纳图像裂缝处理方法

尹天鹤<sup>1,2</sup> 张 丰<sup>1,2</sup> 刘仁义<sup>2</sup> 刘 南<sup>1</sup>

(1 浙江大学浙江省资源与环境信息系统重点实验室,杭州市天目山路,310028)

(2 浙江大学地理信息科学研究所,杭州市天目山路,310028)

**摘要:**以 XTF(eXtended Triton Format)格式的侧扫声纳图像为研究对象,分析了侧扫声纳图像地理编码过程中产生裂缝的原因,提出了一种基于航迹线的处理模型。

**关键词:**侧扫声纳;地理编码;裂缝;航迹线文件

**中图法分类号:**P237.3; P229.3

随着科学技术的高速发展,人类对海洋认识的逐渐深化,海洋因其经济上的巨大潜力和战略上的重要地位越来越受到人们的重视。侧扫声纳技术运用海底地物对入射声波反向散射的原理来探测海底形态,直观地提供海底形态的声成像,因为具有高分辨率<sup>[1]</sup>、拖鱼高度可调节、造价便宜等优点,被广泛应用于海洋测绘、海洋地质勘探、海底沉积物探测和海洋工程等方面,并逐步成为主要的探测工具。

原始侧扫声纳图像是按扫描线顺序排列的序列图像,不具有整体性的地理方位和可量测性。地理编码技术可使之具有整体性的地理方位和可量测性,是对其作进一步分析和应用的基础<sup>[2]</sup>。与一般的遥感影像不同,侧扫声纳图像主要是依据导航信息,结合拖鱼航行轨迹与扫描线的几何关系进行地理编码。但由于斜距效应、声纳定位系统粗差、定位与扫描不同步等问题,以及拖鱼因受船速、潮水等诸多因素影响造成的航行轨迹不稳定,经过地理编码后的侧扫声纳图像往往存在裂缝。

如何弱化、甚至消除地理编码后的侧扫声纳图像裂缝,国内外都有相关研究<sup>[3-5]</sup>。Malinverno 利用 Inverse-square-distance 规则来填充分布在裂缝区域中的空白像素<sup>[3]</sup>,但这种方法扭曲了海底探测目标的几何特征。Cervenka 提出了使用降低分辨率并且沿航迹内插扫描线<sup>[4]</sup>,但容易造

成图像的细节丢失。邓雪清等提出了利用垂线分割滤波修正航迹特征点结合低通滤波等方法<sup>[2,5]</sup>,但需要考虑扫描线大角交叉等边界情况,且偏移了探测目标的地理坐标。

## 1 侧扫声纳图像

现有的声纳数据主要有 Qmips 和 XTF 两种文件格式,两者均为二进制格式存储。本文主要讨论 XTF 文件格式。XTF 文件格式是一种可扩展的数据格式,可保存声纳、航行、遥测、测深等多种类型的信息<sup>[6]</sup>。

XTF 文件开始是一个 XTFFILEHEADER 结构的头,后面跟一个或多个 Ping 数据包<sup>[6]</sup>。每个 XTFFILEHEADER 能容纳 6 个通道的信息,通道信息存储在 CHANINFO 结构中。XTFFILEHEADER 结构通常为 1 024 字节,如果通道大于 6 个,则该结构大小按 1 024 字节递增,直至容纳所有 CHANINFO 结构。目前,Ping 主要有声纳(sonar)、测深(bathymetry)、姿态(attitude)、注释(annotation)和串口原始数据(raw ASCII from serial port)等 5 种类型。每个 Ping 数据包都有一个头结构,读取时可以依据头结构中记录的类型信息来确定 Ping 的类型。

侧扫声纳图像在地理编码时主要用到的是声

收稿日期:2009-06-08。

项目来源:国家 863 计划资助项目(2007AA12Z237,2007AA12Z182);国家自然科学基金资助项目(40571123);浙江省重点科技攻关基金资助项目(2007C23091);国家教育部博士后专项基金资助项目(20070421161);国家教育部博士点专项基金资助项目(20060335040,200803350017)。

纳 Ping,其对应的头结构类型为 XTF\_HEADER\_SONAR,由 XTFPINGHEADER 和通道数据构成。XTFPINGHEADER 的大小为 256 字节,记录了当前拖鱼的瞬时姿态位置、数据接收时间、拖鱼距海底高度等属性信息。通道数据包含了通道头结构和通道测量数据。

## 2 裂缝产生的原因

### 2.1 侧扫声纳图像地理编码

原始侧扫声纳图像是按扫描线的先后顺序排列的,不具有整体性的地理方位和可量测性。声纳图像地理编码利用扫描线与航迹的几何关系、航迹点坐标以及拖鱼姿态来解算扫描线端点,将原始声纳图像像素重采样到指定的投影坐标系中。地理编码分为斜距改正、航迹处理、扫描线解算和图像重采样等 4 个步骤<sup>[7]</sup>。

### 2.2 裂缝产生

裂缝是经地理编码后的声纳图像中相邻 Ping 之间的空白区域,如图 1 所示。它主要有以下两种表现形式。

1) 条带裂缝。船速的不稳定以及声纳系统中定位与扫描不同步造成扫描线沿着航迹分布不均匀甚至相互重合,在扫描线分布稀少的地方容易形成条带裂缝。

2) 扇形裂缝。受海底暗流、海底异物撞击以及船的前进方向等影响,拖鱼的航行轨迹是不稳定的,尤其是在拖鱼改变行进方向时,扫描线在拖鱼航迹的一侧会相互交叉,而另一侧会形成扇形裂缝。

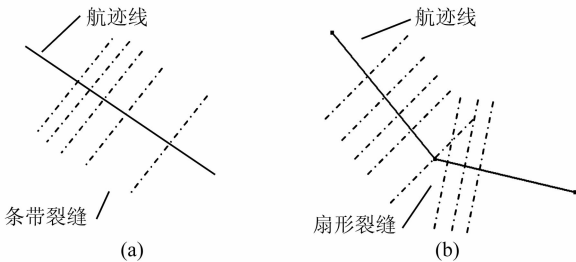


图 1 地理编码产生的裂缝

Fig. 1 Image Gap After Geocoding

在实际的应用中,一般通过处理航迹点来消除重采样图像中的裂缝。

## 3 航迹处理模型

在 XTF 侧扫声纳文件中,每一个 Ping 都记

录了用地理坐标表示的导航信息以及接收信号时的时间。选择合适的地理参考系统,可以计算出每个 Ping 记录时的拖鱼大地坐标、生成拖鱼的轨迹。但由于声纳系统扫描与定位不同步,相邻的几个 Ping 中可能记录的是相同的导航信息,因此,需要通过统计坐标值不相等的两航迹点,结合船速、时间、方位等因子对航迹点坐标改正<sup>[3]</sup>。这个过程需要提取航迹特征点集,投影坐标系选取,坐标转换,剔除定位系统误差,去除测速系统以及拖鱼姿态误差导致的无效 Ping 记录,运算量大,算法实现比较复杂。

侧扫声纳系统在工作时,相关采集软件会产生一个航迹文件,该文件由多条记录组成,每条记录包含以下信息:测线,预定的航线;事件,记录定位点的顺序编号;时间,记录定位点时的时间;坐标,定位点的地理坐标,定位点经过采集软件来修正,能够反映拖鱼瞬时地理位置。可以根据测量需要,选择不同的坐标参考系,由采集软件负责坐标转换运算。

记  $T_i, T_{i+1}$  为航迹线文件中两个相邻记录中的时间,  $P_i(X_i, Y_i), P_{i+1}(X_{i+1}, Y_{i+1})$  为  $T_i, T_{i+1}$  时刻定位点的大地坐标。通过将  $T_i, T_{i+1}$  和 Ping 记录中的时间比较,可以计算出  $T_i \sim T_{i+1}$  时间内,拖鱼接收到 Ping 记录的数量,即扫描线的数量,记为  $n$ 。设  $L$  为  $T_i \sim T_{i+1}$  时间内拖鱼的航行距离。一般认为航迹线文件中相邻时间内的船速是恒定的,因此,可在  $T_i \sim T_{i+1}$  时间段内对航迹进行等距插值,使扫描线在  $P_i, P_{i+1}$  内沿航迹均匀分布。第  $k$  条扫描线对应的航迹点  $P_k$  距  $P_i$  点的距离为:

$$L_k = L/n * k \quad (1)$$

设过  $P_i, P_{i+1}$  的航迹直线方程函数为  $y = f(x)$ , 则有:

$$L = \int_{P_i}^{P_k} \sqrt{1 + f'(x)^2} dx \quad (2)$$

设  $F(x)$  为  $\sqrt{1 + f'(x)^2}$  的原函数,利用式(1)、式(2)可以解算出拖鱼接收第  $k$  条扫描线时的地理坐标  $P_k(X_k, Y_k)$ :

$$X_k = F^{-1}(L_k - F(x_i)) \quad (3)$$

$$Y_k = f(x_k) \quad (4)$$

经过等距插值以后,如图 2 所示,已经消除了由于船速以及扫描与定位不同步造成的扫描线沿航迹分布不均匀而导致的条带裂缝,但由于航迹不稳定造成的扫描线交叉导致的扇形裂缝依然存在。

可用样条曲线函数对航迹点进行平滑处理,

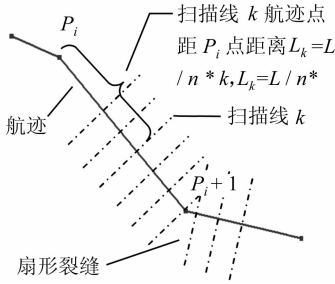


图2 条带裂缝消除

Fig. 2 Elimination of Strip Gap

来消除扇形裂缝。在实现中,笔者利用三次 Bezier 曲线平滑的航迹,如图 3 所示。利用 Bezier 曲线的曲线方程  $y=f_{\text{Bezier}}(x)$  替换  $y=f(x)$ ,利用过  $P_i, P_{i+1}$  点间 Bezier 的长度  $L_{\text{Bezier}}$  替换  $L$ 。利用  $F_{\text{Bezier}}(x) = \sqrt{1+f'_{\text{Bezier}}(x)^2}$  替换  $F(x)$ ,于是有:

$$L_k = L_{\text{Bezier}}/nk \tag{5}$$

$$X_k = F_{\text{Bezier}}^{-1}(L_k - F_{\text{Bezier}}(x_i)) \tag{6}$$

$$Y_k = f_{\text{Bezier}}(x_k) \tag{7}$$

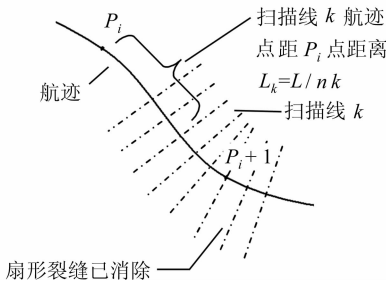


图3 扇形裂缝消除

Fig. 3 Elimination of Sector Gap

### 4 实例研究

选取杭州湾某海域的原始侧扫声纳图像作为研究对象,在基于航迹线文件的航迹处理模型的基础上,对其进行地理编码,并对航迹处理每一步骤产生的结果进行对比分析。

图 4 为原始侧扫声纳序列图像,反映的是杭州湾某一海域的海底地貌。表 1 为由声纳采集系

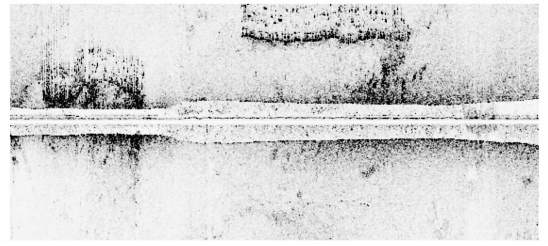


图4 原始侧扫声纳序列图像

Fig. 4 Primitive Side-scan Sonar Sequenced Image

表1 航迹文件纪录

Tab. 1 Records in the Navigation File

序号	测线	事件	时间	坐标
1	5	55	11:19:44	(510 725.38, 3 117 151.69)
2	5	56	11:20:02	(510 713.92, 3 117 112.70)
3	5	57	11:20:20	(510 704.99, 3 117 073.33)
4	5	58	11:20:38	(510 694.54, 3 117 034.14)
5	5	59	11:20:55	(510 685.04, 3 116 996.41)
6	5	60	11:21:13	(510 675.33, 3 116 956.68)
...				

统接收到的航迹文件记录。

根据表 1 的航迹点坐标,可以采样出拖鱼的航行轨迹,如图 5 所示。

在声纳数据本身的导航信息中,由于声纳系统扫描与定位不同步,使得相邻扫描线具有相同的导航信息,特征点的数量远少于扫描线的数量,因此,在像素重采样的过程中,容易造成相邻多条扫描线互相重合,在航迹特征点之间形成条带裂缝,从而导致地理编码后海底影像清晰程度较差,图像轮廓不明显,如图 6。图 7 为经过等距插值航迹点后,消除条带裂缝的声纳图像。图中海底成像效果较好,探测目标轮廓清晰,但依然存在着扇形裂缝。对照图 5 以及图 7 不难看出,扇形裂缝主要分布在航迹的拐点处,并且航迹的拐角越大,扇形裂缝也就越大。

在航迹平滑的基础上等距离插值航迹点,经重采样后得到如图 8 所示的声纳图像。通过和图 6 对比可以看到,基于航迹线文件的航迹处理模型有效地消除了裂缝,编码后的声纳图像更为清晰连续,能够较好地反映地物原貌。

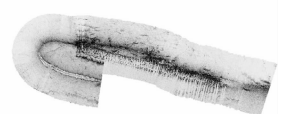
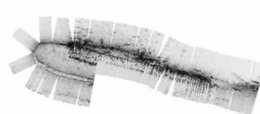
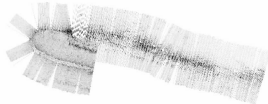
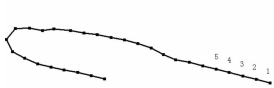


图5 拖鱼航行轨迹

图6 利用声纳图像导航信息编码后的声纳图像

图7 消除条带裂缝编码后的声纳图像

图8 消除扇形裂缝后的声纳图像

Fig. 5 Track of Towfish

Fig. 6 Geocoded Image Using Navigation Data in Sonar Pings

Fig. 7 Geocoded Image After Equidistance Interpolation Processing

Fig. 8 Geocoded Image After Equidistance Interpolation and Smooth Processing

## 5 结 语

地理编码是侧扫声纳图像深层应用所必须经历的处理过程,是与其他数据源融合构成海洋GIS数据库的基础<sup>[8]</sup>。基于航迹线文件的航迹处理模型,具有以下几个优点。

1) 投影坐标系以及坐标转换由数据采集系统完成,减少了地理编码过程的计算量;

2) 修正了因船速、扫描与定位不同步导致的扫描线不均匀分布,有效地消除了声纳图像地理编码过程中产生的各种裂缝,经过平滑以及插值的航迹特征点更符合拖鱼的实际运行轨迹;

3) 不受定位系统以及拖鱼姿态瞬时错误造成的定位误差影响。

在对航迹的平滑处理过程中,也可以根据实际应用的不同要求选择其他平滑曲线。本文提出的基于航迹线文件的航迹处理模型已经在侧扫声纳图像处理系统 GeoSonar 中得到应用,并在实际工作中获得了很好的效果。

### 参 考 文 献

[1] 阳凡林,吴自银,独知行,等. 多波束声纳和侧扫声

纳数字信息的配准及融合[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2006,31(8):740-743

[2] 邓雪清,巩丹超,罗睿. 侧扫声纳图像地理编码技术研究[J]. 海洋测绘,2002,22(4):14-17

[3] Malinverno M, Edwards H, Ryan W B F. Processing of SeaMARC Swath Sonar Data[J]. IEEE J Oceanic Eng,1990,15:14-23

[4] Cervenka R, de Moustier C. Sidescan Sonar Image Processing Techniques[J]. IEEE J Oceanic Eng, 1993,18(2):108-122

[5] 邓雪清,滕惠忠,巩丹超,等. 侧扫声纳图像几何纠正技术研究[J]. 西安测绘研究所学报,2002,23(1):42-45

[6] 李军,滕惠忠. 侧扫声纳数据的格式转换及应用[J]. 海洋测绘,2002,22(2):36-38

[7] Kuwahara R H, Poeckert R H. Accurate Seafloor Mapping Using Precise Navigation and Side-scan Sonar[J]. Oceans 1989,IEEE,1989:1 148-1 152

[8] 阳凡林,刘经南,赵建虎. 基于数据融合的侧扫声纳图像预处理[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2004,29(5):402-406

第一作者简介:尹天鹤,博士生,研究方向:GIS和遥感图像处理。  
E-mail:dahe-9192@163.com

## A Method of Eliminating Sonar Image Gaps Based on Navigation Files

YIN Tianhe<sup>1,2</sup> ZHANG Feng<sup>1,2</sup> LIU Renyi<sup>2</sup> LIU Nan<sup>1</sup>

(1 Zhejiang Provincial Keylab of GIS, Zhejiang University, Tianmushan Road, Hangzhou 310028,China)

(2 Department of Geographic Information Science, Zhejiang University, Tianmushan Road, Hangzhou 310028,China)

**Abstract:** The raw side-scan sonar images are sequenced by scan line, and have not holistic geographical positioning and scalability. The original side-scan sonar image can't be analysed and used until it has been geocoded with geographical references. However, the geocoded images would have gaps after geographical positioning. This paper investigates the factors which cause the gaps in the process of geocoding. A practical navigational processing model based on navigation files is proposed in the paper. The model has been applied in sonar image processing system(GeoSonar) to process side-scan image in Hangzhou Bay, which proves the method effectiveness.

**Key words:** side-scan sonar; geocoding; gap; navigation