

文章编号:1002-3682(2014)04-0049-07

一种基于 MATLAB 的声呐条带 图像自动拼接算法*

侯 雪^{1,2},周兴华²,唐秋华²,王朝阳^{1,2}

(1. 山东科技大学, 山东 青岛 266590; 2. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要: 准确地实现侧扫声呐条带的拼接对于了解海底地形、提高对海床地物反映的准确度起着重要的作用,而相邻条带的配准是声呐条带拼接的重要前提。MATLAB 以其强大的矩阵运算功能及具有丰富的图像处理函数等特点,在图像处理方面占据明显的优势。文中利用 MATLAB 的 IPT 工具箱实现了基于互信息方法的声呐条带图像的自动快速配准,通过实验验证了该配准方法的有效性。并用小波变换方法对配准好的条带图像进行融合,实现声呐条带图像的有效拼接和镶嵌。

关键词: 声呐条带图像; 拼接; 互信息; 图像融合

中图分类号: TP391

文献标识码: A

侧扫声呐是海底调查的常规设备,其生成的海底声呐图像具有较高的分辨率。高分辨率的海底声呐图对海底地形的准确反映、海底目标探测以及海底沉积物属性的确定都起着非常重要的作用。侧扫声呐一般采用侧拖方式作业。由于船姿、风浪、海流等因素的影响,侧扫声呐拖鱼的位置往往不准确。而且,受船速及航向变化、声速变化、声波束倾斜、海底坡度改变等因素的影响,声呐图像在纵向和横向都存在着一一定程度的变形^[1],这为声呐相邻条带的拼接带来了困难。国内外学者在声呐条带拼接方面做了一些研究。在国外, Daniel 等^[2] 利用成对的目标和阴影进行 SSS 图像的刚性配准; Thisen 等^[3] 通过区域分割,提取出侧扫声呐图像中的阴影区域,然后利用互相关的方法成功实现了声呐图像的配准; Vandrish 等^[4] 利用 SIFT 算法检测兴趣点,结合 RANSAC 算法对兴趣点进行了精确匹配,实现了侧扫声呐图像的配准。在国内,滕惠忠等^[5] 采用微分纠正法实现了侧扫声呐条带的拼接; 赵建虎等^[6] 采用基于地理编码的图像匹配方法和基于 SURF 的方法实现了侧扫声呐条带的配准。

* 收稿日期: 2014-07-23

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项——基于声学方法的近岸水体悬浮物监测技术研究 (GY02-2011T05); 山东省自然科学基金——基于声学遥感的海洋倾倒物快速监测技术研究 (ZR2009FM005); 国家国际科技合作专项——自主星载高度计海面测高在轨绝对定标关键技术研究 (2014DFA21710); 国家自然科学基金——基于声学遥感探测海底热液羽状流的基本特征研究 (40706038); 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室资助项目——济州岛南部海域现代动力地貌特征研究 (MRE201107)

作者简介: 侯 雪 (1989-), 女, 硕士研究生, 主要从事海洋测绘与多波束应用方面研究。E-mail: houxuejiayou@126.com

(王 燕 编辑)

基于兴趣点检测的方法需图像具有较明显的共视目标,对图像变形的鲁棒性较差,因此适用范围较窄。本文阐述了一种基于 MATLAB 工具箱的图像自动配准算法,该算法以互信息作为图像匹配的相似性测度,并对配准好的声呐图像进行融合,实现声呐条带的拼接。该方法不要求待配准图像的灰度间存在线性相关或者二次相关,因此对于图像变形鲁棒性比较强;而且基于互信息的方法直接对图像灰度进行计算,不依赖于图像的边缘特征或点特征的提取,因此该方法相对于其它研究中所提到的方法具有一定的优势。

1 配准算法原理与实现

本文的图像自动配准算法分为图像输入、变换、插值、相似性测度计算和优化五部分。配准过程中,先固定一幅图像,然后对另一幅图像进行平移、旋转等变换操作,最终使两幅图像的相似度达到最大。固定的影像(Fixed Image)被称为 $F(x)$,移动的图像(Moving Image)被称作 $M(x)$ 。

常用图像变换模型主要有刚性变换模型(式(1))、仿射变换模型(式(2))和二次多项式变换模型(式(3~4))。本文选用计算较简单又能反映图像变化的仿射变换模型来对图像进行变换。

$$\mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} a & b & c \\ -b & a & d \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \quad (3)$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \quad (4)$$

式(1)中, \mathbf{H}_1 为刚性变换模型矩阵; a, b, c, d 反映了图像的平移和旋转变化。式(2)中, \mathbf{H}_2 为仿射变换模型矩阵; a, b, c, d, e 和 f 反映了图像的平移、旋转和缩放变化。式(3~4)中, u, v 是经过模型变换后图像的坐标; x, y 是固定图像的坐标。

完成变换模型的估计之后,需要利用变换模型矩阵将变换后的 $M(x)$ 映射到 $F(x)$ 的坐标系下。因为在坐标映射的过程中,难免出现原来在整数网格上的点在映射后未能落到网格点上的情况,所以需要 对图像进行插值。常用的插值方式有最近邻插值、双线性插值和双三次插值。其中双线性插值是计算效率和效果都较为适中的一种方法^[7],所以本文采用该方式对图像进行插值,如图 1 所示。A 值的计算如式 5 所示:

$$I(x, y) = I(0, 0)(1-x)(1-y) + I(1, 0)x(1-y) + I(0, 1)(1-x)y + I(1, 1)xy \quad (5)$$

相似性测度用来评价变换后移动图像和固定图像达

到匹配的程度。最常用的 3 种相似性测度分别是互信息、相关系数和方差和。Viola 等^[8]于 1995 年首次将互信息的方法引入到图像配准领域中,它不像灰度值相关或差异的方

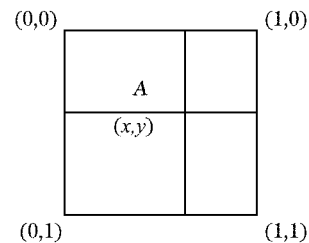


图 1 双线性插值

Fig. 1 Bilinear interpolation

法,互信息没有假设图像中灰度值的线性关系,能够解决多模态图像的配准问题,相对其它灰度配准算法具有鲁棒性好、精度高的特点。两幅图像的互信息公式如下:

$$S = \sum_{x,y} p(x,y) \log_2 \frac{p(x,y)}{p(x)p(y)} \quad (6)$$

式中, $p(x,y)$ 表示联合概率,用归一化的联合直方图表示; $p(x)$ 、 $p(y)$ 表示 $p(x,y)$ 的边缘概率。

优化的作用就是选定一种搜索策略,用于在解空间中选择变换模型,使得在配准时寻得最优解。它的主要目的是提高配准精度,减少配准耗时。本文选用梯度下降法作为搜索策略。搜索策略的参数需要根据图像的实际情况进行调整。

本文在多分辨率框架下对图像进行配准,即:首先在低分辨率下获得初步配准结果,然后在高分辨率下得到精确结果,这样可以实现配准速度和精度的折中。整个算法的基本思路如图 2 所示。

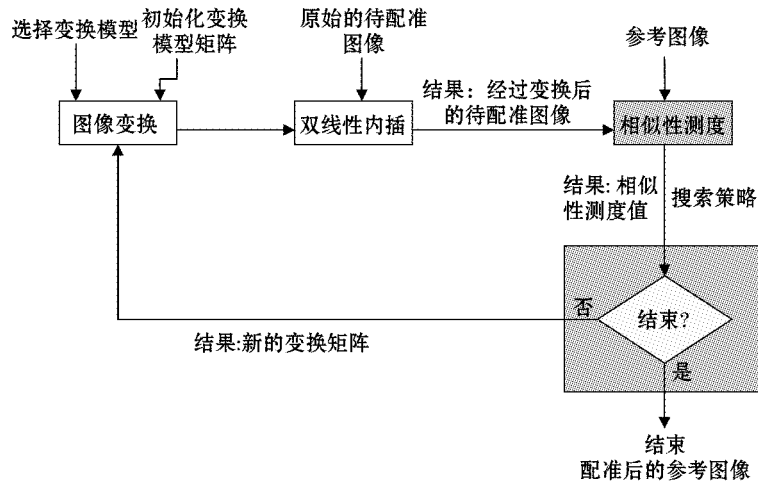


图 2 算法流程图

Fig. 2 Algorithm flow chart

2 图像融合和评价

2.1 图像融合

采用小波变换融合方法进行图像融合。小波变换法对原图像进行多尺度、多分辨率地分解,具有方向性和良好的时域、频域局部性,可保留图像中的高频信息,其融合效果更符合人的视觉特征,但由于直接舍弃了声呐图像的低频分量,从而在一定程度上损失了声呐图像的细节信息,且其损失程度和小波分解的层数有关,层数越低,细节损失情况越严重。所以在进行实际操作过程中,我们应当选取一个合理的分层值。实验结果表明,小波分解层数等于 3 或 4 的时候,效果较好^[9]。

2.2 融合效果评价

图像融合的评价指标包括平均梯度、熵以及灰度均值、标准差、方差、信噪比等。本文选取比较有代表性的平均梯度和熵作为声呐条带融合评价的指标。

2.2.1 平均梯度

平均梯度能够反映图像中微小细节反差和纹理变化的特征,其值越大,图像清晰度越高。平均梯度的表达式如下:

$$G = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [\Delta x f(i, j)^2 + \Delta y f(i, j)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

式中, G 为平均梯度; $\Delta x f(i, j)$, $\Delta y f(i, j)$ 分别为像素 (i, j) 在 x 、 y 方向上的一级差分; M, N 为图像大小。

2.2.2 熵

熵是描述信息量的一个指标,其值越大,包含的信息量越大。一幅 8 bit 图像的熵为:

$$H(x) = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i \quad (8)$$

式中, $H(x)$ 表示图像的熵; P_i 表示图像像素灰度值 i 的概率。

3 结果与分析

本文以深圳以南某海域测得的侧扫声呐图像为例,对上文的算法进行了验证。所用图像如图 3a 和图 3b 所示,相邻条带的重叠率达到 50%。

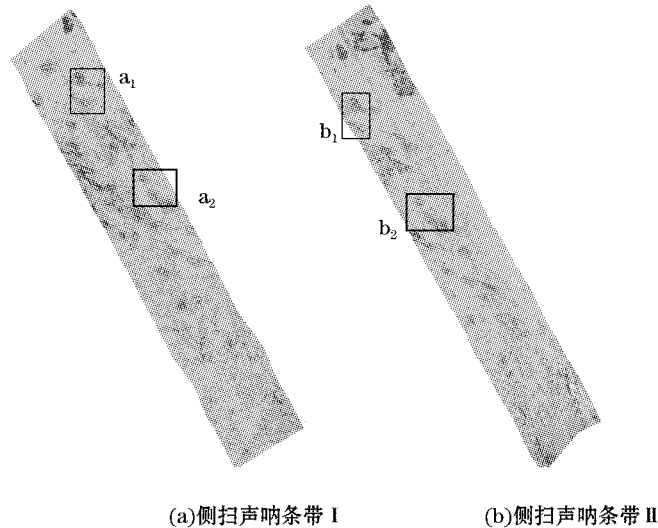


图3 侧扫声呐相邻条带

Fig. 3 The adjacent bands of side scan sonar

图 4a1, a2 和图 4b1, b2 是我们从相邻条带的重叠区选取的特征较明显的两块局部区域图(如图 3 所示),将图像读入 MATLAB 中,利用基于互信息的方法实现侧扫声呐条带的配准。如果图像配准结果精度不满足要求,则不断调整搜索策略的参数,最终使得配准

结果满足要求。对图 4a1,a2 和图 4b1,b2 分别进行配准,配准结果如图 5a1,a2 和图 5b1,b2 所示,我们采用透明叠加的方式显示配准后的图像,从图 5 可以看出,两幅图像的配准效果很好,达到了精确配准的要求。

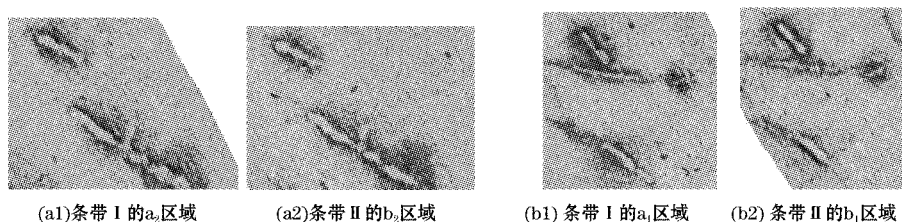


图 4 相邻条带的局部区域图

Fig. 4 Local area of the adjacent bands

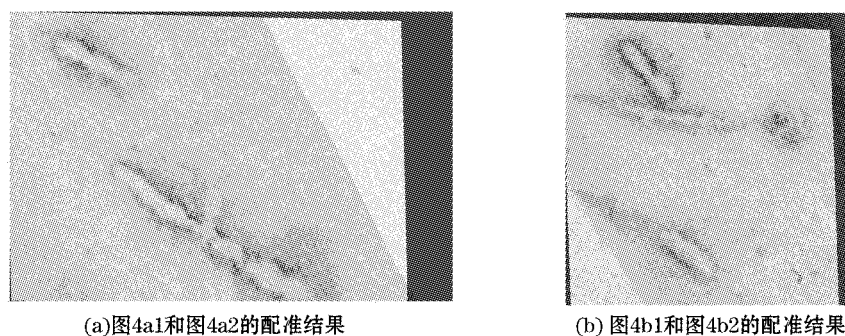


图 5 相邻条带局部区域的配准结果图

Fig. 5 The registration results of the local areas of the adjacent bands

利用小波变换对配准好的侧扫声呐条带局部区域进行融合处理,融合效果见图 6。计算原始图像和融合图像的平均梯度和信息熵,结果如表 1 所示。从表中可以看出,融合后的图像平均梯度值和熵均优于待配准的相邻条带的值,结果表明,融合后的声呐图像信息量和清晰度都得到了改善和提高。

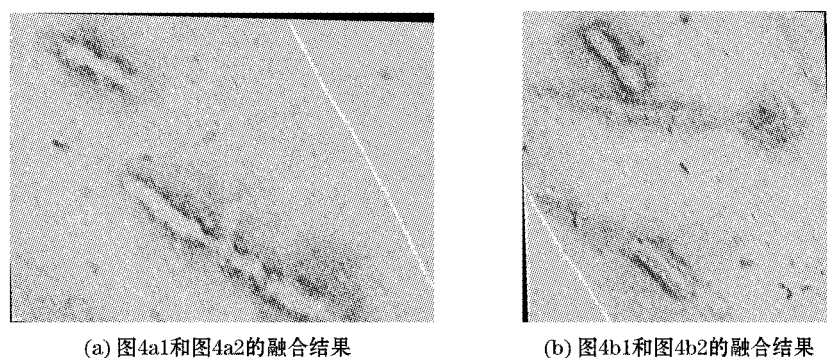


图 6 融合效果图

Fig. 6 The fusion effect chart

表1 图像融合效果评价

Table 1 The effect evaluation of the image fusion

评价指标	图 像					
	图 4a1	图 4a2	图 6a	图 4b1	图 4b2	图 6b
信息熵	4.932 8	4.504 8	4.935 0	5.088 1	5.300 3	5.307 1
平均梯度	4.127 9	3.981 1	4.161 9	5.287 5	5.110 7	5.630 2

利用上述方法对整条条带进行镶嵌拼接,效果图如图7所示。从图中可以看出,该方法可以实现侧扫声呐相邻条带的拼接,且效果较好。

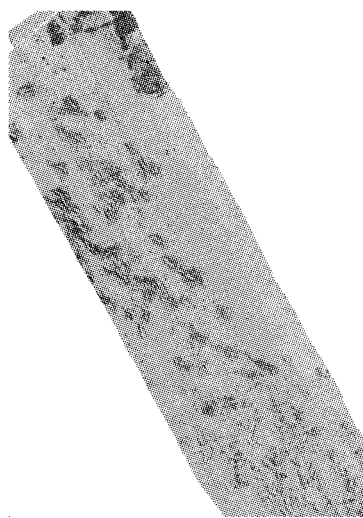


图7 侧扫声呐相邻条带融合效果图

Fig. 7 The fusion effect chart of the adjacent sonar bands

4 结 语

本文阐述了通过调用 MATLAB 的 IPT 工具箱中的函数实现基于互信息方法的侧扫声呐图像的自动拼接的算法,并利用深圳以南某海域侧扫声呐图像拼接实例验证了该算法是可行的。该方法对声呐图像的变形存在着较大的鲁棒性,拼接精度达到较高水平。鉴于侧扫声呐条带不同位置的畸变参数不一致,在实际作业当中建议对侧扫声呐图像实施分段拼接,然后根据所得的区段融合图像最终实现大区域的图像融合。

参考文献

- [1] 王闰成. 侧扫声呐图像变形现象与实例分析[J]. 海洋测绘, 2002, 34(5): 1320-1322.
- [2] DANIEL S, LEANNEC F L, ROUX C, et al. Side-scan sonar images matching[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1998, 23(3): 245-259.
- [3] THISEN E, SORENSEN H B D, STAGE B. Sidescan sonar image matching using cross correlation[C]// HARMON R S, HOLLOWAY J H, BROACH J T. Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VIII. USA: SPIE, 2003.

- [4] VANDRISH P, VARDY A, WALKER D, et al. Side-scan sonar image registration for AUV navigation[C]//Underwater Technology (UT), 2011 IEEE Symposium on and 2011 Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies(SSC). USA: IEEE Xplore, 2011.
- [5] 滕惠忠,严晓明,李胜全,等. 侧扫声呐图像镶嵌和增强技术[C]//第十四届全国遥感技术学术交流会论文摘要集. 北京:中国学术期刊电子杂志出版社,2003.
- [6] 赵建虎,王爱学,王晓,等. 侧扫声呐条带图像分段拼接方法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2013,38(9):1034-1038.
- [7] 卜珂. 基于 SURF 的图像配准与拼接技术研究[D]. 大连:大连理工大学, 2009.
- [8] VIOLA P, WELLS III W M. Alignment by maximization of mutual information[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 24(2): 137-154.
- [9] 赵小川. 现代数字图像处理技术提高及应用案例详解[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2011.

Algorithm for Auto-Splicing the Sonar Images Based on MATLAB

HOU Xue^{1,2}, ZHOU Xing-hua², TANG Qiu-hua², WANG Zhao-yang^{1,2}

(1. *Shandong University of Science and Technology*, Qingdao 266590, China;

2. *The First Institute of Oceanography, SOA*, Qingdao 266061, China)

Abstract: Realizing accurately the splicing of side-scan sonar bands plays an important role in understanding, analyzing and interpreting the seabed topography. The registration of the adjacent sonar bands is, however, a significant prerequisite for splicing the sonar bands. MATLAB has obvious advantages in the image processing due to its powerful matrix operation feature and abundant image processing functions. Therefore, the toolbox IPT of the MATLAB is used for realizing the automatic and fast registration of the sonar band images based on the mutual information. The registered sonar band images are fused by using the wavelet transform algorithm, thus achieving effectively the splicing and mosaic of the sonar band images. The validity of this method has been tested and verified by experiments.

Key words: sonar band images; splicing; mutual information; image fusion