

文章编号: 2095-2163(2020)09-0021-04

中图分类号: TP399

文献标志码: A

基于改进最佳缝合线的大视差岩心图像拼接算法

程诗翩¹, 何海波², 卿粼波¹, 何小海¹

(1 四川大学 电子信息学院, 成都 610065; 2 成都西图科技有限公司, 成都 610065)

摘要:在大视差岩心图像拼接中,传统的图像配准算法难以对齐图像,最佳缝合线算法融合的图像也不自然。针对这一问题,本文提出了一种基于改进最佳缝合线的大视差岩心图像拼接算法。首先,用贝叶斯特征模型剔除匹配异常值,再由正确的匹配点构造变形函数;其次,对重叠区域中间部分进行图像变形以对齐图像,在该区域建立最佳缝合线的能量函数,并引入视差信息到能量函数当中,以减小视差误差;最后,利用动态规划思想找到最佳缝合线并缝合图像,有效实现了大视差岩心图像拼接。通过多组实验对比,结果表明本文算法能够使大视差岩心图像拼接地更加自然,拼接结果更接近真实场景。

关键词:大视差; 图像拼接; 图像变形; 能量函数; 最佳缝合线

A large parallax core image mosaic algorithm based on improved best stitching-seam

CHENG Shipian¹, HE Haibo², QING Linbo¹, HE Xiaohai¹

(1 College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2 Chengdu Xitu Technology Co.Ltd., Chengdu 610065, China)

[Abstract] In the large parallax core image stitching, the traditional image matching algorithm is difficult to align the image, and the image fused by the best stitching-seam is not natural. Aiming at this problem, this paper proposed an image mosaic algorithm for large parallax core images based on improved best stitching-seam. First, we use the Bayesian feature model to eliminate matching outlier, and then construct the deformation function from the correct matching points. Then, the center of the overlapping region is deformed to align the image, and the energy function of the best suture is established in the region. And parallax information is introduced into energy function to reduce parallax error. Finally, we use the idea of dynamic programming to find the best stitching-seam and merge images, and large parallax core image mosaic is realized effectively. By comparing multiple sets of experiments, the results show that the algorithm in this paper can make the stitching of large parallax core images more natural, and the stitching results are closer to the real scene.

[Key words] large parallax; image mosaic; image distortion; energy function; best stitching-seam

0 引言

岩心图像是油田勘探和地质研究宝贵的分析资料,在一些图像存储和分析任务中,需要岩心图像达到一定的分辨率。获取高分辨率图像可以通过降低相机采集高度来完成,但是必须多次拍摄才能采集到完整图像。为了获得完整的高分辨率岩心图像,往往需要对多幅岩心图像进行拼接。

近年来,研究人员针对岩心图像拼接做了许多有意义的工作。王丹等人提出了一种基于 SURF-球面模型的岩心图像拼接算法,它使用 SURF 算法检测指定图像区域的特征点,提升了图像配准速度,但并不能精准地对齐图像^[1];顾宫等人利用 RANSAC (Random Sample Consensus) 算法,结合特

征向量筛选最优特征点,提高了配准精度,但只能对齐较小视差的岩心图像^[2]。针对大视差图像的拼接,目前已经有一些比较成熟的方法。Brown M 提出了 Auto-Stitching 算法,其以一个全局的单应性矩阵对齐图像,仅适合较小视差的场景^[3]; APAP (As-Projective-As-Possible) 算法由 Zaragoza 等人提出,使用 MDLT (Moving Direct Linear Transformation) 计算方法,将图像分为密集网络,每个网络使用一个单应性矩阵来对齐图像,对视差的容忍能力有一定提高,但是在图像变换的约束上仅有局部单应性,会带来较明显的图像扭曲失真^[4]; Chen 等人采用局部扭曲模型,用网格引导每个图像的变形,获得了良好的对齐和很小的局部失真,同时在变形函数中加入了

作者简介:程诗翩(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与网络通信;何海波(1968-),男,学士,高级工程师,主要研究方向:图像处理、计算机应用;卿粼波(1980-),男,博士,副教授,主要研究方向:图像处理、图像/视频编码通信、嵌入式系统;何小海(1964-),男,博士,教授,主要研究方向:图像处理、模式识别、图像通信。

通讯作者:卿粼波 Email: qinglb@scu.edu.cn

收稿日期: 2020-06-01

全局相似性,一定程度上减少了图像扭曲^[5];Li J, Wang Z 等人提出 REW (Robust Elastic Warping) 算法,先利用贝叶斯特征模型剔除匹配异常值,再通过正确的匹配点构造变形函数,接着对网格图像进行变形^[6]。该方法能够实现更稳健的对齐,在较大视差场景下,能够获取良好的拼接效果。

由于采集的岩心图像存在非常明显的视差,使用上述主流拼接方法仍然存在重影、扭曲失真等问题,无法达到理想效果。本文基于 REW 算法进行图像配准,提出一种改进的最佳缝合线算法缝合图像,有效地解决了重影和扭曲失真问题,从而使得岩心图像拼接结果更接近真实场景。所做的改进如下:

(1) 通过调整图像变形范围,即只变形对齐重叠区域的中间部分,来减小图像变形带来的扭曲失真;

(2) 结合最佳缝合线算法,通过引入视差信息到缝合线的能量函数当中,在变形区域寻找一条最佳缝合线来拼接图像,解决重影问题的同时进一步减少视差。

1 REW 算法及其改进

1.1 REW 算法

在柱状岩心图像采集过程中,通过水平移动相机采集岩心图像。由于柱状岩心表面位于不同的平面,即距离镜头的远近程度不同,因此存在较大的景深差异,这会导致采集的岩心图像有很明显的视差^[7]。

REW (Robust Elastic Warping) 算法可以对视差图像实现更加精确地对齐,在一定程度上消除了视差。首先,计算出两张图片的匹配特征点,利用贝叶斯特征改进模型自适应,去除匹配数据的异常值,再根据 TPS (Thin Plate Spline) 理论,用正确的匹配点构造变形函数,完成对重叠区域可靠且精准的变形对齐;其次,通过线性减小非重叠区域上的变形函数逐渐将局部扭曲变为全局变换,从而保持全局投影性,减小非重叠区域的扭曲失真;最后直接投影融合图像。

由于 REW 算法通过对整个重叠区域进行图像变形来实现图像对齐,因此会带来严重的图像扭曲失真,视觉上与真实岩心图像相差较大。本文通过调整变形函数的作用范围来消除扭曲失真。

1.2 改进的 REW 算法总体思路

为了减小图像变形带来的扭曲失真,本文动态调整 REW 算法中变形函数作用区域以及变形函数过渡到全局变换的区域。改进算法流程如图 1 所示,由于本文采用最佳缝合线算法拼接图像,所以不

需要严格对齐整个重叠区域,只需要对齐缝合线附近的区域即可。因此通过 REW 算法构造变形函数之后,只在重叠区域中间部分变形对齐,并在重叠区域的两端部分,线性减小变形函数到 0,逐渐过渡到全局变换,最后以改进的最佳缝合线算法为向导进行图像拼接。

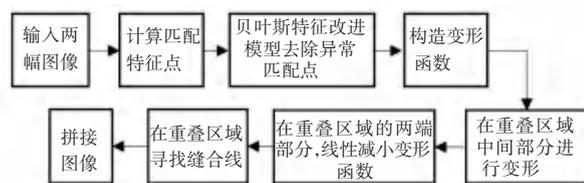


图 1 改进 REW 算法流程

Fig. 1 The flow of improvedrew algorithm

变形函数的系数的曲线图如图 2 所示。变形系数为 1 时,表示对图像进行变形操作;变形系数为 0 时,表示对图像进行全局变换。从图 2 可以看出,改进后的 REW 算法在不影响拼接结果的前提下,缩小了岩心图像变形的范围,因而减小了重叠区域的扭曲失真,使得拼接图像更接近真实场景。

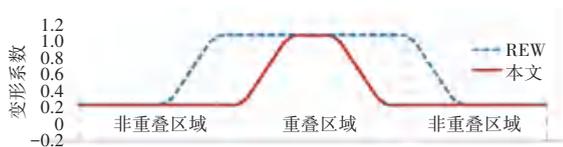


图 2 REW 算法及改进算法变形函数系数曲线

Fig. 2 Coefficient curve of deformation function of rew algorithm and its improved algorithm

2 最佳缝合线算法及改进

本文基于改进的 REW 算法,利用最佳缝合线算法融合图像。最佳缝合线算法在图像的重叠区域搜索一条缝合线,通过缝合线将重叠区域分成左右两部分,重叠区域的左右两边分别取左图和右图的像素,以此达到消除重影的目的^[8]。搜索最佳缝合线主要有二个步骤:

- (1) 构造能量函数。根据重叠区域的颜色信息和结构信息构建能量函数,用于最佳缝合线的搜索;
- (2) 确定搜索准则。根据一定的搜索准则在重叠区域找到一系列使能量函数的值最小的坐标点,这些坐标点连起来就是最佳缝合线。

传统的最佳缝合线算法只考虑了重叠区域的颜色差异和结构差异,虽然解决了重影问题,但不能自然地拼接大视差岩心图像。本文将图像的视差信息加入到能量函数当中,使得最佳缝合线两侧的颜色、结构和视差差异都达到理想范围,进而使图像拼接过渡自然。

2.1 原始能量函数的构造

最佳缝合线的求解准则,即能量函数如公式(1):

$$E(x,y) = E_{color}(x,y) + E_{geometry}(x,y). \quad (1)$$

其中, (x,y) 表示重叠区域的像素点; $E_{color}(x,y)$ 表示两幅图像在重叠区域的颜色差异; $E_{geometry}(x,y)$ 表示重叠区域的结构差异; $E(x,y)$ 表示最佳缝合线的能量函数。能量函数越小,说明在该像素点处,左右图像的颜色和结构最接近。

设 $C_l(x,y)$ 、 $C_r(x,y)$ 分别为重叠区域左图和右图在像素点 (x,y) 处的灰度值,则 $E_{color}(x,y)$ 的计算公式可由式(2)表示:

$$E_{color}(x,y) = abs(C_l(x,y) - C_r(x,y)). \quad (2)$$

设 $S_{Lx}(x,y)$ 、 $S_{Ly}(x,y)$ 分别为左图的重叠区域在点 (x,y) 处 x 方向的梯度和 y 方向的梯度; $S_{Rx}(x,y)$ 、 $S_{Ry}(x,y)$ 分别为右图的重叠区域在点 (x,y) 处 x 方向的梯度和 y 方向的梯度。则 $E_{geometry}(x,y)$ 可由式(3)表示:

$$E_{geometry}(x,y) = abs(\sqrt{S_{Lx}^2(x,y) + S_{Ly}^2(x,y)} - \sqrt{S_{Rx}^2(x,y) + S_{Ry}^2(x,y)}). \quad (3)$$

2.2 改进的能量函数

本文在构造能量函数时,将岩心上某点到岩心中心点的距离,作为视差信息,引入到能量函数中。由于岩心图像属于二维图像,所有像素点都在一个平面上,若使用两点之间的欧氏距离来表示视差,则忽略了实际像素点景深上的差异,会出现不同景深上的点拥有相同视差的情况,因此本文在真实场景下计算两点之间的距离。

柱状岩心图像如图3所示,设岩心上的任意两点 $A(x_0,y_0)$ 、 $B(x_1,y_1)$ 。弧 AC 垂直于直线 BC 。柱状岩心图像横截面如图4所示,设 OA 与 OC 之间的夹角为 θ ,柱状岩心半径为 R , C 点坐标为 $C(x_0,y - y_0)$,则 CD 长度为 $|y_1 - y_0|$,弧长 AC 可由公式(4)给出。

$$\overset{\frown}{AC} = \sin^{-1} \frac{|y_1 - y_0|}{R} \cdot R. \quad (4)$$

因此,可用公式(5)计算弧长 AB 。

$$\overset{\frown}{AB} = \sqrt{\left(\sin^{-1} \frac{|y_1 - y_0|}{R} \cdot R\right)^2 + (x_1 - x_0)^2}. \quad (5)$$

设 $E_{parallax}(x_l,y_l)$ 、 $E_{parallax}(x_r,y_r)$ 分别为左右图重叠区域图像的视差信息,设图3中 A 点为相机拍摄图像的中心点, A 点处视差为零,则 B 点处视差可用弧长 AB 表示,因此 $E_{parallax}(x_i,y_i)$ ($i=l,r$) 可由公

式(5)表示。则重叠区域的视差 $E_{parallax}(x,y)$ 可由左右重叠区域视差之和即公式(6)求得。

$$E_{parallax}(x,y) = E_{parallax}(x_l,y_l) + E_{parallax}(x_r,y_r). \quad (6)$$

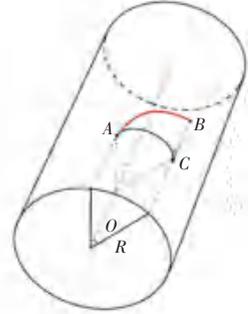


图3 柱状岩心图

Fig. 3 Columnar core image

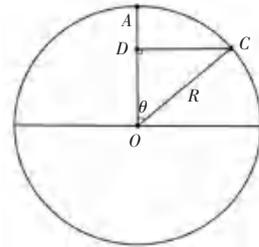


图4 柱状岩心横截面

Fig. 4 Cross section image of columnar core

本文能量函数如公式(7), 首先将颜色、结构和视差差异值归一化到 $0 \sim 255$, 再通过 w_1 、 w_2 、 w_3 调节每个差异值在能量函数中的占比, 以达到最好的缝合效果, 其中 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 。

$$E(x,y) = w_1 * E_{color}(x,y) + w_2 * E_{geometry}(x,y) + w_3 * E_{parallax}(x,y). \quad (7)$$

3 实验结果与分析

3.1 实验设备及环境

本文实验环境如: Intel Core i5-7500 @ 3.4GHz, 8.00GB, 64 位操作系统, 程序采用 c++ 编程语言编写, 在 Visual Studio 2013 中运行。岩心图像均由佳能 5DSR 相机采集得到。

3.2 实验结果与分析

为了验证本文算法对大视差岩心图像拼接的有效性和可靠性, 设置消融实验, 将 REW 算法、改进 REW 算法、改进 REW 算法+缝合算法以及改进 REW 算法+改进缝合算法(本文算法)进行对比。图5展示了上述4种算法对两张大视差岩心图像拼接的一组实验结果。在图5中, 红色方框和绿色方框为拼接图像的局部放大图像, 红色方框表示错误拼接区域, 绿色方框表示正确拼接区域。

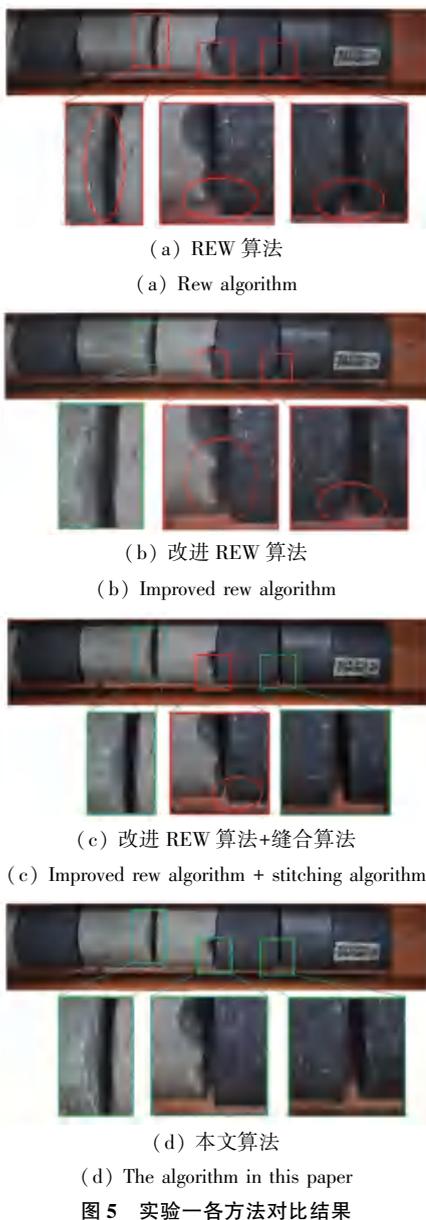


图 5 实验一各方法对比结果

Fig. 5 The comparison results of each method in Experiment 1

REW 算法在拼接大视差岩心图像时,存在明显重影和扭曲失真的问题,如图 5(a)所示。

调整 REW 算法变形函数和全局变换作用的范围后,有效地减轻了第一块放大区域的扭曲失真,但是并没有解决第二、三块区域的重影问题,如图 5(b)所示。

加入最佳缝合线算法拼接图像,有效地消除了重影,但是由于视差太大,两幅图像没有完全对齐,存在图像缝合处过渡不自然的问题,如图 5(c)所示。

图 5(d)即本文算法,在图 5(c)算法的基础上,将视差信息引入到最佳缝合线的能量函数中,缝合处过渡自然,基本与真实岩心一致,达到了实验预期的效果。

表 1 展示了各方法在两组对比实验中的 SSIM,

本文算法通过改进 REW 算法,减轻了扭曲失真,并结合改进的最佳缝合线算法消除重影,有效且自然地拼接图像,测得的 SSIM 更高。

表 1 各方法 SSIM 及正确拼接区域对比表

Tab. 1 Comparison of SSIM and correct splicing area of each method

输入原图	方法	正确拼接区域			SSIM
		区域一	区域二	区域三	
实验一	REW				0.942
	改进 REW	√	×	×	0.950
	改进 REW+缝合	√	×	√	0.949
	本文算法	√	√	√	0.953
实验二	REW	×	×	×	0.807
	改进 REW	√	×	×	0.882
	改进 REW+缝合	√	×	√	0.865
	本文算法	√	√	√	0.884

4 结束语

对于大视差图像的拼接,传统的图像融合算法和最佳缝合线算法都不能达到很好的效果。本文对 REW 算法进行改进,并提出了一种改进的最佳缝合线算法。REW 算法能够有效的对齐视差图像,但拼接图像存在重影和扭曲失真问题。本文使用最佳缝合线算法进行图像拼接,并在能量函数中引入视差信息,消除了重影并减少了视差,使得图像缝合自然。再通过调整 REW 算法变形函数的作用范围,减弱了扭曲失真。实验结果表明,在拼接岩心图像时,本文算法对视差的忍耐程度更高,能够获得更加真实的拼接效果。但是当视差进一步扩大时,如何做到图像的精准对齐,是本文未来工作的重点。

参考文献

- [1] 王丹, 卿卿波, 滕奇志, 等. 基于 SURF-球面模型的岩心图像拼接[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(36): 217-221.
- [2] 顾宫, 沈疆海. 基于 SURF 改进算法的高分辨率岩心图像拼接[J]. 长江大学学报(自科版), 2018, 15(9): 46-51.
- [3] BROWN M, LOWE D G. Automatic Panoramic Image Stitching Using Invariant Features [C]//International journal of computer vision, 2007: 59-73.
- [4] ZARAGOZA J, CHIN T J, BROWN M S, et al. As-Projective-As-possible Image Stitching with Moving DLT [C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2013: 2339-2346.
- [5] CHEN Y S, CHUANG Y Y. Natural Image Stitching with the Global Similarity Prior [C]//European Conference on Computer Vision, 2016: 186-201.
- [6] LI J, WANG Z M, LAI S M, et al. Parallax-Tolerant Image Stitching Based on Robust Elastic Warping [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2018, 20(7): 1672-1687.
- [7] 邓亚蒙. 大视差下的图像拼接技术研究[D]. 天津大学, 2016.
- [8] 罗永涛, 王艳, 张红民. 结合最佳缝合线和改进渐入渐出法的图像拼接算法[J]. 红外技术, 2018, 40(4): 382-387.