

文章编号: 2095-2163(2024)03-0021-07

中图分类号: TP399

文献标志码: A

基于图像矫正与小波变换融合的岩心图像拼接算法

陈潇逸¹, 滕奇志¹, 何海波², 王正勇¹, 吴晓红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: 为了提高岩心图像拼接的效率, 针对在岩心采集出现的图像中的像素错位现象以及图像拼接处理出现的亮度差异、鬼影等问题, 提出基于图像矫正与小波变换融合的岩心图像融合算法。首先改进 AKAZE 算法提高提取效率, 对采集图像进行图像矫正得到矫正图像; 再对矫正后的待拼接图像进行特征点提取与匹配, 得到 2 幅图像之间配准关系; 最后通过基于 HSI 域的小波融合与改进最佳缝合线融合得到拼接图像。实验结果表明, 本文提出的矫正与拼接算法满足实际需求, 图像无明显上下拼接缝与错位, 且在 *DoEM* 和 *PSNR* 指标上与传统最佳缝合线和改进的渐入渐出算法相比均有所提升, 融合区域避免了鬼影且亮度过渡均匀, 无明显左右缝合线产生, 拼接的图像符合人眼视觉。

关键词: 岩心图像; 图像矫正; AKAZE; 小波变换; 最佳缝合线; 图像拼接

Core image splicing algorithm based on image correction and wavelet transform fusion

CHEN Xiaoyi¹, TENG Qizhi¹, HE Haibo², WANG Zhengyong¹, WU Xiaohong¹

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

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

Abstract: In order to improve the efficiency of core image stitching, aimed at the problems of pixel misalignment in the core images and brightness differences in stitching processing, the paper proposes a core image fusion algorithm based on image correction and wavelet transform fusion. Firstly, the AKAZE algorithm is improved to improve the extraction efficiency, and the image correction is performed to obtain the corrected image, then the feature points are extracted and matched between the left and right images to obtain the alignment relationship between the two images, finally the stitched image is obtained by the wavelet fusion based on the HSI domain and the improved best suture fusion. The experimental results show that the correction and stitching algorithm proposed in this paper meets the practical requirements, and the image has no obvious top and bottom stitching and misalignment, and the *DoEM* and *PSNR* indexes are improved compared with the other two algorithms, the fusion area avoids ghosting and the brightness transition is uniform without obvious left and right stitching lines, and the stitched images meet the human eye vision.

Key words: core image; image rectification; AKAZE; Wavelet transform; best suture line; image stitching

0 引言

岩心是科研人员利用特殊的取芯设备从地质层取出的柱状岩石。然而, 岩心可能会在天气影响下产生风化等变化, 导致无法得到原始地质信息, 因此需要对岩心及时进行采集且完成数字化保存, 而获取高分辨率的完整岩心数字图像需要对多幅岩心进行拼接。岩心采集示意如图 1 所示。由图 1 可知,

通过相机与岩心的相对移动来采集岩心表面图像, 受相机视野限制, 每次只能采集一定视野的图像, 而将多幅岩心图像拼接后就可得到完整的岩心图像。因此, 通过自动化的图像拼接技术可以解放人力, 提高拼接效率及拼接准确率。

图像拼接是将多张具有重叠部分的图片拼接为具有大视角的一张图片^[1], 拼接方法一般分为基于频域的拼接方法和基于时域的拼接方法^[2]。其中,

基金项目: 国家自然科学基金(62071315)。

作者简介: 陈潇逸(1999-), 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; 王正勇(1969-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 图像处理与模式识别、智能系统; 吴晓红(1970-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 图像处理与模式识别、计算机视觉。

通讯作者: 滕奇志(1961-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向: 数字图像处理、模式识别、三维图像重建与分析。Email: qzteng@scu.edu.cn

收稿日期: 2023-07-10

基于频域的拼接方法通过傅里叶变化,将图像信息展现在高频与低频,通过计算互功率谱来求解变换矢量,根据变换矢量实现图像拼接;基于时域的拼接方法又分为基于图像特征点拼接和基于灰度信息拼接。进一步地,基于灰度信息的拼接方法在实际应用中较少,在实际拼接中往往难以取得较好的效果;基于图像特征点的拼接是通过检测图像中特征点,计算特征点间关系,再据此关系实现图像拼接,此类方法计算速度快、具有较强的鲁棒性,可以取得不错的拼接效果,因此在实际应用中使用频率更高^[3-4]。

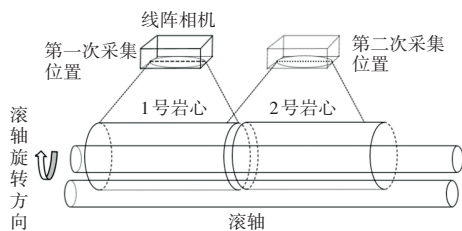


图1 岩心采集示意图

Fig. 1 Schematic diagram of core collection

如今,图像拼接常见流程包括图像预处理、图像特征点提取与配准以及图像融合,其中图像特征提取与配准对图像拼接的结果有着重大影响。经典的方法有尺度不变特征变换(SIFT)算法^[5]、加速稳健特征(SURF)算法^[6]、加速特征点提取与描述符(ORB)算法^[7]和AKAZE算法^[8]等等。在岩心图像拼接上,岩心图像分辨率高且细节丰富,可以通过良好尺度不变性、旋转不变性与仿射不变性的AKAZE算法来进行特征点提取,但此算法在处理高分辨率图像时时间较长,难以满足实际应用需求。图像配准是将一幅或多幅图像以一定的对应关系映射在目标图像上,因此配准精度对图像拼接的后续流程有很大的影响,往往需要对匹配到的特征点做进一步筛选来提高配准精度^[9]。图像融合^[10]是图像拼接的重要步骤,通常2幅图像由于采集条件的不同,因此在其重叠区域上会产生视觉差异,选用合适的图像融合方法可以减少因曝光差异和图像配准精度等因素引起的模糊、颜色差异和伪影等现象^[11]。常见的融合方法有线性融合,此方法在输入图像具有较大差异时得不到理想的拼接效果,会产生一定的鬼影现象;基于缝合线的方法,通过计算图像重叠区域上的最佳缝合线^[12]来拼接图像,虽然使鬼影现象得到明显改善,但无法解决曝光差异较大带来的拼接缝问题。为解决此类问题,文献[13]提出的结合拉普拉斯金字塔与最佳缝合线融合方法在一定程度上消除了拼接缝问题,但在曝光差异较大的情况效果

不好。文献[14]将最佳缝合线的两侧图像采用加权平均方式融合,改善了图像融合的质量,但存在一定的畸变问题。文献[15]通过计算缝合线两侧的图像灰度差异得到改正比值,完成对两侧图像的调整,虽然在一定程度上解决了消除曝光差异较大带来的拼接缝问题,但不能有效解决运动物体带来的鬼影问题。

针对现有岩心采集出现的像素错位以及上述算法处理存在的效率低及鬼影、颜色差异等问题。本文提出基于改进AKAZE与小波融合的图像拼接算法。其中,改进的AKAZE算法提高了提取效率,满足岩心图像应用需求,对采集图像进行设计图像矫正算法,解决错位问题;提出基于HSI域的小波融合与引入HSI能量项的最佳缝合线,优化融合后的亮度差异及鬼影等问题。

1 相关算法研究

1.1 特征点提取与匹配

AKAZE算法的核心是使用非线性尺度空间检测特征点,该算法使用不同尺度下的高斯卷积核对图像进行平滑处理,然后计算图像的拉普拉斯矩阵。通过对不同尺度下的拉普拉斯矩阵进行比较,可以检测到具有高稳定性和区分度的特征点。其中,非线性扩散滤波方程将不同尺度水平的亮度描述为流动函数的散度,以此来描述图像亮度 I 在不同尺度空间的变换,可以通过式(1)表示:

$$\frac{\delta I}{\delta t} = \nabla \cdot (c(x, y, t) \cdot \nabla I) \quad (1)$$

其中,“ ∇ ”是梯度;“ $\nabla \cdot$ ”是散度; $c(x, y, t)$ 是传导函数;将得到的扩散结构拓展到局部结构中,进化时间 t 与尺度参数成正比。非线性尺度空间在空间中可看作一个塔型结构,设有 l 组图像,且每层间图像的分辨率都相同,对应的尺度参数为 $\sigma_i(l, s)$,再将离散的尺度因子通过时间单位展开,并对原始图像通过高斯滤波处理,由此使用扩散方程,计算输入图像的直方图并通过一定标准得到控制因子。获取输入图像与控制因子之后,使用FED算法对扩散方程进行求解,最终得到尺度空间表达式:

$$K^{i+1} = (E + \tau U(K^i)) K^i \quad (2)$$

其中, E 为单位矩阵; τ 为时间步长; K 为图像在维度 i 上的矩阵,通过此表达式构建 M 层尺度空间。尺度空间构建完成后,对每层的像素点通过极大值抑制法得到对应的海森矩阵,对其进行特征点检测并与相邻层对应位置的点做对比,以此方法进

行搜索,再通过泰勒展开实现精准定位,定位的位置就是特征点的最终定位点。

1.2 图像配准与融合

基于岩心图像的采集方式,图像之间的偏移关系多为上下平移关系,因此通过提纯后的特征点来计算岩心图像之间的平移关系可以提升计算速度,并且也保证了匹配的精度,因此本文在考虑岩心图像采集特性及保证配准精度的情况下,采用计算平移关系来提升配准速度。

图像融合技术是图像拼接中一个非常重要的后期处理步骤,如果不经过图像融合处理直接将变换得到图像进行拼接,拼接结果一般会出现整体不一样、视觉效果不自然与伪影等问题,因此选取合适的图像融合算法尤为重要。基于融合线的图像融合方法已得到广泛的应用,该方法通过计算能量函数找到一条最佳拼接线,可有效避免鬼影现象,但对有较大亮度差异的图像,可能导致拼接出现亮度过渡不自然、不符合人眼视觉等情况。

最佳缝合线的目的,是使在2幅图像重叠区域以最小能量的拼接线,即差异最小位置穿过,以此来尽可能消除拼接的痕迹,传统的能量函数 $E(x, y)$ 为:

$$E(x, y) = E_{color}(x, y) + E_{geometry}(x, y) \quad (3)$$

其中, $E_{color}(x, y)$ 表示2幅图像在同一点的颜色差异强度值; $E_{geometry}(x, y)$ 表示2幅图像在同一点的结构差异强度值。这里:

$$E_{color}(x, y) = |\Delta(I_{gray1}(x, y), I_{gray2}(x, y))| \quad (4)$$

其中, $I_{gray1}(x, y)$ 和 $I_{gray2}(x, y)$ 分别表示重叠区域 I_1 和 I_2 的灰度图, Δ 表示差值,“ $\|$ ”表示绝对值。

$$E_{geometry}(x, y) = |\Delta(I_{grad1}(x, y), I_{grad2}(x, y))| \quad (5)$$

其中,“ Δ ”表示计算 I_1 和 I_2 两幅图像在点 (x, y) 的梯度差异。

梯度能量计算如式(6)所示:

$$I_{grad}(x, y) = \sqrt{I_x^2(x, y) + I_y^2(x, y)} \quad (6)$$

其中, $I_x(x, y)$ 和 $I_y(x, y)$ 分别表示图像在 x 和 y 方向上的梯度。

2 本文方法

本文提出的图像拼接流程如图2所示,针对岩心采集出现的像素错位问题提出图像矫正算法,考虑到岩心图像分辨率较高且重叠区域只在图像的上下两部分,因此选取配准区域,并对该区域进行灰度变换,以此降低配准时间以及误匹配。使用改进AKAZE算法进行特征点提取,通过 BRIEF 特征描

述方法对提取到的特征点进行描述,在单幅图像矫正之后,对左右图像进行提取及配准,对配准后的图像在小波域通过 HSI 域进行亮度平滑^[16],最后通过改进的最佳缝合线算法对重叠区域进行融合。该方法可以避免拼接后的亮度不均导致的颜色差异以及明显拼接缝问题,并且保证了拼接实时性,实现拼接区域的平滑过渡。

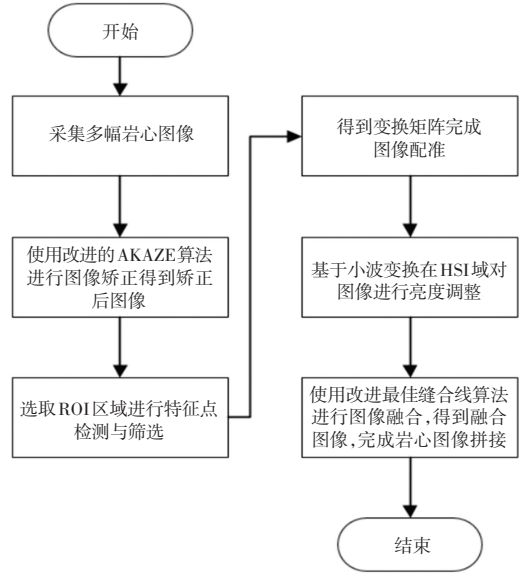


图2 岩心图像拼接流程图

Fig. 2 Flowchart of core image stitching

2.1 改进的AKAZE特征点提取算法

传统的AKAZE特征点算法采用MLDB描述符,虽然在图像场景复杂的情况下可以取得更好的效果,但计算成本较高,对应用环境有较高的要求。综合考虑岩心图像的采集方式与图像特性,并且为了满足岩心拼接的效率,本文在AKAZE算法特征点检测的基础上进行改进,使用具有一定鲁棒性、储存环境要求较低并有较高实时性的BRIEF描述符^[17],即AKAZE+BRIEF特征点提取算法,通过KNN算法进行特征点粗匹配,再通过RANSAC算法进行进一步筛选。

2.2 图像错位矫正算法

单张岩心图像在采集中为保证能采集到一幅完整的岩心表面图,采集过程往往会多采集一部分图像如图3(a)所示。其中, D_1 和 D_2 是采集图像中的重合部分。在采集过程中,岩心在滚轴转动时由于滚轴与岩心阻力不够,可能会有横向的缓慢移动,导致采集图像的行与行之间出现偏移,如图3(b)所示。其中, L_1 和 L_2 表示重合区域的重合行,其像素之间出现的偏移如虚线所示。假设偏移量为 $offset$, H 表示完整岩心图像表面的高度、即其周长,则可得

到下列公式:

$$\tan\theta = \frac{H}{offset} \quad (7)$$

由于像素的偏移较缓慢,可近似为一个线性过程,因此设计了图像矫正算法如下:

(1)对 D_1 和 D_2 区域通过以上改进的特征提取算法进行检测与匹配,采用 KNN 算法来筛选匹配点,再通过欧式距离进行筛选,得到较准确的匹配点。

(2)遍历所得匹配点,求得平均高度 H 与平均偏移量 $offset$, 并且记录最大的偏移量 $offset_{max}$ 与最小的偏移量 $offset_{min}$ 。

(3)若平均偏移量与最大偏移量同号、则取最大偏移量,若与最小偏移量同号、则取最小偏移量;否则取平均偏移量,此后按照式(7)算出比例因子。

(4)遍历所有行,通过行号与比例因子相乘且取整,得到该行的偏移量,并通过偏移量对列像素进行调整。

(5)判断步骤(3)得到的偏移量,划取指定区域得到矫正后的岩心图像。

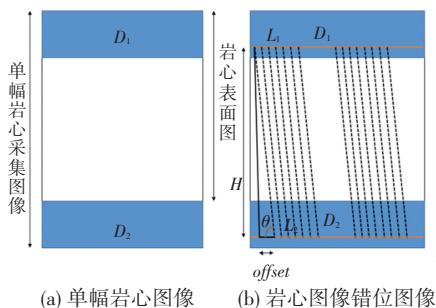


图3 岩心采集图像示意图

Fig. 3 Schematic diagram of core acquisition image

经过上述步骤,矫正后的图像如图4所示。处理的图像可抽象为一个平行四边形 D_3 , 通过偏移量 $offset$ 来选取其中的矩形区域 D_4 , 即为矫正后的图像。

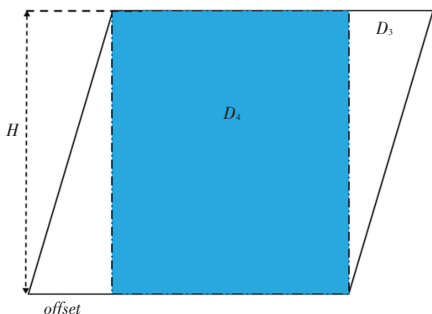


图4 矫正后图像

Fig. 4 Corrected image

2.3 重叠区域亮度融合

在岩心图像采集过程中,由于设备原因可能导致重叠部分出现明显亮度差异,若直接使用最佳缝合线算法可能会出现明显拼接缝、过渡区域不平滑等问题。因此,本文对配准后得到的重叠区域进行亮度平滑,得到处理后的重叠图像。在亮度平滑处理中,基于更符合人体视觉的 HSI 颜色空间,将待拼接图像的重叠区域转入 HSI 空间,得到两图的亮度分量 I 、色调分量 H 、饱和度分量 S 。在 HSI 空间内,3 个颜色分量之间相互独立,本文仅对分量 I 进行处理,通过小波域对分量 I 进行融合完成融合区域亮度处理,设 I_1 和 I_2 为 2 张待拼接图像, $IM1$ 和 $IM2$ 分别为 2 张图像的重叠部分。则重叠图像亮度融合步骤如下:

(1)将 $IM1$ 和 $IM2$ 两幅图像从 RGB 空间转换到 HSI 空间,得到亮度分量 I_1 和 I_2 ;

(2)对 I_1 和 I_2 使用二维 Harr 小波基进行分解,得到两者的高频子带和低频子带。

(3)高频子带通过式(8)的规则进行融合:

$$h_{new} = w_1 h_{left} + w_2 h_{right} \quad (8)$$

其中, h_{new} 表示融合后高频分量; h_{left} 和 h_{right} 分别表示两图高频系数; w_1 和 w_2 分别表示其权重因子。本文 w_1 取 0.4、 w_2 取 0.6。低频子带采用模值取大的方法,通过小波重构得到融合后的 I_{new} 分量。

(4)将融合后的 I_{new} 分量和原先分解得到的色调 H_2 分量及饱和度 S_2 进行逆变换,得到处理后的 $IM2$ 图像。

重叠区域如图5(a)所示,图5(b)表示待拼接左图,图5(c)表示待拼接右图。依据岩心图像的采集方式,在重叠区域亮度应该相对平滑,但由于相机放置等因素,导致左右两图的重叠区域可能存在较大亮度差异。为防止亮度差异带来的图像过渡不自然问题,本文先对重叠区域进行亮度平滑处理,并调整传统的加权融合系数进行高频区域的融合,使调整后的图像亮度过渡自然。在对图像的亮度平滑中选用 2 层小波分解重构,使处理后的图像亮度得到明显改善。

2.4 改进最佳缝合线

本文基于改进的 AKAZE 特征点提取算法,得到配准后的图像。由于最佳缝合线算法在亮度差异较大的情况下,会出现明显的拼接痕迹及过渡不平滑问题。因此,本文先对配准后的重叠区域进行亮度平滑处理后,利用改进最佳缝合线进行亮度平滑后重叠区域的融合,最终完成在亮度差异较大的情

况下岩心图像的拼接。最佳缝合线算法是在待融合图像中找到一条具有最小差异的拼接线,寻找到的拼接线将重叠区域分为两边,通过缝合线来选取左右两边的图像,最终得到融合图像,以此消除鬼影等问题。本文对能量函数做出了改进,并结合岩心图像特性改进了传统缝合线的基于动态规划的搜索方式,扩大其搜索范围,使其可以找到更加适合的缝合线。

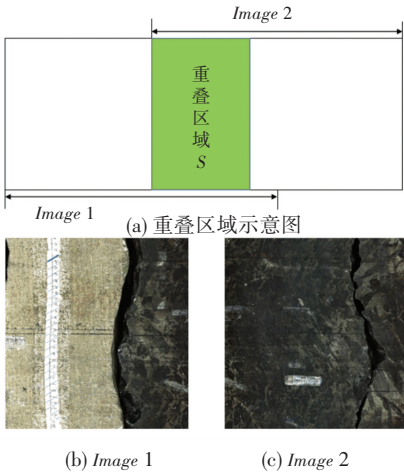


图5 岩心重叠区域示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the core overlap area

2.4.1 改进的能量函数

本文基于传统能量函数式(3)进行改进。由于传统的颜色差异项是基于RGB空间进行计算的,而RGB空间容易受到图像亮度影响,而HSI空间有着更符合人类视觉的颜色表达能力,且其3个分量敏感程度不同。因此,本文引入HSI颜色差异项来优化最佳缝合线的能量函数。考虑到图像采集因素,扩大HSI分量中亮度分量I的比例因子,引入的HSI能量差异项如下:

$$E_{hsi} = \sqrt{\sum_{l \in \{H, S, I\}} w_l \cdot (I_{0-l} - I_{1-l})^2} \quad (9)$$

其中, w_l 表示各分量的权重因子, I_{0-l}, I_{1-l} 表示2幅图像的各分量值。改进后的能量函数如式(10)所示:

$$E(x, y) = w_1 E_{geo}(x, y) + w_2 E_{hsi}(x, y) \quad (10)$$

其中, w_1 和 w_2 分别为结构能量项与基于HSI空间能量项的权重,且 $w_1 + w_2 = 1$ 。考虑到图像特征,本文选取 w_1 为0.9、 w_2 为0.1。

2.4.2 改进的缝合线搜索方式

最佳缝合线是在重叠区域找到一条具有最小能量函数的线,常用的寻找最佳缝合线的方式有图割法和动态规划法等^[18]。本文基于传统的动态规划

法进行改进。传统的动态规划法只能选择在与遍历点相邻行的3领域点内进行最小能量的寻找,并且选取的最佳缝合线只能有竖直走向。本文考虑到岩心图像的特点,将传统的寻找邻近行3个点改为7个点,并将搜索分为上中下三块区域进行。改进的寻找方式使得最佳缝合线有了更多走向,进而找到更为合适的最佳缝合线,且避免了陷入局部最优解而导致的过渡不平滑或鬼影问题。改进的寻找方式如图6所示。

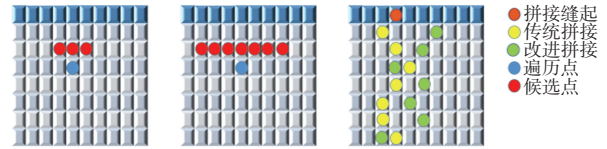


图6 改进缝合线搜索方式示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the improved suture search method

法:重叠区域通过上述改进的能量函数计算得到的图像为 E , 重叠区域图像宽度为 l , 则改进的最佳缝合线寻找步骤如下:

(1) 初始化一个与 E 同样大小的矩阵 P , 以及与重叠区域宽度 l 大小一样的行矩阵 T , 其矩阵值与 E 第一行值相同。

(2) 从第二行开始遍历, 创建一个 T 的副本 K , 通过计算第二行每个点在 T 内对应7领域的最小能量点, 记录该点的左右偏移量到矩阵 P 中, 将此点得到的最小能量值记录在 K 中, 此行遍历结束后将 K 的值更新在 T 中。更新过程见式(11):

$$K(x, y) = E(x, y) + \min \begin{cases} \min(T(x, (y-3), \dots, (y-1))) & y-3 \geq 0 \\ T(x, y) \\ \min(T(x, (y+1), \dots, (y+3))) & y+3 \leq l-1 \end{cases} \quad (11)$$

遍历的同时, 将偏移量记录到矩阵 P 中, 记录的方式见式(12):

$$P(x, y) = \text{offset} \quad \text{offset} \in (1, \dots, 7) \quad (12)$$

其中, (x, y) 表示遍历点的坐标, offset 表示偏移量, 此偏移量可以确定在7领域内缝合线点的坐标。

(3) 若未循环到最后一行则继续进行步骤(2), 否则进行步骤(4)。

(4) 此时行矩阵 T 存放的是以最后一行点为终点的能量值总和。

通过遍历取到其最小值记录其坐标, 最后依据矩阵 P 存放的偏移量找到此拼接缝上的点, 即最佳拼接缝坐标。

3 实验结果与分析

为解决岩心图像拼接中出现的错位、拼接缝与鬼影问题,本文提出了基于图像矫正与小波变换融合的岩心图像拼接算法。为验证所提算法的有效性,在改进点分别进行了实验。实验测试平台为 Inter(R) Core(TM) i5-11500 CPU @ 2.70GHz,内存为16.0 GB,测试开发环境为 Visual Studio 2017;本文选取 10 组岩心图像进行拼接测试,图像大小包括 7 407×9 377 和 6 884×9 377,实验结果取 10 组岩心拼接结果平均值。

分别对 AKAZE、KAZE、KAZE+BRIF 和本文算法进行实验对比,对比结果见表 1。

表 1 4 种算法对比

Table 1 Comparison of four algorithms

算法	检测时间/s	匹配数	筛选耗时/s	准确率/%
AKAZE	129.828	1 686	6.88	17.610 0
KAZE	无	无	无	无
KAZE+BRIF	121.300	959	7.02	15.400 0
本文算法	28.750	1 700	7.18	17.753 6

在对岩心图像多次试验中,由于岩心图像分辨率较高,在同等条件下 KAZE 算法往往由于内存不足而无法完成特征点检测任务,匹配数均为经过 KNN 和 RANSAC 算法筛选后的结果。实验结果表明,本文算法所需时间最少,匹配数量与匹配精度相对变化不大,虽然筛选耗时有些许提升,但相比之下改进算法更满足岩心图像拼接的实际需求。

本文选取其中一组图像展示,配准之后的重叠区域图像及处理后平滑图像局部对比如图 7 所示。可以看出,在重叠区域右图的亮度与左图有明显差异,若直接通过最佳缝合线融合容易产生明显缝合线与过渡不平滑现象。处理后的图像与图 7(a) 差异变小,且与图 7(b) 无过大差异,保留了其原本结构信息,防止拼接图像整体亮度不均匀。

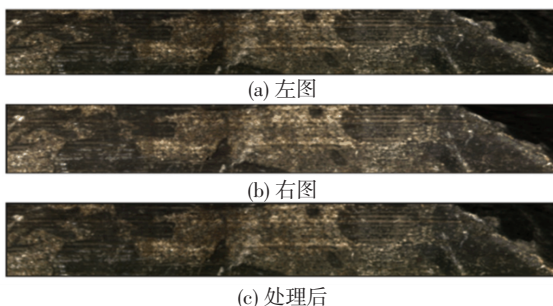


图 7 亮度平滑后局部对比图

Fig. 7 Local comparison after brightness smoothing

改进缝合线对比如图 8 所示。由得到的掩膜图像可以看出,本文算法相对于传统缝合线在细节上更加丰富,可以找到更好的缝合线达到更好的融合效果。由于岩心图像分辨率较大,本文选取部分图像缝合线的局部进行对比。从局部图可以看出,在绕过黑色区域时,传统缝合线选择从较接近有明显颜色过渡的边缘穿过,而改进缝合线算法选择绕过此颜色过渡区域防止颜色差异过大;在遇到白色小块区域时,传统算法选择直接穿过,而改进算法选择其远处绕过,防止明显的亮度差异。

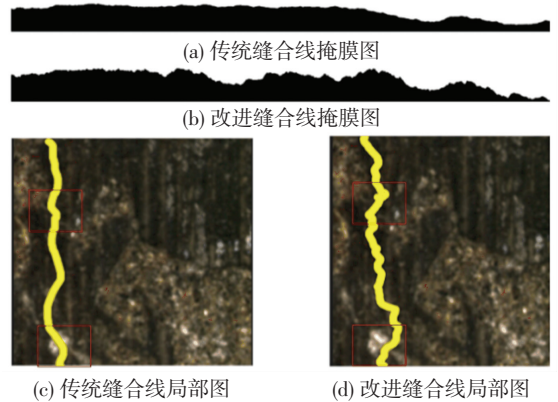


图 8 改进缝合线对比图

Fig. 8 Comparison of improved sutures

为进一步验证本文拼接后的的图像质量,本文参考文献[19]的质量评价指标,选取峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, *PSNR*)模型的算法,以及边缘差分谱评价法(Difference of edge map, *DoEM*)作为评价指标,通过 10 组岩心拼接图来进行测试。

将本文改进的融合算法与传统拼接缝算法及文献[20]提出的改进渐入渐出算法,通过计算 10 组测试图像的指标平均值进行对比,对比结果见表 2。从表 2 中可看出,改进的融合方法相较文献[20]提出的改进渐入出算法在指标 *PSNR* 和 *DoEM* 上分别提升了 15.41% 和 32.63%,与传统最佳缝合线相比分别提升了 15.89% 和 15.06%。由于本文预先对亮度进行了平滑处理,最终的融合图像亮度过渡自然,且鬼影等情况得到了改善,更符合人眼视觉。本文在未用多线程等加速情况下拼接时间为 59.18 s,可基本满足实际需求。

实验对比结果如图 9 所示。由图 9(a)、(b)可以看出,在亮度有明显差异的情况下其融合过渡不自然,而经过亮度平滑融合效果更佳。图 9(d)出现了鬼影现象,而本文算法明显避免了鬼影现象且清晰度也有所提升。岩心图像拼接结果见图 10。由

图 10 的部分拼接效果可以看出,本文算法拼接区域过渡自然,无明显亮度差异,融合区域无明显拼接缝,且避免了鬼影现象。

表 2 算法指标对比

Table 2 Comparison of algorithmic metrics

图组	文献[20]		传统最佳缝合线		本文算法		时间/s
	PSNR/dB	DoEM	PSNR/dB	DoEM	PSNR/dB	DoEM	
组一	24.84	1.32	23.26	1.15	28.19	1.80	69.00
组二	23.35	1.40	19.94	1.04	27.72	2.37	89.00
组三	26.55	1.97	25.92	1.86	22.24	1.60	51.91
组四	30.82	1.86	26.37	2.42	31.79	2.21	41.26
组五	28.88	1.78	30.52	2.12	28.49	2.39	37.64
组六	22.19	1.02	20.37	0.88	25.14	1.39	40.97
组七	14.49	1.31	13.63	1.30	19.96	1.54	37.39
组八	16.61	1.49	24.96	2.92	23.13	2.48	57.12
组九	27.68	1.24	30.78	1.96	33.25	1.88	78.38
组十	24.41	1.05	22.67	1.00	28.35	1.42	89.09
均值	23.98	1.44	23.84	1.66	27.63	1.91	59.18

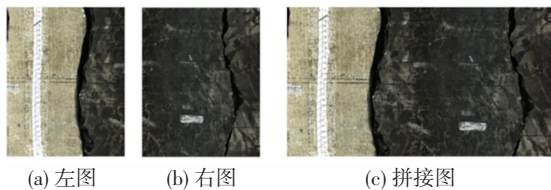


图 9 图像融合结果对比

Fig. 9 Comparison of image fusion results

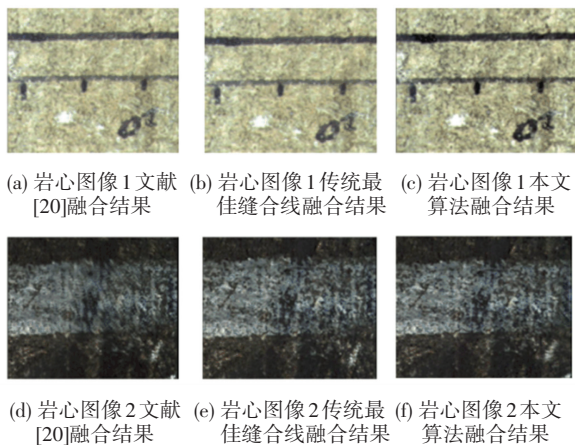


图 10 岩心图像拼接结果

Fig. 10 Core image stitching results

4 结束语

针对岩心图像拼接出现的鬼影、错位与拼接缝问题,本文提出了基于图像矫正与小波变换融合的岩心图像拼接算法,对传统 AKAZE 算法进行改进,提高其特征点提取效率,并且能保证一定的配准精度,同时对采集过程中可能出现的像素偏移设计了图像矫正算法,解决了图像采集可能出现的明显亮度差异而影响拼接质量的问题。本文提出基于 HSI

域亮度平滑与改进缝合线的融合方法,在一定程度上解决了岩心图像亮度差异问题,避免了鬼影现象且拼接缝现象得到改善。实验结果验证,本文提出的拼接算法具有一定的实用价值,对岩心拼接有一定的参考意义。

参考文献

- [1] WANG Zhaobin, YANG Zekun. Review on image-stitching techniques[J]. *Multimedia Systems*, 2020, 26(4): 413-430.
- [2] 宫妍,位冲冲. 图像拼接关键技术研究综述[J]. *电脑知识与技术*, 2021, 17(30): 106-108.
- [3] 王俊秀,孔令德. 基于特征点匹配的全景图像拼接技术研究[J]. *软件工程师*, 2014, 17(11): 10-13.
- [4] 王慎谦,张荣国,李晓波,等. 基于 ORB 的无人机图像快速拼接算法[J]. *太原科技大学学报*, 2021, 42(5): 374-379.
- [5] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60: 91-110.
- [6] BAY H, ESS A, TUYTELAARS T, et al. Speeded-up robust features (SURF) [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, 110(3): 346-359.
- [7] RUBLEE E, RABAUD V, KONOLIGE K, et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF [C]//2011 International Conference on Computer Vision. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 2564-2571.
- [8] SHARMA S K, JAIN K. Image stitching using AKAZE features [J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2020, 48: 1389-1401.
- [9] DERPANIS K G. Overview of the RANSAC algorithm[J]. *Image Rochester NY*, 2010, 4(1): 2-3.
- [10] 朱炼,孙枫,夏芳莉,等. 图像融合研究综述[J]. *传感器与微系统*, 2014, 33(2): 14-18.
- [11] ZENG Lin, ZHANG Shengping, ZHANG Jin, et al. Dynamic image mosaic via SIFT and dynamic programming[J]. *Machine Vision and Applications*, 2014, 25: 1271-1282.
- [12] 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.
- [13] 徐圣滨,李立华,何小海,等. 基于拉普拉斯金字塔融合的岩心图像拼接算法[J]. *计算机系统应用*, 2023, 32(2): 316-321.
- [14] 瞿中,乔高元,林嗣鹏. 一种消除图像拼接缝和鬼影的快速拼接算法[J]. *计算机科学*, 2015, 42(3): 280-283.
- [15] 罗永涛,张红民. 基于最佳缝合线与灰度均值差改正比的图像拼接算法[J]. *激光杂志*, 2018, 39(12): 42-46.
- [16] 朱礼义,李巧月,李国超,等. 基于 HSI 空间融合的矿井图像增强算法[J]. *计算机工程与设计*, 2019, 40(10): 2926-2930, 3008.
- [17] 刘欢蝶,龚涛,章庆伟,等. 基于 FAST 和 BRIEF 的密度聚类图像匹配算法改进[J]. *测绘与空间地理信息*, 2020, 43(3): 54-57.
- [18] 谷雨,周阳,任刚,等. 结合最佳缝合线和多分辨率融合的图像拼接[J]. *中国图象图形学报*, 2017, 22(6): 842-851.
- [19] 杨艳春,李娇,王阳萍. 图像融合质量评价方法研究综述[J]. *计算机科学与探索*, 2018, 12(7): 1021-1035.
- [20] 启文,唐振民,姚亚洲. 基于改进 SURF 算法的图像拼接研究[J]. *南京理工大学学报*, 2021, 45(2): 171-178.