

基于改进的ORB算法的红外遥感图像拼接研究

彭畅^{1,2}, 李广泽¹, 张晓阳^{1,2}, 左洋¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 大珩学院, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院大学 材料学院, 北京 100049)



摘要: 基于红外遥感图像提出一种快速、高效的拼接算法, 针对 SIFT、SURF 算法运行时间久的缺点, 提出基于 ORB 特征点匹配算法, 对红外遥感图像特征点对进行匹配, 接着采用 RANSAC 算法对提取出的特征点进行误匹配剔除, 最终采用渐入渐出的加权融合算法实现了红外遥感图像拼接。该算法在保证图像拼接质量的基础上, 提高了算法的运行速度, 可以实现快速、高效的红外遥感图像拼接。

关键词: 红外遥感图像; ORB; RANSAC; 渐入渐出加权

中图分类号: TP29

文献标识码: A

Research on Infrared Remote Sensing Image Mosaicing Based on Improved ORB Algorithm

PENG Chang^{1,2}, LI Guang-ze¹, ZHANG Xiao-yang^{1,2}, ZUO Yang¹

(1. College of Daheng, Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. College of Materials, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A fast and efficient algorithm based on infrared remote sensing image is presented in this paper. Aiming at SIFT and SURF algorithm running for a long time, this paper proposes an ORB feature point matching algorithm, which matches feature points of infrared remote sensing images, then the RANSAC algorithm is used to delete the extracted feature points. Incremental weighting fusion algorithm is finally used to achieve infrared remote sensing image mosaic. The algorithm improves the running speed of the original algorithm on the basis of ensuring the image mosaic quality, and can achieve fast and efficient infrared remote sensing image splicing.

Key words: Infrared remote sensing image; oriented fast and rotated brief; RANdom sample consensus; incremental weighting

1 引言

红外遥感图像拼接就是通过提取图像中重叠的部分, 将两幅或多幅小视野的图像, 拼接成一幅宽视野的、无缝的完整图像的过程。在军事领域、抢险救灾和事故救援中^[1], 红外遥感图像拼接有着广泛的应用, 星载红外相机拍摄到的多为单幅图像, 它们所包含的信息有限, 如何将这此图像快速、高效的拼接成一幅包含更加丰富的场景信息的图像具有重要的研究意义^[2]。

红外遥感图像拼接主要包含3个部分, 分别是图像增强, 图像配准以及图像融合^[3]。其中, 图像配准是整个红外遥感图像拼接技术的关键。LOWE于2004年提出了SIFT算法^[4], BAY于2006年提出了SURF算法^[5], 这两种算法是图像配准研究中的经典

算法, 能够有效提取特征点对, 并且配准精度高。但是算法运算速度较低, 不满足红外遥感图像拼接对于提高算法实时性的要求。对此, 学者们进行了其他研究, 针对SIFT与SURF算法进行改进^[6-11]。文献^[12]将SURF与Harris算法结合, 提高了算法的鲁棒性和运行速度; 文献^[13]采用SURF-DAISY与随机kd树的方法相结合, 提高了算法的运行速度。可以发现, 对SURF与SIFT经典算法进行改进, 能够提高算法的实时性, 但是没有达到红外遥感图像拼接的实时性要求。通过查阅文献^[14], 对SIFT、SURF、FREAK、BRISK、ORB 5种算法进行比较, 能够发现ORB算法运行速度最快, 但是存在特征点对误匹配的问题, 并且配准后的图像存在明显的缝隙, 因

收稿日期: 2018-05-15; 修回日期: 2018-10-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61405191)

作者简介: 彭畅(1994-), 女, 河北沧州人, 研究生, 主要研究方向为红外遥感图像处理等; 李广泽(1976-), 男, 吉林长春人, 博士, 教授, 主要从事图像处理与嵌入式等方面的教学与科研工作(本文通讯作者)。

此本文主要针对改进的ORB算法，提出能够高效、快速的对红外遥感图像进行拼接的算法。

2 传统的图像配准算法

2.1 OFAST(Oriented FAST)特征点检测

常用的传统的图像配准的方法有 SIFT、SURF、ORB 算法，SIFT、SURF 算法配准精度高，但是不满足本文针对红外遥感图像拼接，提高算法实时性的要求。ORB 图像配准方法的运算速度相对于 SIFT 算法提高了 100 倍，相对于 SURF 算法提高了 10 倍^[15]，且有较高的配准精度。ORB 算法主要分为 OFAST 特征点检测及 BRIEF 特征点描述两大部分。

FAST^[16]算法是由 Tom Drummond 和 Edward Rosten 于 2016 年在《Machine learning for high-speed corner detection》上提出的，该算法方法简单、运算速率高效，近年来被广泛应用在特征点提取中。但 FAST 检测算法不具备方向不变性，因而引入了灰度质心法，与 FAST 算法共同组成了 OFAST 算法，使得算法具备旋转不变性。

在红外遥感图像中，选择一个半径为 3 的圆形区域，如图 1 所示。

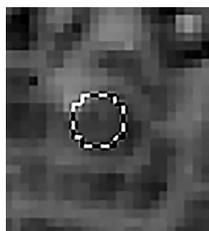


图 1 待拼接红外遥感图像

Fig. 1 Infrared remote Sensing image to be mosaiced

经过这个圆形区域圆周上的像素点共有 16 个。选定区域的红外遥感图像像素图，如图 2 所示。

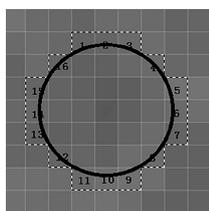


图 2 选定区域的红外遥感图像像素图

Fig. 2 Pixels of infrared remote sensing image of selected area

其对应的像素值分别记为 p_i , $i=1, 2, \dots, 16$ 。

OFAST 确定某一像素点 p 点是否为候选特征点的方法是：设定一个阈值 t ，对候选特征点圆周上的 n 个 (n 通常取为 9) p_i 点进行分析，若满足 p_i 与 p 的像素差小于阈值 t 或 p_i 与 p 的像素和大于 t ，则称 p 点为特征点。

为了提高算法的鲁棒性，对选出的特征点进行

非极大值抑制。选取特征点所在的 3×3 邻域，若存在不止一个特征点，需要比较特征点的得分值，计算得分值公式为：

$$V = \max \left\{ \begin{array}{l} \sum (p - \text{pixelvalues}) \text{ if } (p - \text{value}) > t \\ \sum (\text{pixelvalues} - p) \text{ if } (\text{value} - p) > t \end{array} \right. \quad (1)$$

为了使算法具有旋转不变性，引入了灰度质心法。首先求出特征点所在邻域的质心，如式(3)，特征点的方向即为特征点与质心之间的夹角，如式(4)。

特征点所在邻域：

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y) \quad (2)$$

质心：

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (3)$$

特征点方向：

$$\theta = \arctan(m_{01}, m_{10}) \quad (4)$$

2.2 steered BRIEF 特征点描述

针对红外遥感图像拼接来说，提高算法实时性，提高在轨图像处理效率，能够第一时间为政府和社会提供紧急情况数据，使其能够在紧急情况下发挥重大作用具有重要的意义。SIFT 和 SURF 算法在进行特征描述时，需要占用大量内存空间，因而导致图像配准过程耗时久。为了能够为用户提供更加新鲜、更加及时的数据图像，本文采用 BRIEF 特征描述法^[17]。

BRIEF 特征点描述提出了二进制码串，其利用汉明距离来处理图像之间特征点的匹配，大大提高了算法的运算效率，因此 BRIEF 特征点描述能够满足红外遥感图像拼接提高算法速度的要求。本文采用改进后的 steered BRIEF 算法，该算法相较于 BRIEF 算法具备旋转不变性。确定 steered BRIEF 特征点描述子的方法为^[18]：选取其中一幅待拼接图像中以特征点为中心所在的正方形（本文采用 9×9 ）区域；在区域内随机选取 n 对服从 $(0, S^2/25)$ 高斯分布特征点对 (p, q) ，比较 p 和 q 两点像素值 $f(p)$ 和 $f(q)$ 大小：

$$\tau(p, x, y) = \begin{cases} 1 & f(p) < f(q) \\ 0 & f(p) \geq f(q) \end{cases} \quad (5)$$

在特征点中随机选取 n (本文取 $n=256$) 个点对。

$$D = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_{256} \\ y_1 & y_2 & \dots & y_{256} \end{pmatrix} \quad (6)$$

将该待拼接图像旋转一个角度 θ ，所对应的 256 个点对，将生成一个新的矩阵为：

$$D_\theta = R_\theta D \quad (7)$$

式中， $R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$ 。

重复以上步骤，可形成一个新的由 0, 1 组成的二进制编码串，该二进制编码串是特征点描述子。经过上述运算，每一个特征点对都可得到一个对应的 256 位的二进制编码，接下来采用汉明距离对有重叠区域的两幅待拼接图像进行特征点配准。

3 改进的 ORB 算法

3.1 RANSAC 算法

RANSAC 算法^[19,20]的主要任务是找到一个最优单应性矩阵 H ，以保证该矩阵的特征点数最多， H 表示两幅待拼接图像转换关系，包括平移，旋转以及图像间的缩放。两幅图像之间的变换关系如下：

$$A' = HA \quad (8)$$

式中， A' 和 A 分别为两幅待拼接红外遥感图像。

两幅图像包含特征点信息分别表示为 (x', y') 与 (x, y) ，则有：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中， $h_{33}=1$ 。

对于一对特征点来说，将 (x', y') 与 (x, y) 代入公式(9)。

若求得的 H 为最优矩阵，则需满足以下代价函数的取值最小：

$$W = \sum_{i=1} (x'_i - \frac{h_{11}x_i + h_{12}y_i + h_{13}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}})^2 + (y'_i - \frac{h_{21}x_i + h_{22}y_i + h_{23}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}})^2 \quad (10)$$

3.2 渐入渐出加权图像融合

由于两幅待拼接图像之间的灰度差异，经过 ORB 配准后的红外遥感图像在拼接处存在着缝隙，要想为观察者提供更加直观的场景图像，需要对拼接缝进行消除。同时，考虑到对红外遥感图像拼接技术实时性的要求，不适合采用复杂程度较高的算法，因此本文采用渐入渐出加权算法^[21]。

渐入渐出加权^[22]图像融合的过程，就是让两幅图像中有重叠的部分实现从一幅图像到另一幅图像过度自然的过程，需要对两幅红外遥感 f_1 和 f_2 重叠区域的像素值按照一定的比重融合成为拼接后的图像。加权规则如下：

$$f = \begin{cases} f_1 & , (x, y) \in f_1 \\ w_1 f_1 + w_2 f_2 & , (x, y) \in (f_1 \cap f_2) \\ f_2 & , (x, y) \in f_2 \end{cases} \quad (11)$$

式中， $w_1 + w_2 = 1$ 。

该方法是对两幅图像的像素值分别取一定加权值，求取他们的总和，如图 3 所示。

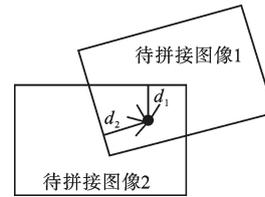


图 3 拼接示意图
Fig. 3 Mosaicing diagram

定义重叠区域中的某一像素点到待拼接红外图像 1 的距离为 d_1 ，到待拼接红外图像 2 的距离为 d_2 ，则 d_1 、 d_2 求取过程如下：

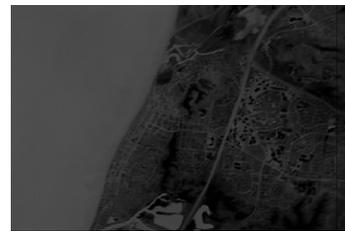
$$w_1 = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \quad (12)$$

$$w_2 = \frac{d_2}{d_1 + d_2} \quad (13)$$

4 实验结果分析

无论是在军事领域还是在民用中，我们都希望得到分辨率高、视场大的拼接图像，并对图像拼接的速度提出了要求。相对于可见光图像来说，红外遥感图像抗干扰性好，并且能够昼夜工作，因此红外遥感图像拼接技术研究具有重要意义。下面针对具体的红外遥感图像对算法的实验结果进行分析。

待拼接红外遥感图像，如图 4 所示。



(a) 第 1 个待拼接红外遥感图像
(a) The first remote sensing image to be mosaiced



(b) 第 2 个待拼接红外遥感图像
(b) The second remote sensing image to be mosaiced

图 4 待拼接红外遥感图像
Fig. 4 Remote sensing image to be mosaiced

从图 4 能够发现，红外遥感图像的对比较低，且灰度级动态范围窄，针对此情况，本文将待拼接的两幅红外遥感图像进行了双平台直方图均衡。得到了灰度级动态范围良好的图像，并对该图像进行后续处理。

ORB 特征点配准结果，如图 5 所示。

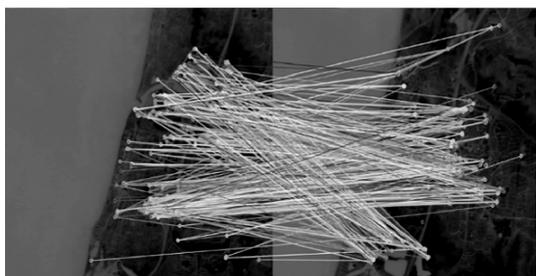


图 5 ORB 特征点配准结果
Fig. 5 ORB feature point registration results

对比需要配准的原始图像,从图 5 中可以发现,经过 ORB 特征点提取以及特征点配准后的图像,存在某些特征点对不是从重叠或相似区域部分提取得到的问题,这是由于进行特征点描述时采用二进制编码,导致特征点对误匹配率较高,因此需要进一步对错误的特征点对进行筛选删除处理。

本文将 RANSAC 与 ORB 算法结合,对选取的错误特征点对进行剔除,结果如图 6 所示。



图 6 经过 RANSAC 算法处理结果
Fig. 6 RANSAC algorithm processing results

可以发现,这种方法可以有效的提高特征点对匹配的准确率。

ORB+RANSAC 配准后图像,如图 7 所示。



(a) 配准后图像
(a) Algorithm processing results



(b) 配准后图像
(b) Algorithm processing results

图 7 ORB+RANSAC 配准后图像
Fig.7 ORB and RANSAC algorithm processing results

从图 7 可以看出,经过 ORB 配准后的图像,在拼接处存在缝隙,因此本文采用了渐入渐出的加权方法对图像进行融合,得到了融合结果,如图 8 所示。



(a) 引入渐入渐出加权后图像
(a) Incremental weighting algorithm processing results



(b) 引入渐入渐出加权后图像
(b) Incremental weighting algorithm processing results

图 8 引入渐入渐出加权后图像
Fig.8 Incremental weighting algorithm processing results

可以发现,有效的实现了两幅图像间的平滑过度。

5 结 论

针对FCM算法在图像分割过程的初始聚类本文首先对星载相机传回的红外遥感图像采用中值滤波的方法对图像进行去噪处理,并采用自适应直方图均衡的方法对图像灰度级进行了拉伸。其次选用 ORB 算法对待拼接图像的特征点进行提取,考虑到描述过程中直接采用了二进制的汉明距离,增加了误匹配率,因此本文采用 RANSAC 算法对粗匹配后的特征点进行剔除。从而实现了对两幅待拼接图像的配准。经过 ORB 配准后的图像存在明显的拼接缝,最后本文采用了渐入渐出的加权算法对配准后的图像进行融合。在保证算法简单,运行速度快的基础上,得到了无缝的红外遥感图像。通过实验后得到的图像结果,可以发现,本文提出的算法能够高效的实现对红外遥感图像的拼接,能够具备较高的匹配率,并且可以实现无缝拼接。

参考文献(References)

- [1] Sinha S N, Frahm J M, Pollefeys M, et al. Feature Tracking and Matching in Video Using Programmable Graphics Hardware[J]. Machine Vision and Applications, 2011, 22(1): 207-217.
- [2] 张飞飞. 便携式红外与可见光感知系统中的图像处理技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
Zhang F F. Research on Image Processing Technology in Portable

- Infrared and Visible Light Sensing System[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.
- [3] 仇国庆, 冯汉清. 一种改进的 Harris 角点图像拼接算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(11): 264-266
- Qiu G Q, Feng H Q. An Improved Harris Corner Image Stitching Algorithm[J]. Computer Science, 2012, 39(11): 264-266.
- [4] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision (S0920-5691), 2004, 60(2): 91-100.
- [5] Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. SURF: Speeded up Robust Features[C]. Proc of European Conference on Computer Vision, 2006: 404-417.
- [6] 吴一全, 陶飞翔, 曹照清. 利用双树复小波变换和 SURF 的图像配准算法[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(5): 997-1003.
- Wu Y Q, Tao Z X, Cao Z Q. Image Registration Algorithm Using Dual-tree Complex Wavelet Transform and SURF[J]. System Engineering and Electronic Technology, 2014, 36(5): 997-1003.
- [7] 陈月, 赵岩, 王世刚. 图像局部特征自适应的快速 SIFT 图像拼接方法[J]. 中国光学, 2016, 9(4): 415-421.
- Chen Y, Zhao Y, Wang S G. Fast SIFT Image Stitching Method Based on Image Local Feature Adaptation[J]. China Optical, 2016, 9(4): 415-421.
- [8] 王玉亮, 沈建新, 廖文和. 基于 SIFT 特征的眼底图像自动拼接[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(4): 654-659.
- Wang Y L, Shen J X, Liao W H. Automatic Stitching of Fundus Images Based on SIFT Features[J]. Chinese Journal of Image and Graphics, 2011, 16(4): 654-659.
- [9] 张东, 余朝刚. 基于特征点的图像拼接方法[J]. 计算机系统应用, 2016, 25(3): 107-112.
- Zhang D, Yu C G. Image Stitching Method Based on Feature Points[J]. Computer System Application, 2016, 25(3): 107-112.
- [10] 刘佳, 傅卫平, 王雯, 等. 基于改进 SIFT 算法的图像匹配[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(5): 1107-1112.
- Liu J, Fu W P, Wang W, et al. Image Matching Based on Improved SIFT Algorithm[J]. Journal of Instrumentation, 2013, 34(5): 1107-1112.
- [11] 曾峦, 王元钦, 谭久彬. 改进的 SIFT 特征提取和匹配算法[J]. 光学精密工程, 2011, 19(6): 1391-1397.
- Zeng L, Wang Y Q, Tan J B. Improved SIFT Feature Extraction and Matching Algorithm[J]. Optical Precision Engineering, 2011, 19(6): 1391-1397.
- [12] 葛盼盼, 陈强, 顾一禾. 基于 Harris 角点和 SURF 特征的遥感图像匹配算法[J]. 计算机应用研究, 2004, 31(7): 2205-2208.
- Ge P P, Chen Q, Gu Y H. Remote Sensing Image Matching Algorithm Based on Harris Corner and SURF Features[J]. Application Research of Computers, 2004, 31(7): 2205-2208.
- [13] 丁南南, 刘艳滢, 张叶, 等. 基于 SURF-DAISY 算法和随机 kd 树的快速图像配准[J]. 光电子激光, 2012(7): 1395-1402.
- Ding N N, Liu Y Y, Zhang Y, et al. Fast Image Registration Based on SURF-DAISY Algorithm and Random kd Tree[J]. Optoelectronic Laser, 2012(7): 1395-1402.
- [14] 索春宝, 杨东清, 刘云鹏. 多种角度比较 SIFT、SURF、BRISK、ORB、FREAK 算法[J]. 北京测绘, 2014(4): 23-26.
- Suo C B, Yang D Q, Liu Y P. Compare SIFT, SURF, BRISK, ORB, FREAK Algorithms from Multiple Angles[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2014(4): 23-26.
- [15] Rosten E, Drummond T. Machine Learning for High-speed Corner Detection[C]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 3951: 430-443.
- [16] Jiao J, Zhao B, Wu S. A Speed-up and Robust Image Registration Algorithm Based on FAST[C]. Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011: 160-164.
- [17] 孙智中, 王琦, 程飞, 等. ORB 中 Steer BREIF 特征点描述算法改进[J]. 电子技术与软件工程, 2017, 1: 76-76.
- Sun Z Z, Wang Q, Cheng F, et al. Improvement of Steer BREIF Feature Point Description Algorithm in ORB[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2017, 1: 76-76.
- [18] Chun O, Matas J. Optimal Randomized RANSAC[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2008, 30(8): 1472-1482.
- [19] 陈艺虾, 孙权森, 徐焕宇, 等. SURF 算法和 RANSAC 算法相结合的遥感图像匹配方法[J]. 计算机科学与探索, 2012, 6(9): 822-828.
- Chen Y X, Sun Q S, Xun H Y, et al. Remote Sensing Image Matching Method Combining SURF Algorithm and RANSAC Algorithm[J]. Computer Science and Exploration, 2012, 6(9): 822-828.
- [20] 常青, 张斌, 邵金玲. 基于 SIFT 和 RANSAC 的特征图像匹配方法[J]. 华东理工大学学报, 2012, 38(6): 747-751.
- Chang Q, Zhang B, Shao J L. Feature Image Matching Method Based on SIFT and RANSAC[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2012, 38(6): 747-751.
- [21] 郑兰, 安博文, 曹芳. 一种基于特征点匹配的红外图像拼接算法[J]. 计算机应用与软件, 2015(9): 195-196.
- Zheng L, An B W, Cao F. An Infrared Image Stitching Algorithm Based on Feature Point Matching[J]. Computer Applications and Software, 2015(9): 195-196.
- [22] 张平改, 魏利胜, 周圣文. 基于图像融合的全景泊车辅助系统研究[J]. 安徽工程大学学报, 2015(5): 58-62.
- Zhang P G, Wei L S, Zhou S W. Research on Panoramic Parking Assist System Based on Image Fusion[J]. Journal of Anhui Engineering University, 2015(5): 58-62.