

# 基于 SURF 改进算法的红外序列影像快速配准的方法研究

吴翰书<sup>1,2</sup>, 余旭初<sup>1</sup>, 张鹏强<sup>1</sup>, 杨明<sup>1</sup>

(1. 信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052; 2. 96215 部队, 广西 柳州 545616)

**摘要:** 提出一种基于 SURF 算子和特征偏移一致性准则的无人飞行器红外序列影像配准的方法。该方法采用 SURF 算子对特征点进行提取和匹配。SURF 算子仅考虑点的局部信息, 没有考虑特征点集的几何信息。本文采用特征偏移一致性准则来剔除误匹配点对, 提高特征点对的匹配精度, 所得到的特征点集采用 LM 非线性优化进行单应矩阵求解配准, 与其他算法相比, 本方法适合于红外序列影像快速拼接, 有较好的实用效果和鲁棒性。

**关键词:** 红外序列影像; SURF 算子; 特征偏移一致性准则; 影像配准

**中图分类号:** TP75      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672 - 5867(2012)01 - 0161 - 03

## Research on the Infrared Image Sequence Fast Registration Based on Improved SURF Algorithm

WU Han - shu<sup>1,2</sup>, YU Xu - chu<sup>1</sup>, ZHANG Peng - qiang<sup>1</sup>, YANG Ming<sup>1</sup>

(1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China;

2. 96215 Troops, Liuzhou 545616, China)

**Abstract:** This paper proposes a fast registration method for the UAV infrared image sequence based on SURF operator and feature shift coherence rule. This method uses SURF operator to extract and match feature points with local information. While the geometric information of feature point set is not considered, the feature shift coherence rule is adopted to remove error and thus to improve the matching accuracy of the feature point set. Levenberg - Marquardt optimization is used to solve the 8 parameters transforming mode for registration. Compared with other algorithms, this method is more suitable for fast infrared image sequence stitching and has good practical performance and robustness.

**Key words:** infrared image sequence; SURF operator; feature shift coherence rule; image registration

## 0 引言

红外影像是红外技术与成像技术结合的产物, 由于红外技术具有环境适应性优、隐蔽性好、抗干扰能力强、穿透能力强、作用距离远、识别伪装目标的能力强等特点<sup>[1]</sup>, 采用红外技术成像被广泛用于军事侦查和国民经济各个部门, 它在战场监测、无损探伤、产品检验、污染监测、医疗诊断、故障探测、公安消防以及森林防火中均已得到愈来愈多的应用。无人飞行器由于其体积小、速度快、具有良好的灵活机动性等特点, 在国民经济建设和应急救援中发挥重大的作用, 采用无人飞行器结合红外摄像机进行环境探测也受到各部门的重点关注。但由于红

外视频传感器视场范围一般都比较小, 获取的红外序列图像本身并不能满足地理环境探测需求的现状, 需要对序列影像进行拼接得出大区域场景图像<sup>[2]</sup>, 为地理环境全局感知和分析提供数据基础。现有的图像拼接主要是针对全色影像进行的, 国内外已有大量成熟的拼接配准方法, 但基于红外序列图像的拼接, 研究相对较少。由于大多数红外序列影像的对比度低、图像较模糊、信噪比低<sup>[3]</sup>, 给特征提取和匹配以及最终的图像配准带来诸多的瓶颈。本文针对红外序列影像的成像特点, 采用 SURF 算法和特征偏移一致性准则获得特征点对的方法, 拥有较高的速度、精度和鲁棒性。

收稿日期: 2011 - 04 - 02

作者简介: 吴翰书(1986 - ), 男, 安徽阜阳人, 信息工程大学测绘学院模式识别与智能系统硕士研究生, 主要研究方向为红外序列影像配准与镶嵌。

## 1 SURF 算法

目前人们已经提出许多种兴趣点算子,其中较为著名的点特征提取算子有 Moravec 算子、Harris 算子<sup>[4]</sup>、SIFT 算子<sup>[5]</sup>、KLT 特征提取算子等。针对红外序列影像噪声大、分辨率低、成像模糊、旋转和尺度变化等特点,本文采用一种基于尺度空间的、对图像缩放、旋转等保持不变性的特征匹配算法。对于尺度不变的特征点提取算法,现研究最多的是 SIFT 算子,SIFT 算子能在空间域和尺度域上同时进行计算,在影像存在巨大扭曲变形、光照发生变化、模糊遮掩等情况下仍能出色完成特征提取和匹配,但其在构造尺度空间和生成特征描述子上占用大量时间,匹配速度并不理想。然而 SIFT 算子不仅是一种性能优越的算子,更是一种思想,让我们对图像有了进一步的认识,在描述子构造上给我们很大的启示。

SURF 算子<sup>[6-7]</sup>的思想就是来源于 SIFT 算子。2006 年 5 月, Bay 等人提出了 SURF (Speeded Up Robust Features) 算子,在性能和速度上都超越了 SIFT 算子。SURF 算子主要包括两部分:一是快速 Hessian 点特征提取;二是 SURF 特征描述子生成。具体提取步骤如下:

1) 建立尺度空间并检测特征点,初步确定关键点位置和所在尺度;

2) 确认关键点的位置和尺度,去除对比度低的关键点和不稳定的边缘响应点,增强匹配抗噪声能力和稳定性;

3) 确定主方向,让算子具备旋转不变性;

4) 特征点描述子的生成,即 SURF 特征向量的生成。

SURF 特征匹配算法采用的是最邻近向量匹配算法,该算法采用关键点特征向量的欧式距离作为相似性测度,设  $N_1$  和  $N_2$  分别是图像  $P$  和  $Q$  的 SURF 特征点集合,对于  $N_1$  中的任一特征点  $p_{i1}$ ,在  $N_2$  中与  $p_{i1}$  的特征向量的欧式距离最小的特征点是  $q_{ij}$  和  $q'_{ij}$ ,对应的欧氏距离分别为  $d_{ij}$  和  $d'_{ij}$ ,如果  $d_{ij}/d'_{ij} \leq k$  ( $k$  为阈值),则认为  $p_{i1}$  和  $q_{ij}$  为对应匹配点,不同的应用可以取不同的  $k$  (取值小于 1,一般取 0.75)。通过匹配可以得到两个特征点集之间的粗匹配。粗匹配缺乏对特征点集的全局描述,含有较多的无匹配或错匹配,对红外序列图像的配准造成不利影响。

## 2 对 SURF 匹配分析及改进

SURF 算法在提取特征与匹配的过程中,主要是针对图像特征点处的局部信息即图像的尺度变化和旋转变化,对图像的几何信息没有考虑,导致粗匹配的过程中存在大量的误匹配。特征点的查找和匹配算法的准确性决定配准的精度和稳定性。根据无人飞行器红外序列影像,正确匹配特征左右像点连线的方向和长度是大致相同的,而错误匹配的特征点连线呈现明显的“离群”特点。本文采用特征偏移一致性准则对 SURF 算子进行改进,实现特征点的精确匹配,剔除“离群”点的方法是考察样本特征连线方向和长度的均值。设  $\bar{\theta}$  和  $\bar{l}$  分别表示本特征连线方向的均值和长度的均值,通过:

$$\begin{cases} \bar{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \theta_i \\ \bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n l_i \end{cases} \quad (1)$$

(1) 式求出方向和长度的均值,其中  $\theta_i$  和  $l_i$  分别表示  $i$  个匹配点连线的方向和长度,当同时满足以下条件,即:

$$\begin{cases} |\theta_i - \bar{\theta}| < \delta_\theta \\ |l_i - \bar{l}| < \delta_l \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\delta_\theta, \delta_l$  为设定的阈值,则认为匹配点对为正确的,否则为误匹配。

考虑到运算效率及速度,可以将(1)、(2)式做进一步改进,由于  $\bar{\theta}, \bar{l}$  和  $\bar{u}, \bar{v}$  存在以下关系,即:

$$\begin{cases} \bar{u} = \bar{l} \cos \bar{\theta} \\ \bar{v} = \bar{l} \sin \bar{\theta} \end{cases}$$

(2) 式可以转化为:

$$\begin{cases} \bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n u_i \\ \bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n v_i \end{cases} \quad (3)$$

其中  $u_i = u_{\text{right}} - u_{\text{left}}, v_i = v_{\text{right}} - v_{\text{left}}$ ,若  $\max\{|u_i - \bar{u}|, |v_i - \bar{v}|\} < \delta$  时,则认为匹配对是可以接受的,否则为误匹配。 $\delta$  为设定的阈值,通过改变阈值大小可以调整匹配点对个数。

利用特征偏移一致性准则筛选匹配的特征点对的方法如下:

1) 将上文基于 SURF 算子匹配结果作为候选匹配特征集;

2) 依据式(3)计算候选匹配特征连接矢量在  $u, v$  方向上的坐标均值  $\bar{u}, \bar{v}$ ;

3) 在候选匹配中剔除  $u, v$  与  $\bar{u}, \bar{v}$  差值最大的特征点对,满足  $\max\{|u_i - \bar{u}|, |v_i - \bar{v}|\} > \delta$  判别条件的错误匹配;

4) 重复 2) 和 3),直到候选特征集中匹配点均满足  $\max\{|u_i - \bar{u}|, |v_i - \bar{v}|\} \leq \delta$ ;

若  $a$  为经过上述步骤保留下的候选特征点对个数, $b$  为算法开始前特征粗匹配获得的候选特征点对个数,若  $a/b \times \% > d\%$ ,则该算法成功。

## 3 试验及结论

本文首先对相邻的红外序列图像采用 SURF 匹配,然后再进行特征偏移一致性筛选,获得最终的匹配集合。最后,对相邻图像进行配准。测试采用的平台为 Visual C++,采用的图像如图 1 所示。

试验图像(a),(b),(c),(d)图像大小为 768 像素  $\times$  576 像素,对这 4 幅红外序列影像进行 SURF 算法特征提取和改进 SURF 匹配算子进行匹配。图 2 为红外序列影像(a)和(b)进行改进 SURF 算法匹配后的图像。

对 4 幅红外序列影像分别进行 SURF 和改进 SURF 算法提取的结果见表 1。

根据实验结果,我们可以看出,对于对比度低、信息量少的红外序列影像, SURF 算子能够提出数量足够的特

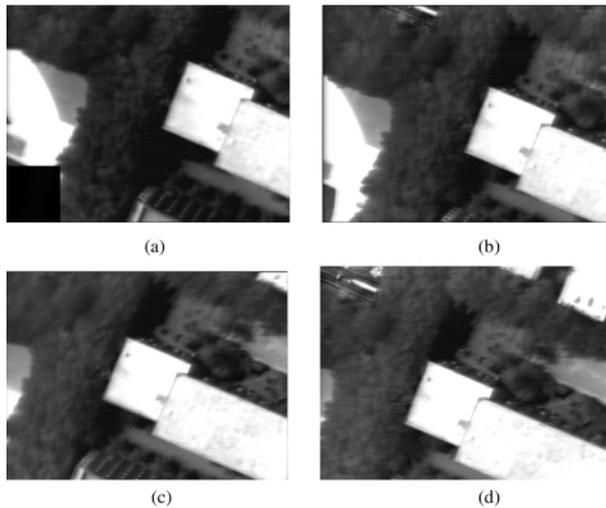


图 1 试验用图  
Fig.1 Maps for testing

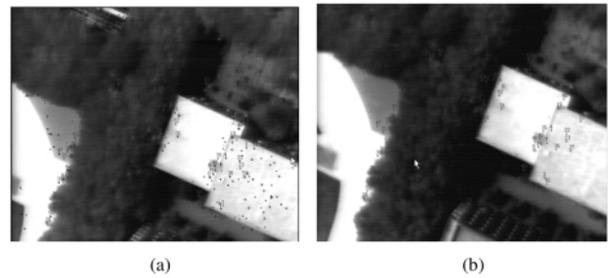


图 2 改进 SURF 对图 (a), (b) 匹配后影像  
Fig.2 Matched images of (a) and (b) by improved SURF

征点用于后续处理,但匹配的特征点对存在较多的误匹配点对,对后续的配准带来不利的影响;而改进的 SURF 算子提取的特征点数量能够满足单应矩阵求解,并提高了匹配点对的可靠性和精度,运行速度较快,适合于特征点集快速提取和匹配。

表 1 SURF 与改进 SURF 匹配结果对比  
Tab.1 Matching results before and after improved SURF

图名	特征点数	匹配数/误匹配数( SURF)	匹配数/误匹配数(改进 SURF)	匹配时间/s
图( a)	306	( a) 与( b) 96/11	( a) 与( b) 64/0	2.815 776 4
图( b)	299	( b) 与( c) 107/13	( b) 与( c) 67/1	2.993 913 0
图( c)	410	( c) 与( d) 125/17	( c) 与( d) 81/3	3.234 416 5
图( d)	383			

利用获取的特征点对集通过 LM 算法<sup>[8]</sup> 优化求解单应矩阵的 8 个参数进行配准,最后得到的拼接效果如图 3 所示。SURF 拼接后图像存在大量明显错位现象,而采用改进后的 SURF 算子在拼接时消除明显的错位现象,拼接效果较好。实验证明,本方法拥有速度快、方便易操作、稳定性强等特点,在红外序列影像拼接上是切实可行的。



图 3 拼接效果图  
( a) SURF 拼接效果图; ( b) 改进 SURF 拼接效果图

Fig.3 Image after stitching

( a) Image - stitching by SURF;  
( b) Image - stitching by improved SURF

#### 4 结束语

本文给出一种快速获取大区域场景红外序列影像的方法,结合红外序列影像概略对准和尺度变化的特点,利用具有旋转尺度不变性的 SURF 算子获取特征点集,再采用特征偏移一致性准则剔除错误匹配,拓宽 SURF 算子的应用范围,提高了单应性矩阵的估算准确度,具有较好的

图像拼接效果和鲁棒性。然而当图像存在大量的噪声和抖动时,本方法对单应矩阵估算精度较低,如何去噪、鲁像和对单应矩阵求精是下一步研究的重点和难点。

#### 参考文献:

- [1] 刘辉,赵文杰,吴畏. 红外成像技术的军事应用 [J]. 国防科技之窗,2010,9(2): 80 - 82.
- [2] 于文率,余旭初,张鹏强,等. 一种改进的 UAV 视频序列影像镶嵌方法 [J]. 测绘科学技术学报,2007,24 (6): 415 - 418.
- [3] 顾建雄. 红外图像增强算法研究 [D]. 兰州: 兰州大学硕士学位论文,2009.
- [4] C. Harris and M. Stephens. A combined corner and edge detector [C] // Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, vol 15, pp. 147 - 152, 1988.
- [5] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale - invariant Keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004,60(2): 91 - 110.
- [6] Bay H, Tuytelaars T, Van G L. SURF: Speeded up Robust Features [EB/OL]. (2006 - 02 - 05).
- [7] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, et al. Speeded - up Robust Features (SURF) [J]. Computer Vision and ImageUnderstanding, 2008, 110(3): 346 - 359.
- [8] I abb A M, Kavraki I E. Measure Theoretic Analysis of Probabilistic Path Planning [J]. Robotics and Automation, IEEE Transactions on, 2004, 20(2): 229 - 242.

[编辑: 胡 雪]