

文章编号 1004-924X(2015)增-0523-06

## 高动态环境下的运动模糊图像配准

付 强, 孙秀霞\*, 彭 轲, 刘树光

(空军工程大学 航空航天工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:** 由于高动态环境下摄像机拍摄的待配准图像存在大旋转变换的同时还会受运动模糊退化的影响, 故本文设计了一种高动态环境下的运动模糊图像配准方法。分析了传统尺度不变特征变换(SIFT)算法实时性差的原因, 利用灰度级变换对 SIFT 算法进行改进, 对两幅待配准图像特征点的提取进行简化, 从而避开检测出大量无用特征点带来实时性差的问题。然后选取简化后的特征点进行特征匹配, 使配准算法精度更高。最后通过实验验证了本文设计方法的实效性。实验结果表明: 提出的算法的特征点数以及匹配对数保持在改善算法前的 10% 以内, 大大减少了计算量; 该算法对图像旋转的稳定性更强, 匹配对数占检测出的特征点数的比值范围从 0.1505 减小到 0.1365。相比 SIFT 算法效率更高, 稳定性更强, 更能满足高动态环境下的图像配准要求。

**关键词:** 运动模糊; 图像配准; 灰度级变换; 尺度不变特征变换(SIFT)算法

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152313.0523

## Registration of moving fuzzy image in high dynamic environment

FU Qiang, SUN Xiu-xia\*, PENG Ke, LIU Shu-guang

(College of Aeronautics and Astronautics Engineering,  
Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

\* Corresponding author, E-mail: kgycw@163.com

**Abstract:** In matching the under-registration images in a high dynamic environment, there is large rotation distortion meanwhile the images may turn into blur in motion states, so traditional algorithms fail to match the images accurately in real-time. To solve these problems, a registration algorithm of fuzzy image in the high dynamic environment was designed in this paper. Based on the analysis of the cause of the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm's poor timeliness, the gray-scale transform was chosen as a threshold to change the pixels of image and to reduce the number of feature points. Then, simplified feature points were chosen to implement the feature matching to improve the accuracy of the registration. Finally, an experiment was performed to demonstrate the effectiveness of this method. Experimental results indicate that the number of matching-pairs and feature points are 10% that of the original algorithm; the stability is stronger than that of the original SIFT algorithm, and the ratio of matching-pair and feature points are reduced from 0.1505 to 0.1365. Compared with the traditional SIFT algorithm, this method owns better efficiency and stability, and can satisfy the requirements of image matching in the high dynamic environment.

收稿日期: 2015-04-20; 修订日期: 2015-05-28.

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (No. 2014M562629), 陕西省自然科学基金资助项目 (No. 2014JM8332)

**Key words:** motion blur; image matching; gray-scale transform; Scale Invariable Feature Transformation(SIFT) algorithm

## 1 引 言

基于视觉信息的无人机仅凭一幅或几幅图像实现跑道图像信息的提取,极有可能引起无人机迫降偏差,造成机毁事故。因为这是一个动态图像处理过程,不同于静态的图像处理,它既需要快速处理图像信息,又要时刻保持图像信息的连续性。因此,从无人机迫降开始,就要对机场跑道进行拍摄,不断获取由高动态引起的不同视角图像信息,先对前后时刻拍摄的图像进行配准融合预处理,再将处理后的图像与下一刻拍摄的图像进行配准融合处理。不断的叠加融合处理既避免了由于图像信息过于模糊或者信息丢失造成的无人机判断失误,又能记录图像历史信息。

图像配准是图像拼接、图像融合等图像处理过程的前提,国外从 20 世纪 60 年代对图像配准的方法进行了研究,国内是在 20 世纪 90 年代才开始了这方面研究。文献[1]通过总结典型配准方法,将它们划分为 4 类:基于区域的配准、基于特征的配准、基于混合模型的配准和基于物理模型的配准。其中,基于特征的配准方法是通过分析图像的特征实现配准的,其算法运算复杂度低,不易受图像的灰度变化以及几何形变等因素的影响<sup>[2]</sup>。尺度不变特征变换(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)算法作为基于特征配准方法的典型代表,具有广泛的应用范围。但是在高动态环境下,由于待配准图像具有一般图像不具有的特点,从而会导致配准精度不够,而且高动态环境下对图像处理的实时性要求也较高。近年来,也出现了大量关于提高 SIFT 算法精度或实时性的改进算法,例如,文献[3]提出结合 Fourier-Mellin 变换的思路以提高配准精度。而针对如何提高算法实时性可以主要从以下 3 方面进行:特征点提取,特征点描述和特征点匹配。其中,对于特征点提取,现有改进算法主要将 SIFT 算法检测出的特征点减去边缘检测算子检测出的边缘点,以去除一些不稳定的边缘检测点,以及在特征点检测时设定检测极值点数目以获得更少的特征点等;另一个改进趋势就是对 128 维的特征描述子进行降维,以减少计算量;另外,对特征匹

配算法进行改进也是一个提高实时性的方法<sup>[4-10]</sup>。

本文在 SIFT 算法的基础上,针对待配准图像的特征点进行处理。首先对图像进行灰度级变换,变换后利用 SIFT 算法对图像特征点进行提取并实现配准,然后用灰度拉伸恢复出初始图像的灰度级。

## 2 高动态环境下运动模糊图像配准

### 2.1 高动态环境下图像配准特点

图像配准一直是多幅图像进行其他处理的前提,决定着后续多幅图像处理的好坏。然而,高动态环境下无人机飞行姿态的变化(包括横滚、俯仰和偏航)、飞行高度的变化、飞行速度的变化等都会影响视觉成像效果,进而制约了配准精度。对图像配准精度产生影响的因素可归纳为两方面:一方面,高动态环境下的成像图像本身具有一定程度的模糊,对于基于特征的配准方法来说,存在特征点难以精确提取;另一方面,由于拍摄图像之间存在变形,故与以往配准图像大多在小位移、小旋转和小缩放尺度的简单情形不同,高动态环境下的图像将存在大位移、大旋转,甚至大比例缩放的情况。

因此,存在运动模糊同时,成像会伴有旋转、位移和缩放运动的情况,仍需要对传统的 SIFT 配准方法进行改进,使其提取出的特征点对各种变换以及模糊成像更鲁棒,以满足无人机视觉着陆的需求。

### 2.2 运动模糊图像模型

根据成像系统的一般特性,线性和位置(空间)不变性,图像的退化可以描述成成像系统的退化加上额外的系统噪声而形成的,图像退化的一般模型可以表示为:

$$y = x \otimes k + w, \quad (1)$$

其中:  $y$  为模糊图像,  $x$  为原始图像,  $k$  为模糊核,  $w$  为设定的噪声。

运动模糊的点扩散函数  $k$  的一般表达式为:

$$k = \begin{cases} \frac{1}{L} & \sqrt{x^2 + y^2} \leq \frac{L}{2} \text{ 且 } \frac{x}{y} = -\tan(\theta) \\ 0 & \text{else} \end{cases}, \quad (2)$$

其中： $L$ 表示在曝光时间内相机的镜头与目标之间相对移动的尺度大小， $\theta$ 表示在曝光时间内相机镜头与目标之间相对运动的方向。由此可得，模糊核由运动模糊方向参数 $\theta$ 及运动模糊长度参数 $L$ 决定，它们是运动模糊图像的两个重要参数。

### 2.3 传统 SIFT 配准算法分析

1999年D. Lowe提出SIFT,并于2004年总结完善,这是目前最成功的基于局部特征的提取算子<sup>[11]</sup>。利用SIFT算法提取出的特征点进行图像匹配时,对于图像的模糊、旋转、平移和尺度变换均具有很强的鲁棒性,甚至对图像光照和视点变化也具有一定的鲁棒性。然而,SIFT算法在尺度空间中检测出的特征点冗余严重,导致配准复杂,计算量较大,时间效率低。

SIFT算法的基本流程见图1。



图1 SIFT算法流程图

Fig. 1 Flow chart of SIFT algorithm

运用SIFT算法进行配准时,4个步骤各自花费时间的统计结果大致为:(1)建立图像的DoG金字塔:3%~5%;(2)求局部极值确定特征点:3%~17%;(3)计算特征点方向:4%~15%;(4)生成特征描述子:42%~55%。SIFT算法提取出的特征点对噪声、光照及旋转等情况具有较强的鲁棒性,是后续匹配效果的前提保障,特征点的数量也直接影响着后续步骤的计算时间。在进行复杂结构图像配准时,SIFT算法检测出的特征点数目相当庞大,但是在最终的匹配中能够配对成功的特征点通常不到一半。因此,如何在减小特征点提取数量的同时,获得更高配对成功比例且具有强鲁棒性的特征点是增强实时性的有效方法之一。

### 2.4 高动态环境下图像配准设计

PCA-SIFT(Principal Component Analysis SIFT)等改进算法提高实时性一般都是以匹配效果为代价,本文改进算法通过降低待配准图像的灰度级以重建图像信息,利用新信息进行匹配,在减少特征点并提高速度的同时,可以保证特征点的正确匹配率。具体算法流程见图2。

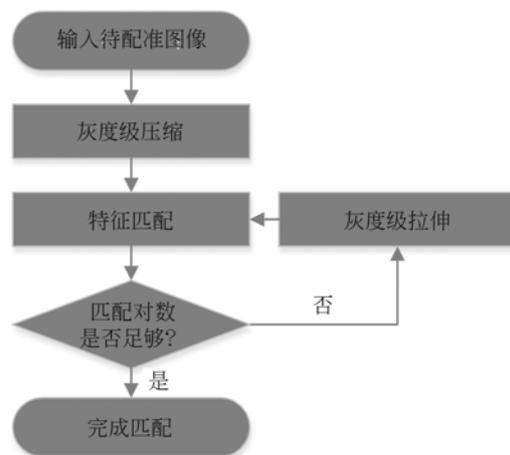


图2 本文算法流程图

Fig. 2 Flowchart of proposed algorithm

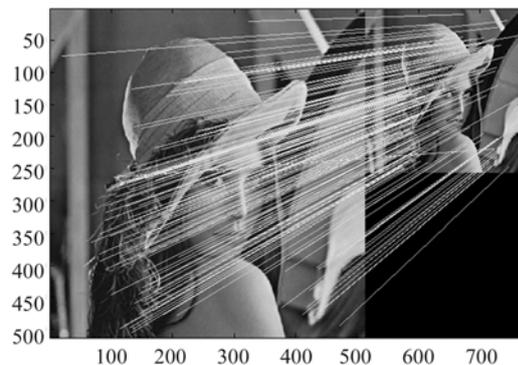
SIFT算法进行特征点检测时会得到大量冗余特征点,故时间消耗大,本文改进算法主要通过对图像进行灰度级变换重新生成像素信息,在降低特征点数量的同时避免了对特征点数阈值的选取。对Lena标准图像进行灰度级降级,得到位置像素所对应的降级图像数值,然后利用新数值进行特征点提取,得到的特征点数和匹配对数如表1和图3所示。

表1 改进匹配与原匹配数据对比

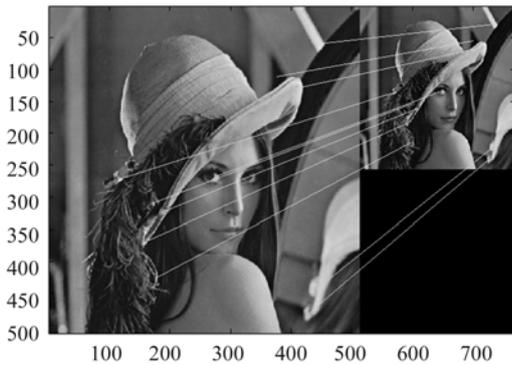
Tab. 1 Data comparison between proposed algorithm and original matching

	原匹配	改进匹配	比值
左图特征点数	1 062	30	0.028 2
右图特征点数	349	33	0.094 6
匹配对数	212	13	0.061 3

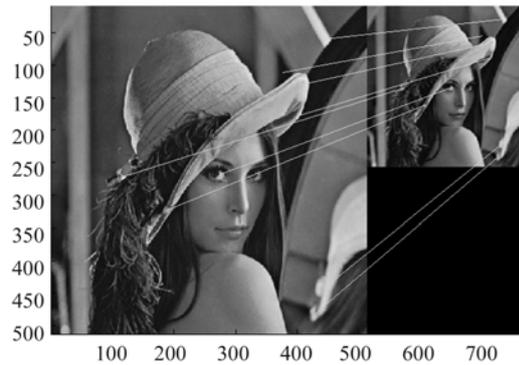
从图3和表1可以看出,经过灰度级变换后的待配准图像特征点数目大大减少,特征点数以



(a)原匹配算法结果  
(a) Matching results of SIFT



(b)改进匹配算法结果  
(b) Matching results of improved SIFT



(b)右图模糊匹配结果  
(b) Matching results of right blurred image

图 3 匹配结果对比

Fig. 3 Comparison of matching results between SIFT and improved SIFT

及匹配对数保持在原始算法的 10% 以内,大大减少了计算量,从而提高了匹配速度。

### 3 实验验证

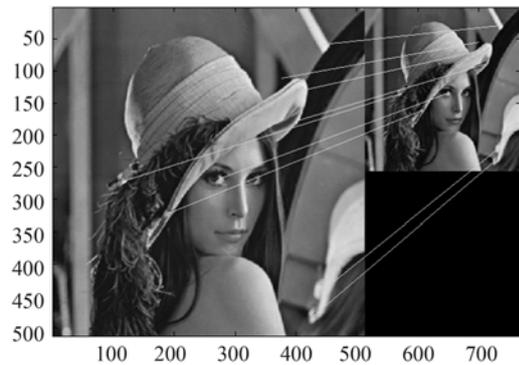
#### 3.1 抗模糊性实验

为了更好地反映本文算法的有效性,从实际情况出发,由于高动态环境下成像易产生运动模糊,故首先对算法进行抗模糊性验证。对  $515 \times 512$  和  $256 \times 256$  的 Lena 图像添加运动模糊效果后分别进行配准,配准的结果如图 4 和表 2 所示。

表 2 图像模糊情况下的匹配数据

Tab. 2 Matching results of blurred image

	左模糊	右模糊	均模糊
左图特征点数	16	30	16
右图特征点数	33	20	20
匹配对数	11	12	12



(c)图像均模糊匹配结果  
(c) The both images are blurred

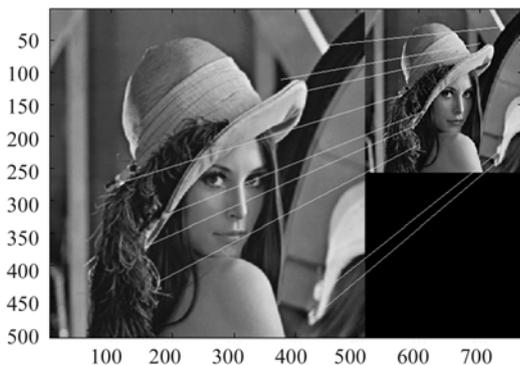
图 4 模糊图像匹配结果

Fig. 4 Matching results of blurred image

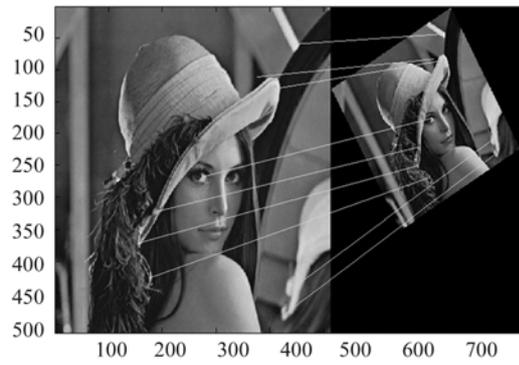
从实验结果可以明显看出,经过优化后提取出的特征点数目大大减少,存在运动模糊的情况下匹配对数满足正确配准的需求,更重要的是计算时间也相应地大大减少,更加满足实际应用的需求。

#### 3.2 旋转稳定性实验

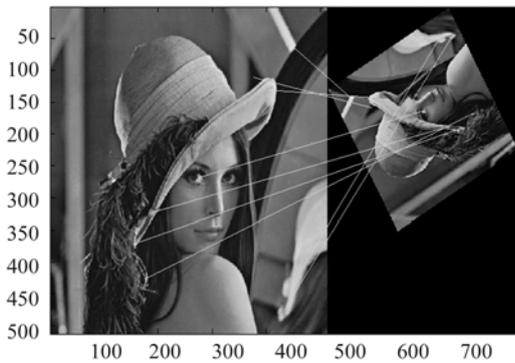
由于图像产生旋转后对算法的影响很大,为



(a)左图模糊匹配结果  
(a) Matching results of left blurred image



(a)图2旋转30°匹配结果  
(a) Matching results of image 2 with rotation of 30°



(b)图2旋转120°匹配结果  
 (b) Matching results of image 2 with rotation of 120°

图 5 旋转图像匹配结果

Fig. 5 Matching results of rotate image

了进一步验证本文算法在高动态环境下的实用性,对待配准图像进行不同角度的旋转,以说明算法对图像旋转的稳定性。将待配准的  $256 \times 256$  Lena 图像分别旋转  $30^\circ$  和  $120^\circ$  的示意图和匹配数据如图 5 和表 3 所示。

表 3 改进匹配与原匹配数据对比

Tab. 3 Comparison between proposed algorithm and original SIFT

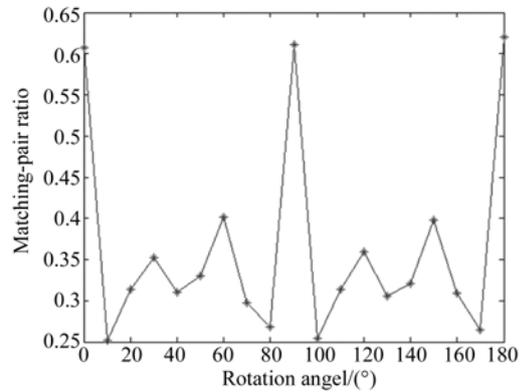
	旋转 $30^\circ$	旋转 $120^\circ$
图 1 特征点数	30	30
图 2 特征点数	46	48
匹配对数	11	11

从图 5 和表 3 可以看出,旋转角度的大小会影响算法对其检测的特征点数,配准对数也将随着特征点数的不同而不同。为了分析改进算法对旋转是否具有很好的稳定性,将本文算法与传统 SIFT 进行特征点匹配情况的结果进行对比,结果如图 6 所示。

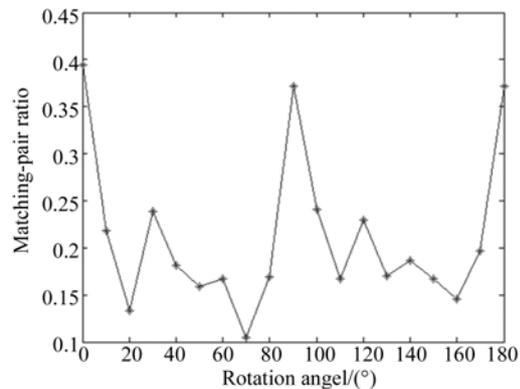
由图 6 可知,3 个特殊角度 ( $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ ) 产生的匹配效果极好外,不同旋转角度下匹配对数占检测特征点数的比值从 0.150 5 减小到 0.136 5,证明了本文算法对图像的旋转具有更好的稳定性。

## 4 结 论

本文根据高动态环境图像配准精度高、速度



(a)SIFT 匹配结果  
 (a) Matching results of SIFT



(b)改进算法匹配结果  
 (b) Matching results of improved SIFT

图 6 不同旋转角度下的匹配结果对比

Fig. 6 Comparison of matching results with different rotational angles

快的要求,提出了基于灰度级变换的改进 SIFT 算法。该算法主要利用灰度级压缩对待配准图像进行“降级”,在提高配准对旋转稳定性的同时大大减少了特征点的数量,其有效性通过实验得到了验证。实验结果证明:特征点数以及匹配对数保持在改善算法前的 10% 以内,大大减少了计算量;改进后算法对图像旋转的稳定性更强,不同旋转角度下匹配对数占检测出的特征点数的比值从 0.150 5 减小到 0.136 5。基本满足了高动态环境下图像配准的要求。虽然文中提出的算法具有一定的局限性,但是为旋转情况复杂的运动模糊图像配准提供了一种增强实时性的新思路。

## 参考文献:

- [1] 余先川,吕中华,胡丹. 遥感图像配准技术综述[J]. 光学精密工程,2013,21(11): 2960-2972.  
YU X CH, LV ZH H, HU D. Review of remote sensing image registration techniques [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013,21(11): 2960-2972. (in Chinese)
- [2] 王健博,朱明. 基于字典描述向量的实时图像配准[J]. 光学精密工程,2014,22(6): 1613-1621.  
WANG J B, ZHU M. Real time image registration based on dictionary feature descriptor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014,22(6): 1613-1621. (in Chinese)
- [3] 沈同圣,张健,娄树理. 面向目标检测的空间观测图像精确配准[J]. 光学精密工程,2014,22(8): 2205-2213.  
SHEN T SH, ZHANG J, LOU SH L. Precise registration of space observation images for target detection [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014,22(8): 2205-2213. (in Chinese)
- [4] 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]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2013, 34(5): 1107-1112. (in Chinese)
- [5] 刘辉,申海龙. 一种基于改进 SIFT 算法的图像配准方法[J]. 微电子学与计算机,2014,31(1):38-42.  
LIU H, SHEN H L. Image match method based on improved SIFT algorithm [J]. *Microelectronics and Computer*, 2014,31(1):38-42. (in Chinese)
- [6] 尚明珠. 基于改进 SIFT 特征匹配的快速图像拼接算法 [J]. 微电子学与计算机,2014,31(1): 64-67.  
SHANG M SH. A fast image mosaic algorithm based on improved SIFT feature matching [J]. *Microelectronics and Computer*, 2014, 31(1): 64-67. (in Chinese)
- [7] 齐乃新,曹立佳,杨小冈,等. 基于方向约束的改进 SIFT 匹配算法 [J]. 计算机科学,2014,41(6A): 125-128.  
QI N X, CAO L J, YANG X G, et al.. Improved SIFT matching algorithm based on orientation constraint [J]. *Computer Science*, 2014,41(6A): 125-128. (in Chinese)
- [8] 张德全,董世存. 改进 SIFT 算法在图像数据相似性匹配中的应用研究 [J]. 计算机科学,2014,41(6A): 122-124.  
ZHANG D Q, DONG SH C. Application research on comparability matching for image-data based on enhanced SIFT algorithm [J]. *Computer Science*, 2014,41(6A): 122-124. (in Chinese)
- [9] 师艳伟,杨晶东,杨敬辉. 一种改进 SIFT 算法[J]. 江南大学学报:自然科学版,2014,13(4): 403-410.  
SHI Y W, YANG J D, YANG J H. Research on an improved SIFT algorithm [J]. *Journal of Jiangnan University: Natural Science Edition*, 2014, 13(4): 403-410 (in Chinese)
- [10] 卢朝梁,马丽华,陈豪. 改进的 SIFT 特征匹配算法 [J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(1): 72-76.  
LU CH L, MA L H, CHEN H. An improved algorithm for SIFT feature matching[J]. *Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition*,2014,15(1): 72-76. (in Chinese)
- [11] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. *International Journal of Computer Vision*,2004,60(2): 91-110.

## 作者简介:



付 强(1990—),男,四川内江人,2013 年于空军工程大学获得学士学位,主要研究方向为无人机视觉导航与图像处理。E-mail:fuqiang931@126.com



孙秀霞(1962—),女,山东潍坊人,博士,教授,博士生导师,1983 年于北京理工大学获得学士学位,1990 年于空军工程大学获得硕士学位,1999 年于北京航空航天大学获得博士学位,主要研究方向为无人机导航与先进控制的理论及应用。E-mail:kgyw@163.com