光电技术及应用

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.2020.06.022

基于自适应筛选 Harris 角点检测的快速图像配准算法

蔡欣展，刘艳艳*

（南开大学 电子信息与光学工程学院 天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室，天津 300350）

摘　要： 针对传统 Harris 角点检测算法的图像配准过程计算量大、速度慢等问题，提出一种快速预筛选 Harris 角点检测算法。首先通过 FAST 算法快速排除大量非特征点，再通过抑制半径解决 FAST 角点聚簇现象，然后在 FAST 角点邻域内筛选出 Harris 角点，最后采用 Brute-Force 匹配方式得到精准匹配。实验结果表明：所提改进算法不仅提高了角点检测速度而且减少了冗余角点数量，在图像配准过程中有效提高了配准速度与精度，配准效果良好。

关键词： Harris 角点；FAST 算法；抑制半径；Brute-Force 匹配

中图分类号： TP391.41　**文章编号：** 1001－5868(2020)06－0875－04

Fast Image Registration Algorithm Based on Adaptive Screening Harris Corner Detection

CAI Xinzhan，LIU Yanyan

（Key Laboratory of Photoelectronic Thin Film Devices and Technology of Tianjin，School of Electronic Information and Optical Engineering，Nankai University，Tianjin 300350，CHN）

Abstract： Aiming at the problems of large amount of calculation and slow speed in the process of image registration for traditional Harris corner detection algorithm，in this paper，a fast pre-screening Harris corner detection algorithm was proposed. Firstly，a large number of non-feature points were quickly eliminated with the FAST algorithm，and then the clustering of FAST corners was solved by suppressing the radius. Secondly，Harris corners in the neighborhood of FAST corners were selected，and finally Brute-Force matching was used to realize accurate matching. Experimental results show that the proposed algorithm not only improves the corner detection speed but also reduces the number of redundant corners，and it effectively improves the registration speed and accuracy，realizing a good registration effect.

Key words： Harris corner；FAST algorithm；suppression radius；Brute-Force match

0　引言

图像配准，即快速并精准地匹配出两幅不同视角图像中的相似之处，是许多图像应用的前提，在许多领域有着广泛的应用，如目标追踪与识别、医学图像诊断、遥感图像处理等。图像配准按照配准方法，可以分为三种：基于灰度图像的配准、基于变换域的图像配准和基于特征点的图像配准，其中基于特征点的配准方法提取相对容易、快速，并且具有尺度旋转性以及良好的鲁棒性[1-2]等优点。文献[3]提出一种改进 Harris 算法，根据分割图像后每个子图的对比度去自适应设置阈值来提高后期图像配准的正确率。文献[4]提出一种通过引入高斯尺度空间使得 Harris 算子获得尺度不变性的方法，从而提高定位及配准精度。

Harris 角点检测算法通过自相关矩阵计算出图像上灰度像素信号具有明显变换的点，需要遍历图像中每个像素点来计算自相关矩阵的特征值，从而得到角点，这大大影响了图像配准的速度，同时由于其阈值选取的不确定性，导致角点会出现聚簇和伪角点现象。为此本文提出一种改进方法，首先进

收稿日期：2020－08－13.

* 通信作者：刘艳艳

E-mail：lyytianjin@nankai.edu.cn

行 FAST 角点快速检测，排除大量的非特征点，然后引入自适应抑制半径排除强干扰点，使得角点分布更加均匀。本文所提算法计算量较小，鲁棒性强，提升了配准速度与正确率。

1 Harris 角点检测原理

Harris 算子是 Harris 和 Stephens 提出的一种基于 Moravec 算法改进的特征点提取算子[5-7]。Moravec 算子只考虑了每隔 45°方向的 8 个固定的方向。Harris 算子可以通过 Taylor 展开变形而获得任意方向，从而计算任意方向上的像素值变化[8]。对于局部微小移动量$[u,v]$，近似表达式为

$$E(u,v)=\sum_{x,y}w(x,y)[I(x+u,y+v)-I(x,y)]^2 \tag{1}$$

式(1)经过 Taylor 展开后产生一个自相关矩阵：

$$\boldsymbol{M}_h=\sum_{x,y}w(x,y)\otimes\begin{bmatrix}I_x^2 & I_xI_y\\ I_xI_y & I_y^2\end{bmatrix} \tag{2}$$

式中，I_x，I_y 分别是图像函数 x，y 方向的偏导函数，其中 $w(x,y)$代表高斯滤波函数：

$$w(x,y)=\exp\frac{-(x^2+y^2)}{2\delta^2} \tag{3}$$

通过矩阵 $\boldsymbol{M}_h$ 产生两个特征值，这两个特征值代表了每个像素点变换的激烈程度，在实际计算过程中通过响应函数(4)来获得每个角点的响应值，称 L 为特征点的响应值，若设定的阈值 T 小于响应值 L，则该像素点是图像中的角点，否则，该像素点为非角点。

$$L=\det\boldsymbol{M}-K(\operatorname{trace}\boldsymbol{M})^2 \tag{4}$$

式中，$\det\boldsymbol{M}$ 是矩阵 $\boldsymbol{M}$ 特征值的积，$\operatorname{trace}\boldsymbol{M}$ 为矩阵 $\boldsymbol{M}$ 特征值的和。

2 基于快速预筛选的 Harris 角点检测算法

本文采用预筛选的方式来解决 Harris 算法运算量大、速度慢、易产生角点聚簇现象等问题，整体算法流程如图 1 所示。

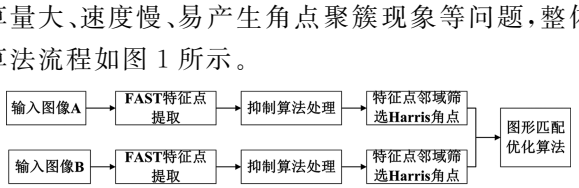


图 1 整体算法流程图

2.1 FAST 特征点检测算法

一幅图像中并不是所有像素点都是特征点，但是由于 Harris 算法需要遍历整幅图像的每个像素点，计算量大大增加。本文首先利用 FAST 特征点检测算法快速筛选出初始角点，在 FAST 检测算法中，一般选择半径为 3 的离散 Bresenham 圆作为模板[9-10]，如图 2 所示。

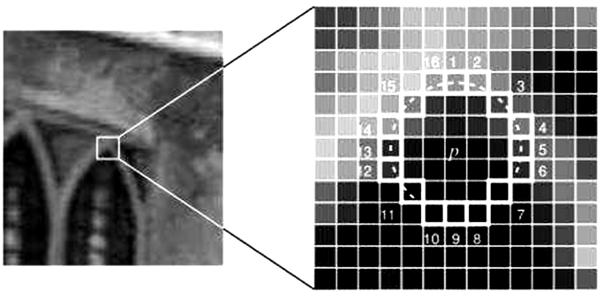


图 2 FAST 角点检测模板

设 p 处的强度值为 I_p，阈值为 t，i 个连续点的强度值分别为 P_i，$i=1,2,\cdots,16$。如果有

$$P_i>I_p+t \text{ 或 } P_i<I_p+t \tag{5}$$

则认为 p 是一个特征点。通过角点响应函数 N 来判断每个角点的强度：

$$N=\sum_{x\forall(circle(p))}|I(x)-I(p)|>\alpha_d \tag{6}$$

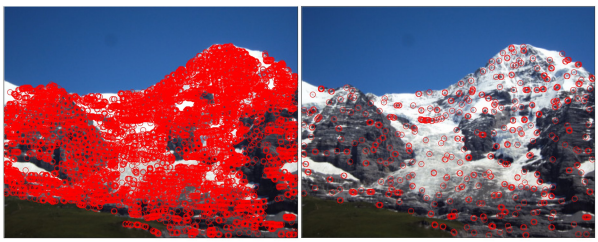
2.2 FAST 角点抑制半径

由于 FAST 算法检测出的角点个数由式(6)中的阈值 α_d 决定，同时由于阈值 α_d 选取的不确定性，会导致检测出的角点相对集中在特征丰富的区域，形成角点聚簇的现象，不能均匀地分布在图像的整个区域，同时增大了后续 Harris 角点检测的计算量，影响配准精度以及配准速度。

为有效解决上述问题，本文提出了一种抑制半径处理方法，就是为每个特征点确定一个抑制半径 R，在其抑制半径内只保留该特征点本身，其他特征点则会被抑制。以特征点 a_1 为例，将 a_1 的响应值 N_1 与其余所有特征点的响应值 N_i 进行比较，挑选出所有响应值比 N_1 大的点，然后在选出的点中找出与 a_1 的欧氏距离最近的特征点。a_1 与该点的欧氏距离便作为其抑制半径 R_1，据此求出所有特征点对应的抑制半径 R。按照抑制半径由大到小排序，选出所需数量的特征点。这样可以有效解决角点聚簇的现象，使得特征点分布更加均匀，同时有效减少计算量。

改进后的 FAST 角点提取效果图如图 3 所示，图 3(a)为传统 FAST 算法提取的特征点结果，图 3(b)为本文改进 FAST 算法提取的特征点结果。通过比较可以看出，本文算法稳定性更高，可提取出质

量更好的特征角点。



(a) 传统 FAST算法　　(b) 改进 FAST算法

图 3　FAST 算法特征提取结果对比

3　特征点优化匹配

本文算法通过改进 FAST 算法快速筛选出一批特征点，为了保证特征点的稳定性与准确性，同时选取以 FAST 角点为中心、半径为 r 内的像素点可能成为 Harris 角点，半径 r 的计算公式为

$$r=\frac{7\delta\sqrt{2}}{3} \tag{7}$$

式中，δ 根据图像大小决定，本文所有图片计算取值为 1。

将后续通过 Harris 提取的每个特征点进行特征描述，构成一个特征向量，通过暴力匹配(Brute-Force)的方式进行图像配准。Brute-Force 是计算出两幅图像的特征向量的欧氏距离，认为若两幅图像中特征点越相似，则它们所对应的特征向量之间的欧氏距离越小。采用文献[14]的匹配思想，计算两幅图片中最小的欧氏距离与次近邻距离之比，即：

$$P=\frac{d_0}{d_1} \tag{8}$$

其中，d_0 为最小欧氏距离，d_1 为次近邻距离。若 P 小于阈值，则认为两个角点互为匹配点对。

4　实验结果及分析

为了验证本文所提算法在配准正确率以及配准速度上的改进效果，进行验证实验。实验硬件环境如下：CPU Intel(R)Core(TM) i5-2450M；内存为 8 GB，64 位 Windows 10 操作系统；软件实施平台为 MATLAB 2018a。

为了验证本文算法在特征点提取以及配准正确率和配准速度上的优势，分别采用传统 Harris 算法与 Shi-Tomasi 算法[11]以及文献[12]的算法对图 4 所示测试图像(677×449)进行对比实验，实验结果如图 5～6，结果对比如表 1 所示。

从表 1 与图 5 可以得出：改进算法采用预筛选的方式排除大量非特征点，从而不需要完整计算整幅图像每一个像素点的响应函数，相较于传统 Harris 算法，其图像配准所需计算量大幅降低，同时角点分布更加均匀，匹配正确率也有一定提升。



图 4　测试图像

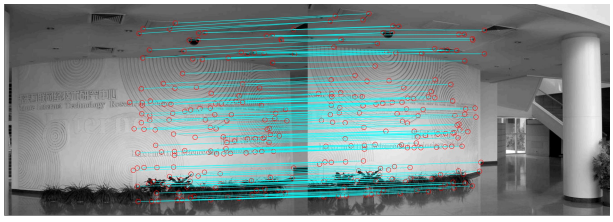


图 5　本文算法配准结果

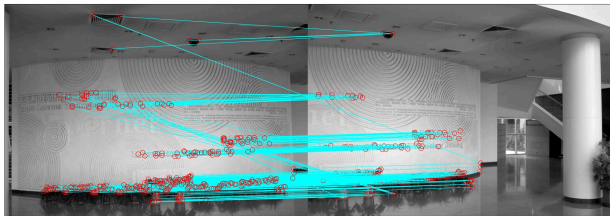


图 6　传统 Harris 算法配准结果

表 1　实验结果对比

匹配算法	特征点数(左/右)	粗匹配点对	正确匹配点对	正确率/%	总耗时/s
Shi-Tomasi	397/303	51	31	60.78	4.553
文献[12]	164/166	42	29	69.05	2.118
Harris	349/321	349	236	67.62	2.625
本文	400/400	116	113	97.41	1.867

5　结论

针对传统 Harris 算法用于图像配准中计算量大、正确率低，会出现角点聚簇现象等问题，本文提出了一种将改进的 Harris 算法和 Brute-Force 匹配相结合的快速图像配准算法。通过预处理将非特征点进行过滤，同时利用抑制半径改善角点分布，有效地解决角点聚簇现象，使得角点在整幅图像中分布更加合理。实验结果表明，本文所提算法可以有效提高特征点匹配的准确率和匹配速度。

参考文献：

[1]　Liu Z, Guo Y, Feng Z, et al. Improved rectangle template matching based feature point matching algorithm[C]// Proc.

of 2019 Chinese Control and Decision Conf. (CCDC), 2019.

[2] Liu J, Bu F. Improved RANSAC features image-matching method based on SURF[J]. The J. of Engin., 2019(23): 9118-9122.

[3] 张见双，张红民，罗永涛，等. 一种改进的 Harris 角点检测的图像配准方法[J]. 激光与红外，2017，47(2)：230-233.
Zhang Jianshuang, Zhang Hongmin, Luo Yongtao, et al. An improved image registration method for Harris corner detection [J]. Laser and Infrared, 2017, 47(2): 230-233.

[4] 刘军泉，刘晓华，黄小仙. 改进的 Harris 算法在海洋遥感图像处理中的应用[J]. 现代电子技术，2019，42(18)：95-102.
Liu Junquan, Liu Xiaohua, Huang Xiaoxian. Application of improved Harris algorithm in ocean remote sensing image processing[J]. Modern Electronic Technol., 2019, 42(18): 95-102.

[5] Yang Zhuoqian, Liu Xinang, Yang Yang. Harris feature and coherent point drift based remote sensing image registration [C]// Proc. of IEEE Inter. Conf. on Electronic Measurement & Instruments, 2017: 554-558.

[6] Sun L, Wang S Q, Xing J C. An improved Harris corner detection algorithm for low contrast image [C]// Proc. of IEEE The 26th Chinese Control and Decision Conf., 2014.

[7] Zou W, Li Z. Extraction of interest points by Harris interest operator for synthetic aperture radar image coregistration[J]. IET Image Proc., 2013, 7(5): 500-513.

[8] Manoranjitham R, Deepa P. Novel interest point detector using bilateral-Harris corner method [C]// Proc. of IEEE Inter. Conf. on Advanced Computing & Communication Systems, 2017: 1-4.

[9] Yao Jinjin, Zhang Pengchao, Wang Yan, et al. An adaptive uniform distribution ORB based on improved quadtree [J]. IEEE Access, 2019, PP(99): 1-1.

[10] Lowe D G. Distinctive image features from scale invariant keypoints[J]. Inter. J. of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.

[11] Juranek L, Stastny J, Skorpil V. Effect of low-pass filters as a Shi-Tomasi corner detector's window functions[C]// Proc. of Inter. Conf. on Telecommun. & Signal Proc., 2018.

[12] 黄远征，尹春丽，刘 波，等. 基于改进的快速 Shi-Tomasi 特征点检测算法的图像拼接算法[J]. 机械设计与研究，2018，34(4)：70-73.
Huang Yuanzheng, Yin Chunli, Liu Bo, et al. Image mosaic algorithm based on improved fast Shi-Tomasi feature point detection algorithm [J]. Mechanical Design and Research, 2018, 34(4): 70-73.

作者简介：

蔡欣展(1997—)，男，陕西省渭南市人，硕士研究生，主要从事数字图像处理、FPGA 方面的研究；

刘艳艳(1978—)，女，博士，高级实验师，主要从事集成电路设计、数字信号处理与模式识别方面的研究。

(上接第 874 页)

[9] 姜宏志，赵慧洁，梁宵月，等. 基于极线校正的快速相位立体匹配[J]. 光学精密工程，2011，19(10)：2520-2525.
Jiang Hongzhi, Zhao Huijie, Liang Xiaoyue, et al. Phase-based stereo matching using epipolar line rectification[J]. Optics and Precision Engin., 2011, 19(10): 2520-2525.

[10] 肖志涛，卢晓方，耿 磊，等. 基于极线校正的亚像素相位立体匹配方法[J]. 红外与激光工程，2014，43(S1)：225-230.
Xiao Zhitao, Lu Xiaofang, Geng Lei, et al. Sub-pixel matching method based on epipolar line rectification [J]. Infrared and Laser Engin., 2014, 43(S1): 225-230.

[11] 王 鹏，张宇倩，孙长库，等. 极线和级次双约束的光栅投影测量方法[J]. 红外与激光工程，2020，49(4)：144-150.
Wang Peng, Zhang Yuqian, Sun Changku, et al. Fringe projection measurement method based on polar line and fringe order double constraint[J]. Infrared and Laser Engin., 2020, 49(4): 144-150.

[12] Zhang S, Wu M, Wu Y, et al. Fixed window aggregation AD-census algorithm for phase-based stereo matching [J]. Appl. Opt., 2019, 58(32): 8950-8958.

[13] Zuo C, Feng S J, Huang L, et al. Phase shifting algorithms for fringe projection profilometry: A review[J]. Optics and Lasers in Engin., 2018, 109: 23-59.

[14] Thevenaz P, Ruttimann U E, Unser M. A pyramid approach to subpixel registration based on intensity[J]. IEEE Trans. on Image Processing: A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 1998, 7(1): 27-41.

[15] Scharstein D, Szeliski R, Zabih R, et al. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms[J]. Inter. J. of Computer Vision, 2001, 47(1): 7-42..

作者简介：

蔡 超(1995—)，男，浙江杭州人，硕士，主要研究方向为图像处理、机器视觉；

张滋黎(1983—)，女，山西朔州人，博士，副研究员，主要研究方向为机器视觉及光电测试技术。