

一种改进的 Harris 角点检测的图像配准方法

张见双,张红民,罗永涛,陈柏元
(重庆理工大学电子信息与自动化学院,重庆 400054)

摘要:针对在传统的 Harris 角点检测过程中,手动输入单个阈值可能出现角点聚簇、伪角点等现象,提出了一种改进的 Harris 角点检测方法的图像配准方法。首先,将图像分割成 3×3 个无重叠子图,根据每个子图的对比度的大小,来设置每个子图的阈值。然后,采用 NCC 算法对检测出的角点进行粗匹配。最后,采用 RANSAC 算法对粗匹配中误匹配点进行剔除。实验表明:该算法使得检测的角点分布比较均匀,并在图像配准中有效地增加图像匹配点对数,具有良好的实用性。

关键词:Harris 角点;图像配准;NCC;RANSAC

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.02.020

Image registration method based on improved Harris corner detection algorithm

ZHANG Jian-shuang, ZHANG Hong-min, LUO Yong-tao, CHEN Bo-yuan

(School of Electronic Information and Automation, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Abstract: In traditional Harris corner detection process, manual input of single threshold may lead to corner cluster, false corners and so on. To solve this problem, an image registration method based on improved Harris corner detection algorithm was proposed. Firstly, the image was divided into 3×3 sub images. According to the contrast of each sub image, the threshold value of each sub image was set. Then, the detected Harris corners were roughly matched by NCC algorithm. Finally, the error matching corners in rough matching were removed by RANSAC algorithm. The experimental results show that corner distribution of the algorithm is more uniform, and the algorithm can effectively increase the number of image matching points in image registration and has a good practicability.

Key words: Harris corner; image registration; NCC; RANSAC

1 引言

图像配准一直以来在计算机视觉、视频监控、医学图像分析、军事侦察、遥感图像处理等领域有着广泛的作用。其中基于特征点的配准方法,具有尺度旋转、仿射不变性、稳定性和鲁棒性^[1]等一些优点,成为目前应用最广泛的配准方法^[2-5]。而近几年围绕基于 Harris 角点检测的图像配准方法成为了许多学者研究的热点。2014 年,李鹏程^[6]等通过修改角点响应函数,引入 8 邻域比较及圆形非极大值抑制,从而避免了人工阈值,有效减少了特征点的误检率。

2015 年,邹志远^[7]等针对 Harris 算法自适应差的问题,提出了一种自适应阈值的检测算法,从而使角点检测具有自适应性、角点个数合理、均匀。2016 年,张东^[8]等提出一种 Harris 与 Sift 相结合的算法对图像特征进行提取,从而提高了提取的特征准确性、鲁棒性。

但是由于图像局部区域的特征点的分布不同,若一幅图像只是用单个阈值,会使得 Harris 算法适应性很差^[9],并且易出现特征点聚簇和伪角点的现象,针对此问题本文提出了一种改进的 Harris 角点

基金项目:重庆市基础与前沿研究计划项目(No. cstc2015jcyjA40051)资助。

作者简介:张见双(1989-),男,硕士研究生,主要研究方向为图像分析与处理。E-mail:1500072022@qq.com

通讯作者:张红民(1970-),男,博士,教授,主要研究方向为图像处理与模式识别。E-mail:Hmzhang@cqut.edu.cn

收稿日期:2016-05-20;修订日期:2016-06-24

检测算法。

2 Harris 角点检测原理及局限性

Harris 算子是 Harris C 和 Stephens M J^[10] 首次提出来的。其主要思想就是利用图像的自相关性和微分运算来检测图像特征点,具有较强的鲁棒性和稳定性。

2.1 Harris 算法原理

Harris 算子主要是通过自相关函数来确定像素点位置,再构造一个与之相关的矩阵 M ,通过比较矩阵特征值大小来确定该像素点是否为角点。

对于图像 $I(x,y)$,在点 (x,y) 处平移 $(\Delta x, \Delta y)$ 后的自相似性可以通过自相关函数公式(1)得到:

$$E_{x,y} = \sum_{(u,v) \in W(x,y)} w(u,v) (I(x,y) - I(u + \Delta x, v + \Delta y))^2$$

$$= [\Delta x, \Delta y] M(x,y) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $w(x,y)$ 是以点 (x,y) 为中心的窗口函数,一般取高斯加权函数,如公式(2), I_x, I_y 是函数 $I(x,y)$ 的偏导数,矩阵 $M(x,y)$ 为公式(3):

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

$$M(x,y) = \sum_w \begin{bmatrix} I_x(u,v)^2 & I_x(u,v)I_y(u,v) \\ I_x(u,v)I_y(u,v) & I_y(u,v)^2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \quad (3)$$

矩阵 $M(x,y)$ 的两个特征值的大小反应了像素点的突出程度,在实际运用中,常常利用公式(4)来计算特征点的响应,称 R 为角点的响应值,如果 R 大于设定的阈值 T ,则该点为角点,否则,就不能判断为角点。

$$R = \det M - k(\text{trace} M)^2 \quad (4)$$

其中, $\det M$ 为矩阵 M 的行列式, $\text{trace} M$ 为矩阵 M 的迹。

2.2 Harris 算法的局限性

Harris 需要手动的设置阈值 t 来进行检测角点,但如果整幅图像只用一个阈值,阈值过大,特征点过少,就不能充分描述图像特征;阈值过小,特征点过多,易产生特征点聚簇、伪角点,增加了后续的处理时间。

3 改进的 Harris 算法与图像配准

针对传统 Harris 角点检测算法的不足,本文提出了一种分割子图的方法,首先将图像分割成无重叠的 3×3 的子图,然后根据子图对比度大小自适应阈值。

3.1 子图自适应阈值算法原理

图像对比度是图像的一个重要参数,子图中对比度越大,表示该子图图像的明暗变化显著,也表示该子图中有大量的角点;相反,该子图所含的角点比较少。

为了准确地表示子图中图像的对比度大小,一般采用局部灰度均方差的方法^[11],通常用 σ 表示。

对于低对比度子图,其图像中像素灰度值差异比较小,所以该区域的均方差的值也比较小,对应的设置阈值也小些;相反,对于高对比度子图,其图像像素灰度值差异比较大,所以该区域的均方差的值也比较大,对应的设置阈值较大些。这样,根据每个子图对比度的大小设置子图的阈值能够是检测出的角点个数合理、分布均匀。

具体步骤如下:

(1) 将待检测的图像进行分割,分割成 3×3 的子图;

(2) 计算每个子图的灰度值得平均值;

$$\bar{I} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I_{ij} \quad (5)$$

式中, $m \times n$ 为子图的尺寸大小, I_{ij} 为 (i,j) 点的灰度值;

(3) 计算每个子图灰度值的均方差;

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i \sum_j (I_{ij} - \bar{I})^2} \quad (6)$$

(4) 对每个子图的均方差进行排序,求出最大均方差的值 D_{\max} ;

(5) 根据均方差的大小进行设置阈值 T 的大小,如下公式所示:

$$T = \begin{cases} k & 0 < D \leq D_{\max}/2 \\ 2 \times k & D_{\max}/2 < D \leq 4 \times D_{\max}/5 \\ 5 \times k & 4 \times D_{\max}/5 < D \leq D_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

式中,当 $4 \times D_{\max}/5 < D \leq D_{\max}$ 时, $T = 5 \times k$,能够有效减少高对比度区域中特征点的数量,避免特征点聚簇现象;当 $D_{\max}/2 < D \leq 4 \times D_{\max}/5$ 时, $T = 2 \times k$,为一般对比度区域,能够保持一定的特征点数量;当 $0 < D \leq D_{\max}/2$ 时, $T = k$,能够增加低对比度区域的特征点数量。使用该方法能够在保证一定特征点数量的同时,有效避免特征点聚簇和增加低对比度区域的特征点数量,是特征点分布均匀。其中 k 为阈值的一个参数值,一般取经验值 $k = 1500$ 。

3.2 Harris 角点的匹配

本文采用归一化互相关的方法对角点进行描述与粗匹配。

模板窗口函数在两幅待配准图像上的的归一化互相关系数的值作为配准准则^[12],如公式(8):

$$NCC = \frac{\sum_{(x,y) \in w} [I_1(x,y) - \bar{I}_1][I_2(x,y) - \bar{I}_2]}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in w} [I_1(x,y) - \bar{I}_1]^2} \sqrt{\sum_{(x,y) \in w} [I_2(x,y) - \bar{I}_2]^2}} \quad (8)$$

其中, \bar{I}_1 、 \bar{I}_2 分别为两幅待配准的图像的特征点为中心的模板 w 的像素灰度平均值。

在遍历搜索过程中记录下每个窗口内的相关值,互相关最大的位置标记为匹配的位置。虽然 NCC 算法简单,但常常出现很多误匹配点对^[13]。本文采用随机抽样一致性算法(RANSAC)对匹配结果进行筛选,消除误匹配点对^[14]。

4 实验结果

为了验证本文算法的实际效果,本文采用三组来源不同的图像进行实验对比。本文实验硬件环境如下:CPU Intel(R) Core(TM) i5-2450M;内存为 4GB;64 位 window7 操作系统,软件实施平台为 Matlab 2014a。

3 组图像如图 1 所示,其中(a)、(b)为实景拍摄的兰花图像,大小为 570×456 ; (c)、(d)为图像数据库中雪山的图像,大小为 516×375 ; (e)、(f)为网络采集的轮船图像,大小为 666×960 。

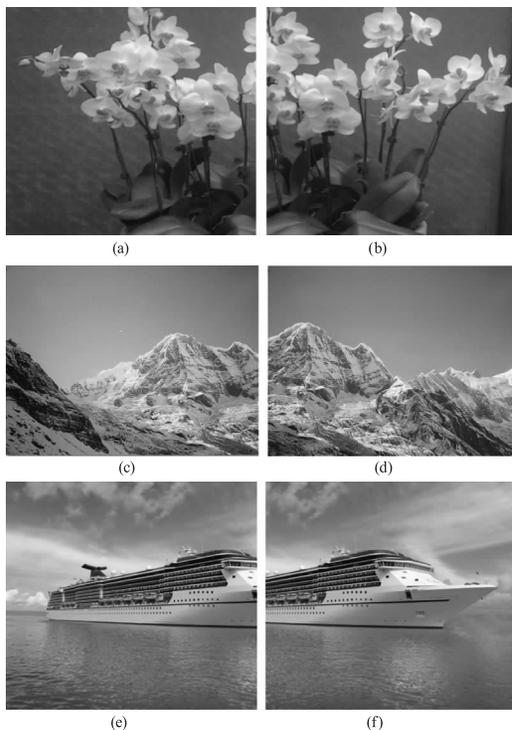


图 1 3 组测试图像

Fig. 1 Three groups of testing images

首先为了验证本文算法在特征点提取上的优势,分别采用改进的 Harris 角点检测算法和传统的 Harris 角点检测算法对图 1 中 3 组测试图像进行比较试验。特征点数量和时间统计结果如表 1 所示。改进的 Harris 角点检测算法相对传统的 Harris 角点检测算法在特征点数量上具有很大的优势。在图 1 中的 3 组图像角点检测数量上增幅都在 18% 以上,图 1(b)的特征点数量增幅达到了 40%。

表 1 角点检测结果比较

Tab. 1 Comparison of the two algorithms

	特征点数量		时间/s	
	传统 Harris	改进 Harris	传统 Harris	改进 Harris
图 1(a)、(b)	197	281	0.780	0.791
图 1(c)、(d)	435	534	0.578	0.594
图 1(e)、(f)	430	510	0.601	0.611

为了证明改进算法在特征点分布上的优势,图 2 所示为图 1 中三组图像的特征点分布对比试验图,从图中可以看出改进的 Harris 角点检测出的特征点分布相对传统 Harris 角点检测出的特征点分布较均匀。

为了验证改进 Harris 角点检测算法在图像匹配上的效果,本文采用改进的 Harris 角点检测算法和传统 Harris 角点检测算法对图 1 中的三组图像进行图像配准测试,具体的实验数据统计如表 2 所示。虽然改进的 Harris 角点图像配准算法在时间消耗上稍长,但在正确匹配点对数上有一定的优势。每组图像增加的正确匹配点对数都在 10% 左右,第一组测试图像正确匹配点对数的增幅达到了 16%。

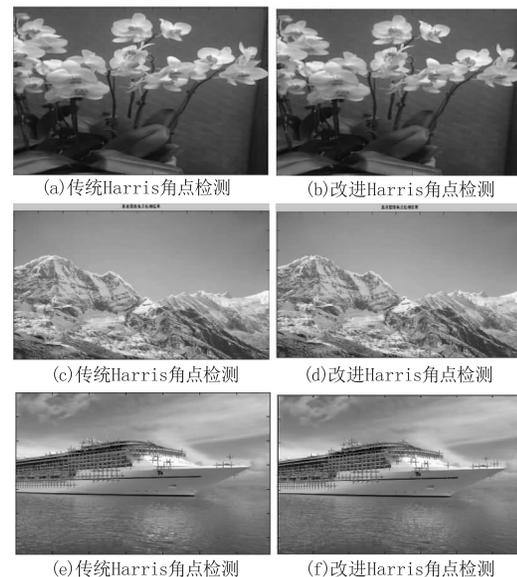


图 2 特征点分布比较

Fig. 2 The comparison of feature points distribution

5 结论

针对传统的 Harris 角点检测算法中,整幅图像单个阈值出现的角点聚簇、伪角点现象,本文采用了一种改进的 Harris 角点检测图像配准算法,该算法引入了分割子图的方法,根据每个子图的对比度的变化差异来设置每个子图的阈值,然后利用 NCC 对图像粗匹配,最后使用 RANSAC 算法误匹配点对进行剔除,实现图像精配准。实验表明,该改进算法能够有效避免角点聚簇的现象,使检测出的角点分布比较均匀,并能增加图像的正确匹配点对数。为下一步的图像融合打下基础。

表2 传统 Harris 和改进 Harris 角点检测算法的匹配点对数和时间统计对比表

Tab.2 Comparison of the matching points and time for the traditional and improved Harris algorithms

图片	传统 Harris 角点配准				本文改进 Harris 角点配准			
	特征点数量	粗匹配点对数	正确匹配点对数	时间/s	特征点数量	粗匹配点对数	正确匹配点对数	时间/s
图 1(a)	197		281					
图 1(b)	204	96	81	2.21	253	112	94	2.45
图 1(c)	435		534					
图 1(d)	418	145	94	3.42	405	148	108	3.57
图 1(e)	540		567					
图 1(f)	430	376	373	4.36	510	403	400	4.59

参考文献:

- [1] WANG Pengcheng, LONG Yongxin, WEN Zhiqiang, et al. An image matching method based on edge integral and neighborhood purification[J]. Computing Technology and Automation, 2015, 34(3): 100-104. (in Chinese)
王鹏程, 龙永新, 文志强, 等. 一种基于边缘积分与邻域提纯的图像匹配算法[J]. 计算技术与自动化, 2015, 34(3): 100-104.
- [2] WU Weijiao, WANG Min, HUANG Xinhan, et al. SIFT feature matching algorithm based on vector angle[J]. PR & AI, 2013, 23(1): 123-127. (in Chinese)
吴伟交, 王敏, 黄心汉, 等. 基于向量夹角的 SIFT 特征点匹配算法[J]. 模式识别与人工智能, 2013, 23(1): 123-127.
- [3] Zhang K, Li X, Zhang J. A robust point-matching algorithm for remote sensing Image registration[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11(2): 469-473.
- [4] Wu Y, Ma W, Gong M, et al. A novel point-matching algorithm based on fast sample consensus for image registration[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 1(99): 1-5.
- [5] WEN Wenya. An improved algorithm for harris multi-scale corner detection[J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science, 2012, 26(8): 94-97. (in Chinese)
温文雅. 一种改进的 Harris 多尺度角点检测算法[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2012, 26(8): 94-97.
- [6] LI Pengcheng, ZENG Yumin, ZHANG Meng. Improved image mosaic algorithm based on Harris corner[J]. Journal of Nanjing normal university, 2014, 14(1): 70-75. (in Chinese)
李鹏程, 曾毓敏, 张梦. 基于改进 Harris 的图像拼接算法[J]. 南京师范大学学报, 2014, 14(1): 70-75.
- [7] ZOU Zhiyuan, AN Bowen, CAO Fang, et al. Adaptive corner point detection of infrared images[J]. Laser & Infrared, 2015, 45(10): 1272-1276. (in Chinese)
邹志远, 安博文, 曹芳, 等. 一种自适应红外图像角点检测算法[J]. 激光与红外, 2015, 45(10): 1272-1276.
- [8] ZHANG Dong, YU Chaogang. Image mosaic technology based on feature point match[J]. Computer Systems & Applications, 2016, 25(3): 107-112. (in Chinese)
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.
- [9] HE Bogen, ZHU Ming, YANG Yuetao, et al. Application of Harris corner points locating testing of metal hardness[J]. Laser & Infrared, 2010, 46(11): 173-175. (in Chinese)
贺柏根, 朱明, 杨粤涛, 等. Harris 角点在金属材料硬度检测中的应用[J]. 激光与红外, 2010, 46(11): 173-175.
- [10] Harris C, Stephens M J. A combined corner and edge detector[C]// Proceedings of the 4th Alley Vision Conference, Manchester, England: IEEE, 1988: 147-151.
- [11] Sun Liang, Wang Shuangqing, Xing Jianchun. Self-adaption Harris corner detection algorithm based on image contrast area[C]// International Conference on Chinese Control and Decision Conference, China: IEEE, 2015: 2287-2290.
- [12] GUO Xiaoran, CUI Shaohui. Image registration using harris in projective transformation model[J]. Microelectronics & Computer, 2014, 31(4): 18-23. (in Chinese)
郭晓冉, 崔少辉. 透视变换模型的 Harris 图像配准[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(4): 18-23.
- [13] Bay H, Tuytelaars T, Van Gool L. Computer Vision-ECCV 2006[M]. Springer Berlin Heidelberg, 2006: 404-417.
- [14] LIU Hui, SHEN Hailong. Image match method based on improved SIFT algorithm[J]. Microelectronics & Computer, 2014, 31(1): 38-42. (in Chinese)
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.