

# 基于改进 Harris 的图像拼接算法

李鹏程,曾毓敏,张 梦

(南京师范大学物理科学与技术学院,江苏 南京 210023)

[摘要] 针对传统 Harris 角点检测算法进行改进,提出了一种基于改进 Harris 的图像拼接算法.首先,通过修改角点响应函数,引进 8 邻域比较以及圆形非极大值抑制窗口,采用 NCC 算法对检测出的 Harris 角点进行粗匹配,采用 RANSAC 算法剔除误匹配,最后对匹配图像进行图像融合,完成图像拼接.仿真结果表明,该算法提高了图像拼接的准确性、稳定性和鲁棒性,能够达到无缝拼接,具有优良的实用性.

[关键词] Harris,图像拼接,NCC,RANSAC

[中图分类号]TP391.41 [文献标志码]A [文章编号]1672-1292(2014)01-0070-06

## Improved Image Mosaic Algorithm Based on Harris Corner

Li Pengcheng,Zeng Yumin,Zhang Meng

(School of Physics and Technology,Nanjing Normal University,Nanjing 210023,China)

**Abstract:**An improved algorithm for image mosaic is proposed based on Harris corner detection. First, the improved algorithm changes the corner response function, calculates the similarity within 8 neighborhoods of the target pixel and makes non-maxima suppression within the circular region. Then, it makes a coarse matching for the detected Harris corner points by using the NCC algorithm. Then, it reduces the false matched pairs by RANSAC algorithm. At last, the algorithm fuses the spliced images and eliminates the stitching gaps to complete image mosaic. Simulation results show that this improved algorithm increases the accuracy, stability and robustness of image mosaic. In a word, this improved algorithm can reach a target of seamless mosaic and has good practicability.

**Key words:**Harris, image mosaic, NCC, RANSAC

图像拼接(Image Mosaic)<sup>[1]</sup>研究如何把几张有重叠部分的图像拼接成一幅大视角高分辨率图像,从而满足人们对研究的需要.确切地说,图像拼接就是将一组相互之间存在重叠部分的图像序列先进行空间配准,再经过图像变换、重采样和图像融合形成一幅包含每个图像序列的宽视角或者 360°视角的完整的、高清晰的全景图像的技术.为了能够获得大视角乃至超大视角的高分辨率图像,一般采用扫描式相机或者广角镜头来解决全景问题<sup>[2]</sup>.图像拼接技术的出现使得图像采集设备更趋普通化,使用普通的数码相机就可获得所需要的图像.该技术被广泛使用于计算机视觉、图像处理、计算机图形学、医学图像分析及虚拟现实等领域中.

图像拼接的方法很多,不同的算法步骤会有一定的差异,但其流程大致相同.基于特征的图像拼接技术主要包括 3 个重要步骤:特征提取、图像配准和图像融合.图像配准(Image Matching)用于将不同时间、不同视角、不同传感器及不同拍摄条件下获取的两幅甚至多幅图像进行匹配.目前图像配准采用的算法主要分为基于灰度的匹配算法和基于图像特征的匹配算法两种.图像融合是将经过图像配准以后所获得的图像,经过调节局部的光照强度或色彩,最终实现图像的无缝拼接.特征提取是基于特征的图像拼接技术中非常重要的一个步骤.角点特征因具有信息量丰富、便于测量和表示、能够适应环境光照变化、几何变形等优点而成为许多特征匹配算法的首选.

利用 Harris 算法来实现图像拼接,是图像拼接的一种经典方法,对此进行的改进算法也很多<sup>[3-7]</sup>.本文提出一种基于改进 Harris 的图像拼接算法,首先改进传统的 Harris 角点检测算法,将改进的算法运用到特征提取上,通过对检测到的特征点进行图像配准,运用随机抽样一致性(RANSAC)算法提纯匹配点,最

后进行图像融合,实现图像拼接.通过对实景图进行测试,改进算法稳定可靠,较好地实现了无缝拼接,具有良好的应用效果.

## 1 图像拼接算法原理及其改进

基于 Harris 角点检测的图像拼接算法的流程如图 1 所示.对于基于角点检测的图像拼接算法,需要拍摄图像以获得参考图像和待拼接图像,对所拍摄的图像进行预处理,然后进行角点检测提取所需的角点.通过对提取的角点进行配准,获得准确的匹配对,进行图像融合,实现图像的无缝拼接.

### 1.1 传统 Harris 算法原理

Harris C 和 Stephens M J<sup>[8]</sup>于 1988 年提出的 Harris 算子是一种点特征提取算子,他们在 Moravec 算子的基础上进行了改进,形成了 Harris 角点检测算法. Harris 算子可以获得所有方向上的自相关变化(也即灰度变化),它用一个自相关函数来计算灰度信号在二维方向上具有明显变化的像素点位置,构造一个与之相关的矩阵  $M$ ,通过比较矩阵  $M$  的特征值的大小可以轻松地提取相应的角点.

图像  $I(x, y)$ , 当在  $(x, y)$  处平移  $(\Delta x, \Delta y)$  后的自相关性,可以通过自相关函数给出:

$$c(x, y, \Delta x, \Delta y) = \sum_{(u, v) \in W(x, y)} w(u, v) (I(u, v) - I(u + \Delta x, v + \Delta y))^2, \quad (1)$$

其中,  $W(x, y)$  是以点  $(x, y)$  为中心的窗口,  $w(u, v)$  为加权函数.

根据泰勒展开,对图像  $I(x, y)$  在平移  $(\Delta x, \Delta y)$  后进行一阶近似,则式(1)可近似为:

$$c(x, y, \Delta x, \Delta y) \approx \sum_{(u, v) \in W(x, y)} \left\{ [I_x(u, v) - I_y(u, v)] \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \right\}^2 = [\Delta x, \Delta y] M(x, y) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\text{其中, } M(x, y) = \sum_{(u, v) \in W(x, y)} \begin{bmatrix} I_x(x, y)^2 & I_x(x, y)I_y(x, y) \\ I_x(x, y)I_y(x, y) & I_y(x, y)^2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

二次项函数在本质上来说,是一个椭圆函数.椭圆的扁率和尺寸由  $M(x, y)$  的特征值  $\lambda_1, \lambda_2$  决定,椭圆的方向则由  $M(x, y)$  的特征矢量决定.在实际的算法中,为避免计算矩阵  $M$  的特征值,常通过式(4)来计算特征点的响应:

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

其中,  $R$  为角点响应值;  $\det M$  为矩阵  $M$  的行列式;  $\text{trace} M$  为矩阵  $M$  的迹;  $\alpha$  为经验常数,一般在 0.04 ~ 0.06 的范围内选取.当目标像素点的角点响应值大于给定的阈值时,该像素点即为角点.

### 1.2 特征点匹配

进行 Harris 角点检测后,需对提取出的特征点(角点)进行匹配,图像的配准就是将两幅图像的特征点一一对应.基于灰度的匹配算法是图像匹配中常用的方法,本文采用归一化积相关(NCC)算法来进行匹配.

NCC 的原理为:假设待搜索图像  $S$  的尺寸为  $M \times M$ ,模板的尺寸为  $N \times N, M \gg N$ ,其中  $M, N$  代表图像像素.模板  $T$  在图像  $S$  上平移,搜索窗口所覆盖的子图记为  $S^{i,j}$ ,  $(i, j)$  为子图的左上角定点在搜索图  $S$  中的坐标.通过相关函数计算子图与实时图的灰度相关值.对搜索图自上而下、自左而右遍历搜索,记录下每一个子图位置的相关值,互相关值最大的子图位置标记为匹配位置.

在实际的运用中, NCC 算法可定义为:

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - \overline{S^{i,j}}] \times [T(m, n) - \bar{T}]}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - \overline{S^{i,j}}]^2} \times \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m, n) - \bar{T}]^2}}. \quad (5)$$

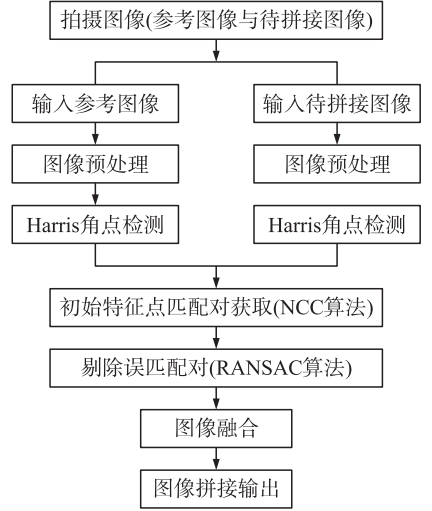


图 1 基于改进 Harris 的图像拼接流程图

Fig. 1 Image mosaic flow based on Harris

1.3 图像的几何配准

确定了要配准的两幅图像的对应点后,利用这些对应点,以一幅图像为参考,求解出两幅图像间几何变换矩阵  $\boldsymbol{H}$  的参数,将另一幅目标图像归一化到以参考图像为标准的坐标系中.

给定两幅图像间的投影变换为:

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_3 & h_6 \\ h_1 & h_4 & h_7 \\ h_2 & h_5 & h_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \boldsymbol{H} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}, \tag{6}$$

式中,  $\boldsymbol{H}$  称为变换矩阵,  $\boldsymbol{H}$  的参数求解采用 RANSAC 算法.  $\boldsymbol{H}$  有 8 个自由度,理论上至少选择 4 对角点就可以估计出  $\boldsymbol{H}$ . 由式(6)可得:

$$\begin{cases} x'_i = \frac{h_0x_i+h_3y_i+h_6}{h_2x_i+h_5y_i+h_8} \\ y'_i = \frac{h_1x_i+h_4y_i+h_7}{h_2x_i+h_5y_i+h_8} \end{cases} \tag{7}$$

这样 4 对角点得到 8 个独立的线性方程,通过方程组解得的  $\boldsymbol{H}$  就可将目标图像上的点一一对应地归一化到参考图像坐标中.

RANSAC 算法是一种鲁棒的变换估计算法,其随机选取两个点来确定一条直线,将这条直线一定距离范围内的点作为这条直线的支撑. 随机选择重复多次,具有最大支撑特征集的直线被确认为样本点集的拟合. 在拟合的误差距离内的点称为内点,在拟合的误差距离外的点称为外点. 将外点剔除,能够增强图像配准的鲁棒性,使配准效果更佳,便于最后融合拼接.

1.4 图像融合

图像融合的目的是为了把配准后的图像根据变换模型合并成一幅图像,且要求是一幅无缝的拼接图像. 所谓无缝<sup>[9]</sup>,即指在图像拼接过程中,不应该看到两幅图像在拼接过程中留下的痕迹,即不能出现图像拼接缝隙.

为了消除重叠区的拼接问题,本文采用目前应用较为广泛的重叠区线性过渡方法. 该方法假设重叠区域宽度为  $L$ ,取一个过度因子  $\sigma(0 \leq \sigma \leq 1)$ . 两幅图像重叠区域的  $X$  轴和  $Y$  轴的最大值和最小值分别为  $x_{\max}, x_{\min}$  和  $y_{\max}, y_{\min}$ ,则过渡因子可以通过式(8)得到:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \tag{8}$$

设  $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$  分别为参考图像和待接图像在点  $(x, y)$  处的图像像素灰度值,则融合后的图像灰度值  $I(x, y)$  可通过式(9)确定:

$$I(x, y) = \sigma I_1(x, y) + (1 - \sigma) I_2(x, y). \tag{9}$$

这种方法能够有效地实现重叠区域的平滑过渡,消除拼缝,达到无缝效果.

1.5 改进 Harris 算法

就整体的运用效果而言, Harris 算法是一种非常有效的图像角点提取算法,其优点主要表现在:提取的角点均匀且合理;提取角点稳定可靠;具有一定的旋转不变性. 但同时, Harris 算法也存在着一定的缺陷,主要表现在:角点响应参数  $k$  的设置是凭经验值决定的;角点的定位有偏差;存在着较为明显的漏检以及误检现象等.

在传统算法中,对于角点响应值  $R$  的选取,需要设定经验常数  $\alpha$ ,因而具有一定的随机性. 在实际的运用中,经验常数的选取往往使检测结果偏差很大,影响最后的图像拼接效果. 为计算方便及避免经验常数选取,文献[10]采用了如下方法:

$$R = [I_x^2 * I_y^2 - (I_x I_y)^2] / (I_x^2 + I_y^2 + \varepsilon), \tag{10}$$

其中,  $\varepsilon$  表示任意小的正数.

文献[11]中提到一种改进的方法,在后续的应用中<sup>[12]</sup>也证实了其有效性. 本文的改进算法吸收其有效之处. 对于目标像素点,考虑其  $3 \times 3$  窗口内 8 邻域范围内的像素点,计算该范围的像素点与目标像素点的灰度差的绝对值,若该值小于设定的阈值,则认为该像素点与目标像素点相似. 统计在目标像素点 8 邻

域范围内与之相似的像素点的个数,记为  $nLike$ ,其中  $0 \leq nLike \leq 8$ . 若  $nLike = 8$ ,表示当前目标像素点的 8 邻域范围内都是与之相似的像素点,则该像素点为这一区域内部的点,角点检测时排除此类像素点. 若  $nLike = 0$ ,表示当前像素点的 8 邻域范围内没有与之相似的像素点,该像素点为孤立像素点或噪声点,角点检测时排除此类像素点. 若  $nLike = 7$ ,如图 2 表示,可归结为两种情况(其他情形均可通过旋转得到). 对左图,可能的角点应为目标像素点正上方的那个像素点,右图中可能的角点应为目标像素点右上方的那个像素点,故这种情况下,目标像素点不应该作为角点的候选点. 若  $nLike = 1$ ,可归结为图 3 中的两种情况(图中白色区域仅表示与目标像素不相似,而两个白色区域像素可能是相似的,也可能不相似),在这种情况下,目标像素点不可能是角点,应直接排除. 若  $2 \leq nLike \leq 6$   $nLike$ ,目标像素点作为角点候选点.

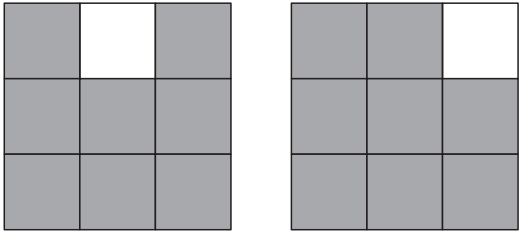


图 2  $nLike=7$  的两种情况  
Fig. 2 Two cases when  $nLike=7$

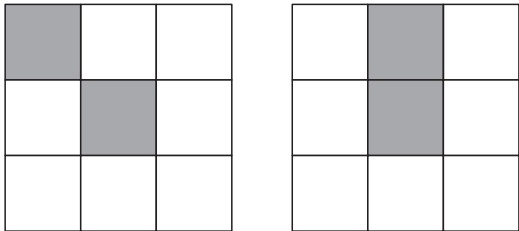


图 3  $nLike=1$  的两种情况  
Fig. 3 Two cases when  $nLike=1$

通过以上的步骤排除一部分的候选像素点后,再计算余下候选点的角点,其准确性将大大提升. 对于这部分的改进,是在图像预处理时对像素点进行一个初始选择,主要采用加法运算,运算量为  $8 \times M \times N$ (假设图像尺寸为  $M \times N$ ,且不考虑边界的影响). 因为并未涉及到乘法运算,而后续的算法前剔除了大量的非角点候选点,因而大大减少了乘法的计算次数,计算效率明显提高.

传统 Harris 算法中,在进行非极大值抑制时选用的模板区域为  $3 \times 3$  或  $5 \times 5$  等形式的矩形框. 以  $3 \times 3$  来说明,即通过矩形框中间点与周围 8 个点逐次比较,若周围的 8 个点的角点响应值都比中心点小,则将中心点标志为区域内的极大值.

若将矩形窗口换成圆形窗口,根据圆的性质,当图像发生旋转时,中心点的非极大值抑制窗口不发生变化,这将会对图像旋转不变性有一个更好的改善. 且适当调整圆形窗口的半径,可获得最佳的检测效果. 当圆心处的角点响应值就是窗口内的最大角点响应值且最大角点响应值与第二大角点响应值不相等的时候,可认定圆心处的角点响应值就是该窗口圆区域内的最大角点响应值,圆心所在位置就是所需的角点.

## 2 实验结果

实验所用设备为 Acer 的 E430 台式电脑,操作系统为 Windows 7 系统,CPU 为 Core i3-2130 @ 3.4GHz,4G 内存,Matlab 2009.

为验证改进算法的实际效果,本次拼接所用图片均采用实景拍摄图. 图 4 中两幅图片为本次图像拼接实验的拼接样图,采用无广角镜头的普通相机进行拍摄取景. 如图 4 所示,图 4(a)、(b)分别为实景的左视角图和右视角图.



(a)左视角图 (b)右视角图

图 4 拼接原图

Fig. 4 The original pictures



图 5 所示为图 4 中两幅图经过改进的角点检测算法所检测到的角点示意图,其中圆圈标记为检测到的角点. 由表 1 可以看出,图 4(a)检测到的角点数为 144,图 4(b)检测到的角点数为 248.

从图 5 可以看出,图像中例如天空等比较平滑的区域并没有误检测出角点,角点主要分布于楼房等角点突出的区域,且角点分布相对均匀,说明改进算法具有较好的准确性. 对于两幅不同视角的图像,改进的 Harris 角点检测算法都能够达到比较好的效果,对实景图的测试也表现出了良好的效果.

表 1 实验数据表

Table 1 The experimental data sheet

	左视角图	右视角图
角点检测数	144	248
NCC 粗匹配对	38	
RANSAC 精匹配对	11	



(a)左视角图角点检测效果 (b)右视角图角点检测效果

图 5 改进 Harris 检测到的角点

Fig. 5 The detected corners based on improved Harris

图 6 为检测出的角点经过 NCC 粗匹配后的效果图,直线连接的为一对匹配点. 从表 1 中可以看出,经过 NCC 粗匹配后,共有 38 对匹配对. 从图 6 可以看出,NCC 粗匹配出现了很多的误匹配现象,这些误匹配对若不进行剔除,将会严重干扰到后续的图像拼接工作. 图 7 为经过 RANSAC 剔除后的匹配对,可以看出,RANSAC 剔除了所有的误匹配对,且对很多冗余的匹配对也进行了剔除,剔除后的匹配对不存在误匹配现象.

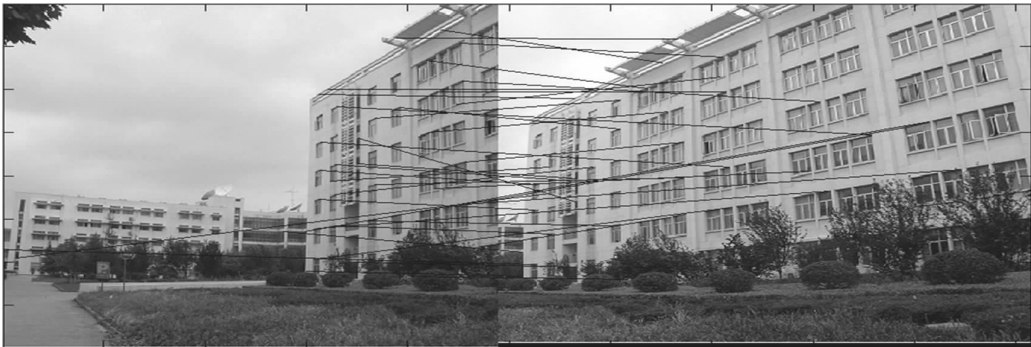


图 6 NCC 粗匹配图

Fig. 6 Image registration based on NCC



图 7 RANSAC 精匹配图

Fig. 7 Image registration based on RANSAC

图 8 为最终的图像拼接效果图,可以看出,改进算法较好地两幅不同的图像进行了拼接,且在图像拼接的过渡区实现了无缝,效果较为理想.



图 8 图像拼接效果图

Fig.8 The final image of image mosaic

### 3 结语

本文提出了一种基于改进的 Harris 角点检测的图像拼接算法,通过修改角点响应函数,引进 8 邻域比较及圆形非极大值抑制窗口,避免了经验常数的人工选取,有效减少了特征点的误检测现象,具有更加优良的准确性、稳定性和鲁棒性. 通过将改进的角点检测算法运用到图像拼接过程中,取得了良好的效果,提高了拼接的精准度. 通过 Matlab 的仿真结果可以看出,拼接的结果比较理想,改进算法具有良好的运用效果.

#### [参考文献](References)

- [1] Shum H Y, Szeliski R. Panoramic image mosaics, MSR-TR-97-23[R]. Redmond: Microsoft Research, 1997.
- [2] Yong H, Chung R. Image mosaicing for polyhedral scene and in particular singly visible surfaces[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(3): 1 200-1 213.
- [3] 赵辉, 陈辉, 于泓. 一种改进的全景图自动拼接算法[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(2): 336-342.  
Zhao Hui, Chen Hui, Yu Hong. An improved fully-automatic image mosaic algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(2): 336-342. (in Chinese)
- [4] Guandong G, Kebin J. A new image mosaics algorithm based on feature points matching[C]//Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control. Kumanoto: IEEE, 2007: 471-471.
- [5] Zhao H, Huang D. Sequence images mosaic method based on vehicle-mounted camera[C]//Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design(ISCID). Hangzhou: IEEE, 2012: 491-494.
- [6] Subramanyam M V. Automatic image mosaic system using steerable Harris corner detector [C]//2012 International Conference on Machine Vision and Image Processing(MVIP). Coimbatore: IEEE, 2012: 87-91.
- [7] Li X, Gong P. A point feature-based cylindrical image mosaic method[C]//2011 International Conference on Multimedia Technology(ICMT). Hangzhou: IEEE, 2011: 4 780-4 783.
- [8] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Proc of the 4th Alvey Vision Conference. Cambridge: Alvey Vision Club, 1988.
- [9] 赵向阳, 杜利民. 一种全自动稳健的图像拼接融合算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(4): 417-422.  
Zhao Xiangyang, Du Limin. An automatic and robust image mosaic algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(4): 417-422. (in Chinese)
- [10] 周龙萍. 基于改进的 Harris 算法检测角点[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(2): 11-14.  
Zhou Longping. Corners detection based on improved Harris algorithm[J]. Journal of Computer Technology and Development, 2013, 23(2): 11-14. (in Chinese)
- [11] Wang W, Tang L, Ren L, et al. An improved algorithm for Harris corner detection[J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16: 1995-2001.
- [12] Qingji G, Ping X, Man W. Breakage detection for grid images based on improved Harris corner[C]//2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering(TMEE). Changchun: IEEE, 2011: 2 339-2 342.

[责任编辑: 严海琳]