

一种改进的 Harris 角点图像拼接算法

仇国庆 冯汉青 蒋天跃 涂乐飞

(重庆邮电大学自动化学院 重庆 400065)

摘要 主要研究图像拼接的优化问题,针对传统的 Harris 角点检测算法进行了改进。避免了角点响应函数中的 k 值和检测过程中的阈值 T 的选取对角点检测带来的影响。在图像拼接过程中通过 NCC 对图像进行配准,采用加权平均法对拼接后的图像进行融合并消除拼接缝隙,从而提高了运算的速率。为验证其有效性,该算法被应用于一个图像拼接的实例中,仿真结果表明,该算法缩短了图像拼接所消耗的时间,提高了图像拼接的精度和效率,能够达到无缝拼接的效果,具有良好的实用性。

关键词 Harris 角点检测,图像拼接,图像配准,加权平均,图像融合

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Improved Image Mosaic Algorithm Based on Harris Corner

QIU Guo-qing FENG Han-qing JIANG Tian-yue TU Le-fei

(College of Automation, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract In order to solve image mosaic optimization problems, a novel improved algorithm is proposed based on the traditional Harris vertex examination algorithm. The proposed algorithm effectively avoids the affecting of selecting k in the corner response function and the threshold T in detection process. During the process of image mosaic, image registration was improved by NCC. And the mean method was used to fuse spliced images and eliminate stitching gaps. In order to verify the effectiveness, the proposed algorithm was evaluated in an example of image mosaic. Simulation results show that this algorithm increases the precision and the efficiency of image mosaic. Consequently, this algorithm can efficiently achieve a goal of seamless mosaic and satisfy the actual demand.

Keywords Harris corner detection, Image mosaic, Image registration, Weighted average, Image fusion

1 引言

图像拼接技术是指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、重采样和图像融合后形成一幅包含每个图像序列的宽视角或 360° 视角的全景图像的技术^[1]。图像拼接可以很好地解决鱼镜头等设备的不足,具有重要的实用意义,广泛应用于遥感图像处理、地理信息系统、虚拟现实技术、视频拼接、医学图像分析、机器人视觉和 3D 图像重建等领域。近年来,其也逐渐成为计算机数字图像处理领域中的一个研究趋势^[2-4]。

图像拼接技术主要包括 3 个重要步骤:特征提取、特征配准和图像融合^[5]。其中图像配准是整个图像拼接技术的核心部分,直接决定了图像拼接结果的质量。图像配准算法主要分为 3 类:基于灰度图像的匹配^[6]、基于特征的匹配^[7,8]和基于变换域的匹配^[9]。而基于特征点的图像拼接算法中, Harris 角点检测算法因其稳定性、鲁棒性和可靠性得到了广泛的应用。但是 Harris 角点检测由于其阈值、变量长 k 和高斯差分函数没有确定值,使得 Harris 角点检测算法在精确定位时不能满足要求,容易产生伪角点。针对以上不足,本文提出—

种基于 Harris 角点检测的改进拼接算法,首先对传统的角点响应函数进行了改进,避免以往由 k 的选取而造成的误差;其次提出了一种适用于图像拼接的自适应阈值 T ,避免人为选取的弊端,同时对图像的配准进行优化,有效剔除了伪配准点;最后将改进后的 Harris 角点检测算法成功地应用于图像拼接,验证了算法的实用性和有效性^[10]。

2 图像特征检测

2.1 常用的角点检测算法的比较

常用的角点检测算法有 Moravec 角点检测算法、Harris 角点检测算法和 SUSAN 角点检测算法,其中 Moravec 角点检测算法是一种比较传统的提取兴趣点的算法,该算法是通过计算水平、垂直、对角线、反对角线 4 个方向上的灰度方差来检测角点。而 Harris 角点检测算法是基于图像的灰度自相关函数的一种算法,直接从原始图像中检测特征点,能够在图像发生灰度变化、旋转和干扰噪声等情况下检测兴趣点。SUSAN 角点检测算法是一种直接利用图像灰度信息的检测算法,不需要进行求导和梯度运算,具有很强的抗干扰能力,检测过程不依赖于前期的分割结果。通过对以上常用算法原

到稿日期:2012-03-21 返修日期:2012-06-12 本文受国家自然科学基金项目(60905066)资助。

仇国庆(1963—),男,硕士,副教授,主要研究方向为图像处理、现场总线控制、智能系统, E-mail: qiuguo@cqupt.edu.cn;冯汉青(1986—),男,硕士生,主要研究方向为数字图像处理、嵌入式操作系统。

理进行分析,可以总结出各个算法在实际应用中的优点和不足,如表 1 所列。

表 1 3 种算法的优缺点对比

算法	优点	不足
Moravec	1. 思路简单,易于实现 2. 判断条件少	1. 定位准确度不高 2. 抗噪声能力较低
Harris	1. 差分求导,计算简单 2. 稳定性和鲁棒性较高 3. 角点提取可靠性高	1. 定位性能差,在需要精确定位时不能满足要求 2. 阈值、变量长 k 和高斯差分函数没有确定值
SUSAN	1. 抗干扰能力强 2. 可检测任何类型的角点	稳定性差,阈值的选取直接影响到检测的准确性

2.2 经典的 Harris 角点检测算法

特征点提取算法要求具有很强的抗干扰能力和鲁棒性,现行的特征提取算法比较多,其中 Harris 角点检测算法在一致性和有效性方面具有优良的性能^[11]。它是一种基于图像局部自相关函数分析的算法。局部自相关函数表示局部图像窗口沿不同方向做小的平移时的局部灰度变化。它的具体算法是通过分析像素周围区域的自相关函数式(1)的自相关矩阵特征值来判断某一点是否是角点。

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

式中, $w(x, y)$ 为窗函数, u, v 为 x, y 方向的微小偏移量, $[I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$ 为图像灰度的梯度值,式(1)可双线性近似表示为:

$$E(u, v) \cong (u, v) M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, M 是 2×2 的实对称矩阵:

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} = w(x, y) \otimes \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, I_x, I_y 分别为图像 x, y 方向上的梯度值, M 描述了图像在这点上的形状。 M 的两个特征值大小反映了像素点“突出”的程度。一幅图像的所有特征点对应了一个特征点函数:

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

式中, k 的值一般按经验取值为 $0.04 \sim 0.06$, 特征点就是此函数的局部极大值点, 设定一个合理的阈值 T , 当实际计算出来的值 R 大于该阈值时, 则表示检测到一个角点。

2.3 一种改进的 Harris 角点检测算法

(1) 由于图像处理中不易求偏导数, 利用 x 和 y 方向梯度算子与原图像做卷积便可求得图像每一点的偏导数。为了提高角点检测的敏感度, 使定位更准确, 将普遍采用的 x 方向的梯度算子 $(-1, 0, 1)$ 改为 $(-2, -1, 0, 1, 2)$, y 方向梯度算子则相应改为 x 方向的转置。然后对图像进行高斯滤波, 构造自相关矩阵 M 。

(2) 在经典 Harris 角点检测算法中, 角点响应函数 CRF 参数 k 的设置是凭经验值决定的, 但在实际应用中, k 值的经验选取使检测结果偏差很大, 影响了最后的图像拼接效果。为了避免 k 值选取, 本文中采用了新的角点响应函数式(5)。

$$\text{CRF} = \frac{\det(M)}{\text{trace}(M) + \delta} \quad (5)$$

式中, δ 是一个任意小的正数, 这种新的角点响应函数的提出, 避免了参数 k 的选取, 实用性更强。

(3) Harris 角点检测的另一个不利因素在于提取角点时的阈值不确定, 阈值过大则检测到的角点可能太少, 阈值过小则会提取过多的角点, 增加了角点匹配的计算量。图 1 中的

(a)和(b)分别为阈值为 5000 和 1000 的 Harris 角点检测结果。

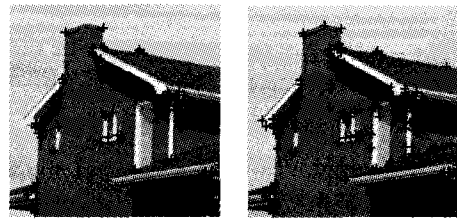


图 1 Harris 角点检测结果

考虑到算法的通用性, 不可能在对每张图片进行处理时都进行比较以得出适合不同图片自身的阈值, 所以就对阈值的自适应能力提出了要求, 根据参考图像自动确定 R 阈值 T : 首先对参考图像设定一个比较小的初始阈值 T_1 , 对大于 T_1 的点取局部极大值, 然后对结果进行排序, 根据要求选取最大的若干个像素点作为候选角点结果, 同时记录该结果角点提取的最小阈值, 作为待拼接图像角点提取的 R 阈值 T 。这样提取的特征点的数目比较合理, R 阈值也可以自动选取, 除首图图像外, 待拼接图像只需提取一次角点, 速度大大提高。另外为使每个特征点周围能提供足够的用于判定匹配的信息, 可剔除匹配作用不大的靠近图像边缘的特征点, 这样也可以加快提取速度。

3 图像拼接

基于 Harris 角点检测的图像拼接算法的流程如图 2 所示。

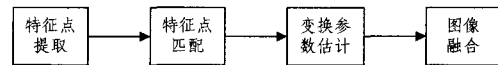


图 2 图像拼接算法流程图

在本文中, 整个图像拼接的仿真过程是基于 matlab7.1 实现的, 算法运行时主函数的部分代码为:

```
%通过 harris 算子检测两幅图像的点
[locs1]=Harris(img1Dup);
[locs2]=Harris(img2Dup);
%通过 NCC 系数找出角点匹配对
[matchLoc1 matchLoc2] = findCorr (img1Dup, img2Dup, locs1, locs2);
%通过 RANSAC 算法计算出变换参数
[H inlierIdx] = estHomography (img1Dup, img2Dup, matchLoc2', matchLoc1');
[imgout]=warpTheImage(H, img1, img2);
figure, imshow(uint8(imgout));
```

3.1 特征点的配准

图像的配准就是将两幅图像的特征点一一对应。在角点提取完成后, 以每个特征点为中心, 取一个 $(2N+1) \times (2N+1)$ 大小的相关窗, 设参考图像第 i 个特征点和输入图像中第 j 个特征点对应的窗口像素的灰度值分别是 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$, 通过归一化互相关函数式(6)进行特征点匹配。

$$\text{NCC}(i, j) = \frac{\sum_{x=1}^{2N+1} \sum_{y=1}^{2N+1} I_1(x, y) I_2(x, y)}{\sqrt{\sum_{x=1}^{2N+1} \sum_{y=1}^{2N+1} I_1^2(x, y)} \sqrt{\sum_{x=1}^{2N+1} \sum_{y=1}^{2N+1} I_2^2(x, y)}} \quad (6)$$

为了避免光照的影响, 可以将图像的平均灰度去掉, 则式

(6)可转换为:

$$NCC(i, j) = \frac{\sum_{x=1}^{2N+1} \sum_{y=1}^{2N+1} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)(I_2(x, y) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x=1}^{2N+1} \sum_{y=1}^{2N+1} (I_1(x, y) - \bar{I}_1)^2 \sum_{x=1}^{2N+1} \sum_{y=1}^{2N+1} (I_2(x, y) - \bar{I}_2)^2}} \quad (7)$$

式中, I 和 I' 代表两幅图像中所有像素点的灰度平均值, NCC 的值为 $[-1, 1]$, $NCC = -1$ 表示两个相关窗口完全不相似, $NCC = 1$ 则表示两个窗口完全相同, 由此对 NCC 进行阈值处理, 设阈值为 0.8。将参考图像中的某个特征点与待拼接图像中的所有特征点经过相关性计算后, 会得到一组系数, 选择相关值大于阈值的特征点对作为候选配准点对。得到的配准点对中仍可能存在伪配准点对, 用约束配准算法去除伪配准对。设点 $A(x_A, y_A)$ 和点 $B(x_B, y_B)$ 分别是参考图像中任意的两个特征点, 在待拼接图像中有两个对应的特征点分别是 $A'(x_{A'}, y_{A'})$ 和 $B'(x_{B'}, y_{B'})$, 如果 (A, A') , (B, B') 的坐标满足如下关系:

$$\frac{|x_A - x_{A'}|}{|y_A - y_{A'}|} = \frac{|x_B - x_{B'}|}{|y_B - y_{B'}|} \quad (8)$$

这说明 (A, A') 和 (B, B') 是两对对应的匹配对, 由此可保证从两幅图像中提取的特征点具有一致性, 这样就可以从配准点对中提取出正确的配准点对。

3.2 变换模型参数估计

确定了两幅图像要配准的对应点后, 以一幅图像为参考图像, 通过匹配点求出变换矩阵, 将待拼接图像变换到一参考图像为标准的坐标系中。参数投影变换模型齐次坐标表示如下:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

式中, H 为投影变换矩阵, (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 为参考图像 I_1 和输入图像 I_2 对应匹配点的像素坐标。

在匹配的过程中, 一些不确定的因素会对变换矩阵的估计带来很大的影响。匹配点的误差不同对矩阵的影响也不同, 因此对不同误差分别加以考虑, 可以提高矩阵的精度。而随机采样算法 (RANSAC) 的计算复杂度低, 容错能力强, 能有效地剔除外点, 本文将采用此算法来提高图像配准的精度。RANSAC 的步骤为:

- (1) 随机抽取 4 个匹配对, 以确保任意 3 点不共线;
- (2) 采用 LSM 方法计算变换模型参数;
- (3) 根据变换参数, 通过公式

$$\begin{aligned} dis &= d(X_{1i}, X'_{2i}) + d'(X_{2i}, X'_{1i}) \\ &= \|X_{1i} - HX_{2i}\| + \|X_{2i} - H^{-1}X_{1i}\| \end{aligned} \quad (10)$$

计算每一个匹配点对的误差几何距离, 其中 $\|\cdot\|$ 表示欧式距离, X_{1i} 和 X_{2i} 是一对匹配点对, 根据变换矩阵计算出在各自对应图像中的投影点为 X'_{1i} 和 X'_{2i} , 当距离小于经验阈值 th 时, 则判断为内点, 同时记录内点的个数 $count$;

- (4) 重复上述步骤, 当 $count$ 足够大时, 结束计算;

(5) 选择内点最多的点集, 计算最终的模型参数得到变换矩阵 H 。

3.3 图像融合

图像拼接痕迹消除的关键技术是图像融合^[12]。在采集图像的过程中, 由于拍摄时光照程度和视野等影响, 两幅图像

的重叠区域有较大差异, 拼接后的图像在拼接处可能存在拼接缝隙, 本文将采用均值法进行图像融合消除拼接缝隙, 设 M_1 和 M_2 表示待拼接图像, M 表示融合后的图像, 则有:

$$M(x, y) = \begin{cases} M_1(x, y), & (x, y) \in M_1 \\ w_1(x, y)M_1(x, y) + w_2(x, y)M_2(x, y), & (x, y) \in (M_1 \cap M_2) \\ M_2(x, y), & (x, y) \in M_2 \end{cases} \quad (11)$$

式中, w_1 和 w_2 表示重叠区域对应像素的权重。一般取 $w_1 = 1/w$, w 表示重叠区域的宽度, 且满足条件 $w_1 + w_2 = 1, 0 < w_1, w_2 < 1$ 。在重叠区域, w_1 逐渐变至 0, w_2 逐渐变至 1, 由此实现由 M_1 到 M_2 的平滑过渡, 消除缝隙。

经过融合之后的图像缝隙明显消除, 而且融合算法简单, 易于仿真实现。本文仿真软件平台是基于 Matlab7.1 的, 仿真结果表示算法能有效地剔除伪配准对, 提高拼接效率和准确度, 角点检测和图像拼接的仿真结果如图 2—图 5 所示, 两幅待拼接图像分别为 M_1 和 M_2 。

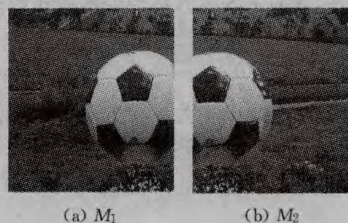


图 3 待拼接图像 M_1 和 M_2

通过匹配之后找到的匹配对如图 4 所示。

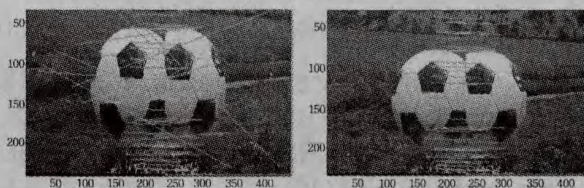


图 4 初步配准之后得到的匹配对 图 5 去除伪匹配点

通过 RANSAC 算法进行优化, 剔除错误的匹配对 (见图 5), 最后通过图像融合之后得到的拼接图像 M 如图 6 所示。



图 6 拼接之后的结果 M

结束语 本文提出了一种基于改进的 Harris 角点图像拼接算法, 其有效地避免了 k 值和阈值的人为选取, 相比于传统的 Harris 算法在准确性和灵敏度上有了很大的提高, 算法的运算速度也得到了改善, 并对图像的配准进行了优化, 提高了拼接的精确度。通过仿真结果看出拼接的结果比较理想, 拼接缝隙明显得到消除。

参考文献

- [1] 王伟, 陆佩忠. 数字图像拼接技术[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(7): 1347-1352

(下转第 297 页)

- [9] 陆传赓. 排队论(第二版)[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2009:31-38
- [10] Dally W J. Performance analysis of k-ary n-cube interconnection networks[J]. IEEE Transactions on Computers, 1990, 39(6): 775-785
- [11] Adve V S, Vernon M K. Performance analysis of mesh interconnection networks with deterministic routing[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 1994, 5(3):225-246
- [12] Agarwal A. Limits on interconnection network performance[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 1991, 2(4):398-412
- [13] 侯国峰, 杨愚鲁. 超级递归基准互联网络性能分析[J]. 计算机科学, 2001, 28(10):85-88
- [14] Hu Jing-cao, Ogras U Y, Marculescu R. System-level buffer allocation for application-specific networks-on-chip router design [J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2006, 25(12):2919-2933
- [15] Ogras U Y, Marculescu R. Analytical router modeling for networks-on-chip performance analysis[C]// DATE'07. 2007:1-6
- [16] Huang Ting-chun, Ogras U Y, Marculescu R. Virtual channels planning for networks-on-chip[C]// ISQED'07. 2007:879-884
- [17] 赖明澈, 王志英, 戴葵. 基于路由器解析式模型的 NoC 网络性能分析方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(3): 339-345
- [18] Kumar A, Li-Shiuan P, Kundu P, et al. Express virtual channels: towards the ideal interconnection fabric[C]// ISCA'07. 2007:150-161
- [19] Nicopoulos C A, Park D, Kim J, et al. Vichar: a dynamic virtual channel regulator for network-on-chip routers [C]// MICRO'39. 2006:333-346
- [20] PoPNet[EB/OL]. <http://www.princeton.edu/edu/?lshang/popnet.html>
- [21] Hoskote Y, Vangal S, SINGH A, et al. A 5-GHz Mesh Interconnect for a Teraflops Processor[J]. Micro, IEEE, 2007, 27(5): 51-61
- [22] Llitzky D A, Hoffman J D, Chun A, et al. Architecture of the Scalable Communications Core's Network on Chip[J]. Micro, IEEE, 2007, 27(5):62-74
- [23] Lai Ming-che, Gao Lei, Xiao Nong, et al. An accurate and efficient performance analysis approach based on queuing model for network on chip[C]//IEEE/ACM ICCAD. 2009:563-570
- [24] Hu Jing-cao, Marculescu R. Application-specific buffer space allocation for networks-on-chip router design [C]// IEEE/ACM ICCAD. 2004:354-361

(上接第 266 页)

- [2] 赵辉, 陈辉, 于泓. 一种改进的全景图自动拼接算法[J]. 中国图像图形学报, 2007, 2(12): 336-342
- [3] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009
- [4] Szeliski R. Image alignment and stitching: A tutorial [J]. Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision, 2006, 2(1):1-104
- [5] 王娟, 师军, 吴宪祥. 图像拼接技术综述[J]. 计算机应用技术研究, 2008, 5(7): 1940-1947
- [6] 章毓晋. 图像工程: 图像处理和分折[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [7] Chalechale A, Naghdy G, Mertins A. Sketch based image matching using angular Partitioning systems [J]. IEEE Trans on Man and Cybernetics, Part A, 2005, 35(1):28-41
- [8] Zhu Q, Wu B, Xu Z. Seed point selection method for triangle const rained image matching propagation [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2006, 3(2): 207-211
- [9] Zomet A, Levin A, Peleg S, et al. Seamless image stitching by minimizing false edges [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15(4):969-977
- [10] 涂春萍, 柴亚辉, 李广丽, 等. 一种基于 Harris 角点特征精确匹配的图像拼接方法[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(10): 40
- [11] 庄志国, 孙惠军, 董继扬, 等. 基于角点检测的图像匹配算法及其在图像拼接中的应用[J]. 厦门大学学报, 2007, 46(4): 501-505
- [12] 宋宝森, 付永庆, 宋海亮. 一种消除图像拼接的新方法[J]. 计算机科学, 2012, 38(2):260-263

(上接第 285 页)

参 考 文 献

- [1] Borges P V K, Izquierdo E. A probabilistic approach for vision-based fire detection in videos[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(5):721-731
- [2] Liu Che-bin, Ahuja N. Vision based fire detection [C]// Proceedings of International Conference on Pattern Recognition. 2004: 134-137
- [3] 张正荣, 李荣刚. 基于支持向量机的火灾探测技术[J]. 微型机与应用, 2010, 29(24): 70-72
- [4] 杨国田, 吴章宪, 杨鹏远. Boosting 在火灾识别中的应用研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(5):200-204
- [5] Grimson W E L, Stauffer C, Romano R, et al. Using adaptive tracking to classify and monitor activities in a site[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC:1998:22-29
- [6] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Fort Collins, Colorado:1999
- [7] Stauffer C. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8):747-757
- [8] Power P W, Schoonees J A. Understanding background mixture models for foreground segmentation[C]//Proceeding of Image and Vision Computing. New Zealand, 2002:267-271