

一种用于图像序列拼接的角点检测算法

冯宇平^{1,2} 戴明¹ 张威^{1,2} 王美娇³

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)¹

(中国科学院研究生院 北京 100039)² (长春理工大学光电信息学院 长春 130012)³

摘要 分析了 Harris 角点检测算子的实现原理及其用于图像序列拼接时存在的不足,从几个方面提出了改进:用新的 x 和 y 方向梯度算子求取图像导数,对灰度变化更敏感;改进了角点响应函数,避免了 k 值选择的随机性;根据图像序列首图像自动确定 R 阈值,提高了算法的自动处理能力和速度;根据目标像素点的 8 邻域范围进行亚像素精确定位,角点位置更加准确。实验结果表明,改进算法无需人工干预,特征点提取的速度比传统算法提高了约 61.3%,能更好地适应图像拼接的实际应用,是一种快速有效的角点检测方法。

关键词 图像拼接,角点检测,Harris 算子,角点响应函数

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Corner Detection Algorithm for Image Mosaic

FENG Yu-ping^{1,2} DAI Ming¹ ZHANG Wei^{1,2} WANG Mei-jiao³

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)¹

(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)²

(College of Optical and Electronical Information, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130012, China)³

Abstract An improved algorithm for corner detection was proposed by analyzing the theory of Harris operator and its disadvantage. The main improved aspects were suggested just as follows: First, the new grads operators were used to get image derivative. Second, the method adopted improved corner response function for avoiding the randomness of k value. Then this algorithm automatically ascertained corner extraction threshold based on the first one in image sequence. Last, in order to improve the precision for corner extraction, the method obtained sub-pixel corners within 8 neighborhoods of the target pixel. Experiment results show that the computation time of improved algorithm enhances about 61.3%, and it can be applied to image mosaic better.

Keywords Image mosaic, Corner detection, Harris operator, Corner response function

1 引言

图像拼接就是将同一场景的、相互间存在重叠部分的图像序列进行空间匹配对准,并合成一张大的宽视角图像。图像拼接技术在摄影测量、视频压缩和传输、视频的编辑和检索、虚拟现实、计算机图形学等许多领域都有着广泛的应用,具有重大的实际应用价值。图像拼接技术分为 3 大类^[1-6]: 基于特征的方法、基于区域的方法和基于变换域的方法。其中基于特征的拼接方法,特征提取速度快,匹配精确度比较高,而且对于图像的变形、亮度变化和噪声都具有较好的适应能力,是图像拼接常用的一种方法。

基于特征角点的图像拼接算法主要包含 4 步:角点检测;角点匹配;模型参数估计;图像插值融合。角点检测的快慢和准确性直接影响匹配拼接的速度和精度,是图像拼接的关键步骤。角点是二维图像亮度变化剧烈或图像边缘曲线上曲率

极大值的点,反映了图像中的重要信息。目前角点检测的方法^[7-9]主要分为两种:一是基于边缘轮廓的角点提取算法;二是直接对灰度图像进行角点检测。由于基于灰度的角点提取算法直接处理图像中像素点的灰度值,避免了基于边缘轮廓的角点提取算法在提取轮廓时存在的误差,因此该算法得到了更多关注。其中的 Harris 算法更是被广泛应用于目标识别与跟踪、三维场景重构、形状分析、图像匹配拼接等领域。

本文采用 Harris 角点检测算子进行图像拼接,详细分析了 Harris 角点检测算子的实现原理和优缺点及其用于图像序列拼接时存在的不足,并提出了改进算法。实验表明,本算法有效提高了特征点提取的速度和精度。

2 Harris 角点检测

2.1 检测原理

Harris 算子^[9,10]是 C. Harris 和 M. J. Stephens 在 1988

到稿日期:2009-01-20 返修日期:2009-03-25 本文受国防科技预研基金项目(No. 1040603)资助。

冯宇平(1982—),女,博士研究生,主要从事图像配准、拼接方面的研究,E-mail: gjsfengyuping@163.com;戴明(1965—),男,研究员,博士生导师,主要从事光电平台稳定技术和图像稳定技术的研究;张威(1974—),女,博士研究生,主要从事视频图像压缩算法的研究;王美娇(1983—),女,学士,主要从事光电测量技术的研究。

年提出的一种基于图像灰度梯度的特征点提取算子。其基本思想是:通过在图像中平移一个小窗口,计算窗口模板内的灰度变化特性,进而检测出角点。如图 1 所示,在窗口平移时会出现 3 种情况:

- (1)在特征不明显的平坦区域(Flat Region),沿任何方向平移都不会产生大的变化;
- (2)沿边缘(Edge)平移不会产生大的改变;
- (3)在角点(Corner)处,沿任何方向平移都会产生很明显的变化。



图 1 Harris 算法原理示意图

定义图像某像素点 (x, y) 在偏移 (u, v) 下的亮度变化量 $E(u, v)$ 为:

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

其中, $I(x, y)$ 是图像灰度函数, $w(x, y) = \exp[-(x^2 + y^2)/2\sigma^2]$ 是二维高斯窗口模板。将 $I(x+u, y+v)$ 关于 (x, y) 泰勒展开,去掉高阶项,可以将 $E(u, v)$ 写成:

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

其中,

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

其中, I_x 和 I_y 分别代表图像中该点的水平和垂直方向上的导数。记 λ_1 和 λ_2 为自相关矩阵 M 的两个特征值,对于存在角点的区域, λ_1 和 λ_2 的值都比较大,在任何方向平移 E 都会增加,由此定义角点响应函数:

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

其中, $\det M = \lambda_1 \lambda_2$, $\text{trace} M = \lambda_1 + \lambda_2$, k 是尺度因子,通常 $k = 0.04 \sim 0.06$ 。 R 仅由 M 的特征值决定,它在平坦区域绝对值较小,在边缘处为绝对值较大的负值,在角点的位置是较大的正数。这样,当 R 取局部极大值且 R 大于给定阈值时的位置就是角点。

2.2 Harris 算法分析

Harris 算子作为一种有效的点特征提取算子,其优点总结起来有:

- (1)计算简单。Harris 算子中只对灰度图像进行一阶差分以及滤波,操作简单。
- (2)提取的点特征均匀而且合理。Harris 算子对图像中的每个点都计算其兴趣值 R ,然后在邻域中选择最优值。在纹理信息丰富的区域,Harris 算子可以提取大量有用的特征点;而在纹理信息少的区域,提取的特征点则较少。
- (3)可以定量地提取特征点。通过对所有的局部极值点进行排序,根据需要提取一定数量的最优值。
- (4)稳定。即使存在图像的旋转、灰度的变化、噪声影响和视点的变换,它也是最稳定的一种点特征提取算子。

Harris 算法也存在以下几点弊端:①尺度因子 k 虽然有一定的经验范围,但其选取仍存在一定的随机性。在图片状况不一的情况下,角点提取效果差别较大,影响到角点提取的可靠性和准确性。②当计算出图像中的局部极值点后,要根据人工给定的 R 阈值才能得到较理想的角点。 R 阈值过小,

会产生过多的特征点,使图像匹配计算量增加,而且有些点的特征不足,影响匹配;阈值过大,特征点数目太少,影响匹配的准确性,而且针对不同类型的图片,图像的属性不同,颜色深浅、纹理和结构特征相差很大,导致合适的 R 阈值大小也相差很多,使得在设定具体阈值时比较盲目,只能多次设定比较后才能获得相对理想的阈值。如果通过对所有的局部极值点进行排序,来提取定量的角点,虽然不用设定阈值,但是计算量却大大增加。③算法只是在整数像素位置上计算角点,定位精度低。

3 改进的 Harris 算法

鉴于前面分析的 Harris 算子存在的缺点直接影响图像拼接的速度和精度,本文从以下几点提出改进:

1)计算图像每一点水平和垂直方向上的导数以及两者的乘积,这样可以得到 3 幅新的图像。因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。针对普遍采用的 x 方向梯度算子 $(-1, 0, 1)$,本文采用改进形式 $(-2, -1, 0, 1, 2)$ 来代替,对灰度变化更敏感,定位更加准确, y 方向梯度算子则相应为 x 方向的转置。然后对 3 幅图像进行高斯滤波,减少噪声影响,对结果构造自相关矩阵 M 。

2)改进 Harris 角点响应函数。考虑原 R 实际为矩阵 M 的行列式减去 M 的迹,为一差值信号,由数学原理可以改为比值法来表示:

$$R = \det M / (\text{trace} M + \epsilon) \quad (5)$$

注意要在分母中加入一个极小量以防止除数为零时溢出(可取 $\epsilon = 10^{-6}$)。比值法形式无需选取 k 值,避免了 k 选择的随机性,具有实用性,且可靠性好。

3)根据首图像自动确定 R 阈值。对图像序列的首图像先设定一个比较小的初始阈值 R_0 ,对大于 R_0 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,同时记录该结果像素点的最小 R 值,作为后续图像角点提取的 R 阈值。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。另外,为了使每个特征点周围能提供足够的用于判定匹配的信息,靠近图像边缘的特征点对匹配作用不大,应该剔除,这也可以加快提取速度。

4)亚像素精确定位。前面的候选角点结果均是整数像素坐标,使得图像拼接的精度不够高,本文采用二元二次多项式 $ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f = R(x, y)$ 来拟合逼近角点响应函数 R ,实现角点的亚像素精确定位。利用候选角点 8 邻域范围内像素点的响应函数值组成超定方程组来求解多项式的未知参数 (a, b, c, d, e, f) ,此二次多项式的极大值点就是亚像素级角点位置。

4 实验结果分析

实验机器硬件配置为:P4 CPU 2.4G,内存 1GB, MATLAB 6.5 编程环境。图 2 是一组大小均为 640×480 不同类型的图片,对它们进行角点检测。高斯窗口模板大小为 7×7 ,标准差 $\sigma = 2$,局部极大值窗口为 5×5 ,靠近图像边缘 10 个像素范围内的点不参加检测。对所有局部极值点进行排序后取 100 个角点的阈值,即分别为 2737, 17301, 10887, 可见不

(下转第 293 页)

识别率。小波域分块 DCT 得到的特征值可以突出人脸的局部特征,同时为了不丢失整体特征,可对组合特征值进行 FLD 分析。实验结果表明,本文提出的方法比传统的 PCA, PCA+FLD 方法有更好的识别性能。下一步的研究工作主要是基于各个分块自身的内容,自适应选取各个分块的 DCT 系数,以突出有利于识别的特征,削弱一些对识别无用的特征。

参考文献

- [1] 李江,郁文贤,匡刚要,等. 红外图像人脸识别方法[J]. 国防科技大学学报,2006,28(2):73-76
- [2] Chen L, Liao H, Ko M, et al. A new LDA based Face Recognition System Which Can Solve the Small Sample Size Problem [J]. Pattern Recognition, 2000, 33(10): 1713-1726
- [3] 成新民,蒋云良,胡文军,等. 基于核的 Fisher 非线性最佳鉴别分析在人脸识别中的应用[J]. 中国图形图像学报,2007,12(8): 1396-1400
- [4] 华顺刚,周羽,刘婷. 基于 PCA+LDA 的热红外成像人脸识别 [J]. 模式识别与人工智能,2008,21(2):160-164

- [5] Wang Xiaogang, Tang Xiaoou. Dual-space Linear Discriminant Analysis for Face Recognition[C]//Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, USA, 2004
- [6] Socolinsky D A, Selinger A. A Comparative Analysis of Face Recognition Performance with Visible and Thermal Infrared Imagery[C]//Proc. Int. Conf. Pattern Recognition, Canada, 2002
- [7] Chen X, Flynn P J, Bowyer K. PCA - Based Face Recognition in Infrared Imagery; Baseline and Comparative Studies[C]//Proc. IEEE Int. Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures, Nice, France, 2003; 127-134
- [8] Wu S Q, Jiang L J, Xie S L, et al. Infrared Face Recognition by Using Blood Perfusion Data[C]//Proc. Audio- and Video-based Biometric Person Authentication, NY, July 2005; 320-328
- [9] Chien J T, Wu C. Discriminant Waveletfaces and Nearest Feature Classifiers for Face Recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(12): 1644-1649

(上接第 271 页)

同类型的图片合适的 R 阈值截然不同,无法自动设置,所以本文提出了改进方法。首先设定初始阈值 R_0 ,然后排序定量取点,得到合适的 R 阈值,对拼接的后续图像取点,这样便解决了 R 阈值的自动选取问题,并且因为不用排序,速度大大提高。图 3 是一组 280×385 室外拍摄图像序列,对首图像进行所有局部极值点排序,取前 100 个角点的时间是 1.3024s。设定初始阈值 $R_0 = 1000$,然后排序,取 100 个角点的时间是 0.7094s,且得到合适的 R 阈值为 4255.5。这样,根据该阈值对图像后续图像进行角点检测,分别得到 62,66,87,92 个角点,如图 3 所示,单幅图像角点提取的平均时间是 0.5596s。首图像的所有局部极值点有 367 个,经过初始阈值过滤后只剩下 145 个,所以角点提取时间降低。后续图像因为有合适阈值设定不用排序,时间大大减少,提取速度提高了约 57%。对 10 组其他不同类型大小的图像进行实验,本文的改进方法较传统的角点提取方法所用时间平均提高了 61.3% 左右。



图 2 不同类型的图像角点检测示意图

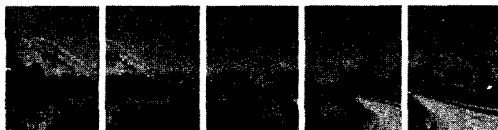


图 3 图像序列角点检测图



图 4 图像序列拼接图

角点提取之后,进行亚像素精确定位,这里使用最小二乘法求解超定方程组的未知参数。然后进行图像匹配拼接,图 4 是对图 3 的图像序列拼接的结果。因为角点经过亚像素定

位,提高了角点匹配和变换模型参数估计的精度,使得拼接结果效果良好,没有错位发生。图 5 是另一个拼接全景图。



图 5 拼接全景图

结束语 本文详细分析了 Harris 角点检测算法的原理及存在的缺点,提出了改进的 Harris 算法。整个过程无需人工干涉,根据首图像自动确定角点提取阈值的方法,操作简单,计算量小,使得角点提取速度提高了 61.3%。改进的梯度算子和亚像素定位使得角点位置更加准确。改进的算法在图像拼接中得到了验证,提高了拼接的实时性和精确度。该算法同样适合于其它图像检测与处理场合。

参考文献

- [1] Zitova B, Flusser J. Image registration methods: a survey [J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(11): 977-1000
- [2] 蔡丽欢,廖英豪,郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1-4
- [3] 高莹莹,杨建峰,马晓龙,等. 基于 Fourier-Mellin 算法的干涉图像配准[J]. 光学精密工程, 2007, 15(9): 1415-1420
- [4] 付朝霞,韩焱,咎波. 基于角点检测的图像镶嵌算法[J]. 光电工程, 2007, 34(5): 126-130
- [5] 王华,王龙山,高金刚,等. 面向汽车车架纵梁检测的序列图像快速拼接算法基[J]. 光学精密工程, 2008, 16(3): 531-536
- [6] 张红颖,张加万,孙济洲. 改进 Demons 算法的非刚性医学图像配准[J]. 光学精密工程, 2007, 15(1): 145-150
- [7] 赵文彬,张艳宁. 角点检测技术综述[J]. 计算机应用研究, 2006, 23(10): 17-19
- [8] 杨莉,张弘,李玉山. 一种快速自适应 RSUSAN 角点检测算法 [J]. 计算机科学, 2004, 31(5): 198-200
- [9] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C] //Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK: Alvey Vision Conference, 1988; 147-151
- [10] 王巍,唐一平,任娟莉,等. 一种改进的 Harris 角点提取算法 [J]. 光学精密工程, 2008, 16(10): 1995-2001