

# 运用特征点匹配的柱面全景图像快速拼接算法

张媛 高冠东 贾克斌

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院,北京 100022)

**摘要** 针对大幅面图像的拼接问题,提出了一种新的基于特征点的柱面全景图像快速拼接算法。该算法在Harris角检测算法提取特征点的基础之上,针对传统RANSAC(random sampling consensus)算法在提纯匹配点时计算极其复杂,难以实现快速拼接的问题,设计了专门的聚类预筛选的方法进行图像特征点的预匹配,显著提高了特征点匹配的效率;在图像融合部分提出了最佳路径与HSI颜色空间的亮度权重函数相结合的算法,既有效消除了拼接图像中的鬼影现象,又使拼接图像达到了平滑融合效果。实验结果表明,该算法具有匹配精度高、鲁棒性强、计算效率高的特点。

**关键词** 图像拼接 聚类法 最佳路径 亮度权重函数

中图法分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)06-1188-06

## A Fast Algorithm for Cylindrical Panoramic Image Based on Feature Points Matching

ZHANG Yuan, GAO Guan-dong, JIA Ke-bin

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022)

**Abstract** A fast image mosaic algorithm based on feature points matching with excellent results is presented in this paper and two outstanding methods in this algorithm are proposed. The first one is importing a new filtering method for matching points by choosing pairs of correlation feature points with clustering algorithm aiming at the disadvantage of RANSAC algorithm. The efficiency of the algorithm is enhanced by doing this. The other one is raising another new method of blending images by using optimum path best-matched-line combined with pixel brightness weighting function in HSI color space. As a result, the ghosting phenomenon is removed and a brightness blending image is achieved. Several results show that this is a highly-matched robust image mosaic algorithm. After choosing data with clustering algorithm beforehand, the efficiency is greatly enhanced. And this algorithm also has prevented ghosting phenomenon and can make images blending naturally at stitching areas.

**Keywords** image mosaic, clustering, optimum path, brightness weighting function

## 1 引言

图像拼接是图像处理技术的一个重要应用领域,在计算机视觉、虚拟场景实现、卫星遥感探测及数字文化遗产保护等多方面都有着广泛的应用价值。诸如宏大文化遗产场景、长卷字画等,大都具有

大幅面的图像特征,普通的图像采集设备无法一次拍摄出全景且高分辨率的图像。利用图像拼接技术可以克服数字采集设备的焦平面上传感器阵列密度的限制,成功地还原宏大场景的原貌。

图像拼接技术发展至今取得了许多成果,针对不同的应用条件提出了多种算法,但目前还没有一个通用而且高效的拼接方法<sup>[1]</sup>。图像拼接技术主

基金项目:国家自然科学基金项目(60672050,60431020)

收稿日期:2008-01-01;改回日期:2008-03-04

第一作者简介:张媛(1985~),女,现为北京工业大学电子信息与控制工程学院在读硕士研究生。研究方向为数字图像处理等。  
E-mail:zhangyuan@emails.bjut.edu.cn

要分为基于特征的拼接方法和基于像素值的直接拼接法<sup>[2]</sup>。直接拼接的方法在图像的重叠区域较小或者图像不清晰时,容易失配,更不能保证算法的收敛性;基于特征的拼接算法越来越受到各方面的重视。Shum 和 Szeliski 提出了基于块匹配的算法<sup>[3]</sup>,把图像分成小块进行计算,但是这种方法可能导致在估计参数矩阵时不收敛。Zoghiami 等人提出了用图像中线段进行匹配的算法<sup>[4]</sup>,但是算法比较复杂,效率不高。Harris 等人提出了角检测的方法<sup>[5]</sup>,由于其特征提取稳定准确,后被广泛应用于图像拼接领域。

针对大幅面图像的特点,提出了一种新的基于特征点匹配的全自动拼接算法。基于图像特征的拼接算法主要可以概括为图像特征提取、图像匹配、图像变换以及图像融合技术。通过对以上关键技术的研究,在图像匹配与图像融合方面提出了两个新方法:第一,由于传统的 RANSAC (random sampling consensus) 算法迭代计算效率低下,尤其在多幅且图像特征近似的拼接条件下,难以在短时间完成特征匹配,对此提出了一种新的聚类预筛选的特征匹配算法,极大地减少了 RANSAC 算法的迭代次数,提高了算法的整体运行效率,算法达到了快速精确拼接的目的;第二,在图像重叠区域常存在鬼影及亮度突变的现象,对此提出了最佳路径与 HSI 颜色空间的亮度权重函数相结合的算法,很好地消除了重叠区的鬼影并使拼接图像达到了平滑过渡的效果。

## 2 本文拼接算法的基本流程

本文新算法可以概括为图像校正、图像特征的提取、图像特征匹配、图像变换以及图像融合 5 个部分。其具体的流程图如图 1。

为了保证场景的视觉一致性及空间约束关系,在拼接处理前需对图像进行校正。实验图像是使用三脚架定点、相机水平转动拍摄所得,其实际投影类似于柱面平面,所以将拍得的反映各自投影平面的重叠图像映射到同一个柱面投影平面上<sup>[6-7]</sup>。

精确而稳定地提取图像特征点是基于特征的图像拼接系统的关键前提。Harris 角点检测算法<sup>[3,8]</sup>是目前较成熟的特征点提取算法。它首先利用高低通滤波对灰度图像进行平滑去噪,求水平  $x$ , 垂直  $y$  方向的梯度值,并分别对梯度值的平方值进行高

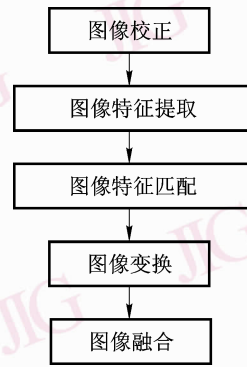


图 1 算法流程图

Fig. 1 The flow chart of algorithm system

斯滤波,用角函数去边缘点,得到的局部最大值点即为角点。这种方法由于使用了泰勒展开式,提取特征点的精度可以达到亚像素级。由于其特征稳定、明显,且具有旋转不变性和仿射变换不变性,为后续图像特征点的匹配工作提供可靠数据。

图像序列中各幅图像的特征点被提取出后,对相邻图像的特征点进行匹配。匹配算法包括两个步骤:一是计算相邻图像中特征点区域的灰度相似度,初步提取相关特征点对,并进行聚类预筛选;二是通过 RASAC 算法精确匹配相关点对。

图像特征点得到匹配后,理论上可利用 4 对相关点求出投影变换矩阵,但是实际应用中仍需要一组精确相关点序列来优化变换矩阵。这里利用最小二乘法优化计算,最终得到精确变换矩阵  $H$ 。

通过变换矩阵的计算便可得到大幅拼接结果,但是直接拼接出的图像的重叠区域常常存在鬼影及亮度突变现象,需要进行融合处理。鬼影的出现是由于拍摄时物体的位置有变化或者拍摄时相机运动导致非线性旋转而形成;亮度突变一般是由于相机绕垂直轴旋转拍摄时光照条件以及背景改变而发生。最佳路径与 HSI 颜色空间的亮度权重函数相结合的融合算法将对此进行改善。

## 3 聚类预筛选的匹配算法

### 3.1 RANSAC 算法的缺点

RANSAC 算法<sup>[9]</sup>的原理是从数据中随机抽取一定量的子集,然后代入数学模型迭代计算出符合模型的最大子集,称为线内点集。图像拼接中,数学模型为伪匹配点经投影变换后产生的误差。用下式

衡量投影误差:

$$E = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2} \quad (1)$$

式中,  $x_i, y_i$  为图像  $I_1$  中第  $i$  个匹配特征点坐标,  $x'_i, y'_i$  为图像  $I_2$  中相应特征点经投影变换后的坐标。当  $E$  小于阈值 (0.1) 时认为是精确匹配的, 大于阈值时则认为是不匹配的。

RANSAC 算法是采用随机抽样的方式提取特征点, 利用图像变换模型, 经过迭代计算, 精确求得匹配点的最大子集。根据文献 [9] 所提到的计算迭代次数的公式:

$$n = \frac{\log(1 - z)}{\log(1 - (1 - \varepsilon)^m)} \quad (2)$$

其中,  $n$  为迭代的次数,  $z$  为显著性水平,  $m$  为抽样点的数量,  $\varepsilon$  为线外点的比例。影响算法运行效率的因素主要有抽样点的数量与线外点的比例。

当每次抽取 4 个点时采样次数的变化状况如表 1 所示。

表 1 RANSAC 算法中随机采样次数

Tab. 1 Random sample times in RANSAC

	线外点百分比 (%)			
	40	50	60	70
迭代次数	34	72	178	567

表 1 中的线外点百分比是在每次迭代后计算而得, 但是也足以证明线外点过多导致计算量剧增。因此, 为了提高算法整体运行效率, 必须找到可行的能够精确筛选匹配特征点的匹配方法。

### 3.2 聚类预筛选的匹配算法

聚类预筛选匹配算法, 首先计算图像特征点的灰度相关性以查找两幅图像的相关特征点, 常用的算法有 NCC (normalized cross correlation) 相关算法 [10]。取两幅图像的特征点为中心的小窗, 计算窗内灰度值得相关性。在实际应用中为了保证运算的速度, 往往将小窗的大小设计得较小, 因此无法保证信息量很容易出现伪匹配, 如图 2 所示。这些伪匹配就构成了 RANSAC 算法的线外点, 使 RANSAC 提纯效率严重滞后。

根据相邻图像匹配点之间的连线斜率应相同或者近似的特性, 可以运用简单的聚类思想对上述包括伪匹配点在内的所有匹配点进行进一步的筛选。其原理图如图 3 所示, 图中可清晰看到最明显的伪

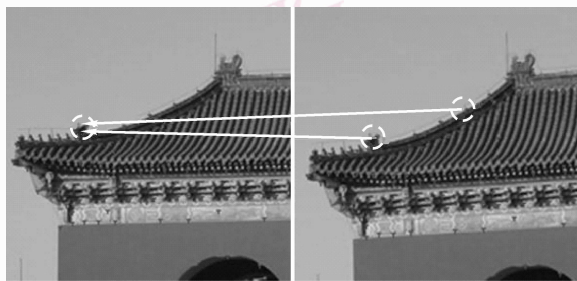


图 2 灰度相关算法可能出现的错误匹配

Fig. 2 The wrong matching in the gray correlation algorithm

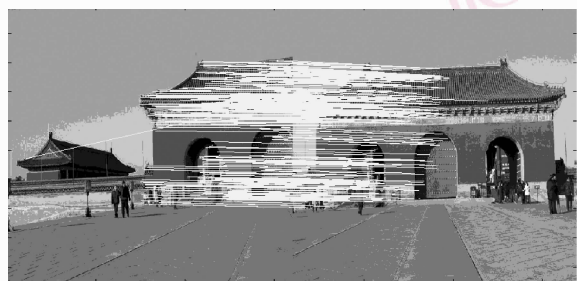


图 3 相关点对的连线

Fig. 3 Lines between the correlative points

匹配。算法的实现可解释如下: 将两幅有重叠区域的图像置于同一坐标系下, 计算由灰度相关算法而得的相关点对所连成的直线斜率, 则真正匹配的相关点对的斜率相等或相差很小, 而不匹配的点对间斜率则相差很大。以任一斜率值为中心, 其若较小邻域内包含最多的相关点对, 则这些相关点对就是最精确的相关点对, 如图 4 所示。据此可以排除误差很大的错误匹配。上述较小邻域通过实验验证可取 0.01 ~ 0.05。

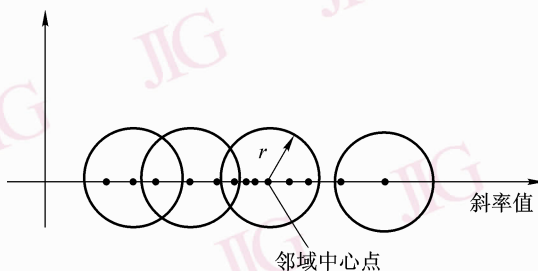


图 4 聚类预筛选的数学原理图

Fig. 4 The principle of clustering

通过匹配 20 对实验图像, 与未使用聚类预筛选算法相比较, 其结果如表 2 所示。

表 2 经预筛选算法后与原算法对比

Tab. 2 Compare data after using pre-filter

预筛选滤除不匹配点 (%)	所用时间减少比例 (%)	迭代次数减少比例 (%)	最终匹配点数量
69.83	97.45	92.87	基本不变

由表 2 可看出,预筛选算法可滤除大部分不匹配点,减少 RANSAC 算法的线外点,提高算法运行效率。而且聚类预筛选算法计算原理简单,效率高且计算准确,不会错误地删除匹配点。

## 4 鬼影及亮度差异现象的消除

### 4.1 最佳路径算法

拍摄过程中物体的位置难免会移动,并且在拍摄时相机的运动也会导致物体位置出现非线性旋转,因此拼接技术必须要解决鬼影融合这一问题才能得到效果良好的拼接结果。最佳路径方法是图像融合技术中常用的消除鬼影的有效方法。以往所用到的大多算法虽然可以找到较好的拼接路径,但计算量庞大,效率较低。

下面提出一种简单有效的最佳路径生成算法,其核心就是利用两幅图像重叠部分的差值寻找拼接线。

其具体操作方法如图 5 所示。首先计算图像重叠区域的第 1 行像素差值的平方,找到绝对值最小的点作为起始点,然后计算其下方的相邻像素差值的平方,绝对值最小的点作为下一点,再对该点周围 7 个像素点计算差值平方,这样计算下去,最终找到一条像素差值较小的拼接路径。如图 6(c) 所示,在差值图像中能清晰地看到鬼影区域,因此可利用像素值间差异来避开鬼影区。

起始像素

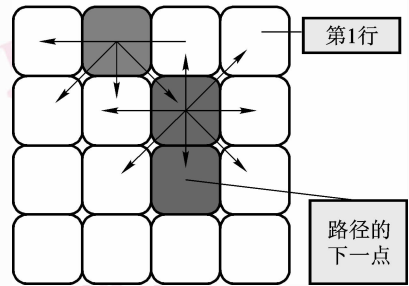


图 5 最佳路径的计算示意图

Fig. 5 Principle of finding the optimum path

但是在进行大量实验时,发现路径有可能提前退出图像的一侧边缘,达不到与起始行相对的另一边缘。因此,在其中加入了重力系数,以此控制路径的生成方向,最终得到最佳路径的生成公式为

$$P(x', y') = \min \left\{ \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 k [I_1(x+i, y+j) - I_2(x+i, y+j)]^2 \right\} \quad (3)$$

其中,  $k = \begin{cases} 1 - 0.2(i-1), & m_2 \geq m_5 \\ 1 - 0.2(j-1), & m_2 < m_5 \end{cases}$  为重力系数,  $I_1$  和

$I_2$  为两幅图像的像素值。以水平拼接图像为例确定垂直方向上的拼接线,实际中是通过比较变换矩阵  $H$  中的  $h_{02}, h_{12}$  的大小以确定拼接线的生成方向。如  $h_{02} > h_{12}$  说明在  $x$  轴偏移量较大,是水平方向拼接,要生成垂直的拼接线;如果  $h_{02} < h_{12}$  说明在  $y$  轴偏移量较大,是垂直方向拼接,要生成水平的拼接线。经过使用重力系数,最佳路径的生成既可以达到图像的另一边界,又可以避开产生鬼影的区域,实验结果如图 7(a) 与 (b), 明显比直接用权重函数消除鬼影的结果 (c) 和 (d) 效果好。



(a) 原始图像1



(b) 原始图像2



(c) 重叠区域差值图像

图 6 图像重叠区域的差值

Fig. 6 Difference of overlap



(a) 最佳路径法结果图像 (b) 图(a)的局部放大 (c) 直接用权重函数融合 (d) 图(c)的局部放大 (e) 两者结合的结果

图 7 3 种融合算法的结果比较

Fig. 7 Compare results of three methods

#### 4.2 HSI 空间的亮度权重函数融合

从图 7(a) 中可清晰看到拼接路径处的亮度差异, 所以必须同时进行亮度融合, 才能达到满意的拼接效果。为此, 采用在 HSI 空间融合图像。相较于传统的权重函数融合算法<sup>[3]</sup>, 亮度权重函数融合是在亮度空间只对亮度值进行权重融合, 尽可能地保留了图像各自的信息。亮度权重函数融合计算较为简单, 而且实验证明能够得到很好的效果。从 RGB 空间到 HSI 的转换公式如下:

$$\begin{cases} I = \frac{R+G+B}{3} \\ H = \frac{1}{360} \left[ 90 - \arctan\left(\frac{F}{\sqrt{3}}\right) \right] + \\ \quad \{0, G > B; 180, G < B\} \\ S = 1 - \left[ \frac{\min(R, G, B)}{I} \right] \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $F = \frac{2R - G - B}{G - B}$ 。

从 HSI 到 RGB 空间的转换公式:

$$\begin{aligned} R' &= \frac{I - R}{I - \min(R, G, B)} \\ G' &= \frac{I - G}{I - \min(R, G, B)} \\ B' &= \frac{I - B}{I - \min(R, G, B)} \end{aligned} \quad (5)$$

具体实现方法是: 首先获得最佳路径左右 30 像素宽度的像素值, 用其 RGB 值计算亮度值  $I$ , 用下式

权重函数对亮度进行融合:

$$C(x) = \frac{\sum_m w(d(x)) I_m(x)}{\sum_m w(d(x))} \quad (6)$$

其中,  $w$  是单调函数, 一般取  $w(x) = x$ ,  $d(x)$  为图像  $m$  中融合点  $(x, y)$  与融合范围边界在  $x$  轴上的距离,  $I_m(x)$  为融合点的亮度值。对亮度融合以后, 再用式(5)转换为 RGB 颜色空间。

最终融合结果如图 7(e) 所示, 结果表明最佳路径与亮度权重函数结合的方法成功消除了鬼影, 并使拼接图像达到平滑过渡。

## 5 实验结果与结论

针对文化遗产图像拼接的课题, 对采集的多组文化遗产图像进行了实验, 图 8 是部分大幅面图像拼接结果展示, 可看出本文算法对多幅图像的拼接达到了较为准确并且平滑的效果。

综上所述, 利用 Harris 角点检测法精确地定位特征点, 减少了亮度变化对特征提取的影响; 在图像匹配方面引入聚类的方法筛选相关点对, 显著提高了 RANSAC 算法的计算效率, 从而使整体计算效率得到明显提高; 在图像融合部分, 首次提出了最佳路径与亮度权重函数相结合的算法, 提高了算法的适应度, 对有较大亮度差异或图像中存在物体运动的现象都有普遍的适用性。实验结果表明此算法适应范围广, 拼接精度高, 效果较理想。



(a) 原始图像



(b) 拼接结果

图8 天坛圜丘360°全景拼接结果图

Fig. 8 Panorama result stitching images

### 参考文献 (References)

- 1 Zomet A. Mosaicing from a Translating Camera with Efficient Application of Super-Resolution [ D ], Jerusalem: The Hebrew University of Jerusalem, 2000.
- 2 Szeliski R. Image Alignment and Stitching, Technical Report [ R ]. MSR-TR-2004-92, Redmond, Washington DC, USA: Microsoft Research, 2004.
- 3 Shum H Y, Szeliski R. Panoramic image mosaicing. Technical Report [ R ]. MSR-TR-97-23, Redmond, Washington DC, USA: Microsoft Research, 1997.
- 4 Zoghiani I, Faugeras O, Deriche R. Using geometric corners to build a 2D mosaic from a set of images [ A ]. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition ( CVPR ' 97 ) [ C ], San Juan, Puerto Rico, 1997: 420-425.
- 5 Harris C, Stephens M J. A combined corner and edge detector [ A ]. In: Proceedings of The Fourth Alvey Vision Conference [ C ], Manchester, UK, 1988: 147-152.
- 6 Maas H G, Schneider D. A geometric model for linear-array-based terrestrial panoramic cameras [ J ]. The Photogrammetric Record , 2006, 21 ( 115 ): 198-210.
- 7 Sun Li-feng, Zhong Li, Li Yun-hao, et al. Real-time walkthrough in real image-based virtual space [ J ]. Journal of Image and Graphics, 1999, 4(6): 507-513. [ 孙立峰, 钟立, 李云浩等. 虚拟实景空间的实时漫游 [ J ]. 中国图象图形学报, 1999, 4(6): 507-513. ]
- 8 Faille F. A Fast method to improve the stability of interest point detection under illumination changes [ A ]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [ C ], Singapore, 2004: 2673-2676.
- 9 Lacey A J, Pinitkarn N, Thacker N A. An evaluation of the performance of RANSAC algorithms for stereo camera calibration [ A ]. In: Proceedings of The 11th British Machine Vision Conference [ C ], Bristol, UK, 2000, 2: 646-655.
- 10 Di Stefano L, Mattoccia S, Mola M. An efficient algorithm for exhaustive template matching based on normalized cross correlation [ A ]. In: Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing [ C ], Mantova, Italy, 2003: 322-327.