

# 基于 SIFT 特征匹配的图像拼接算法

李云霞, 曾毅, 钟瑞艳, 郭涛

(山东大学控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

**摘要:**基于 SIFT 特征匹配思想, 提出一种快速、准确的图像拼接算法。SIFT 特征匹配算法是目前国内外特征点匹配研究领域的热点与难点, 其匹配能力较强, 可以处理两幅图像之间发生平移、旋转、仿射变换情况下的匹配问题, 甚至在某种程度上对任意角度拍摄的图像也具备较为稳定的特征匹配能力。在这一匹配思想的基础上结合多分辨率样条提出一种新的图像拼接算法, 它采用多分辨率样条来确定拼接区域宽度和加权函数, 使图像在不同分辨率下分别拼合, 这样使拼合出的图像既清晰又光滑无缝。算法在大多数情况下能自动完成, 实验结果证明该方法提高了拼接速度, 降低了图像亮度差异的影响, 使结果图像自然逼真。

**关键词:**SIFT 特征匹配; 图像拼接; 多分辨率融合; RANSAC 算法; L-M 算法

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2009)01-0043-03

## Algorithm of Image Stitching Based on SIFT Feature Matching

LI Yun-xia, ZENG Yi, ZHONG Rui-yan, GUO Tao

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

**Abstract:** A fast and accurate image stitching algorithm based on SIFT feature matching is proposed. SIFT feature matching algorithm is hot and difficult in the field of matching feature points research at home and abroad. Its match ability is strong, and can be dealt with translation, rotation, affine transformation circumstances matching problem between the two images. To some extent, images also have a more stable feature matching capacity even in the perspective of arbitrary capture. In this paper, a new image stitching algorithm is proposed on the basis of this match thinking and multi-resolution spline. It uses multi-resolution spline to determine the width and splicing regional weighting function, so that images are blended at different resolutions, thus the blended-image is clear and smooth seamless. Algorithm in most cases can be automatically completed, the experimental results show that it improves the stitching speed and reduces the difference of image brightness. It makes the blended-image natural and realistic.

**Key words:** SIFT feature matching; image stitching; multi-resolution blending; RANSAC algorithm; L-M algorithm

## 0 引言

图像拼接是计算机视觉领域的一个重要分支, 它是将两幅以上的具有部分重叠的图像进行无缝拼接从而得到较高分辨率或宽视角的图像。近年来, 国内外对图像拼接的研究已取得一些成果, 但对尺度、视差及光照变化较大的图像序列的拼接效果还有待提高。此外, 目前对于完整的全自动无缝图像拼接技术的研究还较少。给出了一种基于 SIFT 特征匹配的全自动无缝图像拼接方法, 该方法利用 SIFT 特征匹配、RANSAC 算法、L-M 算法<sup>[1]</sup>、多分辨率融合算法克服

了传统图像拼接技术中的局限性, 实现了光照和尺度变化条件下的多视角无缝图像拼接。

## 1 SIFT 特征点提取

David G. Lowe 在 2004 年总结了现有的基于不变量技术的特征检测方法, 并正式提出了一种基于尺度空间的, 对图像缩放、旋转甚至仿射变换保持不变性的图像局部特征描述算子-SIFT 算子<sup>[2]</sup>, 全称 Scale Invariant Feature Transform, 即尺度不变特征变换。

SIFT 算法首先在尺度空间进行特征检测, 并确定关键点(Key points)的位置和关键点所处的尺度, 然后使用关键点邻域梯度的主方向作为该点的方向特征, 以实现算子对尺度和方向的无关性。

SIFT 算法的实现主要包括 4 个步骤:

(1) 检测尺度空间极值, 以初步确定关键点位置和所在尺度。

收稿日期: 2008-04-15

基金项目: 国家 863 计划重点项目(2006AA040206)

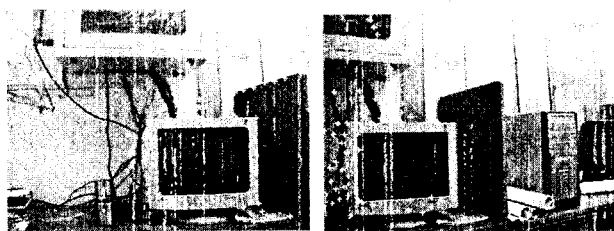
作者简介: 李云霞(1984-), 女, 山东人, 硕士研究生, 主要研究方向为控制理论与控制工程、计算机软件及应用; 曾毅, 教授, 主要研究方向为控制理论与控制工程、计算机软件及应用。

(2) 精炼特征点位置。通过拟和三维二次函数以精确确定关键点的位置和尺度,同时去除低对比度的关键点和不稳定的边缘响应点(因为 DOG 算子<sup>[3]</sup>会产生较强的边缘响应),以增强匹配稳定性、提高抗噪声能力。

(3) 计算特征点的描述信息,利用关键点邻域像素的梯度方向分布特性为每个关键点指定方向参数,使算子具备旋转不变性。

(4) 生成本地特征点描述符。

文中实验算法采用 VC++ 6.0<sup>[4,5]</sup> 开发,实验结果如图 1 所示。



(a) lab1

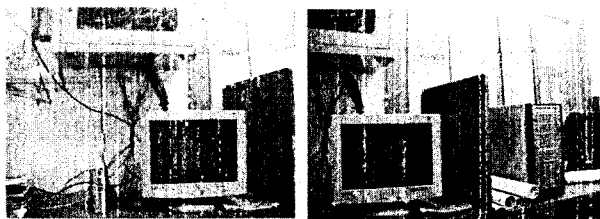
(b) lab2

图 1 对 lab1 和 lab2 提取 SIFT 特征点

## 2 SIFT 特征匹配

SIFT 特征匹配算法包括两个阶段:第一阶段是 SIFT 特征的生成,即从多幅待匹配图像中提取出对尺度缩放、旋转、亮度变化无关的特征向量;第二阶段是 SIFT 特征向量的匹配。

当两幅图像的 SIFT 特征向量生成后,下一步采用关键点特征向量的欧式距离来作为两幅图像中关键点的相似性判定度量。取图像(a)中的某个关键点,并找出其与图像(b)中欧氏距离最近的前两个关键点,在这两个关键点中,如果最近的距离除以次近的距离少于某个比例阈值,则接受这一对匹配点。降低这个比例阈值,SIFT 匹配点数目会减少,但更加稳定。如图 2 是基于 SIFT 特征匹配进行初步匹配的结果。



(a) lab1

(b) lab2

图 2 lab1 和 lab2 基于 SIFT 特征初步匹配

## 3 图像配准

### 3.1 RANSAC 匹配点对提纯

由粗略匹配得到的匹配点对中存在着误匹配。伪

匹配对的出现严重干扰了变换矩阵的估计,因此,必须用一种能够迭代求精的、具有鲁棒性的估算算法对粗略匹配点进行提纯,提出伪匹配点对。文中采用 RANSAC 这种比较典型的算法进行匹配点对提纯。RANSAC 算法<sup>[6]</sup>是基于特征匹配的典型算法,可以叙述为:

给定  $N$  个数据点组成的数据集  $P$ ,假设它们中的绝大多数是由一个参数未知的特定的模型产生的,该模型的参数至少需要  $n$  个数据点求出,  $N > n$ 。现在所要解决的问题就是要求出这个模型的参数。

将下述过程运行  $k$  次:

- (1) 从  $P$  中随机选取  $n$  个数据点的子集  $S$ ;
- (2) 由选取的这  $n$  个数据点计算出一个模型  $M$ ;
- (3) 对数据集中其余的  $N - n$  个数据点,计算出它们与模型  $M$  之间的距离,记录在  $M$  的某个误差允许范围内的  $P$  中数据点的个数  $\text{count}$ 。

在重复步骤(1)~(3)  $k$  次之后,对应最大  $\text{count}$  值的模型即为所求模型,数据集  $p$  中的这  $\text{count}$  个数据即为内点,其余的  $N - \text{count}$  个数据点即为外点。

在提纯应用中,透视矩阵由 4 个匹配点得出。文中将第二幅图像平面分成 16 个小方格,每次选取 4 个包含特征点的方格,再在每个方格内随机选取一个点,由这四个点计算透视矩阵。选用内点阈值为 1.25,即特征点提取标准差为 0.5107 个像素值,定义阈值计算公式为  $dv = d^2(x' - Mx)$ ,小于等于阈值的特征点对为  $M$  的内点,大于阈值的则为外点。以前后两次内点数目不发生变化为迭代终止条件。从而可以得到了优化的内点集合来进一步计算透视矩阵  $M$ <sup>[7]</sup>。

### 3.2 L-M 优化计算透视矩阵

由于特征点检测的误差,以及上一步中的线性解法的结果往往很不稳定,因此就要通过这个内点集合对变换矩阵  $M$  进行非线性优化。在 RANSAC 提纯这一步中,提取出了内点模型。在这一步中就要实现内点模型和透视矩阵  $M$  中 8 个未知参数  $mk$  ( $k = 0, 1, \dots, 7$ ) 之间的非线性拟合。

文中采用了 L-M (Levenberg - Marquardt) 算法优化透视矩阵。关于非线性最小二乘问题,L-M 算法的使用效果很好,现已成为求解非线性最小二乘问题的标准方法,其巧妙之处就是逆黑塞矩阵方法的极限和最速下降法之间进行平滑调和。即后一方法在远离最小值时运用,当接近最小值时则逐渐切换到前一方法。从算法本质来看,它们都无法克服对初始值选取敏感以及不能保证收敛到全局最优解等缺陷。但通常如果初始值误差在一定范围内,利用该求精算法,可以使匹配点的误差控制在 0.1 个像素之内。而文中采用

的 RANSAC 提纯算法能较好地保证初始值的误差在一定范围内,因此可以克服该优化算法的不足。

在选择误差函数进行非线性优化时,文中采用以特征点的坐标位置误差而不是亮度误差来构造优化函数,这样可以克服以往算法对光照的敏感性,使算法更具有实用性。

以对称投影位置误差最小化来优化估计透视矩阵  $M$  时其误差函数为:

$$F(M) = \sum_i d^2(x'_i, Mx_i) + d^2(x_i, M^{-1}x'_i)$$

其中,  $d(x, y)$  表示点  $x$  和点  $y$  的欧氏距离。

利用 L-M 优化算法来最小化误差函数,可以算出近似的黑塞矩阵  $A$  和加权梯度矢量  $b$ ,其元素为:

$$a_{kl} = \sum \frac{\partial F(M)}{\partial m_k} \frac{\partial F(M)}{\partial m_l}$$

$$b_k = - \sum F(M) \frac{\partial F(M)}{\partial m_k}$$

然后给参数估计值  $m$  加上一个修正值  $\Delta M = (A + \lambda I)^{-1}b$ ,其中  $\lambda$  是一个时变稳定性参数,随迭代步骤自动调节。将此过程一直迭代,直到误差  $F$  低于某一阈值。文中采用当误差  $F$  减小到小于 0.1 时停止迭代。避免在误差  $F$  增加的那一步停止迭代。

图 3 为 lab 图像提纯后的匹配点集。

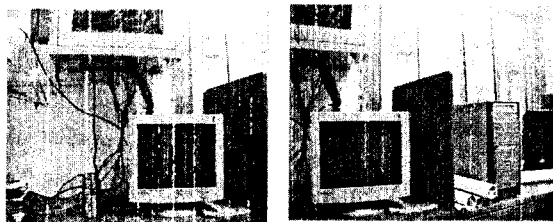


图 3 lab 图像提纯后的匹配点集

#### 4 图像融合

根据图像间透视矩阵  $M$ ,可以对相应的图像进行变换以确定图像间的重叠区域,并将待融合的图像注册到一幅新的空白图像中形成拼接图。需要注意的是,由于普通的手持相机在拍摄照片时会自动选取曝光参数,这会使输入图像间存在光度差异,导致拼接后的图像缝合线两端出现明显的明暗变化。因此,在融合过程中需要对缝合线进行处理。进行图像拼接缝合线处理的方法有很多种,如颜色差值和加权平滑算法等,文中采用了多分辨率样条技术<sup>[8]</sup>处理拼接缝问题。首先,它将图像分解为一组带通图像;然后,在每一频率带内使用不同的加权函数和拼接区域宽度将分解的带通图像拼合成对应的带通图,在每一个频率带内,加权函数的系数和拼接区域宽度是由两幅图像在该频率带内的差异决定的。最后将相邻的几幅图像拼合成一幅图像,这样使拼合成的图像既清晰又光滑无缝。

实验图像融合结果如图 4 所示。

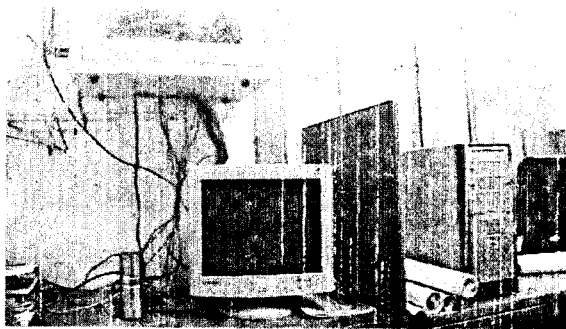
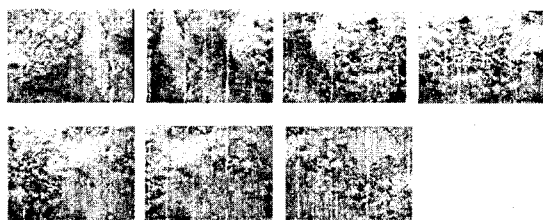


图 4 lab1 和 lab2 融合结果

#### 5 实验结果

图 5 给出了使用本方法实现的由 7 幅待拼接图像生成的全景图示例。实验结果表明该方法能快速、自动地完成图像序列的拼接操作,效果较好。



(a) 待拼图像 01-07



(b) 拼接结果

图 5 基于 SIFT 特征匹配的多幅图像拼接结果

#### 6 结束语

文中给出了一种基于 SIFT 特征匹配的全自动无缝图像拼接方法,该方法弥补了传统图像拼接方法在尺度、视角及光照变化较大情况下图像拼接效果较差的缺陷,具有如下特点:采用 SIFT 特征匹配具有尺度不变性,降低了特征点的错误匹配率;使用 RANSAC 算法给出较为精确的图像间透视矩阵,从而避免了 L-M 迭代算法收敛到局部最小值。大量实验表明,本方法对于输入图像尺度、视角及光照变化较大的情况具有较好的处理结果。在配置为 Pentium 4 CPU 1.7GHz, 256M 内存的电脑上运行时,拼接两幅大小为  $640 \times 480$  的图像所用时间约为 1~3s。同样以图 1 中 (a)、(b) 两幅图拼接为例,采用本算法拼接时间为 1s。可见本方法是一种快速、稳定的高精度自动图像拼接方法,具有实用价值。

(下转第 52 页)

本模型开发的软件投入使用后,应用效果良好。系统实现了网络内及远程机关部门信息共享、生产计划制定、库存微机管理、成本自动核算、设计参数自动提取、报表自动生成等功能,从而提高了整体工作效率、降低了成本。

#### 4 结束语

分别使用活动网络、基于一般 Petri 网的工作流网和层次颜色工作流网对采煤机械制造业的经营管理过程进行建模,再次证明了基于层次颜色工作流网的过程模型的优点,具备更丰富的语义表达能力、层次化表达能力和描述事务属性的能力。

#### 参考文献:

- [1] The Workflow Reference Model[EB/OL]. 2007. <http://www.wfmc.org/standards/model.htm>.

- [2] 万和平,王明哲. 层次工作流 Petri 网建模与分析[J]. 计算机工程与应用,2005,41(15):211-214.
- [3] van der Aalst W. Verification of Workflow nets[J]. Lecture Notes in Computer Science,1997,1248:407-426.
- [4] Desel J, Esparza J. Free Choice Petri Nets[J]. Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science,1995,40:91-101.
- [5] CPN Tools[EB/OL]. 2007. <http://wiki.daimi.au.dk/cpn-tools/cpn-tools.wiki>.
- [6] Billington J, Gallasch G E, Han Bing. A Coloured Petri Net Approach to Protocol Verification[J]. Lecture Notes in Computer Science,2004, 3098:210-290.
- [7] 谢玉凤,杨光信,史美林. 基于条件化有向图的工作流过程优化[J]. 计算机学报,2001,24(7):729-735.
- [8] 肖郑进. 面向企业应用的工作流精简建模研究[D]. 杭州:浙江大学,2006:32-43.

(上接第 45 页)

#### 参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像处理和分折[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] Brown M, Lowe D. Invariant Features from Interest Point Groups[C]//In Proceedings of the 13th British Machine Vision Conference. Cardiff:[s. n.],2002:253-262.
- [3] Lowe D. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features[C]//In Proceedings of the International Conference on Computer. Corfu, Greece:[s. n.],1999:1150-1157.
- [4] 周长发. 精通 Visual C++ 图像处理编程[M]. 北京:电子工业出版社,2006.

- [5] 何斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.
- [6] 徐正光,田清,张利欣. 图像拼接方法探讨[J]. 微计算机信息,2006,22(3):27-30.
- [7] Uyttendaele M, Eden A, Szeliski R. Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics[C]// In Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Kauai, Hawaii:[s. n.],2001:509-516.
- [8] Szeliski R, Kang S. Direct Methods for Visual Scene Reconstruction[C]// In IEEE Workshop on Representations of Visual Scenes. Cambridge:[s. n.],1995:26-33.

(上接第 48 页)

#### 4 结束语

分析了 ATR 信息处理系统的数据处理流程,提出了基于领域工程的构件模型,并采用代数语言进行了形式化描述。借助于范畴理论给出了 ATR 系统抽象模型。进一步的工作就是在构件模型的基础上支持算法评估和算法的优化选择。ATR 信息处理支撑平台的建立将为 ATR 系统和 ATR 算法的开发制定标准,推动 ATR 技术实用化的进程。

#### 参考文献:

- [1] Ruda H, Snorrason M, Shue D. Framework for automatic target recognition optimization[R]. U S: Charles River Analytics, 1999.

- [2] 楚旺,钱德沛. 以体系结构为中心的构件模型的形式化语义[J]. 软件学报,2006,17(6):1287-1297.
- [3] Shaw M, Garlan D. Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc., 1996.
- [4] Yang Fu qing. Software reuse and relevant technology[J]. Computer Science, 1999,26(5):1-4.
- [5] Luckham D, Vera J, Meldal S. Three concepts of system architecture[R]. US: Stanford University, 1995.
- [6] Guo Jiang. Using Category Theory to Model Software Component Dependencies dependencies. [C]//In: Proc. of the 9th Annual IEEE Int'l Conf. and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS 2002). [s. l.]: IEEE Computer Society, 2002:185-192.