

文章编号:1001-9081(2009)02-0427-02

一种高精度的加权鲁棒估计算法

杨 丹,王宇琛,张小洪

(重庆大学 软件学院,重庆 400030)

(ychw81787410@yahoo.com.cn)

摘 要:通过构造与余差有关的目标函数,给出了一种高精度估计图像几何变换矩阵的鲁棒算法——加权鲁棒估计算法。算法首先对原始数据进行计算得出图像间几何变换关系矩阵,再利用特征点周围的灰度信息进行权值计算。在拟合几何变换矩阵的迭代过程中,寻找目标函数最小的匹配关系,从而对两幅图像进行精确配准。实验结果证明,使用该技术后算法的图像配准效果较理想,鲁棒性好,真实感强,实际应用价值较高。

关键词:几何变换矩阵;特征点;灰度信息;目标函数;鲁棒性

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

A weighted robust estimating algorithm with high accuracy

YANG Dan, WANG Yu-chen, ZHANG Xiao-hong

(School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In this paper, a cost function related to residual errors was introduced, and a weighted robust algorithm was presented. Firstly, the geometric transform matrix from the original data was calculated. Weight could be gained from the gray information around the key points. In the process of fitting the model of matrix, the optimal registration relation of the two pictures was found. Experimental results are of better satisfaction, better robustness and stronger sense of reality. It is highly valuable in practice.

Key words: geometric transform matrix; key points; gray information; cost function; robustness

0 引言

图像配准是将取自不同时间、角度或传感器的几幅图像进行匹配,使其适合用于对图像的融合、镶嵌等。图像配准可以分为基于灰度特征和基于特征点匹配^[1-2]两种基本方法。前者主要取决于图像的灰度统计特征,将图像的局部相互关联^[3-5],适用于在灰度分布上有明显线性特征的图像。后者主要研究图像的某些特征,适用于具有明显特征的图像。传统的图像配准方法将以上两种基本方法分裂开来,基于灰度统计特征的方法加大了算法的计算量,基于特征点匹配的方法忽视了特征提取过程中的误匹配,而单纯的采用 RANSAC 算法^[6-7]去除噪声点,不能使得精确的匹配点在配准过程中发挥显著作用,且去噪效果并不是很理想。本文将二者有效地结合起来,通过特征点得到两幅图像之间的几何变换关系,并通过比较特征点邻域内的图像灰度信息在迭代过程中不断修改误差权值,求出与灰度和余差有关的目标函数,从而减少错误匹配点对最终配准效果的影响。

1 特征点的提取与几何变换关系

在基于特征的图像配准过程中,对于图像特征的选取非常重要。特征点是图像的一种基本特征,从待配准图像中精确地提取点特征,可以将图像间的配准转化为两个特征点集的匹配。由于 Harris 角点检测^[8]的简单易行及其良好的检测性能等特点,被广泛地应用于诸多图像处理特征提取阶段。但是, Harris 角点对尺度要求较敏感。本文采用 SIFT 算子^[9]提取特征点和特征描述符,形成两幅图像的对应匹配点对。SIFT 算子对旋转、尺度缩放、仿射变换、视角变化、光照变化等图像变化因素保持一定的不变性。本文中,特征点的匹配

是通过对提取的特征描述符计算欧式距离来作为相似的判定尺度的。图 1 展示了两幅图像 SIFT 算子得出的特征点的初始匹配点对。



图 1 两幅图像 SIFT 算子得出的特征点初始匹配点对

为了实现同一场景的图像配准,首先必须确定图像之间的空间对应关系,即几何变换关系。所以,图像之间的配准问题就转化成了确定该模型的参数问题。目前常用的投影变换关系模型有平移变换模型、刚性变换模型、仿射变换模型及投影变换模型等。8 参数投影变换模型是图像变换的一般表达模型,如式(1)所示:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, m_2 和 m_5 表示两图的平移量, m_0, m_1, m_3, m_4 表示尺度 and 旋转量, m_6 和 m_7 表示水平和垂直方向的变形量。 $(x, y, z)^T$ 和 $(x', y', z')^T$ 分别表示两幅图中的特征点,一般采用非线性最小二乘法^[10]来拟合该参数模型。

2 鲁棒估计算法

通过 SIFT 算子确定了初始匹配点以后,由于噪声点的存在不能得出最佳的几何变换关系。目前已有许多算法用于处

收稿日期:2008-09-02;修回日期:2008-10-14。 基金项目:重庆大学研究生科技创新基金资助项目(200801A1B0290288)。

作者简介:杨丹(1962-),重庆云阳人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像处理、计算机视觉、可信软件;王宇琛(1985-),江西南昌人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理,计算机视觉;张小洪(1972-),四川大竹人,副教授,主要研究方向:计算机视觉,模式识别。

理去除噪声点,效果尤为显著的就是 RANSAC 算法。然而采用 RANSAC 算法只是在一定的匹配误差范围以内选出内点从而去除噪声点,却不能使精确的匹配点发挥显著作用。而同一个场景中,从不同角度采集的两幅图像在灰度值的变化上差异很小,所以本文提出了一种新的鲁棒估计算法。假设图 a 经过某一几何变换,变成了图 a',如图 2 所示。

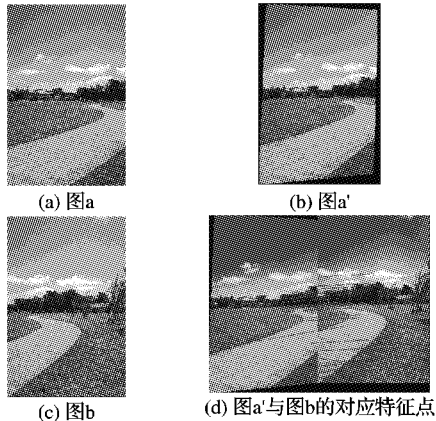


图 2 两幅场景图像

图 a'中与图 a 中的特征点虽然不是同一坐标,实则为同一组点,如图 2(d)所示。如果匹配点对是正确的且几何变换关系参数能够满足两幅图像的配准,则特征点周围的信息应该相近。将这些点与图 b 中的特征点对应,分别取图 a'和图 b 中对应点周围的一个小邻域,取各自邻域内各像素的灰度值作一个差,得出的结果取绝对值。比如取点周围的 3×3 的正方形邻域,如图 3 所示。

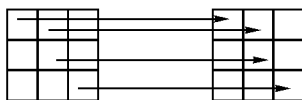


图 3 3×3 的正方形邻域

$$L = \sum |a_{ij} - b_{ij}|; i = 1, 2, \dots, 9, j = 1, 2, \dots, 9$$

将两个邻域内对应的像素的灰度值一一作差。其中,必定有最小的差和最大的差,我们认定最小的那个点或者那几对点是最有效的点,并定义一个阈值 T ,如果大于 T 则认为含有不是相交区域的匹配点。

权值的定义: $Q = \frac{M - N}{M - L}$, 其中, M 为差异最大的绝对值之和, N 为差异最小的绝对值之和, L 为任一对点的领域像素

灰度值差异。定义 $\sum_{i=1}^k Q * \varepsilon_i^2$ 为目标函数,在迭代过程中求出使目标函数最小的几何变换关系,则图像匹配效果最佳。其中, ε_i^2 为各点的欧氏距离, k 为参与用于估计几何变换关系矩阵的内点个数。这样做的目的是使不准确点对图像配准的影响效果小,而准确点的影响效果大。

$$\varepsilon_i^2 = \|Hx - x'\|^2$$

其中 x 代表图 a 中的点, x' 代表图 b 中的点, H 代表几何变换关系矩阵。

算法步骤如下:

- 1) 用 SIFT 提取特征点;
- 2) 从两幅图提取的特征点对集中随机地选取最小的足够数量的对应点对,计算两幅图的几何关系矩阵 H 。
- 3) 根据得到几何变换关系,将其中一幅图进行坐标变换。将两幅图像对应的匹配点进行邻域内的差值计算,求得

权值 Q , 并记录下目标函数 $\sum_{i=1}^k Q * \varepsilon_i^2$ 的值。

4) 根据得到的几何变换关系找寻所有对应匹配点对中欧氏距离在一定范围内的点,称为内点。

5) 用得到的内点进行迭代。迭代过程为:如果迭代次数小于给定的值,则返回 3);否则,选出目标函数最小几何变换参数作为最佳配准拟合模型参数。

此处,内点是 $\varepsilon_i^2 = \|Hx - x'\|^2$ 小于事先给定的某个阈值的点集。

3 实验结果及分析

用本文的算法对实际图像进行处理。图 4(b)是两幅航拍图像初始特征点匹配效果,从图中可以看出有很多噪声点对存在。图 5 为这两幅航拍图像用 RANSAC 算法和用本算法得出的最终匹配特征点的匹配效果,可以明显地看出 RANSAC 得出的内点对中有些匹配是错误的,这是由于 RANSAC 算法根据欧氏距离 ε_i^2 来确定是否为内点。在规定相同内点阈值情况下,本算法极大地消除了错误点对图像的影响。从实验结果可以看出,本文算法得出的内点更少,说明找到了一组更为精确的匹配点对,排除了不精确匹配点对估计两幅图之间几何变换关系的影响。从式(1)可以知道,只要给出足够的匹配点对,少量的点便可以得出最终的几何变换关系矩阵 H , 所以少而精确的内点集是得出精确变换关系的关键。由于算法的步骤是随机地从初始匹配点对中选取足够量的点对来扩充内点集,所以得出的最最终结果会有不同的结果,但总体比较稳定。图 6 给出本算法用于图 4(a)的两幅航拍图片配准的 100 次实验结果概率分布。图 7 为采用本算法图像配准的最终效果。从实验结果中可以看出,在场景相同、光照效果变化较小的情况下,本文算法具有良好的鲁棒性。

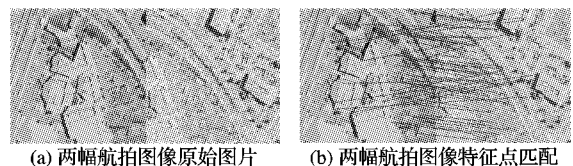


图 4 两幅航拍图像初始特征点匹配效果

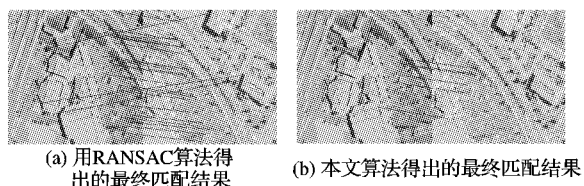


图 5 经典 RANSAC 算法与本文算法得出的最终匹配效果

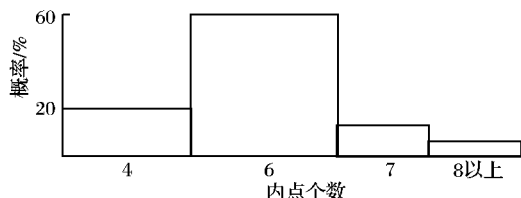


图 6 本文算法 100 次实验的结果概率分布

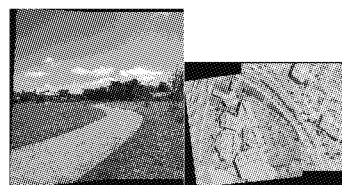


图 7 本文算法图像配准的最终效果

表1是本文方法与文献[1,5] FRFT方法之间的比较。 m_1 、 m_2 是利用FRFT方法检测到的信号调频率; m'_1 、 m'_2 是利用Duffing振子检测到的信号调频率。“\”表示未能检测出水

印。数据表明,本文在小波域嵌入微弱水印信号并且使用Duffing振子检测水印,其性能在低信噪比条件下较FRFT方法的检测性能高。

表1 利用FRFT方法检测/利用本文方法检测水印的抗攻击性能比较(使用图像为wbarb)

嵌入强度 α	含水印图像无攻击 $m_1, m_2/m'_1, m'_2$	叠加加性高斯噪声 $m_1, m_2/m'_1, m'_2$	JPEG2000 压缩(32:1) $m_1, m_2/m'_1, m'_2$	含水印图像旋转 20 $m_1, m_2/m'_1, m'_2$	含水印图像旋转 10 $m_1, m_2/m'_1, m'_2$	剪切(30%) $m_1, m_2/m'_1, m'_2$
0.001	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.120, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.25	\, \, \backslash/0.100, 0.250	\, \, \backslash/0.120, 0.240	\, \, \backslash/0.100, 0.200
0.002	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.120, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.25	\, \, \backslash/0.120, 0.250	\, \, \backslash/0.120, 0.240	\, \, \backslash/0.100, 0.200
0.003	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.25	\, \, \backslash/0.120, 0.250	\, \, \backslash/0.120, 0.250	\, \, \backslash/0.100, 0.240
0.004	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.25	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.120, 0.250
0.005	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.25	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.120, 0.250
0.010	0.125, \, \backslash/0.125, 0.250	0.120, \, \backslash/0.125, 0.250	0.120, \, \backslash/0.125, 0.25	\, \, \backslash/0.125, 0.250	0.100, \, \backslash/0.125, 0.250	\, \, \backslash/0.125, 0.250

4 结语

本文提出一种基于混沌振子的微弱水印信号盲检测方法。本算法将微弱的多分量Chirp信号作为数字水印嵌入到原始图像低频小波系数中,然后将Chirp水印转化为周期信号,并采用混沌振子进行超低信噪比条件下微弱周期信号的盲检测。算法可以有效地提取水印信号。仿真实验表明本文提出的算法可以极大地提高水印图像的峰值信噪比,对于一些常见图像处理操作和有损压缩具有鲁棒性,检测系统简单。未来的工作可以在本文的基础上,进一步提高Duffing振子阵列的频率分辨率,提高水印抗旋转攻击的性能,进行有意义的水印算法研究。

参考文献:

- [1] STANKOVIC S, DJUROVIC I, PITAS I. Watermarking in the space/spatial-frequency domain using two-dimensional radon-wigner distribution[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(4): 650-658.
- [2] WANG M S, CHAN A K, CHUI C K. Linear frequency modulated signal detection using radon-ambiguity transform[J]. IEEE Transactions on signal Processing, 1998, 46(3): 571-586.
- [3] 张峰, 穆晓, 敏杨守义, 等. 基于FRFT盲检测Chirp类数字水印

算法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(27): 57-61.

- [4] 朱春华, 穆晓敏, 张峰. 基于修正Chirp-fourier变换的数字水印算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(17): 213-215.
- [5] 李东明, 王典洪, 严军. 基于小波与分数傅里叶变换的图像水印算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(8): 15-18.
- [6] WONG P W. A public key watermark for image verification and authentication[EB/OL]. [2008-06-13]. http://clip.informatik.uni-leipzig.de/toelke/Watermark/mal1_07.pdf.
- [7] 文忠, 李立萍. 基于Duffing振子的弱Chirp信号检测与参数估计[J]. 自动化学报, 2007, 33(5): 536-539.
- [8] LI SHILIN, SHANG QIUFENG, YIN CHENGQUN, et al. Practical methods to identifying chaotic characters[C]// IEEE International Conference on Neural Networks & Signal Processing Nanjing. New York: IEEE, 2003: 14-17.
- [9] 孙中伟, 冯登国, 武传坤. 基于弱信号检测理论的离散小波变换域数字水印盲检测算法[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(11): 1920-1926.
- [10] ALMEIDA L B. The fractional Fourier transform and time-frequency representations[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1994, 42(11): 3084-3091.
- [11] 李月. 混沌振子检测引论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [12] 李英祥, 肖先赐. 低信噪比下线性调频信号检测与估计[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(8): 43-45.

(上接第428页)

表1 内点个数结果比较(括号内是该数目发生的概率)

示意图4航拍图片实验比较	SIFT初始匹 配点对数	不同去噪算法获得的 内点个数(百分率)
采用灰度比较的鲁棒估计算法	117	6(60%)
一般的RANSAC去噪声点算法	117	27(53%)

4 结语

本文提出一种新的将特征点和灰度值统计相结合的鲁棒估计算法。首先通过特征点得到两幅图像之间的几何变换关系,并通过比较特征点领域内的图像灰度信息在迭代过程中不断修改误差权值,从而减少错误匹配点对最终配准效果的影响。单纯地采用RANSAC算法去除噪声点,不能使得精确的匹配点发挥更大作用。本文提出的邻域灰度值的比较方法,可以使精确的匹配点在配准过程中效用最大化。实验表明,该算法在同一场景、光照变化不大的情况下具有良好的配准效果。

参考文献:

- [1] 龙祖利, 宋京燕. 基于角点检测法的图像配准[J]. 网络与信息技术, 2007, 26(5): 1006-1576.
- [2] 李晓娟, 郭宝龙. 一种基于兴趣点方向特征的图像拼接方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(12): 26-28.

- [3] SZELISKI R, SHUM H Y. Creating full view panoramic image mosaics and environment maps[C]// Proceedings of ACM SIGGRAPH'97. Los Angeles: Addison Wesley, 1997: 251-258.
- [4] SHUM H Y, SZELISKI R. Construction and refinement of panoramic mosaics global and local alignment[C]// Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1998: 953-958.
- [5] REDDY B S, CHATTERJI B N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(8): 1266-1271.
- [6] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of ACM, 1981, 24(6): 381-395.
- [7] CHUM O, MATAS J, KITTLER J. On enhancing RANSAC by generalized model optimization[EB/OL]. [2008-06-27]. <ftp://cmp.felk.cvut.cz/pub/cmp/articles/chum/chum-accv04.pdf>.
- [8] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector[EB/OL]. [2008-06-27]. <http://www.ipb.uni-bonn.de/readings/1987/harris87.combined.pdf>.
- [9] BROWN M, LOWE D G. Recognising panoramas[EB/OL]. [2008-06-27]. <http://www.cs.ubc.ca/~mbrown/papers/iccv2003.pdf>.
- [10] MADSEN K, NIELSEN H B, TINGLEFF O. Methods for Non-linear least squares problems[EB/OL]. [2008-06-27] http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/3215/pdf/imm3215.pdf.