

基于区域特征与灰度交叉相关的序列图像拼接

冷晓艳,薛模根,韩裕生,李从利

(解放军炮兵学院 光电信息处理实验室,安徽 合肥 230031)

摘要:针对具有平移、旋转、缩放变换的序列图像连续拼接,提出一种将基于区域特征的配准算法和基于灰度交叉相关的配准算法相结合的拼接算法。该算法用迭代阈值分割算法提取区域,利用区域特征进行配准,建立初始的同名区域对;然后以同名区域对的质心点作为特征点,基于图像的灰度信息,选择交叉相关准则作为度量;最后得到图像间的精确变换关系,实现序列图像的拼接。实验结果表明,算法配准率高,鲁棒性强。

关键词:图像拼接; 图像配准; 区域特征; 交叉相关; 序列图像

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276-(2005)05-0602-04

Sequence image stitching based on area feature and cross correlation

LENG Xiao-yan, XUE Mo-gen, HAN Yu-sheng, LI Cong-li

(Opto-electronics Information Processing Laboratory, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: A new stitching algorithm based on area feature and cross correlation for the sequence image with transformation of translation, rotation and isometric scaling is proposed. Firstly, feature areas are extracted by segmenting the image with the iterative threshold method, and pairs of homonymy areas through area features are established; secondly, the algorithm of the intensity around the feature points - centroids of areas is used to calculate the cross correlation; thirdly, the accurate transformation is obtained and the sequence images are stitched. The experimental result demonstrated the algorithm is accurate in matching.

Key words: Image stitching; Image registration; Area feature; Cross correlation; Sequence image

0 引言

为了对场景进行深入分析,常常需要得到一幅大视野图像,图像拼接就是利用计算机技术进行图像自动配准、图像融合,以获得宽角度图片。

图像配准目前采用的算法主要有两类:一类是基于灰度的配准算法,直接利用图像的灰度信息进行配准,这类算法的研究比较成熟,易于实现,信息丰富,但计算量大、对图像畸变适应力弱;另一类是基于特征的配准算法,在原始图像上提取边缘、区域、点等特

收稿日期:2004-11-29; 修订日期:2005-01-21

作者简介:冷晓艳(1976-),女,山东平度人,硕士生,主要研究方向为图像处理。

征,再进行特征集的配准,这类算法对图像畸变有较好的适应性,但由于提取特征过程中损失了大量的图像信息,配准的精确度和准确性受到影响。两类算法各有优缺点,而多个算法的融合与集成可以克服单个算法的局限性,提高配准的适应性^[1,2]。

本文研究的序列图像由无人操纵空中平台拍摄所得,在成像过程中,由于受到空气阻力、空气升力、风、重力等的作用,采集所得的序列图像间的差别表现为:分辨率、灰度属性、位置(平移和旋转)、比例尺(缩放)、非线性变形等均不同。假设摄像头的下落是一个平缓而连续的过程,几何畸变是有限度的^[3],所以考虑平移、旋转和缩放变化。图像序列是以较短的时间间隔拍摄的,在短时间内景物和摄像头之间的运动有限,因此序列图像间的变换也比较小,所以可得到一些先验知识,即序列图像帧间平移、旋转和缩放变化近似且幅值小,帧间图像重叠区域大。

针对所研究图像的特点,结合上述两类算法的优缺点,用基于区域特征算法建立匹配对,用基于灰度交叉相关算法去除误匹配。

1 基于区域特征算法建立初始匹配对

1.1 算法

基于特征的图像配准中有两个重要的环节^[4]:基元的选择和相似性度量。可以选择的基元有:特征点、线以及特征区域。相似性度量一般采用计算其互相关值。采用特征区域作为配准基元,使用迭代阈值分割算法^[5]进行区域分割。提取分割所得的封闭区域,用其周长、面积、质心到边界点的最长距离(半长轴)和最短距离(半短轴)等来描述区域的特征。假设基准图 f_1 中有 m 个特征区域,待拼接图 f_2 中有 n 个特征区域,采用归一化互相关来度量两个区域的相似性:

$$p(A_i, B_j) = \frac{\sum_{i=1}^k [a_{i1} \cdot b_{j1}] + \dots + \sum_{i=1}^k [a_{ik} \cdot b_{jk}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^k [a_{i1}]^2 + \dots + \sum_{i=1}^k [a_{ik}]^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^k [b_{j1}]^2 + \dots + \sum_{j=1}^k [b_{jk}]^2}} \quad (1)$$

式中 A_i, B_j 分别为 f_1 和 f_2 中的特征区域; $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}$ ($1 \leq i \leq m$)为 A_i 的 k 个特征属性; $b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jk}$ ($1 \leq j \leq n$)为 B_j 的 k 个特征属性。设定一个阈值 T_q ,当 $p(A_i, B_j)$ 大于 T_q 时就认为 A_i, B_j 为同名区域。

在进行同名区域的搜索时,考虑到序列图像间的运动比较小,一个特征区域与它在相邻帧里的同名区域的位置相差不会很远,所以可将搜索限制在一个小范围内进行,不必进行全图搜索。通过分析图像运动,发现相邻帧在 x 方向和 y 方向的平移变化范围在-10~10个像素之间,缩放变化范围在0.98~1.02之间,旋转变化范围在 $2^\circ \sim 6^\circ$ 之间。这里把搜索范围限定在以区域质心为中心,20个像素为半径的区域内。

1.2 实验结果及分析

用VC++实现上述算法,对10幅序列图像进行配准,以经验值0.8作为判断阈值,对所得的125对同名区域进行人工判读,有96对正确,即正确率为76.8%,误匹配率为23.2%。而在正确配准的同名区域对里,有18对在区域质心的位置上有小的偏差,一般在1~4个像素位置,如图1所示。由于序列图像间的变化比较小,所以该偏差对拼接结果的影响不可忽略。

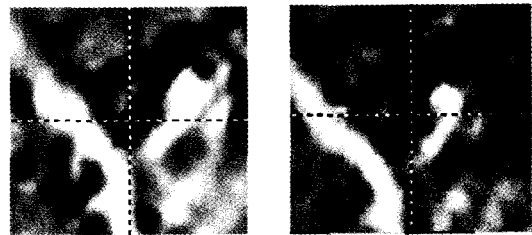


图1 同名区域对在质心位置上的微小偏差

Fig.1 Slim windage on centroids position of homonymy areas pairs

分析造成误匹配的原因,一是图像受噪声影响,二是区域分割算法边界定位不准确。基于特征配准的难点在于自动、稳定、一致的特征提取和在配准过程中消除特征的模糊性、不一致性^[2,6],都会导致误匹配的出现。为提高配准的精确度和正确性,在已建立的初始同名区域对的基础上,用基于灰度交叉相关算法对匹配对进行判断和调整,去除误匹配。

2 基于灰度交叉相关算法去除误匹配

2.1 算法

基于灰度的配准算法是在原始图像数据或经过一定预处理的图像数据上进行配准,典型方法是采用图像间对应像素灰度值的某种相似性最大化实现配准。

本文直接在原始图像数据基础上进行灰度匹配,

不对原始图像进行预处理,因为预处理在一定程度上会损失和修改图像信息,影响配准的精确度和正确性。

使用交叉相关准则来度量相似程度。设 P 和 Q 分别是基准图 $f_1(x,y)$ 和待拼接图 $f_2(x,y)$ 中经过区域特征配准得到的一对同名区域对, $p(p_x, p_y)$ 和 $q(q_x, q_y)$ 分别是 P, Q 的质心点,可将其视为特征点。度量 p 和 q 的交叉相关准则为:

$$C(p, q) = \frac{\sum_{x=-m}^{x=m} \sum_{y=-m}^{y=m} [f_1(p_x+x, p_y+y) - \mu_1][f_2(q_x+x, q_y+y) - \mu_2]}{\left[\sum_{x=-m}^{x=m} \sum_{y=-m}^{y=m} [f_1(p_x+x, p_y+y) - \mu_1]^2 + \sum_{x=-m}^{x=m} \sum_{y=-m}^{y=m} [f_2(q_x+x, q_y+y) - \mu_2]^2 \right]^{1/2}} \quad (2)$$

式中 m 为局部匹配窗口的半径,通常可取 3~9 个像素,这里取 3 个像素; μ_1 为基准图 $f_1(x,y)$ 在 $p(p_x, p_y)$

附近的局部均值,即 $\mu_1 = \frac{\sum_{x=-m}^{x=m} \sum_{y=-m}^{y=m} f_1(p_x+x, p_y+y)}{(2m+1)^2}$; μ_2 为待

拼接图 $f_2(x,y)$ 在 $q(q_x, q_y)$ 附近的局部均值,即 $\mu_2 =$

$$\frac{\sum_{x=-m}^{x=m} \sum_{y=-m}^{y=m} f_2(q_x+x, q_y+y)}{(2m+1)^2}。$$

由于已经建立了初始同名区域对,在用灰度交叉相关进行配准时就不必在全图范围内进行搜索,只需在同名区域周围有限的范围内进行配准,这样就克服了基于灰度的算法计算量大、效率低的缺点。实验中固定基准图 $f_1(x,y)$ 中的 $p(p_x, p_y)$ 位置不变,在待拼接图 $f_2(x,y)$ 中取以 $q(q_x, q_y)$ 为中心、9 个像素为半径的区域,在这个局部区域中搜索,设在位置 $q'(q'_x, q'_y)$ 处得到最大的交叉相关值 C_{\max} , 如果 C_{\max} 大于阈值 T_c , 则认为 $p(p_x, p_y)$ 与 $q'(q'_x, q'_y)$ 为正确的同名点。

2.2 实验结果及分析

对同样 10 幅序列图像进行配准实验,以经验值 0.7 作为交叉相关准则的阈值,将已有的 125 对同名区域的质心点对作为特征点对。其中,有 91 对特征点的交叉相关值大于阈值。通过人工判读,有 90 对正确,即正确率为 98.9%,误匹配率为 1.1%,而且有效地消除了位置上的微小偏差,如图 2 所示。

实验中出现的一个误匹配,这是由于正确的匹配位置超出搜索范围。

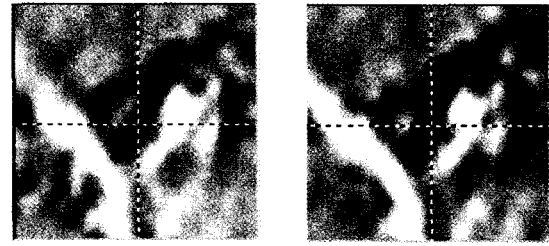


图 2 消除微小偏差

Fig.2 Elimination of slim windage

3 序列图像拼接

3.1 获得图像的数学变换

图像的几何变换可分为三类:全局、局部和位移场形式^[7]。典型的全局几何变换包括以下的一种或几种:平移、旋转、缩放、二次或三次多项式变换等。局部变换有时又被称为弹性映射,允许在不同的位置有不同的变换参数模型。位移场方法有时称为光流场法,使用一个(连续的)函数优化机制,为图像中的每一点计算出一个独立的位移量,并使用某种规整化机制进行约束。由于本文所分析的序列图像的帧间变化较小,假设图像间是全局变换,考虑平移、旋转和缩放。

全局的变换通常基于矩阵代数理论,用一个参数矩阵来描述整个图像的变换。图像间只考虑平移、旋转、缩放变换时称为刚体变换,表示为:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中 (x,y) 为变换前的坐标; (x',y') 为变换后的坐标; θ 为二维平面旋转角度; c 和 d 为二维平面的位移因子; S_x, S_y 为水平方向和垂直方向的比例因子。假设比例尺变化是各向同性的,即 $S_x = S_y$ 。这样方程中有四个变换参数。要获得这四个参数需要两对同名点,用如下的搜索策略来得到这两对同名点。将获得的同名点对按交叉相关值的大小排列,即:

$$C(p_1, q_1) \geq C(p_2, q_2) \geq \dots \geq C(p_n, q_n) \quad (5)$$

将当前排在最前的两对点 $p_l(p_{lx}, p_{ly})$ 、 $q'_l(q'_{lx}, q'_{ly})$ 、 $p_{l+1}(p_{(l+1)x}, p_{(l+1)y})$ 、 $q'_{l+1}(q'_{(l+1)x}, q'_{(l+1)y})$, $1 \leq l \leq n$, 代入公式(3), 获得变换 T 。再将同名点对 (p_{l+2}, p'_{l+2}) 中的 $p_{l+2}(p_{(l+2)x}, p_{(l+2)y})$ 代入变换 T 中, 得 $q''_{l+2}(q''_{(l+2)x}, q''_{(l+2)y})$, 计算 $q'_{l+2}(q'_{(l+2)x}, q'_{(l+2)y})$ 与 $q''_{l+2}(q''_{(l+2)x}, q''_{(l+2)y})$ 的平方误差:

$$E(q'_i, q''_i) = [(q'_{ix} - q''_{ix})^2 + (q'_{iy} - q''_{iy})^2]^{1/2} \quad (6)$$

如果 $E(q'_{l+2}, q''_{l+2})$ 小于1, 则认为变换 T 是正确变换; 如果 $E(q'_{l+2}, q''_{l+2})$ 大于1, 则认为这三对同名点中有误匹配。重新将 $p_{l+3}(p_{(l+3)x}, p_{(l+3)y})$ 代入变换 T 中, 计算出 $E(q'_{l+3}, q''_{l+3})$, 如果仍大于1, 则认为误匹配出现在参与计算 T 的两对同名点中。重新选取在公式(5)中排在前面的两对点计算新的变换 T 。由于计算是基于配准正确率很高的同名点集, 所以很快就能搜索到符合条件的变换 T 。

3.2 拼接结果

图3是用实际采集的 320×240 的24位真彩序列图像做拼接样本, 图4为连续拼接20幅的最终结果。

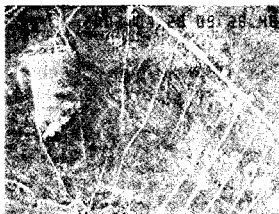


图3 基准图

Fig.3 Base image



图4 连续20幅的拼接结果

Fig.4 Stitching result of 20 sequence images

4 结束语

基于区域特征的配准算法建立初始同名区域对

能较好地消除图像畸变和灰度差异的影响, 但配准率不高; 基于灰度交叉相关的配准算法在图像畸变和灰度差异不大的情况下, 配准精度高, 健壮性好, 但效率不高。通过结合两类配准算法, 以基于区域特征的配准算法提供初始匹配对, 缩小搜索范围, 提高配准效率, 用基于灰度的配准算法提升配准精度和准确率。实验表明, 本文算法配准率高、拼接效果好, 值得进一步研究和探讨。

参考文献:

- [1] WANG Dong-feng, ZOU Mou-yan. Automatic registration of multi-modal images based on the maximization of the alignment metric [J]. Journal of Electronics and Information Technology (王东峰, 邹谋炎. 基于最大化对齐度的多模态图像自动配准. 电子与信息学报), 2003, 25(6): 755-762.
- [2] ZHAO Feng-wei. Scene Matching Algorithm, Performance Evaluation and Applications [D]. Changsha: National University of Defense Technology (赵锋伟. 景象匹配算法、性能评估及其应用. 长沙: 国防科技大学), 2002.
- [3] Brown L.A. A survey of image registration techniques [J]. ACM, Computing Surveys, 1992, 24(4): 325-376.
- [4] WANG Run-sheng. Image Understanding [M]. Changsha: National University of Defense Technology Press (王润生. 图像理解. 长沙: 国防科技大学出版社), 1995.
- [5] LANG Rui. Digital Image Processing [M]. Beijing: Hope Electronics Press (朗锐. 数字图像处理学. VC++实现. 北京: 希望电子出版社), 2003.
- [6] YANG Xiao-gang, MIAO Dong, FU Guang-yuan. A hierarchical matching algorithm based on image physical feature [J]. Computer Engineering and Applications (杨小冈, 缪栋, 付光远. 一种基于图像物理特征的分层匹配算法, 计算机工程与应用), 2002, 10: 106-108.
- [7] ZHANG Quan-bing, LUO Bin, WEI Sui, et al. Registration for feature point sets based on affine transformation [J]. Journal of Image and Graphics (张权兵, 罗斌, 韦穗, 等. 基于仿射变换模型的图像特征点集配准方法研究. 中国图象图形学报), 2003, 10: 1121-1125.