

基于特征点对齐度的图像配准方法

葛永新^① 杨丹^② 张小洪^②

^①(重庆大学数理学院 重庆 400044)

^②(重庆大学软件学院 重庆 400044)

摘要: 该文提出了一个新的匹配准则——特征点对齐度准则,并在此基础上提出了一种基于特征点对齐度准则的图像配准方法。首先,利用小波多尺度积提取出图像的特征点及其角度信息,再利用该文提出的特征点对齐度准则计算所有特征点对之间的对齐度,从而得到匹配点对。实验结果证明了该方法的精确性和有效性。

关键词: 对齐度;多尺度积;小波

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)02-0425-04

A New Method for Image Registration Based on Alignment Metric of Feature Points

Ge Yong-xin^① Yang Dan^② Zhang Xiao-hong^②

^①(College of Mathematics & Physics, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

^②(Faculty of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A new matching metric——alignment metric of feature points is defined, and a new approach to image registration based on alignment metric of feature points is proposed. Feature points and their angles are detected by using wavelet multi-scale product, then the alignment metric of all feature points are calculated, so matching points can be obtained. The experimental results illustrate the algorithm has a good performance of accuracy and efficiency.

Key words: Alignment metric; Multi-scale product; Wavelet

1 引言

图像配准是将不同时间、不同的传感器(成像设备)或不同条件下(天候、照度、摄像位置和角度等)获取的两幅或多幅图像进行匹配、叠加的过程,是图像处理的一个基础问题,并且已经成为一项重要技术,被广泛地应用于遥感数据分析、计算机视觉、模式识别、医学图像处理等领域^[1,2]。

目前提出的用于配准的算法主要可以分为两种:基于灰度统计特性的方法和基于特征的方法^[3]。基于灰度相关的匹配算法一般不需要对图像进行复杂的预先处理,而是利用图像本身具有的灰度的一些统计信息来度量图像的相似程度。主要特点是实现简单,但应用范围较窄,不能直接用于校正图像的非线性形变,在最优变换的搜索过程中往往需要巨大的运算量。基于特征的图像匹配算法是图像配准方法中的一个大类,这类方法的主要共同之处是首先要对待配准图像进行预处理,也就是特征提取的过程,再利用提取到的特征完成两幅图像特征之间的匹配,通过特征的匹配关系建立图像之间的配准映射变换。这类方法的主要优点是它提取了图像的显著特征,大大压缩了图像的信息量,使得计算量小,速度较快,而且它对图像灰度的变化具有鲁棒性^[4]。

文献[5,6]给出的基于边缘的图像配准方法,在确定匹配

点对时,采用了相关度准则,相关度准则是采用两幅图像的对应像素的灰度差累计和来度量它们之间的相似性,因而受两幅图像灰度属性差异的影响。谔安军等^[3]和王东峰等^[7]提出了基于对齐度准则的配准方法,它不需要两幅图像的灰度之间有线性相关,并且不受两幅图像灰度属性差异的影响,从而比相关度准则具有更强的适用性。但是他们在得到最大对齐度的过程中都需要在整幅图像中分别对 x , y 和 θ 3 个方向进行搜索,因而计算量较大,同时在搜索的过程中,有可能陷入局部极值,导致误匹配。而本文提出的对齐度准则是基于图像特征点的:首先利用小波多尺度积提取出图像的特征点及其角度信息,再利用本文提出的特征点对齐度准则计算所有特征点对之间的对齐度,从而得到匹配点对。由于此方法只针对提取出的特征点计算对齐度,因而大大减少了计算量,同时也避免了搜索。

本文的其余部分组织如下:文章第 2 节简单介绍了利用小波多尺度积提取图像的特征点及其角度信息;第 3 节提出了基于特征点的对齐度准则,并利用它定义候选匹配点对;第 4 节给出了本文的算法流程图;第 5 节展示了实验效果及其分析;最后是结束语。

2 应用小波多尺度积提取图像的特征点及其角度信息

边缘是图像最基本的特征,也是比较固定的特征,所以

是图像处理中非常重要的一个问题。迄今已有很多的边缘检测方法,如梯度算子,拉普拉斯算子, Sobel 算子, Robert 算子, Marr 算子和应用小波变换等。前面几种方法在抗噪性和边缘定位等方面往往不尽如人意,这主要是边缘和噪声都是高频信号,很难在噪声和边缘中取舍。而小波变换可以从能量方面来区分边缘和噪声,使得小波变换在抗噪和边缘定位方面有独特的优势^[3]。

本文采用的是一种简单的小波多尺度边缘检测算法^[8]。假设 $P(x, y)$ 是从图像 $f(x, y)$ 提取出来的边缘点,其在尺度下 2^l 的模和幅角分别为 $M_{2^l}f(x, y)$ 和 $A_{2^l}f(x, y)$, 则特征点可以定义如下:

定义1 若点 $P(x, y)$ 满足以下条件, 则定义 $P(x, y)$ 为特征点:

(1) $P(x, y)$ 是边缘点即模 $M_{2^l}f(x, y)$ 的局部极大值点, 且点 $P(x, y)$ 使 $M_{2^l}f(x, y) > T$, T 为阈值。阈值 T 可以用来控制产生的特征点的数量;

(2) $|A_{2^l}(x, y) - A_{2^{l+1}}(x, y)| < 5^\circ$;

(3) $M_{2^l}f(x, y) = \max_{(x', y') \in N_p} \{M_{2^l}f(x', y')\}$, 其中 N_p 是点

$P(x, y)$ 周围 $(2L+1) \times (2L+1)$ 大小的邻域。 L 的大小用来控制特征点在图像中的疏密程度, 即避免两个特征点距离过近。

这里条件(1)限制了特征点会落在多尺度积筛选下的强边缘上, 条件(2)限制了方向受噪声影响大的点不被选中, 条件(3)限制了特征点的疏密程度。

3 特征点对齐度准则

对两幅图像的特征点进行匹配时, 选择恰当的相似性算法对匹配定位精度至关重要。常用的特征匹配方法有: 互相关系数法、互信息法、聚类法、点间距离法、松弛法等^[4]。王东峰等人^[7]提出了一种新的匹配准则——对齐度, 该准则利用了图像的交互方差, 并有以下优点: 它不需要两幅图像的灰度之间有线性相关且不受两幅图像灰度属性差异的影响, 比相关度准则有更强的适用性。

本文所提出的对齐度是基于特征点的对齐度, 即在小波多尺度积提取出特征点及其角度信息的基础上, 根据角度直方图得到的大致旋转角度^[5,6], 在两幅待配准图像中提取以特征点为中心的特征子图, 计算所有这些特征子图的对齐度。

设待配准图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 提取出来的特征点集为 $P_{\hat{1}} = \{p_i = (p_x^i, p_y^i)^t\}_{i=1,2,\dots,N_1}$ 和 $P_{\hat{2}} = \{q_j = (q_x^j, q_y^j)^t\}_{j=1,2,\dots,N_2}$ 。对任意特征点对 (p_i, q_j) , 假设其在待配准图像中提取的特征子图分别为 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ 。如图1所示, 其中子图 $I_2(x, y)$ 的提取与特征点 p_i 和 q_j 的角度差有关, 大小同为 $M \times N$ 。对于每一个灰度等级 $n = i$ ($0 \leq i \leq 255$), 定义 $H_1(n)$ 和 $H_2(n)$ 分别代表了 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ 中灰度值为 i 的像素个数, 于是灰度值 i 在两幅图像中的出现比率分别为

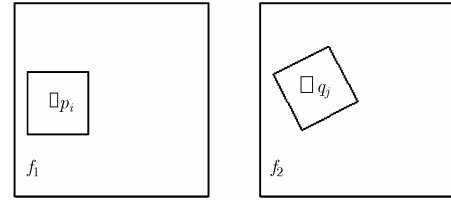


图1 提取两幅特征子块示意图

$p_1(i) = H_1(i)/(M \times N)$ 和 $p_2(i) = H_2(i)/(M \times N)$ 。对于 $I_1(x, y)$ 的每一个灰度级 n , 现定义 $I_2(x, y)$ 相对于 $I_1(x, y)$ 灰度值为 n 的对应像素集合的灰度均值和方差分别为 $\overline{E_{1,2}}(n)$ 和 $\sigma_{1,2}^2(n)$, 其表达式分别为

$$\overline{E_{1,2}}(n) = \frac{1}{H_1(n)} \sum_{I_1(x,y)=n} I_2(x, y) \quad (1)$$

$$\sigma_{1,2}^2(n) = \frac{1}{H_1(n)} \sum_{I_1(x,y)=n} (I_2(x, y) - \overline{E_{1,2}}(n))^2 \quad (2)$$

同理对于 $I_2(x, y)$ 的每一个灰度级 n , 定义 $I_1(x, y)$ 对于 $I_2(x, y)$ 灰度值为 n 的对应像素的灰度均值和方差分别为 $\overline{E_{2,1}}(n)$ 和 $\sigma_{2,1}^2(n)$ 。

对 $\sigma_{1,2}^2(n)$ 以灰度值 n 的出现比率 $p_1(n)$ 进行加权平均得到基于 $I_1(x, y)$ 的期望方差定义为 $\overline{\sigma_{1,2}^2}$:

$$\overline{\sigma_{1,2}^2} = \sum_n p_1(n) \sigma_{1,2}^2(n) \quad (3)$$

同理对 $\sigma_{2,1}^2(n)$ 以 $p_2(n)$ 进行加权平均得到基于 $I_2(x, y)$ 的期望方差 $\overline{\sigma_{2,1}^2}$:

$$\overline{\sigma_{2,1}^2} = \sum_n p_2(n) \sigma_{2,1}^2(n) \quad (4)$$

由此我们定义两幅图像的交互方差 CI 为

$$CI(I_1, I_2) = \frac{\overline{\sigma_{1,2}^2}}{\sigma_2^2} + \frac{\overline{\sigma_{2,1}^2}}{\sigma_1^2} \quad (5)$$

其中 σ_1^2 和 σ_2^2 分别为图像 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ 方差, 定义为

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{MN} \sum_{(x,y)} (I_1(x, y) - \mu_1)^2, \quad \mu_1 = \frac{1}{MN} \sum_{(x,y)} I_1(x, y) \quad (6)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{MN} \sum_{(x,y)} (I_2(x, y) - \mu_2)^2, \quad \mu_2 = \frac{1}{MN} \sum_{(x,y)} I_2(x, y) \quad (7)$$

这个交互方差 CI 就反映了两幅图像灰度相互对应的稳定程度。以 σ_1^2 和 σ_2^2 作分母可以去除图像整体方差的大小产生的影响。可以看出两幅图像内容越相似, 它们的交互方差越小。而这一关系的建立并不需要两幅图像的灰度之间有线性相关, 也不受两幅图像灰度属性差异的影响。由式(1)–式(7), 给出特征点对 (p_i, q_j) 对齐度 (Feature Points Alignment Metric, FPAM) 的定义。

定义2 特征点对 (p_i, q_j) 对齐度定义为

$$\begin{aligned} \text{FPAM}(p_i, q_j, \hat{\theta}) &= \frac{1}{CI(I_1, I_2)} = \frac{1}{\frac{\overline{\sigma_{1,2}^2}}{\sigma_2^2} + \frac{\overline{\sigma_{2,1}^2}}{\sigma_1^2}} \\ &= \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_{1,2}^2 \sigma_1^2 + \sigma_{2,1}^2 \sigma_2^2} \end{aligned} \quad (8)$$

为了在实验中方便选择阈值, 将对齐度变换为

$$\overline{\text{FPAM}}(p_i, q_j, \hat{\theta}) = \frac{1}{100 \cdot CI(I_1, I_2) + 1} \quad (9)$$

由上面得到的特征点对齐度和图像间的大致旋转角度 $\hat{\theta}$, 给出候选匹配点对的定义。

定义 3 对待配准图像 $f_2(x, y)$ 中的特征点 q_j , 在另一幅待配准图像 $f_1(x, y)$ 的特征点集 P_{f_1} 中确定它的特征点 p 。当且仅当 p 与 q_j 满足下面条件时:

- (1) $|\theta_{i,j} - \hat{\theta}| < 5^\circ$, 其中 $\theta_{i,j} = \theta_p - \theta_{q_j}$;
- (2) $\overline{\text{FPAM}}(I_p, I_{q_j}) = \max_{p_i \in P_{f_1}} \overline{\text{FPAM}}(I_{p_i}, I_{q_j})$, P_{f_1} 为 $f_1(x, y)$ 的特征点集;

(3) $\overline{\text{FPAM}}(I_p, I_{q_j}) > T'_a$, T'_a 为阈值, $\{p \Leftrightarrow q_j\}$ 才成为候选匹配点对。

最后, 将候选匹配点对 $\{p_i \Leftrightarrow q_i\}_{i=1,2,\dots,N_m}$ 采用线性加权的方法消除错误匹配点对, 得到正确的匹配点对^[5,6]。

4 算法流程图

本文提出的基于特征点对齐度的图像配准算法, 算法流程图如图 2(需要根据实验设定阈值, 以得到足够多的匹配点对)。

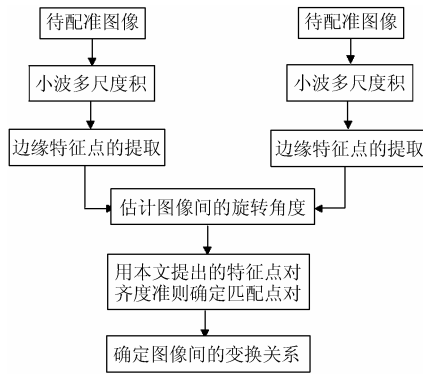


图 2 本文算法流程图

5 实验效果及其分析

将本文提出的算法应用到取自不同传感器航拍图像, 并将实验结果与文献[5, 6]提出的相关度准则进行了比较。

图 3(a)和 3(b)分别是两幅尺寸为 256×256 的取自不同传感器的航拍图像; 图 4(a)是用本文算法对图 3(a)和 3(b)进行配准后的图像, 图 4(b)是用文献[5, 6]的算法进行配准

后的图像。

表 1 是针对两幅图像提取的相同的特征点, 分别用本文算法与文献[5, 6]的算法进行匹配后的结果对比。从这些对比可以看出, 本文提出的算法在 x 方向, y 方向以及在图像间的旋转角度上, 误差明显小得多, 同时得到的匹配特征点对数目也较多。

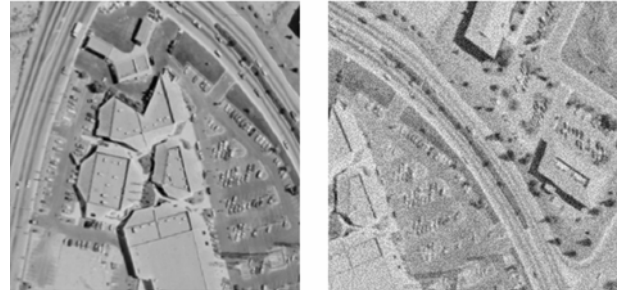


图 3 (a)(b)分别是两幅尺寸为 256×256 的取自不同传感器的航拍图像

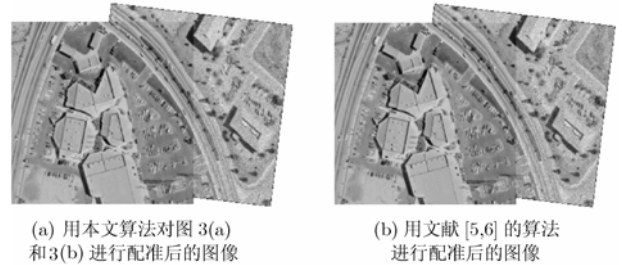


图 4

6 结束语

本文基于相关度准则的不足, 以及王东峰等人^[5,6]提出的对齐度计算量大、易陷入局部极值的缺点, 提出了一种新的匹配准则——特征点对齐度准则。它不需要两幅图像的灰度之间有线性相关, 并且不受两幅图像灰度属性差异的影响, 从而比相关度准则具有更强的适用性, 同时本文算法只针对提取出的特征点计算对齐度, 通过设定阈值得到匹配点对, 因而既大大减少了计算量, 也避免了搜索。实验结果表明, 本文算法无论在精度还是匹配点的数目上, 都明显优于文献[5,6]的算法。

表 1 本文算法与文献[5, 6]算法的对比

	航拍图像 1 的特征点数	航拍图像 2 的特征点数	匹配的特征点对数	x 方向误差 Δx (像素)	y 方向误差 Δy (像素)	旋转角度误差 $\Delta\theta$ ($^\circ$)
本文算法	81	99	5	0.0088	0.1084	0.0658
文献[5,6]算法			7	0.1316	0.3668	0.1593

参考文献

[1] Brown L G. A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys*, 1992, 24(4): 325–376.
 [2] Zitova B and Flusser J. Image registration methods: A survey. *Image and Vision Computing*, 2003, 21(11): 977–1000.
 [3] 谔安军, 陈炜, 毛士艺. 一种基于边缘的图像配准方法. 电子

与信息学报, 2004, 26(5): 679–684.
 Zhan An-jun, Chen Wei, and Mao Shi-yi. An image edge based algorithm for multisensor image registration. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2004, 26(5): 679–684.
 [4] 倪国强, 刘琼. 多源图像配准技术分析与发展. 光电工程, 2004, 31(9): 1–6.

- Ni Guo-qiang and Liu Qiong. Analysis and prospect of multi-source image registration techniques. *Opto-electronic Engineering*, 2004, 31(9): 1–6.
- [5] 钟家强, 王润生. 基于边缘的图像配准改进算法. *计算机工程与科学*, 2001, 23(6): 25–28.
- Zhong Jia-qiang and Wang Run-sheng. Image registration using edge-based methods. *Computer Engineering and Science*, 2001, 23(6): 25–28.
- [6] Hsieh Jun-Wei. Image registration using a new edge-based approach. *Computer Vision and Image Understanding*, 1997, 67(2): 112–130.
- [7] 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.
- Wang Dong-feng and Zou Mou-yan. Automatic registration of multi-modal images based on the maximization of the alignment metric. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2003, 25(6): 755–762.
- [8] 杨丹, 张小洪. 基于小波多尺度积的边缘检测算法. *计算机科学*, 2004, 31(1): 133–135.
- Yang Dan and Zhang Xiao-hong. Edge detection algorithm based on wavelet multiscale product. *Computer Science*, 2004, 31(1): 133–135.
- 葛永新: 男, 1981 年生, 硕士生, 研究方向为数字图像边缘检测和图像配准.
- 杨丹: 男, 1962 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为科学与工程计算、软件工程及应用(企业信息化及制造业运行管理技术)、数字图像处理等.
- 张小洪: 男, 1973 年生, 博士, 研究方向为数字图像处理、神经网络、混沌等.