

图像配准技术研究

杨 程 徐晓刚 王建国
(海军大连舰艇学院 大连 116000)

摘 要 图像配准技术是图像拼接技术最关键的步骤,图像配准的好坏直接决定了图像拼接结果的优劣。对图像配准工作进行了总结,介绍了基于区域的图像配准和基于特征的图像配准方法,并分析了各个方法的优缺点,同时指出了现有图像配准算法存在的问题和发展的方向。

关键词 图像配准,图像拼接,区域配准,特征配准

中图法分类号 TP751.1 文献标识码 A

Research on Importance of Image Mosaic Technology

YANG Cheng XU Xiao-gang WANG Jian-guo
(Dalian Naval Academy, Dalian 116000, China)

Abstract Image registration technology is the most critical step of image mosaic technology. Image registration directly determines the quality of the results of the image mosaic. This paper reviewed the current work of the image registration, and introduced the method of image registration based on region registration and feature registration. We analyzed the advantages and shortages of different kinds of image registration. And we pointed out current questions and some useful development directions.

Keywords Image registration, Image mosaic, Region registration, Feature registration

图像拼接是将多幅具有重叠部分的图像进行融合,形成一幅大视角宽幅面的图像。其步骤分为图像采集、图像预处理、图像配准、图像融合^[1]。其中图像配准技术最为关键,它是用来匹配相互间具有偏移的两幅或多幅图像,其基本方法分为基于区域的图像配准方法和基于特征的图像配准方法。随着研究的不断深入,图像配准技术也被广泛地用于运动跟踪、目标识别以及医学图像分析等领域,因此图像配准技术具有重要的研究意义和实用价值。

1 图像配准算法

在图像拼接研究的领域中,主要以研究图像配准技术为主。自从 Ivan Sutherland 在 IFIP 会议上作了题为“The Ultimate Display”的报告,提出计算机图像配准技术这一课题以来^[2],图像配准技术已经被各领域人员深入研究。

1.1 基于区域的图像配准方法

基于区域的算法指的是利用两张图像间的灰度关系来确定图像间坐标变化的参数,以某种全局统计量作为相似性的判别标准,利用合适的搜索策略得到可使相似性判别标准最大化的图像变换模型。基于区域的图像配准方法主要有模板匹配法、频域变换法等,该类方法充分利用了图像的信息,具体实现简单,在没有存在较大形变的条件下可获得较好的配准结果。但算法不适用于图像间存在非线性形变的情况,且搜索图像间的最优变换关系需要较大的计算量。

1.1.1 基于灰度信息的图像配准方法

基于灰度信息的方法是基于待匹配图像的灰度值之间的某种相似性函数进行配准,通过选取适当的算法使相似判别标准最大化^[3]。由于这种方法是对图像的灰度相关度进行探索,因此基于灰度信息的方法不需要对图像进行特征提取或者进行图像分割,因此这种方法具有良好的配准精度和鲁棒性。然而,对灰度值进行搜索意味着这种方法对灰度值信息依赖性强。该算法的缺点是适用范围窄,不能直接进行图像非线性变化的校正,并且在搜索过程中需要大量的运算量。

1972 年由 Barnea 等人^[4]提出的序列相似度检测算法 SSDA(Sequential Similarity Detection Algorithms)比传统的互相关法更容易实现,主要优点是处理速度快。1982 年, Rosenfeld 等人^[5]提出的互相关法通常被用来进行模板匹配或者模式识别,是最基本的基于灰度统计的图像配准方法。

模板匹配是指在待匹配图像 $f(x, y)$ 的重叠区域中,选择一个合适的矩形模板 A ,与被搜索图像中相同尺寸的区域进行比较,当图像和模板的相关度值最大时,就是配准的位置。相关度的公式如下:

$$c(u, v) = \frac{\sum_x \sum_y A(x, y) f(x-u, y-v)}{[\sum_x \sum_y f^2(x-u, y-v)]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

其中, $c(u, v)$ 表示模板在图像每一个位置的相似度。但是 A. Roche 等人^[6]提出的互相关法仅仅考虑了单一的灰度值,没

本文受辽宁省自然科学基金项目(2015020086)资助。

杨 程(1992—),男,硕士生,主要研究方向为虚拟现实;徐晓刚(1967—),男,博士,教授,主要研究方向为军事图形图像、虚拟现实;王建国(1981—),男,博士,讲师,主要研究方向为虚拟仿真。

有考虑灰度空间中噪声带来的问题。Roche 通过找到一个函数 $\phi(X)$ 可以适应待拼接图像,并计算出参数,使得待拼接图像配准精度提高。利用灰度相似性进行配准,如果遇到灰度值变化比较大的图片时,这种匹配方式可能不准确。

1997 年 Viola 等人^[7]将互信息法用到图像配准领域。交互信息是基于信息之间的相互关系信息量多少得到的。这种图像匹配方法是假设 x, y 是随机变量,两个随机变量之间交互信息量是这两个随机变量之间相关性的量。互信息量表示了两幅图像的信息交互程度,当它们的交互信息量达到最大值,则表示两幅图像达到匹配。该方法近些年来被广泛用于医学研究中。

1.1.2 基于变换域的图像配准方法

基于变换域的图像配准方法主要是以傅里叶变换为主要基础的方法^[8]。可以利用傅里叶变换对图像进行平移、尺度、旋转、镜像等变换。由于傅里叶公式的快速变换已经非常成熟,所以基于变换域的图像配准方法实现起来比较容易。傅里叶变换方法的优点是计算速度快、抗噪声能力强。但同时也存在一定的局限性,傅氏变换法只适合解决图像的灰度属性满足线性正相关的情况,待配准的图像要满足傅里叶变换的条件和关系。为了解决傅里叶变换法在图像配准过程中的局限性,20 世纪 80 年代,一些学者提出了一种新的变换域配准算法:小波变换法^[8]。这个算法自提出以来一度成为图像处理领域的热点,于是就有了基于小波域的各种图像配准算法。G. Lazaridis 等人在 2006 年提出一种新的变换形式 Walsh Transform,将 Walsh 变换的思想引入图像配准中,对仅存在旋转和平移的图像进行配准。还有如 Shirin Mahmoudi Barmas 等人提出用 Contourlet 变换提取图像边缘,再以边缘信息为基准进行图像配准。

1.2 基于特征的图像配准方法

基于特征的图像配准方法已经成为了现阶段图像配准最热门的研究领域。利用图像之间相似的特征进行配准,不仅可以降低对图片搜索的复杂程度,而且具有较好的鲁棒性。特征包括待匹配图像的边缘特征、区域特征、点特征。由于特征提取的不同会导致算法之间的差异,因此选择基于特征的图像配准方法要根据不同的情况选择不同的特征来对图像进行匹配。

1.2.1 边缘特征检测法

图像边缘是图像中一组相连的像素集合,这些像素位于两个区域的边界上,并且两个区域的灰度级有着明显的跃变。常见的边缘检测算子有 Robert 算子、Sobel 算子、Laplacian 算子、Canny 算子。边缘特征检测速度较快,但是它要求图像有比较明显的轮廓,且搜索方式的复杂度较高;另外,边缘特征匹配算法易受其他图像边缘的干扰,导致其鲁棒性降低。

Robert 算子是任意一对互相垂直方向上的差分,可以看成求梯度的近似方法,由于 Robert 算子通常会在图像边缘附近的区域内产生较宽的响应,故采用 Robert 算子检测的边缘图像常需做细化处理,边缘定位的精度不是很高。

Sobel 算子是离散型的差分算子,用来运算图像亮度函数的梯度的近似值。Sobel 算子具有平滑作用,能滤除一些噪声,去掉一些伪边缘。但是在去掉噪声的同时也会平滑掉真

正的边缘,因此定位精度不高。

Laplacian 算子是二阶微分算子。其具有各向同性,即与坐标轴方向无关,坐标轴旋转后梯度结果不变。但是,其对噪声比较敏感,所以,图像一般先经过平滑处理。

Canny 算子先利用高斯平滑滤波器来平滑图像以除去噪声,再采用一阶偏导的有限差分来计算梯度幅值和方向。Canny 算子通过设定阈值检测边缘像素,如果像素梯度低于下限阈值则不能被接受。Canny 算子能保持图像边缘细节,提取到的图像边缘清晰。

1.2.2 区域特征检测法

如果可以较好地对图像进行区域分割,可以使用区域特征检测。图像的区域包含的信息量非常丰富,并且信息的区分度较高,在没有存在较大形变的条件下可获得较好的配准结果。但是区域特征检测法的缺点是受亮度变化影响较大,对于匹配图像间存在旋转、遮挡情况时处理效果不好。

1.2.3 点特征检测法

点特征检测是如今图像配准研究应用最多的方法。相比于边缘特征检测和区域特征检测,点特征不仅保留了图像的特征信息,而且可以有效地减少计算量。点特征检测受噪声的影响更小,在灰度变化的情况下仍然可以有效地找到特征点。当图像有新的内容时,或边缘灰度变化不明显时,边缘检测和区域特征检测的有效性就会降低,因此选择特征点检测的方法可以提高特征的选取效率,特征选取的好坏对后续的图像匹配效果的优劣有着决定性的作用。

最早的角点检测的方法是由 Moravec 在 1977 年提出的一种基于灰度方差的角点检测方法^[9]。该算子通过计算邻近像素点的灰度方差来选取特征点。选取适当的模板计算每一个像素点邻近的像素平均灰度值,分别从 4 个方向上计算平均灰度值,即水平方向、垂直方向、对角线方向、反对角线方向。选取其中最小值作为该像素点响应函数。响应的函数与设定的阈值相比,选取大于阈值并且值最大的像素点作为角点。该方法的优点是算法简单、计算速度快;缺点是只计算 4 个方向的灰度信息。该算法未对噪声进行抑制,故对噪声敏感。Harris 在 1988 年对 Moravec 算法做了改进,提出了 Harris 角点检测算法^[10]。该算法引入自相关函数和计算矩阵,通过微分运算和计算图像像素灰度的局部自相关函数来检测图像的角点。Harris 角点检测的优点是计算量小,在图像旋转变换、灰度变化的情况下仍然可以较好地对角点进行提取;缺点是精度不高、稳定性差。张小洪等人^[11]对 Harris 算子进行改进,提出了一种多尺度 Harris 算子,优化了传统 Harris 算子精确度不高的问题。

1997 年由 Simth. S. M 提出的 SUSAN 算法^[12]是利用圆形模板在图像上移动,对图像中同一特征区域进行像素灰度搜索并且与模板中心的灰度进行比较。如果搜索的像素灰度和模板中心灰度值之差的绝对值小于一个阈值,那么认为这个搜索到的点和中心点是同性的。满足这个条件的像素点构成了一个区域叫做 USAN。当 USAN 面积小于一个预设值即判定为角点。SUSAN 算法优点是计算时间短、抗噪声能力强;缺点是对于弱边缘点的检测比较困难。阈值的设定要根据图像改变,自动程度差。

2004 年 David 提出了一种尺度不变特征变换方法 SIFT 算法^[13]。该算法把图像的二维空间和高斯差分尺度空间结合起来,用不同尺度空间因子的二维高斯函数分别与图像进行卷积生成高斯差分尺度空间(LOG),再令相邻尺度的空间函数相减,得到新的尺度空间(DOG)。用 DOG 中的每一层(除最顶层和最低层)每一个像素点和同与它为中心的相邻 8 个像素点以及它上一层和下一层相同位置的 9 个相邻的点比较,在此邻域中的最大值或最小值被确定为局部极值点,再确定是否为特征点。SIFT 算法的最大优点是具有尺度不变性,而且 SIFT 算法也具有旋转不变性,抗噪声能力强。缺点是由于其计算量大,导致运算速度慢。2006 年,Bay 对 SIFT 算法进行了改进,提出了一种 SURF 算法^[14]。SURF 算法利用积分图并且使用 Hessian 矩阵确定图像上特征点的位置和尺度;确定特征点的主方向,以特征点为中心,在其周围构建一个半径为 6σ (σ 为特征点的尺度)的圆形邻域,利用 Harr 小波响应相加形成一个局部方向向量,遍历整个圆,最后选择长度最大的矢量为该特征点主方向。接着按主方向以特征点中心构造边长为 20σ 的正方形区域,将该正方形区域分为 4×4 的子区域,并在每个子区域得到一个四维分量的矢量,所以每一个特征点会形成 $4 \times 4 \times 4$ 维数的描述向量。SURF 算法不仅继承了 SIFT 算法的优点,同时弥补了 SIFT 算法计算速度慢的不足,速度大概是 SIFT 算法的 3 倍^[15],但 SURF 算法的配准效果要比 SIFT 算法稍差一些。

2 配准算法性能评估指标

对于配准算法的性能评估,首先要进行定性的评估,用参数估计来说明配准算法的性能好坏。算法的性能评估指标分别有^[16]:有效性、鲁棒性、实时性。但是对于不同的环境使用相同的算法可能会出现不同的评估结果,因此算法可以满足当前使用的要求并且优于之前的算法是总体的评估准则。针对不同的环境选择最优的配准算法,才能使算法最好性能。

3 存在问题及发展方向

图像拼接技术的发展非常迅速,由图像拼接技术衍生出的产品也越来越多,因此图像配准问题显得尤为关键,虽然图像配准技术已经取得了一些成果,为后续的研究打下了良好的基础。但是从前面的分析来看,图像配准技术仍需要在如下几个方面不断完善和发展:

(1)配准算法速度改进。现有的配准算法虽然在速度上有了明显的进步,但是仍然无法满足一些要求高的拼接应用。快速配准算法可以令图像拼接的运用更加广泛,更加满足实时性的要求。

(2)待配准图像在物体被遮挡或者亮度差异比较大的情况下,特征的提取会变得困难,出现特征提取不可靠的情况,配准效果不好。因此需要一种新的算法来解决这些问题。

(3)现有的图像拼接都是按照给定的顺序进行拼接的,如果将图像顺序打乱则可能无法有效地进行图像拼接,未来的

发展如果可以自动地将图像排序再拼接,对于拼接方式是一个新的方向。

结束语 近些年来,针对不同情况的图像配准算法不断被提出,有效地解决了配准问题,并且提高了算法的有效性和鲁棒性。但是没有十全十美的配准算法,因此想要满足更高的要求就需要不断地发展创新图像配准技术,让图像配准技术发挥更大的作用。

参 考 文 献

- [1] 王文学. 实时视频拼接技术研究[D]. 北京:北京工业大学,2014
- [2] Li Y. Digital Image Mosaic Technology Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Journal of Multimedia, 2014, 9(3): 428-434
- [3] 张亚娟. 基于 SURF 特征的图像与视频拼接技术的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2013
- [4] Barnea D I, Silverman H F. A class of algorithms for fast digital image registration[J]. IEEE Trans on Computers, 1972, C-21: 179-193
- [5] Rosenfeld A, Kak A C. Digital picture processing[M]. Elsevier, 2014
- [6] Roche A, Malandain G, Pennec X, et al. The correlation ratio as a new similarity measure for multimodal image registration[M]// Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI'98). Springer Berlin Heidelberg, 1998: 1115-1124
- [7] Viola P, Lii W M W. Viola P A, et al. Alignment by maximization of mutual information[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 24(2): 137-154
- [8] Reddy B, Chatterji B. An FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale Invariant Image Registration[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1996, 5(8): 1266-1271
- [9] Moravec H P. Toward automatic visual obstacle avoidance[C]// International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1977: 584
- [10] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector [C]// Alvey Vision Conference, 1988: 147-152
- [11] 张小洪, 李博, 杨丹. 一种新的 Harris 多尺度角点检测[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(7): 1735-1738
- [12] Smith S M, Brady J M. SUSAN—A New Approach to Low Level Image Processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78
- [13] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110
- [14] Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. SURF: Speeded Up Robust Features[J]. Computer Vision & Image Understanding, 2006, 110(3): 404-417
- [15] 戴涛, 朱长仁, 胡树平. 图像匹配技术综述[J]. 数字技术与应用, 2012(3): 174-175
- [16] Ai J W E, West J, Fitzpatrick J M, et al. Comparison and Evaluation of Retrospective Intermodality Brain Image Registration Techniques[J]. Astrophysical Journal, 2010, 716(1): 269-280