

图像拼接技术研究

陈志昂 徐晓刚 徐冠雷

(海军大连舰艇学院 大连 116018)

摘要 随着人们对获取视觉信息的要求的提高,图像拼接技术成为了当前图形图像学领域的研究热点。图像拼接是将若干个具有重叠区域的图像进行拼接最终形成大场景图像的技术,相比单张图像,它能提供更大尺寸的图像画面,从而可以同时展现更多的内容。

关键词 图像拼接,配准,特征

中图分类号 TP751 **文献标识码** A

Research on Image Mosaic Technology

CHEN Zhi-ang XU Xiao-gang XU Guan-lei

(PLA Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract With the improvement of people's access to visual information requirements, image mosaic technology has become a research hotspot in forward-looking graphics domain. Image mosaic is a technology that mosaics a plurality of overlapping region to form pahrora ultimately. Compared with the single image, it can provide images with larger size, which can show more content at the same time.

Keywords Image mosaic, Registration, Features

1 概述

视觉是人类获取外部信息的最重要途径,人们已经不满足于仅仅从单幅图像上获取信息。图像拼接技术应运而生,目前为止,它已经广泛地应用于生活的各个角落。今天的高分辨率数字地图和卫星照片就应用了数字图像的拼接技术;大部分的数码相机和手机也应用此项技术衍生出各种功能,比如 360 度全景图片等;军事上把这项技术应用于侦察机以更好地侦测敌情。图像拼接技术最早应用于航空领域,现已广泛应用于数字视频、运动分析、虚拟现实技术、遥感图像处理、医学图像分析等领域^[2]。

2 图像拼接

图像拼接技术是把拥有重叠区域的两幅或多幅图像,拼接成为一幅拥有所有图像信息的全新图像。到目前为止,图像拼接技术日趋成熟,不同方法的拼接流程基本相同。主要有以下步骤:

(1) 输入拥有重叠区域的多幅图像。

(2) 对图像进行预处理,即对图像进行几何畸变校正和噪声点的抑制,让参考图像和待拼接图像不存在明显的几何畸变^[3]。

(3) 对待拼接图像提取特征点等有效信息,然后将相关图像中提取出的有效信息进行匹配,使相关图像能够对齐。这个步骤最为关键,直接影响到最后的图像拼接效果。

(4) 把已经对齐后的图像进行融合,消除拼接痕迹,使两

幅图像能够平滑过渡。

流程图如图 1 所示,其中最为关键的两个步骤是图像配准和图像融合,任何一种方法都会经过这两个过程。而图像配准是图像融合的基础。

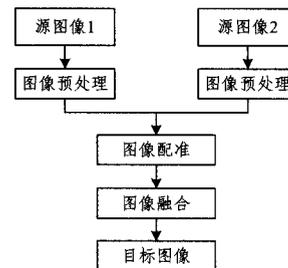


图 1 图像拼接流程图

3 图像拼接算法分类

图像拼接的各种算法的基本过程都是一样的,大部分都是在图像配准这一步骤采用不同的方法。可以说,图像配准的算法基本就是图像拼接的算法。自 1965 年计算机图形学创始人 Ivan Sutherland 在 IFIP 会议上作了题目为“The Uelimate Display”的报告,提出计算机图像配准技术这一课题以来,图像配准技术已经历近半个世纪^[4]。总结其发展历程,图像配准方法归结起来可大体分为两类:基于区域的图像配准方法和基于特征的图像配准方法。

3.1 基于区域的图像配准方法

3.1.1 相位相关法

相位相关技术是一种非线性、基于傅氏功率谱的频域相

本文受国家自然科学基金(61002052,61273262)资助。

陈志昂(1990—),男,硕士生,主要研究领域为军事图形图像、虚拟现实;徐晓刚(1967—),男,博士,教授,主要研究领域为军事图形图像、虚拟现实。

关技术,经常被用来检测两幅图像之间的平移,根据频域信息,利用相关技术能够快速找到最佳匹配位置^[5]。1975年,C. D. Kuglin 等人采用相位相关法,使得图像间的平移关系能够通过相位相关函数的最大值位置得到,而这一位置的邻域常以近似脉冲函数的形式出现^[6]。

相位相关法的理论基础是傅里叶变换的平移不变性。假设:

$$\xi\{f(x,y)\} \stackrel{\Delta}{=} \hat{f}(w_x, w_y)$$

是 $f(x,y)$ 的傅里叶变换,将 $f(x,y)$ 平移 $(\Delta x, \Delta y)$ 后:

$$\xi\{f(x+\Delta x, y+\Delta y)\} \stackrel{\Delta}{=} \hat{f}(w_x, w_y) e^{j(w_x \Delta x + w_y \Delta y)}$$

上式可以对图像的平移进行估算。

一般而言,图像或信号间的重叠部分在 30% 以上都能得到较好的检测效果,但必须要求图像或信号是不光滑的^[7]。相位相关方法的适用范围很广,精确度很高,可以达到一个像素级,所以这种方法大多用于高精度的图像匹配。

3.1.2 灰度信息法

灰度信息法是通过待匹配的两幅图像基于灰度的相关性的一个相似性函数,搜索获得灰度相关度最大的变换形式,从而完成图像配准的整个过程。但是由于基于灰度的图像信息量大,算法复杂,使用的范围比较窄。互信息法和互相关法是基于灰度信息的两种主要的配准方法。

互相关法是把待配准的两幅图像重叠放置,移动处于上层的图像,找到最佳位置,使其互信息量达到最大。假设有两幅图像 A 和 B,这两幅图像的互信息量公式为:

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

互相关法在应用过程中对条件要求比较苛刻,即待配准图像之间灰度相关,并且只有空间横向位移关系。

互信息法第一次被用于图像配准时是 1955 年,Viola 等人把互信息法用于医学上的图像配准^[8]。使用的公式为:

$$I(X, Y) = \sum_Y \sum_X p(x, y) \log \frac{p(x, y)}{f(x)g(y)}$$

其中,随机变量 X 和 Y 的概率密度分别用 $f(x)$ 和 $g(y)$ 表示, X, Y 的联合概率密度用 $p(x, y)$ 表示,判断两个随机变量之间的统计相似关系可以通过计算两个随机变量的互信息得到。当待匹配的两幅图像之间互信息量达到最大,那么这两幅图片就达到了最佳匹配。但这种方法存在严重的不足,即计算量大,实时性很差^[9,10]。所以之后专家学者们把主要工作放在了如何提高互信息法的效率上,使该方法有更好的实用性。

3.1.3 极坐标法

当待拼接的两幅图像不仅存在平移变换,还有尺度、旋转两种变换时,相位法就不适用了,这时可把两幅图像从笛卡尔坐标系转换到极坐标系,从而使这两幅图像重新变成平移关系,这时再使用相位相关方法就可以完成匹配。假设图像 I_1, I_2 具有上述特性,则

$$I_2(x, y) = I_1[s(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) + \Delta x, s(-x \sin \theta_0 + y \cos \theta_0) + \Delta y]$$

其中, θ_0 为旋转角, s 为尺度因子, $(\Delta x, \Delta y)$ 为平移参数。其傅里叶变换为

$$\hat{I}_2(r, \theta) = e^{j(w_x \Delta x + w_y \Delta y)} s^{-2} \hat{I}_1(s^{-1} r, \theta + \theta_0)$$

其中, $w_x = r \cos \theta, w_y = r \sin \theta, \hat{I}_1$ 与 \hat{I}_2 的幅值 M_1, M_2 满足如下关系:

$$M_2(r, \theta) = s^{-2} M_1(s^{-1} r, \theta + \theta_0)$$

$$M_2(\log r, \theta) = s^{-2} M_1(\log r - \log s, \theta + \theta_0)$$

首先计算出旋转角 θ_0 和尺度 s , 然后对待拼接图像进行校正, 由于旋转角 θ_0 存在 θ 和 $\theta + \pi$ 两种角度, 因此最终会得到两个峰值, 取其中较大的峰值作为最佳匹配结果。极坐标法的优点是配准精度高, 对具有平移、旋转、尺度变换的图像配准均适用; 缺点是算法复杂, 要求待配准的图像有较高的重合度。

3.2 基于特征的图像配准方法

基于特征的图像配准方法是先提取待配准图像中的关键信息(特征信息), 然后再通过该信息来完成匹配。该方法最早于 20 世纪 80 年代由 Burt P. J. 提出, 是基于 Laplace 变换的算法^[11,12]。基于特征的图像配准方法起步较基于区域的图像配准方法晚, 但由于其提取的是图像的显著特征用于配准, 因此计算量小, 复杂度低, 速度快, 拼接效果更好, 所以在近年取得快速发展。

3.2.1 高效斑点检测法

在许多系统中, 实时性往往需要放在一个重要位置来考虑, 高效地提取算子变得十分重要。Lowe 在前人的研究基础上, 提出了 SIFT (Scale Invariant Feature Transform) 算法。该算法将斑点检测和特征矢量生成、特征匹配搜索等步骤完整的结合在一起进行优化, 提出了 LoG 的近似算法 DoG (Difference of Gaussians)。有人在专用的图形处理器 GPUs (Graphical Processor Units) 实现了 SIFT 算法的实时运算, 有人利用 FPGA 实现了 SIFT 算法的实时运算。Bay 等人提出了对 DoH 进行斑点检测的近似算法 SURF (Speeded Up Robust Features), 该算法利用积分图像和对 DoH 的近似, 实现了快速斑点检测。该方法计算量小, 匹配精度高。

3.2.2 角点检测法

角点检测法就是检测图像角点, 然后对图像角点进行配准。角点是图像亮度发生剧烈变化或图像边缘曲线上曲率值极大的点。在实际的物体中, 大量道路和房屋的拐角、道路的十字路口等都属于角点。图像中角点检测是经典的研究方向。角点检测主要分为两类: 基于图像边缘的方法和基于图像灰度的方法。

图像边缘是因图像中像元的亮度变化不连续产生的, 是不同图像纹理之间的边界, 是实际物体与背景之间的边界。如果能对图像边缘精确地测量和定位, 那么就意味着实际的物体能够被定位和测量, 包括物体的面积、形状等。边缘检测方法有很多, 它们的共同点是都通过计算图像的微分完成。梯度方法使用的是图像的一阶微分, 如 Sobel, Prewitt, Kirsch, Canny。拉普拉斯方法使用的图像二阶微分, 如 Marr, Lindeberg。由于图像边缘检测需要对图像边缘进行编码, 这在很大的程度上依赖于图像的分割和边缘的提取, 具有相当大的难度和计算量, 且一旦待检测目标局部发生变化, 很可能导致操作的失败。

基于图像灰度的方法是通过计算点的曲率及梯度来检测角点, 避免了上一类方法的缺陷。此方法主要有 Moravec 算子、Forstner 算子、Harris 算子、SUSAN 算子等。

(下转第 182 页)

表2 干扰因素下图像匹配比较数据

	特征点对数	匹配时间(s)	匹配率
原始图像	33	1.256	98%
变亮图像	22	1.175	96%
缩小图像	18	0.982	87%
旋转图像	29	1.206	92%

分析表2的数据可知,相同阈值和实验条件下,变亮图像和旋转图像匹配性能较好,缩小图像匹配效果一般。综上所述,改进 SIFT 算法进行特征点的匹配时不会因光照、旋转或者尺度缩放而有较大变化,鲁棒性较强,速度也较快。而无人机图像最大可能出现的变化就是光照和旋转,该匹配方法对这两方面变化的稳定性很高,匹配的效果也较好。

结束语 本文在深入研究传统 SIFT 算法进行图像匹配的基础上,提出了基于 SURF 特征点检测算子的改进 SIFT 特征匹配算法。与传统 SIFT 算法相比,改进的算法在保持原有算法精度和鲁棒性的前提下,通过降低特征点检测算子的特征维数,提高了算法的效率,缩短了图像匹配时间。改进的算法适用于图像信息量丰富且对实时性要求较高的场合,可适用于无人机遥感图像匹配。改进 SIFT 算法的缺点是提取的匹配点对数相对较少,针对尺度缩放的情况匹配效果一般。因此在一定程度上限制了该算法处理的图像类型,所以如何提高检测到的特征点中匹配点对的数量所占比例是值得进一步深入研究的问题。

参考文献

[1] 李德仁,李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前明[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2014,39(5):505-513
 [2] 金伟,葛宏立,杜华强,等. 无人机遥感发展与应用概况[J]. 遥感

信息,2009(1):88-92
 [3] 范承啸,韩俊,熊志军,等. 无人机遥感技术现状与应用[J]. 测绘科学,2009,34(5):214-215
 [4] 汪沛,罗锡文,周志艳,等. 基于微小型无人机的遥感信息获取关键技术综述[J]. 农业工程学报,2014,30(18):1-12
 [5] Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]//The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision,1999. IEEE,1999,2:1150-1157
 [6] 韩龙,郭立,李玉云. SIFT 算法的并行实现及应用[J]. 计算机工程与应用,2010,46(20):56-59
 [7] 孙浩,王程,王润生. 局部不变特征综述[J]. 中国图像图形学报,2011,16(2):141-151
 [8] 舒远,胡钊政,谈正. 彩色图像特征点检测算子[J]. 微电子学与计算机,2005,21(12):135-138
 [9] 贺善,李庆华,王新赛. 基于方向性 SUSAN 算子的图像角点特征提取[J]. 小型微型计算机系统,2008,29(3):508-510
 [10] 计长安,张秀彬,吴浩,等. 基于灰度权重 NMI 的快速图像匹配[J]. 计算机工程,2007,33(24):25-28
 [11] 冯政寿,王美清. 基于 Harris 与改进 SIFT 算法的图像匹配算法[J]. 福州大学学报(自然科学版),2012,40(2):176-180
 [12] 张春美,龚志辉,孙雷. 改进 SIFT 特征在图像匹配中的应用[J]. 计算机工程与应用,2008,44(2):95-97
 [13] 冯博. 基于 PCA 的改进 SIFT 特征提取算法[J]. 华北水利水电学院学报,2013,34(3):125-128
 [14] 牛海涛,赵勋杰,李成金,等. 基于改进 SIFT 算法的建筑物图像立体匹配[J]. 计算机工程,2011,37(12):206-208
 [15] Bay H, Tuytelaars T, Van Gool L. Surf: Speeded up robust features[M]. Computer vision-ECCV 2006. Springer Berlin Heidelberg,2006:404-417

(上接第 161 页)

角点检测法的优点是计算量小,配准精度高;缺点是适用面窄,不能用于旋转、尺度缩放较大的图像配准。

3.2.3 轮廓特征法

轮廓特征法通过提取两幅待匹配图像中明显物体的外部轮廓特征,并表达出轮廓的特性,最后根据两幅图像中的轮廓特征完成匹配。图像的二值化方法是图像的轮廓提取方法的基础。该方法的主要思想是掏空图像中物体内部点:如果原图中有一点是黑色的且其它的 8 个相邻点都是黑色时(此时该点是内部点),则将该点删除^[13],最终将得到主要物体的轮廓特征。然后把两幅图像重叠,使轮廓特征完全重合,从而找到最佳匹配位置,最后完成匹配。

轮廓特征信息简单、特征点少,所以计算量小,配准精度高;而其缺点是适用面窄,对轮廓特征明显的图像效果较好。

结束语 图像拼接是一门实用性很强的技术,适用于图形图像学的很多领域。今天,图像拼接技术已经发展出很多种方法,每种方法都有其特殊的使用条件。本文通过分析图像拼接中最关键的一步图像配准来对图像拼接技术进行归纳总结,清晰地说明了至今为止拼接技术的各种方法以及应用。

参考文献

[1] Ma Y, Ren Z. Image Mosaic Method Based on Improved SIFT Feature Detection Algorithm[C]// Proceedings of the 9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, Volume 1. Springer Berlin Heidelberg,2014:771-779
 [2] Jin Y, Wang T, Wang B. Basic Study of Air Leakage Position Based on Thermography Mosaic Technology[J]. Journal of Electronic Science & Technology,2014:240-245

[3] 孙胜涛. 虚拟现实系统的三维场景建模研究[D]. 北京:北京理工大学,2000
 [4] Yan L. Digital Image Mosaic Technology Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Journal of Multimedia,2014,9(3):428-434
 [5] Kuglin C D. The phase correlation image alignment method [C]// Proc. Int. Conf. Cybernetics and Society, 1975:163-165
 [6] Keller Y, Averbuch A, Israeli M. Pseudopolar-based estimation of large translations, rotations, and scalings in images[J]. Image Processing, IEEE Transactions on,2005,14(1):12-22
 [7] Chen H M, Arora M K, Varshney P K. Mutual information-based image registration for remote sensing data[J]. International Journal of Remote Sensing,2003,24(18):3701-3706
 [8] 刘苏钱. 基于特征的 SAR 图像自动配准方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2007
 [9] Neggers J, Hoefnagels J P M, Geers M G D, et al. Time-resolved integrated digital image correlation[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering,2015,103(3):157-182
 [10] Shao C K. Image Mosaic Technology Based on Matlab Simulation[J]. Applied Mechanics & Materials,2014:556-562
 [11] Petrikova I, Marvalova B, Samal S, et al. Digital Image Correlation as a Measurement Tool for Large Deformations of a Conveyor Belt[C]// Applied Mechanics and Materials, 2015, 732: 77-80
 [12] 伍梦琦,李中伟,钟凯,等. 基于几何特征和图像特征的点云自适应拼接方法[J]. 光学学报,2015,35(2):237-244
 [13] Chen Y, Xu M, Liu H L, et al. An improved image mosaic based on Canny edge and an 18-dimensional descriptor[J]. Optics-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 124(17):4745-4750