

**中 国 航 天**

**中国空间技术研究院**

**硕士学位论文立题报告**

**论文题目：基于特征点检测的图像配准及其校准**

培养单位： 中国空间技术研究院西安分院

专 业： 信息与通信工程

研究方向： 空间导航技术

导 师： 周诠

研 究 生： 张晨光

完成时间： 2017年 12 月 16日

**1．研究的目的和意义**

图像配准就是将不同时间、不同传感器（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。一般来说我们可以认为是将一张图匹配至另一张图的过程，其中一个叫参考图像(reference image)，一个是感知图像(sense image)。

图像配准是许多应用问题必须的预处理步骤,比如:时序图像的变化检测或多模图像融合、图像拼接、图像镶嵌、图像检索、目标识别,这些问题遍及军事、遥感、医学、计算机视觉等多个领域。根据具体应用的不同，有的侧重于通过变换结果融合两幅图像，有的侧重于研究变换本身以获得对象的一些力学属性。20世纪以来医学成像技术经历了从静态到动态，从形态到功能，从平面到立体的飞速发展。

图像配准是图像处理研究领域中的一个典型问题和技术难点，其目的在于比较或融合针对同一对象在不同条件下获取的图像，例如图像会来自不同的采集设备，取自不同的时间，不同的拍摄视角等等，有时也需要用到针对不同对象的图像配准问题。具体地说，对于一组图像数据集中的两幅图像，通过寻找一种空间变换把一幅图像映射到另一幅图像，使得两图中对应于空间同一位置的点一一对应起来，从而达到信息融合的目的。

图像配准技术在许多重要领域有着广泛的应用。

遥感影像具有丰富的信息，由于搭载成像传感器的卫星与地面目标的相对运动，以及不同时间或自然条件的影响，使得同一目标区域图像在不同遥感影像上呈现相互联系但又不尽相同的特点，亟需配准技术对其进行校正。通过配准，使得多幅图像可以进行拼接、对比等，为地理数据获取、应急资料采集、气象预报等提供相比于单一图像更丰富的信息。

在军事领域，通过多波段图像融合、拼接，为决策者提供更多的战场水文、地貌、地形、天气等重要的战略信息，成为影响战局的重要因素。同时，图像配准技术在目标跟踪、识别等方面也有着重要的应用，如采用多模制导的导弹导引头，由于弹体震动等原因使得不同传感器系统得到的目标图像的空间不一致，使得利用多传感器获取目标特征的优势难以体现。因此在进行图像融合之前需进行异源图像配准，以保证探查目标准确。

在医学领域，由于单一的图像不能较为全面地提供有病变组织或器官的大小、形状、空间关系等详细信息,单纯依靠单幅图像做出判断的风险较大。因此，需要将不同成像原理和成像条件的异源图像(如MRI,CT,PET,SPECT 等)融合，得到比单一图像信息更丰富的融合图像，利用更为全面的信息更好地指导诊断。

图像配准技术是图像预处理的关键技术，在多领域内起着重要的作用。配准性能的好坏，直接关系到图像融合、目标跟踪、人脸识别、图像拼接等处理的结果。因此，研究设计和优化配准的相关算法具有重要的意义。

**2．国内外研究现状**

根据图像获取的不同方法，我们可以找到图像配准的几大问题：

1. 不同视角(Different viewpoints)。

同一事物在不同视角下会获得不同结果，通过配准技术，我们可以获得一个更大的二维视角甚至该事物的三维表达。

2. 不同时间(Different times)。

同样的事物在不同时间下也会有不同的效果。通过图像配准，我们就可以知道该事物根据时间的变化。

3. 不同传感器(Different sensors)。

通过配准不同传感器获得的图像，我们对所摄事物获得更多复杂和细节的信息。

4. 场景到模型配准(Scene to model registration)：

通过所摄场景定位到已知虚拟模型，我们可以对图像进行分析并和模型进行比较。

**2.1 关于图像配准方法的综述**

图像配准最早在美国七十年代从事的飞行器辅助导航系统、武器投射系统的

末制导以及寻地等应用研究中提出。八十年代后，在很多不同领域都有大量配准

技术的研究，如遥感领域，模式识别，自动导航，医学诊断，计算机视觉等。

从图像配准的提出到目前为止的几十年时间里，随着计算机科学技术的飞速发展和普及，国内外对图像配准技术的研究有了比较系统的发展，形成了一些成熟的算法。

对图像配准方法进行分类是非常困难的。一种配准技术常常是几种方法的综合运用,很难确切地把它们明确划归那一类。根据不同标准,会得到不同的分类结果。按照相似性测度可以分为基于相关系数、差方和、互信息等方法。按图像变换模型可以分为刚性和非刚性配准按照映射函数类型可以分为仿射、透视等按照数据维度可以分为2维和3维; 按照特征空间可以分为基于特征、基于灰度的方法按照应用领域可以分为遥感图像配准、医学图像配准等按照成像方式可以分为同模态图像配准和多模态图像配准按照变换域可以分为空间域配准方法和频域配准方法等。

在基于图像特征的配准技术中，目前运用比较成熟的图像特征包括点特征、直线段、边缘、轮廓、闭合区域和统计矩等。特征提取算法可分为点特征提取算子（如Harris算子和Susan算子）、线特征提取算子（如LoG算子、Canny算子）和面特征算子。随着边缘检测和图像分割等技术的快速发展，基于轮廓、边缘和区域的配准方法正在逐渐成为研究的热点，如需要人工干预、特征点的获取比较困难等；在基于特征点检测的图像配准算法中，英国学者David Lowe于2004年总结完善，提出SIFT特征匹配算法(scale invariant feature transform)[1]。该算法通过提取稳定的特征，可以对发生平移、旋转、仿射变换、视角变换、光变化情况的图像进行匹配，因此得到了广泛运用。然而，算法仍存在一些问题，如阈值过多且难以确定和存在一定的错误匹配等。2006年，Bay提出SURF(speeded—up mbust features)[7]。通过引入积分图像和模板近似，在特征描述阶段采用一阶Haar小波响应等改进，SURF算法在光照变化和视角变化不变性方面的性能接近SIFT算法，旋转和图像模糊不变性、鲁棒性优于SIFT算法，计算速度快3倍左右。

基于灰度的图像配准直接利用整幅的灰度对两幅图像之间的相似性进行度量，基于灰度的配准方法的优势在于只对图像的灰度进行处理，可以避免主观因素的影响。常见的算法有最大互信息法、相关法、条件熵法、联合熵法等。在多模图像配准中，关于互信息图像配准技术的研究，已经成为该领域的热点课题，最大互信息算法是图像匹配的有力工具，但其仍然存在缺点，如插值引起的局部极值，容易导致误配准，空间信息利用不足等缺点，一些学者也提出了相应的改进方法。

近几年国内学者针对图像配准的研究重心逐步转移到多模图像配准，提出了很多理论与方案。但是这些方法多基于像素级别的，而随着各个领域对图像质量要求的提高，如卫星遥感、医学领域需要更精确的配准，需要将配准精度控制在一个像素以内，即达到亚像素级。众多的学者对亚像素级配准的方法进行了研究与实验，提出了相关插值法、梯度法、小波变换法。相关插值法，这类方法的精度取决于插值算法的质量；梯度方法，其前提条件是图像灰度保持不变，微分算子对光照较为敏感；相位相关法利用FFT的方法提高配准的速度；小波变换法，使得求解配准参数的运算量较小，有效地提高效率。

由此可见，图像配准技术经过多年研究，不论国内外，发展的都非常迅速，已经取得了许多研究成果。图像配准的高精度、图像配准算法的强鲁棒性、图像配准算法的配准速度以及图像配准的自动化一直以来都是图像配准领域所不断追求的目标。

下面依据科研分布情况对当前图像配准技术的研究现状进行阐述。通过对研究成果(比如:硕、博士论文)相对集中的科研机构或技术人员进行分析,可以很好地把握该领域的研究广度和深度。

1)UMCU(UniversityMedicalCenterUtrecht,Neth2erlands)图像科学所。以MaxA.Viergever教授为代表,研究兴趣包括计算机视觉和医学成像的所有方面。文献综述了该所上世纪最后10年的研究情况,重点在图像配准、图像分割和可视化。

2)VU(VanderbiltUniversity,USA)电子工程与计算机科学系。以J.MichaelFitzpatrick教授为代表,研究兴趣在医学成像,医学图像处理,图像配准、图像制导手术。

3)SU(SyracuseUniversity,USA)电子工程与计算机科学系。以PramodK.Varshney教授为代表,研究兴趣在隐藏武器探测。文献[7]综述了其课题小组近10年的研究情况。

4)KCL(King’sCollegeLondon)医学成像科学组。以DerekL.G.Hill教授为代表,研究兴趣在图像配准、多模图像制导手术、MRI运动纠正、形状分析等,著有《医学图像配准》。

5)WSU(WrightStateUniversity,USA)计算机科学工程系。以ArdeshirGoshtasby教授为代表,近20年来,一直致力于图像配准技术研究。他是图像融合系统研究的发起者,并创立了以研究和发展图像配准及融合技术为目的的公司。

6)美国NASA空间飞行中心。以JacquelineLeMoigne教授为代表,为图像配准在遥感领域应用作了大量工作,涉及多种技术在该领域的应用,诸如小波多分辨率策略以及互相关、互信息、Hausdorff距离等相似度测量。

**2.2 关于特征点图像配准的环节**

兴趣点检测相关研究：

1998 Lindberg介绍自动尺度选择的概念，允许检测图像中的兴趣点在它们的特征尺度上。他实验了Hessian矩阵的行列式和Laplacian(和矩阵的迹一致)检测团状结构。1998 Lowe提出用DOG近似LOG。2001 Mikolajczyk 和Schmid 重新定义了这个方法，名为Harris-Laplace和Hessian-Laplace。使用Harris或Hessian矩阵的行列式来选择特征点的位置，使用Laplacian选择尺度。

使用HESSIAN矩阵的近似检测兴趣点。使用积分图像加快计算。2001 Viola and Jones 提出积分图像的概念。1998 Simard 提出的盒形计算框架使用积分图像。

此外Mikolajczyk（2005，2006）还做了一些算子的比较工作。从中可知：基于Hessian检测器比基于Harris检测器更稳定，重复检测性更好。此外，使用Hessian矩阵的行列式比使用它的迹更有优势。同时也发现使用类似于DOG的近似方法可以提高速度但只损失很小的精度。

描述符的相关研究:

图像特征点的描述符一个共同点是表达了兴趣点邻域内小尺度的特征分布。使得描述符的描述性更好，识别性更高。SIFT的特点正是掌握了空间域亮度模式的大量信息（基于直方图方法：8个方向的箱格，4\*4像素）。描述了特征点邻域内点的梯度方向信息，共128维。PCA-SIFT：36维，匹配速度更快，但区分度下降，并且延长了特征的计算时间。GLOH：区分度更高但是数据压缩花销时间太长。

2006 Grabner使用积分图像近似SIFT。可以达到和我们同样的速度。但是相比SIFT质量有所下降。（为SURF提供了重要信息积分图像）。

匹配算法：BBF（k-d tree）,balltrees, vocabulary trees, locality sensitine hashing.本文补充提出了，使用Hessian矩阵的迹来显著提高匹配速度。在低维描述符下，任何算法的匹配速度都很快。

**3．主要研究内容、途径及技术路线**

**3.1 主要研究内容**

图像配准的对象分为多源图像配准、基于模板的图像配准、多角度图像配准、时间序列图像配准。而配准算法大体分为三类，分别为基于灰度信息法、基于变换域法，和基于特征法。根据选取的特征信息的不同，又有基于特征点的匹配，基于特征区域，基于特征边缘的匹配。根据目前资料的掌握情况，本课题的主要研究内容为基于特征点检测的图像配准的一些改进。

特征点的检测方面，SIFT算法具有里程碑式的意义。SURF算法在其基础上进行了改进，具有快速性的优势。KAZE算法采用非线性尺度空间，可以保留更多的细节信息。此外，还有其他各种基于这些算法的改进，各有长处，本课题准备从算法原理和仿真结果上对它们重新评定，通过加入一些辅助性检测算子或者预处理，力争优化出一个在快速性、鲁棒性、稳定性方面都优秀的算法，或者在机器学习的基础上使得算法可以根据图像信息自主选择最优算法。

特征点匹配方面。传统的SIFT等算法的重点其实都在特征点的检测上，在得出特征描述子之后，采用的是穷举的强制性匹配，不仅速度慢，而且还任意出现一些误匹配对。针对匹配速度，通过查阅文献得知可以通过BBF算法改进；针对匹配的准确率，可以通过RANSAC算法剔除一些误匹配对。

变换模型方面。

评价标准

图4 算法仿真流程框图

**3.2 主要途径及技术路线**

针对主要的研究内容，从以下几方面进行学习和研究：

（1）方案设计。对国内外完好性监测相关文献进行学习和研究，掌握完好性的基本概念和参数指标，掌握航空飞行中三类精密进近的完好性要求，并分析总结各级完好性监测在其中发挥的作用和实施方式。了解世界各国星间链路的建设情况，学习星间测量的基本方法原理和测量体制，分析时分体制下星间观测数据预处理的方法。结合现有完好性监测方法，给出整体的方案设计；

（2）故障建模。通过获取广播星历得到卫星轨道和钟差数据，并对获得的轨道数据和钟差数据进行多项式拟合，获得某一历元的卫星轨道和钟差数据。星间测量数据可以利用精密星历计算，再加上一定模型的噪声来进行拟合，或采用实测数据，异常情况可通过人为增加快变或慢变进行仿真，从而建立仿真故障模型；

（3）设计并验证轨道完好性监测算法。对同一历元星间双向测量数据进行计算，分离出轨道和时钟观测量，分别进行数据处理。轨道监测有时分体制和连续体制，并且需要构建至少两条星间链路，轨道残差由于服从高斯分布，在进行Kalman滤波处理后，可以构建假设检验量进行假设检验，从而给出轨道完好性标志；

（4）设计并验证时钟完好性监测算法。时钟监测中，计算钟差变化量监测时钟稳定性，再结合动态Allan方差可以得到卫星主备钟链路完好性标志Ⅰ。星间链路时钟观测量也进行相同的操作，得到时钟完好性标志Ⅱ。将两个时钟完好性标志进行比较，从而判断出具体哪一颗卫星的时钟出现异常。时钟监测算法重要解决的是判决逻辑、缩短检测时间和监测钟差慢变；

（5）监测结果输出。综合轨道和时钟完好性标志，得出卫星健康标识，如果卫星出现故障，则该卫星广播“不健康”。并根据数学模型评估卫星的SISA；

（6）实测验证。采用北斗星间链路实测数据进行实验验证，从而完善算法性能。

**4．研究工作的主要阶段、计划进度和技术指标**

**4.1 主要阶段及计划进度**

（1）2017年9月至2017年10月

进行选题和资料收集工作，学习完好性与星间链路理论知识。

（2）2017年11月至2017年12月

完成文献综述和开题报告，进行开题。

（3）2018年1月至2018年3月

学习了解精密星历产品，从中计算需要的轨道和钟差观测量，并对卫星故障类型进行仿真模拟，为下一步研究打下基础。

（4）2018年3月至2018年7月

学习Kalman滤波的基本原理，设计适合的滤波算法，完成轨道完好性监测算法设计，编写仿真程序，进行仿真验证。

（5）2018年7月至2018年9月

学习动态Allan方差基本原理，研究快速检测时钟误差的动态Allan方差算法，进行时钟监测完好性算法设计。对前期工作进行归纳总结编写中期报告，进行中期审查。对前期工作中出现的问题进行总结。

（6）2018年9月至2018年12月

完成时钟完好性监测算法程序的编写，进行仿真验证。完成整体监测算法的仿真。分析各参数设置对算法结果的影响，检验是否满足实际要求。依据试验星实测数据进行算法验证。

（7）2018年12月至2019年3月

分析评估出现故障到监测告警之间的SISA，结合专家的意见和建议进一步优化相应算法，完善理论分析指导，撰写毕业论文。

（8）2019年3月

提交毕业论文并进行结题答辩。

**4.2 技术指标**

完好性风险：；TTA：小于6s；SISA：0.5m

**5．现有条件及拟采取的措施**

目前根据调研与近期的学习情况，本课题的完成需要电脑一台、MATLAB等仿真软件以及参考书籍等。在目前的研究过程中，我对导航卫星完好性监测获取知识还不足，对其中许多概率之间的关系理解还不够透彻，还需要更进一步的学习。并且，对仿真软件的使用还不熟练，实际的工程经验不足，因此在研究的过程中会遇到一些各种困难，但是我相信在导师、师兄和同学们的共同帮助下能够顺利完成论文撰写工作，并为以后的学习工作打下良好的基础。

**6．导师意见：**

**导师签字：**

**年 月 日**