



中国航

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研究与应用

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：航天器数据传输与处理

导 师：周 詮

研 究 生：张晨光

完成时间：2017 年 12 月 16 日

1. 研究的目的是和意义

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）对同一场景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。

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,这些问题遍及军事、遥感、医学、计算机视觉等多个领域。许多领域都需要图像配准,实际应用过程可能会有所不同,但其中关键的因素是类似的。概括地说,图像配准是对取自不同时间、不同传感器或者不同视角的同一场景的两幅或多幅图像进行最佳匹配的过程,包括像素灰度匹配和空间位置对齐。

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。

图像配准一般可分为 3 种：1.不同分辨率，相同传感器的两幅图像之间的匹配，比如景象匹配末制导时，必须对实时图进行景象匹配。2.图像部分内容相同，相同传感器的两幅或多幅图像之间的配准，比如可见光图像与雷达图像(SAR)、红外图像，医学图像 CT、PET、MRI 等的匹配。

图像配准分为以下几个基本步骤：特征检测、特征匹配、变换模型参数计算、图像的变换及重采样口。其中，特征检测方法主要包括 2 种：基于区域灰度的特征检测和基于特征(点、线、斑状区域)的特征检测。其中基于特征的图像配准方法主要通过图像的特征匹配关系建立图像之间的映射关系，已经成为图像配准的热点研究课题。

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，算法仍存在一些问題，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)。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(University Medical Center Utrecht, Netherlands) 图像科学所。以 Max A. 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(Vanderbilt University, 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**。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 sensitive 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。

基于特征的配准算法的计算量相对较小、鲁棒性相对较强，对图像偏移和旋转等变化的适应能力较强，已逐渐成为图像配准领域的主流方向。在所有特征中，特征点因其计算量小、鲁棒性强和适应性广的优势被广泛使用。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。但对模糊的图像和边缘平滑的图像，检测出的特征点过少，对圆更是无能为力。**SURF** 算法在 **SIFT** 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。

可以参考 Brown 和 Maintz 的分类方法,将配准技术概括为 8 个方面,包括:配准对象、特征提取、特征匹配、变换模型、优化策略、坐标变换与插值、系统实现及算法评估, 研究内容就大致针对这几个方面。

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,用棋盘距离和街区距离的线性组合并取其最优值来代替欧式距离进行图像匹配,以此提高计算速度,减少匹配的时间;针对匹配的准确率,误匹配点的去除方法有很多,最简单而且常用到的方法包括最近邻/次近邻比率法,双向匹配法和随机抽样一致性法 RANSAC。先期的实验证明可以通过 RANSAC 算法可以有效剔除一些误匹配对,但因为它的随机性,所以还是可以运用一些策略来优化。搜索策略指的是如何在高维矢量之间进行相似性检索使得相似性度量准则达到最大值的问题,简单来说就是范围查询或者 K 近邻查询的问题。首先定义两个集合中的某一待匹配点为查询点,范围查询即给定查询距离阈值和查询点,从另一个数据集中找到所有与查询点距离小于查询距离阈值的数据;而 K 近邻查询指的是给定一个正整数 K 和查询点,从另一个数据集中找到和查询点距离最近的 K 个数据,特殊地,当 $K=1$ 时,即为最近邻查询。搜索策略常用的有两类:穷举搜索(也被称为线性扫描)和数据索引。穷举搜索是原理最简单的一种搜索策略,它指的是通过给定的相似性度量准则将一个数据集中的查询点与另一个数据集中的所有点逐一进行比较,选取其中距离最近的一对为匹配点对。这种方法没有对数据进行数据预处理,实现简单,但是效率较低,一旦数据集合较大或者数据的维数较高时,耗时就会相当长。实际的数据都呈现出簇状的聚类形态,因此方便起见可以先建立数据索引,然后再对数据点进行匹配,从而节省时间上的消耗。索引树是一种树结构索引方法,其基本思想是对搜索空间进行层次划分。

变换模型方面。无论是平移和旋转这样的基本变换形式,还是刚体变换、相似变换和仿射变换这样的复杂的空间变换,都是投影变换的某种特殊表示,都可以利用齐次坐标写成 $n+1$ 大小的投影变换矩阵的形式。图像配准中,采用不同

的图像变换说明了图像之间的映射关系将会不同。因此对于不同类型的图像，选取恰当的图像变换模型可以适当地提高图像的配准精度。在对需配准的图像进行空间变换后，要对变换图像进行重新取样，以取得变换后的像素值。

评价标准。特征点定位精度，采用所提取出的特征点的坐标和真实坐标之间的均方根误差。对图像几何和失真的适应能力对比，特征点的重复度

（Repeatability）用重复出现的特征点的数量和其中包含较少特征点图像中的特征点数量的百分比作为衡量该方法性能优劣的标准。理想的特征点描述算子也应该具有鲁棒性和独特性的特征。鲁棒性是指描述算子能够在图像几何变形、失真等条件的影响下，仍然具备相对的不变性；而独特性是指不同的特征点之间，描述算子也应该是不同的，这样才能具备不同特征点的可识别性。描述算子的鲁棒性和独特性相互影响而且又具有矛盾性，而且会影响匹配的速度：包含的信息少则鲁棒性更好一些，而且匹配速度快，但相应的独特性就会稍差；而包含信息丰富的话独特性就会更佳，鲁棒性就会相应的减弱，而且给匹配速度也会带来一定的影响。因此，可以将鲁棒性、独特性以及匹配速度作为评价特征描述算子的标准。相似性度量准则是衡量图像相似性的标准，主要可以分为相关度量和距离测度。显然，相关度量是指利用相关技术作为相似性度量准则，包括互相关、相关比率、序贯相似检测算法和相位相关等。此外，还要考虑配准时间、配准率、算法复杂度、算法的可移植性、算法的适用性、图像数据对算法的影响等。

此外，因为图像配准其实只是一个预处理，所以可以广泛运用于各种图像处理，比如说图像压缩。西安分院的周诤研究员提出一种新的思路：图像传输的收发端在本地都有数目可观的图片库，当传送的图像和本地图片库中的图像在局部区域重复度很高，甚至只是本地图像的旋转、缩放等投影变换，那么就可以传输较少的信息，因为接收端依靠这些信息就足以从本地图片库恢复出原本要发送的图像，从而达到提高压缩比的效果。具体做法是：在传送之前先在本地图片库中找到最相近的图像作为参考图像，进行图像配准，然后可以进行一些取异或等操作，目的是记录待传输图像与本地图像的差异信息，记录选取的是哪个图像作的参考图像，当待传输图像与本地图像只是投影变换的时候，差异信息可以小到只是几个参数。这样，因为发送接收双方的图片库是相同

的，所以可以从本地进行配准的逆变换，得到原本的待发送图像，从而大大地提高传输的压缩比。这种方法适合运用在大量传输和本地图像差异较小的图像，并且带宽资源有限的情景中，如对一目标长期观测的传感器传送图像，我们可以很容易从本地图像恢复出当前监测画面并且可以容易得知目标对象发生的变化。这种压缩方法的实质是以本地图像存储和大量计算换取传输的高压缩比，缺点是应用场景较为单一，严重依赖图像配准的准确性。

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) 算法分析。对国内外针对图像配准的各种算法，尤其是基于特征点的算法进行研读，了解研究现状，掌握好基本概念，算法流程，算法的核心思想，学习专家思考问题的方式。弄清楚各种算法的优劣，集思广益。

(2) 源码阅读。一些作者在文章中提出了比较先进的算法，却没有给出实现的方式和具体细节。如 `opencv2.3` 改用的 Rob Hess 的源码实现了 SIFT 算法。结合 OpenCV 开源库的一些源码可以更加深刻地理解算法的思想，阅读源码的过程不仅是提高自己编程水平的过程，也可以给自己更多实践上的启发，有利于实现自己的想法。

(3) 软件和语言的学习。计算机视觉顾名思义需要计算机进行图像的处理，而 C++ 作为一种高级语言既可以实现仿真也可以做出一个行之有效的产品，而在 OpenCV 库的支持下的编程变得更加容易，可以近乎像 Matlab 一样利用简单的函数完成一些对图像的操作。比如 `Mat` 类的构造，使开发者不必人为地管理内存。此外，利用初步掌握的 Qt 可以设计自定义的图形用户界面，实现一些简单的人机交互，方便用户对图像的处理。无论在课题进展过程中还是在以后的学习工作的过程中都应该是坚持的，因为不管是软件还是语言都在不停地更新，必须时刻关注，因为好的工具可以事半功倍。

(4) 对各种算法仿真。单纯地看文献的介绍无法对各种算法建立直观的感受，通过仿真不仅可以深刻理解算法，有利于后期改进的提出，掌握算法的实现，还可以积累工程经验，有利于后期自己算法的实现。

(5) 改进算法。针对 3.1 中提到的研究内容进行优化。提取的特征点应该具

有尺度不变性、旋转不变性，对亮度、噪声有一定的抗干扰能力，运算量少，实时性要高，具有鲁棒性、可重复性。希望可以结合机器学习，使得算法通过训练可以自主优化，做出一些特定的调整。在图像配准性能达到一定水平后，将它应用于图像压缩中。

（6）实测验证。一方面验证改进的图像配准方法的性能，一方面验证图像配准在图像压缩方面的实验。

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，学习图像配准等图像处理基础知识。搞清楚自己要做的是什麼，国内外对此已经做了哪些研究，自己有可能在哪些方面做出改进。

（2）2017 年 11 月至 2017 年 12 月

对已经掌握的资料进行系统化地整理，进一步清晰课题内容，完成文献综述和开题报告，进行开题，明确研究内容和技术路线。

（3）2018 年 1 月至 2018 年 3 月

深入学习了解已有算法并仿真模拟，时刻关注最新研究进展，为下一步研究打下基础。

（4）2018 年 3 月至 2018 年 7 月

尝试运用一些优化算法优化图像配准性能，编写仿真程序，进行仿真验证。

（5）2018 年 7 月至 2018 年 9 月

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

根据专家提供的建议，对研究工作进行调整，进行完善自己的算法，并且在这个过程中总结经验，梳理知识，完成第二篇小论文的撰写和投稿。

(7) 2018 年 12 月至 2019 年 3 月

完善理论分析指导，撰写毕业论文，进行毕业答辩。

4.2 技术指标

在图像配准中可以主要把注意力放在配准速度和配准后的图像与参考图像的相似度上。初步决定用峰值信噪比衡量相似度。

在先期的仿真中，在处理器为 Intel (R) Core(TM)2 Quad CPU Q84002.66GHz 上，利用 OpenCV2.4.13 实现的 SURF 算法的运行时间是 952ms，配准后的图像与参考图像之间的峰值信噪比达到 29.5dB，SSIM 可以达到 0.98。两幅完全一样的图像配准时，信噪比为 361.202。

在查阅资料的过程中，不同的作者在文章中运用了不同的图像进行配准，评价标准也不尽相同。本课题在综合考虑之后，初步目标定为把耗时缩短到 800ms，峰值信噪比提高到 40dB，匹配对的正确率达到 90%，均方根误差缩小到 0.45。

5. 现有条件及拟采取的措施

本课题的完成主要是针对图像配准算法、软件上面的仿真与改进，然后在性能良好的前提下扩展它的应用面，创新性地应用于图像压缩方面，在特定场景中可以很好地提升压缩比，节省带宽资源。

在前期的调研与近期的学习中，大致掌握了一些优秀的、具有里程碑意义的算法的核心思想，了解对实际问题如何建模，如何进行数学性的思考；了解了目前一些算法的不足以及可能有突破的地方。在实际操作中，已经成功安装了相应的 OpenCV、Qt、VS 等软件与环境，并进行了一些实验，初步实现了一些基本的功能，大致掌握了做工程的思路，积累了一些有限的工程经验。

当然，目前还是存在许多不足之处。编程技巧方面，对数据结构、计算机原理等还不够熟悉，基础性的东西还是要不断加强；工程项目方面，工程经验还是需要进一步积累，对软件需要进一步熟悉；理论知识方面，数学功底略显不足，对一些基本概念不能停留在浅显的认识上，要做到深刻理解，善于把实际问题转换为数学求解问题，并进行优化。关于优化，又可能会涉及到一些机

器学习算法的问题，那对我来说是一个挑战，但是相信凭借海量的学习资料，自己踏实肯干的干劲可以取得一点进展。最后，即便已经完成了文献综述的答辩，还是要不断查阅资料，了解国内外最先动态，善于总结、借鉴，学会站在巨人的肩膀上看待问题。

在之后研究的过程中肯定还会遇到一些各种各样的困难，小到程序异常中断，大到研究方向的把握，但同时也是这些困难让人进步。我相信在导师、师兄和同学们的共同帮助下能够顺利完成课题研究，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