分类号： TP391 单位代码： 10335

密 级：非涉密论文 学 号： 21325108



硕士学位论文开题报告



**中文论文题目 ：****基于权值软分配**K-Means**改进的点云分割算法及其在大尺度零部件虚拟装配的应用**

**英文论文题目：**An Improved Point Cloud Segmentation Algorithm

Based On Dynamic Weight Distribution K-Means Clustering and Its Application to Large-Scale Parts Assembly in Virtual Environments

研究生姓名： 周彭晨

指导教师： 刘振宇

合作导师：

专业名称： 机械设计及理论

研究方向： 虚拟装配技术

所在院系： 机械工程学系

**提交日期 2015年11月23日**

目 录

[1 选题根据 1](#_Toc376202968)

[1.1 课题来源 1](#_Toc376202969)

[1.2 课题的研究意义 1](#_Toc376202970)

[1.3 国内外相关研究进展 2](#_Toc376202971)

[1.3.1 反求工程中基于特征及约束的实体模型重构技术 2](#_Toc376202972)

[1.3.2 形位误差评定方法的研究 3](#_Toc376202973)

[1.3.3 产品精度信息模型构建方法 4](#_Toc376202974)

[2 研究内容及方案 5](#_Toc376202975)

[2.1 研究目标和内容 5](#_Toc376202976)

[2.2 拟采取的研究方法和技术路线 6](#_Toc376202977)

[3 课题研究初步进展 6](#_Toc376202978)

[4 课题进度安排 6](#_Toc376202979)

[5 课题预期成果 7](#_Toc376202980)

[5.1 课题的研究特色 7](#_Toc376202981)

[5.2 预期研究成果 7](#_Toc376202982)

[6 参考文献 8](#_Toc376202983)

# 1 选题根据

## 1.1 课题来源

本课题研究来源于某航天院所急切提高卫星装配效率和精度的实际需求，其目前的卫星结构装配采用人工“试装-修整-装配”的方法，装配过程缺乏自动化手段且无法实现装配结果预测，具体问题如下：

卫星主结构装配一般采用由下至上、分层装配的方法。先对卫星最下层进行预装配，预装完成后对设计规定的精度指标进行测量，如有超差则需拆下结构件对超差部分进行修配，在重复前面工作直至精度满足要求。下层装配完成后再装上一层，最后完成整星主结构的装配。上述过程需要返修预装、精测和修配，耗费大量时间，严重制约了卫星的装配效率。

另外，在主结构分层装配过程中，由于无法预知当前这一层的精度以及未装结构件精度的耦合性对后续装配及整星级精度的影响，从而会产生装配到后以结构层时发生因修配量不足导致对已装配到位结构层重新拆解修配的返工操作。

上述问题导致了卫星结构装配效率不高，试调周期达两个月之久。针对这种情况，本项目组提出了开发一套基于实物反求的虚拟装配精度预分析与评价系统，通过该系统模拟试装过程，大大减少预装工作量，同时可以提前得到整体最终的装配精度。

本文研究的目标是同过3D激光扫描仪获取的能够反映装配实物零件真实几何信息的点云模型数据，借助点云模型分割出的特征实现虚拟装配的装配定位和装配过程仿真，并对装配精度进行实时检测，从而指导工人进行实际的装配修整，大大减少预装和修调工作量提高装配效率。

## 1.2 课题的研究意义

本课题旨在通过建立能够贴切地反映物理实物模型结构及精度的虚拟化产品精度信息模型，取代实物模型以便进行后续的虚拟装配精度预分析，并达到以下几个方面的目标：

1. 论证经典特征分割算法RANSAC在虚拟装配场景下应用的缺陷

理论和实验论证经典点云分割算法RANSAC在虚拟装配应用场景下的缺陷。虚拟装配中经典点云分割算法RANSAC，代码实现后发现该算法对点云模型的细小特征不敏感，无法准确的获取准确的特征信息。。

1. 提出RANSAC算法的改进方法

分析虚拟装配场合下点云模型的数据特征，结合当前机器学习中无监督学习聚类分析理论，开发了针对点云模型的细小局部特征的点云无监督学习聚类器。结合上述的监督学习聚类器，就RANSAC算法存在的缺陷提出了算法改进措施，对满足局部收敛条件的细小局部特征进行聚类分析，然后在进行二次分割，顺利解决经典RANSAC算法在虚拟装配场景下的缺陷。

1. 提出大尺度零部件的虚拟装配方法

提出了利用点云模型和理想模型混合信息的虚拟装配方法。针对上述改进的点云模型特征分割算法获取实际装配零件的装配特征信息，结合理想装配模型的相对位置关系和人工引入的工装定位误差等信息在虚拟环境下高精度的仿真装配过程。。

1. 提高大尺度零部件装配效率

在装配过程根据装配形位误差的评价函数结合统计学相应方法实时检测装配精度，并将检测结果反馈给操作者，用于实际装配的指导，提高了装配效率和装配精度。

## 1.3 国内外相关研究进展

### 1.3.1 点云模型的特征分割技术

在Mangan，Wu[[[1]](#endnote-1)]等研究工作之后，三维模型分割问题逐渐成为热点研究课题之一。三维模型分割，是指根据一定的几何及拓扑特征，将封闭的三维网格多面体、或者可定向的二维流形，依据其表面几何、拓扑特征，分解为一组数目有限、各自具有简单形状意义的、且各自连通的三维模型子块的工作。对三维模型分割研究影响巨大的早期背景研究工作有两个方面。一个背景是计算几何的凸分割。其目的是把非凸的多面体分解为较小的凸多面体，以提高图形学绘制和渲染的效率。该工作已经有了广泛的研究，多数算法难以实现和调试。实际应用往往不去分割多面体，而是分割它的边界－－多边形网格。多面体网格边界的分割算法容易实现、复杂形体的计算量往往是线性的[[[2]](#endnote-2)]。另外一个是计算机视觉中的深度图像分割，其处理的深度图像往往具有很简单的行列拓扑结构，而不是任意的，故此其分割算法相对简单[[[3]](#endnote-3)]。

根据几何模型的类别不同，模型分割可分为图像分割[[[4]](#endnote-4)]、三角网格分割[[[5]](#endnote-5)]、点云分割[[[6]](#endnote-6)]等。本文研究点云模型的分割算法，常用的点云模型分割算法主要包括基于边缘的分割算法、基于区域的分割算法、基于聚类的分割算法以及混合分割算法等。

基于边缘的分割算法是从纯数学的角度出发，认为测量点的法矢突变或者曲率突变是一个区域与另一个区域的边界，并将封闭边界包围的区域作为最终的分割结果。算法的关键在于如何识别边界部分。

Woo H, Kang E等[[[7]](#endnote-7)]对点云进行空间栅格划分，采用八叉树来组织栅格结构，并利用法矢偏差作为栅格细分和特征提取的依据。

董明晓等[[[8]](#endnote-8)]将数据点中曲率变化较大的点提取出来作为边界点，从而将点云数据分割成多个区域。

柯映林等[[[9]](#endnote-9)]则选择首先进行栅格划分，然后计算当前栅格曲率与相邻栅格曲率之间的差值，利用该差值提取特征栅格，最后根据特征栅格来获得点云边界，实现空间散乱点云的区域分割。

莫堃等[[[10]](#endnote-10)]利用3D活动轮廓模型实现了点云模型分割，为去除噪声对分割效果的影响，算法构造符号距离函数用于估算点云的平均曲率，并用中值滤波进行了点云去噪。

基于区域的分割算法包含自底向上和自顶向下两种思路。自底向上算法就是通常所说的区域增长算法，首先选定种子点，由种子点开始向外扩散，判断其周围邻域点是否同属于一个曲面，一直扩散直到邻域不存在连续点集，最后组合这些邻域构成区域。算法的关键是区域增长策略。

Rabbani T.等[[[11]](#endnote-11)]利用点的法向量及其冗余量作为区域增长的依据，通过点云的蔓延得到相应的分割区域来实现散乱点云分割。

吴世雄，王成勇[[[12]](#endnote-12)]根据采样点邻域内点云主方向的曲率变化大小确定边界，然后利用区域增长实现区域分割。

自顶向下算法又称为层次分解算法，首先假设所有的点都属于同一个面片，然后采用八叉树[[[13]](#endnote-13)]、K-D树[[[14]](#endnote-14)]、层次有向包围盒树(OBBTree)[[[15]](#endnote-15)]等空间层次树数据结构进行层次剖分，得到不同细节层次的分解结果。

基于聚类的分割算法是将点云模型的区域分割看成具有一定几何特征参数的数据点的分类过程。

Besl P., Jain R.等采用曲面元分类，从而对点云模型进行分割[[[16]](#endnote-16)]。首先对点云模型按照平方差评估获取点云面片的曲面元类别（即对点云模型的曲面按特征类型不同进行分类），其次将点云模型每个面片与曲面的类比进行对比分析从而将点云模型进行分割。

Yamauchi H, Lee S等采用了MeanShift聚类进行点云模型的分割[[[17]](#endnote-17)]，主要是通过对面片的法向计算分类时引入面片的chartification技术，这一举动可以很好的识别出特征并且可以应用于多中复杂特征分割。

史桂蓉等则提出了自组织特征映射网络(SOFM)，使用SOFM进行点云的区域分割，选用点云数据点的坐标、法向量六维向量作为SOFM的输入，通过改进SOFM的学习算法，加入输入权和距离权，加速了分割的速度和正确性[[[18]](#endnote-18)]。

马腾等采用谱聚类将分割问题转化为图切割问题，然后根据归一化的非对称Laplacian矩阵构造谱聚类空间，最后通过移除掉多余的特征向量，在一个更低维的空间中找到了分割问题的松弛解顺利实现了点云模型的分割[[[19]](#endnote-19)]。

Dubai R. O., Hart P. E.等将点云模型的分割问题转换为机器学习中的非监督机器学习问题，利用不同的及其学习算法对点云模型的数据进行机器学习分析，构建适应较好的基于机器学习的点云模型分割系统，这其中就提出了利用K-Means聚类算法对点云模型进行分割[[[20]](#endnote-20)]。

Zhao J. H. 和Li D. R.针对点云因镜像反射等原因造成的传统的分割算法无法良好的分割出点云模型中模糊的分界线的问题，利用模糊聚类算法对点云模型进行分割并取得良好的效果[[[21]](#endnote-21)]。

基于聚类的分割方法缺点是不同的聚类准则能得到不同的聚类结果，从而使得某个聚类分割方法只能对某些特定的模型适用，并且算法容易出现细碎的小面片，需要进一步处理。基于边缘的分割算法和基于区域的分割算法各自存在不足。基于边缘的分割算法的缺点是易受噪声点影响而导致边缘定位精度较差；基于区域的分割算法的问题是种子点的选择与分布会影响区域计算的结果与效率且采用何种区域增长依据对分割结果的影响较大，可能会产生欠分割或过分割的情况。两种算法结合使用能一定程度上克服这些不足，混合分割算法因此被提出的。混合分割算法通常会包括两个或多个步骤，在一些步骤中使用基于边缘的分割算法，另一些步骤则使用基于区域的分割算法，为了两种分割算法能有效结合，通常需要对两者做一些改进。

Yokoya和Levine M D等[[[22]](#endnote-22)]提出一种混合分割方法，首先通过曲面的高斯曲率和平均曲率进行初始区域分割，然后用基于边的方法对初始区域分割进行边界提取得到最后的区域分割。

肖春霞，冯结青等[[[23]](#endnote-23)]首先利用Level Set方法[[[24]](#endnote-24)]计算点云模型上两点间的测地线,然后将多条测地线首尾相连形成封闭轮廓，以该封闭轮廓作为分割边界来辅助分割，最后采用区域增长的方式来获得分割区域内的点，其中区域增长采用Level Set演化曲面来实现。

### 1.3.2 高维数据特征聚类技术

聚类问题已出现于很多不同应用中，如数据挖掘和知识发现[[[25]](#endnote-25)]、数据压缩和向量量化[[[26]](#endnote-26)]、模式识别和模式分类[[[27]](#endnote-27)]。发现合适的类要根据不同的应用来进行，并且根据不同的标准，可以有多种不同的方法来发现类，其中包括了基于分裂和合并的方法。G. H. Ball提出的ISO Data高维数据类型的聚类分析方法[[[28]](#endnote-28)]。R. T. Ng提出的基于选择的方法CLARA[[[29]](#endnote-29)]。Gabrys B提出的模糊神经网络聚类方法[[[30]](#endnote-30)]。

基于最小化目标函数的聚类方法中，研究与使用得最为广泛的方法就是K-Means聚类。在K-Means聚类中，给定d维空间中的N个数据对象（即）和一个整数k。要解决的问题是将N个d维数据划分到K个聚簇中，使同一个聚簇中的数据对象具有相似的属性。同时，每个聚簇都和一个“中心”值相关联，且这个值是数据所在类的代表。评判划分质量的手段之一是类内差异[[[31]](#endnote-31)]，它是指每个数据对象到聚簇中心的平方距离之和（欧几里德）。对于固定划分，每个中心的最优（某种程度上是指最小的类内差异）位置是每个类中所有数据对象的中心。而且对于固定的中心选择，最优的划分是将数据对象划分到距离最近的中心所在聚簇。K-means聚类算法（其中有几个变量）使用迭代的方法在固定数目K的聚簇上进行操作，其目标是同时最优化中心的位置及数据对象的分配。

大部分聚类算法都是针对低维度的数据而设计，也能在低维数据上取得较好的聚类效果，然而很多算法在高维数据上的性能并不好。这种现象称为“维数灾难”(Curse of Dimensionality)，它泛指在分析数据时遇到的由于特征（变量或属性）过多而引起的一系列问题。点云模型本身只存在三维空间里一系列的点坐标，维数并不高，但是在虚拟装配过程中只有模型的模型的点坐标并不足够完成装配，还需要有点云模型的自由度信息、位姿信息、干涉距离信息等辅助完成。10维以上的数据就可以认为是高维数据，如果点云模型包含上述全部信息则已经属于高维数据聚类分析的范畴，而且许多聚类算法在处理高维数据时就会遇到困难[[[32]](#endnote-32)]。

目前，一般适用两种方法解决高维数据上的聚类问题：一是特征转换；二是特征选择或者子空间聚类。特征转换一般通过主成分分析或奇异值分解等策略，把原始高维数据线性合并至一个低维的空间，然后使用传统的聚类算法（如K-Means）在该低维空间上进行聚类，从而达到降低维数的目的。特征选择则是选取有效的特征，然后将其组成相关的子空间，并在该子空间上执行聚类任务。特征选择一般适用贪心策略搜索不同的特征子空间，使用一些准则来评价各个子空间并选取最优子空间，从而找到相应的类[[[33]](#endnote-33)]。

### 1.3.3 虚拟装配与装配精度检测技术

虚拟装配是实际装配过程在计算机上的体现，是虚拟现实技术(Virtual Reality Technology)和CAD技术在工程问题中的典型应用，是现代先进生产制造技术的关键组成部分。在虚拟环境进行装配，缺乏像现实环境中存在的各种物理约束和感知能力，几何约束建模仍是主要的实现手段。虚拟环境中零件是依靠几何约束相互装配到一起，工装工具操作仿真、零件自由度模拟、装配运动仿真都依赖于几何约束信息来实现。精度检测主要包括了尺寸误差的检测和形位误差的检测，与尺寸误差中的长度误差、角度误差等相比，形位误差的评定难度相对来说较大，所以，如何准确地评定形位误差一直以来都受到了国内外学者的普遍关注。学术界长期以来比较流行的方法是最小二乘法（Least square Method，LSM），该方法虽然简便、易行，但存在着仅提供形位误差的近似评价结果、并不保证解的最小区域性等缺点，只是适用于对精度要求不太严格的情况，也可以作为其他方法的初始值。因此，其他形位误差评定的方法也在不断地被提出、发展和改进。对于虚拟装配以及精度检测相关的技术，有关学者从不同角度对他们的理论与实际应用进行了探索。

美国华盛顿州立大学的Sankar Jayaram等最早对虚拟装配进行了系统化的开发与研究，首次给出了虚拟装配的定义为：使用计算机，在没有物理实现产品或支持过程的情况下，通过分析模型、预测模型、数据的表达和可视化，作出或辅助作出与装配相关的工程决策[[34]](#endnote-34)[[35]](#endnote-35)。

德国Bielefeld大学B.Jung等将虚拟装配描述为在虚拟环境中使用如直接操作、语音命令等方式与虚拟现实交互构建虚拟产品原型[[36]](#endnote-36)。跟传统CAD的装配相比，虚拟装配的重点在于更加直观的人机交互，在虚拟环境中应当通过直接操作零件和语音命令的方式直接完成虚拟装配操作。

清华大学CIMS国家工程中心的张林煊、肖田元等对虚拟装配的定义为：虚拟装配是装配过程在计算机上的本质实现，是基于产品的数字化实体模型，在计算机上分析与验证产品的装配性能及工艺过程，从而提高产品的可装配性[[37]](#endnote-37)。装配包括两重含义：一是由零部件组成的静态的装配体，二是该装配体的形成过程。他们认为，虚拟装配泛指在计算机上的“装配”，是否在虚拟环境中装配，只是场景和表达方式差别，其应包含的两重含义不变。

华盛顿州立大学的Sankar Jayaram等研究了约束的识别、确认和求解问题，利用D-Cubed 3D DCM库来进行约束求解，在虚拟环境中模拟零件在受约束状态下的运动7。

英国Salford大学虚拟环境中心的Fernando等研究了基于几何约束的零件精确定位和三维操作，探讨了 “可行运动 ”和 “自动约束识别 ”等关键技术[[[38]](#endnote-38)]，开发了几何约束管理器，用来支持虚拟环境下装配和维修任务。

华中科技大学CAD中心的曹鹏彬等实现了基于装配约束动态管理的虚拟拆卸[[[39]](#endnote-39)]。研究了基于几何信息的虚拟拆卸过程中装配约束的动态管理机制，并实现了基于装配约束导航的虚拟拆卸。

浙江大学CAD＆CG国家重点实验室的刘振宇教授等也研究了虚拟环境下基于装配约束动态解除的产品拆卸技术[[[40]](#endnote-40)]。研究了虚拟拆卸过程中配合几何约束的自动解除方法。随着拆卸过程的递进，根据设计者的交互意图，适时取消零件所受的配合约束。

M. Burdekin等提出了一种称为“包容旋转法”方法用于平面度误差评定，并根据平面度误差的最小区域原则推理出了包容平面旋转的规则[[[41]](#endnote-41)]。

Kirsten Carr等建立了直线度、平面度和圆柱度误差的非线性数学模型[[[42]](#endnote-42)], [[[43]](#endnote-43)]，并通过适当的坐标和比例变换将该问题转换为了线性规划问题，确定合适的初始条件，可以是线性规划问题的解收敛于原始问题的解。

Jyunping Huang等提出了评定空间直线度误差和平面度误差时采用平行六面体包络进行计算的方法，在测点数据量很大时，具有明显的效率优势[[[44]](#endnote-44)]。但是，这种方法计算出来的误差值为近似值。

蔡婧等建立了六项形位误差的最小二乘法和最小区域法数学模型[[[45]](#endnote-45)]，包括平面直线度、空间直线度、平面度、圆度、圆柱度和同轴度等，对这些模型目标函数的基本性质进行了研究，并证明了它们的不可微性，最后利用实际的测量数据对目标函数的连续性及解的唯一性进行了分析。

郑鹏对应用线性规划进行形位误差评定研究的理论和方法进行了探讨，并用一个线性规划模型统一了各种形位误差的评定，根据该模型既可进行理论研究，又方便计算机程序运算，且解算快速，结果准确[[[46]](#endnote-46)]。

廖平对基于遗传算法的形位误差评定方法进行了比较系统且深入的研究，构建了一套基于遗传算法进行形位误差评定的理论体系，不仅包括了遗传算法在基本形体的形位误差的计算，还包括了复杂几何形体的形位误差计算等[[[47]](#endnote-47)]。

岳武陵等研究了空间直线度的数学模型，并通过逐次二次规划算法（SQP）进行了评定[[[48]](#endnote-48)]，该方法保留了模型中的非线性信息，对初始参数要求低，具有稳定、可靠和效率高的优点。

罗钧等提出了将改进人工蜂群（MABC）算法用于平面度误差最小区域法的评定，通过实验验证，得出计算精度优于最小二乘法、粒子群算法和遗传算法，比较适合用于形位误差测量仪器和三坐标测量机[[[49]](#endnote-49)]。

从本质上讲，虚拟装配就是以零部件的三维实体模型为基础，通过虚拟的实体模型在计算机上仿真装配操作的过程，在虚拟环境中进行装配操作及其相关装配精度等的分析，实现产品的装配规划和评价，生成指导实际装配的工艺文件。虚拟装配中点云模型的精度信息提取尤其是形位误差的精度提取方面，很多算法都从不同的角度取得了一定的效果，但是还存在着缺乏统一的形位误差评定数学模型、评定算法多为近似算法、优化算法不同程度地存在着搜索方向盲目、计算量过大和迭代次数过多等问题。

# 2 研究内容及方案

## 2.1 研究目标和内容

结合课题的具体内容与需求，本文针对利用检测扫描得到的点云模型构建能够反映真实物理模型并可面向虚拟装配精度预测的产品精度信息模型的相关技术进行了研究，研究内容主要包括：

（1）基于特征及约束的点云数据三维实体模型重构

在对三维点云数据进行预处理并根据表面棱线特征将模型进去区域分割和特征识别，针对规则的几何特征，在参数表示的基础上，采用最小二乘法直接进行拟合，构建了拟合的方程及求解流程。根据模型的要求，进行约束的确定和添加。最终构建成为包含完整特征及约束信息的三维实体模型。

（2）基于最小条件原则的非线性规划遗传算法产品精度信息提取

通过实物反求重构得到的反求模型具备了特征信息、几何信息和拓扑信息，但是缺少产品精度信息，尤其是相关形位误差信息。常用的形位误差判定方法是最小二乘法，其得到的值只是近似值，并非符合形位误差定义要求的。根据形位误差的定义，基于最小条件原则，建立相应的数学模型，通过获得的带坐标信息的点云数据，结合非线性规划局部寻优能力强和遗传算法全局寻优能力强的优点，应用非线性规划遗传算法，快速并精确地计算出形位误差信息。

（3）面向虚拟装配精度预分析的产品精度信息模型构建

通过将反求得到的几何实体模型与从测量点云数据中得到的零件精度信息关联起来，建立产品精度信息模型，这样包含了实际制造精度信息（零件加工后的实测值）的模型实现了对物理样机的逼近，一定程度上代替了物理样机，为后续的装配精度预分析，预测产品最终的装配精度提供模型基础，并能够很好地指导现场装配，大大缩短修配和装调周期。

（4）产品精度信息模型构建原型系统的开发

通过CAA二次开发技术和MATLAB算法工具箱的结合在CATIA设计平台上进行产品精度信息模型构建模块的原型系统开发，包括实体模型重构、精度信息提取和产品精度信息模型生成三个子模块，通过测量的点云模型数据的导入，一步步生成特征、约束和精度信息等，为后续的虚拟装配精度预分析模块提供模型基础。

## 2.2 拟采取的研究方法和技术路线

（1）针对点云转换为三维实体模型，采用逆向工程技术，首先对其进行预处理和数据分块，根据特征将点云数据分割为独立的个体，然后通过规则二次曲面的最小二乘拟合得到曲面特征，最后将曲面特征通过加厚、封闭曲面成体等方法进行实体造型。

（2）基于最小条件原则建立形位误差信息的数学模型，利用非线性规划遗传算法进行计算，从而得到符合形位误差定义的精确结果。

（3）为进行装配精度预分析，在前两个研究的基础上，建立产品精度信息模型，将精度信息和实体模型信息关联起来。

（4）利用CAA二次开发技术并结合MATLAB工具箱在平台上开发产品精度模型构建原型系统，验证技术路线的正确性并实现工程应用。

# 3 课题研究初步进展

本课题初步完成了项目调研和项目实施方案的设计，并撰写了技术路线，对关键的三维模型重构和精度信息提取等几个技术问题进行了初步的探讨和尝试。

# 4 课题进度安排

本课题工作主要分为以下几个阶段：

第一阶段：项目调研、项目方案设计，并撰写项目实施方案报告工作；

2012.10-2012.11：项目调研及初步实施方案设计；

2012-11-2012.12：项目方案讨论与修改，并完成项目实施方案报告；

第二阶段：三维点云数据采集工作；

2012.12-2013.01：三维扫描设备的采购及安装调试使用；

2013.01-2013.02：学习扫描设备的使用并完成三维点云数据的采集；

第三阶段：三维实体模型反求重构；

2013.02-2013.03：三维点云数据的预处理，包括点云数据视点对齐、去噪、简化和分块等；

2013.03-2013.04：掌握三维点云模型重构技术，将点云数据重构成具有点、线、面等几何结构的三维实体模型；

第四阶段：精度信息提取

2013.04-2013.05：研究从点云数据中提取精度信息的方法；

2013.05-2013.07：编制程序，实现精度提取算法；

第五阶段：研究产品实体模型与精度信息的集成方法；

2013.07-2013.08：研究产品精度信息模型构建方法；

2013.08-2013.11：编制程序，实现产品精度信息模型构建；

第六阶段：论文撰写及答辩工作；

2013.11-2014.01：确定硕士论文大纲并完成论文撰写工作；

2014.02-2014.03：硕士论文送审，答辩。

# 5 课题预期成果

## 5.1 课题的研究特色

本课题将对实际加工制造出来的实物模型检测扫描得到的点云数据，通过反求重构、精度信息提取和产品精度信息模型构建，得到可以精确反映加工制造误差的虚拟模型，是对实物模型的逼近，实现了物理模型到虚拟模型的映射。

## 5.2 预期研究成果

基于特征的实物反求，能够加快主要由规则几何体构成的卫星桁架机构的反求过程，提高反求效率；基于非线性规划遗传算法的形位误差评定方法，能够精确求解形位误差等制造误差；产品精度信息模型将产品精度信息与零部件几何和拓扑关系联系在一起，达到了数字化虚拟模型与物理实物模型在尺寸和精度关系上的映射，能够真实地反映制造产品的现状，为后续虚拟装配精度预分析准备模型基础，也为虚拟装配技术的实用化迈出关键一步。

将构建的产品精度信息模型替代制造的实物模型，在计算机中模拟试装过程，大大减少预装工作量，同时可以提前得到整体最终的装配精度，并能够指导现场工人进行修配，提高产品的装配效率和一次性装配成功率。

# 6 参考文献

1. [] A.Mangan, R. Whitaker. Partitioning 3D surface meshes using watershed segmentation[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1999, 5(4): 308-321 [↑](#endnote-ref-1)
2. [] B. Chazelle, L. Palios. Decomposing the boundary of a nonconvex polyhedron. In SWAT, 1992, 364-375. [↑](#endnote-ref-2)
3. [] A. Hoover, G. Jean-Baptiste, X. Jiang. An experimental comparison of range image segmentation algorithms[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(7): 673-689 [↑](#endnote-ref-3)
4. [] 董何俊, 葛红, 王玉峰. 图像分割算法研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(12): 58-61 [↑](#endnote-ref-4)
5. [] 董洪伟. 三角网格分割综述. 中国图象图形学报, 2010, 15(2): 181-193 [↑](#endnote-ref-5)
6. [] 欧新良,匡小兰,倪问尹. 三维散乱点云分割技术综述. 湖南工业大学学报, 2010, 24(5): 45-49. [↑](#endnote-ref-6)
7. [] Woo H, Kang E, Wang S Y, et al. A New Segmentation Method for Point Cloud Data. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2002, 42(2): 167- 178. [↑](#endnote-ref-7)
8. [] 董明晓, 郑康平, 姚斌.曲面重构中点云数据的区域分割研究.中国图象图形学报, 2005, 10(5): 575-578. [↑](#endnote-ref-8)
9. [] 柯映林，单东日. 基于边特征的点云数据区域分割. 浙江大学学报(工学版)，2005, 39(3): 377-396. [↑](#endnote-ref-9)
10. [] 莫堃，尹周平.基于 3D 活动轮廓模型的缺陷点云分割方法.华中科技大学学报(自然科学版),2011,39(1):82~85 [↑](#endnote-ref-10)
11. [] Rabbani T，Van den Heuvel F A, Vosselman M G.. Segmentation of Point Cloud Using Smoothness Constraint International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2006, 36(5): 248-253. [↑](#endnote-ref-11)
12. [] 吴世雄，王成勇. 散乱噪声点云的数据分割. 机械工程学报, 2007, 43(2): 230-233 [↑](#endnote-ref-12)
13. [] 傅欢，梁力，王飞等, 采用局部凸性和八叉树的点云分割算法.西安交通大学学报, 2012, 46(10): 60~65. [↑](#endnote-ref-13)
14. [] Fransens J, van Reeth F. Hierarchical PCA decomposition of point cloud[C]. // Proceedings of the 3rd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission. Washington D C: IEEE Computer Society Press, 2006: 591-598 [↑](#endnote-ref-14)
15. [] 邹万红，陈志扬，潘翔等. 多分辨率层次点模型分片[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(1):1~5 [↑](#endnote-ref-15)
16. [] Besl P, Jain R. Segmentation and Classification of Range Images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(5): 608-620. [↑](#endnote-ref-16)
17. [] Yamauchi H，Lee S, Lee Y, et al. Feature sensitive mesh segmentation with mean shift[C]. Shape Modeling International 2005: 236-243. [↑](#endnote-ref-17)
18. [] 史桂蓉，邢渊，张水清. 用神经网络进行散乱点的区域分割[J].上海交通大学学报，2001, 35(7): 1093-1096. [↑](#endnote-ref-18)
19. [] 马腾，龙翔，冯路等. 点云模型的谱聚类分割[J]. 计算机辅助设计与图形学学报，2012,24（12）：1549-1558 [↑](#endnote-ref-19)
20. [] Duda R O, Hart P E, Stork D G. Pattern Classification(2nd Ed.)[M]. Wiley Interscience, October 2000 [↑](#endnote-ref-20)
21. [] Zhao J H, Li D R, Wang Y M. Ancient architecture point cloud data segmentation based on modified fuzzy c-means clustering algorithm[C]. //Proceedings of SPIE, Bellingham, United Staes: SPIE Press, 2008:7285 [↑](#endnote-ref-21)
22. [] Yokoya N, Levine M D. Range Image Segmentation Based on Differential Geometry: A Hybrid Approach. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 11(6): 643-649. [↑](#endnote-ref-22)
23. [] 肖春霞, 冯结青, 缪永伟等. 基于 Level Set 方法的点采样曲面测地线计算及区域分割. 计算机学报, 2005,28(2): 250-258. [↑](#endnote-ref-23)
24. [] Osher S., Sethian J. Fron ts propagating with cu rvature dependent speed: Algorithm s based on the Hamilton Jacobi formulation. Journal of Computational Physics, 1988, 79(1):12-49 [↑](#endnote-ref-24)
25. [] U.M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth, and R. Uthurusamy, Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. AAAI/MIT Press, 1996. [↑](#endnote-ref-25)
26. [] A.Gersho and R.M. Gray, Vector Quantization and Signal Compression. Boston: Kluwer Academic, 1992. [↑](#endnote-ref-26)
27. [] R.O. Duda and P.E. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis. New York: John Wiley & Sons, 1973. [↑](#endnote-ref-27)
28. [] G.H. Ball and D.J. Hall, Some Fundamental Concepts and Synthesis Procedures for Pattern Recognition Preprocessors[J], Proc. Int'l Conf. Microwaves, Circuit Theory, and Information Theory, Sept. 1964. [↑](#endnote-ref-28)
29. [] R.T. Ng and J. Han, Efficient and Effective Clustering Methodsfor Spatial Data Mining, Proc. 20th Int'l Conf. Very Large Databases, pp.144-155, Sept. 1994. [↑](#endnote-ref-29)
30. [] Gabrys B, Bargiela A. General fuzzy min-max neural network for clustering and classification. IEEE Trans. on Neural Networks, 2000, 11(3):769−783. [↑](#endnote-ref-30)
31. [] A.K. Jain and R.C. Dubes, Algorithms for Clustering Data. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, 1988. [↑](#endnote-ref-31)
32. [] Kriegel H P, Kroger P, Sander J, et al. Density-based clustering[J]. wires. [↑](#endnote-ref-32)
33. [] Parsons L, Haque E, Liu H. Subspace clustering for high dimensional data: a review[J]. ACMSIGKDD Explorations Newsletter, 2004, 6(1): 90–105. [↑](#endnote-ref-33)
34. [] Jayaram, S., H.I. Connacher and K.W. Lyons, Virtual assembly using virtual reality techniques[J]. COMPUTER-AIDED DESIGN, 1997. 29(8): p. 575-584. [↑](#endnote-ref-34)
35. [] 夏平均，姚英学, 虚拟装配的研究综述与分析(I)[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008(05): 第740-744页. [↑](#endnote-ref-35)
36. [] Jung, Bernhard, Hoffhenke Martin, Wachsmuth I. Virtual assembly with construction kits[C]. Proceedings of the 1998 ASME Design for Engineering Technical Conferences. Pp. 1103-1112. ISBN 978-0-7918-1953-1. [↑](#endnote-ref-36)
37. [] 肖田元. 虚拟制造[M]. 北京：清华大学出版社. 2004. P440-445. [↑](#endnote-ref-37)
38. [] Marcelino, L., N. Murray and T. Fernando, A constraint manager to support virtual maintainability[J]. COMPUTERS & GRAPHICS-UK, 2003. 27(PII S0097-8493(02)00228-51): p. 19-26. [↑](#endnote-ref-38)
39. [] 曹鹏彬, 刘继红与管强, 基于装配约束动态管理的虚拟拆卸[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002(10): 第988-992页. [↑](#endnote-ref-39)
40. [] 刘振宇, 谭建荣与张树有, 虚拟环境中基于约束动态解除的产品拆卸技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003(07): 第812-817+835页. [↑](#endnote-ref-40)
41. [] Burdekin M, Pahk H J. The Application of a Microcomputer to the on-line Calibration of the Flatness of Engineering Surfaces[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 1989, 203(2): 127-137 [↑](#endnote-ref-41)
42. [] Carr K, Ferreira P. Verification of form tolerances part I: Basic issues, flatness, and straightness[J]. Precision Engineering. 1995, 17(2): 131-143. [↑](#endnote-ref-42)
43. [] Carr K, Ferreira P. Verification of form tolerances part II: Cylindricity and straightness of a median line[J]. Precision Engineering. 1995, 17(2): 144-156. [↑](#endnote-ref-43)
44. [] Huang J. An efficient approach for solving the straightness and the flatness problems at large number of data points[J]. Computer-Aided Design. 2003, 35(1): 15-25 [↑](#endnote-ref-44)
45. [] 蔡婧. 六项形位误差评定数学模型的研究[D]. 东北大学　, 2009. [↑](#endnote-ref-45)
46. [] 郑鹏. 形位误差计算机评定系统的研究[D]. 郑州大学, 2003. [↑](#endnote-ref-46)
47. [] 廖平. 基于遗传算法的形状误差计算研究[D]. 中南大学, 2002. [↑](#endnote-ref-47)
48. [] 岳武陵，吴勇. 基于多目标优化的空间直线度误差评定[J]. 光学精密工程. 2008, 16(8): 1423-1428. [↑](#endnote-ref-48)
49. [] 罗钧，王强，付丽. 改进蜂群算法在平面度误差评定中的应用[J]. 光学精密工程. 2012, 20(2): 422-430. [↑](#endnote-ref-49)