

仪表技术

# 基于反求工程的螺旋扫描件边界提取方法研究

芮执元 乔登玉 郭俊锋

(兰州理工大学机电工程学院, 兰州 730050)

**摘要** 复杂曲面零件的几何模型重构是反求工程的研究重点之一。针对螺旋零件表面的数字化数据提取边界线的问题,提出了一种基于层析数据的螺旋扫描件边界特征线提取方法。该方法分两步进行,首先将点云切片,对切片后每一层数据点进行边界特征点提取和轮廓线拟合;其次将相邻层边界点拟合得到边界线。通过实例验证,结果表明该方法具有较强的可操作性 and 实用性。

**关键词** 反求工程 层析数据 边界提取 特征点  
**中图分类号** TH132.1 TP391; **文献标志码** A

产品数字化和快速原型技术的发展,使反求工程得到了越来越广泛的应用和研究。Varady<sup>[1]</sup>将反求工程分成以下主要步骤:数据获取、数据预处理、区域分割及曲面拟合和CAD模型重建。其中,区域分割是指将点云数据划分为特征单一、互不重叠的区域,是反求工程CAD建模的关键<sup>[2]</sup>。

点云数据的区域分割技术<sup>[3]</sup>可以分成基于区域和基于边界两大类。前者对于简单的二次曲面比较有效,但对于自由曲面就不太适用;后者相对来说应用面广,而且容易实现。目前对点云数据边界的自动提取主要有两种方法。第一种方法是基于三角网格的边界特征提取。Miguel Vieira<sup>[4]</sup>研究了根据网格顶点曲率半径来提取模型特征点和边,该方法受噪声影响,存在较大的判断误差,精度低。张献颖,刘胜兰<sup>[5,6]</sup>等分别对空间三角网格曲面的边界提取方法和基于边的特征线提取方法作了研究。因为,适应任何数据对象的点云三角化算法还没得到完全有效的解决。同时,三角化算法本身的时间复杂度高,所以,该方法在曲面反求过程中效

率非常低。第二种方法是基于点云的边界特征提取。Joel Daniels<sup>[7]</sup>等人采用新型移动最小二乘法(RMLS)进行光滑特征线提取,该方法不能很好地区分出尖锐特征与光滑特征。柯映林<sup>[8]</sup>等对点云数据进行空间三维划分,建立基于栅格的边界特征提取模型。孙殿柱<sup>[9]</sup>等根据Re-tree动态空间索引结构组织散乱数据点云的拓扑关系,提出散乱数据点云边界特征自动提取算法。

但是以上两种边界提取方法对带有内腔的零件的内部边界提取存在缺陷。为了克服这一缺点,本文以重构螺旋喷头的三维数字模型为目的,提出了一种适用于螺旋扫描件的数字模型重构方法(需要说明的是,基于层析数据的螺旋扫描件边界特征线提取方法是在已经完成初始点云简化、均化和噪声处理为前提的)。

## 1 截面轮廓线的提取

切片厚度 $\delta$ 是影响获得二维轮廓曲线精确性的重要参数。实际应用中发现,对点云密度进行预测得到估测密度 $\rho$ ,并将这一预测值作为初始切片厚度,将其乘以一定的系数 $\kappa$ ( $\kappa=1\sim 4$ ),作为实际切片厚度 $\delta$ 可以取得较好的切片效果<sup>[10]</sup>。

截面轮廓线为平面曲线,构成截面轮廓线的曲

2011年3月18日收到

第一作者简介:芮执元(1962—),男,教授,博士生导师。研究方向:虚拟制造和仿真技术、裂纹技术、先进制造技术。E-mail: zhiy\_rui@163.com。

线可分为二次曲线(如直线、圆弧等)和自由曲线。

### 1.1 直线段的识别

从截面点云中任意选取一点  $P_1$ , 如图 1 所示。然后任意选取其相邻的两点之一(在此选取的点为  $P_1$  右侧的点  $P_2$ , 而  $P_1$  左侧的点未画出), 连接这两点, 构成一个直线段, 继续沿着该方向选取下一点  $P_3$ , 对  $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$  三点利用最小二乘法拟合直线, 计算 pearson 系数大小, 并与设定的 pearson 值进行比较, 如果 pearson 值大于设定值, 则认为点  $P_3$  与  $P_1$ 、 $P_2$  位于同一条直线上, 继续沿该方向选取下一点  $P_4$ , 上述过程依次进行下去, 直到出现点  $P_n$  参与拟合直线后 pearson 系数小于设定值时, 则停止上述过程, 且点  $P_{n-1}$  为该直线的一个端点。利用上述方法可以找出平面截面曲线上全部的直线线段和直线段的端点。

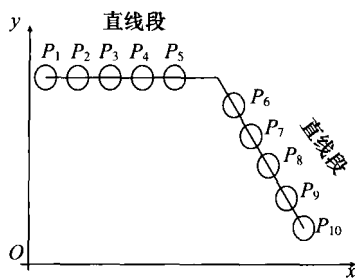


图 1 点云直线拟合原理示意图

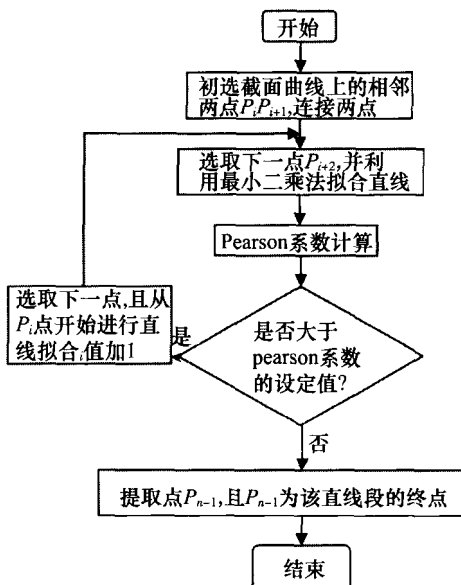


图 2 直线段拟合及直线段边界点提取算法流程图

利用最小二乘法 and pearson 系数进行直线拟合及截面点云边界点提取的算法流程如图 2 所示。

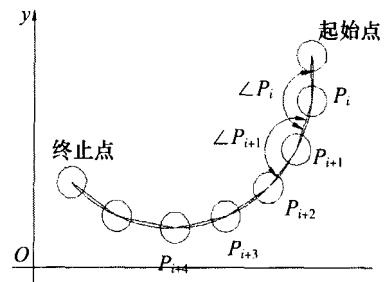


图 3 圆弧段拟合原理示意图

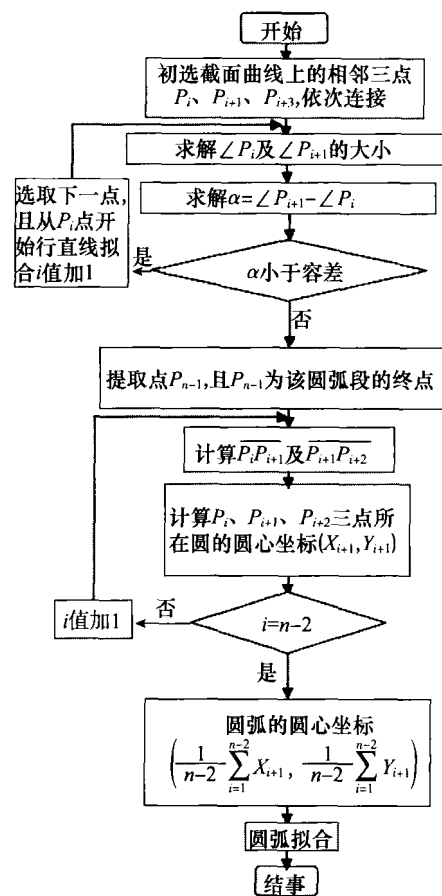


图 4 圆弧段拟合及圆弧段边界点提取算法流程图

### 1.2 圆弧识别

对于截面轮廓为圆弧的部分, 算法如图 3 所示。首先任取圆弧点云上的一点标记为  $P_i(x_i, y_i)$ , 沿顺时针方向选取三点  $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ 、 $P_{i+2}(x_{i+2}, y_{i+2})$  和  $P_{i+3}(x_{i+3}, y_{i+3})$ 。记  $\angle P_{i+1} = \angle P_i P_{i+1} P_{i+2}$ ,  $\angle P_{i+2} = \angle P_{i+1} P_{i+2} P_{i+3}$ 。判断相邻两点角度差值

是否在容差范围内。如果小于给定容差,则继续在同方向选取下一点,直到把全部圆弧上的点选取完毕。再利用相邻点直线段及夹角大小确定圆弧半径及圆心坐标,结合已经确定出的圆弧起止点绘制出拟合后的圆弧。圆弧段拟合算法如图 4 所示。

### 1.3 自由曲线段的识别

通过直线及圆弧段的识别后,任何两个边界点之间剩余的特征点就组成了自由曲线。

## 2 扫描轨迹线的拟合

利用上述方法依次提取出每一层数据的边界点,将每一层相对应的数据点进行曲线拟合,即为边界线。

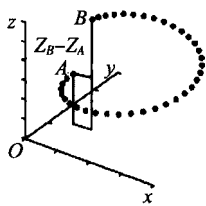


图 5 轨迹线上升高度  $Z_B - Z_A$  计算原理示意图

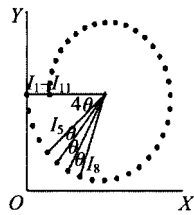


图 6 轨迹线单圈点云在  $XY$  平面投影示意图

首先将一条螺旋线上的点云提取出来,建立坐标系,使得  $XY$  平面垂直于螺旋线的中心轴线,任取两点比较其  $X$  坐标的大小,如果某点  $A$  的  $X$  坐标小于周围的其余一点,则保留点  $A$  (为了显示方便,擦除掉了点  $A$  右侧的点)。继续进行  $X$  坐标比较,直到下一点  $B$  (为了显示清楚,擦除掉了点  $B$  左侧的点) 的出现。做差  $Z_B - Z_A$  (图 5),得出的值即为螺旋线在一周之内点云上升的高度。然后将点  $A$  和点  $B$  之间的点云像  $XY$  平面投影(图 6),计算  $r$  大小  $\theta$  变化之间的关系。最终推导出螺旋线的参数方程,并根据螺旋点云的起止点以及螺旋曲线的参数方程,在误差满足要求的情况下,拟合成空间螺旋曲线。算法流程如图 7 所示。

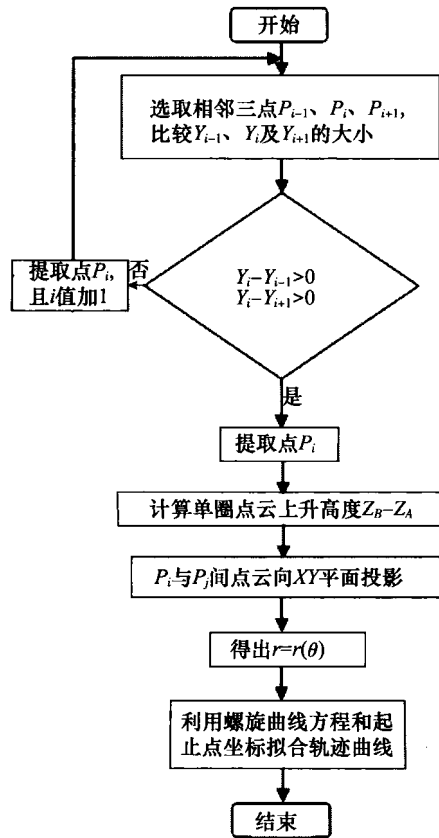


图 7 螺旋扫描轨迹线拟合算法流程图

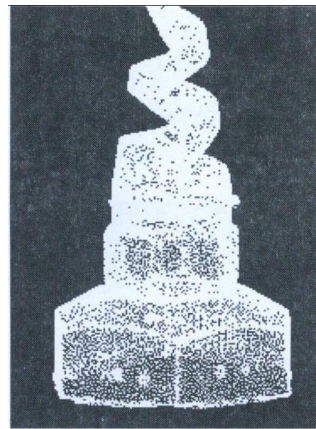


图 8 螺旋喷头点云图

## 3 实例验证

图 8 为螺旋喷头的实测数据,本文只重点研究了喷头的螺旋部分。螺旋喷头切片后单层点云如图 9 所示。通过最小二乘法准确地提取出了各个层切片点云的边界点。提取出的每层切片轮廓线的

边界点如图 10 所示。

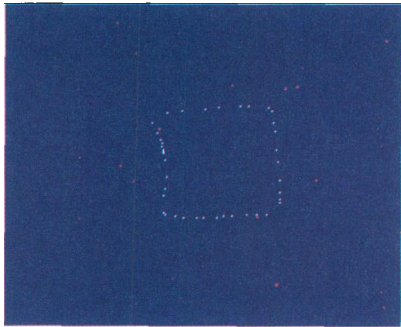


图 9 切片后单层点云

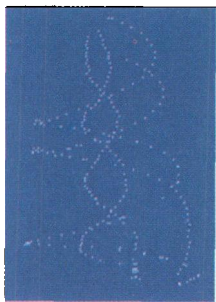


图 10 提取出来的每层  
截面线的边界点

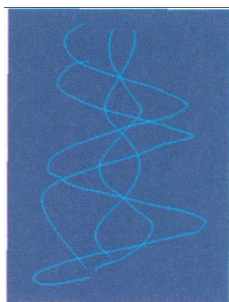


图 11 拟合后的四条  
螺旋轨迹线

将每层之中相对应的边界点进行自由曲线拟合,螺旋边界线拟合之后的效果如图 11 所示。

截面线沿着轨迹线扫略即可得到螺旋喷头的 CAD 模型,最终得到的螺旋喷头的 CAD 模型如图 12 所示。

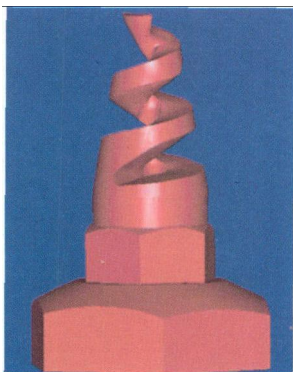


图 12 拟合后的螺旋喷头 CAD 模型

由于喷头的顶部并不是严格扫掠得出的,因而通过点云直接对喷头的顶部进行了曲面的拟合,并

与下面的螺旋部分进行布尔运算,最终得到了螺旋喷头的 CAD 模型。

## 4 结论

本文提出基于层析的螺旋扫描件边界特征提取方法,在对点云数据切片的基础上拟合截面轮廓线并提取边界特征点,并依据相邻层边界特征点分布规律,提取参数,拟合边界特征线。实例证明,该方法可以方便、快捷地进行螺旋扫描件的边界特征提取和模型重构。

## 参 考 文 献

- 1 Varady T, Martin R R, Cox J. Reverse engineering of geometric model-  
san introduction. *Computer Aided Design*, 1997; 29 (4): 255—268
- 2 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—380
- 3 Woo H, Kang E, Wang S, *et al.* A new segmentation method for point  
cloud data. *International Journal of Machine Tool&Manufacture*, 2002;  
42(2): 167—178
- 4 Vieira M, Shimada K. Surface mesh segmentation and smooth surface  
extraction through region. *Computer aided Geometric Design*, 2005;  
22: 771—792
- 5 张献颖. 空间三角网格曲面的边界提取方法. *中国图像图形学学  
报*, 2003; 8(10): 1223—1226
- 6 刘胜兰. 三角网格模型的特征线提取. *计算机辅助设计与图形学学  
报*, 2003; 15(4): 444—453
- 7 Daniels J, Linh K H, Tilo O, *et al.* Robust smooth feature extraction  
from point clouds. *IEEE International Conference on Shape Modeling  
and Applications (SMI'07)*. Washington, DC: IEEE Computer Soci-  
ety Press, 2007: 123—136
- 8 柯映林, 范树迁. 基于点云的边界特征直接提取技术. *机械工程  
学报*, 2004; 40(9): 116—120
- 9 孙殿柱. 散乱数据点云边界特征自动提取算法. *华中科技大学学  
报(自然科学版)*, 2008; 36(8): 82—84
- 10 刘云峰, 柯映林. 反求工程中的混合切片技术. *计算机辅助设计  
及图形学学报*, 2003; 15(6): 741—745

(下转第 3954 页)

## The Stability Investigation of Lithium Ion Conductor $\text{Li}_6\text{La}_2\text{BaTa}_2\text{O}_{12}$ in Humid Air

JING Xiang-wei

(Petroleum Engineering Department, Yanan Vocational & Technical College, Yan'an 716000, P. R. China)

[ **Abstract** ] The stability of lithium ion conductor  $\text{Li}_6\text{La}_2\text{BaTa}_2\text{O}_{12}$  in air was investigated by AC impedance spectroscopy. Firstly, the water gas in humid air was absorbed on the grain boundary of  $\text{Li}_6\text{La}_2\text{BaTa}_2\text{O}_{12}$ , leading to the rise of the grain boundary resistance. And then the ion exchanging reaction happened between the proton from water gas on the grain boundary and the lithium ion in  $\text{Li}_6\text{La}_2\text{BaTa}_2\text{O}_{12}$ , resulting from the crystal lattice aberrance further and the rise of the grain resistance. It can be improved the  $\text{Li}_6\text{La}_2\text{BaTa}_2\text{O}_{12}$  stability to water gas by increasing the ceramic tightness to suppressing the water gas into the grain boundary, which is important for the lithium ion conductor  $\text{Li}_6\text{La}_2\text{BaTa}_2\text{O}_{12}$  application in all-solid-state lithium ion battery.

[ **Key words** ] lithium ion conductor stability  $\text{Li}_6\text{La}_2\text{BaTa}_2\text{O}_{12}$

(上接第 3940 页)

## Research on Boundary Extraction of Spiral Scanning Parts Based on Reverse Engineering

RUI Zhi-yuan, QIAO Deng-yu, GUO Jun-feng

(College of Mechano-Electronic Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, P. R. China)

[ **Abstract** ] One of the key research issues in reverse engineering is about the geometric modeling reconstruction of parts with complex surfaces. In order to solve the problem that how to extract the boundary from point clouds, the boundary extraction method in reverse engineering based on slicing data of spiral scanning parts is investigated. The boundary extraction process consists of two major steps: at first, doing layer contour feature point extraction and fitting cross section outlines using adjacent layer feature points after slicing the point clouds. Then, the trajectory can be fitted through the adjacent layer boundary points. This method is proven to be operability and practicability through one typical spiral scanning part.

[ **Key words** ] reverse engineering slicing data boundary extraction feature point