

doi 10.3969/j.issn.1007-855x.2009.04.005

汽车车模覆盖件逆向工程中数据重构和优化

赵中华, 杨肄明, 张 猛

(上海工程技术大学 材料工程学院, 上海 201620)

摘要: 通过汽车车模覆盖件点云数据测量, 点云数据的对齐和曲面模型重构这一实例, 介绍了逆向工程技术在自由曲面零件构建中的应用. 重点介绍了点云数据处理的原理和方法, 论述了曲线曲面的数学模型和对齐原理, 分析了误差产生的原因, 同时对结果进行了优化.

关键词: 逆向工程; 覆盖件; 数据重构; 点云数据; 曲面模型

中图分类号: TP 39117 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2009)04-0019-03

Data Reconstruction and Optimization in Reverse Engineering of a Car Model

ZHAO Zhong-hua, YANG Yi-ming, ZHANG Meng

(School of Material Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract The application of reverse engineering to constructing freedom surface is introduced in this paper through scanning a car model's outer covering parts point data, aligning point-cloud data and reconstructing a surface model with an emphasis on the methods and principles of treating clouds data. The mathematic surface model and the principle of registration are also discussed to analyze the reasons for the errors and to optimize the results.

Key words reverse engineering; covering parts; data reconstruction; point cloud; surface model

0 引言

2007 年全国汽车产量达到 888 万辆, 汽车整车产品中, 覆盖件特别是构成车身的外覆盖件生命周期短, 变化频繁. 文中利用标准的汽车车模对汽车覆盖件进行逆向建模, 可以对整车外形进行全面观察和修改. 数据的对齐重构和优化是逆向工程的难点, 是保证覆盖件的光顺性的关键, 也是需要讨论的重点.

1 车模外覆盖件的测量的方法

对车模外壳表面的数据采集采用的是 PIX-30 接触式扫描仪, 如图 1. PIX-30 扫描仪自带的软件 Dr Picza 可实现对点云数据密度、测量区域和测量轨迹的控制. 在此横向步距和纵向步距均设置为 0.8 mm (即每 0.8 mm 测量一个点数据), 同时把测量区域设置在车模的最大长和宽区域内, 以缩短测量时间. 为保证数据的准确性在测量前要对扫描仪重新进行标定, 同时测量路径需进行规划, 而避免测头与被测件发生碰撞. 对于后期的数据重构点云数据并非越多越好, 冗余的点云数据可使构造计算效率下降. 通过 Dr Picza 软件可以实现精细扫描和草图扫描, 根据后面处理点云数据需求车模点云测量选择草图扫描. 由于 1 次无法完成车模的所有点云测量, 在此车模主体和侧面分别进行了扫描, 图 2 为 2 次采集到的数据显

收稿日期: 2008-12-15 基金项目: 上海市大学生创新项目 (项目编号: cs0805002); 上海市教育委员会科研创新一般项目 (项目编号: 09Y Z368).

第一作者简介: 赵中华 (1970-), 男, 硕士, 副教授. 主要研究方向: 模具先进制造技术, 模具 CAD/CAM/CAE, 材料成型设备. E-mail: mhzq@126.com

示结果.

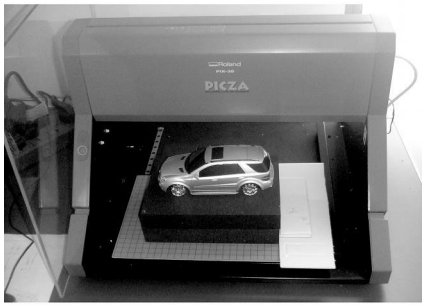


图 1 PIX-30 扫描仪
Fig 1 PIX-30 scanner

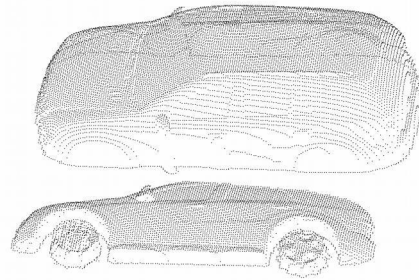


图 2 数据采集的结果
Fig 2 The results of data

2 点云数据的对齐

2.1 对齐原理

对齐是把各次测量的局部坐标系统一到同一坐标系下,在数学模型上可以看作是在 6 自由度的无限连续参数空间内的点的整体搜索问题,求解过程转化为求解转换矩阵 T 的问题.如图 3 所示,同一点在坐标系 $o-x-y-z$ 和坐标系 $O-X-Y-Z$ 中分别定义为 $p(x, y, z)$ 和 $p(x', y', z')$, 该点如果从坐标系 $o-x-y-z$ 转换到坐标系 $O-X-Y-Z$, 需要旋转 3 个欧拉转角 $\alpha, \beta, \gamma (0 \leq \alpha \leq \pi, 0 \leq \beta \leq \pi, 0 \leq \gamma \leq \pi)$ 和平移 3 个坐标轴上的分量 $X_t = x' - x, Y_t = y' - y, Z_t = z' - z$

转换运算过程如下:

$$p \equiv \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = T(\alpha, \beta, \gamma, X_t, Y_t, Z_t)p$$

其中

$$T(\alpha, \beta, \gamma, X_t, Y_t, Z_t)p = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} p$$

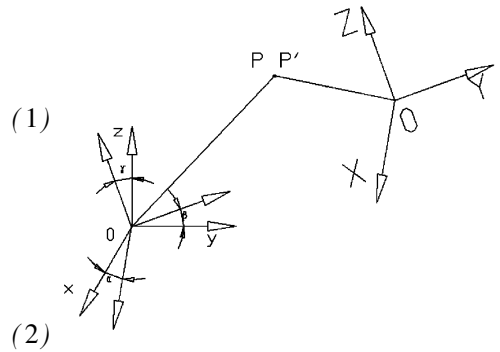


图 3 坐标转换
Fig 3 Coordinate transnition

$T(\Delta, E, \vartheta, X_t, Y_t, Z_t)$ 为齐次转换矩阵 $r_{11}, r_{12}, \dots, r_{33}$ 矩阵中分别为欧拉旋转角 Δ, E, ϑ 的函数.

2.2 点云的对齐

依据对齐原理,点云对齐的方式有点对点式对齐、最佳拟合方式对齐、逐步模式对齐、混合式对齐等多种方式.由于车模测量点云无明显的点或者特殊点云作为对齐的基准,最佳拟合方式对齐不用假设任何点的对应关系,故选择最佳拟合方式对齐.在此以车模侧板点云作为移动目标,其中点云来源选择车模的侧门板点云,选择第 1 次测量的所有点云(图 2 中的上半部分)作为定位目标.最后经过 2 次对齐得到的整车点云拼合效果,如图 4

3 数据重构和优化

3.1 曲线曲面的模型

根据曲面拓扑关系形式的不同,在逆向工程的研究中自由曲面建模的手段有两大类:一是以三角 Bezier 曲面为基础的曲面构造方法;一是以 NURBS(非均匀有理 B 样条)曲线曲面为基础的矩形参数曲面拟合.三角 Bezier 曲面具有构造灵活、整体逼近、具有对称性网格等优点,所以在散乱数据点的曲面拟合中广

泛应用. 但是面片间连续只能达到 G0 连续, 无法满足实际产品设计的需要. NURBS 曲面提供了标准的解析曲线和自由曲线的统一数学描述, 保留了 B-spline 曲线的节点插入、修改、分割以及调节控制点等强有力的技术, 具有通过修改权因子实现修改曲面形状的能力.

3.2 点云数据处理原则

车模导入的点云中许多噪音点见图 2 这些点将影响重构模型的光顺性, 应将其剔除. 噪声点数据的删除有以下原则和方法:

1) 直接识别一些明显的异常点和散乱点, 可通过肉眼判别, 直接删除. 车模中车轮部分点云是不需要重构的, 所以可以直接进行删除.

2) 利用最小二乘法通过截面数据的首末点拟合曲线, 检查中间各数据点到曲线的欧氏距离 e , 如果 $\|e\| \geq [\varepsilon]$, e 超过允许值 ε 则判定其为为噪声点. 在逆向软件中设置车模数据点到曲线的距离最大为 0.3 mm, 实现噪音点云的进一步删除.

3) 角度判断法检查点沿扫描线方向与前后两点形成的夹角若小于允许值, 则该点可视为噪点.

3.3 数据重构优化方法

逆向工程中处理数据的流程遵循: 点—曲线—曲面的原则. 根据车模各个部分的特点对车模进行点云数据的重构, 由于汽车发动机覆盖件的对称性, 选择覆盖件的一半为例, 发动机覆盖件部分的曲面重构主要有以下几个步骤:

- 1) 截取关键骨架点云用来构造关键线;
- 2) 对这一系列骨架点云进行平顺性和方向调整后构造关键线;
- 3) 通过点云和关键线一起拟和出发动机覆盖件, 并且依据边界对其进行剪切;
- 4) 由于发动机覆盖件的对称性, 删除一半, 选择另一半进行镜像, 在此注意保持镜像的连续性.

通过误差统计彩色云图能直观地反映出覆盖件原始点云和构建曲面之间的误差. 第 1 次结果显示最大误差正法向为 0.8 mm 和负法向为 -1.2 mm, 为了得到更加小的误差结果, 通过调节曲面的控制点, 根据 NURBS 曲面原理, 在图 5 中每 4 个控制点控制 1 个小的面区域, 对 4 个控制点三维方向的坐标进行调节, 就可以达到对误差相对较大的区域进行微调的目的. 多次微调后的数据结果和彩色云图如图 5 所示. 结果显示最大误差正法向为 0.49 mm 和负法向为 -0.8 mm, 达到了得到更加优化曲面的目的.

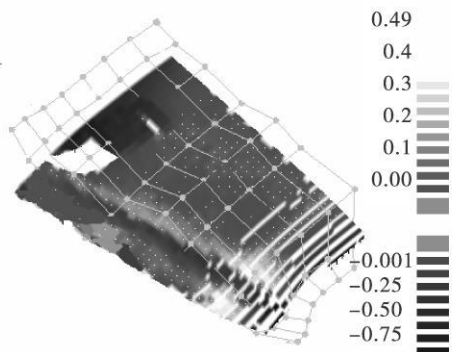


图 5 调控制点后得到的误差彩云图

Fig 5 Tolerant colorful map after modifying control points

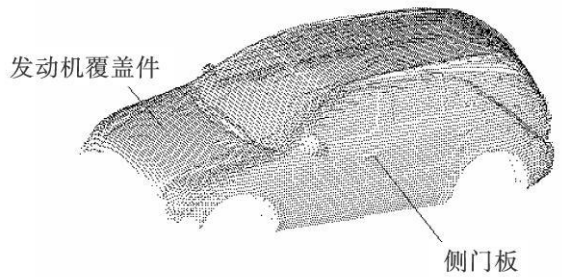


图 4 拟合后的点云

Fig 4 The clouds after registration



图 6 重构后的车模

Fig 6 The reconstructed car model

(下转第 41 页)

3 结束语

把随机环境对系统的扰动考虑到模型中的研究很少, 利用随机极大值原理, 对带跳的随机种群系统的最优控制问题进行了讨论, 并给出种群控制为最优的充分必要条件. 得到的结论是确定性种群系统的扩展. 这一研究符合实际意义, 可应用于股票, 证券, 以及在价格体系中带有跳跃的消费投资问题, 具有广阔的发展前景.

参考文献:

- [1] SEBASTIAN ANITA. Analysis and Control of Age-Dependent Population Dynamics[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000
- [2] 赵春, 王绵森, 赵平. 一类种群系统的适定性及最优收获问题[J]. 系统科学与数学, 2005, 25(1): 1-12
- [3] 陈任昭, 张丹松, 李健全. 具有空间扩散的种群系统解的存在唯一性与边界控制[J]. 系统科学与数学, 2002, 22(1): 1-13
- [4] ZHANG Q M, LIU W A, NIE Z K. Existence, Uniqueness and Exponential Stability for Stochastic Age-Dependent Population[J]. Applied Mathematics and Computation, 2004, 154: 183-201
- [5] ZHANG Q M, ZHAO H C. Numerical Analysis for Stochastic Age-Dependent Population Equations[J]. Applied Mathematics and Computation, 2005, 176: 210-223
- [6] 丁灯. 关于带跳的反射扩散过程的随机最优控制问题[J]. 应用数学和力学, 2000, 21(9): 973-983
- [7] 叶锦春. 带跳的耦合正倒向随机微分方程[J]. 数学年刊, 2002, 6A(1): 39-52
- [8] 付军, 李健全, 陈任昭. 年龄相关的种群空间扩散系统的广义解与收获控制[J]. 控制理论与应用, 2005, 22(4): 587-596
- [9] ABEL CADENILLAS. A stochastic Maximum Principle for Systems with Jumps with Applications to Finance[M]. Systems & Control Letters, 2002, 47: 433-444

(上接第 21 页)

在测量时, PIX-30 扫描仪机给出的是测头球心轨迹, 测球总是有一定的半径 r , 由测得的球心沿着曲面的法线方向把曲面偏移半径 r , 才可以得到实际的曲面. PK-300 测量仪的探头半径为 0.3mm, 所以在最后对发动机覆盖件沿法向方向向里平移 0.3mm. 各覆盖件曲面重构优化后得到最后的车模, 如图 6 所示.

4 结 语

通过对汽车外覆盖件利用逆向工程技术进行的三维 CAD 重建, 可以看出逆向工程的难点为曲线的构建、检测、修改和优化. 曲面与点云的吻合精度又主要靠关键特征线的提取和构建的精度来保证. 以逆向软件为工具, 结合曲线和曲面构建原理, 可以实现对数据重构结果误差的有效控制和误差补偿.

参考文献:

- [1] 叶泳东, 叶晓平. 逆向工程集成数据处理系统[J]. 制造技术与机床, 2006, 32(10): 44-47
- [2] 郑亮, 鞠鲁粤. 自由曲面轮廓自适应对齐[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2005, 11(1): 38-41
- [3] 沈维蕾. 基于逆向工程的覆盖件三维建模技术的研究[J]. 机床与液压, 2006(12): 57-62
- [4] 王霄. 逆向工程技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 182-186
- [5] 兰凤崇. 汽车外表面模型测量数据处理及曲面建模[J]. 航空制造技术, 2006(4): 182-186
- [6] 杜静, 何玉林. 基于特征的曲面模型重建方法[J]. 重庆大学学报, 2002(7): 148-157
- [7] 罗大兵, 高明. 逆向工程中数字化测量与点云数据处理[J]. 机械设计与制造, 2005(9): 56-58