

玩具狗头的自由曲面重构

俞芳芳

王志鑫

(福建工程学院机电及自动化系, 福州 350014) (福州市模具创新技术中心, 福州 350014)

摘要 针对复杂曲面数据测量及曲面重构的要求, 以玩具狗头为例, 介绍使用三维激光扫描仪的自由曲面反求过程中产品点数据的处理方法, 以及 CAD 模型的重构技术, 分析了反求建模中存在的问题。实践表明, 该建模方法可以得到满意的产品曲面模型。

关键词 玩具狗头 反求工程 自由曲面 激光扫描仪 几何建模

在某些产品开发和制造过程中, 为了使产品美观或满足某些特殊需要, 要求产品外表面光滑而富于变化。此类产品的表面往往由复杂的自由曲面拼合而成。由于在概念设计阶段很难用严密统一的数字语言来描述, 许多产品的初始模型必须通过对事先制造出的泥制或木制模型进行测量, 再以此为依据, 反求出实物模型, 这种以实物模型为依据通过重构来创建几何模型的设计方法即为反求工程。在反求过程中, 产品设计是从实现模型数字化开始的^[1]。根据产品反求的应用目的不同, 其技术内容也不相同。对于表面以不规则自由曲面为主的产品, 目前一般是利用三维激光扫描仪或三坐标测量机采集数据, 然后借助 Surfer、Geomagic 反求软件对采集的点云数据进行处理, 最终利用计算机辅助设计/计算机辅助制造 (CAD/CAM) 系统软件重构出满足一定几何精度的产品几何模型。

笔者采用三维激光扫描仪对玩具狗头进行扫描, 获取一定的点云数据, 在此基础上对点云数据进行处理及 CAD 模型重构, 并分析了反求建模中存在的问题。实践表明, 该建模方法可以得到满意的产品曲面模型。

1 数据采集

采用 LSH400 型三维激光扫描仪采集数据。该三维激光扫描仪以三角测量原理为基础, 通过光切断面的方法确定对象表面三维数据的坐标值, 从而获取数据。它具有多面扫描和坐标自动拼接功能, 可快速获得产品表面的数据, 非常有利于曲面重建。它的工作台具有线性位移和旋转的功能, 可带动光敏位置探测器 (CCD) 探头作逐线扫描, 并可配合工件的旋转完成多角度扫描。它采用雷射光带扫描, 一秒钟可扫描 500 个点, 具有独特的旋转轴, 可一次量取全部的点数据, 扫描测量精度为 0.05 mm, 可高速取得高精度的点数据。

对玩具狗头的数据采集步骤是: 把玩具狗头样品置于适当姿态, 在其表面均匀地涂上一层色料以便于光线反射, 使三维激光扫描仪以每秒 40 线的速度扫描, 扫得的结果用文本或 iges、step 格式存储。

2 点数据的处理和分割

为了使重构获得的几何模型与产品的真实模型相一致, 需要对测量获得的点数据进行处理。点数据的处理大致可分为: 坐标定位、杂点删除、缺损点添加、噪音滤除、排序、筛选和切割等。这里以缺损点添加为例进行详述。

在采集数据过程中, 由于漏测形成的缺损点一般发生在曲率变化较大处。笔者采用一种基于曲率分布的弧长对分数据加密算法添加数据点。该算法可以根据给定的测量误差加密初始点列, 从而提高曲线、曲面拟合的精度。

图 1 为弧长对分法数据点加密示意图。设曲面在扫描方向上的曲率半径为 R 、测量误差为 Δ 要求通过插值由初始点列 $Q_0, Q_1, \dots, Q_n$ 获得误差不超过 Δ 的新点列 $P_0, P_1, \dots, P_n (n \geq m)$, 其步骤如下:

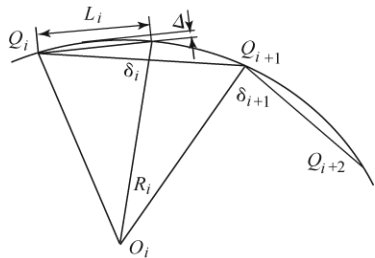


图 1 弧长对分法数据点加密示意图

(1) 过 $Q_i, Q_{i+1}, Q_{i+2} (i = 0, 1, \dots, m-2)$ 3 点作圆, 设圆心为 O_i , 半径为 R_i ;

(2) 根据半径 R_i 和预先指定的测量误差 Δ 估计步长 $L_i = 2 \sqrt{2(R_i - \Delta)}$;

(3) 设 Q_i 和 Q_{i+1} 两点间的距离为 δ , 将圆弧 $Q_i Q_{i+1}$ 反复作 2^K (K 为自然数) 次对分, 直到 $\delta \leq L_i$ 为止。将各次等分点存入点列 $P_0, P_1, \dots, P_n$ 中。

图2是玩具狗头的原始点云数据。如果点云以点的形式显示时, 不容易判断对象的外观特征。因此, 首先将点云数据计算成三角网格, 再对点云着色, 以便较清楚地判断重构对象的外观形状, 并且, 测量时产生的多余点数据及一些坏点就能很清楚地找出来^[2]。笔者主要采用基于边界的环绕区域选择方法将不需要的点数据圈选出来并删除。



图2 玩具狗头的原始点云

因产品通常由多个曲面构成, 必须将点云数据进行分割, 再分别进行曲面拟合, 形成多个曲面模型并保证曲面片之间光滑过渡, 才能较好地进行产品模型重构, 减少计算量, 便于修改, 同时可保证精度。分割原则为^[3]: 数据块的凸凹性要保持一致, 曲面重构时态性较好。分割方法有^[4]: ①基于曲率法(规则数据); ②基于边界特征(散乱数据); ③基于面特征(散乱数据)等。笔者采用基于边界特征和基于面特征相结合的方法进行数据分割。由于玩具狗头整体上是对称的, 所以在反求建模时可以只建一半模, 因此可以取点云的一半进行处理即可(见图3)。

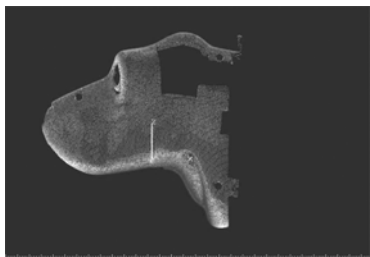


图3 玩具狗头数据处理及分割后的点云

3 复杂曲面的三维重构

目前, 在反求工程中主要有3种曲面重构方法^[5]: ①以Nurbs曲线为基础的曲面重构方法; ②以三角Bezier曲面为基础的曲面重构方法; ③以多面体方式描述曲面产品。三维重构时必须考虑以下2个关键问题: 一是怎样用比较简单的几何元素对模

型进行表达。例如, 为了减小图档的容量及方便后续处理, 用尽量少的几何元素, 即点、线、面来完成几何构造。这需靠一定的经验。二是怎样找到原始设计者的造型思路或痕迹, 并以类似(最好是相同)的几何元素来构建CAD模型, 这就需要对模型进行仔细观察, 例如要构造一个圆角, 可以用倒圆角得到, 也可以用面网格得到。

Surfacer 软件是 EDS 公司开发的 Imageware 系列软件的主要产品, 主要用来做反求工程, 它处理数据的流程遵循点→曲线→曲面原则, 流程简单清晰, 可以接收几乎所有的三坐标测量数据。Cimatron 软件具有良好的智能化数控(NC)和方便的CAD建模能力。将 Surfacer 和 Cimatron 软件结合使用可以方便地获得玩具狗头的自由曲面模型。该方法属于以Nurbs曲线为基础的曲面重构方法。笔者采用这种方法对玩具狗头进行曲面重构, 其步骤为:

(1) 首先在 Surfacer 软件中用 Parallel 将玩具狗头的点数据截成间隔为 2 mm 的点截面, 再用 Interpolate Curve 把点截面连成线条, 这样就将玩具狗头的外形特征网格曲线基本提取出来了, 如图4所示。再把所有曲线转换成 iges 格式, 输出 Dog. igs。

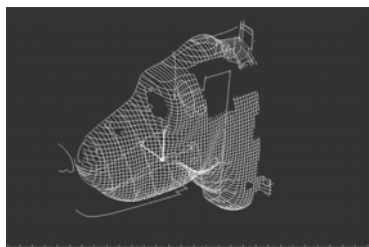


图4 玩具狗头外形特征线截面

(2) 将提取出的外形特征曲线以 iges 格式导入 Cimatron 软件中。图5是将 Dog. igs 转换成 Dog. pfm 后的图形。

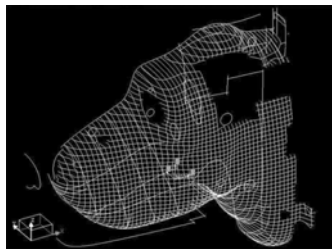


图5 iges 格式转换成 pfm 格式后的玩具狗头图形

(3) 使用导动面(Drive)、网格面(Mesh)、混成面(Blend)、直纹面(Ruled)等命令把玩具狗头的曲面重构出来。图6、图7是曲面重构后玩具狗头的线框模型和渲染图。



图 6 曲面重构后玩具狗头的线框模型



图 7 曲面重构后玩具狗头的渲染图

(4) 把玩具狗头的产品图另存为一个新的图档 Dog-Part. pfm, 再把它转换成 Dog-Part. igs。

4 重构结果检测与评估

在设计曲面时应随时检查曲面的准确性、光顺性及连续性。检测和评估曲面重构质量和精度的方法有平行光线法、反射沟线法、图形扫描法、高亮度线法、光谱图法、曲率图法和色级度法等。

笔者采用色级度法进行检测。这种方法可以直观、明了地检测出所构造的模型与数据的贴合差异, 且软件系统能自动检测。

将在 Cimatron 软件中构成的曲面重新以 iges 格式导入 Surfacar 软件中。在 Surfacar 中打开 Dog. imw、Dog-Part. igs 两个图档, 隐藏所有曲线, 用 Surfacar-Cloud Difference 命令来检测曲面与点数据之间的误差, 调整不光顺和精度不够的面, 最后检查误差。图 8 为曲面与点数据的误差图, 模型上有黄、蓝、绿等几种颜色, 而图右边也有相应的这几种颜色, 且每种颜色的边上相对应的数据即为误差的数值, 据此进行检测和评估, 使误差控制在 1 mm 内。

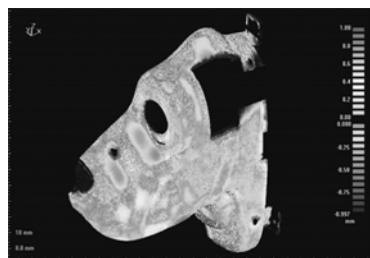


图 8 曲面与点数据的误差图

5 结语

反求工程作为产品设计和开发的一种新方法已经得到越来越广泛的应用。这种将 Surfacar 和 Cimatron 软件相结合的 CAD 建模方法, 可对反求过程中的点数据进行自由曲面重构, 使误差控制在 1 mm 以内。在产品自由曲面的反求中一般还应注意以下几个问题:

(1) 用三维激光扫描仪对产品进行测量时, 有些内部不感光的表面可以喷漆处理或将内表面翻制成外表面, 这样取得的点数据完整、清晰, 有利于后续点数据的处理。

(2) 用大量的点云数据进行曲面重构时, 应将整个产品划分成数个简单的曲面, 再拼接、缝合成完整的曲面。

(3) 由于点云数据量非常大, 最好首先提取出产品或曲面的特征点和特征线, 再结合一定的精度进行曲面构造, 以保证精度。

参考文献

- 1 邓劲莲, 杨家强, 何国金. 基于 Cimatron 的复杂曲面“点云”数据重构技术. 广西大学学报(自然科学版), 2003, 28(1): 53
- 2 王宵, 刘会霞, 梁佳洪. 逆向工程技术及其应用. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- 3 蔡清华, 刘伟军, 郑鹏, 等. 基于 Surfacar 的点云数据的预处理研究. 机械设计与制造, 2003, 31(4): 65
- 4 李强, 王红梅. 实物反求工程中的模型重建技术. 机械制造与研究, 2003, 17(4): 17
- 5 张玲玉. 基于 B 样条的自由曲面几何模型的重构. 现代制造工程, 2002(10): 43

FREE-FORM SURFACE RECONSTRUCTION FOR TOY OF DOG HEAD BY REVERSE ENGINEERING

Yu Fufang

(Electromechanical and Automatic Engineering Department, Fujian University of Technology, Fuzhou 350014, China)

Wang Zhixin

(Technical Innovation Center of Die Profession, Fuzhou 350014, China)

ABSTRACT The processing method of data tested by laser scanner and reconstruction technology of CAD model in the reverse process of free-form surface were presented with toy of dog head as example. The problems appearing in reverse modeling were analyzed. The practice proved that satisfied surface model could be obtained by using this modeling method.

KEYWORDS toy of dog head, reverse engineering, free-form surface, laser scanner, geometrical modeling