

基于三坐标测量的产品自由曲面反求

俞芙芳

王志鑫

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

摘要 通过分析产品自由曲面反求的技术, 介绍了自由曲面数据的获取方法、CAD 模型的重构技术, 分析了自由曲面重构中存在的问题。以工艺品塑料树叶为例, 详细介绍了基于三坐标测量的产品自由曲面反求技术, 实践表明该建模方法可以得到实际生产中满意的曲面模型。

关键词 反求工程 自由曲面 三坐标测量 重构技术

反求工程是由实物模型(或产品样件等)经过一定的手段转化为概念模型和工程设计模型后, 对已有产品进行再设计、再创造的过程。在此过程中, 产品设计是从模型数字化的实现过程开始的。根据产品反求应用目的不同, 其技术内容也不相同。对于以不规则自由曲面为主的产品, 目前一般的做法是利用三维激光扫描仪对产品进行扫描, 然后借助 Surfacar、Geomagic 等反求软件对扫描的点云数据进行处理, 最终利用 CAD/CAM 系统软件重构出满足一定几何精度的产品数学几何模型^[1,2]。

1 三维激光扫描仪

三维激光扫描仪是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信息, 从而获取数据。它具有多面扫描和坐标自动拼接功能, 可快速获得物体表面的数据, 非常有利于曲面重建。它的工作台具有线性位移和旋转功能, 可带动 CCD(光敏位置探测器)探头做逐线扫描, 并配合工件的旋转完成多角度扫描。使用三维激光扫描仪基本上只要设定点的密度和扫描的范围即可, 在使用和操作上都非常简单。若遇到不感光或全反射的表面, 则必须喷漆或另外处理。由于测量过程无接触压力, 并且是非接触式扫描, 故不存在探头半径补偿的问题, 同时电子信号处理的速度也很快。

2 点数据的处理

2.1 处理步骤

无论是接触式或非接触式的扫描测量设备, 当测量设备获取点群后, 首先面临的就是点数据的处理。点数据的处理大致可分为: 点数据的坐标定位、数据杂点的删除、数据的噪音滤除、排序和筛减、切割出需要的点群或剖面点数据等。

为了使重构获得的几何模型与物体的真实模型相一致, 需要对所测量获得的点数据进行处理, 经过处理后才能建立具有一定技术要求的数据文件。但

是, Surfacar 给出的“点云”数据的剖分是矩形拓扑的, 没有三角形灵活, 因此首先要对散乱测量点进行三角划分, 再生成三角曲面^[3]。大致步骤如下:

(1) 对空间离散数据分块

将分块数据投影到投影平面上, 它是一个有向平面。由分块数据边界上不在同一直线上的 3 个顶点 M_1 、 M_2 、 M_3 组成。数据分块边界的划分应使它在投影面上是一个凸三角形。

(2) 离散点的坐标变换

$$T_c = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_c & -y_c & -z_c & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

表示将坐标原点平移到投影面上任意一点 (X_c, Y_c, Z_c) ;

$$R_x = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

表示将坐标系统 X 轴旋转 α 角;

$$R_y = \begin{vmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

表示将坐标系统 Y 轴旋转 β 角。

通过总的变换矩阵, 就可以对离散点逐点进行坐标变换,

$$[x'_i, y'_i, z'_i, 1]^T = T_{jw} [x_i, y_i, z_i, 1]^T \quad (4)$$

式中: $T_{jw} = T_c \cdot R_x \cdot R_y$

经上式求出的 $[(x'_i, y'_i, z'_i), i = 1, 2, 3, \dots, N_j]$ 就是第 j 块离散数据点在投影面 M_j 上的投影。

空间离散点数据经过以上变换并投影到相应平面之后就可以直接通过二维三角剖分程序来处理。

2.2 数据处理实例

下面以工艺品塑料树叶为例,说明如何用 Sur-facer 软件对扫描数据进行处理。

(1) 首先打开 Surfacer 反求工程软件,加载 shuye. asc 文件,如图 1。



图 1 加载 shuye. asc 文件

(2) 事实上,无论是以接触式或非接触式测量所获取的点数据都会有不需要的点数据存在,如图 1 所示夹具的点数据,可以用圈选工具将不需要的点数据圈选起来并删除,如图 2。



图 2 杂点数据的删除

(3) 由于树叶底部是一圆柱形,用 Circle-select Points 将底部圆柱形点数据取出,用 Fit Cylinder 做出圆柱面,如图 3。

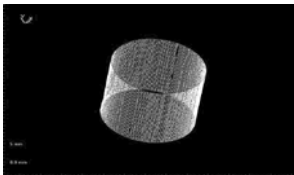


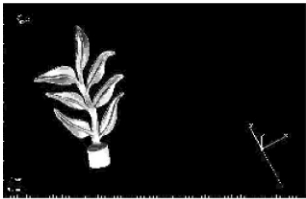
图 3 Fit 圆柱面

(4) 将圆柱面隐藏,用 Create Group 将圆柱面和原始点数据组成一组群,用 Interactive 3D B-Spline 在 Y 轴上作一直线,用 Stepwise Registration 把点数据进行坐标定位,如图 4。

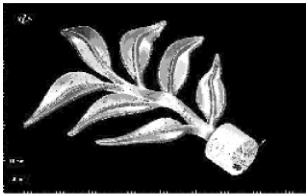
(5) 用 Parallel 将树叶的点数据截成间隔 2 mm 的点截面,再用 Interpolate Curve 把点截面连成线条,如图 5。

(6) 将视图转到 TOP 视图,通过分析结果,用 Interactive 3D B-Spline 把树叶的外形特征曲线抓出来,如图 6。

(7) 将数据存盘 shuye. imw, 并把所有的曲线转存为 IGES 格式输出 shuye. igs。这样就完成了对测



(a)



(b)

a—组群和直线; b—坐标定位后

图 4 坐标定位

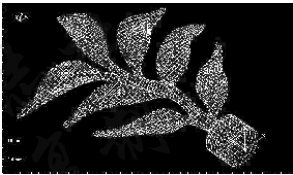


图 5 外形特征线截面



图 6 外形特征曲线

量数据的处理。

3 三维重构

3.1 重构步骤

三维重构,即 CAD 模型构建,是反求工程中最重要、最繁杂的环节。因为最后要完成模型的加工,需要用的是平滑的曲面模型或由良好的点群所产生的三角网格。三维重构时必须考虑的关键问题有 2 个:一是怎样用比较简单的几何元素对模型进行表达;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)的几何元素构造 CAD 模型。

三维重构过程一般是由数据点拟合出样条曲线,然后利用样条曲线拟合出曲面(loft、sweep、mesh 等),曲面之间还可以进一步缝合以得到实体模型或封闭的曲面模型,这就是利用曲线建构。另外一种是利用点数据重构,它是利用良好的点群直接产生三角网格面,用 RP 快速成型将样品做出来;或者进一步处理成 NURBS 曲面,再转到一般的 CAD/CAM 系统,再把 CAM 所产生刀具的 NC 加工路径送到 CNC 加工机床加工所需的模具。

这里,着重介绍一下曲面转换过程。在由散乱点生成三角 Bezier 插值曲面到 NURBS 曲面模型的过程中,有一个构造 Coons 曲面的中间转换环节^[4,5]。转换过程如下:

(1) 首先构造 U 方向的蒙皮曲面 $S_1(u, v)$, 插值 U 向边界。

$$S_1(u, v) = \sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{m1} N_{i,p1}(u) N_{j,q1}(v) P1_{i,j} \quad (5)$$

式中: $1(u, v)$ 相当于 Coons 曲面中的 $P_1 S$;

$N_{i,p1}(u) N_{j,q1}(v)$ —— B 样条基底函数;

$n1 = p1 = 3, m1, q1$ —— 4 条曲线插入节点升阶后的阶数;

$P1_{i,j}$ —— 三角曲面的顶点坐标。

式(6)、式(7)、式(8)中各符号的意义同(5)。

然后构造 V 方向的蒙皮曲面 $S_2(u, v)$, 插值 V 向边界。

$$S_2(u, v) = \sum_{i=0}^{n2} \sum_{j=0}^{m2} N_{i,p2}(u) N_{j,q2}(v) P2_{i,j} \quad (6)$$

再构造双三次曲面片 $S_3(u, v)$

$$S_3(u, v) = \sum_{i=0}^{n3} \sum_{j=0}^{m3} N_{i,p3}(u) N_{j,q3}(v) P3_{i,j} \quad (7)$$

(2) 对上述三个曲面分别进行升阶,使它们具有相同的阶数和控制网络,并且定义在公共节点向量上。

(3) 将布尔和曲面 $S(u, v)$ 转换成 B 样条曲面。

$$S(u, v) = S_1(u, v) + S_2(u, v) - S_3(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{i,j} \quad (8)$$

式中: $_{i,p}(u), N_{j,q}(v)$ 为 B 样条基;

$P1_{i,j}, P2_{i,j}, P3_{i,j}$ 为三角曲面的顶点坐标;

$P_{i,j} = (P1_{i,j} + P2_{i,j} - P3_{i,j})$ 。

通过以上步骤,实现了三角曲面模型与通用 CAD/CAM 系统之间的数据转换。

3.2 重构步骤实例

下面仍以工艺品塑料树叶为例,说明操作过程。

(1) 把 shuye.igs 格式转成 shuye.pfm 格式,用 Cimatron 软件打开,如图 7。



图 7 shuye.pfm 格式图

(2) 在 Cimatron 软件中,用 Drive、Mesh、Blend、Ruled 等命令把树叶重构出来,如图 8。



(a)



(b)

a—树叶的线框; b—树叶的渲染

图 8 树叶的产品图

(3) 把树叶的产品图萃取成一个新的图档 shuye-Part.pfm,再把它格式转换成 shuye-Part.igs 格式。

(4) 对重构结果检测与评估。

把重构后的曲面与原始数据相比较,以色级度与文本方式显示二者之间的偏差,用来检测和评估曲面重构质量和精度。本例采用色级度的方法来进行检测。在 Surfacer 中打开 shuye.imw、shuye-Part.igs 两个图档,隐藏所有的曲线;用 Surface-Cloud Difference 命令来检测曲面与点数据之间的误差,如图 9。从图 9 看出,重构后的图质量很好。

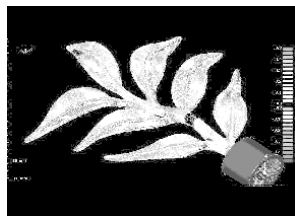


图 9 曲面与点数据的误差

4 结语

介绍了用 Surfacer 软件对三维测量数据进行处理和曲面重构的方法,以工艺品塑料树叶为例,说明了处理的全过程。其中需要指出两点:

(1) 空间离散点需进行三角划分,对数据分块和坐标变换后再生成三角曲面。

(2) 在由散乱点生成三角 Bezier 插值曲面到建立 NURBS 曲面模型中,要通过构造 Coons 曲面的中间环节,才能实现三角曲面与通用 CAD/CAM 系统

之间的数据转换。

参考文献

1 许智钦,孙长库. 3D 逆向工程技术. 北京:中国计量出版社, 2002.
2 金涛,童水光. 反向工程技术. 北京:机械工业出版社,2003.

3 蔡清华,刘伟军,郑鹏,等. 基于 Surfer 的点云数据预处理. 机械设计与制造, 2003(4):65
4 孙家广. 计算机图形学. 北京:清华大学出版社, 2000.
5 陈志杨,李江雄,柯映林. 反求工程中的曲面重构技术. 汽车工程, 2000(6):365

THE REVERSE ENGINEERING OF FREEFORM SURFACE OF THE
PRODUCT BASED ON THE CMM

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 By analysing the reverse engineering technology of freeform surface, the approach by which the data of freeform surface is obtained, and the rebuilding technology of CAD model is introduced. The problem in rebuilding freeform surface is analysed. The reverse engineering of freeform surface based on the CMM is introduced in detail. The practical engineering application of reverse engineering suggests that the interacted molding method can meet the engineering needs.

KEYWORDS reverse engineering, freeform surface, coordinate measuring, rebuilding technology

美国阻燃剂市场快速增长

最近美国弗雷多尼亚公司称,未来几年美国市场对阻燃剂的需求将以年均 6.5% 的速度快速增长,到 2008 年该市场的份额将达到 13 亿美元。

其中含溴阻燃剂的需求增长将达到年均 7%,到 2008 年该市场的份额将达到 6 亿美元;三氧化二锑的需求增长速度将达到年均 6.8%,2008 年时的市场份额将达到 1.1 亿美元;含磷阻燃剂将以年均 6.2% 的速度增长,2008 年时的市场份额为 3.55 亿美元;而氢氧化铝由于受其性能的影响在塑料加工业中的用量受到限制,这导致未来几年其增长速度仅为年均 4%,到 2008 年市场份额为 5 600 万美元。(周淑)

日本开发耐高温环保型塑料

日本大阪燃气公司及其合作研究单位沼津国家技术学院最近用一种可消耗甲烷的技术开发出一种可通过细菌进行循环再生利用的塑料,据报道这种塑料可以耐 150℃ 的高温。目前,他们正在进行应用开发工作,设法在 2~3 年内将该高新技术用于塑料餐具、食物包装材料、垃圾袋及其它物品的生产。这种被称作聚羟基丁酸酯的塑料是在一种吃甲烷的细菌体内产生的。它们一边吃甲烷一边在体内聚集这种塑料。甲烷来源丰富,石油、煤气及沼气中均含有甲烷。据了解,通过这种高新技术制造的塑料生产成本是采用传统技术制造的 1/3。(孙泉)

新型玉米添加剂增强塑料硬度

美国爱德华州玉米促进部(ICPB)与美国能源部太平洋西北部国家实验室 Battelle 研发出玉米为原料的新型塑料添加剂,它可以保证塑料瓶更坚硬、结实,这项研究有助于增强塑料工业同高油价对抗的能力,并开发出更加环保的包装材料。ICPB 指出,这种混合物在增强塑料瓶力学强度方面的功效已经得到证实,而且初步的成本预算表明利用这一技术

生产的塑料比石油基塑料更有竞争力,因此把这种产品商业化能达到消费者和生产者双赢的效果。(刘加强)

英美公司将联合开发可降解塑料

英国石油公司(BP)日前对外宣称,该公司的烯烃及衍生产品部将与美国 Metabolix 公司合作开发可再生和可生物降解的塑料。

两家公司将共同研究和开发以草本植物为原料的聚合物,这些自然界生成的聚合物可用于生产可生物降解塑料的原料,还可生产可转化为能源的优质生物燃料的原料。BP 称,该公司将为该项目提供财政支持和专职人员。两公司还将对他们合作取得的技术进行商业开发。(全生)

东丽公司开发散热性新型塑料

日本东丽公司前不久开发了一种散热性能约为普通塑料 100 倍的新型塑料。这种散热性新型塑料能够将电子设备产生的热量迅速散发到电子设备的外面,可以替代树脂及精密陶瓷作为电子零部件材料广泛使用。采用这种新型塑料生产电子零部件可以不用散热板,有利于降低生产成本,并可进一步实现电子产品的小型化,可用于制造计算机、汽车用电子零部件等。该公司现已采用这种新型塑料生产出散热性能极强的个人电脑中央处理器及读取光盘数据信号发生器等多种电子零部件的外壳及结构材料。(镇平)

改性塑料排水管在武汉投产

改性塑料增强排水管最近在武汉黄陂盘龙城经济开发区正式投入生产。2004 年起,国家建设部大力提倡新型塑料排水管道,并从今年起对部分水泥管实施限用。改性塑料增强排水管比钢筋混凝土管流量增加 40%,具有防渗漏、流体阻力小、弹性变形范围大、可回收、使用寿命长等优点,开发应用前景看好。该产品将用于武汉市市政建设地下排水管网等项目的排水工程。(功华)