

文章编号 1000-5013(2001)04-0376-04

反求工程 CAD 建模技术

陈 勇 刘雄伟

(华侨大学机电工程系, 泉州 362011)

摘要 在综合介绍目前反求工程的 CAD 建模技术的基础上, 提出一种实用的基于实物样件获取产品数学模型的 CAD 建模技术. 结合对实际工业产品的反求过程, 全面介绍了该技术中的表面数字化、散乱数据误差修正、散乱数据规则化、曲面重构、CAD 建模等过程的技术要点. 应用结果表明: 该 CAD 建模技术实用, 有效, 能够有效避免产品反求过程中曲面畸变、干涉等变形的产生, 生成的数学模型光滑、连续、几何信息完整; 在数控加工和反求工程中有着广阔的应用前景, 是推行并行工程的重要基础和支撑技术. 同时, 由于该技术的实施能在很短的时间内复制实物样件, 因此在实际应用中具有广为推广应用的价值.

关键词 反求工程, 并行工程, 测量造型, CAD 建模, 曲面重构
中图分类号 **文献标识码** A

反求工程 CAD 建模技术是当前制造技术中较先进的理论与技术. 在产品的开发及制造过程中, CAD 建模技术已使用得相当广泛. 但是, 为了适应飞机、汽车、模具等行业中的实际需要, 仍有许多产品并非由 CAD 模型描述, 使得设计和制造人员经常面对的是实物样件. 因此, 为了适应先进制造技术的发展, 需要通过反求工程的 CAD 建模技术, 快速、准确地建立实体的数学模型, 使之能利用 CAM, RPM, PDM 及 CIMS 等先进技术对数学模型数据进行处理和管理. 这种从实物样件获取产品数学模型的相关技术就是测量造型技术^[1]. 通过反求工程复现实物的 CAD 模型, 使得那些以实物为制造基础的产品有可能在设计与制造的过程中, 利用先进的数据处理手段, 快速、准确地建立实物数学模型. 从而, 进行工程分析和设计优化, 进而生成数控加工代码, 最后制成产品, 实现从产品-设计-产品过程.

1 反求工程 CAD 建模技术的关键技术

在 CAD/CAM 应用中, 对于具有自由曲面的产品, 难以直接根据产品功能和用途用传统的正向设计方法进行造型. 因此, 反求工程中基于实物样件的 CAD 建模技术, 成为这类产品造型的有力工具. 它根据现有参考零件, 首先用测量设备获取零件表面各点的空间坐标值, 然后由获得的测量数据构造出产品的 CAD 模型. 该过程主要由表面数字化、散乱数据误差修正、散乱数据规则化、曲面重构和 CAD 建模五个部分组成, 其中以曲面重构最为关键.

1.1 产品表面数字化

在反求工程中,产品表面数字化即利用扫描或三维测量设备将实体的表面离散为大规模、散乱的型值点数据.常见的测量方法有接触式机械测量和非接触式光学测量.目前,实现零件表面数字化的硬件技术已基本成熟,通常采用坐标测量机、激光测量机、层摄像术、逐层切削照相等方法来获取零件表面的数字化信息.但由于在实际的产品中,曲面对象边界和形状有时极其复杂,产品型面往往是由多张曲面混合而成(如过渡、相交、裁剪等).因此,需要在充分分析曲面的特征和设计意图的基础上,分离出多个曲面的控制点和角点位置.同时,由于测量设备的限制,若出现多视数据问题(即从不同方向或位置测量的数据块),还必须通过平移、旋转变换矩阵进行坐标系变换,使所有测量数据具有共同的基准和坐标系.

1.2 散乱数据误差修正

要实现实物原型的准确构建,测量数据必须精确.但由于实物样件的表面粗糙度不同,测量中随机误差的存在以及测量设备等因素的存在,使得采集的三维坐标数据存在一定的误差.它直接导致重构模型和参考实物之间存在差距,严重影响了产品的精度和性能要求.测量过程中产生的主要误差来源,如图1所示^[1].

由于上述测量误差的存在,若直接将测量数据用于曲线、曲面造型,势必造成重构模型和原始实物之间存在差距.因此,需要根据产品曲面的几何特性及生成规律,在实施曲面重构之前进行测量数据的误差修正,对数据点的可靠性进行检测.其主要工作,包括测量数据的去噪和均化、冗余数据的压缩和归并、残缺数据的平滑填补等处理.

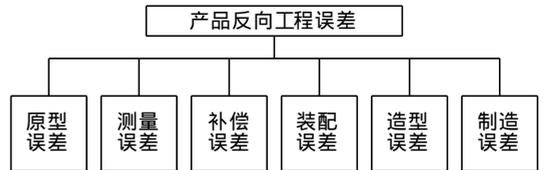


图1 测量造型中的主要误差来源

1.3 散乱数据规则化

对于具有复杂曲面和边界的实物,利用接触式三坐标测量仪获得的三维坐标数据是大量的散乱云状数据.若直接将测量数据经误差修正之后用于曲面重构,不仅会使生成曲面与实际物体表面之间的误差大,精度降低,而且很容易造成曲面上不同特征间的结合处产生畸变等变形,甚至导致拟合曲面无法进行.因此,为了确保测量造型中分块曲面之间的拼接、过渡、缝合等处理能顺利进行,必须对测量获得的散乱云状数据进行规则化处理.即将散乱数据转变为具有规则四边形网格的有序数据组^[2],形成多块易于曲面造型的数据块.

1.4 曲面重构

曲面重构的技术难点主要体现在根据点云数据拟合的算法和曲面重构方法两个方面.在实际的产品中,曲面对象边界和形状有时极其复杂,产品型面往往是由多张曲面混合而成为保证曲面模型的整体性能,必须有合理的曲面重构方法.在实际应用中,如果未采用合理的曲面重构技术,则很难保证曲面模型的整体性能.下述两种^[3]典型情况.(1)为了追求局部性能,仅对点云关键部位拟合曲面,对过渡曲面采用曲面间的合并,使得过渡曲面的精度难以保证,容易出现畸变.(2)拟合曲面时不限定边界,拟合后裁剪曲面实现曲面的边界,容易导致曲面间出现小缝隙,生成的曲面数据不能直接用于后续的加工工序.

从工程角度出发,评价曲面重构的重要指标是模型的精确性、光顺性、几何不变性及对大规模散乱数据的重构能力.目前,在反求工程中,主要有3种曲面重构的方案.其中,一是以B-

spline 曲线或 NURBS(非均匀有理 B 样条)曲线为基础的曲面构造方案;二是以三角 Bezier 曲面为基础的曲面构造方案;三是以多面体方式来描述曲面物体⁶⁾。由于 NURBS 方法可通过控制点和权因子灵活改变形状,具有优良的局部形状控制能力和几何不变性,提高了造型能力。根据本例中产品的曲面构造特点,本文采用以 NURBS 曲线为基础的曲面构造方案。首先,利用造型软件强大的曲线构造功能,生成多条插值于型值点的 NURBS 截面曲线(u 向, v 向截面曲线分别生成)。其次,为保证生成的曲面模型连续、封闭,构造出封闭的 NURBS 边界曲线,该曲线插值于 u 向和 v 向的边界型值点。再次,在已构造完成的 u 向、 v 向 NURBS 截面曲线以及封闭的 NURBS 边界曲线的基础上,利用曲面造型技术分别拟合生成若干个封闭、光滑的 NURBS 曲面。最后,将各分块曲面进行拼接、过渡、延伸、裁剪、光顺等技术处理,最终获得在实体表面形状、尺寸精度范围内的曲面模型。该曲面模型必须同时保证单张曲面的性能和各个连接曲面之间光滑、平顺、封闭和连续,才能保证曲面模型的整体性能。

1.5 CAD 模型的建立

生成的曲面模型若没有出现局部的皱折、翘曲、不正确的曲率特性等缺陷,且保证了曲面间的位置连续性、切线连续性和曲率连续性上的要求。在此基础上,便可进一步分离出产品的特征信息,如几何特征、形状特征、精度特征和性能特征。进而,利用隆起、加厚、特征造型等实体造型技术,构造出封闭、完整的实体模型。该实体模型的形状信息和几何信息,可直接用于模具设计,以及 CAM, RPM, PDM, CIMS 等技术进行管理和处理。

2 应用实例

为了验证该技术的可行性和可靠性,以厦门飞鹏工业有限公司的体育用品(护腿和护膝)为例加以说明。即在充分分析产品的原始设计参数和设计意图的基础上,通过产品表面数字化、散乱数据误差修正、散乱数据规则化、曲面重构和 CAD 建模等技术进行造型。生成的护膝和护腿数学模型,如图 2、3 所示。利用该技术获得的数学模型光滑、连续、误差小、精度高,完全满足厂家的设计要求。该数学模型的曲面、实体

数据,可直接用于生成加工该产品模具的数控加工代码。因此,它方便了后续工序的进行,大大提高了产品的生产效率,缩短了产品的设计周期,获得了良好的经济效益。



图2 护膝数学模型



图3 护腿数学模型

数据,可直接用于生成加工该产品模具的数控加工代码。因此,它方便了后续工序的进行,大大提高了产品的生产效率,缩短了产品的设计周期,获得了良好的经济效益。

3 结束语

反求工程不仅是一门开拓性、综合性和实用性很强的技术,有其独特的共性技术和内容,还是一门新兴的交叉学科分支。它不仅能消化吸收实物原型,而且能修改和再设计制造出新的产品,实现创新的目的。目前,反求工程的 CAD 建模技术还有很多需要改进的地方。针对具有

不同复杂特征自由曲面的 CAD 建模技术以及如何提高反求产品的精度问题, 还有待于进一步研究. 本文在综合介绍目前反求工程的 CAD 建模技术的基础上, 详细介绍了一种从实物样件快速、准确建立实体数学模型的 CAD 建模技术. 该技术通过反求产品表面数字化、散化数据误差修正、散乱数据规则化、曲面重构和 CAD 建模等技术, 建构实物样件的数学模型. 生成的数学模型光滑、连续、几何信息完整. 设计实例充分表明该建模技术实用、可靠, 可成为 CAD, CAM, RPM, PDM, CIMS 等先进制造和管理技术的重要基础和支撑技术. 它在飞机、汽车模具等行业, 具有很高的实用价值.

参 考 文 献

- 1 李江雄, 柯映林. 基于实物的复杂曲面产品反求工程中的 CAD 建模技术[J]. 中国机械工程, 1999, 10(4): 387 ~ 389
- 2 金 涛, 匡继勇. 产品反向工程的误差分析[J]. 机械设计与制造, 2000, 12(6): 66 ~ 68
- 3 种永民, 杨海成, 王争鸣等. 测量造型技术中的散乱数据规则化处理方法[J]. 西北工业大学学报, 1999, 17(4): 567 ~ 571
- 4 齐天鹏, 金 焯, 王军杰. 基于点云数据的曲面重构方法研究[J]. 工程图学学报, 2001, (1): 96 ~ 100
- 5 唐月红, 李卫国. 任意散乱数据光滑超曲面拟合的二步法[J]. 数值计算与计算机应用, 1999, 20(3): 205 ~ 214

CAD Modeling Technique in Reverse Engineering

Chen Yong Liu Xiongwei

(Dept. of Electromech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract The CAD modeling technique in reverse engineering at present is surveyed. On this basis, the authors present a practical one which acquires mathematical model of product based on exemplar of material object. Combining with reverse process of actual industrial products, a comprehensive account is made on the technical main points of such processes as surface digitalization, error-correcting of debunching data, regularization of debunching data, reconstitution of camber, and CAD modeling. As indicated by results from application, this is a practical and effective CAD modeling technique by which the emergence of such deformation as distortion of curved surface and interference can be avoided and a smooth and continuous mathematical model with complete geometric information can be generated. This technique has a broad prospect of application in NC machining and reverse engineering, it is important basis and proping up techingue for carrying out concurrent engineering. Moreover, the exemplar of material object can be duplicated within very short time owing to its practice, this technique has the value of widely application.

Keywords reverse engineering, concurrent engineering, measuring and modeling