

文章编号:1001-2265(2005)06-0040-03

复杂曲面零件的反求工程和快速原型制造技术

付泽民^{1,2}, 姚斌¹, 王大镇², 李延平², 胡国清¹, 常勇²

(1. 厦门大学机电工程学院, 福建 厦门 361005; 2. 集美大学机械工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:根据零件曲面复杂设计及概念设计中不可缺少的反求技术与快速成型技术的结合应用,介绍了 ATOS 测量系统的反求数据采集方法及三角域 Bezier 曲面拟合技术,分析了在快速成型技术中反求数据的优化处理方式,进行了快速成型机的接口文件生成和实体成型加工(FDM)试验。

关键词:反求工程; 快速原型; ATOS; 测量; 三角 Bezier 曲面

中图分类号:TH166:TP274 **文献标识码:**A

Reverse Engineering and Rapid Prototyping Manufacturing Technology of the Complicated Surface Parts

FU Zhe-min^{1,2}, YAO Bin¹, WANG Da-zhen², LI Yan-ping², HU Guo-qing¹, CHANG Yong²

(1. School of Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Fujian Xiamen 361005, China; 2. College of Mechanical Engineering, Jimei University, Fujian Xiamen 361021, China)

Abstract: According to the combined application of the reverse technology and the rapid prototyping, which is necessary for the complex design and the concept design of part surface, the text firstly introduce the method of gathering reverse data by ATOS measuring system and the technology of blending triangular Bezier surface. Second, it analyses the optimized disposition of method of reverse data which is related to the technology of rapid prototyping. Third, the trial has been done about the interface files generated and linked the device of rapid prototyping and model processing trial.

Key words: reverse engineering; rapid prototyping; ATOS measure; triangular Bezier surface

0 引言

快速原型制造(RPM)是当代制造业的新兴技术,与反求工程(RE)一起视为敏捷制造技术的重要分支。为人们实现产品概念设计与复杂设计担纲重要角色。反求工程对于难以用CAD设计的零件模型以及表面形状极不规则的艺术品、文物模型以及活性组织的数据提取是非常有利的工具,而快速成型不受模型几何形状的限制,可以快速地将测量的数据模型复原成实体模型。RE与RP技术的结合,实现了零件的快速三维复制,还可通过CAD重新建模并加以修改,或调整快速成型工艺参数,实现零件模型的变异复原。

本文采用 ATOS 测量系统,对水龙头进行了三维数字化测量和三角域参数曲面重构,并结合快速原型技术,分析对采集数据进行优化处理方法是否符合 RP 技术中 STL 接口文件要求,且通过水龙头实体反求实验和成型加工实验相结合实例,浅谈了这二项技术结合的应用发展前景。

1 反求工程技术

1.1 数据采集技术——实物模型的数字化测量

这里介绍一种适用于反求工程中获取原始数据的新方法——ATOS 光学非接触式照相测量系统。

ATOS 测量系统是采用光学系统实现对三维实物表面上的点进行连续和快速测量的装置。其测量速度快,扫描分辨率高,不需接触零件表面,数据点密集,目前精度可达 0.03mm,适于外部曲面复杂的零件模型的测量。但是,对于细深孔底部突变

的台阶等不能被光照到的部位,ATOS 扫描仪则测不到数据,从而造成有用数据丢失,另外其对零件表面的色泽和粗糙度有敏感性。

ATOS 扫描法的基本过程为:首先由光源(卤素灯)产生编码光栅,这正是光栅投影到被测样件表面产生一系列图像,这些被测实体表面漫反射图像被 CCD 相机摄取,然后通过图像处理分析方法分析这些图像,计算被测样件表面点的空间位置。

ATOS 三角测量法硬件有投影光源、CCD 摄像头、图像采集卡相应的连接线与光源以及微型机算计组成,该系统采用两个参数完全相同的 CCD 摄像头对称放置,可减少测量盲区,提高测量精度。三角测量法利用基准面、像点、物距、像距等之间的关系,计算物体的 z 坐标值,如图 1 所示。

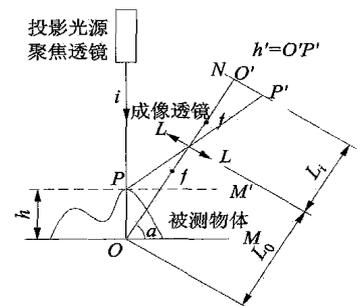


图 1 ATOS 测量光学原理示意图

图 1 给出图题中: i 为入射光; L —成像透镜; N —成像屏; f —成像透镜的焦距; L_0 —成像透镜 L 的物距; L_i —成像透镜 L 的像距; O — L 光轴与入射光线 i 的交点; P —物面上的光点; P, O 分别是 P, O 的像点; h —物面上光点相对于基准面的 M 的高度; i —漫反射光入射角; M —目标平面; M' —参与平面。

由几何光学原理可得:

收稿日期:2004-09-27

作者简介:付泽民(1966-),男,厦门大学机电学院硕士研究生,集美大学机械工程学院高级工程师,研究方向为反求与快速原型制造技术、CAD/CAM等,(E-mail)wsmsuccess@163.com。

$$\frac{1}{-L_0} + \frac{1}{-L_i} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

$$\frac{h \cos \alpha}{h} = \frac{L_0 - h \sin \alpha}{L_i} \quad (2)$$

$$\text{整理式(2)得: } h = \frac{L_0 \times h}{\cos \alpha \times L_i + h \times \sin \alpha} \quad (3)$$

式(3)中: L_0 、 L_i 、 α 是系统参数,都是固定值,这样可以由 h 计算出 h 的值。

图 2 是由该 ATOS 系统获取的水龙头表面的数据点云。

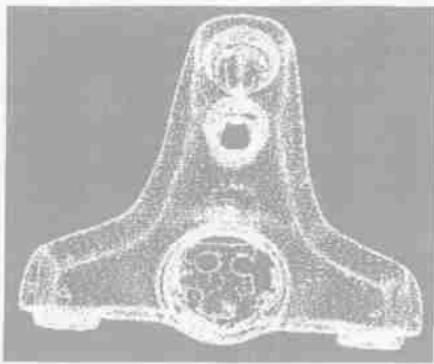


图 2 水龙头表面的数据点云图

1.2 自由曲面模型重构技术

从上图看出,测量采集的原始点云是非常庞大、无序散乱,且包含大量的冗余点和噪音点,需进行点云的预处理。点云的预处理是反求工程中的重要环节,包括以下几个方面工作。

- (1) 点云进行多边形网格化,建立起各点间拓扑关系;
- (2) 点云的对齐和多视拼合;
- (3) 点云光顺,剔除或修正点云中的噪音点;
- (4) 点云精简,剔除点云中冗余数据,减少点云规模,以减少后续曲面拟合的计算量。

在反求工程中,由于物理样件的外表面形状及边界有时极其复杂,一般不便运用常规的曲面构造方法。而三角 Bezier 曲面由于其构造灵活,边界适应性好,尤其是其表示大量离散数据的高效性,越来越多地受到人们的重视。在三角 Bezier 曲面的应用中,重点集中如何提取特征线,如何简化三角形网格和如何处理多视问题上。华盛顿大学的 H Hoppe^[3-6]在对大规模散乱测量数据的曲面重构问题的研究中,较系统地回答了上述问题,他的方法分为 3 个主要步骤:

(1) 初始曲面估计

利用函数方法构造一张插值于测量点的曲面;接着确定一个函数 $f: (R^3 \rightarrow R)$ 来估计测量点到此曲面的距离;然后采用一种轮廓线抽取算法(March Cub)来提取 $f = 0$ 的曲面,即使得 $Z(f) = \{P \in R^3 : f(P) = 0\}$ 。

(2) 网格优化

以第一步的初始网格为起点,该步的目的在于减少三角形数目,并提高曲面的逼近精度。他们采用能量法来完成这项工作,首先定义一个能量函数以表示逼近精度与网格中所含节点数目的关系;然后优化这一函数,使得在满足精度条件下节点数最少(优化的变量为网格中的点数、点之间的连接关系及位置)。

(3) 分段光滑曲面片

通过一种分段细分的方法将曲面的尖角特征构造出来,以提高曲面的逼近精度。起曲面的表达形式为以三角平面片为基础的多面体。

三角曲面能够适应复杂的形状及不规则的边界,因而在对

复杂型面的曲面构造过程中以及在反求工程中,具有很大的应用潜力。

图 3 是经过三角化曲面拟合的水龙头模型数据。

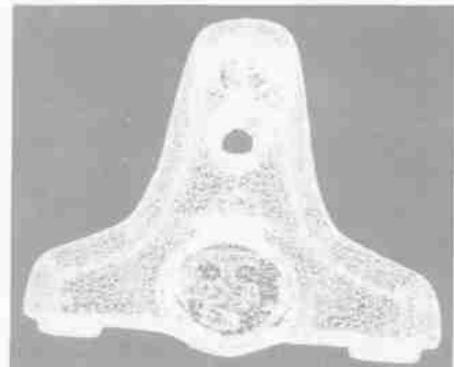


图 3 水龙头曲面三角化网格图

2. RPM 技术

2.1 RPM 成型技术原理

RPM 技术是一种逐层制造技术,它采用离散/堆积成型原理,其过程是:先得到所需零件的计算机三维曲面或实体模型;然后根据工艺要求,将其按一定厚度进行分层,将原来的三维模型变成二维平面信息(截面信息),即离散的过程;再将分层后的数据进行一定的处理,加入加工参数,产生数控代码;在微机控制下,数控系统以平面加工方式,有序地连续加工出每个薄层,并使它们自动粘接而成形,从而制造出所需产品的实物样件或成品,这就是材料堆积的过程。

2.2 反求测量数据的优化处理与 RP 设备数据接口

用各种三维数值化方法得到的测量数据,必须转换到 RP 设备可接受的数据格式才能用快速成型方法复原成实体模型。目前 RP 设备可接受的通用数据格式是 STL 文件,获得 STL 文件通常有两种测量数据优化处理方式:间接法及直接法。

间接法:就是利用所测得的数据先重构还原成 CAD 模型,然后根据实际需要 CAD 模型进行修改、调整,转换成 STL 格式文件,或者对所采集的散乱数据进行三角剖分,得到 STL 格式文件,再输入快速成型系统,由系统所带切片软件对 STL 文件进行切片处理,获取切片层的轮廓曲线数据,从而制成原型复制件。其处理过程可描述如图 4 所示。



图 4 间接数据处理法

ATOS 系统扫描测量获取的数据点密集,可通过反求软件处理获得曲面模型,经过修整,得到所需的 CAD 模型,再按照图 4 步骤得到原型件模型。

直接法:根据快速成型精度要求,切片处理要求数据点比较充足,且每层厚度一般为 0.02 ~ 0.5,以保证复制的原型件模型失真度在允差范围内,这样复制才有意义。由于通过 CAD 模型转换成 STL 文件时,数据量骤然增加,而且 STL 格式文件本身有着天然的缺陷,这就要求后续的切片处理有较高的纠错、容错能力,对计算速度也有影响。如果直接将测得的数据转换成片层轮廓曲线数据,则相对转换成 STL 文件而言,数据量小、运算速度快,绕过 STL 文件转换所产生的诸多问题,是一种比较好的数据处理方式。

ATOS 系统扫描测得的数据点密集,测量精度也可达到制造快速原型的精度要求,故由激光扫描测量所采集的数据可采用图 5 所示直接数据处理法。

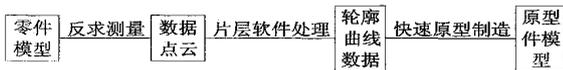


图 5 直接数据处理法

我们在水龙头实体快速成型加工试验中,采用了间接法,发现 STL 文件过大,且包含大量错误,在快速成型软件做切片分层时,将近一半层的切片数据存在缺陷,不能组成一个个互相独立的封闭数据环。根据缺陷的特点,可将其分为以下几类:

(1) 间隙错误:在对实体模型网格化时,某些小的三角片丢失,造成间隙。

(2) 孤立面错误:在网格模型的本应为空的部分出现一个或多个三角片构成的孤立面,这将引起制造上的歧义。

(3) 重叠面:切片层出现重叠的扫描线,即两条几乎相折叠在一起的实物截面外轮廓线造成两面所围成的体的体积为零。导致这一截面层没有材料堆积,对零件内部质量造成很大影响。

(4) 相交错误包括不同面片在空间内相交和自相交两种,这类问题肯定造成制造上的歧义,是比较严重的错误。

针对上述截面切片数据缺陷情况,我们不是简单孤立地修补缺陷,而是综合系统地研究成型过程中每层切片参数、外轮廓线形状、支撑结构、模型材料涂层参数之间相互关系;模拟喷涂路径,修改各有关参数量。基于此,我们采用近似构造截面外轮廓线方法弥补切片层诸多不足,修补因数据少、数据跳差过大而致的数据环开口缺陷,使每一切片层均为封闭环。由于修复过程中有近似逼近的手法,这很难满足快速成型系统的切片精度要求,若缺陷切片层较多时将会导致原型复制的失真。

由于三角形网格模型中存在不少量的冗余网格,给 RPM 中切片处理和图形显示带来不便,直接法的运用较好的解决上述问题。将扫描数据直接变成零件的切片数据,这种方法速度快、数据量小,避免了 STL 文件转换的一系列问题,非常适合于照相式扫描方法产生的数据文件。缺点是:制造柔性下降,不能利用 CAD 和 STL 切片软件的许多功能对零件进行修改,只能进行简单的复原和放大缩小。因此进一步完善和发展不经 STL 文件直接生成切片技术,是 RPM 的发展趋势。

3 结论

本文对基于 ATOS 测量系统的复杂曲面零件的 CAD 模型重构方法及快速成型技术进行了较深入的研究。以水龙头的反求与快速原型为依托,探讨了反求与快速成型技术从理论到实践相结合的应用发展前景,取得了一些满意的结论:

(1) 阐明了三角网格的光滑曲面构造技术符合 RP 技术中 STL 文件的特点,挖掘了优于间接法的直接法在快速原型技术中反求数据处理方式的发展潜力,这已被水龙头实体反求实验和成型加工实验所证实。

(2) 反求工程是复杂形状零件复制的非常有利的工具,与快速成型技术结合起来,采用适当的测量方法和数据处理方式,将在产品系列设计改型以及实物模型复制等方面有着良好的使用价值。

(3) 零件产品生命周期缩短、用户需求多样化和交货期日益缩短已成为现代制造技术的三个主要竞争因素,因此 RE/RPM 一体化技术顺应了现代制造技术的趋势,有着广泛的应用前景。

[参考文献]

- [1] 程俊廷,张树林.反求工程在快速成型中的应用[J].精密制造与自动化,2003(1).
- [2] 刘云生.反求工程技术[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [3] Hoppe H, DeRose T, Duchamp T et al[J]. Computer Graphics, 1993. 27(3): 19 - 26.
- [4] Hoppe H. SPIE. 1995(2410): 424 - 431.
- [5] Hoppe H, DeRose T, Duchamp T et. al[J]. Computer Graphics, 1992. 26(2): 71 - 78.
- [6] DeRose T, Hoppe H. SPIE. 1992(1830): 346 - 353.
- [7] Imageware Inc. Surface User's Guide 1997.
- [8] 李剑.基于激光测量的自由曲面数字制造基础技术研究[D].杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2001.
- [9] 刘斌,黄树槐.快速成型技术中数据模型的自动诊断与修复[J].华中理工大学学报,1996,24(9): 61 - 63.
- [10] Makela, I, Polenc A. Some Efficient Procedures for Correcting Triangulated Models. Proc SFF Symposium, Austin, Texas, USA, 1993: 126 - 134.
- [11] Gan G K Jacob, Chua Chee Kai, Tong Mei. Development of a new rapid prototyping interface. Computers in Industry 39, 1999, 61 - 70.
- [12] FDM3000 快速原型机用户手册.美国 Stratasys 公司, 2001.

(编辑 李秀敏)

(上接第 39 页)

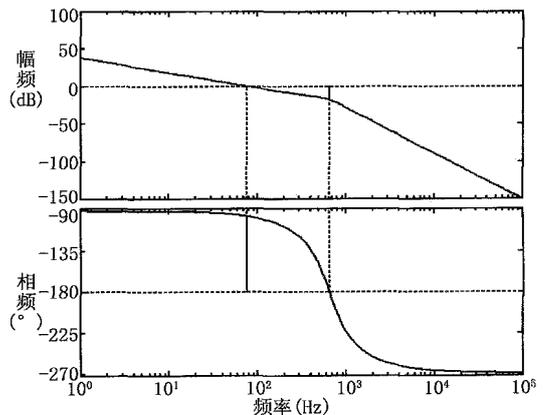


图 4 数字泵的 bode 图

5 结论

- (1) 本系统原理可行,结构设计比较合理。
- (2) 本系统基本满足一般的工业设计要求,而且本系统的结构简单,设计与制造比较容易。
- (3) 本系统要求的零件少,成本比较低,具有推广和应用价值,适合小企业制造。

[参考文献]

- [1] 王庆国,吴建胜,范光民,等.微机控制数字变量轴向柱塞泵的研究[J].沈阳工业大学学报,1999,21(4):12 - 16.
- [2] 杨威,那焱青,尹文波,等.数字式轴向柱塞泵[J].甘肃工业大学学报,2003,29(1):21 - 24.
- [3] 孙廷玉,蓝益鹏.微机控制技术[M].辽宁:东北大学出版社,2000.

(编辑 李秀敏)