

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.11.010

汽车零部件逆向设计中的参数化建模方法研究^{*}

黄兵锋

(湖北汽车工业学院 汽车工程学院,湖北 十堰 442002)

摘要:由于工作量大以及 CATIA 软件的逆向设计功能有限,在新车研发时的竞争车型分析,以及其他的汽车零部件的逆向设计中,难以建立所需的参数化模型。针对这一问题,研究了“联合使用 Geomagic Studio 和 CATIA V5 软件,实现曲面拟合的自动化操作,从而在汽车零件逆向设计中快速建立高精度的参数化三维模型”的方法;以某轻型发动机气缸盖罩的逆向三维设计过程为例,描述了使用 EXAScan 对零件进行激光扫描,在 Geomagic Studio 中对点云进行前处理和曲面拟合,然后导入 CATIA V5 完成结构设计和曲面加工的完整过程;最后,为提高精度,根据实际经验提出了若干建议。研究结果表明,该方法非常适合汽车零部件的参数化逆向设计,并能为新产品开发提供极大的便利。

关键词:参数化设计;逆向工程;Geomagic Studio;气缸盖罩

中图分类号:TH122;U462;TP391.72

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)11-1345-05

Parametric modeling in reverse engineering of automotive parts and components

HUANG Bing-feng

(School of Automotive Engineering, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan 442002, China)

Abstract: Because of the enormous work in reverse engineering of automotive parts and components and the limitation of CATIA V5, it is hard to establish parametric models. Aiming at this problem, the combined use of Geomagic Studio and CATIA V5 to realize automated surface reconstruction was studied to rapidly achieve high-accuracy parametric models in reverse engineering of automotive parts and components. A case study of reverse design of a light engine cylinder head cover was described to reveal the general process of parametric design, which includes parts laser scanning with EXAScan Handed Laser Scan, pre-processing the cloud points and surface fitting in Geomagic Studio, and structural design and surface reconstruction in CATIA V5. The results indicate that this method applies well to the parametric modeling in reverse engineering of automotive parts and components, and provides much convenience for the development of new products.

Key words: parametric design; reverse engineering; Geomagic Studio; cylinder head cover

0 引 言

逆向工程技术在汽车设计上应用广泛,尤其是在进行新产品开发时,对于外车身和内饰等外形主要以自由曲面为特征的零部件的设计,遵循 A 级曲面标准的逆向设计已经成为标准解决方案。但是在新车研发

时的竞争车型分析,以及白车身钣金件、发动机、底盘结构件等汽车零部件等的逆向设计中,需要建立参数化模型^[1]。

汽车零部件产品的逆向设计往往被认为结构简单,早期多使用卡尺、皮尺等直接测量部分关键尺寸,效率低下且误差较大。目前多采用三坐标测量仪得到

收稿日期:2013-06-21

基金项目:湖北省教育厅科学技术研究计划指导性资助项目(B2013082);湖北汽车工业学院本科教学工程资助项目(SJ201204);湖北汽车工业学院教育科研资助项目(201001y);湖北省省教育厅 2012 年高等学校省级教学研究资助项目(2012319)

作者简介:黄兵锋(1977-),男,湖北枝江人,讲师,主要从事汽车动力学仿真与分析方面的研究。E-mail:ycdt@sohu.com

零件主要特征的高精度尺寸,建立简单的线框模型;或利用激光扫描仪获得零件表面的点云,以基于边或基于多边形面的方法在三维 CAD 软件中对点云进行数据分块^[2],再通过分块数据完成曲线或曲面的拟合,得到若干小曲面片,将这些曲面片通过拼接得到物体的各个面^[3],从而重建出产品的数字化 CAD 模型^[4];由于工作量庞大,对于汽车及其零部件这样的复杂对象,往往只建立包含关键尺寸的线框或曲面模型,且无法实现参数化,不利于进一步的编辑修改和再设计,无法将逆向设计的结果直接应用到新产品中。

本研究将介绍利用 Geomagic Studio 和 CATIA V5,在逆向设计中实现自动化操作,并获得完整的参数化模型的方法和具体过程。

1 汽车零部件逆向设计中的参数化设计方法

Geomagic Studio 是应用最广泛的逆向工程软件之一,其优势在于点云和多边形(三角面片)的快速前处理,以及基本曲面的拟合^[5-7],它还能将所拟合的参数化曲面信息直接发送到常用的 CAD 软件中作进一步的修改。因此,研究者在进行汽车零部件产品的逆向参数化设计时,可以使用 Geomagic Studio 进行点云的快速处理并以批处理方式完成曲面的参数化拟合,然后导入 CATIA V5 中对曲面完成后续的加工修剪、封闭实体等工作,最终得到参数化的零件实体^[8]。具有规则表面的零件的逆向三维设计过程如图 1 所示。其中,左侧为在 Geomagic Studio 中进行点云的前期处理、参数化曲面的拟合;右侧则为导入 CATIA V5 后的处理步骤。

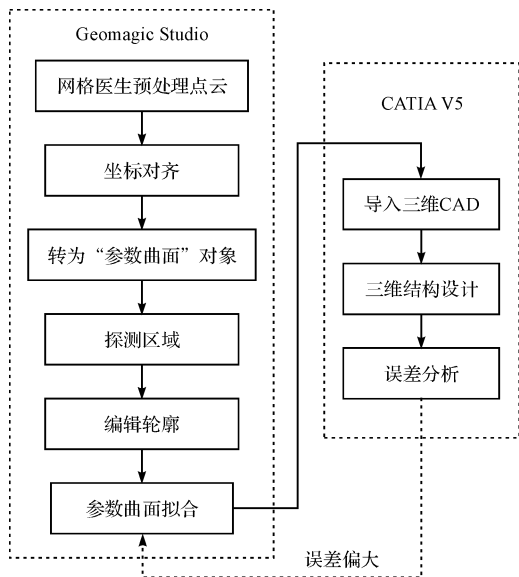


图1 汽车零部件的逆向参数化设计过程

2 汽车零部件逆向参数化设计方法

本研究以某轻型发动机气缸盖罩的逆向三维设计为例,介绍利用激光扫描仪进行逆向扫描,利用 Geomagic Studio 12 进行点云预处理和简单曲面拟合,然后在 CATIA V5 中完成零件设计的过程。由于气缸盖罩上的曲面多为规则曲面,本研究在 Geomagic Studio 下对点云进行快速识别和拟合。

根据逆向扫描的点云进行参数化设计,需要在 Geomagic Studio 中经过前处理(多边形阶段)、参数化曲面、导入 CATIA V5,以及在 CATIA V5 中生成参数化实体模型等几个阶段。

2.1 逆向扫描

本研究采用 Creaform 公司出品的 EXAscan 手持式自定位三维激光扫描仪对某轻型发动机气缸盖罩进行逆向扫描。扫描前,应先将零件表面清理干净。为了保证激光扫描仪的接收器能充分接收到零件表面反射的激光,研究者应在黑色表面或光洁表面上喷涂能产生漫反射的白色粉剂(喷显影剂,也称喷粉);并在曲面平缓的地方无规律的贴上参考点(贴 Marker 点,也称贴点),为扫描仪提供定位参考,利于提高扫描精度和速度。已经完成了喷粉和贴点工作的气缸盖罩实物如图 2 所示,该零件表面主要由平面、圆柱体和各种孔特征组成,其中白色圆点为贴上去的 Marker 点。



图2 某轻型发动机气缸盖罩实物

激光扫描的过程中,应尽量使扫描仪器始终垂直于扫描表面,并保持适当的扫描速度,从而保证所得点云的质量。点云数据的精确性和完整性也就决定了三维模型的精度。不同的扫描效果的点云对比如图 3 所示(点云已经在 Geomagic Studio 中转换为多边形对象)。从图 3 中可见,下图的扫描质量较差,很多特征无法识别,不少特征残缺不全,即便拟合成曲面,其参数也不可信;而上图则非常完整,为逆向设计奠定了良

好的基础。



图3 扫描质量对比

2.2 点云的前期处理

扫描所得点云包含有诸多的噪音点,以及因为漏扫或者其他原因而产生的孔洞,需要对点云进行裁剪和修理。

在 Geomagic Studio 中打开点云数据文件,将自动生成多边形对象,后续对点云的各种操作都是通过对多边形的操作来实现的。在“多边形”的 Ribbon 页下,提供了多种处理工具,例如使用“删除”和“简化”、“创建流形”、“裁剪”等删除噪音点,使用“松弛”、“删除丁状物”、“填充单个孔”等进行修补,其中最为便捷的是“网格医生”的修补功能,它将各种修补功能集中在一个界面下,以批处理的方式自动完成大部分的修补工作。

Geomagic Studio 软件的多边形处理功能不但操作便捷直观,而且功能全面,与逆向设计中的参数化要求极为契合。相比之下,CATIA V5 的 Digital Shape Editor(数字外形编辑器,简称 DSE)所提供的功能则非常基本,且操作繁琐、效率低下。

另外,由于 EXAscan 扫描仪无法设定基准坐标,研究者可先手动拟合出 3 个相互垂直的平面,然后在“对齐”页面中进行“Global Registry”(全局注册),即可将所有的点云和多边形对齐到 3 个平面所组成的坐标系中。选择这 3 个基准平面时,不但要考虑到点云拟合成平面时候的精度,还要考虑零件可能产生的整体变形对其他特征拟合精度的影响。

2.3 参数化曲面的建立

在“参数曲面”的 Ribbon 页下,执行“参数曲面”,多边形对象将被转换为参数曲面,该页面的其他功能都将激活。早期版本的参数化曲面的功能是由“Fashion”功能完成的^[9-11]。

接下来执行“探测区域”命令,探测出的区域如图

4 所示,软件将使用不同颜色标示几何相似的区域,各区域之间以红色分隔符和黄色轮廓线分隔开。每个区域将在拟合时转换为一块单独的参数化曲面,因此,区域的合理划分至关重要;研究者可以在执行“编辑轮廓线”的命令后,对区域的边界形状进行调整(包括合并或删除区域),编辑轮廓线如图 5 所示。另外,也可以从“区域分类”中直接指定某区域的点云将拟合的曲面类型,降低误差,这对于点云质量不高的区域尤为实用。

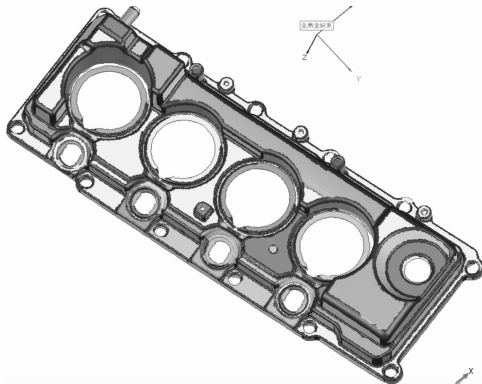


图4 探测出的区域

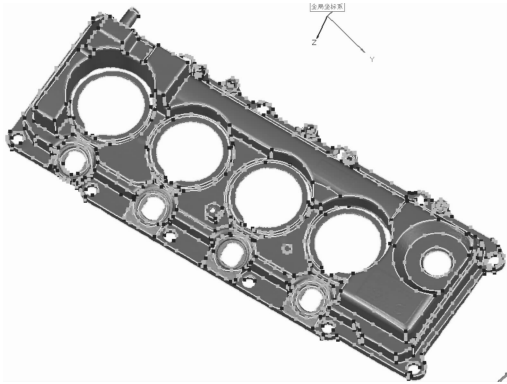


图5 编辑轮廓线

然后执行“拟合曲面”功能,使用鼠标划过部分或全部区域,软件将对被划过的区域自动识别出相应的参数化曲面。通过使用“拟合连接”、“分类连接”则可生成两个参数曲面之间的过渡面(如倒角、连接面等特征)。初步拟合完成的曲面如图 6 所示,不同的曲面由轮廓线分隔开,鼠标单击其中某块曲面,该所选曲面将以橙色高亮显示。

Geomagic Studio 通过内置智能程序可以快速提取设计意图并创建优化 CAD 曲面,它可以根据三角网格自动拟合出平面、柱面等各种基于草图的规则曲面或其他自由形状曲面,也可以自动提取扫描曲面、旋转曲面和挤压面的优化的轮廓曲线直接转换为三维 CAD 的参数化建模。Geomagic Studio2012 中还新增了直观的“草图”功能—可以从点云和多边形模型直接创建横截面曲线,并直接对其进行编辑。

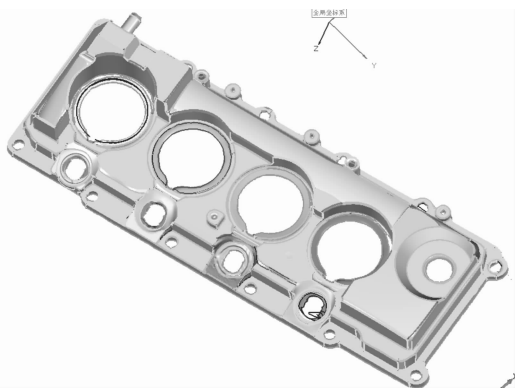


图 6 初步拟合的曲面

由于点云误差等各种原因,可能所拟合的曲面并非所期望的曲面类型,此时,可以通过“编辑草图”、“编辑曲面”、“修复曲面”等各种功能进行调整修改。“修复曲面”功能的界面如图 7 所示。所选的曲面与预期相去甚远,软件自动提示其控制网格有异常,中心处即为该曲面的控制网格,用户可以根据 Geomagic Studio 的提示进行修复。

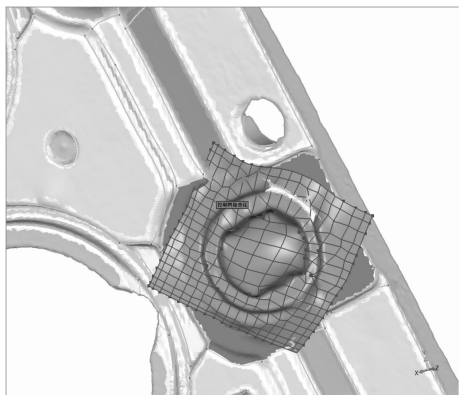


图 7 “修复曲面”功能界面

相比之下,CATIA V5 的 Quick Surface Recognition (QSR,即快速曲面重建)工作台下所提供的曲面拟合功能逊色多了,不但在选择工作点云的范围时非常不方便,而且拟合操作完成后不显示误差,难以手动调整和控制拟合精度。

需要注意的是,Geomagic Studio 软件在拟合参数化曲面时,对电脑硬件资源尤其是内存的需求是非常大的,建议采用 64 位操作系统并同时安装 64 位 Geomagic Studio,从而识别和充分利用 4 G 以上内存。

2.4 参数化曲面导入 CATIA V5

本研究在 Geomagic Studio 中完成了曲面的拟合后,执行“参数曲面”页面下的“参数交换”功能,可将曲面导入 CATIA V5 中。Geomagic Studio 软件提供了与 Inventor、Pro/E、Solidworks、CATIA V5 这 4 种软件

接口默认并未选中)。Geomagic Studio 12 支持 CATIA V5 R18 和 R19 两个版本,Geomagic Studio 2012 支持 CATIA V5 R20 和 R21 两个版本。

执行参数交换操作时,需要同时打开 Geomagic Studio 和 CATIA V5 软件。选定了要交换的曲面后,只需要一键操作,Geomagic Studio 就会将曲面信息发送到 CATIA V5 中。在将曲线和曲面发送到 CATIA V5 时,Geomagic Studio 提供了“自动裁剪和布尔运算”、“尝试创建实体”,以及草图相关的各种选项,可以根据点云范围对所拟合的曲面进行裁剪分割等操作,这将显著缩减导入 CATIA V5 后的曲面加工的工作量和时间消耗。

2.5 参数化实体模型的生成

导入 CATIA V5 的参数曲面如图 8 所示。为了便于对比和参考,研究者可在 CATIA V5 的 DSE 中导入点云,在创成式曲面设计(GSD)和零件设计(PDG)中进行曲面和实体特征的重建。由于零件的大多数特征都已经建立了相应的参数化曲面特征,只需要利用加厚、封闭实体等功能转化为实体模型即可。少部分特征需要手动创建,但工作量已经大大缩减。完成重建后的最终的实体模型如图 9 所示。

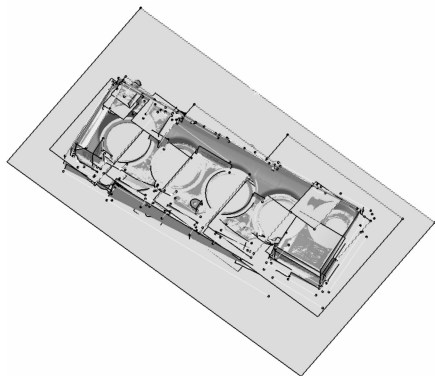


图 8 导入 CATIA 中的参数化曲面与点云

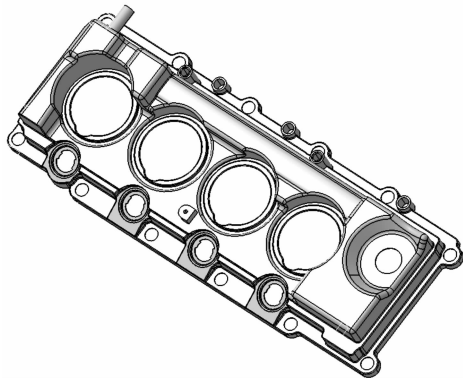


图 9 最终完成的零件模型

2.6 技巧与建议

为提高模型的精度,消除冗余操作,减少工作量,

本研究根据实践提出以下建议:

(1)初始扫描的点云的质量决定了后续的所有工作的效果,所以,高质量的扫描过程和点云的前处理(多边形阶段)是极为必要的。

(2)批处理方式和交互式方式相结合。虽然轮廓线划分、曲面拟合等流程可以由软件以批处理方式自动完成,但由于零部件可能有变形、扫描过程存在误差、软件的智能化程度有限等各种原因,有必要手动修改轮廓线或曲面类型或参数值等。图 7 表明,在 Geomagic Studio 自动识别和拟合的曲面中,存在不少无法识别的错误。另外,对于同一类型的柱体或孔特征(尤其是存在阵列关系的特征),应修改其尺寸为保持一致。

(3)曲面的拟合工作尽量在 Geomagic Studio 软件中完成,以充分利用其点云处理和曲面拟合方面的优势;曲面的修剪加工、生成实体等工作则安排在 CATIA V5 中完成。

(4)分批次完成参数化曲面的生成和导入 CATIA V5,每次只处理部分区域,有利于提高拟合精度和操作的方便性,以及适应电脑的处理速度。

(5)设计过程中应结合汽车结构原理和经验,手动设定拟合时的某些特定参数(如各种螺钉孔和销孔的直径、钣金件参数等);结合设计惯例或相应的设计标准、系列,可以对参数进行圆整。这些方法都可显著提高逆向设计结果的准确性和精度。

3 结束语

本研究探索了如何在汽车零部件的逆向设计中联合使用 Geomagic Studio 和 CATIA 软件建立参数化模型的方法,归纳了其一般流程,总结了各个阶段时的若干常见问题,并研究了相应的解决方法。事实证明,

Geomagic Studio 软件对点云的快速处理能力使得它可以成为 CATIA V5 等三维 CAD 软件的强力助手,为汽车零部件的逆向参数化设计提供了极大的便利。

参考文献(References):

- [1] 郭一鸣,汪建安. 乘用车参考样车静态参数的对标分析[J]. 湖北汽车工业学院学报,2010,24(1):15-20.
- [2] VIEIRA M, SHIMADA K. Surface mesh segmentation and smooth surface extraction through region growing[J]. **Computer Aided Geometric Design**,2005,22(8):771-792.
- [3] YAN H T, CHEN C Y, WILHELM R G. Registration and integration of multiple laser scanned data for reverse engineering of complex 3D models[J]. **International Journal of Production Research**,2000,38(2):269-285.
- [4] 康 兰. 产品逆向设计中特征和约束的重建[J]. 机械设计与研究,2009,25(5):97-99.
- [5] Geomagic Studio 公司. Geomagic Studio 中文主页[EB/OL]. [2013-05-17]. <http://www.geomagic.com/zh/products/studio/overview/>.
- [6] 邵柳东,赵文礼,田 帆. 逆向工程技术及其应用研究[J]. 机电工程,2007,24(5):5-8.
- [7] 百度百科. Geomagic Studio[EB/OL]. [2013-05-17]. <http://baike.baidu.com/view/3992744.htm>.
- [8] 刘军华,成思源,蒋 伍,等. 逆向工程中的参数化建模技术及应用[J]. 机械设计与制造,2011(10):82-84.
- [9] 郑文青,李俊源,姜献峰. 基于逆向工程技术的牙齿三维模型构建及其应用[J]. 轻工机械,2011,29(5):94-96.
- [10] 戴刚英. Geomagic Studio 软件 Fashion 模块逆向建模与参数化流程[J]. CAD/CAM 与制造业信息化,2010(2-3):63-66.
- [11] 成思源,吴问霆,杨雪荣,等. 基于 Geomagic Studio 的快速曲面重建[J]. 现代制造工程,2011(1):8-12.

[编辑:张 翔]

本文引用格式:

黄兵锋. 汽车零部件逆向设计中的参数化建模方法研究[J]. 机电工程,2013,30(11):1345-1350.

HUANG Bing-feng. Parametric modeling in reverse engineering of automotive parts and components[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013, 30(11):1345-1350.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>