

# 基于数字化逆向建模的3D打印实验教学

成思源, 周小东, 杨雪荣, 张湘伟, 郭钟宁

(广东工业大学 机电工程学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 提出了先进制造技术领域的逆向工程与新兴3D打印技术相结合的实验课程, 给出了实施方案。实验内容包括了用手持式激光扫描仪对物体表面进行扫描, 获取点云数据, 然后将点云数据导入数字化逆向建模软件 Geomagic Design Direct 中进行处理, 完成物体 CAD 实体模型重建, 最后将模型导入 CubeX 3D 打印机中进行打印, 实现快速制造。该实验内容体现了先进制造技术领域的最新发展趋势, 在现代工业中有广泛的应用前景; 实验教学的实施顺应了产业界对人才培养的最新需求, 对于促进学生在现代产品设计与制造技术等方面的应用和创新能力具有积极的作用。

**关键词:** 逆向建模; 3D 打印; Geomagic Design Direct; 快速制造

**中图分类号:** G423.31; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-4956 (2015) 1-0030-04

## Experimental teaching of 3D printing based on digital reverse modeling

Cheng Siyuan, Zhou Xiaodong, Yang Xuerong, Zhang Xiangwei, Guo Zhongning

(College of Electromechanics Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Experimental course of combining reverse engineering with emerging 3D printing technology in the field of advanced manufacturing technology is presented. Firstly, hand-held laser scanner is used to scan the surface of the object to get the point cloud data, and then, the point cloud data is imported into Geomagic Design Direct software for processing, to complete the object CAD model reconstruction. Finally, CubeX 3D printer is used to achieve rapid manufacturing. The experimental content reflects the recent development tendency of advanced manufacturing field, which has extensive application prospect in modern industry. Experimental course is complied with the talent cultivation requirement, which could promote students' application and innovation ability of modern product design and manufacture technology.

**Key words:** reverse modeling; 3D printing; Geomagic Design Direct; rapid manufacture

随着工业技术的快速发展,传统的产品生产模式已经满足不了市场竞争的需求,为了提高产品开发速度,已经研发出众多先进设计与制造技术,例如 CAD/CAM 一体化、数值仿真、虚拟制造(VM)、逆向工程(RE)等<sup>[1]</sup>。近年来,3D 打印技术在工业产品设计,特别是数字制造领域的应用正在成为一种潮流和热门话题。3D 打印技术的持续发展,成本的大幅降低使其已经从研发的小众空间向主流市场进军,发展势头不可阻挡,已经成为社会广泛关注、民用市

场迅速崛起的新领域<sup>[2]</sup>。正因为如此,基于逆向工程的3D 打印技术实验教学已成为培养学生适应现代设计与制造工程领域实践能力的重要手段。同时加强该领域实验教学也是机械类专业实施“卓越工程师培养计划”、实现素质教育和创新人才培养目标、加强学生实践能力和创新能力培养的重要环节<sup>[3]</sup>,于是提出了基于数字化逆向建模与3D 打印技术的实验教学。在该实验教学中,首先使用 Creform 公司的 REVscan 手持式激光扫描仪对实物零件进行测量,通过 Geomagic Design Direct 逆向设计软件实现其 CAD 实体模型重建,并通过 3D Systems 生产的 CubeX 3D 打印机实现模型的快速成型制造。通过基于逆向建模的3D 打印技术的实验教学,对于学生掌握逆向工程与快速制造基本原理与技术,促进学生先进工业技术的认识,培养学生对现代设计与制造技术的应用和创新能力具有积极的作用。

收稿日期:2014-07-04

基金项目:广东省高等教育教学改革项目(2012143,JGXM025);广东省学位与研究生教育改革研究项目(09JGXM-ZD10);广东工业大学教育教学改革项目(2012Z009)资助

作者简介:成思源(1975—),男,重庆,博士,教授,硕士生导师,学院教学副院长,主要从事逆向工程技术、机械 CAD、机械设计技术与实验教学研究。

E-mail:imdesign@gdut.edu.cn

## 1 基于 REVscan 扫描仪的数字化测量

数据采集和模型重建是逆向工程中的关键技术<sup>[4]</sup>。在实验中,首先要根据实物模型的自身特性、精度要求、制造材质等多项因素选择合适的数字化设备,完成模型表面数字化<sup>[5]</sup>。在原始数据的采集阶段,本实验采用的是手持式激光扫描仪 REVscan,如图 1 所示。相配套的数据处理软件是 VXscan。手持式激光扫描系统是采用激光三角测量原理对物理模型的表面进行数据采集<sup>[6]</sup>,由激光束的发射角度和在 CCD 内成像位置,通过三角几何关系获得被测点的距离或位置坐标等数据。它具有操作简便、数据采集速度快、能对松软材料的表面进行数据采集,以及能很好测量复杂轮廓等特点。



图 1 手持式激光扫描仪

手持式激光扫描仪的基本操作流程为:首先着色处理和配置颜色,如果扫描模型的反射效果较为强烈,可以喷施着色剂;其次贴标记点,通过在模型表面粘贴标记点的方法进行空间定位,可以实现对不同角度扫描数据的拼接;最后组配硬件系统,启动 VXscan 软件,并启动接收数据状态,开始扫描。待扫描完成后保存文档,可以根据需要保存不同的文件格式,在这里选择输出点云 VTX 文件<sup>[7]</sup>。图 2 是通过手持式激光扫描仪获取减速箱箱盖的点云数据。



图 2 减速箱箱盖表面的数据点云

## 2 三维 CAD 实物模型重建

在该实验环节用到的是 Geomagic Design Direct 软件平台,该软件体现了逆向设计技术的最新发展趋势。与较早的 Geomagic Studio 相比而言,Geomagic Design Direct 对实物的三维模型重构优势在于其融

合了逆向建模技术和正向设计方法的长处,具有强大的基于三维网格面模型的截面线特征与规则特征的提取编辑功能,以及基于二维截面与实体特征的正向设计建模功能。可以直接对原始扫描数据进行几何形状重构得到原产品的 CAD 实体模型,并通过正向建模工具对实体特征及其相互约束关系进行编辑修改,以实现模型的再设计。Geomagic Design Direct 中数字化建模流程图如图 3 所示。

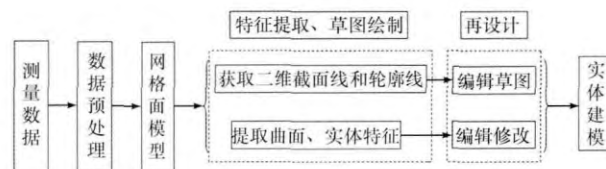


图 3 Geomagic Design Direct 中建模流程

### 2.1 点云预处理

扫描系统在测量过程中都不可避免地存在误差,使得获得的扫描数据不太理想,一般会存在数据过于庞大和噪音点的情况<sup>[8]</sup>。在 Geomagic Design Direct 的捕获阶段主要是对初始扫描数据进行一系列的预处理,包括为点着色、采样、降噪等处理,从而得到一个完整而理想的点云数据。其主要思路是:首先导入点云数据进行着色处理,为了更好地显示点云;其次进行采样、降噪、封装等技术操作,得到高质量的点云或多边形对象。主要包括以下几个方面:

- (1) 在保证整体外形特征前提下通过采样处理减少点云密度;
- (2) 通过降噪处理,使点的排列更平滑,弥补扫描误差;
- (3) 封装出高质量的多边形对象。

点云数据预处理完后的模型如图 4 所示。

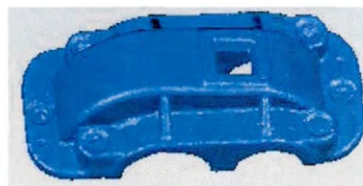


图 4 减速箱箱盖预处理后模型

### 2.2 实体模型重构

Geomagic Design Direct 无缝结合了即时扫描数据处理、网格编辑、CAD 设计等工具,在本实验中,减速箱箱盖的主体表面为不规则的自由曲面,对此选择在 Geomagic Design Direct 草图模式下,通过提取二维截面轮廓线并对其主要轮廓进行编辑,然后选择“拉动”命令生成三维实体,完成三维模型的重构。图 5 为编辑重构后的减速箱箱盖主体部分的实体模型。

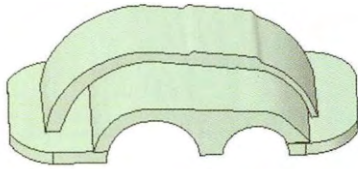


图5 减速箱箱盖的主体部分实体模型

对于附加的规则特征,在 Geomagic Design Direct 中能方便快捷地提取出规则的三维特征。本实例中可以选择拟合圆柱面、拟合挤压等建立规则特征三维模型,然后利用组合工具中的布尔运算,将这些实体合并成一个完整的减速箱箱盖的模型。在此基础上还可以对模型进行参数化修改,如调整螺栓孔的半径、支撑板的厚度等,以实现再设计,最终完成减速箱箱盖的逆向建模,如图6所示。

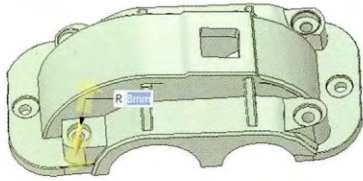


图6 重构后的减速箱箱盖

### 3 基于3D打印的快速成型

本实验中使用的是 CubeX 3D 打印机完成减速箱箱盖的三维成型制造,如图7所示。



图7 CubeX 3D 打印机

3D 打印技术首先需要对零件的三维 CAD 模型按照一定的厚度进行分层切片处理,生成控制 3D 打印机喷嘴移动轨迹的二维几何信息。喷嘴在计算机的控制信息作用下,进行零件堆砌所需的运动,送丝机构把丝状材料送进热熔喷头,加热头把热熔性材料 ABS、PLA 等加热至一定温度成熔化状态,同时,喷嘴挤出成型材料,成型材料很快沉积固化为精确的零件薄层。通过升降系统下降完成接下来的新薄层。这一过程反复进行,层层堆积,紧密黏合,自下而上逐渐形成一个完整的三维零件实体。3D 打印机的精确度较高,即便是中低

档的型号,也可以打印出模型中的大量细节,而且它比起铸造、冲压、蚀刻等传统方法能更快速地生成原型,特别是对于传统方法难以制作的特殊结构模型<sup>[9]</sup>。

一般来说,3D 打印成型过程主要包括建模、分层、成型和后期处理 4 个主要阶段<sup>[10]</sup>。由于产品往往有一些不规则的自由曲面,在加工前必须对模型的这些曲面进行近似处理。在 3D 打印成型系统中,普遍采用的是 STL 文件格式,即用互相连接的小三角平面近似逼近曲面,每个三角形用 3 个顶点坐标和 1 个法向量来表示,三角形大小可按用户的要求进行选择,不同的三角形大小得到不同的曲面逼近精度,通过这样近似处理的方法得到三角模型表示的 STL 格式文件。当 3D 模型输入电脑以后,需要通过打印机配备的专业软件来进一步分层处理。

在该软件中可以对打印模型的参数进行设置,比如大小、方向、比例的缩放、切片的厚度等。CubeX 3D 打印机的配套软件可设置的层厚有 0.1 mm、0.25 mm、0.5 mm。对三维模型进行分层处理是 3D 打印技术的一个很重要的环节,无论是通过 CAD 造型软件还是通过逆向工程软件生成,都必须经过分层处理,才能将数据输入到 3D 打印机中。切片后的模型在软件中显示如图8所示。由分层后的截面形状驱动 3D 打印机硬件即可完成减速箱箱盖模型的三维成型。3D 打印使复杂的产品结构快速得到实物模型成为可能,同时使产品结构设计制造的一体化趋势更为显现<sup>[11]</sup>。通过逆向工程与 3D 打印的结合,可大大缩短新产品研制周期,降低新产品的研发成本,并便于实现按需订制,满足了人们对个性化产品的需求<sup>[12]</sup>。



图8 3D 打印软件中的模型分层处理

### 4 结束语

对基于三维数字化逆向建模的 3D 打印技术实验教学进行了研究,给出了对实物零件从原始数据的获取到三维 CAD 模型重建,最后实现 3D 打印的全过程,建立了逆向工程与 3D 打印相结合的实验教学新方法,并得出了以下结论:

(1) REVscan 扫描仪在逆向工程中获取点云数据方便快捷,操作简单,可以对实物进行任意自由度扫描,与3D打印技术相结合,有着较好的应用价值。

(2) 在实验教学中,实验中三大模块:数据采集、CAD 实体模型重构及3D打印技术,只给出了工作原理和操作流程,其具体的实验方案、实验内容则根据学生自己的兴趣选择实物完成从数据采集到3D打印整个过程。在实验过程中,让学生掌握从三维扫描到3D打印的常用方法,注重培养学生的实践能力和创新能力。

(3) 在实验中,把 REVscan、Geomagic Design Direct 和3D打印等新兴设备和技术综合运用到教学过程中,实验内容体现了先进制造技术的最新发展趋势,在现代工业技术中有良好的应用前景,顺应了产业界对人才培养的需求。

#### 参考文献(References)

[1] 付泽民,李延平. 基于 ATOS 测量系统快速原型制造技术的实验教

(上接第 29 页)

(1) 专业教师在课程实践环节中可以根据课程内容增加发散性练习,提高难度,激发学生的内部动机,从而提高学生的创新实践能力。

(2) 开设信息管理类专业的各高校,可以进一步探索小班制、研究小组式教育模式,例如通过减少班级人员数量,为学生配备导师和提前对国外高水平文献的阅读,以增强学生了解学科前沿知识和创新能力。目前,合肥工业大学通过让部分本科生提前进入研究所和以研究生为主的研究团队,参与科研项目和学术研究,取得了较好的效果。

(3) 教育主管部门在高校组织文化建设与引导上给予更多的政策与经费支持,各高校也应在文化建设的上逐步建立完整的制度保障体系,通过创新文化进一步驱动大学生创新实践能力的提升。

#### 参考文献(References)

- [1] 吴剑平. 对高校创新培养体系的初步探索[J]. 清华大学教育研究, 2000, 21(1): 88-91.
- [2] 胡延吉,梁红. 大学生和用人单位对毕业生能力期望的认知及其启示[J]. 高教研究, 2013(3): 1-6.
- [3] 孙纯学,高若宇. 高校综合性实验课程的开发[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(10): 128-130.
- [4] Mark Dodgson. Organizational learning: a review of some literature [J]. Organizational Studies, 1993, 14(3): 375-394.
- [5] 张小梯,赵嵩正. 组织文化、组织学习与企业知识集成能力的关系研究[J]. 情报杂志, 2009, 28(8): 112-115
- [6] 张国梁,卢小君. 组织的学习型文化对个体创新行为的影响: 动机的

学[J]. 实验室研究与探索, 2006, 25(12): 1520-1522.

- [2] 王月圆,杨萍. 3D 打印技术及其发展趋势[J]. 印刷杂志, 2013(4): 10-12.
- [3] 田运生,刘维华,王景春. 综合性设计性实验项目建设的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(2): 126-129.
- [4] 成思源,黎波,张湘伟. 基于 COMET 测量系统的逆向工程实验教学[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(11): 90-92.
- [5] 杨雪荣,何佳乐,成思源,等. 基于逆向工程技术的产品创新设计实验教学[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(10): 152-154.
- [6] 吴问霆,成思源,张湘伟,等. 手持式激光扫描系统及其应用[J]. 机械设计与制造, 2009(11): 78-80.
- [7] 成思源. 逆向工程技术综合实验[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [8] 成思源,杨雪荣. Geomagic Qualify 三维检测技术及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [9] 李青,王青. 3D 打印: 一种新兴的学习技术[J]. 远程教育杂志, 2013(4): 29-35.
- [10] 王灿才. 3D 打印的发展现状分析[J]. 丝网印刷, 2012(9): 37-41.
- [11] 张楠,李飞. 3D 打印技术的发展与应用对未来产品设计的影响[J]. 机械设计, 2013, 30(7): 97-99.
- [12] 鞠全勇,郑李明,凌秀军. 基于快速制造的产品创新设计[J]. 机电技术, 2012(5): 50-54.

中介作用分析[J]. 研究与发展管理, 2010, 22(2): 16-23.

- [7] 黄训江. 团队型组织中专家的最优配置策略[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2012, 33(3): 448-452.
- [8] Janz B D, Prasarnphanich P. Understanding the antecedents of effective knowledge management: The importance of knowledge-centered culture[J]. Decision Sciences, 2003, 34(2): 351-384.
- [9] 张兆芹. 个体学习、组织学习与学习型组织之辨析[J]. 比较教育研究, 2006(8): 44-48.
- [10] 陈国权,郑红平. 组织学习影响因素,学习能力与绩效关系的实证研究[J]. 管理科学学报, 2005, 8(1): 48-61.
- [11] Kim D H. The Link between Individual and Organizational Learning[J]. Sloan Management Review, 1993, 1(35): 37-50.
- [13] 杨智,刘新燕,万后芬. 国外组织学习研究综述[J]. 外国经济与管理, 2005, 26(12): 15-20.
- [14] 张剑,郭德俊. 创造性与环境因素关系的社会心理学理论[J]. 心理科学, 2003, 26(2): 263-267.
- [15] Amabile T M. Motivating creativity in organizations: On doing what you love and what you do[J]. California Management Review, 1997, 40(1): 39-58.
- [16] Cook S, Yanow D. Culture and Organizational learning[J]. Journal of Management Inquiry, 1993, 2(4): 373-390.
- [17] Amabile T M. Social psychology of creativity: A componential conceptualization[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1983, 45(2): 357-377.
- [18] Amabile T M. Creativity in context: Update to "the social psychology of creativity." [M]. Westview press, 1996.
- [19] 华丽. 文献检索课教学与大学生创新能力的培养[J]. 情报杂志, 2005, 24(5): 136-136.
- [20] Davis F, Bagozzi R, Warshaw P. User acceptance of user technology: a comparison of two theoretical models[J]. Management Science, 1989, 35: 982-1002.