

机电学院

054 系

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
1	聂军洪 周来水 张丽艳 安鲁陵	博士生 教 授 教 授 副教授	054	任意拓扑结构网络模型自适应调整和光顺算法	计算机辅助设计与图形学学报	2003.15.5
2	聂军洪 周来水 张丽艳 周儒荣	博士生 教 授 教 授 教 授	054	逆向工程技术研究及应用	机电工程	2003.20.2
3	张得礼 周来水	博士生 教 授	054	旋转锉四轴联动磨削运动建模和成型理论研究	东南大学学报	2003.33.3
4	吴 敏 周来水 张乐年 安鲁陵	博士生 教 授 副教授 副教授	054	基于ACIS的参数线法加工算法	江南大学学报	2003.2.1
5	吴 敏 周来水 王占东 安鲁陵	博士生 教 授 博士生 副教授	054	测量点云数据的多视拼合技术研究	南航学报	2003.2.1
6	吴 敏 周来水 安鲁陵	博士生 教 授 副教授	054	逆向工程中的多视定位算法研究	数据采集与处理	2003.18.3
7	刘巍巍 周来水	博士生 教 授	054	基于WEB的CAD/CAM系统负载均衡的研究	机械科学与技术	2003.22.5
8	王占东 周来水	博士生 教 授	054	基于非均匀数据细分曲面重建的数据测量技术研究	南航学报	2003.35.5
9	周 海 周来水 王占东 钟太平	博士生 教 授 博士生 硕士生	054	Loop细分曲面的自适应等距面生成算法与实现	机械科学与技术	2003.22.6
10	周 海 周来水	博士生 教 授	054	基于细分的逆向工程及其关键技术分析	机械设计与制造	2003.2

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
11	周 海 周来水 王占东 钟大平	博士生 教 授 博士生 硕士生	054	混合细分曲面尖锐 和半尖锐特征生成	南航学报	2003.35.6
12	任朴林 周来水 安鲁陵 吴 敏	硕士生 教 授 副教授 博士生	054	基于散乱数据截面 线的曲面重构算法 研究	中国制造业信息 化	2003.32.3
13	谭昌柏 周来水 安鲁陵	博士生 教 授 副教授	054	基于测量点的草图 平面与草图轮廓生 成算法研究	机械科学与技术	2003.22.6
14	谢兰生 陈明和 童国权 高 霖	副教授 副教授 教 授 教 授	054	开孔泡沫铝弹性性能 的各向异性研究	机械工程材料	2003.27.12
15	王春良 陈明和	硕士生 副教授	054	人工神经网络在板料 拉深成形中的应用研 究	航空精密制造技 术	2003.39.5
16	陈明和 谢兰生 左敦稳 王 珉	副教授 副教授 教 授 教 授	054	基于BP神经网络的 TC4钛合金超塑性变形 后组织及性能预测研 究	机械工程材料	2003.27.12
17	陈明和 周建华	副教授 高 工	054	热成形液压机自动控 制研究	金属成形工艺	2003.21.4
18	刘 浩 唐月红 廖文和	博士生 博士后 教 授	054	双二次NURBS曲面间 的最短距离	计算机辅助设计 与图形学学报	2003.15.10
19	鲁 泳 廖文和 黄 翔	博士生 教 授 教 授	054	零件库标准及其信息 建模技术的研究	机械科学与技术	2003.22.6
20	胡寅亮 黄 翔	硕士生 教 授	054	五轴联动数控机床的 后置处理方法	机械科学与技术	2003.22
21	王 琪 黄 翔 廖文和	博士生 教 授 教 授	054	专用机床夹具设计 及其知识库系统的研 究与应用	机械科学与技术	2003.22.2

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
22	周加宝 黄 翔	硕士生 教 授	054	倒角和锥度自动标注 在UG中的研究与实现	机械制造与自动 化	2003.5
23	黄 杰 黄 翔	硕士生 教 授	054	基于CATIA的明细栏 自动生成方法的研究	机械制造与自动 化	2003.3
24	赵立营 黄 翔	硕士生 教 授	054	基于CATIA的三维标 准库的研究与实现	机械制造与自动 化	2003.4
25	黄金临 黄 翔	硕士生 教 授	054	CBR在冷冲模CAD系 统中的应用	机械制造与自动 化	2003.4
26	葛友华 黄 翔	博士生 教 授	054	基于特征的工序图基 准装配法	中国机械工程	2003.14
27	黄 翔 方挺立	教 授 硕士生	054	A CAPP System Based on WEB and Successive Case Reasoning	第三届国际电子 工程会议	2003
28	黄 翔 阎崇京	教 授 助 教	054	跨零件特征造型技术 的研究	应用科学学报	2003.21.2
29	黄 翔 阎崇京	教 授 助 教	054	面向装配的跨零件特 征造型的模型表示与 实现	机械科学与技术	2003.22.3
30	黄 翔 李迎光 沈建新	教 授 博士生 副教授	054	面向行业应用CAD系 统关键技术的研究	中国机械工程	2003.14.23
31	黄 翔 万久团 曾 荣	教 授 硕士生 高 工	054	全息智能夹具三维标 准件库建立的研究	机械科学与技术	2003.22.2
32	黄 翔 刘光辉	教 授 硕士生	054	CAD标准工作方法的 研究	机械科学与技术	2003.22.1
33	黄 翔 晏志军 廖文和	教 授 硕士生 教 授	054	基于iMAN的CAPP系 统的设计与实现	机械科学与技术	2003.22.4
34	黄 翔	教 授	054	机械联接单元自适应 造型技术的研究	南理学报	2003.27.2

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
35	黄 翔 廖文和	教 授 教 授	054	Research on Virtual- Part-Based Connecting Element Modeling	机械工程学报 (英文版)	2003.16.1
36	庄海军 周儒荣 安鲁陵 周来水	副教授 教 授 副教授 教 授	054	实体模型的三轴数控 粗加工刀轨生成算法	计算机辅助设计 与图形学学报	2003.15.1
37	庄海军 余湛悦 安鲁陵 刘巍巍 周来水	副教授 博士生 副教授 博士生 教 授	054	基于Web的CAD/CAM 系统WebSuperman	计算机辅助设计 与图形学学报	2003.15.12
38	庄海军	副教授	054	关于CAD课程教学改 革的探索	南京工业职业技 术学院学报	2003.3.1
39	沈建新 胡利刚 廖文和	副教授 博士生 教 授	054	准分子激光切削角膜 的数学模型与切削技 术研究	激光生物学报	2003.12.1
40	沈建新 林振能 廖文和	副教授 博士生 教 授	054	准分子激光切削角膜 机理及其应用	应用激光	2003.23.1
41	沈建新 廖文和 周儒荣	副教授 教 授 教 授	054	模具CAPP系统开发的 关键技术研究	模具工业	2003.5
42	沈建新	副教授	054	CAD教学与学生创新 设计能力的培养	东南大学(社科 版)	2003. 1
43	沈建新 周儒荣	副教授 教 授	054	产品全生命周期管理 系统框架及关键技术 研究	南航学报	2003.35.5
44	沈建新 周儒荣 廖文和	副教授 教 授 教 授	054	准分子激光人眼像差 矫正系统的研究	中国生物医学工 程学报	2003.22.5
45	沈建新 周儒荣	副教授 教 授	054	准分子激光与角膜组 织的相互作用及在屈 光矫正中的应用	量子电子学报	2003.20.5

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
46	沈建新 胡利刚 张运海 林振能	副教授 博士生 博士生 博士生	054	准分子激光矫正屈光不正的原理及其实现	南航学报	2003.35.6
47	沈建新 张运海 胡利刚 廖文和	副教授 博士生 博士生 教 授	054	人眼角膜数学模型的研究及在屈光矫正中的应用	生物医学工程学杂志	2003.20.4
48	沈建新 周儒荣	副教授 教 授	054	基于MRP/ERP企业电子商务关键技术研究 与实现	南航学报 航空 百年学术论坛会	2003.35.6
49	张运海 沈建新 廖文和	博士生 副教授 教 授	054	准分子激光矫正复性近视散光的屈光学机理及应用	光学精密工程	2003.11.3
50	张运海 沈建新 胡利刚 廖文和	博士生 副教授 博士生 教 授	054	LASIK 和 PRK术中角膜数学建模	中国生物医学工程学报	2003.22.4
51	林振能 沈建新 廖文和	博士生 副教授 教 授	054	小光斑准分子激光切削角膜方式的研究	激光杂志	2003.24.2
52	林振能 沈建新 廖文和	博士生 副教授 教 授	054	193nm准分子激光及超短脉冲激光角膜切削	应用激光	2003.23.6
53	林振能 沈建新 廖文和	博士生 副教授 教 授	054	193nm准分子激光切削角膜的研究	激光杂志	2003.27.6
54	叶 寒 沈建新 廖文和	博士生 副教授 教 授	054	准分子激光屈光矫正系统设计与实现	应用激光	2003.23.3
55	乔增伟 沈建新 廖文和	博士生 副教授 教 授	054	准分子激光人眼角膜矫正系统的研究	淮阴工学院学报	2003.12.1
56	周石林 廖文和 王 琪	博士生 教 授 博士生	054	平面非规则曲线匹配的一个判定条件	南航学报	2003.35.5
57	陈夏初 徐 琪	副教授 教 授	054	供应链订单过程 workflow 协调重组	南航学报	2003.35.4

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
58	平雪良 周儒荣	博士生 教 授	054	灰色系统理论及其在 过程中的应用	南京工业职业技 术学院学报	2003.3.4
59	平雪良 周儒荣 安鲁陵	博士生 教 授 副教授	054	逆向工程技术及其应 用	科技与经济	2003.16.2
60	平雪良 周儒荣 刘胜兰 安鲁陵	博士生 教 授 讲 师 副教授	054	A New Automati'c Measuring Plan of CMM Based on the Data Obtained Using An Optical Method	第三十二届计算 机与工业工程国 际会议	2003.1
61	平雪良 周儒荣 党耀国 安鲁陵	博士生 教 授 副教授 副教授	054	A Real-time Online Grey Prediction Model for CMM Measuring	第三十二届计算 机与工业工程国 际会议	2003.2
62	平雪良 周儒荣 安鲁陵	博士生 教 授 副教授	054	Application of Grey System Theory to Processing of Measuring Data in Reuerse Engineering	南航学报(英文 版)	2003.20.1
63	李迎光 周儒荣 黄 翔 廖文和	博士生 教 授 教 授 教 授	054	动态扩充的零件库系 统的研究与开发	机械科学与技术	2003.22.3
64	王小平 周儒荣	博士后 教 授	054	平面参数曲线周期性 形状修改与变形	西北工业大学学 报	2003.21.2
65	王小平 周儒荣	博士后 教 授	054	R13混合型曲面保主曲 率等距变形	数学研究与评论	2003.23.2
66	崔耀东 周儒荣 廖文和	博士生 教 授 教 授	054	制造企业信息系统应 用水平评价方法	南理工学报	2003.27.1
67	崔耀东 周儒荣 廖文和	博士生 教 授 教 授	054	一种选择制造业信息 系统应用的决策模型	控制与决策	2003.18.1
68	陈文亮 曾建江	副教授 讲 师	054	An Approach to Gouging Avoidance for Sculptured Surface Machining	Journal of Materials Processing Technology	2003.138

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
69	李嘉骏 陈文亮 翟建军	硕士生 副教授 副教授	054	基于Net的可视化协同 设计系统	机械制造与自动 化	2003.3
70	程志远 陈文亮 翟建军	硕士生 副教授 副教授	054	基于Voronoi图的型腔 加工刀具轨迹生成算 法	先进制造技术	2003
71	陈 军 陈文亮 翟建军	硕士生 副教授 副教授	054	基于WEB的数控加工 仿真研究	机械制造与自动 化	2003.6
72	汝 奕 陈文亮 翟建军	硕士生 副教授 副教授	054	钣金模具工艺过渡面 的设计方法	机械制造与自动 化	2003.1
73	严小平 陈文亮 翟建军	硕士生 副教授 副教授	054	基于XML的远程CAD 系统开发和实现	机械制造与自动 化	2003.1
74	孙立波 陈文亮 翟建军	硕士生 副教授 副教授	054	复杂曲面的四边形网 格生成算法	机械制造与自动 化	2003.1
75	于笑丰 陈文亮 翟建军 周 良 丁秋林	硕士生 副教授 副教授 讲 师 教 授	054	基于CORBA的全生命 周期夫力资源管理系 统研究	机械制造与自动 化	2003.1
76	郭永涛 陈文亮 翟建军	硕士生 副教授 副教授	054	基于EJB的刀具库管理 信息系统的研究	机械制造与自动 化	2003.6
77	刘胜兰 周儒荣 张丽艳	讲 师 教 授 教 授	054	三角网格模型的特征 线提取	计算机辅助设计 与图形学学报	2003.15.4
78	刘胜兰 周儒荣 安鲁陵	讲 师 教 授 副教授	054	三角网格模型的数据 分块算法	南航学报	2003.35.6
79	张丽艳 吴 熹	教 授 硕士生	054	三角网格模型上任意 两点间的近似最短路 径算法研究	计算机辅助设计 与图形学学报	2003.15.5

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
80	张丽艳 周儒荣 周来水	教 授 教 授 教 授	054	Model Reconstruction from Cloud Data	Journal of Materials Processing Technology	2003.138.1- 3
81	刘长毅 廖文和	讲 师 教 授	054	非计算机专业研究生 软件开发技术课程教 学初探	南航学报(社科 版)	2003.5.23
82	刘长毅 张格伟 李振林 廖文和	讲 师 博士生 硕士生 教 授	054	制造业信息化环境下 CAPP集成接口的设计 与实现	中国制造业信息 化	2003.32.12
83	刘长毅 张格伟 邱飞燕 廖文和	讲 师 博士生 硕士生 教 授	054	组件结构的可集成 CAPP系统的开发	中国机械工程	2003.14.24
84	刘长毅 廖文和	讲 师 教 授	054	CSD中采用改进遗传 算法的实例修改	机械科学与技术	2003.22(增 刊)
85	郭 宇	讲 师	054	基于混合遗传算法的 离散事件系统仿真优 化方法研究	中国机械工程	2003.14.7
86	郭 宇	讲 师	054	一种面向车间物流模 型的仿真优化方法	小型微型计算机 系统	2003.24.12
87	郭 宇	讲 师	054	A New Simulation Optimisation System for the Parameters of a Machine Cell Simulation Model	TheInternational Journal of Advanced Manufacturing Technology	2003.21.6
88	孙全平 廖文和	博士生 教 授	054	基于摆线的高速铣削 刀轨生成算法研究	机械制造	2003.5
89	孙全平 廖文和	博士生 教 授	054	一种高速铣削刀轨优 化算法的研究与实现	淮阴工学院学报	2003.12.1
90	孙全平 何 磊 廖文和	博士生 工程师 教 授	054	Cimatron 软件的应用 与研究	机械制造与自动 化	2003.2
91	盛 亮 廖文和	博士生 教 授	054	基于设计模型的实体 数控仿真验证技术的 研究	机械科学与技术	2003.22.5

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
92	盛 亮 廖文和	博士生 教 授	054	实体数控车削仿真关键技术的研究	中国机械工程	2003.14.18
93	盛 亮 廖文和	博士生 教 授	054	数控加工物理仿真关键技术初探	系统仿真学报	2003.15.5
94	包金字 廖文和 薛善良	博士生 教 授 博士后	054	虚拟样机技术初探	机械制造与自动化	2003.6
95	戴 宁 廖文和	硕士生 教 授	054	基于实体的数控车削碰撞仿真的研究与应用	中国制造业信息化	2003.3
96	戴 宁 廖文和	硕士生 教 授	054	通用回转类零件三维快速自动重构技术的研究与实现	机械科学与技术	2003.22(增刊)
97	刘大峰 廖文和	硕士生 教 授	054	泵盖零件的3D设计与NC加工	机械制造与自动化	2003.2
98	刘大峰 廖文和	硕士生 教 授	054	供应链管理的关键技术	机械制造与自动化	2003.5
99	李振林 廖文和 刘长毅 邱飞燕	硕士生 教 授 讲 师 硕士生	054	XML在企业信息化套装软件BOM中的应用	中国制造业信息化	2003.32.5
100	薛善良 叶文华 廖文和	博士后 教 授 教 授	054	面向敏捷制造的POM总体结构研究	计算机集成制造系统__CIMS	2003.9.8
101	张东民 廖文和	博士生 教 授	054	An Application of Real-coded Genetic Algorithm to Mechanical Optimization Design	ICAM 2003论文集	2003

● CAD/CAM 专栏 ●

逆向工程技术研究及应用

聂军洪, 周来水, 张丽艳, 周儒荣

(南京航空航天大学 CAD/CAM 工程研究中心, 江苏 南京 210016)

摘要: 论述了逆向工程的意义、应用、坐标数据测量、基于测量数据的模型重建等问题。结合工程应用, 给出了某种型号摩托车的坐标数据采集方法, 并给出了部分零部件及整车外形的 CAD 模型重建结果。

关键词: 逆向工程; 模型重建; 坐标测量

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2003)02-0001-04

Research and Applications of Reverse Engineering

NIE Jun-hong, ZHOU Lai-shui, ZHANG Li-yan, ZHOU Ru-rong

(Research Center of CAD/CAM Engineering, Nanjing University of Aero. & Astro., Nanjing 210016, China)

Abstract: The critical problems in reverse engineering, coordinate measuring and model reconstruction, are addressed in this paper. The coordinate digitizing strategy of one type of motorcycle together with the reconstructed model of the motorcycle, which serve as practical examples, illustrate the procedure and capability of reverse engineering technique.

Key words: reverse engineering; model reconstruction; coordinate measuring

1 前言

随着参数化特征造型技术的发展, 目前一般的用于正向设计的机械 CAD/CAM 得到了较好的解决。但在许多特殊领域, 如产品仿制、模具快速制造、三维服装设计、玩具设计、三维动画、艺术品制作、动植物模拟、人体器官复制、地形测量与数字化再现等, 利用普通的造型手段往往难以很好地解决问题, 因而迫切需要造型方法、设计手段的丰富和发展。这给设计和造型手段提出了新的课题和挑战, 但同时也提供了更广阔的发展空间。

逆向工程是数字化与快速响应制造大趋势下的一项重要技术, 是 CAD 领域中一个相对独立的范畴。文献^[1]将逆向工程简单地定义为“理解原始的设计意图和机制”, 包括形状、材料、工艺等诸多方面。目前有关逆向工程的研究和应用大多数针对实物模型的几何形状的反求, 在这个意义下, 逆向工程是根据已有实物模型的坐标测量数据, 重新建立实物的数字化模型, 而后进行分析、加工等处理。这里的实物模型可以是机械产品、人体、动植物、艺术品、地形地貌等等^[1]。通过实物模型产生其数字化模型, 可以充分利用数字化的优势, 提高设计、制造、分

析的质量和效率, 并适应智能化、集成化、并行化、网络化的产品设计制造过程中的信息存储与交换。逆向工程将现代坐标测量设备作为产品设计的前置输入装置和原型或产品制造后的检测手段, 与 RPM (快速原型制造)、CAD/CAM (计算机辅助设计与制造) 相结合并形成产品设计制造的闭环系统, 将有效提高产品的快速响应能力, 丰富几何造型方法和产品设计手段, 其关键技术可用于其他许多领域, 从而拓宽计算机辅助建模的应用。

逆向工程并不限于样件复制, 其目标是实现一种智能化的三维扫描识别重建系统。对于二维的情况, 图文扫描识别系统不同于一般的复印机在于图文扫描识别系统允许对识别后的图文进行增加、删除、修改, 可以输出文本文件和图形结构。类似地, 三维扫描识别系统不仅要获得物体的基本数据, 而且要对数据进行必要的处理, 建立相应的计算机模型, 允许对该模型的体积和面积等物理特性计算进行分析、修改等等。

2 逆向工程的应用

逆向工程有着十分广泛的应用, 可归纳为以下几个方面:

收稿日期: 2002-09-12

修订日期: 2003-01-09

基金项目: 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划、江苏省青年科技基金项目 (BQ2000004) 和江苏省自然科学基金项目 (BK2001408)。

作者简介: 聂军洪 (1977-), 男, 江西景德镇人, 南京航空航天大学机电学院博士研究生, 主要研究方向为逆向工程、计算机图形学。

(1) 由于种种原因,有时在只有样件,没有样件图形文档的情况下需要对样件进行有限元分析、备件加工、模具制造或者需对样件进行修改,考察修改后的样件与其他零件间的装配协调性等等,这都需要利用逆向工程手段将实物模型转化为 CAD 模型从而提高设计制造的自动化程度。

(2) 逆向工程的另一类重要应用是对外形美学要求较高的零部件的设计。例如在汽车工业,外形设计师仍然经常要制作全尺寸的木质或黏土模型,因为要在二维的尺寸大大缩小了的计算机屏幕上完成这样高要求的三维复杂外形设计是非常困难的。当实物模型制作好以后,就需要通过测量设备输入到计算机辅助设计系统中,以便进行设计和后续的各种操作。

(3) 逆向工程在单件产品快速定制生产中也可以发挥其独到的作用。例如,每一个人体都是不同的,采用先进的扫描设备和先进的模型重建软件,可以快速建立人体的数字化模型,从而可以设计制造诸如头盔、假发套、服装等产品,并使这些产品完全适合每一个不同的客户。目前,这方面的研究和应用仍处于初级阶段,但在当今这个追求完美与个性化的时代,可以预见此项研究将极具发展前景。人体计算机模型的建立对于人机工程学等领域也将起到非常重要的推动作用。

(4) 将逆向工程与快速原型制造(RPM)相结合,组成产品设计、制造、检测、修改的闭环系统,实现快速的测量、设计、制造、再测量修改的反复迭代,高效率完成产品的初始设计。将逆向工程与快速原型制造(RPM)相结合,还可以将三维物体方便可靠地“读入”、“传输”,并在异地重新生成,即实现所谓的“三维传真”。

(5) 逆向工程的另一重要应用领域是计算机辅助检测。成品的精度检验是企业进行质量控制的重要手段,然而复杂形状产品的检验往往非常困难,需要大量的时间和人力。利用自动测量设备,可以快速采集到零件的大量数字化点,将这些坐标点读入计算机,就可以通过软件自动分析测量到的数据点与理论模型间的误差。分析结果可用报告形式输出,也可以在理论模型上绘制误差彩色云图(即用不同的颜色标识不同的误差值),使零件各部位的制造精度一目了然。

另外,在医学领域,利用层析 X 射线(Computerized Tomography, CT)及核磁共振(Magnetic Resonance

Imaging, MRI)等设备采集病变部位的外形数据,然后进行三维数字化模型重建,可以为疾病的确定与诊断提供重要依据。另外,通过对患者骨骼、关节、牙床等的测量,建立相应的计算机模型,可以使假肢制造、牙齿镶复更加具有针对性,更符合具体患者的需求。在地理信息领域,利用现代的卫星遥感测量技术,对大地遥测数据进行特征识别和建模,可以建立三维数字化真实感地形图、快速生成导弹目标的自适应跟踪轨迹等。利用声纳测量设备,可以获得海底及港口的地下形貌数据,利用几何模型重建技术,将十分有利于资源利用、海底作业、海上交通、港口建设等。对于一些具有十分复杂外形的物体,如动物、植物、玩具、艺术品等,用目前普通的 CAD 软件,还很难满足形状设计的要求,常常要先制作手工模型,然后运用逆向工程将实物模型转化为 CAD 模型。这一类计算机模型的建立对电影动画(特技)制作带来了革命性的影响。

3 逆向工程中的数据采集技术

坐标数据采集是逆向工程中的第一个环节,是数据处理、模型重建的基础。高效率、高精度地采集样件的外形数据是逆向工程的一个重要研究内容。随着科学技术的不断发展,测量技术也随着新的物理原理、新的技术成就的不断引入而获得长足发展,光波干涉技术特别是激光技术的实用化使得测量精度提高了 1~2 个数量级;数字显示技术在测量上得到了充分的应用,提高了读数精度和可靠性;光电摄像技术与计算技术的结合,使得对复杂零件的测量无论是精度还是效率都得到了极大的提高。目前,主要的坐标测量方法分类,如图 1 所示。

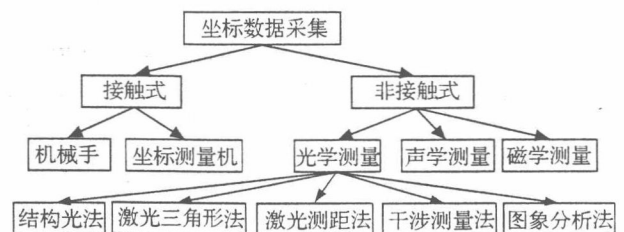


图 1 坐标测量方法分类

由图 1 可见,坐标测量可分为接触式测量和非接触式测量两大类。接触式测量方法通过传感测量头与样件的接触而记录样件表面的坐标位置,可以细分为点触发式和连续式数据采集方法。接触式测量的精度一般较高,应用最广泛的接触式测量是坐标测量机(CMM)。点触发式测量的缺点是测量效率较低,优点是可以通过人为规划,使得在大曲率或

曲率变化剧烈的区域获得较多的测量点,而在相对平坦的区域则可以测量较少的点,可以结合造型方法,人工对被测物体进行区域规划,测量对物体形状起关键作用的特征线和曲线网格,数据点可以根据需要组织成模型重建软件所需要的形式,然后根据特征线及曲线网格重建物体的 CAD 模型,减少数据处理的难度和工作量。

非接触式测量方法主要是基于光学、声学、磁学等领域中的基本原理,将一定的物理模拟量通过适当的算法转化为样件表面的坐标点。例如:声纳测量仪利用声音遇到被测物体产生回声的时间计算点与声源间的距离;激光测距法是将激光束的飞行时间转化为被测点与参考平面间的距离;图象分析法是利用一点在多个图象中的相对位置,通过视差计算距离,从而得到点的空间坐标;激光三角形法利用光源与影象感应装置(如摄像机)间的位置与角度来推算点的空间坐标;结构光法将一定模式的光,如条形光、栅格状光,投射到被测物体表面,并捕获光被曲面反射后的图象,通过对图象的分析获得三维点坐标。结构光法与图象分析法的主要不同是该方法需要投射具有一定模式的人工光源,这种方法中最典型的是 Moire 干涉条纹法。非接触式测量使测量效率得到了极大提高,某些光学测量机可以在数秒钟内得到几十万个数据点,因而在测量过程中可以大大减少人工测量规划,在整个样件表面快速采集大量的密集点集。这样既简化了测量过程,减少了测量人员的工作,而且可以得到包含被测物体更多细节的海量数据。但海量数据的数据量非常庞大,常有几十万、上百万甚至更多的测量点。过于庞大的测量点集,会严重影响曲面重建算法的效率,给数据处理和模型重建带来了很大的困难,往往需要通过特定的算法对经过采样的数据进行简化。另外,整体测量得到的海量数据一般是散乱的,而且一般并不显式地包含特征信息,如尖角、棱边,这就需要通过相应的软件进行数据分片和特征提取。

各种测量方法都具有各自的优点和弱点,但总体来说,由于在精度与测量速度方面具有明显的综合优势,基于光学的坐标测量设备目前在逆向工程中得到了广泛的应用。

4 逆向工程中的模型重建

模型重建是逆向工程中最关键的部分之一^[1]。为了适应测量设备硬件发展的迫切需求,同时也由于模型重建问题具有相当的难度和复杂性,因而这

一问题的研究得到了美国、加拿大、欧洲各国等许多国家学者的高度重视。

基于测量数据的模型重建研究按处理的数据对象可分为有序数据的模型重建和散乱数据的模型重建。有序数据是指测量点集不但包含了点的坐标位置,而且还包含了测点的数据组织形式,如数据点是按拓扑矩形点阵进行排列,或者是分层组织的轮廓数据,还有按特征线、面测量的数据等。散乱数据则指除坐标位置以外,测量点集中不隐含任何的数据组织形式,测点之间没有给定任何关系,而要凭借模型重建算法自动识别和建立。有序数据的模型重建充分利用了测点数据的组织形式,算法具有针对性,可以简化计算,提高效率。但这类模型重建方法只能处理某种数据。一般来说,测量机一次测得的数据往往有一定的数据组织形式,但许多模型的测量都要靠多视点测量数据的拼合来完成。经过坐标转换与拼合的数据,整体上一般就不再保留原来的数据组织规律。

测量数据的模型重建研究按重建后曲面的不同表示形式可大体分为两大类:一类是建立由众多小三角平面片组成的分片线性的三角网格曲面模型^[2-3],另一类是建立 B 样条曲面模型^[4-6]。在计算机视觉、计算机动画、医学中的图象重建等领域中进行的研究,一般采用三角化逼近模型,主要目的是为了产生一定的视觉效果。另外,三角网格模型在与 RPM(快速原型制造)集成方面也更为方便。为了产生与普通 CAD 系统兼容一致的数字化模型,以使重建后的模型能像普通 CAD 模型一样进行交互修改、数控编程等,同时也是为了满足连续性、光顺性的要求,工程设计领域中进行的研究常采用 B 样条曲面模型。B 样条曲面是通用 CAD 系统中曲面表示的标准形式,在 CAD 领域具有不可替代的重要地位。但 B 样条曲面是一种张量积曲面,本身具有四边形拓扑,对复杂拓扑形状的表达不够灵活,对不同测量数据的适应性较差,曲面的自动分片以及各曲面片间的光滑连接较为困难。为了充分利用三角网格模型和 B 样条曲面模型的优势,同时弥补各自的不足,实现两者间的优势互补,本文研究了基于海量测量数据的三角网格模型重建,并在此基础上通过对三角网格模型的自动分片,实现分片光滑的 B 样条曲面拟合,从而沟通三角网格模型与 B 样条曲面间的联系,取得了较好的效果^[7]。

除此之外,三角域的曲面插值方法、神经网络方

法、变形曲面造型方法也被用于逆向工程中的曲面重建。

5 应用实例

在对逆向工程中的数据采集及模型重建技术进行深入研究的基础上,将该项技术应用于工程实践。某摩托车的整车外形测量数据,如图 6 所示。测量数据通过人工布点规划,用机械点接触式坐标测量机采集而得。考虑到重建零部件的装配性要求以及摩托车覆盖件在拆卸状态下有较大变形等问题,对整辆摩托车在不拆卸状态下,对所有可见的外形部分进行测量。测量的所有数据都在一个共同的车辆坐标系下。由于摩托车整体上呈左右对称形式,因此首先通过测量得到摩托车的对称线,后续测量只在整车中心线的一侧进行。除了可见的外形部分之外,整车测量还要完成可见的定位点的测量,作为零件重建以后整车装配的依据。模型重建则基本上是根据测量数据点先构造特征线和截面线,并对曲线做光滑处理,在构造曲线的基础上综合利用曲面造型、修改、编辑等功能,完成摩托车整车外形的 CAD 模型重建。图 2 和图 4 是部分零部件的测量数据,图 3 和图 5 是相应的重建模型,图 7 是重建的摩托车的整车外形 CAD 模型。图 8 是利用激光扫描仪测得的割草机外形散乱数据集(共 103,904 个数据点),图 9 是重建后的 CAD 模型。



图 2 挡风板的测量数据

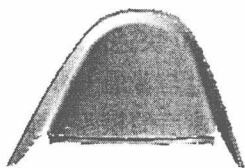


图 3 挡风板的重建模型



图 4 坐垫的测量数据

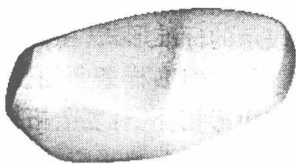


图 5 坐垫的重建模型

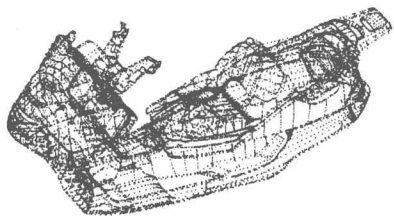


图 6 整车外形测量数据集

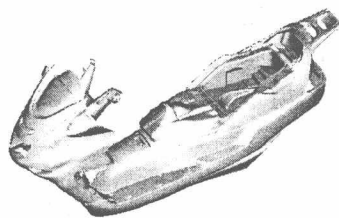


图 7 整车重建模型

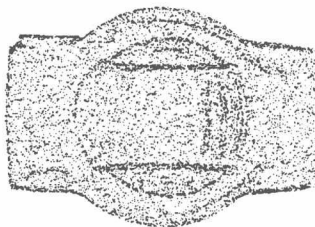


图 8 割草机外形测量数据集

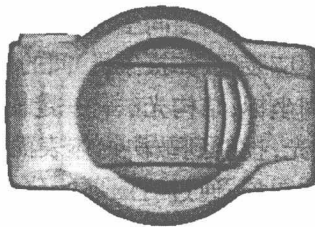


图 9 割草机重建模型

6 结论

利用逆向工程技术可以使现代企业充分利用已有的设计制造成果,充分利用数字化设计制造带来的极大便利。

实践证明,逆向工程技术的研究和应用给企业带来了良好的技术经济效益。

参考文献

- [1] T. Várady, R. Martin, J. Cox. Reverse Engineering of Geometric Models—an Introduction[J]. Computer-Aided Design, 1997, 29(4): 255 ~ 268.
- [2] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp. Surface Reconstruction from Unorganized Points [J]. Computer Graphics (SIGGRAPH'92 Proceedings), 1992, 26(2): 72 ~ 78.
- [3] X. Chen. Surface Modeling of Range Data by Constrained Triangulation[J]. Computer-Aided Design, 1994, 26(4): 632 ~ 645.
- [4] 张乐年, 周来水, 周儒荣. 基于矩阵变换和混合方法的扫描曲面[J]. 南京航空航天大学学报, 1996, 28(5): 644 ~ 650.
- [5] H. Hoppe, M. Eck. Automatic Reconstruction of B-spline Surfaces of Arbitrary Topological Type [A]. Computer Graphics Proceedings. SIGGRAPH 96 New Orleans [C]. Louisiana, 1996: 325 ~ 334.
- [6] B. Guo. Surface Reconstruction: from Points to Splines[J]. Computer-Aided Design, 1997, 29(4): 269 ~ 277.
- [7] 张丽艳. 逆向工程中模型重建关键技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2001.5

旋转锉四轴联动磨削运动建模和成型理论研究

张得礼 周来水

(南京航空航天大学机电学院, 南京 210016)

摘要: 在实验的基础上,研究了旋转锉刀刃曲线的成型原理,建立了旋转锉刀刃曲线的数学模型,分析了旋转锉四轴联动 CNC 磨削运动的特点,用静态的方法建立了柱形、锥形、弧形、椭圆形、球形等基本外形旋转锉简单而实用的加工模型;最后给出了由基本外形组合而成的复杂外形旋转锉加工实例.实验证明该模型是正确的,并且该模型已得到应用.

关键词: 旋转锉;刀磨;模型;四轴联动

中图分类号: TH16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0505(2003)03-0324-04

Research on grinding modeling and forming theory for 4-axis gang control of rotary burrs

Zhang Deli Zhou Laishui

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautic and Astronautic, Nanjing 210016, China)

Abstract: Based on experiments, the forming theory about cutting-edge curves of rotary burrs is studied, the related mathematical model is constructed and the motion characteristics are also analyzed. Using a static method, the authors develop some simple practical grinding models, such as cylindrical shell, taper, arc, ellipse, etc. Then the complex shapes composed of these basic ones are given out together with their machining examples. These models have been proved by experiment and applied in practice.

Key words: rotary burrs; grinding motion; models; 4-axis gang control

旋转锉是轮廓外形特殊的回转面刀具,有柱形圆头、锥形圆头、弧形圆头、椭圆形、火炬形等,它广泛应用于模具加工和钳工作业中,但因其加工外形复杂,品种较多,所以加工比较困难,采用传统手工操作来刃磨,效率低,成本高而且质量难以保证.采用多坐标数控工具磨床则可实现旋转锉的高质量、高效率、多品种刃磨加工.

常规的旋转锉的四坐标加工是根据齿顶包络面和其上每点的磨削深度动态确定齿底曲线;然后再根据齿底曲线来计算加工坐标,这样计算过程复杂,影响系统响应时间,特别是齿顶包络面为二次曲面,如椭圆旋转锉,其椭圆的曲率半径和曲率中心都是变化的,加工坐标计算更加复杂.

本文在实验的基础上,主要研究了旋转锉刀刃曲线的成型原理、旋转锉四轴联动 CNC 磨削运动

的特点,用静态的方法建立了基本外形旋转锉简单而实用的加工模型.实验证明本文提出的方法和模型是正确的,并且在实践中已得到应用.

1 旋转锉刀刃曲线的数学模型^[1,2]

图1所示为旋转锉表面, p 为切削刃上的任意点,该点的坐标可表示为

$$x_p = x_p, y_p = r_p \cos \varphi, z_p = r_p \sin \varphi \quad (1)$$

式中, r_p 为 P 点的回转半径; φ 为半径线相对于 xoy 平面的偏转角,根据微分几何关系得:

$$\frac{d\varphi}{dx_p} = \frac{\tan \beta}{r_p} \sqrt{1 + \left(\frac{dr_p}{dx_p}\right)^2} \quad (2)$$

式中, β 为切削刃的螺旋角.

如果将式(1)中 x_p, r_p, φ 分别换成 $x_{p1}, r_{p1}, \varphi_1$,则为刀刃1的曲线坐标;如果分别换成 $x_{p2}, r_{p2}, \varphi_2 + \theta + 2\pi/Z$,则为与之相邻的刀刃2的曲线方程.其中, Z 为刀齿数.当工件绕自身轴线回转 θ 角后, φ 应分别换成 $\varphi_1 + \theta, \varphi_2 + \theta + 2\pi/Z$.

收稿日期: 2002-12-18.

基金项目: 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目.

作者简介: 张得礼(1973—),男,博士生;周来水(联系人),男,教授,博士生导师.

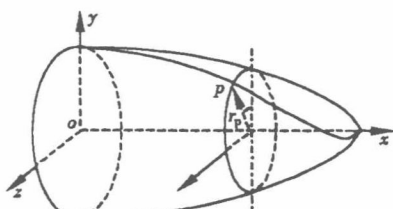


图1 旋转锉刀曲线的数学模型

2 四坐标加工坐标系的设置^[3]

图2所示为碟形砂轮加工旋转锉刀示意图,需建立2个坐标系:

1) 游动坐标系 $o_p x_p y_p$, 坐标系原点 o_p 在工件端面回转中心;

2) 加工坐标系 $oxyCA$, o 在工件回转中心, 初始状态 x, y 轴分别平行 x_p, y_p 轴, x 为工件轴线方向运动坐标, y 为砂轮相对工件径向的运动坐标, C 为工件摆动角, A 为工件回转角. 下面求各个形状的旋转锉刀磨运动模型:

1) 工件相对 C 轴回转中心可以任意安装, 设变量 B 来调整工件与 C 轴回转中心的位置, 这样在工件安装时, 就不必考虑工件相对 C 轴回转中心的精确定位, 只要测出安装后工件与 C 轴回转中心的相对坐标值 B 即可;

2) 对于不同的数控机床, C 轴回转中心位置各异, 通过 B 的调整, 也可使本文的算法适用不同的数控机床.

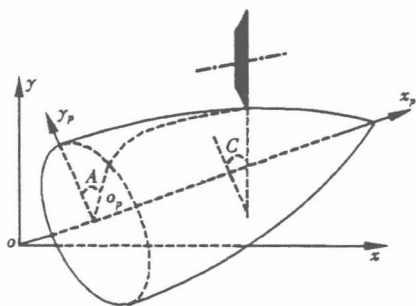


图2 碟形砂轮加工旋转锉刀示意图

3 柱形旋转锉四坐标刀磨运动模型

柱形旋转锉齿顶螺旋线的包络面为柱面, 其齿底螺旋线的包络面也为柱面, 从图3可看出, $r_p = y_p = R$, R 为齿顶圆柱的半径, 以 x_p 为基准坐标, 结合式(2)可推导出齿底螺旋线有如下坐标关系:

$$C = 0, x = x_p - B, y = y_p - h = R - h$$

$$A = \varphi = \frac{\tan \beta}{R - h} x_p$$

式中, B 为 o 点在 $o_p x_p y_p$ 坐标系下的坐标值; h 为磨

削深度.

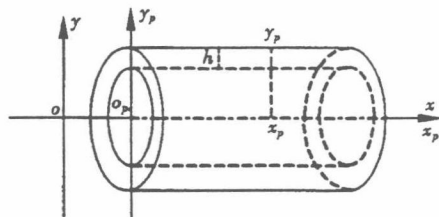


图3 柱形旋转锉螺旋线的包络面及其坐标系

4 椭圆旋转锉四坐标刀磨运动模型

用碟形砂轮磨削时, 为保证获得齿顶为椭球面螺旋线, 齿底必须也为椭球面螺旋线. 根据这一结论, 可方便地导出精确加工椭圆旋转锉的四坐标加工坐标, 具体算法如下:

椭圆旋转锉齿顶螺旋线的包络面为椭球面, 相应地, 其齿底螺旋线的包络面也为椭球面, 图4为过2个椭球回转中心的截面与2个球面的交线而形成的2个椭圆, 把它们分别称为齿底椭圆和齿顶椭圆, 由图可知, 齿顶椭圆和齿底椭圆的对称中心一致, 且它们的长轴相等, 短半轴长之差为齿顶椭圆最高点的磨削深度 h , 如齿顶椭圆在游动坐标系 $o_p x_p y_p$ 中的方程为

$$\frac{(x_p - L + a)^2}{a^2} + \frac{y_p^2}{b^2} = 1$$

则齿底椭圆在游动坐标系 $o_p x_p y_p$ 中的方程为

$$\frac{(x_p - L + a)^2}{a^2} + \frac{y_p^2}{(b - h)^2} = 1 \quad (3)$$

式中, a 为齿顶椭圆的长半轴长; b 为齿顶椭圆的短半轴长; L 为起始加工端面到加工终端端面的距离.

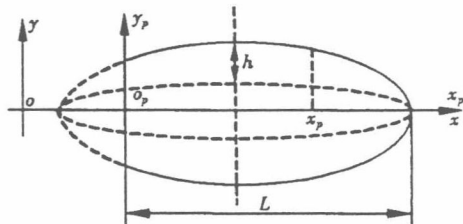


图4 椭圆旋转锉螺旋线包络面的截面及其坐标系

由于齿顶椭圆最高点的法向量与 x_p 轴垂直, 而且绕 x 轴的回转半径 $R = b$, 所以很容易得到齿顶椭圆最高点的磨削深度 h . 由以上分析可得出, 只要给定齿顶椭圆的外形尺寸和计算出齿顶椭圆最高点的磨削深度 h , 而无需动态地求出每一点的加工深度, 就可导出齿底椭圆的加工坐标方程(3).

设 $r_p = y_p = (b - h)/a \sqrt{a^2 - (x_p - L + a)^2}$, 由 $\tan C = -dy_p/dx_p = (b - h)^2(x_p - L + a)/(a^2 y_p)$,