

先进成形技术

Advanced Forming Technology

——2005 两岸三地先进成形与模具技术研讨会论文集

2005 Cross-Strait Academic Workshop
on Advanced Technology
of Materials Forming and Die/Mold
(AWATMFDM'05)

主 编 卢秉恒

副主编 郭 成



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

先进成形技术

Advanced Forming Technology

—— 2005 两岸三地先进成形与模具技术研讨会论文集

2005 Cross-Strait Academic Workshop
on Advanced Technology
of Materials Forming and Die/Mold
(AWATMFDM'05)

主 编 卢秉恒

副主编 郭 成

TB3-53
L1



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 西安 ·

内容简介

本书是第二届两岸三地先进成形和模具技术研讨会论文集。本次会议是一次学术与应用紧密结合的研讨会,邀请了大陆与台湾、香港、澳门地区的著名教授、专家作有关专题报告。与会代表就先进成形和模具技术领域出现的新概念、新技术进行充分的沟通与交流,共同研究解决问题的新方法、新途径和新工艺,并期望通过此次会议进一步提高我国大陆和台湾、香港、澳门地区模具设计制造、板料冲压成形、注塑成形和快速成型制造技术的学术与应用水平。本书旨在通过学术交流探索材料成形和模具技术的发展趋势,通过对已有成果的总结和评述剖析关键的学科前沿问题,捕捉新的学科生长点。

本书收录了有关先进成形与模具技术领域的论文 80 余篇。内容涉及快速原型技术、模具设计制造技术、制造系统和企业管理、先进制造工艺和设备以及微纳米成形等多个方面的内容,反映了两岸三地高等院校、科研单位以及大型企业的知名专家学者和技术人员的最新研究成果及现代材料成形与模具技术的最新进展。论文涵盖面广泛,充分体现了材料成形技术综合化、多样化、柔性化、数字化、精密化以及与机械、材料、信息、管理与生命等多学科交叉的特征。

本书可供材料成形、模具设计与制造和机械工程领域相关的科研、管理与决策人员阅读参考,也可作为机械工程和材料科学与工程学科的教师和学生拓宽思路、进行知识创新提供指导。

图书在版编目(CIP)数据

先进成形技术/卢秉恒主编. 郭成副主编. —西安: 西安交通大学出版社, 2005.8
ISBN 7-5605-1878-8

I. 先... II. ① 卢... ② 郭... III. 工程材料—成型—文集
IV. TB3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 087179 号

书 名 先进成形技术
主 编 卢秉恒
副 主 编 郭成
出版发行 西安交通大学出版社
地 址 西安市兴庆南路 25 号 (邮编: 710049)
电 话 (029)82668357 82667874 (发行部)
(029)82668315 82669096 (总编办)
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司
字 数 1198 千字
开 本 890mm×1 240mm 1/16
印 张 40.25
版 次 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷
印 数 0 001~1 500
书 号 ISBN 7-5605-1878-8/TH·71
定 价 215.00 元

版权所有 侵权必究

前言

2005 年盛夏, 两岸三地的中华学人不畏酷暑汇集古城西安, 瞻周鼎秦车, 仰汉范唐剑, 研讨交流现代成形与模具之科技, 实属一桩盛事。

现代机电产品零件的 70% 以上依赖模具成形制造, 模具是近净成形的关键, 是绿色制造之利器, 是材料成形科技的载体, 是企业效益的放大器。CAD、CAE、CAM 及计算机控制等现代信息技术应用于模具设计制造, 大大提升了模具工业的技术水平。快速原型技术以材料叠加法贡献于制造技术, 开辟了产品快速开发的新天地。现今, 成形科技已拓展至微注塑、微压印等微纳制造领域, 形成挑战微电子硅工艺的新技术。

本届两岸三地先进成形与模具技术研讨会共发表 80 余篇学术论文 (包括主题报告), 反映了两岸三地学者在以上学科领域的学术建树及工程界的成就。愿我炎黄子孙在成形制造领域携手共勉, 为中国制造之崛起贡献聪明才智。

本届学术会议由中国机械制造工艺协会、中国机械工程学会、中国模具工业协会、台湾工业研究院、台湾模具行业公会等单位主办, 由西安交通大学、台湾中原大学、中国机械制造工艺协会快速原型制造技术分会承办。会议得到陕西省教育厅等单位的大力支持, 会议组委会对上述单位表示衷心感谢。

“2005 两岸三地先进成形与模具技术研讨会论文集”编者

2005 年 8 月于西安

第二届先进成形与模具技术 研讨会论文集

会员委聘

2005年8月12日~2005年8月15日 : 主

平金翠 雨才申 西安 宋 宗夏 孙秉文 : 主

烟志李 敏志周 孙秉文 泰永周 默昌翁 冬正聂 孙秉文 : 委

主办单位: 中国机械制造工艺协会

孙秉文 孙秉文

中国机械工程学会

先进成型技术学会

孙秉文 孙秉文

室公模具同业公会(台湾) 合利国学大西交安西

台湾中原大学模具自动化中心 学大西交安西

协办单位: 塑性工程学会

金基善 业工 孙秉文

香港理工大学

会学木林 孙秉文

承办单位: 中国机械制造工艺协会快速原型制造分会

西安交通大学 孙秉文 孙秉文

荣誉主席: 蒋震

学术委员会

主席: 阮雪榆

委员：卢秉恒 柳百成 曹春晓 徐滨士 胡正寰 陈蕴博 宋天虎
陈夏宗 朱锦标 赵国群 李硕仁 胡平 高福荣 刘廷华

组织委员会

主席：于德弘

副主席：卢秉恒 陈夏宗 宋天虎 申长雨 瞿金平

委员：黄河清 聂玉珍 徐昌煜 周永泰 郭成 周志雄 李志刚

许洪斌 李德群

支持单位：陕西省教育厅

西安交通大学国际合作与交流处、港澳台办公室

西安交通大学科技处

赞助单位：蒋震工业慈善基金

先进成形技术学会

国家自然科学基金专项基金 (50420501)

陕西恒通智能机器有限公司

荣誉主任：蒋震

学术委员会主任

主任：雷雪

目 录

设计与工程分析

分布式快速反求系统研究	丁建军 蒋庄德 李兵 (3)
ECAP 法挤压成型过程的数值模拟	王立忠 郭成 (11)
薄壁管材料本构关系的构建	于强 杨连发 巢鹏飞 郭成 (15)
直齿圆柱齿轮冷精锻模具优化设计	程羽 王立军 杨博 邢光汉 郭成 (23)
轿车顶盖多点成形时非连续性边界条件的处理	裴永生 彭加耕 李明哲 (29)
Digital CAD	Nele Motmans (35)
Digital CAD and its medical use	Nele Motmans (39)
覆晶封装底部填胶流动之三维数值模拟	王永元 徐志忠 张荣语 (43)
CAE 仿真技术在塑料产品虚拟开发中的应用	郭志英 陈娟 马智慧 (52)
数字人体研究中的人体测量技术	惠延波 冯兰芳 于宝莲 (57)
圆锥曲线拟合自由曲线的范围确定	李理 韩春鸣 肖畅 (61)
不等高盒形件曲面重构及变压边力成形过程模拟	俞芙芳 刘琼 胡龙飞 刘全坤 (65)
逆向工程技术在犁臂测量和建模中的应用	石永芳 孙文磊 张汉国 姜宏 (71)
逆向工程在三维实体检测中的应用	孙利峰 孙文磊 (77)
有限元分析方法在导轨设计中的应用	王可 范智广 田芳 (83)
逆向工程技术在石油钻采工具开发中的应用	程新平 张科 李力 张汉国 (87)
薄板非回转对称拉深试验及数值模拟的分析	鄂大辛 水野高爾 魏乐愚 (92)
面向再设计的机械零件快速建模技术研究	田怀文 许明恒 (98)
汽车轮胎滚动侧倾有限元分析	程钢 袁文生 李锦 赵国群 管延锦 (105)
Three-Dimensional Simulation of Melt Filling and Gas Penetration in Gas-Assisted Injection Molding Process Using a Finite Volume Formulation	S.W. Chau Y. W. Lin (115)
High Performance True 3D CAE Solution for Injection Molding on Windows Cluster	Wen-Hsien Yang Allen Peng Louis Liu David C.Hsu (125)
A New 3D Finite Element Method For High Accuracy, High Speed Simulation of Injection Molding	Franco S. Costa Huagang Yu Peter S. Cook Clinton V. Kietzmann Peter Kennedy (134)
Trimmed NURBS 曲面三角化离散技术	谢 叻 吴巧教 李 敏 (144)
镁合金压铸模具设计与开发	郑年添 (149)
应用真实三维 CAE 模流分析技术视觉化几何平衡流道的流动不平衡现象	蒋竣植 简锦昌 蔡铭宏 (156)
热流道系统设计的三要素	徐正立 顾明 林秀奇 (166)
数字 CAD 在快速模具中的应用	胡发宗 陈建 (175)
基于 Pro/E 模具分型面建立过程中修补破孔方法的研究	葛正浩 任子文 张院民 王元春 (179)
CAXA 三维实体设计在冲压模具开发中的应用	王阳 谷永茂 赵巍 (184)
华塑注射成型集成化仿真系统 HSCAE6.10 的功能和特色	李德群 周华民 (189)
加工制造	
金属试件纳米级抛光加工中表面原子结构及能量作用研究	刘薇娜 (197)
导光板(LGP)的微结构设计及精密成形之研究	黄俊钦 黄彦文 (203)

离心式生物芯片实验观测机及新型芯片之研发.....	李小超 廖威量 曾贤坝 陈夏宗 (219)
基于数字化定制技术的颌颌面修复及整形研究.....	杨建武 李彦生 费仁元 韩景芸 (234)
螺旋曲面数控成形磨削自动编程技术的研究.....	王可 田帅 陈欣 (240)
螺旋曲面数控磨削中砂轮安装角选择原则的研究.....	王可 田帅 陈欣 (245)
基于测地线的自由曲面行切加工刀位规划.....	李学艺 曾庆良 陈松 (251)
基于砂轮端面均匀钝化的精密磨削新方法.....	姚斌 席文明 叶军君 郭隐彪 (256)
涂层氮铝钛(TiAlN) 刀具切削性能的研究.....	魏莎莎 钟启茂 (260)
模具中外圆磨削单一基准同轴度误差的检测与控制研究.....	崔根群 王阳 富大伟 (266)
快速成型	
基于光固化成形的灌水器流道尺寸精度影响因素研究.....	张俊 赵万华 魏正英 唐一平 卢秉恒 (273)
喷射电铸快速成形基础试验研究.....	黄因慧 陈劲松 田宗军 刘志东 赵阳培 (279)
基于 SL 原型的复杂壳体树脂砂型铸造的研究.....	宗学文 魏罡 王付安 徐冰晶 蒋自强 卢秉恒 刘薇娜 (284)
快速成型法制备多孔活性磷酸钙人工骨修复骨缺损的实验研究.....	曹雪华 刘昌胜 陈建国 袁媛 汪华林 潘红良 (290)
无模铸型制造工艺中喷射方式的研究.....	杨伟东 檀润华 颜永年 徐安平 (295)
基于快速成型技术制造纤维增强人工骨.....	连岑 李涤尘 张彦东 郑淑贤 王臻 (301)
基于微束等离子焊接的直接金属成形中工艺参数的研究.....	乌日开西·艾依提 赵万华 卢秉恒 侯振山 (305)
纳米 Al_2O_3 粉末的激光烧结成形试验研究.....	黄因慧 沈理达 田宗军 花国然 刘志东 (310)
利用响应面法优化涂层工艺参数的研究.....	张锡强 胥光申 朱金雄 赵万华 卢秉恒 (315)
基于熔融沉积的假肢接受腔快速成型技术.....	郑淑贤 赵万华 卢秉恒 (321)
高精度快速成型系统的制作参数优化研究.....	胥光申 张锡强 朱金雄 赵万华 卢秉恒 (326)
MEMS 制造中的快速成型方法.....	王权岱 段玉岗 丁玉成 卢秉恒 (333)
快速原型技术在颌骨修复手术中的应用.....	王广春 马新武 李文刚 (340)
金属粉浆浇注成形与烧结实验研究.....	王广春 王延庆 (345)
膝关节胫骨骨折的三维重建与修复.....	史庆南 严继康 黄建国 常敏 郭英 邓乐巧 刘波 赵晋济 (352)
砂型铸模快速制备技术.....	杨家林 王洋 李凤春 (357)
快速成形与制造技术在模具制造中的应用.....	计时鸣 张利 袁巧玲 (365)
UV 动态光罩快速成型系统之研发.....	郑逸琳 李孟龙 (371)
钛合金激光快速成型技术的研究.....	高士友 席明哲 杜宝亮 石力开 张永忠 王殿武 (379)
基于快速原型的喷射沉积快速制造技术研究.....	单忠德 颜永年 张人佶 (386)
多孔结构人工骨支架模具设计及快速成形制造.....	李祥 李涤尘 卢秉恒 连岑 徐尚龙 (392)
人工骨外型、微观组织及增强结构的快速成型制造.....	徐尚龙 李涤尘 李祥 连岑 卢秉恒 (396)
模具技术	
压印光刻中软模具制作工艺研究.....	李寒松 丁玉成 (405)
注塑成型动态模具温控技术与应用研究.....	陈夏宗 蔡瑞益 张仁安 陈彦成 (411)
电弧喷涂制造汽车覆盖件模具.....	王伊卿 朱东波 卢秉恒 (421)
微米级结构射出成型之研究.....	

..... 钟明吉 杨文彬 许丕明 林晃业 陈惠俐 孙东亮 丁永强 彭信舒	(426)
EGM—外气成型—提供更多的解决方案	许可升 (437)
电容传感器在注射过程监控中的应用	高福荣 冯家齐 陈曦 (447)
Core Deflection in Injection Molding	A.J. Giacomini A.J. Had (461)
Microcellular Injection Molding	Lih-Sheng Turng (469)
超临界流体微细发泡射出成型品机械性质探讨	黄世欣 陈夏宗 钟明修 (479)
具微细特征塑料产品成型特性之研究	简仁德 陈夏宗 杨秋兰 林明俊 (488)
射出成型条件对微槽道收缩之影响	王子明 廖声荣 谢文馨 (498)
捷达发动机覆盖件模具的匹配调试	于雷 杜华 王华 (512)
嵌件形状对纤维增强注塑熔接线性能的影响	刘春太 马志国 张翼 申长雨 (515)
叠层式热流道注塑模典型结构及其技术进展	刘廷华 王朝虹 (521)
实体设计在注塑模具设计中的应用	谷永茂 王阳 (529)
热作模具钢的研究与应用	方健儒 柏建仁 姜启川 隋贺龙 陈蕴博 (534)
新型高性能热作模具钢(HHD 钢)的研究与应用	方建儒 隋鹤龙 姜启川 柏建仁 (541)
多点成形技术及其装备的最新进展	崔相吉 李明哲 付文智 蔡中义 (549)
红外线模具表面快速加热之研究与实验证明	黄圣杰 张沛顺 (556)
高热传导性钢材在射出成型模具应用探讨	陈彦成 陈涣雄 张栋贵 黄世存 (563)

其它

基于互联网的冲压产品及模具信息集成关键技术研究	苏文斌 修双生 罗晋平 (571)
支持 ASP 的模具制造过程管理系统研究与开发	赵旭会 杨前进 韩新民 (577)
分子动力学在奈米高分子挤出流动现象之应用	曾焕镛 吴建兴 张荣语 (584)
再论中国汽车模具工业成功立足全球的必备条件	张树乾 (592)
网络化之模具概念设计	钟文仁 吴俊贤 陈夏宗 (598)
模具厂合理化	林德宏 徐昌煜 (611)
成型条件对导电性 ABS 成品电磁波干扰屏蔽效应影响之研究	李平惠 陈夏宗 黄健生 (615)
虚拟工厂实习：开发精密模具人才培育之数字化虚拟学习系统	郑人豪 姚文隆 哈冀连 许丕明 (624)

设计与工程分析

林代野工已书好

分布式快速反求系统研究*

丁建军 蒋庄德 李兵

(西安交通大学精密工程研究所,机械制造系统工程国家重点实验室 西安 710049)

摘要 以信息化、全球化为基本特征的现代制造系统要求现代反求工程必须适应网络化发展趋势。作为分布式快速反求系统的一项基础与关键技术,逆向测量的网络化成了制约网络化反求工程的障碍之一。本文探讨了网络技术、虚拟仪器技术以及计算机支持的协同工作理论与逆向测量相结合的研究思路与方法,给出了一种实现基于协同反求思想的分布式协同逆向测量的解决方案。该方案分析探讨了系统实现模型与框架,同时对基于曲率的自适应采样、测量数据压缩、网络化环境下测量结果的图形化表示技术以及面向网络化测量的协同方法等关键技术进行了详细的讨论,并通过试验与实例予以验证。最后按照分析与讨论结果,给出了网络化测量技术在分布式快速反求系统中的具体应用结果。

关键词 反求工程 反求服务 协同测量 计算机网络

Research on the Distributed Rapid Reverse System

Ding Jianjun Jiang Zhuangde Li Bing

(Institute of Precision Engineering Xi'an Jiaotong University Xi'an 710049)

(State Key Laboratory for Manufacturing System Xi'an Jiaotong University Xi'an 710049)

Abstract Rapid reverse technology is one of the key technologies with which the enterprises develop new product and occupy the market rapidly. Rapid reverse service based on network will ensure that small and middle corporations with weak technological and economic base gain reverse technology support and implement rapid product development. As a key and basic technology, the networked measuring for reverse engineering has become one of the main obstacles to distributed reverse engineering. The ideas and methods that measurement for reverse engineering is combined with network technology, virtual instrument and Computer Supported Cooperative Work theory are discussed in this paper, and a solution of distributed cooperative measurement based on cooperative reverse engineering is put forward. The system model and architecture, adaptive sampling based on surface shape, compression process of measurement data, graph expressing in internet for measurement result and cooperative method based on networked measuring for reverse engineering are all the emphases of the paper. The experiment and application result are also presented in the paper.

Keywords Reverse engineering Reverse service Cooperative measurement Network

1 引言

快速反求技术是企业实现新产品快速开发、迅速占领市场的关键核心技术之一,网络化快速反求服务为资金和技术基础都比较薄弱的中小企业群获得反求支持、实现新产品快速开发提供了

*本文受国家 863 项目资助,项目编号 2002AA414060。

重要保障。为适应现代制造系统的要求,分布式快速反求系统应具备远程测量与设计制造的能力,这可以解决服务请求客户与服务中心之间以及服务中心内部服务节点之间反复的信息交流与反馈。

根据反求工程的特点,应用于反求工程的远程测量具有数据量大等特点,并且需要实现在网络环境下逆向测量数据的图形化表示,此外在不同的远程测量终端还需要具有友好的虚拟仪器面板和良好的协同工作能力支持。这些都是本文将要讨论的重点。

2 分布式快速反求系统分析

随着信息技术和网络技术的飞速发展,制造全球化、敏捷化、网络化成为了现代制造业发展的必然趋势^{[2][3]}。作为现代制造业的一种新产品开发手段,反求工程必然要适应这种全球化的趋势。一方面是因为制造异地化趋势越来越明显,产品开发、设计以及加工制造等都是分散在不同的区域进行,同时一般的中小企业不具有应用于反求工程设备、技术等资源,但他们在新产品开发过程中又必须要有这种反求能力支持。这些都使得应用于网络的分布式快速反求系统应运而生,同时也为开展分布式快速反求服务工程创造了条件。

图1是面向反求服务的分布式快速反求系统网络拓扑结构模型。整个系统主要由服务器群、服务管理用户群、服务节点群以及远程用户群组成,它利用 Internet/Web 技术,将服务平台内分散在不同地点(甚至不同企业单位)的测量设备、三维重构资源甚至成型制造等反求资源连成一体,实现反求制造资源的共享,实现网络化反求制造服务,为来自不同网络节点的用户提供快速、低成本、高质量的优化的远程反求服务,以及异地用户之间通过网络进行产品协同测量和协同建模重构等反求过程中的信息交换能力。该模型有强大的数据库支持,通过面向反求工程的计算机支持的协同工作理论(ReCSCW),建立良好的协同环境,能实现网络化测量过程中远程数据采集与控制,并实现测量数据网络化处理、传输和表示,能方便的实现资源信息的共享。同时该模型在远程服务请求客户端具有远程实时监视能力,能为远程用户作出正确地判断与控制提供可靠的依据。

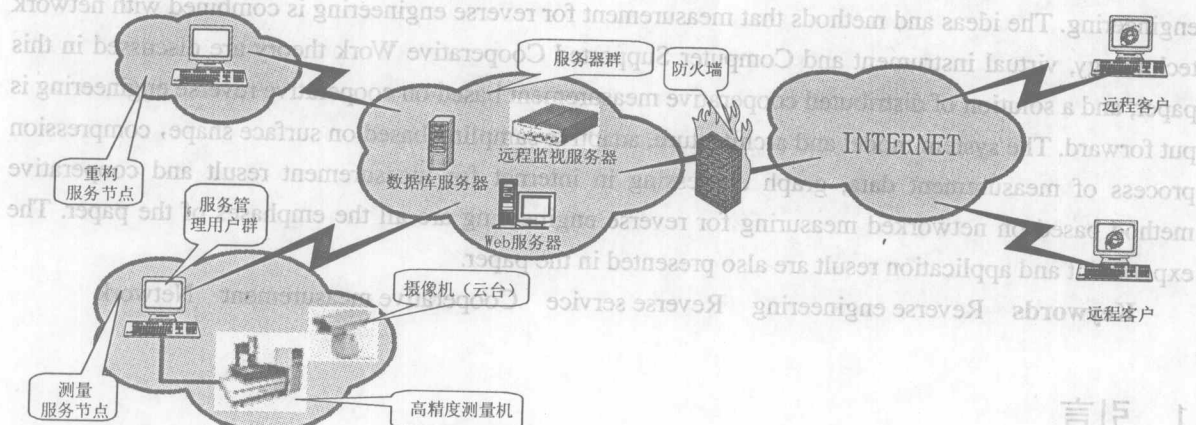


图1 分布式快速反求系统的网络模型

3 分布式快速反求系统中网络化逆向测量关键技术

逆向测量是反求工程的基础单元技术之一,是实现产品样件数字化的关键。由于反求工程自身的一些特点,网络化逆向测量有其自身的特点:数据相对较大、需要实现网络环境下的图形化表示等。如何在网络环境下高效、高精度地实现样件表面数据采集,以及测量数据的网络化图形表示,这些都是下文需要探讨的地方。

3.1 网络化逆向测量实现模型

图2是分布式快速反求系统中网络化逆向测量的实现模型。按照图中所示,对于反求设备资源可由本地控制,也可通过远程实现设备资源的调用。采集回来的数据通过一系列预处理后,通过网络传送远程用户端,远程用户端可以通过浏览器即时的看到采集结果。本地和远程虚拟面板组件和面向反求的协同工作(ReCSCW)组件结合在一起,协作用户之间可以就测量结果进行实时的信息交流,以实现高效测量。数据库服务器可以实现各种数据信息的服务与管理,并能为系统平台提供良好的信息共享环境。

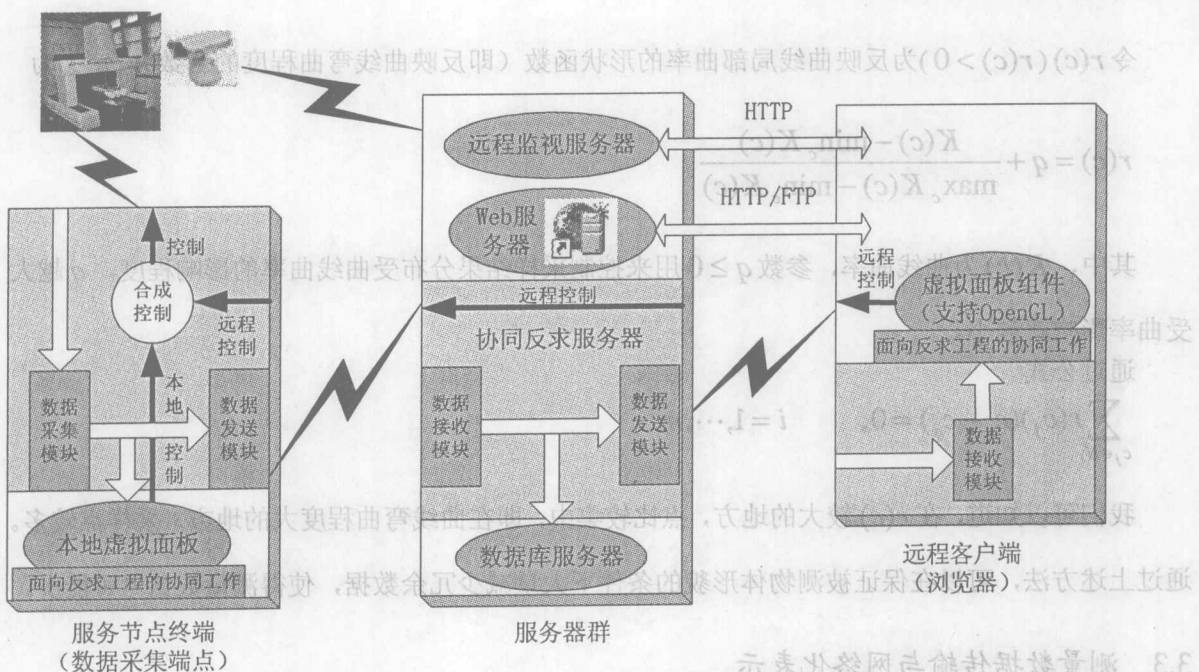


图2 网络化逆向测量的实现模型

3.2 基于曲率的测量规划与数据采集

逆向测量只有准确反映被测物体形貌,测量结果才会有意义。由于被测物体表面曲率是不断变化的,为了不漏掉表面信息,就必须减小测量间距,但对激光扫描系统来说,这样同时也带来另一个结果,那就是造成测量得到的“点云”数据的过分冗余、处理繁琐,不利于后续反求工序的开展,同时在分布式反求过程中,也不利于远程测量数据的实时传输,大大降低工作效率。因此,在测量过程中,应该根据被测物体的几何形貌规划测量路径,并对测量数据进行合理的采集,即在保证测量结果反映被测物体的形状的同时,使得测量数据尽可能的少。

测量规划是现在的一个研究热点,其基本思想是:采样点分布的疏密程度应该反映曲面曲率

的变化, 曲率越大, 采样点应该越密; 反之亦然。研究中采用文献^[1]提到的规划方法。即首先根据扫描方向, 确定路径参考线, 然后将得到的参考线上的点进行曲线拟合, 根据拟合曲线上的曲率变化采样, 根据得到的采样点确定扫描间距。

在研究中对于每条激光扫描线采用基于曲率的思想进行自适应采样。设拟合后的自由曲线的数学模型为

$$p(t) = (x(t), y(t), z(t)), \quad t \in [0, 1]$$

曲线的采用 m 个采样点离散, 采样点集合为 $C = \{c_i | i = 1, \dots, m\}$

设 N_i 为第 i 个点邻域集合, 所有邻域集合 N 为

$$N = \{N_i | i = 1, \dots, m\}$$

式中, $c_i \notin N_i$, 并规定若 $c_i \in N_j$, 则 $c_j \in N_i$ 。对于曲线, 在实际计算中, 我们可以只取 c_i

的二邻域, 即 $N_i = \{c_{i-1}, c_{i+1}\}$ 。

令 $r(c)$ ($r(c) > 0$) 为反映曲线局部曲率的形状函数 (即反映曲线弯曲程度的函数), 定义为

$$r(c) = q + \frac{K(c) - \min_c K(c)}{\max_c K(c) - \min_c K(c)}$$

其中, $K(c)$ 为曲线曲率, 参数 $q \geq 0$ 用来控制采样结果分布受曲线曲率的影响程度, q 越大受曲率影响就越小。

通过公式

$$\sum_{c_j \in N_i} r(c_j)(c_i - c_j) = 0, \quad i = 1, \dots, m$$

我们可以知道, 在 $r(c)$ 较大的地方, 点比较集中, 即在曲线弯曲程度大的地方, 采样点较多。

通过上述方法, 可以在保证被测物体形貌的条件下大量减少冗余数据, 使得测量数据尽可能少。

3.3 测量数据传输与网络化表示

通过测量系统产生的三维形貌数据要实现在网络环境下即时传输, 并通过浏览器进行测量结果的图形化表示, 还需要对测量数据进行相关的处理。

(1) 网络化逆向测量中的测量数据压缩

经过激光三维轮廓测量设备得到的形貌数据仍然还是庞大的点云数据。为了在分布式快速反求系统中实施网络化逆向测量, 在研究中采用了数据压缩算法。图 3 是我们编制实现的基于 LZW 算法的压缩伪代码, 该算法是基于字典的压缩, 采用树形结构来构造字典, 比较适宜于对图像和数字进行压缩, 而且压缩和解压速度非常快, 并能达到很大的压缩比。

```

扫描统计所有n个独立字符Dictionary[j], j=1, 2, ..., n;
j ← n+1;
Prefix ← 字符流的首字符;
while((C ← 下一字符) != NULL)
{
    if(字典中有Prefix.C)
    {
        Prefix ← Prefix.C;
    }
    else
    {
        Codestream ← 当前Prefix的码字;
        Dictionary[j] ← Prefix.C;
        j ← j+1;
        Prefix ← C;
    }
}
Codestream ← 当前Prefix的码字;

```

图3 实现测量数据即时压缩的伪代码

在远程测量过程中，我们对每条光刀扫描线的采样结果进行压缩，再通过网络传输，然后再解压，并在异地端还原显示。表1是利用上述算法对鼠标进行远程测量的实验结果。很明显，通过压缩，数据量大大减少。

表1 鼠标远程测量数据压缩实验结果

扫描线 序号	每条线 点数	压缩前 大小	压缩后 大小	扫描线 序号	每条线 点数	压缩前 大小	压缩后 大小	扫描线 序号	每条线 点数	压缩前 大小	压缩后 大小
1	37	888	133	23	101	2424	220	45	92	2208	210
2	46	1104	148	24	101	2424	220	46	91	2184	209
3	54	1296	160	25	100	2400	219	47	92	2208	210
4	56	1344	164	26	99	2376	218	48	92	2208	210
5	64	1536	175	27	97	2328	215	49	90	2160	207
6	69	1656	182	28	98	2352	216	50	91	2184	209
7	72	1728	186	29	99	2376	218	51	88	2112	205
8	78	1872	194	30	97	2328	215	52	88	2112	205
9	79	1896	195	31	97	2328	215	53	88	2112	205
10	81	1944	197	32	97	2328	215	54	87	2088	204
11	85	2040	202	33	97	2328	215	55	87	2088	204
12	87	2088	204	34	97	2328	215	56	88	2112	205
13	89	2136	206	35	99	2376	218	57	88	2112	205
14	91	2184	209	36	99	2376	218	58	87	2088	204
15	92	2208	210	37	98	2352	216	59	86	2064	203
16	93	2232	211	38	97	2328	215	60	87	2088	204
17	94	2256	212	39	96	2304	214	61	86	2064	203
18	95	2280	213	40	96	2304	214	62	86	2064	203
19	96	2304	214	41	95	2280	213	63	85	2040	202
20	97	2328	215	42	95	2280	213	64	85	2040	202
21	99	2376	218	43	94	2256	212	65	83	1992	200
22	99	2376	218	44	94	2256	212	66	85	2040	202

(2) 测量数据网络环境下的图形化表示

逆向测量得到的是以坐标值表示的一系列坐标点,在网络环境下图形化表示逆向测量数据的基本思想就是在浏览器中将这坐标点按照坐标值以图形的方式显示出来。随着计算机图形学以及网络技术的不断发展和完善,为网络环境下三维图形显示提供了越来越有效的手段和方法。

将 OpenGL 技术嵌入到网络化虚拟组件中是实现逆向测量结果远程实时显示的一个有效手段。OpenGL 是近几年发展起来的一个性能卓越的三维图形平台,利用它可以在多种硬件平台及操作系统下方便地创建出接近光线跟踪的高质量静止或动画的三维彩色图像。图 4(a)是实现测量结果图形化显示的一段伪代码,图 5 中 d 就是测量结果在网络化虚拟仪器组件中的显示结果。

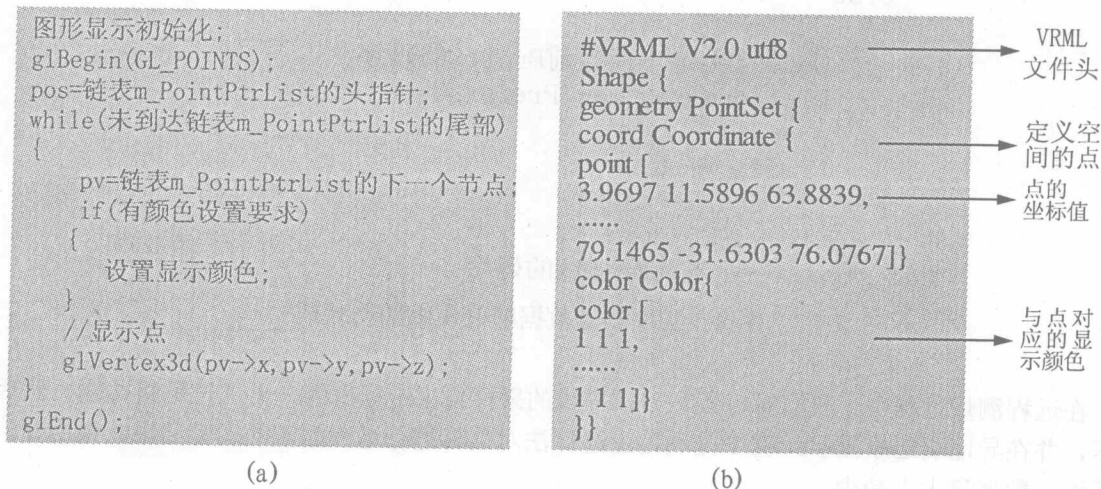


图 4 实现测量结果图形化显示的伪代码

VRML 是当前网络环境下最流行的三维图形显示技术之一^[4]。由于逆向测量结果都是几何点的坐标,数据简单,因此很容易实现基于 VRML 格式的图形接口,使测量结果在浏览器中显示出来。图 4(b)显示的是图形接口生成的基于 VRML 的数据格式,图 5 中 e 是对应的显示效果。

3.4 远程逆向测量中的协同方法

网络化测量解决了逆向测量过程中地域分散的问题,但同时也带来了交流和协作上的不便,不利于在反求服务过程中客户与服务中心,以及服务中心内部节点之间频繁的信息交流。计算机支持的协同工作(CSCW)可以有效的解决这种由于时间和空间上的不同所带来的协作上的不便^[5]。将 CSCW 技术应用到反求工程中,我们称之为面向反求工程的计算机协同工作(ReCSCW),其目的是为反求协作用户建立协同反求(包括协同测量、协同重构以及成型制造等)环境,并在该环境下辅助用户完成远程逆向测量,远程三维重构以及网络化成型制造等反求任务。

① 现场远程监视。远程实时监视将测量现场的实际情况实时的反馈给远程用户,能使远程用户如同亲临现场,为其作出正确地判断与控制提供可靠的依据。

② 测量协作与交流。这是实现协同测量的基础技术之一。用户通过协同工具组件能建立良好的协同测量环境,以高效地完成测量任务。

③ 远程测量设备资源的协同控制。按照网络化虚拟仪器的思想,远程用户能够根据当前情况对设备远程发出控制指令,通过现场管理者的协同参与,远程指令经过检测无误后可以发往硬件设备。

④ 逆向测量结果的协同编辑与修改。对测量结果,对于数据点的取舍,各人有不同的意见,通过协商,可以协同的编辑和修改测量点云数据,进一步完善逆向测量结果。