

虚拟 试验技术

王国权 等编著

余 群 王大康 主审

虚拟
VIRTUAL

现实
REALITY

虚拟
VIRTUAL

虚拟与现实的距离有多远？

或许可以预言：

未来所有复杂产品都可以用虚拟的方式产生。

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

虚拟试验技术

王国权 等编著

余 群 王大康 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

虚拟试验就是在虚拟现实环境中,利用数字化模型代替实物原型,进行产品性能的试验分析。

本书讲述了汽车虚拟试验的基础知识、虚拟试验系统的构建方法及实用算法。全书共分8章,包括虚拟试验的概念、虚拟现实技术及典型硬件装置、虚拟现实图形绘制技术、虚拟仪器设计技术、车辆操纵稳定性虚拟试验、车辆平顺性虚拟试验、车辆动力性和经济性的虚拟试验、汽车碰撞与计算机模拟等。本书强调理论基础与工程运用的结合,就汽车虚拟试验技术来讲,有许多是具有创造性的。

本书可作为高等学校机械工程、车辆工程、交通运输以及自动控制、计算机仿真等专业高年级学生及研究生教学参考书,也可供从事虚拟设计、虚拟试验技术应用和计算机辅助设计的工程技术人员作为技术参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟试验技术/王国权等编著. —北京:电子工业出版社,2004.3

ISBN 7-5053-9627-7

I. 虚… II. 王… III. 虚拟技术-应用-汽车-工业产品-技术开发 IV. U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005192 号

责任编辑:马文哲 李 洁

印 刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:398.4 千字

印 次:2004 年 3 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:25.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

在经济全球化、贸易自由化和社会信息化的形势下,产品的市场竞争由传统的相对稳定逐步演变成动态多变,由局部竞争演变成全球范围的竞争,使竞争更加激烈。产品以最快的速度上市,最高的质量,最低的成本,最好的服务来满足不同顾客的需求,是提高制造企业竞争力的关键。计算机技术、信息处理技术、CAx (CAD/CAE/CAPP/CAM) 技术的迅猛发展,虚拟现实 (Virtual Reality) 技术的逐渐应用,为工业产品的研发、设计、制造及性能试验,提供了一种全新的解决方法——在计算机上建立产品完备的三维实体模型,创建虚拟的制造工厂、虚拟的实验室及运行环境,在虚拟的环境下完成各种测试、试验,评定未来产品的制造性能、装配性能、使用性能。从而极大地减少样机的试验制造次数,缩短产品的开发周期,降低开发成本。

20 世纪 90 年代后期以来,虚拟仿真技术飞速发展,并广泛应用于航空、航天、国防、军事领域,取得了令人瞩目的成果。目前,国外在工业产品的虚拟设计、制造、虚拟试验技术等方面已经取得了很大的进展。对机械产品虚拟开发的基础理论和应用技术的研究,是国内外工程技术界普遍关注的一个热点。特别是在汽车行业,丰田、福特、大众、日产、本田都采用可视化数值模拟 (Virtual Prototype) 为基础的综合解决方案,将虚拟设计与虚拟试验技术用来处理汽车产品在设计、制造和性能测试中所碰到的棘手问题,获得了性能/质量/成本的最佳组合。虚拟试验系统不仅可以作为真实试验的前期准备工作,可以部分地替代在现实世界中难以进行的试验,或者是费时、费力和费钱的试验,弥补物理资源的缺乏。而且,对于教育和训练项目,采用虚拟方式,在最大限度节约开支的同时,可以减少对人及环境的危害。

采用虚拟仿真系统代替实际系统,使试验次数可以不受限制,试验过程具有可重复性;虚拟试验系统还提供了很好的交互性和一定的沉浸感,易于激发创造性。虚拟技术应用于机械产品的开发研究中,是 CAD/CAM/CAE 技术发展的必然结果。或许可以预言:未来所有的复杂产品都可以用虚拟的方式来产生。虚拟试验技术是一个崭新的领域,自其产生之日起就以其无比的优越性得到了机械、汽车行业的广泛认可。随着计算机技术的不断发展,硬件性能的不断提高,虚拟试验技术无论是在工业、农业、国防、医学等方面都得到了广泛应用。

国内对汽车虚拟试验技术的研究,肇始于我国著名的地面力学与车辆动力学专家——中国农业大学余群教授。自 1998 年始,余群教授带领一大批硕士、博士研究生,投入经费,率先将虚拟现实技术应用于车辆动力学研究中,开辟了车辆动力学虚拟试验技术的先河。本书的大部分内容源自余群教授所指导的博士研究生的研究成果。在本书的编写过程中,余群教授对全书作了深入细致的审阅,并对部分内容进行了修正。在此,谨代表所有作者对余群教授表示最诚挚的敬意和感谢。

本书系统地介绍了汽车虚拟试验技术的原理、虚拟试验系统软硬件的构建模式,车辆动力学虚拟试验的实现方法。第 1 章介绍了汽车虚拟试验的一些概念,由北京机械工业学院王国权副教授完成;第 2 章介绍了典型的虚拟现实系统,由中国农业大学的陈理讲师完成;第 3 章介绍了虚拟现实图形的绘制技术,是虚拟试验的基础之一,这部分内容参考了国内外许多图

形、图像学者的专著和论文,由北京工业大学杨文通教授完成;第4章介绍了虚拟仪器技术的最新进展,车辆动力学试验虚拟仪器的设计方法,由中国农业大学李世雄副教授完成;第5章详细地介绍了车辆操纵稳定性虚拟试验方法,由中国农业大学王树凤博士完成;第6章介绍了车辆平顺性虚拟试验的实现方法,由北京机械工业学院王国权副教授完成;第7章介绍了车辆动力性和经济性的虚拟试验方法,由中国农业大学的江发潮博士完成;第8章介绍了车辆碰撞安全性的有关法规,汽车碰撞模拟的有关基础理论以及碰撞模拟的求解过程,由江苏大学陈晓东博士,广州博赛公司的冯青春工程师完成。本书在编写过程中吸取了国内外相关领域的研究成果,在此对所有相关作者一并表示感谢。

北京机械工业学院王国权副教授负责全书的统稿。

这里特别感谢北京工业大学王大康教授,他在百忙中对该书的出版提出了许多宝贵建议,并且仔细地审阅了全书。

汽车的虚拟试验技术是一个崭新的交叉学科,目前这方面的研究刚刚开始,本书的内容是作者近年的研究成果,其中难免有很多不成熟的方面。希望本书能够启迪人们的思路,为构造自己的实用虚拟试验系统提供一定的帮助。由于作者水平的限制,疏漏和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2003年10月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.4.3 采用特征设计.....	34
1.1 汽车试验的概念	1	3.5 三维图形的计算机绘制技术	34
1.2 虚拟试验	2	3.5.1 坐标变换	34
1.2.1 虚拟现实	3	3.5.2 消隐技术	39
1.2.2 虚拟试验的优点	5	3.5.3 光亮度计算	43
1.2.3 虚拟试验的应用	5	3.5.4 纹理映射技术	45
1.3 虚拟试验的实施方案	8	3.5.5 实时消隐技术	49
第 2 章 虚拟现实技术概论及典型硬件装置	9	第 4 章 虚拟仪器设计	53
2.1 引言	9	4.1 引言	53
2.2 虚拟现实的分类	9	4.2 虚拟仪器的基本组成	54
2.2.1 桌面虚拟现实系统	9	4.3 虚拟仪器的设计方法	56
2.2.2 沉浸式虚拟现实系统	10	4.4 虚拟仪器编程语言	
2.2.3 分布式 VR 系统	10	LabWindows/CVI	57
2.3 虚拟现实的组成	12	4.4.1 LabWindows/CVI 简介	57
2.4 虚拟现实的硬件构成	12	4.4.2 LabWindows/CVI 编程环境	58
2.4.1 3-D 位置跟踪器	12	4.4.3 LabWindows/CVI 编程基础	59
2.4.2 视觉设备	14	4.4.4 LabWindows/CVI 下虚拟仪器软件的组成	60
2.4.3 触觉与力觉反馈装置	17	4.4.5 用 LabWindows/CVI 设计虚拟仪器的步骤与方法	61
2.4.4 声音设备	19	4.5 虚拟仪器数据采集方法简介	62
第 3 章 虚拟现实图形绘制技术	20	4.5.1 数据采集	62
3.1 引言	20	4.5.2 数据采集卡	62
3.2 计算机几何建模技术	20	4.6 虚拟仪器应用实例	63
3.2.1 几何对象的定义	21	4.6.1 工程测试技术实验	63
3.2.2 基本几何元素的描述方式	21	4.6.2 汽车动力学参数测试仪	87
3.2.3 自由成型几何元素的描述方式	25	第 5 章 车辆操纵稳定性虚拟试验	91
3.3 参数化建模	28	5.1 引言	91
3.3.1 约束和约束的求解	28	5.2 操纵稳定性虚拟试验系统功能和模块划分	91
3.3.2 带有约束的设计	29	5.3 操纵稳定性虚拟试验系统拓扑结构	93
3.4 特征处理	30		
3.4.1 特征的定义和类型	30		
3.4.2 特征模型的产生	32		

5.4 车辆动力学模型·····	94	结构层次·····	133
5.4.1 前悬架模型·····	95	6.5.2 OpenGVs SDK 的主要 工具·····	134
5.4.2 转向系统模型·····	95	6.6 车辆平顺性试验动力学数据的 获取·····	135
5.4.3 后悬架模型·····	96	6.6.1 车辆平顺性分析的微分方程 模型及时域仿真·····	136
5.4.4 轮胎模型·····	96	6.6.2 数字化功能样机仿真获取 平顺性动力学数据·····	140
5.4.5 车辆实体模型的建立·····	97	6.6.3 实车道路试验得到平顺性 动力学数据·····	145
5.5 操纵稳定性虚拟试验场 建模·····	98	6.7 用于虚拟试验的三维实体虚拟 汽车模型·····	146
5.5.1 虚拟试验场分层结构 设计·····	99	6.7.1 OpenFlight 格式车辆模型 文件·····	146
5.5.2 场景的分层结构与绘制 渲染·····	100	6.7.2 车辆模型的修正·····	147
5.6 操纵稳定性虚拟试验 实现·····	104	6.7.3 车辆系统运动自由度的 设定·····	148
5.6.1 虚拟试验程序 设计·····	104	6.8 虚拟试验场景中平顺性试验的 程序设计·····	149
5.6.2 虚拟仪表的实现·····	109	6.8.1 平顺性虚拟试验程序调用 流程·····	149
5.6.3 虚拟试验立体视觉的 实现·····	110	6.8.2 场景及车辆参数初始化 函数·····	152
5.6.4 用户、虚拟场景、虚拟车辆 之间的交互实现·····	110	6.8.3 用户初始化程序 (User Initiation)·····	153
5.7 操纵稳定性实车试验与 虚拟试验的对比·····	115	6.8.4 用户处理程序 (User Processing)·····	155
5.7.1 实车试验目的·····	115	6.8.5 平顺性虚拟试验立体视觉的 编程实现·····	160
5.7.2 试验设计与内容·····	115		
5.7.3 实车试验过程·····	116		
5.7.4 试验数据的采集与 处理·····	117		
5.7.5 对比分析·····	120		
第6章 车辆平顺性虚拟试验 ·····	129	第7章 车辆动力性和经济性的 虚拟试验 ·····	162
6.1 引言·····	129	7.1 引言·····	162
6.2 平顺性虚拟试验技术 主要研究内容·····	129	7.2 虚拟试验系统方案设计·····	162
6.3 平顺性虚拟试验场的建立·····	130	7.3 发动机特性仿真的研究·····	166
6.4 桌面式虚拟现实系统 (Desktop VR)的选用·····	131	7.3.1 发动机模型的建立·····	167
6.5 虚拟试验软件开发工具·····	133	7.3.2 发动机性能试验与数据 处理·····	172
6.5.1 OpenGVs SDK 应用程序的			

目 录

7.4 汽车动力性和经济性仿真模型的研究	178	第8章 汽车碰撞安全性虚拟试验.....	197
7.4.1 最佳换挡规律	178	8.1 引言	197
7.4.2 车辆性能评价仿真模型及分析	183	8.2 汽车碰撞安全相关法规	198
7.5 软件系统的设计	189	8.3 汽车碰撞安全性试验方法	201
7.5.1 系统主界面的设计	189	8.3.1 实车正面碰撞试验	202
7.5.2 车辆参数、路况参数和系统参数设置模块的设计	190	8.3.2 实车碰撞试验设备	205
7.5.3 动力性模块的设计	191	8.4 汽车碰撞虚拟试验	212
7.5.4 经济性模块的设计	194	8.4.1 汽车碰撞计算机模拟的基本理论	213
7.5.5 路面仿真模块的设计	195	8.4.2 汽车碰撞模拟研究内容与 方法	226
7.5.6 安装程序的制作	196	参考文献.....	240

第1章 绪 论

1.1 汽车试验的概念

科学试验和理论研究相结合是现代科学技术的一个显著特点。理论需要实验的检验、验证,实验需要理论的指导,两者相互依赖、相辅相成。任何一种理论,只有在科学实验得到证实后才能成立。工程技术中,任何一个成功的产品,都是设计和试验相结合的产物。设计过程就是试验过程,试验贯穿于整个设计工作的始终。任何设计思想、理论计算无不经过试验的检验。在许多复杂的工程技术问题中,试验常常是解决问题的有效方法。

科学试验从生产实践中独立出来,成为人类认识自然、改造自然的一种独特活动,这个历史并不长,但是由于科学实验与现代科学技术十分密切,所以现代科学实验的范围和规模均在与日俱增,而且其增加的速度更是越来越快。现代大规模科学实验工作拥有庞大的实验队伍,使用着各种精密、优良、大型的仪器设备,在十分广阔的空间里进行各种深入的研究活动。例如,为了进行汽车试验而建设起来的试验场,是一个占地面积几十平方公里的大型综合性试验基地。它包括各种车辆实际可能遇到的一切典型使用条件的模拟设施,例如能进行车速超过 200km/h 的高速环行跑道,能进行各种性能测试的道路,能进行强化试验的各种路面、地面,有各种坡道、滑台、涉水池以及相应的室内试验设备。汽车可以在这种试验场中完成各种性能寿命试验。虽然这种设施耗费巨大,投资数以亿元计,但是由于在试验场里能深入研究汽车产品的各种性能,缩短试验周期,从而提高试验结果的可比性和试验工作的安全性。在人力、物力和时间上都得到明显的效益,如台车昼夜行驶里程可高达 2 000km,强化路面试验行驶 1 600km 相当于一般使用中行驶 160 000km,强化程度达 1:100,所以这种试验场已经成为现代汽车工业不可缺少的典型试验设施。

汽车试验是伴随汽车工业的建立而逐渐成长起来的。由于汽车与工业、农业、国防以及人民生活都有密切的关系,因此在它出现的数十年里得到了迅速的发展。汽车工业还与钢铁、冶金、石油、化工、电气、机械和交通运输等工业部门有着密切的关系,在一些国家里它还是经济盛衰的明显标志。

汽车发展到今天的水平是与其试验研究工作分不开的。汽车工业的特点是产量大、品种多、产品的使用条件复杂,对产品的性能、寿命、成本各方面的要求高,影响产品质量的因素诸多,而产品的优劣所造成的后果又极为严重。试验研究工作成为生产、竞争的重要手段。所以,汽车工业特别重视试验工作,无论是新设计或是现实生产的产品、无论在设计制造上考虑得如何周密,都必须经过试验来检验。通过试验来检验设计

思想是否正确,设计意图如何实现,设计产品是否适合使用要求。同时,由于汽车的使用条件复杂,汽车工业所涉及的技术领域又极为广泛,许多理论问题研究得还不够充分,不少设计问题还不能根据现有的理论,做出可信赖的预期,这也是汽车工业特别重视试验的原因。

汽车试验技术的发展,是汽车生产发展的需要,同时也是许多相邻工业、相邻学科的发展和渗透的结果。例如汽车空气动力特性、车辆地面力学、车辆结构强度与载荷、车辆实际工作过程等的研究试验都涉及多方面的试验理论、试验技术,如系统分析、相似理论、误差理论、随机数据处理等。这些基础性的研究工作有力地推动了试验技术的发展。

电子计算机的应用对汽车试验起了巨大的促进作用。电子计算机在汽车的性能预测、强度计算上提供了快速、准确的运算工具,如操纵稳定性、空气动力学特性、车身有限元计算法等,从而代替了大量的多方案比较试验。电子计算机既是计算工具,也是试验手段。电子计算机进行数据的采集、处理,为试验数据分析提供了有力工具,同时也为模拟道路状态的电子液压振动试验台、电控转鼓试验台准备了条件。在汽车试验中采用通用电子计算机、数据处理等专用电子计算机,而且不少设备带有电子计算机作为设备的组成部分。电子计算机在试验设备的自动控制上的作用日益重要,电子计算机过程控制系统可以同时几十台试验设备进行数据采集和控制,使试验工作高度自动化。

汽车试验场是由各种试验道路、试验场地、试验室以及各种辅助建筑等组成的综合性试验设施,用来确定汽车的结构参数及其基本使用性能:可靠性、耐久性、坚固性、动力性、制动性、通过性、操纵性、稳定性、行驶平顺性、安全性和燃料经济性等等。由于试验场内有些试验路段是模拟车辆的实际使用工况,使车辆的零部件所产生的典型损坏性能与实际使用时的情况基本相同,而且能在很短的试验里程内即可获得试验结果,因此可以大大缩短试验时间,提高试验效率。

1.2 虚拟试验

从广义上讲,任何不使用或部分使用实际硬件来构造试验环境,完成实际物理试验的方法和技术都可以称为虚拟试验。虚拟试验可以定义为在虚拟环境中进行的试验。而虚拟试验环境是基于软件工程研制的仿真试验系统,它允许设计者将虚拟原型安装在其上进行“试验”,借助交互式技术和试验分析技术,使设计者在设计阶段就能对产品的运行性能进行评价或体验。或者虚拟试验就是在计算机系统中采用软件代替部分硬件或全部硬件来建立各种虚拟的试验环境,使试验者可以如同在真实的环境中一样完成各种预定的试验项目,使所取得的试验效果接近或等价于在真实环境中所取得的效果。

其实,虚拟试验并不是一个全新的概念,最早可以追溯到古代和中世纪。古代和中世纪物理学研究采用“思想型”的虚拟试验进行科学研究,例如:伽利略发现惯性定律的“虚拟试验”是在试验中设想了一个既没有摩擦也没有任何外力作用的永远运动的物体;爱因斯坦创立狭义相对论而进行的“思想火车”试验,以及创立广义相对论而进行

的“思想升降机”试验。这一阶段的虚拟试验都是在科学家的头脑中进行的形象思维过程,试验显得很直观,其中的试验对象是实际试验中经常能接触到的物体,如:小球、火车、升降机等,而改变的只是试验条件,如没有任何外力、以光速运行等。

计算机仿真为科学试验开辟了一个全新的解决方案。计算机仿真是利用计算机对试验对象的数学模型进行模拟实验,求得对实物原型系统规律性认识的一种试验方法,它使虚拟试验进入了数字化阶段。计算机仿真试验同“思想试验”一样,进行的试验过程都是计算与逻辑判断。但由于计算机在记忆能力和运算速度上的优势,使计算机仿真试验能处理一些复杂系统和非线性系统的试验。因而,计算机仿真使“思想试验”得到延伸与完善。计算机强大的信息处理能力和强大的计算能力使虚拟试验的范围逐步从简单性研究转向复杂性研究、从定性研究转向定量研究。

计算机仿真的进一步发展是虚拟现实(Virtual Reality Test,简称VR)。虚拟现实是一种人工创建和体验虚拟世界的计算机系统,它具有三个重要特征:高度的沉浸感、可信度和交互性。利用虚拟现实技术,可以方便地在计算机上产生一个虚拟的试验环境,对被试产品进行各种性能测试和检验;通过人的视觉、听觉、触觉等作用于人,使人产生身临其境的感觉,使试验者可以像在真实的环境中一样完成各种预定的试验项目。

1.2.1 虚拟现实

虚拟现实的基本概念可以从两方面进行描述:一是从纯粹的技术层面加以描述;二是在技术的基础上结合使用者的感知加以描述。

1 技术层面的描述

从技术上来讲,虚拟现实是从计算机仿真发展而来的,其实质是一种逼真的仿真模型。约翰·L·卡斯蒂在《可能的世界:计算机仿真如何改变科学的疆域》一书中指出,计算机仿真涉及三个世界:真实世界、数学世界和计算世界。这是一种客观化的视角,其基础是基于科学理论的观测、建模和再现。其中,真实世界对象由时间、位置等直接可观测量,或者由它们导出的能量之类的量所组成,如行星的可观测位置或蛋白质的可观测量。一般的可观测量由有限数字集中取值的离散测量集合构成,即以离散取样描述连续过程。而且由于观察的影响,测量在本质上是不确定或测不准的。在数学世界中,人们用符号表示真实世界的可观测量属性,而符号通常被假定为时空中的数据流,并被赋予某一数集(如整数、实数、复数)的数字值。第三个世界就是生成虚拟现实的计算世界:它的一只脚在物理器件和光影流转的真实世界里,另一只脚则在抽象的数学世界之中。

“完整”的虚拟现实的过程是:

- 对真实世界的事物 A 进行观测,并将观测量转换成数学世界中的数据流;
- 在真实世界中,利用数据流确定的参数,生成具有光影和声音等能够被感知的感觉特性,使人获得与事物 A 一致的感觉。

2 用户层面的描述

虚拟现实试图从身体感官和知觉等感性层面进行仿真,这种仿真的基础又是理性

层面的科学理论。虚拟现实的精致程度要受到科学理论和技术手段的制约,对决定感觉参数的数据流的处理是问题的关键。虚拟现实与真实世界中的联系是间接的,虚拟现实实际上也可以不受常识和因果律的制约而随意虚构。

1992年8月,《商业周刊》(Business Weekly)载文介绍了计算机生成的虚拟现实:“所有系统的核心是数据库……它们能够再现所有事物。处理能力强大的计算机通过精致的三维图像精确地再现了数据所记录的事物,给人们一个新世界……虚拟现实与其他计算机图像技术的不同之处有二:一是它们还能够传达多种感知信息——声音、触觉——使环境更具真实感;二是交互作用……”

虚拟现实是一种人可以进入其中的计算机仿真场景,即由计算机生成的三维图像和立体声所展现的能够与人互动的场景(事物和环境)。所谓互动,意味着我们不再仅是场景的观察者,而且是事件的参与者,即我们能够在某种程度上影响到场景的展现。美国人詹姆斯·特拉菲尔在《未来城》中十分形象地描述了这种虚拟场景:

卡洛走进工作室的时候,天已经黑了……她走进房间,戴起控制手套,要了一间办公室。她的四周立刻出现整面墙壁的真皮精装书,前面则出现了一张办公桌。“让我们看看上个月的销售数字吧”,她一开口,桌上就出现了一卷数字报表并开始卷动。卡洛一边看,一边指出一些需要调整的数字。

几个小时以后,有个声音提醒她说,日本的同事已经准备好了。办公室的一端突然消失,出现了一个男人坐在阳光照耀的泳池边。他俩开始比较彼此的分析结果,并一起准备几个小时以后的一个电话会议。

最有趣的是:那些真皮精装书、办公桌、游泳池,甚至太阳,全都是子虚乌有,是根本就不存在的。

3 虚拟现实的技术基础性描述

将真实感的传达和交互两个方面综合起来就形成了虚拟现实的基本概念。迈克尔·海姆在《虚拟实在的形而上学》一书中对虚拟现实作了较为全面的描述,内容涉及七个方面:

(1) 模拟性,虚拟现实是计算机图像系统对真实景象的逼真模拟,三维音频令虚拟现实增色。

(2) 交互作用,虚拟现实就是他们能与之进行交互作用的电子象征物。

(3) 人工性,虚拟现实是一种人造物。

(4) 沉浸性,虚拟现实的音像和传感系统能够使使用者产生浸没于虚拟世界中的幻觉,即虚拟现实意味着在一个虚拟环境中的感官沉浸。

(5) 到场(Presence),虚拟现实能够使人实时地以远程的方式于某处出场,即虚拟出场。此时,出场相当于“在场”,即你能够在现场之外实时地感知现场,并有效地进行某种操作。

(6) 全身沉浸,这是一种不需要人体传感器的方式,摄像机和监视器实时地跟踪人的身体,将人体的运动输入到计算机中,人的影像被投影到计算机界面上,这使得人通过观察他的投影的位置,直接与计算机中的图形物体(图片、文本等)发生交互作用。

换言之,人成为自己的虚拟现实。

(7) 网络通信,虚拟现实可以通过网络实现共享,使用者通过自行规定并塑造虚拟世界中的物体和活动,就可以不用文字或真实世界的指称来共享幻想的事物和事件。

1.2.2 虚拟试验的优点

虚拟试验系统不仅可以作为真实试验的前期准备工作,而且可以在一定程度上替代传统的试验。与传统试验相比它具有以下优点:

(1) 可以大幅度减少样机制造试验次数,缩短新产品试验周期,同时,降低实际试验的费用。

(2) 虚拟试验技术应用与复杂产品的开发中,可以实现设计者、产品用户在设计阶段信息的互反馈,使设计者全方位吸收、采纳对新产品的建议。

(3) 虚拟试验技术代替实际试验,实现了试验不受场地、时间和次数的限制,可对试验过程进行回放、再现和重复。

1.2.3 虚拟试验的应用

1 工业技术

面对日益激烈的全球化经济竞争形势,工业发达国家迅速调整其科技政策,将先进制造技术视为提高产业竞争力和增强综合国力的根本保证,纷纷制定各自的制造技术发展计划,并将虚拟制造技术作为各项先进制造技术的基础,进行不同程度的研究与发展。美国国家标准及技术研究所(NIST, National Institute of Standards and Technology)制造工程试验室成功建立了国家先进制造测试平台;英国 Herriot-Watt 大学机械与化学工程系,进行了与虚拟装配有关的一系列研究工作;日本 Kao 公司,在两家工厂 Kyushu 和 Wakayama 之间,实现广域网操作虚拟工厂的虚拟试验。另外,德国 Darmstadt 技术大学 Fraunhofer 计算机图形研究所、加拿大的 Waterloo 大学和比利时的虚拟现实协会等均成立了开展虚拟制造技术研究的机构。由 Central Florida 大学教育培训研究院于 1989 年建立的 VSL (Visual Systems Laboratory, 简称 VSL) 虚拟系统试验室,目前正在开展多项与虚拟试验相关的支撑技术研究,如虚拟试验环境中的网络及并行计算技术、复杂试验环境的实时物理仿真技术、低价图形仿真技术等,设计并开发了第一例实时动态虚拟环境,第一例 VR 3D CAD 虚拟设计系统等。在国内,由于虚拟制造技术出现较晚,研究机构还很少,但发展趋势与发达国家的差距逐步缩小。清华大学 CIMS 工程研究中心虚拟制造研究室,是国内最早开展虚拟制造研究的机构之一,主要研究方向是虚拟产品开发。西安交通大学 CAD/CAM 研究所主要研究以网络为中心的创新设计与全球制造。此外,上海交通大学 CIMS 研究所、北京航空航天大学 and 浙江大学等也进行了部分虚拟制造技术的研究。

利用虚拟样机技术进行虚拟试验,已经取得了很大成功。虚拟样机是利用计算机仿真技术建立与物理样机相似的模型,并对模型进行评估和测试,使真实系统在设计阶段就能尽可能达到用户的要求,从而获得优化的物理模型设计方案。20 世纪 80 年代

末,NASA 刘易斯研究中心的一些管理人员和研究人員,就已经开始研究如何将快速发展的计算机仿真技术应用到航空发动机部件及整机的设计中,实现燃气涡轮发动机虚拟样机设计。美国波音飞机公司的波音 777 飞机是世界上首架以无图方式研发及制造的飞机,其设计、装配、性能评价及分析就是采用了虚拟样机技术。波音公司也将该技术运用于其他产品的研制中,开发了 VLAB (Virtual Laboratory) 系统,取得了成功应用。通过集成化的飞机虚拟样机环境,可以对新系统的设计、性能和飞行性能的评估提供全面的数据,只有当系统的性能指标全面达到要求后,才投入原始样机的研制。这样既提高了产品的性能,又缩短了研制周期,减小了研制经费和设计风险。

美国应用虚拟试验技术对核武器的爆炸进行了精确的建模与仿真,在不爆炸核武器的前提下对核武器的爆炸进行“虚拟试验”,从而估计出核武器储存过程中材料老化对其性能的影响。利用虚拟现实技术也可以实现地形、地面的仿真和飞行、投弹、爆炸等的仿真,提供给研究者真实的临场参与感。武器系统虚拟样机是在计算机上建立的武器系统及其使用环境的完整、详细的模型,它能够逼真地反映武器在测试、试验和作战使用中的性能。

2 农业生产

虚拟试验也已用于农业方面,如农作物育种、牲畜的品种改良等方面。由于这些试验周期太长,很难及时知道效果,通过虚拟试验将在试验田进行的一些试验工作搬到计算机虚拟试验室中进行模拟试验,可以节省大量的时间。如,利用虚拟植物技术,在电脑屏幕上设计农作物,然后再进行实际培育或用基因工程技术繁殖出真实的农作物,使农作物新品种具有虚拟植物的理想性状。虚拟植物作为农作物育种的重要工具,已经有成功的先例。一个著名的例子是新西兰 Hort 研究所利用虚拟植物技术对猕猴桃品种进行改良的研究。与传统的植物生长模拟模型相比,虚拟植物具有很大的优势:虚拟植物可容易地计算出植物群体空间中任意位置点的光通量的精确值;可以模拟农药从喷雾器中喷出后的空间运行轨迹,直观地观察农药在植物群体中的空间分布与害虫的位置关系,从而确定农药的最佳喷施方法;可以非常直观地对农田、森林等复杂的生态系统进行研究。虚拟植物技术还可用于建立对教学和农业技术推广极为有用的虚拟农场,让学生和农民在计算机上种植虚拟作物并进行虚拟农田管理。学习者可以从任意角度观察虚拟植物,甚至可以在作物冠层内漫游,观察作物生长状况的动态过程;还可以通过改变环境条件和栽培措施,直观地观察作物生长过程及最终结果,找出最佳栽培方式。

3 教育培训

虚拟现实技术目前的发展水平使其可以胜任对物理试验室的仿真。在教育领域中应用虚拟试验技术具有很多优点:可以精确地演示试验过程;试验者可以在很近的距离或很远的距离观察试验;提供了从内部进行观察的机会;允许学习者根据自己的节奏来完成试验;对试验者没有时间和时期的限制;进一步激发学生的学习兴趣。

国内学者利用计算机虚拟试验技术设计的机构运动简图测绘虚拟试验系统可以让

学生在计算机上独立完成试验,模拟试验的全过程,并得到图文并茂的试验结果报告。该系统还可作为计算机辅助教学(CAI)课件用于多媒体教学,上网实现远程教育等。在电路虚拟试验系统中人们利用计算机仿真软件来替代部分实物试验,如采用 Interactive Image Technologies LTD 推出的 Electronics Work Bench (简称 EWB),美国加州大学伯克利分校开发的 Simulation Program With Integrated Circuit Emphasis (简称 PSPice) 等,可以在计算机上组成一个“虚拟试验室”,利用软件方法来虚拟电子与电工元器件、各类测试仪器仪表,组成各种电路,并对虚拟电路进行测量与调试,实现电路设计自动化(即电路 CAD)。虚拟工程/科学试验系统是 Johns Hopkins 大学化学工程系为配合课程《What is Engineering?》的教学而建立的,目前能够提供逻辑电路试验、扩散过程试验、石油勘探试验、机器人手臂控制试验、桥梁设计试验、管道传热试验、树木测量试验、声音传播试验、热传导试验、概率分布试验等。

4 医疗卫生

虚拟试验系统在医学上应用的一个著名的例子是美国的 Visible Human 项目。该项目通过将一具尸体经过固化、切片、扫描、三维重建处理,将一个三维人体图像显示在计算机屏幕上,可以在屏幕上进行旋转、剖切等操作。实现医学人员在计算机上进行人体解剖教学和虚拟手术等工作。1991 年 3 月 IBM 公司推出了一种名为 Multisensorial 的虚拟外科手术试验系统,该系统可供多用户使用,其中一个用途是外科医生可以用“虚拟手术室”做虚拟手术。对于非常复杂的外科手术,外科医生和手术室的护士们可以利用这个系统在给病人真正动手术前做虚拟试验,有把握后才进行真实手术。虚拟细胞的研究不仅可以模拟人体细胞结构和功能,阐明生命活动的反应和规律,了解疾病发病的过程和机理,进行疾病的辅助诊断和治疗,而且可以用于药物设计方面。

由中国科学院、北大、清华联合发起的“虚拟中国人”计划也是虚拟试验技术在医学上应用的一个实例。其实,虚拟人计划在发达国家很早就得到了重视,美国已造出一对虚拟白人,韩国也于 2000 年启动了为期五年的可视韩国人计划。“虚拟人”不是真人,只是电脑里的人体数据集成。通过建立人体形态和功能信息库构造“虚拟人”数字模型,利用来源于真人的解剖和生理信息,集成虚拟的数字化人体信息资源,通过计算机模拟构造出仿生虚拟人,进而在其身上开展各种无法在真人身上进行的诊断与治疗研究。“虚拟中国人”运用于临床诊断、治疗和预防康复,将提升我国的医疗质量和人们的健康水平。

5 虚拟试验在车辆工程方面的应用

计算机技术的不断发展,硬件性能的不断提高,推动了虚拟试验在车辆工程方面的应用。1972 年,美国通用汽车公司首先开发了车辆动力性和燃油经济性的通用预测程序 GPSIM,该程序可以模拟汽车在任何工况行驶下的瞬时油耗、累计油耗、行驶时间和距离,预测汽车设计参数如:质量、传动比、空气阻力系数等的变化对汽车性能的影响。美国能源复用试验室 NREL (National Renewable Energy Laboratory) 在 Matlab 的环境下,利用 Simulink 工具箱开发的 ADVISOR (Advanced Vehicle SimulatOR),能够在汽

车未成型前评价出普通汽车、电动汽车和混合动力汽车的动力性、经济性和排放等性能。它已经被很多企业在实际工作中开始使用,其中包括知名企业 Chrysler Corp.、General Motors Corp. 等。美国北卡大学虚拟环境试验室,开展了车辆驾驶员虚拟环境的研究,具有极强的工程应用性。美国 MDI 公司开发的 ADAMS 软件是构造产品的虚拟原型的一个很好的平台,其中的 car 模块是 MDI 公司与 Audi、BMW、Renault 和 Volvo 等公司合作开发的整车虚拟设计软件包,集成了它们在汽车设计、开发等方面的经验。利用该模块,工程师可以快速建造高精度的整车虚拟样机(包括车身、悬架、传动系统、发动机、转向机构、制动系统等)并进行仿真,通过高速动画直观地显示在各种工况下(例如:天气、道路状况、驾驶员经验)整车动力学响应,输出标志操纵稳定性、制动性、乘坐舒适性和安全性的特征参数,从而减少对物理样机的依赖。VTL (Virtual Test Lab.) 系统是由美国 MTS (Mechanical Test System) 公司研制的虚拟试验系统,该系统通过在产品或者部件上安装虚拟传感器,并将虚拟原型安装在不同的试验环境中,可获得产品的疲劳强度、动态特性、操作舒适性、噪声以及振动等试验结果。在 VTL 环境中,一旦虚拟模型确定,可以反复进行试验,并根据虚拟试验结果对设计进行反复修改,从而获得最佳设计方案。

与西方发达国家相比,国内在虚拟试验方面的研究单位主要集中在高校。吉林大学汽车动态模拟国家重点实验室对汽车防抱制动系统 (ABS) 混合仿真试验台进行了系统分析,建立了用于硬件在环仿真的车辆模型、轮胎模型、路面模型以及 ABS 液压系统模型,并进行了硬件在环仿真试验。它将 ABS 实际部件嵌入到软件环境中进行混合仿真,极大地扩展了软件仿真的功能,为 ABS 产品开发提供了开发工具和试验平台。

1.3 虚拟试验的实施方案

虚拟试验是在虚拟环境中进行的试验,虚拟试验环境是基于软件工程研制的仿真试验系统,设计者将试验产品(虚拟原型)安装在试验环境里进行“试验”,借助交互式技术和试验分析技术,使设计者在设计阶段就能对产品的运行性能进行评价或体验。换句话说,虚拟试验就是在计算机系统中采用软件代替部分硬件或全部硬件来建立各种虚拟的试验环境,使试验者可以如同在真实的环境中一样,完成各种预定的试验项目,使所取得的试验效果接近或等价于在真实环境中所取得的效果。因此,虚拟试验的实施一般需要以下几个步骤:

- 虚拟试验场建立;
- 虚拟原型的开发;
- 虚拟原型在虚拟试验场中的调用;
- 试验结果的存储与回放。

在后面的章节中将对虚拟试验的实现方法加以具体论述。

第2章 虚拟现实技术概论 及典型硬件装置

2.1 引言

2

虚拟现实系统就是利用各种先进的硬件技术和软件工具,设计出合理的硬件、软件及交互手段,使参与者能够交互地观察和操纵所生成的虚拟世界。首先,要使参与者有“真实”的体验,这种体验就是“沉浸”或“投入”,即全身心地进入,简单地说就是产生身处虚拟世界中的幻觉。理想情况下虚拟环境应该达到使用户难以分辨真假的程度。为了达到这个目标,系统就必须提供多感知的能力。理想的虚拟现实系统应该提供人类所具有的一切感知能力,包括视觉、听觉、触觉,甚至是味觉和嗅觉。其次,系统要能提供方便的、丰富的、主要是基于自然技能的人机交互手段。这些手段使得参与者能够对虚拟环境进行实时地操纵,能从虚拟环境中得到反馈的信息,也能使机器系统了解参与者关键部位的位置、状态、变形等各种机器系统需要的数据。实时性是非常重要的,如果在交互时存在较大的延迟,与人的心理经验不一致,就谈不上自然技能的交互,也很难获得沉浸感。为达到这个目标,高速计算和处理就必不可少。

2.2 虚拟现实的分类

交互和沉浸是所有虚拟现实的两个实质性的特征。因此,根据虚拟现实应用的不同,即虚拟现实的程度,它可以分成不同的类别。早期的虚拟现实可能只有部分虚拟现实的特性,例如环幕电影或立体电影。实际应用中,不同虚拟现实系统设计的侧重点和所受约束各不相同,有些应用也不需要完全的沉浸和投入。受资金限制不能装备最先进的硬件设备,或是硬件本身的性能达不到要求,这样系统的计算速度、交互手段可能就会受到影响,此时主要从软件上着手可以弥补某些缺陷,例如虚拟全景空间、虚拟仿真等。由于工程应用本身并不限制使用的技术范围,只要能达到目标,是可以把各种技术有效地集成起来,设计出一个成功的虚拟现实系统。

按虚拟现实系统沉浸的程度不同,虚拟现实系统可分为桌面虚拟现实系统(Desktop VR)、沉浸式虚拟现实系统(Immersion VR)、分布式虚拟现实系统(Distributed VR)。

2.2.1 桌面虚拟现实系统

桌面VR系统使用PC和低级工作站实现仿真,计算机的屏幕作为参与者观察虚