



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
研究生教学用书（教育部研究生工作办公室推荐）

虚拟设计

第3版

陈定方 罗亚波 等著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

研究生教学用书（教育部研究生工作办公室推荐）

虚 拟 设 计

第 3 版

陈定方 罗亚波 等著



机 械 工 业 出 版 社

本书全面、系统地介绍了虚拟设计的理论与研究成果,内容主要包括虚拟现实技术体系结构、虚拟现实硬件基础、虚拟现实软件技术、虚拟设计中的建模技术、虚拟加工系统的设计与开发、基于力觉/触觉反馈技术的交互式虚拟拆卸系统、虚拟设计与3D打印软硬件融合平台、虚拟环境下的物理建模、增强现实案例——虚拟与现实融合的路径可调室内攀岩机。全书内容翔实、案例典型,具有系统性、先进性和实用性。

本书可作为高等学校本科学生、研究生“虚拟设计”课程的教材,也可以作为从事虚拟设计/虚拟制造的研究或者应用人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟设计/陈定方等著. —3版. —北京:机械工业出版社, 2019.2
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-62133-1

I. ①虚… II. ①陈… III. ①仿真系统-高等学校-教材 IV. ①TP391.92

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第038042号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王春雨 责任编辑:王春雨

责任校对:张晓蓉 封面设计:严娅萍

责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2019年4月第3版第1次印刷

184mm×260mm·10印张·246千字

标准书号:ISBN 978-7-111-62133-1

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

回顾 70 多年来计算机技术发生、发展和不断完善的过程, 各行各业的计算机应用都在按照自动化 (Automation)、智能化 (Intelligence)、可视化 (Visualization) 不断发展。目前备受关注的“VR”技术, 是十分引人瞩目的一个分支。

“VR”技术即虚拟现实技术, 是计算机图形学、人工智能、计算机网络、信息处理等技术综合发展的产物。虚拟设计是基于虚拟现实理念和技术手段的设计, 是在由高性能计算机和网络构成的虚拟空间中通过计算机仿真技术、专家系统的辅助进行产品研制的设计过程。虚拟设计充分利用虚拟现实技术的交互性、沉浸感和构想性三个重要特征, 构造当前不存在的环境、人类不可能到达的环境和耗资巨大的产品设计环境。

在虚拟设计过程中, 设计对象可以通过极具沉浸感的显示系统呈现在人们的眼前, 通过力反馈系统将设计对象的力学特性传递给设计者, 通过专家系统对产品设计进行全方位的观察、检测、优化, 从而在产品的设计阶段模拟出产品, 即虚拟样机开发的全过程, 从而评估对产品设计的影响, 预测产品功能、性能、制造成本、工艺性、可维护性、可拆卸性, 提高产品设计的成功率, 灵活、经济地组织生产, 提升产品质量和生产效率, 缩短开发周期和降低成本, 缩短产品设计与用户之间的距离。

尽管虚拟设计的出现只有很短的时间, 但它对传统设计方法的革命性的影响却很快地显现出来。由于虚拟设计系统基本上不消耗资源和能量, 也不生产实际产品, 而是产品的设计、开发与加工过程在计算机上的实现, 即完成产品的数字化过程。与传统的设计和制造相比较, 它具有高度集成、快速成型、分布合作等特征。这些特征能够很好地解决 TQCSE 难题, 即以最快的上市速度 (T—Time to Market)、最好的质量 (Q—Quality)、最低的成本 (C—Cost)、最优的服务 (S—Service) 和保护环境 (E—Environvent) 来满足不同顾客的需求。因此, 虚拟设计技术不仅在科技界, 而且在企业界引起了广泛关注, 成为研究的热点。

1996 年以来, 作者的研究团队, 先后承担了一系列科学研究项目和用户委托的应用项目, 并取得了一定的成果, 如: “分布式虚拟设计/制造研究及应用”获得湖北省科技进步一等奖; “基于分布式虚拟汽车驾驶平台关键技术研究”获得湖北省科技进步二等奖; “长江干堤重点堤岸失稳计算机仿真系统 CJDAFZS”获得湖北省科技进步二等奖。

为了总结研究工作, 与更多的同行交流研究成果, 同时, 也使正在进入虚拟设计领域的年轻学者尽快进入学科前沿, 我们撰写了这本专著, 并分别于 2002 年出版了第 1 版、2007 年出版了第 2 版。本书推出后, 取得了良好的应用效果, 被遴选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材、研究生教学用书。

自本书第 2 版推出近十年来, 研究团队在虚拟设计领域取得了一系列新的成果, 如: “虚拟与现实融合的路径可调室内攀岩机”获得湖北省第十一届“挑战杯”竞赛特等奖、第十五届全国“挑战杯”竞赛三等奖; “无线传感器网络与移动机器人相结合的

物联网技术研究与应用”获得湖北省科技进步二等奖；“桥（门）式起重机作业人员仿真操作培训考核专家系统”获得湖北省科技进步二等奖；“面向供应链服务的现代物流中心关键技术与应用”获得湖北省科技进步二等奖。

基于虚拟设计技术在近年来的发展，研究团队在第2版的基础上，总结归纳近年来的新成果，推出第3版，介绍了更深层次的方法和更前沿的技术，如：虚拟环境下的物理建模、增强现实技术、VR与3D技术融合平台及企业应用案例等。

第3版由10章组成。

第1章至第5章为理论基础部分。

第1章 绪论，对虚拟现实的概念、组成、发展历程、国内外研究现状和主要应用及未来发展进行了概述。

第2章 虚拟现实技术体系结构，论述了虚拟现实技术与计算机仿真的关系、虚拟现实技术体系结构、虚拟现实系统的分类、虚拟设计/制造系统的体系结构，并阐述了前沿的AR/MR等新技术的发展趋势。

第3章 虚拟现实硬件基础，从人的感官对应的各种接口着手，介绍了手部数据交互设备、视觉感知设备、听觉感知设备、触觉和力反馈设备、虚拟嗅觉、味觉设备等VR硬件设备。

第4章 虚拟现实软件技术，以典型的虚拟现实建模语言VRML和虚拟世界工具包WTK为软件工具，介绍了虚拟环境开发的一般软件技术。

第5章 虚拟设计中的建模技术，在阐述虚拟建模的类型的基礎上，分别介绍了几何建模、基于图像的建模、图像与几何模型相结合的虚拟环境建模技术，并介绍了场景优化方法。

第6章至第10章为应用部分。

第6章 虚拟加工系统的设计与开发，阐述虚拟加工系统的设计与建模方法、插补算法，介绍了基于OSG的虚拟数控加工场景漫游和虚拟数控车削过程，以创新设计产品——非圆齿轮为例，介绍了基于VR技术的加工过程。

第7章 基于力觉/触觉反馈技术的交互式虚拟拆卸系统，在阐述力反馈交互技术原理的基础上，以虚拟拆卸为实例，阐明了力反馈技术的实现与应用方法。

第8章 虚拟设计与3D打印软硬件融合平台，阐述了虚拟现实与3D打印软硬件融合平台的构思，设计了虚拟设计与3D打印融合平台框架，以双圆弧谐波减速器为例，阐明了虚拟设计与3D打印相融合的设计方法。

第9章 虚拟环境下的物理建模，分别用行星减速器的虚拟装配、虚拟环境下的行星减速器动力学特性分析、虚拟环境下的桥式起重机驾驶模拟器物理建模三个案例，阐述了虚拟环境下物理建模的基本理论与方法。

第10章 增强现实案例——虚拟与现实融合的路径可调室内攀岩机，以作者研究团队完成的全国“挑战杯”竞赛获奖作品为案例，阐述了增强现实的基础理论与实现方法。

本书的第1章由罗亚波、杨艳芳、陈定方撰写，第2章由杨艳芳、罗亚波、田斌、陈定方撰写，第3章由杨艳芳、周丽琨、王锐、陈定方撰写，第4章由罗亚波、杨艳

芳、周丽琨、陈定方、郭文庚撰写，第5章由杨艳芳、吴敬兵、陈满意、陈定方、李勋祥撰写，杨普归纳整理，第6章由杨艳芳、李波、孙晗、柏强、陈定方、袁莎撰写，第7章由杨艳芳、李嘉、杨普、王锐、陈定方撰写，第8章由陈定方、杨艳芳、曾帆、聂少文、李波、何李朋撰写，第9章由陈定方、陶孟仑、何毅斌、有人、李亚强撰写，李攀归纳整理，第10章由梅杰、王思涵、陶孟仑、陈定方撰写，何烽伧归纳整理。全书由陈定方、罗亚波整理成文。

在本书出版之际，要感谢武汉市科学技术局、湖北省科学技术厅、国家自然科学基金委员会、国家863高技术专家组和教育部数字制造装备与技术国家重点实验室、材料成形与模具技术国家重点实验室、中国科学院计算技术研究所智能信息处理重点实验室对我们研究工作的支持。这是我们能够长期从事应用基础研究的有效保证。要感谢多年来在研究所一起学习与工作的博士后、博士研究生和硕士研究生们，没有他们的辛勤劳动和长期积累，亦不可能有本书的出版。要感谢上海振华重工（集团）股份有限公司（ZOMC）、武钢集团机械制造公司、东风汽车制造公司、武汉重型机床集团有限公司、中船重工集团716研究所、海军潜艇学院、郑州机械研究所、深圳惠尔海洋工程设计有限公司、湖北科峰传动设备制造有限公司、云南吉人包装科技有限公司等企业在与我们长期的合作过程中，对我们的支持和帮助。

由于作者水平所限，书中难免存在不足与错漏，恳请广大读者批评、指正。

陈定方 罗亚波

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 虚拟现实的概念	1
1.2 虚拟现实的发展历程和研究现状	3
1.3 虚拟现实技术的主要应用领域	6
1.4 虚拟现实技术未来展望	10
第 2 章 虚拟现实技术体系结构	12
2.1 虚拟现实技术与计算机仿真的关系	12
2.2 虚拟现实技术体系结构	12
2.3 虚拟现实系统的分类	15
2.4 虚拟设计/制造系统的体系结构	18
2.5 VR 进阶：增强虚拟现实（AR）	20
2.6 VR 进阶：混合现实（MR）	22
2.7 未来的机遇	23
第 3 章 虚拟现实硬件基础	24
3.1 虚拟现实建模设备	25
3.2 手部数据交互设备	26
3.3 跟踪定位设备	27
3.4 视觉感知设备	30
3.5 听觉感知设备	33
3.6 力反馈和触觉设备	33
3.7 虚拟嗅觉、味觉设备	36
第 4 章 虚拟现实软件技术	37
4.1 VRML 概述	37
4.2 VRML 的语法与结构	37
4.3 三维页面制作	39

4.4	实现交互功能	44
4.5	VRML 建模案例——挖掘机交互仿真	47
4.6	虚拟世界工具包	49
第 5 章	虚拟设计中的建模技术	54
5.1	虚拟建模的类型	54
5.2	几何建模	55
5.3	基于图像的虚拟环境建模技术	61
5.4	图像与几何相结合的建模技术	66
5.5	场景优化技术	70
第 6 章	虚拟加工系统的设计与开发	73
6.1	虚拟加工仿真综述	73
6.2	虚拟加工系统设计	73
6.3	虚拟模型构建	74
6.4	插补算法	76
6.5	基于 OSG 的虚拟数控加工场景漫游	78
6.6	基于 OSG 的虚拟数控车削过程	80
6.7	非圆齿轮的数控插齿加工	84
第 7 章	基于力觉/触觉反馈技术的交互式虚拟拆卸系统	89
7.1	力反馈交互技术原理	89
7.2	力反馈虚拟拆卸实例分析	93
第 8 章	虚拟设计与 3D 打印软硬件融合平台	105
8.1	虚拟设计与 3D 打印软硬件融合平台构思	105
8.2	谐波减速器虚拟设计与 3D 打印融合平台	106
8.3	谐波齿轮虚拟设计	106
8.4	谐波齿轮虚拟加工仿真	110
第 9 章	虚拟环境下的物理建模	116
9.1	虚拟环境下物理建模的基本理论与方法	116
9.2	案例一：行星减速器的虚拟装配	118
9.3	案例二：虚拟环境下的行星减速器动力学特性分析	121

第1章 绪 论

虚拟现实技术起源于 20 世纪 60 年代。计算机图形学、人机接口、图像处理与模式识别、语音处理与音响、高性能计算机系统、人工智能等技术的长足发展，促进了虚拟现实的多层面的发展与应用。如图 1.1 所示，将混合现实（下称 MR）视为包括增强现实（下称 AR）及增强虚拟（下称 AV）在内的一个更为广泛的一维“真实-虚拟”连续闭集空间，横轴左端为纯现实环境，横轴右端为纯虚拟环境，MR 是在横轴上除去左右端点外的其余部分，AR、AV 则分别是位于更接近真实环境和虚拟环境的一部分连续空间。



图 1.1 一维“真实-虚拟”连续闭集空间

物理世界（下称 PW）是人类所处的、不需要借助设备就能够感知的自然环境、人文环境，亦称真实世界。

MR 是一种使真实世界和虚拟物体在同一视觉空间中显示和交互的计算机虚拟现实技术。

AV 则是将物理世界的信息叠加到虚拟现实技术模拟、仿真的世界中。

VR 采用计算机图像技术等对物理世界的实体信息进行模拟、仿真。

AR 是将 VR 技术模拟、仿真的信息叠加到物理世界中，被人类感官所感知。AR 使用者以姿态、手势、语音等形式，通过声音、影像、光、水、雾、烟、振动等的综合与现实世界实现深度、实时的交互。

VR 是要达到增强现实的目的，即用虚拟物体来丰富、增强真实的环境，而不是用它来代替真实的环境。其作用是给用户一个将现实世界和计算机中的虚拟模型结合起来的工作环境。下面分别介绍虚拟现实技术及增强现实技术。

1.1 虚拟现实的概念

1.1.1 虚拟现实的定义

虚拟现实（VR）是一种计算机界面技术。利用计算机软硬件、传感器和网络，模拟一个包括几何三维空间和时间维的四维空间的虚拟世界，提供使用者关于视觉、听觉、触觉以及嗅觉、味觉等感官的模拟，让使用者如同身临其境，可以即时、没有限制地观察空间内的事物，如图 1.2 所示。

一个完整的虚拟现实系统包含一个逼真的三维虚拟环境和符合人们自然交互习惯的人-机交互界面，使人作为参与者通过适当装置，自然地对虚拟世界进行体验和交互。分布式虚

拟现实系统还要包含用于共享信息的人-人交互界面。用户可以沉浸在一种人工的虚拟环境里,通过虚拟现实软件及其有关外部设备与计算机进行充分的交互,进行构思,完成所希望的任务。



图 1.2 虚拟现实

虚拟现实技术突出的价值在于:

- ①用于构造当前不存在的环境;②构造人类不可能到达的环境;③构造现实中需巨大财力、物力才可建成的环境。

1.1.2 虚拟现实的本质特性

人们在现实世界中是通过眼睛、耳朵、手指等器官来实现视觉、听觉、触觉等功能的。人们可以通过视觉观察到色彩斑斓的外部环境,通过听觉感知丰富多彩的音响世界,通过触觉了解物体的形状和特性。总之,人们通过多种渠道,与客观世界进行交互,并沉浸在客观世界中。因此,理想的虚拟现实技术应该具有一切人所具有的感知功能,应该包含对人自然交互方式的模拟,能提供给用户以视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等多感知通道,应该具有交互性(Interaction)、沉浸感(Immersion)及构想性(Imagination)三个典型特征,简称为3I或I³,如图1.3所示。

交互性:指操作者能够对虚拟环境中的事物进行操作,并且操作的结果能被操作者感知。例如,用户可以用手去直接抓取虚拟环境中虚拟的物体,这时手会有握着东西的感觉,并可以感觉到物体的重量,视野中被抓的物体也能随着手的移动而移动。

沉浸感:又称临场感,是指用户感到作为主角存在于虚拟环境的真实程度。理想的虚拟环境应该达到使用户难以分辨真假的程度,例如可视场景应随着视点的变化而变化,使用户全身心地投入到计算机创建的三维虚拟环境中,该环境中的一切看上去像是真的,听上去像是真的,动起来像是真的,甚至闻起来、尝起来等一切感觉都像是真的,如同进入了一个真实的客观世界。

构想性:强调虚拟现实技术具有广阔的可想象空间。用户沉浸在虚拟环境中通过交互不仅可以获得新知识,还可以与虚拟环境相互作用,并借助人本身对所接触事物的感知和认知能力,帮助启发用户的思维,以全方位地获取虚拟环境所蕴含的各种空间信息和逻辑信息。

沉浸/临场感和实时交互性是虚拟现实的实质性特征,对时空环境的现实构想(即启发思维、获取信息的过程)是虚拟现实的最终目的。

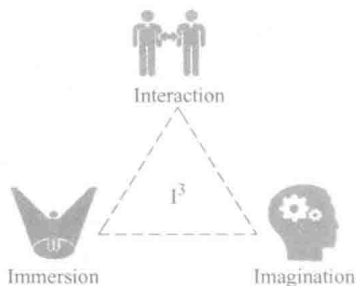


图 1.3 虚拟现实的本质特征

1.1.3 虚拟现实的组成

根据虚拟现实的概念及其三个本质特征可知,虚拟现实技术是在众多的相关技术基础上发展起来的。虚拟现实系统为用户提供视觉、听觉、触觉、嗅觉,甚至能进行交互,如图1.4所示。

视觉:俗话说,眼见为实,可是在虚拟世界里,眼见并不一定为实,很可能是虚幻的事

物。而这些虚幻的事物有时需要我们通过某种“利器”才能很好地感受并沉浸其中，这就是“数据头盔”，也称为头盔式显示器。

听觉：在虚拟世界中听见的声音，都是由计算机生成，并通过扬声器播放出来的。例如，当扬声器播放头顶有一架飞机从左至右飞过的声音时，你闭上双眼，就真会感觉到头顶有一架飞机从左至右飞过。这就是声音带给你的刺激。

触觉：在现实生活中，当我们伸手去触摸物体时，你会有一种触碰的感觉。那么，虚拟现实技术是怎样让我们有这种感觉的呢？这正是力反馈的作用。在虚拟现实世界中，力反馈能带给我们真实的触感，这种反馈的产生得益于力反馈装置。

嗅觉：气味是一种非常强大的情绪催化剂，能让你瞬间联想到很多东西并产生真实的感受，这种效果比视觉或听觉刺激要好得多。虚拟现实中的嗅觉模拟往往是通过特定的传感设备根据虚拟情景的需要来产生相应的气味，进而使人产生相应的嗅觉体验。如：Vapor Communications 公司的 Cyrano 设备，FeelReal 公司的 FeelReal Mask 面具等都可以实现对嗅觉的模拟。

味觉：味觉是不可或缺的基本感觉之一。我们的舌头上分布有许多的味蕾（传感器），使我们在吃东西时能感觉到酸甜苦辣等各种味道。在虚拟现实技术中，这种感觉可以通过数码味觉接口来实现，这种数码味觉接口包含两个主要模块：第一个是控制系统，可以配置不同性质的刺激：电流、频率和温度，把这些刺激结合起来，就可以欺骗味觉传感器，让它们以为正在体验和食物有关的感觉，但事实上，它们只是在体验第二模块传递的温度变化和电刺激，第二个模块叫作“舌头接口”，是两片薄薄的金属电极。酸、咸、苦的感觉是通过电刺激模拟的，薄荷味、辣味和甜味是通过热刺激模拟的。

虚拟现实作为一项综合技术，集成了计算机图形学、多媒体、人工智能、多传感器、网络、并行处理等技术的最新研究成果，为我们创建和体验虚拟世界提供了有力的支持。由于它生成的视觉环境是立体的，音效是立体的，人机交互是和谐友好的，因此虚拟现实技术将一改人与计算机之间枯燥、生硬和被动的现状，即计算机创造的环境将使人们陶醉在工作环境之中。

VR 作为一个通用的计算平台，涉及四个技术领域：①意图捕捉，能够在任何时刻可靠和快速地理解用户需求，即输入方式；②人物捕捉，包括感知、编码、重现使用者的外观、行为、情绪、非语言暗示等信号；③环境捕捉，指感知、编码、重现真实世界的环境；④环境渲染，以高质量渲染虚拟的世界，其中包括相关的感知方式。

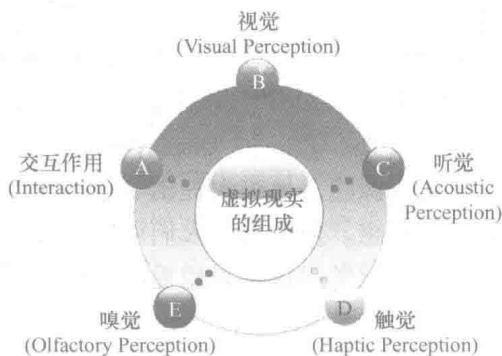


图 1.4 虚拟现实的组成

1.2 虚拟现实的发展历程和研究现状

1.2.1 虚拟现实的发展历程

虚拟现实是随着科技的进步、经济的发展而兴起的一门由多学科支撑的新技术，它可以很好地满足市场全球化所提出的要求，并且有助于人们更好地去解决资源问题、环境问题与

需求多样性问题。

美国是 VR 技术的发源地,美国 VR 技术的研究水平基本上代表了国际 VR 发展的水平。

1965 年,在 IFIP 会议上,有 VR“先锋”之称的计算机图形学的创始人 Ivan Sutherland 做了题为《The Ultimate Display (终极的显示)》的报告,提出了一项富有挑战性的计算机图形学研究课题:他首次提出了包括交互图形显示、力反馈以及声音提示功能的虚拟现实系统的基本思想。他指出:人们可以把显示屏当作观察虚拟世界的窗口,它可以给观察者带来身临其境的感觉。这一思想提出了虚拟现实的雏形。至此,人们正式开始了对虚拟现实系统的研究。

1966 年,美国 MIT 的林肯实验室正式开始了头盔式显示器的研制工作。在第一个头盔式显示器(HMD)的样机完成不久,研制者又把能模拟力量和触觉的力反馈装置加入到这个系统中。

1968 年,Ivan Sutherland 使用两个可以戴在眼睛上的阴极射线管(CRT)显示器,研制出了第一台头盔式三维显示器,并发表了题为“A Head - Mounted 3D Display (头盔式三维显示装置)”的论文,对头盔式三维显示装置的设计要求、构造原理进行了深入的讨论,并绘出了这种装置的设计原型,成为三维立体显示技术的奠基性成果。

1975 年,Myron Krueger 提出了“人工现实”的思想,展示了一种并非真实存在的概念化环境。

20 世纪 80 年代,美国宇航局及美国国防部组织了一系列有关虚拟现实技术的研究,并取得了令人瞩目的研究成果,从而引起了人们对虚拟现实技术的广泛关注。

1985 年,Scott Fisher 等研制了一种著名的“数据手套”(Data Glove),这种柔性、轻巧的手套可以测量手指关节的动作、手掌的弯曲以及手指间的分合,从而可编程实现各种“手语”。

麻省理工学院(MIT)是一个一直走在最新技术前沿的教学和研究机构。1985 年 MIT 成立了媒体实验室,进行虚拟环境的正规研究。此外,MIT 还在进行“路径规划”与“运动计划”等研究。

1987 年,美国 VPL 研究公司发明了数据服。1988 年,VPL 建立了一套完整的 VR 系统。1989 年,VPL 创始人 Jaron Lanier 提出了“Virtual Reality (虚拟现实)”这个名词。

1990 年,在美国达拉斯召开的 Siggraph 会议上,对 VR 技术进行了讨论,明确提出了 VR 技术的主要内容是实时三维图形生成技术、多传感交互技术以及高分辨率显示技术,这为 VR 技术的发展确定了研究方向。

除美国外,欧洲、日本的研究者也踊跃投入了虚拟现实技术的研究。

在 VR 开发的某些方面,特别是在分布并行处理、辅助设备(包括触觉反馈)设计和应用研究方面,欧洲是领先的。1991 年底,英国已有从事 VR 研究的六个中心:Windustries (工业集团公司),British Aerospace (英国航空公司),Dimension International, Division Ltd, Advanced Robotics Research Center, Virtual Presence Ltd (主要从事 VR 产品销售)。

British Aerospace (BAE) 开发的大项目 VECTA (Virtual Environment Configurable Training Aid) 是一个高级测试平台,用于研究 VR 技术以及考察用 VR 代替传统模拟器的潜力。VECTA 的子项目 RAVE (Real and Virtual Environment) 就是专门为在座舱内训练飞行员而研制的,已在 1992 年的 Farnborough 航空展示会上进行了首次演示。

德国 Darmstadt 的 Fraunhofer 计算机图形研究所 (IGD - FHG) 在 1992 年建立了一个 VR 演示中心, 用于评估 VR 对未来系统和界面的影响, 该中心的任务是在测试平台环境中给用户和生产者提供通向先进的可视化、模拟技术和 VR 技术的途径, 因为新的思想和实验可以从中通过真实、方便的实验来证实。

1992 年, 在法国召开了 VR 的第一次国际会议——真实世界和虚拟世界的接口。

日本主要致力于建立大规模虚拟现实知识库, 在虚拟现实游戏方面的研究也处于领先地位。富士通实验室有限公司研究虚拟生物与虚拟现实环境的相互作用、虚拟现实中的手势识别。日本奈良先端科学技术大学院大学 (Nara Institute of Science and Technology) 千原国宏教授所领导的团队开发出一种嗅觉模拟器, 是虚拟现实技术在嗅觉领域的一项突破。

20 世纪 90 年代以来, 在“需求牵引”和“技术推动”下, VR 研究取得了突飞猛进的发展, 并将技术成果成功地集成到一些很有实用前景的应用系统中, 如: Apple 公司的人机接口实验组 (ATG) 建立了一个基于实景的成像环境, 在其中用户能与 QuickTime 数字视频数据交互, 用虚拟现实技术设计波音 777 获得成功则是近年来引起科技界瞩目的又一件大事。

1.2.2 国内虚拟现实技术的研究现状

和一些发达国家相比, 我国还有一定的差距, 但已引起了政府有关部门和科学家们的高度重视。国家自然科学基金委员会、国家高技术研究发展计划等都把 VR 列入了研究项目。在紧跟国际新技术的同时, 国内一些重点院校已积极开展了这一领域的研究工作。

北京航空航天大学计算机系是国内最早进行 VR 研究的单位之一, 他们进行了一些基础研究, 并着重研究虚拟环境中物体物理特性的表示与处理, 在虚拟现实中的视觉接口方面开发了部分硬件, 并提出了有关算法及实现方法, 实现了分布式虚拟环境网络设计, 建立了网上虚拟现实研究论坛, 可以提供实时三维动态数据库, 提供虚拟现实演示环境, 提供用于飞行员训练的虚拟现实系统, 提供开发虚拟现实应用系统的平台。

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室在图像的虚拟现实、分布式虚拟环境的建立、多细节层次模型构建、真实感三维重建、基于几何和图像的混合式图形实时绘制算法等领域开展了深入的研究, 在国内外产生了广泛的影响。

哈尔滨工业大学计算机系已经成功地解决了人的高级行为中特定人脸图像的合成、表情的合成和唇动的合成等技术问题, 并正在研究人说话时头势和手势、语音和语调的同步等。

清华大学计算机科学与技术系对虚拟现实和临场感等方面进行了研究。在球面屏幕显示和图像随动、克服立体图闪烁的措施和深度感试验等方面都有不少独特的方法。

西安交通大学信息工程研究所对虚拟现实中的关键技术——立体显示技术进行了研究。他们在借鉴人类视觉特性的基础上提出了一种基于 JPEG 标准压缩编码新方案, 并获得了较高的压缩比、信噪比以及解压速度。

中国科技开发院威海分院主要研究虚拟现实中的视觉接口技术, 完成了虚拟现实中的体视图像对算法回显及软件接口。在硬件开发上已经完成了 LCD 红外立体眼镜, 并且已经实现商品化。

西北工业大学 CAD/CAM 研究中心、上海交通大学 CIM 研究所、上海交通大学图像处理与模式识别研究所、国防科技大学计算机研究所、华东船舶工业学院计算机系、国家

CAD 支撑软件工程技术研究中心、华中科技大学仿真中心、武汉理工大学智能制造与控制研究所及汽车学院、广东工业大学等单位都进行了一些卓有成效的研究工作。其中,上海交通大学 CIM 研究所承担了国家自然科学基金重点项目“虚拟制造的理论与技术基础”,在有关理论与方法、系统开发与应用、虚拟环境建设方面做了大量的工作。

1.3 虚拟现实技术的主要应用领域

1.3.1 工程应用

20 年来,计算机辅助设计和制造技术取得了重大成功,虚拟现实则提供了一个通向虚拟工程空间的途径。在虚拟工程空间中,我们可以设计、生产、检测、组装和测试各种模拟物体。用虚拟现实技术设计波音 777 获得成功,是虚拟现实技术在工业应用中的一个经典案例。航天发动机设计、潜艇设计、建筑设计、工业概念设计等都是虚拟现实技术在工程的应用实例。

1. 虚拟现实技术在汽车制造业的广泛应用

近年来,虚拟现实技术在汽车制造业得到了广泛的应用,例如:美国通用汽车公司利用虚拟现实系统(Computer-Assisted Virtual Environment, CAVE)来体验置身于汽车之中的感受,其目的是减少或消除实体模型,缩短开发周期。目前,通用公司的 CAVE 已成为一个用来解决困难设计问题的焦点。CAVE 系统同样可用来进行车型设计,可以从不同的位置观看车内的景象,以确定仪器仪表的视线和外部视线的满意性和安全性。1997 年 5 月,福特公司宣布它已成为第一个着眼于“地球村”概念的采用计算机虚拟设计装配工艺的汽车厂商。“虚拟工厂”的使用已经使得福特公司的产品开发时间缩短、成本降低,并使设计的汽车更适合组装和维修,具有很高的质量。福特公司使用“虚拟工厂”的战略目标是减少生产中采用的 90% 的实体模型,这一目标的实现将为福特公司每年节省 2 亿美元。据估计,使用“虚拟工厂”将在推出一款新车的过程中减少 20% 因生产原因修改最初设计的事件。同时,福特公司正在尝试全新概念的发动机“虚拟样机”设计。英国航空实验室采用一个高分辨率头盔显示器、一个数据手套、一个三维系统音响和一台工作站为用户提供了一个由计算机生成的虚拟轿车客舱,设计人员能够精确研究轿车内部的人体工程学参数,并且在需要时可以修改虚拟部件的位置,进而可以在仿真系统中重新设计整个轿车内部。雷诺汽车公司采用了在“现实生活”的背景下加入“虚拟汽车”的方法来评估待开发的新车型。“City Fleet”就是虚拟与现实相结合的产物,它将计算机生成的虚拟汽车和实际拍摄的城市场景完美地结合在一起,以得到真实的感觉。因此不必制造物理原型就能够检测将要推向市场的汽车,检验造型与环境的匹配及适应性,这对缩短汽车新车型开发周期无疑将起到积极作用。

虚拟现实技术正渗入世界汽车工业各个领域。它不仅为汽车开发人员创造了更为自由的工作环境,而且从根本上动摇了一系列被视为经典的汽车开发理论和原则。世界级的汽车制造商试图在得到全球工作组的支持下,协调各地的并行工程小组和人员同时进行同一汽车产品的开发、设计评价、工艺修改和生产讨论,将轿车的开发周期缩短到两年甚至更短。

2. VR 技术在飞行仿真与飞机制造领域的应用

飞行仿真系统由四部分组成,即飞行员的操纵舱系统、显示外部图像的视觉系统、产生

运动感的运动系统、计算和控制飞行运动的计算机系统。计算机系统是飞行仿真系统的中枢,用它来计算飞机的运动、控制仪表及指示灯、驾驶杆等信号。

视觉系统和运动系统与虚拟现实密切相关。其中,视觉系统向飞行员提供外界的视觉信息。该系统由产生视觉图像的“图像产生部”和将产生的信号提供给飞行员的“视觉显示部”组成。在图像产生部,随着计算机图形学的发展,现在使用名为 CGI (Computer Generated Imagery) 的视觉产生装置。在 CGI 中利用纹理图形可以产生云彩、海面的波浪等效果。此外,利用图像映射可以从航空照片上将农田以及城市分离出来,并作为图像数据加以利用。视觉显示部向飞行员提供具有真实感的图像,图像的显示有无限远显示方式、广角方式、半球方式以及立体眼镜和头盔式显示器等方式。

作为飞行仿真系统的构成部分,运动系统向飞行员提供一种身体感觉,它使得驾驶舱整体产生运动,根据自由度以及驱动方式的不同,可以分为万向方式、互动型吊挂方式、互动型支撑方式以及互动型六自由度方式等。利用该运动系统,飞行员可以得到像实际飞行一样的运动感觉。

美国研发机构 T. Furness 小组开发了著名的 VCAS 系统,在此系统中,战斗机飞行员戴着立体头盔显示器,从中可以看到飞机窗外景象的图像,显示敌友识别信息、目标信息和危险信息以及最优的飞行路径信息。

美国训练和测试设备司令部主持开发研制了具有 TOPIT (Touched Objects Positioned In Time) 技术的虚拟座舱系统,其中 TOPIT 技术是美国计算机图像系统公司研制,该系统于 1998 年获专利。

波音 777 双发动机喷气飞机是采用虚拟产品开发技术成功研制的世界上第一架“无纸客机”。即将面世的波音 797 喷气客机亦是基于 VR 技术研制成功的。

3. 虚拟实验

虚拟风洞:在科学研究中,人们总会面对大量的随机数据,为了从中得到有价值的规律和结论,需要对这些数据进行认真分析。例如,为了设计出阻力小的机翼,人们必须详细分析机翼的空气动力学特性。因此,人们发明了风洞实验方法,通过使用烟雾气体使得人们可以用肉眼直接观察到气体与机翼的作用情况,因而大大提高了人们对机翼的动力学特性的了解。虚拟风洞的目的是让工程师分析多旋涡的复杂三维性质和效果、空气循环区域、旋涡被破坏时的乱流等,而这些分析利用通常的数据仿真是很难可视化的。

虚拟物理实验室:在学习过程中,学生总有许许多多的疑问等待解答。虚拟物理实验室的设计使得学生通过亲身实践(做、看、听)来学习成为可能。使用该系统,学生们可以很容易地演示和控制力的大小、物体的弹性碰撞与非弹性碰撞、摩擦因数等物理现象。为了显示物体的运动轨迹,可以对不同大小和质量的运动物体进行轨迹追踪。还可以在演示过程中暂停,以便仔细观察变化的状态。学生可以通过使用数据手套与系统进行各种交互。

虚拟电力控制室:在现行的电力控制室的设计中,控制台以及显示器的设计一般是用与实物同等大小的模型。研究人员使用虚拟现实技术研制了一个辅助设计控制室的系统。使用该系统可以自由地改变控制室内的配色、照明、报警、显示器的画面构成,以及各种仪表的配置等室内环境。此外,用户还可以在室内移动,以便从不同方向观察室内情况。

1.3.2 医学应用

科学家们最近发明了一种 VR 装置,利用这种装置,他们可以将自己“缩小”,使原本微小的细胞看上去有足球场那么大。这种 VR 装置外形像一个头盔,可以戴在头上,它利用一个分辨率极高的显微镜获取数据,然后再对这些数据进行加工,传送到使用者的视野里,于是,科学家们就可以十分轻松地观察到试管里的研究对象。采用这种技术,科学家们可以更加方便地进行各种实验,他们甚至能够“感受”到显微镜下不同物体的组织结构。

目前,这种尖端的装置全世界只有四部,最为先进的一部在美国北卡罗来纳大学物理系。据曾经使用过这种装置的艾奥瓦州立大学教授艾里克-汉德森(Eric Henderson)称,“从纯技术的角度来说,这种装置简直太棒了!你感觉自己好像是在分子之间穿梭,染色体对你来说简直就是长长的山脉一样。这种感觉太让人惊奇了!”

另有科学家表示,这种装置可以让他们真真切切地观察到全部的实验过程,而不只是一些实验片段,这对于科学研究来说无疑有着巨大的帮助。

芝加哥的伊利诺斯大学采用了虚拟现实技术分析神经系统的工作原理。项目主要包括电场可视化、大脑皮层仿真及普尔钦神经效应仿真。该项目推动了低成本虚拟现实系统作为可视化工具的研究。

最近,Glaxo Group Research、York 大学及 Division 公司合作研究将虚拟现实应用于分子造型中。以弄清大分子的结构及其结构与功能间的关系。

1.3.3 远程教育

发展现代远程教育,是解决我国地域广阔、经济发展不平衡而导致的教育发展不平衡的好办法。我国对远程教育有极大的需求空间,国内的人民大学、清华大学开设的网络学堂以及国外名校公开课程的迅速发展就是很好的例子。远程教育系统的实现使得教与学都不再受地理位置的限制,实现了空间上的开放性。

现代远程教育是以计算机网络技术、卫星通信技术为基础,以多媒体技术为主要手段的一种新型教育模式。以学习者为中心,旨在使每一位学习者都能得到充分学习的机会。“以学习者为中心”是现代远程教育的指导思想,“使每一位学习者都得到充分发展”是现代远程教育的最终目的。

虚拟现实技术在远程教育中的应用主要在四个方面:

(1) 知识学习 知识学习是指远程教育学生利用虚拟现实系统学习各种知识。虚拟现实系统可以再现实际生活中无法观察到的自然现象或事物的变化过程,为学生提供生动、逼真的感性学习材料,帮助学生解决学习中的知识难点。例如,向学生展示如原子核裂变、半导体导电机理等复杂的物理现象,供学生观察学习。另外,虚拟现实系统可以使抽象的概念、理论直观化、形象化,方便学生理解。例如,学习加速度概念时,通过虚拟演示,让学生观察当改变物体所受合力大小及方向时,加速度的变化情况,使学生加深对加速度概念的理解。

(2) 探索学习 虚拟现实技术可以对学生学习过程中所提出的各种假设模型进行虚拟,通过虚拟系统便可直观地观察到这一假设所产生的结果或效果。例如,在虚拟的化学系统中,学生可以按照自己的假设,将不同的成分组合在一起,电脑便虚拟出组合的物质来。

(3) 虚拟实验 利用虚拟现实技术,还可以建立各种虚拟实验室,如地理、物理、化

学、生物实验室,在实验室里,学生可以自由地做各种实验。

(4) 技能训练 虚拟现实的沉浸性和交互性,使学生能够在虚拟的学习环境中扮演一个角色,全身心地融入到学习环境中去,这非常有利于学生的技能训练。利用虚拟现实技术,可以做各种各样的职业技能训练,例如军事作战技能、外科手术技能、教学技能、体育技能、汽车驾驶技能、果树栽培技能、电器维修技能等。学生可以反复练习,直至掌握操作技能为止。

目前,尽管虚拟现实系统的硬件设备还比较昂贵,虚拟现实技术尚未普及,但是随着虚拟现实技术的不断发展和完善,以及硬件设备价格的不断降低,我们相信,虚拟现实技术作为一个新型的远程教育媒体,以其自身强大的优势和潜力,将会逐渐受到远程教育工作者的重视和青睐,最终在远程教育领域广泛应用,并发挥其重要作用。

1.3.4 军事应用

虚拟现实在军事上有着广泛的应用和特殊的价值。如新式武器的研制和装备、作战指挥模拟、武器的使用培训等都可以应用虚拟现实技术。虚拟现实技术已被探索用于评价当今的士兵怎样在无实际环境支持下掌握新武器的使用等。人们希望虚拟域最终将提供与真实域相当的所有的现实性,而且没有费用、组织、天气和时间等方面的明显缺陷。虚拟域是可重复的、交互的、三维的、精确的、可重配置的和可联网的,它将成为军事训练的重要工具。

步兵训练系统:美国陆军设在阿伯丁试验场的研究室开发了虚拟现实系统应用于步兵训练。Thomson-CSF 生产了训练坦克及装甲车人员的模拟器;尾舱导弹训练模型已由挪威的TNO 物理及电子实验室研制出来了;佛罗里达州奥兰多的NAWCTSD 设计生产的协同战术作战模拟器(TTES)引入了Jack 人体模型。该模拟器可用于训练士兵与敌人交战时的反应能力。Jack 充当敌方人员,并向士兵扔石头和开火,士兵则在大屏幕投影前面与虚拟敌人进行交战。为满足美国国防部(DOD)的应用需求,位于加利福尼亚州的海军研究生院(NPS)进行了大规模虚拟环境(Large-Scale Virtual Environment, LSVE)的开发与应用研究。

各个国家在传统上习惯于通过举行实战演习来训练军事人员和士兵,但是这种实战演练,特别是大规模的军事演习,会耗费大量资金和军用物资,安全性差,而且还很难在实战演习条件下改变状态,来反复进行各种战场态势下的战术和决策研究。近年来,虚拟现实技术的应用,使得军事演习在概念上和方法上有了一个质的飞跃,即通过建立虚拟战场来检验和评估武器系统的性能。例如一种虚拟战场环境,它能够包括在地面行进的坦克和装甲车,在空中飞行的直升机、歼击机、导弹等多种武器平台,并分别属于红、蓝交战双方。作战仿真系统的主要研究目的是对飞机的飞行、火控、航空电子系统进行综合研究,同时研究多机协同空战战术。

1.3.5 生活文化娱乐——艺术也“撒谎”

2012 年春节联欢晚会上,一首《万物生》让人印象深刻。演员在表演时,其身前后身都有立体画面呈现,花朵从天空中飘落下来,落到演员的前面,飘落的花朵甚至还遮挡住了演员,就好似演员的前面有块透明显示屏,事实上,什么都没有。

虚拟现实 360°全景全息影像技术主要用来营造 3D 氛围,再配合升降机械组成的表演台型变化,利用电视镜头,延伸了舞台的纵深感和空间感,实现了以假乱真、亦真亦幻的多维立体效果。