

高等院校“十二五”规划教材

中国第一本针对医学院校的虚拟现实教材

医学虚拟现实 技术及应用

赵群 娄岩 主编

徐东雨 刘尚辉 杨广明 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等院校“十二五”规划教材

中国第一本针对医学院校的虚拟现实教材

医学虚拟现实 技术及应用

赵群 娄岩 主编

徐东雨 刘尚辉 杨广明 副主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

医学虚拟现实技术及应用 / 赵群, 娄岩主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2014. 9
高等院校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-115-35905-6

I. ①医… II. ①赵… ②娄… III. ①数字技术—应用—医学—高等学校—教材 IV. ①R-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第167045号

内 容 提 要

本书编写本着普及与实用的原则, 在阐述虚拟现实技术必要理论知识的基础上, 还着重介绍了目前流行的虚拟现实软件及其使用方法。

本书共分3个部分。第一部分为基础知识, 共5章, 分别介绍了虚拟现实技术概论、虚拟现实系统的三维交换工具、虚拟现实系统的相关技术、虚拟现实的体系结构和三维全景技术。第二部分为虚拟现实技术 VRML 编程和建模方法, 共3章, 分别介绍了 3ds Max 2013 虚拟现实建模语言、其他常用软件以及虚拟现实建模语言 VRML。第三部分介绍了虚拟现实在医学领域的应用和教学平台建设, 共分3章, 分别为虚拟现实在医学方面应用、虚拟现实实验室、VRP 平台。

本书的特点是注重概念的通俗化、方法的运用、技能的掌握, 并以大量的典型实例贯穿其中, 尽量减少晦涩难懂的公式推导和理论性研究。除此之外, 本书还介绍了三维建模软件和其他应用程序之间的互相调用关系, 并给出了具体例子。

本书可作为高等医学院校计算机公共基础课教材, 或其他普通院校“虚拟现实技术应用”课程的教科书, 也可供各类虚拟现实应用技术人员自学使用。

-
- ◆ 主 编 赵 群 娄 岩
副 主 编 徐东雨 刘尚辉 杨广明
责任编辑 吴宏伟
责任印制 张佳莹 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5 2014 年 9 月第 1 版
字数: 418 千字 2014 年 9 月北京第 1 次印刷

定价: 36.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

序

虚拟现实技术兴起自 20 世纪末，是计算机技术、人工智能、传感与测量、仿真技术等多学科交叉融合的结晶。虚拟现实技术为人们探索宏观世界、微观世界以及出于各种原因不便直接观察的事物的运动变化规律提供了极大的便利，迄今为止已在多个领域得到了快速发展和广泛应用。

在现代高等院校医学生计算机课程的教学中，虚拟仿真教学是教育信息化建设的重要组成部分，是培养高素质创新型人才的核心内容。2012 年，教育部为贯彻落实《关于全面提高高等教育质量的若干意见》，提出了“教育信息化十年发展规划”，并积极开展国家级虚拟仿真实验教学中心的建设工作。

随着信息技术的不断发展，以仿真技术和虚拟现实技术为支撑的现代化教学手段将在医学教学、科研、临床等领域得到更加广泛、更加深入的应用，也必将推动医学教育及医疗事业的蓬勃发展。

在赵群的指导下，娄岩教授及其带领的团队深刻认识到了虚拟现实技术在医学生信息化教育中的重要性，并从虚拟现实的建模、虚拟现实实验室建设、网络教学平台的构建和大学基础课考试系统的研发以及医学教学资源库的建立等方面入手，进行了大量的科研和教学实践，并于 2014 年在国内医学院校率先开设了针对五年制和七年制学生的“医学虚拟现实技术及应用”的课程。

感谢娄岩教授团队中各位老师们的辛勤劳动。该书是国内医学院校编写的第一本虚拟现实技术方面的教材，它的出版和发行必将为医学院校的人才培养和现代化教育起到抛砖引玉的作用。

北京大学医学部 郭永清
2014 年 5 月于北京

虚拟现实 (Virtual Reality, 简称 VR) 技术产生于 20 世纪 60 年代, 虽然经历了半个世纪的风风雨雨, 但虚拟现实技术一直在快速地发展并取得了丰硕的成果, 在军事仿真、虚拟设计与先进制造、能源开采、城市规划与三维地理信息系统、生物医学仿真培训、游戏开发等领域中显示出巨大的经济和社会效益。虚拟现实与网络、多媒体并称为 21 世纪最具有应用前景的三大技术, 在不久的将来它将像网络那样彻底改变我们的生活方式。因此, 培养掌握这门技术并将其融合到其他学科的应用型人才是广大教育工作者面临的新问题, 也是各类高校计算机教育, 包括医学院校计算机教育改革所不可忽视的现实问题。但就目前我国计算机教育来看, 开设此课程的大专院校还很少, 尤其是医学院校。值得欣喜的是, 目前许多院校开展了虚拟仿真实验教学中心的建设工作, 已经建立了一些省级和国家级虚拟仿真实验教学中心, 并把虚拟仿真视为实验性教学和医学应用的一种途径和发展方向, 还把它提高到 MOOC (Massive、Open、Online、Courses) 学习模式的一种补充的高度而加以倡导, 这些都为我国虚拟现实技术的发展奠定了坚实的基础。

编者认为, 在医学院校的本科教育中开设虚拟现实技术与应用方面的课程, 将虚拟现实技术与教育和医学深度融合, 对促进学生更好地掌握和提高医学知识和实验技能至关重要。而适用于医学院校教学的 VR 教材和能系统掌握该领域技术的教师队伍在我国医学院校中几乎没有。针对这种现象, 编者通过长期关注该技术的发展, 结合开设这门课程所积累的教学经验, 结合医学院校的特点和未来应用的需要, 编写了这本具有开创性、适用于国内医学院校计算机基础课的第一本有关虚拟现实技术与应用的教材。

总的来说, 本书具有以下特点:

(1) 注重概念的通俗化、方法的运用及技能的掌握, 并以医学应用例子为主, 尽量减少晦涩难懂的公式推导和理论性研究。

(2) 在介绍典型的虚拟现实相关软件的使用方法的同时, 同时介绍了它们之间接口设计, 如 3D Max、VRML、Web 以及 Java 编程语言之间互相调用和接口程序的编写技巧, 并给出了大量的典型实例, 如 VRML 如何实现用户通过浏览器查看 3D Max 模型, 如何利用 Java 与虚拟现实建模语言之间的外部编程方式, 如何与 JavaScript 等脚本语言进行无缝连接, 如何通过网页与虚拟对象进行交互等。

(3) 注重让读者在了解理论的基础上对方法的掌握, 使读者能在较短的时间里由浅入深地掌握虚拟现实技术。使那些没有太多计算机知识背景的读者, 具备运用 VR 开发工具制作三维交互、效果逼真的虚拟现实场景的能力。

本书的第 1 章由娄岩编写, 第 2 章由付淼、郑琳琳编写, 第 3 章由丁林编写, 第 4 章由王建军编写, 第 5 章由张志常、徐东雨编写, 第 6 章由郑璐编写, 第 7 章由李静、范婷、霍妍编写, 第 8 章由庞东兴、曹鹏编写, 第 9 章由曹阳、马瑾编写, 第 10 章由刘雁编写, 第 11 章由刘尚辉、

章小芳编写。

编写本书的目标是给学生和研究人员提供一个严谨、完整、结构化的教材。在本书的编写过程中，编者参阅了大量的中外书籍、文献和网络资源，在此向所有资源的作者表示衷心的感谢和崇高的敬意。

在本书的编写过程中，中国医科大学教务处处长姚江、医学教育中心主任曲波、东北大学软件学院多媒体研究所所长杨广明教授、中视典数字科技有限公司均给予了大力的支持，在此向他们表示衷心的感谢！

本书配有既助教又助学的完整课件，可提供给采用本书的院校使用。如有需要可发送邮件至 louyan@mail.cmu.edu.cn。

由于水平有限，书中难免存在疏漏和错误之处，希望广大读者批评指正。

娄岩

2014年5月

第一部分 虚拟现实技术 基础知识

第 1 章 虚拟现实技术概论 1

- 1.1 虚拟现实技术的基本概念 2
 - 1.1.1 狭义的定义 3
 - 1.1.2 广义的定义 3
 - 1.1.3 虚拟现实技术的特性 3
 - 1.1.4 虚拟现实系统组成 4
 - 1.1.5 虚拟现实的关键技术 5
- 1.2 虚拟现实系统的分类 6
 - 1.2.1 沉浸型虚拟现实系统 6
 - 1.2.2 增强现实性虚拟现实系统 7
 - 1.2.3 桌面型虚拟现实系统 7
 - 1.2.4 分布式虚拟现实系统 9
- 1.3 虚拟现实技术的主要研究对象 9
- 1.4 虚拟现实技术的主要应用领域 10
 - 1.4.1 医学领域 10
 - 1.4.2 娱乐和艺术领域 12
 - 1.4.3 军事与航天工业领域 12
 - 1.4.4 管理工程领域 12
 - 1.4.5 室内设计领域 13
 - 1.4.6 房产开发领域 13
 - 1.4.7 工业仿真领域 14
 - 1.4.8 文物古迹领域 15
 - 1.4.9 娱乐游戏领域 16
 - 1.4.10 道路桥梁领域 16
 - 1.4.11 地理领域 17
 - 1.4.12 教育领域 17

- 1.5 虚拟现实的发展和现状 18
 - 1.5.1 虚拟现实技术发展历程 18
 - 1.5.2 虚拟现实系统研究现状 19
 - 1.5.3 虚拟现实技术的发展趋势 20
- 本章小结 21
- 习题 21

第 2 章 虚拟现实系统的三维交互 工具 22

- 2.1 跟踪定位设备 22
 - 2.1.1 机械跟踪器 23
 - 2.1.2 电磁波跟踪器 24
 - 2.1.3 光学式跟踪器 27
 - 2.1.4 超声波跟踪器 28
 - 2.1.5 惯性位置跟踪器 29
 - 2.1.6 图像提取跟踪器 29
- 2.2 手数字化设备 30
 - 2.2.1 数据手套 30
 - 2.2.2 三维鼠标 32
- 2.3 立体视觉设备 33
 - 2.3.1 头盔显示器 33
 - 2.3.2 沉浸式立体投影系统 35
- 本章小结 38
- 习题 38

第 3 章 虚拟现实系统的相关技术 40

- 3.1 立体显示技术 40
 - 3.1.1 立体显示原理 40
 - 3.1.2 4 种立体显示技术 40
- 3.2 三维建模技术 42

3.2.1	几何建模技术	43
3.2.2	物理建模技术	44
3.2.3	行为建模技术	45
3.3	真实感实时绘制技术	45
3.3.1	真实感绘制技术	46
3.3.2	基于图形的实时绘制技术	46
3.3.3	基于图像的实时绘制技术	47
3.4	三维虚拟声音的实现技术	48
3.4.1	三维虚拟声音的作用	48
3.4.2	三维虚拟声音的特征	48
3.4.3	语音识别技术	48
3.4.4	语音合成技术	48
3.5	人机自然交互技术	48
3.5.1	手势识别	49
3.5.2	面部表情识别	49
3.5.3	眼动跟踪	49
3.6	碰撞检测技术	50
	本章小结	50
	习题	50
第 4 章	虚拟现实的计算体系结构	52
4.1	绘制流水线	52
4.1.1	图形绘制流水线	52
4.1.2	触觉绘制流水线	54
4.2	基于 PC 的图形体系结构	55
4.3	基于工作站的图形体系结构	56
4.3.1	Sun Blade 1000 的体系结构	57
4.3.2	SGI Infinite Reality 体系结构	57
4.4	分布式 VR 体系结构	58
4.4.1	多流水线同步	59
4.4.2	联合定位绘制流水线	60
4.4.3	分布式虚拟环境	61
	本章小结	62
	习题	63

第 5 章	三维全景技术	64
5.1	三维全景技术概述	64
5.1.1	三维全景技术的特点	64
5.1.2	全景技术的应用	65
5.1.3	全景技术的分类	67
5.1.4	全景技术常用设备	68
5.2	全景图生成技术	69
5.2.1	全景图像采集	70
5.2.2	图像预处理	70
5.2.3	像素坐标及相机焦距的估计	71
5.2.4	全景图投影模型	72
5.3	全景图制作实例	74
5.3.1	拍摄照片	75
5.3.2	用 Photoshop 拼接静态全景图	76
5.3.3	用 Ulead COOL 360 制作动态全景图	78
	本章小结	81
	习题	81

第二部分 虚拟现实技术编程和建模方法

第 6 章	三维建模工具 3ds Max	83
6.1	3ds Max 概述	83
6.1.1	3ds Max 2010 的硬件要求	83
6.1.2	3ds Max 的启动与退出	84
6.1.3	3ds Max 文件的打开与保存	84
6.1.4	3ds Max 界面分布	85
6.1.5	3ds Max 视图区常用操作	86
6.1.6	3ds Max 主工具栏常用工具	87
6.2	3ds Max 基础建模	90
6.2.1	3ds Max 内置几何体建模	90

6.2.2 3ds Max 二维图形对象生成 三维模型.....92	第 8 章 虚拟现实建模语言 VRML 148
6.2.3 3ds Max 常用复合建模93	8.1 VRML 虚拟现实建模语言 148
6.3 3ds Max 材质与贴图95	8.1.1 VRML 基本概念 148
6.3.1 3ds Max 精简材质编 辑器.....95	8.1.2 VRML 文件的基本 特点 150
6.3.2 3ds Max 贴图的类型97	8.1.3 VRML 场景的编辑与 浏览 153
6.3.3 3ds Max 贴图的坐标97	8.2 在场景中建造基本几何模型 156
6.4 3ds Max 灯光与摄影机98	8.2.1 外形节点 Shape 的 使用 156
6.4.1 3ds Max 摄影机简介98	8.2.2 构建虚拟场景的几何造型 geometry 域 158
6.4.2 3ds Max 灯光简介98	8.2.3 创建基本几何造型 158
6.5 3ds Max 生成动画的基本流程99	8.2.4 在虚拟场景中添加文本 造型 162
6.6 综合实例100	8.2.5 在场景中构建复杂造型 163
6.6.1 制作“安卓机器人”公仔 模型.....100	8.3 虚拟造型群节点的使用 169
6.6.2 制作眼球模型103	8.3.1 编组节点的使用 170
6.7 生成动画105	8.3.2 空间坐标变换节点的 使用 171
本章小结106	8.4 虚拟对象交互功能的实现 173
习题106	8.4.1 检测器的基本功能 173
第 7 章 Maya、Cult3D 和 Web3D 介绍 108	8.4.2 各类检测器的基本作用与 使用 173
7.1 Maya 2013 应用基础108	8.4.3 程序脚本的使用 181
7.1.1 Maya 概述108	8.5 3ds Max 与 VRML 的转换 183
7.1.2 Polygon 建模117	8.5.1 3ds Max 的场景导出 183
7.1.3 Nurbs 建模121	8.5.2 在 3ds Max 中插入 VRML 节点 184
7.1.4 Maya 动画基本操作125	8.5.3 VRML 文件的压缩 187
7.2 Cult3D 技术131	本章小结 187
7.2.1 Cult3D 概述131	习题 187
7.2.2 Cult3D 的模块132	第三部分 虚拟现实在医学领域的 应用和教学平台建设
7.2.3 Cult3D 的工作流程132	第 9 章 虚拟现实在医学方面的 应用 191
7.2.4 Cult3D 的窗口简介133	9.1 虚拟人体 191
7.2.5 Cult3D 模型的导出136	
7.2.6 Cult3D 应用实例136	
7.3 Web3D140	
7.3.1 Web3D 简介140	
7.3.2 Web3D 的实现技术143	
本章小结146	
习题146	

9.1.1 虚拟人体技术	191	10.3.2 创建角色控制相机	212
9.1.2 虚拟人体的应用领域	193	10.3.3 创建交互按钮	215
9.2 医生虚拟操作与虚拟手术	195	本章小结	217
9.2.1 虚拟内窥镜	195	习题	217
9.2.2 虚拟外科手术	197	第 11 章 虚拟现实实验室	218
9.2.3 虚拟静脉注射	197	11.1 虚拟实验室概述	218
9.3 虚拟康复训练	198	11.1.1 虚拟实验室定义	218
9.3.1 肢体运动训练应用	198	11.1.2 虚拟实验室的组成结构	218
9.3.2 心理及认知功能训练应用	200	11.1.3 虚拟实验室的功能	219
9.4 虚拟现实技术与现代高等医学教育	200	11.1.4 虚拟实验室的主要特点	220
9.4.1 虚拟现实技术在基础医学教育中的应用	201	11.1.5 虚拟实验室的类型	222
9.4.2 虚拟现实技术在临床医学教育中的应用	201	11.2 虚拟实验室国内外发展状况	222
9.4.3 虚拟现实技术在远程医学教育中的应用	201	11.2.1 国外虚拟实验室发展状况	223
9.5 医学虚拟现实软件的应用现状	202	11.2.2 国内虚拟实验室发展状况	223
本章小结	203	11.2.3 虚拟实验室在医学领域的应用	224
习题	203	11.3 虚拟现实实验室建设方案设计	226
第 10 章 虚拟现实开发平台 VRP	204	11.3.1 大屏幕三维立体显示应用介绍	226
10.1 VRP 简介	204	11.3.2 沉浸式虚拟现实显示应用介绍	227
10.1.1 VRP 软件的下载与安装	204	11.3.3 医学虚拟现实实验室系统建设方案案例	228
10.1.2 VRP 工具栏	205	本章小结	232
10.1.3 VRP 项目的制作技巧	205	习题	233
10.2 VRP 入门	207	主要参考文献	234
10.2.1 3ds Max 的前期准备	207		
10.2.2 3ds Max 建模的要求	208		
10.2.3 VRP 文件的保存	209		
10.2.4 打开 VRP 文件	209		
10.2.5 编辑独立 EXE 文件	210		
10.3 VRP 交互应用	211		
10.3.1 创建动画相机	211		

第一部分

虚拟现实技术基础知识

虚拟现实技术基础知识

虚拟现实（Virtual Reality，简称 VR）技术出现于 20 世纪 60 年代。VR 一词创始于 20 世纪 80 年代，该技术涉及计算机图形学、传感器技术、动力学、光学、人工智能及社会心理学等研究领域，是多媒体和三维技术发展的较高境界。虚拟现实技术是一种基于可计算信息的沉浸式交互环境，是一种新的人机交互接口。

具体地说，VR 就是采用以计算机技术为核心的现代高科技生成逼真的视、听、触觉一体化的特定范围的虚拟环境（Virtual Environment，简称 VE），用户借助必要的设备以自然的方式与虚拟环境中的对象进行交互作用、相互影响，从而产生等同于亲临真实环境的感受和体验。

虚拟现实技术一经问世，人们就对它产生了浓厚的兴趣。虚拟现实技术不但已在医学、军事、房地产、设计、考古、艺术、娱乐等诸多领域得到了越来越广泛的应用，而且还给社会带来了巨大的经济效益。因此业内人士认为，20 世纪 80 年代是个人计算机的时代，20 世纪 90 年代是网络、多媒体的时代，而 21 世纪则将是虚拟现实技术的时代。

1.1

虚拟现实技术的基本概念

首先我们提出为什么要研究虚拟现实这个问题，因为这个问题不搞清楚，我们就很难有意愿深入地学习这门新兴的科学。

对于传统人机交互方式，即人与计算机之间的交互是通过键盘、鼠标、显示屏等工具实现的，而虚拟现实是将计算科学处理对象统一看作一个计算机生成的空间（虚拟空间或虚拟环境），并将操作它的人看作是这个空间的一个组成部分（man-in-the-loop）。

人与计算机空间的对象之间的交互是通过各种感知技术与显示技术（即虚拟现实技术）完成的。人可以感受到虚拟环境中的对象，虚拟环境也可以感受到人对它的各种操作（类似于人与真实世界的交互方式）。

虚拟现实的概念最早是由美国人 Jaron Lanier 提出来的。虚拟（Virtual）说明这个世界和环境是虚拟的，是人工制造出来的，是存在于计算机内部的。用户可以“进入”这个虚拟环境中，以自然的方式和这个环境进行交互。

所谓交互是指在感知环境和干预环境中，可让用户产生置身于相应的真实环境中的虚幻感、沉浸感，即身临其境的感觉。

虚拟环境系统包括：操作者、人机接口和计算机。为了解人机接口性质的改变，虚拟现实意义下的人机交互接口至少可以给出 3 种区别以往的地方。

（1）人机接口的内容。计算机提供“环境”，不是数据和信息。这改变了人机接口的内容。

（2）人机接口的形式。操作者由视觉、力觉感知环境，由自然的动作操作环境，而不是由屏幕、键盘、鼠标和计算机交互，这改变了人机接口的形式。

（3）人机接口的效果。逼真的感知和自然力的动作，使人产生身临其境的感觉，这改变了人机接口的效果。虚拟现实的主要目的是实现自然人机交互，即实现一种逼真的视、听、触觉一体

化的计算机生成环境，这改变了人机接口的效果。

虚拟现实的主要实现方法是借助必要的装备，实现人与虚拟环境之间的信息转换，最终实现人与环境之间的自然交互与作用。在阐述了什么是虚拟现实技术的基础上，我们将进一步给出它的定义。通常虚拟现实的定义分为狭义和广义两种。

1.1.1 狭义的定义

把虚拟现实看成一种具有人机交互特征的人机界面（人机交互方式），亦可称之为“自然人机界面”。在此环境中，用户看到的是全彩色主体景象，听到的是虚拟环境中的音响，手（或）脚可以感受到虚拟环境反馈的作用力，由此使用户产生一种身临其境的感觉。亦即人是以与感受真实世界一样的（自然的）方式来感受计算机生成的虚拟世界，具有和相应真实世界里一样的感觉。

这里，计算机世界既可以是超越我们所处时空的虚构环境，也可以是一种对现实世界的仿真（强调是由计算机生成的，能让人有身临其境感觉的虚拟图形界面）。

1.1.2 广义的定义

把虚拟现实看成对虚拟想象（三维可视化的）或真实三维世界的模拟（Simulation）。对某个特定环境真实再现后，用户通过接受和响应模拟环境的各种感官刺激，与其中虚拟的人及事物进行交互，使用户有身临其境的感觉。

如果不限定真实三维世界（如视觉、听觉等都是三维的），那些没有三维图形的世界，因为模拟了真实世界的某些特征的，如网络上的聊天室、MUD等，也可称作虚拟世界、虚拟现实。

1.1.3 虚拟现实技术的特性

虚拟现实是计算机与用户之间的一种更为理想化的人-机界面形式。与传统计算机接口相比，虚拟现实系统具有3个重要特征：沉浸感（Immersion）、交互性（Interactivity）、想象力（Imagination）。任何虚拟现实系统都可以用3个“I”来描述其特征。沉浸感与交互性是决定一个系统是否属于虚拟现实系统的关键特征。VR技术的三角形如图1.1所示。

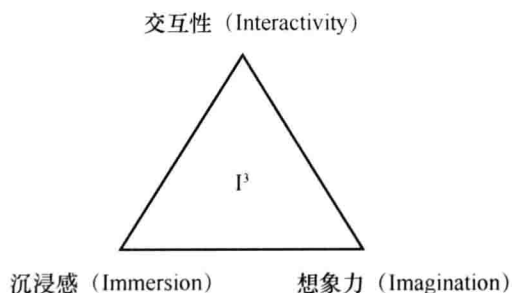


图 1.1 VR 技术的三角形

1. 沉浸感

沉浸感又称临声感。虚拟现实技术是根据人类的视觉、听觉的生理心理特点，由计算机产生逼真的三维立体图像，使用者通过头盔显示器、数据手套或数据衣等交互设备，将自己置身于虚拟环境中，成为虚拟环境中的一员。

使用者与虚拟环境中的各种对象的相互作用，就如同在现实世界中的一样。当使用者移动头部时，虚拟环境中的图像也实时地跟随变化，物体可以随着手势改变而移动，还可听到三维仿真声音。使用者在虚拟环境中，一切感觉都非常逼真，有身临其境的感觉。

2. 交互性

虚拟现实系统中的人机交互是一种近乎自然的交互，使用者不仅可以利用计算机键盘、鼠标进行交互，而且能够通过特殊头盔、数据手套等传感设备进行交互。计算机能根据使用者的头、手、眼、口及躯体的运动，来调整系统呈现的图像及声音。使用者通过自身的语言、身体运动或动作等自然技能，对虚拟环境中的任何对象进行观察或操作。

3. 想象力

由于虚拟现实系统中装有视、听、触、动觉的传感及反应装置，因此，使用者在虚拟环境中可获得视觉、听觉、触觉、动觉等多种感知，从而达到身临其境的感受。

1.1.4 虚拟现实系统组成

具有 3 “I” 特性的虚拟现实系统，其系统基本组成主要包括观察者、传感器、效果产生器及实景仿真器。虚拟现实系统的基本组成如图 1.2 所示。

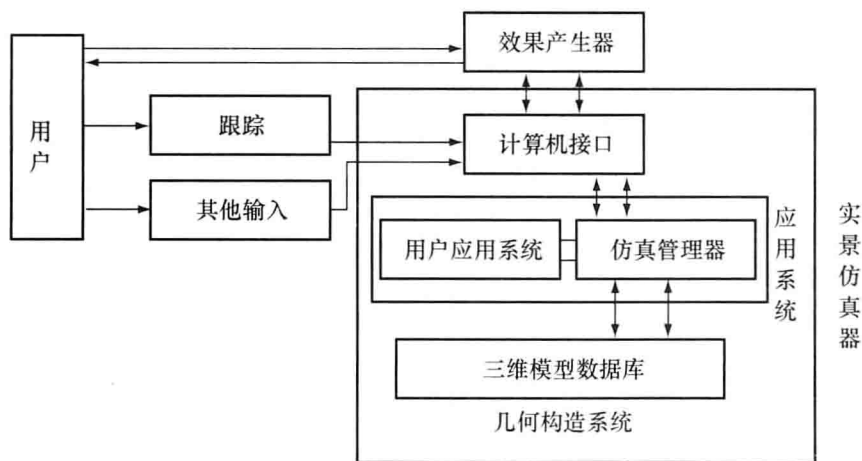


图 1.2 虚拟现实系统的基本组成

1. 效果产生器

效果产生器是完成人与虚拟境界硬件交互的接口装置，包括能产生沉浸感受的各类输出装置以及能测定视线方向和手指动作的输入装置。

- 输入设备是虚拟现实系统的输入接口，其功能是检测用户输入信号，并通过传感器输入到计算机。基于不同的功能和目的，输入设备的类型也有所不同，以解决多个感觉通道的交互。
- 输出设备是虚拟现实系统的输出接口，是对输入的反馈，其功能是将计算机生成的信息通过传感器发送给输出设备。

2. 实景仿真器

它是虚拟现实系统的核心部分，是 VR 的引擎，由计算机软件、硬件系统、软件配套硬件（如图形加速卡和声卡等）组成，接收（发出）效果产生器产生（接受）的信号。

其工作原理是负责从输入设备中读取数据，访问与任务相关的数据库，执行任务要求的实时计算，从而更新虚拟世界的状态，并把结果反馈给输出显示设备。其软件系统是实现技术应用的关键，提供工具包和场景图，主要完成虚拟世界中对象的几何模型、物理模型、行为模型的建立和管理，三维立体声的生成、三维场景的实时绘制，数据库的建立和管理等。数据库用来存放整个虚拟世界中所有对象模型的相关信息。

在虚拟世界中，场景需要实时绘制，大量的虚拟对象需要保存、调用和更新，所以需要数据库对对象模型进行分类管理。

3. 应用系统

应用系统是面向具体问题的软件部分，用来描述仿真的具体内容，包括仿真的动态逻辑、结构及仿真对象之间和仿真对象与用户之间的交互关系。应用系统的内容直接取决于虚拟现实系统的应用目的。

4. 几何构造系统

该系统提供了描述仿真对象的物理特性（外形、颜色、位置）的信息。随后，虚拟现实系统中的应用系统在生成虚拟境界时，要使用和处理这些信息。

值得注意的是，不同类型的虚拟现实系统采用的设备是不一样的。如沉浸式系统，其主要设备包括 PC、头盔显示器、数据手套、头部跟踪器、屏幕、三维立体声音设备。实景仿真器是虚拟现实系统的核心部件，用于完成虚拟世界的产生和处理功能。

输入设备将用户输入的信息传递给虚拟现实系统，并允许用户在虚拟环境中改变自己的位置、视线方向和视野，也允许改变虚拟环境中虚拟物体的位置和方向，而输出设备是由虚拟系统把虚拟环境综合产生的各种感官信息输出给用户，使用户产生一种身临其境的逼真感。

1.1.5 虚拟现实的关键技术

从本质上说，虚拟现实就是一种先进的计算机用户接口，它通过给用户同时提供诸如视、听、触等各种直观而又自然的实时感知交互手段，最大限度地方便用户的操作，从而减轻用户的负担、提高整个系统的工作效率。实物虚化、虚物实化和高性能计算处理技术是 VR 技术的 3 个主要方面，其细化如下。

1. 实物虚化

如何将真实世界中的物（特别是人）与事件（特别是人的动作）传入虚拟环境，是一个感知的问题。网络技术是通过分布式结构来解决让多个用户（特别是不在同一地理位置的多个用户）可以共同参与到同一个虚拟环境中的问题。

实物虚化是现实世界空间向多维信息化空间的一种映射，主要包括基本模型构建、空间跟踪、声音定位、视觉跟踪和视点感应等关键技术。这些技术使得真实感虚拟世界的生成、虚拟环境对用户操作的检测和操作数据的获取成为可能。

2. 虚物实化

虚物实化涉及的是如何根据虚拟环境生成人可直接感受到的真实信号（声、光、电），是一个显示（输出）问题，也是确保用户从虚拟环境中获取同真实环境中一样或相似的视觉、听觉、力觉和触觉等感官认知的关键技术。能否让参与者产生沉浸感的关键因素除了视觉和听觉感知外，还有用户能否在操纵虚拟物体的同时，感受到虚拟物体的反作用力，从而产生触觉和力觉感知。

- 力觉感知主要由计算机通过力反馈手套、力反馈操纵杆对手指产生运动阻尼从而使用户感受到作用力的方向和大小。

- 触觉反馈主要是基于视觉、气压感、振动触感、电子触感和神经、肌肉模拟等方法来实现的，如图 1.3 所示。

3. 高性能计算处理技术

虚拟现实主要基于以下几种技术实现。

(1) 基本模型构建技术：它是应用计算机技术生成虚拟世界的基础，它将真实世界的对象物体在相应的 3D 虚拟世界中重构，并根据系统需求保存部分物理属性。例如构建车辆在柏油地、草地、沙地和泥地上行驶时的不同情况，或对气象数据

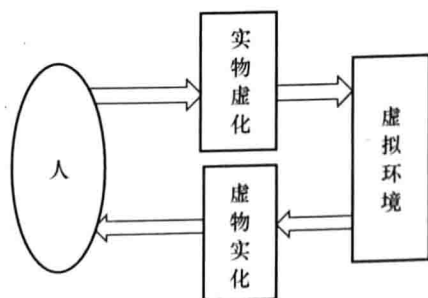


图 1.3 实物虚化与虚物实化

进行建模生成虚拟环境的气象情况（阴天、晴天、雨、雾）等。

(2) 空间跟踪技术：主要是通过头盔显示器 HMD (Head Mounted Display)、数据手套 (Data Glove)、数据衣 (Data Suit) 等常用的交互设备上的空间传感器，确定用户的头、手、躯体或其他操作物在 3D 虚拟环境中的位置和方向。

(3) 声音跟踪技术：利用不同声源的声音到达某一特定地点的时间差、相位差、声压差等进行虚拟环境的声音跟踪。

(4) 视觉跟踪与视点感应技术：使用从视频摄像机到 X-Y 平面阵列、周围光或者跟踪光在图像投影平面不同时刻和不同位置上的投影，计算被跟踪对象的位置和方向。

(5) 高性能计算处理技术：主要包括数据转换和数据预处理技术；实时、逼真图形图像生成与显示技术；多种声音的合成与声音空间化技术；多维信息数据的融合、数据压缩以及数据库的生成；包括命令识别、语音识别以及手势和人的面部表情信息的检测等在内的模式识别；分布式与并行计算，以及高速、大规模的远程网络技术。

1.2 虚拟现实系统的分类

虚拟现实系统按其功能不同，可分成沉浸型虚拟现实系统、增强现实性虚拟现实系统、桌面型虚拟现实系统和分布式虚拟现实系统 4 种类型。

1.2.1 沉浸型虚拟现实系统

沉浸型虚拟现实系统 (Immersive VR) 是一套比较复杂的系统。使用者必须头戴头盔 (HMD)、手戴数据手套等传感跟踪装置，才能与虚拟世界进行交互。由于这种系统可以将使用者的视觉、听觉与外界隔离，从而可以排除外界干扰，使使用者全身心地投入到虚拟现实中去。

这种系统的优点是用户可完全沉浸到虚拟世界中去，缺点是系统设备价格昂贵，难以普及和推广。常见的沉浸型系统有基于头盔式显示器的系统、投影式虚拟现实系统。沉浸型虚拟现实系统的体系结构如图 1.4 所示。

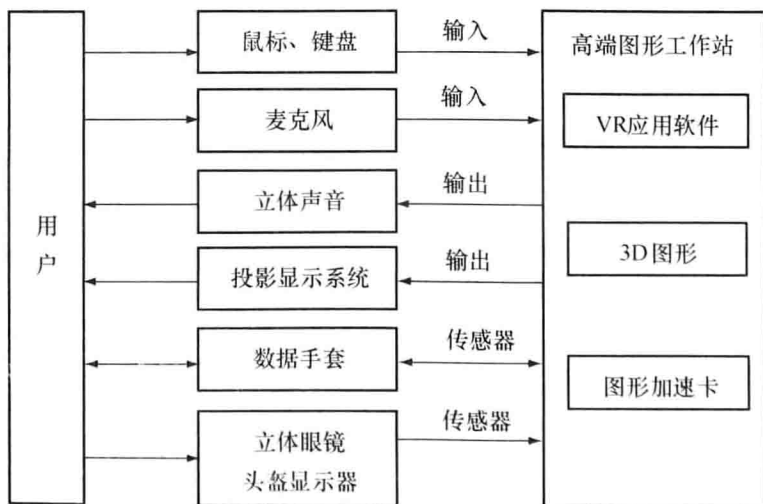


图 1.4 沉浸型虚拟现实系统的体系结构

1. 沉浸型虚拟现实系统的特点

(1) 具有高度的实时性。用户改变头部位置时，跟踪器可即时监测并送入计算机处理，快速

生成相应场景。为使场景能平滑地连续显示，系统必须具备较小延迟，包括传感器延迟和计算延迟等。

(2) 高度沉浸感。该系统必须是用户和真实世界完全隔离，依据输入和输出设备，完全沉浸在虚拟环境里。

(3) 具有强大的软硬件支持。

(4) 并行处理能力。即用户的每一个行为都和多个设备综合有关。如手指指向一个方向，会同时激活3个设备，如头部跟踪器、数据手套及语音识别器，产生3个事件。

(5) 良好的系统整合性。在虚拟环境中，硬件设备相互兼容，与软件协调一致的工作，互相作用，构成一个虚拟现实系统。

2. 沉浸型虚拟现实系统的类型

(1) 头盔式虚拟现实系统(HMD)。采用头盔显示器实现单用户的立体视觉、听觉输出，使其完全沉浸在场景中。

(2) 洞穴式虚拟现实系统(CAVE)。该系统是基于多通道视景同步技术和立体显示技术的空间里的投影可视协同环境。该系统可供多人参与，而且所有参与者均沉浸在一个被立体投影画面包围的虚拟仿真环境中，并借助相应的虚拟现实交互设备，获得身临其境和6个自由度的交互感受。

(3) 座舱式虚拟现实系统(COCKPIT)。该系统是一个安装在运动平台上的飞机模拟座舱，使用者坐在座舱内，通过操纵和显示仪表完成飞行、驾驶等操作。使用者可从“窗口”观察到外部景物的变化，感受到座舱的旋转和倾斜运动，置身于一个能产生真实感受的虚拟世界里。该系统目前主要用于飞行和车辆驾驶模拟。

(4) 投影式虚拟现实系统(PROJECTION)。该系统采用一个或多个大屏幕投影来实现大画面的立体视觉和听觉效果。使多个用户同时产生完全投入的感觉。

(5) 远程存在系统(REMOTE)。用户可以通过计算机和网络获得足够的现实感觉和交互反馈，犹如身临其境一般，并可以对现场进行遥操作。

1.2.2 增强现实性虚拟现实系统

对于增强现实性虚拟现实系统(Augmented VR)，不仅是利用虚拟现实技术来模拟现实世界、仿真现实世界，而且要利用它来增强参与者对真实环境的感受，也就是现实中无法感知或不方便的感受。典型实例是战斗机飞行员的平视显示器，它可以将仪表读数和武器瞄准数据投放到安装在飞行员面前的穿透式屏幕上，使飞行员不必低头读座舱中仪表的数据，从而可集中精力盯着敌人的飞机。

常见的增强虚拟现实系统主要包括台式图形显示器系统、基于单眼显示器系统、基于光学透视式头盔显示器系统、基于视频透视式头盔显示器系统。

其主要特点是不需要把用户和真实世界隔离，而是将真实世界和虚拟世界融为一体，用户可以同时与两个世界进行交互。例如，工程技术人员在进行机械安装、维修、调试时，通过头盔显示器可将原来不能呈现的机器内部结构以及它的相关信息、数据完全呈现出来，并按照计算机提示进行操作。

增强现实系统是在虚拟环境与真实世界之间架起的一座桥梁，其应用潜力非常巨大。尤其在医疗研究与解剖训练和对远程手术中的机器人控制方面，该系统比其他VR技术具有明显的优势。

1.2.3 桌面型虚拟现实系统

桌面型虚拟现实系统(Desktop VR)是利用个人计算机和低级工作站进行仿真，将计算机的