



普通高等教育“十三五”规划教材

虚拟现实与增强现实 应用基础

娄岩◎主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

虚拟现实与增强现实 应用基础

娄岩 主编

杨卫华 徐东雨 庞东兴 副主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以大量的典型案例贯穿其中,由浅入深地介绍虚拟现实与增强现实的应用。本书共分9章,分别为虚拟现实概述、虚拟现实的计算体系结构、虚拟现实系统的核心技术、虚拟现实系统的输入设备、虚拟现实系统的输出设备、三维数字建模与三维全景技术、三维建模软件3ds Max、三维开发工具Unity 3D、增强现实概述。

本书既可作为高等院校基础教学用书,也可作为虚拟技术应用研究用书,还可作为虚拟技术爱好者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实与增强现实应用基础/娄岩主编. —北京:科学出版社,2018.8
(普通高等教育“十三五”规划教材)

ISBN 978-7-03-056398-9

I. ①虚… II. ①娄… III. ①虚拟现实-高等学校-教材 IV. ①TP391.98

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第013502号

责任编辑:宋丽 刘杨 / 责任校对:张曼
责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市荣展印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2018年8月第一次印刷 印张:18 1/2

字数:418 000

定价:56.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈荣展〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135397-2047

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

编 委 会

主 编 娄 岩

副主编 杨卫华 徐东雨 庞东兴

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁 林 刘 佳 郑 璐

郑琳琳 郭婷婷 曹 鹏

前 言

近年来，虚拟现实、大数据、人工智能、移动互联网等科技热点受到了全世界前所未有的关注和重视，引领了新一轮全球科技创新与发展的潮流。

编者认为，虚拟现实和增强现实技术将会打造下一代人机交互的高端平台，并形成一个与互联网和人工智能技术相提并论的朝阳产业。虚拟现实和增强现实将彻底改变人类生活的各个方面，就如同计算机、互联网和移动互联网曾经和正在对人类生活产生的巨大影响一样。虚拟现实和增强现实时代的大门已经开启。

虚拟现实技术是一种综合多学科的计算机领域新技术，涉及众多研究和应用领域，被认为是 21 世纪影响人们生活的重要技术之一。正因如此，虚拟现实技术对探索发展现代教育思想、提高教育技术水平、改善实验环境、优化教学过程、培养具有创新意识和创新能力的人才将产生深远的影响。

随着虚拟现实技术的普及应用，增强现实技术更像一匹闯入人们生活中的黑马，格外引人注目。它是基于虚拟现实技术而发展起来的一门新技术，也是计算机系统提供给用户对现实世界感知的技术，还是将虚拟的信息应用到真实世界的技术。

本书紧随科技前沿，主要介绍虚拟现实和增强现实的相关技术和最新进展。本书融入了编者多年的教学、实践和编写经验，汲取学生反馈的意见，力求概念讲述、原理讲解、实例分析相结合，内容丰富且通俗易懂，让读者在理解原理的基础上，掌握一定的虚拟现实开发技术，并对增强现实有概括性了解。

本书内容深入浅出、循序渐进，案例丰富、图文并茂，概念讲解清晰，原理通俗易懂，实例操作性强，有助于读者构建完整的虚拟现实知识体系，并且每一章都对专业名词进行详细的注释，帮助读者理解。

本书还介绍了三维建模和三维开发工具的应用案例，不仅指导读者学习理论知识，还令读者参与其中，既增加了实用性，又增加了可读性和趣味性。

本书由娄岩担任主编，具体编写分工如下：第 1 章由娄岩、杨卫华编写，第 2 章由刘佳编写，第 3 章由丁林编写，第 4 章由郑琳琳编写，第 5 章由庞东兴编写，第 6 章由徐东雨编写，第 7 章由郑璐编写，第 8 章由曹鹏编写，第 9 章由郭婷婷编写。

本书的部分观点和依据引自学界同仁（见书后参考文献），在此对他们表示深深的感谢！由于虚拟现实和增强现实技术的不断发展，以及编者掌握技术的局限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

娄 岩

目 录

第 1 章 虚拟现实概述	1
1.1 虚拟现实的基本知识	2
1.1.1 虚拟现实的定义	2
1.1.2 虚拟现实的特征和特性	3
1.1.3 虚拟现实系统的组成	4
1.2 虚拟现实系统的分类	6
1.2.1 沉浸式虚拟现实系统	6
1.2.2 桌面式虚拟现实系统	8
1.2.3 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	11
1.4 虚拟现实技术的应用领域	12
1.5 虚拟现实技术的发展	14
1.5.1 虚拟现实技术的发展历程	14
1.5.2 虚拟现实技术的研究现状	16
1.5.3 虚拟现实技术的发展趋势	16
本章小结	19
第 2 章 虚拟现实的计算体系结构	21
2.1 绘制流水线	22
2.1.1 视觉绘制方法	22
2.1.2 图形绘制流水线	23
2.1.3 触觉绘制流水线	29
2.2 体系结构	31
2.2.1 基于计算机的体系结构	32
2.2.2 基于工作站的体系结构	34
2.2.3 基于移动平台的体系结构	35
2.2.4 基于一体机的体系结构	37
2.3 分布式虚拟现实体系结构	38
2.3.1 多流水线同步	38
2.3.2 联合定位绘制流水线	40



2.3.3 分布式虚拟环境	43
本章小结	47
第3章 虚拟现实系统的核心技术	50
3.1 三维建模技术	51
3.1.1 几何建模技术	51
3.1.2 物理建模技术	53
3.1.3 行为建模技术	54
3.2 立体显示技术	54
3.2.1 双目视差显示技术	55
3.2.2 全息投影技术	57
3.3 真实感实时绘制技术	59
3.3.1 真实感绘制技术	59
3.3.2 图形实时绘制技术	60
3.4 三维虚拟声音技术	62
3.5 人机交互技术	64
3.5.1 手势识别技术	64
3.5.2 面部表情识别技术	65
3.5.3 眼动跟踪技术	67
3.5.4 语音识别技术	67
3.6 碰撞检测技术	69
3.6.1 碰撞检测技术的要求和实现方法	70
3.6.2 碰撞检测技术在人工智能中的应用	70
本章小结	71
第4章 虚拟现实系统的输入设备	73
4.1 三维位置跟踪器	74
4.1.1 虚拟现实的定位追踪	75
4.1.2 跟踪器的性能参数	78
4.1.3 常见的跟踪器	79
4.2 导航输入设备	87
4.2.1 三维鼠标	87
4.2.2 手柄	88
4.3 手势输入设备	89
4.3.1 手势接口	89



4.3.2	数据手套	89
4.3.3	运动捕捉设备	92
4.4	体感输入设备	93
4.4.1	手势运动感应设备	93
4.4.2	无线体感设备	94
	本章小结	95
第 5 章	虚拟现实系统的输出设备	97
5.1	图形显示设备	98
5.1.1	人类的视觉系统	98
5.1.2	头盔显示器	99
5.1.3	沉浸式立体投影系统	103
5.1.4	立体眼镜	107
5.2	声音显示设备	108
5.2.1	人类的听觉系统	108
5.2.2	基于 HRTF 的三维声音	110
5.2.3	基于扬声器的三维声音	112
5.3	触觉反馈	113
5.3.1	人类触觉系统	113
5.3.2	接触反馈	115
5.3.3	力反馈	117
5.3.4	触觉反馈在智能医学中的应用	119
	本章小结	122
第 6 章	三维数字建模与三维全景技术	125
6.1	三维数字建模概述	126
6.2	三维全景概述	128
6.2.1	三维全景的分类	129
6.2.2	三维全景的特点	131
6.2.3	三维全景的应用领域	132
6.3	全景照片的拍摄硬件	135
6.3.1	硬件设备	135
6.3.2	硬件配置方案	137
6.4	全景照片的拍摄方法	138



6.5	三维全景的软件实现	139
6.5.1	全景大师的安装	140
6.5.2	项目管理	141
6.5.3	场景管理	143
6.5.4	皮肤管理	146
6.6	智能三维全景的应用	147
6.6.1	智能化医院三维全景导航系统	148
6.6.2	智能全景盲区行车辅助系统	149
	本章小结	151
第7章	三维建模软件 3ds Max	153
7.1	常见的三维建模软件	154
7.1.1	3ds Max	154
7.1.2	Maya	154
7.1.3	Rhino	155
7.2	3ds Max 的基本操作	155
7.2.1	软件启动与退出	155
7.2.2	模型的打开、保存与导出	156
7.2.3	工作界面布局	156
7.2.4	视图区基本操作	160
7.2.5	主工具栏常用工具	161
7.3	基础建模	165
7.3.1	内置几何体建模	165
7.3.2	二维图形建模	170
7.3.3	常用复合对象建模	178
7.4	材质与贴图	181
7.4.1	精简材质编辑器	181
7.4.2	贴图类型	183
7.4.3	贴图坐标	186
7.5	摄影机与灯光	187
7.5.1	摄影机	187
7.5.2	灯光	188
7.6	基础动画	189
7.6.1	时间配置	189
7.6.2	“自动关键点”动画制作模式	191



7.6.3 “设置关键点”动画制作模式	192
7.6.4 动画生成的基本流程	197
本章小结	199
第8章 三维开发工具 Unity 3D	200
8.1 三维开发工具简介	201
8.1.1 Unity 3D 介绍	201
8.1.2 虚幻引擎4介绍	202
8.2 Unity 3D 入门及其功能概述	203
8.2.1 Unity 3D 的界面	203
8.2.2 Unity 3D 的菜单	204
8.3 Unity 3D 的对象与脚本	205
8.3.1 Unity 3D 的对象	205
8.3.2 Unity 3D 的脚本	208
8.4 调试程序	212
8.4.1 显示 Log	212
8.4.2 设置断点	213
8.5 光影	213
8.5.1 光源类型	213
8.5.2 环境光与雾	215
8.6 地形	215
8.7 天空盒	219
8.8 物理引擎	221
8.9 动画系统	226
8.10 在 Unity 3D 中实现智能机器人	229
8.11 外部资源应用	233
8.11.1 贴图的导入	234
8.11.2 3ds Max 静态模型的导入	234
8.11.3 3ds Max 动画的导入	236
8.11.4 资源商店中模型的导入	236
本章小结	238
第9章 增强现实概述	240
9.1 增强现实的基本知识	241
9.1.1 增强现实的定义	241



9.1.2	国内外发展状况	244
9.1.3	增强现实系统的基本结构	245
9.1.4	增强现实与虚拟现实的联系与区别	246
9.2	增强现实系统的核心技术	248
9.2.1	显示技术	248
9.2.2	三维注册技术	251
9.2.3	标定技术	255
9.2.4	人机交互技术	255
9.3	移动增强现实技术概述	256
9.3.1	移动增强现实技术	257
9.3.2	移动增强现实的发展现状	258
9.3.3	移动增强现实系统的构成	259
9.3.4	移动增强现实技术的应用	260
9.4	增强现实技术的开发工具	260
9.4.1	Vuforia SDK 的下载与导入	261
9.4.2	在 Unity 3D 中创建图片识别案例	262
9.4.3	案例的发布	267
9.4.4	增强现实其他开发工具	268
9.5	增强现实技术的主要应用领域	269
9.5.1	医疗领域	269
9.5.2	教育领域	272
9.5.3	交通领域	273
9.5.4	军事领域	274
9.5.5	游戏领域	275
9.5.6	其他领域	275
9.6	增强现实技术的发展	276
9.6.1	增强现实技术发展的阻碍因素	276
9.6.2	增强现实技术的发展趋势	277
	本章小结	282
	参考文献	283

第 1 章 虚拟现实概述



导学

内容与要求

本章主要介绍虚拟现实的基本知识、系统的分类、主要研究对象、应用领域及发展和现状。

1. 虚拟现实的基本知识中要求掌握虚拟现实的定义、特征和特性、系统的组成。
2. 虚拟现实系统的分类中要求掌握虚拟现实系统的 4 种不同类型。
3. 虚拟现实技术的主要研究对象中要求了解 5 个基本问题。
4. 虚拟现实技术的应用中要求了解虚拟现实技术的主要应用领域。
5. 虚拟现实技术的发展中要求了解虚拟现实的发展历程、研究现状及发展趋势。

重点与难点

本章的重点是掌握虚拟现实的定义和特性，难点是了解虚拟现实系统和增强现实系统的组成。

虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术产生于 20 世纪 60 年代，但 VR 一词始于 80 年代，其走出实验室真正活跃在人们面前是在 80 年代末期，而真正大量资金涌入和全面市场化却是近年来的事情。该技术涉及计算机图形学、传感器技术、动力学、光学、流体力学、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更高境界。

虚拟现实不但是—种基于可计算信息的沉浸式交互环境，同时也是一种新的高端人机交互接口。虚拟现实的目标就是实现预期的沉浸感，具体地说，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, VE)，用户借助必要的设备以自然和实时的方式与虚拟环境中的对象进行交互作用、相互影响，从而产生身临其境的感受和体验。



1.1 虚拟现实的基本知识

首先,为什么要研究虚拟现实技术的问题?若未搞清楚这个问题,我们就很难有意愿深入地学习这门新兴的科学。

传统人机交互方式是指人与计算机之间的交互是通过键盘、鼠标、显示器等工具实现的。而虚拟现实是将计算科学处理对象统一看成一个计算机生成的空间(虚拟空间或虚拟环境),并将操作它的人看成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先进的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。虚拟说明这个世界和环境是虚拟的,是人工制造出来的,也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之间进行交互。而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(immersion),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接口与以往研究的区别包括3个方面。

(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,而不是由显示器、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

虚拟环境中逼真的感知和自然力的动作,使人产生身临其境的感觉,这改变了以往人机接口的效果。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。

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 虚拟现实的定义

把虚拟现实看成对虚拟想象(三维可视化)或真实三维世界的模拟。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,若模拟了真实世界的某些特征(如网络上的聊天室、MUD)等,也可称为虚拟世界、虚拟现实。

1.1.2 虚拟现实的特征和特性

1. 虚拟现实的特征

(1) 多感知性

多感知性指除一般计算机所具有的视觉感知外,还有听觉感知、触觉感知、运动感知,甚至还包括味觉、嗅觉、感知等。理想的虚拟现实应该具有人所具有的感知功能。

(2) 存在感

存在感指用户感到作为主角存在于模拟环境中的真实程度。理想的模拟环境应该达到使用户难辨真假的程度。

(3) 交互性

交互性指用户对模拟环境内物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度。

(4) 自主性

自主性指虚拟环境中的物体依据现实世界物理运动定律动作的程度。

2. 虚拟现实的特性

从上述表述看,虚拟现实是可交互和沉浸的。但很少有人意识到虚拟现实还有一个特性。虚拟现实不仅是一种媒体或计算机高端接口,而且包含了解决实际问题的应用。这些应用是由虚拟现实的开发者们设计的计算机程序实现的。特定的应用程序解决特定的问题,而这种应用模拟或执行后的结果更逼真,很大程度上取决于人的想象力(imagination)。

综上所述,虚拟现实具有3个重要特性:沉浸感、交互性(interaction)和想象力。任何虚拟现实系统都可以用3I来描述其特性。其中,沉浸感与交互性是判断一个系统是否属于虚拟现实系统的关键特性。虚拟现实的3I特性如图1.1所示。

(1) 沉浸感

沉浸感又称临场感,是虚拟现实最终要达到的目标。也就是说,一个虚拟现实系统的好坏,完全取决于它的沉浸感



图 1.1 虚拟现实的 3I 特性



实际效果。虚拟现实技术根据人类的视觉、听觉的生理心理特点,由计算机产生逼真的三维立体图像,用户通过头盔显示器(head mounted display, HMD)、数据手套(data glove)或数据衣(data suit)等交互设备,便可将自己置身于虚拟环境中,成为虚拟环境中的一员。用户与虚拟环境中各种对象的相互作用,就如同在现实世界中一样。当用户移动头部时,虚拟环境中的图像也实时地跟随变化,物体可以随着手势移动而运动,还可听到三维仿真声音。用户在虚拟环境中,有种身临其境的感觉。由图 1.1 可以看出,沉浸感是虚拟现实最终实现的目标,交互性和想象力是实现这一目标的基础,三者之间是过程和结果的关系。

(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,用户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。计算机能根据用户的头、手、眼、语言及身体的运动,来调整系统呈现的图像及声音。用户通过自身的语言、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

想象力是指在虚拟环境中,用户可以根据所获取的多种信息和自身在系统中的行为,通过联想、推理、逻辑判断等思维和构思的过程,随着系统的运行状态变化对系统运动的未来进展进行想象,以获取更多的知识,认识复杂系统深层次的运动机理和规律性。

虚拟现实具有的沉浸感、交互性、想象力,使用户能在虚拟环境中沉浸其中、超越其上、进退自如并自由交互。它强调人在虚拟系统中的主导作用,即人的感受在整个系统中最重要。因此,交互性和沉浸性这两个特性,是虚拟现实与其他相关技术(如三维动画、科学可视化及传统的多媒体图形图像技术等)最本质的区别。

1.1.3 虚拟现实系统的组成

具有 3I 特性的虚拟现实系统,其基本组成主要包括用户、跟踪器、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。

1. 效果产生器

效果产生器(effect generator)是完成人与虚拟境界硬件交互的接口装置,包括能产生沉浸感的各类输出设备,以及能测定视线方向和手指动作的输入设备。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,其功能是由计算机生产信息通过传感器发送给输出设备。

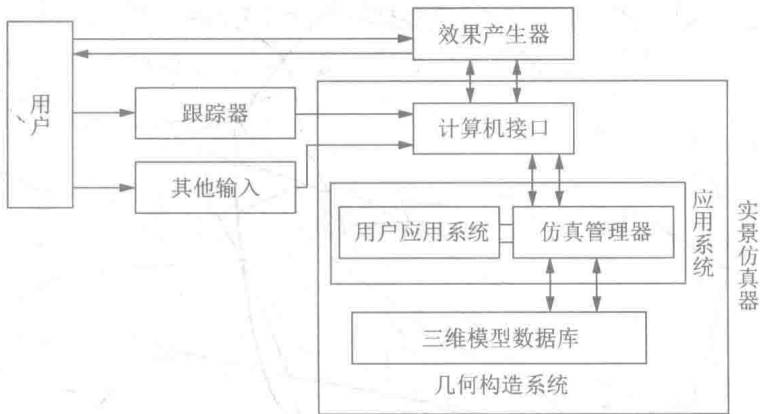


图 1.2 虚拟现实系统的基本组成

2. 实景仿真器

实景仿真器 (relative emulator) 是虚拟现实系统的核心部分, 是虚拟现实的引擎, 由计算机软件、硬件系统与软件配套硬件 (如图形加速卡和声卡等) 组成, 接收 (发出) 效果产生器所产生 (接收) 的信号。

实景仿真器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關鍵, 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、三维场景的实时渲染, 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。

(1) 应用系统

应用系统 (application) 是面向具体问题的软件部分, 用以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。

(2) 几何构造系统

几何构造系统 (geometrical structural system) 提供了描述仿真对象的物理特性 (外形、颜色、位置) 的信息。因此, 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。例如, 沉浸式系统的主要设备包括个人计算机、头盔显示器、数据手套和头部跟踪器、屏幕、三维立体声音设备。实景仿真器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现实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。

1.2 虚拟现实系统的分类

虚拟现实已经成为未来科技发展的趋势，也将是未来发展又一个新领域。虚拟现实将为人类带来全新的视觉感受和体感认知，通过沉浸式交互让人分不清哪是现实世界、哪是虚拟世界。虚拟现实系统按其功能分为沉浸式虚拟现实系统、桌面式虚拟现实系统和分布式虚拟现实系统 3 种类型。

1.2.1 沉浸式虚拟现实系统

沉浸式虚拟现实系统是一套比较复杂的系统。沉浸式虚拟现实系统的体系结构如图 1.3 所示，它提供完全沉浸的体验，使用户有一种完全置身于虚拟世界之中的感觉。它通常采用头盔式显示器、洞穴式立体显示器等设备，把用户的视觉、听觉和其他感觉封闭起来，并提供一个新的、虚拟的感觉空间，利用空间位置跟踪定位设备、数据手套、其他手控输入设备、声音设备等，使用户产生一种完全投入并沉浸于其中的感觉，是一种较理想的虚拟现实系统。

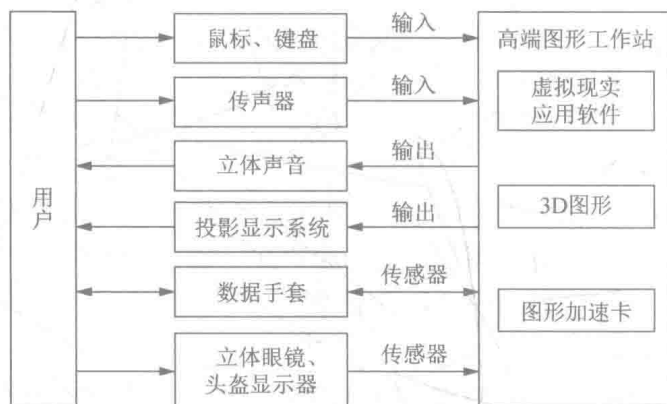


图 1.3 沉浸式虚拟现实系统的体系结构

沉浸式虚拟现实系统采用多种输入与输出设备来营造一个虚拟的世界，并使用户沉浸于其中，同时还可以使用户与真实世界完全隔离，不受外面真实世界的影响，高度实时性。在虚拟世界中要达到与真实世界相同的感受，如当人运动时，空间位置跟踪定位设备需及时检测到，并且经过计算机运算，输出相应的场景变化，并且这个变化必须是