

石大明 张小燕 洪国伟

霍永凯 江 洋

# 虚拟现实

从零基础到  
超现实

新工科信息技术基础

系列规划教材

高等教育出版社



98  
新工科信息技术基础系列规划教材

虚拟现实

从零基础到

超现实

石大明 张小燕 洪国伟 霍永凯 江洋

# 虚拟现实

## 从零基础到超现实

Xuni Xianshi :  
Conglingjichu Dao  
Chaoxianshi

### 图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实：从零基础到超现实 / 石大明等主编. --

北京：高等教育出版社，2019.7

ISBN 978-7-04-051533-6

I. ①虚… II. ①石… 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(2019)第042751号

### 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反

《中华人民共和国著作权法》，其为人承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话  
(010) 58581999 58582371  
58582488

反盗版举报传真  
(010) 82086060

反盗版举报邮箱  
dd@hep.com.cn

通信地址  
北京市西城区德外大街4号  
高等教育出版社法律事务  
与版权管理部  
邮政编码 100120

### 防伪查询说明

用户购书后刮开封底防伪涂层，利用手机微信等软件扫描二维码，会跳转至防伪查询网页，获得所购图书详细信息。也可将防伪二维码下的20位密码按从左到右、从上到下的顺序发送短信至106695881280，免费查询所购图书真伪。

反盗版短信举报  
编辑短信“JB，图书名称，出版社，  
购买地点”发送至10669588128

防伪客服电话  
(010) 58582300

策划编辑 刘茜  
责任编辑 武林晓  
书籍设计 张申申  
插图绘制 于博  
责任校对 刁丽丽  
责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印刷 北京市大天乐投资管理有限公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 15  
字数 230千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购  
<http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版次 2019年7月第1版  
印次 2019年7月第1次印刷  
定价 31.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等  
质量问题，请到所购图书销  
售部门联系调换

版权所有 侵权必究  
物料号 51533-00

## 石大明

深圳大学特聘教授、博士生导师，毕业于哈尔滨工业大学和英国南安普顿大学，历任新加坡南洋理工大学助理教授、英国密德萨斯大学副教授 / 教授。长期从事图像处理、虚拟现实和人工智能等领域的教学和科研工作。



## 张小燕

博士，毕业于新加坡南洋理工大学电气与电子工程学院。2015年至今任教于深圳大学计算机与软件学院。主要从事图像处理，多媒体内容分析相关研究。主讲课程包括“多媒体系统导论”“多媒体系统”等。





### 洪国伟

博士，毕业于香港理工大学电子及资讯工程系。2016年至今任教于深圳大学计算机与软件学院。在图像信号处理、图像插值、图像超分辨率的关键技术上进行了深入研究。曾先后参与多个国家自然科学基金和香港RGC/GRF 的研究项目。



### 霍永凯

博士，毕业于英国南安普顿大学电子与电气工程学院。2016年底至今任教于深圳大学计算机与软件学院。其主要研究方向包括无线编码、全景视频的传输以及基于深度学习的视频预测等。



### 江 洋

博士，毕业于英国布莱福德大学，现任职于英国罗伯特-哥登大学，主讲虚拟现实课程。研究领域主要包括三维可视化、沉浸技术、计算机游戏、三维动画人物生成、实时动作捕捉。



## 内容简介

本书属于新工科信息技术基础系列规划教材之一。本书由7章组成。前两章概述和介绍相关人机交互设备。第3章介绍计算机图形学的基本几何知识。第3、4两章重点介绍虚拟现实场景和模型的构建,以及实时渲染和全景图拼接的技术和原理。第5章介绍虚拟人物及运动捕获的方法。第6章介绍与虚拟现实相关的增强现实和混合现实。第7章附有相关代码供读者亲自动手实现书中的开发实例。

虚拟现实技术以沉浸的方式为使用者创造了一个实时反映实体对象变化并与使用者相互作用的三维世界。本书以由浅入深的方式安排内容,即使零基础的读者,也可以通过循序渐进的理论与实践相结合,最后成为一个虚拟现实技术的超级能手。

本书可作为高等院校计算机及电子信息类专业、教育技术学专业学生的教材,也可作为从事虚拟现实技术的行业、企业工程技术人员以及虚拟现实技术爱好者的参考书。



所谓虚拟现实，即是首先将现实甚至超越现实的环境搬入虚拟世界中。接着，人们通过使用虚拟现实系统，可以逼真地体验到该现实环境。读者可以设想未来的一个场景：你只需要拥有一套虚拟现实系统，就可以足不出户地游览澳大利亚大堡礁、美国大峡谷和高楼林立的迪拜等。

因其广阔的应用前景，虚拟现实课程也越来越受到高等院校相关专业的重视。《虚拟现实——从零基础到超现实》为新工科信息技术基础系列规划教材之一。本书使读者不但能够全面理解虚拟现实学科的理论知识，而且能够在实践中深入掌握虚拟现实系统的设计开发方法。

本书的前四位作者石大明、张小燕、洪国伟和霍永凯都是近一两年从英国、美国和中国香港引进的高层次人才，现任职于深圳大学计算机与软件学院未来媒体技术与计算研究所。第五位作者江洋曾经是笔者在英国指导的博士生，现在英国罗伯特·哥登大学主讲虚拟现实。这五位作者均长期从事图像、视频、虚拟现实等领域的教学和科研工作。

本书的特点在于将理论和实际工程开发相结合，使读者可以将理论知识在工程开发实例中应用，并附有大量的编程实践及相关代码，供读者学习参考。与目前已有的虚拟现实相关的课本相比，本教材具有如下特点：

(1) 适合本科生“新工科”培养目标的实用教材，重视学生的动手能力。

(2) 包括大量的编程实习作业和示范答案，供学生自学。

(3) 在适合本科生学习的基础上，也为硕士研究生或从事其他领域科研的博士生提供了快速掌握虚拟现实技术的便捷手段。

(4) 通过相关的代码和应用开发实例，为IT行业的研发工程师提供了实用的虚拟现实基础知识和开发平台。

(5) 结合了虚拟现实最前沿的科学研究，为从事多媒体及相关信息技术的科研人员提供了实用的工具。

江健民

“国家千人计划”特聘教授

深圳大学未来媒体技术与计算研究所所长

### 写作背景

虚拟现实是21世纪初发展最为迅猛的计算机技术之一。20世纪后期,随着高清图形图像技术的日臻成熟,三维游戏和动画为人们提供了一个逼真的虚拟世界。在此基础上,虚拟现实技术则通过多种传感设备使用户与虚拟世界中的事物自然地交互,能够产生真实世界一样的感觉。

到目前为止,虚拟现实技术已经在教育、医疗、娱乐、军事等领域得到了广泛应用,并形成了产业链;但是,虚拟现实的大量理论、方法和技术还有待于广泛传播和全面应用,还需要进行系统化的实践以及培养相关的工程人员。本书是关于虚拟现实的专门著述,目标是从开发者的视角出发,侧重于实践者的技术与方法,系统地介绍虚拟现实的原理、方法和技术的全面融合应用,指导虚拟现实技术各环节的系统化实践。

### 写作思路

本书是作者在相关课程教学和多年的科研基础上完成的,在写作中遵循了下述几点思路:

(1) 从最基础的知识着手。本书旨在从虚拟现实的基础知识开始介绍,使没有虚拟现实背景的本科生和初学者也比较容易入门。如第1章和第2章中,作者对虚拟现实的发展历史和视觉原理做了比较完整的阐述,以期读者对虚拟现实有比较清晰的感性认知。

(2) 对虚拟现实的内容实现全方位涵盖。本书旨在涵盖虚拟现实各个方面的知识。如第2章中,作者对虚拟现实硬件及其原理进行了全面的介绍。而第3章至第5章,分别介绍了Unity3D、虚拟现实建模技术、虚拟现实的人物建模和运动捕捉等。这些涵盖了虚拟现实技术中的各个方面。

(3) 注重理论和实践的结合。本书旨在使读者掌握虚拟现实理论知识的同时,也可获得程序实战上的能力。如第3章讲述三维建模理论,第7章配合介绍相应的建模软件3d Max。

(4) 注重工业界的发展和需求。本书旨在使读者学习理论的同时,掌握工业界的动态和需求。本书第7章专门提供案例并附有代码,不但能够为读者展示虚拟现实的技术和软件开发流程,而且也展示了工业界在虚拟现实技术上的一些进展和产品。



## 组织结构

全书遵循由浅入深的方式，共分为7章。第1章介绍虚拟现实技术的定义、发展历史及现有的问题。第2章介绍虚拟现实系统所需要的硬件设备，为学生提供进入虚拟现实学习及动手的必要铺垫。

第3章介绍计算机图形学的基本几何知识，此外重点介绍虚拟现实场景和模型的构建，以及实时渲染相关的技术和原理。

第4章重点介绍全景图的不同类型和主要原理，此外还从理论上分析如何从二维的图像拼接成全景图。学生也可利用现有的软件实践这种三维全景技术。

第5章重点介绍虚拟人物构建及运动捕获的方法、原理以及主要的处理技术。

第6章介绍与虚拟现实密切相关的两种技术：增强现实和混合现实。本章通过实例演示突出它们之间的区别与联系。

通过以上章节的理论分析与实践应用，读者可以在第7章中使用相关软件亲自动手实现书中的开发实例来加深自己对本书理论知识的理解。

## 读者对象

本书面向的主要读者对象包括从事软件需求相关工作的软件技术人员，学习软件工程课程、特别是软件需求课程的高等学校高年级学生和研究生。

高等学校高年级学生和研究生可以使用本书作为教材系统地学习需求工程的知识，也可以把此书作为软件工程课程的重要教学参考书；需求工程师可以参考本书，更好地理解有效的需求工程实践方法和技术；项目管理人员可以从本书中了解到如何为项目实施需求工程；设计人员、程序员、测试人员以及其他开发团队成员，也可以通过本书更好地理解需求在软件开发中的重要性，更有效地参与和支持需求管理活动。

## 补充材料

为了加深读者对内容的理解，方便使用本书的教学工作，本书提供了一些补充材料：

- 电子教案。
- 习题：用于复习每一章内容的复习题，用于熟悉实践方法和技术

应用的案例题，以及用于深化读者理解层次的思考题。

- 实验代码：教材实例的源代码。
- 微视频：有些原理知识和实例运行附有微视频，便于读者快速理解。

这些补充材料可以从高等教育出版社网站上获得。

## 致谢

本书在写作的过程当中，得到了很多人士的帮助。

深圳大学江健民教授在百忙中审阅了本书，英国伯恩茅斯大学的田丰教授在本书写作过程中提供了宝贵建议和帮助，在此表示感谢。

前人工作是本书写作的基础，本书借鉴了已有著作和论文的内容，在此对列入引用文献清单的作者表示感谢。

在教学过程中，深圳大学计算机与软件学院对课程建设高度支持。尤其是王志强教授、朱安民教授都对本教材的编写和实验安排提供了帮助，在此表示感谢。

本书的实例也建立在深圳大学未来媒体研究所的研发基础上，很多本科生和研究生也为本书的编写添砖加瓦，特别表示感谢的学生有：陈松逵、朱美芦、杨淑玲、唐金婷、邱超明、王昆、罗海华和唐振华。

限于编者的水平，难免有错误与不妥之处，请读者批评指正，联系 email 为：dshi@szu.edu.cn。

作者

2018年10月于深圳

# 虚拟现实

## ——从零基础到超现实

石大明 张小燕

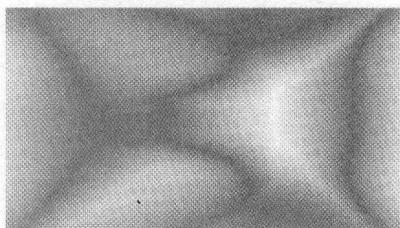
洪国伟 霍永凯

江 洋

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/187914>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



① 重要通知 | APP下载



## 虚拟现实

——从零基础到超现实

虚拟现实——从零基础到超现实数字课程与纸质教材一体化设计, 紧密配合。数字课程涵盖电子教案、实验代码和微视频, 充分运用多种媒体资源, 极大地丰富了知识的呈现形式, 拓展了教材内容。在提升课程教学效果的同时, 为学生学习提供思维与探索的空间。

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。

电子教案

实验代码

微视频



扫描二维码  
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/187914>



■ 第1章 概述	001	2.4.2 空间跟踪球	039
1.1 虚拟现实技术简介	001	2.4.3 VR手柄	040
1.1.1 定义	001	2.4.4 数据衣	041
1.1.2 系统构成与基本特征	002	2.4.5 力觉和触觉反馈设备	043
1.1.3 分类	005	2.5 本章小结	044
1.1.4 虚拟现实关键技术	007	习题	045
1.2 虚拟现实技术的发展历史	008	参考文献	045
1.3 虚拟现实技术的应用	012	■ 第3章 三维建模与实时渲染技术	047
1.4 虚拟现实技术所面临的问题	018	3.1 三维建模数学基础	047
参考文献	020	3.1.1 坐标系	047
■ 第2章 虚拟现实硬件设备	021	3.1.2 向量	048
2.1 场景采集设备	021	3.1.3 矩阵	051
2.1.1 鱼眼式全景摄像机	021	3.1.4 坐标变换	053
2.1.2 多镜头式全景摄像机	022	3.1.5 透视投影	056
2.1.3 3D扫描仪	024	3.1.6 空间基本图形及方程	057
2.2 视觉显示设备	026	3.2 三维建模相关理论	060
2.2.1 三维立体眼镜	027	3.2.1 三维建模技术	060
2.2.2 头戴式VR显示设备	028	3.2.2 三维建模的实现方法	064
2.2.3 投影式立体显示设备	034	3.2.3 三维建模软件	065
2.3 立体声音设备	036	3.3 渲染技术与实时渲染	067
2.4 交互设备	037	3.3.1 渲染技术	067
2.4.1 数据手套	038	3.3.2 实时渲染	071
		3.4 本章小结	072
		习题	073
		参考文献	073

■ 第4章 全景图技术 .....075	■ 第5章 虚拟人物构建与运动捕获技术 .....099
4.1 图像视频数据获取 .....075	5.1 建立虚拟人物模型 .....099
4.2 鱼眼相机的几何失真和校正 .....076	5.1.1 3D 虚拟人物建模理论及应用 .....099
4.2.1 极坐标变换以模拟桶形畸变 .....077	5.1.2 虚拟人物动画理论以及骨骼和绑定基础 .....105
4.2.2 基于坐标投影的鱼眼图像校正 .....078	5.1.3 常用于建模工具与虚拟现实平台之间互相传递的数据格式 .....114
4.2.3 基于双线性插值的鱼眼图像校正 .....079	5.1.4 如何应对和处理数据传输过程中的信息丢失 .....116
4.3 全景图分类及其实现原理 .....080	5.1.5 将3D 人物模型传输进虚拟现实环境中 .....117
4.3.1 柱面全景图 .....080	5.2 基于运动捕捉数据设计动画 .....122
4.3.2 球面全景图 .....080	5.2.1 运动捕捉技术简介 .....122
4.3.3 墨卡托全景图 .....082	5.2.2 运动捕捉技术与虚拟现实的结合及应用 .....129
4.3.4 球极全景图 .....082	5.3 本章小结 .....131
4.3.5 立体全景图 .....083	习题 .....132
4.4 全景视频图像拼接算法 .....083	参考文献 .....132
4.4.1 基于灰度的图像拼接算法 .....084	■ 第6章 增强现实与混合现实技术 .....133
4.4.2 基于频域的图像拼接算法 .....085	6.1 增强现实 .....133
4.4.3 基于特征的图像拼接算法 .....085	6.1.1 增强现实简介 .....133
4.4.4 基于接缝的图像拼接 .....092	6.1.2 增强现实特点 .....134
4.4.5 基于梯度的图像拼接 .....092	
4.5 图像拼接技术面临的问题 .....093	
4.6 本章小结和图像拼接技术前景展望 .....095	
习题 .....096	
参考文献 .....097	

6.1.3 增强现实技术和难点 .....134	■ 第7章 常用软件及开发实例 .....165
6.1.4 移动增强现实技术 .....139	7.1 Unity3D .....165
6.1.5 增强现实的开发工具 .....141	7.1.1 Unity3D 常用功能 .....166
6.1.6 增强现实的应用 .....143	7.1.2 Unity3D 案例 .....180
6.1.7 增强现实典型产品 .....145	7.2 3ds Max .....188
6.1.8 从虚拟现实技术到 增强现实技术 .....147	7.2.1 简介 .....188
6.2 混合现实 .....149	7.2.2 界面认识 .....188
6.2.1 混合现实简介 .....149	7.2.3 简单模型制作 .....190
6.2.2 混合现实的特点 .....150	7.2.4 复杂模型制作 与导入 .....191
6.2.3 混合现实相关技术 和难点 .....151	7.2.5 材质与贴图 .....195
6.2.4 混合现实设备 .....152	7.2.6 灯光与摄影机 .....198
6.2.5 混合现实应用 .....153	7.2.7 渲染 .....200
6.3 案例 .....154	7.2.8 3ds Max 建模案例 .....201
6.3.1 简介 .....154	7.3 图像拼接软件 .....205
6.3.2 开发环境 .....154	7.3.1 图像拼接软件的 使用 .....205
6.3.3 开发流程 .....154	7.3.2 利用全景图像建立虚拟 场景 .....208
6.3.4 创建 Room Decorator .....157	7.4 基于模型的虚拟场景构建 .....212
6.3.5 Room Decorator 操作 说明 .....158	7.4.1 利用模型建立虚拟 场景 .....212
6.3.6 Room Decorator 简介 .....158	7.4.2 VR 场景的实现 .....219
6.4 本章小结 .....163	7.4.3 实现物体动画效果 .....220
习题 .....163	7.4.4 移植安卓平台 .....221
参考文献 .....163	参考文献 .....222



# 第1章 概述

1



含  
电  
子  
教  
案

虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术是21世纪发展最为迅速,对人们的生活产生深远影响的计算机技术之一。它能够提供一种沉浸式和交互式的虚拟环境,使得工程人员在设计产品阶段就能精确分析产品的形状和功能,避免后期的制作误差及没有必要的实体原型<sup>[1]</sup>。

虚拟现实技术是综合媒体技术、传感技术、计算机图形学、显示技术、人机交互技术、人工智能、人体工程学等多个领域的技术结晶。

它不只是指那些戴着手套和头盔的技术,而且还包括所有与之有关的具有逼真体验、自然模拟的方法和技术。它试图通过计算机生成一个三维的虚拟世界,在这个虚拟世界中,人们可以通过视觉、听觉、嗅觉、触觉等多个感官功能与虚拟世界中的事物自然地交互,如同置身现实世界一样,能够产生真实世界一样的感觉。它的最终目标就是达到真实体验和基于自然技能的人机交互<sup>[2]</sup>。

虚拟现实技术的发展促进各行各业的变革。在教育、医疗、娱乐、军事等领域被广泛应用。它拉近了计算机与人之间的距离,让人机交互更加人性化,为大量的工程数据可视化提供了新的呈现方式,为智能工程的应用提供新的接口,为人们的工作和生活提供一种全新的理念。

本章对虚拟现实技术进行基本的综述,包括其定义、基本特征、发展历史、应用以及现在所面临的问题。

## 1.1 虚拟现实技术简介

### 1.1.1 定义

虚拟现实技术从不同的角度去理解有着不同的概念。从功能角度讲,虚拟现实技术是指使用计算机图形学技术构造出与真实世界相似的一种仿真模拟系统。这个虚拟的世界能够根据用户的不同输入做出相应的实时动态响应。虚拟现实技术同时也是一种高级人机接口,包括听觉、视觉、嗅觉、味觉和触觉等多种感觉途径的实时模拟仿真和实时互动体验。从模拟仿真内容的角度讲,虚拟现实是一个由虚拟实体与三维技术相结合而成的环境,在现实并不存在对应物<sup>[1]</sup>。虚拟现实这门技术产生于20世纪60年代,直至20世纪80年代才由美国VPL公司创始人杰伦·拉尼尔(Jaron Lanier)首次完善成一个完整的科学技术概念。他认为,虚拟现实是指计算机产生的三维交互环境,用户参与这些环境中,获取角色,从而得到体验。随着虚拟现实技术的不断发展、内容不断丰富,人们企图找到一个更加适合和完善的定义。

“虚拟现实是一个由计算机图形构成的看上去与现实世界一样的模拟场景”,Burdea等人<sup>[2]</sup>在“Virtual reality technology”中这样定义虚拟现实<sup>[2]</sup>。

Metin Akay等人将虚拟现实的基础概念定义为,计算机可以从数字数据中合成三维(3D)图形环境,并通过使用视觉和听觉输出设备,用

用户可以体验这个虚拟环境，感觉它像是真实世界的一部分一样<sup>[3]</sup>。

随着一些硬件的革新，虚拟现实技术也越来越成熟，体验感越来越好，因此Ken等人在“*Virtual Reality: Through the New Looking Glass*”一书中认为它是一种用户带着被跟踪的头盔，看着三维图像，听着立体声音，在三维世界里自由地搜索并与之交互的沉浸式体验<sup>[4]</sup>。

我国不管是经济还是科技都在日益高速发展，人工智能领域的研究已经处于世界前列。在虚拟现实领域，诸多的学者坚信它的研究意义和广阔的前景，并投入了非常多的精力。著名的科学家钱学森将VR技术称为“灵境”技术。他认为虚拟现实是指科学技术手段向接受的人输送视觉的、听觉的以至触觉的信息，使接受者如身临其境，但是这个临境感只是感受而已，不是真的身临其境<sup>[5]</sup>。

著名计算机科学家汪成为教授认为，虚拟现实技术是指一种可以创建和体验虚拟世界的计算机系统，而这种虚拟世界是由计算机生成的，通过视觉、听觉、触觉等作用于用户，使之产生身临其境的感觉的交互式视景仿真<sup>[6]</sup>。

总而言之，虚拟现实技术是指采用以计算机技术为核心的现代高科技手段生成逼真的视觉、听觉、嗅觉、触觉、味觉等一体化的虚拟环境，用户通过一些输入输出设备，采用自然的方式与虚拟世界中的物体进行交互，互相影响，从而产生亲临真实环境的感受和体验。这种虚拟环境并非真实的，是通过计算机采用三维技术生成的，虚拟的环境可以是现实世界的“镜像”，也可以是完全脱离现实的臆想世界。在这个虚拟的世界中，人们可以进行很多与在现实世界中一样的活动操作。虚拟现实就是一种先进的计算机与用户之间的接口，它通过给用户诸如视、听、触觉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。

### 1.1.2 系统构成与基本特征

虚拟现实系统是由一套新型人机接口设备和虚拟现实引擎构建起来的。一个完整的虚拟现实系统主要包括以下三个部分。

(1) 虚拟环境：一个能产生虚拟世界的软硬件环境是虚拟现实系统最核心部分，该环境必须能够为用户提供大量的逼真及详尽的信息，比如场景、动作、声音等。



图1-1 虚拟现实系统的典型构成

(2) 人机交互：这部分设备是指一套能使用户与虚拟环境进行交互的设备，比如鼠标、键盘、数据手套、显示器、音响等，利用输入输出设备可以将虚拟环境与用户联系起来，实现行为互动。

(3) 虚实融合：通过统一集成技术，将虚拟环境、输入输出设备和用户端有机地连接成一体。这个部分是虚拟现实系统最终能否运行的重要条件，在这一部分中包括硬件之间的协调与配合技术，同时也包括软件和硬件的协同工作技术以及人机界面等关键性技术。图1-1所示为虚拟现实系统的典型构成<sup>[7]</sup>。

虚拟现实系统最主要的目的是希望用户在计算机生成的虚拟环境中有着现实世界一样的感受或者在构想的环境中能够进行正常的活动操作，并且同时具有感官上的感受，如同身临其境。从这一目的出发，可以概括出虚拟现实的三大主要基本特征：沉浸感（immersion）、交互性（interaction）、构想性（imagination）。

### 1. 沉浸性

沉浸性是虚拟现实技术最重要的特征，它是指用户借助交互设备和自身感知系统，置身于虚拟环境中的真实程度。参与者在虚拟环境中能