

新技术专家大讲堂系列丛书

虚拟现实的 10 堂课



让学生了解 VR 产业发展；
让企业找到解决方案；
让技术人员适应商业模式；
让普通大众紧跟技术进步。

庞国锋 沈旭昆 编著
马明琮 孙 靖

中国工程院院士、虚拟现实技术与系统国家重点实验室主任赵沁平
华讯方舟科技有限公司、华讯方舟股份有限公司董事长吴光胜

作序
推荐



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

新技术专家大讲堂系列丛书

虚拟现实的 10 堂课

庞国锋 沈旭昆 马明琮 孙 靖 编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以 10 堂课的形式全面系统地对虚拟现实进行介绍。其中,第一堂课介绍虚拟现实发展概况,主要包括概念解析、系统组成、发展历程、理性认知等;第二堂至第六堂课是虚拟现实的技术部分,主要介绍虚拟现实技术体系、硬件设备、软件工具、内容制作、行业应用等;第七堂课介绍虚拟现实艺术表现;第八堂课阐述虚拟现实的标准规范;第九堂课总结虚拟现实的产业发展;第十堂课描绘了虚拟现实的未来趋势。全书内容以科普虚拟现实基础知识、基本原理为主,但又不失一门新兴学科和技术体系的严谨性,同时,还单独阐述了虚拟现实艺术表现、标准规范和产业发展等热点话题。通过介绍具有代表性的观点、设备、软件、工具、产品等内容,使读者能够在短时间内了解、认识和掌握虚拟现实技术,并达到“让学生了解产业发展、让企业找到解决方案、让技术人员适应商业模式、让普通大众紧跟技术进步”的目的。

本书适合作为高等院校信息技术类学生、虚拟现实技术人员和普通爱好者的参考书。

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

虚拟现实的 10 堂课/庞国锋等编著. —北京:电子工业出版社, 2017.8
(新技术专家大讲堂系列丛书)
ISBN 978-7-121-32274-7

I. ①虚… II. ①庞… III. ①虚拟现实—普及读物 IV. ①TP391.98-49
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 173529 号

策划编辑:陈韦凯

责任编辑:万子芬 特约编辑:徐 宏

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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

开 本:720×1 000 1/16 印张:13 字数:226 千字

版 次:2017 年 8 月第 1 版

印 次:2017 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3500 册 定价:55.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254441; bjcwk@163.com。



作者简介

庞国锋，高级工程师，全军后勤信息化专家委员会委员，中国系统仿真学会理事及虚拟现实技术专业委员会副主任，中国指控学会军事物联网专委会委员。长期从事军事仿真、后勤仿真、军队信息化、虚拟现实等领域研究工作。获国家科技进步二等奖、军队级科技进步二等奖和三等奖各一项，在国内外学术刊物上发表学术论文 30 余篇，出版专著 3 部。

序 一

进入 21 世纪以来，以物联网、云计算、大数据、移动互联、虚拟现实为代表的新一轮信息技术突飞猛进，催生了全球信息化治理体系和人类生活方式产生深刻变革。世界各国都在加快抢占信息化发展制高点，力图赢得优势、赢得未来。

“十三五”时期是我国全面建成小康社会和进入创新型国家行列的决胜阶段，是深入实施创新驱动发展战略、全面深化科技体制改革的关键时期。2016 年 9 月 4 日，习近平主席在杭州出席 20 国集团工商峰会开幕式时指出：“创新是从根本上打开增长之锁的钥匙，以互联网为核心的新一轮科技和产业革命蓄势待发，人工智能、虚拟现实等新技术日新月异，虚拟经济与实体经济的结合将给人们的生产方式和生活方式带来革命性变化。”随着国家一系列信息技术产业发展战略的实施，上述技术热点相继引爆，其中，作为新一代信息技术的集大成者——虚拟现实最为引人注目。

虚拟现实技术起源于 20 世纪 60 年代，它融合了媒体技术、传感器技术、互联网技术等众多技术，创造了一个能够“沉浸、交互、想象”的虚拟世界，成为下一代计算平台和互联网的新入口及交互环境，广泛应用于工业、农业、医疗、教育、国防、艺术等各行各业，给行业互联网应用和大众生活带来颠覆性影响，本身也成为技术发展和商业模式不断推陈出新的新兴产业。许多媒体将 2016 年称为虚拟现实产业元年，一个新的时代已经在向我们走来。

然而，我国虚拟现实产业整体上还处于起步阶段，核心关键技术积累仍然不足，产业链上下游关键器件缺失，新型材料、人体工学设计、开发工具等相关配套设施尚不成熟，行业管理还缺乏有效的手段。下一步，要在突破虚实融合渲染、真三维呈现、实时定位注册、适人性虚拟现实等一批关键技术，形成高性能真三维显示器、智能眼镜、动作捕捉和分析系统、个性化虚拟现实整套装置等核心设备和系统的同时，加大人才培养和科学普及的力度，在工业、医疗、文化、娱乐等行业实现专业化和大众化的示范应用，面向全

社会培育发展虚拟现实产业。

在此环境下，庞国锋等同志的新书《虚拟现实的10堂课》出版了。这本书通过介绍具有代表性的设备、软件、工具、产品，使读者能够在短时间内了解、认识和掌握虚拟现实技术。它以科普性、趣味性为主，但又不失一门新兴学科和技术体系的严谨性，同时，还覆盖了虚拟现实艺术表现、标准规范和产业发展等热点话题，在“让学生了解产业发展、让企业找到解决方案、让技术人员适应商业模式、让普通大众紧跟技术进步”的道路上迈出了可喜的一步。

一门新兴产业的发展总是随着相关技术的发展与成熟度起伏发展的，关键在于坚持。同样，虚拟现实的发展离不开技术界、产业界和普通大众的支持，我希望有更多的人关注虚拟现实，也期待有更多的关于虚拟现实的有益读物面世。

赵沁平

2017 年 5 月

序 二

虚拟现实是新一代信息技术的集大成者，是具有巨大潜力的新兴产业。随着虚拟现实技术的日臻成熟，虚拟现实设备质量迅速提升、价格大幅降低，虚拟现实开始进入大众生活。以 2014 年 Facebook 20 亿美元收购 Oculus 为标志，虚拟现实产业化在全球迅速展开。越来越多的科技公司陆续推出自己的 VR 创新产品，引发了向虚拟现实产业投资的浪潮。

2016 年 3 月国家“十三五”规划纲要明确提出：大力支持虚拟现实等新兴前沿领域创新和产业化，这是“虚拟现实”首次出现在国家规划之中。国家层面的支持开启了虚拟现实市场的全面爆发，必将助推我国虚拟现实产业成长升级，快速形成虚拟现实产业的核心竞争力，抢占未来竞争制高点。因此，2016 年被视为我国虚拟现实产业元年，新的时代已姗姗而来。

华讯方舟科技有限公司成立于 2007 年，是全球领先的移动宽带网络综合服务商，是第三代卫星通信的引领者，是中国太赫兹技术研究与应用的拓荒者与领跑者，旗下控股的上市公司华讯方舟股份（000687.SZ）致力于推进国防与军队信息化建设。一直以来，我们都希望在弯道超车中，让中国的科技创新走在世界的最前沿，用实业强大自己的祖国。目前，在太赫兹领域，华讯方舟的技术水平已和美国站在了同一水平线上，甚至在某些领域实现了对美国的超越。

近年来，华讯方舟在虚拟现实与仿真事业上持续发力，其标志就是南京华讯成立了仿真事业部，陆续开发了光波导芯片、AR 眼镜、VR 头盔、VrEarth、GenEarth 等虚拟现实仿真软硬件产品，承接了国防、工业、出版等多个领域的重大项目，并成功申请成为虚拟现实国家工程实验室理事单位。

未来，华讯方舟以“担当、引领、突破”的核心价值观，按照“为国家着想，为人民服务，按市场规律办事”的经营宗旨，在虚拟现实领域持续开

拓进取，勇攀科技高峰，探索先进商业模式，形成解决方案—硬件设备—软件集成三位一体的、安全可控的产品体系，不断完善产业链。我们坚信科技创新是一个国家进步的根本，只要坚守初衷，脚踏实地，时刻不忘报国、强国的使命，我们的科技创新一定会做到世界最好。

是为序！

吴光胜

2017年5月

前 言

进入 21 世纪以来，以物联网、云计算、大数据、移动互联、智能终端为代表的新一代信息技术突飞猛进，引发了人类社会的新一轮技术变革，正在深刻地改变着人们的生活。虚拟现实（Virtual Reality，VR）是新一代信息技术的集大成者，下一代的通用计算平台被认为是 21 世纪计算机领域最重要的研究方向之一。

虚拟现实技术起源于 20 世纪 60 年代，它的目标是通过各种技术手段创造一个能够“沉浸、交互、想象”的虚拟世界，使人们不仅能够逼真地感受到客观世界，而且能够得到真实世界无法亲身经历的体验。虚拟现实融合了媒体技术、传感器技术、互联网技术等众多技术，已广泛应用于工业、农业、医疗、教育、国防、艺术等各行各业，本身也成为技术发展和商业模式不断推陈出新的新兴产业。

为适应虚拟现实时代的到来和发展，我们编写了《虚拟现实的 10 堂课》，主要是从虚拟现实技术体系、产业发展、商业模式、未来趋势等角度，全面系统地对虚拟现实进行介绍。全书内容以科普虚拟现实基础知识、基本原理为主，但又不失一门新兴学科和技术体系的严谨性，同时，本书还单独阐述了虚拟现实艺术表现、标准规范和产业发展等热点话题，主要是想尝试通过编写一本综合性的教材专著达到“让学生了解产业发展、让企业找到解决方案、让技术人员适应商业模式、让普通大众紧跟技术进步”的目的。

本书作者团队由中国仿真学会虚拟现实专业委员会专家为主组成，汇集了虚拟现实技术及产业界众多企业和工作者的成果，第一堂至第六堂课主要介绍虚拟现实发展概况、技术体系、软硬件组成和行业应用等，由庞国锋编写；第七堂课介绍虚拟现实艺术表现，由马明琮编写；第八堂课阐述虚拟现实标准规范，由沈旭昆编写；第九堂课总结虚拟现实产业发展，由孙靖编写；第十堂课虚拟现实未来趋势以及全书的统稿工作由庞国锋完成。

感谢中国工程院院士、虚拟现实技术与系统国家重点实验室主任赵沁平先生在百忙之中专门为本书作序。赵院士数十年来致力于虚拟现实领域的研究及应用推广，正是他卓有成效的工作使得虚拟现实在中国蓬勃发展，为本书及其他专著的出现创造了条件。华讯方舟科技有限公司、华讯方舟股份有限公司董事长吴光胜先生不仅欣然为本书作序，而且亲自提供了华讯方舟近年来在虚拟现实等领域产品研发与未来规划的资料，这些资料融入了虚拟现实技术体系、软硬件组成、行业应用等章节的内容中。北航的胡勇、张磊，华讯方舟的朱震宇、刘伟伟等同志以及电子工业出版社工业技术分社徐静、陈韦凯编辑，都为本书的出版付出了巨大努力，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不足和疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

2017年5月18日

目 录

第一堂课 虚拟现实发展概况 / 1

- 一、概念解析 / 2
- 二、系统组成 / 4
- 三、基本特征 / 6
- 四、发展历程 / 8
- 五、理性认知 / 13

第二堂课 虚拟现实技术体系 / 16

一、感知技术 / 17

- (一) 视觉感知 / 18
- (二) 听觉感知 / 19
- (三) 嗅觉和味觉 / 19
- (四) 触觉和力觉 / 20
- (五) 身体感觉 / 21

二、建模技术 / 22

- (一) 三维建模技术 / 22
- (二) 物理建模技术 / 25
- (三) 行为建模技术 / 27

三、呈现技术 / 29

- (一) 视觉呈现技术 / 29
- (二) 听觉呈现技术 / 37

四、交互技术 / 41

- (一) 语音交互 / 41
- (二) 手势交互 / 42
- (三) 表情交互与人脸识别 / 43
- (四) 眼动跟踪技术 / 44
- (五) 其他感觉器官的反馈技术 / 46



第三堂课 虚拟现实硬件设备 / 47

一、输入设备 / 48

- (一) 数据手套 / 48
- (二) 人体运动捕捉设备 / 50
- (三) 数据衣 / 53
- (四) 三维扫描仪 / 54
- (五) 眼动仪 / 55
- (六) 其他手控输入设备 / 56

二、输出设备 / 57

- (一) 头盔显示器 / 57
- (二) 洞穴式立体显示装置 / 60
- (三) 墙式立体显示系统 / 62
- (四) 全息投影系统 / 62

三、配套设备 / 64

- (一) 听觉感知设备 / 64
- (二) 触觉感知设备 / 65
- (三) 三维打印机 / 67

第四堂课 虚拟现实软件工具 / 68

一、信息处理软件 / 69

- (一) 视频采集 / 69
- (二) 三维重建 / 74
- (三) 人体跟踪与动作捕捉 / 75
- (四) 投影拼接边缘融合 / 76
- (五) 物理反馈 / 78

二、系统平台软件 / 79

- (一) 三维建模 / 79
- (二) VR 引擎 / 84
- (三) 开发工具 / 90

第五堂课 虚拟现实内容制作 / 98

一、VR 视频 / 99

- (一) 基本概念 / 99
- (二) 制作过程 / 100

(三) 发展状况	/ 101
二、VR 游戏	/ 103
(一) 基本概念	/ 103
(二) 制作过程	/ 104
(三) 发展状况	/ 108
三、VR 直播	/ 109
第六堂课 虚拟现实行业应用	/ 112
一、VR+工业	/ 113
(一) 虚拟设计	/ 113
(二) 虚拟装配	/ 115
(三) 虚拟维修	/ 117
二、VR+农业	/ 121
(一) 虚拟植物	/ 121
(二) 虚拟养殖	/ 123
(三) 虚拟农场	/ 124
三、VR+军事	/ 125
(一) 虚拟训练	/ 126
(二) 虚拟演习	/ 128
(三) 虚拟武器样机	/ 129
四、VR+教育	/ 130
(一) 虚拟实验室	/ 131
(二) 虚拟实训基地	/ 133
五、VR+医疗	/ 134
(一) 虚拟手术	/ 134
(二) 虚拟人体	/ 136
(三) 虚拟心理治疗	/ 138
六、VR+测绘	/ 139
七、VR+地产	/ 141
八、VR+旅游	/ 144
九、VR+购物	/ 145
十、VR+博物馆	/ 146



第七堂课 虚拟现实艺术表现 / 148

一、基本认知 / 149

(一) 概念特点 / 149

(二) 发展状况 / 150

(三) 作用与意义 / 152

二、创作工具 / 154

三、创作规律 / 156

(一) 以人为本规律 / 156

(二) 欲望释放规律 / 158

(三) 虚实结合规律 / 160

(四) 与时俱进规律 / 160

第八堂课 虚拟现实标准规范 / 161

一、建设思路 / 163

(一) 虚拟现实系统架构 / 163

(二) 虚拟现实标准体系结构 / 165

(三) 虚拟现实标准体系框架 / 166

二、建设内容 / 168

(一) 基础共性标准 / 168

(二) 关键技术标准 / 170

(三) 内容制作与系统研发标准 / 170

(四) 用户体验标准 / 171

(五) 行业应用标准 / 171

三、当前进展 / 172

第九堂课 虚拟现实产业发展 / 174

一、产业链分析 / 175

二、主要厂商和产品 / 178

三、商业模式 / 181

第十堂课 虚拟现实未来趋势 / 185

一、关键技术不断取得突破 / 186

二、VR 产业进入爆发时期 / 187

三、VR 将对人类未来产生重大影响 / 191

第一堂课 虚拟现实发展概况

一、概念解析

二、系统组成

三、基本特征

四、发展历程

五、理性认知



一、概念解析

虚拟现实（VirtualReality，VR；又译作灵境）技术产生于 20 世纪 60 年代，最早源于美国军方的作战模拟系统。虚拟现实这一名词是由美国 VPL 公司创建人拉尼尔（Jaron Lanier）在 80 年代初提出的，虚拟现实中的“现实”是泛指在物理意义上或功能意义上存在于世界上的任何事物或环境，它可以是实际上可实现的，也可以是实际上难以实现的或根本无法实现的。而“虚拟”是指用计算机生成的意思。因此，虚拟现实是指用计算机生成的一种特殊环境，人可以通过使用各种特殊装置“进入”这个环境中，并操作、控制环境，实现特殊目的，即人是这种环境的主宰。

VR 主要有三方面的含义：

第一，虚拟现实是借助计算机生成逼真的实体，“实体”是对于人的感觉（视、听、触、嗅）而言的。

第二，用户可以通过人的自然技能与这个环境交互，自然技能是指人的头部转动、眼动、手势等其他人体的动作。

第三，虚拟现实往往要借助于一些三维设备和传感设备来完成交互操作。

虚拟现实技术是一项系统集成技术，涉及计算机图形学、多媒体技术、传感器技术、人工智能、网络技术、模式识别、人机工程、电子学、数学、力学、声学、光学、机械和生理学等自然学科和技术学科，它用计算机生成逼真的三维视、听、嗅觉等感觉，使人作为参与者通过适当装置，通过视觉、听觉和触觉等多种感觉通道自然地对虚拟世界进行体验和交互。虚拟现实的原理如图 1-1 所示。

在虚拟现实的基础上，又出现了增强现实和混合现实的概念。其中，增强现实技术（Augmented Reality，AR）是将计算机生成的虚拟信息合成到用户感知的真实世界中的一种技术，利用实时计算摄影机影像位置及角度，通

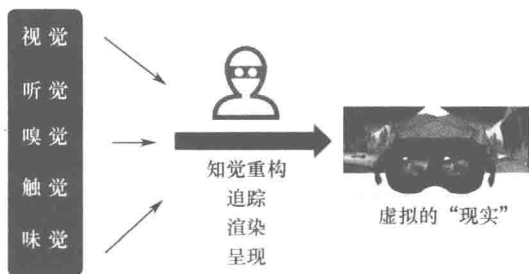


图 1-1 虚拟现实的原理

过全息投影，在镜片的显示屏幕中将虚拟世界与现实世界叠加，实现对真实世界的增加和强化。混合现实技术（Mixed Reality, MR）是指结合真实和虚拟世界创造新的环境和可视化三维世界，物理实体和数字对象共存、并实时相互作用，是虚拟现实技术的进一步发展。从概念来看，AR 和 MR 并没有明显的分界线，都是将虚拟的景物放入现实的场景中。在 AR 的视界中，出现的虚拟场景通常都是一些二维平面信息，这些信息甚至可能和我们目前看到的事物无关，功能只是在不影响我们正常视线的作用下起到提示的作用，所以这些信息会固定在那里，无论我们看哪个方向，该信息都会显示在视野中这个固定的位置上。而 MR 则是将虚拟场景和现实融合在一起，只有我们看向那个方向的时候，才会看到这些虚拟场景，看向其他方向时就会有其他的信息显示出来，而且这些信息和背景的融合性更强。简单来说，虚拟信息如果跟随视线移动就是 AR，如果想对于真实物品固定的就是 MR。

尽管 VR、AR、MR 都涉及虚拟成像，但三者还是存在一些本质上的区别：

（1）表现特征和侧重点不同。VR 以想象为特征，创造与用户交互的虚拟世界场景，把人从精神上送到一个虚拟世界，重在“以假乱真”，AR 以虚实结合为特征，将虚拟物体、信息和真实世界叠加，实现对现实的增强，在现实世界里更好地导航，重在“亦真亦假”。MR 则是以虚拟物体和真实物体交互为特征，共存现实和虚拟世界融合而产生的新的可视化环境，重在“真假不分”。

（2）与现实世界的关系不同。VR 通过产生虚拟影像，将人眼与真实世界遮断。相比虚拟现实，AR 通过叠加虚拟的影像，与真实世界的联系并未切断。MR 使物理和数字对象共存于新的可视化环境，并实时互动，使交互方式更加自然。

（3）技术实现方式不同。VR 的视觉呈现方式是阻断人眼与现实世界的连接，通过设备实时渲染的画面，营造出一个全新的世界。AR 的视觉呈现方式是在人眼与现实世界连接的情况下，叠加全息影像，加强其视觉呈现的方式。