

虚拟现实

另一个宜居的未来

翁冬冬 郭洁 包仪华 蔡力 等著



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>

虚拟现实

另一个宜居的未来

翁冬冬 郭洁 包仪华 蔡力 余兴尧 著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

“一个可以让人生活在其中的虚拟现实系统”是虚拟现实技术的终极发展目标，也是本书希望讨论的一个重要问题。本书首先从人对虚拟环境的需求入手，讨论虚拟现实技术存在的意义；之后通过对过往二十余年相关领域的研究进行总结，对如何实现多感官高沉浸的虚拟环境进行讨论；此后，本书分别讨论虚拟现实与心理学、虚拟现实与电影工业的关系，最终提出并详细阐述“宜居的虚拟现实”这一概念。

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：另一个宜居的未来 / 翁冬冬等著. —北京：电子工业出版社，2019.1
ISBN 978-7-121-32496-3

I. ①虚… II. ①翁… III. ①虚拟现实—研究 IV. ①TP391.98

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 197092 号

策划编辑：郑柳洁

责任编辑：宋亚东

印 刷：天津千鹤文化传播有限公司

装 订：天津千鹤文化传播有限公司

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：720×1000 1/16 印张：15.5 字数：278 千字

版 次：2019 年 1 月第 1 版

印 次：2019 年 1 月第 1 次印刷

定 价：89.00 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：010-51260888-819，faq@phei.com.cn。

前 言

即使是如作者这样的虚拟现实忠实信徒也不得不承认：增强现实（而不是虚拟现实）在不久的将来会替代人们的智能移动设备，从而彻底改变人们的生活，给人类新的未来。同时，人工智能将会抢走大部分人的工作，少数社会精英依靠智能机器人创造财富并掌握大部分资源。这时，虚拟现实将会以另一种方式改变人们的生活，它会开创出一个新的生存空间，让那些被夺去工作权利的人们有所居、有所为。在未来，大部分普通人将长时间沉浸于虚拟现实创造的虚拟世界中，为此我们需要一种宜居的虚拟现实技术来构造我们的新世界……

但愿这个未来只出现在作者的臆想中，但无论如何，虚拟现实的普及已经无法阻挡，各行各业都对虚拟现实技术充满了期待。

本书力争通过概括性的描述，在纷繁的知识中为读者呈现虚拟现实的全貌。本书的章节组织分为如下三个部分。

第一部分包括第1章、第2章、第3章和第4章，这一部分对虚拟现实整体概念和关键技术进行了介绍，其中第4章专门介绍了虚拟现实中的一个重要问题——虚拟现实晕动症的相关内容。第二部分包括第5章和第6章，主要介绍虚拟现实在心理学、影视，以及主题娱乐方面的应用情况。第三部分为第7章，围绕“宜居的虚拟现实”这一概念，讨论虚拟现实的未来发展趋势。

本书由本人和多名合作者共同完成，其中郭洁主要完成第5章心理学相关内容的撰写，包仪华主要完成第6章影视与主题乐园内容的撰写，蔡力和余兴尧与本人一起共同完成第4章与晕动症有关内容的撰写，其他部分的撰写主要由本人完成。在资料整理与汇总方面，薛雅琼、江海燕、王斐、申睿颖、方慧等人做了大量工作，给予本人巨大的帮助。在一些章节的具体问题讨论中，杨智卓、宋维涛、王佳斌、章晓冰等人给予本人很大的协助。最后，感谢刘欢在稿件校对方面的协助。

作者：翁冬冬

目 录

第1章 虚拟现实所谓何物	1
为什么要虚拟一个现实	1
理性需求：低成本性	3
理性需求：可控性	4
理性需求：不可实现性	7
人性需求：生理需求	9
人性需求：安全需求（占有需求）	11
人性需求：社交需求（情感的需求）	12
人性需求：尊重需求	13
人性需求：自我实现（创造的需要）	14
人性需求：自我实现（审美的需要）	15
虚拟现实的内涵和外延	16
虚拟现实技术的定义	16
虚拟现实的研究内容	17
典型的虚拟现实形式	20
虚拟现实的重要性	22
需要明确的概念	23
虚拟现实与实景	23
虚拟现实与仿真	25
虚拟现实与增强现实	25
虚拟现实与混合现实	27
虚拟现实相关重要概念的产生历史	32
1935：沉浸式虚拟环境	32
1957：三维显示及多感官呈现	33
1961：头戴式显示器与头部位置跟踪	33

1968: 增强现实头戴式显示器	34
1980: 微型化	34
1984: “虚拟现实”	35
1993: 虚拟现实家用游戏	35
2014: 普适型虚拟现实	36
2016: VR for Every One	37
第2章 虚拟现实的体系构成	38
虚拟现实技术知识体系	38
系统象限: 计算机仿真科学	39
系统象限: 计算机图形学	41
系统象限: 计算机视觉	43
系统象限: 人机交互	44
系统象限: 显示技术	45
内容象限: 叙事的相关学科	46
应用象限: 心理学	47
虚拟现实的硬件体系	48
核心计算单元	49
显示设备	50
交互设备	52
反馈设备	54
虚拟现实的软件体系	54
数字素材获取层	55
数字资产生产层	57
三维引擎层	57
主流引擎介绍	58
虚拟现实目前面临的困难	64
第3章 虚拟现实与感官体验	67
人类感官与虚拟现实	67
虚物实体化过程	67
实物虚拟化过程	68
视觉: 眼见如真未必实	69

头戴式显示器的分类	70
头戴式显示器的评价因素	71
头戴式显示器的几个技术方向	73
跟踪定位：交互之源	77
跟踪系统的评价因素	77
基于光学及视觉的跟踪技术	78
“由外向内”的光学跟踪系统	79
“由内向外”的光学跟踪系统	85
基于其他技术的跟踪系统	87
混合跟踪	90
力反馈：看得见，亦摸得着	93
主动力反馈	93
其他主动力反馈设备	96
被动力触觉反馈	97
触觉再现	104
嗅觉：闻香下马，知味停车	109
可穿戴式嗅觉显示器	110
桌面式嗅觉显示器	111
场景式嗅觉显示器	113
运动模拟：身在帷幄，神已凌云	115
全向跑台	115
全向跑步机	117
WIP	118
身体倾斜式控制	120
其他方式	121
人人互动：两心相映，天涯化咫尺	122
远程握手	123
远程拥抱	125
远程亲吻	125
第4章 虚拟现实与晕动症	128
虚拟现实晕动症的基本概念	128

晕动症的症状及其产生原因	128
虚拟现实晕动症	129
虚拟现实晕动症和传统晕动症的区别	130
虚拟现实晕动症的产生机理	130
虚拟现实晕动症评测方法	132
主观 SSQ 量表测试	132
姿势稳定性测试	133
生理特征测试	135
虚拟现实晕动症的影响因素	137
观察方式对虚拟现实晕动症的影响	139
静态参照物对虚拟现实晕动症的影响	140
运动一致性对虚拟现实晕动症的影响	142
场景复杂度对虚拟现实晕动症的影响	143
个人因素对虚拟现实晕动症的影响	145
虚拟现实晕动症的缓解措施	146
心理干预	147
多次体验形成习惯	147
尽可能模拟真实环境	149
前庭电刺激技术	150
第5章 虚拟现实与心理学	152
虚拟现实在心理学中的应用基础	152
心理学简介	152
虚拟现实对心理的作用机制	153
虚拟现实在心理学中的应用方式	155
心理学中常用的虚拟现实设备	155
虚拟现实应用于心理学的常用方法	158
虚拟现实在健康心理学领域的应用	161
情绪诱导	161
行为引导	165
心理能力训练	167
虚拟现实在异常心理学方面的应用	171

虚拟现实应用于焦虑障碍	172
虚拟现实应用于饮食障碍	180
虚拟现实应用于物质滥用障碍	181
虚拟现实应用于躯体及分离障碍	182
虚拟现实应用于精神分裂症	182
第6章 虚拟现实与造梦工业	185
虚拟现实与未来影像	185
叙事新纪元	185
虚拟现实影像的观影方式	187
虚拟现实影像与 360° 全景视频	189
虚拟现实叙事影像与传统影像叙事手段的区别	191
叙事理念的重新定义	191
镜头语言的消失	191
从被动到主动	192
失控的场面调度	193
虚拟现实与叙事影像实例	194
<i>Pearl</i> (《珍珠》)	194
<i>La Peri</i> (《仙女》)	196
<i>Allumette</i> (《艾露美》)	197
《窗》	198
虚拟现实与主题乐园实例	200
Zero Latency 主题乐园	200
The Void	202
V 观世界“寻龙”项目	205
Six Flags 虚拟现实过山车项目	206
集结号虚拟现实骑乘项目	208
第7章 宜居沉浸与未来生活	210
何为“宜居”	210
为何“宜居”	212
工作情景：办公	212

教育情景：课堂教学	217
享乐情景：影视与游戏	218
创造情景：自我世界	218
“宜居”的进化	222
专用化虚拟现实阶段（目前阶段）	222
适人性虚拟现实阶段（未来 3~5 年）	223
宜居性虚拟现实阶段（未来 5~10 年）	224
“宜居”的挑战	224
适人性显示	225

第1章

虚拟现实所谓何物

本章引言

虚拟现实时代的来临已经势不可挡，在未来高度虚拟化的社会中，每一个人的生活将会与现在有巨大的区别。深刻理解虚拟现实技术为人类带来的变革将帮助每一个人抓住未来发展的脉搏。

作为本书的第1章，我们将首先讨论与虚拟现实有关的一些基本话题，通过讨论虚拟现实技术的本源来进一步探索它未来的发展趋势。

本章要讨论的第一个问题是：“为什么要虚拟一个现实出来。”讨论这个问题的目的是寻找所有虚拟现实应用的基本需求，或者说本源需求。之后，我们从虚拟现实的内涵和外延入手，逐步引出虚拟现实的概念。鉴于虚拟现实的技术概念如此具有包容性，所以在本章中非常有必要明确本书所讨论的范畴，因此需要对一些相近的且易混淆的技术领域进行区分。

本章最后会用一个小节的篇幅简单回顾虚拟现实历史上重要概念的产生过程。

为什么要虚拟一个现实

对虚拟现实技术的一个最简单的理解就是：“将真实世界进行虚拟化，从而得到一个与真实空间相似的虚拟空间。”但是，人们为什么要花费巨大精力来构建这样一个虚拟空间呢？这要从人类的本源需求说起。

从根上说，人类的需求大多是与生俱来的。道明会神父圣多玛斯·阿奎纳(St. Thomas Aquinas)列举了人类的七重罪：贪食、色欲、贪婪、伤悲、暴怒、懒惰、自负或傲慢。这七种重罪无一不是来源于人类的本源需求。例如，“贪食”可以被看作人类对“食物”的需求表现，“色欲”是人类对“性本能”的需求表现，“贪婪”是人类对“占有”和“安全感”的需求表现，暴怒是人类对“控制”的需求表现，懒惰是

人类对“自由”的需求表现，自负是人类对“自我认同”的需求表现，傲慢是人类对“社会认同”的需求表现。

对此，马斯洛（Maslow）提出了人类的需求层次理论，将人类的需求分成了由低到高的五个不同层级，如图 1-1 所示。这些需求都可以看作人类的本源需求。从有人类历史开始这些需求就存在，而经历了数千年的发展，直到今天，这些需求仍然在支配人类的各种行为。随着时代的发展，新的技术不断出现，也带来了很多“新的需求”，但是新的技术并不会创造出新的本源需求，这些“新的需求”实际上只是一种变化了的本源需求表现形式。对于虚拟现实来说，这种情况也同样适用。

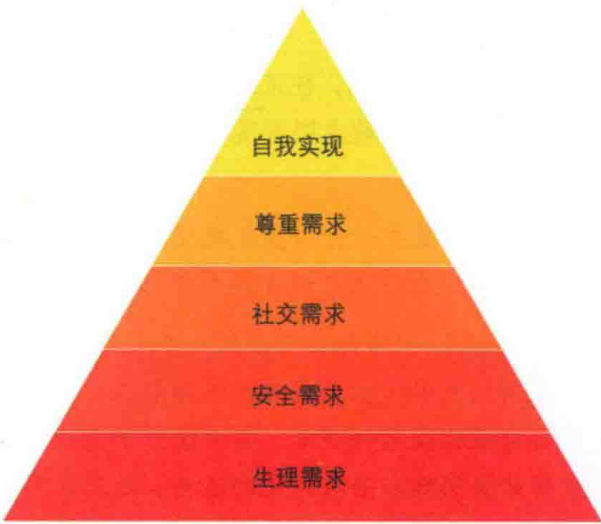


图 1-1 人类需求模型

虚拟现实技术的魅力在于，它几乎可以在每一个层次为人类提供需求和满足。也正是因为这个原因，虚拟现实技术在不远的未来会为大多数的传统产业带来变革，它可以被应用于军事、医疗、教学、娱乐、旅游等行业。你几乎可以和任何一个行业的人探讨虚拟现实在他们所在行业的应用，这种讨论往往令人兴奋，以至于这些讨论最终往往演变为如何将虚拟现实强加到这些行业中，而不是讨论这些行业是否真的需要虚拟现实的介入。所以，在讨论虚拟现实的开始部分，明确哪些构造虚拟空间的需求来源于人类的本源需求，将会帮助我们辨别那些随着这种讨论而产生的伪概念和伪需求，并最终更准确地找到虚拟现实的真正价值。

实际上，确实有很多非常基础的需求驱使人们通过将真实的世界虚拟化来构建一个虚拟的空间。我们将这些需求分为理性需求和人性需求两部分，其中，理性需求是那些符合逻辑、符合基本趋利避害心理的人类需求；而人性需求是那些来源于人性本身、为了追求某一单一目的可以不顾成本和其他损害的需求。

理性需求：低成本性

人们会使用虚拟现实的首要原因是：构建一个虚拟情景往往比构建一个对应的真实情景成本更低。降低成本会导致人们更容易占有某些东西，这也是占有欲的一种表现。低成本的含义包含了两方面内容：费用成本低及时间成本低。

“低成本需求”在虚拟现实应用中最为普遍，其中一个典型的例子是虚拟现实在博物馆中的应用。在不使用虚拟手段的情况下，博物展览需要将实物展品进行展出，这涉及展品的保存、运输、布展等一系列烦琐而专业的工作，需要花费大量的费用与时间。但是，通过虚拟现实技术，使用者只需安坐在家中，就几乎能够参观世界上所有的博物馆。这不但大大降低了文化传播过程中的成本，也降低了使用者获取知识所需要的成本。

2016 年，Google 公司为其名为“Arts & Culture”的在线博物馆项目提供了基于 Google Cardboard 的虚拟现实应用，如图 1-2 所示。



图 1-2 Google 公司为 Arts & Culture 项目开发的虚拟现实应用

通过这个虚拟现实应用，用户只需使用自己的智能手机，就可以用虚拟现实的方式，身临其境地游览上千个真实世界中的博物馆，观看博物馆中的艺术作品、历史文献和世界奇观。通过这个应用，用户可以查看印象派画家莫奈的作品，仿若置身于真实的艺术画作之前；可以漫步在罗马艺术场景的街头，或是观看宙斯的古希腊神庙，就像回到了 2500 年以前。这个应用大幅降低了人们欣赏艺术作品、感受文化熏陶的成本，满足了人们对“自由”和“占有”的需求，成为了当年最受关注的一项虚拟现实应用。

为了降低成本，另一类典型的使用虚拟现实技术的应用情景发生在规划和决策领域。由于规划和决策涉及多个技术工种、部门的协同工作，其过程往往是耗时巨大的。通过虚拟现实技术，规划师和建筑师可以在项目的早期，而不是在竣工之后，构建出

一套完整的可以漫游体验的沉浸式系统。例如，中国人民大学的王克平与北京理工大学的宋震等人在中国人民大学新校区建设方案决策过程中，基于 CryEngine 引擎构建了虚拟规划决策辅助系统，如图 1-3 所示。在这个系统中，决策者能够在一个虚拟的三维环境中，用动态交互的方法对未来新校区的规划方案进行感同身受的全方位审视，从任意视点观察场景，并自由切换多种运动形式。这种直观的审视能够帮助总体决策者对预设设计方案进行更直接和感性的评估。由于这些决策者往往并不具备建筑和规划的专业知识，他们的判断更多来源于感性认识的积累，因此此类虚拟现实系统的呈现效果，往往决定着设计方案能否通过，同时也可大大减少设计方案重复迭代的次数，缩短项目的设计周期。



图 1-3 中国人民大学新校区规划决策辅助系统

综上所述，虚拟现实技术能够将“已经存在”和“尚未存在”的真实情景构建在虚拟环境中并进行传输、保存和展示，从而大幅减少构建场景所需的费用成本和时间成本。因此，在对“呈现”成本较为重视的应用场景中，“虚拟化”被视为一种“刚性需求”，而不仅是锦上添花的展示手段。

理性需求：可控性

第二个让人们无法拒绝虚拟现实的理性需求是可控性。在很多应用情景中，人们对成本并不敏感，例如军事训练、飞行员训练、医疗等。这种应用情景可以接受高昂的费用，也可以容忍系统使用上的一些不便，但是对整个系统的可控性却有极为严格的要求。

以单兵轻武器操作训练应用为例。在传统方法中,为了获得更高的真实度,往往需要使用实弹进行演练,这种训练在不可控的条件下是非常危险的,稍有不慎就会造成参训人员的伤亡。相对的,在虚拟现实训练系统里,人们很容易构建出一个逼真且安全可控的环境,从而大幅度减少训练人员的伤亡。

如图 1-4 所示,是美国陆军开发的一套虚拟步兵训练系统:DSTS (Dismounted Soldier Training System),该系统基于 CryEngine 引擎开发,总项目耗资约为 5700 万美元,能够创造具有极高真实感和高沉浸体验的虚拟战场环境。通过可穿戴计算机系统、用户姿态传感器、仿真武器及触觉反馈设备等装置,该系统可以同时支持多名士兵在多样的地形和气候环境下进行步兵军事训练。系统可以设定各种训练科目,通过让士兵在虚拟战场中完成特定任务来提升士兵射击、驾驶、团队配合等军事技能。由于所有的战斗发生在虚拟环境中,无论是气候还是敌人的行动都受控于计算机系统,大幅降低了士兵在军事训练中受到死亡威胁或其他伤害的可能。



图 1-4 美国陆军开发的陆军步兵训练系统

另一个典型的降低训练风险的案例是美国航空航天学会的 Jeffrey R.Hogue 等人于 1997 年开发的跳伞训练模拟器系统¹。这套跳伞模拟系统可以在军事上用于伞兵跳伞的教学与训练,从而大幅降低伞兵训练的危险性。该系统采用 4 个背带结构构建了悬浮降落伞装置,用户乘坐于其上观看头戴式显示器中的模拟画面,可以产生较强的沉浸感,并且能通过对地面的视觉感知,提供更好的降落提示。系统的优势在于增加了跳伞过程中学员与训练员的对话功能,能在关键时刻对学员的动作技能做出纠正;且和其他类似系统相比,该系统在经济性方面有很大的提升。针对该系统的测试实验发现,训练模拟器的沉浸感越强,将抽象过程的训练转化为实际跳伞技能的效果就越明

1 Hogue J, Allen R, Smith R, et al. Virtual reality entertainment technology applied to military parachute simulation flight training[C]// Modeling and Simulation Technologies Conference, 1997: 83-89.

显。图 1-5 所示是以该系统为基础迭代的新一代伞兵训练模拟系统。



图 1-5 新一代伞兵训练模拟系统

除了降低风险，虚拟现实系统的可控性还可以允许教官更轻松地实现重复性的演练。例如，一个训练想定是让敌方三辆坦克沿着某一条路径向前行驶，并在固定位置射击我方目标。训练的内容是让参训人员针对这一情况进行处置。如果使用真实演习的方式，很难保证坦克每次的行驶位置和路径都一样，难以保证训练的质量；而在虚拟现实中，敌方坦克由计算机生成兵力来控制，可以严格地完成训练想定的需求，甚至根据参与训练人员的反应做出不同的预设动作，可以很好地配合训练的需求。

再例如，在虚拟现实飞行模拟器应用中，除了日常的常规飞行训练，还需要对飞行中遇到的一些特情进行应急处理训练，如发动机熄火、紧急迫降等。此类训练想定中包括了大雾、气流和雷电等的模拟。在真实情况下，训练系统往往难以控制这些自然环境；而在虚拟现实中，训练系统则可以准确地控制气流扰动、大雾能见度等参数，从而实现飞行员针对某一特情的反复训练。

这种对整个系统的可重复性和可控性在医学训练领域同样重要。图 1-6 所示是北京航空航天大学开发的虚拟现实手术训练系统。该系统以 CT 重建的人体软组织模型为基础，通过连接力反馈设备的仿真手术器械，让医生实现具有真实操作手感的虚拟手术训练。通过普通的显示屏，医生可以观察到虚拟操作器械在人体软组织中的动作，从而指导其下一步操作。这样的系统可以对特定病症的病灶特征进行建模，实现对该病症的虚拟复现，医生通过对虚拟复现的病灶进行反复的操作练习提升手术水平。这种重复性的反复训练在真实世界中难以实现，因此该设备也成为了相关医生训练的必备设备。



图 1-6 北京航空航天大学开发的虚拟手术模拟器

理性需求：不可实现性

第三点让人们不得不使用虚拟现实的原因是不可实现性。有些应用情景中使用的场景在现实世界中是无法搭建的，在这些应用中，人们只能选择虚拟现实技术。例如，在太空知识的体验式教学中，人们希望让学生游历太阳系，近距离观看太阳黑子及日珥现象。在地球上搭建一个真实的太空场景是无法实现的任务，人们只能借助虚拟技术来实现。在此方面，硅谷的一家创业公司 SpaceVR 提出了一个大胆的构想，他们希望打造一个提供太空体验的虚拟现实平台，如图 1-7 所示。让人们即使不飞向太空也能够体会到与宇航员相似的感受。SpaceVR 计划将全景摄像机送入太空来拍摄 360° 全景图像和视频，并将这些内容传输回地球。基于这些全景数据，在地面上的人们无须构造复杂的系统就可以身临其境地探索宇宙，并学习相关的太空知识。

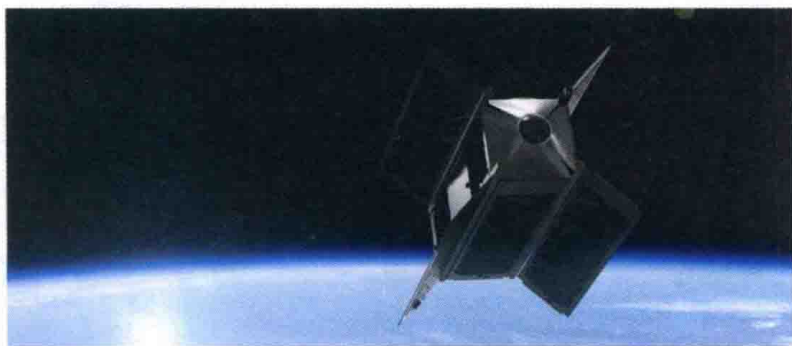


图 1-7 SpaceVR 设计的用于拍摄宇宙全景内容的卫星

另外，对于一些与微观世界有关的应用，虚拟现实技术也是唯一的选择。如让学员化身纳米机器人进行微创手术操作，自己双手的受力感受和操作机器人的情景都不可能通过实物场景来实现。

在这方面，Nanotronics Imaging 公司曾在 2015 年公布了一项名为 nVisible 的虚拟现实项目。该项目允许佩戴虚拟现实头戴显示器的用户在纳米尺度的微观世界中进行