

VIVEDU
威爱教育

虚拟现实
系列科技图书



虚拟现实

理论、技术、开发与应用

吕云 王海泉 孙伟◎编著

INTRODUCTION OF VIRTUAL REALITY

THEORY, TECHNOLOGY, DEVELOPMENT
AND APPLICATION

赵沁平院士作序

郑志明院士 | 房建成院士 | 倪光南院士 | 郝爱民教授 | 周明全教授 | Allen Yang博士

——联袂推荐——

清华大学出版社





虚拟现实

理论、技术、开发与应用

吕云 王海泉 孙伟◎编著

INTRODUCTION OF VIRTUAL REALITY

THEORY, TECHNOLOGY, DEVELOPMENT
AND APPLICATION

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面系统地讲解了虚拟现实基础理论、核心技术、开发流程以及实际应用。全书分为8章，主要内容包括：虚拟现实发展过程，虚物实化技术，实物虚化技术，增强现实、混合现实相关技术，移动VR、VR一体机及基于主机的VR，虚拟现实平台，虚拟现实内容设计，虚拟现实内容制作方式，交互功能开发，虚拟现实开发引擎，虚拟现实内容开发案例，以及虚拟现实在游戏、影视、社交、教育、电子商务、旅游和医疗等领域和行业的应用案例。

本书适合作为普通高等院校与职业院校虚拟现实、动漫设计、游戏设计与多媒体技术等专业的教材，也可作为相关行业设计与研发人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实：理论、技术、开发与应用 / 吕云，王海泉，孙伟编著. —北京：清华大学出版社，2019

ISBN 978-7-302-52274-4

I . ①虚… II . ①吕… ②王… ③孙… III . ①虚拟现实 IV . ①TP391.98

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第024553号

责任编辑：盛东亮

封面设计：李召霞

责任校对：梁毅

责任印制：董瑾

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦A座

邮 编：100084

社总机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印刷者：北京富博印刷有限公司

装订者：北京市密云县京文制本装订厂

经 销：全国新华书店

开 本：186mm×240mm

印 张：16

字 数：399千字

版 次：2019年4月第1版

印 次：2019年4月第1次印刷

定 价：59.00元

产品编号：082009-01

虚拟现实系列科技图书专家委员会

赵沁平 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
原教育部副部长

房建成 中国科学院院士
北京航空航天大学副校长
国家技术发明一等奖、二等奖多次获得者

倪光南 中国工程院院士
中国软件产业十年功勋人物
国家科技进步一等奖获得者

郑志明 中国科学院院士
教育部“数学、信息与行为”重点实验室主任
原北京航空航天大学副校长

Dr. Walter Greenleaf
斯坦福大学 VR 人机交互实验室主任
美国国家心理健康创新中心技术战略总监
全球医学 VR/AR 应用知名专家

Dr. Gus Gant
哈佛大学视觉研究中心主任
哈佛大学教学实验室主任

吕云 副教授
北航铭品大数据创新实验室执行主任

HTC 威爱教育共同创始人、高级副总裁

孙伟 教授
HTC 威爱教育创始人 CEO
北京航空航天大学软件学院创始院长

周明全 教授
教育部虚拟现实应用工程研究中心主任
北京师范大学虚拟现实与可视化技术研究中心主任
北京市文化遗产数字化保护重点实验室主任

Dr. Allen Yang
加州大学伯克利分校虚拟现实中心执行主任

周立柱 教授
清华大学计算机科学与技术系教授

郝爱民 教授
虚拟现实增强现实技术及应用国家工程实验室主任
虚拟现实技术与系统国家重点实验室副主任

Mr. Raymond Pao
HTC 高级副总裁
全球第一台安卓智能手机总设计师

序

对于名为《头号玩家》的好莱坞电影，相信很多读者都已经看过了。在这部电影中，虚拟现实技术大放异彩，引发了社会对虚拟现实的进一步关注和讨论。《头号玩家》的大热，让我们想起了1999—2003年上映的《黑客帝国》系列影片。《黑客帝国》系列也是讲述一个和“虚拟现实”有关的故事，影片中所有人都生活在虚拟的世界中而不自知。一直以来，“构建一个与真实世界如出一辙的虚拟世界”这种富有浪漫主义色彩的想法常常出现在各种科幻作品中，众多艺术家用各自精湛的技巧与丰富的想象力展现着“虚拟现实”的魅力。

然而现在，“虚拟现实”已真正出现在我们的生活中，仿佛一夜之间，虚拟现实就进入了千家万户。当我们在玩游戏、看视频，甚至在使用一些专业应用时，都能够看到虚拟现实设备和应用的身影。虚拟现实的使用场景日渐丰富，各式虚拟现实应用层出不穷，虚拟现实正在一步步从科幻作品中走出来，变成看得见、摸得着的产品和应用。毫无疑问，“虚拟现实”迎来了春天，而处于这个时期，我们又岂能错过这“虚拟现实”的浪潮。这需要我们认识虚拟现实、了解虚拟现实，最后拥抱虚拟现实并积极地运用。

那么，到底什么是虚拟现实？虚拟现实已成为热词，但是人们对虚拟现实技术具体内涵不够了解。这让“虚拟现实”成为我们身边“熟悉的陌生人”。对此，我深切感受到编写一本比较系统介绍虚拟现实技术入门级书籍的必要性，这也是本书写作的动机。

本书主要介绍了虚拟现实领域研究的发展、虚拟现实相关技术的基本框架以及虚拟现实应用的基本开发流程等，并结合适当的实例进行了说明。同时，本书还考虑了“虚拟现实”的广义概念，在书中各个部分适当补充了一些“增强现实”与“混合现实”的内容，这样的安排旨在让读者读完本书后能够对“虚拟现实”有更全面性的了解，建立起知识体系，帮助读者为下一步进行虚拟现实应用与开发或者相关研究打下良好的基础。

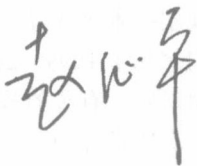
作为一本引导读者走近虚拟现实领域的书，在对虚拟现实领域核心技术进行梳理、说明的基础上，将重点放在了具体应用上。虚拟现实技术正处于一个蓬勃发展的阶段，企业界与学术界都很活跃，且互相影响，联系紧密，了解最前沿的虚拟现实产品有助于把握虚拟现实技术发展的方向。如今市面上有许多受欢迎的虚拟现实系统解决方案，例如谷歌、微软、HTC、索尼等厂商推出的Cardboard、HoloLens、Vive、Vive Focus、PS VR等。这其中既有简约轻便的轻量级移动虚拟现实产品，也有功能完备、体验丰富的一体机和主机。它们各具特色，各有侧重，各有适用场景。本书也对这些常见的虚拟现实系统解决方案按照体量的不同进行了分类介绍，用简短的文字和适量的图片让读者对这些设备和平台有所了解，掌握其特性和基本原理，从而能更好地开发适合平台特性的优秀虚拟现实应用。书中还针对虚拟现实应用做了介绍，围绕虚拟现实内容的开发流程，结合各大科技巨头的内容发布平台，重点介绍了虚拟现实在教育 and 娱

乐领域的应用。

虚拟现实技术在不断发展,其应用也将覆盖更多方面。未来,新技术与新交互方式将使得我们在虚拟世界中更容易进行操作和交互,真实和虚拟的界限将变得更加模糊。虚拟现实将不再只是一项“虚拟”技术,它将对真实世界产生更大的影响,改变人们的生活和生产方式,成为行业发展的新信息技术支撑平台,为人类观察世界、体验世界、改造世界提供新的手段。

相信本书能帮助读者在虚拟现实领域走得更自信、更远,本书是诸多虚拟现实书籍中的一本好书。是为序。

中国工程院院士



前言

PREFACE

随着信息处理技术和光电子技术的高速发展，虚拟现实技术已经从小规模、小范围的技术探索和应用进入了更加宽广的领域。在未来几年，随着技术的进一步发展以及各国政府的政策支持和资本投入的聚焦，虚拟现实行业将以前所未有的速度快速发展。虚拟现实产业生态业务形态丰富多样，蕴含着巨大的发展潜力，能够带来显著的社会效益，虚拟经济与实体经济的结合将会给人们的生产和生活方式带来革命性的变革。从以娱乐、影视、社交为代表的大众应用，到以教育、军事、智能制造为代表的行业应用，虚拟现实技术正在加速向各个领域渗透和融合，并且给这些领域带来前所未有的变革和促进。

虚拟现实技术的发展在我国受到了国家层面的高度重视，各级政府积极推动虚拟现实产业发展。虚拟现实技术已经被列入“十三五”国家信息化规划、中国制造 2025、互联网+等多项国家重大战略中，工信部、发展改革委、科技部、文化部、商务部等多个部委出台相关政策促进虚拟现实产业发展，各级地方政府也积极建设虚拟现实产业园，以推动当地虚拟现实产业发展。截至 2018 年年底，我国二十余个省市地区开始布局虚拟现实产业，从生产制造、技术研发、人才培养等多方面推动虚拟现实产业的发展。

虚拟现实行业是个创新的行业。2014 年李克强总理提出了“大众创业，万众创新”的号召，开启了“双创”新时代。全民创新热情高涨，涌现出了一大批杰出的创新企业。虚拟现实作为热门新技术，有着巨大的发展潜力，在全民创新、创业的大潮中吸引了众人的目光，并吸纳了众多的创业者。这一时期，虚拟现实行业的从业者扮演着多重角色，他们既是行业发展的见证者，也是行业进步的推动者，同时还是行业创新的领导者。在虚拟现实行业飞速发展的阶段，行业内众多企业紧跟行业发展步伐，不断创新，不断突破，不断探索新技术、研发新产品。虚拟现实的创新特性让整个行业充满活力，也让企业与学术界建立起紧密的联系。在虚拟现实领域，各大企业积极推动校企合作，推动产、学、研一体化。学术界科研新成果不断地转化为新产品，为市场注入新血液，而企业的新实践也成为研究的动力，反哺学术，形成良性互动。

虚拟现实行业是面向未来的行业。2014 年 Facebook 收购 Oculus 时，扎克伯格表示看好虚拟现实的发展，认为这是一个继智能手机之后的新增长点。时至今日，各大互联网巨头均已涉足虚拟现实领域，许多非相关行业的企业，如迪士尼也开始探索旗下产品与虚拟现实结合的可能性，有些企业甚至已经有一些产品问世。各大计算机、互联网行业巨头引领了行业上下对虚拟现实（VR）技术的探索，并借助其强大的成果转换能力催生了一系列各具特色的 VR 产品，为其他行业巨头带来了丰富的应用场景，让虚拟现实走出了游戏娱乐的小圈子，去解决更加丰富的实际问题。从 VR 技术到 VR 系统再到 VR 应用，每个环节都充满着活力，整个行业目前呈现出一种良性循环的态势。

现在正是进入虚拟现实领域的好时机，一方面该领域已经有较多实际产品的应用经验可以借鉴，没有那么多虚拟现实处于“概念”时期的不确定性和盲目性，而另一方面又正赶上虚拟现实行业发展初期，仍有大量的未知空间可供探索。因此，对想要进入虚拟现实领域的研究者、创业者来说，应该把握当前良好机遇，充分了解行业现状，紧跟虚拟现实技术发展，积极探索虚拟现实技术的新应用场景。希望所有的读者都能从本书中了解到虚拟现实技术的全貌，发现潜在的突破口，找到自身的兴趣点，都能在虚拟现实的发展大潮中有所收获。

编者

2019年2月

目录

CONTENTS

第 1 章 虚拟现实概述	1
1.1 虚拟现实到底是什么	2
1.2 虚拟现实——一个全新的世界	4
1.3 虚拟现实的发展过程	5
1.3.1 VR 概念的提出与演变	5
1.3.2 当下 VR 发展现状	7
1.3.3 VR 发展道路上相互促进的关联技术	9
1.4 本章小结	11
第 2 章 虚拟现实系统的核心技术	13
2.1 虚拟现实的技术结构	14
2.2 实物虚化技术	14
2.2.1 几何造型建模	14
2.2.2 物理行为建模	16
2.3 虚物实化技术	18
2.3.1 视觉绘制	18
2.3.2 并行绘制	24
2.3.3 声音渲染	25
2.3.4 力触觉渲染	28
2.4 增强现实、混合现实的相关技术	30
2.4.1 三维注册技术	30
2.4.2 标定技术	33
2.4.3 人机交互技术	33
2.5 本章小结	36
第 3 章 虚拟现实系统的解决方案	37
3.1 常用硬件设备	38
3.1.1 建模设备	38

3.1.2	三维视觉显示设备	39
3.1.3	声音设备	42
3.1.4	交互设备	43
3.2	移动 VR	52
3.2.1	谷歌 Cardboard	52
3.2.2	谷歌 Daydream View	53
3.2.3	三星 Gear VR	54
3.2.4	暴风影音——暴风魔镜	55
3.3	VR 一体机	55
3.3.1	HTC Vive Focus	55
3.3.2	微软 HoloLens	56
3.3.3	Magic Leap——Magic Leap One	57
3.3.4	三星 Exyons VR III	58
3.3.5	Pico Neo	58
3.4	基于主机的 VR	59
3.4.1	HTC Vive	59
3.4.2	Facebook——Oculus Rift	60
3.4.3	索尼 Project Morpheus	63
3.5	虚拟现实平台	64
3.5.1	HTC Viveport	64
3.5.2	SteamVR	65
3.5.3	谷歌 Daydream	66
3.5.4	微软 Holographic 平台	67
3.6	本章小结	67
第 4 章	虚拟现实内容的设计与开发	69
4.1	内容设计	70
4.1.1	设计目标和原则	70
4.1.2	设计与开发流程	71
4.2	虚拟现实内容制作方式	75
4.2.1	手工建模	76
4.2.2	静态建模	82
4.2.3	全景拍摄	83
4.3	交互功能开发	84
4.3.1	开发步骤	84
4.3.2	主要交互方式	85
4.4	虚拟现实开发引擎	91

4.4.1	Unity 3D	91
4.4.2	Unreal	93
4.4.3	百花齐放的 VR 引擎	94
4.5	虚拟现实内容开发案例	96
4.5.1	制作展柜三维模型	96
4.5.2	展柜模型的交互开发	102
4.6	本章小结	108
第 5 章	VR 娱乐	109
5.1	游戏的分类和电子游戏	110
5.2	虚拟现实：更高阶段的游戏体验	110
5.3	虚拟现实电子游戏的影响	111
5.3.1	游戏用户更多，游戏时间更长、频率更高	112
5.3.2	虚拟现实电子游戏：虚拟生存的起源	112
5.4	VR 游戏	113
5.4.1	涂鸦类游戏	113
5.4.2	桌面类游戏	116
5.4.3	射击类游戏	119
5.4.4	竞技类游戏	123
5.4.5	休闲类游戏	126
5.5	VR 影视	128
5.6	VR 社交	130
5.7	本章小结	136
第 6 章	VR 教育革命	137
6.1	教育的 VR 化发展	138
6.1.1	VR 课件制作	138
6.1.2	VR 教室	140
6.2	高等教育案例	142
6.2.1	场景化沉浸式英语	142
6.2.2	VR 实验室	145
6.2.3	VR 无人机仿真培训系统	151
6.3	义务教育	152
6.3.1	科学教育	152
6.3.2	德育教育	154
6.3.3	安全教育	154
6.3.4	义务教育的 VR 应用实例	156
6.4	本章小结	161

第 7 章 VR 行业应用	163
7.1 VR 电商	164
7.1.1 VR 房地产	164
7.1.2 VR 购物	165
7.1.3 VR 汽车销售	168
7.2 VR 旅行	170
7.2.1 VR 古建筑文物复原	170
7.2.2 VR 景区	173
7.3 VR 医疗	176
7.3.1 VR 心理疗法	177
7.3.2 VR 手术直播	178
7.3.3 VR 健康管理	181
7.4 VR 心理健康	183
7.4.1 VR 心理健康教育的现状	184
7.4.2 VR 心理健康中心的功能	184
7.5 VR 其他应用	191
7.5.1 VR 军事应用	191
7.5.2 VR 航天应用	192
7.5.3 VR 设计应用	193
7.6 本章小结	198
第 8 章 未来虚拟现实	199
8.1 虚拟现实与教育	200
8.2 虚拟现实与双创	201
8.3 虚拟现实与未来生活	202
8.4 本章小结	203
附录 A 加州大学伯克利分校 Decal Class VR 项目实践	204
A.1 环境搭建	204
A.1.1 项目综述	205
A.1.2 项目设置	205
A.1.3 创建场景	206
A.1.4 加入 VR 支持	208
A.2 枪械构建	212
A.2.1 读取控制器输入	212
A.2.2 枪械的拾取	214
A.2.3 工程整合	224

A.3 怪兽（敌人）构建	225
A.3.1 怪兽预制体	225
A.3.2 创建导航网格	225
A.3.3 怪兽移动	227
A.3.4 攻击玩家	229
A.3.5 射杀怪物	230
A.4 功能组合	235
A.4.1 产生怪物	236
A.4.2 玩家生命管理	238
A.5 文件输出	240
A.6 写在最后	241
后记	242

虚拟现实概述

“虚拟现实”作为一个概念提出已久，在各种科幻作品中都能看到它的身影。但是作为实实在在的应用，真真切切地走入人们的日常生活中，“虚拟现实”可以说是一个时髦的新事物。近些年虚拟现实技术日益成熟，应用日益丰富。从电子游戏到网络直播，从硬核的 VR 一体机到小巧的谷歌 Cardboard。“虚拟现实”四个字在各个方面渗透进人们的生活，但是人们真的了解“虚拟现实”吗？虚拟现实到底是什么？它又是怎样一步步发展起来的呢？在这一章，就让我们一起走近“虚拟现实”，去了解它的前世今生。



1.1 虚拟现实到底是什么

如果你问身边的人什么是VR，绝大多数的回复将是：“VR就是虚拟现实”。因为VR的全称就是Virtual Reality，那什么是虚拟现实呢？通俗直观地说，虚拟现实就是通过各种技术在计算机中创建一个虚拟世界，用户可以沉浸其中。用户用视觉、听觉等感觉来感知这个虚拟世界，与虚拟世界中的场景、物品，甚至是虚拟的人物进行交互。近几年，虚拟现实越来越活跃在人们的视线中，即使在一些不太发达的地区都可以看到“VR体验馆”的身影，如图1-1所示。淘宝、京东等各大电商平台上也经常有VR眼镜、VR头盔的商品宣传和销售，如图1-2所示。2018年年初，电影《头号玩家》描绘了未来的虚拟现实世界，更是在全球掀起了一阵VR热潮，如图1-3所示。

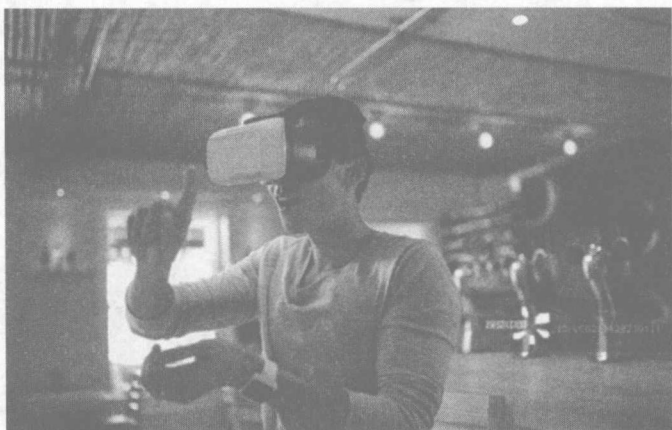


图 1-1 VR 体验馆



图 1-2 京东 HTC-Vive 销售信息

但是,上面提到的这些都是狭义的虚拟现实,而广义上的虚拟现实除了狭义的VR以外,还包括AR(Augmented Reality,增强现实,如图1-4所示)和MR(Mixed Reality,混合现实,如图1-5所示),三者合称“泛虚拟现实”。因此,有时也把泛虚拟现实产业称为3R产业。以计算机技术为核心,通过将虚拟信息构建、叠加,再融合于现实环境或虚拟空间,从而形成交互式场景的综合计算平台,这便是“泛虚拟现实技术”的核心。具体来说,就是建立一个包含实时信息、三维静态图像或者运动物体的完全仿真的虚拟空间,虚拟空间的一切元素按照一定的规则与用户进行交互。而VR、AR、MR三个细分领域的差异,就体现在虚拟信息和真实世界的交互方式上。这个虚拟空间既可独立于真实世界之外(使用VR技术),也可叠加在真实世界之上(使用AR技术),甚至与真实世界融为一体(使用MR技术)。



图 1-3 《头号玩家》海报

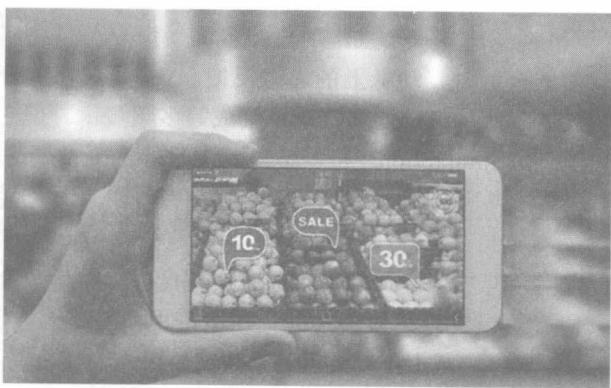


图 1-4 增强现实



图 1-5 混合现实

本书所说的 VR 一般指的是狭义的 VR 技术，但是 AR 与 MR 两个领域也各有其独特魅力。如果说 VR 是“虚拟实境”，那么 AR 可称作“实拟虚境”。通过对摄影机影像的位置及角度精算，加以图像分析技术，屏幕上的虚拟世界能够与现实世界场景进行结合、互动。苹果公司在 2017 年的 WWDC (Worldwide Developers Conference, 全球开发者大会) 推出 ARKit，催生了一波 AR 热潮。随着随身电子产品运算能力的提升，增强现实这种产生于 1990 年的技术定将被广泛运用，大放异彩。

而混合现实技术，能结合真实和虚拟世界，创造新的环境，能让物理实体和数字对象共存，实时相互作用，从而将现实、增强现实、增强虚拟和虚拟现实混合在一起。虽然 MR 的提出时间晚于 VR 和 AR，市场普及度也远低于 VR 和 AR。但有学者指出，MR 未来将是三者中最容易在市场中普及的。在国内，贵州颐爱科技有限公司下属的颐爱混合现实拍摄实验室在混合现实方面有所研究，所开发的基于 HTC-Vive 的混合现实系统能让非 VR 用户在二维平面上以“第三视角”同时看到虚拟世界和 VR 设备佩戴者。这一系统已经在国内一些中小学有了实际部署。

1.2 虚拟现实——一个全新的世界

VR 技术就是用计算机系统建立一个三维的虚拟世界，用户可以在其中和虚拟的信息进行交互，产生视觉、听觉，甚至触觉、动觉上的虚拟反馈。VR 是一项综合性技术，涉及视觉光学、环境建模、信息交互、图像与声音处理、系统集成等多项技术。但它的核心三要素就在于沉浸性 (Immersion)、交互性 (Interaction) 和多感知性 (Imagination)，这里以电影《头号玩家》中的“绿洲”游戏为例做具体说明。

1. 沉浸性

沉浸性是指用户作为主角存在于虚拟环境中的真实程度。虚拟世界会给用户产生极为逼真的体验，用户会沉浸其中且难以将意识放到别处。在电影中，韦德·沃兹（《头号玩家》电影男主角）等“绿洲”游戏玩家在戴上 VR 头盔的一瞬间，他们会感觉完全进入“绿洲”世界，他们的意识、注意力都被锁定在“绿洲”中，很难抽离出来。

2. 交互性

交互性是指参与者对虚拟环境中物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度。在 PC 和移动互联网时代，人们用鼠标、键盘、触控屏等作为入口进行信息交互，但到了虚拟现实时代，人们可以用手势、动作、表情、语音，甚至眼球或脑电波识别等更加真实的方式进行多维的信息交互并得到符合一定规律的反馈。在《头号玩家》中，“绿洲”玩家通过手势动作在面前调出一个透明悬空的操作面板进行装备购买、信息发送，通过语音指令进行好友的空间定位等。

3. 多感知性

多感知性是指用户因 VR 系统中装有的视觉、听觉、触觉、动觉的传感及反应装置，在人机交互过程中获得视觉、听觉、触觉、动觉等多种感知，从而达到身临其境的感受。在电影中，韦德·沃兹在获得第一把钥匙之后，用哈利迪奖励的游戏货币购买了一套 IOI 生产的 X1 套装，穿上之后他可以获得在虚拟世界中的所有触觉反馈，这就是 VR 的多感知性。