

VR/AR Technology and Applications  
in the Power Industry

# 虚拟 / 增强现实技术 及其电力应用

吴军民 林为民 彭 林 韩海韵 等 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

VR/AR Technology and Applications  
in the Power Industry

# 虚拟 / 增强现实技术 及其电力应用

吴军民 林为民 彭 林 韩海韵 鲍兴川  
徐 敏 王 刚 于 海 王 鹤 侯战胜  
朱 亮 何志敏 张泽浩 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书首先介绍了虚拟/增强现实技术的概念、发展趋势和国内外技术标准等内容,在此基础上分别对虚拟现实和增强现实技术体系和关键技术进行总结和归纳,包括软硬件技术、三维建模和人机交互技术等。然后,结合编者多年的电力行业从业经验,对虚拟/增强现实技术在电力工业中的应用,从规划设计、教育培训、装备制造和信息展示交互等辅助应用,以及输变电、发电运检、基建施工和电力装备制造等方面的应用进行了阐述。

本书可供虚拟/增强现实相关专业人员,以及电力行业相关人员学习阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

虚拟/增强现实技术及其电力应用/吴军民等编著. —北京:中国电力出版社,2018.8  
ISBN 978-7-5198-2120-3

I. ①虚… II. ①吴… III. ①虚拟现实—应用—电力工业—研究 IV. ①TM-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第125762号

---

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:刘丽平(010-63412342)

责任校对:常燕昆

装帧设计:王英磊 郝晓燕

责任印制:邹树群

---

印 刷:北京时捷印刷有限公司

版 次:2018年8月第一版

印 次:2018年8月北京第一次印刷

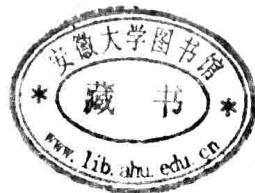
开 本:710毫米×1000毫米 16开本

印 张:10.5

字 数:182千字

印 数:0001—1500册

定 价:40.00元



---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

随着信息处理和显示技术的快速发展,近几年虚拟/增强现实技术发展迅猛,逐渐融入人们的生活和工作中,正在深刻改变人们的生活方式和工作模式。目前国内对虚拟/增强现实技术进行阐述的书籍不少,但是介绍虚拟/增强现实技术在工业中应用的书籍较少。我所在的研究团队对虚拟/增强现实技术在电力系统中的应用进行了深入研究,本书为读者分享了团队的前期研究成果,希望能为从事相关领域学习和研究的研究人员提供参考。

本书为虚拟/增强现实技术领域目前涵盖内容较为全面的书籍,通过调研国内外的情况,重点描述了虚拟/增强现实的技术体系与实际应用。本书首先介绍了虚拟现实、增强现实技术以及混合现实技术的定义并介绍了相关国际国内技术标准。接着分别针对虚拟现实技术体系和增强现实技术体系进行研究,归纳出它们的关键技术,收集这些技术的最新行业应用。结合目前的虚拟/增强现实技术业界发展现状,展望未来虚拟/增强现实技术的发展。本书的最大价值在于虚拟/增强现实技术在电力行业中的应用,通过全面的深入研究,为虚拟/增强现实技术相关行业的从业者,特别是涉及电力等工业行业的虚拟/增强现实的专业人员提供参考。

吴军民

2018年5月

前言	
<b>第一章 虚拟/增强现实技术概述</b> .....	1
第一节 虚拟现实技术 .....	1
第二节 增强现实技术 .....	5
第三节 虚拟现实/增强现实/混合现实的关系 .....	10
第四节 虚拟/增强现实的技术标准 .....	12
<b>第二章 虚拟现实技术体系与应用</b> .....	16
第一节 虚拟现实技术体系 .....	16
第二节 虚拟现实关键技术 .....	18
第三节 虚拟现实技术应用领域 .....	49
<b>第三章 增强现实技术体系与应用</b> .....	59
第一节 增强现实技术体系 .....	59
第二节 增强现实关键技术 .....	63
第三节 增强现实技术应用领域 .....	94
<b>第四章 虚拟/增强现实技术展望</b> .....	114
第一节 信息内容交互方式从 2D 向 3D 发展 .....	114
第二节 从虚拟现实、增强现实到混合现实 .....	115
第三节 与现实世界相连的智能移动终端设备 .....	117
第四节 与物联网、云计算、大数据、人工智能相融合的信息物理系统 .....	119
第五节 虚拟/增强现实的未来概念 .....	120

<b>第五章 虚拟现实技术在电力工业中的应用</b> .....	122
第一节 虚拟现实技术电力应用场景分析 .....	122
第二节 虚拟现实技术电力工业应用系统组成 .....	125
第三节 电力规划设计应用 .....	127
第四节 基于虚拟现实的一次设备巡视仿真培训系统 .....	135
第五节 基于虚拟现实的电力设备装配工艺设计技术 .....	138
第六节 电力信息虚拟现实展示 .....	143
<b>第六章 增强现实技术在电力工业中的应用</b> .....	146
第一节 增强现实技术电力应用场景分析 .....	146
第二节 电网输变配电运检应用 .....	146
第三节 发电行业应用 .....	151
第四节 电力基建施工应用 .....	153
第五节 电力装备制造应用 .....	156
<b>参考文献</b> .....	159

# 第一章 虚拟/增强现实技术概述

虚拟现实、增强现实技术其实不是新技术，只不过花费了数十年时间才从设想和实验原型形成普通大众能够接触体验的真实产品。虽然我们在《黑客帝国》《阿凡达》《钢铁侠》等许多科幻影片中看到了虚拟现实或者增强现实的场景，也在一些场所体验了虚拟现实头戴式显示器（HTC Vive）、微软全息眼镜（Hololens）等设备的应用，但是可能对虚拟现实、增强现实技术是什么，它们是如何产生和发展、有什么区别等问题不甚了解。阅读完本章，相信您会有一个清晰、准确的答案。

## 第一节 虚拟现实技术

### 一、虚拟现实技术的概念

虚拟现实（virtual reality, VR）技术通过特殊设计的设备将用户的视觉、听觉等多个感知系统连接至模拟仿真的三维空间的虚拟世界，让用户感觉仿佛身临其境，可以及时、没有限制地观察三维空间内的事物。用户进行位置移动或交互时，三维世界相应变化并反馈给用户。实现虚拟现实效果的设备可以是一个罩在眼睛前面的头盔，也可以是多块屏幕组成的封闭或半封闭空间，也许在未来会是连接到大脑神经元的某种芯片。

不论哪种方式，从本质上来说，虚拟现实是要完全截断人类感知真实物理世界的信息，替换为计算机形成的数字信息，让用户真正地沉浸在虚拟世界中。

虚拟现实具有以下三个重要特征，这三个特征常被称为虚拟现实的3i特征。

（1）沉浸性（immersion）。沉浸性是指用户感受到被虚拟世界所包围，好像完全置身于虚拟世界之中一样。虚拟现实技术最主要的技术特征是让用户觉得自己是计算机系统所创建的虚拟世界中的一部分，使用户由观察者变成参与者，沉浸其中并参与虚拟世界的活动。沉浸性来源于对虚拟世界的多感知性，除了常见

的视觉感知外，还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知、味觉感知、嗅觉感知等。理论上来说，虚拟现实系统应该具备人在现实世界中具有的所有感知功能，但鉴于目前技术的局限性，在现在的虚拟现实系统的研究与应用中，较为成熟或相对成熟的主要是视觉沉浸、听觉沉浸、触觉沉浸技术，而有关味觉与嗅觉的感知技术正在研究之中，目前还很不成熟。

(2) 实时交互性 (interactivity)。实时交互性是指用户对模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。交互性的产生，主要借助于虚拟现实系统中的特殊硬件设备（如数据手套、力反馈装置等），使用户能通过自然的方式，产生与真实世界中一样的感觉。虚拟现实系统比较强调人与虚拟世界之间进行自然的交互，交互性的另一个方面主要表现了交互的实时性。

(3) 构想性 (imagination)。构想性是指虚拟的环境是人想象出来的，同时这种想象体现出设计者相应的思想，因而可以用来实现一定的目标。所以说虚拟现实技术不仅仅是一个媒体或一个高级用户界面，同时它还是为解决工程、医学、军事等方面的问题而由开发者设计出来的应用软件。虚拟现实技术的应用，为人类认识世界提供了一种全新的方法和手段，可以使人类跨越时间与空间，去经历和体验世界上早已发生或尚未发生的事件；可以使人类突破生理上的限制，进入宏观或微观世界进行研究和探索；也可以模拟因条件限制等原因而难以实现的事情。

## 二、虚拟现实技术发展现状

虚拟现实技术经历了概念起源、特殊应用和普及应用三个阶段。

### 1. 概念起源阶段

1962年莫顿·海利希 (Morton Heiling) 打造的全传感仿真器 (sensorama simulator) 是首个虚拟现实原型，可以播放大视角的立体 3D 画面，聆听立体声，可配合身体倾斜，甚至还可以根据影片情节感受风和香味，莫顿设计的初衷是为了营造一个沉浸式的体验。整个原型是机械式的 (见图 1.1)，至今仍可工作。

### 2. 特殊应用阶段

随后，业界开展了许多虚拟现实技术和产品的研究开发，但多数没有成功。例如雅达利



图 1.1 全传感仿真器



(Atari) 公司在 1982 年成立虚拟现实研究实验室，但是两年后关闭。杰伦·拉尼尔 (Jaron Lanier) 于 1985 年创办的虚拟编程语言研究 (VPL Research) 公司，研究了多种虚拟现实设备，如数据手套、眼睛电话、音量控制等。后来美泰公司 (Mattel) 取得其数据手套技术授权，研发了一款电动手套，尽管该手套当时售价 75 美元，却因为不易使用而没有普及。20 世纪末在专用领域出现了成功案例，主要用于军事训练、航空航天技能培训。美国国家航空航天局 (NASA) 投入专用资金在约翰逊航天中心 (Johnson Space Center) 成立了虚拟现实实验室 (见图 1.2)，得益于刚上市的商用图形处理硬件及项目负责人霍曼和他的专业研发团队，NASA 搭建了舱外活动 (EVA)、机械臂操作模拟等虚拟现实应用，培训宇航员在失重状态下进行方向识别、行走、操作、沟通等技能，效果逼真，为推进航天技术的发展提供助力。宇航员道格拉斯 (Douglas H. Wheelock) 在国际太空站外看地球时想到的是“我清楚地知道我在哪里，这与虚拟现实实验室像极了”。虚拟现实技术除了能用于专业技术培训外，还可以进行操作方案的模拟和优化。1993 年，代号 STS-61 的任务是修复造价 2.5 亿美元的哈勃望远镜模糊的问题，虚拟现实实验室通过该技术模拟修复操作过程，甚至发现并调整了修复方案的错误。

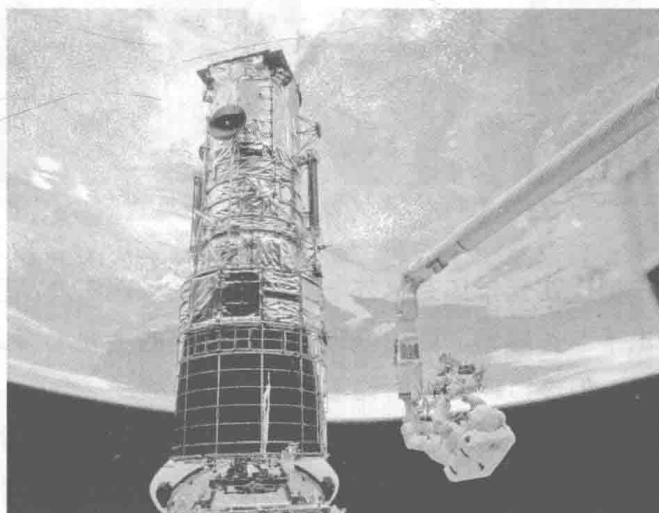


图 1.2 NASA 虚拟现实实验室

### 3. 普及应用阶段

业界将 2016 年视为虚拟现实元年，这意味着虚拟现实技术进入了普及应用阶段。光电子和微电子技术的飞速发展带来了巨大的性价比优势，手机是受益者之一，虚拟现实产品也是如此。例如，显示器件从 CRT 到 TFT-LCD/AMOLED 的变

革，使设备重量、尺寸不断缩小，分辨率提升到 FHD+水平，响应时间也达到微秒级。SoC 芯片和 GPU 的性能、成本也遵循着摩尔定律持续改进。

伴随着初创公司傲库路思（Oculus）被脸书（Facebook）以 20 亿美元收购这一巨大影响力事件，资本力量开始介入虚拟现实领域并成为重要推力。大型科技公司纷纷发力，宏达国际电子（HTC）成功推出了类似傲库路思 Rift 的主机式虚拟现实头盔 HTC Vive（见图 1.3），三星推出以手机为处理核心的移动式虚拟现实头盔 Gear，谷歌（Google）公司发布 Cardboard、Daydream View 产品和 Daydream 平台推动虚拟现实技术以更高性价比的快速普及。众多的初创公司在器件、整机、应用等各个层面发挥了巨大作用，新的创意产品层出不穷，进一步吸引了资本的关注和投入。受益于此，虚拟现实应用实现了横向迅速扩张，已覆盖了游戏、娱乐、教育、培训、社交、旅游、家装、设计等众多领域。



图 1.3 HTC Vive

笔者以为，虚拟现实元年还有另外一层含义，虚拟现实产品已接替手机成为推进光电子、微电子、传感器、图像处理等技术发展的主要动力之一。尽管虚拟现实技术发展迅猛，但虚拟现实仍面临不少问题和挑战：

(1) 头晕症状不可避免。尽管造成这一问题的根本原因尚未彻底弄清，但业界提出了几个解决方向。一方面通过降低传感采集、计算渲染、传输通信、显示反馈等各环节时延，总体达到主流观点公认的 20ms 延迟阈值，解决头动视野延迟（motion-to-photons latency, MPL）问题；另一方面，虚拟现实环境下，针对人类视觉感知与其他感知器官工作不协同现象，有初创公司研发的万向跑步机能搭配虚拟现实头盔实现跑、跳、蹲等动作的原地完成。

(2) 性能不足影响使用。为解决“纱窗效应（screen door effect）”原本是弱需求的手机 4K 屏如今变成了强需求，三维模型的高画质意味着更高的图像处理

能力，诸如手势、扫描建模等交互方式要求传感器件和主设备具备更高的处理能力。目前，移动型的虚拟现实设备处理能力远远不足，即便是台式计算机作为主机处理，所需硬件配置对普通用户而言也是一笔不可忽视的投入。

(3) 交互人性化亟待改进。尽管有多种虚拟现实交互设备，如手柄、指环、景深摄像头、红外定位传感器等，甚至一些游戏专用的道具，但是多数交互设备存在自身的局限性，识别的准确度、操作的舒适度、定位的准确性以及多人环境下的协同都需要更优的方案和产品。

(4) 内容制作成本高。与手机类似，在硬件平台差异不大时，内容为王。同样，在虚拟现实应用开发环节方面，业界也认识到优质内容制作的便捷和低成本问题。全景相机可以快速拍摄出虚拟现实照片，但存在图片畸变、空间连续性不足、相机成本高昂等问题，而三维模型建模工作费时费力。

## 第二节 增强现实技术

### 一、增强现实技术的概念

增强现实 (Augmented Reality, AR) 技术将虚拟信息叠加在物理实体上，形成虚实融合的新世界，用户可以自由地与其中的虚拟信息、物理实体进行实时交互。叠加的虚拟信息多种多样，可以是二维平面的标签、三维立体的模型、立体环绕的声音等，用于增强视觉、听觉及触觉等各种人类感知交互能力。关于视觉增强现实设备，业界认为有两种：一种是手机、平板电脑等便携式处理终端，用户在手机、平板电脑的屏幕上主要查看叠加的虚拟信息和物理实体通过摄像头直接转成的虚拟信息；另一种则是眼镜、头盔形式的终端设备，用户可直接看到物理实体，虚拟信息则以光线投影的方式被眼睛捕获。因而，后者的体验感比前者真实得多。

相对于虚拟现实，增强现实不是试图将人与物理实体、周围环境完全隔离，而是在真实世界中制造虚拟信息，以“真中有假”的方式使用户获得更丰富的“真实”体验。

增强现实技术具有以下三个重要特征：

(1) 基于现实。基于现实是指用户感受虚拟信息时，以自身所处的物理现实环境为载体，虚拟信息选择现实环境的某一物体或位置为参照物进行绑定。这个参照物，专业术语称之为“锚 (anchor)”。锚可以变更，但必须存在。视觉增强

现实方式也是当前主要研究的方向，锚通常选择二维码图案、复杂多彩的图片、三维物体，乃至所处空间。听觉增强现实方式相对较易，多以空间位置为锚确定声音效果。触觉、嗅觉、味觉等增强现实的方式同样也在研究之中，与虚拟现实的感知技术具有通用性。通过部分改变感知到的信息，使用户沉浸在相对真实的环境中，处于较自然的观察、交互状态。

(2) 紧密关联。紧密关联是指虚拟信息与锚及周边现实环境的关联越紧密，真实感越强。例如，由于观察者位置与观察角度、锚的位置与旋转角度发生变化，虚拟信息也须需要相应变化，甚至光照度、虚拟信息的阴影以及虚拟信息和物理实体的相互遮挡等都需要有所反映，如此才能将虚拟信息与现实环境融为一体。这也成为区分增强现实技术难易的一个参考。游戏“精灵宝可梦 GO (Pokémon Go)”推出之时以 GPS 位置为锚，实现方式简单，但游戏参与者体验感不强。另一款基于 Hololens 的游戏“Fragments”将人物、物品放置在所处空间的沙发、桌子、地面上，配以恰如其分的音效，把玩家带入了一个“真实”的案发现场。

(3) 实时互动。实时互动是指用户与虚拟信息、物理现实环境的可操作程度和从虚拟信息、物理实体得到反馈的自然程度。物理实体的操作和反馈由其自身物理特性决定，而其影响到的虚拟信息的反馈则是增强现实的关注重点。虚拟信息的操作和反馈对交互性的需求与虚拟现实类似，也需要借助于特殊硬件传感器或设备。另一方面，交互的实时性要求对大量的物理实体与虚拟信息的关系进行高速处理，增强现实技术在交互性上面临的挑战更大。

## 二、增强现实技术的发展与现状

增强现实技术经历了发展起源、特殊应用阶段，而目前处于全面应用爆发的前期。

### 1. 发展起源阶段

达摩克利斯之剑（见图 1.4）被认为是增强现实的最早原型，由伊凡·苏泽兰（Ivan Sutherland，世界上首个图形化交互应用的开发者）和罗伯特·F·斯普劳尔（Robert Fletcher “Bob” Sproull）1968 年在哈佛大学共同完成。它主要由 4 部分组成：一套基于 CRT 光学透视头戴式显示器和一件头戴式机械跟踪系统，连接到一台 PDP-11 计算机设备和特殊定制的图形处理硬件上。后来，机械跟踪系统被超声系统替代了。虽然这套系统很原始，但它能让生成的三维图形出现在真实世界上。显示器有一个半镀银的棱镜，能提供 40° 视场角（field of view, FOV），通过它用户同时看到了阴极射线管发出的图像和房间里的物品。

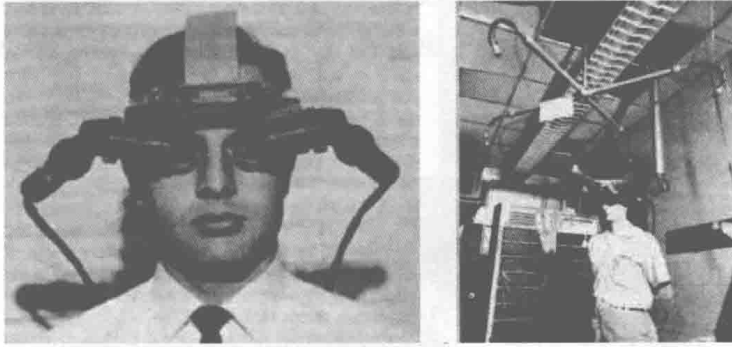


图 1.4 最早的增强现实原型系统——达摩克利斯之剑

## 2. 特殊应用阶段

尽管伊凡的增强现实原型带来了巨大的影响，但随后的几十年，军事和政府主导的研究实验机构投入了比学术界、工业界更多的研究力量。1969 年到 80 年代中期美国赖特-帕特森空军基地 (wright-patterson air force base) 的托马斯·弗内斯 (Thomas Furness) 一直致力于研究空军的超级驾驶舱项目 (见图 1.5)，飞行员通过佩戴的显示器 [见图 1.5 (a) 所示]，白天可以看到叠加的计算机图像 [图 1.5 (b) 所示为设计效果]，晚上或恶劣天气情况下可以看到计算机生成的替代图像。这些设计和技术后来被广泛地应用在空军装备中。

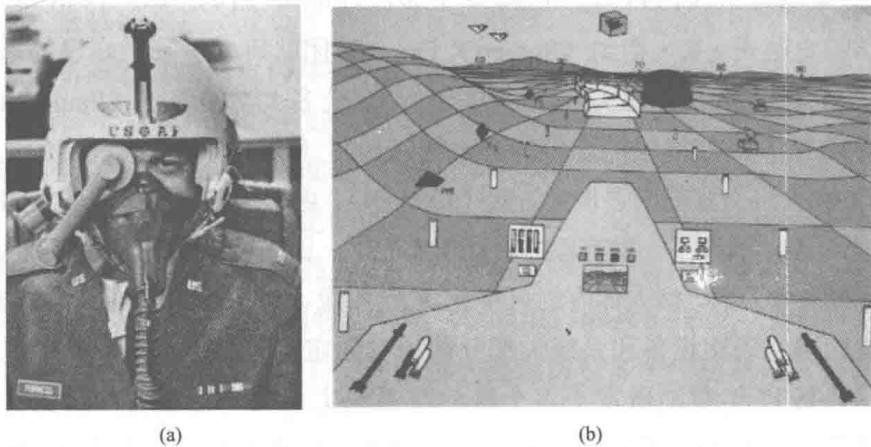


图 1.5 基于增强现实的超级驾驶舱

增强现实术语首次被正式提出并在工业界应用，要归功于波音公司的汤姆 (Tom Cuadell) 和戴夫 (Dave Mizell)。飞机的布线工作复杂繁多，为提高工作效率和降低错误率，他们于 1992 年发明了一套增强现实系统 (见图 1.6)，使用户可

以通过增强现实的提示信息完成接线安装。波音公司持续开展了多个基于增强现实的飞机安装指导系统的研发。这也表明增强现实技术确实给波音公司带来了切实可观的效益。



图 1.6 波音公司增强现实布线系统

与此同时，增强现实相关的研究也正在开展。例如，北卡罗来纳大学的佛瑞德·布鲁克斯（Frederick Brooks）团队研究了透视的头戴显示设备（1995 年、1996 年）、注册跟踪技术（1993 年、1994 年）及医疗应用（1992 年、1996 年），哥伦比亚大学的史蒂夫·K·费纳（Steven K. Feiner）团队研究了基于知识的增强现实系统（1993 年）、人机交互方法（1993 年），多伦多大学的保罗（Paul Milgram）团队指导研究了双目视频的虚拟提升系统（1993 年）、基于增强现实的远程操作（1992 年）和人机交互的增强现实方式（1993 年）。由于这些技术研究的贡献，20 世纪 90 年代中期，涌现了一批有趣的增强现实应用。比较突出的是医疗行业应用，如可视化的腹腔镜手术、病人体内的可视化 X 光图像、基于图像指导的手术操作等。

上述的增强现实设备和系统大部分都相对固定，这限制了增强现实的应用能力和范围。1997 年费纳研发了首个移动增强现实系统（见图 1.7），还研发了可穿戴的计算平台及与之相配的头戴式显示器件，它在户外能够根据 GPS 信息将虚拟的数字信息进行展示。托马斯等人也研究了多个可穿戴式增强现实系统（见图 1.8），尽管由于定制的计算机硬件、电池、跟踪传感器和显示器件尺寸很大，这些设备很笨重，但可以明显看出随着光电子、微电子技术的发展，它们正变得越来越可穿戴化。

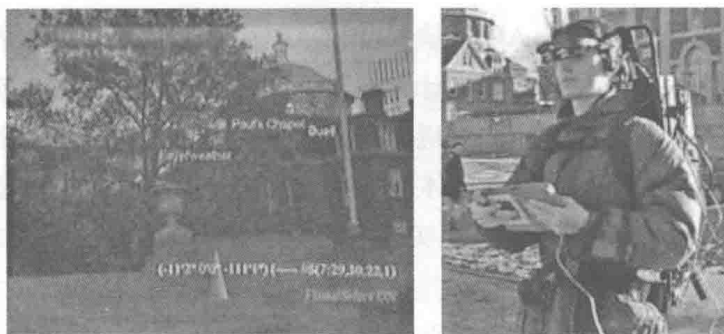


图 1.7 首个移动增强现实系统



图 1.8 可穿戴增强现实系统

(从左至右, 年份为 1998 年、2002 年、2006 年)

### 3. 全面普及前期

目前, 增强现实技术正处于全面普及的前期。在增强现实可穿戴硬件产品方面, 产品不断涌现且成熟度持续提升。2013 年谷歌公司推出的谷歌眼镜 (Google Glass) 产品, 尽管用户体验不好, 比如配重、视场角等问题, 但该产品展示的集成能力能够应对可穿戴增强现实的需求。2016 年, 微软公司的混合现实 (mixed reality, MR) Hololens 产品中定制的全息处理单元 (holographic processing unit, HPU) 则将传感器、空间重构技术和性能很好地结合, 完成了穿戴设备对环境重建的基础功能。DAQRI 公司的智能头盔 (DAQRI smart helmet, DSH) 是面向工业需求的增强现实产品, 集成了红外成像、摄像头等多个传感器, 支持工作时间可达 6h, 功能、性能优异。其他厂家, 如 EPSON、ODG、META 等都纷纷推出各自的产品。在平台软件方面, 也呈现了凶猛的发展势头。在收费产品中 Vuforia 独占鳌头, Kudan、Wikitude 等也有一批忠实用户, 开源产品 ARToolKit 历史悠久, 现由 DAQRI 公司持续维护。2017 年, Facebook 公司公布了 Camera Effects 增强现实平台, 谷歌公布了基于 Project Tango 技术重组研发的 ARCore 增强现实平台, 苹果公布了基于收购于 META 公司的 Metaio 技术重组研发的 ARKit 增强现实平

台，阿里巴巴公司也公布了 AR 开放平台和 AR 内容平台。在应用方面，业界呈现的火热程度则明显不足。尽管设计、施工、安装、维修、能源、旅行、医疗、游戏、娱乐等多个行业都提出并实现了各自增强现实的解决方案，但行业应用动力稍欠缺，影响力也不足以推动整体技术水平的进一步发展。2016 年，大热的游戏“Pokémon Go”在完成了增强现实技术的概念普及和未来商业模式的构想后，也淡出了关注焦点。

增强现实技术应用缓慢，主要存在以下原因：

(1) 成本投入大。硬件选择上，头戴式增强现实设备，少则一两万元人民币，多则高达 10 万人民币，普通用户无法接受。这也是谷歌、苹果发力可应用于手机的增强现实平台的一个原因，通过降低成本门槛，吸引更多的用户。但相应的，体验效果也大幅下降。

(2) 技术成熟度不足。目前，硬件传感器的准确性、发热量、整体功耗，增强现实平台的注册跟踪稳定性、空间重构能力和性能、空间认知能力，增强现实的内容制作复杂烦琐程度，交互方式的便捷性、准确性等方面都亟待突破。

(3) 应用投入产出比无法衡量。行业内一直没有出现一款杀手级应用，一方面由于增强现实技术初期投入高，技术研究、产品开发到效益产生需要一个相对较长的过程，这些都是增强现实技术应用面临的挑战；另一方面，用户对待新事物的接受也需要培育，尤其这还会涉及原有工作模式的重构。但通过观察波音公司（最早应用、持续改进应用增强现实技术并已从中获益的公司）可以看到，这一个原因相对容易克服。

### 第三节 虚拟现实/增强现实/混合现实的关系

前文提及了虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）三个技术名词，本小节重点对它们的关系进行梳理，以期给读者一个明晰的界限划分。

1994 年，保罗首次提出了现实虚拟连续体（Reality-Virtual Continuum）的概念，如图 1.9 所示。这一概念被广泛接受，ISO/IEC 已将这一概念纳入正在制定的标准《Mixed and Augmented Reality Reference Model》中。

该连续体将虚拟现实、增强现实、混合现实进行了统一表达，以虚拟信息和物理实体的不同占比加以区分。从左至右按虚拟信息占比 0%、50%、100%，将连续体划分为 a 物理实体、b 增强现实、c 增强虚拟、d 虚拟现实 4 个部分，混合现实则介于 a 和 d 之间。通俗地说，物理实体是没有附加虚拟信息的情况，所“见”



即为真，这里的“见”是指感受。虚拟现实则是没有物理实体的情况，所“见”即为假。而混合现实则是物理实体与虚拟信息融合在一起，所“见”有真有假。从这个分类可以知道，增强现实是混合现实的一种，只不过真中有假，增强虚拟则是假中有真。



图 1.9 现实虚拟连续体模型

(a) 虚拟信息 0%；(b) 虚拟信息 < 50%；(c) 50% < 虚拟信息 < 100%；(d) 虚拟信息 100%

在区分了三者基本概念后，下面从功能、技术、应用场景三方面，将三者的共同点与不同点进行总结，如表 1.1 所示。

表 1.1 虚拟现实/增强现实/混合现实对比

对比	共同点	不同点
功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 都向用户展示虚拟信息；</li> <li>(2) 都需要感知用户行为；</li> <li>(3) 都需要对行为进行虚拟信息的反馈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 虚拟现实用户看不到物理实体，增强现实、混合现实可以；</li> <li>(2) 虚拟现实不关注现实物体的状态，而增强现实、混合现实都需要注册一个现实物体并时刻保持跟踪</li> </ul>
技术	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 用户交互技术，如手势识别、语音识别、基于 IMU 的头部动作识别，甚至眼球追踪、思维感知等都可以共用；</li> <li>(2) 虚拟信息的制作技术都一样</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 采集对象信息不同：增强现实、混合现实还通过摄像头、红外成像设备、景深摄像头等传感器采集物理实体信息；</li> <li>(2) 显示方式不同：增强现实、混合现实需要；</li> <li>(3) 虚拟信息渲染展示方式不同：虚拟现实完全根据虚拟场景进行渲染展示，增强现实、混合现实则还需要结合实际环境进行渲染展示</li> </ul>
应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 虚拟信息的内容设计都可以不受限；</li> <li>(2) 在培训、娱乐领域都有巨大应用价值；</li> <li>(3) 家装、设计等都可通用</li> </ul>	<p>虚拟现实的构想性使得应用受限性小，而增强现实、混合现实则需要与实际物体结合，应用专业性更强、临场感更强；以教育、培训为例，虚拟现实更侧重环境条件难以实际复现的情况，而增强现实、混合现实则侧重在实际现场的培训、实时指导</p>

通过对比可知，增强现实与混合现实在功能、技术和应用上基本相同，增强虚拟概念则很少提及，因此业界在应用时也不做严格区分。