



国之重器出版工程
网络强国建设

新一代信息技术

Cloud VR Technology and Application

云化虚拟现实 技术与应用

熊华平 主编

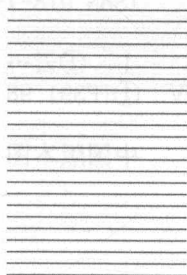
李大为 黄琨 徐牧 黄茵 徐玲玲 赖健飞 钱胜军 编著



国之重器出版工程

网络强国建设

新一代信息技术

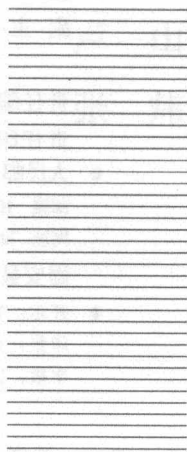


云化虚拟现实 技术与应用

Cloud VR
Technology and Application

熊华平 主编

李大为 黄琨 徐牧 黄茵 徐玲玲 赖健飞 钱胜军 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

云化虚拟现实技术与应用 / 熊华平主编 ; 李大为等
编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2019. 12
国之重器出版工程. 新一代信息技术
ISBN 978-7-115-52732-5

I. ①云… II. ①熊… ②李… III. ①数字技术
IV. ①TP391.98

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第277004号

内 容 提 要

本书以虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 产业规模发展所面临的挑战为切入点, 详细介绍了云化虚拟现实 (Cloud VR) 的关键技术、解决方案、商业实践等, 旨在向读者全面呈现Cloud VR技术的全貌。全书内容基于华为iLab在Cloud VR领域的技术积累和实践, 系统地讲解了Cloud VR技术的优势, 对平台、网络、终端的技术要求及实现方案, 业务体验的评测基线及方法和目前的商业实践等。本书还详细介绍了Cloud VR为VR产业、通信产业带来的巨大商业价值, 可帮助读者了解产业现状, 学习Cloud VR的技术细节, 同时对Cloud VR如何实现商业落地形成基本的理解。

本书内容通俗易懂, 实用性强, 适合VR设备厂商、运营商、网络厂商、云服务提供商等企业的技术人员和高校等科研机构的研究者阅读。

◆ 主 编 熊华平

副 主 编 李大为 黄 琨 徐 牧 黄 茵 徐玲玲
赖健飞 钱胜军

责任编辑 韦 毅

责任印制 杨林杰

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 720×1000 1/16

印张: 15

2019 年 12 月第 1 版

字数: 278 千字

2019 年 12 月河北第 1 次印刷

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010) 81055552 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

《国之重器出版工程》 编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	高延敏	何 琼	刁石京	谢少锋
闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生	赵永红
韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波	卢 山
徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁	张 炜
聂 宏	付梦印	季仲华		



专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

- 于全 中国工程院院士
- 王越 中国科学院院士、中国工程院院士
- 王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 王建民 清华大学软件学院院长
- 王哲荣 中国工程院院士
- 尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 邓宗全 中国工程院院士
- 甘晓华 中国工程院院士
- 叶培建 中国科学院院士
- 朱英富 中国工程院院士
- 朵英贤 中国工程院院士
- 邬贺铨 中国工程院院士
- 刘大响 中国工程院院士
- 刘怡昕 中国工程院院士
- 刘韵洁 中国工程院院士
- 孙逢春 中国工程院院士
- 苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
中国机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家
工程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原
机械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



- 屈贤明 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任
- 项昌乐 “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长
- 柳百成 中国工程院院士
- 闻雪友 中国工程院院士
- 徐德民 中国工程院院士
- 唐长红 中国工程院院士
- 黄 维 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长
- 黄卫东 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 黄先祥 中国工程院院士
- 董景辰 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员
- 焦宗夏 “长江学者奖励计划”特聘教授



序

虚拟现实（Virtual Reality，VR）是一个学科高度交叉融合的科学技术领域，是随着高性能计算和人机交互等技术以及计算机图形学的发展，在模拟真实世界的方向上人类所达到的最新境界。VR 技术应用场景广泛，能创造出巨大的社会效益、经济效益，已经得到国家的重视，也引起了众多行业的关注。

在大众消费领域，VR 技术广泛应用于视频、游戏、旅游、电商、虚拟社交等领域，能营造全新的沉浸式交互环境，给用户带来全新的感官体验。2019 年 10 月 1 日，举世瞩目的庆祝中华人民共和国成立 70 周年阅兵式就进行了 VR 直播，让体验者感受到了亲临现场般的热烈气氛和震撼。当前，基于 VR 技术的新的消费领域正逐步形成。

经过数十年的发展，VR 在航空航天、装备制造、智慧城市、军事、医疗、教育等许多应用领域取得了令人瞩目的应用成果，成为行业发展的新的信息技术支撑平台，“VR+”也和“互联网+”一样成为发展趋势，对相关行业产生了颠覆性的影响，助推行业产品和服务模式的变革，以及行业的升级换代。例如，在逼真的虚拟战场环境中进行作战规划、对抗演练和效果评估，既可大幅提高作战能力，又可规避实兵实装演练的风险，降低消耗；通过手术模拟器，在虚拟的人体器官上进行手术规划、预演、评价和手术培训，给医疗和医学教育带来了变革。VR 技术应用于装备制造，产生了许多新的制造技术，如沉浸式设计、虚拟样机与评价、虚拟组装、增强现实（Augmented Reality，AR）装拆导引，它还可以应用于装备操作维护培训等。近年来在制造界兴起的数字孪生，将 VR 技术应用于装备从设计到操作培训、售后服务的整个生命周期。“数字孪生+工业互联网”构成了智能制造的基础。



5G 的普及，有望解除制约 VR 发展的数据传输瓶颈，VR 的一些关键技术和重要平台的研发将取得突破性进展；VR 对象和环境高度逼真，VR 交互高度自然，智能化成为 VR 系统的重要特征，VR 云计算与服务以及 VR/AR 手机应用与 VR 边缘计算得到快速发展。同时，VR 行业应用和 VR 产业会有新的、较快的发展。

VR 产业的健康发展需要关键技术的持续突破，需要在硬件平台与装置、核心芯片与器件、软件平台与工具、标准与规范等方面进行长期的研发投入，通过科技创新，让“虚拟”体验不断逼近“现实”感受；需要挖掘市场需求，丰富“VR+”各行业应用，形成商业回报，通过市场需求拉动企业投入，促使企业真正成为技术创新、商业创新的主体；同时，需要加快培养和培训各类 VR 领域的专业人才，解决技术研发和产品开发人才匮乏的问题。当前，全球 VR 产业正从起步培育期向快速发展期迈进，我国面临同步参与国际 VR 技术创新和产业竞争的难得机遇，我国政府、企业、学术界都要有相关计划，共同推动 VR 产业的发展。

2018 年 12 月，工业和信息化部（简称工信部）发布了《工业和信息化部关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》，提出加大政策支持力度，重点支持虚拟现实技术研发和产业化。随着 5G 技术的普及，云端快速数据传输处理的效能越来越大，云化虚拟现实（Cloud VR）成为 VR 技术应用的重要基础设施和 VR 技术服务的重要模式。Cloud VR 是云计算技术、网络技术与 VR 技术的跨界融合创新，体现了开放创新的特点。我国的 VR 企业在坚持创新和发展的过程中，应当着力产出一批有自主知识产权的硬件设备、平台软件等，并建立相关的技术标准，开发关键核心专利，从而培养出一批有创新活力和强大竞争力的龙头企业。

《云化虚拟现实技术与应用》一书介绍了华为公司在 Cloud VR 方面的技术创新、系统构建和示范应用，体现了科技企业的创新成果，为 VR 技术、产业发展提供了有益参考。希望更多有识之士认识到 VR 为社会发展带来的机遇，投身 VR 产业的相关领域，为我国 VR 产业占领新兴产业制高点，从而推动我国信息产业高质量发展，形成强大国际竞争力做出贡献。

中国工程院院士，计算机软件与虚拟现实领域专家

2019 年 11 月



序 二

虚拟现实（VR）是新一代的计算平台，正推动着新一轮的科技创新和产业变革。从产业发展现状来看，VR已走出前几年的低谷，进入稳步发展阶段，具体表现在产品的整体性能不断提升、创新的商业场景持续涌现、规模化商用的技术条件已经具备，开始带来巨大的社会效益和经济效益。云化是VR产业发展的重要趋势，华为在产业界最早提出了云化虚拟现实（Cloud VR）的概念，意在通过将VR与快速发展的网络、云计算技术结合，实现VR的广泛、便捷接入，加快VR的规模化商用进程。作为全球领先的信息通信技术（Information and Communication Technology, ICT）基础设施和智能终端提供商，华为从网络、计算平台到终端，持续为VR的技术创新、产业进步提供着强有力的支撑。

Cloud VR规模化商用的时机已经到来。2019年6月6日，工信部正式发放了5G商用牌照，标志着5G即将进入我们的生活。在移动网络步入5G时代的同时，固定网络也已实现千兆光网进家庭，移动与固定的“双千兆”网络都需要通过大带宽、超低时延的业务来建立商业模式，牵引用户升级网络。Cloud VR很好地匹配了前述需求：在大带宽方面，仅为了满足比较舒适的Cloud VR用户体验，对带宽的需求就已经超过了4K视频对带宽的需求，未来，随着用户对体验要求的不断提高，Cloud VR对带宽的需求将会是4K视频对带宽的需求的数倍；在超低时延方面，互动类Cloud VR业务对时延的要求堪比云游戏。因此，可以说Cloud VR是运营商发展“双千兆”网络的利器，同时，“双千兆”网络也能彻底释放VR的潜力。

当前，“Cloud VR+观影/娱乐视频”“Cloud VR+教育”“Cloud VR+游戏”等业务已经出现在消费者的家庭中；“Cloud VR+行业”的场景也不断被开拓，2019年4月，在广东东莞举行的中国男子篮球职业联赛（CBA）总决赛的直播采



用了“Cloud VR+直播”的方式，“双千兆”网络传输的高清、低时延的直播画面给观看直播的观众带来了逼真的临场感，像是在决赛现场之外构建了一个线上“第二现场”。“Cloud VR+直播”“Cloud VR+旅游”“Cloud VR+教育”等场景正在不断改善我们的体验、提升我们的认知效率。Cloud VR与“双千兆”网络相辅相成、互相成就，共同向消费者、家庭、行业赋能“VR+”，让VR更快地为社会创造出实实在在的价值。

Cloud VR的商用进程正持续推进。2018年7月，福建移动发布了面向家庭的Cloud VR业务，这是Cloud VR的首次商用实践；2019年以来，中国电信、中国移动、中国联通三大运营商或开启或逐步加快Cloud VR的商用进程，多个省市制定了业务放号目标，相关工作正在紧锣密鼓地开展；2019年6月，在中国通信标准化协会（China Communications Standards Association, CCSA）TC11第20次全会上，《基于电信网的云化虚拟现实 总体技术要求》等3项关于Cloud VR的标准立项获批，这是标准化领域首次通过Cloud VR系列标准立项，标志着Cloud VR产业从技术实践向规模化商用正式迈进，具有重要的里程碑意义。

Cloud VR具有非常广阔产业前景，能够为广泛的行业参与者提供发展大舞台。如同个人计算机开启了互联网时代、智能手机开启了移动互联网时代，Cloud VR也将开启新时代，进而推动诸多伟大商业实践的出现。

《云化虚拟现实技术与应用》一书能让更多的产业界同人认识并理解Cloud VR，为他们进入Cloud VR行业提供一些有益的参考；同时，也有助于Cloud VR的行业参与者打造开放而统一的技术架构。让我们携手，共同创造VR产业的繁荣时代！

2019.10.22

华为公司常务董事，ICT战略与Marketing 总裁



前言

虚拟现实作为新一代创新技术，正推动着新一轮的科技革命和产业变革。这项技术受到了国家的高度重视与行业的广泛关注，已被列入《“十三五”国家信息化规划》和《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》等多项国家重大文件中，成为我国超前布局的前沿领域。从2016年至今，国内部分城市及相关部委纷纷发布了VR专项政策，推进VR产业快速形成规模，对产业的健康快速发展起到了非常积极的作用。

Cloud VR是将云计算、云渲染的理念及技术引入VR业务应用中，借助高速稳定的“双千兆”网络（5G+千兆家庭宽带），将云端的视频和音频等信息经过编码压缩后传输到用户的终端设备，实现VR业务内容上云、渲染上云。《工业和信息化部关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》针对内容分发平台，明确提出“发展端云协同的虚拟现实网络分发和应用服务聚合平台（Cloud VR），推动建立高效、安全的虚拟现实内容与应用支付平台及分发渠道”。

Cloud VR凭借其更低的成本、更好的用户体验、更广泛的商业应用场景和更规范的内容版权等显著优势，迅速发展为备受关注的新VR技术。随着Cloud VR产业的不断推进，从爆款VR终端的出现、业务平台解决方案成形、内容不断丰富，到有运营商发布面向家庭场景的Cloud VR业务，产业在逐步成熟，Cloud VR正向更多场景延伸。

Cloud VR的首倡者、华为超宽带网络创新实验室——iLab，致力于场景、体验、生态和友好网络的研究，从用户场景和体验角度研究网络友好性，从网络影响的角度研究产业和生态。华为iLab率先开发出Cloud VR系统原型，并深度参与了国内运营商首个Cloud VR业务的前期设计和规划部署，从拉通产业资源到弥合技术



断点，从探索商用场景到实现商用落地，开辟了一条 Cloud VR 商业化的创新之路。在深圳，iLab 构建了 VR OpenLab 实验室，面向全球电信运营商及业界伙伴展示 Cloud VR 商业场景、业务体验和解决方案，并持续开展 Cloud VR 的相关研究。

随着对产业理解的不断深入，iLab 从端到端技术、体验提升等多方面对 Cloud VR 形成了系统的方法论。2019 年 6 月，在 CCSA TC11 第 20 次全会上，由中国信息通信研究院（简称中国信通院）、华为、中国电信、中国移动、中国联通等机构联合牵头，多家产业伙伴共同参与制定的《基于电信网的云化虚拟现实 总体技术要求》《基于电信网的云化虚拟现实 网络技术要求》及《基于电信网的云化虚拟现实 端到端业务质量技术要求和监测方法》等 3 项 Cloud VR 标准立项申请被大会采纳，标志着 Cloud VR 产业从技术实践向规模化商用正式迈进。

为了加速 Cloud VR 发展，共建产业繁荣，华为 iLab 将技术实践、商业探索中的宝贵经验进行系统归纳、总结，期许通过本书帮助读者真正理解 Cloud VR 技术原理，激发产业创新思想，丰富产业内容，帮助构建全新的 Cloud VR 商业模式。

本书内容

本书共 8 章，详细介绍了 Cloud VR 的技术原理、平台构成、网络方案、终端功能、业务体验和商业实践等，向读者系统地呈现了 Cloud VR 全景。

首先，本书介绍了 VR 的发展和技术演进、Cloud VR 的发展前景和总体技术，帮助读者更好地理解 Cloud VR 的由来和相关基本原理，从而对 Cloud VR 有一个初步的了解。

随后，本书根据 Cloud VR 技术云、管、端的特点，从平台技术、网络方案和终端 3 个方面对 Cloud VR 技术进行详解，帮助读者深入理解 Cloud VR 的技术原理。

最后，本书从 Cloud VR 业务的业务体验和商业实践两个角度，为读者介绍了如何测试和评价 Cloud VR 业务体验，并通过实践案例来阐述 Cloud VR 场景如何实现商业落地，为业界提供商业建议。

以下为各章简介。

第 1 章 Cloud VR 概述

本章从 VR 的特征、发展历程讲起，从各国政策、产业生态和 VR 体验维度等方面剖析 VR 产业所处的宏观环境及面临的挑战，介绍 Cloud VR 相比传统 VR 的变化、优势以及 Cloud VR 的应用场景。

第 2 章 Cloud VR 总体技术

本章介绍 Cloud VR 总体技术，系统呈现 Cloud VR 整体技术架构。Cloud VR 包括弱交互和强交互业务。本章从保障业务体验的维度出发，剖析两类业务发展的



关键问题，以及解决相应问题的关键技术。总体技术离不开云、管、端各环节技术的协同，本章也简要介绍对云、管、端的技术要求。

第3章 Cloud VR 平台技术

平台是 Cloud VR 总体技术中决定不同业务类型及特性的关键部分。本章详细探讨与业务特性强相关的平台关键技术，包括 Cloud VR 弱交互业务平台与强交互业务平台技术。

第4章 Cloud VR 网络方案

本章以提升 VR 用户体验的解决方案为主线，结合 Cloud VR 最新的技术发展趋势和商用部署经验，进一步细化分析 Cloud VR 不同发展阶段对承载网络的需求，并给出 Cloud VR 网络承载方案以及网络演进策略，为 Cloud VR 业务的部署提供参考。

第5章 Cloud VR 终端

本章分3个部分详解 Cloud VR 终端，分别是 VR 终端设备的工作原理、分类及对比和 Cloud VR 终端的选择，Cloud VR 终端关键技术的发展现状，Cloud VR 终端与云平台对接功能。

第6章 Cloud VR 业务体验的研究

业务体验的分析和评测是提升用户体验的重要方法。本章从业务体验需求的分析与建模和业务体验的评测基线两个方面介绍 Cloud VR 业务体验的分析和研究方法。

第7章 Cloud VR 的商业实践

本章将从 Cloud VR 产业现状讲起，讲述运营商在 Cloud VR 商业化进程中所具备的优势和可以扮演的角色，并基于 Cloud VR 商业实践案例进行总结，为运营商开展 Cloud VR 业务提供商业建议。

第8章 Cloud VR 的未来畅想

这是全书的尾声，是对 Cloud VR 未来的畅想。我们现在触碰的还只是 VR 世界非常小的一部分，未来的发展空间无限广阔。

致谢

本书由华为技术有限公司 iLab 实验室以及传送与接入数字化信息和内容体验组联合编写。在写作过程中，华为网络产品与解决方案和传送与接入产品线的领导给予了许多的指导、支持和鼓励，在此，诚挚感谢相关领导的扶持！



目 录

第 1 章 Cloud VR 概述	001
1.1 VR 概述	002
1.2 VR 的产业环境	006
1.3 VR 的困境	011
1.4 Cloud VR 的诞生	015
1.5 Cloud VR 的应用场景	019
第 2 章 Cloud VR 总体技术	025
2.1 Cloud VR 的业务与体验	026
2.1.1 Cloud VR 的业务分类	026
2.1.2 Cloud VR 的关键体验要素	028
2.2 Cloud VR 整体技术架构	029
2.3 Cloud VR 弱交互业务技术架构与关键技术	033
2.3.1 核心技术架构	034
2.3.2 关键问题：支持 VR 视频的大数据量编解码与传输	035
2.3.3 关键技术：Cloud VR 视频传输技术	036
2.4 Cloud VR 强交互业务技术架构与关键技术	044
2.4.1 核心技术架构	044



2.4.2	关键问题：实现 MTP 时延要求	046
2.4.3	关键技术：Cloud VR 实时云渲染技术	047
2.5	云、管、端的技术要求	054
2.5.1	Cloud VR 的发展阶段	054
2.5.2	关键业务指标的总体要求	055
2.5.3	平台、网络、终端的技术要求	057
第 3 章	Cloud VR 平台技术	061
3.1	Cloud VR 弱交互业务平台	062
3.1.1	业务平台概述	062
3.1.2	编解码技术	064
3.1.3	流媒体传输技术	071
3.1.4	CDN 技术	075
3.1.5	FoV 传输技术	079
3.2	Cloud VR 强交互业务平台	082
3.2.1	业务平台概述	082
3.2.2	虚拟化技术	084
3.2.3	渲染技术	087
3.2.4	快速编解码技术	091
3.2.5	流传输技术	094
第 4 章	Cloud VR 网络方案	097
4.1	Cloud VR 业务的网络指标要求	098
4.1.1	Cloud VR 弱交互业务的网络指标要求	099
4.1.2	Cloud VR 强交互业务的网络指标要求	100
4.2	Cloud VR 业务的目标网络架构	103
4.2.1	城域网	106
4.2.2	接入网	108
4.2.3	家庭网络	112
4.2.4	5G 网络	120
4.3	Cloud VR 的网络承载方案	121
4.4	QoS 规划部署	126
4.5	Cloud VR 未来网络演进策略	130



第 5 章	Cloud VR 终端	135
5.1	Cloud VR 终端的形态	136
5.1.1	VR 终端设备的工作原理	136
5.1.2	VR 终端的分类及对比	138
5.1.3	Cloud VR 终端的选择	142
5.2	Cloud VR 终端关键技术的发展现状	144
5.2.1	芯片技术	144
5.2.2	显示屏技术	146
5.2.3	感知交互	150
5.2.4	网络传输	155
5.2.5	头动渲染	157
5.3	Cloud VR 终端与云平台对接功能	160
5.3.1	云平台对接需求	160
5.3.2	系统功能定制	161
5.3.3	登录鉴权	162
5.3.4	Launcher 界面定制	162
5.3.5	应用集成	163
5.3.6	同屏功能	164
5.3.7	系统升级	166
第 6 章	Cloud VR 业务体验的研究	167
6.1	Cloud VR 业务体验需求的分析与建模	168
6.1.1	沉浸式体验需求的定义与分解	170
6.1.2	交互式体验需求的定义与分解	174
6.2	Cloud VR 业务体验的评测基线	176
6.2.1	业务体验的评测项目	178
6.2.2	业务体验的评测方法	185
第 7 章	Cloud VR 的商业实践	189
7.1	Cloud VR 为运营商带来市场机遇	190
7.1.1	Cloud VR 产业的发展现状	190
7.1.2	运营商具备发展 Cloud VR 的优势	193