

# 虚拟（增强）现实白皮书

（2017 年）

CAICT 中国信通院

中国信息通信研究院  
华为技术有限公司  
2017年9月

---

## 版权声明

---

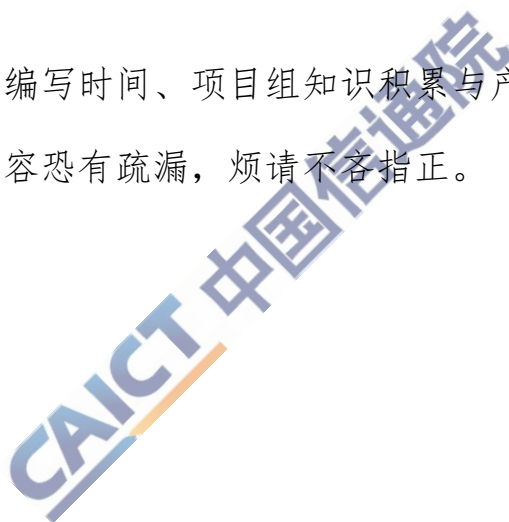
本白皮书版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。



## 致 谢

在工业和信息化部电子信息司的指导下，本白皮书由中国信息通信研究院与华为技术有限公司联合撰写发布，在编写过程中的有关内容得到了华为技术有限公司 iLab 创新实验室与 2012 实验室、京东方科技集团股份有限公司创新业务部、虚拟现实内容制作中心、歌尔科技、中国电信上海研究院、微鲸 VR、兰亭数字、亮风台的专业支持。

本白皮书限于编写时间、项目组知识积累与产业尚未完全定型等方面的因素，内容恐有疏漏，烦请不吝指正。



## 前 言

虚拟（增强）现实是新一代的信息通信技术的关键领域，具有应用空间大、产业潜力大、技术跨度大的特点，对带动核心元器件、泛智能终端、网络传输设备、云设备、电信服务、软件与行业领域信息服务的转型升级具有重要意义。作为一个具有较长历史，但实际刚刚新兴的产业，虚拟现实技术与产业的发展轨道尚未完全定型。从关键技术上看，以近眼显示、渲染处理、感知交互、网络传输、内容制作为主的技术体系正在形成。从产业构成上看，虚拟现实产业体系依托器件/设备、工具/平台与内容/应用，相比较为成熟的智能终端，虚拟现实产业体系类似，实则差异较大。总体来看，我国在虚拟现实产业上与国际一流水平差距不大，建议进一步强化跨领域技术储备，聚焦融合创新；深化内容开发工具/平台发展，推广应用服务；构建公共服务平台，提升产业化服务能力。

本白皮书系统提出了虚拟现实内涵形态、体验进阶层次、技术架构、细分体系及技术发展路标，并将我国典型本土虚拟现实企业按照产业链重点环节归纳总结，形成了我国虚拟现实产业细分地图，据此提出相关发展建议。

# 目 录

一、发展背景.....	1
（一）虚拟现实概念内涵与形态划分不断演进.....	1
（二）虚拟现实兴起源自门槛降低、资本聚焦与政策支持.....	4
（三）虚拟现实成为移动互联网向人工智能时代演进的发展重点.....	7
二、关键技术趋势.....	8
（一）虚拟现实“五横两纵”的技术架构初步形成.....	8
（二）近眼显示技术以沉浸感提升与眩晕控制为主要发展趋势.....	11
（三）感知交互技术聚焦追踪定位、环境理解与多通道交互等热点领域.....	15
（四）网络传输技术呈现大带宽、低时延、高容量、多业务隔离的发展趋势..	20
（五）渲染处理技术遵循渲染优化算法与渲染能力提升双轨并行的发展路径..	30
三、产业生态趋势.....	34
（一）虚拟现实产业生态以器件设备、工具平台与内容应用为主.....	34
（二）感知交互与内容制作成为虚拟现实下一阶段的发展重点.....	36
（三）知识产权竞争态势展现产业发展趋势.....	38
（四）现阶段我国与国际一流水平在不同领域产业差距各异.....	41
（五）“虚拟现实+”时代业已开启.....	45
四、措施及建议.....	50
（一）强化跨领域技术储备，聚焦融合创新.....	50
（二）深化开发工具/平台发展，推广应用服务.....	51
（三）构建公共服务平台，提升产业服务能力.....	51

## 重要图表索引

图 1	虚拟现实沉浸感分级体验.....	1
图 2	虚拟现实沉浸体验-网络需求视图.....	2
图 3	全球 VR 主要终端形态渗透率.....	3
图 4	虚拟现实终端品类划分.....	3
图 7	虚拟现实技术“五横两纵”技术架构.....	9
图 8	虚拟现实“五横”技术体系.....	9
图 9	全球虚拟现实知识产权热点领域.....	11
图 10	虚拟现实近眼显示关键技术路标.....	15
图 12	虚拟现实感知交互关键技术路标.....	20
图 18	虚拟现实网络传输关键技术路标.....	30
图 19	虚拟现实渲染处理关键技术路标.....	34
图 20	我国虚拟现实产业视图.....	35
图 29	国内外虚拟现实近眼显示产业梯队.....	43
图 30	国内外虚拟现实网络传输产业梯队.....	44
图 31	国内外虚拟现实渲染处理产业梯队.....	44
图 32	国内外虚拟现实感知交互产业梯队.....	45
图 33	虚拟现实典型应用领域.....	46

## 一、发展背景

### （一）虚拟现实概念内涵与形态划分不断演进

业界对虚拟现实的界定认知由终端设备向沉浸体验演变。随着技术和产业生态的持续发展，虚拟现实的概念不断演进。业界对虚拟现实的研讨不再拘泥于特定终端形态与实现方式，而是聚焦体验效果，强调关键技术、产业生态与应用领域的融合创新。本白皮书对虚拟（增强）现实（Virtual Reality, VR/Augmented Reality, AR）目标的理解是：借助近眼显示、感知交互、渲染处理、网络传输和内容制作等新一代信息通信技术，构建跨越端管云的新业态，满足用户在身临其境等方面的体验需求，进而促进信息消费扩大升级与传统行业的融合创新。沉浸体验的提升有赖于相关技术的突破和进步，是分阶段演进的过程，将 VR 业务的发展划分为如下阶段，不同发展阶段对应不同体验需求。



来源：中国信通院

图 1 虚拟现实沉浸感分级体验



等级	指标	视频分辨率 门槛	单眼分辨率 门槛	典型网络 带宽需求	典型网络 RTT需求
初级沉浸 (EI) <i>Entry-level Immersion</i>		全视角 4K 2D 视频 (全画面分辨率 3840*1920)	960*960 FOV 100度 (约 20 PPD)	20-50Mbps	< 40ms
部分沉浸 (PI) <i>Partial Immersion</i>		全视角 8K 2D 视频 (全画面分辨率 7680*3840)	1920*1920 FOV 110度 (约 20 PPD)	50- 200Mbps	< 30ms
深度沉浸 (DI) <i>Deep Immersion</i>		全视角 12K 2D 视频 (全画面分辨率 11520*5760)	3840*3840 FOV 120度 (约 30 PPD)	200Mbps- 1Gbps	< 20ms
完全沉浸 (FI) <i>Fully Immersion</i>		全视角 24K 3D 视频 (全画面分辨率 23040*11520)	7680*7680 FOV 120度 (约 60 PPD)	2-5Gbps	< 10ms

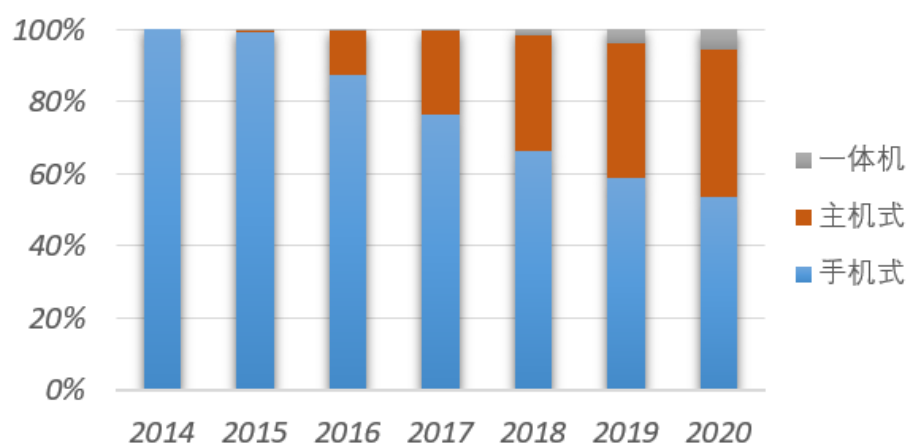
来源：华为 iLab 创新实验室

图 2 虚拟现实沉浸体验-网络需求视图

虚拟现实终端由单一向多元、由分立向融合方向演变。按终端形态划分，手机式成为现阶段主要终端平台。2016 年全球手机式 VR 占比接近 90%，预计 2020 年主机式与一体式 VR 渗透率升至 50%左右（图 1）。随着谷歌（I/O）、Facebook（F8）、苹果（WWDC）等 ICT 巨头 2017 年全球开发者大会的召开，手机式 AR 渐成大众市场的主流，以 Meta2 与 Hololens 为代表的主机式、一体式 AR 主导行业应用市场。此外，在自动驾驶与车联网发展浪潮的影响下，基于抬头显示的车载式 AR 成为了新兴领域，隐形眼镜这一前瞻性产品形态代表了业界对 AR 设计的最终预期。按终端功能划分，从广义来看，虚拟现实包含增强现实，早期学界通常在 VR 研讨框架内下设 AR 主题，随着产业界在 AR 领域的持续发力，部分业者将 AR 从 VR 的概念框架中抽离出来。狭义来看，VR 与 AR 彼此独立，两者在关键器件、终端形态上相似性较大，而在关键技术和应用领域上有所差异（若不加额外说明，本文采用广义界定）。VR 通过隔绝式的音视频内容带来沉浸感体验，对显示画质要求较高，AR 强调虚拟信息与现实环境的“无缝”融合，



对感知交互要求较高。此外，VR 侧重于游戏、视频、直播与社交等大众市场，AR 侧重于工业、军事等垂直应用。随着技术与产业的不断发展，预计未来 VR 与 AR 终端将由分立走向融合，两者“在山脚分手，在山顶汇合”。



来源：IHS

图3 全球VR主要终端形态渗透率



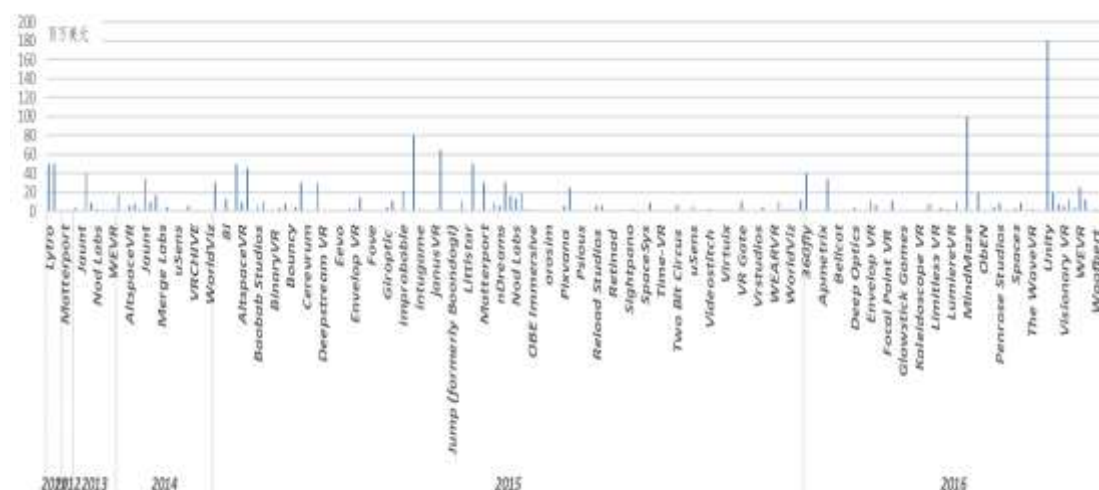
来源：中国信通院

图4 虚拟现实终端品类划分

## （二）虚拟现实兴起源自门槛降低、资本聚焦与政策支持

**硬件门槛显著降低。**自 1962 年 VR 设备出现至今，随着智能手机的普及，硬件成本大幅降低，VR 设备售价从之前的数万降至数百美元，这一成本变化主要体现在光电子与微电子方面。光电子方面，虚拟现实显示器件经历了从 CRT 到 TFT-LCD/AMOLED 的产业变革，屏幕体积重量不断缩小，分辨率升至 FHD+水平，响应时间达到微秒级。微电子方面，低成本的 SOC 芯片与 VPU（视觉处理器）的普及成为虚拟现实在集成电路领域发展热点。

**资本投向日趋聚焦。**经过谷歌眼镜的预热，2014 年 Facebook 以 20 亿美元收购 Oculus，释放重大产业信号，此后全球资本密集投向虚拟现实这一领域，各大 ICT 巨头积极提出有关发展战略，众多科技初创公司纷纷涌现。据 Digi-Capital 统计表明，2016 年全球投资虚拟现实初创公司的金额达到 23 亿美元（不含并购），同比增长 200% 以上。**在地域分布上**，中美成为虚拟现实产业的发展重点地区，总部设在中美两地的虚拟现实初创企业约获得全球投资总额的 20%、60%。**在投资领域上**，据 IHS 统计，开发工具与游戏、视频类虚拟现实内容应用分别以 18%、16%、11% 的份额，位列全球虚拟现实投资领域 TOP3，这一数据反映出阻碍虚拟现实普及因素的变化，即在初步降低虚拟现实硬件门槛后，业界对以游戏及视频为代表的各类内容应用以及专属开发工具日益重视。



来源：IHS

图 5 2014 年前后全球虚拟现实投资情况

各国政府将虚拟现实产业发展上升到国家高度。美国政府早在上世纪 90 年代即将虚拟现实作为《国家信息基础设施（NII）计划》的重点支持领域之一。美国国防部非常重视虚拟现实的研究与应用，在武器系统性能评价、装备操纵训练及大规模军演指挥方面，将之作为重点支持方向。2000 年美国能源部制定了《长期核技术研发规划》，其中明确提出应重点开发、应用和验证虚拟现实技术。2017 年多位美国国会议员宣布联合组建虚拟现实指导小组，旨在确保从国会层面对虚拟现实产业发展的支持与鼓励。此外，美国设立了有关虚拟现实的研究项目，如卫生与福利部、教育部分别开展了虚拟现实在心理疾病、中小学教育的试点示范。欧盟早在上世纪 80 年代开始对虚拟现实提供资助，在 2014 年公布的《地平线 2020》计划中，涉及虚拟现实的资助金额达到数千万欧元。日本政府在 2007 年、2014 年先后发布了到 2025 年技术发展规划的《创新 25 战略》，以及旨在将日本打造为全球创新中心的《科学技术创新综合战略 2014—为了创造未来的创新之桥》，上述政策文件均将虚拟现实视为技术创新重点方向。

韩国政府于 2016 年设立了约 2 亿 4000 万人民币的专项基金，将虚拟现实作为自动驾驶、人工智能等本国未来九大新兴科技重点发展领域之一。此外，韩国未来创造科学部计划在 2016-2020 年期间通过投资约 24 亿人民币，培育本国虚拟现实产业，重点在于确保原创技术研发和产业生态完善方面，力争使韩国与美国在虚拟现实方面的差距从目前的两年降至半年。总体而言，美国虚拟现实发展以企业为主体、政府搭平台，政府重视虚拟现实在各领域的应用示范。欧盟与韩日重视顶层设计和新技术的研发，在关键领域通过设立专项资金引导产业发展。在我国，各级政府积极推动虚拟现实发展，虚拟现实已被列入“十三五”信息化规划、中国制造 2025、互联网+等多项国家重大文件中，工信部、发改委、科技部、文化部、商务部出台相关政策。此外，各省市地方政府积极建设产业园区及实验室，推动本地虚拟现实产业发展，至 2016 年底，我国近二十个省市地区开始布局虚拟现实产业。



图 6 我国部分省市地区虚拟现实产业发展布局



### （三）虚拟现实成为移动互联网向人工智能时代演进的发展重点

新一代信息通信产业发展重心由移动先行（Mobile First）向人工智能先行（AI First）迁移，这一转变已经成为诸多科技巨头的共识，如 Google、Facebook 在近两年的全球开发者大会上提出人工智能将作为企业未来发展的战略重心。

**虚拟现实与移动互联网的联系主要体现在终端形态与应用软件方面。**在形态方面，虚拟现实具有跨终端形态的特点，手机式、主机式、一体机等多种产品形态将长期并存，虚拟现实呈现“形散神聚”的特点，即终端设备不局限于某一特定产品形态；其次，手机成为现阶段虚拟现实发力的主要方式，据 IHS 统计，2016 年全球手机式 VR 存量市场份额超过 80%，预计到 2020 年手机式将保持主导地位。目前，科技巨头将手机作为虚拟现实的首要平台载体，如 Facebook 在 2017 年开发者大会上表示手机将是首要的 AR 体验平台，谷歌的 Daydream 和 Tango 项目都围绕手机开展生态建设，苹果表示将通过手机构建全球最大的 AR 平台，虚拟现实将成为手机的延续而非替代；在应用软件方面，手机 APP 已经开始呈现 VR/AR 化，根据尼尔森统计，2016 年美国下载 TOP10 APP 中，绝大多数具备虚拟现实功能。此外，虚拟现实应用对手机续航、云端负载等带来挑战，如著名 AR 游戏 Pokemon Go 上线后由于用户激增，云服务器访问负载高达此前最坏预期的十倍之多。

**虚拟现实与人工智能的联系主要体现在渲染处理、感知交互与通用 AI 方面。**人工智能对虚拟现实关键技术的推动集中在感知交互与

渲染处理领域。在感知交互方面，基于 AI 的场景分割识别及定位重建已成为科技巨头的重点布局领域，例如 Google Lens 利用 AI 能够让机器学会“看图说话”，Tango 与地图部门通过环境 3D 建模实现室内 SLAM 功能等；在渲染处理方面，画面渲染对计算资源的开销很大，在画质噪点和处理时间上存在不足，基于深度学习的渲染技术能够大幅度提高画质、降低渲染时间；虚拟现实对人工智能发展的推动集中在通用型 AI 方面。人工智能发展呈现从专用型应用向通用型应用的总体趋势，而这一演进过程有赖于海量训练数据的积累。然而，在现实中搜集如此规模且具备一定数据结构的数据十分困难，一些著名初创公司如 Improbable、OpenAI 等致力于构建虚拟世界以代替现实世界来进行训练数据的采集，通过建立十分复杂、规模庞大的多人虚拟世界开展各类模拟实验，例如流行疾病的防控、房地产等重大政策的影响等，从而能够获取大量的训练数据。

## 二、关键技术趋势

### （一）虚拟现实“五横两纵”的技术架构初步形成

虚拟现实涉及多类技术领域，可划分为“五横两纵”的技术架构。由于虚拟现实所固有的多领域交叉复合的发展特性，多种技术交织混杂，且产品定义处于发展初期，有关技术轨道尚未完全定型，目前对关键技术的界定以及技术体系的划分尚不明确，本白皮书尝试针对虚拟现实的发展特性，首次提出“五横两纵”的技术体系及其划分依据。

“五横”是指近眼显示、感知交互、网络传输、渲染处理与内容制作的五大技术领域。“两纵”是指支撑虚拟现实发展的关键器件/设备与内容开发工具与平台。虚拟现实横向技术可细分为三层体系，第一

层为五类技术领域，各部分再细分第二层与第三层技术（如图 8）。



图 7 虚拟现实技术“五横两纵”技术架构

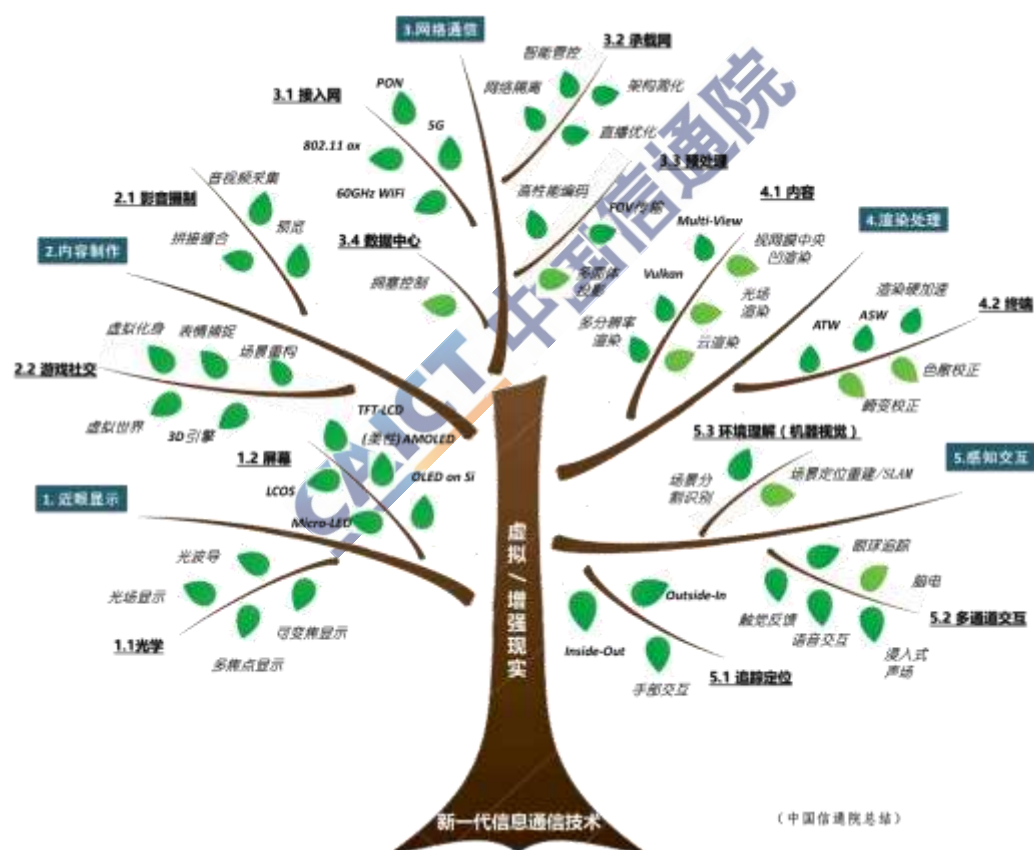


图 8 虚拟现实“五横”技术体系

多元化参考依据界定虚拟现实关键技术。从需求体验看，相比手机固有的通信属性，人机交互成为虚拟现实的核心特质，否则 VR 终端将退化为头戴式电视/手机。从应用领域看，据高盛公司预计，2025



年全球游戏/社交与视频/直播两大领域将占据虚拟现实市场营收规模的 60%，与之相关的开发引擎、拍摄工具等内容开发技术成为关键。从成本结构看，对于目前体验效果较好的主机式 VR 头显，其屏幕成本位居诸多器件成本首位，大约占据物料总成本的三分之一。从技术创新看，融合创新成为虚拟现实发展特点，以头动与视野延迟（Motion-to-Photons Latency, MTP）控制技术为例，须传感采集、计算渲染、传输通信、显示反馈环节共同降低各自时延，以达到业界主流观点设定的 20 毫秒延迟门槛。在普及时间方面，参考 Gartner 发布的年度技术成熟度曲线。在知识产权方面，根据中国信通院知识产权中心统计，截止到 2017 年上半年，显示、交互、建模、定位、相机、头显、应用成为专利申请的热点领域（检索范围包括但不限于中美日韩等七国二组织）。从资本市场看，内容制作与感知交互类技术成为目前投资热点，如 2016 年全球最大单笔投资投向开发引擎领域。从企业战略看，Facebook、谷歌、苹果、微软、英特尔等 ICT 巨头积极提出各自虚拟现实发展战略，如扎克伯格将虚拟现实作为 Facebook 未来十年三大技术发展方向之一，库克宣布苹果公司将打造全球最大的 AR 开发平台。从供应链安全看，关键器件的产业集中度将影响虚拟现实企业供应链稳定性，如在 VR 用 AMOLED 屏幕市场中，三星占据该领域 95% 以上的份额。



来源：中国信通院

图 9 全球虚拟现实知识产权热点领域

## （二）近眼显示技术以沉浸感提升与眩晕控制为主要发展趋势

### 1、高角分辨率与广视场角显示成为提升虚拟现实沉浸感的重要切入点

高角分辨率显示成为提升 VR 近眼显示沉浸感的核心技术。片面追求单一性能参数，忽视技术指标间的平衡协同有悖于虚拟现实领域融合创新的固有特性，然而，随着 VR 头显在近眼显示上对清晰度提出了更高要求，为了降低“纱窗效应（Screen Door Effect）”，提高屏幕分辨率（及开口率）成为关键发展方向，“4K+”分辨率由智能手机领域的弱需求上升为虚拟现实的强需求。此外，由于 VR 具备的 360 度全景显示特性，角分辨率(Pixel Per Degree)取代 PPI(Pixel

Per Inch）成为更适宜衡量虚拟现实近眼显示像素密度的核心技术指标，随着未来 4K 屏幕的日益普及、视场角/分辨率的权衡设计，预计单眼 PPD 将由目前的 15 升至 2020 年的 30 以上水平。

**广视场角显示成为提升 AR 近眼显示沉浸感的核心技术。**AR 强调与现实环境的人机交互，由于显示信息多为基于真实场景的提示性、补充性内容，现阶段 AR 显示技术以广视场角（Field of View, FOV）等高交互性（而非高分辨率等画质提升）为首要发展方向。然而，目前国内外代表产品在一定体积与重量的约束条件下，FOV 大多仅停留在 20 度至 40 度水平。因此，在初步解决 OLED<sub>o</sub>S 等屏幕或 LCOS 等微投影技术后，提高 FOV 等 AR 视觉交互性能成为业界的发展趋势。相比扩展光栅宽度的传统技术路线，波导与光场显示等新兴光学系统设计技术成为谷歌、微软等领军企业的核心技术突破方向。

## 2、 眩晕控制成为虚拟现实在近眼显示方面的发展难点

**发展符合人眼双目视觉特性的近眼显示技术成为虚拟现实眩晕控制的技术制高点。**目前，虚拟现实眩晕产生机理尚未完全为人所知，国内北京理工大学等高校就内容设计、个体差异、VR 软硬件等方面展开了深入研究。从人眼双目视觉特性看，业界公认的眩晕感主要源自三方面。一是显示画质，纱窗、拖尾、闪烁等过低的画面质量引发的视觉疲劳容易引发眩晕，提高屏幕分辨率、响应时间、刷新率，降低头动和视野延迟（MTP）成为技术趋势。二是视觉与其他感官通道的冲突，强化视觉与听觉、触觉、前庭系统、动作反馈的协同一致成为发展方向，目前除前庭刺激、服用药物等非主流方式外，HTC VIVE、Oculus 的 Room Scale、Virtuix Omni 的全向跑步机成为缓解此方面眩晕感的主要技术。三是辐辏调节冲突（Vergence Accommodation

Conflict, VAC)，由于双目视差在产生 3D 效果的同时，造成双目焦点调节与视觉景深不匹配，VR 头显难以如实反映类似真实世界中观看远近物体的清晰/模糊变化。目前，对于产生眩晕感的前两类因素，业界已有上述初步的解决方案，然而，在现有量产产品中，尚未有应对 VAC 引发眩晕感的技术方案，发展非固定焦深的多焦点显示（Multi-focal Display）、可变焦显示（Vari-focal Display）与光场显示成为业界在近眼显示眩晕控制方面的重中之重。

### 3、 AMOLED、LCOS/OLED<sub>o</sub>S 成为近眼显示屏幕技术的主导路线

在 VR 显示上，AMOLED 呈现出对液晶显示的替代趋势。这一趋势符合全球新型显示中小尺寸市场中 AMOLED 渗透率显著上升的发展态势，预计 2020 年全球约有接近 50% 智能手机采用 AMOLED 屏幕。目前，AMOLED 成为 Oculus Rift、HTC VIVE、Sony PSVR、大朋等国内外多数主流厂商技术选择。相比液晶显示，VR 用 AMOLED 的优势主要表现在如下方面：响应时间比液晶显示低一个数量级，有效避免了 VR 交互造成的画面拖尾模糊；由于不含背光源模组，AMOLED VR 头显佩戴相对轻便；可降低引起视网膜病变伤害的蓝光辐射量；在高分辨率与黑色画面背景等情况下，功耗表现优于液晶显示。另一方面，液晶显示的技术生命力仍然存在，JDI、京东方等显示企业已研发出响应时间在 6 毫秒内的高分辨率、高刷新率的 VR 用液晶面板。

在 AR 显示上，基于 LCOS、OLED<sub>o</sub>S 的光学透射显示（Optical See-through）成为当前重点技术路线。由于具有体积小、高分辨率、高刷新率、光能利用率高、成本较低的特点，LCOS 成为

Google Glass、Microsoft Hololens 等代表性 AR 终端显示器件的选择。然而，由于真实世界中环境光的影响，在显示亮度与对比度上对 AR 终端提出了更高要求，为避免“鬼影效果（Ghost Effect）”，OLEDoS 成为弥补 LCOS 在此方面性能短板的重要技术选择，代表性 AR 头显有 ODG 的 R 系列、Epson 的 Moverio 系列等。

综上，为实现比较连贯的虚拟现实技术发展路径，分别考虑分阶段目标与近眼显示、网络传输、渲染处理、感知交互、内容制作等关键技术间的逻辑关系，描述如下技术演进时间表。预计 2017-2019 年，实现 2K 单眼分辨率、90Hz 刷新率屏幕的规模应用，全球主机式与一体式 VR 用 AMOLED 渗透率将达到 95%（手机式 VR 用渗透率达 50%），AR 用 LCOS、OLEDoS 渗透率将达到 95%。在光学系统方面，实现 VR 用 90 度 FOV、20PPD 以及 AR 用 40 度 FOV 头显的规模应用，初步确保视觉亮度与对比度的体验要求。预计 2020 年后，实现 4K+单眼分辨率、120Hz+刷新率屏幕的规模应用，实现 Micro LED 等新兴屏幕技术的产业化应用。在光学系统方面，实现可变焦深的多焦、变焦、光场显示的产业化，VR 用 120 度 FOV、30+PPD 头显的规模应用，在功耗控制、插黑频率与光能利用率的影响下，持续提高环境光条件下的视觉亮度与对比度。





图 10 虚拟现实近眼显示关键技术路标

### （三）感知交互技术聚焦追踪定位、环境理解与多通道交互等热点领域

#### 1、追踪定位成为 VR 与 AR 在感知交互领域的核心技术

追踪定位技术呈现由外向内的空间位姿跟踪（Outside-In Position Tracking）向由内向外的空间位姿跟踪（Inside-Out）的发展趋势。从需求体验看，相比手机固有的通信属性，感知交互成为虚拟现实的核心特质，否则虚拟现实将退化为头戴式电视/手机，其中追踪定位是一切感知交互的先决条件，只有确定了现实位置与虚拟位置的映射关系，方才进行后续诸多交互动作，目前 Inside-Out 是未来追踪定位的热门技术路线，有关总结如下。

技术路线	由外向内 →	由内向内
基本原理	跟踪设备设置在用户外部，形成 Table-Scale 或 Room-Scale 级别的交互空间，且位置固定，可形成独立的空间位置信息，从而确定用户在此空间中的绝对位置。	跟踪设备和用户坐标原点相同，跟踪设备根据视觉、惯性等院里识别自身位置变化，从而让用户在虚拟世界中进行对应的位置变化，这一位置调整既可是相对变化（相对原点），也可是绝对变化。
代表产品	基于可见光模式的 PSVR、Oculus Rift “星座”定位系统、HTC Vive “灯塔”激光定位系统等	单目鱼眼 Qualcomm VR820/835、基于多摄像头 / 飞行时间的 Microsoft Hololens、基于结构光的 Intel RealSense 等
优势	算法原理简单，鲁棒性强，普遍准确度达到厘米级，精密度达到毫米级，可满足 VR/AR 体验要求	可在移动环境下使用，使用环境不受限制
问题	仅适合在固定场景下（家庭/商业体验店）使用，外部设备的安装调试繁琐，且需独立供电，通常搭配主机式 VR 终端实现。	算法普遍较复杂，须占用系统大量资源，准确度和精密度普遍弱于 Outside-in 技术路线，且鲁棒性存在一定缺陷。
示意图		

图 11 追踪定位领域两类技术路线对比总结

### 手部体感交互呈现由手势识别向手部姿态估计/跟踪的发展趋势。

手势识别是让静态手型或动态手势与确定的控制指令进行映射，触发对应的控制指令。此类交互须用户提前对手势进行一定的学习和适应，因此为交互体验的提升带来较大挑战。目前，以 Microsoft Hololens 为代表的 AR 头显广泛采用手势识别，其优势在于发展相对成熟，对硬件器件性能要求较低，普通单目/RGB 摄像头即可实现，问题在于用户学习成本较高，且仅能实现某些特定指令，交互效率较低，不够自然。手部姿态估计/跟踪并不判断手部形态实际含义，而通过还原手部 26 个自由度的关节点姿态信息，进一步重建整个手部骨架和轮廓，虚拟手与现实世界中双手的活动保持一致，用户可像用真实手操作现实物体一样对虚拟信息进行操作，学习成本较低，可实现更多、



更复杂、更自然的交互动作，主要问题在于遮挡等条件下的性能表现尚待提升，同时由于缺乏必要反馈，此类手部体感交互技术还须持续综合改进用户体验。目前，诸多初创公司提供基于双摄/结构光/飞行时间等定制化、模组化的此类解决方案，代表产品如 LeapMotion、IntelRealSense、凌感、锋时互动等。

## 2、AR 感知交互的发展趋势侧重于基于机器视觉的环境理解

环境理解呈现由有标识点识别向无标识点的场景分割与重建的发展方向。相比 VR，由于 AR 大部分视野中呈现真实场景，如何识别和理解现实场景和物体，并将虚拟物体更为真实可信的叠加到现实场景中成为 AR 感知交互的首要任务，而基于机器视觉的环境理解成为这一领域的技术焦点。在 AR 应用的早期，绝大部分 AR 引擎通过获取图像中标识点（Marker）的特征信息并与预存的模板进行匹配，来识别当前 Marker 的种类及位置信息，Marker 从如 ARToolkit 等有明确边缘信息和规则的几何形状演进到任意图像（如 Metaio、Vuforia 等商业引擎），这类基于标识点的识别技术使用限制较多，应用场景较为狭窄。随着深度学习和即时定位与地图构建（SLAM）等识别和定位重建技术的发展普及，未来的 VR/AR 将不仅局限在对特定 Marker 的识别，而会逐渐拓展到对现实场景的语义与几何理解。在语义理解方面，主要任务是利用卷积神经网络（CNN）对单帧图像或连续多帧视频中所出现的物体和场景进行识别和分割，大致分为分类、检测、语义与物体分割，即确定图像中物体类别、大概位置、物体基本边缘轮廓以及针对分割出的同类物体，进一步分割底层组成部分。基于深度

学习的语义理解通常需要庞大的训练数据集进行模型训练，但效果显著优于老旧的基于 Marker 的识别技术，目前广泛用于 AR 小物体的识别分割及跟踪。**在几何理解方面**，SLAM 早期应用在机器人领域，以出发地点为起始位置，在运动过程中通过重复观测到的地图特征来定位自身位置和姿态，再根据自身位置增量构建地图，达到同时定位和地图构建的目的。在 VR/AR 领域，SLAM 广泛用于 Inside-Out 追踪定位中，此外，还可利用 SLAM 的建图过程对场景进行 3D 重建，将之作为虚拟信息呈现的理想界面。目前谷歌、微软、苹果等 ICT 巨头及各类科技型初创厂商在此方面积极布局。

### 3、 VR 感知交互的发展趋势侧重于多通道交互

**提升 VR 用户各感官通道的一致性与沉浸体验成为感知交互领域的重点发展趋势。**多通道交互的一致性主要表现为视觉、听觉、触觉等感官的一致以及主动行为与动作反馈的一致，基于用户眩晕控制与沉浸体验方面的特性要求，浸入式声场、眼球追踪、触觉反馈、语音交互等交互技术成为虚拟现实刚性需求的趋势愈发明显。**浸入式声场方面**，声音在交互领域的重要性被广泛重视，通过设计头部相关传递函数（HRTF）强化视觉和听觉的一致性，以实现逼真的声音方位与远近效果，同时模拟基于反射、遮挡、隔绝封闭、混响回声等声音氛围的传播路径，如 Nvidia 借鉴光线追踪渲染技术思路，通过将 VR 音频交互映射到 3D 场景中的物体上，旨在打造符合听觉与声学特性的 VR 浸入式声场。目前，传统声学厂商如 Dolby、DTS 以及微软、谷歌、高通、Unity、Oculus、OSSIC 等纷纷推出浸入式声场的软硬件产品。**眼球追踪方面**，之所以备受业界推崇热炒，一是眼球追踪搭配注视点渲染，针对用户注视点的调整，不同区域采用不同的渲染分辨率，从

而降低计算资源占用、功耗及 GPU 成本，有望成为移动端实现高沉浸感 VR 体验的必要技术。二是有望解决可引发用户眩晕的辐辏调节冲突，多焦显示通过光学设计实现局部模糊，相比之下，变焦显示通过 GPU 注视点渲染实现局部模糊，而这一过程有赖于眼球追踪。因此，**多焦显示+注视点渲染+眼球追踪有望成为虚拟现实领域新兴的关键技术组合**。三是可用于 VR 内容设计创新，如 FOVE、Tobbi 企业创建的 VR 游戏《审讯》、《SOMA》等。目前，代表性的公司有刚被 Apple 公司收购的 SMI、瑞典厂商 Tobbi 及国内的七鑫易维等。**触觉反馈方面**，目前缺乏反馈导致的操作精度下降成为裸手交互难以被广泛认可的重要原因。从低成本的震动触觉反馈，到高成本的机械力反馈，以及尚不成熟的静电摩擦，触觉反馈技术被业内愈发关注，目前在交互手柄上，Oculus Touch 和 Vive Controller 开展了深入工作，诸如 Go Touch 等初创公司尝试指套类等反馈方式。

综上，VR、AR 在基础需求上存在共通之处，即现实位置坐标与虚拟位置坐标的映射关系成为感知交互顺利进行的先决条件。因此，各类追踪定位技术成为 VR/AR 引擎或 SDK 的基础能力，定位的准确度和精确度决定了引擎/SDK 的整体可用性。对于 VR 而言，感知交互侧重于多通道交互。由于虚拟信息覆盖整个视野，重点在于现实交互信息的虚拟化。对于 AR 而言，由于大部分的视野中呈现现实场景，感知交互侧重于基于机器视觉的环境理解。总体来说，感知交互是各大厂商重兵投入的热点领域，也是目前产品市场最有可能实现差异化的领域，相关需求非常旺盛。



图 12 虚拟现实感知交互关键技术路标

#### （四）网络传输技术呈现大带宽、低时延、高容量、多业务隔离的发展趋势

虚拟现实涉及接入网、承载网、数据中心网络、网络传输运维与监控、以及投影、编码压缩等网络传输技术。虚拟现实端到端网络传输的需求以用户体验为发展主线，沉浸感不断增强，虚拟现实业务承载的端到端网络传输示意图如下。



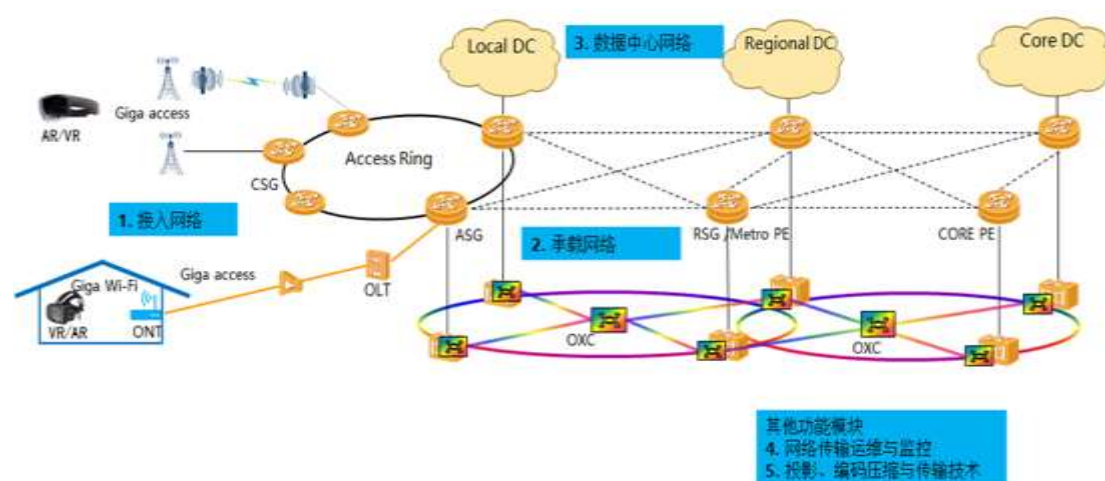


图 13 虚拟现实业务承载的端到端网络传输示意图

## 1、 新型 Wi-Fi、大容量 PON 与 5G 成为虚拟现实接入网 络技术的发展趋势

下一代 Wi-Fi 技术最大可实现 10Gbps 空口速率的家庭无线网络覆盖，VR 头显无线化基于 60GHz 的 Wi-Fi 技术。家庭无线网络的覆盖可保证虚拟现实移动便利性以及满足业务体验的带宽、时延等要求。家庭无线网络广泛应用的是基于 802.11n 或 802.11ac 标准的 Wi-Fi 设备，其中 802.11n 同时支持 2.4GHz 和 5GHz 频段，802.11ac 支持 5GHz 频段。基于 802.11ac 的 Wi-Fi 在 80MHz 频谱上通过 4x4 MIMO、Beamforming 等技术可实现最大 1.7Gbps 空口速率。下一代 Wi-Fi 技术为 802.11ax，引入 8x8 MIMO、OFDMA、1K QAM 等新特性，最大可实现 10Gbps 空口速率，同时抗干扰能力强，以保障丢包率、时延以及带宽稳定性等性能指标。此外，VR 头显无线化是利用无线传输技术进行无损的视频传输以解决当前头显有线连接影响用户体验。IEEE 802.11 目前在制订基于 60GHz 的下一代 WiFi 标准 802.11ay，通过 channel bonding、MU-MIMO 等技术提供 20-40Gbps 带宽，可实现无

压缩视频帧数据传输。

**综合 PON 的带宽能力和时延性能，光接入技术可以满足 VR/AR 业务承载。**固定宽带接入 EPON/GPON 在整个网络中起着对家庭网络的接入和汇聚的作用，成为运营商最靠近用户的网络。当前已规模部署的 FTTH 技术 EPON/GPON，GPON 技术可提供下行 2.5Gbps、上行 1.25Gbps 实际带宽，而 EPON 则可提供对称 1Gbps 实际带宽，时延约为 1-1.5ms，已能基本满足小规模 VR/AR 业务的承载要求。而下一步 10G PON 技术的部署，将带宽提升 10 倍；另外，IEEE 802.3 已开始着手 25G/100G PON 标准（其中 25G PON 用于 FTTH 场景），ITU-T 也已着手 10G+速率的下一代 PON 需求和技术研究；同时，各大通信设备和光模块设备厂商也积极跟进相关的技术研究和标准制定。

**5G 的超大带宽、超低时延及超强移动性确保虚拟现实完全沉浸体验，VR 成为 5G 早期商用的重点应用领域。**5G 移动通信技术在提升峰值速率、移动性、时延和频谱效率等传统指标的基础上，新增加用户体验速率、连接数密度、流量密度和能效四个关键能力指标，1ms 的 E2E 时延、10Gbps 的吞吐量以及每平方公里 100 万连接数成为 5G 使能未来通信最为关键的三个需求维度。从 5G 应用场景看，5G 用户体验速率可达 100Mbps 至 1Gbps，传输时延可达毫秒量级，支持移动虚拟现实等高带宽、低时延业务，有助于运营商扩展商业边界。目前，日韩等在 5G 商用规划较早的国家，明确计划将虚拟现实作为先期重点应用领域。

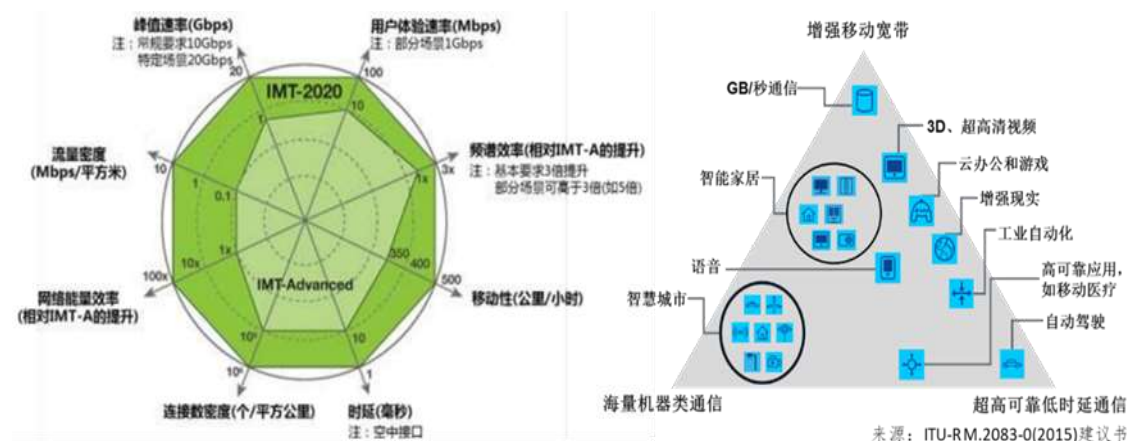


图 14 5G 关键能力指标与三大应用场景

5G规划	频谱	时间	早期应用领域
韩国	3.4-3.7GHz, 28GHz	2018展示	虚拟现实 (2018平昌冬奥会)
日本	4.5GHz, 28GHz	2018展示	虚拟现实、云计算、自动驾驶与无人机、工业设备
	3.6-4.2GHz, 4.4-4.9GHz	2020商用	虚拟现实 (2020东京奥运会)

图 15 5G 商用时间较早国家的先期应用领域

## 2、架构简化、智能管道、按需组播、网络隔离成为虚拟现实承载网络技术的发展趋势

VR 业务体验带来承载网络建设新理念。传统承载网络建设较少考虑业务的体验需求，通常以达到总带宽占用率门限后，进行网络规划或扩容。虚拟现实不仅带宽要求高且时延敏感，为满足这类业务的承载需求，提出承载网建设三大理念。一是业务体验可基于业务的每次交互（Per-Interaction）进行保障，如转头切换视角、移动切换视点等不同的交互体验共同形成了业务体验。二是网络能力可从 Per-Interaction 的时延需求出发，如要求 VR 沉浸体验下切换视角时延需求在十毫秒量级。三是从业务的具体时延需求出发，承载网络规划合理的网络带宽进行带宽满足，如承载网须在十毫秒级的粒度内



满足 VR 大流量传输需求。

**承载网络开放组播能力进行直播视频承载。**传统的使用单播承载直播视频的方案需要消耗更大带宽，对视频服务器和承载网络来了很大的挑战。当前 OTT 普遍策略是降低业务码流，但也降低用户的观看体验。通过将单播承载方式换为组播承载方式后（Multicast On Demand, MOD），使用组播来承载 VR 直播业务，网络流量和 CDN 服务器负载不会随着 VR 直播接入的观看用户数的增加而增加，进而保障用户体验。

**发展网络数据面隔离技术，保障低时延业务服务等级。**由于 IP 网络的带宽是多业务共享，难以保证时延敏感业务。FlexE 等网络隔离技术面向 VR\AR 等时延敏感业务，可以支持大颗粒带宽业务的物理隔离和捆绑，能够在同一个端口上实现业务间隔离，能够实现 MAC 层速率和物理层承载速率完全解耦，更灵活的去进行网络设计以及扩容，实现稳定的端到端低时延网络。

**VR 体验要求促进智能定制管道发展。**VR 业务流若与其他互联网数据一起无差异转发，无法保证业务端到端的质量。为解决这一问题，运营商提供差异化的可定制服务，已满足管道按需、动态、开放、端到端的发展趋势。其中，按需是指网络资源需要根据 VR 业务需求相应动态扩容或降低。动态是指网络设备对业务的 QoS 并非提前静态配置预留，而是在会话发生时进行秒级端到端计算，在沿途各节点分配资源和调度，业务终止时资源立即释放，供其他业务使用，以提高资源的利用率。开放是指运营商提供友好、明确、完善的接口，在需要为 VR 业务定制网络质量保证时调用进行定制，包括服务申请、调整、释放、计费、对账、结算等。端到端是指要保证业务的质量，需要端

到端进行统一管理和计算。通过集中的管理单元，实时获取承载业务的网络上每个设备的状态（带宽、时延等），当发生业务请求时，能够根据各设备的状态，计算出合理路径，并向路径上每个设备下发资源预留指令，完成整个路径的准备。

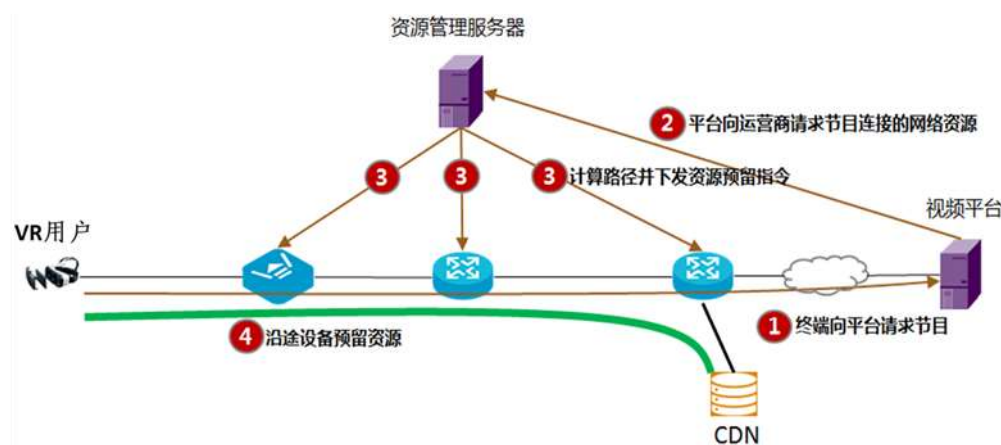


图 16 基于 VR 业务定制网络服务

**实现网络架构扁平化，提升承载网传输效率。**VR 等大视频对带宽、时延、丢包率都有很高要求，使当前传统的高汇聚、高收敛承载网络面临如下挑战。一是网络效率低，由于汇聚层次越多，收敛比越低，同步扩容的端到端设备规模就越大；CDN 部署位置高，业务流经过的网络设备众多，发生拥塞的概率也越大，端到端时延也会增加。二是用户体验差，多种业务并发时，随着网络利用率的提升，丢包和时延会同步提升；在轻载网络中，98.7%的突发丢包发生在从高带宽向低带宽过度的汇聚节点，丢包率的提升，降低视频业务体验。基于上述原因，首先需要对传统网络的层次和网络结构进行简化，CDN 下移到 BNG，甚至 CO，消除 LSW 汇聚层和城域汇聚层，BNG 向上直连 CR，向下下沉到网络边缘，OLT 直通 BNG，通过部署 OTN 到 CO 可以提供单纤超大带宽、最佳适配距离、流量无收敛、快速按需带宽的互联基础管道，提高承载网传输效率。

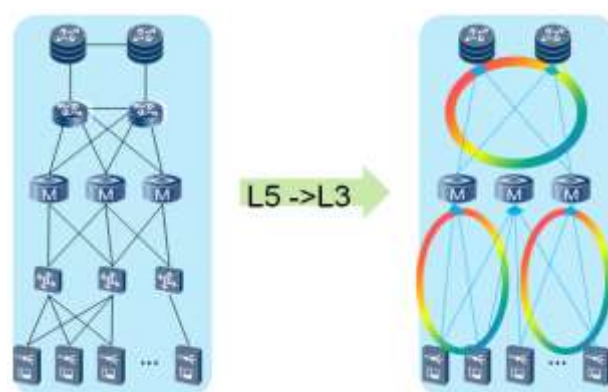


图 17 承载网架构层次扁平化（5 层降为 3 层）

### 3、 低延迟的数据中心成为实现 VR 计算能力云化的关键方向

低延迟数据中心网络保障主要依赖拥塞控制技术，拥塞控制技术从被动拥塞控制向主动拥塞控制演进。当前 VR 业务带来的良好视觉体验主要依赖于价格高昂的 GPU，未来趋势是将 VR 本地计算能力云化，即将复杂的运算功能部署在数据中心内。VR 功能云化后，对数据中心网络有了新的要求，即带来比以前更大数据流，以及更低的业务时延要求。根据保障低延迟数据中心网络的拥塞控制技术的控制点，以及对网络拥塞状态感知方式的不同，拥塞控制技术主要分为被动和主动式两类。相比被动拥塞控制在高速网络下反馈速度变慢等不足，主动式的控制点在网络侧或接收端，因此无需测量，可精准明确拥塞状态和多业务流在接收端的并发情况。根据拥塞状态信息和并发流信息，主动分配速率，收敛速度快，源端根据明确速率精细控制数据发送，结合流量需求做不同流调度，代表技术有 ExpressPass、pHost 等。拥塞控制技术从被动拥塞控制向主动拥塞控制演进，在未来，拥塞控制技术更应该以应用需求为中心，满足应用的具体的优先级、带宽、延迟、流完成时间等相关具体业务需求，拥塞控制技术要以满足

业务需求为首要目标，完成拥塞控制和避免。

#### 4、 投影、编码与传输技术成为优化 VR 网络性能的重要方向

**投影技术由等角投影向多面体投影路线发展。**由于虚拟现实需要解决如何将用户看到的球面信息转变为平面的媒体格式，因此运用了传统视频没有涉及的投影技术。等角投影（Equirectangular Projection, ERP）是当前 VR 360 视频主流格式，但画质存在失真，压缩效率存在瓶颈。国外 Youtube、Oculus、Samsung Gear，国内优酷、爱奇艺均采用此种投影格式生产 VR 360 媒体文件。多面体投影是业界关注的新方向，具有失真小、压缩效率高的特点，可分为六面体、八面体、20 面体、金字塔投影等。在 2016 年 MPEG 会议上，三星提交了关于多面体投影格式的提案。

**下一代编码技术稳步推进，压缩效率显著提高。**目前在 VR 编码主要使用 HEVC 编码，MPEG 等标准组织的最新研究进展表明，对应于 HEVC 的下一代编码技术（H. 266）的压缩效率至多提升 30%。目前已有编码工具均针对 2D 平面视频编码，而对球面数据的编码工具尚未出现，因此针对 VR 360°视频的球面编码成为研究重点。

**VR 传输技术路线由全视角等质量传输向全视角不等质量、FOV 传输方向发展。**在全视角等质量传输中，终端接收到的一帧数据中包含了用户可看到的空间球对应的全部视角信息。用户改变视角的交互信号在本地终端完成处理，终端根据视角信息从已缓存到本地的帧中解出对应的 FOV 信息，在播放器中进行矫正还原，使用户看到正常视角的视觉信息。因此交互体验要求的 20ms 由终端来保证，不涉及网



络时延和云端时延。这一技术路线对带宽的要求较高，时延要求较低。属于“带宽换时延”。在内容准备侧，须编码全视角 VR 内容，准备多个质量的 VR 码流，客户端根据带宽选择 VR 码流播放，然而相当部分传送到客户端的内容数据因 FOV 的影响损失浪费。在 FOV 传输技术路线中，终端接收到的一帧数据中不再包含空间球的无差别全部视角信息，而是根据用户的视角姿态构造对应的帧数据，一帧数据中只包含等于或大于视场角的部分视觉信息，终端需要判断用户转头改变视角的姿态位置，并将交互信号发向云端，请求新的姿态对应的帧数据。因此交互体验要求的 20ms 既包含终端处理时延，也包含网络传输时延和云端处理时延。这种方案的带宽要求降低，时延要求变高，属于“时延换带宽”。

## 5、 面向 VR 业务的网络运维与评估成为优化用户体验的重要途径

面向 VR 业务的端到端网络传输运维能力与 QoE 评估体系成为发展重点。相比于普通 4K 视频的观看，虚拟现实从视频内容制作到终端观看的过程更加复杂。这种情况下带来故障种类多，视频体验劣化难定界，当前缺乏有效的方法来进行体验故障的快速定责和诊断。因此，实现端到端网络运维能力，需要在云管端多点部署探测器实时监控业务质量，做到故障快速感知和定界。此外，完善的用户体验评价体系有助于制造商完善自身产品及服务商改善业务体验质量，促进产业链的规范发展。目前，业界提出了一种层次化、多感知的 VR QoE 评估方案，对用户主观真实体验进行建模，衡量网络传输场景下的媒体感受质量。

综上，虚拟现实网络传输技术一方面是垂直领域业务在时延、带宽、可靠性、移动性等方面的需求不断推动网络传输的发展。另一方面，承载网技术演进将促进网络的敏捷、开放，以及实现多业务隔离承载和日趋灵活的运营模式。技术趋势表现为一是大带宽接入，针对固定接入场景，室内 Wi-Fi 从百兆、千兆覆盖到下一代 Wi-Fi 技术实现万兆覆盖。有线接入方面，10G PON 已经成熟，可以在合适的场景选择，对更大带宽的需求，25G PON，100G PON 的标准正在定义中。针对无线接入，实现 10GE 吞吐量是 5G 使能未来通信最关键的三个需求维度之一；二是高容量承载网络，承载网络接入环以光纤环为主需要 50G-100G 容量，末端微波需要 10G-40G 容量，汇聚核心需要 200G 或 400G 容量；三是低时延网络，构成网络的每个网元具备超低时延转发的能力，达到每跳 10us 级别的指标。承载网架构也需要面向时延要求进行优化，并提供时延可测量、可管理的体系架构。四是敏捷和开放的网络，通过 SDN 使能的网络 IT 化和自动化转型，提供网络的敏捷化和开放性能力，匹配网络云化的部署效率和复杂流量模型，最终实现网络的 E2E 资源管理呈现、业务发放能力，以及屏蔽下层网络设备的复杂实现，对网络的资源实时进行调度，提高资源利用率；五是多业务隔离，由于不同业务需求迥异，数据面有隔离需求，管理和控制面有独立运营需求。承载网通过网络切片技术，实现业务隔离，支撑多租户对网络切片的控制。

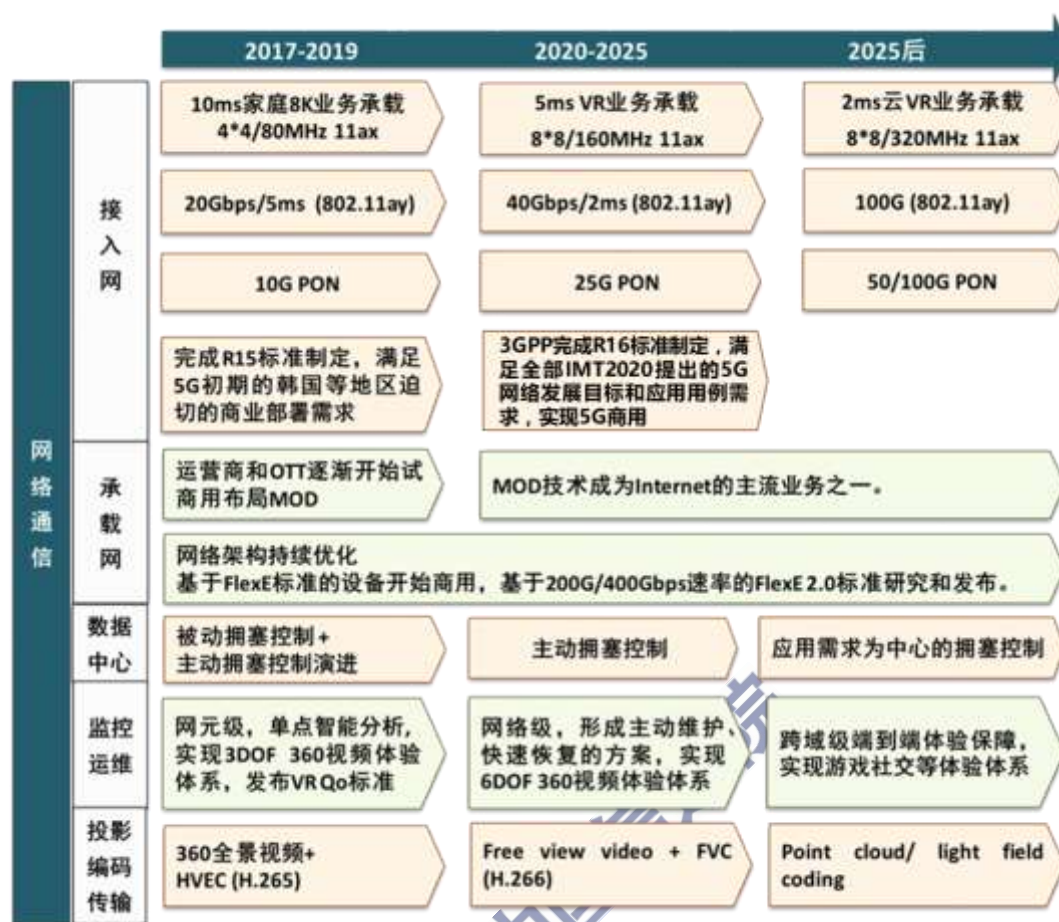


图 18 虚拟现实网络传输关键技术路标

## （五）渲染处理技术遵循渲染优化算法与渲染能力提升

### 双轨并行的发展路径

渲染优化算法聚焦 VR 渲染的“节流”，即基于视觉特性、头动交互与深度学习，减少无效计算与渲染负载。虚拟现实渲染处理注重渲染后的高画质、渲染过程的低开销及低时延，以期望给用户提供流畅的、清晰的和实时的虚拟现实视觉体验。当前矛盾集中于用户更高的体验需求与渲染能力的不足，因此减少计算开销，降低渲染时延成为发展趋势，主要技术路径如下，一是减少 GPU 工作量，如注视点渲染（视网膜中央凹渲染，Foveated Rendering）。早期 VR 渲染技术对 FOV 内所有细节进行高分辨率渲染，由于人眼中央凹区域(Fovea)



内集中分布着负责视觉清晰度的视锥细胞，且占 FOV 很少部分，围绕中央凹向外的区域视觉感知逐渐模糊，大部分区域高分辨率渲染实际上造成了较大开销浪费。因此，业界提出 Foveated Rendering，即仅对人眼中央凹区域进行高分辨率渲染，对此区域外则逐渐降低分辨率，通过此技术可降低 30% 以上的 GPU 渲染开销；二是减少 CPU 开销，如 Multi-View 渲染，早期 VR 渲染每一帧需要同时渲染双眼图像，每帧都须对左右眼图像分别提交一次渲染请求，其对 CPU/GPU 的资源占用约为普通渲染的两倍。因此，业界提出 Multi-View 渲染技术，即利用左右眼图像大部分信息相同，而仅在视差上存在少量差异的原理，CPU 向 GPU 提交一次渲染命令及视差信息，GPU 即可完成双目渲染，从而节省大量 CPU 资源，有助于 GPU 帧率提升；三是降低渲染时延，如异步时间扭曲（Asynchronous TimeWarp, ATW）、异步空间扭曲（AsynchronousSpace Warp, ASW）、前缓冲区渲染（Front Buffer Rendering, FBR）等。复杂内容的渲染难以在一帧刷新周期内完成，屏幕刷新时无新内容产生，表现为画面卡顿，因此，业界提出 ATW、ASW 渲染，即通过预测下一帧时头部转动与平移的姿态，对上一帧图像根据此姿态差值进行位置变换，插值生成新一帧中间图像，解决缺少当前帧的卡顿问题，该技术能够在多数情况下保证用户获得流畅的视觉体验，已成为 VR 渲染的核心技术之一。此外，目前画面光影效果对计算资源开销高，基于深度学习的全局光照渲染技术，可通过模拟光线与物体互动的物理效果生成影像，将 GPU 尚未渲染出的内容区块，采用深度学习方式呈现，不仅成倍提高图像生成速度，大幅提高交互式渲染过程的流畅度，同时减少画面噪点。

**渲染能力提升聚焦 VR 渲染的“开源”，主要表现在云端渲染、**

**新一代图形接口、异构计算、光场渲染等领域。**在云端渲染方面，为带给用户更加逼真的沉浸体验，需要实现 16K/32K 分辨率、120 帧率+、实时光照等效果，现有 GPU 硬件难以达到这一标准，因此，业界提出云渲染技术，通过将内容渲染部署到云端，终端侧实时传输如 6DoF 的姿态和位置信息等各种传感数据及交互控制信息，渲染图像由云端的计算集群完成后返回终端侧。云渲染术将大量计算放到云端，消费者可在轻量级的虚拟现实终端上获得高质量的 3D 渲染效果，终端可从较高硬件性能要求上解放出来，消费模式上也可根据资费情况来获得高中低不同层次的沉浸体验。目前云渲染技术主要集中在电影后期制作、工业设计等领域，消费者 VR 或游戏领域目前还没有成熟的商用，但却可能是未来的主流；在图形接口方面，以 Vulkan 为代表的新一代图形接口助推虚拟现实应用实现稳定的低时延、低开销渲染，有关发展特性主要有：**一是跨平台特性**，有别于微软的 DirectX 和苹果的 Metal，Vulkan 支持 Linux、Windows、Android 等操作系统，以及 AMD、NVIDIA、Adreno、PowerVR、Mali 等桌面和移动 GPU。**二是更加灵活精准的 GPU 控制**，OpenGL、OpenGL ES 复杂的驱动导致过度的 CPU 开销及设备运行的不可预测性，虚拟现实应用不能预测某个接口调用开销，难以实现渲染优化。Vulkan 提供更加简单的驱动结构，将内存、多线程等管理转移给应用程序，从而实现更小的计算开销和更好的设备一致性。**三是更加有效的多核 CPU 利用率**，每个独立线程都可通过 Vulkan 向命令缓冲区（Command Buffer）并行添加命令，从而避免 CPU 成为图形渲染过程的瓶颈；在异构计算方面，对于畸变校正、色散校正、ATW/ASW 渲染等后处理部分计算，若与应用内容渲染共享 CPU/GPU 资源，将在一定程度上引起资源竞争，当应用

内容复杂度较高时，后处理过程可能难以在指定时间内完成，导致输出帧率不稳定。因此，业界尝试后处理通过如 ASIC、FPGA 等异构方式进行，进而提升输出帧率的稳定性，降低 MTP 时延；在光场方面，现有的虚拟现实的成像方式基本上采用的是有双目视差的二维图像成像方法，导致辐辏调节冲突，进而引起眩晕不适。眼睛通过改变焦距来采集不同距离、位置和方向的物体表面反射的光线，这些光线的全集即为光场，业界已有厂商制作出能够采集光场信息的光场相机，光场渲染是对采集到的光场信息进行还原，进而实现用户更高的沉浸体验需求。目前光场信息的采集、存储及传输面临着如巨大的数据量等较多基础问题，光场渲染技术尚处于较为初级的探索阶段，但随着大众对 VR 体验的更高需求，光场渲染可能成为未来关键的渲染技术。

综上，渲染处理主要涉及两部分，一是内容渲染，即将三维虚拟空间场景投影到平面形成平面图像的过程。二是终端渲染，即对内容渲染生成的平面图像进行光学畸变、色散校正，以及根据用户姿态进行插帧的处理过程。所有的渲染技术旨在提升渲染性能，以最小的开销来渲染更高分辨率、更多用户可感知的细节内容。其中，VR 渲染关键在于复杂的内容运算，如两倍于普通 3D 应用的 GPU 运算量、实时光影效果等，AR 渲染技术与 VR 基本一致，但应用场景侧重于与现实世界的融合，如虚实遮挡、光影渲染、材质反光渲染等。未来，虚拟现实渲染技术将持续向更加丰富、逼真的沉浸体验方向发展，因此，在硬件能力、成本和功耗制约及 2020 年前后 5G 商用的情况下，注视点渲染、云端渲染、渲染专用芯片、光场渲染等有望成为业界主流。



图 19 虚拟现实渲染处理关键技术路标

### 三、产业生态趋势

#### （一）虚拟现实产业生态以器件设备、工具平台与内容应用为主

相比手机、电视、PC 等较为成熟的电子信息产业，虚拟现实产业生态类似，实则差异较大。即产业链参与主体大致趋同，但在硬件方面，手机等设备的“性能过剩”成为虚拟现实的“性能门槛”。





来源：中国信通院

图 20 我国虚拟现实产业视图

此外，为保证沉浸感等用户体验，虚拟现实内容制作所须的工具/平台改变甚巨，围绕人机交互这一核心特性，业界对影音捕捉、开发引擎、网络传输、SDK/API 等领域深度优化，乃至重新设计研发。总体看来，VR 与 AR 产业体系相似，区别主要在于目前企业数量上 AR 明显少于 VR 领域，且部分领域的细分产品市场各有侧重，如在内容制作影音捕捉方面，VR 聚焦 360 度全景拍摄，AR 聚焦三维场景测量。



## （二）感知交互与内容制作成为虚拟现实下一阶段的发展重点

虚拟现实产业发展遵循“硬件-内容”的发展节奏。硬件是堡垒，内容/算法则是提升体验的主要方式。2016 年前后，随着 HTC Vive、OculusRift 和索尼 PSVR 产品的相继推出，标志着虚拟现实的硬件门槛已经显著降低，产业初步完成了第一步的硬件发展阶段，开始迈向以感知交互和内容制作为主的第二步发展阶段。

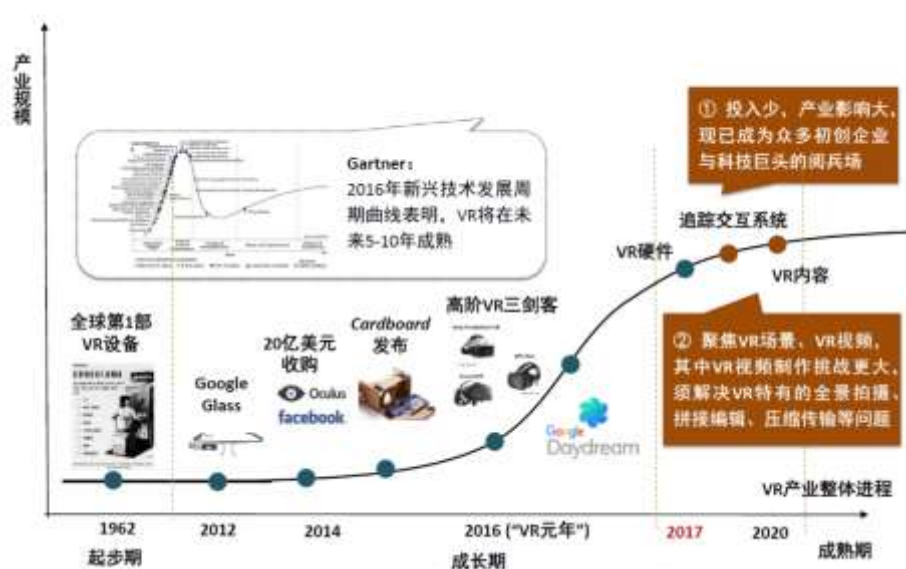


图 21 感知交互和内容制作成为下一阶段发展方向

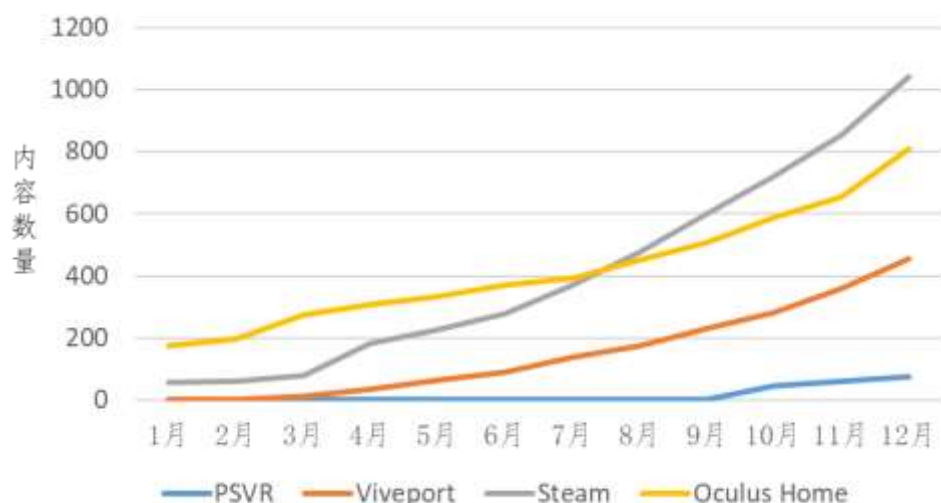
**感知交互方面**，由于投入小，产出大，感知交互成为各类虚拟现实企业的技术阅兵场，投资、合作、兼并活跃。各类初创企业富集，苹果、微软、英特尔、谷歌等科技巨头通过兼并、自研等积极储备有关技术。从知识产权分析，3D 建模成为业界焦点，此外，眼球追踪、力反馈等多通道交互的发展热度迅速上升。**内容制作方面**，主要聚焦消费者市场的游戏/社交、视频/直播两大领域。其中，视频/直播的生产方式与传统相比差异较大。主要体现拍摄方式变化，叙事方式变

化，新增拼接缝合、开发引擎、畸变处理等生产工序以及压缩、传输技术上升为 VR 视频直播的技术瓶颈。根据映维网统计，2015 年在 Oculus Home、Steam、Viveport 以及 PlayStation Store 四个内容分发平台上的消费者内容仅为 200 款左右，而 2016 年迅速升至约 2400 款，增长十余倍。其中，Steam 平台上的每款应用平均用户量为 7.5 万人，中国团队所开发的内容平均用户量为四千人。

专利申请年	眼球追踪	力反馈和触觉反馈	3D建模	SLAM及时定位与地图构建技术
2016	178	215	1091	48
2015	115	134	888	54
2014	109	99	602	32
2013	76	74	538	21
2012	74	75	418	31
2011	22	66	348	10
2010	16	56	261	11
2009	8	34	195	7
2008	8	39	186	5
2007	7	24	119	6
2006	11	24	114	4
2005	6	12	96	5
2004	4	16	91	2
2003	2	23	79	2
2002	4	19	86	0
2001	9	17	75	0
2000	6	21	86	0
1999	5	13	58	0
1998	3	10	57	0

来源：中国信通院

图 22 感知交互领域专利申请热度



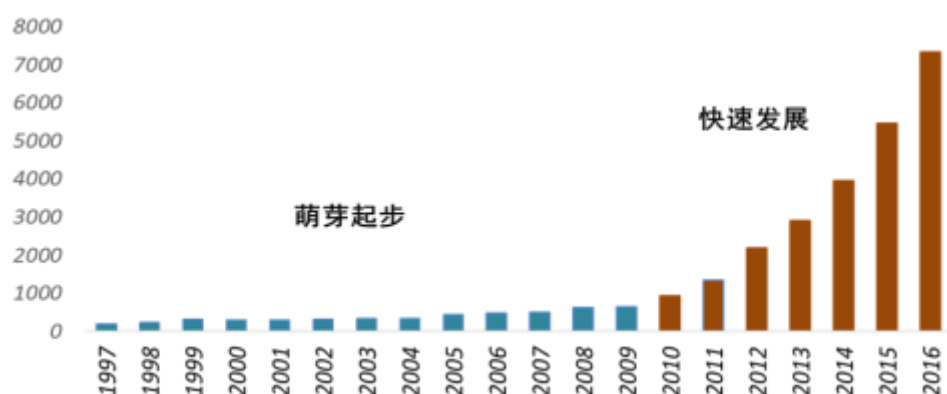
来源：映维网

图 23 2016 年各平台 VR 内容增长速度

### （三）知识产权竞争态势展现产业发展趋势

#### 1、 全球知识产权发展进入快速增长阶段，我国增速显著

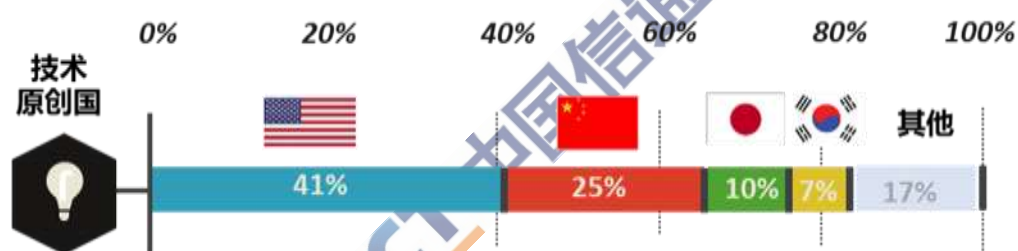
随着虚拟现实大众化与产业化发展，全球 ICT 巨头们纷纷对此积极布局，2010 年后申请量快速增长，预计 2020 年前年申请量将超过万件。截止至 2017 年 5 月底，全球虚拟现实有效专利累计约为 5.9 万件，合并同族约为 2.9 万个专利族，由于专利从提交申请到公开具有一定滞后性，下图 2016-2017 年专利数量少于该年的实际申请数量，且专利分析按照同族专利进行统计。



来源：中国信通院

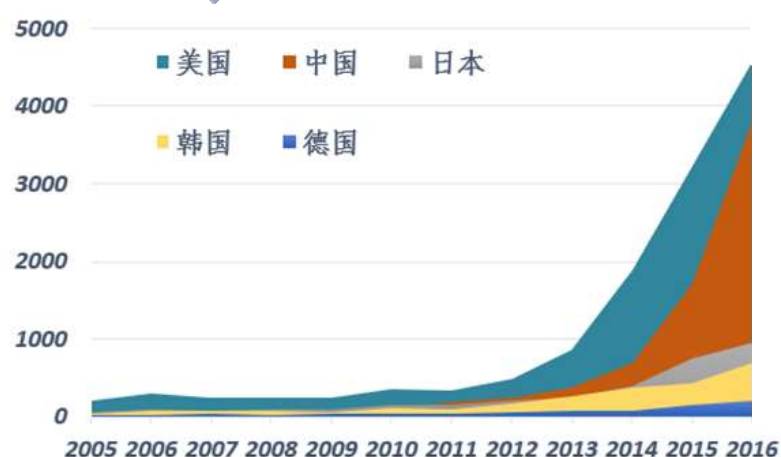
图 24 全球虚拟现实专利年度申请数量

统计虚拟现实专利技术原创国可知，美、中、日、韩均是专利数量较多且市场前景广阔的国家。美国在虚拟现实领域专利申请较早，我国在 2013 年后进入专利快速增长期，年度增幅明显。



来源：中国信通院

图 25 虚拟现实技术原创国专利申请占比



来源：中国信通院

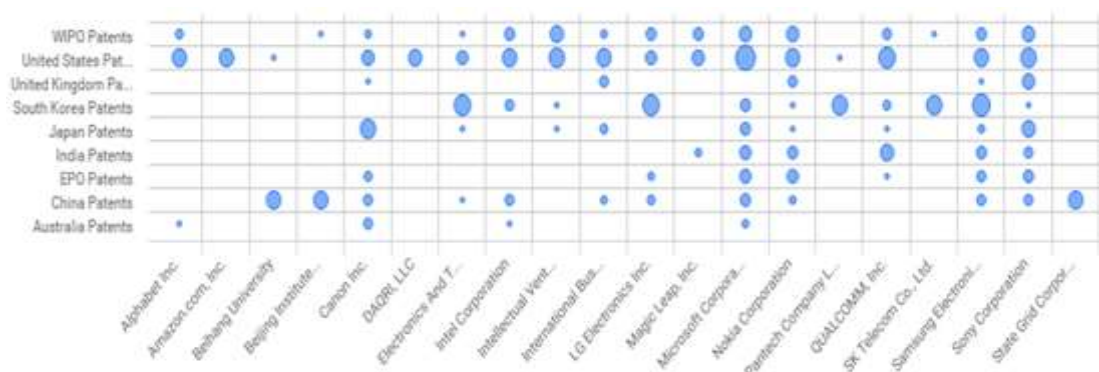
图 26 虚拟现实各国专利申请数量趋势

## 2、 国外巨头知识产权布局优势显著，专利战争与授权成本将成为影响我国未来虚拟现实产业健康发展的重要因素

从虚拟现实主要企业专利申请地域分布来看，美、日、韩、中是重要的目标市场国，微软、索尼、诺基亚、三星等将多个国家列为潜在市场，专利布局比较全面。国内的申请人鲜有其他国家或地区的专利申请。此外，我国高校和科研单位申请人占比约为 30%，显著高于美国 5% 的水平，高校和科研单位成为国内虚拟现实专利申请的重要主体，实业企业的专利申请量相对较少，且专利申请以外观设计和实用新型为主，技术成果产业化能力尚待加强。

目前，国内虚拟现实产业尚处于起步时期，厂商间的知识产权纠纷尚未大规模出现，但随着虚拟现实终端与应用的快速普及，专利战争难以避免，知识产权之争的背后是产品市场的竞争，也是产业话语权的竞争。我国虚拟现实产业很有可能会遭遇国外巨头的专利诉讼，通过“专利战”对产业格局重新洗牌。此外，专利之争事关从研发到生产中的多项专利授权成本。以智能手机为例，据《The smartphone royalty stack: surveying royalty demands for the components within modern smartphones》报告显示，一部售价 400 美元的智能手机，如果累积计算，厂商缴纳的基带、编码、LTE、GPS、WLAN 等专利授权费用合计可达 30%，甚至超过了其组件成本。比之智能手机，虚拟现实研发与生产所涉及的环节只多不少，专利之争将更加白热化，缺乏专利储备的厂商，将面临高额的专利许可成本或是遭遇侵权诉讼，难以在日趋激烈的市场竞争中立足。





来源：中国信通院

图 27 虚拟现实重点申请人专利地域布局

## （四）现阶段我国与国际一流水平在不同领域产业差距

### 各异

基于前文虚拟现实关键技术的分析，国内外有关领域产业发展梯队情况如下。

我国在虚拟现实近眼显示产业上与国际一流水平差距不大，但须强化对部分前瞻领域的技术攻关与专利布局。作为全球新型显示产业崛起的新兴力量，据中国光学光电子产业协会液晶分会统计，预计 2019 年大陆面板企业将以 35% 的产能面积市占率位居全球第一，本土 TFT-LCD 骨干面板企业在高分辨率、低功耗、窄边框等技术积累达到国际先进水平。相比液晶显示，由于 AMOLED 在技术体系与关键工艺方面尚未完全定型，目前我国尚处于追赶阶段，发展水平略高于日本，与产业主导者韩国三星、LG 的技术差距约为 2-3 年，须加速掌握 AMOLED 蒸镀、封装等成套工艺技术，实现稳定量产，加强大尺寸喷墨打印以及柔性 AMOLED 显示在柔性衬底与背板、薄膜封装等关键领域的技术攻关。相比硅基液晶显示，我国在 OLEDoS 领域技术专利积累较少，与国外 Sony、eMagin 等企业差距较大。在 Micro LED 方面，

由于技术、设备、供应链、成本、市场等方面因素，预计 2020 年后实现产业化规模应用，由于有机会触发显示产业的破坏式创新，全球 ICT 巨头 Sony、苹果、Facebook、鸿海等对此积极布局，通过掀起新一轮并购投资浪潮，旨在走出一条未来与 OLED 显示不同的技术路线。目前，我国 LED 市场具备一定规模，但总体营收不大，且集中于技术难度不高的公共显示市场，对 Micro LED 这一前瞻技术储备有限。在光波导、光场显示等光学技术方面，与国外厂商相比，我国技术积累主要集中在高校，实业企业的专利申请量并未形成规模，技术成果产业化能力不足。

在网络传输的各技术领域的第一梯队厂家中，基本上均同时包含国内和国外主流设备厂家，国内外总体发展水平接近。Wi-Fi 技术布局代表企业主要为高通、博通、华为、思科、英特尔。光接入领域是华为、中兴、博通、诺基亚。5G 方面有华为、高通、爱立信、诺基亚，其中爱立信与 Verizon 合作，在 2017 年通过赛车和虚拟现实头显来测试 5G 网络的速度和时延。数据中心网络拥塞控制布局方面，华为、思科、Juniper、微软等厂商技术积累聚焦于被动拥塞控制，谷歌、KAIST、UC Berkeley 等积极布局主动拥塞控制技术。在网络传输运维与监控中，代表厂商有华为、思科、Juniper、诺基亚，但在投影、编码压缩与传输技术领域，高通优势较为明显。

国内外企业在渲染处理领域差距显著。以美国为代表的国外主流企业在该领域的技术积累时间长、产品成熟度高（如下图），国内厂商以使用及技术跟随为主。

部分渲染技术布局	厂商	内容/技术
内容渲染	Unreal Engine	Multi-View
	Unity3D	Single Pass Stereo
云渲染	NVIDIA	GPU Cloud Rendering
	Autodesk	360 Rendering
	AMD	2009 Fusion Render Cloud
光场渲染	谷歌	2017 Seurat 渲染
	Lytro	Lytro光场相机
终端渲染	Oculus	2014 ATW 2015 Multi-View 2016 ASW 2017 Stereo Shading Reprojection
	SteamVR	2014 异步重投影
渲染硬加速	NVIDIA	提供VRWorks组件 2016 Multi-Res Shading Single Pass Stereo Lens Matched Shading VR SLI
	ARM	提供Mali VR SDK 2016 Multi-View

图 28 国外渲染企业代表产品布局

国内外企业在感知交互领域存在一定差距。以美国为代表的国外主流企业在感知交互领域的技术积累时间长、领域布局广，但由于这一领域有关技术尚未定型，且我国在人工智能方面具备一定基础，国外技术领先幅度尚不明显，相比之下，Apple ARKit、Google ARCore/Tango 等感知交互平台的生态优势更为显著。

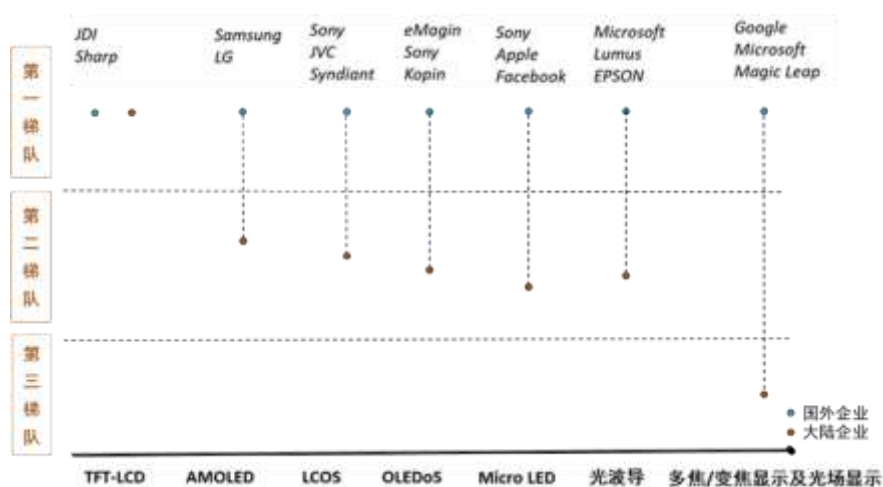


图 29 国内外虚拟现实近眼显示产业梯队

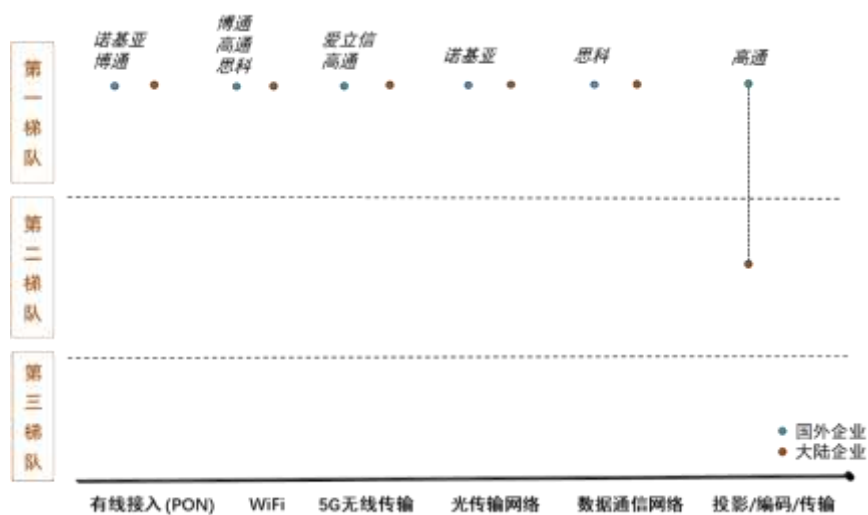


图 30 国内外虚拟现实网络传输产业梯队

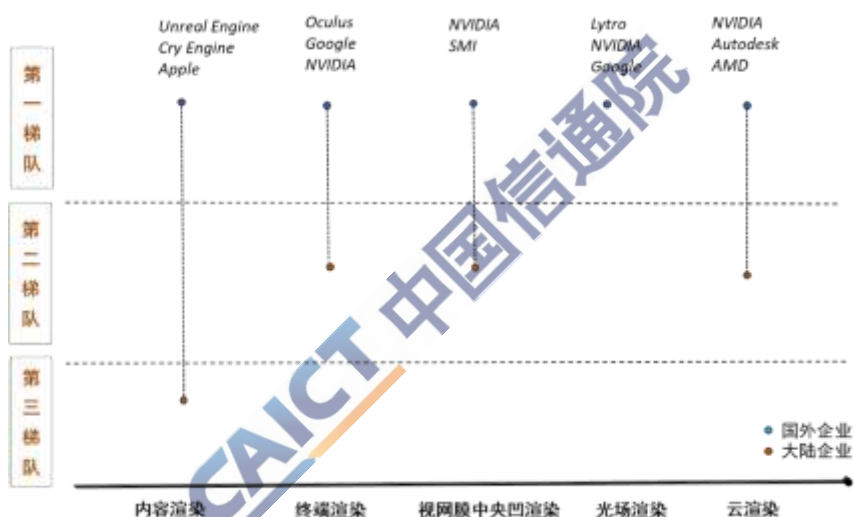


图 31 国内外虚拟现实渲染处理产业梯队

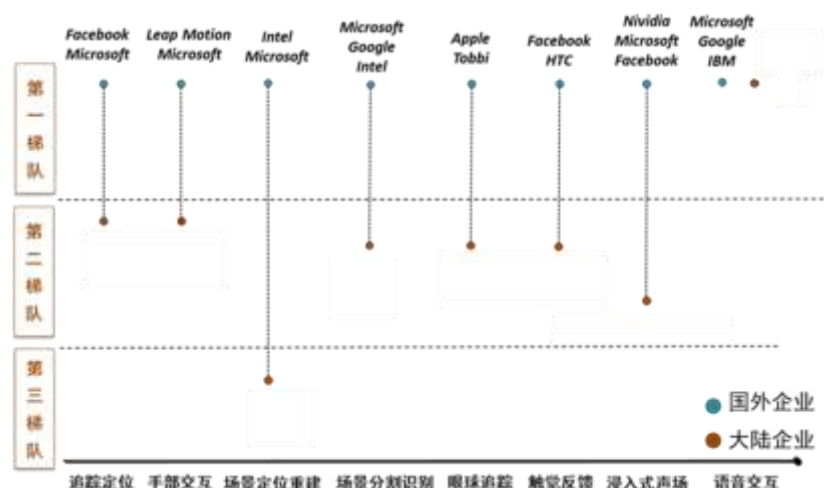


图 32 国内外虚拟现实感知交互产业梯队

### （五）“虚拟现实+”时代业已开启

虚拟现实业务形态丰富，产业潜力大、社会效益强，以虚拟现实为代表的新一轮科技和产业革命蓄势待发，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。目前，虚拟现实应用可分为行业应用和大众应用，行业应用主要包括工业、医疗、教育、军事、电子商务等，大众应用包括游戏/社交和影视/直播。虚拟现实应用正在加速向生产与生活领域渗透，“VR/AR+”的时代业已开启，据高盛公司预测 2025 年全球虚拟现实软件应用规模将达到 450 亿美元，其中游戏/社交、影视/直播类由大众推动，其余应用领域主要由企业及公共部门推动。





图 33 虚拟现实典型应用领域

## 1、 VR+工业方面,虚拟现实成为在智能制造领域发展重点

在《中国制造 2025》重点领域技术路线图重大政策文件中，虚拟现实被列为智能制造核心信息设备领域的关键技术之一，其基础是智能制造各个环节信息获取、实时通信，以实现动态交互、决策分析和控制。以汽车产业为例，虚拟现实在需求分析、总体设计、工艺设计、生产制造、测试实验、使用维护等环节的应用，实现了汽车设计制造测试的一体化。汽车厂商凭借虚拟现实可视化、可交互的技术特点，在与真实汽车同比例的虚拟空间中，动态调整设计细节与总体原型，同时进行各类路试、碰撞、风洞测试，通过虚拟设计、生产模拟、工艺分析与虚拟试验，大幅缩短了新车研发周期，降低了研发成本。目前，美国车联网与自动驾驶试验基地 MCity 计划通过虚拟现实方式将虚拟试验中的信息发送给真实场景下的车辆决策控制系统，以进行不同交通情景下的用例测试。此外，奥迪、福特、宝马、克莱斯勒、丰田、沃尔沃等主流车企积极引入 VR 技术用于汽车研发。奥迪推出

了基于 VR 的虚拟装配线校验，使流水线工人在三维虚拟空间内完成对实际产品装配工作的预估和校准，显著提升了生产与组装效率。福特使用 VR 技术检查汽车的整个外观与内饰设计，并查看特定细节，深入优化人体工程学设计。宝马计划把 VR 技术引入汽车研发的早期工作中，在汽车设计环节，身处不同地区的开发设计团队通过 VR 实现远程协作，并针对模拟的试驾场景，帮助工程师快速修正设计草案。

以工业互联网平台/物联网平台为基础，虚拟现实成为实现数字双胞胎（Digital Twins）的核心技术之一。以工业软件巨头 PTC 为例，PTC 将其在产品设计、PLM 领域积累的核心优势整合至 Thingworx 平台，并推出以数字化映射为基础的整体框架和一揽子解决方案。依托 Creo、Windchill、Axeda 等平台软件，在虚拟空间中构建出与物理世界完全对等的数字镜像，成为将产品研发、生产制造、商业推广三个维度的数据全部汇集的基础，其虚拟现实解决方案 Vuforia 实现了数据信息与真实物理环境间的互动，成为进行阶段性数据验证、业务流程参考的重要依托。



图 34 工业互联网/物联网平台

2、在 VR+医疗方面，虚拟现实在医疗领域应用于手术培训/导航、心理治疗和康复训练等领域

虚拟现实与医疗行业的结合正在逐步展开，将成为未来医疗行业的重要技术手段之一。例如，2016 年上海瑞金医院成功借助 VR 技术直播了 3D 腹腔镜手术，开创了国内 VR 直播手术的先河，无法现场观摩的医生可以通过 VR 眼镜学习高难度手术中的技巧；谷歌曾与多家医院合作测试谷歌眼镜，医生利用谷歌眼镜投射 CT 扫描和核磁共振结果，扫描条形码来获得医药信息等，提升了医疗效率；MindMaze 公司利用 VR 逼真的沉浸式体验来帮助病人康复，包括为患有“幻肢痛”的退伍军人解决心理障碍，为中风患者提供临床治疗等。据高盛报告显示，VR+医疗领域营收到 2020 年预计将达 12 亿美元，2025 年将达到 51 亿美元，用户规模将达到 340 万。目前愿意使用 VR 的医生较少，主要是受制于硬件成本、软件适用性等方面因素。

### 3、在 VR+游戏/社交方面，虚拟现实在游戏方面的应用将成为当前拉动产业发展的重要动力

虚拟现实与视频游戏的结合将为用户带来更为真实而强烈的感官刺激，而庞大的用户基数以及核心玩家对于新技术的开放性态度使得视频游戏有望成为最先发展起来的 VR 大众市场。以 VR+电竞为例，2015 年美国电竞赛事观众达到 3600 万，两倍于 NBA 观众人群，而全球电竞市场 2016 年达到 860 亿美元的规模。根据 Super Data 报告显示，2016 年全球 VR 游戏市场规模预计在 51 亿美元左右，并且处于不断增长态势。目前，VR+游戏还存在一些问题尚待解决，一是 VR 与传统游戏在交互操作、内容设计等方面具有较大差异；二是玩家长时间佩戴 VR 设备带来的眩晕风险影响游戏体验；三是硬件的要求增加了游戏成本。

**虚拟现实开启社交网络 2.0 时代。**VR 社交突破了传统社交的空间限制，通过虚拟化身、表情识别等更加精细丰富的交互方式，深化网络社交体验。目前 VR 社交代表性产品如 High Fidelity、Facebook 等。High Fidelity 产品延续了《Second Life》的理念，旨在打造一个多元化的小型 VR 虚拟社会，人们可以在里面体验类似现实生活却又超于现实的社交体验；Facebook 也设立了社交 VR 部门，首次考虑融合社交网络和 VR，并推出有关应用 SocialTrivia。

#### 4、 在 VR+影视/直播，虚拟现实成为影视的一种全新表现形式

电影出现后，被列为文学、戏剧、绘画、音乐、舞蹈、雕塑之后的“第七艺术”，米开朗琪罗认为在艺术的境界里，细节就是上帝。虚拟现实作为一种全新的表现形式，细节呈现更加丰富。VR 影视赋予了观众身临其境的沉浸体验，一方面表现为对分辨率、刷新率、色深、视场角、3D、低时延等更高画质的持续追求。另一方面，凸显出虚拟现实人机交互这一核心特质，影视游戏化趋势显现，即观众能够自主选择观影视角，甚至影响情节走向，实现“一千个人眼中，有一千个哈姆雷特”的多结局电影。目前，即使出自 Oculus Story Studio、Baobab Studios 等知名 VR 影视工作室的作品距离普推广及尚需时日，目前主要的壁垒在于：一是 VR 影视制作和拍摄技术还不成熟，拍摄过程复杂，成本居高不下；二是 VR 设备成本相对较高，导致用户渗透率度不高；三是目前优质 VR 影视内容相对匮乏；四是高水平的 VR 线下体验店规模有限。

**虚拟现实直播成为新常态。**据高盛报告统计，预计 2020 年 VR 直



播的市场营收规模为 7.5 亿美元，2025 年则高达 41 亿美元，VR 直播用户群达 9500 万。在体育赛事、热点新闻事件、演唱会、发布会等领域，VR 直播广泛应用，网红也纷纷尝试 VR 直播。目前国内已经有 20 余家 VR 直播平台，传统的 200 余家 OTT 直播平台也逐渐支持 VR 直播功能。微鲸 VR 联合体奥动力、飞猫影视对本赛季中超联赛进行了全程 VR 直播，并首次为 VR 直播引入三维索道摄像系统、轨道摄像系统等运动机位，通过现场合成呈现出覆盖整个视野的 180 度画面。2016 年王菲“幻乐一场”上海演唱会 VR 直播中实现约 9 万人付费观看，腾讯直播平台累计有 2000+万用户观看，VR 直播预约用户超 200 万。此外，国外著名 VR 直播公司 NextVR 拥有多项优秀 IP 资源，例如与 Live Nation 合作的演唱会直播，与 CNN 合作直播的民主党电视辩论，与福克斯体育签订合作协议直播包括 2017 年国际冠军杯等重要赛事。

VR直播公司	NextVR (体育赛事) (音乐会)	腾讯视频 (演唱会)	微鲸VR (综艺节目) (演唱会)	乐视 (新闻会议) (时装秀)	NYT VR (新闻事件)
VR直播平台	Facebook、Twitch(VReal)、YouTube、Twitter、花椒直播、3D播播				

图 35 部分 VR 直播公司和平台

## 四、措施及建议

### （一）强化跨领域技术储备，聚焦融合创新

以近眼显示、网络传输、感知交互、渲染处理、内容制作关键技术领域为着力点，将光学、电子学、计算机、通信、医学、心理学、认知科学与人因工程等领域的相关技术引入虚拟现实技术体系；加强知识产权工作，优化我国专利申请主体结构与地域分布，加强专利合



作授权和风险控制机制建设，积极探索虚拟现实与 5G、人工智能、物联网、智能制造、云计算等重大领域间融合创新发展路径。

## （二）深化开发工具/平台发展，推广应用服务

推动开发引擎、关键 SDK/API 等内容开发工具的发展，丰富虚拟现实+教育、医疗、工业、文娱等领域的试点示范，促进 VR 的规模化应用，推动新模式、新业态的产生与发展。重点支持教学与实景实践相结合的职业教育应用示范，提高不同年龄阶段人员的教育教学质量。重点开展早期监测、临床治疗与后期康复方面的医学应用示范，突破部分以往难以解决的医学困境。重点实施需求分析、总体设计、生产制造、测试实验、使用维护等环节的工业应用示范，改善工作效率与成本。支持基于 VR 的新型社交平台建设，满足大众互动社交的情感需求。鼓励高分辨率、低时延、3D、全景体验在影视娱乐和传媒展示领域的应用，提高传统文化输出能力。

## （三）构建公共服务平台，提升产业服务能力

构建虚拟现实软硬件工程体系，形成元器件供应、试验验证、制造咨询等公共服务能力。建立针对虚拟现实领域的关键技术、产业链生态与内容应用数据平台，为产业运行分析、政策制定、知识产权、人才培养、外部合作、标准编制等奠定基础。提供面向用户体验、安全可靠、软硬件协同与性能指标的产品测评与检测认证服务。充分发挥资本和地方投资对新兴技术的激励作用，鼓励和引导地方加大资源投入力度，通过设立专项资金、政府和社会资本合作模式等多种形式，支持虚拟现实产业发展与应用推进。

CAICT 中国信通院



中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010-62304839、62302232

传真：010-62304980

网址：[www.caict.ac.cn](http://www.caict.ac.cn)

