

云化虚拟现实总体技术研究白皮书

(2018)

中国通信标准化协会

2018年11月

版权声明

本白皮书版权属于中国通信标准化协会，并受法律保护。转载、摘编或利用其他方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国通信标准化协会”。违反本声明者，本协会将追究其相关法律责任。



前言

虚拟现实（Virtual Reality, VR）带来了前所未有的沉浸式体验，是当前全球新一代信息技术的热点和竞争焦点。云化虚拟现实（Cloud VR）将内容上云、渲染上云，凭借降低消费成本、提升用户体验、普及商业场景和保护内容版权等显著优势，成为当前 VR 产业自主选择的规模化发展之路。伴随着 Cloud VR 理念的不断渗透、产业链的持续完善、用户体验需求被逐渐唤醒、并有运营商发布了 Cloud VR 业务，标志着 Cloud VR 时代已经到来。

Cloud VR 时代快速发展和规模商用的需求，驱动 Cloud VR 技术与解决方案的规范化和标准化成为产业的重要命题。正当其时，本白皮书重点分析了 Cloud VR 解决方案的总体技术架构和关键技术，基于对国内外 Cloud VR 技术发展及趋势的密切跟踪与深入研究，系统梳理了 Cloud VR 云、管、端三大层次的关键技术方案，并预判了跨越多个体验阶段的技术发展趋势，旨在为我国产业构筑 Cloud VR 业务端到端能力提出标准化建议，推动我国 VR 产业更好、更快的发展。

本白皮书由移动互联网应用和终端技术工作委员会（CCSA TC11）负责组织编写，由中国信息通信研究院与华为技术有限公司牵头，多家单位参与，包括：中国移动通信集

团有限公司、中国电信集团有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、浙江蚂蚁小微金融服务集团股份有限公司、烽火通信科技股份有限公司、北京邮电大学、中国移动通信集团设计院有限公司、北京京东尚科信息技术有限公司、阿里巴巴网络技术有限公司、宏达通讯有限公司、高通无线通信技术（中国）有限公司、北京市商汤科技开发有限公司、京东方科技集团股份有限公司。



目 录

第一章 虚拟现实产业的发展与挑战	1
(一) 虚拟现实产业迎来历史发展机遇.....	1
(二) 云化虚拟现实加速推动虚拟现实产业规模化发展.....	5
(三) 云化虚拟现实关键挑战：时延与无线传输.....	7
第二章 云化虚拟现实业务与体验	8
(一) 云化虚拟现实业务场景丰富.....	9
(二) 云化虚拟现实体验关键要素.....	9
第三章 云化虚拟现实总体技术方案	11
(一) 云化虚拟现实整体方案架构与关键技术方案.....	11
(二) 云化虚拟现实关键技术.....	13
(三) 云化虚拟现实各发展阶段对云管端的技术要求.....	26
第四章 云化虚拟现实业务平台技术	31
(一) 云化虚拟现实视频系统：传统视频平台的延伸.....	32
(二) 云化虚拟现实云渲染系统：构建全新平台.....	34
第五章 面向云化虚拟现实的网络传输技术	37
(一) 云化虚拟现实网络需求呈大带宽、低时延趋势.....	38
(二) 面向云化虚拟现实的网络解决方案.....	39
第六章 云化虚拟现实终端技术	48
(一) 云化虚拟现实终端关键需求.....	48
(二) 云化虚拟现实终端的形态与技术发展.....	51

第七章 总结：发展建议与展望	58
(一) 网络能力不断升级优化，千兆家宽和 5G 网络将为云化虚拟现实的发展保驾护航.....	58
(二) 创新云化虚拟现实技术，推动产业可持续发展.....	59
(三) 以需求为导向，促进云化虚拟现实的行业应用普及.....	60
(四) 进一步完善行业标准的制定和推广.....	61
附录 1 交互响应时延	63
附录 2 缩略语	66



第一章 虚拟现实产业的发展与挑战

(一) 虚拟现实产业迎来历史发展机遇

VR 带来了全新的沉浸式体验，是新一代信息通信技术的关键领域。VR 是与虚拟世界感知、交互、融合的全新体验，使得人类可以用全新的方式感知万物。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，而是强调关键技术、产业生态与应用落地的融合创新。VR 有望成为新一代计算平台，其市场潜力巨大、相关政策利好、投融资增长、产业生态初步形成，迎来了历史发展机遇。

1. VR 产业市场潜力巨大

全球虚拟现实产业规模接近千亿元人民币，2017-2022 年均复合增长率超过 70%。在整体规模方面，据 Greenlight 预测，2018 年全球市场规模超过 700 亿元人民币，同比增长 126%。其中，VR 整体市场超过 600 亿元，VR 内容市场约 200 亿元，AR 整体市场超过 100 亿元，AR 内容市场接近 80 亿元，预计 2020 年全球虚拟现实产业规模将超过 2000 亿元，其中 VR 市场 1600 亿元，AR 市场 450 亿元。在终端整机方面，据 IDC 预测，2018 年全球终端出货量超过 1200 万台，其中 VR

终端出货量约 1100 万台，AR 终端出货量约 120 万台，预计到 2020 年整体终端出货量接近 4000 万台。

2. 各地政策积极推动 VR 产业发展

虚拟现实已被列入我国“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、商务部等纷纷出台相关政策，积极推动虚拟现实产业发展。此外，各省市地方政府也从政策方面积极推进产业布局，截至目前已有十余地市相继发布针对虚拟现实领域的专项政策规划。



图 1 我国各地市虚拟现实产业政策情况

3. VR 整体投资市场持续增长

据统计，虚拟现实投融资市场从 2013 年的三亿美元增长到 2017 年的三十亿美元，年均复合增长率超过了 70%，其中，2016 年 VR 元年投融资市场迎来高峰增长期，同比增长 136%，达到 26 亿美元，2017 年投融资增长速度相对放缓，

增速为 12%。同时，我国 2017 年虚拟现实领域投融资规模超过 50 亿元人民币，预计 2018 年投融资市场将小幅度增长。

投融资市场以中美为主，投资热点从硬件终端向内容应用转移。在地域分布方面，中美分别占据全球虚拟现实领域 80% 的投资金额和 70% 的交易笔数。我国投融资以中小规模为主，缺乏高额融资项目，在投资领域方面，内容应用、开发工具成为主要部分，但平均融资规模较小，内容应用中的投融资热点也逐渐由单一游戏、社交、视频、直播等大众应用向工业、医疗、教育等多元垂直领域聚集。

4. 我国 VR 产业生态初步生成

我国虚拟现实产业主要分为内容应用、终端器件、网络通信/平台和内容生产系统。内容应用方面，虚拟现实的解决方案聚焦在文化娱乐、教育培训、工业生产、医疗健康和商贸创意方面，体现“虚拟现实+”的融合创新特点。文化娱乐在企业数量上占据主导，我国虚拟现实线下主题店全球领先，培训类的内容企业成为行业应用中的主要力量，房地产、营销、时装等成为商贸创意的主要方向，工业、医疗也涌现出亮风台、医微讯、曼恒等特色企业，解决方案以教学、训练为主，实际参与生产环节的应用仍待技术上的进一步成熟。终端器件方面，主要涉及头显整机、感知交互和关键器件。头显整机中，我国聚集了全球主要的头显硬件制造商歌

尔股份，成为全球的硬件采购和组装中心，以大朋、Pico 为代表的终端企业发展迅速，成为我国一体机市场的主要力量，华为、小米、爱奇艺等陆续进入。在感知交互方面，涌现出七鑫易维、诺亦腾、NOL0、瑞立视等一批在追踪定位、多通道交互领域的特色企业。在屏幕、芯片、传感器等关键器件中，京东方凭借 AMOLED 屏幕、快速响应液晶屏与 OLED-on Si 在虚拟现实近眼显示领域实现突破；网络通信/云控平台方面，虚拟现实为 5G 网络的市场经营和业务发展探索新的机会，此外，华为、兰亭数字、7663、视博云等在福建移动开通全球首个运营商云控平台，通过 Cloud VR 连接电信网络与 VR 产业链，助推虚拟现实加速普及；内容生产系统方面，主要涉及操作系统、开发引擎和 SDK 等开发环境和全景相机、拼接缝合、三维重建等采集系统，目前我国涌现出睿悦、微鲸、Insta 360、川大智胜、通甲优博等一批代表性企业。

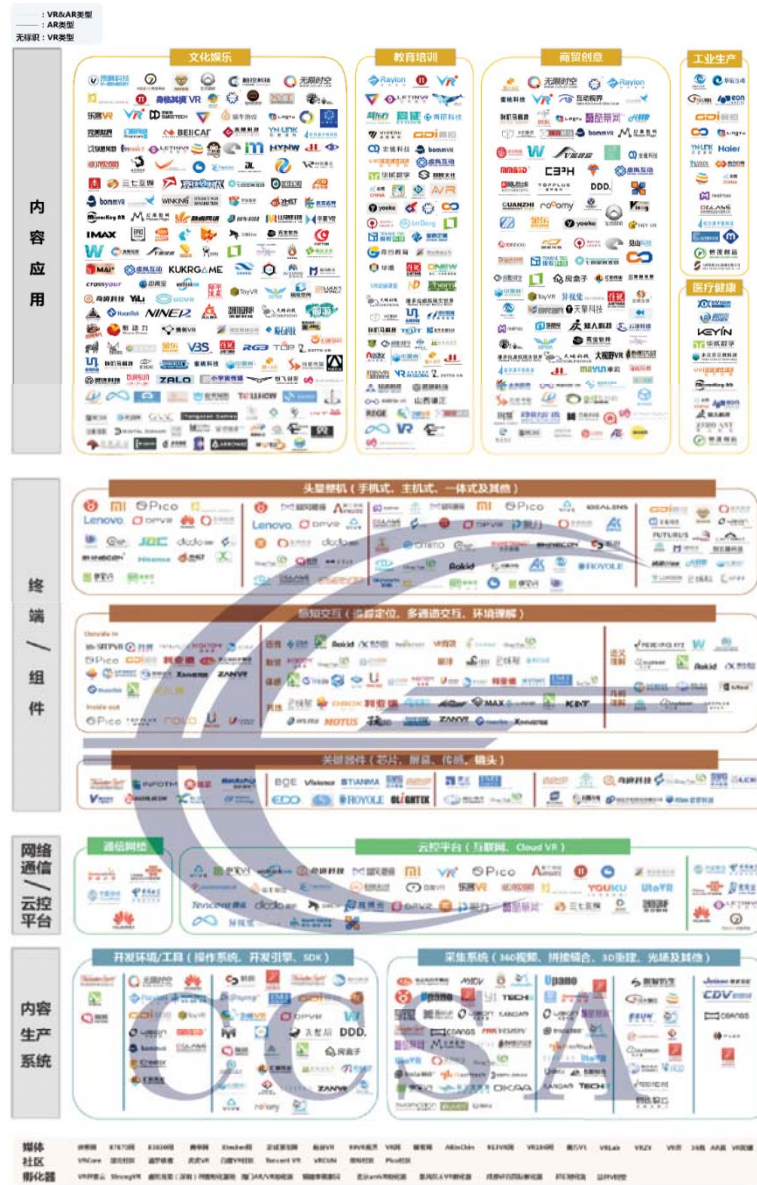


图 2 我国虚拟（增强）现实产业地图（2018）

（二）云化虚拟现实加速推动虚拟现实产业规模化发展

本地 VR 难以大规模发展，亟需可规模发展的形态。本地 VR 发展主要受以下几个因素制约：

- 1) 用户体验待提升：如 VR 终端可移动空间受限、舒适性欠缺，佩戴沉重，透气性不够。

2) 用户消费成本高: VR 强交互类业务的渲染主要在本地主机和终端进行, 对 GPU 资源要求很高, VR 终端的性能和成本压力大。

3) 内容缺乏统一分发平台: 很多优秀的 VR 内容分散在多个厂家, 难以有效共享和快速分发给用户; 用户即使有 VR 头盔, 产业也很少有内容丰富且能不断更新的 VR 平台。

4) 内容版权缺乏有效保护: 内容以下载到本地居多, 版权得不到有效保护。

云化虚拟现实有效解决制约 VR 发展的痛点, 是当前 VR 产业选择的规模化发展之路。

云化虚拟现实 (Cloud VR) 主要特点是: VR 头显无绳化、VR 的计算机图形实时渲染云化、内容云化。它将云计算、云渲染的理念及技术引入到 VR 业务应用中, 借助高速稳定的网络, 将云端的显示输出和声音输出等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。

Cloud VR 将计算复杂度高的渲染上云, 大幅降低 VR 终端的渲染计算压力, 使 VR 终端以轻量的方式和比较低的消费成本容易被用户所接受; 内容云化、集中化, 便于内容的统一分发和版权管理; 计算机图形渲染移到云上后, 内容以视频流的方式通过网络推向用户, 借助 Wi-Fi、5G 等网络技术, 可将连接终端的 HDMI 线减掉, 实现终端无绳化、移动化。

（三） 云化虚拟现实关键挑战：时延与无线传输

云化后时延的增加影响体验、无拘束的无线传输需求是 VR 云化后面临的关键挑战。

对于强交互 VR 场景，云化后高码率音视频流的传输以及实时交互要求加剧了 VR 原本就很棘手的时延、晕动症等问题，影响用户体验，需要 VR 的五大体系（头显、内容制作、网络通信、计算机图形云渲染、感知交互）联合起来，降低各个环节的处理时延或者创造新技术，以满足 VR 的端到端体验时延要求，如快速编解码、超低时延网络传输等等。

云化虚拟现实的另一个特征是 VR 终端无绳化、移动化，但 VR 内容码率比较高，VR 终端无绳化后，原来的无线接入技术将遇到瓶颈，Wi-Fi 或者无线蜂窝网络的吞吐量和覆盖性能很难满足 VR 的业务体验要求。

云化虚拟现实是促进 VR 产业发展的最佳形式之一，但它遇到的挑战该如何解决，下文将重点展开相关的技术介绍。

说明：

本章节部分内容参考《中国虚拟现实应用状况白皮书（2018年）》（中国信息通信研究院与华为技术有限公司、虚拟现实内容制作中心联合撰写发布）。

第二章 云化虚拟现实业务与体验

从用户与虚拟环境之间的交互体验角度来看，VR 业务可分为弱交互 VR 和强交互 VR。

弱交互 VR 是指用户与虚拟环境（VE）中的物体不发生实际的交互，可以在一定程度上选择视点和位置。在这种情况下，用户体验是相对被动的，体验内容也是预先规划好的；用户只是作为旁观者，沉浸感相对较弱。VR 点播类业务如 VR 视频等都属于典型弱交互 VR 应用。

强交互 VR 是指用户可通过交互设备与虚拟环境进行互动，通过虚拟环境中的物体对交互行为作出实时响应，使用户能够感受到虚拟环境的变化，具有更好的沉浸感。VR 游戏、VR 社交等都属于强交互 VR 应用。

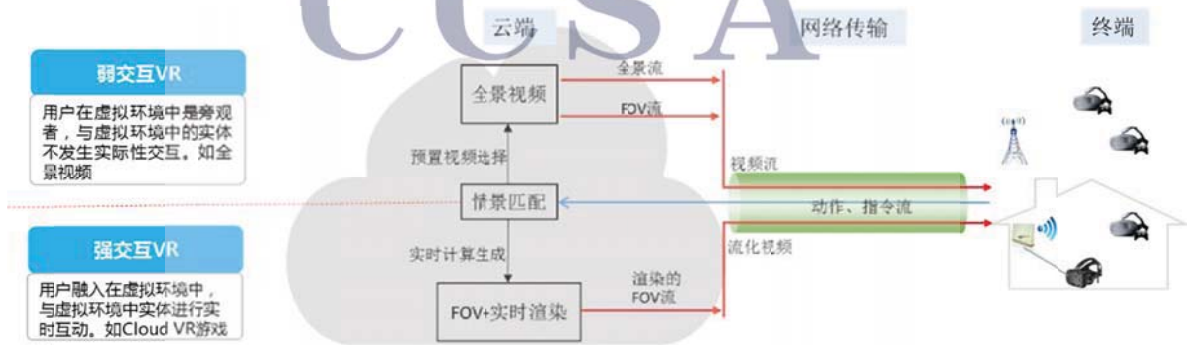


图 3 Cloud VR 分类

（一）云化虚拟现实业务场景丰富

通过对 VR 产业研究及海内外行业的洞察，识别出了最具商业潜力、最有可能落地的 Cloud VR 场景。

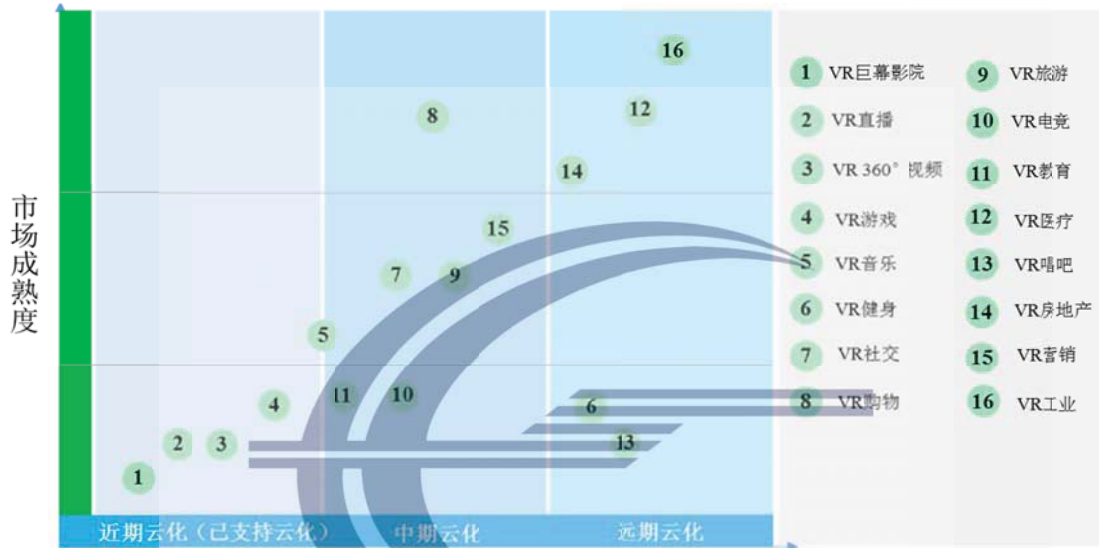


图 4 Cloud VR 业务场景

（二）云化虚拟现实体验关键要素

虚拟现实具有多感知性（Multi-Sensory）。根据美国国家科学院院士 J. J. Gibson 提出的概念模型，人的感知系统可划分为视觉、听觉、触觉、嗅/味觉和方向感等 5 部分，虚拟现实应当在视觉、听觉、触觉、运动、嗅觉、味觉向用户提供全方位的体验。

VR 体验具备沉浸感、交互性、想象性三大特征

虚拟现实体验具有 3I 特征，分别是沉浸感（Immersion）、交互性（Interaction）和想象性（Imagination）：沉浸感，

是指利用计算机产生的三维立体图像，让人置身于一种虚拟环境中，就像在真实的客观世界中一样，给人一种身临其境的感觉；交互性，在计算机生成的这种虚拟环境中，人们可以利用一些传感设备进行交互，感觉像在真实客观世界中互动一样；想象性，虚拟环境可使用户沉浸其中萌发联想。

当前阶段 VR 体验的关键影响要素

影响虚拟现实体验的因素很多，在当前的虚拟现实发展阶段，主要因素有：

- 画面真实度：分辨率、刷新率是当前影响画面质量的关键因素，过低的分辨率会产生纱窗感，刷新率不足会引起画面抖动。

- 视场角：视场角不足会导致沉浸感下降，当设备视场角小于人眼视场角时，会导致用户感觉自己在通过一个“窗口”观察场景，而非置身于虚拟环境中。

- 晕动症：晕动症是由于用户视觉上感知的运动状态与前庭系统感知的运动状态不一致引发的症状。常见的症状有：恶心、皮肤苍白、出冷汗、呕吐、头晕、头痛、唾液分泌增多、疲劳等。晕动症产生的原因可分为两类：一是运动后（引起头部位置和角度变化）显示画面的滞后；二是画面显示内容的观看位置或角度在变化，实际的用户却没有相应的运动。当前业界普遍认为，虚拟现实设备 MTP (Motion to Photons) 时延小于 20 毫秒时，可以较好地避免第一类晕动症的产生。

- **迟滞感**：迟滞感是指当用户在虚拟环境中进行操作时，没有得到及时的响应而产生非运动型滞后。如用户点击按钮时画面延迟出现，或者频道切换时的时延，都会引起迟滞感。迟滞感也会极大影响虚拟现实交互的真实感。

晕动症是 Cloud VR 体验面临的关键难题

区别于本地 VR 系统，Cloud VR 在计算、渲染上云后，远端处理产生的时延必然影响 VR 体验，迟滞感、晕动症都将随之而来。特别是晕动症，由于对时延的极高要求，使其成为 Cloud VR 必须解决的关键难题。

第三章 云化虚拟现实总体技术方案

（一）云化虚拟现实整体方案架构与关键技术方案

Cloud VR 整体方案架构由云、管、端共同构建，针对强弱交互业务差异化建设云端业务平台。云化虚拟现实由各种 VR 业务驱动，以 VR 视频为典型的弱交互 VR 和以 VR 游戏为典型的强交互 VR，由于在实时交互和计算处理上的巨大差异，云化后的系统从技术上将由不同的模块分别支持。从云管端的架构层次上，整体方案由云端业务平台、网络传输和 VR 终端三个环节共同构建 Cloud VR 业务生态环境，如下图所示。

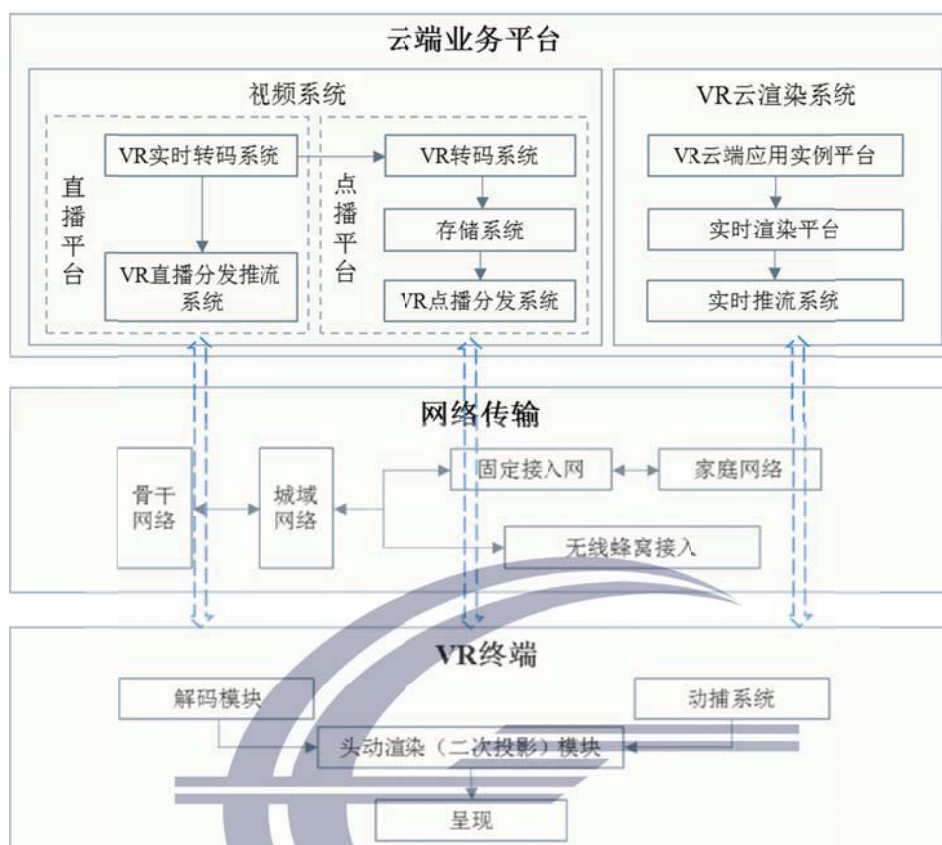


图 5 Cloud VR 整体方案架构

Cloud VR 弱交互业务技术核心是支持大数据量的编解码、转码与传输

对于视频类弱交互 Cloud VR 业务，其核心技术在于预置视频的存储和分发，关键在于 VR 视频大数据量下的编解码计算和网络传输技术，以及提升传输效率的 Cloud VR 视频传输方案。而对于 Cloud VR 直播，还需考虑实时转码的巨大计算需求，需要充分利用云端平台的计算能力来解决。

Cloud VR 强交互业务技术核心是攻克 MTP 时延要求难题
强交互 Cloud VR 业务以 VR 游戏、VR 社交等为代表，具有更强的沉浸感，从长期来看大部分 VR 业务都会向强交互

发展。强交互 Cloud VR 采用实时云渲染方案，将本地复杂的计算、渲染移至云端，使得 VR 终端更轻便、成本更低。

对非云化的本地 VR 系统，要满足 MTP 时延小于 20ms 已经是一个不小的挑战；而 Cloud VR 将实时渲染上云后，会进一步加剧时延难题。Cloud VR 实时云渲染方案以端云异步渲染为核心技术，该技术以异步时间/空间扭曲技术（ATW/ASW）为基础，通过云端的基础画面渲染与终端头动渲染相配合，解决了 MTP 对云端处理和网络传输的超低时延要求难题。

（二）云化虚拟现实关键技术

为了解决云化虚拟现实中影响用户体验的诸多挑战，开发者们不断尝试新的技术以提升视场角、跟踪方式、清晰度、延迟、刷新率、设备功耗等软硬件能力。

Cloud VR 技术通过云端渲染技术在云端对 VR 应用进行渲染，可以减少本地渲染和计算造成的延迟和设备功耗，同时降低本地存储对内容清晰度的限制，并降低 VR 终端性能的要求，但 Cloud VR 的落地需要新的技术方案来解决带宽和时延的问题。产业提出了 Cloud VR 视频传输方案和 Cloud VR 实时云渲染方案两大核心技术来保障用户的体验，效果较为明显。

1. Cloud VR 视频传输方案：从全视角传输向基于 FOV 传输演进

高效的传输方案是 Cloud VR 视频的重点技术方向。在 Cloud VR 直播、Cloud VR 360 度视频等视频类应用场景中，全景视频覆盖 360 度视场，而人眼的左右眼的水平视场为 160 度、垂直视场为 150 度，双眼水平视场为 200 度左右（不同机构给出的数据略有差异），因此人眼视角下看到的有效球面信号约为球面全景信号的 37.0%。现有的 VR 终端设备可支持的视角大约在 90°~110 度之间，单眼通过 VR 终端设备看到的有效球面信号小于球面全景信号的 19%。

全视角传输方案

全视角传输方案是将 360 度环绕的画面都传输给终端，当用户头部转动观看特定视角的画面时，终端即时 (Just-in-time) 完成包括码流解析、视频解码和画面渲染等处理。VR 画面在相同单眼可视分辨率情况下，由于帧率、位深、360 度全景等原因，码率要比普通的二维视频大很多，一般是普通视频的 5 至几十倍。这种方案特点是视角切换时画面过渡平滑，兼容性较好，但是对网络高带宽传输、终端超高分辨率视频解码和渲染输出三个方面的能力提出了高难度的挑战。具体而言，如果将 360 度全景视频通过经纬图映射成常规的二维视频进行编码、传输、解码和呈现，首先由于分辨率的显著增加，编码处理能力和网络传输带宽需求

将成数倍增加；更重要的是终端需要解码超高分辨率的全视角视频内容，但实际上呈现给用户的只是其中一部分内容，浪费终端解码资源，而终端解码能力正是目前开展超高分辨率全景视频业务的最大短板。

针对全视角传输带来的挑战，业界展开了大量的研究。比如 Facebook 率先提出把经纬图重新映射到立方体的转换，使用多点投影的方式来进行二者之间的像素点切换。该方式将经纬图顶部的 25% 和底部的 25% 分别转换为一个立方体面，中间的 50% 转换为四个面，能够使每帧的像素数量减少 25%，从而提高编码端的效率，并有效降低解码端的能力需求。

FOV 传输方案

为了进一步降低网络传输的浪费，基于视场角 (Field of View, FOV) 的全景视频自适应传输方案成为热点和共识。

1) 金字塔投影传输方案

Facebook 提出了金字塔模型，金字塔模型的底部为高质量用户视角区域，随着金字塔高度的上升，其他区域通过亚采样降低分辨率。当用户切换视角时，用户看到的并非原金字塔其他表面的低质量视频，而是切换到金字塔模型底部为另一视角区域高质量内容的视频。该方案能在不降低视窗质量的条件下，降低全景视频的码率。

2) Tile Wise 传输方案

HHI 提出了基于视频分块(Tile)的全景视频传输方案,思路是根据用户的观看视点和视角,只传输和解码 FOV 内的内容,采用部分传输和部分解码的方式减轻对网络带宽和终端解码的压力。在网络条件良好的情况下,全视角传输可以带来良好的视觉体验;在网络带宽不足的情况下,只传输用户视角观看范围内内容的高质量 Tile 视频分块和最低质量全视角视频,可以有效保证在低带宽条件下优先给视角范围内的 Tile 视频分配带宽资源,这种传输方案被称为“TWS 传输方案”,该方案被 MPEG 组织 OMAF 工作组采纳,并写入了最新的标准文档《ISO/IEC FDIS 23090-2 Omnidirectional Media Format》中,被推荐采用。

采用按需传输、部分解码策略的基于视场角自适应 TWS 传输方案可以有效解决 VR 业务应用中的高分辨率全景视频传输带宽、解码能力和渲染输出三大问题,根据用户的即时观看区域动态地选择传输视频分块,可以有效地节省网络流量开销。同时为了保障用户转头时,无察觉地切换新视点高质量内容,TWS 方案采用基本质量的全景视频补充用户快速转头时段的视点内容,一定程度上缓解了切换时主观不适感。

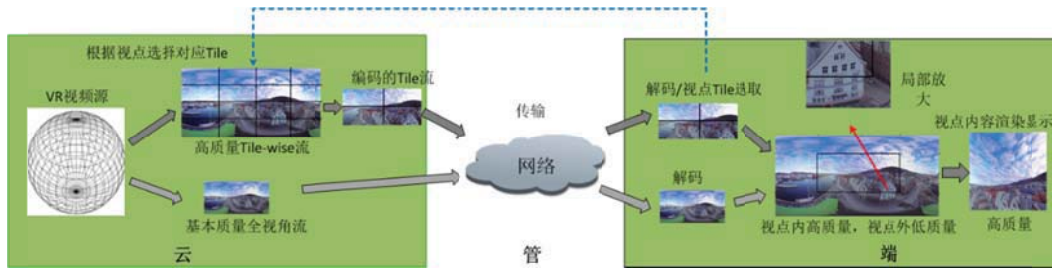


图 6 基于 TWS 的 VR 内容传输方案

为了进一步提升用户主观体验，可以采用视点预测技术，对下一时刻的新视点进行预测，对新视点 Tile 内容实现预下载和预缓存。目前在部分头显和手机上已采用预测跟踪技术，包括 Oculus 公司开发的异步时间扭曲（Asynchronous Time Warp, ATW）功能，在画面渲染的同时，可以追踪用户的头部动作；部分公司在芯片上集成了六自由度视觉惯性测距（6DoF）、眼部追踪和手势追踪功能。这些预测跟踪数据可以有效地指导 VR 传输系统对新视角进行预下载和预缓存，降低新旧视点高质量内容之间的切换时间。

2. Cloud VR 实时云渲染方案：以端云异步渲染为基础，逐步融合端到端低时延传输

满足云化后 VR 体验的时延要求是 Cloud VR 实时云渲染的核心。Cloud VR 实时云渲染方案的端到端流程如下图所示。以 Cloud VR 游戏为例，游戏的运行计算与画面渲染都在云端的 VR 云渲染系统进行，VR 终端仅用于输入和显示。为满足云渲染情况下 VR 体验的时延要求，除了云渲染技术外，

端云异步渲染与端到端低时延传输也是实时云渲染方案的两大关键技术方案；另外位置预测技术也能有效降低时延对体验的影响。

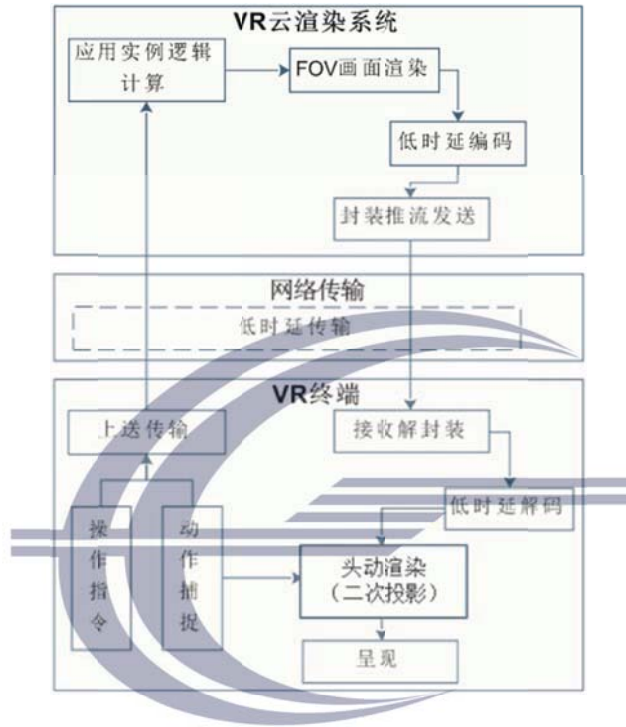


图 7 VR 云渲染功能图

端云异步渲染技术方案：使能MTP时延满足要求

Cloud VR 处理主要包含云渲染及流化、终端二次渲染及刷新显示两个过程。其中云渲染及流化是指 Cloud VR 终端进行动作捕捉并将捕捉的动作信息经过网络传到云端，云端完成逻辑计算并渲染生成实时画面，经编码压缩后，以视频流形式通过网络传输至终端进行解码的过程。



图 8 云渲染与流化示意图

本地 VR 在终端进行动作捕捉、逻辑计算、画面渲染及屏幕呈现等一连串处理，要满足 MTP 时延要求已经是不小的挑战。Cloud VR 如果按照云渲染及流化与终端刷新呈现两个过程串行处理的思路（如下图），由于云渲染及流化过程引入了网络传输、编解码等环节，时延增加，难以满足 MTP 时延要求。



图 9 MTP 无法保障的技术方案

在端云异步渲染技术方案中（如下图），完整的渲染分到云端和终端分别完成；云端进行基础渲染，根据逻辑计算的结果渲染完整的基础画面；终端进行头动渲染，根据实时的头部姿态和位置信息，对基础画面进行旋转、平移、扭曲等二次渲染操作生成实时画面。该技术下云渲染及流化、终端二次渲染及刷新显示这两个过程从串行处理分离成并行处理，即 VR 终端每次刷新画面时，都使用已收到的最新基础画面，进行头动渲染生成显示画面；与此同时，云端进行基础渲染，与终端处理并行。

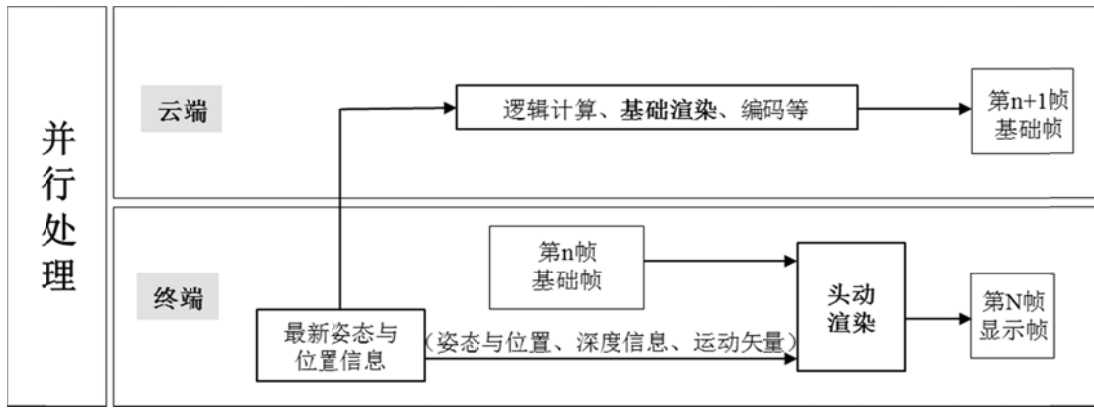


图 10 MTP 可以保障的方案：端云异步渲染技术

终端的头动渲染使用对画面旋转、位移等异步扭曲技术实现，包括异步时间扭曲（Asynchronous Time warp, ATW）、异步空间扭曲（Asynchronous Space warp, ASW）等。最初的异步扭曲技术提出是为了解决本地 VR 渲染不及时的画面刷新显示问题。VR 进行本地渲染时，由于内容的复杂度不同，对于复杂内容的渲染可能无法在一帧刷新周期内完成，将导致屏幕刷新时没有新内容呈现，从而让用户感到迟滞、卡顿，甚至头晕。异步扭曲通过预测或确定的下一帧的头部姿态和位置，与上一帧图像的姿态和位置计算得到姿态差值和位移变化，再对上一帧图像根据此姿态差值和位移变化进行扭曲变换和二次投影渲染，生成新的一帧图像。其中 ATW 技术主要解决头部姿态的变化，ASW 技术主要解决头部位置变化，两种技术结合解决 VR 6DoF 的全场景应用。

端云异步渲染技术方案使得云端的渲染与本地交互响应完全异步处理，MTP 不依赖于云端渲染和网络传输，完全由本地终端决定；MTP 时延完全可以与非云端渲染情况相同。

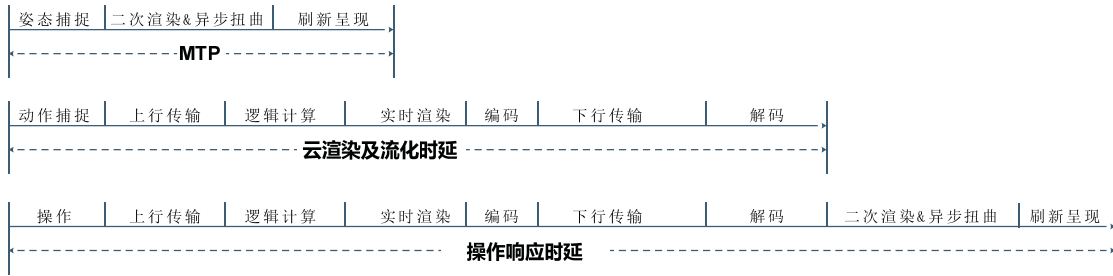


图 11 端云异步渲染技术方案下的 MTP、云渲染及流化时延、操作响应时延

使用端云异步渲染技术方案，云渲染及流化时延不会影响 MTP，但该时延的长短会影响画面质量和用户体验。主要分为两种情况：

1) 黑边问题。当前 VR 实时渲染都是基于当前视角渲染的画面，如图 12，在头动渲染将画面扭曲到新的视角时，新的视角范围内将没有画面，形成黑边现象；黑边的大小和云渲染及流化时延及转头的速度相关。为减小或消除黑边对体验的影响，VR 云端渲染要进行超视角画面的渲染，确保转头过去的视角也有画面；超视角画面渲染超出的角度大小由云渲染及流化时延与转头速度决定。超视角画面渲染将增加渲染成本，综合考虑建议各个方向都超出 5 度，此时对云端渲染资源的消耗将增加 21%；此时对应的云渲染及流化时延要求小于 50 毫秒。

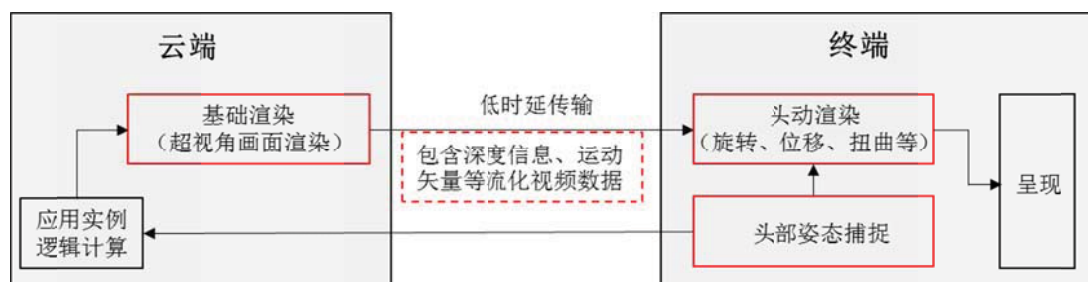


图 12 头动渲染与体验优化方案

2) 画面质量问题。位置移动时，用户将会从新的角度上观察物体，会看到原来被遮挡的部分。头部渲染（可采用 ASW 技术）可以根据深度信息或运动矢量等信息调整物体间的位置关系，却无法凭空生成被遮挡部分，此时只能用周边的画面替代，出现画面扭曲现象。如果云渲染及流化时延低、移动速度慢，微小的扭曲画面不容易被察觉或感知；否则就会大幅度降低画面质量。云渲染及流化时延大小影响着 Cloud VR 画面质量。按目前业界的测试情况，建议将该时延控制在 30~50 毫秒以内为佳；在舒适体验阶段，云渲染及流化时延控制在 50 毫秒，画面质量的劣化在可接受范围；极致体验阶段，云渲染及流化时延建议控制到 30 毫秒内，此时画面的扭曲将让人无法察觉。

端到端低时延传输技术方案：控制云渲染及流化时延

将云渲染及流化时延控制到 30~50 毫秒内，对 Cloud VR 业务端到端系统是不小的挑战，以并行处理技术、快速编解码技术、极速的 VR 传输协议、低时延传输网络为核心的端到端低时延传输技术方案也将是系统的关键技术方案。

1) 渲染、编解码和传输并行技术

对于一帧画面，通常以串行的方式进行渲染、编码、传输、解码等处理，将串行处理转化并行处理成了优化时延的方向。如图 13，把画面划分多个区域，分区域渲染、分区域编解码和传输；不同的区域可以根据先后顺序分别进行渲染、编码、传输，实现一帧画面渲染、编解码、传输的并行处理，大幅节省处理时间，从而能降低云渲染及流化时延。

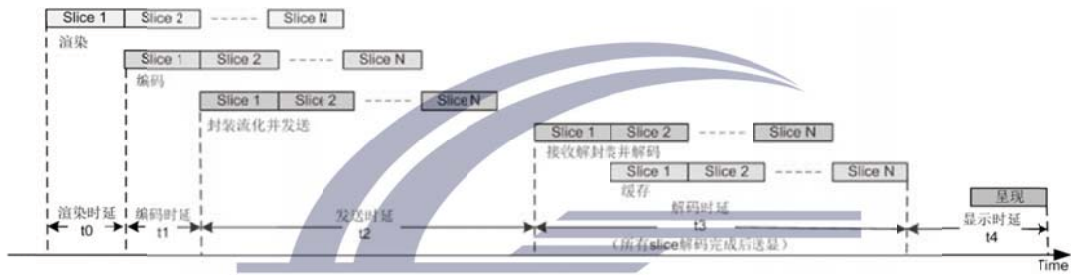


图 13 Cloud VR 端到端并行处理、传输方案

2) 快速编解码技术

当前基于通用视频的编解码一般需要十几毫秒以上才能完成一帧的编码和解码，效率低，无法满足 Cloud VR 云渲染的要求。通过采取如：简化运动搜索算法、减少帧内的预测模式、降低帧间 MV 预测技术 AMVP 和 merge 模式的算法复杂度、减少编码单元划分层级、帧间并行和帧内 Slice 并行等编码模式、开发专用的视频编解码 ASIC 定制芯片等优化方法，以牺牲压缩率换取编码时间，实现快速编解码。在压缩率 50~150 倍左右时，快速编解码技术可以有效地将编解码的时间控制在 1~3 毫秒。

3) VR 传输协议

当前最通用的 TCP 协议，其带宽公平竞争机制和报文重传机制，非常适合普通的互联网业务，却无法满足 Cloud VR 云渲染的低时延传输要求。Cloud VR 迫切需要一种新的传输协议，在有保证的网络上，可以快速地把一帧数据送到目的地。首先，新协议要能支持直接达到上层帧码率的发送速率。其次，需要能配合全视角/TWS 技术，有区别地传输核心的视频数据和全局/边缘的基本质量视频数据，并能通过不同的冗余纠错机制/丢包重传机制，保证核心数据在规定时间内的高超到达率 (e.g. 99.9999%)，以及全局/边缘基本质量视频数据的一般到达率 (e.g. 99%)。在带宽受限的情况下，优先传输核心视频数据，包括核心视频数据的冗余纠错包。再者，要求可探测网络丢包模型，并且可以实时自适应地通过丢包模型调整冗余纠错机制的参数，容忍网络上低于 $1e-6$ ~ $1e-5$ 的丢包。最后，能达到毫秒级别的网络状态汇报，包括但不限于网络吞吐，丢包率的上报，帮助上层更好的做到编解码率/策略的调整。

3. Cloud VR 边缘云增量渲染方案：以终端本地跟踪和渲染为基础，加入基于边缘计算的云增量渲染

Cloud VR 云渲染方案，除了以端云异步渲染技术为基础的 Cloud VR 实时云渲染方案以外，还有一种是终端本地跟踪和渲染配合云端增量渲染的方案。

在该方案中，VR 终端对用户姿态和行为进行实时追踪，也进行 VR 内容的本地处理和渲染，当检测到用户的姿态和动作变化达到需要进行 VR 云端渲染时，VR 终端将用户的 6DoF 运动信息编码后发送给 VR 云端；VR 云端基于终端上报的用户运动和位移信息，对时延要求高的 FOV 内容分量进行云端渲染和编码后，发送给 VR 终端；VR 终端将来自 VR 云端的渲染媒体数据和本地渲染数据进行增量合并，然后对用户进行呈现。为了进一步保障 VR 低时延网络要求，可以考虑在边缘云部署云端渲染，从而无需穿越互联网而时延相对较小。如在移动网络中，在靠近用户的蜂窝网络节点引入 MEC 移动边缘计算能力，以实现云端的增量和分工协作式渲染，如下图所示。

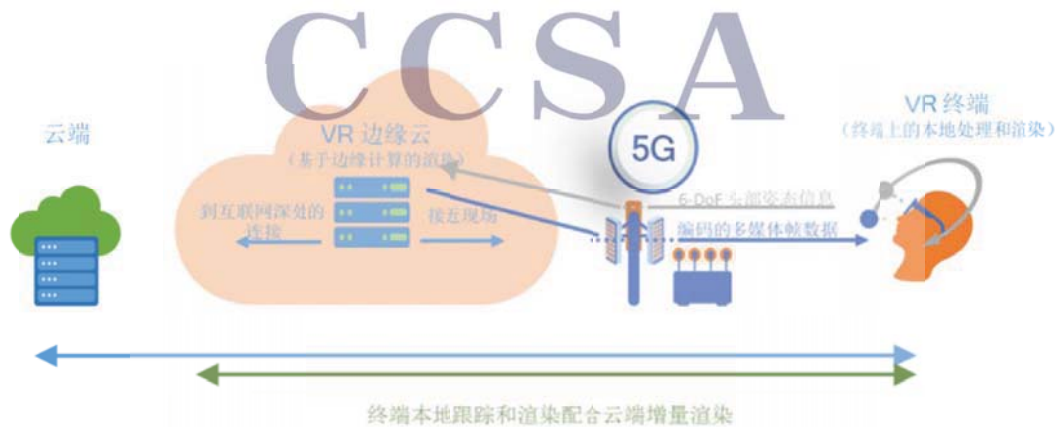


图 14 终端本地跟踪和渲染配合云端增量渲染的方案

(三) 云化虚拟现实各发展阶段对云管端的技术要求

Cloud VR 的发展是一个业务逐渐丰富、沉浸体验逐步提升的过程。Cloud VR 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。在中国信息通信研究院 2017 年发布的《虚拟（增强）现实白皮书》中，根据沉浸体验的提升将 VR 业务的发展划分为四个阶段，不同发展阶段对应不同体验需求。

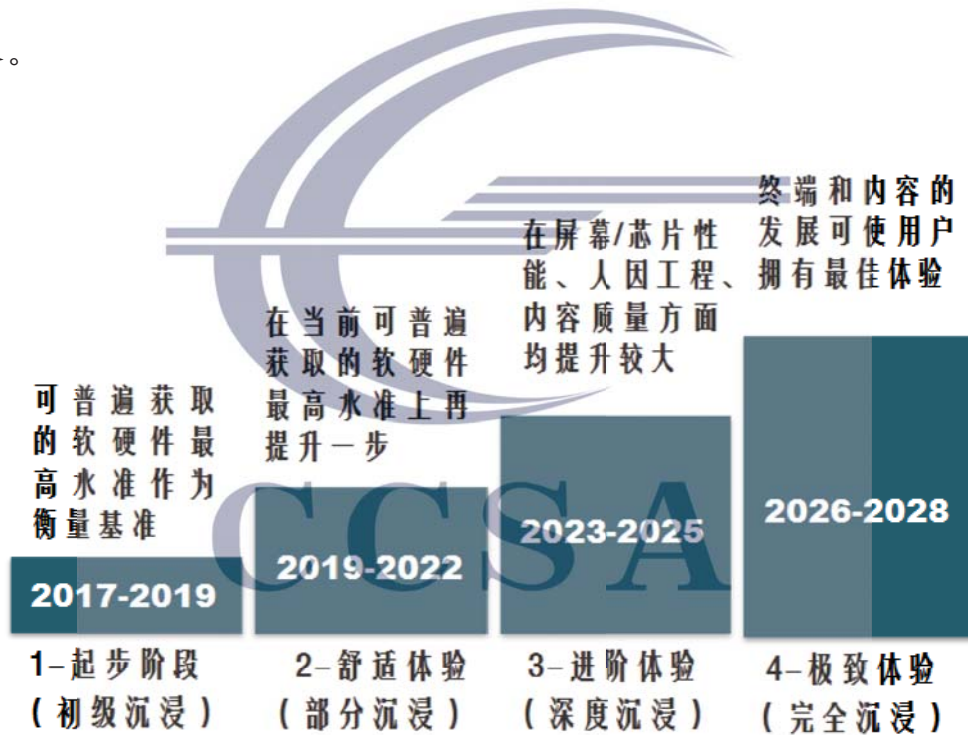


图 15 VR 业务的发展阶段

由云、管、端这自然分割的三部分构成了 Cloud VR 整体方案，基于整体技术方案实现和用户体验的要求，确定了云端业务平台、网络传输和 VR 终端这三大系统的功能和性能要求。

云端业务平台：构建 VR 视频系统及 VR 云渲染系统双核心

云端业务平台根据业务场景的不同，核心由 VR 视频和 VR 云渲染两大系统组成，分别支撑弱交互的 VR 视频等和强交互的 VR 游戏及社交等业务。

1) VR 视频系统

VR 视频系统主要完成 VR 视频的导入、存储和播控分发处理；其架构和当前成熟的 IPTV、OTT 视频业务平台没有本质区别，主要包含分别以直播、点播播控处理为核心，融合转码、存储和分发流量模块的直播平台 and 点播平台。

与传统视频业务平台的不同之处在于，VR 视频系统需要基于 VR 的 OMAF 架构进行 Tile 的转码处理模块和同时支持全景数据传输和 FOV 传输的数据分发推流模块。

2) VR 云渲染系统

VR 云渲染系统主要实现对本地计算及渲染的云化和流化视频送到本地终端的实时推流功能。以 VR 游戏为例，系统为每个用户在云端生成一个游戏应用实例，原本在本地设备上的游戏运行及画面渲染，如今都在该云端应用实例中实现。实例输出的画面，通过实时推流系统推送到用户本地的 Cloud VR 终端上显示。因此，平台需要具备实例运行模块、动捕计算模块、实时渲染平台、实时推流模块等核心模块，分别实现应用实例化、用户运动变换计算、实时渲染和推流。

3) 边缘计算

为了保证云渲染业务的 QoS，可构建边缘计算。边缘计算可以很好地降低传输距离引进的时延问题；利用边缘计算服务集群大的 CPU、GPU 计算能力，构建靠近用户的 VR 视频系统和 VR 云渲染系统。

建议边缘计算可从以下几个维度配合 Cloud VR：

- 视频预处理：

对于上传到云中心的视频进行预处理，可为 Cloud VR 应用提供实时的应答服务，并有效地降低网络和云中心负载。

- 云计算任务前置：

将部分渲染或部分视频优化任务放在边缘侧进行，可提供更敏捷的适应性，有效提高视频率的性能，减少视频抖动或重新缓冲。

- 边缘任务协同：

通过大数据深度学习与挖掘，实现智能化移动网络信息感知与性能优化，促进 VR 通信、VR 计算、VR 渲染和 VR 内容存储的深度协同融合。既可以弥补现有网络端与客户端协同能力的不足，还可以降低 Cloud VR 的整体能耗。

网络传输：向更大带宽、更低时延演进

与 Cloud VR 相关的传输网络可划分成数据中心网络、骨干网络、城域网、接入网及家庭网络；Cloud VR 对网络传

输提出了更大带宽、超低时延的要求。其中 Cloud VR 业务超低时延要求需要大幅度优化现有网络来满足，将涉及数据中心网络的防拥塞技术、城域网络的架构简化、多业务隔离、无线接入网的低时延技术、家庭网络的防干扰低时延技术等。由于 Cloud VR 业务的发展是分阶段逐步演进的，在演进的不同阶段对网络需求不同，因此网络的改造也可以分步实施、平滑演进。

Cloud VR 终端：轻量化、无线化

Cloud VR 终端有着与本地 VR 终端相同的三种类型：VR 一体机、Mobile VR、PC VR 头盔+主机；VR 一体机、Mobile VR 通过 Wi-Fi、5G 无线网络接入到 Cloud VR 云端；PC VR 头盔通过视频/USB 线连接主机（PC、机顶盒或手机），再由主机接入到 Cloud VR 云端。Cloud VR 终端相比本地 VR 终端，大幅降低了复杂的计算和渲染能力需求，需要增加或升级快速编解码模块、异步扭曲技术、低时延传输模块。

小结：Cloud VR 体验提升依托于云、管、端技术持续发展

表 1 Cloud VR 在不同阶段对云管端的关键功能和性能要求

		起步阶段 (初级沉浸)	舒适体验 (部分沉浸)	进阶体验 (深度沉浸)	极致体验 (完全沉浸)
云管端	全视角分辨率	4K	8K	12K	24K
整体	MTP (范围)	20 毫秒	20 毫秒	16 毫秒	16 毫秒

	操作响应时延	100 毫秒	100 毫秒	100 毫秒	100 毫秒	
	云渲染及流化时延	70 毫秒	50 毫秒	30 毫秒	30 毫秒	
云端业务平台	基于 Tile 的转码	—	√	√	√	
	VR 视频传输技术	全视角传输	全视角传输/TWS 传输方案	全视角传输/TWS 传输方案	TWS 传输方案	
	异步扭曲功能	ATW(超视角画面渲染)	ATW/ASW (视频包含景深等信息)	ATW/ASW	ATW/ASW	
	并行处理(渲染、编码、传输)	—	部分支持	√	√	
	渲染性能	5~15 毫秒	5~10 毫秒	<5 毫秒	<5 毫秒	
	编码性能	5~10 毫秒	5~10 毫秒	2~5 毫秒	1~2 毫秒	
	编码压缩率	100~150 倍	100~200 倍	150~250 倍	>200 倍	
	VR 传输协议	—	√	√	√	
网络传输(云端渲染)	强交互类	带宽需求	50~100Mbps	100~300Mbps	500M~1.2Gbps	1.2G~2Gbps
		网络 RTT	≤20ms	≤15ms	≤8ms	≤5ms
	网络丢包率	≤1.50E-5	≤1.0E-5	≤1.0E-6	≤1.0E-6	
	弱交互类	带宽需求	30M~60Mbps	60M~140Mbps	320M~440Mbps	870M~1.6Gbps
		网络 RTT	≤40ms	≤30ms	≤20ms	≤20ms

	网络丢包率	$\leq 1.40E-4$	$\leq 1.50E-5$	$\leq 1.00E-6$	$\leq 1.00E-6$
终端	VR 传输协议	—	√	√	√
	解码性能	10~15 毫秒	8~11 毫秒	3~5 毫秒	1~3 毫秒
	异步扭曲功能 &姿态预测	ATW	ATW/ASW	ATW/ASW	ATW/ASW
	无线连接功能	802.11ac	802.11ac/ 802.11ax 或 5G 蜂窝	802.11ax/ 802.11ay 或 5G 蜂窝	802.11ay 及 下一代 WiFi 技术或下一 代蜂窝技术

第四章 云化虚拟现实业务平台技术

Cloud VR 云端业务平台是由 VR 视频系统、VR 云渲染系统双核心引擎组成的综合业务平台。(运营支撑等功能平台也是云端业务平台的重要组成部分,但在本文的研究范围内)

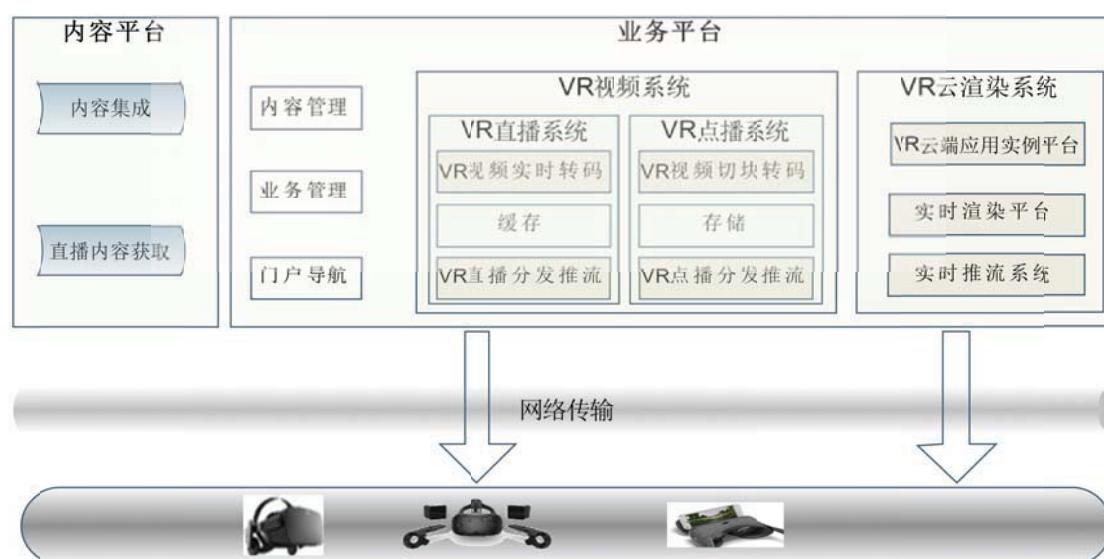


图 16 Cloud VR 云端业务平台架构

(一) 云化虚拟现实视频系统：传统视频平台的延伸

VR 视频系统与传统视频平台的关键差异是支持 VR 视频转码及传输特性。VR 视频系统与传统 IPTV/OTT 平台类似，由直播系统和点播系统组成，包括转码、存储和分发推流模块；另外需要增加基于 Tile 的转码模块，增加支持全视角、FOV VR 视频传输方案的分发推流模块。

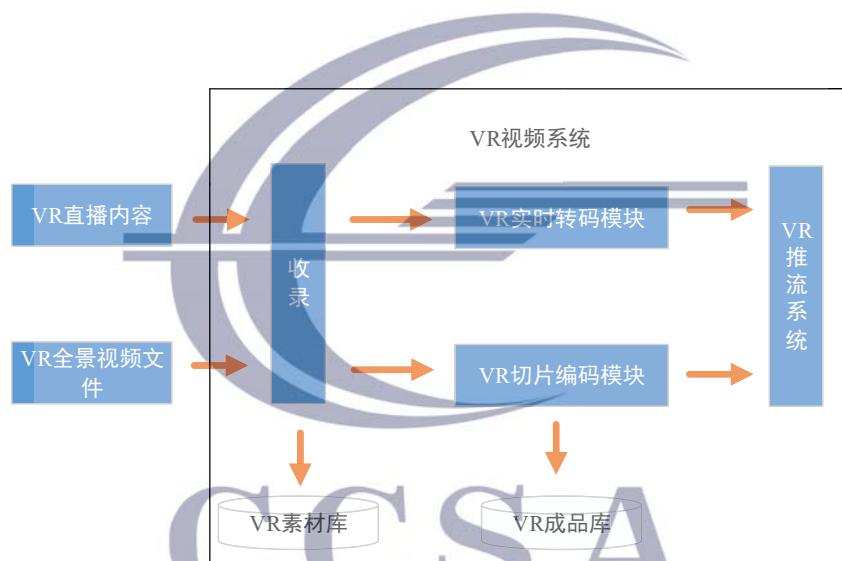


图 17 VR 视频系统

VR 实时转码模块，主要实现 VR 直播系统的 VR 全景画面的码率转换和 FOV 画面包含的高清切片 Tile 划分。在 VR 直播系统中，VR 视频系统获取到内容提供商推送的 VR 高清全景视频流，系统需要根据用户的网络带宽情况对获取的全景视频流进行实时码率转换，同时划分 FOV Tile 切片，最后经过 VR 推流系统推送到客户端进行渲染展示。

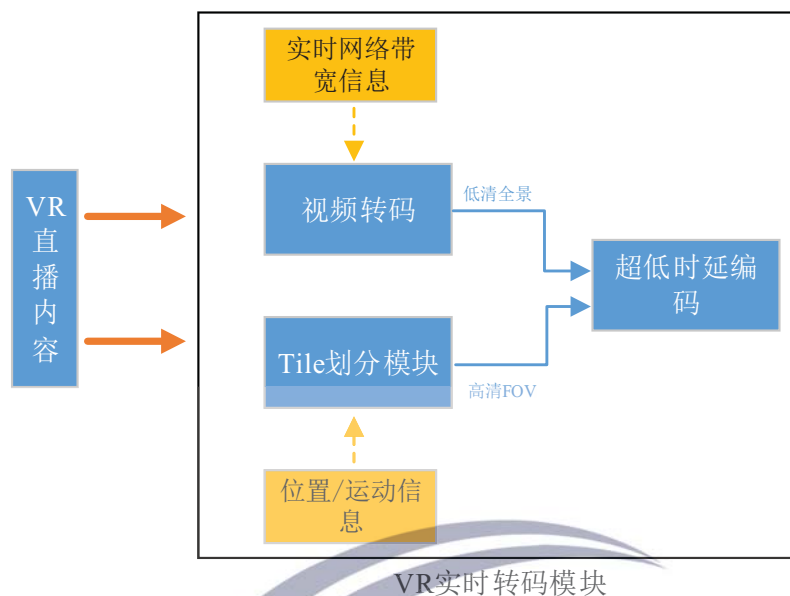


图 18 VR 实时转码模块

收录模块，主要收集来自内容提供商的 VR 直播、点播全景视频流文件，并将之缓存到 VR 素材库，用于后续的视频点播或其他服务。

VR 切片编码模块，主要实现 VR 全景视频的多码率转码、切片封装。在 VR 点播系统中，VR 片源被离线处理为多种码率的全景视频文件和 Tile 文件，然后分别封装为 MESH-DASH 等格式文件进行存储。当用户对特定视频资源发起播放请求的时候，VR 点播系统根据客户的网络状态信息和用户端上传的 FOV 位置信息，选择最佳码率的全景视频文件和 Tile 文件下发到客户端进行渲染播放。

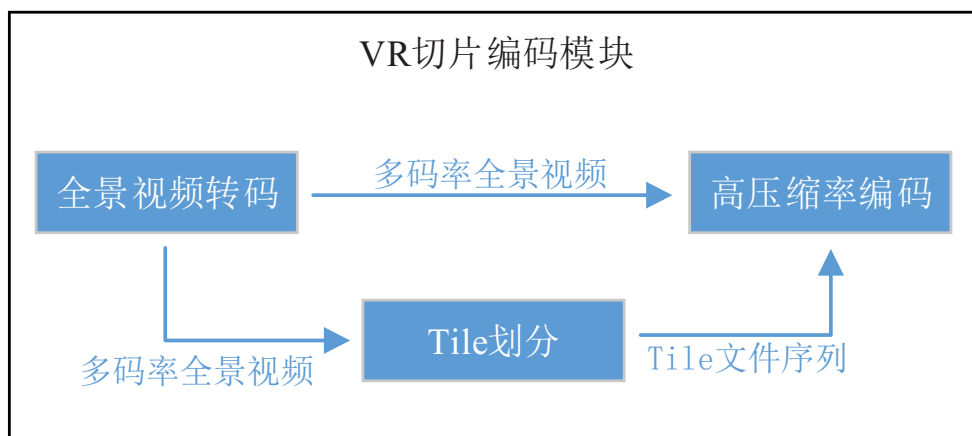


图 19 VR 切片转码模块

VR 视频至少包含全视角 360 度的画面,在同等清晰度下,画面的内容和数据量是普通视频的几十倍;而且 VR 视频传输方案要求在 VR 视频转码时基于 Tile 进行视频分块处理,对 VR 视频的转码模块提出了很高的性能要求。

表 2 Cloud VR 视频系统关键功能建议

	起步阶段 (初级沉浸)	舒适体验 (部分沉浸)	进阶体验 (深度沉浸)	极致体验 (完全沉浸)
基于 Tile 的转码	--	✓	✓	✓
VR 视频传输技术	全视角传输	全视角传输 /TWS 传输方案	全视角传输/TWS 传输方案	TWS 传输方案

(二) 云化虚拟现实云渲染系统：构建全新平台

Cloud VR 云渲染系统由中心管理模块和分前端模块组成。一套系统只需要一个中心管理模块,但可以有多多个分前端系

统；分前端系统的数量可以根据需要增减，并且支持平滑扩容。

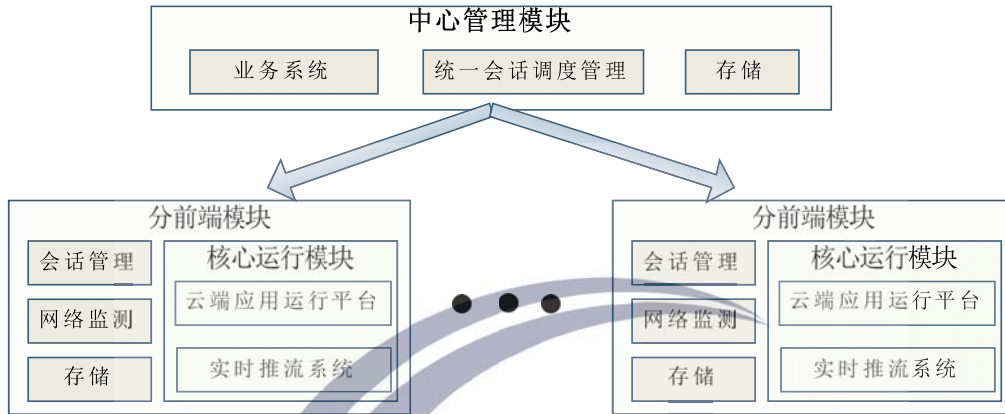


图 20 中心管理模块及分前端模块

中心管理模块一般可由业务系统、统一会话调度管理模块和存储模块组成，主要负责：配合业务平台进行用户管理、计费和内容管理；用户会话和运行实例在各前段模块间的统一调度分配管理；用户数据的统一存储。

分前端模块是 Cloud VR 云渲染系统的核心运行模块，可以根据需要部署到靠近用户的数据中心，保障用户体验。分前端模块一般有会话管理模块、网络监测模块、存储模块和核心运行模块组成。Cloud VR 云端应用的运行、实时渲染和编码推流，都在 Cloud VR 云渲染核心运行模块实现。

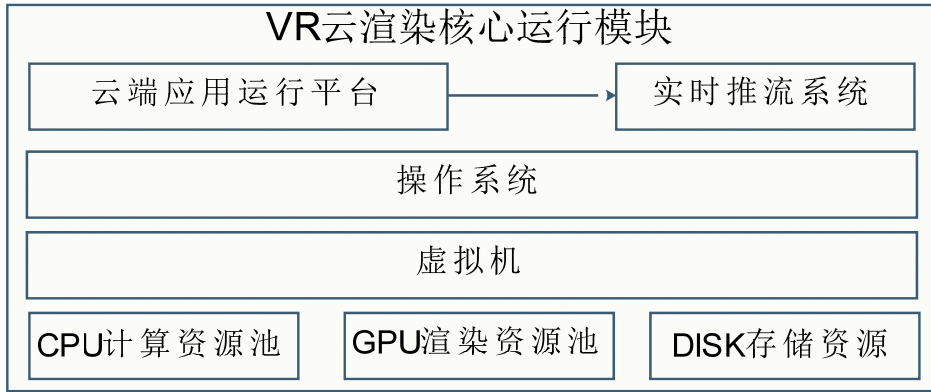


图 21 VR 云渲染系统结构图

Cloud VR 云渲染核心运行模块的硬件基础是 CPU 计算资源池、GPU 渲染资源池（实时渲染平台）和存储空间，并在此基础上构建多台虚拟机作为 VR 业务的运行环境。虚拟机的 CPU 计算资源和 GPU 渲染资源可以聚合在一起，也可以是分离的，计算和渲染资源可动态分配。Cloud VR 云端应用运行平台模拟 VR 应用运行时的环境，使得针对不同 VR 终端开发的应用均可在服务端运行。同时平台还负责从 VR 终端读取姿态信息，并在应用读取时，传递给应用，应用根据读取的姿态信息渲染游戏画面。上层的 VR 应用并不会感知到 VR 云端应用运行平台的存在。

实时推流系统接收 VR 应用输出的实时画面，经过快速编码后经传输网络实时推送到终端显示。服务同一台 VR 终端的实时推流系统一般需要和对应应用运行实例的 GPU 渲染资源部署在同一地点。

表 3 Cloud VR 云渲染系统功能和性能要求

	起步阶段 (初级沉浸)	舒适体验 (部分沉浸)	进阶体验 (深度沉浸)	极致体验 (完全沉浸)
异步扭曲功能	ATW(超视角画面渲染)	ATW/ASW(视频包含景深信息)	ATW/ASW	ATW/ASW
并行处理 (渲染、编码、传输)	—	部分支持	√	√
渲染性能	5~15 毫秒	5~10 毫秒	<5 毫秒	<5 毫秒
编码性能	5~10 毫秒	5~10 毫秒	2~5 毫秒	1~2 毫秒
编码压缩率	100~150 倍	100~200 倍	150~250 倍	>200 倍
VR 传输协议	—	√	√	√

第五章 面向云化虚拟现实的网络传输技术

传输网络作为 Cloud VR 连接云端业务平台和终端 VR 头盔的管道，负责操作和交互指令、动捕信息的上传以及流化视频等信息的下送。而 Cloud VR 业务的低时延要求以及超大数据量的流化视频信息等，都给当前的网络传输带来了巨大挑战，新的网络传输技术和方案将随之兴起，以便为用户带来更好的 VR 业务体验。

（一）云化虚拟现实网络需求呈大带宽、低时延趋势

面对 Cloud VR 超大数据量、超低时延的传输需求，以网络管道为核心，云端业务平台和终端 VR 头盔的传输解决方案对网络传输的关键能力需求如下表：

表 4 Cloud VR 各阶段对网络传输的要求

		起步阶段 (初级沉浸)	舒适体验 (部分沉浸)	进阶体验 (深度沉浸)	极致体验 (完全沉浸)
弱交互 视频类	带宽需求	30~60Mbps	60~140Mbps	320~440Mbps	870M~1.6Gbps
	网络 RTT	≤40ms	≤30ms	≤20ms	≤20ms
	网络丢包率	≤1.40E-4	≤1.50E-5	≤1.00E-6	≤1.00E-6
强交互 游戏、社交类	带宽需求	50~100Mbps	100~300Mbps	500M~1.2Gbps	1.2G~2Gbps
	网络 RTT	≤20ms	≤15ms	≤8ms	≤5ms
	网络丢包率	≤1.50E-5	≤1.0E-5	≤1.0E-6	≤1.0E-6

弱交互 Cloud VR 与强交互 Cloud VR 对网络的要求差异很大，并且对于数据的传输路径也各不相同，因此网络可以考虑分别满足两类业务的不同需求。

（二） 面向云化虚拟现实的网络解决方案

Cloud VR 网络呈现超宽接入、高质量家庭组网、极简网络的发展趋势。Cloud VR 的不同发展阶段对网络传输的需求有较大的差别，结合具体传输技术的发展和演进，网络传输可以分两个阶段：VR-Ready 网络、以超高质量 VR 体验为中心的网络。VR-Ready 网络满足 Cloud VR 起步阶段和舒适体验阶段的网络传输需求；Cloud VR 进阶体验与极致体验阶段，网络将以超高质量 VR 体验为中心，往智能化的超低时延传输发展。

VR-Ready 网络解决方案：让 Cloud VR 业务快速开展

在 VR-Ready 网络阶段，网络解决方案的特点是：千兆家宽接入、5G 蜂窝移动接入、品质家庭网络、极简城域网。

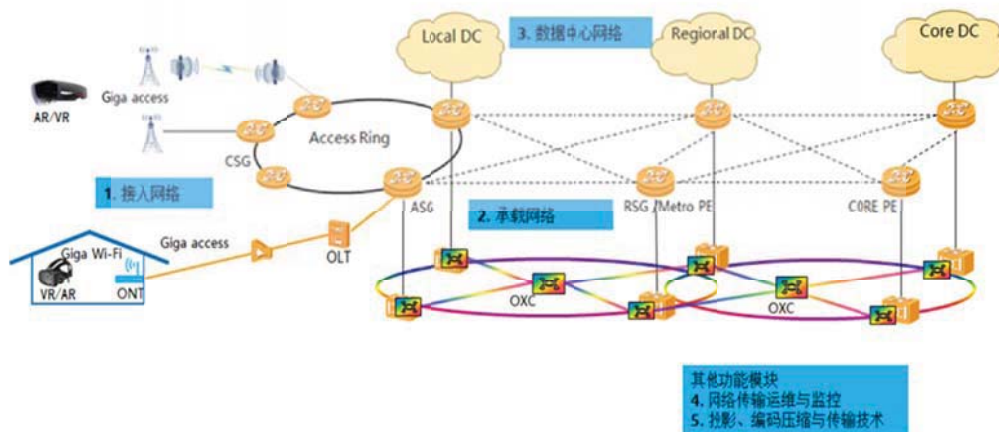


图 22 VR-Ready 网络架构

典型 VR-Ready 网络架构如上图，各网络段的时延要求如下表：

表 5 VR-Ready 网络各网络段时延要求

	家庭 Wi-Fi	固定接入网	5G 蜂窝移动接入	城域承载 (OLT/MCE 至区域数据中心)	网络缓存时延
网络时延	5~7ms	≤2ms	≤8ms	1~3ms	0~5ms

VR 网络演进：智能化的极简网络以保障超高质量 VR 体验为中心

Cloud VR 进阶体验与极致体验阶段，网络将以保障超高质量的 VR 体验为中心，以极简的架构与极简的协议构建超低时延的传输网络；智能化的云网协同，构建业务的自动化和运维的人性化。超千兆的宽带接入、5G 及下一代的蜂窝移动接入、新移动智能家庭网络、极简的网络架构是建设智能化极简网络的基础。

表 6 VR 网络各网络段时延要求演进

	家庭 Wi-Fi	固定接入网	5G 蜂窝移动接入	城域承载 (OLT/MCE 至边缘/区域数据中心)	网络缓存时延
网络时延	2~5ms	≤2ms	≤5ms	≤1ms	0~3ms

1. 高性能 Wi-Fi 是 Cloud VR 家庭网络的关键

对于 PC VR 头盔由主机通过有线家庭网络接入 Cloud VR 云端，当前成熟的千兆以太网能很好地满足 Cloud VR 要求。而对 VR 一体机、Mobile VR 需要通过 Wi-Fi 无线连接方式来说，目前大部分家用 Wi-Fi 设备的性能还无法很好满足 Cloud VR 要求，容易影响用户的使用体验。

家庭 Wi-Fi 承载 Cloud VR 业务的关键挑战在于：一是信号干扰，Wi-Fi 的传输介质是空口共享介质，Wi-Fi 技术定义了 MAC 层 CSMA/CA (载波监听多址接入/碰撞避免) 进行互相退避，同时出现多个 AP 使用相同频段时，性能会大大降低。二是信号衰减，Wi-Fi 传输速率和信号强度强相关，距离 Wi-Fi 网关近的地方信号强，连接速率高，距离远或者有墙壁隔离的地方信号很弱。三是业务相互影响，家庭 Wi-Fi AP 一般同时接入多个不同终端，除了 VR 业务，在同一网络中可能存在上网、下载及其它非 VR 视频业务，相互之间会抢占资源，相互影响。

当前不同版本的 Wi-Fi 技术的理论带宽如下表所示，在实际应用环境下受以上因素的影响，实际的带宽将大打折扣。一般环境下的实际带宽常小于理论带宽的 60%，在干扰严重些或信号强度不理想的环境下，实际带宽还会大幅度减小。另外 802.11AC 及之前版本的 Wi-Fi 协议对时延性能没有保

证，在不理想环境下的传输时延会大大超过 Cloud VR 的要求。

Technology	20 MHz ^[a]	40 MHz	80 MHz	160 MHz
802.11b	11 Mbps			
802.11a/g	54 Mbps			
802.11n (1 SS)	72 Mbps	150 Mbps		
802.11ac (1 SS)	87 Mbps	200 Mbps	433 Mbps	867 Mbps
802.11n (2 SS)	144 Mbps	300 Mbps		
802.11ac (2 SS)	173 Mbps	400 Mbps	867 Mbps	1.7 Gbps
802.11n (3 SS)	216 Mbps	450 Mbps		
802.11ac (3 SS)	289 Mbps	600 Mbps	1.3 Gbps	2.3 Gbps ^[b]
802.11n (4 SS) ^[c]	289 Mbps	600 Mbps		
802.11ac (4 SS)	347 Mbps		1.7 Gbps	3.5 Gbps
802.11ac (8 SS)	693 Mbps	1.6 Gbps	3.4 Gbps	6.9 Gbps

图 23 各版本 Wi-Fi 协议下的理论带宽

最新的 802.11ax 标准最大可实现 10Gbps 空口速率，同时具有更强的抗干扰能力，以保障丢包率、时延以及带宽稳定性等性能指标。802.11ax 相比 802.11ac 主要在如下几个技术方面做了改进：使用正交频分多址技术大幅提升抗干扰能力；引入 1024QAM 传输速率提升近 40%；改进的子载波技术提升覆盖能力；新增上行 MU-MIMO 提升空口效率。

在 VR-Ready 网络的早期阶段，家庭 Wi-Fi 可以使用 802.11ac 技术，并逐步过渡到 802.11ax 技术。802.11ac 标准的技术是无法保证满足 Cloud VR 对家庭网络性能的要求的，因此以下的一些技术可以被采用以提升家庭网络传输性能：

1) 智能信道管理技术：建设运营级家庭 Wi-Fi 统一管理系统，对区域内家庭 Wi-Fi 网络进行管理及维护，通过发送功率智能调整和信道自动调优技术，减少 Wi-Fi 信号对周边

邻居的干扰，同时引入动态信道调优到干扰少的信道规避干扰。

2) VR 业务优先的 Wi-Fi 调度：IEEE 802.11e 为基于 802.11 协议的 WLAN 体系添加了 QoS 特性，定义了 WMM(Wi-Fi Multimedia, Wi-Fi 多媒体)标准，标准定义了四个优先级队列，采用 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access, 增强的分布式信道访问)信道竞争机制，用于保证高优先级分类的报文优先抢占无线信道和发送。

3) 分布式 Wi-Fi 覆盖：为了解决信号衰减，实现 Wi-Fi 无缝覆盖，家庭可以使用分布式 Wi-Fi 组网解决方案，根据房屋结构、室内障碍、电器干扰情况确定分布式 AP 布放位置和数量，分布式 AP 到家庭网关的回传链路采用以太链路。

4) Wi-Fi 时延增强技术：现有的 Wi-Fi 标准还不能保证 Wi-Fi 传输的时延。目前有一些技术可以对 Wi-Fi 的时延进行改善，如基于双天线的双发双收、基于物理层的加速重传等。

在 VR-Ready 网络的早期可以使用 802.11ac 的 Wi-Fi AP 及相关的增强技术来满足 Cloud VR 的带宽和时延需求。中后期可以逐渐切换到新移动 Wi-Fi 技术 802.11ax。

随着体验要求的提升，802.11ax 也无法完全满足带宽和时延要求，还需要更新一代的 Wi-Fi 技术来实现，目前正在研究的 802.11ay 甚至更新的技术指的期待。

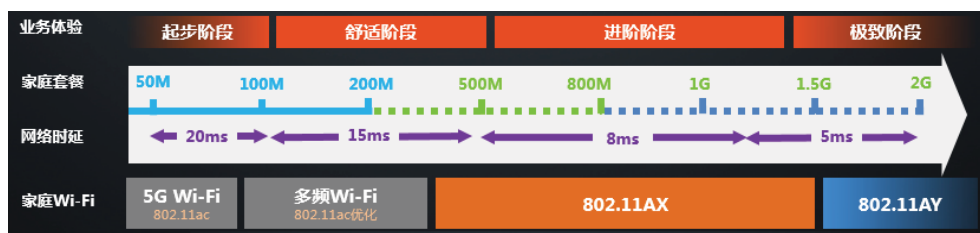


图 24 Wi-Fi 技术与 Cloud VR 发展的匹配情况

2. 大容量 PON 是 Cloud VR 接入网络的趋势

当前国内家庭固定宽带接入技术主要采用光纤接入 FTTH，在 VR-Ready 网络阶段，可使用 10GPON 光纤接入满足 Cloud VR 需求；随着 VR 的发展，网络演进时可同步升级到 25GPON 或 100GPON。

表 7 FTTH 技术演进和 Cloud VR 匹配情况

PON	容量	分光比	VR-Ready 网络阶段		智能化极简网络阶段	
			起步阶段	舒适体验	进阶体验	极致体验
			50~100Mbps	100~300Mbps	500M~1.2Gbps	1.2~2Gbps
GPON	2.5G	1:64	基本满足	不满足	不满足	不满足
		1:32	满足	不满足	不满足	不满足
10GPON	10G	1:64	满足	满足	不满足	不满足
		1:32	满足	满足	不满足	不满足
25GPON	25G	1:64	满足	满足	部分满足	不满足
		1:32	满足	满足	满足	不满足
100GPON	100G	1:64	满足	满足	满足	基本满足
		1:32	满足	满足	满足	满足

说明
上述计算考虑了 50%收敛（对应 PON 口用户实际开通率和用户在线率）

3. 5G 使能无线蜂窝接入承载 Cloud VR

当前的第四代无线蜂窝接入技术无论从带宽还是时延上都无法满足 Cloud VR 承载的需求。新一代 5G 无线蜂窝接入技术的超大带宽、超低时延及超强移动性可保障极致的 VR/AR 体验。5G 是由国际电信联盟（ITU）制订的第五代移动通信标准，正式名字为 IMT-2020。5G 综合考虑八个技术指标，包括了峰值速率、用户体验速率、频谱效率、移动性、时延、连接密度、网络能量效率和流量密度。5G 使能未来通信最关键的三个需求维度：1ms 的 E2E 时延，10Gbps 的吞吐量以及每平方公里 100 万连接数，如下图所示。

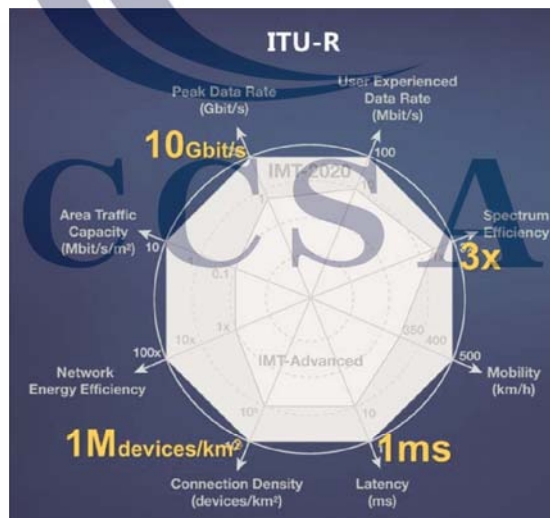


图 25 5G 蜂窝技术关键能力

目前的 5G 技术能满足 VR-Ready 网络阶段和演进早期阶段 Cloud VR 的带宽需求，为满足极致 VR 体验，5G 还需要新的技术甚至下一代无线蜂窝技术来满足这超大带宽的需求。

4. Cloud VR 城域网络向架构简化、大容量传输发展

当前主流的网络，普遍使用 FTTx+大二层汇聚+业务控制层+核心层的网络架构，这种架构城域网络的多级汇聚、高收敛容易造成 Cloud VR 的流化视频数据拥塞，产生排队时延甚至丢包，影响用户体验

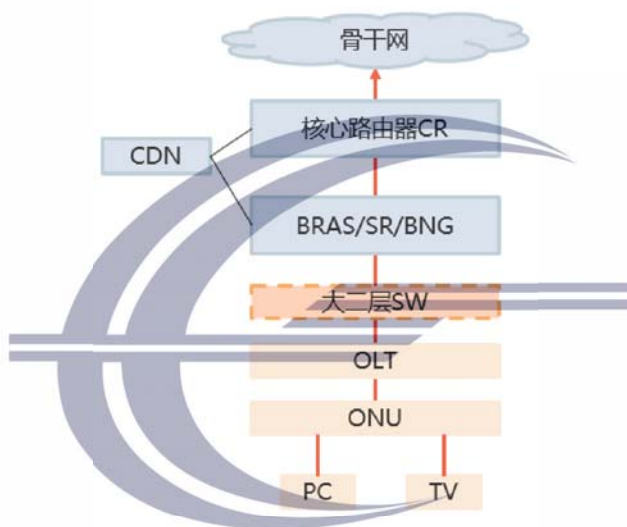


图 26 多级汇聚网络架构

VR-Ready 网络需要采用低收敛、扁平化设计的简化结构，取消大二层 SW 的多级级联结构，OLT 直连 BNG，提高网络质量。同时围绕数据中心进行网络的规划，伴随着数据中心的下沉，进一步向一跳直达的极简结构演进。

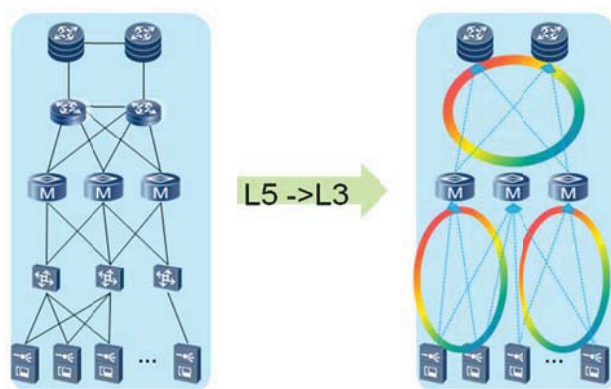


图 27 城域网络架构层次扁平化（5层降为3层）

Cloud VR 大数据量的传输，对城域网各层级的设备容量也带来了巨大的冲击，传输设备需要加速大容量的技术演进步骤。目前城域网 CR 设备向 1T 集群演进，BNG 向 200G 平台演进，能够满足 VR 早期阶段的需求，后续设备演进路线需视业务发展情况而定。传输设备需要加速大容量的技术演进步骤。VR-Ready 网络阶段的容量需求评估如下：

表 8 Cloud VR 各阶段城域网络带宽需求

VR 发展阶段		VR 起步阶段	VR 舒适体验阶段
用户带宽需求 (Mbps)		80	260
渗透率		15%	15%
并发率		10%	10%
带宽需求	OLT 下行 (Gbps)	5	15
	OLT 上行 (Gbps)	3	8
	BNG 下行 (Gbps)	50	160
	BNG 上行 (Gbps)	25	80
	CR 下行 (Gbps)	120	390
	CR 上行 (Gbps)	50	200

	OLT 整机 (Gbps)	8	24
	BNG 整机 (Gbps)	75	240
	CR 整机 (Gbps)	180	580

第六章 云化虚拟现实终端技术

(一) 云化虚拟现实终端关键需求

Cloud VR 终端是呈现 Cloud VR 内容的最终平台，VR 终端的性能决定 Cloud VR 的最终用户体验。区别于传统的 VR 终端，Cloud VR 的特征是将渲染等处理移至云端，因此 Cloud VR 终端相比传统的 VR 终端减少了虚拟现实场景生成、图形渲染等环节，但增加了云渲染音视频压缩解压、网络传输及视频处理（头动渲染）等部分功能。Cloud VR 终端的系统框架如下图所示：

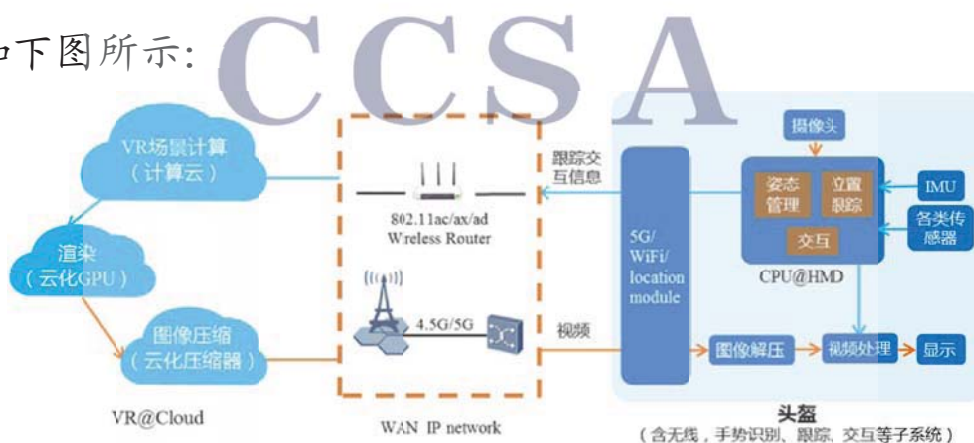


图 28 Cloud VR 终端功能框图

由于渲染与显示的分离必然导致时延的增加，因此 Cloud VR 终端与传统 VR 一体机、移动分体式、PC VR 等类型的头盔比较而言，增加了图像解压以及大时延下的视频处

理部分，更加侧重于大时延下的 VR 晕动症问题解决以及图像压缩解压以及传输中的丢包、抖动导致的图像质量下降的问题。同时，Cloud VR 终端将在显示、交互以及跟踪技术与普通 VR 终端技术保持一致，向着小型化、轻便化、更高清晰度及更大视场角发展。

表 9 Cloud VR 终端关键功能与性能要求

	起步阶段 (初级沉浸)	舒适体验 (部分沉浸)	进阶体验 (深度沉浸)	极致体验 (完全沉浸)
VR 传输协议	—	√	√	√
解码能力	全解码	全解码/Tile 解码	Tile 解码	Tile 解码
解码性能	10~15 毫秒	8~11 毫秒	3~5 毫秒	1~3 毫秒
头动渲染	ATW	ATW/ASW	ATW/ASW	ATW/ASW
头动渲染性能	3~5 毫秒	2~4 毫秒	2~3 毫秒	2~3 毫秒
无线连接功能	802. 11ac	802. 11ac/802. 11ax 或 5G 蜂窝	802. 11ax/802. 11ay 或 5G 蜂窝	802. 11ay 及下一代 Wi-Fi 技术或下一代蜂窝技术
MTP	20 毫秒	20 毫秒	16 毫秒	16 毫秒

Cloud VR 终端核心时延要求为 $MTP \leq 20ms$

VR 云化后导致的大时延问题，是 Cloud VR 必须解决和克服的核心问题。

传统的 VR 终端要求 MTP (Motion to Photons, 运动至显示) 时延小于 20ms。

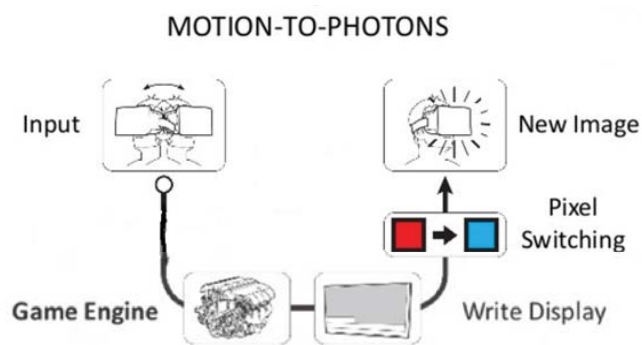


图 29 MTP 时延

Cloud VR 系统将渲染放到了云端，为获得良好体验，除了 MTP 小于 20ms 外，还需要配合云端和网络保证云化时延满足要求。Cloud VR 系统要求帧率保证在 60fps 以上、AWTP (Asynchronous Warp to Photonic 异步扭曲到显示) 时延低于 20ms、端到端的操作响应时延小于 100ms。

Cloud VR 终端分辨率及视场角是影响图像质量的关键

VR 对图像质量有着苛刻的要求，其首先虚拟的是在人眼视觉感知上形成虚拟的世界，因此图像质量能否使人进入沉浸式体验是最为重要的。要达到 VR 的图像要求，一方面是每一角度上分布的像素数，即 PPD，通常人眼的感知极限是 60PPD，也就是说每一角度上有 60 个像素以上，人眼将无法分辨出真实与虚拟图像之间的差异。另一方面是视场角，人眼单眼的极限视场角为 156 度，从沉浸感的角度看，视场角越逼近人眼视场角极限越好。

如果要达到人眼的极限，那么单眼屏幕的分辨率规格要求就是60*156，即9360*9360，这对于屏幕、处理器都是一种极大的挑战。

早期投放市场的VR头盔分辨率并不是很高，主流产品分辨率在单眼1K，视场角90度左右。经过几年的发展，以Huawei VR2，HTC Vive Pro 代为代表的业界一流头盔已经实现了单眼1.6K，视场角100度的水平。按照业界当前的状态及未来发展趋势，可将云VR头盔的分辨率和视场角的演进划分为如下4个阶段：

表 10 Cloud VR 不同发展阶段VR终端单眼分辨率及视场角要求

	起步阶段# (初级沉浸) #	舒适体验 (部分沉浸)	进阶体验 (深度沉浸)	极致体验 (完全沉浸)
单眼分辨率	1080*1200	2K	4K	8K
视场角	90	100	120	140

(二) 云化虚拟现实终端的形态与技术发展

1. VR 终端向更沉浸的体验、更自然的交互趋势发展

Cloud VR 终端最终将以一体机或者VR头盔结合手机形态呈现。

商用的VR头盔经历了PC VR、Mobile VR以及一体机等形态。由于应用的场景不同，对VR的分辨率、帧率存在着较大的差异。PC VR通常会被追求高体验的用户选择，但成

本高昂；低成本的 Mobile VR 获得大多数以尝鲜为主的用户青睐，但无法保障体验；而一体机则折中了性能和便携性，既有比 Mobile VR 更好的体验，同时比 PC VR 更便携。但在这几类产品形态中，均无法很好地兼顾体验和便携性。Cloud VR 的出现无疑打破了这一困境，其通过云端强大的计算和渲染能力来保障体验，从而大幅降低云 VR 头盔的性能要求，并通过 Wi-Fi/5G 无线蜂窝通信技术接入，使得便携性得到前所未有的提升。

Cloud VR 终端最终将以两种形态呈现：

一种是独立的云 VR 终端形态，即一体机，其需要具备通信能力，同时还要具备图像解码和头动渲染的能力，能够对接收到的图像进行 ATW、ASW 等处理并最终在屏幕上显示。由于保留了处理能力，电池、硬件电路将会使得重量无法最佳状态，但其独立的产品形态，使其在使用上拥有更加优异的便携性。

另一种是依靠现有手机的强大处理能力来完成终端侧的计算，VR 头盔仅作为显示设备，降低了云 VR 的计算需求，从而极大地降低头盔成本和体积。

VR 终端以更沉浸的体验和更自然的交互为基础目标，涉及显示、光学、跟踪与交互技术多维度优化。

当前的虚拟现实研究方向主要涉及两个方面，如何为用户带来沉浸式体验以及如何实现最为自然和便捷的虚拟现

实交互方式。同时，工程上需要应用新的显示技术、光学技术以及跟踪和交互技术等，来解决虚拟现实终端的便携性、重量和功耗的问题，从而不断优化虚拟现实终端。

显示技术

更好的显示器通过更高分辨率来提升虚拟现实头盔的视觉体验，同时通过降低显示器功耗来提升虚拟现实头盔的续航能力，这些都是当前的重要研究方向。

虚拟现实图像处理技术

交互时延的存在将会导致虚拟世界的物体变化存在迟滞，但物体的运动通常是有一定速度、加速度及规律的，如果能利用物体运动的特征进行物体位置和姿态的预测，将进一步降低交互时延，因此这一类技术也是虚拟现实研究的重点。

光学系统及成像技术

这类技术以增大 FOV、降低头盔尺寸和重量、减少色散和畸变为目标。此外，通过光学系统来降低纱窗效应，也是当前的一个热点技术。

人体姿态的跟踪和环境感知技术

比如 6DoF 头部跟踪技术及手柄等 6DoF 跟踪技术。6DoF 跟踪根据追踪单元置放在头盔内或头盔外，可分为由内至外型 (inside out) 和由外至内型 (outside in)，其中由内

之外型由于更加便携而成为当前发展的重要方向，通常采用 SLAM、超声波等技术进行位置跟踪。

交互技术

目前成熟的交互技术有手柄等方式，但手柄便携性不足且交互方式不自然。目前业界对于交互技术的研究有多个分支，例如手势识别、语音识别、触觉模拟、肌电感知、脑机交互等技术。

这些技术不局限于云化虚拟现实终端，VR 业界都在进行广泛的研究，本文在此不做详细描述。

2. Cloud VR 终端强化无线通信与低时延处理能力

Cloud VR 终端进一步要求高性能无线通信、低延时压缩解压缩与传输能力。

通信技术

对于云化虚拟现实终端而言，云化的特征是计算的分离和远程化，因此通信技术的发展对云化终端的影响尤为显著。

当前，第 5 代无线蜂窝技术（5G）的市场化会快速推动云化终端通信模块的 5G 化。极低的空口时延（1ms）和极高的传输速率（10Gbps）保证了云化终端的低时延大带宽要求。

而对于无线 Wi-Fi 技术来说，802.11ac 之后的下一代 Wi-Fi 标准 802.11ax 草案已经稳定，业界芯片公司也即将推出商用芯片。由于 802.11ax 将传统 Wi-Fi 的竞争接入方式

改变为调度与竞争结合的接入机制，极大地提升了密集 Wi-Fi 部署下的传输效率。同时频分多址复用及调度技术的应用使得低时延业务的保证更加可靠，从而保证了云化虚拟现实终端的低时延传输要求。在速率上，802.11ax 通过更高至 1024QAM 的调制方式以及更小的子载波间隔来提升物理层的速率，因而峰值速率可以达到 10Gpbs。与此同时，基于 60GHz 频段的短距通信技术走向成熟，由于 60GHz 在单比特能效比上较 2.4GHz & 5GHz 频段传输技术高，因而在 10 米范围内的能效相比低频段技术已经有了明显的提升。在 NLOS 信道下，波束控制 (Beam steering) 技术在波束搜索、切换速度得到了明显的提升，抗遮挡能力已经有了长足进步，近来业界基于 802.11ad 的芯片已经开始商用，而下一代 WiGig 技术 802.11ay 的标准也临近封板。

从未来通信技术的发展看，未来的云化虚拟现实终端将会形成双犄角发展，5G 蜂窝技术和下一代 Wi-Fi 技术共同支撑云化虚拟现实终端与网络的连接，保证单眼 8K 分辨率，极低的空口传输时延成为可能。

低时延图像压缩解压技术

云化虚拟现实系统的核心是云化后如何达到与本地渲染相当的时延和图像质量，因此如何实现低时延、高保真的压缩和解压缩，并通过压缩技术降低网络传输的带宽需求，是云化虚拟现实终端技术需要解决的问题。

当前基于通用视频的编解码一般都有花十几毫秒以上才能完成一帧的编码和解码，效率低，无法满足 Cloud VR 云渲染的要求。通过采取优化方法如：简化运动搜索算法、减少帧内的预测模式、降低帧间 MV 预测技术 AMVP 和 merge 模式的算法复杂度、减少编码单元划分层级、帧间并行和帧内 Slice 并行编码模式、开发专用的视频编解码 ASIC 定制芯片等，以牺牲压缩率换取编码时间，实现快速编解码。在压缩率 50~150 倍左右时，采用快速编解码技术可以有效地将编解码的时间控制在 1~3 毫秒。

低延迟云化虚拟现实图像传输技术

网络传输（尤其是无线传输）中存在丢包、时延抖动、时延大等问题，在进行图像传输和接收时，如何利用虚拟现实系统以及网络技术的特点，对图像数据进行封装、传输、重传等处理，从而使图像传输更加稳定、图像质量和时延更有保障，是一个重要问题。

虚拟现实应用与一般手机/PC 游戏/视频的不同之处在于对延时的异常敏感性，系统延时的影响远大于系统吞吐量，因此需要重新审视 VR 系统中应用层面的传输协议、丢包重传和图像划分来寻找可优化的空间。

Cloud VR 系统中在服务器和终端之间需要传送的数据主要有两种：从服务器到终端的音视频数据和从终端到服务器

的姿态/位置数据，其中还有少量的控制数据也可以归入到第二类数据。

首先，音视频数据应该采用基于快速传输的 VR 传输协议。Cloud VR 主要在服务器端完成计算，计算结果（渲染完成的内容）需要及时传至 VR 终端，为了保证良好的用户体验，传递的延时要尽可能小。由于 VR 对实时性要求高，如果某一帧数据传送丢失，除非是关键 I 帧，否则不需要重传，服务器终端只需要传输更新的一帧即可。

其次，VR 终端采集到的位姿和位置是服务器端渲染时依赖的重要信息，数据量不大，传送过程中不能有问题，可以采用面向连接的 TCP 协议。服务器端和终端之间的控制信号，比如协商渲染贴图大小参数等，也可以用 TCP 类型的面向连接的协议。

最后，在整个云化虚拟现实系统流水线中，图像编解码和网络传输图形显示等比邻，从流水线的角度提高每一步的并行程度，使渲染、编解码和传输并行，能够有效降低系统的延时。Cloud VR 终端需要支持该并行技术，实现分区域传输和解码，当接收到一个区域数据开始下一个区域接收时，可并行进行上一个区域的解码，大幅节省处理时间。

第七章 总结：发展建议与展望

云化虚拟现实的目标是推进 VR 大规模发展，通过云化虚拟现实技术，将 VR 产业中的一个一个孤岛，形成有规范、有标准的产业链，开拓一个集约运营、规模发展的 Cloud VR 时代。

（一） 网络能力带宽不断升级优化，为云化虚拟现实发展保驾护航

传输网络作为 Cloud VR 连接云端业务平台和终端用户的管道，负责动捕信息的上传、流化视频等信息的下送以及交互操作的传输。Cloud VR 业务对网络能力提出较高的要求，包括：超宽接入、超低时延、高质量的家庭组网以及架构简化的城域网络等。

随着我国加速建设高速宽带网络，国内电信企业对网络基础设施的投资力度持续加大，推动实现高速光纤宽带网络的城乡全面深入覆盖，深化推进千兆宽带试点工作。

2018 年 6 月，国际标准组织 3GPP 全会（TSG#80）批准了第五代移动通信技术标准（5G NR）独立组网功能冻结，加之 2017 年 12 月完成的非独立组网 NR 标准，5G 已经完成第一阶段全功能标准化工作，5G 网络商用进程随之开启。5G 网络由于具备高速率、低时延、室外覆盖等优势，能够为

Cloud VR 业务的用户体验保驾护航。Cloud VR 也将成为 5G 时代的典型应用，重新定义移动宽带体验，改变业务架构，重塑基于体验的创新商业模式。

（二） 创新云化虚拟现实技术，推动产业可持续发展

云化虚拟现实具备多领域交叉复合的发展特性，其持续发展依托于产业链的不断升级和协同。

从终端来看，产业将围绕近眼显示、感知交互、无线传输、解码能力等关键技术维度发展：

- 近眼显示：高分辨率和广视场角显示将不断提升沉浸感，并利用符合人眼双目视觉特性的显示技术来有效控制眩晕。
- 感知交互：将通过浸入式声场、眼球追踪、触觉反馈、语音交互等技术，提升用户各感官通道的一致性与沉浸体验。
- 无线传输：终端将通过下一代 Wi-Fi 技术（如 802.11ax、802.11ay）和支持 5G 及以上无线蜂窝，来提升传输性能和用户体验。
- 解码能力：芯片能力将提升到可支持分辨率在 8K 及以上的视频，并具备更低时延的解码性能。

从云平台来看，产业将围绕编码压缩、视频传输、渲染处理等关键技术维度发展：

- **编码压缩**：下一代编码技术（H.266 等）将有效提升压缩速率，针对 VR 视频的球面编码等技术也会成为研究重点。
- **视频传输**：将从支持全视角等质量传输向全视角不等质量、FOV 传输方向发展。
- **渲染处理**：一方面是渲染优化算法，基于视觉特性、头动交互与深度学习，减少无效计算与渲染复杂度；另一方面是渲染能力提升，主要聚焦在云端渲染、新一代图形接口、异构计算、光场渲染等领域。

（三） 以需求为导向，促进云化虚拟现实应用普及

云化虚拟现实，通过内容上云、计算上云和渲染上云，可以为用户提供高质量的业务和良好的用户体验。云化虚拟现实为用户体验虚拟现实业务大大降低了体验成本，加速形成“网络效应”。同时，云化虚拟现实可以为虚拟现实开发者提供有效的版权保护，推动实现产业生态的搭建，从而加速实现虚拟现实产业的规模化发展。目前，我国各地方政府积极促进虚拟现实和当地的优势、特色产业的结合。在这个产业化推进的过程中，建议以需求为导向，找到虚拟现实与不同垂直行业的创新结合点，真正促动虚拟现实的行业应用普及。并建议各地方政府持续加大政策扶持力度，培育一批有影响力、规范可信的行业标杆企业，以更好地助力传统产

业转型升级，推动虚拟现实新技术、新产品、新业态、新模式在各领域的广泛应用。

（四） 完善行业标准的制定和推广，提供发展技术保障

虚拟现实是当前通信技术朝着将人类全维度的感官转化为生动通信体验的重要演进，是体验者在虚拟环境下，通过通信介质和技术，对现场感、沉浸感等的体验进行传输的过程，是新一代信息通信技术的关键领域。目前虚拟现实关键技术渐渐成熟，产业也正进入初期快速发展阶段，此时正是制定行业标准的黄金时期。技术标准规范的制定，可以保证消费者的知情权、健康和人身安全等权益，为消费者规范相关产品和业务的基本性能和用户体验。行业标准的制定也将促进市场的有序发展。

中国通信标准化协会于 2017 年在移动互联网应用和终端技术工作委员会（TC11）设立了 VR/AR 标准化工作子组，针对 VR/AR 产业生态圈建立及其在各垂直领域应用过程中所面临的问题，展开相关技术研究和标准化工作，主要包括总体标准、通用标准和垂直行业标准三大部分。当前以明确 VR/AR 基础概念、术语和关键性能指标定义为主的总体标准工作即将完成；另外，正在同步开展的相关标准化研究工作还包括《移动通信终端支持增强现实的技术要求》、《面向电

商业的 3D 模型通用建模技术要求》等 5 项行业标准以及 7 个研究课题。

鉴于虚拟现实规模化、产业化发展的需要，建议 VR/AR 标准化工作子组下一步可优先启动云化虚拟现实相关的行业标准的制定和推广，从而保障各平台和设备之间的互联互通性、兼容性和安全性等。同时，标准的制定还将促进产业生态的繁荣发展，增进行业共识，为云化虚拟现实和不同垂直行业的结合与推广，提供可依据、可执行的技术指导。



附录 1 交互响应时延

VR 的交互性包含很多内容，除了与晕动症相关的运动及视觉交互外，还包括操作交互等其它内容，不同类型的交互体验对时延有不同要求。谷歌目前针对网页操作的体验研究及测试表明：为保证用户良好的体验，不同的操作交互对延迟的要求有较大的差异。下表是 RAIL 模型不同延迟下的用户反应以及各类交互对时延的要求：

详细参见：

(<https://developers.google.cn/web/fundamentals/performance/rail?hl=zh-cn>)

表 11 不同延迟下用户对各类特征的反应

延迟与用户反应	
0 - 16 毫秒	人们特别擅长跟踪运动，如果动画不流畅，他们就会对运动心生反感。
0 - 100 毫秒	在此时间窗口内响应用户操作，他们会觉得可以立即获得结果。时间再长，操作与反应之间的连接就会中断。
100 - 300 毫秒	用户会遇到轻微可觉察的延迟。
300 - 1000 毫秒	在此窗口内，延迟感觉像是任务自然和持续发展的一部分。对于网络上的大多数用户，加载页面或更改视图代表着一个任务。

延迟与用户反应	
1000+ 毫秒	超过 1 秒，用户的注意力将离开他们正在执行的任务。
10,000+ 毫秒	用户感到失望，可能会放弃任务；之后他们或许不会再回来。

表 12 不同交互状态下的时延要求

RAIL 步骤	关键指标	用户操作
响应	输入延迟时间(从点按到绘制) 小于 100 毫秒。	用户点按按钮(例如, 打开导航)。
动画	每个帧的工作(从 JS 到绘制)完成时间小于 16 毫秒。	用户滚动页面, 拖动手指(例如, 打开菜单)或看到动画。拖动时, 应用的响应与手指位置有关(例如, 拉动刷新、滑动轮播)。此指标仅适用于拖动的持续阶段, 不适用于开始阶段。
空闲	主线程 JS 工作分成不大于 50 毫秒的块。	用户没有与页面交互, 但主线程应足够用于处理下一个用户输入。
加载	页面可以在 1000 毫秒内就绪。	用户加载页面并看到关键路径内容。

结合谷歌基于网页体验的研究以及业界对 MTP 时延的研究, 可以认为: 对于用户头部的运动、外部运动的持续阶段,

时延要小于 16 毫秒；而对于普通的操作、外部运动的开始阶段，在 100 毫秒内的响应给用户的感受都是即时的。



附录 2 缩略语

表 13 缩略语

简称	全称	中文含义
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作组织
AR	Augmented Reality	增强现实
HCI	Human Computer Interaction	人机交互
VR	Virtual Reality	虚拟现实
HHI	Heinrich-Hertz-Institute	弗劳恩霍夫通讯技术研究所
ATW	Asynchronous Time Warp	异步时间扭曲
ASW	Asynchronous Space Warp	异步空间扭曲
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘计算
MTP	Motion-to-Photons	运动响应时延
AWTP	Asynchronous Warp to Photonic	异步扭曲到显示
FOV	Field of View	视场
FPS	Frame Per Second	帧每秒
HMD	Head Mounted Display	头戴式显示
IBR	Image Based Rendering	基于图像的绘制
Cloud VR	Cloud Virtual Reality	云化虚拟现实
VE	Virtual Environment	虚拟环境
OMAF	Omnidirectional Media Application Format	全向媒体应用格式
3DoF	3 degree of freedom	三自由度
6DoF	6 degree of freedom	六自由度

TWS tile wise streaming

基于智能分片的流媒体



中国通信标准化协会

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010-62302734

传真：010-62301849

网址：www.ccsa.org.cn

