

iLab VR
OPEN
LAB



CloudVR

解决方案白皮书





前言



目录

01 Cloud VR 时代已来 01

1.1 VR 迎来历史时刻，电信运营商发布 Cloud VR 业务	02
1.1.1 福建移动面向用户提供 5 种云 VR 应用	02
1.1.2 韩国 KT Crop 推出 VR 主题公园 VRIGHT	03
1.2 用户被 Cloud VR 体验吸引，咨询办理业务	03
1.3 Cloud VR 商业场景丰富，市场空间大	03
1.4 VR 关键痛点已化解，Cloud VR 已可商用	05

02 Cloud VR 解决方案 07

2.1 Cloud VR 解决方案概述	08
2.1.1 Cloud VR 解决方案架构	08
2.1.2 Cloud VR 解决方案的关键约束	09
2.1.3 Cloud VR 解决方案的业务体验指标	09
2.2 Cloud VR 强交互业务	10
2.2.1 Cloud VR 强交互业务方案总体设计	10
2.2.2 Cloud VR 强交互业务平台规划部署	14
2.2.3 Cloud VR 强交互业务网络规划部署	18
2.2.4 Cloud VR 终端选择与部署	23
2.3 Cloud VR 视频业务	27
2.3.1 Cloud VR 视频方案总体设计	27
2.3.2 Cloud VR 视频业务平台规划部署	32
2.3.3 Cloud VR 视频业务网络规划部署	33
2.3.4 Cloud VR 终端选择与部署	34
2.4 Cloud VR 投屏业务	34
2.4.1 云端投屏方案	35
2.4.2 投屏方案演进	35



03 Cloud VR 的运营和生态建议 36

3.1 场景及内容选择建议	37
3.1.1 场景的选择	37
3.1.2 内容的选择	37
3.2 内容运营与商业模式设想	38
3.2.1 运营合作	38
3.2.2 VR 业务套餐设想	39
3.3 VR 生态	39

04 展望 40

4.1 Cloud VR 发展的三个阶段	41
4.2 Cloud VR 发展的三个阶段业务体验指标	41
4.3 Cloud VR 解决方案对时延要求展望	42
4.4 Cloud VR 解决方案对网络要求的展望	43
4.5 Cloud VR 解决方案展望	44

A 缩略语 45



01 Cloud VR 时代已来

虚拟现实的云化（Cloud Virtual Reality, 以下简称 Cloud VR）是将云计算、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。

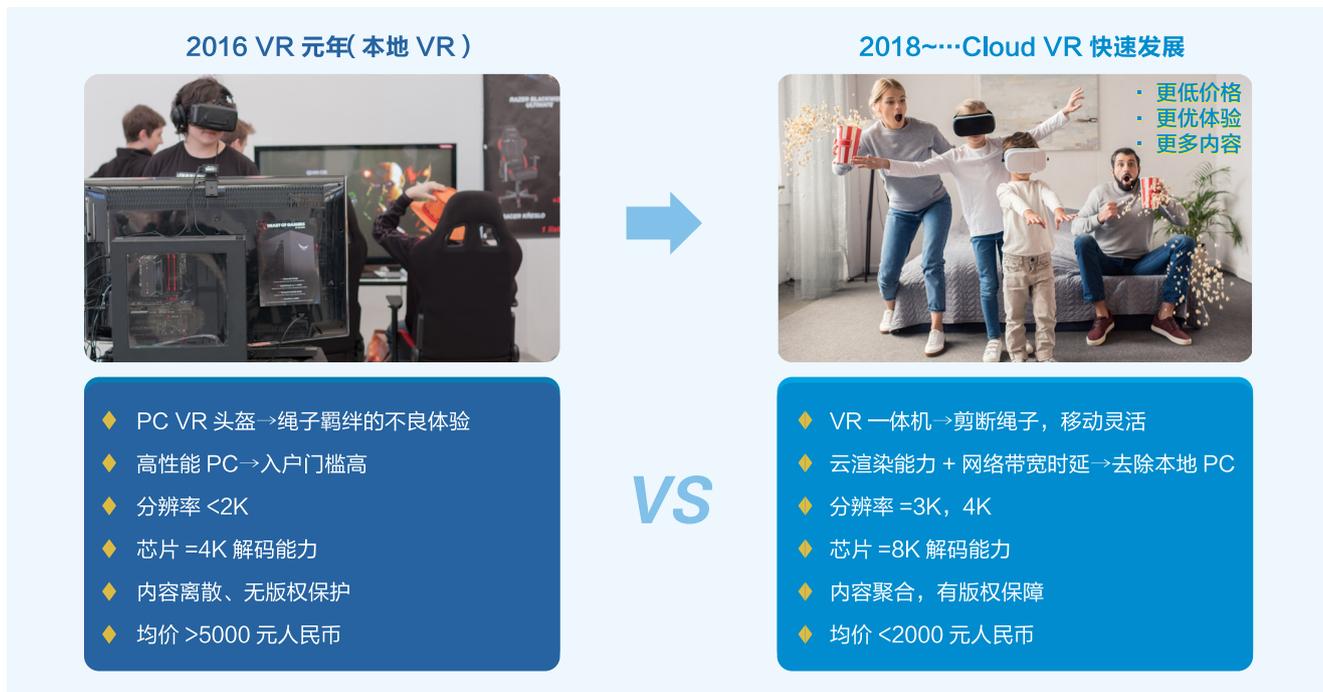


图 1-1 Cloud VR 的价值

随着产业的不断推进，从爆款 VR 终端出现、业务平台解决方案成型、内容不断丰富，到有运营商发布 Cloud VR 业务、并有用户在家里实际开通业务，标志着 Cloud VR 产业已经趋向成熟。

1.1 VR 迎来历史时刻，电信运营商发布 Cloud VR 业务

1.1.1 福建移动面向用户提供 5 种云 VR 应用

2018 年 7 月，福建移动开启云 VR 业务试商用，为用户提供 VR 现场、VR 趣播、巨幕影院、VR 游戏、VR 教育等场景。



图 1-2 福建移动云 VR 业务主界面

图片来源：https://mp.weixin.qq.com/s/8aD0b_O6slgZnNAKHUK8Sw

云 VR 业务利用云 GPU 渲染和云服务器架构提供的计算能力，在确保 VR 视频流的稳定传输和高精度图像显示的前提下，降低了对 VR 终端硬件计算能力的要求，简化了 VR 设备硬件系统，使 VR 消费门槛降低。基于千兆光纤宽带和家庭智能组网技术，用户在家中便能体验 VR 业务。

1.1.2 韩国 KT Crop 推出 VR 主题公园 VRIGHT

韩国最大电信公司 KT Crop 也在 2018 年 7 月份宣布：与 GS Retail 共同推出 VR 主题公园 VRIGHT。VRIGHT 采用了 5G 网络以及 VR 最新的信息通信技术，借助 GS 零售公司线下零售运营和分销经验，为用户提供 30 多种全新沉浸式游戏体验，进一步计划推出“个人 VR 影院服务”，并希望到 2020 年能够实现 VR 主题公园增加至 200 个的目标。

1.2 用户被 Cloud VR 体验吸引，咨询办理业务

2018 年 1 月到 7 月，有 10000+ 以上的人次体验了 Cloud VR 业务。体验人员覆盖各年龄层次，涉及场景包含 Cloud VR 游戏、直播、VR 360° 视频、教育和巨幕影院。

从反馈数据来看，Cloud VR 场景的体验受到用户的喜爱，很多用户反馈体验比较好，Cloud VR 的体验与本地体验差不多。

在某次峰会接待的近 4500 位体验者中，VR 的体验给用户留下很深刻的印象，约 22% 的用户现场咨询业务办理信息。

1.3 VR 商业场景丰富，市场空间好

根据 IDC 2017 年 11 月发布的《全球半年度增强现实和虚拟现实产值指南》预测：未来五年（2023 年），VR 市场空间将达到 \$1740 亿。

Cloud VR 有更大的用户基数空间、有聚合平台、有内容版权保护，相比本地 VR 更容易聚合内容，也更容易规模化发展。

华为 VR OpenLab 识别出了最具有商业潜力、最有可能落地的 Cloud VR 场景，场景从交互维度划分为 VR 弱交互业务和 VR 强交互业务。

VR 弱交互业务以 VR 视频业务为主，包含巨幕影院、VR 360° 视频、VR 直播等，用户可以在一定程度上选择视点和位置，但用户与虚拟环境中的实体不发生实际的交互。

VR 强交互业务以 VR 游戏为代表，包含 VR 游戏、VR 教育、VR 健身、VR 社交等，用户可通过交互设备与虚拟环境进行互动，虚拟空间图像需对交互行为作出实时响应。





图 1-3 Cloud VR 场景

1.4 VR 关键痛点已化解，Cloud VR 已可商用

2017年华为VR OpenLab提出了Cloud VR业务十大痛点，经过产业不断技术创新，终端、网络、商业发展策略、平台建设策略、体验等多个关键痛点已有解决方案或已得到改善。

1、爆款一体机出现，种类丰富，清晰度和舒适度提升

■ 爆款一体机出现

2018年8月中国头盔厂商发布首款支持8K VR视频硬解码的一体机，将VR终端的规格提升到8K水平。

■ 一体机种类丰富

高通提到，全球市场约有40余款VR一体机使用骁龙835芯片，其中有20余款已经上市，还有20余款在研发生产中。

■ 一体机分辨率不断提升

终端分辨率影响画面体验，市面上的一体机以双目3K或者4K分辨率为主。终端分辨率越高，纱窗越不明显：分辨率为2K时，有轻微纱窗；3K时，纱窗感进一步改善；4K时，基本无纱窗。

■ 佩戴舒适度提升

VR终端重量的分布往均衡受力发展，不再前重后轻，部分头盔还考虑了蓝光护眼，佩戴舒适度有较大提升。

2、网络为Cloud VR业务提供高带宽、低时延基础

■ 千兆宽带为开通业务提供大带宽基础

多屏并发场景对带宽的需求将超过100Mbps，比如同时使用VR视频/VR游戏、上网、投屏等业务，需要千兆宽带。工信部2018年发布的《2017年通信业统计公报》表明：中国100Mbps及以上接入速率的固定互联网宽带用户总数达1.35亿户。工信部、国资委在推动大容量光纤宽带部署，已超过100个城市试点开通千兆宽带业务。

■ 高性能5G Wi-Fi为开通业务提供低时延基础

Wi-Fi为Cloud VR业务提供家庭网络基础，VR视频业务对Wi-Fi的要求与传统视频差别不大，VR强交互业务对Wi-Fi的带宽、时延有较高的要求，5G Hz频段Wi-Fi可以满足此类业务的要求。

3、Cloud VR商业发展和平台建设策略进一步明确

Cloud VR业务刚起步，也是业务开展非常好的时期，可以考虑两个阶段发展业务。

■ 第一阶段：让能跑的场景先跑起来，快速发展Cloud VR 2H市场

先从依托现有视频平台开始，发展巨幕影院、VR直播（网红等）、VR 360°视频场景，内容总量丰富，对视觉感官刺激比较大，容易吸引视频用户升级为VR用户。当用户数发展到一定规模，通过VR明星演唱会、体育赛事等大IP内容获得用户粘性，从用户付费转化盈利。

VR游戏和VR教育是刚需，新建云VR平台支撑VR游戏、VR教育场景，通过沉浸感新体验吸引用户消费，获得早期市场回报。

■ 第二阶段：做大云 VR 平台,发展 Cloud VR 2B 市场

利用运营商自身云 VR 平台渲染能力、网络品质宽带优势，向 2B 领域提供行业应用需要的云渲染和内容存储资源，例如 VR 教育、电竞、购物、医疗等应用。

4、Cloud VR 体验优于本地 VR

MTP \leq 20ms 是 VR 体验的关键要求，VR 云化后引入新时延，保持 MTP 不超过 20ms 有很大的难度。现在已经有技术保障 MTP \leq 20ms，在项目中实践中用户反馈 Cloud VR 的体验优于与本地 VR：

■ 真实感一致

影响 Cloud VR 真实感的指标与本地 VR 相同，均为分辨率、色深、帧率、编码压缩技术、视场角，这些指标两者保持一致。

■ 交互感略优

交互感与交互自由度、MTP、迟滞感有关。Cloud VR 交互自由度优于本地 VR，由于没有绳子束缚，用户可以充分移动和交互，可以在空间内随意走动；Cloud VR 的 MTP 也做到不超过 20ms，晕动症没有加剧；两者的操作响应时延遵循同一个标准，迟滞感相同。

■ 愉悦感一致

愉悦感跟卡顿、花屏次数、时长占比相关，由网络因素决定，Cloud VR 的网络时延做到了其愉悦感与本地 VR 一致。





02 Cloud VR 解决方案

2.1 Cloud VR 解决方案概述

2.1.1 Cloud VR 解决方案架构

Cloud VR 解决方案架构由内容层、平台层、网络层和终端层四部分组成。

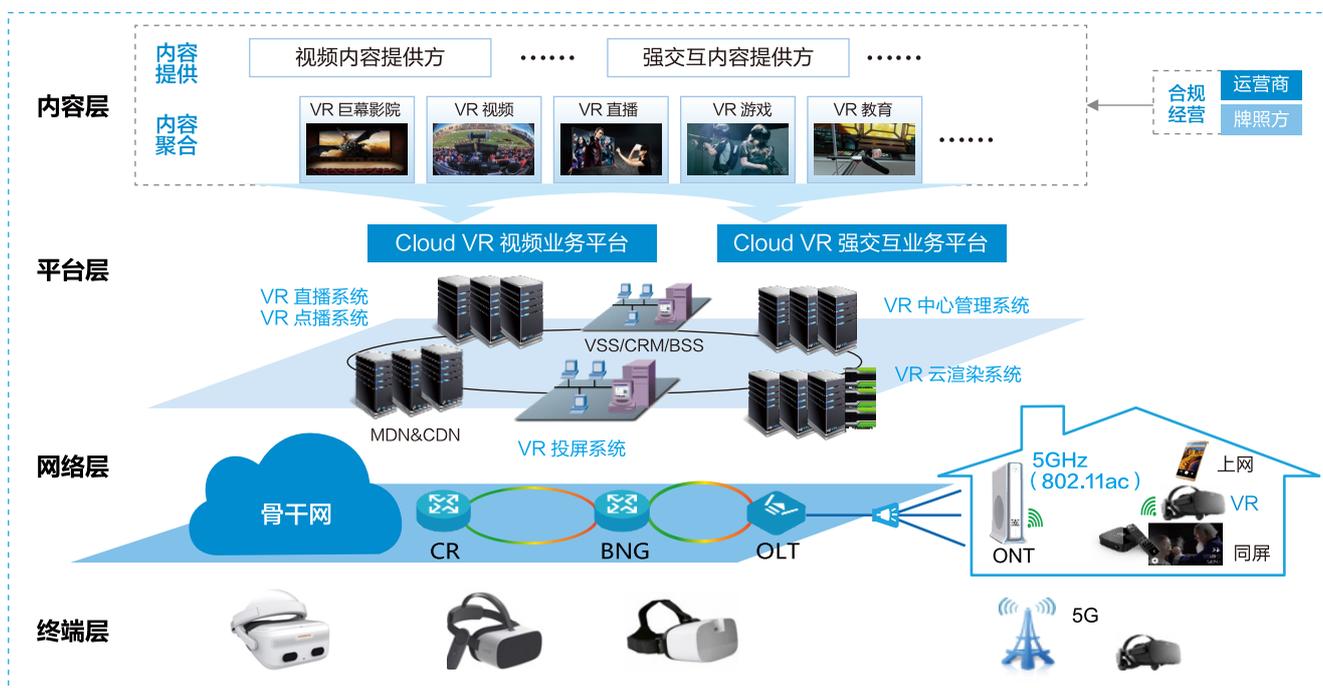


图 2-1 Cloud VR 解决方案架构

1、内容层

主要负责向平台层提供 VR 内容，包含内容提供方和内容聚合方，VR 的内容主要包括 Cloud VR 视频业务及 Cloud VR 强交互业务。

2、平台层

平台层对 Cloud VR 视频业务和 Cloud VR 强交互业务提供云渲染、流化、转码、存储、编码等功能。

■ Cloud VR 视频业务平台

负责 VR 视频的导入、转码、存储和播控分发处理，包含 VR 点播系统、VR 直播系统、MDN&CDN 等。其架构与当前成熟的 IPTV、OTT 视频业务平台本质区别在于：Cloud VR 视频业务平台需要支持全景视频数据传输，需要布局 FOV 传输的能力。

■ Cloud VR 强交互业务平台

负责对强交互业务进行渲染，包含实例运行、逻辑计算、实时渲染、实时推流等功能，为每个用户在云端生成一个应用实例，对其 VR 画面进行实时渲染、编码和推流。

■ VR 投屏系统

VR 投屏系统通过建立可靠的消息同步机制，使得 VR 头盔与机顶盒之间的消息可以互通，实现 VR 内容在家庭电视上的同屏显示，可以随时与家人共享 VR 世界中的视野。

3、网络层

网络层主要包括骨干网、城域网、接入网及家庭网络四部分，负责为 Cloud VR 业务提供大带宽、低时延的稳定传输。

4、终端层

Cloud VR 终端主要实现 VR 内容呈现、家庭网络接入以及用户鉴权等功能。通过 Wi-Fi/5G 接入网络，与平台层连接。

2.1.2 Cloud VR 解决方案的关键约束

时延是整个解决方案的关键约束。与本地 VR 相比，Cloud VR 系统的时延更大，如果控制不好，会引起晕动症。

晕动症是由于用户视觉与前庭系统感知的运动状态不一致引发的症状。通常表现为：恶心、皮肤苍白、出冷汗、呕吐、头晕、头痛、疲劳等。晕动症产生的原因分两类：一是运动后（头部位置和观看角度发生变化）显示画面的滞后；二是显示画面内容在动，但用户实际上没有相应的运动。当前业界主流观点认为，VR 设备 MTP（Motion to Photon，动作至显示）时延不超过 20ms，即人的头部发生运动到双眼所见的图像发生变化的时间差在 20ms 以内时，可以较好地避免晕动症的产生。

Cloud VR 视频业务对时延的要求不高，参考 4K 视频的分析，不同的时延只是对画面加载时间产生影响。对于 Cloud VR 强交互业务，在云端渲染会引入新的时延，保持 MTP 不超过 20ms 有难度，如果这个时延控制不好，更容易引起晕动症。为了保证 Cloud VR 的体验与本地 VR 保持一致，Cloud VR 解决方案需要控制好时延，满足 MTP 时延要求 ≤ 20 毫秒。

2.1.3 Cloud VR 解决方案的业务体验指标

Cloud VR 解决方案的业务体验指标参考本地 VR 业务体验要求，需要满足如下指标：



业务类型	业务指标项	业务指标要求
终端	终端分辨率	2~4K
Cloud VR 强交互业务	内容分辨率（等效全景分辨率）	2~4K（等效全景 4K~8K）
	色深（bit）	8
	编码方式	H.264/H.265
	码率（Mbps）	≥40
	帧率（FPS）	50~90
	FOV（度）	90~110
	操作响应时延（ms）	≤100
	MTP（ms）	≤20
	有效帧率	100%（注）
Cloud VR 视频业务	内容全景分辨率	4K~8K
	色深（bit）	8
	编码方式	H.264/H.265
	码率（Mbps）	≥40
	帧率（FPS）	30
	FOV（度）	90~110
	操作响应时延（ms）	≤100
	初缓时长（s）	≤1
	卡顿时长占比	0
	花屏时长占比	0

表 2-1 Cloud VR 解决方案的业务体验指标

注：当网络传输质量出现劣化时，会导致帧数据无法在对应时间内到达终端进行解码，从而引发画面不连续或抖动的情况。有效帧率 100%，即要求终端从云端实际接收并正常解码的帧率不低于所要求的帧率。

2.2 Cloud VR 强交互业务

Cloud VR 强交互业务是指用户通过交互设备与云端的应用进行实时互动，云端对交互行为进行计算、实时渲染和编码压缩后，以视频流形式将画面传到终端呈现显示的业务，典型代表有 Cloud VR 游戏等。现网如果还没有 Cloud VR 强交互业务平台基础，需要新建业务平台，支撑 VR 应用的运行和渲染；网络部分依托 4K Ready 网络，根据 VR 业务的带宽和时延要求进行调整。

2.2.1 Cloud VR 强交互业务方案总体设计

2.2.1.1 方案组成

Cloud VR 强交互业务方案包含三大部分：Cloud VR 强交互业务平台、网络、Cloud VR 终端。

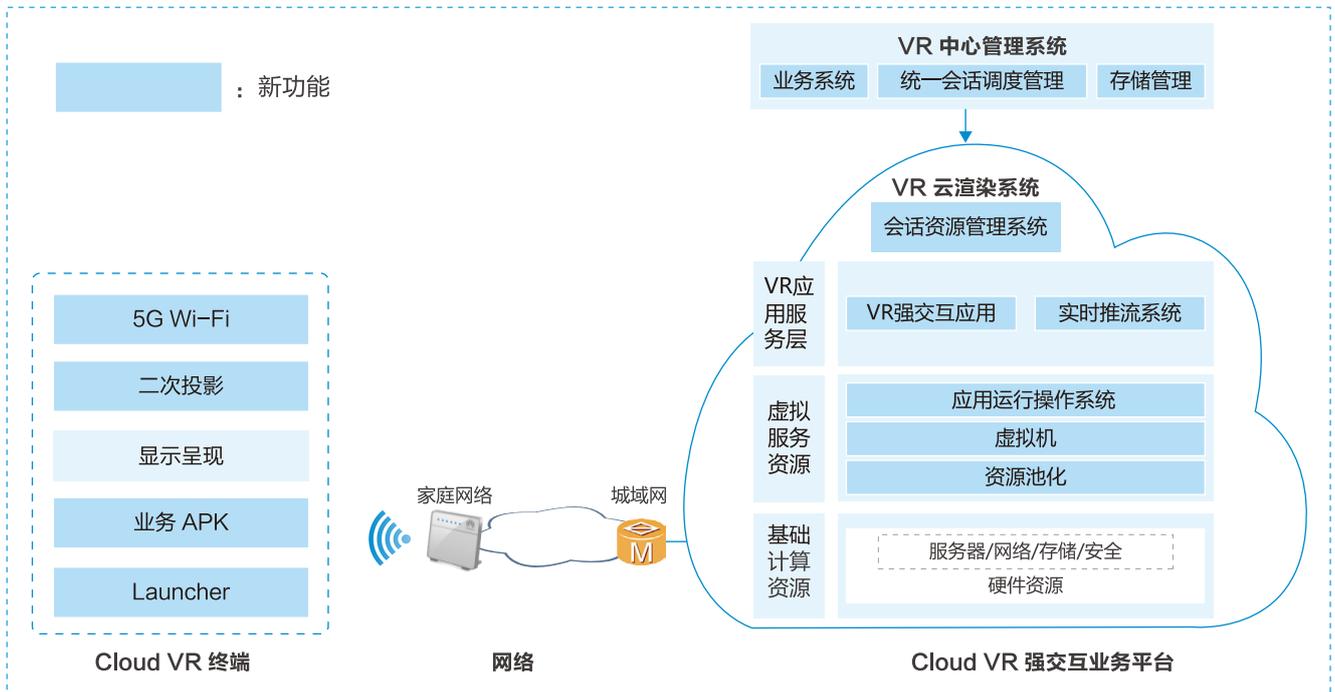


图 2-2 Cloud VR 强交互业务方案

1、Cloud VR 强交互业务平台：新建

业务平台由 VR 中心管理系统及 VR 云渲染系统组成，主要负责 Cloud VR 强交互业务的管理、存储和云渲染等，云渲染包括逻辑计算、实时渲染、编码、推流等处理。

2、网络：基于 4K 网络，优化家庭 Wi-Fi

为了低成本快速部署 Cloud VR 业务，可以依托 4K Ready 的极简承载网络架构，根据 Cloud VR 带宽及时延要求进行局部调整。而 Cloud VR 终端则要求采用 Wi-Fi 接入，所以需要构建基于 Wi-Fi 的家庭网来实现 Cloud VR 业务承载，其中重点是高性能 Wi-Fi AP 的部署。

3、Cloud VR 终端

Cloud VR 的终端以 VR 一体机为主，主要负责控制信令采集、视频解码、屏幕呈现、接入网络等。Cloud VR 终端区别于本地 VR 终端，向用户提供开机画面、Launcher 界面和用户鉴权功能。终端通过 Wi-Fi 接入网络，需要支持 5G Wi-Fi 通信模块，需要完成与业务平台对接，实现对 VR 应用访问。

2.2.1.2 Cloud VR 如何保障 $MTP \leq 20ms$

前面提到，Cloud VR 强交互业务系统时延更大，如果控制不好，会加剧晕动症。方案一方面需要保障 MTP 不超过 20ms，避免晕动症；另一方面需要重点约束系统的时延，保证画面的质量。本方案通过端云异步渲染技术来控制 Cloud VR 强交互业务的系统时延。

1、端云异步渲染技术：使 VR 云化后 MTP ≤ 20ms 成为可能

Cloud VR 处理主要包含云渲染及流化、终端刷新显示两个过程。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、实时渲染及编码压缩后，将视频流通过网络传输至终端进行解码的过程。如下图所示：



图 2-3 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，将难于实现 $MTP \leq 20ms$ ，其关键因素在于云渲染及流化引入了网络传输、编解码等环节，此时 MTP 时延包含了云渲染及流化时延，时延加大，如下图所示：

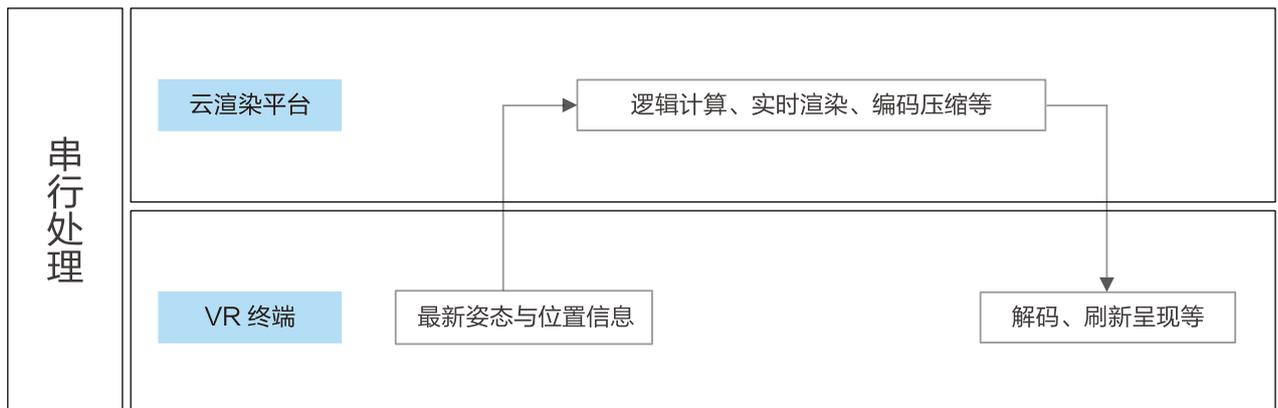


图 2-4 MTP 完全无法保障的方案

端云异步渲染技术的核心思想是将云渲染及流化、终端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，使用的是云渲染平台送来的第 n 帧渲染帧作为基础帧进行二次投影，同时，云渲染平台处理第 $n+1$ 帧渲染帧，与 VR 终端处理并行，如下图所示，此时 MTP 由终端来决定，不依赖于网络和云渲染，从而满足 $MTP \leq 20ms$ 。

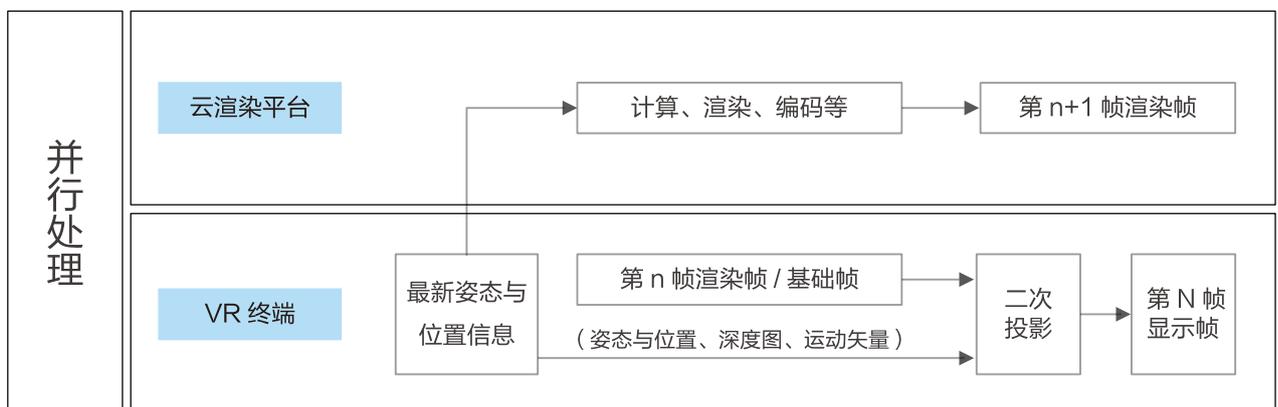


图 2-5 MTP 可以保障的方案—端云异步渲染技术原理图

说明：

二次投影，指利用过去时刻姿态与位置信息触发形成的渲染画面，根据当前最新与过去时刻的姿态与位置变化，对渲染画面进行预测调整，形成当前最新姿态与位置相应的显示画面。

2、约束云渲染及流化时延不超过 70ms，改善黑边和保障画面质量

虽然云渲染及流化时延不会影响 MTP，但该时延的长短仍会影响画面质量和用户体验，如果不对云渲染及流化时延进行约束，会产生以下两个问题：

■ 黑边问题

端云异步渲染技术通过超视角渲染扩大渲染画面，改善因为 FOV 画面进行二次投影引发的黑边问题（如下图）。云渲染与流化时延越大，需要增加渲染的角度越多，但也需要更多的云端渲染资源，综合考虑下，一般不会增加太大的渲染画面角度。如果云渲染与流化时延过大，黑边问题改善不明显，影响体验。

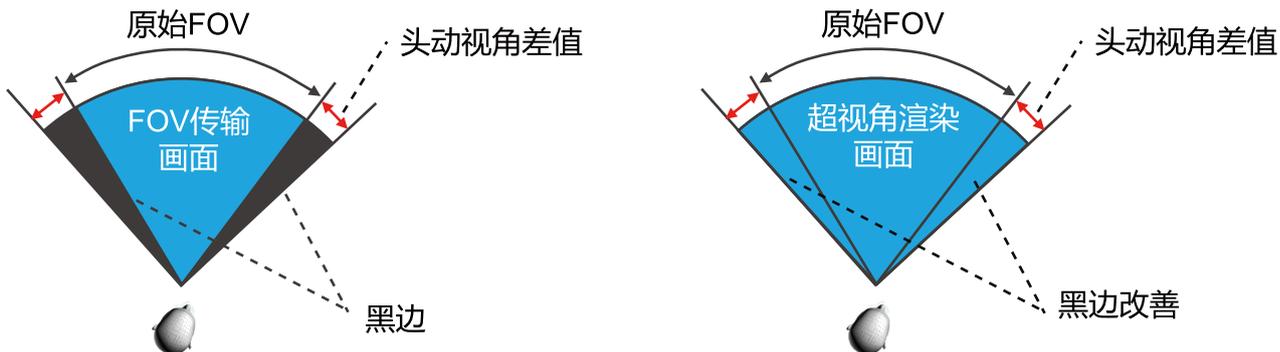


图 2-6 黑边问题及其优化方法

■ 画面质量问题

端云异步渲染技术通过二次投影，调整画面物体的遮挡关系，对于被遮挡部分通常用周边画面替代，会出现画面扭曲现象。如果云渲染及流化时延过大，画面扭曲会很明显，影响画面质量。

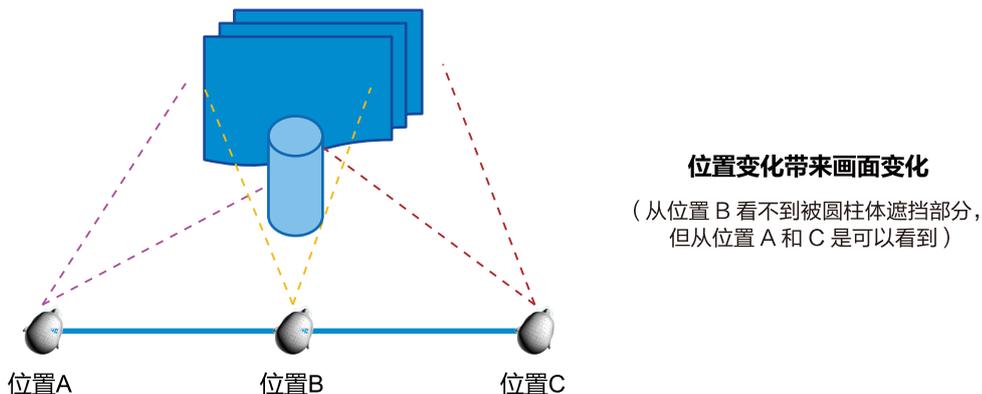


图 2-7 画面遮挡关系示意

因此为了保证 Cloud VR 的画面体验，需要约束云渲染及流化时延。按目前业界的测试情况，云渲染与流化时延约束在 70ms 以内。

2.2.1.3 Cloud VR 强交互业务关键指标分解

云渲染与流化时延与云管端相关（如图 2-3），将这个时延约束在 70ms 以内，需要分解给云管端共同承担，具体分解为三段：云端处理时延、网络传输时延，终端解码和同步时延。

■ 云端处理时延

云端处理包含逻辑计算、内容渲染、编码和数据发送等，根据 VR 产业伙伴提供的建议：逻辑计算、内容渲染、编码并行处理约 10 ~ 15ms，数据传送时间约 10 ~ 15ms，即分解给云端处理的时延 $\leq 30\text{ms}$ 。

■ 网络传输时延

结合实验室多人主观体验测试以及项目实践数据，网络对体验影响的拐点出现在网络时延 15 ~ 20ms：时延 $>19\text{ms}$ ，操作体验开始出现轻微迟滞；时延 $>23\text{ms}$ ，转头体验劣化，出现明显黑边。即分解给网络传输的时延 $\leq 20\text{ms}$ 。

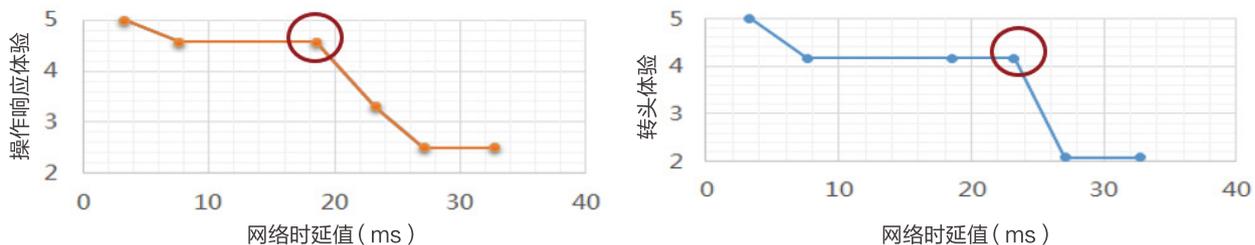


图 2-8 网络时延对操作响应体验和转头体验的影响

■ 终端解码和同步时延

采用 VR 终端 90FPS 的解码能力，解码时延约 11ms；云平台 and 终端异步时间一般为 0 ~ 1 个周期，所以分解给终端解码和同步的时延 $\leq 20\text{ms}$ 。

综上，Cloud VR 强交互业务端到端时延指标分解如下图：

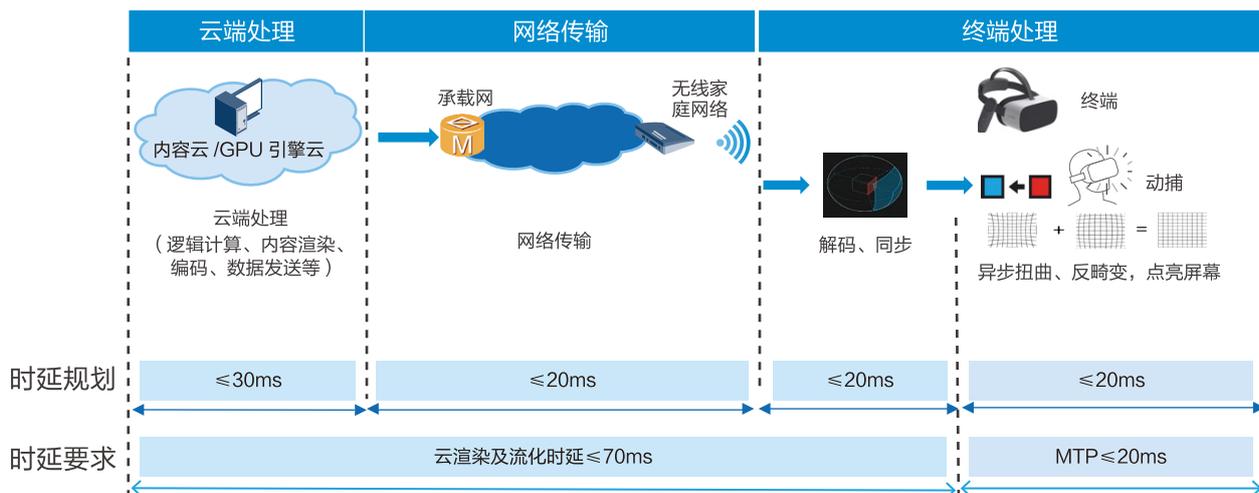


图 2-9 Cloud VR 强交互业务时延指标分解

2.2.2 Cloud VR 强交互业务平台规划部署

Cloud VR 强交互业务平台的规划与部署，需要考虑云端处理时延 $\leq 30\text{ms}$ 的关键要求。数据中心部署位置、服务器的硬件性能、GPU/CPU 资源性能等需要满足此要求。

2.2.2.1 Cloud VR 强交互业务平台规划

平台由 VR 中心管理系统和 VR 云渲染系统组成，VR 中心管理系统可以同时管理多个 VR 云渲染系统。

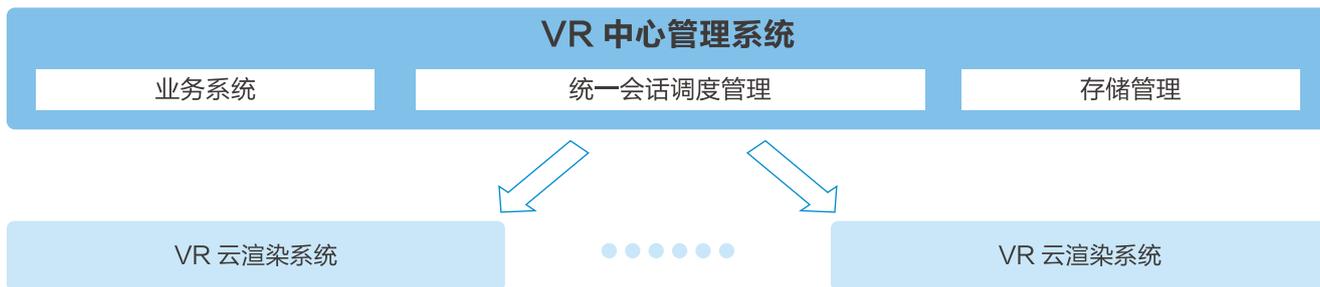


图 2-10 VR 中心管理系统与 VR 云渲染系统关系

1、VR 中心管理系统

包含业务系统、统一会话调度管理和存储管理。

- 业务系统主要负责用户管理和应用管理，并为用户提供业务操作界面等。
- 统一会话调度管理模块负责用户登录请求的处理，为用户选择合适的 VR 云渲染系统接入，并统一调度、分配和管理各个云渲染系统中的用户会话和运行实例。
- 存储管理模块主要负责用户数据的存储。

2、VR 云渲染系统

VR 云渲染系统作为业务平台的核心部件，负责 VR 应用的逻辑计算、实时渲染、编码、推流等云端处理，云端处理时延 $\leq 30\text{ms}$ 需要云渲染系统来保障。

VR 云渲染系统包括两种方案：云渲染非通用方案与云渲染通用方案。

■ 云渲染非通用方案，可让 Cloud VR 强交互业务快速跑起来

非通用方案使用物理服务器构建虚拟机，通过虚拟化技术实现多个 VR 业务的运行。例如在一个服务器上运行四个虚拟机，虚拟机装有操作系统，每个系统上起四个相互隔离的实例，即支持四个用户。该方案技术相对成熟，已经成型，可以较快地开通强交互业务。

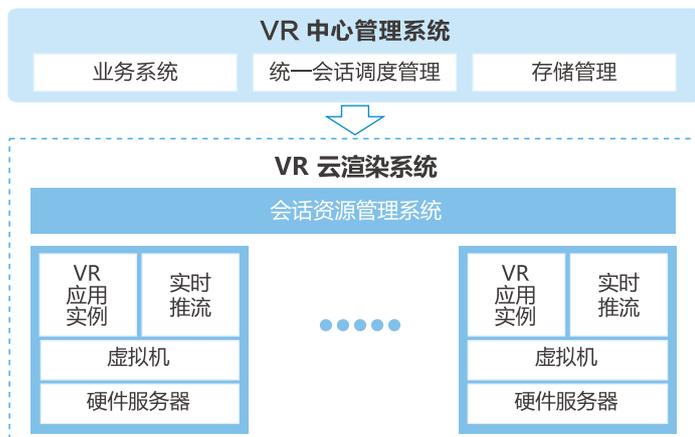


图 2-11 VR 云渲染非通用方案

■ 云渲染通用方案，适用于以较低成本支撑的大规模商用

云渲染通用方案将硬件资源池化，形成 CPU 计算、GPU 渲染和存储资源池，然后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 渲染资源可动态分配。该方案优势在于 GPU 资源可以按需弹性，有利于提高资源利用率，适用于将云渲染平台布局为不仅可以发展面向消费者的 VR 应用，也可以发展 2B 行业应用的平台基础。

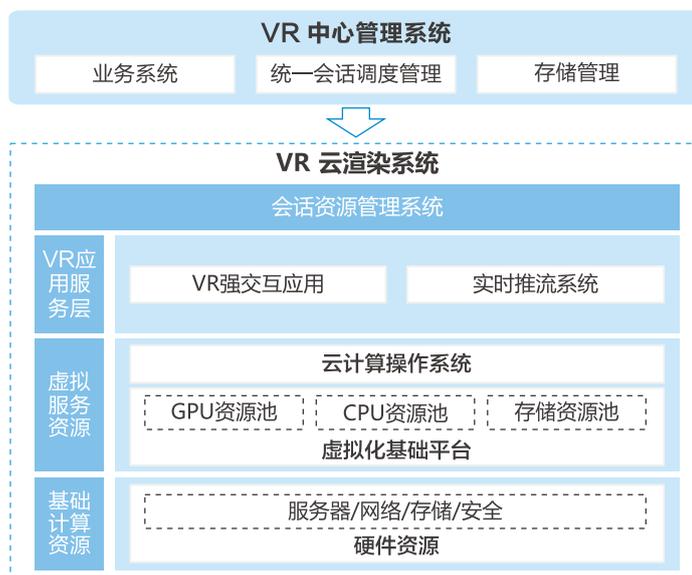


图 2-12 VR 云渲染通用方案

云渲染通用方案由基础计算资源、虚拟服务资源、VR 服务应用层组成，通常部署在靠近用户的数据中心位置。

■ 基础计算资源

主要是物理计算资源，如服务器、网络、存储等，可以虚拟化成逻辑计算资源，以满足上层虚拟服务层对计算资源的需求。

■ 虚拟服务资源

提供 VR 业务计算、渲染、存储等所需要的 GPU、CPU、虚拟机等资源，且这些资源是可以共享的；还提供 VR 服务应用实例运行所需要的操作系统环境。

■ VR 应用服务层

提供各种 VR 应用运行的环境。会话资源管理系统实现 VR 终端和云端的消息通讯，维护用户整个接入过程的生命周期；VR 强交互应用模块为每个用户提供 VR 应用实例，并进行应用的计算和渲染等；实时推流系统将渲染流化后的视频流实时推送至用户侧。

2.2.2.2 Cloud VR 强交互业务平台部署

■ 基础计算资源部署

1、部署位置

Cloud VR 强交互业务平台采用分布式系统架构，中心管理系统的服务器建议部署在中心云位置如省中心机房，云渲染系统的服务器部署在区域云或边缘云等靠近用户的地市机房中，减少传输时延以保障用户体验。

随着用户规模的扩大，在原来已经部署云渲染系统的区域按实际需要增加云渲染系统服务器即可；对于尚未部署的区域，只需要靠近用户部署云渲染系统。

2、硬件资源规划

■ VR 中心管理系统

需要性能不低于 4 核且主频 2.1GHz 或以上的 CPU、不低于 8GB 内存的服务器。

■ VR 云渲染系统

与用户规模以及强交互业务的并发率相关，需做提前评估，将直接影响服务器的备货数量和部署。以满足 2000 用户的应用规模为例：

需要性能不低于 22 核且主频 2.6GHz 或以上 CPU、不低于 60GB 内存、万兆网卡的服务器，并配置高性能显卡如 NVIDIA M60 等。单块 NVIDIA M60 显卡一般可同时支持 8 个用户的并行渲染计算，若按 5% 并发率计算，要满足 2000 用户的应用规模，至少需要 13 块显卡，按 1 台服务器能配置 2 张显卡估算，需要至少 7 台服务器。

虚拟服务资源部署

1、虚拟机部署

需要实现服务器等硬件资源的虚拟化，部署虚拟化系统，如 FusionSphere 等。

2、应用运行操作系统部署

VR 中心管理系统及 VR 云渲染系统一般都可以采用通用操作系统，如 Windows 等操作系统。

VR 应用服务部署

1、VR 中心管理系统模块部署

主要需要部署统一会话资源管理、存储管理等模块。

2、VR 云渲染系统模块部署

主要需要部署 VR 云应用、推流系统等模块，其中 VR 云应用模块能够进行应用的逻辑计算、实时渲染等。VR 云渲染系统参数配置（包括分辨率、帧率等）会影响 VR 体验：

■ 分辨率需要考虑超视角画面渲染，其渲染画面的像素点计算如下

$$\text{渲染画面像素点} = \text{头盔单眼分辨率} * \left(1 + \frac{\text{异步扭曲超视角渲染角度}}{\text{视场角}}\right)^2 * (1 + \text{FOV 额外画面})^2$$

其中，异步扭曲超视角渲染角度建议为 12 度（每个方向 6 度），FOV 额外画面指水平、垂直方向各增加约 10%；视场角取终端头盔的视场角。

■ 帧率

考虑到当前阶段云端处理能力，强交互业务帧率可设置为 50FPS，后续逐步增加到 90FPS。

3、VR 应用部署

VR 强交互业务应用丰富，典型代表有游戏，也有专业性很高的应用如医疗等。此类业务可以先发展操控类、益智类、单人射击或人机对战等游戏，比如黑盾、战火精英等，它们的操控精度等要求不高，比较适合家庭用户。后续可发展如机械类、多人对战、真人互动等大型游戏，比如战地，它们对画面、操作及交互的精度等要求很高，要求更高云渲染能力。

VR 游戏等强交互业务的应用程序需要安装在已经部署好的 VR 云应用模块中，并进行简单适配，以成功运行应用。

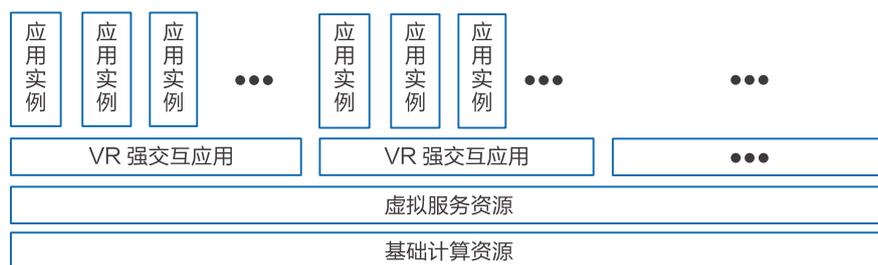


图 2-13 VR 应用安装

业务平台与 Cloud VR 终端对接

Cloud VR 终端要接入 Cloud VR 强交互业务平台并使用业务平台的应用，需要双方的对接开发，主要实现用户认证、用户登录、应用启动或停止、控制信令交互以及视频流传输等功能。

业务平台与 STB 终端对接

投屏是 VR 业务的刚需，Cloud VR 强交互业务平台需要与 STB 终端进行对接开发，VR 云渲染系统需要在收到 STB 终端请求时，将视频流传输至 STB 终端进行播放。

2.2.3 Cloud VR 强交互业务网络规划部署

2.2.3.1 Cloud VR 强交互业务的网络要求

网络 KPI 要求

业务场景	指标项	参考值
强交互 VR 业务	带宽	≥80Mbps
	RTT	≤20ms
	丢包率	1.00E-5
多种业务并发场景	含上网、VR 强交互业务、投屏等	260Mbps

表 2-2 Cloud VR 强交互业务网络 KPI 要求

说明：

在网络的规划部署中，针对家庭场景，会有多种业务并存的情况，对家庭带宽的需求可达到 260Mbps。其中，单路强交互 VR 业务带宽要求：80Mbps；4K IPTV 业务带宽要：80Mbps（含投屏；若头端对投屏业务进行压缩，可降至 50Mbps）；上网业务带宽要求 100Mbps，这样家庭带宽总需求为 260Mbps。

网络时延要求分解

网络 RTT 要求为 20ms，分解到网络各段如下：

端到端网络 RTT	家庭 Wi-Fi	固定接入网	城域承载
≤20 ms	≤10 ms	≤2 ms	≤8 ms

表 2-3 Cloud VR 强交互业务网络时延要求分解

更详细的网络方案可参考《Cloud VR 网络方案白皮书》。

Cloud VR 网络架构

当前Cloud VR的建网目标是基于已有的网络实施局部改造，实现Cloud VR业务的快速低成本部署。Cloud VR网络方案核心理念是“基于Wi-Fi的家庭网”+“基于4K ready的承载网”+“利旧CDN/新建云渲染服务器”，如下图所示：



图 2-14 Cloud VR 网络方案核心理念

基于 Wi-Fi 的家庭网

传统 4K 机顶盒往往建议使用网线接入网络，而 Cloud VR 终端则要求采用 Wi-Fi 接入，所以需要构建基于 Wi-Fi 的家庭网来实现 Cloud VR 业务承载，其中重点是高性能 Wi-Fi AP 的部署。

基于 4K Ready 的承载网

为了低成本快速部署 Cloud VR 业务，可以依托 4K Ready 的极简承载网络架构，根据 Cloud VR 带宽及时延要求进行局部调整，包括：

GPON/EPON升级10G GPON/EPON

OLT上行端口扩容升级

城域网扩容升级/OTN一跳直达等

利旧 CDN/ 新增云渲染服务器

当前可以复用现有的 CDN 资源进行 Cloud VR 视频的内容分发，同时新增云渲染服务器进行 Cloud VR 强交互业务的实时渲染和推流。一般要求 CDN/ 云渲染服务器部署在城域内。

2.2.3.3 Cloud VR 网络规划部署

家庭网规划部署

目前大部分家庭 Wi-Fi 环境均无法完全满足 Cloud VR 业务需求，关键因素在于：

1、信号干扰	2、信号衰减	3、空口抢占
Wi-Fi 采用 CSMA-CA 侦听退避机制，在同一覆盖区域内，同信道设备越多，竞争就越激烈，开销就越大，性能会大大降低，特别是时延指标。	Wi-Fi 传输速率与信号强度相关，距离 Wi-Fi AP 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就会较弱。	一般会有多个不同终端同时接入家庭 Wi-Fi，除了 VR 业务，在同一 Wi-Fi 网络中可能存在上网、下载及其它视频业务，相互之间会抢占资源。

在上述主要影响因素中，信号衰减问题可以通过工程方法解决，用户也可以自行识别规避空口抢占问题，信号干扰问题的影响最大。Wi-Fi 因为使用公共开放频段，周边干扰设备数量以及干扰占用时间长短，完全取决于周围邻居设备的布放和使用情况。因此，能否在 Wi-Fi 干扰场景下提供更好的传输性能，将是家庭 AP 与 VR 终端的关键能力所在。

由于 2.4GHz Wi-Fi 频段少，仅三个独立 20MHz 信道，加上微波炉、蓝牙、无绳电话等家用设备也都工作在 2.4GHz 频段，实际环境中往往干扰严重。而 5GHz Wi-Fi 尚处于普及阶段，可用信道相对较多，且可支持 80MHz 频宽，通过信道合理规划可以避免多个 AP 之间的 Wi-Fi 信道冲突，更适合承载 Cloud VR 业务。

鉴于 VR 业务对网络的要求和当前主流家庭 AP 的 5G Wi-Fi (802.11ac) 能力，对家庭网络部署要求如下：

- 1、承载 VR 的 5G Wi-Fi 频段采用 Wi-Fi 标准 802.11ac，采用 80MHz 频宽，需要支持 2*2 MIMO 及以上。
- 2、建议运营商不要选择普通消费者级的 AP 承载 VR 业务，需要支持雷达频段、抗干扰强的高性能 AP，比如华为的 WA8011Y。
- 3、推荐 VR 采用一个独立 5G Wi-Fi 频段接入，上网采用另外一个 5G 频段或者 2.4G 频段接入。

接入网规划部署

接入网在整个网络中起着对终端用户进行汇聚的作用，是运营商最靠近用户的网络。当前，分解给接入网的时延要求为 ≤ 2ms，因此铜线和 Cable 不适合用于承载 Cloud VR，只有 FTTH 是合适的。

当前主流的 FTTH 制式为 GPON、EPON，正常情况下可以满足 VR 对时延的基本要求，因此需要重点考察带宽的满足度，分析如下表所示：

PON	容量	分光比	收敛比	用户可获得带宽	是否满足
EPON	1Gbps	1:64	50%	32 Mbps	不满足（受限）
		1:32	50%	64 Mbps	不满足（受限）
GPON	2.5Gbps	1:64	50%	78 Mbps	不满足（受限）
		1:32	50%	156 Mbps	不满足（受限）
10G EPON /G PON	10Gbps	1:64	50%	312 Mbps	满足
		1:32	50%	625 Mbps	满足

表 2-4 不同容量的 PON 对 VR 带宽要求的满足情况

注：用户可获得带宽 = 容量 / 分光比 / 收敛比

家庭带宽诉求为 260Mbps 或更高，不管是 EPON 还是 GPON，都不能大规模开通 Cloud VR 业务，只能受限开通少量用户，具体开通数量需根据运营商的 EPON/GPON 剩余带宽来确定。

为了大规模满足 VR 的带宽需求，需要逐步将 FTTH 接入方式升级到 10G EPON/10G GPON，即使在分光比 1:64 情况下，考虑 50% 收敛，每用户可获得 312Mbps 带宽，完全可满足当前 Cloud VR 的承载诉求。

城域网规划部署

在当前阶段，Cloud VR 可以复用 4K Ready 承载网进行业务承载，如下图所示：

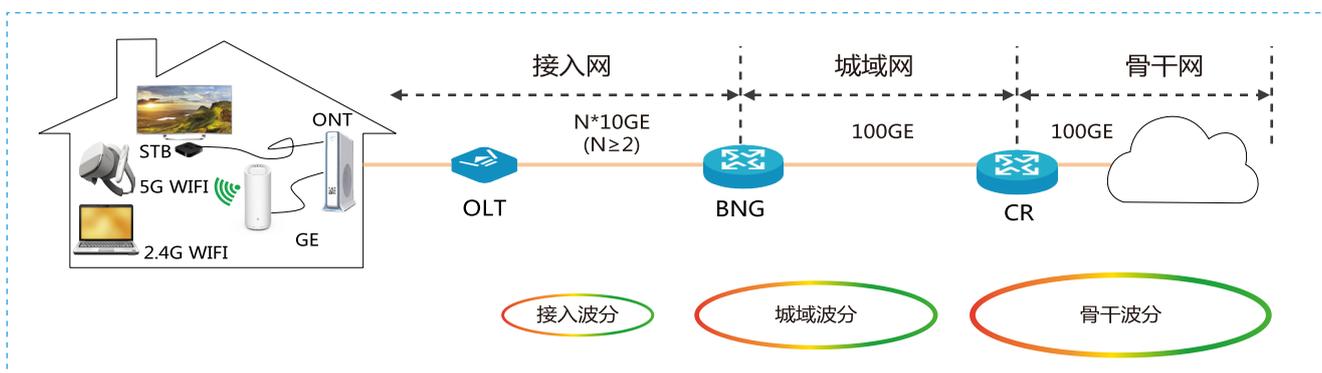


图 2-15 复用 4K Ready 网络承载 Cloud VR 业务

城域网主要部署要求包括：

■ 网络扁平化，降低无效收敛

OLT 接入设备应通过 10GE 接口直连城域网网关 BNG（建议 BNG 要具备单槽位 240G 或以上的接入能力），BNG 使用 100GE 上联城域核心 CR 设备（建议 CR 需支持 400G 集群能力）。

■ BNG 下沉

BNG 下沉可以降低网络中布放 VPLS 等技术带来的复杂度，同时可支撑 CDN/ 云渲染服务器位置自由布放，减少时延。

■ OTN 到 CO

网络扁平化过程中会伴随大量的光纤建设诉求，通过波分设备进一步下沉到城域边缘 /OLT 站点，提供超大带宽、低时延和零丢包的互联基础管道，支撑网络扁平化实施。

■ 实时监控网络链路利用率

超过 VR 要求的负载门限时及时扩容，避免突发引起的拥塞丢包。

2.2.3.4 Cloud VR 建议复用上网通道

Cloud VR 承载网基于 4K Ready 承载网进行改造和演进。当前 IPTV 业务主要使用双通道方案，即 STB 接入 ONT 的专用 IPTV 端口，并进行独立的拨号，使用专用的 IP 地址；而上网业务使用上网通道，由 ONT 进行 PPPoE 拨号。

随着 Cloud VR 业务的加入，建议 Cloud VR 复用上网通道进行承载，使 Cloud VR 终端可以像手机一样快速接入网络，不需要特别的网络部署改造。

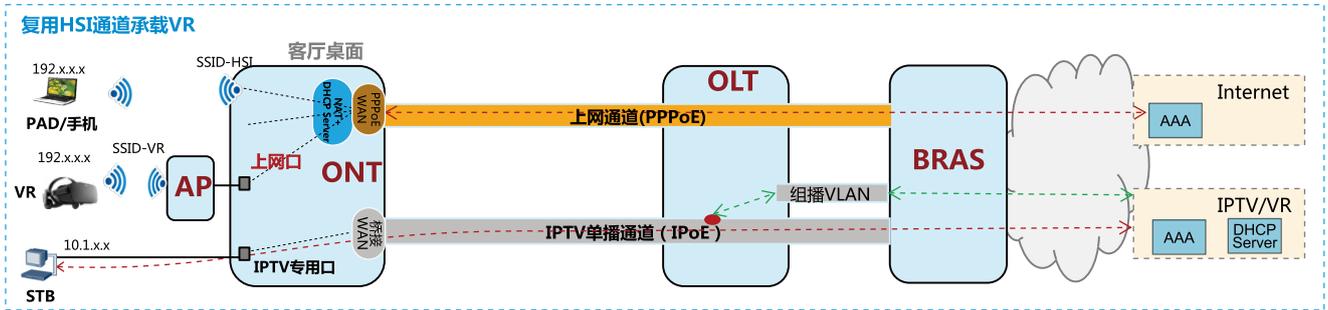


图 2-16 复用上网通道承载 VR

2.2.3.5 Cloud VR 业务 QoS 规划部署

不同的业务类型对网络要求不同，因此需要对业务进行分类，不同优先级的业务进入不同的端口优先级队列进行 QoS 保障。比如：IPTV 直播 /VR 直播等通过 UDP 组播传输的业务对丢包敏感、影响用户面广，需要高优先级保证；VR 强交互业务对时延比较敏感，同样需要高优先级保证。

Services	802.1P	DSCP	EXP	Wi-Fi WMM
IPTV 直播、VR 直播 (UDP)、VR 强交互业务	5	101110 (EF)	5	AC_VI
IPTV 点播、VR 点播、VR 直播 (TCP)	4	100010(AF4)	4	AC_VI
上网业务	0	000000 (BE)	0	AC_BE

表 2-5 优先级分配建议

当 VR 业务复用上网通道时，用户 Cloud VR 流量与上网流量共享一个限速套餐，需要 QoS 规划来避免业务互相抢占的情况，常用方案有 HQoS 和 DAA：

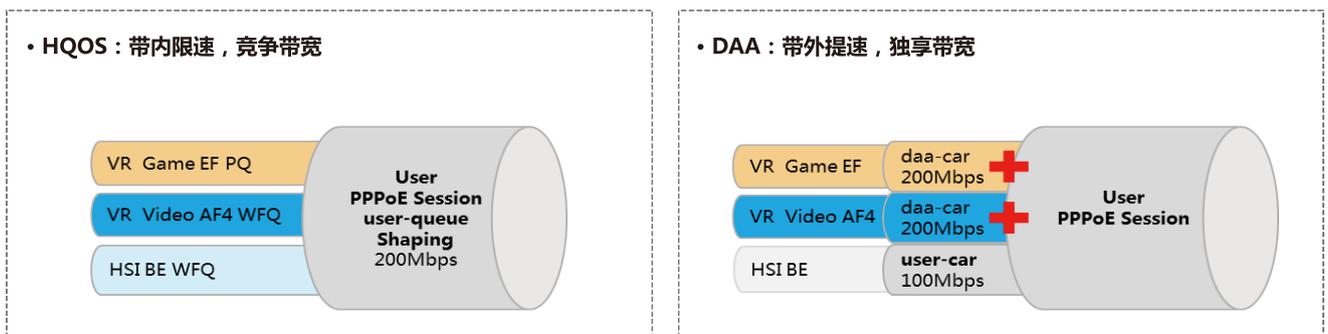


图 2-17 常见 QoS 方案



2.2.3.6 Cloud VR 运维方案

当前 Cloud VR 的运维体系尚未构建完整，Cloud VR 的运维仍是一个难题。从 4K IPTV 的质差问题分类来看，60% 以上的问题发生在家庭 Wi-Fi 侧，因此当前阶段建议先从家庭网络入手，通过 Wi-Fi Sense 方案分析定位家庭侧 Wi-Fi 指标来进行 Cloud VR 业务保障。该方案的核心组件是 Netopen 服务器，负责与 ONT 及 Cloud VR 专用 AP 进行通信，获取相应的 Wi-Fi 指标进行综合分析，找出家庭组网中存在的问题，并给出优化措施。其实现过程如下：

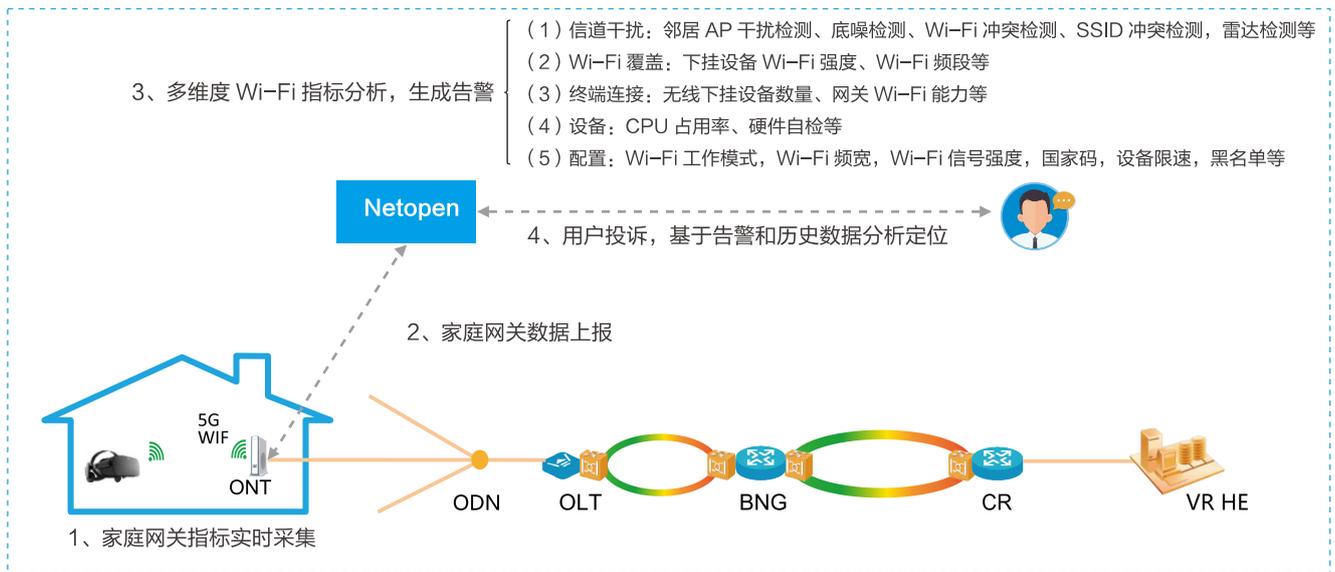


图 2-18 Wi-Fi Sense 体验保障

2.2.4 Cloud VR 终端选择与部署

2.2.4.1 Cloud VR 终端规划

Cloud VR 终端主要通过无线 Wi-Fi 接入，终端特点：无线、可移动、舒适度相对高、交互自由、配置安装简单，更容易向用户大规模普及。



图 2-19 Cloud VR 终端形态

在 Cloud VR 解决方案中，Cloud VR 终端需要与 Cloud VR 视频业务平台、Cloud VR 强交互业务平台、投屏系统、机顶盒对接，如下图：

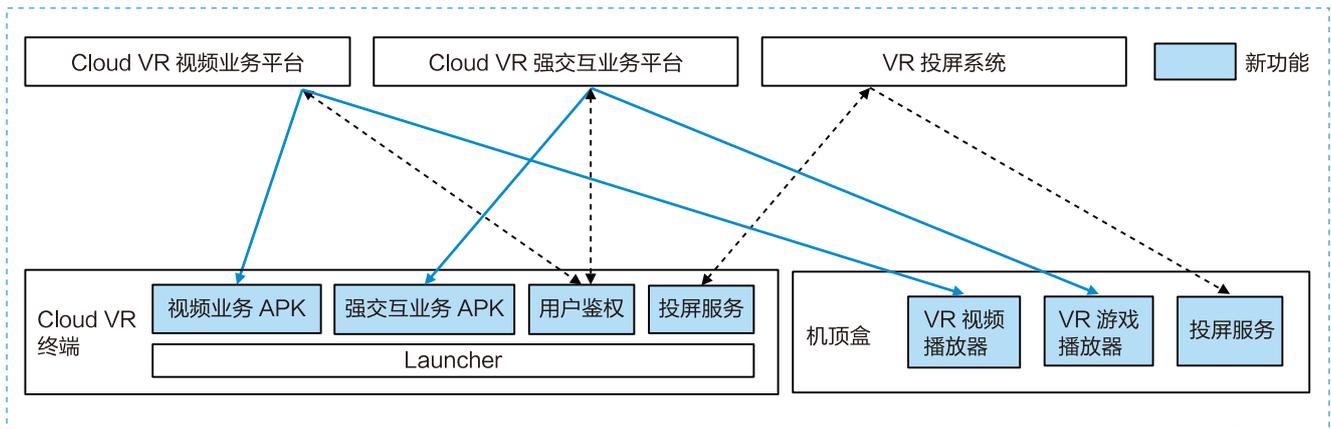


图 2-20 Cloud VR 终端方案

Cloud VR 终端除了保持本地 VR 一体机一致的功能以外,还需要新增加 Launcher、视频业务 APK、强交互业务 APK、登录鉴权、投屏服务等功能,从业务平台服务器获取编排后视频和强交互内容。

Cloud VR 终端将内容投屏共享给机顶盒,机顶盒通过播放器播放 VR 投屏内容。

2.2.4.2 Cloud VR 终端功能要求

Cloud VR 终端关键功能如下:

终端关键功能	参数	规格	备注
屏幕	屏幕类型	快速响应 LCD 屏或 OLED 屏	
	分辨率	单眼分辨率 1080*1200 及以上	
	刷新率	不低于 70Hz	
	FOV	不低于 90 度	
	近视友好性	可佩戴眼镜或自带焦距功能	
	护眼模式	低蓝光认证	可选
空间定位	自由度	3 自由度 (3DoF) 或 6 自由度 (6DoF), 高端游戏用户推荐 6DoF	
通信能力	Wi-Fi	支持 802.11AC 5G Wi-Fi, 2x2 MIMO	
处理器	CPU	高通骁龙 820 或三星 Exynos7420 同等能力及以上	
传感器	机身传感器	九轴传感器 (陀螺仪、加速度计、地磁计)	
		距离传感器 (超声波、红外、光学等)	
	手柄传感器	九轴传感器 (陀螺仪、加速度计、地磁计)	
编解码		H.264/H.265	
音频		外置 / 内置耳机, 可产生 3D 音频	
电池续航		不低于 2 小时	

终端关键功能	参数	规格	备注
重量	整机重量（含电池）	<500 克	
指纹支付		通过指纹认证进行快捷支付	新功能
Launcher		Launcher 应用图标及背景	新功能
视频业务 APK		集成 VR 直播、VR 360° 视频、VR 教育、巨幕影院业务的 APK	新功能
强交互业务 APK		对接云游戏 SDK	新功能
		集成云游戏应用 APK	新功能
用户鉴权		用户登陆认证中心，完成登录操作、登录状态管理等	新功能
投屏功能		对接现网投屏系统，传递视频 / 游戏应用投屏信息	新功能
支持系统升级		对接现网终端管理系统，支持增量式升级	新功能
二次投影功能		与 Cloud VR 云渲染平台实现端云异步渲染协同	

表 2-6 Cloud VR 终端关键功能

2.2.4.3 Cloud VR 终端与业务平台对接

Launcher

Launcher 界面是呈现给用户的界面，一般包含：VR 应用场景 Logo、用户中心、个性化设置等模块，界面的风格、色彩、功能可根据需求定制。



图 2-21 Launcher 方案

与视频业务 APK 对接

为了能访问和对接 Cloud VR 视频业务平台，终端需要集成视频业务 APK，保持与业务平台的心跳。

与强交互业务 APK 对接

终端需要集成强交互业务 APK, 包含云 VR 门户和云 VR 协议库。云 VR 协议库负责与云渲染平台进行交互、操作数据回传等；云 VR 门户提供给用户接入强交互业务平台的操作界面，包括产品展示、分类等。

用户登录鉴权 SDK

用户登录鉴权有两种设想方案：

借助手机登录

通过手机验证码或 APP 登录鉴权，对 Cloud VR 授权和解除授权。此方案可以增强运营商现有手机业务的粘性，有助于形成统一账号中心体系。

Cloud VR 终端内鉴权登录

鉴权界面运行在 VR 终端内，需要终端进行用户鉴权适配。

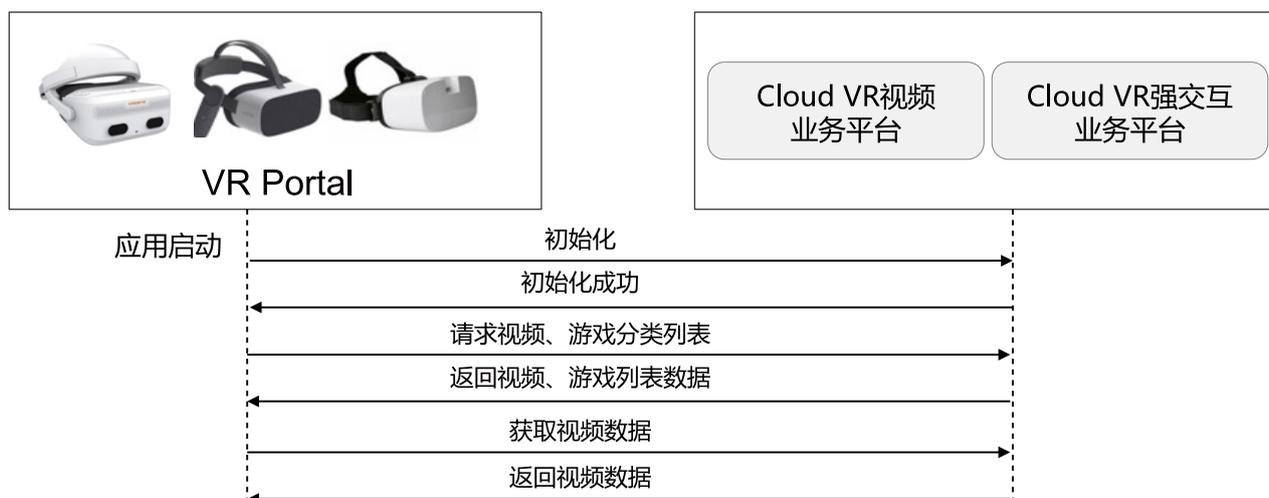


图 2-22 用户鉴权登录交互过程

投屏功能

投屏功能属于新功能，用户可以把 Cloud VR 终端显示的内容同步投屏到电视上。用户在终端上发出投屏指令，通过用户登录鉴权实现 Cloud VR 终端与机顶盒配对绑定，并借助投屏信息通道进行投屏控制。

支持系统升级

Cloud VR 终端需要具备系统升级能力，包括版本更新、新特性增加、问题修复等。升级功能可借助现网终端管理平台，遵循 TR069 协议。

二次投影

Cloud VR 需要重点保障 MTP 不超过 20ms，相比本地 VR 终端更需要二次投影技术，与 VR 云渲染系统配合实现端云异步渲染。

通信能力

Cloud VR 终端通过 Wi-Fi 或者 5G 通信模块与业务平台对接，结合业务的带宽及时延要求，终端需要支持 5G Wi-Fi。

2.3 Cloud VR 视频业务

对于已经具备传统视频业务平台如 IPTV/OTT 等视频平台的运营商而言，可基于传统视频平台快速构建 Cloud VR 视频业务平台系统。需要新建 VR 点播系统和 VR 直播系统。

相比于传统视频，VR 视频拥有更高的码率，当前全视角 4K VR 视频单用户码率达 40Mbps，因此在构建 Cloud VR 视频业务解决方案时需要考虑对高码率的支持，包括云端 CDN 系统、网络传输能力、终端解码能力等。此外，对于有实时性要求的 VR 视频直播系统，需要提升实时转码和切片的能力。

2.3.1 Cloud VR 视频方案总体设计

2.3.1.1 方案组成

Cloud VR 视频业务方案主要包含三大部分：Cloud VR 视频业务平台、网络及 Cloud VR 终端。

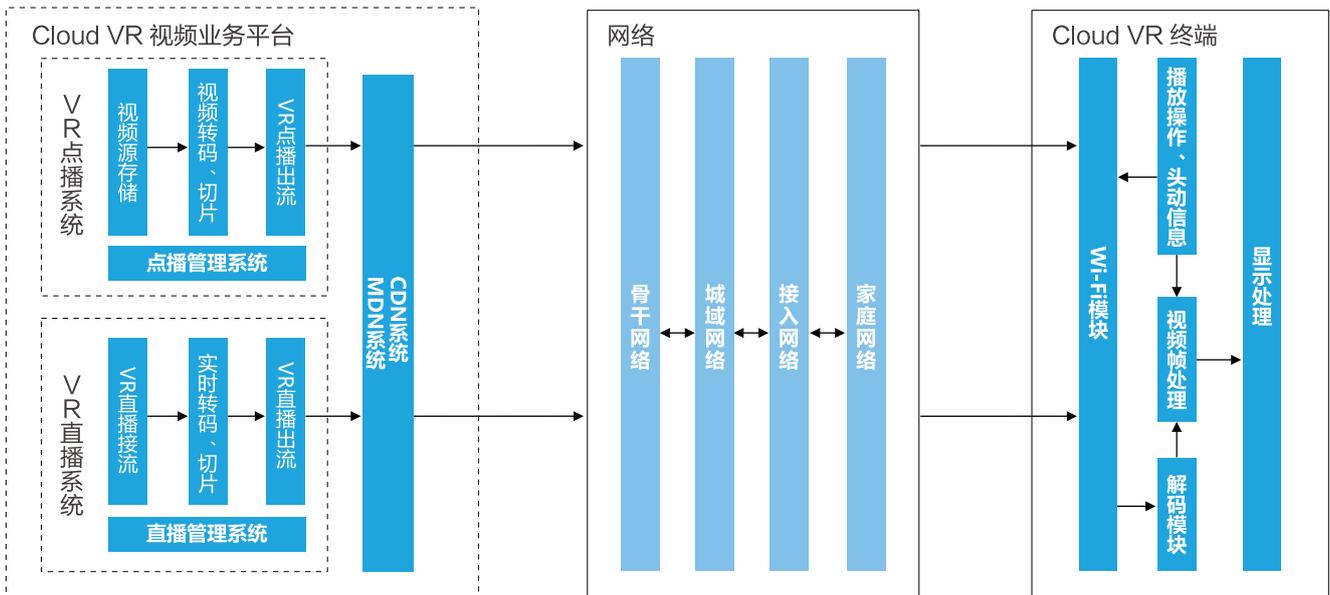


图 2-23 Cloud VR 视频业务方案

1、Cloud VR 视频业务平台

主要负责转码、切片、出流等。由 VR 点播系统、VR 直播系统、MDN 系统及 CDN 系统构成，其中 VR 点播系统、VR 直播系统需要新建。传输方案主要采用全视角传输方案，随着 VR 视频分辨率提升，将逐渐向 FOV 传输方案发展。

■ 新建 VR 点播系统

由管理系统和生产系统组成。点播管理系统供运营人员进行媒体资源管理、节目生产管理；点播生产系统主要负责将从原始视频素材经过转码切片后出流注入到 MDN 系统。

■ 新建 VR 直播系统

由直播管理系统和直播生产系统组成。直播管理系统主要负责对直播内容的编排管理；直播生产系统负责对视频流进行实时处理，由于直播实时性要求高，需要配置性能较高的服务器，其中转码切片还需要配置高性能显卡。

■ 利旧现网 MDN 系统及 CDN 系统，进行接口适配

Cloud VR 作为增量业务，可利旧现网的 MDN 系统及 CDN 资源。VR 点播系统、VR 直播系统经由标准接口与 MDN 系统对接，将生产后的 VR 片源注入到 MDN 系统后通过 CDN 分发，供用户观看。

2、网络

可在 4K Ready 网络基础上进行承载优化和体验管理增强，如部署 QoS 保障、家庭高性能 5G Wi-Fi 以及 Cloud VR 业务体验保障设计等。此外，针对 VR 直播业务高并发、大流量的特点，网络传输后续需要部署组播、M-FOV 等方案以降低网络负载并保障用户体验。

3、Cloud VR 终端

目前 VR 视频主流分辨率为 4K，要求终端典型单眼分辨率 1K 及以上，支持 4K 解码能力，同时需要具备更高性能的通信能力。

2.3.1.2 方案关键要求

在当前阶段，方案关键要求是支持全视角传输方案，包括云端全传 + 终端全解码方案、云端全传 + 终端部分解码、基于全视角传输的组播方案等。

随着 TWS、M-FOV 等 FOV 传输技术的成熟应用，将推进更高清晰度 VR 视频的普及，传输方案演进是用于指导后续方案的发展，不作为当前方案关键要求。

支持全视角传输方案

全视角传输方案就是将 360 度环绕的画面都传输给终端，当用户头部转动需要切换画面时，终端即时完成包括码流解析、视频解码和画面渲染等处理。目前云端、网络、VR 终端具备支持 4K VR 视频传输和播放能力。

■ 云端全传 + 终端全解码方案

该方案是当前多数 VR 终端采用的方案，即在云端准备一个全视角 4K 的 VR 视频源，对整个全视角内容进行编码后，按 4K 质量传输，终端需解码全部 VR 内容。

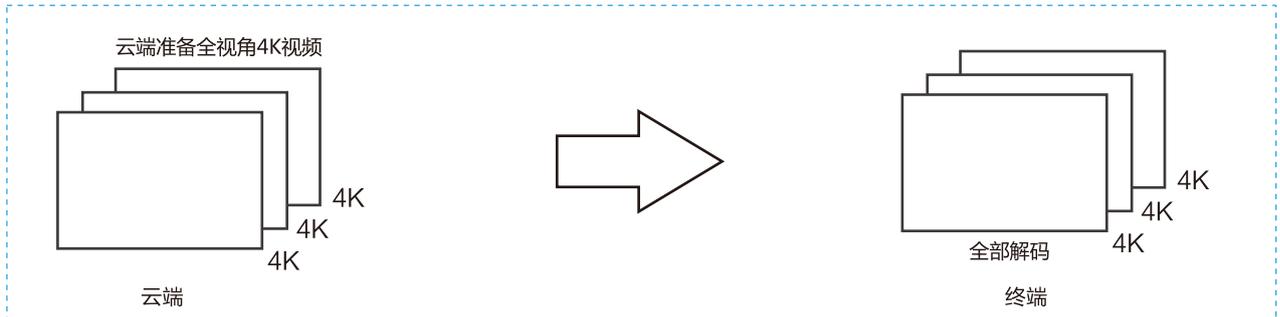


图 2-24 云端全传 + 终端全解码方案

其关键功能要求描述如下：

模块	关键功能要求描述
VR 点播 / 直播系统	支持基于 4K 全视角内容的转码、切片；其中直播系统需具备实时性处理能力。
MDN&CDN	要求支持至少 40Mbps 码率。
Cloud VR 终端	支持 4K 视频流的解码和播放。

表 2-7 云端全传 + 终端全解码方案关键功能要求

终端全解码方案的优势在于任何时间发生视角切换时都可以有同等质量的内容呈现；但其传输和解码了一些不必要的画面内容，且要求终端具备与内容同等分辨率的解码能力。

■ 云端全传 + 终端部分解码方案

该方案适用于特定场景：当前存在少量 8K 内容，而多数 VR 终端解码芯片不支持 8K VR 视频的解码。借助云端全传 + 终端部分解码方案，基于 VR 终端的 4K 硬件解码能力做软件升级后，也能播放 8K VR 视频。

该方案在云端准备高质量的全视角视频源，全视角视频被划分为多个 tile，将每个 tile 进行编码并同等质量全部传输，终端可根据当前视角找到对应的 tile 之后，进行解码。终端只需解码视角区域的 VR 内容，有效降低了对终端的解码能力要求。如下图：

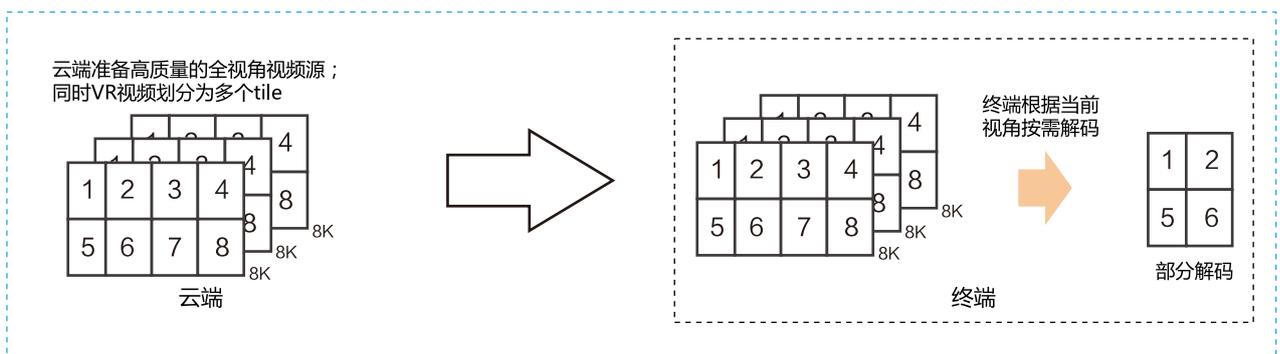


图 2-25 云端全传 + 终端部分解码方案

其关键功能要求描述如下：

模块	关键功能要求描述
VR 点播 / 直播系统	支持将全视角视频画面划分多个 tile 并对每个 tile 分别编码传输，其中直播系统需具备实时性处理能力。
MDN&CDN	要求支持至少 40Mbps 码率。
VR 终端	支持 4K 视频流的解码和播放； 支持基于当前视角找到对应的 tile 之后进行解码。

表 2-8 云端全传 + 终端部分解码方案关键功能要求

支持基于全视角传输的组播方案

针对 VR 直播业务，随着用户观看 VR 直播的时间变长、并发率变高，易造成网络拥塞，导致用户体验劣化。此时可以采用 RTP/RTSP over UDP 的组播方式进行 VR 直播流的传输，替代 TCP 单播方式。采用组播方式后，不仅可改善用户体验，也可降低运营商网络带宽消耗并节省 CDN 部署成本。基于全视角传输方式，VR 直播系统将直播内容实时注入 MDN 系统，VR 终端加入组播组后获取相应的全视角码流，如下图：

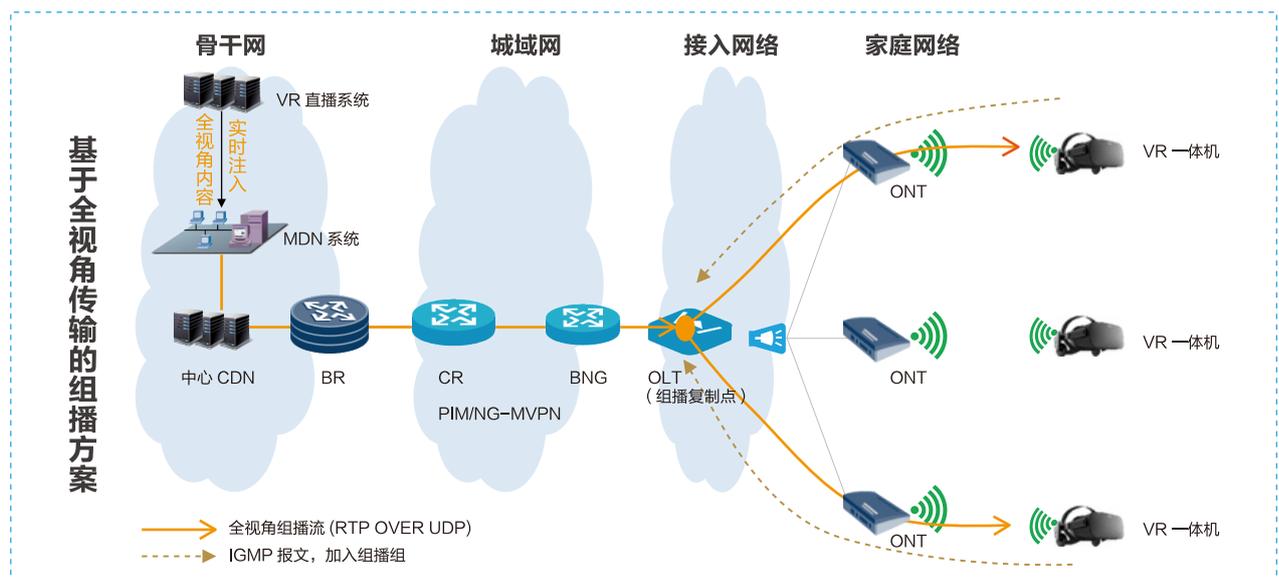


图 2-26 基于全视角传输的组播方案

其关键功能要求描述如下：

模块	关键功能要求描述
VR 直播系统	支持基于 RTP/RTSP 协议进行实时转码。
MDN&CDN	要求支持至少 40Mbps 码率。
网络	城域网支持组播流转发，组播复制点可以是 BNG 或 OLT。
Cloud VR 终端	支持基于 RTP/RTSP over UDP 视频组播流的解码和播放； 支持 IGMP 协议，加入组播组。

表 2-9 基于全视角传输的组播方案关键功能要求

传输方案演进

随着分辨率的不断提升,全视角传输方案将大幅提高对网络传输及家庭 Wi-Fi 的带宽要求,同时要求终端具备更高的解码性能,因此业界提出了基于视角进行有差别传输 VR 画面的 FOV 传输方案作为演进方向,如下介绍了 TWS (Tile Wise) 传输方案和 M-FOV 方案作为 FOV 传输方案的参考。

TWS 传输方案

TWS 传输方案采用按需传输、部分解码以及基于视点自适应策略,根据用户的即时观看区域动态地选择传输高质量视频分块,可以有效地节省网络流量开销、降低终端解码能力需求等。

如下图,云端侧将 VR 视频划分为多个 tile, 每个 tile 分别编码,根据终端上报的视角信息,选择视角区域的高质量 tile 进行推流,同时再准备一个低质量的 VR 全视角视频码流;终端获取一个全视角的低质量码流,以及一个视角区域的高质量的 tile 流,全视角码流可保障用户视角切换时的体验。

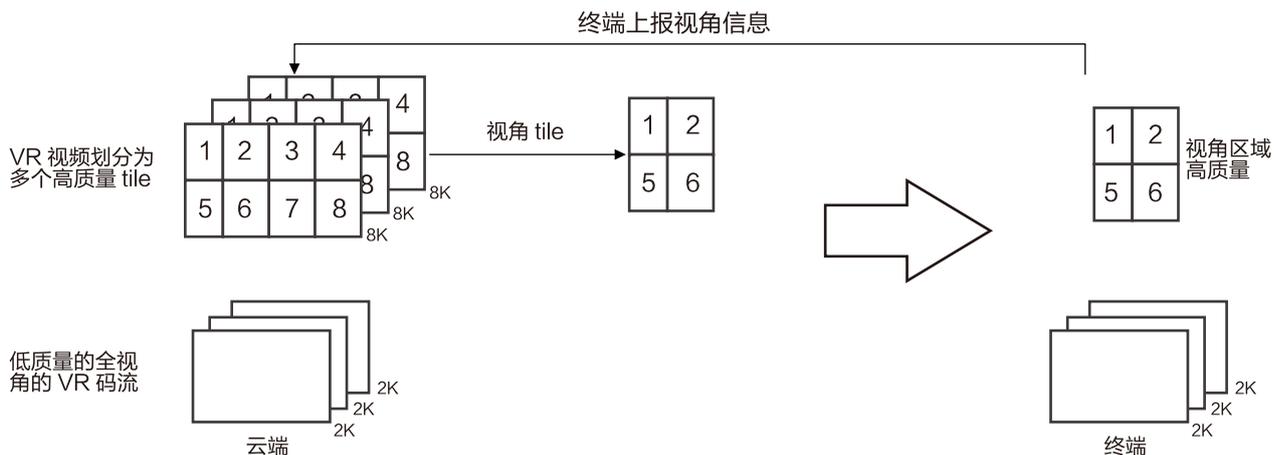


图 2-27 基于 TWS 的 VR 内容传输方案

M-FOV 方案

M-FOV 方案是将 FOV 传输方案应用到直播场景的组播方案中,其在 OLT 或者 ONT 等网络边缘位置将高质量的视角区域视频流推送到 VR 终端,实现用户的快速视角切换。

如下图, M-FOV 部署在 OLT, OLT 接收到从 VR 直播系统推送下来的全视角内容, OLT 作为单播服务器,将对应的 FOV 画面快速推送到 VR 终端。M-FOV 方案降低了对家庭 Wi-Fi 与接入网络的带宽要求以及对 VR 终端解码能力的要求;并可以在 VR 终端视角变化时实现画面快速切换,保障用户体验。

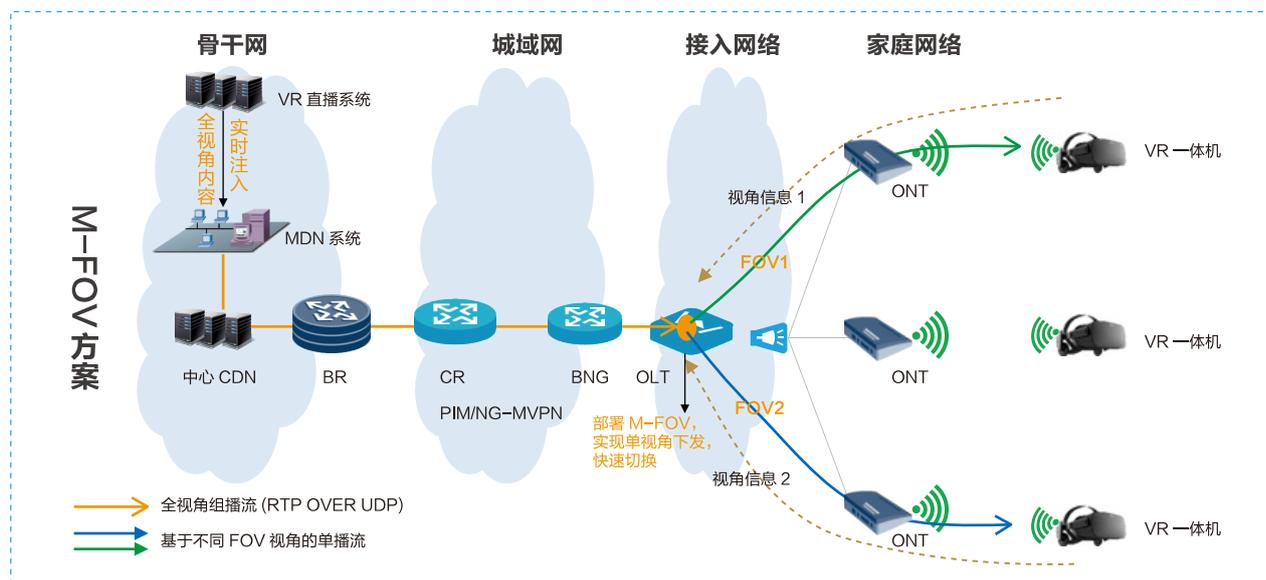


图 2-28 基于 M-FOV 的组播方案

2.3.2 Cloud VR 视频业务平台规划部署

2.3.2.1 平台侧服务器设备部署

Cloud VR 视频业务平台规划部署主要包括 VR 点播 / 直播系统、以及 CDN 系统，其中需要新建 VR 直播系统、VR 点播系统，MDN/CDN 系统可利用现网视频平台。

1、VR 点播 / 直播系统的部署

■ 规划部署高性能服务器,直播转码需配备高性能显卡

VR 点播 / 直播系统需要部署不同的子系统来配合实现 VR 视频接入、转码、发布、存储以及媒资运营等功能。平台侧需要提供多个子系统相应的物理机或虚拟机资源(包括 CPU、内存、硬盘、网卡等),以 8 核 CPU 主频 2.5G 及以上、内存 32G 或以上配置进行各子系统的安装部署。其中直播系统由于对直播流做实时转码,需要配置更高性能服务器,如采用 16 核 CPU、内存 64G 或以上配置,以及配备专业显卡如 Nvidia Tesla P4,硬盘方案推荐使用 RAID0+1 或 RAID0 等。

■ 转码性能要求

VR直播/点播系统的转码要求输出H.264编码的4K视频流、帧率30FPS、码率40Mbps、以及音频acc编码128Kbps、采样率48KHz。

■ 系统采用松耦合、可扩展的架构

VR点播/直播系统中的各子系统模块可扩展,若哪个模块成为性能瓶颈,只需要增加运行该模块的服务器数量,而不会影响其他模块。

■ 系统可靠性部署

各子系统服务器采用冗余容错的架构,将所有模块都冗余部署,使得某台服务器故障不会导致系统服务中断。

■ 部署完善的系统监控功能,无论是硬件还是软件故障,都能够及时告警。

2、CDN 部署

■ CDN 服务器部署位置

Cloud VR 视频业务平台生产后的内容最终还是要通过 CDN 进行分发，除省中心部署中心 CDN 外，各地市中心机房需部署二级 CDN。

■ 部署高性能服务器，支持 VR 高码率，并满足并发需求

4K VR 视频流码率达到 40Mbps，高于当前阶段普通 4K 视频的码率要求，需要 CDN 支持高码率的 VR 视频；同时，根据规划的 VR 用户规模，并参考 OTT 视频并发率（如 5%），评估 CDN 性能是否满足并发需求后再进行业务发放。

■ CDN 存储容量规划

VR 视频不仅码率高，文件也较大，对存储容量有较高要求，因此 CDN 存储容量需要按 VR 片源引入情况进行提前规划。

2.3.2.2 VR 点播 / 直播系统与 MDN 对接

VR 点播 / 直播系统在完成 VR 视频转码切片后，需要将 VR 视频内容注入到 MDN/CDN 系统完成内容分发，因此 VR 点播 / 直播系统与 MDN 系统对接是 Cloud VR 视频业务平台部署的关键环节，主要关注：

- 保证 VR 点播 / 直播系统与 MDN 系统间 IP 可达且防火墙端口开放。
- 根据 MDN 系统规范要求对接控制信令，建立会话。VR 点播 / 直播系统与 MDN 系统建立会话、完成认证后，MDN 系统从点播 / 直播服务器上拉取视频，进行内容注入。

2.3.3 Cloud VR 视频业务网络规划部署

2.3.3.1 Cloud VR 视频业务网络需求

目前 Cloud VR 视频业务主要采用全视角方式传输，相对于 4K 视频，关键区别在于 VR 视频拥有更高的码率，要求更大的网络吞吐量以及更大的带宽，同时丢包和时延等网络指标也会通过影响网络吞吐量间接影响用户体验。

业务场景	指标项	参考值
VR 视频业务	带宽	≥60Mbps
	RTT (注 1)	≤20ms
	丢包率	9E-5

表 2-10 Cloud VR 视频业务网络需求

注 1: VR 视频业务对网络 RTT 并没有很严格的要求小于 20ms，但时延较小的情况下进行切换频道、开始播放等操作时画面加载的时间比较短。如果对画面加载时间没有太高要求，那么网络 RTT 可以也放宽至 30~40ms。

2.3.3.2 Cloud VR 视频业务网络方案

Cloud VR 强交互业务对网络的要求比 Cloud VR 视频业务更高，在 Cloud VR 业务网络部署规划时，通常以 Cloud VR 强交互业务要求为准，因此 Cloud VR 视频业务网络规划部署可参考 2.2.3 章节。

2.3.4 Cloud VR 终端选择与部署

Cloud VR 视频业务的终端方案与强交互业务的终端方案基本相同，可参考 2.2.4 章节，区别在于 Cloud VR 视频业务的终端更侧重于屏幕分辨率等观看体验要求，对于定位交互、二次投影或异步扭曲等能力的要求相比强交互业务的会低一些。

2.4 Cloud VR 投屏业务

Cloud VR 投屏是指通过特定程序将用户在 VR 终端中看到的画面内容同步到电视机顶盒并在电视屏幕展现出来的过程。VR 是孤独的，投屏能够在用户体验过程中将虚拟世界画面同步分享给他人，是 VR 业务的刚性需求。

当前主流的投屏方式包括本地投屏和云端投屏。本地投屏时，一般由 VR 终端直接将所看到的内容压缩编码后推送到电视机顶盒进行处理和播放；而云端投屏则一般是由云端投屏系统完成 VR 终端与电视机顶盒的消息同步，由机顶盒发起向云端 CDN 或云渲染系统拉流后推流给电视机顶盒。在当前阶段，本地投屏以 DLNA 方式为典型代表，但相比云端投屏，存在较多限制：

- 观看质量难以保证。VR 终端一般采用 Wi-Fi 接入，且对带宽需求很大，本地投屏需要 VR 终端将所看到的内容通过 Wi-Fi 推送到电视机顶盒，导致家庭 Wi-Fi 传输需求翻倍，在现有 Wi-Fi 技术条件下，观看质量无法有效保障。
- 家庭组网存在限制。要求 VR 终端和机顶盒同在一个局域网，实际场景往往是 VR 和 IPTV 业务通过不同平面承载，无法在本地交互。
- 功耗大，VR 终端使用时长减半。本地投屏时 VR 终端需要进行额外的编码推流等操作带来功耗成倍增加，影响终端续航时间。

因此，现阶段推荐云端投屏的 Cloud VR 投屏解决方案，以保障投屏时的观看体验，同时不改变现有家庭网络部署。

2.4.1 云端投屏方案

云端投屏方案需要在云端建立投屏系统，由云端投屏系统通过查找用户账号实现 VR 终端和机顶盒 STB 的配对绑定。VR 终端和机顶盒不需要直接互通，不额外占用家庭 Wi-Fi 资源。云端投屏方案需要传输两份流量，即除了 VR 视频流或渲染流外，云端 CDN 或云渲染系统还需另外推送投屏流到电视机机顶盒。具体流程如下图所示：

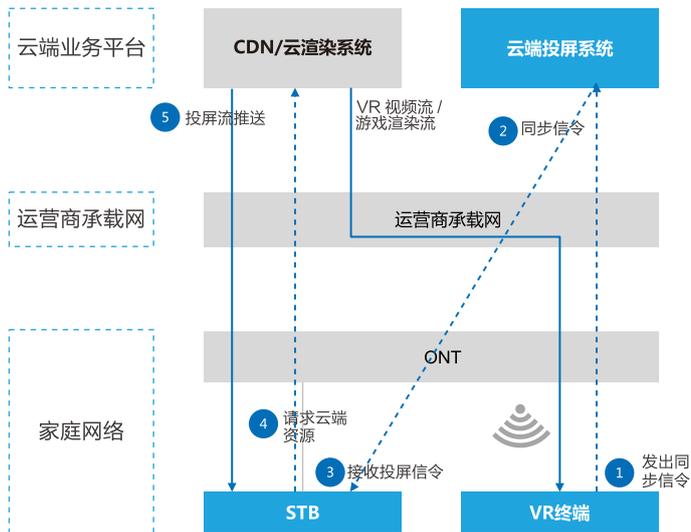


图 2-29 云端投屏方案

云端投屏方案实现流程：

1. VR 终端上发起投屏操作，发出同步请求信令。
2. 云端投屏系统收到投屏请求后，通过查询用户账号，找到所对应的机顶盒 STB，并发送投屏同步信令。在视频业务投屏过程中，VR 终端需要周期性将视频播放信息（如播放进度、视角坐标定位信息等）通过云端投屏系统同步到机顶盒，以保障机顶盒与 VR 头盔的视频播放画面一致。
3. 机顶盒 STB 收到云端投屏系统发送的投屏信令。
4. 机顶盒 STB 向云端请求资源。
5. CDN 或云渲染系统收到请求后，推送视频流到机顶盒。

2.4.2 投屏方案演进

伴随 Cloud VR 投屏业务的不断增多，投屏流量将显著增加，云端投屏方案将提高对网络容量与云端系统性能的要求。一方面，网络传输两份流量，在用户并发率较大时需要增加网络扩容成本；另一方面，云端处理大量同步信令，需要提升云端系统性能，来避免在大量用户并发情况下时延增大、影响体验。

因此，未来投屏解决方案需将云端投屏功能下移到 ONT 来实现，称为 ONT 投屏代理方案，如下图所示。

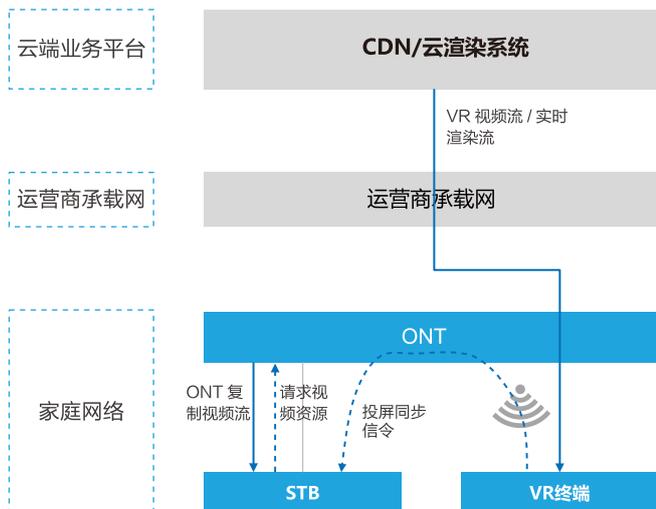


图 2-30 ONT 投屏代理方案

家庭网络内通过 ONT 处理投屏需求并完成投屏流复制，既不会额外占用 Wi-Fi 资源，也解决了未来用户量大幅上升时，云端投屏占用运营商带宽资源以及投屏同步延迟的问题。



03 Cloud VR 运营和生态建议

3.1 场景及内容选择建议

3.1.1 场景的选择

■ 用户规模数 <100000 时

从内容丰富的场景入手，建议先发展巨幕影院、VR 游戏场景，目前这两个场景的内容比较丰富，巨幕影院内容来源于传统视频平台内容，游戏优质内容也比较多，可以利用现有内容发展 VR 用户。

■ 用户规模数 >100000 时

用户基数大，商业有想象空间，可以驱动内容厂商制作明星演唱会、综艺节目、体育赛事等 VR 事件直播、VR 教育内容，版权方也有兴趣投入，这个阶段可以选择 VR 直播、VR 教育、巨幕影院、VR 游戏、VR360° 视频场景，获得用户粘性。

3.1.2 内容的选择

内容数量丰富、优质才能保持 Cloud VR 业务可持续性发展，引入 VR 内容时，需要结合用户的体验对内容有一定的要求：

VR 内容	技术参数建议
VR 巨幕影院	分辨率：4K 典型码率：≥20Mbps（注 1） 帧率：30/60fps 压缩模式：VBR/CBR 视频编码：H.264/HEVC/AVS2
VR 360° 视频 / VR 直播 /VR 教育 （注 2）	全景分辨率：4K~8K 典型码率：≥40Mbps 帧率：30fps 视频编码：H.264/HEVC 交互自由度：3DoF
VR 游戏 /VR 教育 （强交互类） （注 3）	内容分辨率：2K~4K（等效全景 4K~8K） 帧率：50~90fps 典型码率：≥40Mbps 交互自由度：6DoF/3DoF

表 3-1 VR 内容技术参数建议

注 1：VR 巨幕影院的内容主要是传统视频，为兼顾现网大量片源的码率，此处定义巨幕影院典型码率≥20Mbps。

注 2：此处 VR 教育是视频类的 VR 教育，主要是观看体验为主。

注 3：此处 VR 教育为强交互类 VR 教育。

3.2 内容运营与商业模式设想

3.2.1 运营合作

运营商开展 Cloud VR 业务需要深入合作的伙伴包含运营方、平台方、内容方、终端方，他们的关系如下图所示：



图 3-1 运营商与各方合作伙伴关系

- **平台方：**主要是协助运营商构建 VR 业务平台能力。
- **运营方：**主要负责长期与运营商合作，包括协助运营商内容聚合、合规审查和内容编码等。
- **内容提供方：**主要负责持续提供 VR 视频和强交互内容。
- **终端方：**提供 VR 的终端和对接工作。

Cloud VR 作为新业务，开展的时候需要关注以下特殊点：

- VR 内容目前尚无强监管政策，但必须同时考虑内容的主题与技术合规性审查。
- 内容主题合规性审查必须由持有专有资质的专业团队进行背书。
- VR 内容制作方多为初创公司或工作室，质量参差不齐，内容聚合以及技术合规性审查需要由具备 VR 内容专业审核的团队承担。
- 引入 Cloud VR 强交互业务时需要云渲染平台，需要具备云渲染能力的团队承担。

3.2.2 VR 业务套餐设想

参考互联网商业模式，可考虑不设置基础套餐费，采用免费 + 会员 + 点播的产品商业模式。

■ 免费内容设计：

免费，不超过内容总量的 20%，对所有注册用户开放。

■ 会员内容设计

收费，除了点播收费的内容除外，视频、教育、游戏对所有会员开放。

■ 点播内容设计

按次收费，数量上根据内容 IP 刷新，主要是 VR 直播，如明星演唱会、体育赛事直播等。

3.3 VR 生态

运营商开展 Cloud VR 业务离不开 VR 优质资源的聚合。华为 VR OpenLab 产业合作计划，定位于“联合产业合作伙伴，孵化商业场景，促进技术和解决方案创新，建设 Cloud VR 开放平台，推动产业繁荣”。VR OpenLab 已经汇集了业界优秀的 50+ 产业伙伴，具备了比较成熟的 VR 产业合作流程，期待助力运营商顺利开通 Cloud VR 业务。

■ 主要的 VR 硬件厂商：

VR 硬件分类	国内外主要公司
VR 头盔	VIVE、Oculus、三星、Pico、创维 VR、DPVR、3Glasses、华为、爱奇艺、小派、小米、Idealens
其他外设	NOLO VR、LeapMotion、uSens 凌感

表 3-2 主要的 VR 硬件厂商

■ 主要的 VR 内容厂商：

VR 内容分类	国内外主要公司
影视	Felix & Paul Studios、Google Spotlight Stories、Jaunt VR、Pinta Studios、Sandman Studios、兰亭数字、爱奇艺
旅游	兰亭数字、微鲸 VR、赞那度、云舞科技、云景中国、世界多美丽 VR、埃舍尔科技
现场直播	兰亭数字、微鲸 VR、火柴全景 VR、Next VR、True VR
游戏	Niantic Labs、Three Eggs Studio、Survios、SEGA、Crytek、7663 VR、造梦 VR、网龙网络、玖的、酷味数字、东艺数科、超凡视幻
教育	Google Expeditions、zSpace、Immersive VR Education、Unimersiv、Alchemy VR、Discovery VR、网龙华渔、赛欧必弗、讯飞幻境、黑晶科技、巧克互动、微视酷、中唐科技、格如灵
医疗	Firsthand Technology、Virtual Reality Medical Center、ImmersiveTouch、Surgical Theater、北京触幻科技有限公司、医微讯
购物	京东天工计划、淘宝 Buy+、亚马逊

表 3-3 主要的 VR 内容厂商



04 展望

Cloud VR 业务的发展以体验为主线，可划分为如下三个阶段：起步阶段、舒适体验阶段、理想体验阶段。

4.1 Cloud VR 发展的三个阶段

起步阶段

在起步阶段,内容以 4K VR 为代表,终端典型分辨率为 2K~4K,用户看到的画面质量相当于在传统 TV 上观看 240P 的效果。VR 视频业务以被动接受型体验为主,支持 3DoF 交互,主要使用全视角传输方案;VR 强交互业务以主动操作性体验为主,用户交互以手柄为主,支持 6DoF/3DoF 交互。

舒适体验阶段

在舒适体验阶段,内容以 8K VR 为代表,终端典型分辨率为 4K~8K,芯片性能、人体工程有所提升,用户看到的画面质量相当于在传统 TV 上观看 480P 的效果。VR 视频业务以被动接受型体验为主,超过百兆的内容适用 FOV 传输方案;VR 强交互业务以主动操作型体验为主,交互定位向 inside-out 发展,手柄与手部姿态交互融合,可以识别复杂场景和小物体,有触觉反馈。

理想体验阶段

在理想体验阶段,内容以 12K 或者 24K VR 为代表,终端典型分辨率为 8K 或者 16K,终端和内容的发展可使用户拥有最佳使用体验,用户完全沉浸在虚拟世界中,VR 的体验以社交化为主,交流互动性强,触觉反馈成熟应用。

4.2 Cloud VR 发展的三个阶段业务体验指标

基于研究和算法推论,Cloud VR 发展的三个阶段业务指标如下表:

业务类型	业务指标项	起步阶段	舒适体验阶段	理想体验阶段
终端	显示分辨率	2K~4K	4K~8K	8K~16K
Cloud VR 强交互业务	内容分辨率 (等效全景分辨率)	2K~4K (等效全景 4K~8K)	4K~8K (等效全景 8K~12K)	8K~16K (等效全景 12K~24K)
	色深 (bit)	8	8	12
	编码方式	H.264/H.265	H.265	H.265/H.266
	码率 (Mbps)	≥40	≥90	≥360/440 (12K/24K)
	FOV (度)	90~110	120	120~140

	帧率 (FPS)	50~90	90	120~200
	操作响应时延 (ms)	≤100	≤100	≤100
	MTP	≤20	≤20	≤20
	有效帧率	100%	100%	100%
Cloud VR 视频业务	全景分辨率	4K~8K	8K~12K	12K/24K
	色深 (bit)	8	8	12
	编码方式	H.264/H.265	H.265	H.265/H.266
	码率 (Mbps)	≥40	≥90 (全视角) ≥50 (FOV)	≥290/1090 (全视角 12/24K) ≥155/580 (FOV 12K/24K)
	FOV (度)	90~110	120	120~140
	帧率 (FPS)	30	30	60~120
	操作响应时延 (ms)	≤100	≤100	≤100
	初缓时长 (s)	≤1	≤1	≤1
	卡顿时长占比	0	0	0
	花屏时长占比	0	0	0

表 4-1 Cloud VR 发展的三个阶段业务指标

4.3 Cloud VR 解决方案对时延要求展望

对于 Cloud VR 视频业务，20~40ms 的时延能够满足体验要求，而 Cloud VR 强交互业务的时延是 Cloud VR 解决方案最高的要求，三个发展阶段的时延展望如下：

1、MTP 时延要求 ≤20 毫秒。

2、云渲染及流化时延要求为 30~70 毫秒：

- 在起步阶段，云渲染及流化时延建议 ≤70 毫秒，画面黑边和质量的劣化在可接受范围。（备注：本白皮书中解决方案已经满足此要求）
- 在舒适体验阶段，云渲染及流化时延建议 ≤50 毫秒，此时基本消除黑边现象。
- 在理想体验阶段，云渲染及流化时延建议 ≤30 毫秒，无黑边、无扭曲。

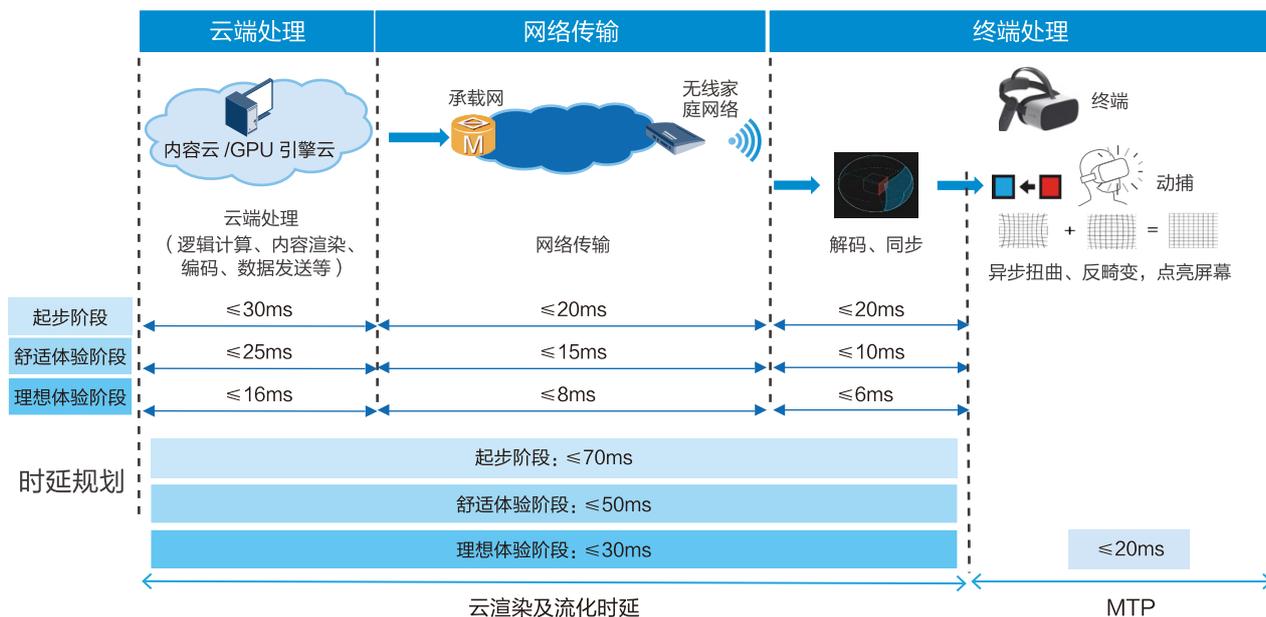


图 4-1 各发展阶段 Cloud VR 业务对时延的要求

4.4 Cloud VR 解决方案对网络要求的展望

基于业务体验指标，Cloud VR 业务在三个阶段的网络要求如下：

阶段		起步阶段	舒适体验阶段	理想体验阶段
Cloud VR 视频业务	带宽要求	≥60Mbps	全视角: ≥140Mbps FOV: ≥75Mbps	全视角: ≥440Mbps (12K) ≥1.6Gbps (24K) FOV: ≥230Mbps (12K) ≥870Mbps (24K)
	RTT 要求 (注 1)	≤20ms	≤20ms	≤20ms
	丢包要求	9E-5	1.7E-5	1.7E-6
Cloud VR 强交互业务	带宽要求	≥80Mbps	≥260Mbps	≥1Gbps (12K) ≥1.5Gbps (24K)
	RTT 要求	≤20ms	≤15ms	≤8ms
	丢包要求	1.00E-5	1.00E-5	1.00E-6

表 4-2 各发展阶段 Cloud VR 业务的网络要求

注 1: VR 视频业务对网络 RTT 并没有很严格的要求小于 20ms, 但时延较小的情况下进行切换频道、开始播放等操作时画面加载的时间比较短。如果对画面加载时间没有太高要求, 那么网络 RTT 可以也放宽至 30~40ms。

4.5 Cloud VR 解决方案展望

面向未来，Cloud VR 解决方案将从以下几个维度得到完善和改进：

1、终端

终端发展比较快，尤其是消费者市场的终端，解码能力达到 8K、视场角朝 120 度发展、开始考虑护眼模式、重量不断朝更轻的方向挑战、价格进一步优化等。

2、网络承载

- **固定承载网络：**家庭 Wi-Fi 将升级支持到 1Gbps 速率以上，5GHz Wi-Fi 升级到 802.11ax 标准或者采用 60GHz Wi-Fi 承载，25GPON 应用、波分一跳直达等应用。家庭网络带宽随着 VR 画质体验提升，从 100M 升级到 200M、300M 等。
- **5G 无线传输网络：**2018 年 6 月 14 日 3GPP 正式批准了第五代移动通信技术标准(5G)新空口(NR)独立组网(SA)功能冻结，这一里程碑事件将为 5G 网络试验和商用化铺平道路。5G 网络将可以提供随时随地 100Mbps 大带宽，满足 4K VR 分辨率或以上的高清画质体验，同时 5 ~ 8 毫秒的网络时延将消除眩晕感。

3、VR 视频业务平台

随着 VR 视频业务带宽超过 100Mbps，传输方案向 FOV 传输方案发展，如 TWS 传输方案；另外 VR 直播业务逐步采用组播方案，以减少网络负载。

4、VR 强交互业务平台

除了继续通过技术不断完善 Cloud VR 体验与本地 VR 体验一致之外，降低端到端时延和提升云渲染处理性能是关键，如云渲染资源池化、按需弹性分配 GPU/CPU，编码性能提升、采用极速传输协议等。

5、内容聚合平台

随着终端 8K 解码能力的出现，8K 分辨率画质的内容也会越来越多。运营商将 VR 推向家庭市场后，内容提供商在生产制作优质 VR 内容的能力和数量上也需要跟上，才能形成合力吸引和留住更多的 VR 用户。



A 缩略语

缩略语	全称
AP	接入点 Access Point
APK	安卓安装包 Android Package
BRAS	宽带远程接入服务器 Broadband Remote Access Server
BNG	宽带网络业务网关 Broadband Network Gateway
CBR	固定码率 Constant Bit Rate
CDN	内容分发网络 Content Distribution Network
CO	局端 Central Office
CPU	中央处理器 Central Processing Unit
CR	核心路由器 Core Router
CSMA/CA	载波监听多路访问-冲突避免 Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance
DAA	根据用户访问的目的地址进行计费、限速和优先级调度 Destination Address Accounting
DLNA	数字生活网络联盟规范 Digital Living Network Alliance
DoF	自由度 Degrees of Freedom
DSCP	差分服务代码点 Differentiated Services Code Point
FTTB	光纤到楼 Fiber To The Building
FTTC	光纤到路边 Fiber To The Curb
FTTH	光纤到户 Fiber To The Home
FOV	视场角 Field of View
GPU	图形处理器 Graphics Processing Unit
HGW	家庭网关 Home Gateway
HQoS	层次化服务质量 Hierarchical Quality of Service
MDN	媒体分发网络 Media Delivery Network
MTP	动作至显示 Motion to Photon
MIMO	多入多出技术 Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	多用户多输入多输出 Multi User Multiple Input Multiple Output
ONT	光网络终端 Optical Network Terminal
OFDM	正交频分复用 Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLT	光线路终端 Optical Line Terminal
OTN	光传送网 Optical Transport Network
OTT	通过互联网向用户提供各种应用服务 Over The Top
PON	无源光网络 passive optical network

缩略语	全称
PPD	角度像素密度 Pixels Per Degree
QoS	服务质量 Quality of Service
RET	重传 Retransmission
RTSP	实时流传输协议 Real Time Streaming Protocol
RTP	实时传输协议 Real-time Transport Protocol
RTT	往返时延 Round Trip Time
SDK	软件开发工具包 Software Development Kit
STB	机顶盒 Set Top Box
TCP	传输控制协议 Transmission Control Protocol
UDP	用户数据报协议 User Datagram Protocol
VBR	动态码率 Variable Bit Rate
VR	虚拟现实 Virtual Reality
WMM	Wi-Fi 多媒体 Wi-Fi Multimedia



版权所有 © 华为技术有限公司 2018。保留一切权利。

非经华为技术有限公司书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明

、HUAWEI、华为、 是华为技术有限公司的商标或者注册商标。

在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

免责声明

本档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

华为技术有限公司
深圳市龙岗区坂田华为基地
电话: (0755) 28780808
邮编: 518129

www.huawei.com