

iLab VR OPEN LAB

Cloud VR 解决方案 实践报告

华为iLab · 极致体验





前言

2017年，华为在UBBF正式发布VR OpenLab产业合作计划，该计划依托华为iLab实验室，聚合三十余家产业伙伴，致力于共同推动Cloud VR产业的技术创新与商业化。经过近一年的共同努力，VR OpenLab产业合作计划取得了丰硕的成果：

- 搭建并正式开启了作为Cloud VR孵化器的VR OpenLab深圳实验室。
- 50+业界顶级产业链伙伴加入，共同推动Cloud VR产业繁荣。
- 输出了10篇白皮书,涉及商业场景、平台方案、承载网络、内容生态等多个维度。
- 孵化出17大Cloud VR场景，并为运营商提供商业模式建议。
- 2018MWC发布了业界首个Cloud VR端到端系统原型，累计体验人次10000+。
- 支撑福建移动开启了全球首个运营商级云VR业务的试商用。

至此，Cloud VR方案完成了从理论研究到商用落地的全面探索。作为对这些探索的总结，本白皮书希望能为后继运营商Cloud VR业务的规模商用提供方案设计方面的相关参考与指导，为Cloud VR产业的进一步发展提供助力。

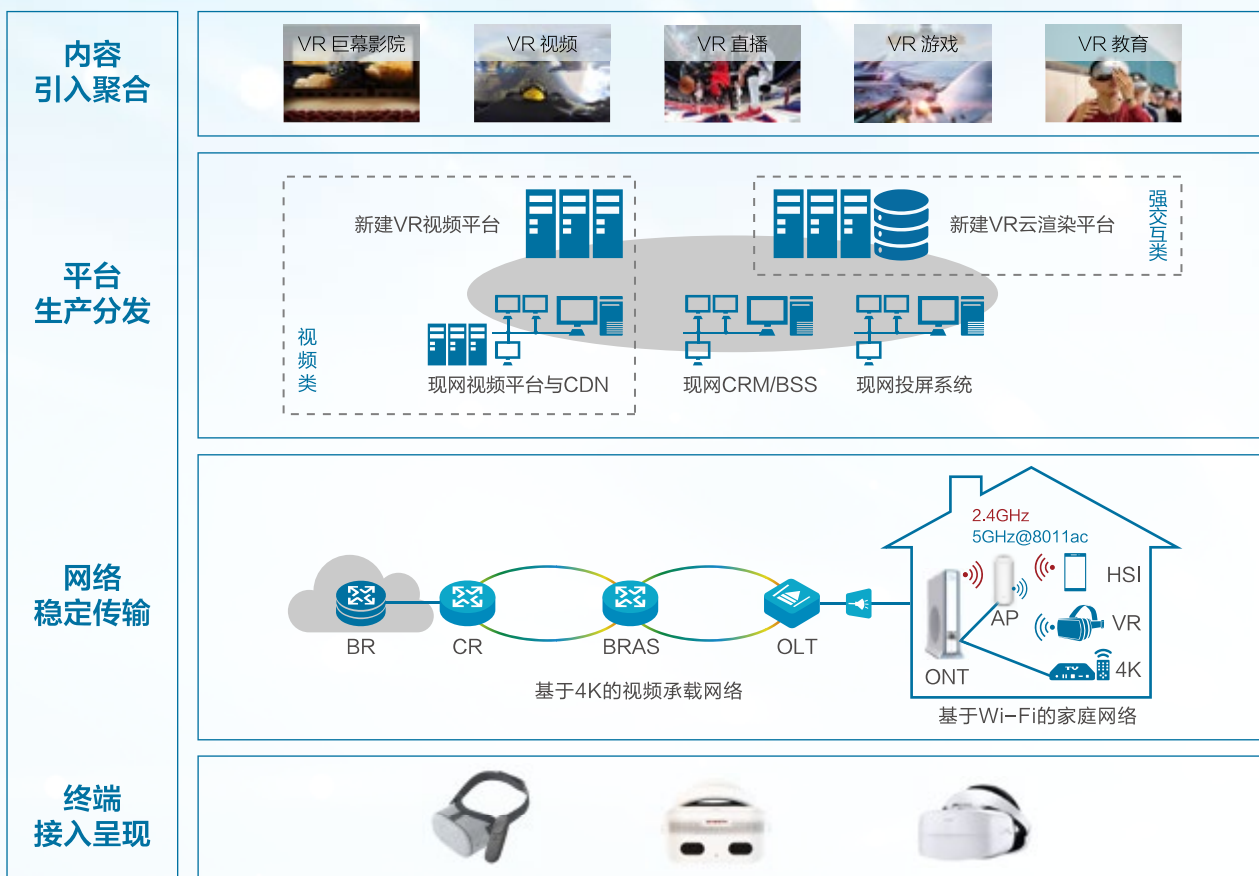
目录

前 言 ii	00
1 概述	01
2 Cloud VR 场景与内容	02
2.1 Cloud VR 场景选择	02
2.2 Cloud VR 内容来源	03
2.2.1 巨幕影院	03
2.2.2 VR 直播	04
2.2.3 VR 全景视频	04
2.2.4 VR 游戏	05
2.2.5 VR 教育	05
2.3 Cloud VR 内容发布	06
2.4 Cloud VR 业务指标建议	07
2.4.1 VR 视频类指标建议	07
2.4.2 VR 游戏类指标建议	09
3 Cloud VR 平台与终端	11
3.1 Cloud VR 平台部署	11
3.2 Cloud VR 终端选择	12
3.3 Cloud VR 传输协议选择	13
3.4 Cloud VR 服务器资源与位置规划	14
3.4.1 视频类服务器资源和位置规划	14
3.4.2 游戏类服务器资源和位置规划	16
4 Cloud VR 网络规划与部署	17
4.1 Cloud VR 网络指标要求	17
4.1.1 VR 视频类网络指标要求	17



4.1.2 VR 游戏类网络指标要求	19
4.2 Cloud VR 目标网络架构	22
4.3 新家庭网络解决方案	23
4.3.1 家庭网络关键挑战	23
4.3.2 家庭网络解决方案	26
4.4 接入网络规划部署	28
4.5 Cloud VR 承载方案	33
4.6 QoS 规划部署	35
4.6.1 优先级分配	35
4.6.2 优先级标记	36
4.6.3 用户 CAR/Shaping 限速	37
4.7 Cloud VR 网络需求汇总	39
5 Cloud VR 用户装维与保障	40
5.1 业务开通流程	40
5.2 入户装维流程	41
5.3 用户报障处理	42
6 总结与展望	43
7 版本配套关系	44
A 缩略语	45

1 概述



如上图所示,Cloud VR 业务解决方案架构主要由内容、平台、网络 and 终端四部分组成:

内容侧：负责向业务平台提供符合特定场景、特定指标要求的高质量内容，实现 VR 内容的快速引入和聚合。

平台侧：根据业务场景的不同可划分为 VR 视频类和 VR 强交互类业务平台。起步阶段可通过复用运营商视频平台资源，同时新建少部分 VR 业务专用系统，比如：云渲染平台，VR 视频生产平台等，来实现 VR 内容的正常生产和发放。

网络侧：运营商网络一般包含骨干网、城域网、接入网和家庭网络四部分，负责为 Cloud VR 业务提供大带宽、低时延的稳定传输。其中，基于 Wi-Fi 承载的家庭网络是现阶段 Cloud VR 业务带来的关键挑战。

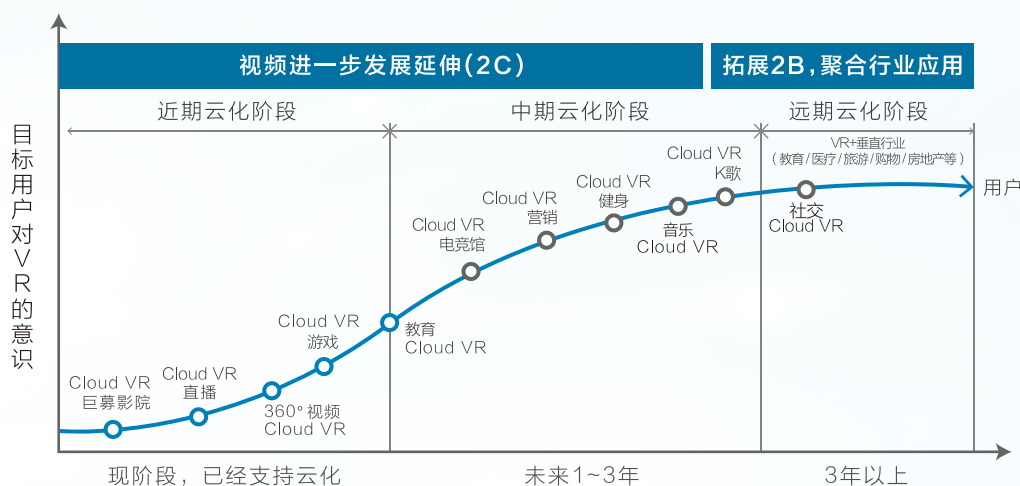
终端侧：负责 Cloud VR 业务接入、内容呈现以及用户鉴权等工作。为了能让用户能获得流畅的业务体验，终端需要支持异步渲染等技术。

本文后续章节中将会针对上述内容做更为详细的分析和介绍。

2 Cloud VR 场景与内容

2.1 Cloud VR 场景选择

2018年初,在中国信息通信研究院 CAICT、华为 iLab 和华为商业咨询部联合发布的《“Cloud VR+”场景白皮书》中,识别了最具有商业潜力、最有可能落地的十几个 Cloud VR 场景,并提出了 Cloud VR 场景发展路线(近期、中期、远期三个云化阶段)以及在各阶段的运营业务发展建议。



其中,巨幕影院、VR直播、VR360°视频、VR游戏以及VR教育均属于VR领域中发展较早的五个场景,内容储备丰富且更具吸引力,应用简单、学习成本低,已经培养了一定规模的用户基础;另外,这些场景从采集、制作、分发到播放的端到端技术也都已趋于成熟,整体产业链条相对完备;非常适合做为运营商首批上线的Cloud VR业务场景。

	巨幕影院	VR直播	VR360°视频	VR游戏	VR教育
云化进程	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
产业成熟	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆
内容丰富	☆☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆
用户基数	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
终端种类	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
用户体验	☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆
适合切入	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆

2 Cloud VR 场景与内容

2.2 Cloud VR 内容来源

· 2.2.1 巨幕影院

巨幕影院通过 VR 技术模拟 IMAX 的超大银幕以及各种观影环境,为电影以及其他传统视频内容提供了一种巨幕式的观看体验。它的内容最丰富、技术门槛也最低,海量的传统视频资源为 VR 巨幕提供了丰富的内容来源。



经研究证实,VR 巨幕影院的体验距离 IMAX 并不遥远:

- **硬件指标:** 以华为 VR 2 为例,除了分辨率和对比度低于 IMAX,其他各项指标已经非常接近甚至略胜一筹。
- **视野:** 可提供与 IMAX 相同的观影视野。(观影视野以人眼和银幕两侧形成的水平视场角 (FOV, Field of View) 来衡量。)
- **清晰度:** 观影效果接近首排的数字 IMAX 体验,但尚未达到最佳观影位置(俗称“帝王位”)的数值。(观影清晰度以每角度像素数 (PPD, Pixels Per Degree) 来衡量)
- **亮度:** 高于 IMAX,相对有些太亮了。(主流 VR 头显的亮度普遍为 100~200nits)



2 Cloud VR 场景与内容

· 2.2.2 VR 直播

区别于普通的电视直播,VR直播跳出了传统平面视频的视角框定,用户可以自行选择观看视角,真正从一位观赏者转变为参与者。

除需要使用全景相机进行拍摄并完成画面拼接外,VR直播与传统直播的制作过程并没有太多区别,大致包括:全景拍摄→实时拼接→转码分发→点播观看。

当前VR直播已经渗透到体育赛事、明星演唱会、新品发布会和综艺节目等多个领域。

可供选择的技术合作伙伴包括但不限于:

兰亭数字:

擅长娱乐事件直播,曾为CCTV春晚VR直播提供技术支持。

微鲸:

擅长赛事直播,全面承接了2018年网球大师赛,并策划了省内篮球VR直播。



· 2.2.3 VR 全景视频

全景视频是视频点播与VR技术的结合,是VR视频的主要表现形式。当用户通过VR头盔观看时,可选择任意角度自由观看,体验身临其境的沉浸感。

全景视频依赖于专业设备进行拍摄,在同时捕获多角度影像之后,还需经过拼接等后期处理,才能确保每一帧都是360度全景画面。

该场景内容以短片为主,覆盖风光、旅游、人文、生活、纪实等领域。

可供选择的视频内容来源包括但不限于:

兰亭数字:

目前自制并聚合了1000多部点播类VR全景视频内容。

微鲸:

目前储备有600多部点播类VR全景视频内容。



2 Cloud VR 场景与内容

· 2.2.4 VR 游戏

在结合云计算技术将传统 VR 游戏内容上云、渲染上云后,可以有效降低对 VR 终端的性能要求和消费门槛。作为最能吸引用户、增加用户粘性的业务,VR 游戏将会是云平台上聚合的第一类消费者强交互业务。

射击和竞速类游戏沉浸感强,可供选择的内容较多,是现阶段比较推荐的游戏类型。游戏中,玩家可以化身梦寐以求的英雄角色,通过身体的自由运动完成操作。

可供选择的 game 提供商包括但不限于:

7663 VR

游戏开发商和内容聚合商,擅长互联网 VR 游戏聚合,比较知名的是场景化枪战游戏——“黑盾”。

玖的:

专注于 VR 游戏内容开发及线下体验店运营。



· 2.2.5 VR 教育

VR 教育通过 VR 技术构建虚拟学习环境,提供体验式的教学,可应用于稀有、抽象场景的基础教育和高成本、高风险的技能培训。教育是 VR 行业中发展最快也将最先落地的领域,随着政策的鼓励和市场的驱动,VR 教育市场持续增长,潜力巨大。

弱交互类教育内容,以天文、科普、英语教学等视频为主,体验效果和制作过程近似于全景视频。强交互类教育内容由于需要和云渲染平台进行深入适配,相对来说上线进度会稍晚些。

可供选择的 education 内容来源包括但不限于:

网龙华渔教育

数十套正版系列文化知识教学。

兰亭数字:

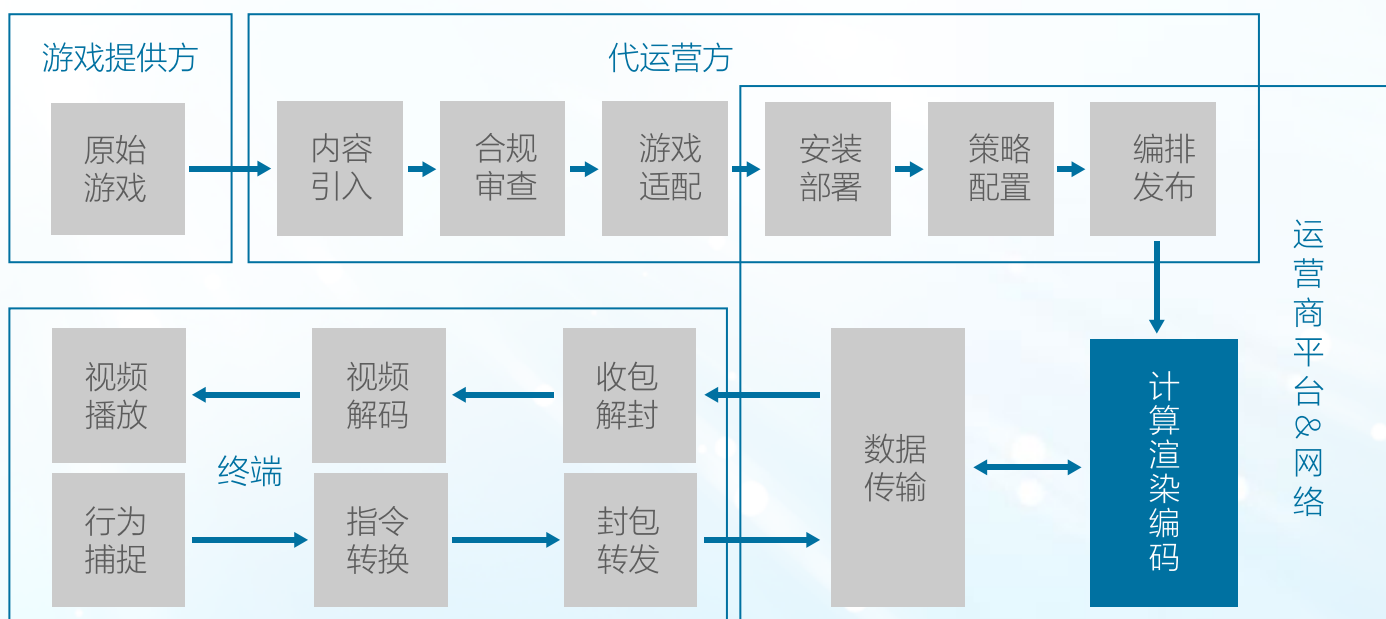
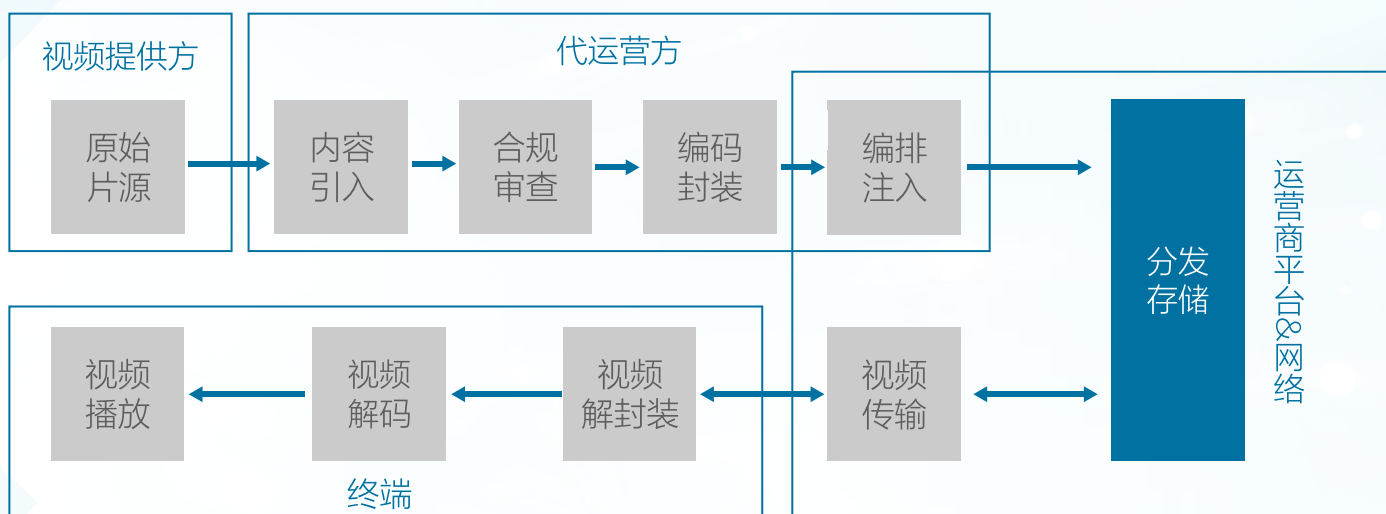
200多套英文场景化VR教学内容。



2 Cloud VR 场景与内容

2.3 Cloud VR 内容发布

确定上线场景和内容后,如何实现相关资源的快速引入、生产和发布将是决定 Cloud VR 业务能否持续正常开展的核心问题。过程中涉及内容提供方、代运营方、运营商和终端厂家等多方机构,整体业务流程大致如下图所示。其中,运营商提供的 Cloud VR 业务平台和承载网络处于整个环节的核心位置,向上可以整合业界优质内容,向下可以对接各种适配终端,拉通了整个产业流程。



2 Cloud VR 场景与内容

2.4 Cloud VR 业务指标建议

为保障 Cloud VR 业务上线后的用户体验质量,同时也为了能够通过相关指标来牵引产业健康发展,我们一方面通过展会等渠道收集大量的用户反馈数据,另一方面也通过实验室完成了一些体验测试和验证工作。

在此基础上,最终整理并输出了 Cloud VR 视频类和游戏类业务的典型业务指标和中短期体验目标。但起步阶段受当前内容源、平台和终端性能等因素的限制,可能还无法完全满足,需要持续优化和改进。

2.4.1 VR 视频类指标建议

与传统视频一样,用户主要关注 VR 视频的画面质量、初缓时长和卡顿情况,具体如下表所示。

业务场景	业务指标	指标类型	目标值	当前值	备注
弱交互VR业务 (视频类)	视场角(全视角)	内容质量	360度	360度	内容以全景视频为主,起步阶段大多数使用全视角传输方式
	分辨率(全景)		8K	4K	起步阶段以4K内容为主,分辨率低是影响清晰度的核心问题
	色深(bit)		8bit	8bit	当单位角度像素值过低时,提升色深对改善画质的意义不大
	帧率		30fps	30fps	视频帧率达到30FPS后,人眼观看就已经基本流畅了
	编码		AVS2/H.265	H.264	4K内容通过H.264编码,8K内容多了后再升级到AVS2/H.265方式
	码率		90Mbps	40Mbps	4KVR全景视频可在一定范围内通过提升码率来改善清晰度
	初缓时长	交互体验	<1s	<1s	参考4K视频体验标准
	卡顿占比	观看体验	0	0	参考4K视频体验标准

视场角: VR 视频以 360 度全景视频为主,有两种传输方案:一种是全视角传输方案(传输 360 度内容),另一种是 FOV 传输方案(只传输用户视角范围内的内容)。在全视角传输方案中,平台侧会将 360 度环绕画面全部都推送给终端,再由终端侧负责跟踪用户视角变化、完成视频解码和画面投影工作。全视角方案实现起来相对简单,对内容无特殊处理要求,可复用运营商现有视频平台资源,终端侧的处理性能目前也没有明显瓶颈,非常适合处于起步阶段的 Cloud VR 视频业务。

色深: 现阶段大部分 VR 视频色深以 8bit 为主,理论上可以表现出包括黑白在内的 256 种色彩。实验室测试结果显示,即使在 8K 分辨率下,受限于单位角度像素密度,靠提升色深对改善画质并没有太大增益,因此短期内按 8bit 要求就可以了。

视频分辨率: 在 8K 全景分辨率下,用户看到的画面质量(按单位角度像素密度计算)与在平面电视上看到的 480P 效果相当,能基本满足大部分用户的观看需求。现阶段受内容源限制,主流 VR 视频还是以 4K 分辨率为主,8K 内容还比较少,用户看到的画面质量相当于平面电视上看到的 240P 效果。积极推动 8K VR 产业发展、引入 8K 视频内容将是运营商现阶段一项非常重要的工作。

帧率: 业界研究成果表明:人眼能明显识别视频是否流畅的帧率边界大约是 24FPS,当提升至 30FPS 时就已经能够感受到基本流畅。现阶段主流 VR 内容都能满足这一要求。

2 Cloud VR 场景与内容

编码：视频数据在传输前必须要先经过编码器的有效压缩，目的是减少对网络资源的占用，目前常用的编码方式有 MPEG-2、H.263、H.264、H.265、AVS2 等。现阶段以 4K 内容为主，通常采用 H.264 方式进行编码。待 8K 内容丰富之后，为了能在不降低画质的情况下进一步提高压缩率，降低网络转发压力，建议升级到 AVS2/H.265 编码方式。

码率：原则上每个视频在分辨率确定后都会有一个保证画质清晰度的最低码率要求，在此之上码率越高画面就越清晰，但达到某个临界点后，进一步提升码率，画质改善的效果就不再明显了。基于针对大量用户的调研和实验室主观体验测试发现：业界大多数 4K VR 视频码率的临界点在 40Mbps 左右。但引入 8K 内容后，预计码率将不会低于 90Mbps。

初缓时长：特指从用户点击视频播放到实际看到视频画面的等待时间，点播初始载入时间越长，用户体验越差。基于运营商自营 4K 视频的用户点播操作经验，建议将 VR 视频的初始载入时间控制在 1s 以内，但起步阶段不做强制要求。

卡顿占比：在视频播放过程中的任意时刻，当终端下载数据总量无法满足视频播放需求时，即会导致播放卡顿。卡顿的出现会直接中断用户的沉浸式体验过程，影响用户的观看和交互体验，因此建议按 0 卡顿进行要求。



2 Cloud VR 场景与内容

· 2.4.2 VR 游戏类指标建议

相对于 VR 视频业务,用户在 VR 游戏体验过程中会更关注一些与交互相关的问题,比如:是否容易眩晕、是否会有黑边、操作响应是否滞后、观看画面是否流畅等,具体如下表所示。

业务场景	业务指标	指标类型	目标值	当前值	备注
强交互VR业务 (游戏类)	视场角 (FOV)	内容质量	120度	90~110度	使用FOV传输方案,云端仅渲染终端视场角内画面
	分辨率 (FOV)		4K (全景8K)	2K (全景4K)	使用FOV传输方案,云渲染平台需适配终端规格
	色深(bit)		8bit	8bit	分辨率偏低时,提升色深对改善画质意义不大
	帧率		90fps	50fps	相对视频,游戏对帧率的要求更高
	编码		AVS2/H.265	H.264	未来可采用H.265等可以进一步压缩码率
	码率		90Mbps	40Mbps	参考测试数据,码率提升到40Mbps以上后画质改善不明显
	运动感知延时 (MTP)	交互体验	<20ms	NA	用户姿态变化到终端显示画面的延时,现阶段无法检测
	操作响应延时		<100ms	NA	用户操作后看到画面更新的延时,现阶段无法检测
	有效帧率	观看体验	100%	NA	云渲染方案下,游戏帧率会受网络传输质量的影响

视场角: 有别于Cloud VR视频业务在起步阶段采用全视角传输方案,Cloud VR游戏业务为降低云端和终端的性能要求,直接使用了FOV传输方案,云端仅渲染并传输终端用户观看视角内的画面。为了能在充分发挥终端性能的基础上,尽可能减少对云端渲染资源的消耗,云渲染平台需要依据终端规格进行适配。根据目前大多数VR终端的设计规格,现阶段建议云端将视场角设定在90°~110°之间,并逐步扩大到120°左右。

游戏分辨率: 云渲染平台通过流化视频的方式将画面推送给终端解码并显示,画面质量完全由云渲染服务器控制和决定,但相关参数的设定还是需要根据终端规格进行调整和适配。当前市面上主流VR终端屏幕分辨率大多在2.5K~3K之间(能支持4K~6K以上的全景视频观看体验),也有少量的4K屏(能支持8K以上的全景视频观看体验)。以国内主流云游戏平台视博云为例,出于性能考虑现阶段一般按2K分辨率进行渲染,终端观看效果近似于4K全景视频。为充分发挥终端性能,还需要通过优化平台性能来提升渲染分辨率。



2 Cloud VR 场景与内容

游戏帧率：视频与游戏的图像生成原理不同，视频画面多是拍摄的实际场景，画面中包含了场景的变化信息，而游戏画面完全由显卡渲染生成，画面中没有物体的运动轨迹信息。因此，要获得相同的观看流畅度，游戏对帧率的要求会比视频高很多。理论上，游戏帧率越高画面就越流畅。现阶段终端能支持的最高帧率在 90FPS 左右，但受云端处理规格限制，短期内较难达到这一目标，以视博云游戏平台为例，现阶段一般按 50FPS 进行设置，实际体验效果基本可以接受。

游戏码率：参考实验室测试结果，在视博云平台控制游戏帧率在 50FPS 的同时，将游戏码率设置为 40Mbps 左右就可以满足大部分用户对游戏的体验要求，继续提升将不会有明显的画质改善。

运动感知延时：运动感知(MTP)延时是指从用户姿态变化到终端显示出相应画面的时间差，当 MTP 延时过大时即容易引起眩晕。目前业界公认：当 MTP 延时低于 20ms 时就能大幅减少晕动症的发生。对于传统云渲染方案来说如此高的时延要求是一个短期内难以达成的目标，现阶段主要通过终端侧的异步扭曲渲染技术(ATW/ASW)来改善，该技术能根据用户姿态和位置信息的变化，对当前帧画面进行预测调整和本地渲染，生成一帧过渡画面，来降低用户的眩晕感。但本地异步扭曲技术只能基于当前画面进行处理，并不能凭空产生新的内容。所以当头部转动速度和角度过大时，超出原图像的部分会显示为黑边，该问题目前可以通过在云端晕染时进行超视角内容渲染来解决，参照云化时延和转头速度，现阶段建议各个方向都超出 6 度左右。

操作响应延时：当用户在虚拟游戏世界中转动头盔，扣动扳机或挥动手柄时，需要从视觉画面上看到变化响应，如果延时过大用户就会有明显的迟滞感。业界研究表明：与大多数普通游戏一样，对大部分人来说，将操作响应时延控制在 100ms 以内时，用户感知是即时的，不会有迟滞感。

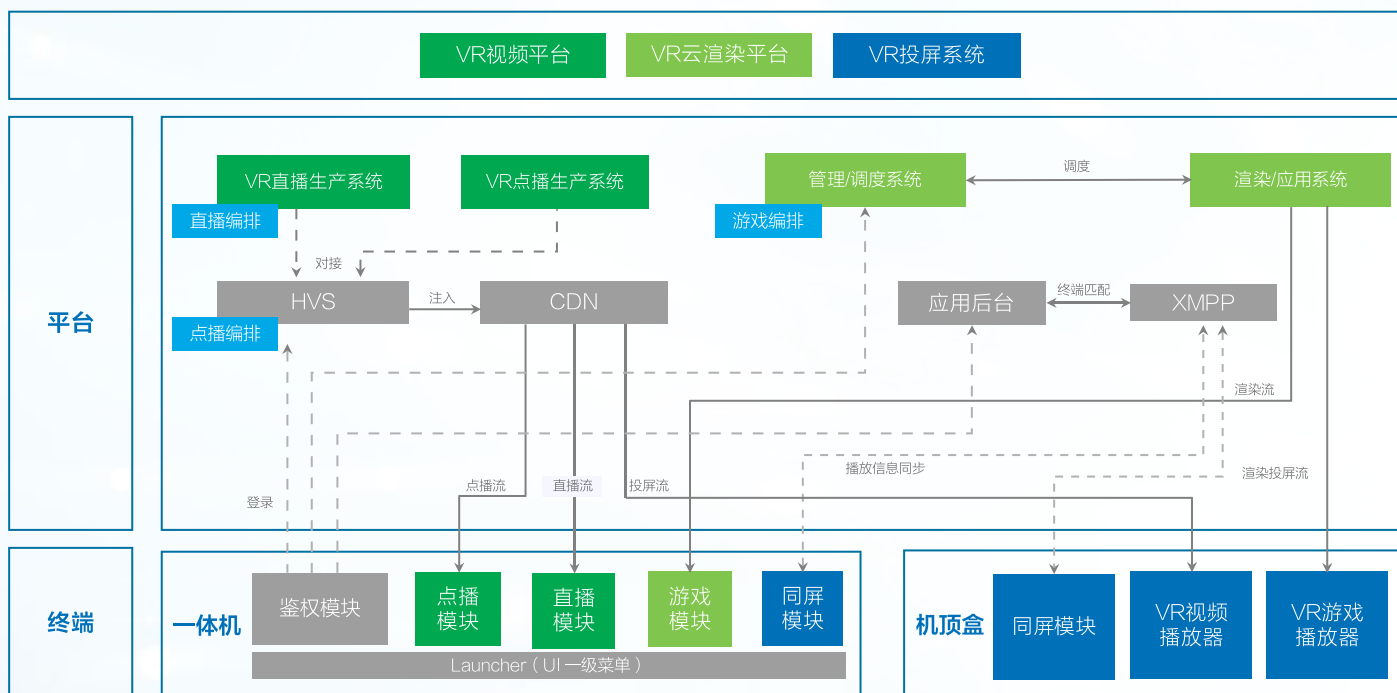
有效帧率：云渲染方案将 VR 游戏的本地计算和渲染功能转移到了云端，终端侧只需要像处理普通视频一样进行解码和显示即可，这样降低了终端的性能要求和使用成本，同时也对网络传输质量提出了更高的要求。当网络传输质量出现劣化时，会导致帧数据无法在对应时间内到达，使得终端无法正常解码，从而引发画面不连续或抖动情况。原则上需要通过优化网络来避免这一情况的发生。



3 Cloud VR 平台与终端

3.1 Cloud VR 平台部署

实践证明：在 Cloud VR 业务平台的搭建过程中,运营商可以通过复用现网视频平台的内容分发系统和 CDN 资源,达到快速、低成本部署的目的,仅部分专用系统需要开发和适配,例如: VR 视频平台、VR 云渲染平台和 VR 投屏系统。



VR 视频平台：

由于与传统视频在媒资信息和内容规格上存在差异,导致无法直接使用现网系统。该平台用来完成 VR 原始视频的内容管理、编排、生产和流量收发工作,通过标准接口与运营商 HVS 平台完成对接后,即可将生产后的内容分发注入到现网 CDN 中,供用户点播观看。

VR 云渲染平台：

云渲染平台与传统视频平台在实现上存在较大差异,它将 VR 游戏等强交互业务的本地计算和渲染工作转移到了云端,并能针对每个用户运行单独的应用实例,在收集用户指令的同时完成相关计算和渲染工作,处理完后再把画面通过流化视频的方式推送给终端,完成最终显示。

VR 投屏系统：

基于云端 XMPP 消息通道、VR 头盔以及机顶盒同屏模块之间的消息互通,实现了 VR 内容在家庭电视上的同屏显示,可以随时与家人共享你在 VR 世界中的视野。

3 Cloud VR 平台与终端

3.2 Cloud VR 终端选择

基于云渲染服务器提供的强大计算能力,在确保视频流量稳定传输的前提下,能够大幅降低对 VR 头戴式终端的硬件要求,降低用户使用成本。业务起步阶段,Cloud VR 终端可基于通用版 VR 一体机开发适配,后续再根据运营商需求进行定制化生产。

前期市场调研过程中,我们发现现阶段常见的 VR 终端形态主要有以下几种(相关产品形态仅用于举例,包括但不限于此):

- VR 眼镜:** 如三星 Gear VR、Google Cardboard 等。由于价格低、便携等特点,曾经使 VR 眼镜一度成为主流 VR 产品。它实现原理简单,通过头戴设备中的镜片将手机屏幕转化为拥有更广视角的虚拟屏幕,完成大屏、多角度的影视和轻度游戏体验。但受手机性能和适配的双重限制,仅能作为尝鲜性质的过渡性产品,无法真正满足用户的 VR 体验诉求。
- VR 一体机:** 如 Pico Neo、大朋 M2、创维 S8000 等具有独立处理器的 VR 头盔,以及支持手机投屏的华为 VR 2,方便携带,价格相对于主机 VR 低了很多;摆脱了线缆的束缚,自由度更高,能够带来较理想的使用体验。目前最被行业看好,特别是在与云计算技术结合之后,即可享受到近似于主机 VR 的体验效果。
- 主机 VR:** 如 HTC VIVE 等。用户体验最好,但价格也比较昂贵。使用时需要配套一台价值近万元的高配置主机,且头盔主机之间还需要通过实体线连接,在体验一些可活动的 VR 内容时会受到线缆的束缚。

	VR眼镜	VR一体机	主机VR
成本价格	低	中	高
可操作性	低	中	高
活动区域	大	大	小
终端厂商	多	多	少
适配难度	高	低	高
体验效果	低	中	高
云化需求	高	高	低

3

Cloud VR 平台与终端

综合考虑后，我们推荐使用 VR 一体机作为 Cloud VR 业务的商用终端形态。当前主流一体机的产品技术规格大致如下图所示：

模块	参数	规格
屏幕	屏幕类型	快速响应LCD屏或OLED屏
	分辨率	双眼2560*1440及以上
	刷新率	70Hz及以上
光学	镜片	菲涅尔镜片
	视场角(FOV)	90度以上
	近视友好性	可佩戴眼镜设计或自带焦距调节
定位	头盔	6自由度（6DOF）
	手柄	双手柄，6自由度（6DOF）
无线	CPU	支持2.4G/5G双频WiFi，2x2MIMO
处理器	WiFi	高通骁龙820或三星Exynos7420及以上
存储	内存	2G及以上
	闪存	16G及以上

3.3 Cloud VR 传输协议选择

Cloud VR 方案中无论是视频类还是游戏类业务，在平台和终端之间实际传递的主要还是视频流数据，目前业界最常用的流媒体传输协议主要有 HLS 和 RTSP/RTP 两种。

- VR 点播业务：**业务起步阶段，Cloud VR 视频点播业务一般通过复用运营商自营视频平台来实现内容的分发和存储。HLS 基于 HTTP 协议实现，对服务器性能要求较低，目前正被现网大多数 OTT 视频平台所采用。
- VR 直播业务：**业务起步阶段，由于用户规模较小，直播场次不多，VR 直播采用了与点播相同的流媒体传输方式。未来根据 VR 直播业务的发展情况，可考虑改用 RTP 组播方式传输、UDP 承载来降低运营商网络带宽消耗。
- VR 游戏业务：**当前 Cloud VR 游戏业务主要运行在视博云提供的云游戏平台上。该平台在做底层流化视频传输时实际使用了 TCP 协议，考虑到游戏业务对交互时延的敏感性，未来可能会改用处理时延更小的 UDP 协议，传输过程中的可靠性交由网络来保证。同时平台开发方的私有流媒体传输协议我们也建议使用标准的 RTP 协议来替换，以保证平台的开放性。

3 Cloud VR 平台与终端

3.4 Cloud VR 服务器资源与位置规划

服务器的性能和布放位置最终都会影响到用户体验，部署前进行合理的规划是非常有必要的。而且不同业务间的需求也不相同，比如：

- 1、VR 视频类业务主要占用现网 CDN 资源，而 VR 游戏类业务则主要消耗显卡资源；
- 2、当采用全视角传输方案时，VR 视频类业务相对存量 4K 视频业务对 CDN 布放位置没有什么特殊要求，而 VR 游戏类业务由于对时延相对敏感，应用渲染服务器要求就近用户进行部署。

3.4.1 视频类服务器资源和位置规划

由于 VR 视频与传统视频在媒资信息和内容规格上存在差异，为方便管理和生产，需要搭建专门的 Cloud VR 视频平台。此处主要以兰亭数字科技开发的 VR 视频平台为例进行介绍，根据业务类型的不同它又被划分为 VR 点播生产系统和直播生产系统两部分。

- **VR 点播生产系统：**由媒资管理服务器、视频生产服务器和存储服务器组成，主要负责原始点播片源的管理和生产。由于生产过程中不需要和用户直接交互，可以集中部署在省中心机房，方便运营商统一管理。具体信息如下表所示：

点播系统配置清单之资源需求

项目名称	型号	规格及描述	数量	单位	备注
媒资管理服务器	虚拟机	媒资管理服务器： 处理器：8核，1.8GHz Intel Xeon Silver 4108 内存：32GB 硬盘：600GB 网卡：千兆网卡 操作系统：Windows 2008R2 datacenterx8 64bit	2	台	用于媒体资源管理、视频内容信息编辑。
视频转码服务器	虚拟机	视频转码服务器： 处理器：12核，2.3GHz Intel Xeon Gold 5118 内存：32GB 硬盘：600GB 网卡：千兆网卡 操作系统：Linux，CentOS7.4 x86 64bit	2	台	用于VR视频编转码，视频上传的预处理。
切片服务器	虚拟机	切片服务器： 处理器：12核，2.3GHz Intel Xeon Gold 5118 内存：32GB 硬盘：600GB 网卡：千兆网卡 操作系统：Linux，CentOS7.4 x86 64bit	2	台	用于VR视频切片。 1台热备。 按输出2种规格， 每天处理4小时的4K视频评估。
点播存储服务器	虚拟机	处理器：12核，2.3GHz Intel Xeon Gold 5118 内存：32GB 硬盘：10T 网卡：千兆网卡 操作系统：Linux，CentOS7.4 x86 64bit	2	台	视频素材存储、切片存储、媒资存储、 发布存储、转码存储。

3

Cloud VR 平台与终端

- **VR 直播生产系统：**由数据服务器、业务管理服务器、视频生产服务器和流转发服务器组成，主要负责直播内容的实时收流、转码、编排和推流工作。由于过程中也不需要直接对接终端用户，同样可以集中部署在省中心机房。以两路直播规划为例，服务器资源信息如下表所示：

直播系统配置清单之资源需求

项目名称	型号	规格及描述	数量	单位	备注
数据服务器	虚拟机	业务逻辑服务器： 处理器：8核，2.5GHz Intel Xeon E5-2682 v4 内存：32GB 硬盘：600G 网卡：千兆网卡 操作系统：Ubuntu Server 16.04.4 LTS	2	台	数据库部署。 一台主，一台备，由于数据重要，建议可以分地方部署，避免同时断电造成数据丢失。
业务管理服务器	虚拟机	List API服务器： 处理器：8核，2.5GHz Intel Xeon E5-2682 v4 内存：32GB 硬盘：600G 网卡：千兆网卡 操作系统：Ubuntu Server 16.04.4 LTS	2	台	CMS管理系统、业务Server
流转发服务器	虚拟机	视频流转发服务器： 处理器：8核，2.5GHz Intel Xeon E5-2682 v4 内存：32GB 硬盘：600G 网卡：千兆网卡 操作系统：Ubuntu Server 16.04.4 LTS	2	台	用于接流与转发。 按2路并发直播， 每路输出1种规格估算。
实时转码服务器	虚拟机	视频编码服务器： 处理器：16核，2.5GHz Intel Xeon E5-2682 v4 内存：64G GPU：Nvidia Tesla P4 硬盘：600G 网卡：千兆网卡 操作系统：Ubuntu Server 16.04.4 LTS	2	台	实时编码与切片，按2路并发直播， 每路输出1种规格计算。
CDN源站服务器	虚拟机	CDN源站服务器： 处理器：8核，2.5GHz Intel Xeon E5-2682 v4 内存：32GB 硬盘：4TB 网卡：千兆网卡 操作系统：Ubuntu Server 16.04.4 LTS	2	台	直播编排信息、应用场景素材源站

由于平台生产后的内容最终还是要通过 CDN 来进行分发，需要根据片源数量和用户并发情况对 CDN 的容量和布放位置进行评估。业务起步阶段，无论是片源数量还是用户规模，相对于现网传统视频平台百万级的用户体量，新增占比一般比较低，可考虑直接复用运营商空闲 CDN 资源。但随着业务的发展、VR 用户规模的增大，未来项目中还是建议在评估 CDN 并发需求后再进行业务发放。



3 Cloud VR 平台与终端

3.4.2 游戏类服务器资源和位置规划

以国内主流云游戏平台视博云为例,它采用了分布式系统架构,主要包含中心管理系统、分前端管理系统和应用服务器三部分。要满足 1000 用户的应用规模,所需服务器资源信息大致如下表所示:

云游戏平台服务器资源

项目名称	型号	规格及描述	数量	单位	备注
中心管理服务器	虚拟机	管理服务器: CPU: 4核, 2.1GHz 内存: 8GB 硬盘: 500GB 网卡: 千兆网卡 操作系统: Windows Server 2008 Standard SP1 R2 64bit	1	台	数据存储和平台监管
分前端管理服务器	虚拟机	管理服务器: CPU: 8核, 2.1GHz 内存: 16GB 硬盘: 1TB 网卡: 千兆网卡 操作系统: Linux, CentOS7.4 x86 64bit	1	台	用户接入会话管理与应用服务器的资源调配
VR应用服务器	物理机	VR应用服务器: CPU: 22核, 2.60GHz 内存: 60G 硬盘: 600G 显卡: M60显卡*2 网卡: 万兆网卡 虚拟系统: FusionSphere 6.1 操作系统: Windows 7 X64 SP1 专业版	4	台	实际的应用执行,实际会部署多个虚拟系统,分享物理机的显卡资源。

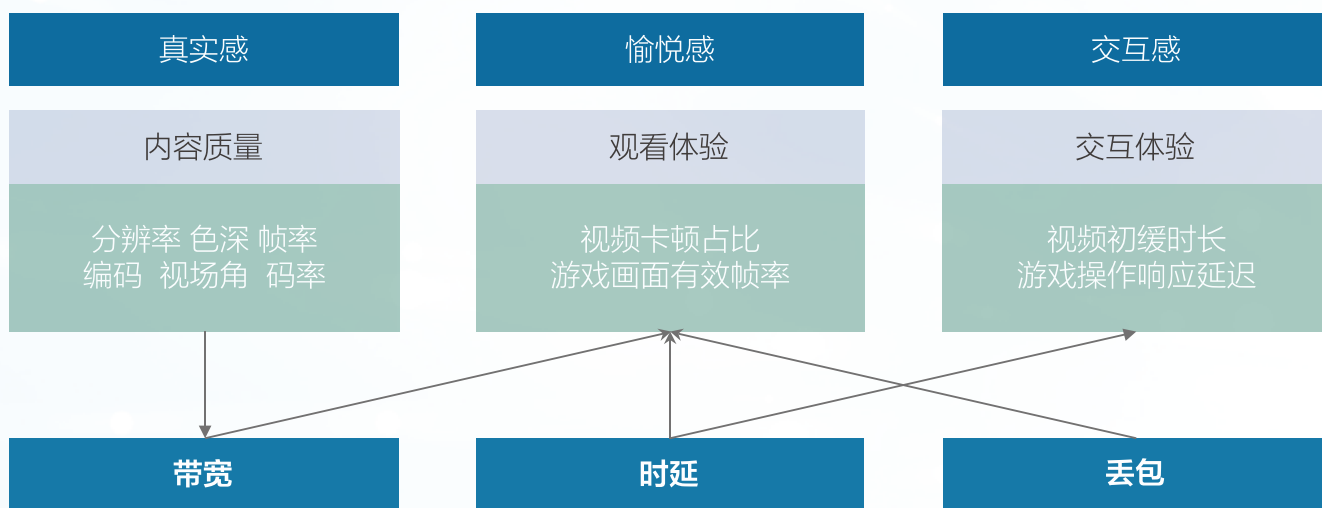
- 中心管理系统:** 负责数据存储和平台监管,不直接与终端用户进行交互,可部署在较高的网络位置,比如:省中心机房。
- 分前端管理系统:** 负责用户接入会话的管理和应用服务器资源的调配,一般要求和应用服务器部署在一起。为减少云游戏流量对骨干网络的冲击,同时考虑云游戏业务对时延指标相对敏感,实际部署时建议将分前端管理系统和应用服务器一并就近用户集中部署在地市机房。
- VR 应用服务器:** 负责具体游戏程序的运行、渲染计算以及流化视频的推送工作。主要消耗显卡资源,以 NVIDIA M60 显卡为例:单块显卡现阶段仅能同时支持 8 个用户的并行渲染计算,按照 5% 的并发率,如果要满足 1000 用户的应用规模,至少需要 7 块显卡,按一台服务器能配置 2 张显卡计算,至少需要 4 台服务器。

4

Cloud VR 网络规划与部署

4.1 Cloud VR 网络指标要求

充分保障 VR 视频类业务的观看体验以及 VR 游戏类业务的交互体验,是 Cloud VR 业务网络规划与部署的核心目标,需要重点关注网络通量和传输时延两个维度。



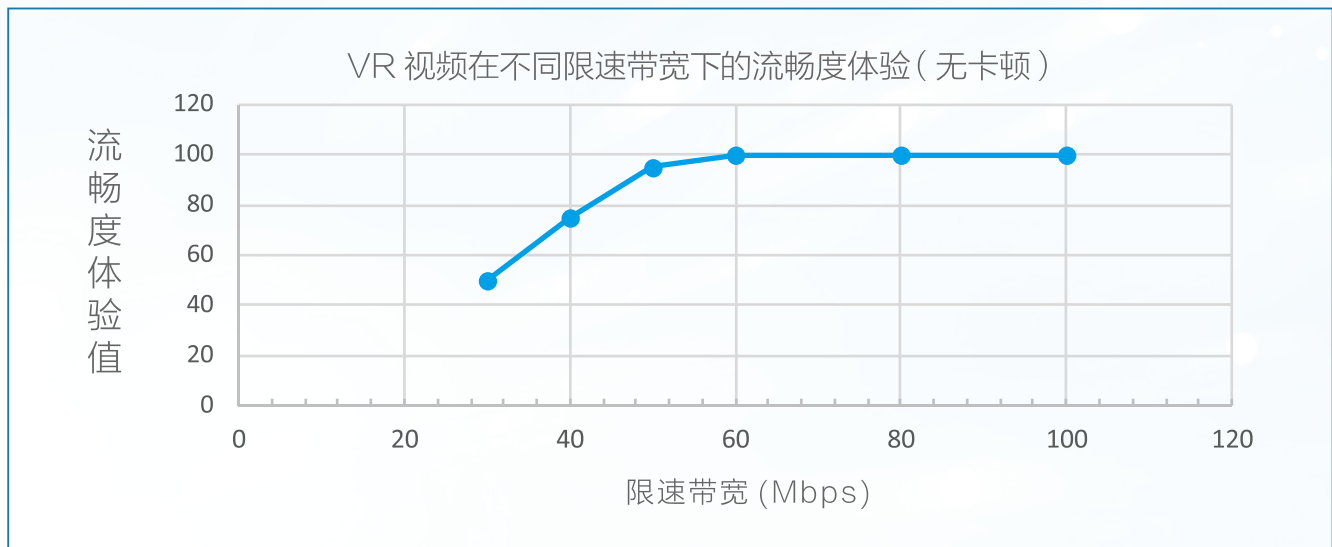
总的来说, Cloud VR 业务对网络提出了更大带宽、超低时延和丢包的诉求。此外,由于 Cloud VR 弱交互类与强交互类业务在实现原理、部署位置和传输路径上都存在差异,建议分开规划。

4.1.1 VR 视频类网络指标要求

Cloud VR 视频属于弱交互业务,起步阶段主要采用全视角传输方案,在与传统 4K OTT 视频业务共享 CDN 资源的同时,使用了相同的流媒体传输协议(HLS/TCP);区别在于 4K VR 视频要求更高的码率,需要更大的网络通量。

实验室对现网片源进行测试后发现:对于平均码率为 40Mbps 的 4K VR 片源来说,网络侧按 60Mbps 进行带宽限速就可以大概率保证视频的流畅播放不卡顿。

4 Cloud VR 网络规划与部署



在确定带宽需求后, 时延和丢包要求可以由 TCP 公式进行推导。一般先确定网络时延, 再推导丢包要求, 具体如下表所示。

$$\text{TCP Throuput} \leq \min\left(\text{BW}, \frac{\text{WindowSize}}{\text{RTT}}, \frac{\text{MSS}}{\text{RTT}} \times \frac{1}{\sqrt{p}}\right)$$

	指标项	建议值
弱交互 VR 业务(视频类)	码率	40Mbps
	带宽	60Mbps
	环回时延	20ms
	丢包率	9E-5

说明: 表中 20ms 环回时延参考 4K Ready 建网要求, 可根据现网实际情况适当放宽。

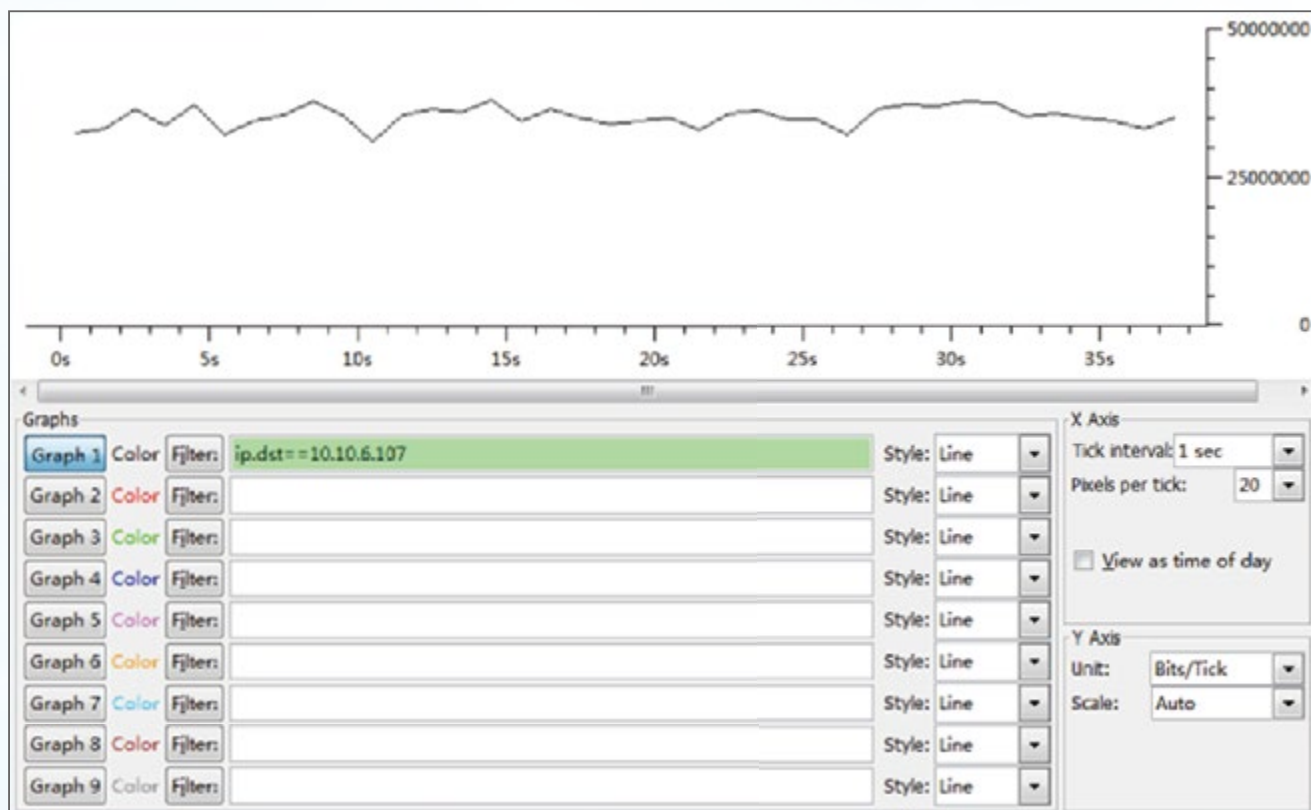
4

Cloud VR 网络规划与部署

4.1.2 VR 游戏类网络指标要求

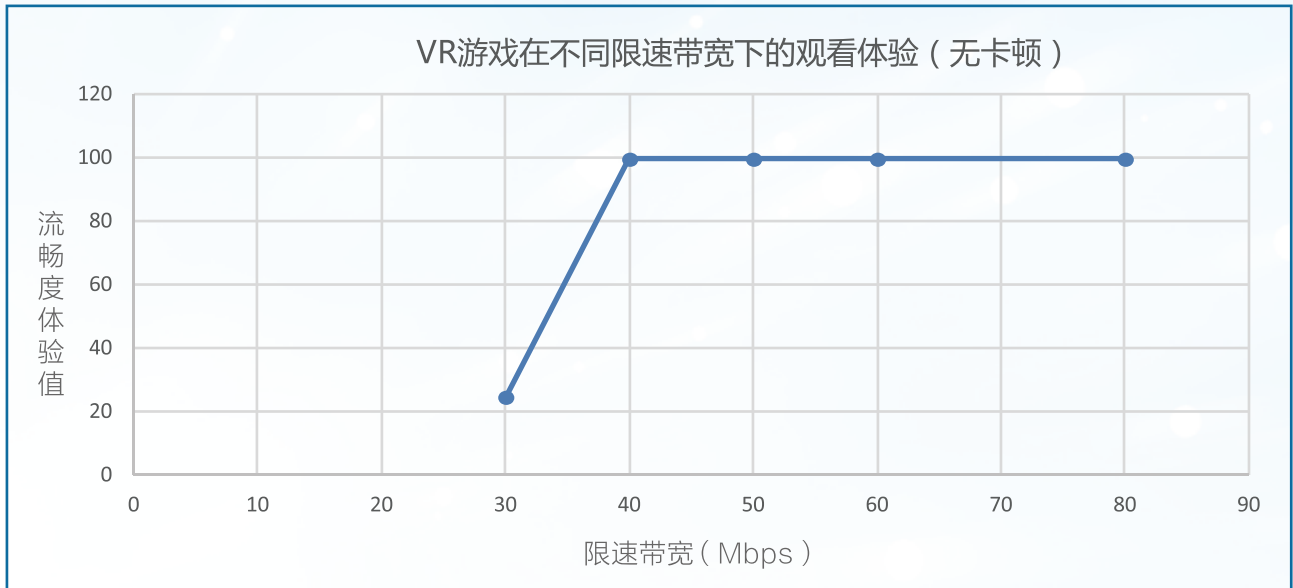
强交互类业务场景中，传输网络作为连接云渲染平台和 VR 终端的管道，承担着向上传递操作指令和位置变化信息，向下推送流化视频数据的工作，面临着带宽、时延和丢包的多重挑战。

带宽：Cloud VR 视频类业务的实时码率和视频内容的复杂度强相关，而 Cloud VR 游戏类业务的实时码率则完全由云渲染平台控制和决定。按照理论设想，游戏帧数据的推送过程中也应该存在突发行为，目的是在终端操作或姿态变化时实现画面的快速推送和刷新。但主流云游戏平台尚未实现该功能，推送的视频流量相对平稳，如下图所示：



实验室测试过程中还发现：针对视博云游戏平台，网络侧带宽按约等于 1 倍码率进行规划就可以满足游戏画面流畅播放不卡顿。测试结果如下图所示，平台侧先将 VR 游戏码率设置为 40Mbps，网络侧再通过手工调整限速带宽值，寻找游戏流畅体验不卡顿的临界点，结果大致就在 40Mbps 左右。

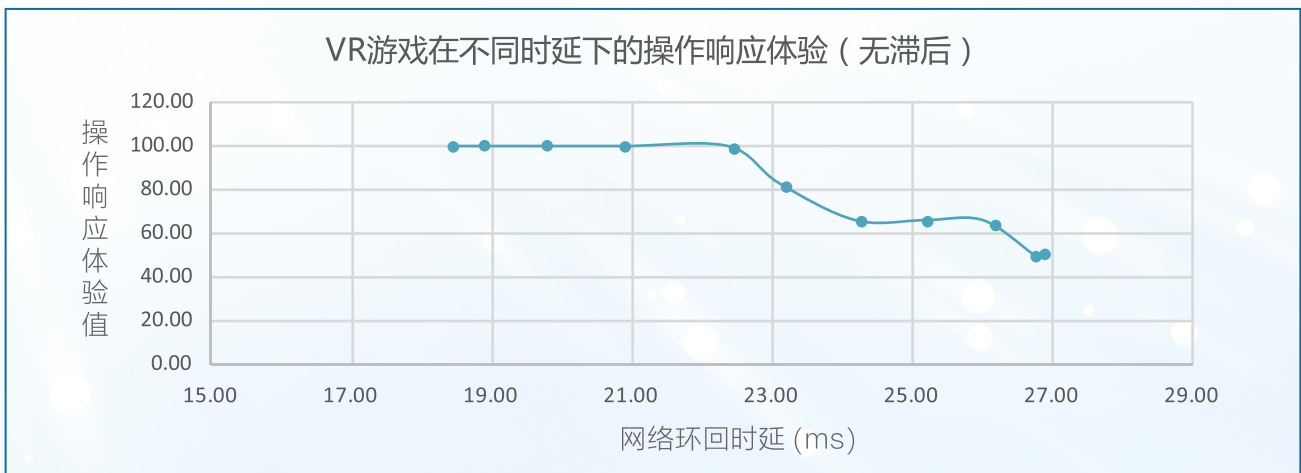
4 Cloud VR 网络规划与部署



未来，随着云游戏平台功能的增强，帧数据的快速推送功能也会被开发合入，后继进行游戏类业务带宽规划时，需要特别关注。根据理论计算推导，在入门起步阶段需要的网络带宽需求是码率的 2 倍左右，具体可参考《Cloud VR 网络解决方案白皮书》。

时延：网络传输时延可分解为确定性时延和不确定性时延两部分。其中，确定性时延一般由云服务器的部署位置决定，而不确定性时延则主要由网络拥塞和空口干扰产生。当传输时延过大时就会导致操作响应延迟过大，产生滞后感。

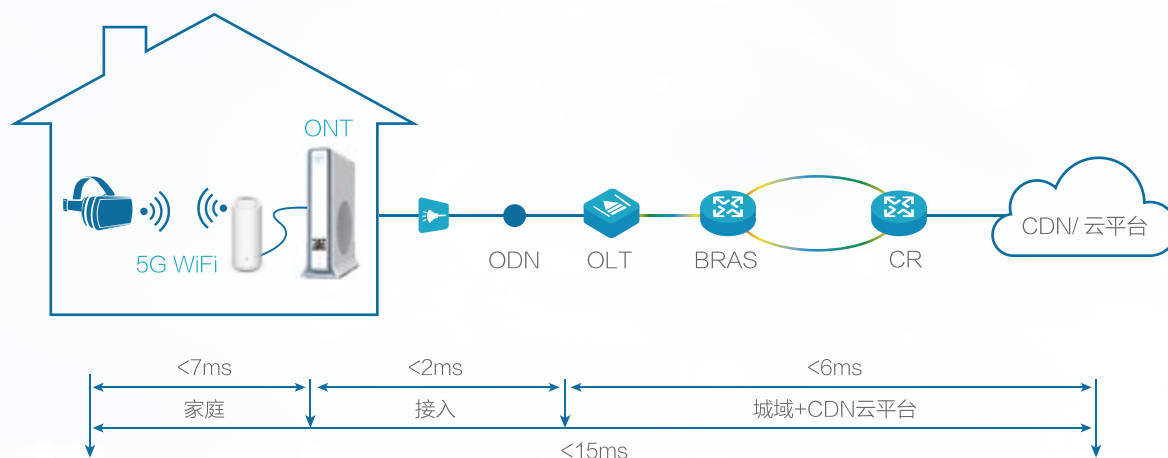
实验室测试结果显示：基于视博云游戏平台，将网络环回时延(含空口)控制在 20ms 以内时，就能大概率保证主流 VR 游戏不出现操作响应滞后的情况。



4

4 Cloud VR 网络规划与部署

此外，有别于带宽问题可以通过后期网络扩容来解决，时延的优化不仅涉及网络架构和云服务器摆放位置的调整，还会影响终端 Wi-Fi 设备的选型，操作整改起来困难，需要提前进行设计和规划。如下图所示，我们一般建议运营商提前 1~2 年按照舒适体验阶段 Cloud VR 业务对网络时延的要求进行网络建设和调整，具体可参考《Cloud VR 网络解决方案白皮书》中的具体描述和推导。



丢包: 正常情况下，云游戏平台会按照固定帧率周期性地向下推送帧数据，传输过程中的网络丢包可能会导致帧内容的丢失，从而影响终端的正常解码，引发画面卡顿等异常情况。根据实验室测试结果，基于视博云游戏平台，当网络环回时延控制在 15~20ms 以内时，只要丢包率小于 $1\text{E}-5$ ，就能基本保证画面的流畅播放不卡顿。

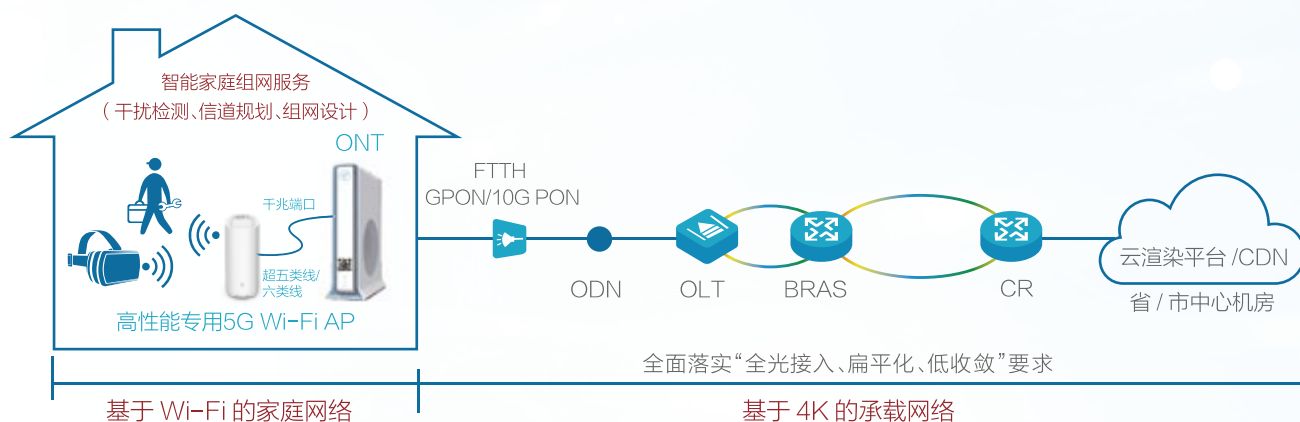


4 Cloud VR 网络规划与部署

4.2 Cloud VR 目标网络架构

相较于传统 4K 视频业务，Cloud VR 业务终端在家庭侧有着独特的接入需求：VR 一体机必须使用 Wi-Fi 接入，目的是确保用户操作的灵活性，彻底摆脱线缆的束缚。

虽然在终端接入方式上存在差异，但两者在业务特征上有着更多的相似性。起步阶段 Cloud VR 业务是可以复用现有 4K 视频承载网络来实现快速部署的，后续再针对性的进行局部优化即可，以达到节约网络建设成本，保护前期投资的目的。



综上所述，我们认为“基于 Wi-Fi 的家庭网络 + 基于 4K 的承载网络”就是现阶段 Cloud VR 业务所需要的目标网络架构：

- **基于 Wi-Fi 的家庭网络：**以 VR over Wi-Fi 为切入点，通过高性能专用 Wi-Fi AP、千兆 ONT、千兆网线以及相应的智能组网服务，满足 Cloud VR 业务高速率、低时延的接入需求。
- **基于 4K 的承载网络：**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

4

Cloud VR 网络规划与部署

该架构设计具有如下优点：

- **最大程度复用现网资源：**复用 IP 网络、光网络、FTTH 接入网等，按需进行容量升级就可以承载 Cloud VR 业务。
- **尽可能降低部署难度：**通过复用上网通道进行 Cloud VR 承载，可以避免重新布放一套 VLAN、IP 地址、认证账号。
- **创造家庭新产品 / 服务销售机会：**基于 Cloud VR 高体验保障诉求，为运营商创造面向消费者销售新家庭网关以及智能组网服务的机会。

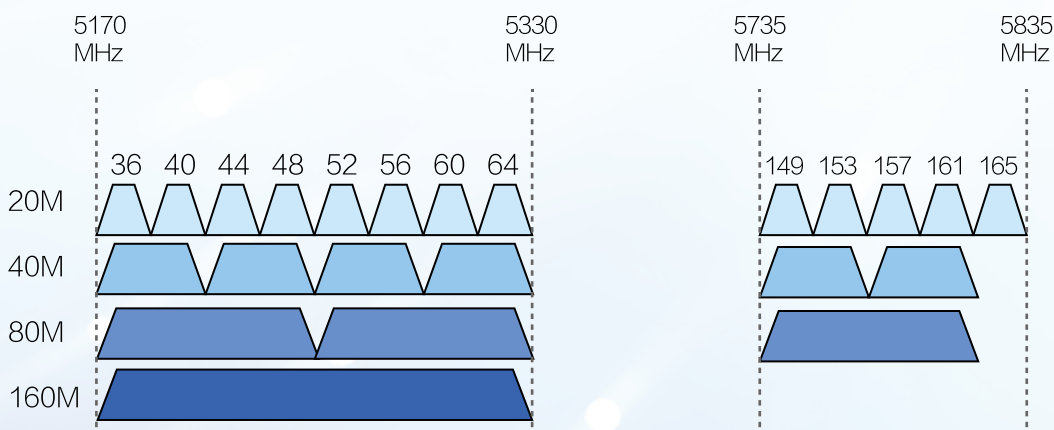
4.3 基于 Wi-Fi 的家庭网络方案

4.3.1 家庭网络关键挑战

基于现网调研和实验室测试，我们发现 Cloud VR 业务在家庭网络侧面临着诸多问题和挑战：

1. Cloud VR 业务可通过 5G Wi-Fi 来承载，但需要合理规划独立工作信道：

2. 4G Hz 频段信道少且相互重叠，按 20MHz 频宽计算也只有三个独立信道，总频宽不足 80MHz，难以承载 Cloud VR 业务。对比之下，5GHz 频段能够提供更大的频宽和更多的信道，规划空间更灵活，非常适合用来承载 Cloud VR 业务。如下图所示，5G Wi-Fi 有 20MHz/40MHz/80MHz/160MHz 四种频宽可选。经过测试验证发现：当选择 80MHz 频宽时，即使在一定干扰条件下也能满足 100Mbps 以上的传输速率，是现阶段 Cloud VR 业务较为合适的频宽选择。中国大陆地区在选择 80MHz 频宽时，仅有三个可用频段。因此如何在家庭环境中基于有限的频段完成合理的规划就显得非常重要了。

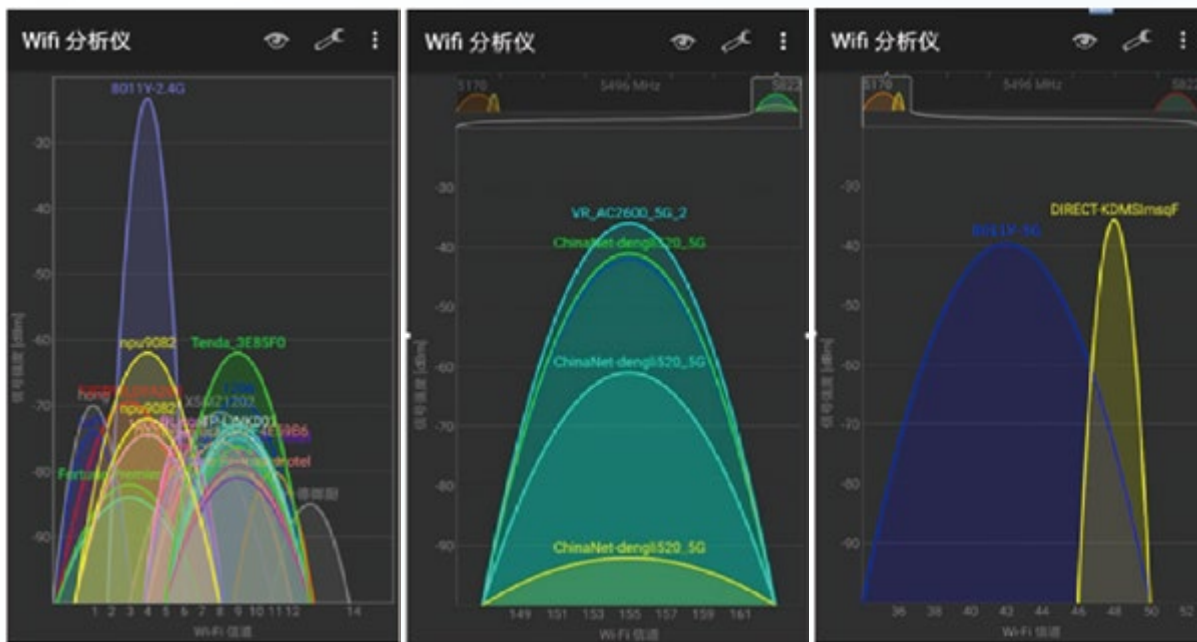


4 Cloud VR 网络规划与部署

部分局点的现场工勘结果也证实了上述分析,下图为某个典型家庭的 Wi-Fi 信号分布情况,它有如下几个特点:

- 2.4GHz 频段已经被过度使用,干扰非常严重,如左侧图片所示。
- 5GHz 高频频段干扰也较为严重,主要是因为 5G Wi-Fi 路由器已经开始在家庭中推广和普及,且大部分都默认工作在高频频段。具体情况可参考居中图片。
- 5GHz 低频频段当前使用较少,可以用来承载 Cloud VR 业务,但需要规划。

说明: 其中 52-64 信道之间的频段会与雷达共用,需要设备支持检测雷达的功能 (Auto DFS/TPC)。



总的来说,现阶段我们可以选用 5GHz 低频频段承载 Cloud VR 业务,但为了避免与现存的 5G 信号产生冲突,需要运营商提供上门检测和信道规划服务。

2. 市面上 5G Wi-Fi 设备性能参差不齐,运营商需要严格筛选高性能设备:

目前市面上支持 5G Wi-Fi 的设备有很多,但价格和性能却参差不齐,iLab 实验室选择了几款较为常见的 5G Wi-Fi 产品进行业务评测:

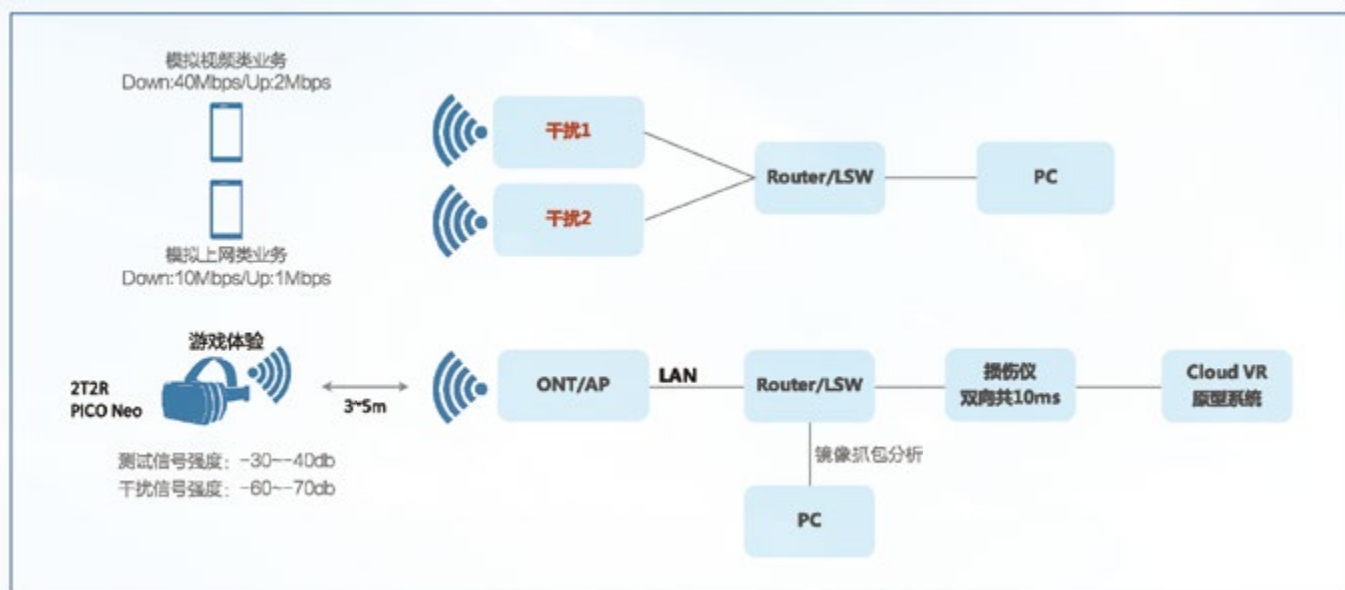
1) 测试过程中干扰场景的设置主要包括以下变量:流量大小、信号强度、工作信道、干扰源数量等。

说明: 为保证测试公正性,要求测试环境中除设定的干扰源外,不允许有其他未知干扰源的存在,并确保测试过程中的 Wi-Fi 参数设置不变。

4

Cloud VR 网络规划与部署

2) 测试对象为 Cloud VR 游戏业务, 测试主要关注不同干扰场景下的用户体验和空口时延变化情况。其中, 空口时延可通过镜像抓包分析业务报文 RTT 的方式获取, 建议控制在 7ms 以下。



测试结果如下表所示:

产品型号	无干扰	邻频干扰 (模拟视频) + 邻频干扰 (模拟上网)	同频干扰 (模拟视频) + 邻频干扰 (模拟上网)	同频干扰 (模拟视频) + 同频干扰 (模拟上网)
型号1	PASS	FAIL	FAIL	FAIL
型号2	PASS	PASS	FAIL	FAIL
型号3	PASS	PASS	FAIL	FAIL
型号4	PASS	PASS	PASS	FAIL
型号5	PASS	PASS	PASS	PASS

说明:

两路干扰被设计用来模拟周边邻居的 Wi-Fi 信号, 一路承载视频业务流量, 另一路承载上网业务流量。通过工作信道的规划和调节还可以分别构造出邻频和同频干扰场景。

从测试结果来看, 不同产品对干扰环境的适应程度有较大差异。由于中国大陆地区 5GHz 频宽仅有三个独立 80Mhz 频段可用, 邻频干扰不可避免; 未来在 5G Wi-Fi 大规模部署后, 同频干扰也必将无法避免。所以, 运营商有必要对 Wi-Fi 设备进行严格筛选, 以保证其在未来 1~2 年内可以预见的典型干扰场景下, 都能达到 Pass 的结果, 确保 Cloud VR 业务的流畅体验。

4 Cloud VR 网络规划与部署

3. 难以利用现网 ONT 使其提供稳定 Wi-Fi 信号,需要增加独立的 AP 来承载 Cloud VR 业务。

除 Wi-Fi 环境外,家庭组网方式也是需要重点关注的对象,特别是 ONT 摆放位置和网线资源。现网主要有两类场景:

- ❏ ONT 放置在弱电箱,且仅有一根网线到达 VR 体验区域,此类场景在新建楼宇中比较常见。考虑弱电箱位置一般距离体验区域较远,加上 Wi-Fi 信号的穿透问题,导致无法通过升级 ONT Wi-Fi 的方式来解决。此时,可通过外挂高性能 Wi-Fi AP,在不改变原用户组网和业务接入方式的前提下满足 Cloud VR 业务的 Wi-Fi 接入需求。
- ❏ ONT 放置在桌面,此类场景理论上可以通过升级 ONT Wi-Fi 的方式来解决。但考虑到 ONT 的替换流程较为复杂,还是推荐使用外挂高性能 Wi-Fi AP 设备。

· 4.3.2 家庭网络解决方案

为应对上述挑战,需要运营商提供包括高性能产品和服务在内的一系列解决方案:



1、增加独立的高性能 5G Wi-Fi AP 来承载 Cloud VR 业务,可面向舒适体验阶段平滑演进

增加独立的高性能 5G Wi-Fi AP 可以适应各种部署场景,利用现网的 ONT/HGW 设备,避免 Cloud VR 业务与现网已有业务相互影响。

考虑到 AP 的部署使用周期较长,一旦部署下去,要尽量避免反复升级,因此在设备选型时不仅仅需要满足当前的 Cloud VR 业务诉求,还要考虑面向未来舒适级体验的 Cloud VR 可平滑演进。因此,AP 的功能特性要求建议如下:



4

Cloud VR 网络规划与部署

- 在 2-4 路典型干扰情况下,可提供 10ms 以内的稳定的空口传输时延和 80Mbps 以上的稳定空口传输速率,未来可升级到 7ms 稳定时延和 260Mbps 的空口传输速率。
- 支持雷达频段设置,确保有充足的、可供规划的 5GHz 频段资源。
- 支持 4x4 MIMO 技术,当前终端以 2*2 MIMO 为主,但预计未来会升级到 4*4 MIMO,AP 应提前支持 4*4 MIMO 实现后续的平滑升级。
- 具备充足的千兆端口,可以支持灵活的组网方式,减少线路改造需求。

2、升级使用千兆 ONT 和千兆网线

在开通 Cloud VR 业务之前,现网主要提供上网(100M 带宽)和 IPTV(50M 带宽)业务,两者使用不同的 ONT 端口,千兆 LAN 口接入和五类线是可以满足需求的。

在开通 Cloud VR 业务之后,Cloud VR 业务本身需要近 100M 带宽,加上投屏业务后需要 200M 左右,无论是通过上网平面还是 IPTV 平面来承载,千兆 LAN 口接入和五类线都无法满足需求,需要升级为千兆 LAN 口接入和超五类线/六类线。

通过调查发现,国内现网大部分 ONT 都支持千兆 LAN 口接入,不需要进行大规模替换,但存在较多的超五类线/六类线更换需求。

3、提供智能家庭组网服务

由于不同家庭的户型、干扰环境以及业务开通情况均存在差异,需要运营商提供专业的组网服务,具体内容包括:

- 干扰检测与信道规划,为 Cloud VR 业务提供干净独立的 Wi-Fi 工作频段。
- 选择合适的组网方式,完成专用 AP 的安装和布放,过程中还需考虑和已开通 HSI 上网业务、IPTV 业务的共存问题。



4 Cloud VR 网络规划与部署

为避免业务冲突,在综合考虑各业务终端的摆放位置、网络接入需求等相关因素之后,我们针对家庭综合组网做如下建议:

- Cloud VR 业务:** VR 终端对家庭 Wi-Fi 环境和网络通量的要求极高,需要搭配运营商指定的高性能 AP 一起使用。在布放过程中,为了不改变其他业务的接入方式、减少新增布线需求,可考虑将该 AP 挂接在原家用路由器下,若该路由器不支持千兆接入,也可选择将其串接在原路由器和 ONT 之间。



- HSI 上网业务:** HSI 上网业务: 大部分为移动终端,可通过 2.4GHz 频段保证信号覆盖,重点区域再使用 5GHz 频段保证带宽,但必须与 Cloud VR 业务专用频段错开。
- IPTV 业务:** 电视机的安放位置一般比较固定,对网络要求又相对较高,要求通过有线方式连接。当网络侧部署有专有视频承载平面时,建议通过专有平面接入,不但可以更好地保障视频业务体验,也能减少对上网带宽的占用。

4.4 基于 4K 的承载网扩容升级

4.4.1 接入网络扩容升级

接入网在承载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。从支撑市场大规模放号的角度来看,运营商最好直接升级到 10G PON。基于 10G PON 端口,按 1:64 分光比,即使在全并发场景下,单用户也可以获得 156Mbps 带宽,完全能满足现阶段 Cloud VR 业务的开通需求。然而目前 10G PON 尚未大规模部署,升级过程也较漫长,运营商往往期望在现有的 GPON 网络上进行少量 VR 用户放号,后续再根据业务发展情况逐步迁移到 10G PON。过程中为了避免出现带宽过载,需先对 GPON 可开通过户数进行评估,公式如下:

$$\text{可开通VR用户数} = \frac{\text{GPON端口带宽} \times \text{扩容门限} - \text{宽带用户平均速率} \times \text{分光比} \times \text{实装率}}{\text{VR用户平均速率}}$$

4

Cloud VR 网络规划与部署

其中，宽带用户平均速率主要根据运营商 IPTV 业务和 HSI 业务的发展情况和用户并发使用情况进行评估，具体计算结构可见下表。

	分类	2018	2019	2020
用户预测	视频用户渗透率	100%	100%	100%
视频点播	标清点播占比	30%	20%	0%
	高清点播占比	40%	30%	40%
	OTT4K点播占比	30%	50%	60%
	点播用户平均码率	10.1	13.0	15.2
	点播并发率	100%	100%	100%
	视频用户平均点播速率（以视频用户为基数）	10.1	13.0	15.2
	宽带用户平均视频点播速率（以家宽用户为基数）	10.1	13.0	15.2
上网业务	上网用户在线率	100%	100%	100%
	在线上网用户平均速率	4.8	7.0	11.0
	宽带用户平均上网速率	4.8	7.0	11.0
合计	宽带用户平均速率（Mbps）	14.9	20.0	26.2

而 VR 用户平均速率则主要与 VR 内容码率、内容占比和并发情况有关，具体预测和评估情况可见下表。

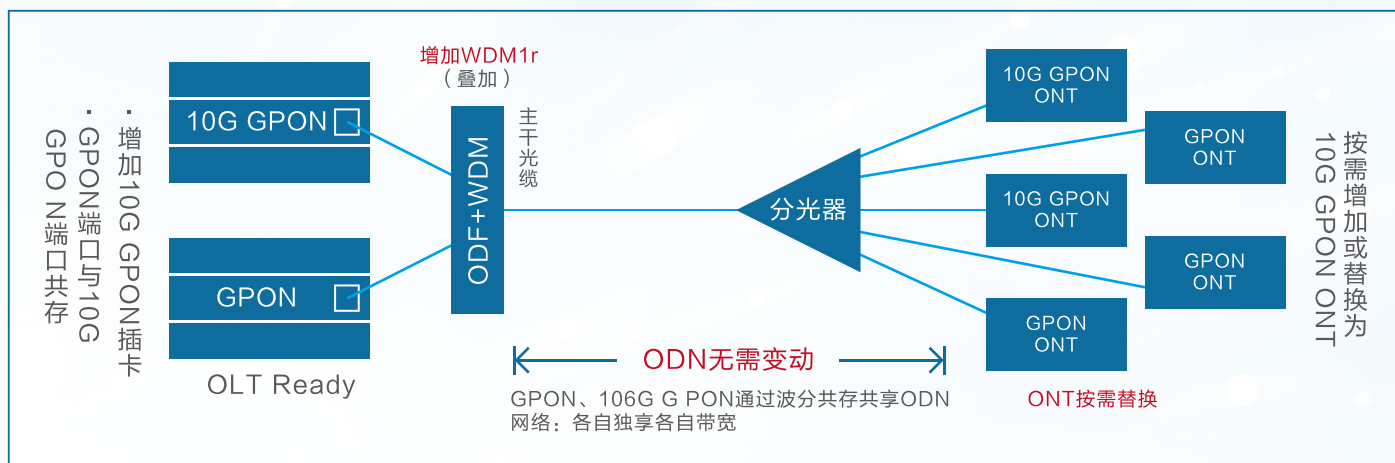
	分类	2018	2019	2020
VR	视频4K VR（弱交互40M）占比	50%	45%	40%
	视频8K VR（弱交互90M）占比	0%	5%	10%
	游戏4K VR（强交互40M）占比	50%	45%	40%
	游戏8K VR（强交互90M）占比	0%	5%	10%
	VR用户平均码率	40.0	45.0	50.0
	VR用户并发率	80%	80%	80%
	VR用户平均速率(Mbps)	32.0	36.0	40.0

最后，再根据运营商建网规范，例如：GPON 扩容门限 45%，分光比 1:64，宽带业务实装率 60%，计算得到近三年 GPON 端口可开通的 VR 用户数量如下表所示：

年度	GPON 端口带宽 (Mbps)	扩容门限	宽带用户平均速率 (Mbps)	分光比	实装率	VR用户平均速率 (Mbps)	可开通VR用户数(个)
2018	2300	45%	14.9	64	60%	32	14
2019	2300	45%	20	64	60%	36	7
2020	2300	45%	26.2	64	60%	40	0

4 Cloud VR 网络规划与部署

从上表数据中可以发现：GPON 端口对 Cloud VR 用户的大规模放号有较大限制，需要控制数量。而部分渗透较快的小区则需要立刻升级到 10G GPON 来应对 Cloud VR 业务的发展。



以 GPON 为例,在向 10G GPON 升级演进时主要有以下两种方案：

- 方案一：通过外置合波器将 10G GPON 口和 GPON 口的波长合波后通过同一主干光纤传输，原 GPON 的 ONT 可以继续使用，按需增加或替换为 10G GPON 的 ONT 即可。由于部署合波器会引入额外衰耗，对于新部署的 GPON 建议预留 2-3dBm 的光预算，现网已经部署的 PON 口，如果光预算不足，建议通过升级光模块解决。
- 方案二：Combo 板方案(推荐)，即板内集成 10G GPON 和 GPON 能力，光模块内置合波器，之前将现网的 PON 口割接到 Combo 单播的 PON 口承载，原 GPON 的 ONT 可以继续使用，按需替换 10G GPON ONT。



4

Cloud VR 网络规划与部署

4.4.2 城域网络扩容升级

起步阶段,Cloud VR 业务可以通过复用运营商 4K 视频承载网络实现快速开通和部署,关键是要全面落实“全光接入、扁平化、低收敛”的视频建网要求。



在多地调研和试商用落地过程中我们发现,运营商网络普遍存在以下问题:

- 部分 OLT 仍采用交换机汇聚式组网,收敛比高,归属关系复杂。
- 部分 BRAS 和 OLT 之间仍通过 GE 捆绑链路连接,无法匹配流量增长需求。
- 部分 CR 和 BRAS 之间仍通过 10GE 捆绑链路连接,无法匹配流量增长需求。

考虑网络改造过程中必然会涉及大量的光纤建设和设备扩容需求,需要运营商提前进行设计和规划:

一方面,运营商可以将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,来支撑网络扁平化实施。

另一方面,运营商需要提前明确 Cloud VR 业务上线后的总体带宽需求,以便按需进行扩容,具体可参考 4K Ready 网络带宽规划方法进行评估,但需要在计算方法中增加“VR 用户渗透率”和“VR 用户平均速率”的概念。

如下表所示:先假设起步阶段 VR 用户渗透率在 5% 左右,之后每年增加约 5%;同时还要根据 VR 内容码率、占比以及并发情况等计算 VR 用户平均速率。



4

Cloud VR 网络规划与部署

		2018	2019	2020
用户预测	VR用户渗透率	5%	10%	15%
	视频用户渗透率	70%	75%	80%
视频点播	标清点播占比	30%	20%	10%
	高清点播占比	50%	50%	40%
	OTT4K点播占比	20%	30%	50%
	点播用户平均码率	8.9	10.6	13.5
	点播并发率	20%	30%	40%
	视频用户平均点播速率（以视频用户为基数）	1.8	3.2	5.4
	宽带用户平均视频点播速率（以家宽用户为基数）	1.2	2.4	4.3
VR平均速率评估	视频4K VR（弱交互40M）占比	50%	45%	40%
	视频8K VR（弱交互90M）占比	0%	5%	10%
	游戏4K VR（强交互40M）占比	50%	45%	40%
	游戏8K VR（强交互90M）占比	0%	5%	10%
	VR用户平均码率	40.0	45.0	50.0
	VR用户并发率	10%	15%	20%
	VR用户平均速率（以VR用户为基数）	4.0	6.8	10.0
	家宽用户平均VR速率（以家宽用户为基数）	0.2	0.7	1.5
上网业务	上网用户在线率	65%	70%	70%
	在线上网用户平均速率	4.8	7.0	10.0
	宽带用户平均上网速率	3.1	4.9	7.0
合计	宽带用户平均速率（Mbps）	4.6	8.0	12.8

最后,再根据运营商建网规范要求,结合宽带用户平均速率,大致计算得到未来近三年 BRAS 和 CR 的下行端口带宽需求如下表所示:

OLT用户数(个)	2018年(Gbps)	2019年(Gbps)	2020年(Gbps)
1500	11.4	19.9	32
BRAS用户数(个)	2018年(Gbps)	2019年(Gbps)	2020年(Gbps)
30000	70.2	122.5	197.2

上表中假设运营商要求 BRAS 下行链路按照 60% 进行扩容,同时将 OLT 挂接宽带用户数控制在 1500 个以内,计算后发现: 2018 年内随着 VR 业务的发展,多 GE 捆绑方式已无法满足 BRAS 和 OLT 之间的带宽需求,需要扩容到 2*10GE 及以上;又假设运营商要求 CR 下行链路按照 65% 进行扩容,并将 BRAS 挂接宽带用户数控制在 30000 个以内,再综合考虑收敛比因素,计算后发现: 到 2019 年,多 10GE 捆绑方式将无法同时满足 CR 和 BRAS 之间的带宽需求,需要逐步扩容到 100GE 及以上。

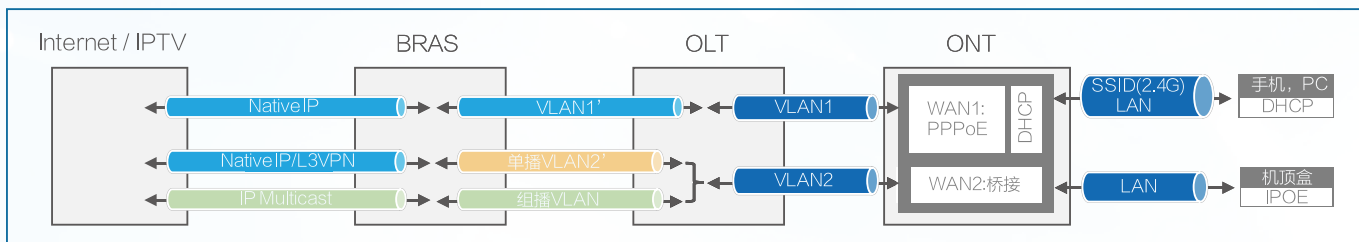
4

Cloud VR 网络规划与部署

4.5 Cloud VR 承载方案

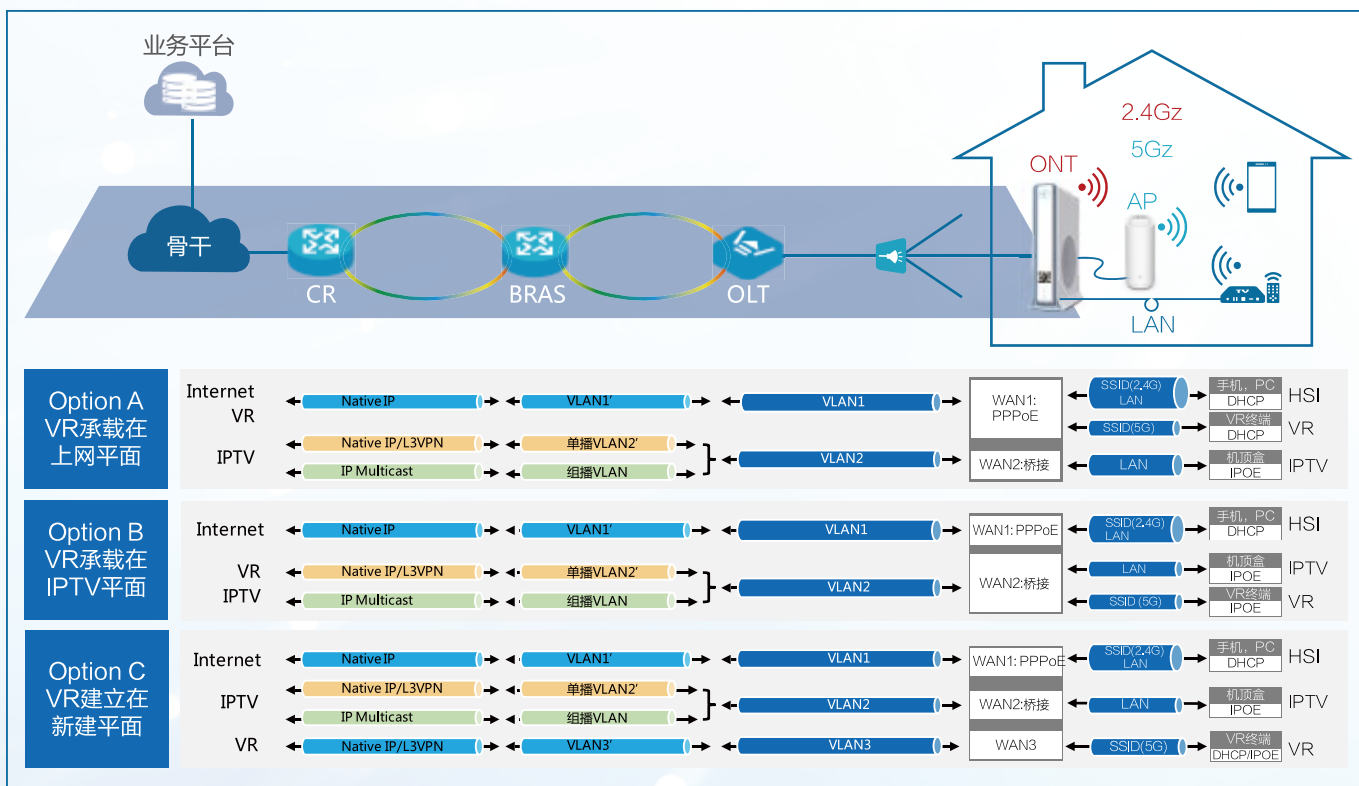
4.5.1 基础承载方案

Cloud VR 被视为运营商自营视频业务的未来发展和演进方向。在设计 Cloud VR 业务网络承载方案之前，有必要先了解运营商存量视频业务的网络承载现状。



根据调研发现，国内大多数视频网络承载方案如上图所示：

- **接入侧：**上网业务通道与 IPTV 业务通道一般使用独立 VLAN 平面承载。
- **城域侧：**基于 Native IP 或 L3VPN 混合承载。



4 Cloud VR 网络规划与部署

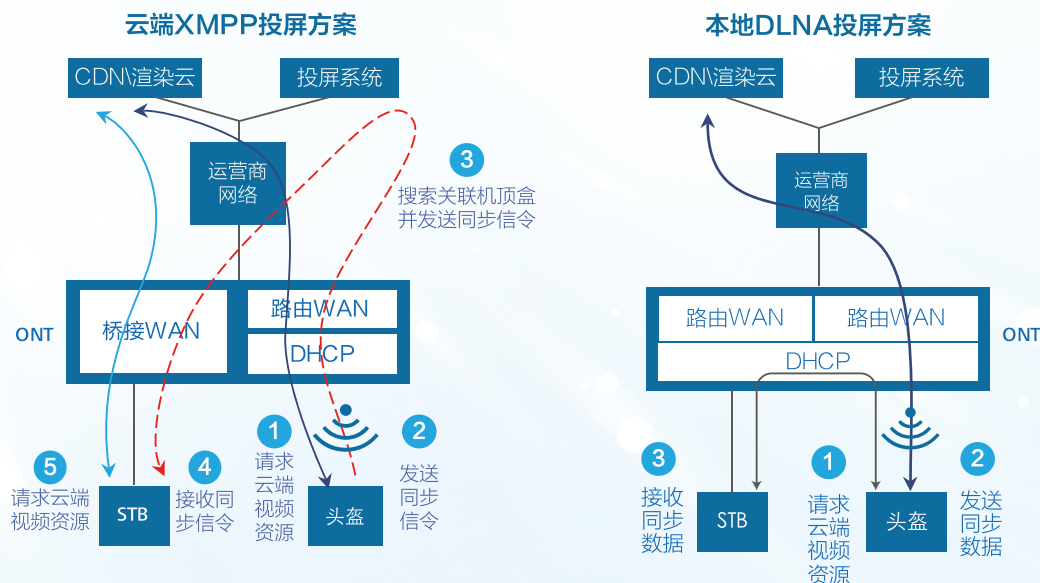
随着 VR 业务的加入,通常有三种网络承载方式可供运营商进行选择:

- Option A 方案: 复用 HSI 上网通道承载**
 优势: 终端 DHCP 方式接入门槛低; 终端可访问公网资源; 网络调整需求最小。
 劣势: CDN 资源需要部署在公网才能被利用。
- Option B 方案: 复用 IPTV 视频通道承载**
 优势: 天然可复用视频 CDN 资源。
 劣势: 终端需要定制类似 I PoE 的拨号接入功能, 并分配账号; 当 IPTV 通过私网承载时, 终端无法直接访问公网资源。
- Option C 方案: 新建 VR 独立通道承载**
 优势: 业务隔离效果好, 适合发展较为成熟的业务。
 劣势: 网络改动大, 周期长, 终端拨号接入方式取决于具体认证方案的选择。

在综合对比上述方案的优劣势后, 现阶段我们推荐采用复用上网通道的 Cloud VR 网络承载方案, 该方案端到端改动需求最小, 业务开通速度最快, 也能满足起步阶段 Cloud VR 业务的各种诉求。

4.5.2 投屏承载方案

通过终端 - 云端 - 机顶盒之间同屏模块的协作互通, 实现了 VR 内容在家庭电视上的同屏显示, 可以随时与他人共享体验者在 VR 世界中的视野。当前有两种投屏方案, 如下图所示:



4

Cloud VR 网络规划与部署



· 云端投屏方案 (XMPP):

优势: 机顶盒与头盔只需和云端系统互通即可,不需要直接互通。

劣势: 需要云端系统配合完成同步; 机顶盒和头盔各自一份视频流量,网络负载较重。



· 本地投屏方案 (DLNA):

优势: 终端侧 DLNA 技术方案成熟,实现起来简单

劣势: Wi-Fi AP 与终端需要处理转发两份流量,实测体验效果不理想,终端功耗较大; 要求机顶盒和头盔之间在本地直接互通。

由于现网 IPTV 业务与上网业务一般通过独立平面承载,在 ONT 上转发隔离,无法在本地实现交互,所以在大多数场景下,云端投屏方案可能就成了运营商的唯一选择。

4.6 QoS 规划部署

· 4.6.1 优先级分配

多业务承载网络中,不同业务对网络有着不同的传输指标要求。如果要针对性地提供差分服务,则需要将数据报文划分为不同类别并指定不同优先级,例如:

- **IPTV/Cloud VR 直播业务:** 组播业务对丢包敏感,影响用户范围较大,需要高优先级保证。但在起步阶段,Cloud VR 直播往往是以点播形式存在的,所以建议优先级与点播设置相同。
- **VR 游戏业务:** 强交互的 VR 游戏,对时延敏感,需要高优先级保证。
- **IPTV/Cloud VR 点播业务:** 符合流量规划的情况下优先保证自营点播业务。
- **互联网 OTT 业务:** 保证基本带宽,尽力转发。

建议各业务优先级分配方案如下表所示。

Services	802.1P	DSCP	Wi-Fi WMM
VR 游戏	5	101110 (EF)	AC_VI
IPTV/VR 点播 / 直播	4	100010 (AF4)	AC_VI
HSI 上网	0	000000 (BE)	AC_BE

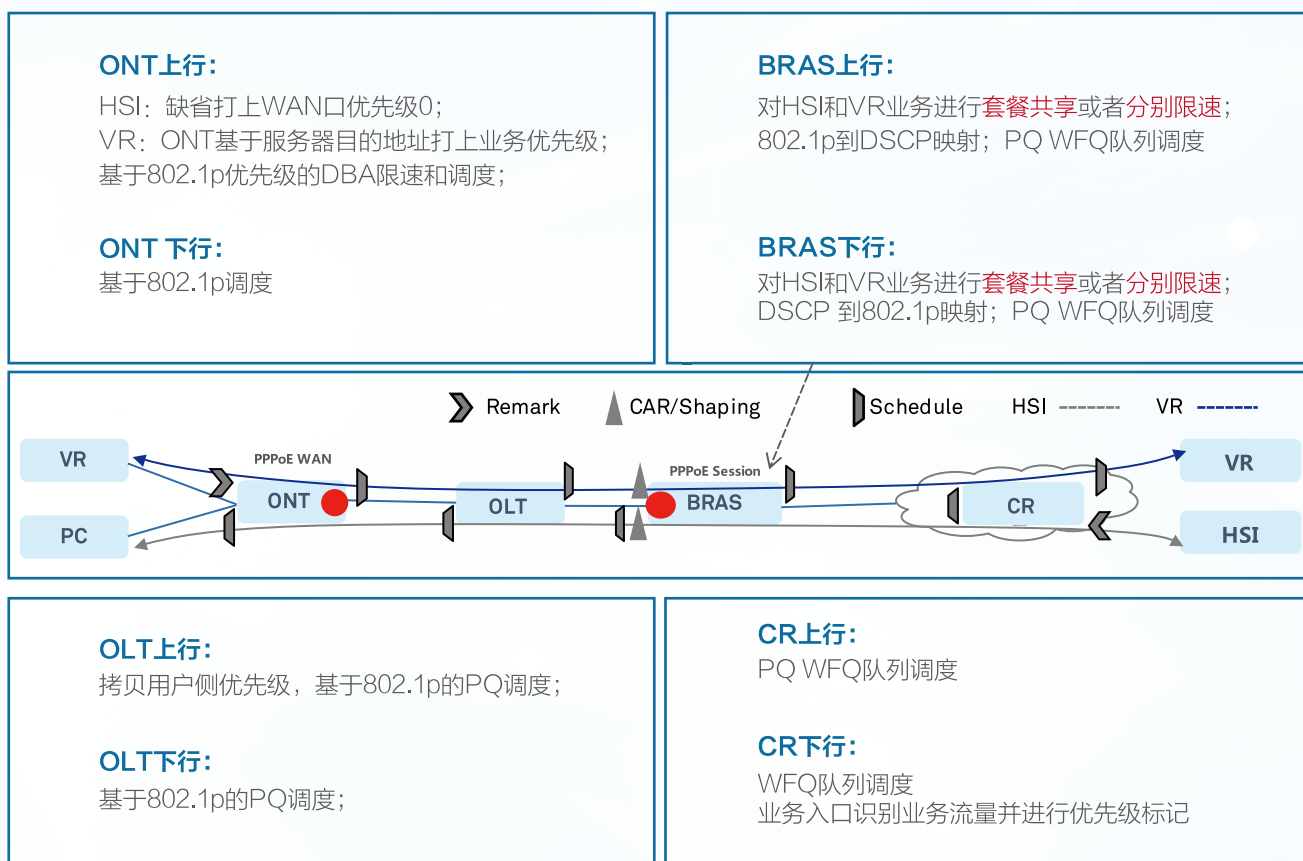
说明:

如果 IPTV 直播和 VR 直播业务实际采用组播方式,由于组播丢包会影响到大量用户,建议将优先级调整为与 VR 游戏相同的级别。

4 Cloud VR 网络规划与部署

4.6.2 优先级标记

将数据报文设置为不同优先级的过程被称为优先级标记，业务分类和优先级标记一般在网络的边缘节点同时进行，配合端到端简单流分类后，即可实现特定业务报文在端到端网络中的优先级调度。运营商实际部署时可参考下图进行操作：



- 下行方向：建议在城域入口处进行流量识别与标记操作，可通过配置 ACL 策略来识别匹配流量，并完成优先级标记操作；
- 上行方向：建议在 ONT 入口处进行上行流量识别和标记操作。考虑到 VR 业务上行流量小，如果上网套餐上行带宽较大，起步阶段也可以不做处理。

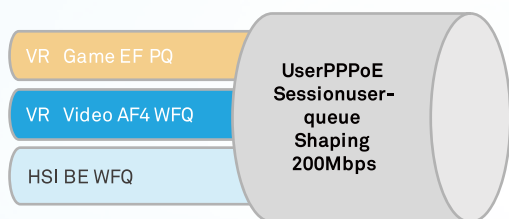
4

Cloud VR 网络规划与部署

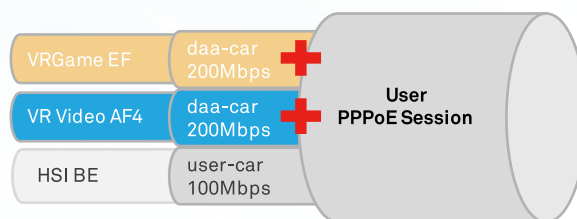
4.6.3 用户 CAR/Shaping 限速

当 Cloud VR 业务选择复用上网通道进行承载时,用户 Cloud VR 业务流量与上网业务流量共享一个限速套餐,若不进行处理,将会出现互相抢占的情况。为了避免这一情况的发生,常用的方案有 HQoS 和 DAA 两种,其技术原理大致如下图所示:

- HQoS : 带内限速, 竞争带宽**



- DAA : 带外提速, 独享带宽**



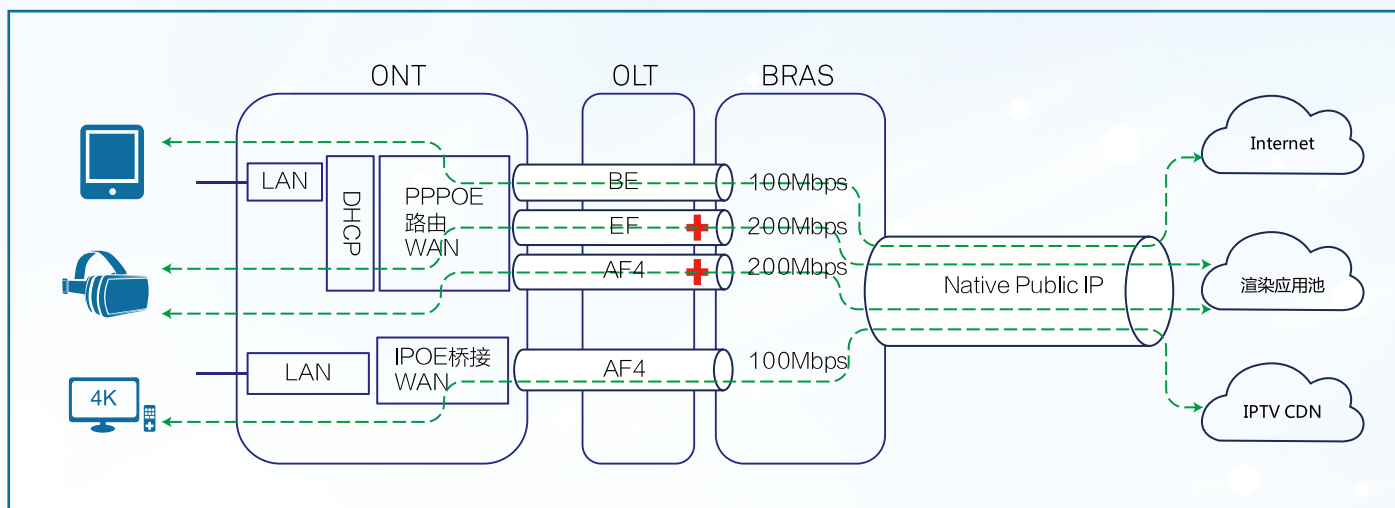
HQoS 方案

用户所有业务流量共享一个限速套餐,在套餐内部,按优先级进行调度,可以保障 Cloud VR 流量被优先转发,上网流量使用 VR 流量未用完的剩余带宽。路由器在配置 HQoS 后,将划分缓存用于暂时存储需要层次化调度的业务流队列,实际为 Shaping 模式。某些场景下可能会引入一定的转发时延。一般需要配合端到端简单流分类一同部署。对设备硬件也有要求,需要配套板卡使用。

DAA 方案

Cloud VR 流量并不占用用户上网套餐, BRAS 可配置 ACL 策略根据特定服务器地址和域用户识别 Cloud VR 业务流量, 然后进行独立 CAR 模式限速和计费, 业务之间并不抢占。DAA 方案需要使用大量的 ACL, 对板卡也有一定要求。

4 Cloud VR 网络规划与部署



考虑到目前国内运营商网络中多采用 CAR 模式对用户进行限速，此处以 DAA 方案为例进行介绍，其具体部署方案如上图所示：

- 在 BRAS 上基于服务器地址列表和用户域识别 VR 业务流。
- 在 BRAS 上针对识别的 VR 业务流，配置 DAA 带外限速（下行独立 200Mbps），使其不受上网套餐带宽限制（VR 流量和上网流量独立限速，互不抢占），同时修改 VR 业务报文优先级（VR 视频 AF4，VR 游戏 EF）。
- 修改 OLT 上网业务 traffic table 流量模板的优先级调度策略，将 Local-Setting 模式修改为 Tag-In-Package 模式。

Local-Setting：拥塞时系统根据流量模板中指定的 802.1p 优先级进行队列调度。

Tag-In-Package：拥塞时系统根据报文中优先级进行队列调度。

- 在 ONT/AP 的 Wi-Fi 侧，WMM 基于报文 DSCP 优先级进行空口调度。

说明：在选择方案时建议依据现网实际配置情况选择具体方案。



4

Cloud VR 网络规划与部署

4.7 Cloud VR 网络需求汇总



根据上述章节的方案设计与规划建议, 汇总 Cloud VR 业务方案的网络需求如下:

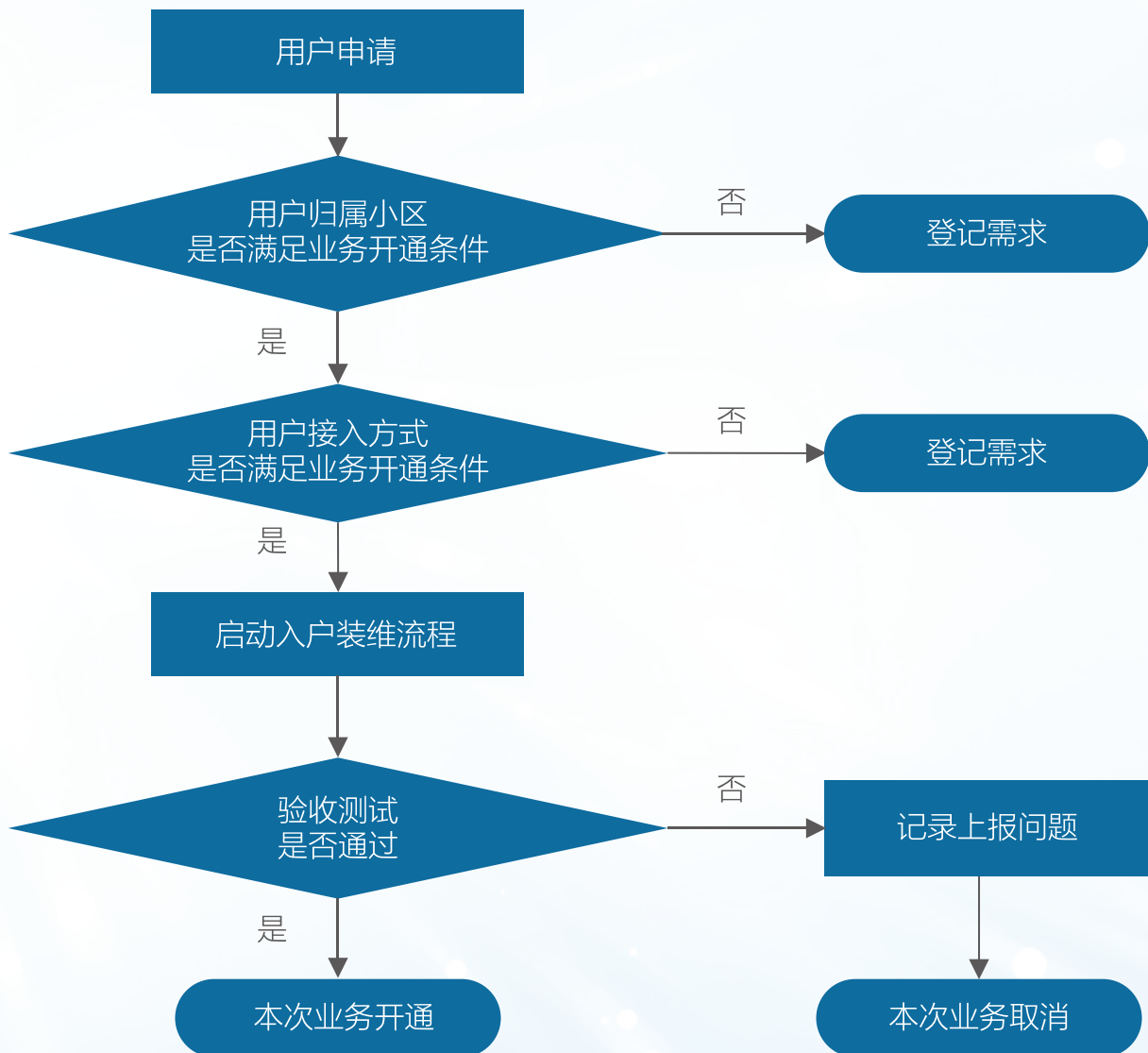
网络需求		
物理网络	家庭	需要高性能5GWi-FiAP、千兆ONT、超五类/六类千兆网线
		需要Wi-Fi智能家居组网服务: 干扰检测、信道规划、以及AP安装与布放
	接入	如果要满足大规模放号需求, 建议升级到FTTH10G PON
		如果只是利用旧网FTTHGPON资源, 需要评估和控制VR业务放号规模
	城域	需要简化架构, 去除汇聚交换机, 推动OLT直挂BRAS改造, 过程中可考虑将波分下沉
逻辑网络	承载	建议复用上网或IPTV通道来承载Cloud VR业务, 减少网络部署需求
		可采用云端投屏方式, 满足不同承载平面之间机顶盒和VR头盔之间的互通需求
	QoS	建议部署端口QoS, 保障业务调度优先级。
		建议部署业务QoS, 基于HQOS或DAA实现用户级业务隔离和调度优先级保障。
建网规范	扩容门限	下行链路继承4KReady网络扩容门限要求: OLT<45%、BRAS<60%、CR<65%

5

Cloud VR 用户装维与保障

5.1 业务开通流程

用户在提交 VR 业务开通申请后,一般需要先经过网络部门的筛选,目的是排查该用户的接入方式和端到端网络情况(按小区进行归类)是否满足条件,具体筛选标准请参考 4.7。在满足相关条件后,运营商才需要派发工单并启动入户装维流程,完成诸如:信号检测规划、设备安装以及业务验收测试工作。



5 Cloud VR 用户装维与保障

5.2 入户装维流程

在入户装维过程中，运营商可以通过提供 5GHz 频段 Wi-Fi 智能组网服务，结合千兆入户带宽，来满足 Cloud VR 业务大带宽低时延的网络传输需求，具体操作流程如下：

Step1: 完成 5G Wi-Fi 信号的检测和信道规划。相对于 2.4GHz 频段，5GHz 频段能够提供更大的频宽和更多的信道选择，按 80MHz 频宽计算实际有三个不重叠信道，现阶段完全可以通过合理规划来避开干扰。下表中列举了国内允许使用的 5G Wi-Fi 信道范围，其中 52~64 信道与军方雷达存在部分重叠，设备工作在这些频段时，必须具备自动跳频躲避雷达追踪 Auto DFS (Auto Dynamic Frequency Selection) 功能和自动调整输出功率 Auto TPC (Auto Transmit Power Control) 功能。

Channel	Frequency	
36	5180	Yes
38	5190	No
40	5200	Yes
42	5210	No
44	5220	Yes
46	5230	No
48	5240	Yes
52	5260	DFS/TPC
46	5280	DFS/TPC
60	5300	DFS/TPC
64	5320	DFS/TPC
149	5745	Yes
153	5765	Yes
157	5785	Yes
161	5805	Yes
165	5825	Yes

5 Cloud VR 用户装维与保障

Step2: 完成高性能 5G Wi-Fi 设备的安装与配置。安装运营商指定的高性能 5G Wi-Fi 设备,并根据信道规划结果调整工作信道。为保障传输带宽充足,设备布放过程中还需要确认是否正确使用了超五类或六类网线,是否挂接在 ONT 的千兆 LAN 口等。同时鉴于 VR 业务对网络的高要求和当前主流 5G Wi-Fi 设备的能力,建议优先满足客厅区域的用户体验需求,暂时无法承诺信号穿墙后的体验效果。

Step3: 完成网络环境和用户体验验收测试工作。参考现网调研和实验室测试结果,发现当端到端网络环境满足特定的通量和时延需求时,基本就可以支撑用户在当前阶段获得较好的 VR 业务体验。因此建议运营商在入户装维结束前按此标准进行验收,以判断 VR 业务是否能够正常发放,具体如下表所示:

验收项目	验收标准	验收方法	备注
入户光猫	上行: GPON/10G PON下行: 千兆LAN口	现场检查	
WIFI AP	高性能专用5GWi-Fi设备	现场检查	项目中推荐WA8011Y
WIFI信号	通过合理规划尽可能规避同频干扰	现场检查	信号检测与调优
DAA带宽	平均>170Mbps	下载测速	定向下载,按85%验收
TCP PING时延	平均<15ms	TCP PING测试	针对云渲染服务器测试
用户体验	业务体验测试3-5分钟无卡顿无滞后	收集用户反馈	

5.3 用户报障处理

起步阶段,由于缺少成熟的端到端业务体验运维系统,当终端用户感知体验劣化并上报故障后,运营商一般只能安排人工上门处理。在初步排除终端和平台问题后,可在参考 Cloud VR 业务对网络指标要求的基础上,进行一些简单但有效的定界定位操作,判断是否由网络问题引发、是家庭网络还是承载网络问题。具体操作如下:



Step1: 通过定向 FTP/HTTP 下载测速,并对比无线连接与有线连接场景下的结果,判断是否因为网络吞吐量过低导致,是家庭无线网络还是承载网络引发。



Step2: 通过 TCP PING 时延测试,并对比无线连接与有线连接场景下的结果,判断是否因为网络转发时延过大导致,是家庭无线网络还是承载网络引发。



Step3: 通过 Wi-Fi 分析工具检测周边干扰源的信道分布情况,判断是否因为无线环境劣化导致,是否需要重新进行信道规划。

6

总结与展望

为尽快实现 Cloud VR 业务规模商用的目标,现阶段运营商可采取以下措施和方案:

内容生态: 依托统一的内容聚合平台和存量视频分发网络,拉通整个 VR 产业链,向上整合优质内容,向下适配各类终端,打通从内容引入到发布的全业务流程。

业务平台: 通过利旧现网视频平台资源,实现 Cloud VR 业务的快速、低成本部署。仅需要开发和适配少量系统,比如:视频生产系统,云渲染平台等,即可实现 Cloud VR 业务的正常发放。

承载网络: 按照“基于 Wi-Fi 的家庭网络 + 基于 4K 的承载网络”的整体目标网络架构进行升级和改造,满足 Cloud VR 业务用户体验需求。

■ 基于 Wi-Fi 的家庭网络: Wi-Fi 接入是 Cloud VR 终端引入的关键需求,如何基于现有 Wi-Fi 技术满足近 1~2 年内 Cloud VR 业务所需的大带宽、低时延传输要求是当前面临的关键挑战。结合实验室测试结果和项目实践经验发现,要应对这一挑战,需要运营商提供包括:高性能专用 5G Wi-Fi AP、千兆 ONT、千兆网线以及专业组网服务在内的一整套解决方案。

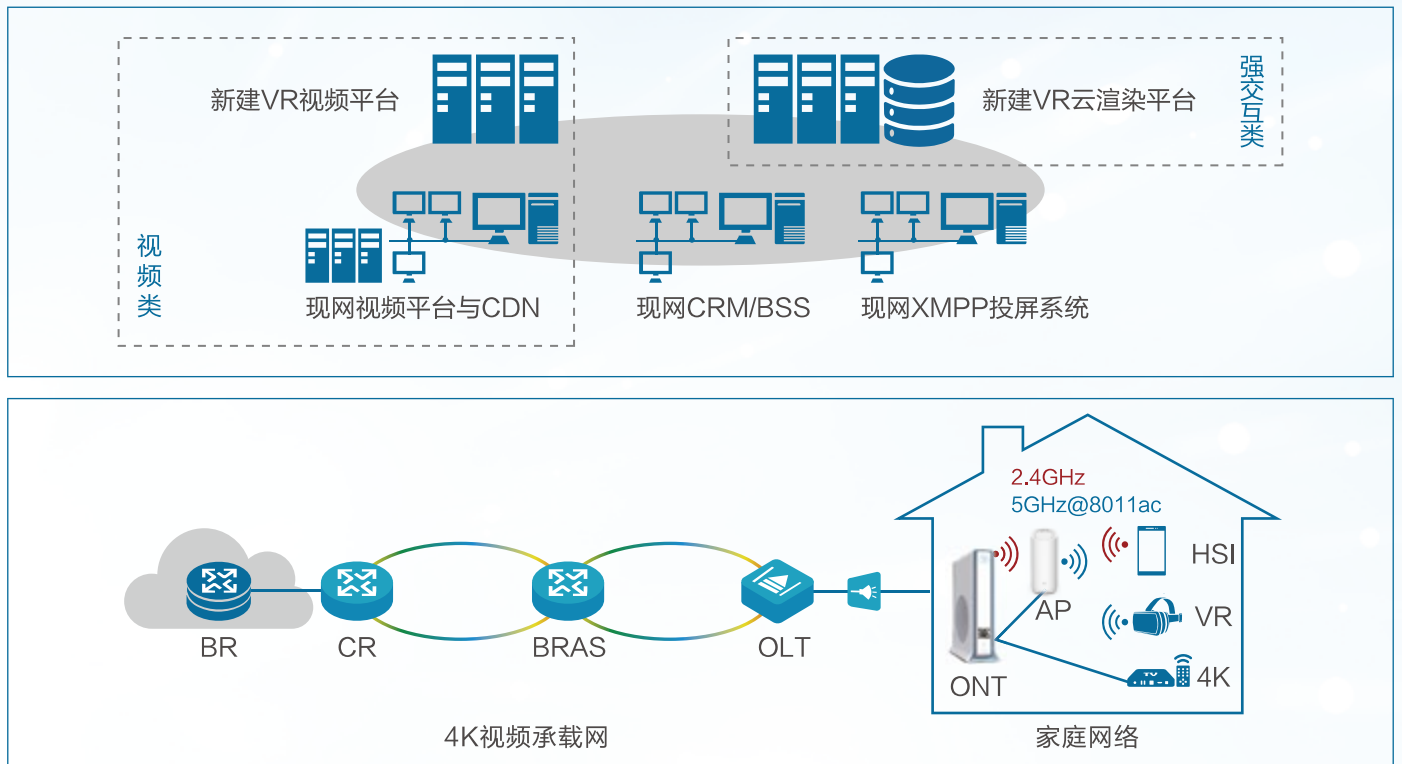
■ 基于 4K 的承载网络: 由于和传统视频在业务特征上存在诸多相似性,现阶段 Cloud VR 业务可以通过复用存量视频承载网络实现快速部署,关键是要落实“全光接入、扁平化、低收敛”的 4K Ready 建网要求,并在此基础上针对业务带宽和时延进行局部优化和管理,具体措施包括:

- 1、将 FTTH GPON/EPON 升级到 FTTH 10G PON 以满足 Cloud VR 业务的大规模放号需求;
- 2、推动 OLT 直挂 BRAS 改造,简化网络架构,过程中可通过波分下沉来满足光纤互联需求;
- 3、逐步将 OLT 上行链路扩容到 20GE 及以上,将 BRAS 上行链路扩容到 100GE 及以上,以匹配 Cloud VR 业务带来的网络流量增长需求;
- 4、通过复用上网或视频通道,减少 Cloud VR 开通过程中的网络部署需求;
- 5、配置端到端简单流分类,配合 BRAS 上业务 QOS 的部署,实现端到端 Cloud VR 业务带宽和优先级保障。

业务终端: 通过搭建云渲染平台代替本地主机进行渲染,可以降低终端性能要求和用户使用成本,加速 VR 终端的普及。起步阶段,Cloud VR 终端主要基于通用版 VR 一体机适配而来,后续可根据运营商需求进行定制化生产。

面向未来: 通过 VR OpenLab 产业合作计划,华为协助运营商实现了系统架构级技术方案创新,有效支撑运营商面向未来开展业务和商业模式级创新,在打造以视频为基础业务的端到端网络、实现最佳视频业务体验的基础上,构建云化的融合视频平台,开放视频能力,打造丰富的产业生态。华为将更加坚定不移地助力运营商推动数字 VR 产业发展,不断满足人民对日益增长的美好生活的需要。

7 版本配套关系



经华为 iLab 验证通过,上述方案的落地可基于下表中的平台和网络设备版本配套关系实现:

网络		版本	备注信息
云核	HVS	HVS V600R001C31	
	CDN	CDN V100R005C20	
	XMPP	ONIP Netrix V300R002C91	
城域	CR	NE5000E V8R6C00SPC600+SPH028	
	BRAS	ME60 V600R007C00SPC600+SPC105	
	OTN	OSN 9800 V100R002C10SPC300+SPH350	
OSN 6800 V100R009C10SPC500+SPH560			
OSN 1800 V100R006C20SPC500+SPH520			
接入	OLT	MA5600T V800R013C10+SPC219	
		MA5800 V100R017C10+SPH213	
家庭	ONT	HS8545M V3R017C10S115	千兆 LAN 口光猫
	Wi-Fi AP	WA8011Y V300R019C00SPC050	高性能 5G WiFi 设备
行业	WLAN AP	AP7052 DNV200R008C10SPC500	高性能 5G WiFi 设备
		AP6052 DNV200R008C10SPC500	
		AP4051 TNV200R008C10SPC500	



缩略语

缩略语	全称
MTP	移动延迟 Motion to Photons Latency
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
OPEX	运营成本 Operating Expense
OTN	光传送网 Optical Transport Network
OTT	Over The Top 指通过互联网向用户提供各种应用服务
PON	无源光网络 passive optical network
PPD	角度像素密度 Pixels Per Degree
PSP	多面体投影 Platonic Solid Projection
QAM	正交幅度调制 Quadrature Amplitude Modulation
QoE	客户感知体验 Quality of Experience
RET	重传 Retransmission
RTT	往返时延 Round Trip Time
SD	标清 Standard Definition
STB	机顶盒 Set Top Box
SU-MIMO	单用户多输入多输出 Single User Multiple Input Multiple Output
TXOP	传输机会 Transmission Opportunity
VR	虚拟现实 Virtual Reality
VE	虚拟环境 Virtual Environment
WMM	Wi-Fi 多媒体 Wi-Fi Multimedia



缩略语

缩略语	全称
AIFSN	仲裁帧间隙数 Arbitration Inter Frame Spacing Number
AP	接入点 Access Point
ATW	异步时间扭曲 Asynchronous Time warp
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
CAPEX	资本支出 Capital Expenditure
CDN	内容分发网络 Content Distribution Network
CO	局端 Central Office
CR	核心路由器 Core Router
CSMA/CA	载波侦听多址访问 / 冲突避免 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DASH	HTTP 动态自适应流媒体 Dynamic Adaptive Streaming over HTTP
DoF	自由度 Degrees of Freedom
EDCA	增强的分布式信道访问 Enhanced Distributed Channel Access
ERP	等距柱状投影 Equirectangular Projection
FOV	视场角 Field of View
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
HLS	HTTP Live Streaming
KPI	关键绩效指标 Key Performance Index
KQI	关键质量指标 Key Quality Index
MOD	按需组播 Multicast On Demand

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

本文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，本文档信息仅供参考，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