

iLab 

Cloud VR 网络方案白皮书

华为iLab · 极致体验

华为iLab发布







前言

Cloud VR，是将云计算的理念及技术引入到VR业务应用中，借助高速稳定的承载网络，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终端，实现VR业务的内容上云、渲染上云。

目前，较好的用户体验大多依赖高性能设备做本地渲染，Cloud VR让用户无需购置昂贵主机或高端PC即可轻松享受各种VR业务，将促进VR业务的普及。

2017年，我们围绕Cloud VR业务发布了《面向Cloud VR的承载网络白皮书》。2018年，我们继续围绕VR用户体验的提升为主线，结合Cloud VR最新的技术发展趋势和商用部署经验，进一步细化分析了Cloud VR不同阶段下的承载网络需求，给出了Cloud VR网络承载方案以及网络演进方向，为运营商部署Cloud VR业务提供参考。

目录 Contents

前言

1 Cloud VR 概述	1
1.1 Cloud VR 业务场景概述	1
1.2 Cloud VR 发展的三个阶段	2
1.3 Cloud VR 网络的发展策略	3
2 Cloud VR 网络要求	4
2.1 影响 Cloud VR 体验的关键因素	4
2.2 Cloud VR 要求确定性低时延	5
2.2.1 VR 业务时延要求	6
2.2.2 Cloud VR 网络时延分配	6
2.3 Cloud VR 要求 $n \times 4K$ 视频带宽	7
2.3.1 Cloud VR 网络带宽的影响因素	7
2.3.2 Cloud VR 的带宽要求	8
2.4 Cloud VR 的丢包要求	11
2.5 Cloud VR 网络需求汇总	11
3 起步阶段 Cloud VR 网络解决方案	13
3.1 目标网络架构	13
3.2 家庭网规划设计	14
3.2.1 Cloud VR 家庭网面临的挑战	14
3.2.2 Cloud VR 家庭网规划建议	17
3.3 接入网设计：10G PON 为主, EPON/GPON 受限开通	21
3.4 城域网规划设计：基于 4K 承载网进行扩容升级	24
3.5 Cloud VR 承载设计	25
3.5.1 4K 承载方案现状	25
3.5.2 双通道场景 Cloud VR 承载方案	26

3.5.3 单通道场景 Cloud VR 承载方案	28
3.5.4 投屏承载方案建议	29
3.5.5 Cloud VR 承载方案建议总结	30
3.6 带宽与 QOS 部署设计	31
3.6.1 带宽规划方法	31
3.6.2 QOS 部署建议	32
3.7 Cloud VR 运维方案	35
4 舒适体验阶段 Cloud VR 网络设想	38
4.1 目标网络架构设想	38
4.2 家庭网方案设想	40
4.2.1 802.11ac 4*4 MIMO	40
4.2.2 802.11ax 技术	41
4.3 接入网技术要求	41
4.4 城域网技术要求	42
4.5 带宽时延可保障方案设想	43
5 理想体验阶段 Cloud VR 网络展望	44
5.1 Wi-Fi 技术演进：60GHz	45
5.2 接入技术演进：25G/50G/100G PON	45
5.3 确定性低时延的云网协同网络	46
A 缩略语	48

01 Cloud VR 概述

1.1 Cloud VR 业务场景概述



VR 是计算机构造出虚拟环境，人在这一具备立体空间信息的虚拟环境之中进行实时的互动。VR 业务场景日趋丰富，中国信通院、华为 iLab、华为 C&SI 商业咨询部在 VR 产业研究及海内外行业洞察过程中，将 Cloud VR 场景划分为 Cloud VR 2C 应用场景和 Cloud VR 2B 应用场景两大类，如下表：

表 1-1 Cloud VR 业务场景

Cloud VR 2C应用场景	Cloud VR 2B应用场景
Cloud VR巨幕影院	Cloud VR教育
Cloud VR直播	Cloud VR电竞馆
Cloud VR 360° 全景视频	Cloud VR营销
Cloud VR游戏	Cloud VR医疗
Cloud VR音乐	Cloud VR旅游
Cloud VR健身	Cloud VR房地产
Cloud VR K歌	Cloud VR工程
Cloud VR社交	
Cloud VR购物	

根据高盛发布的 VR/AR 产业报告以及当前运营商业务开展的情况预测，VR 应用最先普及和推广的将是巨幕影院、VR 360° 全景视频、VR 直播、VR 游戏和 VR 教育。这些应用场景的业务从交互维度上可分为 VR 弱交互业务和 VR 强交互业务两大类。

VR 弱交互业务当前主要是 VR 视频业务，包含巨幕影院、360° 全景视频、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（如触摸）。强交互 VR 包含 VR 游戏、VR 家庭健身、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而生成。

1.2 Cloud VR 发展的三个阶段



Cloud VR 业务的发展以体验为主线，是画质、交互感等不断提升，沉浸感越来越好的演进过程。内容制作技术、传输技术和网络技术的匹配度决定了 Cloud VR 沉浸体验能达到的程度。我们认为，Cloud VR 业务体验提升的演进可经历如下三个阶段：起步阶段、舒适体验阶段和理想体验阶段。



起步阶段

在起步阶段，内容以 4K VR 为代表，终端屏幕分辨率为 2K~4K，用户看到的画面质量相当于在传统 TV 上观看 240P/380P 的 PPD (Pixels Per Degree, 角度像素密度) 效果。

对于 VR 视频业务，主要考虑全视角传输方案。对于强交互 VR 业务，需要比视频更高的帧率以保障用户业务体验；另外强交互 VR 不存在全视角传输，只有 FOV (Field of View, 视场角) 传输方式，需要终端支持异步渲染等技术，用户才能获得流畅的体验。



舒适体验阶段

在舒适体验阶段，内容以 8K VR 为代表，终端屏幕分辨率为 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。

这个阶段，Cloud VR 各类业务的良好体验要求对网络的带宽、时延要求也将显著提高。对于 VR 视频业务，全视角传输方案依然会被首先考虑，以保证良好的观看和交互体验；但随着全视角 8K 的 3D 视频出现，超过百兆的带宽需求会促进 FOV 方案的使用。对于强交互 VR 业务，分辨率相比前一阶段进一步提升，带宽需求也进一步增大。



理想体验阶段

在理想体验阶段，内容以 12K 或者 24K VR 为代表，终端屏幕分辨率为 8K~16K，终端和内容的发展可使用户获得最佳的使用体验。另外 H.266 视频编码标准、光场渲染技术等将广泛应用。

对于 VR 视频业务，继续全视角传输方案对网络带宽要求变高，而采用 FOV 方案成为主流，可以极大降低对带宽的要求。对于强交互 VR 业务，分辨率的显著提升使得带宽的需求进一步增大，用户交互体验的提升要求更低的网络时延。

1.3 Cloud VR 网络的发展策略



Cloud VR 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，网络在不同阶段的发展策略建议如下：

1. Cloud VR 起步阶段：新建 Wi-Fi 家庭网络，扩容改造 4K Ready 承载网

- 家庭网络建议增加部署高性能的 5GHz Wi-Fi AP 进行 Cloud VR 业务承载，并通过合理的规划避免与原有上网业务干扰。
- 承载网基于 4K ready 网络进行扩容改造，具体包括 OLT PON 升级、OLT 上行扩容、城域网扁平化、OTN 到 CO 等。

2. Cloud VR 舒适体验阶段：升级增强 Wi-Fi 家庭网络和承载网，构建带宽时延可保障的网络

- 家庭网络 Wi-Fi 建议采用 802.ac 4*4 MIMO 技术或 802.11ax 技术。
- 承载网持续升级扩容：接入 FTTH 需全面升级为 10G EPON/GPON；城域网需更大容量更高集成度的硬件设备，面向云化应采用 CU 分离架构；云渲染服务器适当下沉。
- 需构建带宽时延可保障的网络，核心诉求包括意图感知、质量感知、问题识别、网络优化等。

3. Cloud VR 理想体验阶段：网络需向更大带宽、更低时延方向演进

- 60G Wi-Fi 可能会被应用，固定接入网络将向 25G/50G/100G PON 技术演进。
- 云渲染服务器需要下移至城域边缘，网络将向云网协同技术方向演进。

02 Cloud VR 网络要求

2.1 影响 Cloud VR 体验的关键因素

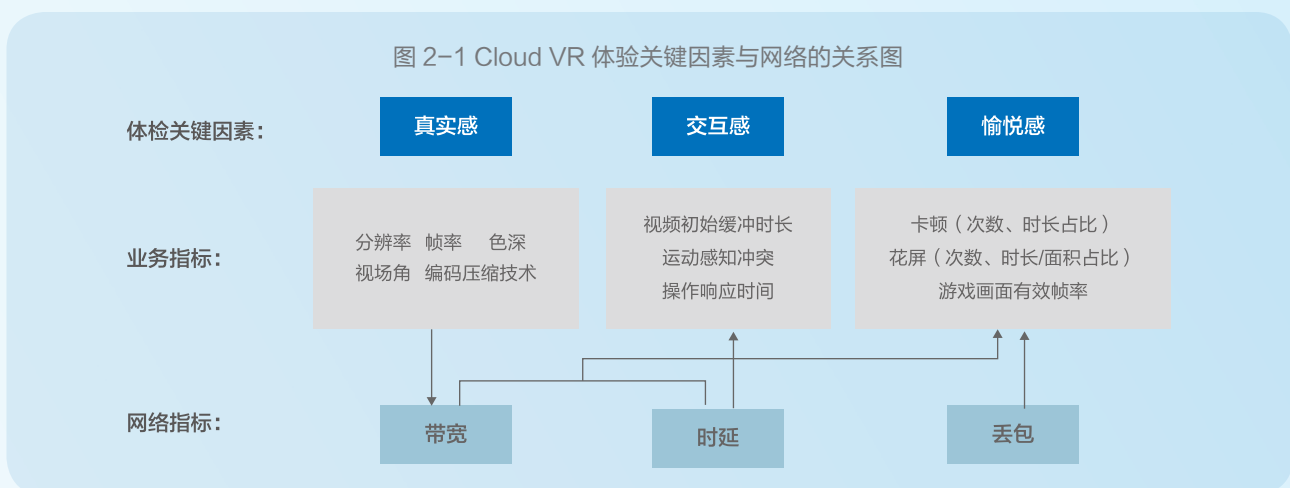
虚拟现实体验具有 3I 的特征，分别是沉浸感 (Immersion)、交互性 (Interaction) 和想象性 (Imagination)，其主要优势也是这三个特征体现的。

- 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，能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一样。
- 想象性：虚拟环境可使用户沉浸其中萌发联想。

与其相对应，虚拟现实的体验评价也主要有三个因素：真实感、交互感和愉悦感。

- 真实感：主要跟分辨率、色深、帧率、编码压缩技术等相关，过低的画面质量和音频质量都会导致感觉不真实，让人无法沉浸其中，同时也影响交互感。要带来愉悦的真实感受，要求 Cloud VR 承载网络的带宽要能满足高画面质量传输的要求。
- 交互感：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直接影响 VR 体验的交互性，进而影响沉浸感和想象性，特别是由于时延导致的晕动症是 Cloud VR 面临和必须解决的最大问题。此外加载、切换、手柄操作的响应迟滞时间也直接影响 VR 的交互感，可以说，交互感与 Cloud VR 承载网络的时延强有关。
- 愉悦感：主要取决于 VR 体验流畅程度，这跟卡顿、花屏次数、时长占比等网络因素强相关，当愉悦感降低，用户就无法很好地沉浸在里面萌发想象。愉悦的体验感受要求 Cloud VR 承载网络的带宽、时延、丢包等指标均需满足 VR 用户体验的要求。

图 2-1 Cloud VR 体验关键因素与网络的关系图



2.2 Cloud VR 要求确定性低时延



对于传统的 4K 业务，时延要求仅对频道切换时间、加载时长有轻微影响，不是必须满足的指标，可根据现网情况适当放宽要求。

但 Cloud VR 的强交互业务画面是由云端实时渲染生成的，时延对画面的刷新质量、用户交互感有直接影响，时延成了必须满足的确定性指标。从理论和实测结果看，起步阶段要求 $\leq 20\text{ms}$ ，舒适体验阶段和理想体验阶段的时延要求会进一步严格（预计舒适体验阶段要求 $\leq 15\text{ms}$ 、理想体验阶段要求 $\leq 8\text{ms}$ ），对网络提出了新的挑战。

2.2.1 VR 业务时延要求

对于 Cloud VR 视频业务，参考 4K 视频的分析，网络时延在 20~40ms 即能满足要求，不同的时延只是对画面加载时间产生影响。但是对于 Cloud VR 强交互业务，为了保证用户的交互感和愉悦感，对时延有如下三个要求：

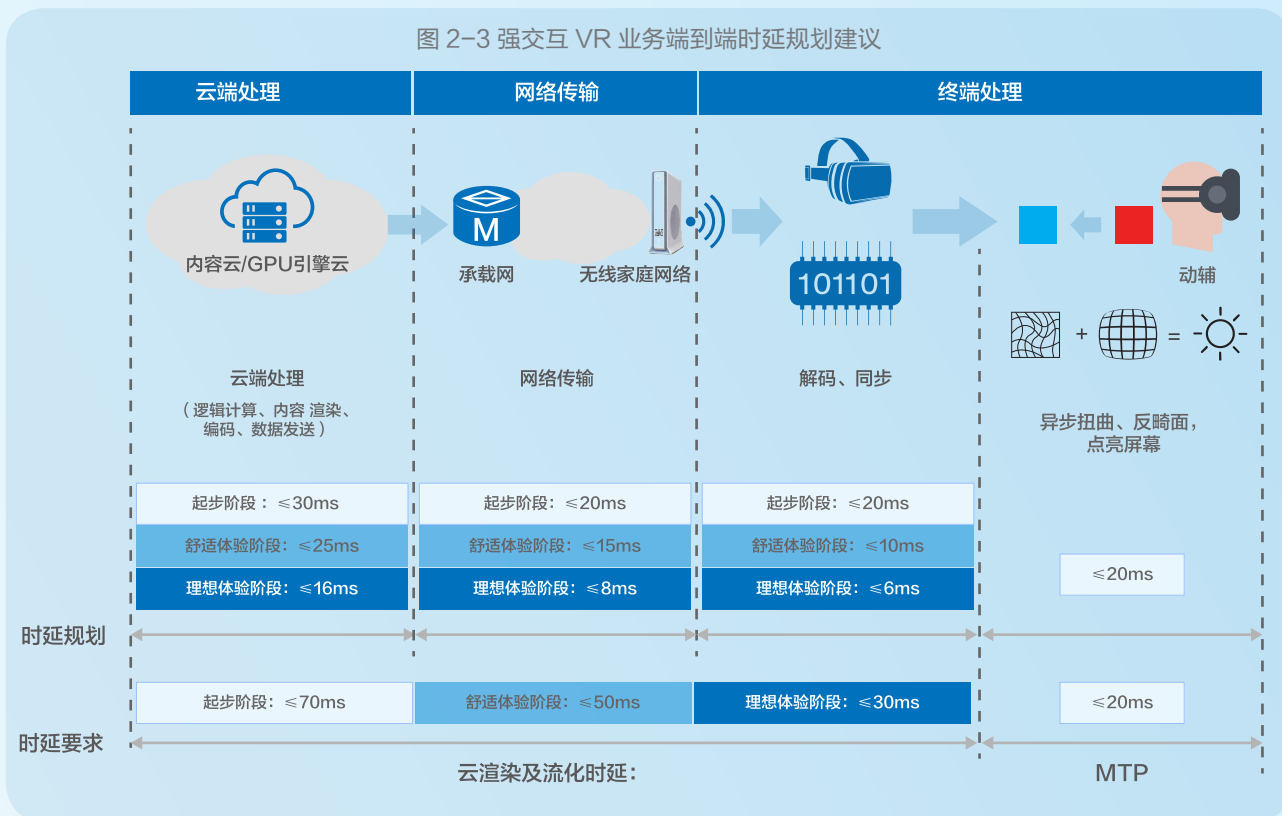
1. MTP 时延要求 ≤ 20 毫秒（端云异步渲染方案下 MTP 时间不再依赖网络和云渲染，可由终端保证）。
2. 云渲染及流化时延要求为 30~70 毫秒。
 - 在起步阶段，云渲染及流化时延建议 ≤ 70 毫秒，画面黑边和质量的劣化在可接受范围。
 - 在舒适体验阶段，云渲染及流化时延建议 ≤ 50 毫秒，此时基本消除黑边现象。
 - 理想体验阶段，云渲染及流化时延建议 ≤ 30 毫秒，此时位置移动时画面的扭曲将让人无法察觉。
3. 操作响应时延要求 ≤ 100 毫秒。操作响应时延由云渲染及流化时延，加上终端的二次渲染、异步扭曲和刷新呈现构成。操作响应时延减去云渲染及流化时延的要求 70ms 后，剩余 30ms，大于终端对二次渲染、异步扭曲和刷新呈现的 MTP 时延要求。因此只要保证云渲染及流化时延要求，就能同时满足操作响应时延要求。

图 2-2 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



2.2.2 Cloud VR 网络时延分配

云渲染及流化时延分为云端处理、网络传输、终端处理三部分，不同阶段的时延规划建议参见下图；



把网络的时延再分解到家庭 Wi-Fi、固定接入网、城域网各部分，时延建议如下表：

阶段	端到端网络 RTT	家庭 Wi-Fi	固定接入网	城域承载
起步阶段	≤ 20 ms	≤ 10ms	≤ 2ms	≤ 8ms
舒适体验阶段	≤ 15ms	≤ 7ms	≤ 2ms	≤ 6ms
理想体验阶段	≤ 8 ms	≤ 5ms	≤ 2ms	≤ 1ms

对于不考虑 VR 强交互业务，只发放 VR 视频业务的网络，如果要求播放或切换频道时画面加载时间在 1s 以内，那么网络时延要求在 20ms 以内；如果对画面加载时间不作要求，则对网络时延的要求可以放宽至 30ms~40ms，对 VR 视频的体验也不会有太大影响。



2.3 Cloud VR 要求 n*4K 视频带宽

Cloud VR 的沉浸性终端拥有远高于传统 TV 的视场角，为了实现与 4K 视频一样的清晰度，其分辨率、帧率、码率都必须高于 4K 视频业务，对网络有着更高的带宽要求。

经实测和理论分析，Cloud VR 的带宽要求如下表所示：

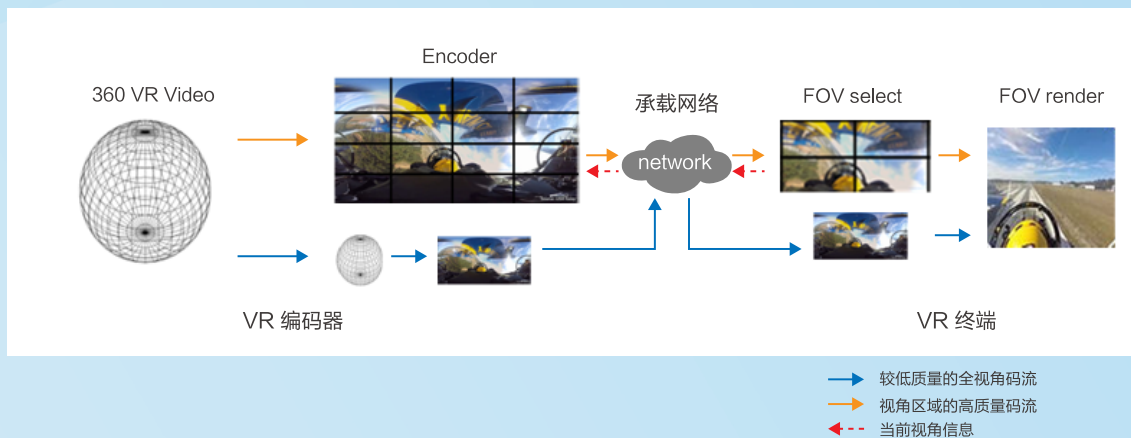
网络指标项	4K视频	VR起步阶段 (4K全景)	VR舒适体验阶段 (8K全景)	VR理想体验阶段 (12K/24K全景)
单路业务带宽	≥50Mbps	≥80Mbps	≥260Mbps	≥1Gbps

2.3.1 Cloud VR 网络带宽的影响因素

影响 Cloud VR 网络带宽需求的因素主要有分辨率、帧率、色深、视场角、编码压缩技术、传输方式等方面。

- ◆ **分辨率：**由于 VR 的沉浸性终端拥有远高于传统 TV 的视场角，决定了要达到同样等级的画质体验，要求 VR 具有更高的单眼分辨率和全视角分辨率。全视角的 4K 分辨率并不能达到满意的视频质量，加大分辨率到 8K 及以上是必须的。以 FOV=90 为例，全视角分辨率达到 8K 时，单眼分辨率为 1920*1920，对应 PPD=22，实际画面体验只相当于传统 SD 视频。
- ◆ **帧率：**帧率需要达到一定标准以上，画面才能达到动作清晰流畅无模糊残影。帧率过低会导致画面变差，甚至让一些游戏玩者产生头晕恶心等强烈不适感。Cloud VR 游戏的帧率最好在 90 帧 / 秒以上，VR 视频的要求会低一些，30 帧 / 秒即可达到较好效果。
- ◆ **色深：**在 Cloud VR 起步阶段，图像清晰度不高的情况下，对色深要求不高，一般为 8Bit 即可。后续随着分辨率提升，色深也会相应提升至 10~12Bit。
- ◆ **视场角：**用户在虚拟环境中的视野可以认为是一个空间球，左右横向全视角展开是 360 度，上下纵向展开是 180 度。用户在使用终端时，单眼实际看到的视觉信息只是全部球面数据的一部分，这部分面积由终端提供的视场角 FOV 决定。人眼的左右眼的水平视场为 160°、垂直视场为 150°，双眼水平视场为 200° 左右。当前 Cloud VR 起步阶段的 VR 终端设备（如电视、VR 眼镜）可支持的视角大约在 90° ~110° 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%。将来随着产业发展，市场角扩大可使用户获得更好的体验。
- ◆ **编码压缩技术：**Cloud VR 起步阶段主要采用的编码技术是 H.264。在引入 8K 内容后，需要升级为 H.265，在保证同等画质的前提下，其压缩比相对于 H.264 的最新版本可提升 30% 左右。MPEG 等标准组织的最新研究进展表明，对应于 HEVC 的下一代编码技术（H.266）的压缩比能比 HEVC 再提升 30% 左右。随着分辨率的提升，理想体验阶段可考虑使用。
- ◆ **传输方式：**VR 画面的在线传输有两种主要的技术路线：全视角传输方案和 FOV 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 (Just-in-time) 完成包括码流解析、视频解码和画面渲染等处理，用户看不到那部分信息网络资源造成了比较大的浪费。FOV (Field of View) 传输方案是基于视角进行有差别传输 VR 画面的方案，主要关注当前视角区域画面的高质量传输。FOV 传输具体实现的技术还未统一，华为推荐的 Tile Wise 传输方案采用低质量全视角 + 高质量可视区域传输，在内容准备侧，将 VR 画面划分为多个 tile，每个区域对应一个可以独立解码的码流；同时再准备一个低质量的全视角的 VR 码流；客户端获取一个全视角的低质量的码流，以及高质量的根据视角选择的 tile。

图 2-4 Tile Wise 传输方案



2.3.2 Cloud VR 视频业务的带宽要求

Cloud VR 视频业务的带宽要求

对于 VR 视频业务，起步阶段主要采用全视角传输，后面随着产业的发展，分辨率提升，为了节省网络带宽，可以逐渐选择采用 FOV 方案进行传输。

全视角方案下，码率的计算方式如下：

$$\text{平均码率} = (\text{传输画面像素点} * \text{每像素比特位} * \text{帧率}) / \text{压缩比}$$

对于 2D 视频, 传输画面像素点 = 全视角分辨率, 对于 3D 视频, 传输画面像素点约为 2D 的两倍。色深为 8bit 时, 抽样后每像素比特位为 12, 色深为 10bit 时, 每像素比特位为 15, 色深为 12bit 时, 每像素比特位为 18。由于视频流并不是完全平稳的, 有流量突发的情况, 所以根据 4K 视频的测试经验, 当网络带宽 \geq 平均码率 1.5 倍时, 可保证视频流畅播放, 所以网络带宽需求按照 1.5 倍于平均码率来计算, 即:

$$\text{网络带宽} = 1.5 * \text{平均码率}$$

FOV 方案下, 当采用传输低质量全视角 + 高质量可视区域的 Tile Wise 传输方案, 网络带宽约为全视角方案所需带宽的 53%。



基于上述的计算模型，对于 Cloud VR 发展三个阶段的 VR 视频业务带宽估算结果如下：

阶段		起步阶段	舒适体验阶段	理想体验阶段
典型全景分辨率		4K (3840*1920)	8K (7680*3840)	12K (11520*5760) /24K (23040*11520)
典型终端分辨率		2K	4K	8K
视场角		90~110度	120度	120~140度
色深 (bit)		8	8	10~12
编码标准		H.264/ H.265	H.265	H.265/ H.266
帧率		30	30	60~120
压缩比 (注1)		133	230	410 (12K)、1050 (24K)
VR 视频业务	典型码率	40Mbps	全视角: 90Mbps FOV: 50Mbps	全视角: 290Mbps (12K) 1090Mbps (24K) FOV: 155Mbps (12K) 580Mbps (24K)
	典型 带宽要求	60Mbps	全视角 ≥140Mbps FOV: ≥75Mbps	全视角: ≥440Mbps (12K) ≥1.6Gbps (24K) FOV: ≥230Mbps (12K) ≥870M (24K)

注 1：起步阶段的 4K 压缩比基于 H.264 取业界典型值，后面阶段的压缩比根据业界经验测算得到，主要考虑编码方式、帧率、分辨率因素：（1）编码从 H.264 到 H.265，H.265 到 H.266 压缩比预计分别提升 30% 左右；（2）帧率提高一倍，压缩比预计提升 50% 左右；（3）分辨率提升一倍，压缩比预计提升 15% 左右。

强交互业务的带宽要求

对于强交互 VR 业务，都是基于当前视角进行实时渲染，全部采用 FOV 方式。强交互业务流由 I 帧和 P 帧组成，I 帧含有所在图像所有的信息，采用帧内编码恢复自身图像；P 帧是前向预测帧，根据前一个 I 帧或者 P 帧结合算法恢复自身图像；每个 GOP（Group of Pictures）时间内包含一个 I 帧和 N 个 P 帧，其中 $N = \text{GOP 时间} * \text{帧率} - 1$ 。

强交互业务采用端云异步渲染，把画面扭曲到新的视角时，为减小或消灭新的视角范围内黑边对体验的影响，VR 需要进行超视角画面的渲染和传输，建议各个方向都超出 6 度。端云异步渲染根据景深或运动矢量等信息调整物体间的位置关系，每一帧画面需额外传输 15% 的景深和运动矢量信息。



码率的计算如下：

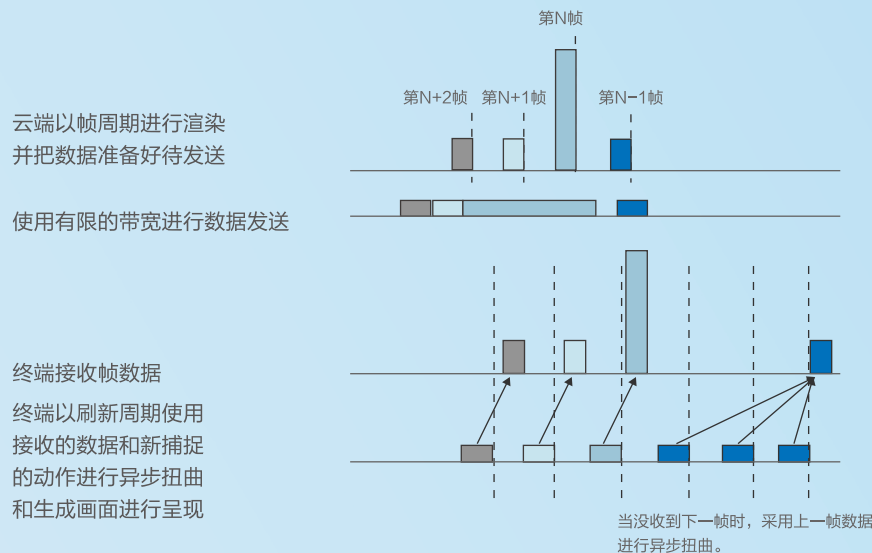
$$\text{平均码率} = (\text{I 帧大小} * 1 + \text{P 帧大小} * \text{GOP 时间} * \text{帧率}) * (1 + \text{冗余纠错信息}) / \text{GOP 时间}$$

$$\text{帧大小} = (\text{传输画面像素点} * \text{每像素比特位}) * \text{额外景深信息} / \text{压缩比}$$

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

其中冗余纠错信息按 10% 估算，平均 GOP 时间为 2 秒，异步扭曲超视角渲染角度建议为 12(每个方向 6 度)，FOV 额外画面约为 10%。

强交互业务云端以帧率生成并发送 I 帧和 P 帧，网络带宽需要满足快速完成 I 帧和 P 帧发送的要求。为了保证画面质量，保证云渲染和流化时延，起步阶段预留帧数据发送时间约为 10~15ms，舒适体验阶段为 5~10ms，理想体验阶段为 4ms。帧数据发送时间 = 帧大小 / 带宽，所以 P 帧需要的带宽为 P 帧大小 / 帧发送时间。由于 I 帧比较大，且每个 GOP 时间内只有一帧，如果要求每个 I 帧都及时发送，对带宽要求太过严格。当 I 帧发送不及时，终端未能及时收到的时候，可以使用插帧技术(利用上一帧数据)来生成画面(参见下图)，但是插帧对体验有一定的影响，建议最大插帧不超过 2 帧，否则对业务体验影响明显。



所以 I 帧需要在 3 个帧周期内发送完成，而 P 帧需要在每个阶段预留帧发送的时间内发送完成。即：

$$\text{带宽需求} = \text{MAX}[\text{I 帧大小} / (3 * \text{帧周期}), \text{P 帧大小} / \text{帧发送时间}]$$

基于上述的计算模型，对于 Cloud VR 发展三个阶段的强交互业务单用户带宽估算结果如下：

阶段		起步阶段	舒适体验阶段	理想体验阶段
典型内容分辨率 (注1)		2K(等效全景分辨率4K)	4K(等效全景分辨率8K)	8K/16K(等效全景分辨率12K/24K)
典型终端分辨率		2K(1080*1200*2)	4K(1920*1920*2)	8K(3840*3840*2)/16K(7680*7680*2)
视场角		90~110度	120度	120~140度
色深(bit)		8	8	10~12
编码标准		H.264 /H.265	H.265	H.265/ H.266
压缩比 (I帧/P帧) (注2)		25/75	38/165	50/255 (8K)、83 / 585 (16K)
帧率 (帧/秒)		50~90	90	120~200
强交互 VR业务	典型码率	40Mbps	90Mbps	360Mbps (8K) /440Mbps (16K)
	典型带宽要求	80Mbps	260Mbps	1Gbps (8K) /1.5Gbps (16K)

注 1：强交互业务内容为实时渲染生成，没有全景画面，内容分辨率是指需要渲染的画面的分辨率。

注 2：起步阶段的 4K 压缩比基于 H.264 取业界典型值，后面阶段的压缩比根据业界经验测算得到，主要考虑编码方式、帧率、分辨率因素：(1) 编码从 H.264 到 H.265，H.265 到 H.266 压缩比预计分别提升 30% 左右；(2) 帧率提高一倍，压缩比预计提升 50% 左右；(3) 分辨率提升一倍，压缩比预计提升 15% 左右。

2.4 Cloud VR 的丢包要求

视频点播业务目前一般使用 TCP 传输, 丢包对 TCP 影响是降低通量, 卡顿。根据 TCP 吞吐量评估的经典公式:

$$\text{Throughput} \leq \min \left(\text{Max} (\text{BW}), \frac{\text{WSS}}{\text{RTT}}, \frac{\text{MSS}}{\text{RTT}} \times \frac{1}{\sqrt{p}} \right)$$

在确定的 RTT 和带宽通量要求下, 可计算得到视频点播业务网络丢包要求如下:

阶段	起步阶段	舒适体验阶段	理想体验阶段
RTT	20ms	20ms	20ms
带宽	60M	140M	440M
丢包率	$\leq 9E-5$	$\leq 1.7E-5$	$\leq 1.7E-6$

强交互业务和视频直播业务建议使用 UDP 传输, 丢包对造成花屏、黑屏等问题。参考 4K 视频已经测试的数据, 在无 RET 重传情况下, 丢包在 $1E-5$ 时, 对体验会有轻微影响, 在 $1E-6$ 时, 影响已经无法感知。所以此类业务丢包率要求建议如下:

阶段	起步阶段	舒适体验阶段	理想体验阶段
丢包率	$\leq 1E-5$	$\leq 1E-5$	$\leq 1E-6$



2.5 Cloud VR 网络需求汇总

基于上面的分析，相对于传统视频业务，Cloud VR 视频主要是对网络的带宽提出了更高要求；而VR 强交互业务则对网络的带宽和时延等同时提出了更高的要求。如下表，Cloud VR 业务沿着体验提升的主线，在三个阶段的不同网络要求，包括带宽、时延、丢包率，并按照 VR 视频业务和 VR 强交互业务分类表述。

表 2-1 Cloud VR 不同发展阶段对网络 KPI 的要求

阶段		起步阶段	舒适体验阶段	理想体验阶段
商用开始时间预测		2018年	2019~2020年	2023~2025年
视频全景分辨率		4K~8K	8K~12K	12K~24K
强交互业务内容分辨率（注1）		2K~4K	4K~8K	8K~16K
终端分辨率		2K~4K	4K~8K	8K~16K
视场角		90~110度	120度	120~140度
色深(bit)		8	8	10~12
编码标准		H.264/H.265	H.265	H.265/266
帧率（帧/秒）		30（视频） 50~90（强交互）	30（视频） 90（强交互）	60~120（视频） 120~200（强交互）
VR视频业务	码率	≥40Mbps（4K）	全视角：≥90Mbps/ FOV：≥50Mbps	全视角：≥290Mbps（12K）≥1090Mbps（24K） FOV：≥155Mbps（12K）≥580Mbps（24K）
	带宽要求（注2）	≥60Mbps（4K）	全视角≥140Mbps FOV：≥75Mbps	全视角：≥440Mbps（12K）≥1.6Gbps（24K） FOV：≥230Mbps（12K）≥870M（24K）
	网络RTT建议（注3）	≤20ms	≤20ms	≤20ms
	丢包要求	≤9E-5	≤1.7E-5	≤1.7E-6
VR强交互业务	码率	≥40Mbps	≥90Mbps	≥360Mbps（8K）≥440Mbps（16K）
	带宽要求（注2）	≥80Mbps	≥260Mbps	≥1Gbps（8K）≥1.5Gbps（16K）
	网络RTT要求	≤20ms	≤15ms	≤8ms
	丢包要求	≤1.00E-5	≤1.00E-5	≤1.00E-6

注 1：强交互业务内容为实时渲染生成，没有全景画面，内容分辨率是指需要渲染的画面的分辨率。

注 2：带宽需求按单个 VR 终端用户计算。

注 3：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。

00 起步阶段 Cloud VR 网络解决方案

本章节主要从理论上分析起步阶段 Cloud VR 业务的承载网络部署方案，部分方案还没有在现网中部署。现网已商用部署方案请参考华为 iLab 发布的《Cloud VR 解决方案实践报告》。

3.1 目标网络架构

在 Cloud VR 起步阶段，单路 VR 业务带宽要求为 80Mbps，同时开通 4K IPTV 和上网业务后，用户带宽建议为 VR 80Mbps + 4K IPTV 50Mbps + HSI 100Mbps = 230Mbps 及以上。其中，VR 的投屏业务通过 4K IPTV 通道下载，要求头端对 VR 投屏流量压缩到 4K 视频的带宽水平。如果头端压缩不了投屏流量，则带宽变成 VR 80Mbps + 4K IPTV（含投屏）80Mbps + HSI 100Mbps = 260Mbps。考虑到当前大部分头端对投屏业务没有做压缩，后续统一按 260Mbps 带宽进行计算。

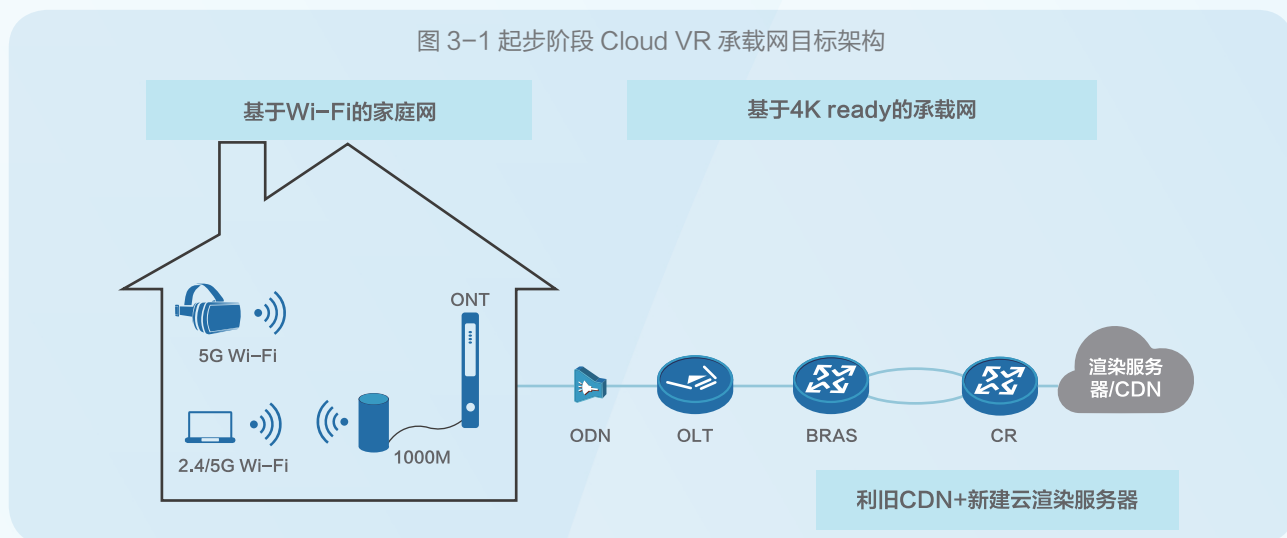
在 Cloud VR 起步阶段，网络 RTT 要求为 20ms，分解到各段网络如下表所示：

表 3-1 Cloud VR 起步阶段时延要求分解

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

Cloud VR 起步阶段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。为此，起步阶段 Cloud VR 网络解决方案核心理念是“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 3-1 起步阶段 Cloud VR 承载网目标架构



- ◆ **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 头盔则要求必须 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。其中重点的则是高性能 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**: 在起步阶段, 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 游戏的内容分发。一般要求 CDN/ 云渲染服务器部署在城域内。

该解决方案可以带来如下好处:

- ◆ **最大程度复用现网资源**: 复用 IP 网络、光网络、FTTH 接入网、CDN 资源等, 按需进行容量升级就可以解决大部分问题。
- ◆ **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。



3.2 家庭网规划设计

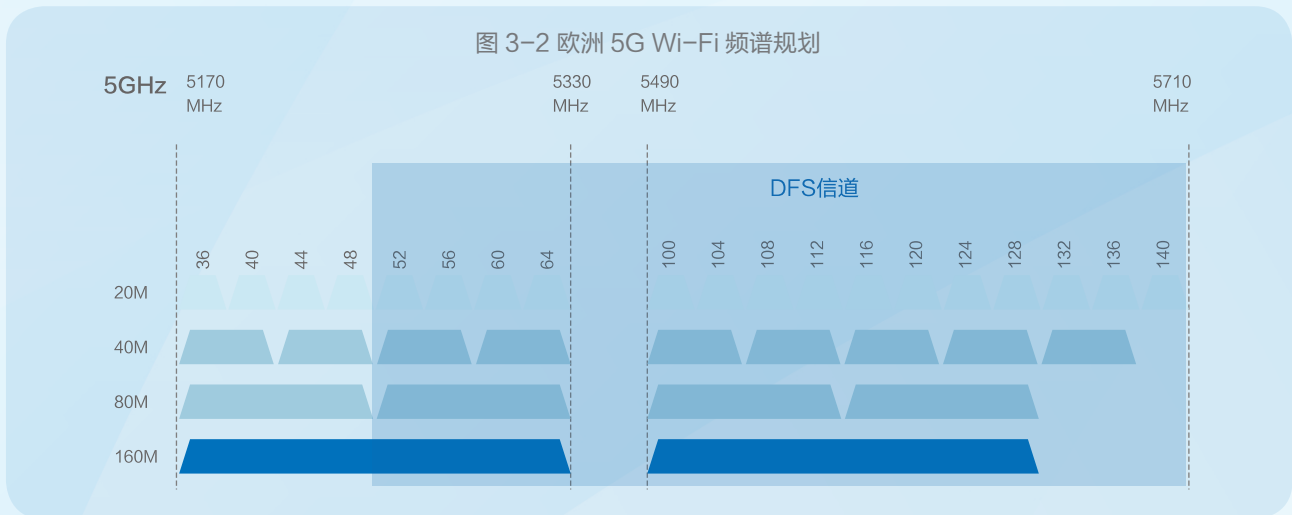
3.2.1 Cloud VR 家庭网面临的挑战

为了保证移动便利性, VR 头盔一般采用 Wi-Fi 无线连接方式, 在进行 Wi-Fi 部署时, 普遍存在三类问题和挑战:

- ◆ **5GHz Wi-Fi 可用信道少, 承载 Cloud VR 时存在规划难题**
- ◆ **现有 Wi-Fi 网关的能力参差不齐**
- ◆ **Cloud VR 如何与现有家庭业务共存而相互不影响**

5G Wi-Fi 可用信道少，存在规划难题

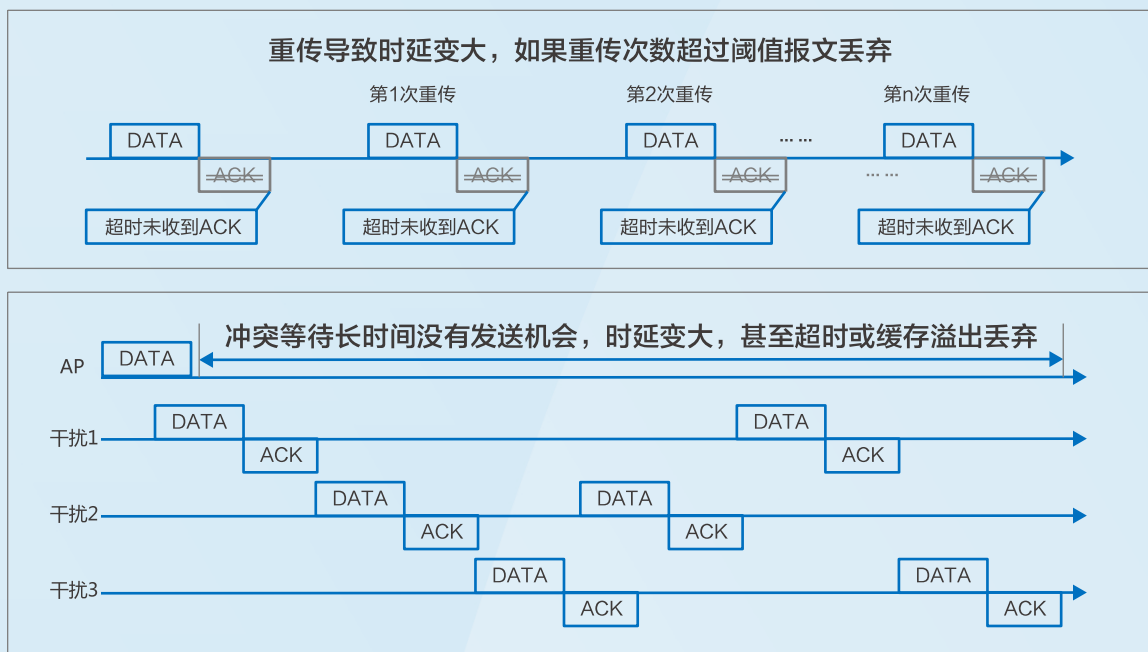
2.4G Hz 频段信道少且相互重叠，按 20MHz 频宽计算也只有 3 个独立信道，总频宽不足 80MHz，难以承载 Cloud VR 业务。5GHz Wi-Fi 理论最大激活速率可达 3466Mbps，比较适合用于承载 Cloud VR。



5G Wi-Fi 频谱分布如上图所示（不同国家不同，以欧洲为例）：20MHz 频谱支持 19 个，40MHz 频谱支持 9 个，80MHz 频谱支持 4 个，160MHz 频谱支持 2 个。其中大部分是 DFS 信道，非 DFS 信道数量很少，在常用的 80MHz 上只有 1 个可用信道。从市场已有的消费级 AP 能力看，为了降低实现复杂度，大部分不支持 DFS 信道，导致家庭网络中的 5G Wi-Fi 集中拥挤在非 DFS 信道中，产生较为严重的干扰。

干扰会引发空口竞争和冲突，报文需要等较长时间才能得到发送机会，或者发送时遇到冲突需要重新发送，使得报文的发送时延变大。如果时延超过设备容忍时长，或者重传次数超过阈值，就会表现为丢包。同时，干扰会导致 Wi-Fi 可用速率变低，如果低于 Cloud VR 所需带宽，就会发生报文队列持续增长的现象，最终溢出丢包。

图 3-3 干扰引发时延和丢包示意图



综上，Cloud VR 在部署时，首先要解决 5G Wi-Fi 的信道如何规划利用的挑战。

现有 Wi-Fi 网关性能能力参差不齐

目前市面上支持 5GHz Wi-Fi 的设备有很多，但价格和性能却参差不齐。根据 iLab 实验室针对几款较为常见的 5GHz Wi-Fi 产品来进行测试发现，不同产品型号对干扰环境的适应程度有较大差异，测试结果如下表所示：

表 3-2 不同型号设备支持的干扰不一样

产品型号	无干扰	两路邻频干扰	同频+邻频干扰	两路同频干扰
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

根据测试结果可以发现：

- ◆ 在无干扰的情况下，5 个型号的设备都能够满足 RTT 时延要求；
- ◆ 存在两路邻频干扰的情况下，4 个型号的设备都能够满足 RTT 时延要求，1 个型号的设备无法满足 RTT 时延要求；
- ◆ 存在 1 路邻频干扰和 1 路同频干扰的情况下，只有 2 个型号的设备都能够满足 RTT 时延要求，3 个型号的设备无法满足 RTT 时延要求；
- ◆ 存在 2 路同频干扰的情况下，只有 1 个型号的设备都能够满足 RTT 时延要求，4 个型号的设备无法满足 RTT 时延要求；

由此可见，Cloud VR 在部署时，选择高性能的 Wi-Fi 产品是关键。

Cloud VR 如何与现有家庭业务共存而相互不影响

Cloud VR 是基于 4K ready 网络增量开通的业务，需要考虑与已有的 4K IPTV 业务、HSI 业务进行共存，避免不同业务间产生冲突干扰。

在 4K Ready 承载网中，由于 IPTV 推荐采用有线方式接入，上网业务采用 Wi-Fi 方式接入，所以核心是如何保证上网业务的 Wi-Fi 不对 Cloud VR 的 Wi-Fi 产生影响。



3.2.2 Cloud VR 家庭网规划建议

为了解决上述挑战，Cloud VR 家庭网 络部署时，需重点考虑如下方面：

- 需选择合适的 Wi-Fi 频宽和信道。需要给 VR 业务选择适合的 5G Wi-Fi 频宽，确保有足够的带宽承载；同时，由于 5G Wi-Fi 信道少，需要运营商对信道进行合理规划。
- 需要定义和选择高性能的 Wi-Fi 网关。
- 需要选择合适的组网形态，确保 Cloud VR 与现有家庭业务共存而相互不影响。

Wi-Fi 建议选择 80MHz 频宽、2*2 MIMO，运营商提供信道规划服务

5GHz Wi-Fi 可选的频宽包括 20MHz、40MHz、80MHz、160MHz 四种选择，不同的频宽支持的速率不一样。考虑到当前市面上大部分 VR 头盔支持 2*2 MIMO，因此后续计算以 2*2 MIMO 为基础进行。下图是 2*2 MIMO 情况下，不同频宽在不同 MCS (Modulation and Coding Scheme) 制式下的最大理论速率。

表 3-3 Wi-Fi 速率表

MCS index ^(a)	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^{(9)(b)}							
				20MHz channels		40MHz channels		80MHz channels		160MHz channels	
				800ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800ns GI	400 ns GI	800ns GI	400 ns GI
0	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
1	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
2	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
3	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120	234	260	468	520
4	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
5	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240	468	520	936	1040
6	2	64-QAM	3/4	117	130.3	243	270	526.5	585	1053	1170
7	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300	585	650	1170	1300
8	2	256-QAM	3/4	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
9	2	256-QAM	5/6	N/A	N/A	360	400	780	866.7	1560	1733.4

实际上，由于 5GHz Wi-Fi 信道少，大规模部署 5GHz Wi-Fi 后，同频干扰可能无法规避。在考虑存在两路同频干扰情况下，Wi-Fi 速率按照 MCS6 制式，考虑 50% 占空比以及 40% 传输损耗后，实际数据速率约为 MCS6 速率 *50%*(1-40%)，即：20M 频宽支持速率为 39Mbps，40M 频宽速率为 81Mbps，80MHz 频宽速率为 175Mbps，160MHz 频宽速率为 350Mbps。考虑到 160MHz 频宽基本没有终端支持，推荐 Cloud VR 使用 80MHz 频宽进行承载。

不同国家的 5GHz 频段规划不一样，5GHz Wi-Fi 可使用的信道数量也不一样。以欧洲为例，当采用 80MHz 频宽时，5G Wi-Fi 只有 4 个信道可供部署。由于信道选择过程复杂，用户很少具备 Wi-Fi 部署的工程能力，建议运营商需要提供上门安装服务，对现场的 Wi-Fi 信道情况进行扫描识别，并基于扫描结果设置合适的 Wi-Fi 信道和合理的 Wi-Fi 网关安装位置。

高性能 Wi-Fi 网关要求：抗干扰能力强，支持雷达信道和千兆端口



为避免低性能 Wi-Fi 网关对 Cloud VR 业务体验造成影响，建议构建高性能 Wi-Fi 网关标准进行产品筛选。根据 iLAB 测试结果，该标准主要包括：

- ◆ 在 2~4 路同频干扰的情况下，支持小于 10ms 的稳定空口传输时延和 80Mbps 以上的稳定空口传输速率。
- ◆ 支持雷达频段设置和雷达自动检测功能。5G 可用信道少，以欧洲为例，5G Wi-Fi 只有 4 个信道可部署，其中 3 个为 DFS 信道。为了避免所有家庭都集中到一个非 DFS 信道上产生大量同频干扰，需要考虑把 DFS 信道也利用起来。对于运行在 DFS 信道的 Wi-Fi 网关，需要支持 DFS 定期检测功能，检测当前信道是否存在雷达干扰，如果检测到干扰，则需要切换到其他信道。
- ◆ 具备 2 个及以上的千兆端口，支持灵活的组网方式，减少线路改造的需求。

Cloud VR 家庭网络部署建议：采用高性能独立 AP 承载 Cloud VR 业务

Cloud VR 是基于 4K ready 网络增量开通的业务，需考虑与现有的 4K IPTV、上网业务共存的问题，IPTV 采用有线方式接入，所以核心问题是如何保障使用 Wi-Fi 接入的上网业务和 Cloud VR 业务互不影响。为了解决此问题，有如下三种部署方案：

- ◆ **方案 1：新增高性能专用 AP 承载 Cloud VR 业务**：VR 业务体验有保障，推荐部署。
- ◆ **方案 2：利旧现网的 ONT/HGW 承载 Cloud VR 业务**：现网 ONT/HGW 只支持一个 5GHz 频段，故 Cloud VR 业务只能和上网业务通过这同一个 5GHz Wi-Fi 频段进行承载，VR 业务体验会受到影响，同时现网 ONT/HGW 性能一般较弱，不支持雷达信道，可用信道少，易产生冲突。**不推荐部署。**
- ◆ **方案 3：将现网 ONT 替换成高性能三频 Wi-Fi ONT (2*5GHz + 1*2.4GHz)**：当前存在大量 ONT 部署在弱电箱的情况，更换 ONT 也无法为 Cloud VR 业务提供 Wi-Fi 接入，并且，当前市面上暂无可用的支持三频 Wi-Fi ONT 产品。**暂不用考虑此方案。**

下面对推荐部署的方案 1 进行详细描述：在具体部署时，根据 ONT 部署位置的差异，选择不同的连接方式，分为 2 个场景：

场景 1：ONT 部署在弱电箱时，AP 存在两种接入方式

ONT 部署在弱电箱时，主要的组网方式是 ONT 通过网线连接客厅的 HGW，上网业务由 HGW 的 5GHz Wi-Fi/2.4GHz Wi-Fi 接入，IPTV 业务接入由 HGW 的 ETH 口接入。部署 Cloud VR 业务时，新增的 AP 可以通过如下两种方式接入：

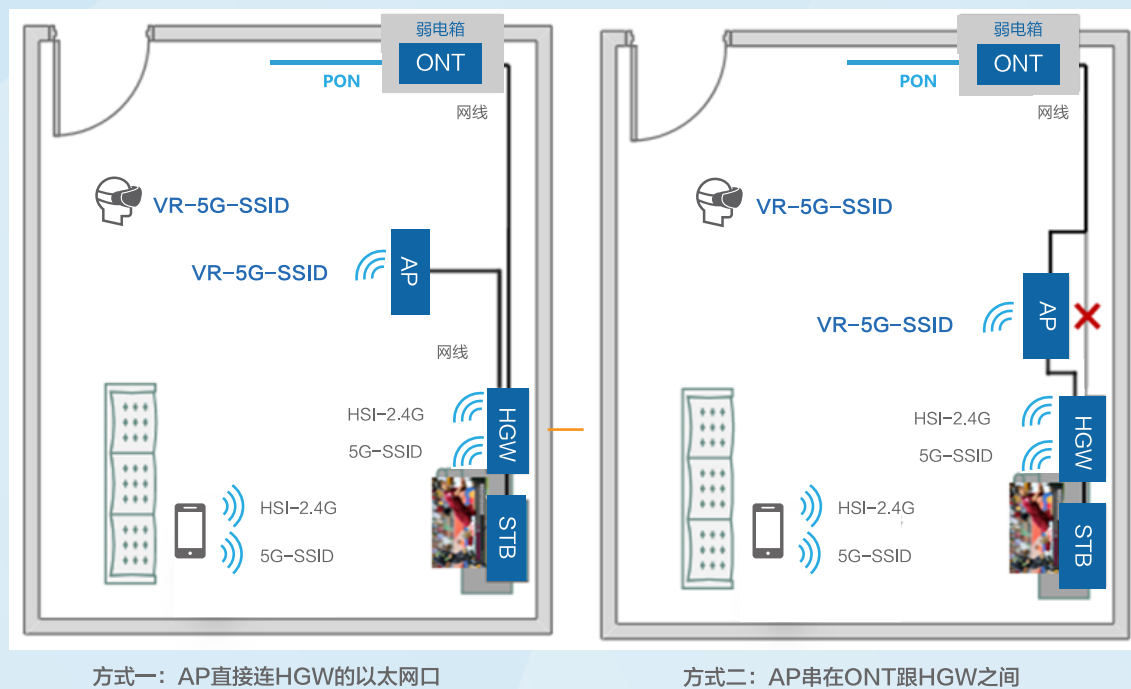
方式 1：AP 通过网线直连 HGW，改造简单，现网千兆 HGW 情况下推荐选用

在该接入方式下，无需改动原家庭组网的连接关系，改造简单。但是 Cloud VR 业务流量先经过 HGW 转发至 AP，对 HGW 的带宽要求较高，在起步阶段，Cloud VR 带宽需求为 80Mbps，可以利用旧千兆 HGW 和百兆 HGW；在舒适体验阶段，Cloud VR 带宽需求为 260Mbps，只能利用旧千兆 HGW，所以此方式比较适合现网千兆 HGW 的情况。

方式 2：AP 串接在 ONT 和 HGW 之间，改造较复杂，现网百兆 HGW 情况下推荐选用

在该接入方式下，需要改动原家庭组网的连接关系，并将 PPPoE 拨号上移至 ONT，改造较复杂。但是，由于新增 AP 负责 Cloud VR 业务的分流，现网 HGW 的流量不变，即使是百兆 HGW 也可利用，所以此方式比较适合现网百兆 HGW 的情况。

图 3-4 新增 Cloud VR 专用 AP 组网示意图（ONT 部署弱电箱）

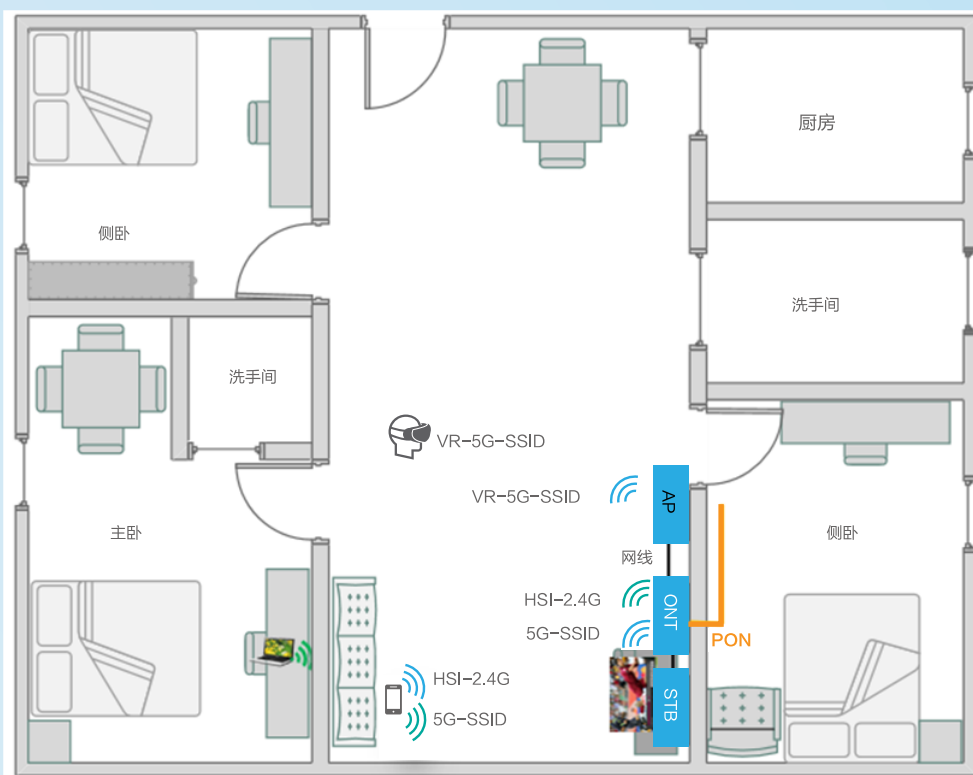


场景 2：ONT 部署在客厅桌面，AP 网线直连 ONT



ONT 部署在客厅桌面时，上网业务由 ONT 的 5G Wi-Fi 和 2.4G Wi-Fi 接入，IPTV 业务接入由 ONT 的 ETH 口接入。部署 Cloud VR 业务时，新增的 Cloud VR 专用 AP 只能通过网线与 ONT 连接。具体布线图如下图所示。

图 3-5 新增 Cloud VR 专用 AP 组网示意图（ONT 部署客厅桌面）



3.3 接入网设计：10G PON 为主，EPON/GPON 受限开通

在起步阶段，分解给接入网的时延要求为 $\leq 2\text{ms}$ ，使得铜线和 Cable 不适合用于承载 Cloud VR，只有 FTTH 一种方案是合适的。

当前主流的 FTTH 制式为 GPON、EPON，正常情况下，时延即可满足起步阶段 VR 的要求，重点需要考察带宽的满足度，分析如下表所示：

表 3-4 FTTH 用户可获得带宽情况

PON	容量	分光比	收敛比	用户可获得带宽	起步阶段VR满足度
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

注：用户可获得带宽 = 容量 / 分光比 / 收敛比

由于 Cloud VR 叠加 4K IPTV 和上网业务的带宽诉求是 **260Mbps 或更高**。因此，不管是 EPON 还是 GPON 都不能大规模开通起步阶段 Cloud VR 业务，只能受限开通少量用户。

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，每用户可获得带宽达到 312Mbps，完全可满足起步阶段 Cloud VR 业务的带宽需求。

EPON 和 GPON 向 10G EPON/10G GPON 演进升级建议如下：

EPON 向 10G EPON 演进：EPON 和 10G EPON 的上行波长重合，可以通过时分复用方式共用同一 ODN；下行波长没有重叠，可以基于波长范围接收对应的波长。因此，EPON 向 10G EPON 演进时 ODN 无需变动，需要增加 10G EPON 单板，将 EPON 用户平滑割接到 10G EPON，原 EPON 的 ONT 可以继续使用，按需替换为 10G EPON 的 ONT。值得注意的是，在混跑的情况下，由于 EPON 和 10G EPON 上行速率不一致，用户的上行带宽规划会比较复杂。

图 3-6 EPON/10G EPON 波长范围

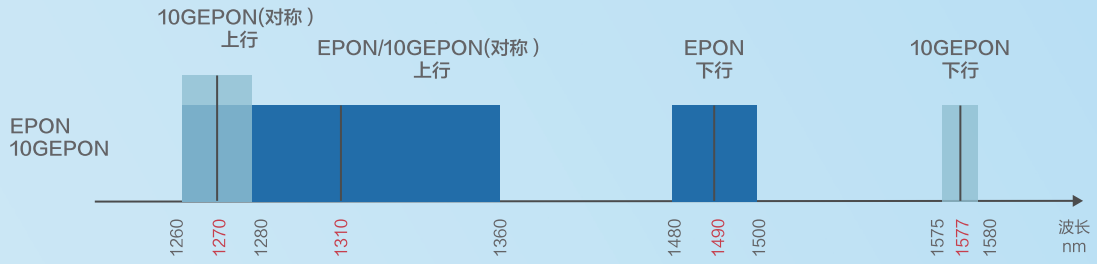
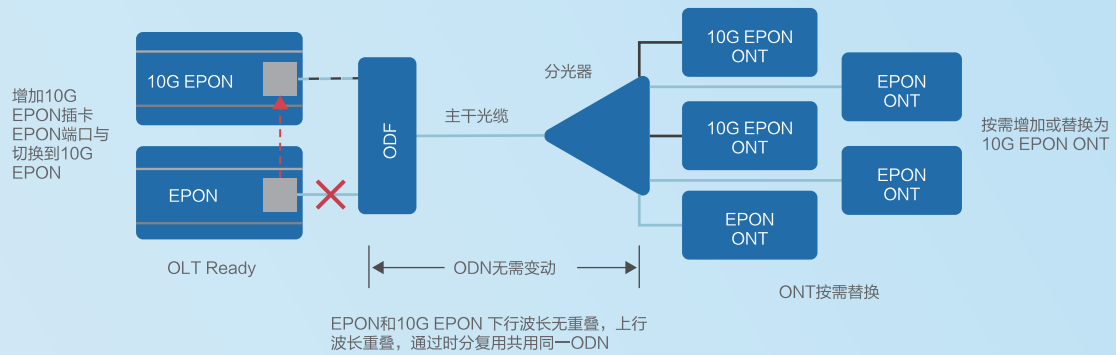
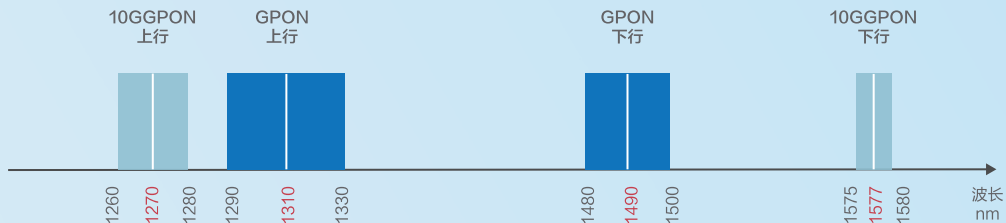


图 3-7 EPON 升级到 10G EPON 部署建议



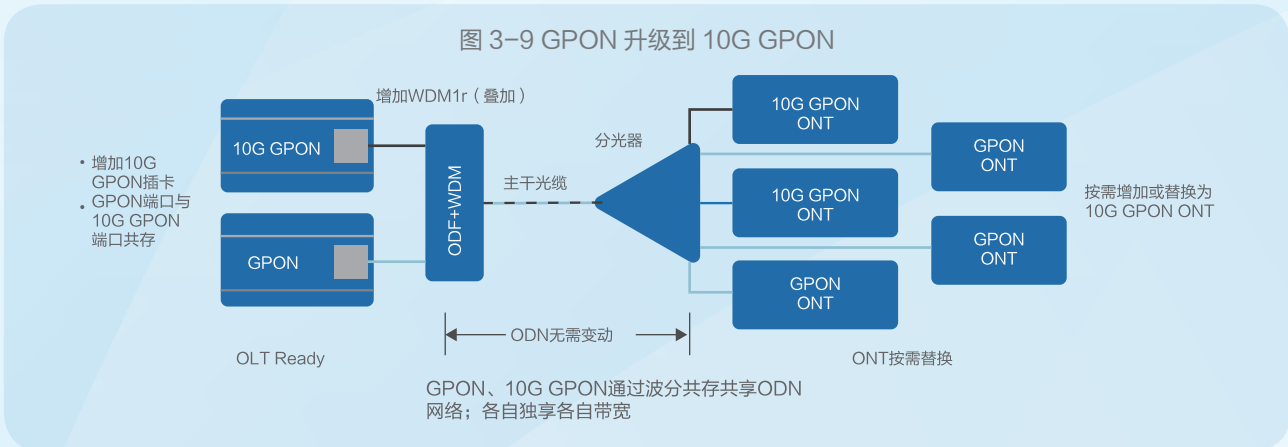
GPON 向 10G GPON 演进: 如下图所示，GPON 和 10G GPON 的上行波长没有重合，可以通过波分复用方式共用同一 ODN，下行波长没有重叠，可以基于波长范围接收对应的波长。由于 GPON 与 10G GPON 相互独立，带宽可以独立规划。

图 3-8 GPON/10G GPON 波长范围



GPON 向 10G GPON 演进存在两种方案，

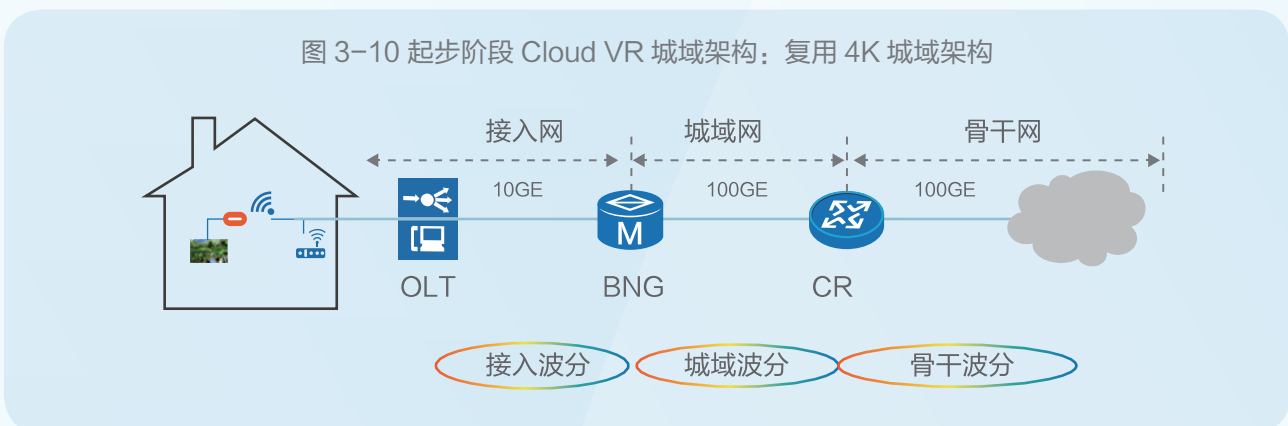
方案一外置 WDM1r 合波器方案：即通过外置 WDM1r 合波器将 10G GPON 口和 GPON 口的波长合波后通过同一主干光纤传输，原 GPON 的 ONT 可以继续使用，按需替换为 10G GPON 的 ONT。由于部署 WDM1r 合波器会引入额外衰耗，对于新部署的 GPON 建议预留 2-3dBm 的光预算，现网已经部署的 PON 口，如果光预算不足，建议通过升级大功率光模块解决。



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。

3.4 城域网规划设计：基于 4K 承载网进行扩容升级

在 Cloud VR 起步阶段，可以复用 4K 网络架构进行业务承载，如下图所示：



与 4K 城域类似，Cloud VR 城域主要包含如下技术措施：

- **网络扁平化，降低无效收敛：** OLT 接入设备应直连城域网网关 BNG，BNG 一跳直达城域核心 CR 设备。
- **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 Cloud VR 要求的负载门限时及时扩容，避免突发引起的拥塞丢包。

在起步阶段，Cloud VR 预计部署规模较小，假设用户渗透率考虑 30% 左右，并发率预计低于 IPTV 的水平（各地水准不同，假设 OLT 为 50%，城域边缘为 20%、城域核心为 10%）。根据上述数据，可以计算得到 Cloud VR 在城域网增加的容量诉求如下：

- ◆ OLT 上行端口容量诉求：OLT 设备用户数（按 1500 用户算）* VR 用户渗透率 30%* 并发率 50%* 起步阶段 VR 码率（按 40Mbps 算）= 9Gbps
- ◆ 城域边缘设备容量诉求：边缘设备用户数（按 2 万用户算）*VR 用户渗透率 30%* 并发率 20%* 起步阶段 VR 码率（按 40Mbps 算）= 48Gbps
- ◆ 城域核心设备容量诉求：边缘设备用户数（按 100 万用户算）*VR 用户渗透率 30%* 并发率 10%* 舒适体验阶段 VR 码率（按 40Mbps 算）= 1.2Tbps

可以看出来，起步阶段 Cloud VR 部署后，对城域网会带来一定的扩容升级诉求，建议要做好相应的扩容规划，避免拥塞影响体验：

- ◆ OLT 上行口建议至少升级到 2*10GE
- ◆ 城域边缘设备至少升级为 2*100GE 上联城域核心
- ◆ 城域核心设备建议升级为 400Gbps/ 槽位或者 Tbps/ 槽位的集群平台

除了带宽之外，城域网的时延要求为 8ms 以内（含 CDN 网络），建议城域设备整体转发时延 <1ms、CDN 网络转发时延 <1ms，剩余 6ms 用于光纤距离和排队缓存产生的时延，要求 CDN/ 云渲染服务器的布放位置在城域内。

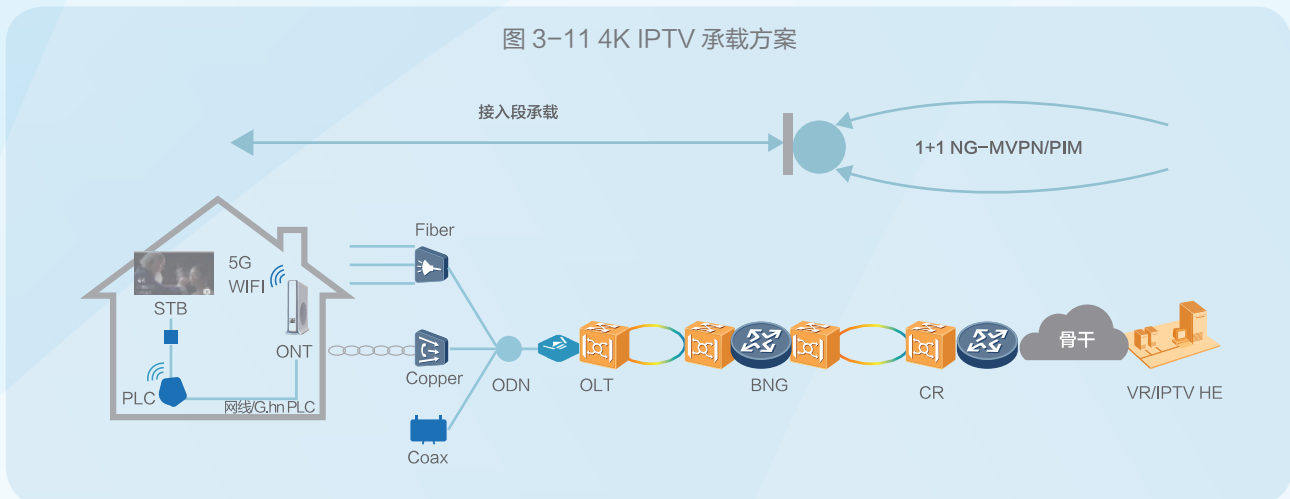


3.5 Cloud VR 承载设计

3.5.1 4K 承载方案现状

Cloud VR 承载网是基于 4K ready 的视频承载网的基础上进行改造和演进的，因此有必要先理清 4K IPTV 承载方案的现状。

图 3-11 4K IPTV 承载方案

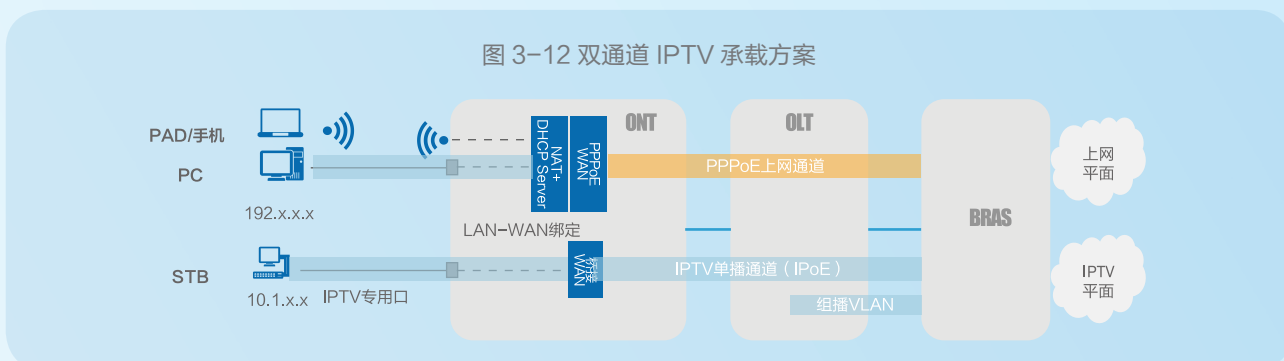


如上图所示，4K IPTV 承载方案分为两部分：

- 城域网的 IPTV 承载：组播主要使用 NG-MVPN、PIM+VPLS 组播技术，这些技术本身已经比较成熟，VR 可以直接共享使用，本白皮书不作赘述。
- 接入段的 IPTV 承载：当前主流方案是基于双通道的方式进行 IPTV 承载，有少量运营商采用了单通道方案。不同的模式下，Cloud VR 的承载方式有不同的选择。

3.5.2 双通道场景 Cloud VR 承载方案

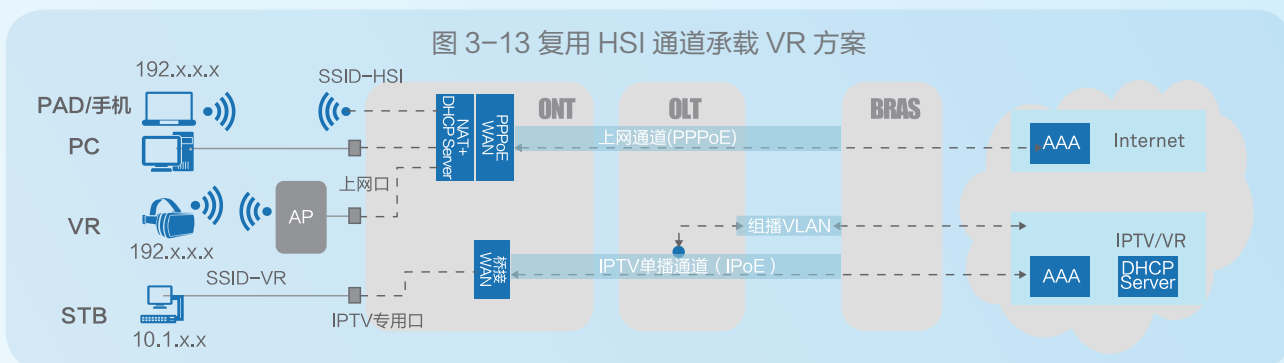
双通道场景下，STB 接入 ONT 的专用 IPTV 端口，进行独立的拨号，使用专用的 IP 地址，这种方案是历史上 IPTV 使用专网承载遗留下来的，当前依然是主流方案。



随着 VR 业务的加入，双通道场景有 3 种可选的承载方案：

方案 1：复用 HSI 通道承载 VR（推荐）

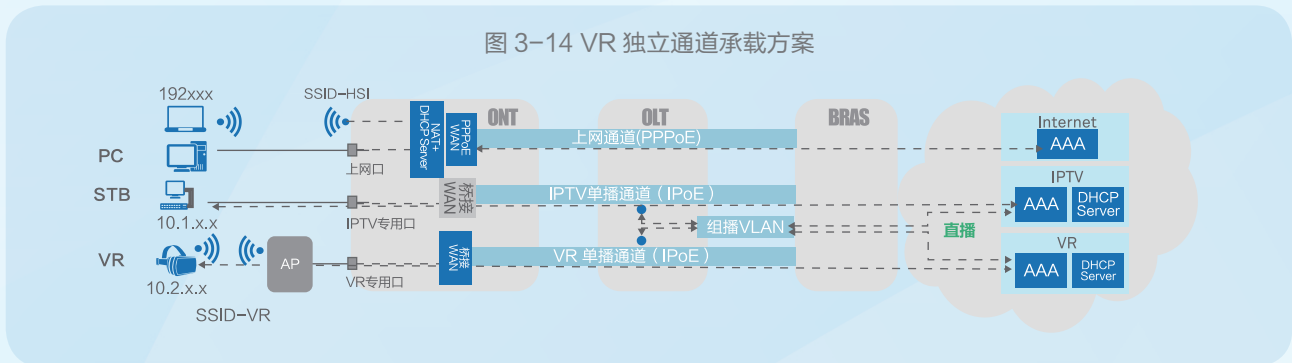
如下图所示：VR 头盔跟其他上网终端一样，从 ONT 获取 IP 地址，复用 PPPoE 上网通道承载。



在本方案下，头盔不需要任何特殊处理即可接入网络，实施起来最为简单，是推荐的部署方案。本方案默认不提供 VR 组播业务，VR 直播通过点播方式下发。如果未来用户数较大，可以将组播分离出来单独推送到 ONT，不影响上述拨号方式。

方案 2: VR 独立通道承载

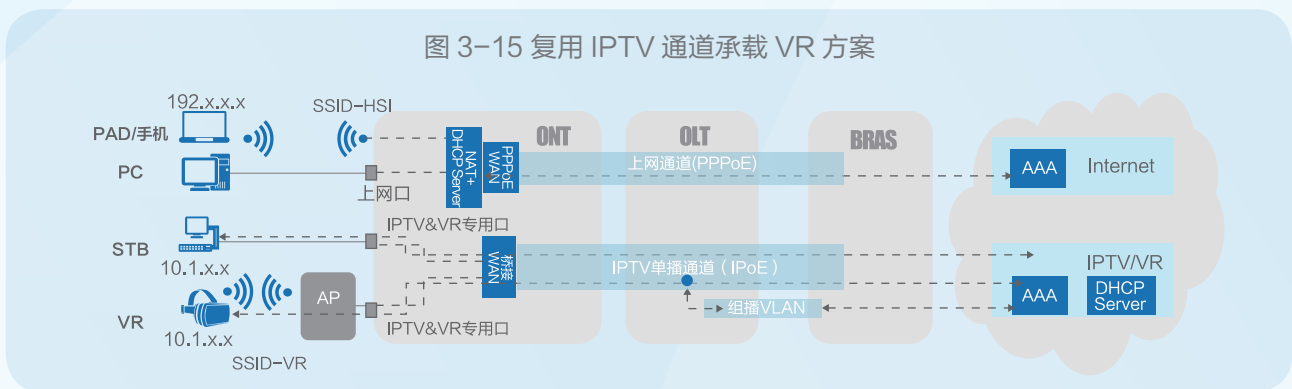
如下图所示: VR 独立通道承载方案在 4K IPTV 承载方案的基础上, 增加一个 IPoE 逻辑通道承载 VR 业务, 此时在 ONT 上需要预留一个 VR AP 专用的端口, 将此端口与独立的 IPoE 通道的桥接 WAN 口进行绑定。



VR 独立通道方案改造涉及从 ONT 到 BRAS 间的规划 VR 专用通道的 VLAN、IP 地址、路由策略, 新增 VR 单播通道认证的 AAA 服务器和 DHCP Server, 此外涉及 OSS 业务下发系统改造, 改造方案比较复杂。不建议使用。

方案 3: 复用 IPTV 通道承载 VR

如下图所示: VR 业务通过 IPTV 通道进行承载, ONT 将 Cloud VR 的专用 AP 接入的专用端口绑定到已有的 IPTV 通道上。VR 头盔与机顶盒一样, 通过 IPTV 通道进行 IPoE 拨号认证。



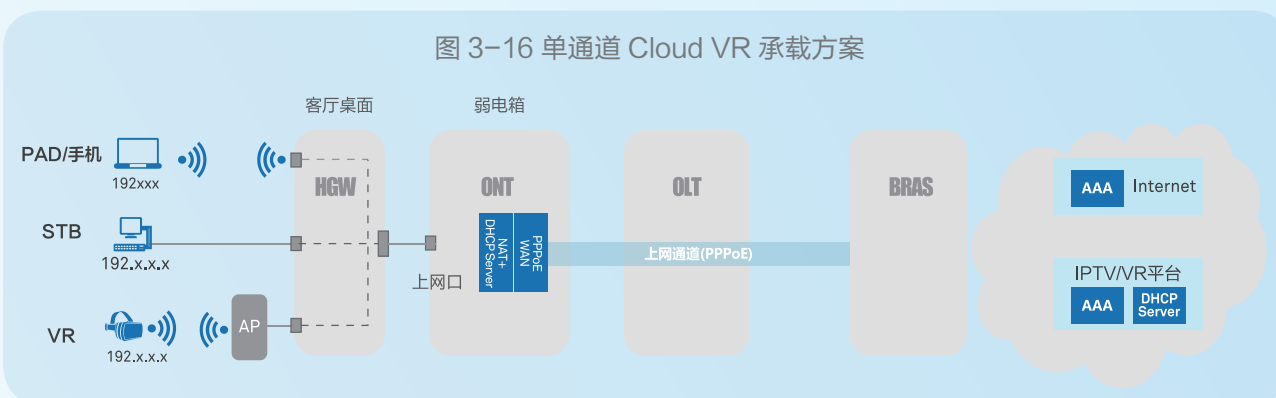
在本方案下, VR 头盔发放时需要在 AAA 添加相应的 IPoE 账号, 在 VR 头盔上线时, 需要头盔支持 DHCP Option60/61 字段进行相应的 IPoE 认证过程, 改造过程同样较为复杂。不建议使用。

3.5.3 单通道场景 Cloud VR 承载方案



单通道场景下，一般 ONT 放在弱电箱，客厅与弱电箱之间的网线用于上网 HGW 连接，导致 STB 没有独立的网线连接到 ONT 的专用 IPTV 口，只能复用 Internet 通道。

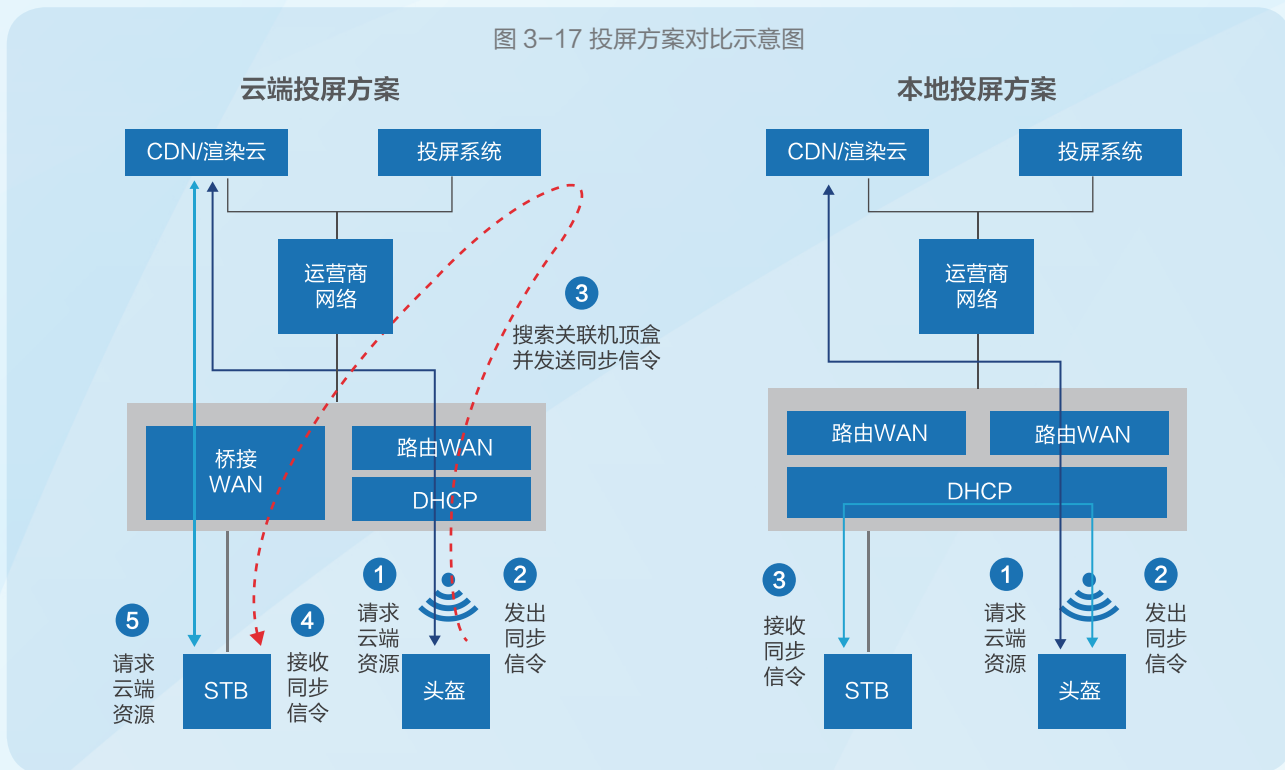
在增加 Cloud VR 头盔和相应的 AP 后，Cloud VR 承载方案也只能是继续沿用单通道进行统一承载，如下图：



3.5.4 投屏承载方案建议

VR 投屏是指“通过特定程序处理将 Cloud VR 用户在终端中观看到的图像画面通过电视屏幕展现出来”的过程，它可以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。为了实现 Cloud VR 投屏，需要头盔、机顶盒、头端等相互传递信令和交互。当前主要有两种 Cloud VR 投屏方案：云端 XMPP 投屏和本地 DLNA 投屏方案，如下图所示：

图 3-17 投屏方案对比示意图



云端（XMPP）投屏方案（推荐）

此方案由 Cloud VR 云端系统同步流量到 IPTV 系统，机顶盒到 IPTV 系统拉取投屏流量。机顶盒的流量与头盔的流量相互独立，网络需要两份带宽。

此方案已经在商用试点使用，相对成熟可靠，建议使用。

本地（DLNA）投屏方案（不推荐）

此方案由头盔与 STB 之间通过 DLNA 传输投屏流量，因为 Wi-Fi AP 与终端需要处理转发两份流量，实测体验效果差，终端功耗大，同时，此方案要求头盔与机顶盒使用相同的地址段（即 Cloud VR 复用 IPTV 通道），现网条件较难满足。

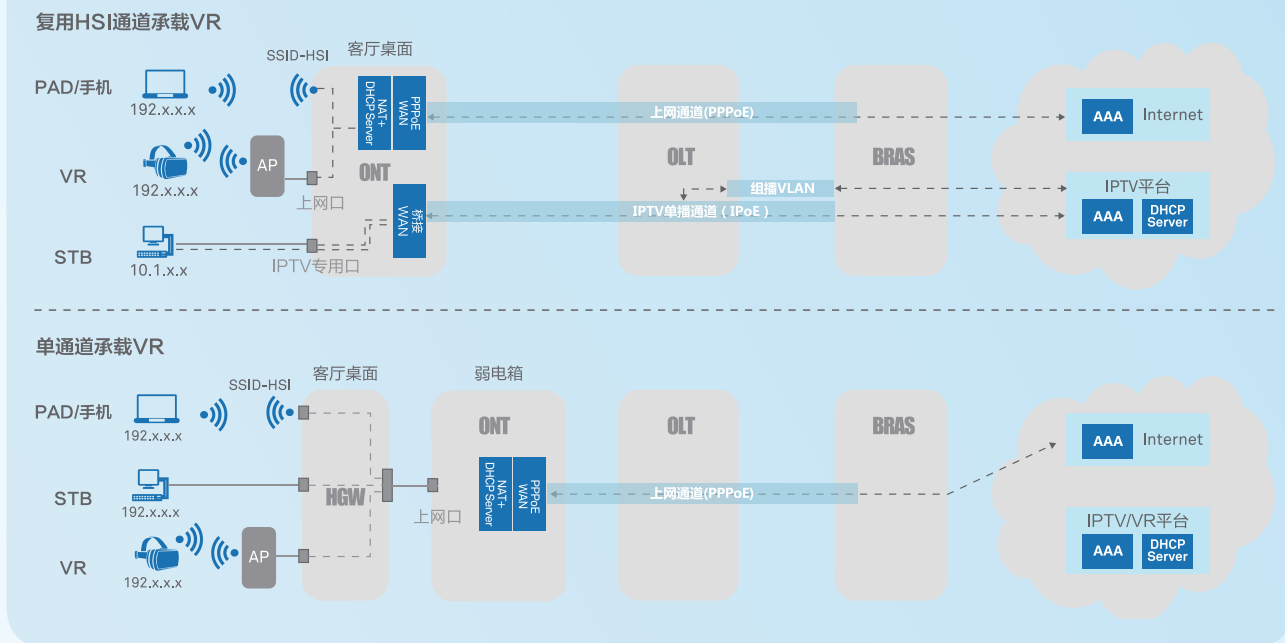
因此，本方案不推荐使用。

3.5.5 Cloud VR 承载方案建议总结



- 在城域网段，由于 Cloud VR 复用 Internet 通道，建议优选 IP 组播 / 单播技术进行 Cloud VR 承载。
- 在接入段，运营商网络一般同时混合存在双通道和单通道承载的情况，不管是双通道还是单通道，均建议 Cloud VR 复用 Internet 通道进行承载，使得 Cloud VR 头盔可以像手机终端一样快速接入网络，不需要特别的网络部署改造。

图 3-18 推荐的 VR 部署方案

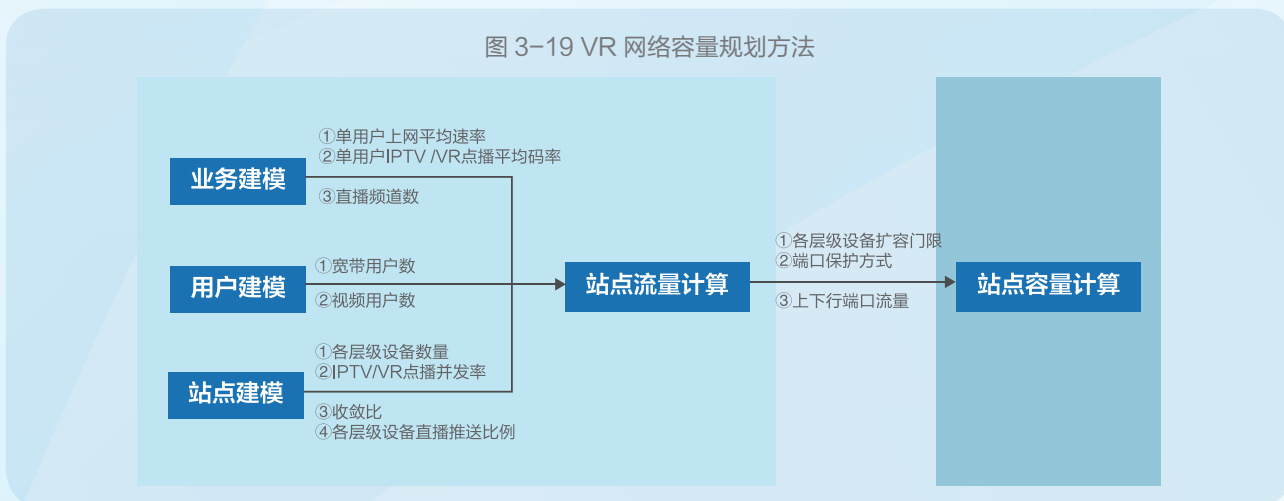


- 在投屏方案上，当前云端投屏方案对 Cloud VR 头盔的认证能力、Wi-Fi 能力、CPU 能力要求低，实际使用效果比本地投屏好，建议选用云端投屏。

3.6 带宽与 QOS 部署设计

3.6.1 带宽规划方法

在对网络进行容量规划时，首先要对业务流量速率、用户数以及站点情况进行建模，基于建模结果可以获得全网以及各个站点的流量预测，最后再叠加端口保护以及链路容量冗余度等，获得相对准确的站点容量要求。容量规划过程如下图所示：



- **业务建模**的目标是获得每用户的平均上网速率、IPTV 点播平均码率、Cloud VR 点播（含游戏）平均码率、IPTV 直播流量、Cloud VR 直播流量等数据，计算方法如下：

平均上网速率 \approx 城域核心设备的出口流量（扣除 IPTV 和 VR 后）/ 下挂用户数。

IPTV 平均点播码率 = \sum IPTV 点播视频码率 * 点播时长占比。如果 4K/ 高清码率的时长占比高则平均点播码率高，如果标清码率的观看时长占比高则平均点播码率低。

Cloud VR 点播（含游戏）码率 = \sum Cloud VR 点播码率 * 使用时长占比。

直播流量总和 = \sum 频道码率 * 频道数，直播频道包括 IPTV 直播频道和 VR 直播频道

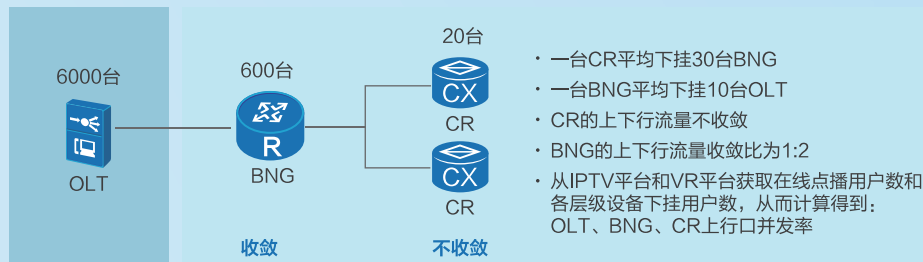
- **用户建模**的目标是获得全网宽带用户数以及视频用户数以及后续的增长目标数据，这部分数据通常由运营商的市场部门根据已有数据叠加商业发展目标做出判断。用户建模的结果通常如下表所示：

表 3-5 用户建模结果

用户数\年份	2017	2018	2019	2020
宽带用户数	10000000	11000000	12000000	12500000
IPTV视频渗透率	50%	60%	80%	100%
IPTV视频用户数	5000000	6600000	9600000	12500000
Cloud VR渗透率	-	1%	5%	10%
Cloud VR用户数	-	110000	550000	1100000

- **站点建模**的主要目标是定义站点拓扑、站点数量、站点并发率和收敛比等信息，为后续计算站点容量做准备。站点建模一般涉及的信息如下图所示：

图 3-20 站点建模示意图



经过上述的业务建模、用户建模和站点建模后，就可以推导计算站点的容量需求了，一般计算过程如下：

- 站点上网流量 = 站点下挂宽带用户数 * 设备每用户平均上网速率；
- 站点 IPTV 点播流量 = 站点 IPTV 点播并发用户数 * 点播用户平均码率；
- 站点 Cloud VR 点播（含游戏）流量 = 站点 Cloud VR 点播并发用户数 * Cloud VR 平均码率；
- 站点直播流量 = 直播流量总和（含 VR 直播）* 设备的直播频道推送比例；
- 站点经过的流量大小 = 站点上网流量 + 站点 IPTV 点播流量 + 站点 Cloud VR 点播（含游戏）流量 + 站点直播流量

根据站点流量大小，结合网络拓扑，可进一步估算出站点的设备端口诉求。

3.6.2 QoS 部署建议

由于不同的业务对网络要求不一样，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：

- ◆ IPTV 直播 /VR 直播业务：对丢包敏感，影响用户面广，需要高优先级保证
- ◆ VR 游戏：强交互的 VR 游戏，对时延比较敏感，需要高优先级保证
- ◆ IPTV/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：保证一个基本带宽，尽力转发

表 3-6 视频业务优先级分配建议

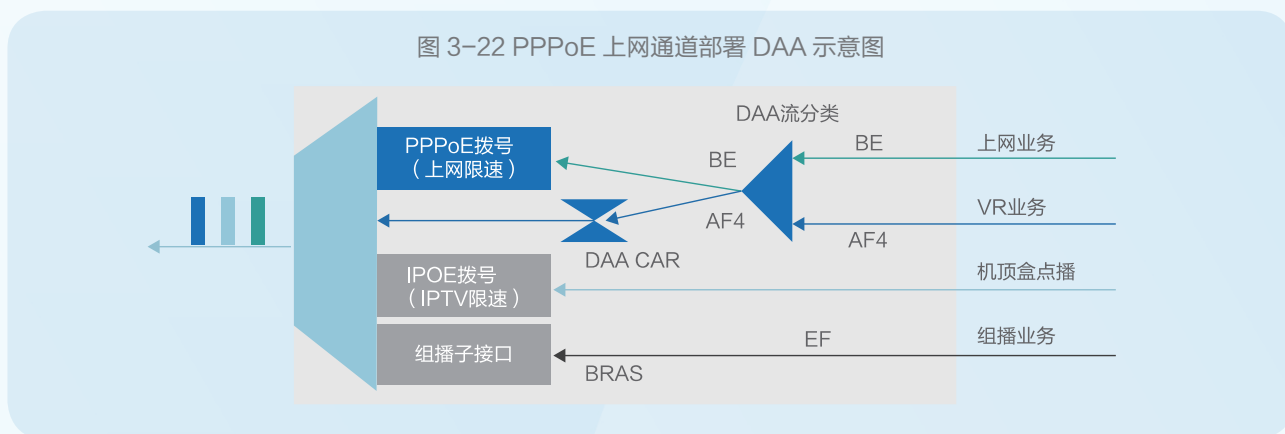
Services	802.1P	DSCP	EXP	Wi-Fi WMM
IPTV直播/VR直播/VR游戏	5	101110 (EF)	5	AC_VI
IPTV点播/VR点播	4	100010(AF4)	4	AC_VI
HSI	0	000000 (BE)	0	AC_BE

有了优先级定义后，需要网络节点执行相应的动作才能使得 QoS 生效。QoS 动作包括 Remark 优先级、CAR/Shaping、Schedule 三种，不同的网络节点需要部署三种动作的一种到多种（如上图所示），典型的部署规则如下：



- **Remark 优先级部署：**一般上行在 ONT 基于不同端口或者 DHCP 报文特征来识别 IPTV 流量并进行优先级 remark，下行在 CR 基于 IPTV 或者 VR 地址段或者端口 +VLAN 来识别对应业务进行优先级 remark。
- **CAR/Shaping 限速：**一般在 BRAS 对用户上下行进行按套餐设定的限速，可以使用 CAR 或者 shaping 方式。CAR 限速不使用缓存，没有调度过程，不会引入排队时延，但突发会被透传到下游，适用于下游设备缓存较大的场景；Shaping 通过队列对用户流量进行整形，流量的突发会被平抑到 10ms 级别，对下游的冲击会比较小，整形过程会引入时延抖动，适用于下游设备缓存较小的场景。在 Cloud VR 场景中，建议选用 CAR 方式，减少 shaping 引入的时延抖动。

在 Cloud VR 的部署中，由于推荐 VR 业务复用 Internet 通道，为了避免 VR 业务因为 Internet 套餐限速而产生影响，建议部署 DAA 把 VR 业务分离出来单独限速。如下图所示，组播业务通过独立子接口承载，不限速；机顶盒点播业务通过 IPoE 拨号限速，上网业务和 VR 业务通过同一 PPPoE 拨号承载，上网业务通过 PPPoE 拨号进行限速，通过在 PPPoE 上网通道部署 DAA，将 VR 业务分离出来采用 DAA CAR 单独限速，防止上网业务对 VR 业务的冲击。



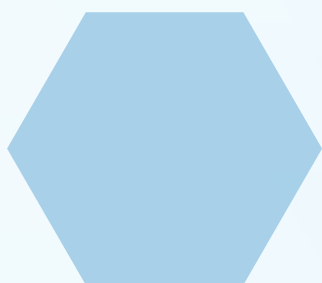
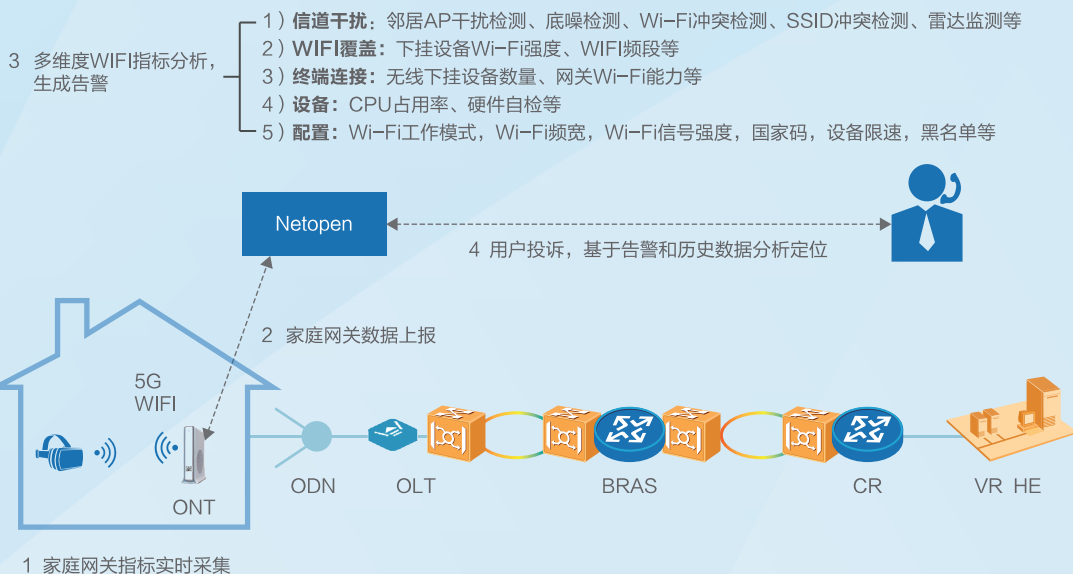
- **Schedule 部署**：Schedule 部署的核心目标是优先保证 VR 和 IPTV 流量，同时不至于“饿死” HSI 业务，不同的网络节点可以使用稍微不同的 Schedule 策略。
 - 城域网设备：由于存在众多业务，城域网一般采用 SP+WFQ 调度模式。其中：语音、管理业务、直播等小流量重要性高的业务一般采用 SP 调度模式；视频、企业业务、HSI 等业务则采用 WFQ 调度模式。WFQ 的队列权重非常关键，需要根据各业务的流量大小进行设置。举例：假设某站点组播流量 0.7Gbps、点播流量 2.5Gbps，且两个设备间使用 2*10GE 捆绑，则组播流量占比为 3.5%，点播流量占比 12.5%。实际考虑到端口聚合 hash 不均匀以及部分突发因素，建议实际组播队列权重配置为 10% 或以上，点播队列权重为 25% 或以上。
 - 接入 OLT：如果 OLT 涉及业务很多，则与城域网一样进行 SP+WFQ 的调度规划。如果 OLT 仅涉及宽带业务，也可以仅使用默认的 SP 调度，避免复杂的规划部署。对于 PON 口而言，由于它按分光比规划，预留带宽比较充足，即使使用 SP 调度，也极低概率出现上网流量被视频冲击导致“饿死”现象。对于 OLT 上行口而言，视频上行流量很小，也极难出现上网流量被视频冲击导致“饿死”现象。
 - Wi-Fi 空口：如果视频业务和普通上网业务共享 Wi-Fi 信道，建议使用 Wi-Fi 标准的 WMM 机制对视频进行优先抢占无线信道，确保视频流量优先转发。



3.7 Cloud VR 体验保障方案

当前 Cloud VR 的运维体系尚未构建完整，如何进行 Cloud VR 的运维还是一个难题。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，所以短期内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 3-23 Wi-Fi Sense 体验保障



1. 家庭网关通过 PPPoE 上网通道从 BRAS 获取 IP 地址后，通过该域名向 Netopen 注册。
2. 家庭网关集成指标采集插件，多维度实时采集家庭网络的指标上报为 Netopen，如上图所示，家庭网关周期性监控邻居 Wi-Fi 信息、家庭拓扑、下挂设备、下挂设备信号强度、下挂设备下载速率等关键信息，周期性上报给 Netopen。
3. Netopen 收到家庭网关上报的数据后，基于信道干扰、Wi-Fi 覆盖、终端连接、设备、配置等维度分析，对可能影响体验的因素生成告警信息，同时生成历史数据报表。

运营商收到用户的 VR 体验投诉后，可以通过 Netopen 先判断家庭网络拓扑、VR 头盔 Wi-Fi 强度、协商速率等终端指标，先分析是否由于 VR 头盔移动引入的问题，再判断信道的信道干扰、配置、设备等多维度综合分析引起 VR 体验质差原因。

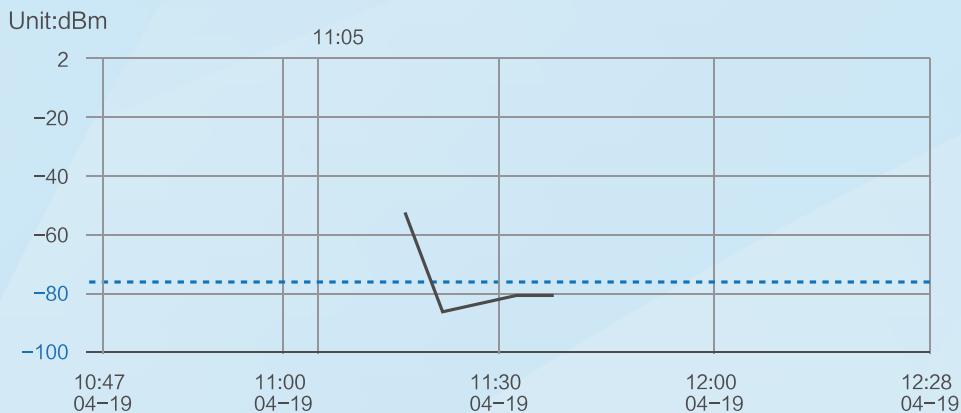
如下图，通过 Wi-Fi 终端的信号强度和协商速率的历史曲线，发现终端的 Wi-Fi 由于信号强度减弱导致的协商速率下降，从而导致 VR 体验劣化。



图 3-24 终端 Wi-Fi 信号强度弱导致 VR 质差示意图

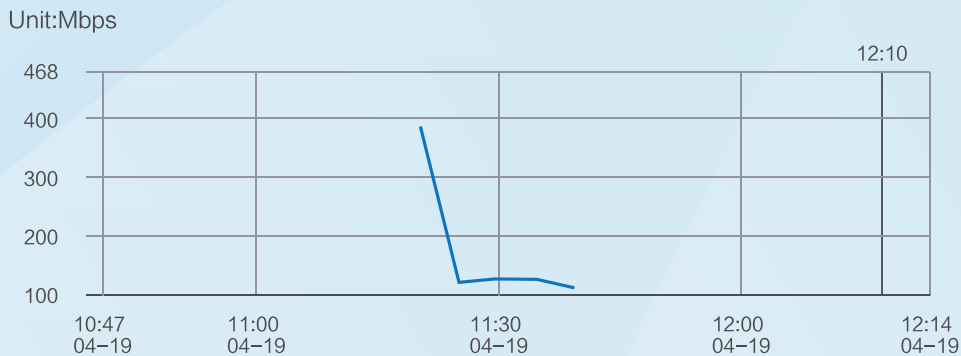
Coverage | Signal Strength of Downlink Wireless Devices

● zhangy..0B8D ● A02C364B48AC ● 007A85600BDC ● MIX-Mi..51B7 ● W00258..15B7 ● 381DD9F



Negotiated of Connected Devices

Negotiated Send Rate: ● hitpl..76D5 ● iphone..6088 ● W00258..15B7
 Negotiated Receive Rate: ○ hitpl..76D5 ○ iphone..6088 ○ W00258..15B7



对于非信号强度和协商速率导致的视频质量下降，同频干扰是可能性较大的原因之一。如下图，当发现严重干扰时，Netopen 通过告警通报信道出现劣化，可人工重选 Wi-Fi 信道进行调优。

图 3-25 Wi-Fi 信道干扰弱导致 VR 质差示意图



! There is heavy interference traffic in 2.4G band for the gateway. Click Reselect Channel.

Reselect Channel

! The gateway has too many neighbor APs in 2.4G band. Neighbor APs score 8, which is below 60. Click Reselect Channel.

Reselect Channel

04 舒适体验阶段 Cloud VR 网络设想



本章节主要从理论上分析舒适体验阶段 Cloud VR 业务的承载网络部署方案，当前尚未有实际商用案例，仅做理论探讨。

4.1 目标网络架构设想

在 Cloud VR 舒适体验阶段，单路 VR 业务带宽要求为 260Mbps，同时开通 4K IPTV 和上网业务后，用户带宽建议 VR 260Mbps + 4K IPTV 50Mbps + HSI 100Mbps = 400Mbps。其中，VR 的投屏业务通过 4K IPTV 通道下载，要求头端对 VR 投屏流量压缩到 4K 视频的带宽水平。如果头端压缩不了投屏流量，则带宽变成 VR 260Mbps + 4K IPTV（含投屏）260Mbps + HSI 100Mbps = 620Mbps。在未来，我们认为大部分头端可以对投屏业务进行压缩，后续统一按 400Mbps 带宽进行计算。

在 Cloud VR 舒适体验阶段，网络 RTT 要求为 15ms，分解到各段网络如下表所示：

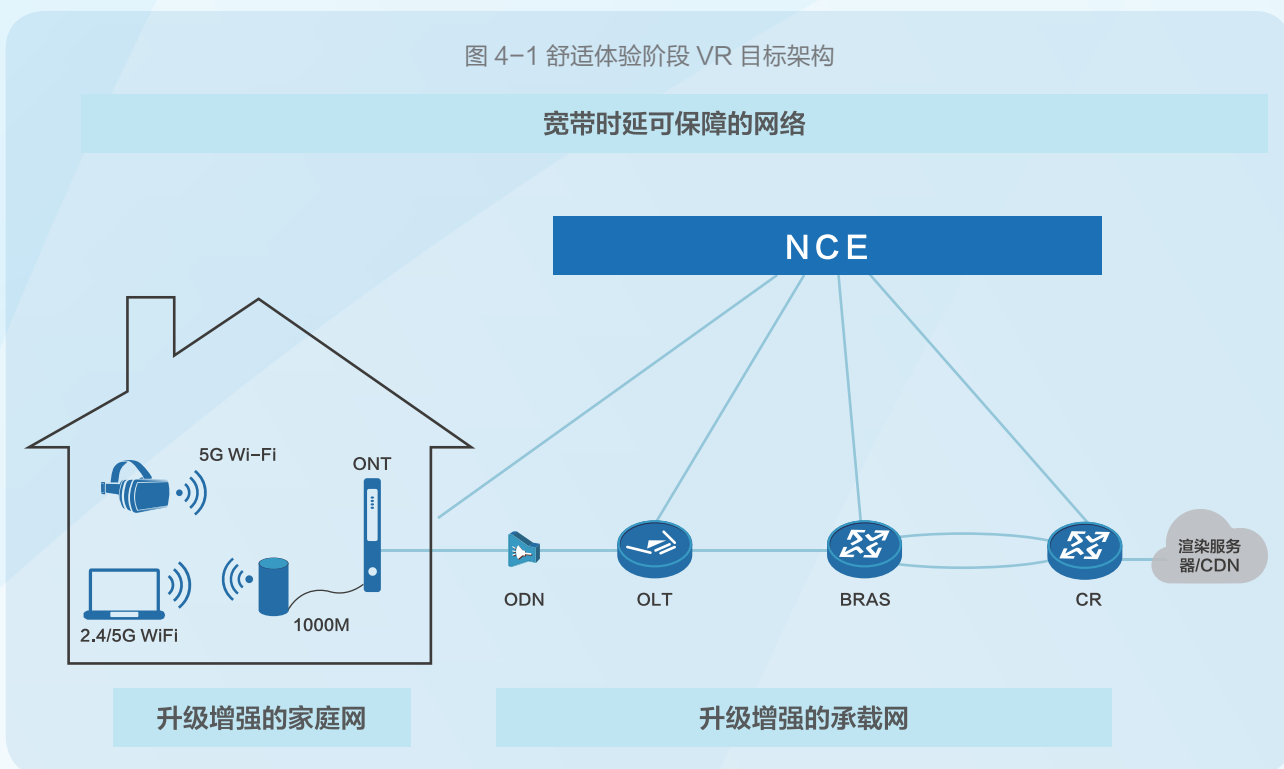
表 4-1 Cloud VR 舒适体验阶段时延要求分解

端到端网络RTT	家庭Wi-Fi	固定接入网	城域承载
≤ 15 ms	≤ 7ms	≤ 2ms	≤ 6ms

在这个阶段，Cloud VR 业务带宽和时延的要求都变得比较高，需要进一步升级增强 Wi-Fi 接入技术、承载网技术，同时考虑构建一种新的网络架构，实现带宽时延的双重保障。

基于此，舒适体验阶段 Cloud VR 解决方案核心理念是“升级增强的家庭网 / 承载网” + “带宽时延可保障的网络”，如下图所示：

图 4-1 舒适体验阶段 VR 目标架构



- ◆ 升级增强的家庭网：家庭组网上，建议与起步阶段一样使用独立 AP，但 Wi-Fi 能力需要升级，速率达到 >260Mbps 和时延达到 <7ms 的目标。
- ◆ 升级增强的承载网：接入全面部署 10G PON，城域网演进到 N*100Gbps/Tbps 容量，云渲染服务器适当下移。
- ◆ 时延带宽可保障的网络：引入带宽时延可保障的理念进行网络重构。

4.2 家庭网方案设想

在舒适体验阶段，建议继续沿用起步阶段的组网方式，采用独立高性能 AP 承载 Cloud VR 业务，但 Wi-Fi 性能需达到 >260Mbps 速率和 <7ms 时延的要求，需要升级为 802.11ac 4*4 MIMO 或 802.11ax 技术。

4.2.1 802.11ac 4*4 MIMO

在 Cloud VR 起步阶段，5GHz Wi-Fi 采用 80MHz 频宽，家庭 5G Wi-Fi 考虑存在两路弱干扰，VR 头盔支持 2*2 MIMO，Wi-Fi 速率按照 MCS6 制式的速率，考虑 50% 占空比以及 40% 传输损耗，80MHz 频宽速率为 175Mbps。

在舒适体验阶段，AP 和 VR 头盔可以通过支持更高的空间流来提升带宽，如下图所示：

- ◆ 如果采用 3*3 MIMO，考虑一定干扰劣化时，连接速率为 MCS5 等级，实际可获得速率为 780Mbps*50% 占空比 *60% 效率 = 234Mbps，承载舒适体验阶段 VR 存在风险。
- ◆ 如果采用 4*4 MIMO，考虑一定干扰劣化时，连接速率为 MCS5 等级，实际可获得速率为 1040Mbps*50% 占空比 *60% 效率 = 312Mbps，能够满足舒适体验阶段 VR 的要求。

因此，建议 AP 和 VR 头盔可以通过升级支持 4*4 MIMO 来满足舒适体验阶段 VR 诉求。

表 4-2 802.11ac 3*3MIMO&4*4MIMO 对应的 Wi-Fi 速率表

MCS index ^[a]	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^{[9][b]}							
				20MHz channels		40MHz channels		80MHz channels		160MHz channels	
				800ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800ns GI	400 ns GI	800ns GI	400 ns GI
5	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
6	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405	N/A	N/A	1579.5	1755
7	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450	877.5	975	1755	1950
8	3	256-QAM	3/4	234	260	486	540	1053	1170	2106	2340
9	3	256-QAM	5/6	260	288.9	540	600	1170	1300	2340	2600
5	4	64-QAM	2/3	208	231.2	432	480	936	1040	1872	2080
6	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540	1053.2	1170	2106	2340
7	4	64-QAM	5/6	260	288.8	540	600	1170	1300	2340	2600
8	4	256-QAM	3/4	312	346.8	648	720	1404	1560	2808	3120
9	4	256-QAM	5/6	N/A	N/A	720	800	1560	1733.2	3120	3466.8

4.2.2 802.11ax 技术

802.11ax 标准是基于 5G Wi-Fi 标准 802.11ac 的改进，它相比 802.11ac 主要在几个方面做了改进：

- (1) 引入 OFDMA 可提升同一信道带宽的利用效率。
- (2) 引入 1024QAM，物理速率可提升接近 40%。
- (3) 子载波载波数是 802.11ac 的 4 倍，可以覆盖更远的范围。
- (4) 支持上行 MU-MIMO 可增加空口效率，为多用户场景提供了更好的传输效率。

802.11ax 最大可实现 10Gbps 理想空口速率，去除开销、信号衰减等导致的带宽损失，实际数据速率可以达到舒适体验阶段和理想体验阶段 VR 的要求。当前 802.11ax 标准已成熟，但支持的产品较少。

4.3 接入网技术要求

在舒适体验阶段，Cloud VR 与 IPTV、HSI 业务接入带宽共计需要 400Mbps。在前一章节已分析得知 EPON/GPON 不适合用于大规模开展起步阶段 Cloud VR 业务，因此更不适合用于大规模开展舒适体验阶段 Cloud VR 业务，只建议考虑 10G EPON/GPON。

如下表所示，10G EPON/GPON 在 1:64 情况下无法达到 400Mbps 带宽，需要控制用户的实际安装数量，但在 1:32 情况下可以达到舒适体验阶段 Cloud VR 业务带宽诉求。

PON	容量	分光比	收敛比	用户可获得带宽	舒适体验阶段VR满足度
10G EPON/GPON	10Gbps	1:64	50%	312 Mbps	不满足（受限）
		1:32	50%	625 Mbps	满足

4.4 城域网技术要求

在舒适体验阶段，Cloud VR 业务预计会得到大规模部署，用户渗透率考虑至少 50% 以上，并发率至少达到 IPTV 的水平（各地水准不同，假设 OLT 为 50%，城域边缘为 30%、城域核心为 20%）。



根据上述数据，可以计算得到 Cloud VR 在城域网增加的容量诉求为：

- ◆ OLT 上行端口容量诉求：OLT 设备用户数（按 1500 用户算）* VR 用户渗透率 50%* 并发率 50%* 起步阶段 VR 码率（按 90Mbps 算）= 33.75Gbps
- ◆ 城域边缘设备容量诉求：边缘设备用户数（按 2 万用户算）*VR 用户渗透率 50%* 并发率 30%* 舒适体验阶段 VR 码率（按 90Mbps 算）= 270Gbps
- ◆ 城域核心设备容量诉求：核心设备用户数（按 100 万用户算）*VR 用户渗透率 50%* 并发率 20%* 舒适体验阶段 VR 码率（按 90Mbps 算）= 9Tbps

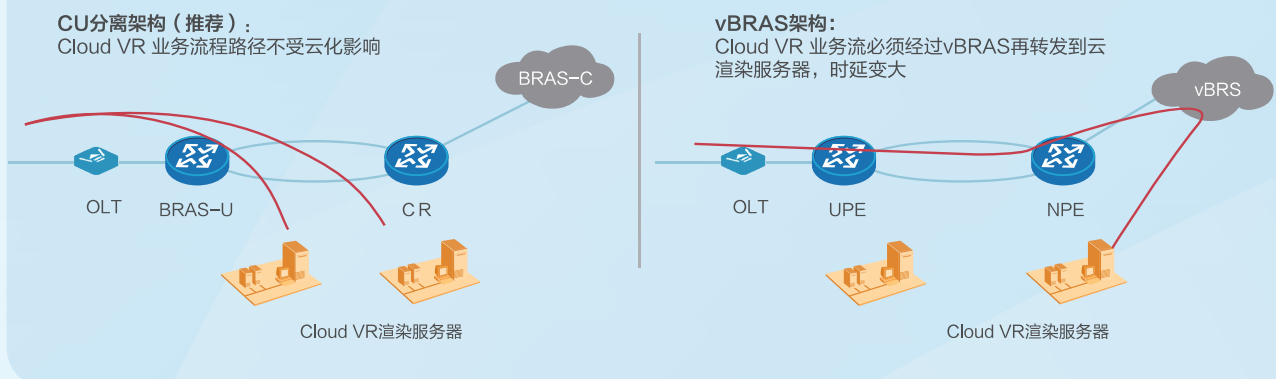
因此，舒适体验阶段 Cloud VR 大规模部署后，对城域网的容量诉求是非常巨大的，需要更高速率和集成度的单板 / 设备：

- ◆ OLT 上行口建议至少升级到 4*10GE，有条件的可以考虑直接升级到 2*100GE
- ◆ 城域边缘设备至少升级为 4*100GE 上联城域核心
- ◆ 城域核心设备建议升级为 Tbps/ 槽位的集群平台

除了带宽之外，城域网的时延要求压缩到 6ms 以内（含 CDN 网络），建议城域设备整体转发时延 <1ms、CDN 网络转发时延 <1ms，剩余 4ms 用于光纤距离和排队缓存产生的时延，要求 CDN/ 云渲染服务器的布放在城域以内。

在该阶段，城域网的云化架构已逐步开始部署，为了降低转发时延，建议云化架构采用 CU 分离（即控制面云化，转发面继续采用物理设备）的方式，不建议采用全软化的 vBRAS 方式。

图 4-2 城域网 CU 分离的云化架构更适合 Cloud VR 承载

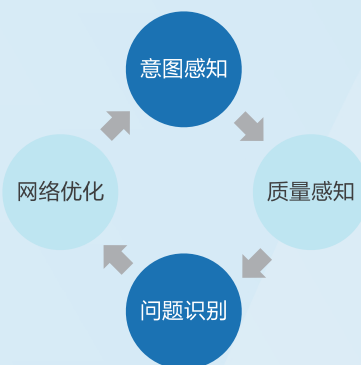


4.5 带宽时延可保障方案设想

带宽可保障主要通过传统的 Wi-Fi/PON 升级以及城域网扩容等方式实现。时延可保障则是一个新的课题，当前尚未有成熟的架构和商用方案。下面仅对方案诉求和部分内涵进行探讨。

理论上，带宽时延可保障的网络有四个诉求，如下图所示：

图 4-3 带宽时延可保障的网络诉求



- ◆ **意图感知：** 由于网络中同时存在多种业务，重要性和所需的 SLA 诉求并不相同，为了实现 Cloud VR 的最佳保障，需要基于意图感知来识别 Cloud VR 业务并理解其 SLA 诉求。
- ◆ **质量感知：** 质量感知诉求是测量和评估 Cloud VR 的业务质量及相应的网络质量，形成相应的数据库，为后续的问题识别、问题优化提供输入来源。
- ◆ **问题识别：** 基于质量感知所采集的数据，可以使用大数据技术、AI 技术进行问题归类分析，找出网络的瓶颈点。
- ◆ **网络优化：** 对于网络瓶颈点，实施自动化 / 人工的优化措施，使得网络始终处于 Cloud VR 最佳承载状态。比如，对于 Wi-Fi 瓶颈，可以通过自动化的信道调优等技术进行速率提升。对于网络容量不足问题，则需要通过人工扩容的方式解决问题。

网络优化除了上述工程方法外，还可能通过一些技术手段提升产品能力，降低 Cloud VR 的带宽消耗和时延要求。包括但不限于：低时延 Wi-Fi、降低投屏代理带宽消耗、直播使用 FOV 等。

05 理想体验阶段 Cloud VR 网络展望



随着 VR 头戴显示终端的屏幕分辨率、芯片性能等硬件性能的提升，以及 VR 内容的质量的提高，VR 视频会逐渐向理想体验阶段（全视角 12K、24K）演进，带宽诉求达到 1Gbps 以上，网络 RTT 要求 $\leq 8\text{ms}$ ，分解到各段网络如下表所示：

表 5-1 Cloud VR 理想体验阶段时延要求分解

端到端网络RTT	家庭Wi-Fi	固定接入网	城域承载
$\leq 8\text{ms}$	$\leq 5\text{ms}$	$\leq 2\text{ms}$	$\leq 1\text{ms}$

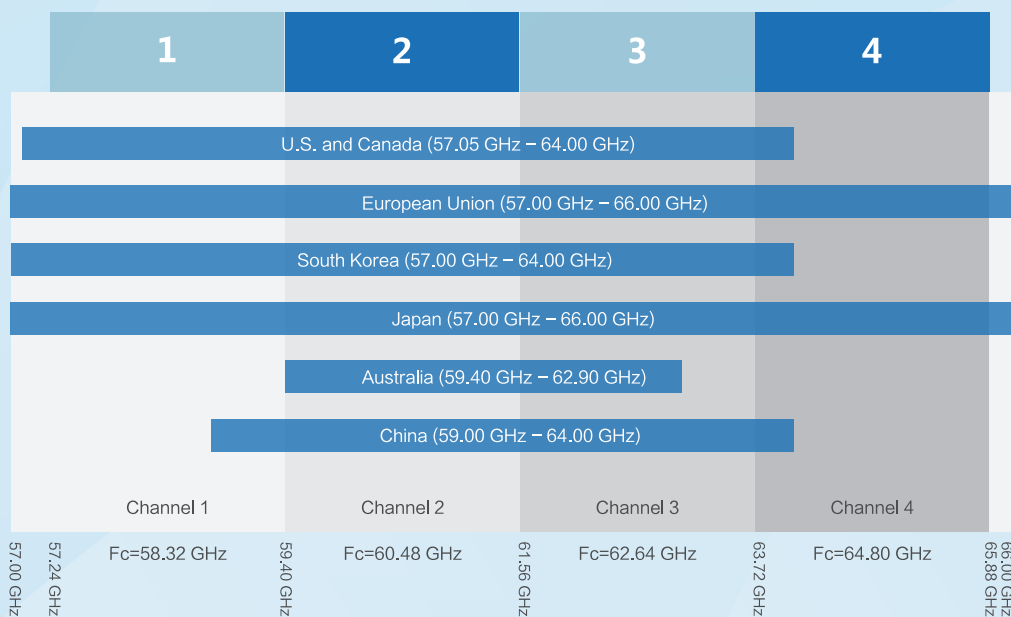
在理想体验阶段，网络需要向“更高的带宽”和“更低的时延”的方向演进：

- ◆ **家庭网 Wi-Fi 技术：**支持 X*Gbps 带宽速率，建议采用 802.11ax 或 60GHz Wi-Fi 技术承载，可以进一步降低干扰从而降低时延。
- ◆ **接入技术：**接入需要升级到 25G/50G PON，来实现每用户 Gbps 接入。
- ◆ **确定性低时延承载网：**云渲染服务器进一步下沉到城域边缘，同时利用网络分片和云网协同等技术获得确定性低时延的网络保障。

5.1 Wi-Fi 技术演进：60GHz

不管是 2.4G Wi-Fi 还是 5G Wi-Fi，即使采用了信道调优，也很难确保 VR 承载的信道不受相邻 Wi-Fi 信号的影响，VR 体验还是受到较大的挑战，特别密集户型的公寓场景：相比 5GHz 频段，60 GHz 频段有更多频谱可供使用，如下图所示，频宽为 2.16GHz，不同区域支持的频点数量不一样。而 60G Wi-Fi 由于穿墙能力差，几乎不会受到邻居 AP 的影响，比较适合移动性小、大流量的 VR 业务承载。

图 5-1 各国提供的免费 60GHz 频谱范围

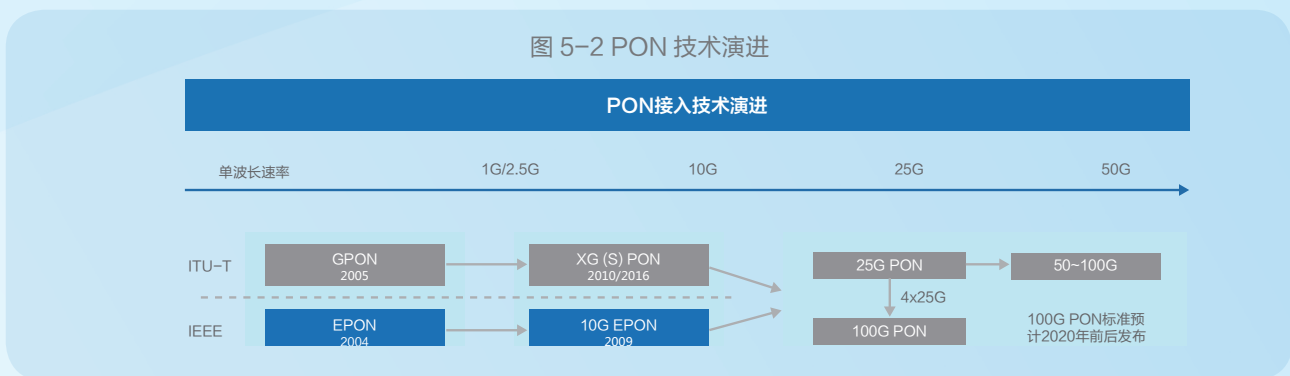


基于当前的 802.11ad 技术，通过使用低功率调制方案有更宽的信道来支持高达 7 Gbps 数据传输速率。未来 802.11ay 更先进，通过更先进的 8-PSK 调制模式、最大支持 8 条空间流，同时将 2.16G 频宽扩展支持更高的 4.32 GHz, 6.48 GHz, 8.64 GHz 频宽，理论最大支持速率达到 275Gbps。

5.2 接入技术演进：25G/50G/100G PON

下一代 PON 技术，一方面是通过单波长提速，实现 25G PON，另一方面是通过多个 25G 波长堆叠实现 50G/100G PON。考虑 50% 收敛比，25G PON 可以在分光比 1:32/64 情况下给用户开通 1Gbps 带宽，满足理想体验阶段 VR 的带宽诉求。

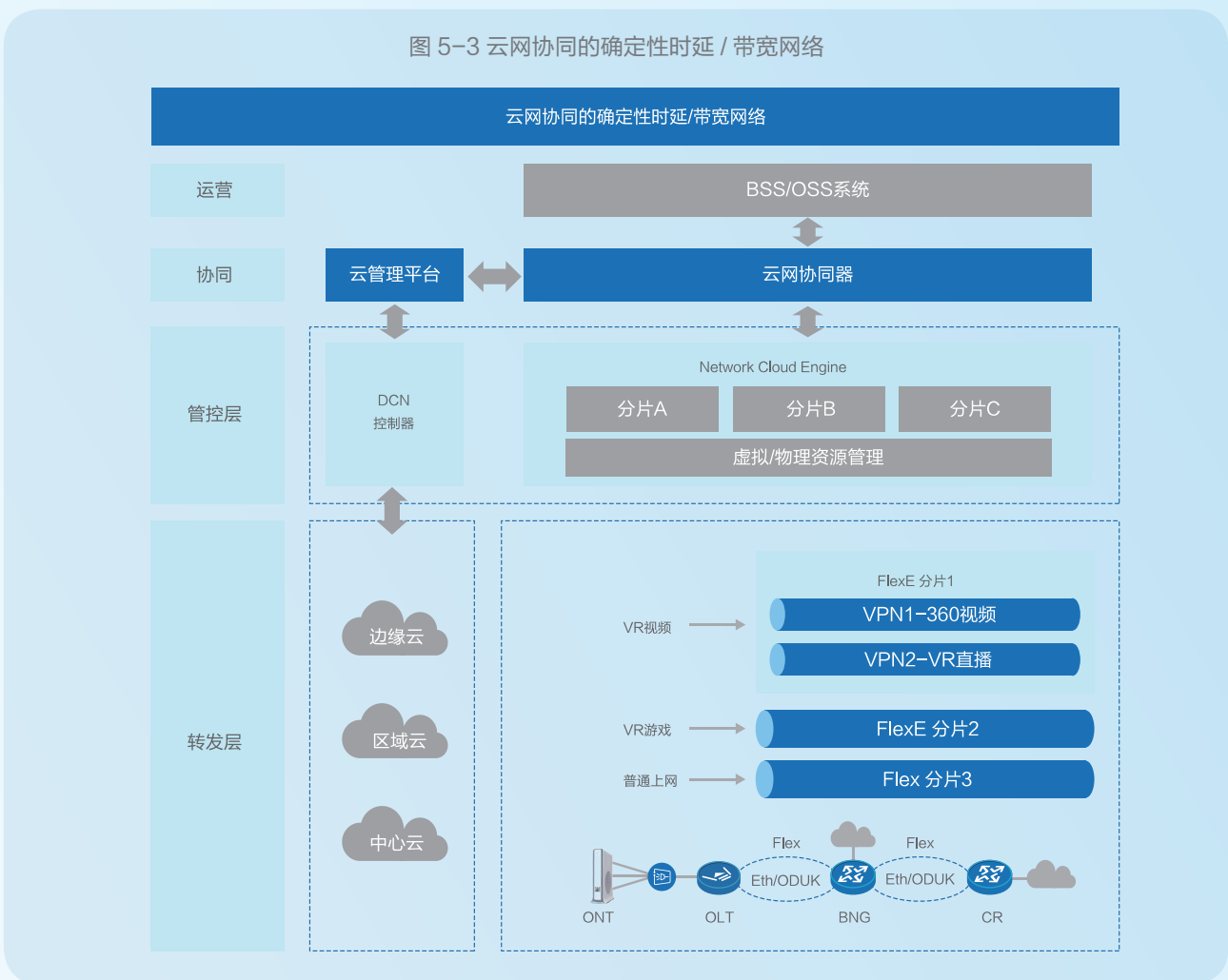
图 5-2 PON 技术演进



5.3 确定性低时延的云网协同网络

确定性时延 / 带宽的网络主要包含三个技术：边缘渲染、网络分片和云网协同。

图 5-3 云网协同的确定性时延 / 带宽网络

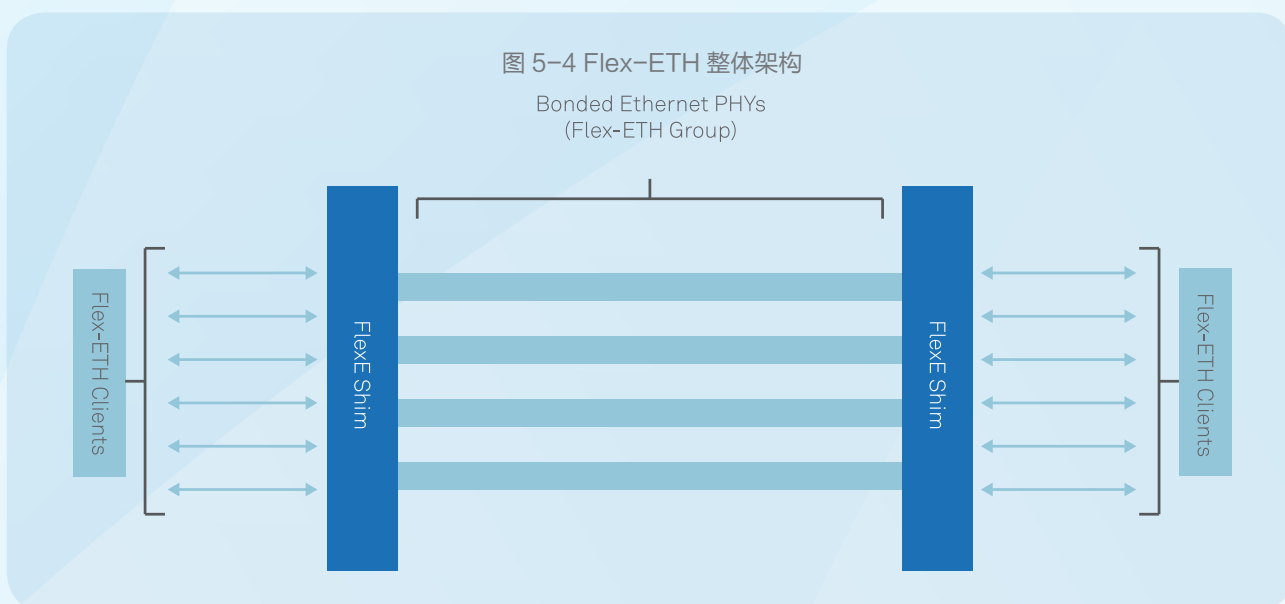


边缘渲染

边缘渲染指网络边缘设备具备一定的计算和存储能力，可以实现 Cloud VR 游戏 / 视频业务的实时分发，降低时延。

网络切片

传统承载网络的带宽是多业务共享的，难以避免业务流量冲突，难以保证敏感业务的时延需求。Flex-ETH 是承载网实现业务隔离承载和网络切片的一种接口技术。2016 年 3 月光联网论坛 OIF 组织正式发布基于 100Gbps 速率的第一代 Flex-ETH 标准，定义为以太网 L2/L1 之间的中间层，实现用户侧接口速率按需配置，不同接口之间的业务相互隔离，可以很好满足 Cloud VR 业务的低时延要求。



云网协同

由于网络设备的 Flex-ETH 分片资源有限，难以提前为每个用户分配独立的 Flex-ETH。为达到最佳的资源利用，采用云网协同技术在用户真正使用业务时才分配对应的物理管道，实现资源的动态按需分配。云网协同技术具有按需、动态、开放、端到端的特点。

- **按需：** 1) 网络可以根据具体 Cloud VR 业务的要求，比如带宽、时延、丢包率、抖动，按需分配资源。2) 网络可以根据承载 Cloud VR 业务量的变化，按需扩容或缩容资源。
- **动态：** 由于 Cloud VR 流量巨大，静态规划资源易导致浪费，最好的方式是在 Cloud VR 业务会话发生时进行秒级端到端计算，在经过各设备节点动态分配资源和调度，在业务终止时又可立即释放资源，提高资源的利用率。
- **端到端：** Cloud VR 业务数据流在网络上串行经过每个节点的，整个路径上任何一个节点的拥塞，都会导致整个业务受影响，因此如果要保证 Cloud VR 业务的质量，需要端到端进行统一管理和计算，确保每个节点都为业务提供了足够的质量保证。
- **开放：** 云网协同不仅为运营商自营业务使用，还可以开放给 OTT 使用，促进 Cloud VR 业务的发展。云网协同应提供友好、明确、完善的接口，供 OTT 为 Cloud VR 等业务定制网络质量时进行调用。

A 缩略语

缩略语	全称
VR	虚拟现实 Virtual Reality
SD	标清 Standard Definition
DoF	自由度 Degrees of Freedom
PPD	角度像素密度 Pixels Per Degree
FOV	视场角 Field of View
MTP	移动延迟 Motion to Photons Latency
AP	接入点 Access Point
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
CDN	内容分发网络 Content Distribution Network
CO	局端 Central Office
CR	核心路由器 Core Router
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



缩略语 全称

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
QAM	正交幅度调制 Quadrature Amplitude Modulation
RET	重传 Retransmission
RTT	往返时延 Round Trip Time
STB	机顶盒 Set Top Box
HGW	家庭网关 Home Gateway
WMM	Wi-Fi 多媒体 Wi-Fi Multimedia
HSI	高速上网 High-Speed Internet
CU	控制面用户面 Control plane User plane

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