5G 业务体验建网标准白皮书

合作伙伴:

本报告中文版由华为翻译，中文如有歧义，以英文版本为准。

英文版本链接:

https://carrier.huawei.com/~/media/CNBGV2/download/products/servies/5G-Planning-Criteria-White-Paper.pdf

目录

摘要 4
简述 4
Ovum 视图 4
关键信息 4
5G 业务机遇 4
流媒体视频（含云化 DVR） 4
AR 和 VR 5
在线游戏 5
网络标准需求 5
网络标准的应用场景 5
网络标准在网络建设和服务选择中的作用 5
网络标准的好处 6
5G 业务体验建网标准介绍 7
5G 业务体验建网标准概览 7
业务体验建网端到端规划原则 9
从用户体验到网络能力的 EQN 三层映射建模 9
层三：用户体验模型 10
Cloud VR 体验 10
4K 视频体验 10
层二：业务质量需求 11
视频的速率码率比模型 TBR Model 11
层一：网络能力基准 14
速率对 5G 覆盖干扰的要求 14
端到端时延对 5G 网络的要求 15
承载网时延分析 15
VR 视频体验建网标准 16
VR 视频主要种类及业务特征 16
VR 视频体验对速率时延的要求 17
VR 视频无线建网标准 17
VR 视频无线建网标准（HLS 协议） 17
Cloud VR 游戏体验建网标准 18
Cloud VR 游戏关键业务特征 18
VR 游戏体验对速率、时延与丢包的要求 18
Cloud VR 游戏无线建网标准 20
直播体验建网标准 20
4K 直播业务特征 20
分辨率和码率 20
直播实时性（延迟） 20
4K 直播对业务质量要求 20
4K 直播观看（拉流） 20
4K 直播回传（推流） 21
4K 直播无线建网标准 23
附录 23
参看文献 23

© 版权 Ovum 2020.版权所有侵权必究。

本产品的内容受国际版权法、数据库权利和其他知识产权保护。这些权利的所有者为 Informa Telecoms and Media Limited、我们的附属公司或其他第三方许可方。本产品内包含或出现的所有产品和公司名称及徽标均为其各自所有者 (包括 Informa Telecoms and Media Limited) 的商标、服务标志或商号。未经 Informa Telecoms and Media Limited 的事先许可，不得以任何形式或通过任何方式复印、复制、发布或传播本产品。虽然在初次出版之时做出了合理努力以确保本产品的信息和内容正确无误，但 Informa Telecoms and Media Limited 以及受雇于 Informa Telecoms and Media Limited 的任何人对任何错误、疏忽或其他不准确不承担任何责任。读者应独立验证所有事实和数据，因为我们在这方面不承担任何责任 — 读者为其使用此类信息和内容承担全部责任和风险。各作者或投稿者在本产品中表达的任何观点和/或意见为其个人观点和/或意见，并非必然反映 Informa Telecoms and Media Limited 的观点和/或意见。

作者介绍

Daryl Schoolar

Ovum智能网络团队实践领导者，专注于移动接入网络，精于分析2G、3G、4G (LTE)和5G的技术市场趋势。

Daryl的研究主要集中于无线接入网络领域，包括传统宏站、小站和运营商Wi-Fi等。在这些领域中，他密切关注LTE和5G的发展，以及2G和3G的监控活动。Daryl还涉足供应商和技术路线图领域。

Daryl在加入Ovum之前的经历主要包括：Current Analysis和In-Stat的分析师，以及Cable & Wireless公司市场和竞争情报团队成员。

Paul Lambert

Ovum欧洲团队高级分析师，专注于电信行业。精于运营商战略规划、新技术和移动宽带最佳实践的方案制定。

Paul对4G抱有极大热情，致力于帮助运营商挖掘4G语音业务的价值。在OTT玩家极力想增强核心电话功能的驱动下，他坚持不懈的评估4G语音带来的收益。

他专门研究eSIM和移动宽带演进所产生的影响。在最近的报告中还研究了eSIM、5G、LoRA和IoT技术。

王楠斌

华为技术服务Fellow，移动网络首席架构师，5G业务和体验首席架构师，5G重点商用保障项目负责人。专注于3G、4G、5G网络技术，以及视频/云VR体验。该领域为华为GTS全球技术领域的重点领域。

1999年加入华为。作为技术总负责，过去20年成功主导公司级全球多个项目的技术交付。在项目交付和解决方案架构设计方面积累了丰富的经验。

臧亮

移动视频场景的业务架构师，在视频、Cloud VR、云游戏业务体验领域设计和开发方面积累了丰富的经验，如体验评估、规划、优化、体验管理等。

2002年加入华为，专注于移动网络规划和优化领域。在3G、4G、5G RAN算法研究、项目交付、关键技术问题处理方面有着丰富的经验。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

摘要

简述

5G 包含很多不同的技术、网络建设选项和服务。技术和构建选项方面的决策将极大地影响运营商的业务性能。因此移动运营商需要一套网络性能标准来帮助他们选择正确的技术并构建选项，以确保 5G 网络能够为其服务提供支持。

Ovum 视图

5G 的商用体验将是一个不断演进的过程。对于移动运营商来说，这种演进过程将从基础连接服务、增强移动宽带（eMBB）和固定无线接入（FWA）开始。随着技术和市场的发展，5G 将帮助运营商提供更先进和更增值的服务。网络规划和部署必须与服务的业务体验目标相匹配，要做到这些，必须理解性能要求并构建满足性能要求的网络标准。

建设 5G 网络之前就应该开始构建标准。运营商应将其纳入业务战略流程。部署 5G 网络之前，在现有 LTE 网络上尽量考虑到这些标准。同时网络性能标准也非静止不变，它将在 5G 网络的生命周期中不断演进，以满足新的 Use Case 和客户对性能的期望。

关键信息

- 5G 业务处于发展初期，服务提供商需要继续投资、协调和合作，从而开发出能够充分利用 5G 扩展能力的定制业务。
- 移动运营商需要构建网络来支持不同的并且可以量化的性能标准，确保可以支持不同的 5G Use Case，并提供高质量的业务体验。
- 运营商在部署 5G 网络之前，需要制定 5G 业务策略。以便按照正确的性能标准来构建网络，不必日后为了满足业务需求而对 5G 网络反复地进行改造。

5G 业务机遇

流媒体视频（含云化 DVR）

因 5G 而带来显著改善的主要 Use Case 就包括客户体验网络的方式，尤其是视频业务的体验。除了当前体验的方式外，视频业务体验还包括增强现实（AR）、虚拟现实（VR）以及多个摄像头间实时切换的能力。

视频性能是 5G 最关注的领域，Ovum 的研究显示，2017 年移动视频流量占蜂窝流量的 67%，到 2023 年底将占移动数据流量的 83%。服务提供商和他们的合作伙伴一直不遗余力的提升视频质量，证明了 5G 的速率和容量明显优于 4G。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

AR 和 VR

相比于 4G 网络，5G 网络具有低时延，大容量和高速率的特点。使用 5G 网络的 AR 和 VR 自然对最终用户更具吸引力。这种优势已经迅速得到了印证。韩国 LG Uplus 的 AR/VR 业务推动了 5G 网络的流量增长，从 4G 的 400MB/天增长到 5G 的 1.3GB/天。

在线游戏

在线游戏过去吸引了众多服务提供商，他们希望 5G 比 4G 表现出更强劲的优势，尤其是可以提供更低的时延。在线游戏正是展示 5G 优势的绝佳案例。事实上，一些 5G 运营商，如 Sprint、Verizon、Vodafone 和 EE，已经或计划从包括 Hatch 和 Niantec 在内的领先游戏开发商那里推出在线游戏服务，使其可以在市场上领先一步，让消费者有明确的理由转向 5G 网络。和 5G 游戏行业的合作，比如在各种电子竞技锦标赛上的赞助，可以提升服务提供商在在线游戏领域和电子竞技社区的品牌影响力。Vodafone 已经通过与 ESL 电子竞技合作实现了这一目标。此外，谷歌和苹果等大公司向订阅式手机游戏业务的大举进军，此举将进一步推动在线游戏成为主流，加速 5G 的普及。

网络标准需求

网络标准的应用场景

运营商需要在一些网络领域执行基本的性能标准。满足这些标准，可以帮助运营商量化网络关键性能指标，建立对业务关键质量指标的理解，提升运营商整体业务的体验质量。运营商需要在以下网络领域执行基本的性能标准：

- 时延
- 卡顿
- 丢包
- 带宽
- 最低速率

当然，性能标准因业务或应用程序而异。流媒体视频对网络性能的要求与在线游戏或虚拟现实等更具交互性体验业务的要求是不同的。运营商的网络性能与其服务策略之间应该有密切的联系。

网络标准在网络建设和服务选择中的作用

网络运营商在使用网络性能标准提供服务时，有两种路径可供其使用。第一种是运营商从 5G 业务战略出发，根据性能标准设定网络要求，然后按照要求建设网络。第二种则恰恰相反，即运营商先进行网络建设，然后测量网络性能，在满足性能标准的情况下部署业务。

Ovum 建议采取第一种路径，因为它给了运营商更多的控制权，有助于网络投资收益最大化。但使用第二种路径也并不会导致网络性能和提供的服务止步不前。运营商可以继续改进网络性能，支持新业务。标准、建网、业务选择的关系，如下图所示。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

图 1：标准、建网、业务选择的关系

来源：Ovum

网络标准的好处

按照统一的性能标准构建的移动网络为最终用户提供高质量的业务，保证最终用户的满意度，防止用户流失到他网。这些可以为移动运营商及其 5G 营造良好的声誉，鼓励新的最终用户订阅。最终有助于 5G 投资变现。

在多供应商网络环境中，构建可量化的标准对运营商也大有裨益。运营商一般会选择多个无线、回传和核心网厂商。遵循通用的性能标准可以确保在整个运营商网络中保持一致的最终用户体验。同样，一家运营商也可以与采用同一套标准的其他运营商合作，为企业客户提供优质的跨国服务，有利于形成充分保障性能的跨国服务水平协议。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

注：白皮书的以下章节由华为提供，可能无法反映 Ovum 的观点

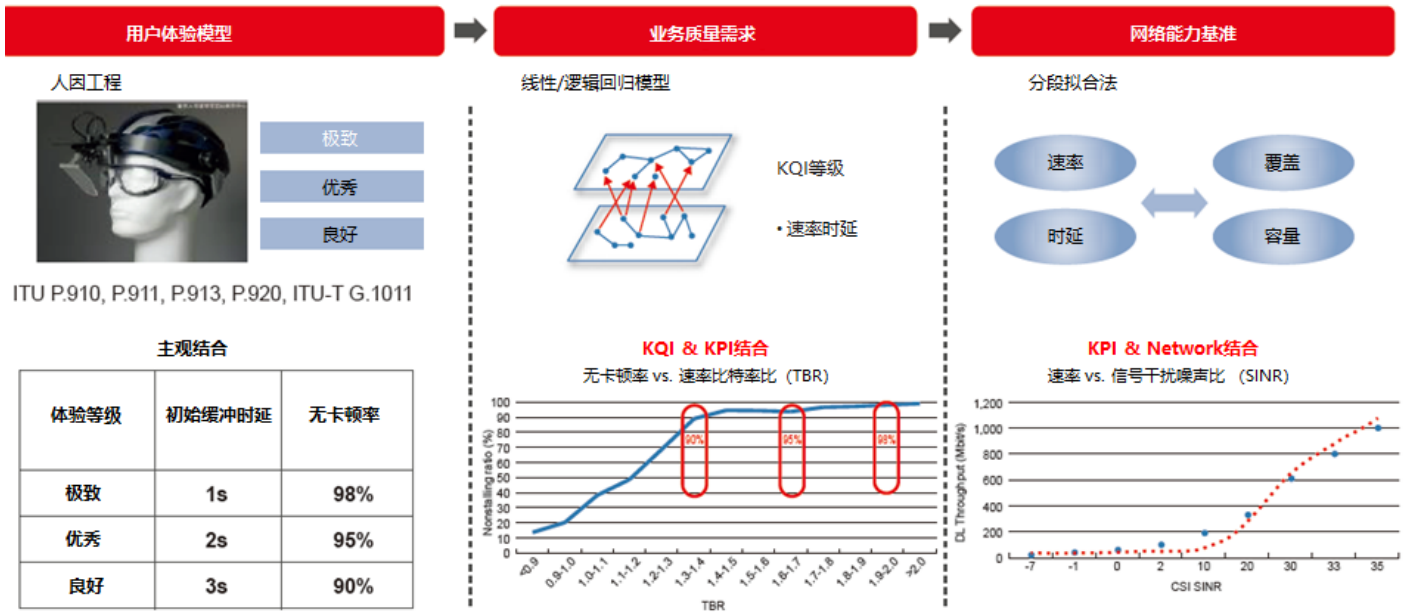
5G 业务体验建网标准介绍

5G 业务体验建网标准概览

随着 5G 技术与移动网络的演进，运营商业务从传统的电信业务开始逐步向更为丰富的数字化业务发展。在新的数字化业务发展的同时，其丰富的业务形态、多样的体验需求也对移动网络提出了新的挑战。基于此，移动网络需要从传统的电信业务建网模型向满足数字化业务体验需求的业务体验建网模（E-Planning Model）转型。

业务体验建网模型（E-Planning Model）核心有 6 阶逻辑，包含：业务特征分析、体验建模与标准化、体验拐点与基线、网络影响分析、体验建网标准、体验管理（可视可管可保证），实现从用户体验模型（Experience）到业务质量需求(Quality)，再到网络能力基准(Network)的 EQN 三层映射建模：

图 2：基于 E-Planning Model 的体验建网标准



来源：华为

经过对当前 5G 主流的 2C（Cloud VR 和 4K 视频）和 2B 业务（4K 直播回传、监控视频）的业务特征分析和体验建模，同时基于实验室与现网的大量实测数据，通过业务体验到网络能力的 EQN 三层映射建模，建立了如下的 5G 典型业务场景的建网标准：

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

表1：5G典型业务体检建网标准概览								
业务场景	建网标准							
场景	**典型应用实例**	**终端情况 (典型码率)**	**速率**	**丢包率**	**毫秒级峰值**	**时延**	**覆盖电平 CSI RSRP**	**覆盖质量 CSI SINR**
2C	4K点播视频	5G CPE+TV大屏 (VBR 15Mbps)	30Mbps (downlink)	10^{-3}	N/A （不影响业务）	RTT<100ms	-113dBm	-2dB
	4K直播视频	5G CPE+TV大屏 (VBR 20Mbps)	40Mbps (downlink)	10^{-3} (有FEC) 10^{-5}(无FEC)	N/A （不影响业务）	RTT<100ms	-110dBm	-1dB
	4K 360 VR全景视频(巨幕影院、VR演唱会)	VR一体机 (VBR 40Mbps)	80Mbps (downlink)	10^{-3}	N/A （不影响业务）	RTT<100ms	-108dBm	1dB
		手机+MiniVR/眼镜 (VBR 15Mbps)	30Mbps (downlink)	10^{-3}	N/A （不影响业务）	RTT<100ms	-113dBm	-2dB
	8K FOV VR视频（2D）	VR一体机 手机+MiniVR (VBR 50Mbps)	100Mbps (downlink)	TCP 方式 10^{-4} UDP 方式 10^{-3}	N/A （不影响业务）	RTT<25ms	-107dBm	2dB
	3K Cloud VR (游戏)	VR一体机 (CBR 50Mbps)	100Mbps (downlink)	TCP 方式 10^{-4} UDP 方式 10^{-3}	500~700M	RTT<25ms	-107dBm	2dB
2B	监控/无人机回传（1080P）	高清摄像头+回传设备 (VBR 2.5Mbps)	5Mbps (uplink)	10^{-3} (有FEC) 10^{-5}(无FEC)	16~20倍突发	RTT<50ms	**-105dBm**	3dB
	4K新闻直播回传(30fps)	LiveU回传背包 (VBR 20Mbps)	40Mbps (uplink)	10^{-2} (有SRT) 10^{-5}(无SRT)	16~20倍突发	RTT<50ms	**-95dBm**	5dB
	4K央视春晚直播回传(50fps)	Cogent、数码视讯回传背包 (CBR 42Mbps)	63Mbps (uplink)	10^{-2} (有SRT) 10^{-5}(无SRT)	16~20倍突发 约700-800M	RTT<50ms	**-91dBm**	8dB
	8K直播回传	澳视德（CBR120M）	待构建	–	–	–	–	–
	5G园区	–	待构建	–	–	–	–	–
	FWA专线	–	待构建	–	–	–	–	–
	Cloud PC	–	待构建	–	–	–	–	–
	远程医疗/教育	–	待构建	–	–	–	–	–
来源：华为								

备注：

- 本表列出了针对聚焦关键瓶颈的空口部分制定的建网标准，端到端规划细节请参考“业务体验建网端到端建网规划原则”

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

- 本表是基于 20%以下的空口负荷（轻载场景）作为建网标准基准，基于中载和重载场景下的标准后续在 5G 发展到一定规模、获取中载、重载的现网数据以后，再持续完善。
- 本表中 VR360 视频用定点环节测试 98%无卡顿率作为标准；8K FOV VR 视频因平台问题暂未完成测试，用 4K VR360 视频相同的速率码率比要求折算。

业务体验建网端到端规划原则

业务体验建网端到端规划的核心原则是统一规划、分域设计，以实现有效的跨域协作与分域独立设计。

在业务体验建网端到端规划中，网络的体验要求通常可以映射到是端到端的速率、时延与丢包等基准要求，因此体验建网端到端规划往往是通过统一的 QoS 核心参数速率、时延与丢包作为基准，在无线、承载、云核等联动，实现 E2E 速率、时延与丢包的统一规划与分域设计：

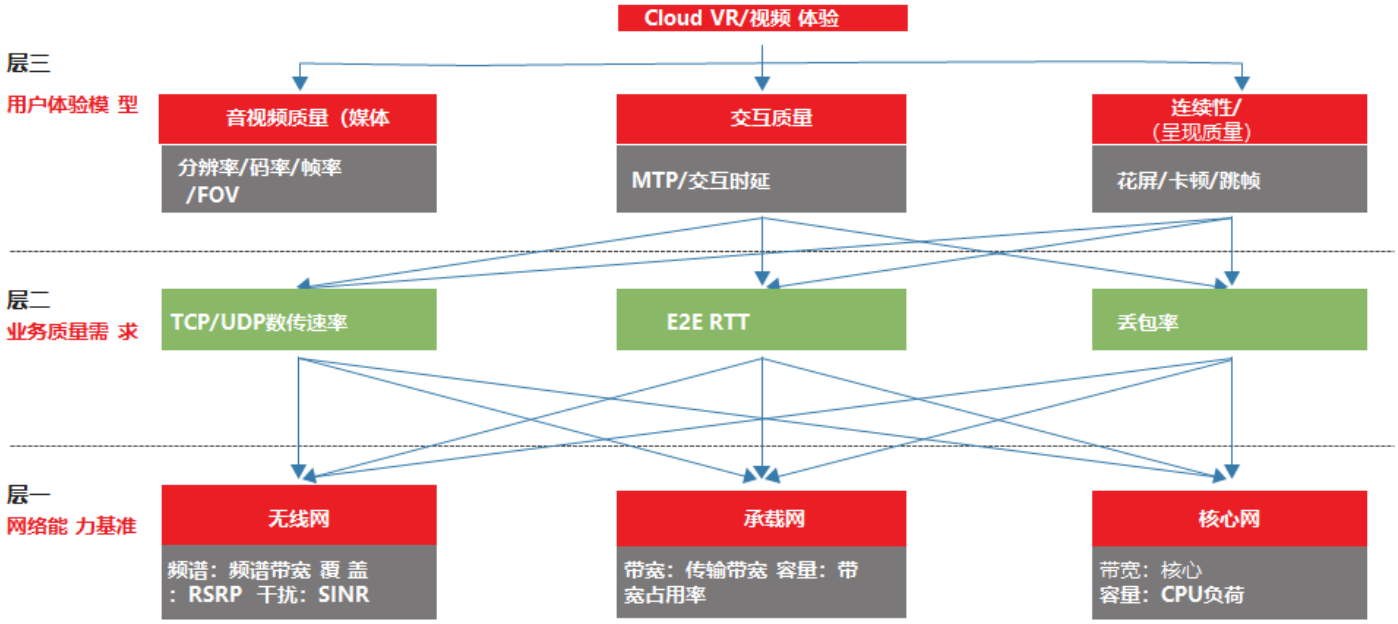
从用户体验到网络能力的 EQN 三层映射建模

本章将概要描述 5G 业务体验目标到网络能力的建模方法论，包括映射方法和映射样例。

从用户体验模型到网络能力基准的 EQN 三层映射建模，是通过体验到质量、质量到网络的两步分层映射建模的过程完成的。由于业务体验模型以及各层之间存在差异，因此不同层间的映射方法可以是相互独立的。

从用户体验模型到网络能力基准的 EQN 三层映射建模，如图 3 所示。

图 3：EQN 三层映射建模



来源：华为

层三：用户体验模型

Cloud VR 体验

华为 5G Cloud VR 业务体验建模在关键指标选择的过程中，参考了 ITU-T G.QOE-VR 和 3GPP TR 26.929 中对 VR 体验评价模型的建议，通过以下三个指数对 Cloud VR 用户体验进行综合评估：媒体质量指数（MQI）、交互质量指数（IQI）以及呈现质量指数（PQI）。

- MQI (Media Quality Index)：媒体质量评分（0~100），表明 VR 内容对用户感官的刺激质量，，是否已达到逼近真实世界的效果，包括音视频和内容自由度。
  影响媒体质量的因素包括分辨率、帧率、码率、FOV、PPD 等，这些主要跟 VR 内容源和 VR 终端设备相关。
- IQI(Interaction Quality Index)：交互质量评分（0~100），表明用户在使用 VR 业务过程中，和 VR 内容操作交互的体验。交互延迟会导致头晕，恶心、和真实感脱节等现象。
  其中自由度 DOF 与 VR 游戏内容源及终端相关，与网络无关。而运动到画面时延 MTP 与网络具有强相关性，需要往下映射。

表2：IQI核心影响因素

因素	影响
运动到画面时延 MTP Delay	运动到画面时延（MTP Delay）指的是在VR体验中人做出动作后，视频和音频的响应时间。
自由度 DOF	自由度（Degree of Freedom, DOF）表示对象在空间内可以移动的方式，是一个能帮助用户创建沉浸式环境的关键因素。
来源：华为	

- **PQI (Presentation Quality Index)：**呈现质量评分（0~100），表明用户在 VR 业务的连续、流畅的感官体验。不流畅的体验主要指看到花屏、卡顿等现象。
  影响 VR 呈现质量的因素主要是卡顿/花屏和跳帧等，这些与网络能力相关，需要往下映射。

交互质量指数 IQI 与 MTP 时延的关系

MTP 时延 50ms 在以内可以达到接近满分的取值 96 分，70ms 以内可以达到 88 分，80ms 以内可以达到 85 分，体验良好，100ms 以上体验变差。当前建议 MTP 小于 80ms、达到良好等级体验作为入门要求。

4K 视频体验

华为定义的移动视频 Mobile U-vMOS 标准同样适用于 4K 视频。

Mobile U-vMOS = f(sQuality, sLoading, sStalling)

其中

- sQuality = f(分辨率,码率,编码方式,编码等级)
- sLoading = f(视频初始缓冲时延)
- sStalling = f(视频卡顿时长占比).

视频分辨率、码率、编码方式/等级，都是由视频服务端和用户终端协商得到的，因此与网络能力无关。

而初始缓冲时延、卡顿时长占比，则取决于视频质量的要求与网络能力的匹配。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

U-vMOS -> sQuality/sLoading/sStalling -> 视频初始缓冲时延/卡顿时长占比的对应映射关系，是由 U-vMOS 的定义决定的，该映射关系需要通过访问 mLAB 网站 http://www.mbblab.com:9090/mobilemos 在线计算获取：

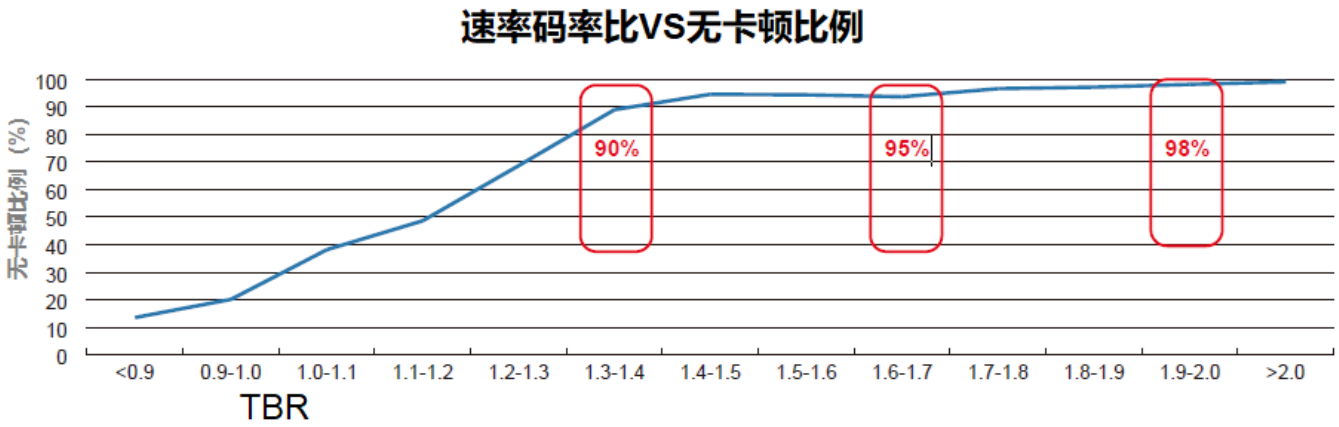
层二：业务质量需求

上一层中交互类 VR（8K FOV 和 VR 游戏）体验映射到了 MTP 等目标，点播类 VR 视频（4K360 VR 和 4K 巨幕电影）U-vMOS 映射到了初缓时延、卡顿目标。本层主要描述如何从视频初缓时延/卡顿、以及互动类 VR 游戏 MTP 映射到 E2E RTT/数传速率。

视频的速率码率比模型 TBR Model

根据实验室以及现网数据分析，视频播放的带宽要求主要取决于视频的码率，而带宽是影响缓冲时延与卡顿的根本。基于现网大量视频播放样本的数据分析（约 70 万条），发现对于某一种类型的视频，网络带宽满足一定的速率码率比可以保证一定的无卡顿率：

图 4：典型速率码率比与无卡顿比例对应表



来源：华为

视频业务可以被认为是一种速率敏感型的业务。

:而且相对于波动范围较宽的码率（当前点播视频往往都是 VBR，一种可变码率的机制），速率码率比跟无卡顿率的映射关系更为收敛，基于这个分析，我们针对速率敏感型的视频业务，提出了速率码率比模型（TBR Model/Throughput-Bitrate Ratio Model）：

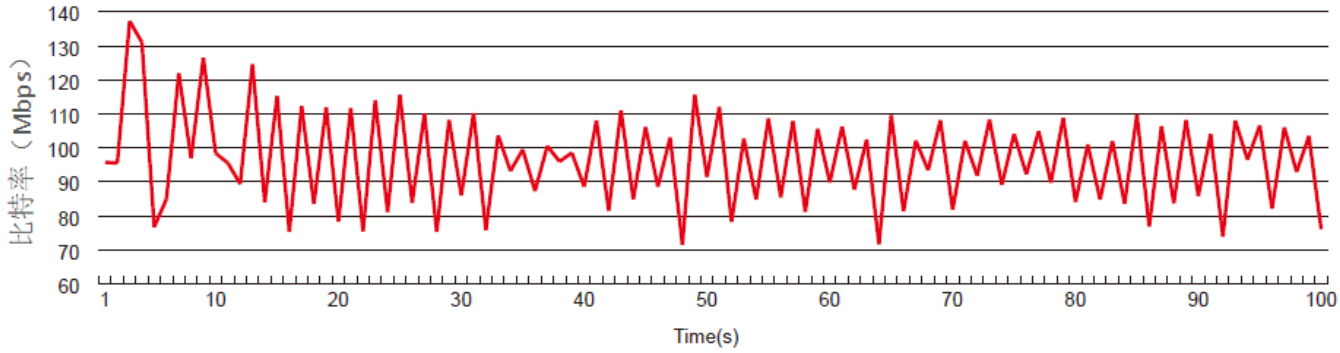
$$\text{NonStalling_Rate} = f\left(\frac{\text{throughput}}{\text{bit rate}}\right)$$

这个模型框架可以用来研究不同类型的视频对于网络带宽要求的映射关系。不同类型的视频在速率码率比的要求上会有不同，主要有两方面的因素会影响视频流畅播放要求的速率码率比：

- **码率本身的波动**。视频播放过程中的瞬时码率是围绕平均码率上下波动的（如下图）。当视频画面细节丰富，场景切换频繁时，其瞬时码率较高；相反，其瞬时码率相应较低。同时还要考虑到网络环境的抖动。所以，视频流畅播放的带宽需求，应高于视频的平均码率。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

图 5：典型视频播放的码率图



来源：华为

当前 OTT 视频和 VR 视频一般采用 VBR（可变码率）编码，码率波动会比较大。TV 直播和 VR 游戏有部分采用 CBR（固定码率）编码，码率相对稳定波动较小。

- **视频缓存时长。**对于点播视频，无论 4G 传统视频还是 5G 4K VR 视频，播放器在播放视频过程中都有一定的缓冲量，在无网络下载的情况下，这个缓冲量可以保持一定时间的正常播放（一般 10s 到 30s 上下）。

表3：典型点播与直播视频特征与体验结果表

点播/直播	模式	直播延迟时间（s）	初始缓冲感知时延（s）	卡顿时长占比	初始缓冲下载量(s)	播放过程最大预缓存量（s）	分片时长（s）
点播	–	–	1.92s	0.03%	4.2s	125s	5s
直播	正常延迟时间	25s	1.85s	0.46%	4.45s	13.6s	5s
	低延迟时间	9.5s	1.87s	5.50%	2.4s	5.3s	2s
	超低延迟时间	4.4s	1.89s	19.40%	1.89s	2.6s	1s
来源：华为							

备注：

- mLAB 在 D 国 TOP 2 运营商现网测试得到点播与直播的特征与体验结果。
- 直播的三类时延分类引自 Youtube 关于直播延迟时间的标准定义。

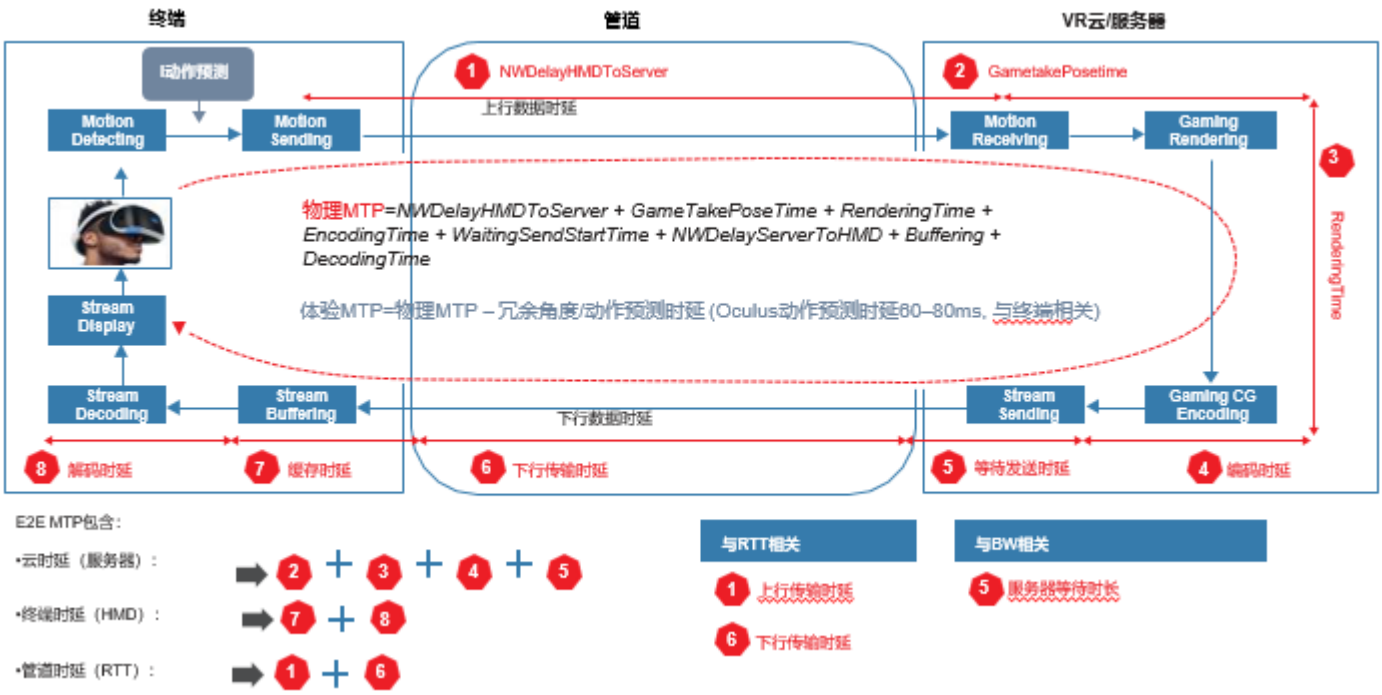
点播在播放过程中由于来水量充足，客户端可缓存的视频数据较大，足以应对网络波动造成的一时来水量不足。直播由于来水量不足以及客户端的缓存策略，播放器端缓存的数据越少，卡顿的概率越大。对于初始缓冲时延，同样可以用初缓阶段稳态速率与码率的比值来映射。同时，初始缓冲时延跟网络 RTT 也相关，可以按照不同的 RTT 区间下映射。

VR 游戏的动作响应时延模型 MTP Model

根据实验室分析，影响 Cloud VR 实时互动渲染类游戏体验的主要是动作响应时延 MTP，如果 MTP 太大会感觉到眩晕以及游戏卡顿。而 MTP 是一个应用层端到端的响应时延，如下图所示（以视博云指标定义为例，华为 Cloud VR 指标略有差异）：

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

图 6： Cloud VR 游戏 MTP 图



来源：华为

从上图可以看到端到端 MTP Model 实际上包含了云管端 3 段的处理时延：

- 云端处理时延：包括 VR 云的动作获取时延②、渲染时延③、编码时延④以及等待发送时延⑤
- 管道时延：包括上行传输时延①和下行传输时延⑥，两部分加起来实际上接近于网络 RTT。
- 终端处理时延：包括缓存时延⑦和终端解码时延⑧等。

基于现网测试数据来看，云端和终端的处理时间相加（②+③+④+⑤+⑧），时延平均在 41ms 左右。我们可以把这部分时延看做恒量 A：

Constant A = action obtaining delay + rendering delay + encoding delay + waiting for sending delay + decoding delay

MTP latency = constant A + 上行传输时延 + 下行传输时延 + 缓冲时延 = constant A + RTT + *t*

通过以上分析可以看到，MTP 中直接受管道能力影响的时延有三块：上行传输时延、下行传输时延和缓存时延。上下行传输时延接近网络 RTT，而缓存时延 t（Stream Buffering）则和数据传输速率成反比，如下图：

下图中，$t = \frac{每帧数据量}{数据传输速率}$ $t = \frac{每帧数据量}{数据传输速率}$

其中

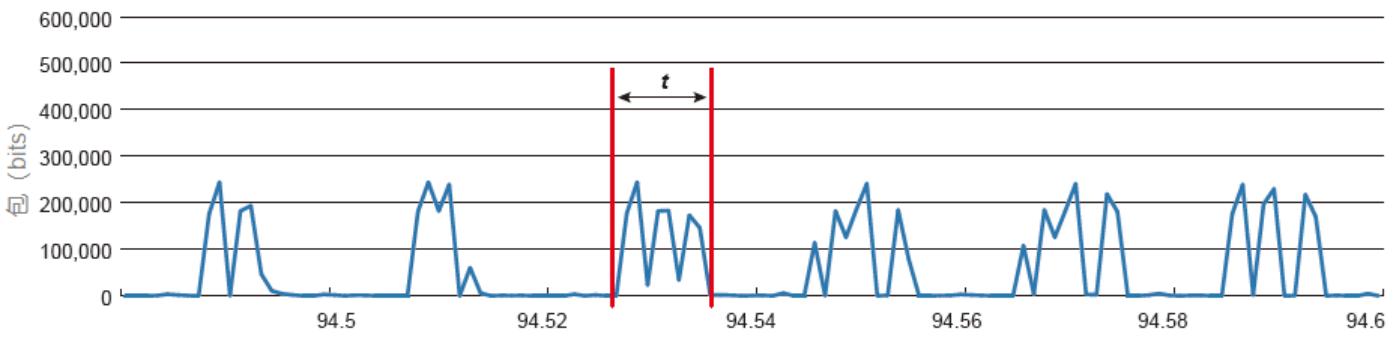
- t 是数据接收时延，即 Buffering。
- 每帧数据量是服务器对每个游戏画面帧编码后需要发送的数据量。

因此，在一个网络中，服务器和终端确定后：

MTP = 恒量 A（终端语段约 41ms） + RTT + (游戏码率/帧率)/网络速率

从公式可以看出， 在游戏码率帧率固定后，MTP 直接受限于 RTT 和网络带宽。因此对于 RTT 和速率的优化，是降低 MTP 的关键。

图 7：缓存时延 t 与数据传输速率



来源：华为

层一：网络能力基准

前两节分析了业务体验对速率和时延的要求，然而该要求无法直接用于无线网络规划，且需要映射到覆盖和负载指标，作为无线网络规划的直接输入。

目前 5G 网络基本都为空载网络，数据无法支撑负载对速率和时延的影响分析，因此现阶段主要关注覆盖（电平和质量）对速率和时延的影响分析。

速率对 5G 覆盖干扰的要求

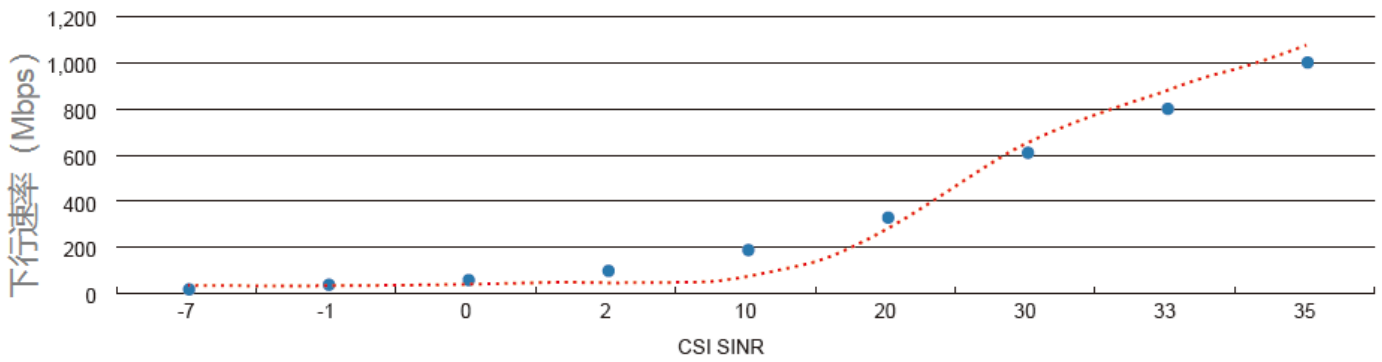
- **下行速率与覆盖干扰关系分析。**分析下行速率调度原理，下行速率与手机上报的 SINR 有直接关系，因此把下行 CSI SINR 作为覆盖和干扰情况的重点评估直指标。
  下图为针对典型场景（3.5G ，64T6R，密集城区，50%负荷加载，100Mhz 带宽），通过实测数据分析下行边缘速率和 SINR 的关系，得出相应的映射门限。
- **上行速率与覆盖干扰分析。**SINR 反映了 UE 业务的上行信道质量。
  上行 CSI SINR 无法在终端侧进行测试，需要采用其他可测试指标进行代替，上行 CSI SINR 与下行 CSI RSRP 存在映射关系，分别通过理论计算和实测数据证明可行。
  上行 RSRP = 下行 RSRP + UE TxPower - gNodeB TxPower.

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

即：

上行 SINR = 下行 RSRP + (UE TxPower - gNodeB TxPower) - (noise +:上行 IoT)

图 8：典型场景下行速率与 SINR 的关系实测示意图

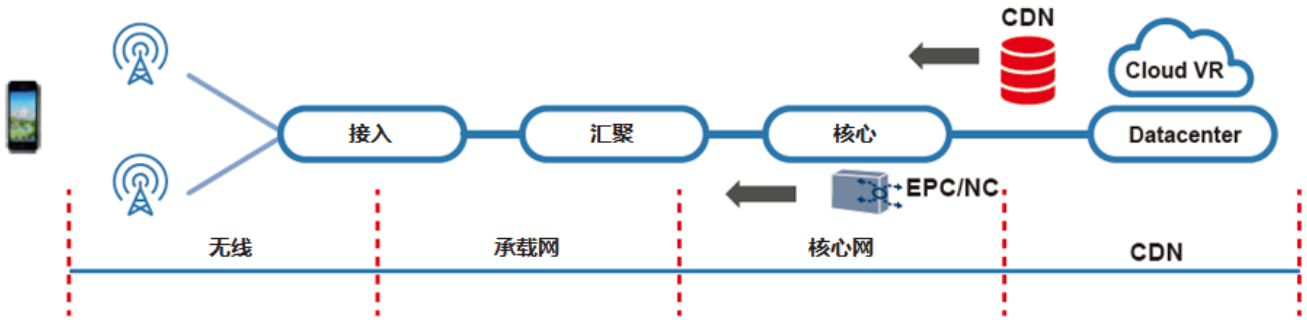


来源：华为

端到端时延对 5G 网络的要求

从 5G 网络架构来看，端到端时延可以分为无线、承载网、核心网和服务器/CDN 这 4 段：

图 9：5G 网络端到端时延分段示意图



来源：华为

正常情况下核心网和 CDN 的处理时延非常短。需要纳入时延规划的主要是承载网时延与无线空口时延。

承载网时延分析

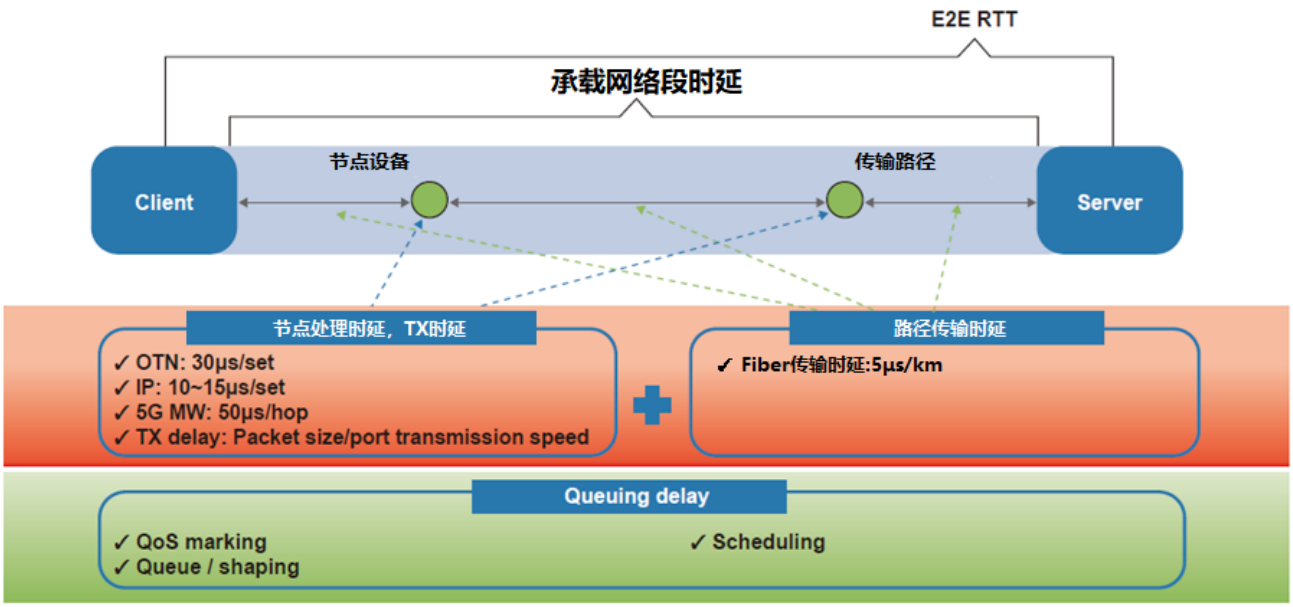
承载网时延产生的位置如下图所示。

如下图所示，承载网时延主要由：Transmission Delay、Propagation Delay、Processing Delay、Queuing Delay 几部分组成。这些时延因素特征主要有：

- Transmission Delay（可规划）。数据逐 bit 通过传输媒介传送出去的时延，主要取决于需要传送的数据包大小和传输速率（bit/s）。
- Propagation Delay（可规划）。光纤的传输时延，主要取决于光纤的折射率和长度，也就是主要由传输距离决定的。
- Processing Delay （可测量、可仿真）。网络设备内部处理数据包的时延，比如路由器处理 IP Header 的时延，OTN 进行型号的封装、交叉的时延等。典型的路由器设备，在没有拥塞的前提下，每跳的处理时延为 20~30us 左右。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

图 10：承载网时延产生示意图



来源：华为

- Queuing Delay （可测量、可仿真）。在网络设备队列中的时延，通常取决于网络链路的负载和拥塞程度，数据包的 QoS 优先级和 scheduling 算法。
- 承载网介质选择建议。5G 承载网建议全光组网。在 3G、4G 承载网上，仍会有少量的微波链路，由于微波链路本身的带宽和可靠性限制，在 3G、4G 承载网上，只建议微波链路用在单个基站的接入链路，并且最大跳数不超过 3 跳。到了 5G 时代，由于 5G 基站对带宽的需求很大，微波链路比较难满足，而且高带宽微波链路的传输距离也很有限，所以对于 5G 移动业务不建议使用微波链路承载。如果个别场景必须使用微波链路回传，建议只用做单个基站的接入，不建议用在汇聚甚至骨干回传路径。推荐采用 E-band 80Ghz 高频点方案（带宽 10G~20G，传输距离 1~3km/跳）。

空口时延（空口 RTT）对无线网络覆盖和容量的要求

分析空口 RTT 与 CSI RSCP/SINR 的关系，从趋势可以看出，RSRP 在-110dBm 以上对时延影响不明显，SINR <1 后 RTT 会有一定的恶化。

空口时延跟网络容量是正相关的。但是当前 5G 网络基本都是空载，需要补充大话务实验室的测试数据，来获取网络负荷与空口时延的映射关系。

VR 视频体验建网标准

VR 视频主要种类及业务特征

Cloud VR 业务场景根据交互程度分为 Cloud VR 视频类和 Cloud VR 游戏类两种。

根据传输方式和内容的不同，点播类 VR 全景视频又可以分为全视角传输方案和 FOV 传输方案。当前 VR 全景视频中，4K 分辨率使用全视角传输方案，8K 分辨率使用 FOV 传输方案，以降低码率。全视角传输方案在 Cloud VR 视频类业务的起步阶段被广泛采用。云端将 180°/360°视频内容全部推送给终端，由终端负责去再跟踪用户头部姿态的变化，实时解析、渲染和显示已经缓存在本地的音视频数据。从头部动作到显示只发生在终端侧，可以完全满足 MTP < 20ms。其他流程与普通 OTT 视频没有任何区别，带宽不足导致的播放卡顿是该方案所面临的主要问题。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

VR 视频体验对速率时延的要求

4K 360 以及巨幕电影对速率时延的要求

在 5G 商用网络上，按照 VR 体验模型中的主观评估方法，针对内容不同的编码策略进行了一系列的主观体验测试。当前 5G VR 视频处于起步阶段，综合以上测试结果，推荐码率如下：

表4：典型场景下的5G VR视频推荐码率表

场景	清晰度	入门码率（Mbps）	帧率	编码格式
巨幕视频	1080p	8Mbps	30fps	H.264
	4K	25Mbps	30fps	H.264
360°视频	4K	40Mbps	30fps	H.264
	8K FOV	15+35Mbps	30fps	H.265
来源：华为				

备注：数据来自于浙江移动 5G 现网+华为融合视频平台测试结果，采用 H.264 编码方式

根据推荐码率，结合现网测试得到 VR 速率码率比的要求为 2 倍码率（静止环境下 98%无卡顿率），得出对速率的要求。详见“VR 视频无线建网标准（HLS 协议）”。

VR 视频无线建网标准

VR 视频无线建网标准（HLS 协议）

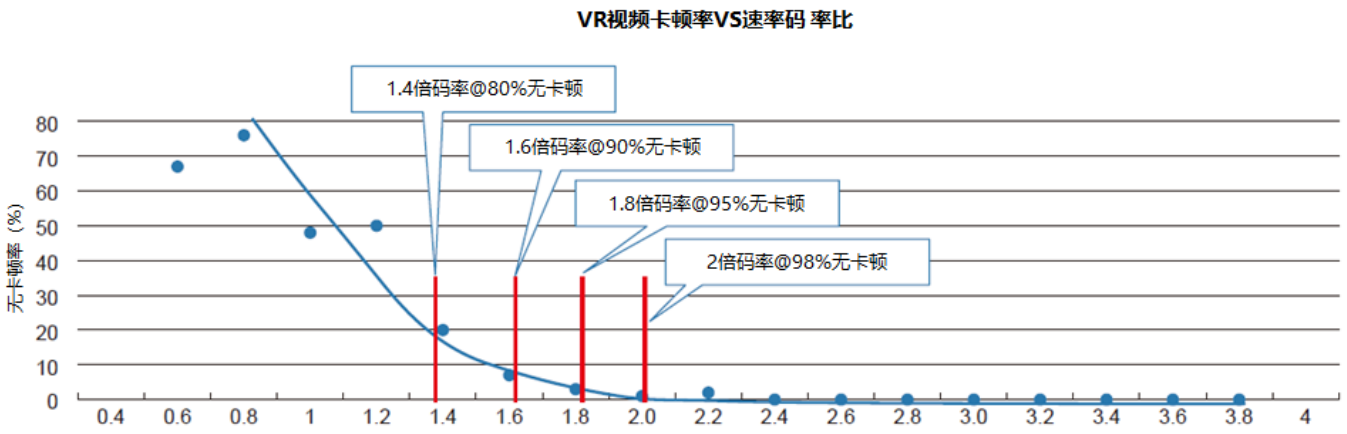
4K 360 VR 全景视频和 VR 巨幕影院均使用 HLS 流媒体协议，播放时与网络侧的业务特征一致，同时又与 4G 点播视频业务特征一致，因此我们将二者样本数据合并处理，不再区分。

基于实验室测试数据的无线建网标准（静止、无干扰环境测试）

样本采集方法：通过 SpeedVideo+路由器限速+CPE 接入 NSA 网络，播放在移动视频平台上的 VR 巨幕电影和 4K VR360 全景视频进行 CQT 测试。基于现网测试获取的点播测试样本的分析，发现当下载速率为视频平均码率的 1.4、1.6、1.8、2.0 倍时，分别能保证无卡顿率>=80%，90%，95%，98%。

VR 视频卡顿率 VS 播放速率码率比拟合曲线如下：

图 11：实验室环境下 VR 视频卡顿率与速率码率比拟合曲线图



来源：华为

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

备注：

- 数据来源为室分实验网，NSA 组网，CQT 室内测试，信号相对稳定，通过路由器进行限速测试。
- 样本量共计 3000+条，数据采集时间为 19 年 4 月～5 月。

据前期测试结果，VR 巨幕电影推荐码率 25Mbps，4K 360 VR 视频推荐码率 40M，二者推荐带宽以及覆盖需求如下：

表5：实验室环境下典型场景VR视频建网标准要素表

类别	码率	无卡顿率	速率码率比	带宽	覆盖质量 CSI SINR	覆盖电平 RSRP
4K VR 360视频	40Mbps	90%	1.4	56Mbps	-0.3dB	-110
4K VR 360视频	40Mbps	90%	1.6	64Mbps	0.2dB	-109.5
4K VR 360视频	40Mbps	95%	1.8	72Mbps	0.6dB	-109
4K VR 360视频	40Mbps	98%	2	80Mbps	1dB	-108
来源：华为						

备注：从带宽到 SINR 映射见“速率对 5G 覆盖干扰的要求”。

Cloud VR 游戏体验建网标准

随着 5G 网络和产业发展，Cloud VR 游戏被认为有潜力成为 5G 时代主流业务之一。通过对 Cloud VR 游戏的业务特征与体验研究，找到影响用户体验的业务质量需求（速率、时延）。

受限于当前 Cloud VR 游戏商用环境不足，本次建网标准使用的样本数据主要来自于 OpenLab 测试环境，待后续 Cloud VR 游戏在 5G 网络中商用与普及后，可继续采用同样的建模机制，使用商用网络数据继续优化完善该体验建网标准。

Cloud VR 游戏关键业务特征

Cloud VR 游戏是典型的云化业务，与传统视频业务相比，对网络带宽、时延和丢包都提出了更高要求。特别是互动类 Cloud VR 游戏具有实时交互特征，如果时延过大则会导致眩晕，丢包过大则会导致花屏。基于采样的典型 Cloud VR 游戏分析，有如下关键特征：

- 毫秒级脉冲。在 50Mbps 编码速率下，毫秒级峰值最高可以突发到 200Mbps。相同时间采样计算发包平均值，有 1ms 发 2 个包，有 1ms 发 17 个包，相同时间内差别很大。
- 固定长度 TCP 报文。游戏报文都是 TCP 格式，每个报文长度固定为 1424Byte。
- 固定发包个数。每秒固定发包 4800 个。
- 固定编码与帧数。编码 50Mbps，每秒发 60 帧，每帧大小 50Mbps/60=0.83Mbps。

VR 游戏体验对速率、时延与丢包的要求

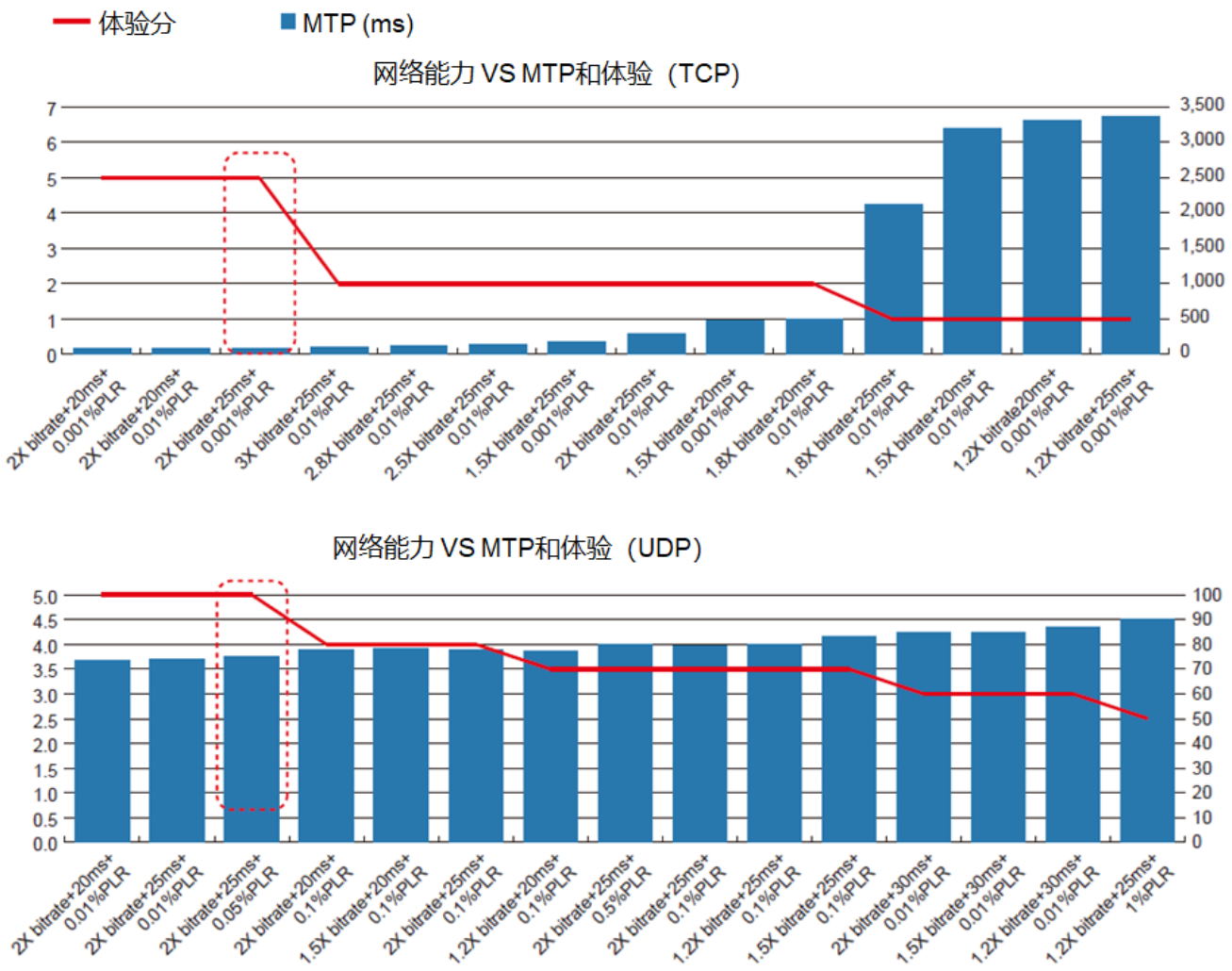
为了验证速率与时延对 Cloud VR 游戏业务体验的影响，OpenLab 进行了“带宽限速”与“带宽不限速”两类测试。

- 通过带宽的限速测试，验证不同带宽配置下游戏主观体验与 MTP 时延的变化情况，找到速率对 VR 游戏体验影响的拐点。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

- 通过带宽不限速测试，验证不同的丢包率与网络时延下，游戏主观体验与 MTP 时延的变化情况，找到丢包和时延对 VR 游戏体验影响的拐点。

图 12：网络能力 VS MTP 和体验



来源：华为

基于前面的测试，Cloud VR 游戏测试关于业务质量要求的关键结论如下：

表6：Cloud VR游戏的业务质量要求表

内容	带宽要求	丢包率要求	网络时延要求
基于视博云平台（TCP）	≥2×bit rate	≤0.001%	<25ms
基于视博云平台（UDP）	≥2×bit rate	≤0.01%	<25ms

来源：华为

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

Cloud VR 游戏无线建网标准

表7：Cloud VR游戏无线建网标准关键要素表							
业务场景				网络需求		覆盖标准	
业务类型		典型应用实例	终端情况	保障带宽	时延	覆盖电平 CSI RSRP	覆盖质量 CSI SINR
下行业务	3K cloud VR游戏比特率:50Mbps/ TCP	Cloud VR游戏，VR教育	VR一体机	100Mbps（下行）	RTT <25ms	-107dBm	2dB
来源：华为							

备注：以上无线建网标准的构建基于 OpenLab 测试环境数据，商用环境的无线建网标准需待业务上线以后持续完善。

直播体验建网标准

4K 直播业务特征

分辨率和码率

4K 标准也称作 Ultra High-Definition 或者 Ultra HD（超高清），用于宽高比为 16：9 或更宽的显示器，并可以以 3840×2160 像素的最低分辨率呈现本地视频。

4K 点播视频码率一般在 15M 左右。而电视台/运营商直播 4K 视频业务对质量要求较高，视频平均码率一般比同分辨率、帧率的互联网视频高出 20%~50%，约 20M 左右；央视 4K 直播（如春晚直播）回传要求更高，一般要求 42M 码率。典型 4K 直播场景业务特征如表 8 所示：

直播实时性（延迟）

直播实时性（延迟）是指视频图像产生到消费过程中人感觉到的延迟时间，业界关于直播的实时性尚没有检索到统一标准。目前常用的视频实时性等级标准的划分如下：

- 伪实时（非互动直播）：视频消费延迟超过 3 秒，单向观看实时，通用架构是 CDN + RTMP + HLS，现在基本上所有的直播都是这类技术。
- 准实时（弱互动直播）： 视频消费延迟 1 ~ 3 秒
- 真实时（互动直播）：视频消费延迟 < 1 秒，平均 500 毫秒。

当前 OTT 的非互动直播一般属于第一类延迟较大的伪直播。

广电和运营商的非互动直播要求较高一些：直播定义时延相对实时事件小于 2s，而央视 4K 直播要求更为严格，延迟时间一般要求是 1s。

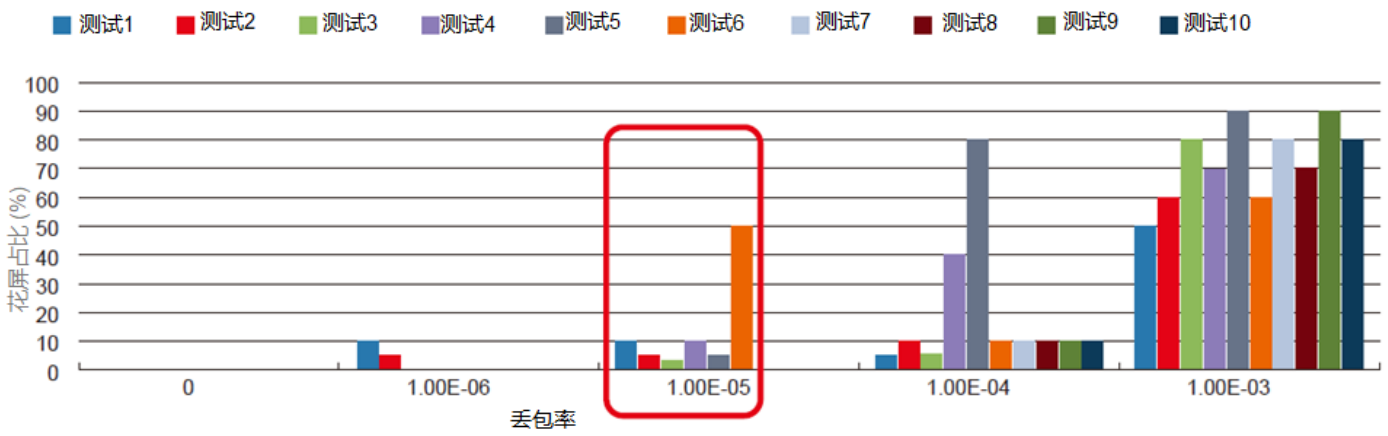
4K 直播对业务质量要求

4K 直播观看（拉流）

4K 直播考虑到实时性要求一般采用 UDP 传输方式，当没有 FEC 冗余编码或 RET 重传等机制时，体验对于网络波动非常敏感。当丢包率大于 10^{-5} 时，即出现明显花屏现象。

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

图 13 根据 EDN 时延测试的花屏占比和丢包率的关系



来源：华为

同时，基于测试结果可以发现，4K 直播观看对带宽的要求是码率的 1.5~2 倍，当网络带宽大于码率 2 倍及以上时，基本无花屏卡顿。

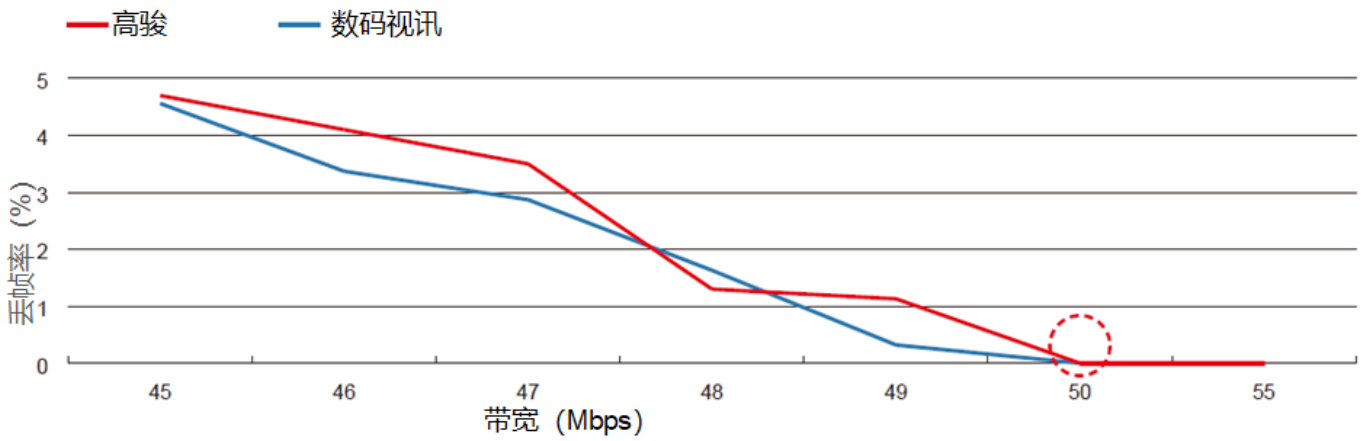
4K 直播回传（推流）

4K 直播回传因实时性要求也一般采用 UDP 传输方式，如果没有可靠的保护机制，对于网络波动同样非常敏感，也要求丢包率<10^{-5}。

2019 年 Q2 后，主流的 4K 回传背包厂家如高骏（Cogent）、数码视讯和 LiveU，都开发了可靠 UDP 传输技术，包括 FEC 和 SRT（ARQ）：

- 网络带宽。4K 直播码率一般为 42Mbps，当上行带宽低于 50Mbps 会出现丢帧，上行带宽如果稳定大于 50Mbps 基本不出现丢帧。考虑到无线网络上行速率的波动性，建议用 1.5 倍码率来保证 4K 直播回传体验。
  采用自适应动态码率时，初始码率为 20Mbps。网络上行带宽的要求为 40Mbps 以上（约 2 倍码率）左右

图 14:4K 直播回传对丢包率的要求



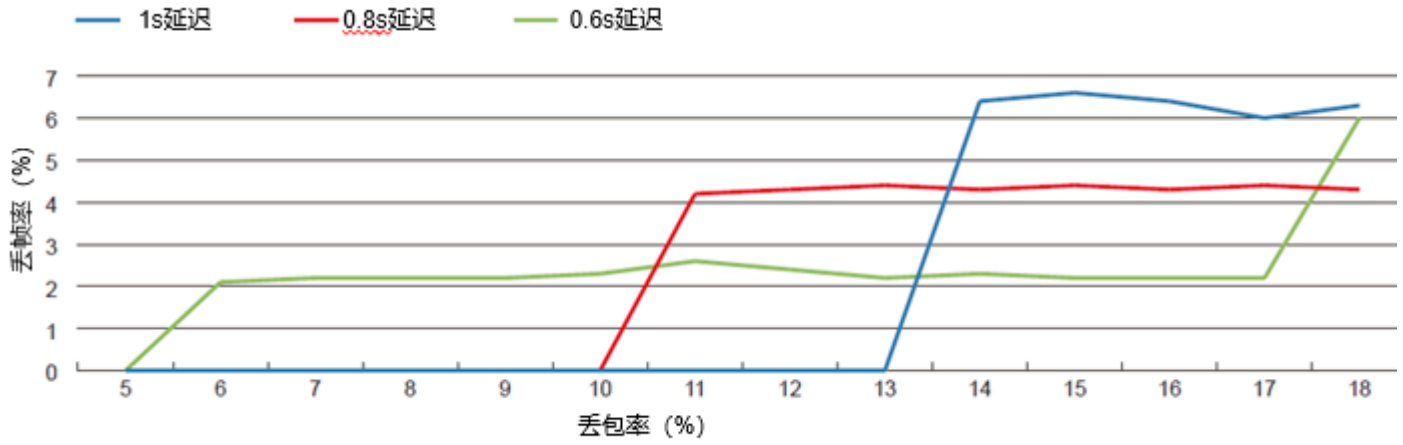
来源：华为

- 网络上行带宽在 40M 以上时，4K 回传质量稳定
- 上行带宽低于 40M 时，直播码率会自适应逐步下降，清晰度下降，但是仍然稳定未出现花屏；带宽低于 10M 时，开始出现马赛克。
- 网络 RTT 时延。高骏和数码视讯的测试来看，1s 直播延迟设置下，4K 直播回传对网络 RTT 的要求在 110ms 左右；对于 0.6s 和 0.8s 的直播延迟，要求的 RTT 会更小，但都不会低于 50ms。

  而 LiveU 设备 1s 延迟时对网络 RTT 的要求稍高，需要满足 50ms。
- 网络丢包率。高骏 Cogent 和数码视讯采用了 SRT 等可靠 UDP 传输技术后，对网络丢包率要求大大放宽了，从原来要求<10^{-5}，降低到了<10^{-2}。实验室测试来看，1s 延迟设置下对丢包的容忍度为 13%，0.8s 延迟设置下对丢包容忍度为 10%，0.6s 延迟设置下对丢包容忍度为 5%。

  LiveU 采用了冗余编码，对网络丢包率要求也不高，只需要<8.5%即可满足。

图 15：不同直播延迟下 4K 直播回传对丢包率的要求



来源：华为

© 2020 Informa PLC.版权所有侵权必究。

4K 直播无线建网标准

表 8： 4K直播拉流需要足够的下行带宽以及4K直播回传需要足够的上行带宽									
业务场景	**设备厂家**	**典型码率**	**帧率**	**网络带宽**	**丢包率**	**毫秒级峰值**	**时延**	**覆盖电平 CSI RSRP**	**覆盖质量 CSI SINR**
4K直播视频（拉流）	华为融合视频平台	20Mbps	30fps	2倍码率，40Mbps	10^{-3}（有 FEC 编码) 10^{-5}(无FEC编码)	N/A（不影响业务）	<100ms	-110dBm	-1dB
4K新闻直播回传	LiveU	20Mbps	30fps	2倍码率，40Mbps	10^{-2}（有 FEC 编码) 10^{-5}(无保障)	基站以上15~20倍突发300-400Mbps	<50ms	-95dBm	5dB
央视春晚直播回传	高骏、数码视讯	42Mbps	50fps	1.5 倍码率，63Mbps	10^{-2}（有 SRT 保障) 10^{-5}(无保障)	基站以上15~20倍突发700-800Mbps	<50ms	-91dBm	8dB
来源：华为									

备注：以上网络覆盖标准基于 64T64R、4:1 时隙配置、100M 带宽、5G/4G 1:1 建站

当前 5G 无线建网标准是基于网络轻载场景下获取，基于中载和重载负荷下的标准后续获取网络数据后，再进一步优化完善本体验建网标准白皮书。

附录

参看文献

5G 业务需求以及商业模式，2018 年 8 月，商业咨询部

5G VR 业务体验建模技术白皮书，2019 年 6 月，用户体验实验室 eLab

华为-CN-云 VR 临场感指数（Cloud VR PI），2019 年 6 月，无线应用场景实验室 XLabs

体验驱动的视频承载网白皮书（2018 版），2018 年 6 月，固网应用场景实验室 iLab

5G 4K 直播业务分析及网络影响报告，2019 年 8 月，无线应用场景实验室 XLabs

OVUM CONSULTING

Ovum 是市场领先的研究与咨询公司，致力于帮助数字业务提供商、技术公司和企业决策者在互联数字经济中实现繁荣发展

依托遍及全球的 150 名分析师，该公司在 IT、电信和媒体行业提供专家分析和战略性洞察力。

Ovum 通过提供可行的洞察力来支持业务规划、产品开发和上市计划，从而为客户创造商业优势。

Ovum 将权威数据、市场分析和垂直行业经验结合在一起，支撑客户决策，帮助客户从新技术中获益，并利用不断演进的商业模式。

Ovum 是 Informa Tech 的一部分，为技术、媒体和电信部门提供 B2B 信息服务业务。Informa 集团已经在伦敦证券交易所上市。

Ovum 希望这份分析帮助您作出明智和有创造力的业务决策。如果您有进一步的需求，Ovum 的咨询团队或许可以帮助您的公司确定未来的趋势和机会。请通过以下方式联系我们：

https://ovum.informa.com/contact/contact-us

consulting@ovum.com

https://www.linkedin.com/company/ovum/

www.twitter.com/Ovum