宽带发展联盟
Broadband Development Alliance

固定家庭宽带

高质量业务体验研究白皮书

宽带发展联盟
Broadband Development Alliance

序言

用户业务体验是固定家庭宽带发展水平和质量评价的核心要素。近年来，随着“宽带中国”战略的实施和“提速降费”工作的不断深入推进，我国宽带网络发展水平取得了“跨越式”提升。目前，光纤宽带接入已成为了我国固定宽带的主要接入方式，我国固定宽带已全面进入了“光网时代”，全国所有地级市基本均建成了光纤网络全覆盖的“光网城市”。截至2019年第一季度，我国光纤接入端口在所有宽带接入端口中占比接近90%；光纤宽带用户在宽带用户中占比达到了91.6%，已在全球处于领先水平。光纤宽带的全面覆盖和普及，为我国用户业务体验的持续提升奠定了网络基础。根据宽带发展联盟发布的《中国宽带速率状况报告》，2019年第一季度，中国固定宽带平均可用下载速率达到31.34Mbit/s，是2015年第一季度实施提速降费工作以来的6.1倍，我国固定家庭宽带用户的业务体验取得了快速提升。

但也应该看到，当前随着物联网、云计算、大数据、超宽带等技术的飞速发展，4K/8K高清视频、虚拟现实（VR）与增强现实业务（AR）、在线游戏及家庭云服务等新业务正蓬勃兴起。一方面，我国宽带网络的快速发展和新业务的出现不断驱动用户对固定家庭宽带业务体验提出更高的需求，各种业务的体验质量也日益受到社会的广泛关注；另一方面，固定家庭宽带的高质量业务体验和业务应用类型、相应的网络支撑能力要求和关键性能指标等因素密切相关。

本白皮书总结了当前固定家庭宽带业务的技术发展趋势，梳理了当前典型的固定家庭宽带业务应用类型，针对不同业务应用，分析了相应的网络能力要求，研究提出了相关业务体验的关键质量指标，以及对应这些业务质量指标相应的网络性能指标，提出了构建固定家庭宽带高质量业务体验的系统性方案建议，并展望了未来家庭宽带业务发展的典型应用。宽带发展联盟《固定家庭宽带高质量业务体验研究白皮书》的发布，旨在让广大公众更深入了解固定家庭宽带高质量业务体验，并为行业主管部门和宽带发展产业链各方构建以用户体验为中心的高质量家庭宽带网络，推动宽带网络的产业健康发展提供重要参考。白皮书的编制得到了宽带发展产业链部分企业以及宽带发展联盟相关理事单位的大力支持，在此一并表示感谢。

目录

1 家庭宽带业务发展即将进入千兆时代 05
2 家庭宽带业务应用类型 07
2.1 总述 07
2.2 Web浏览 07
2.2.1 业务应用情况 07
2.2.2 业务实现过程 07
2.2.3 网络能力要求 09
2.3 文件下载与上传 09
2.3.1 业务应用情况 09
2.3.2 业务实现过程 09
2.3.3 网络能力要求 10
2.4 IPTV 10
2.4.1 业务应用情况 10
2.4.2 业务实现过程 11
2.4.3 网络能力要求 13
2.5 OTT视频 14
2.5.1 业务应用情况 14
2.5.2 业务实现过程 14
2.5.3 网络能力要求 15
2.6 网络游戏 16
2.6.1 业务应用情况 16
2.6.2 业务实现过程 17
2.6.3 网络能力要求 17
2.7 Cloud VR 18
2.7.1 业务应用情况 18
2.7.1.1 Cloud VR强交互 19
2.7.1.2 Cloud VR弱交互（视频） 19
2.7.2 业务实现过程 20
2.7.2.1 Cloud VR强交互 20

2.7.2.2 Cloud VR弱交互（视频） 21
2.7.3 网络能力要求 22
2.7.3.1 Cloud VR强交互 22
2.7.3.2 Cloud VR弱交互（视频） 22
2.8 语音 23

03 业务体验的关键指标 24
3.1 总述 24
3.2 Web浏览 25
3.3 文件下载与上传 25
3.4 IPTV 26
3.4.1 直播 26
3.4.2 点播 28
3.5 OTT视频 29
3.6 网络游戏 29
3.7 Cloud VR 30
3.7.1 Cloud VR强交互 30
3.7.2 Cloud VR弱交互（视频） 32
3.8 语音 34

04 如何构建高质量的业务体验 35
4.1 总述 35
4.2 城域网 36
4.2.1 影响体验的因素分析 36
4.2.2 网络优化措施分析 37
4.2.3 构建高质量体验网络建议 38
4.3 接入网 39
4.3.1 影响体验的因素分析 39
4.3.2 网络优化措施分析 39
4.3.3 构建高质量体验网络建议 40

4.4 CDN网络/业务服务器 41
4.4.1 影响体验的因素分析 41
4.4.2 网络优化措施分析 41
4.4.3 构建高质量体验网络建议 42
4.5 家庭网络 42
4.5.1 影响体验的因素分析 42
4.5.2 网络优化措施分析 43
4.5.3 构建高质量体验网络建议 45

05 家庭宽带业务未来展望 47
5.1 智能家居 47
5.2 增强现实（AR） 48
5.3 极致高清（16K） 48
5.4 全息交互 49

A 缩略语 51

01 家庭宽带业务发展即将进入千兆时代

当前，无论是我国发展数字经济、建设网络强国和制造强国、促进实体经济转型升级的总体需求，还是4K/8K高清视频、VR/AR、互动游戏、家庭云等新兴业务的驱动牵引，均需要高带宽、低时延、可靠稳定的宽带接入及家庭网络。

回顾我国固定家庭宽带接入技术的发展历程可以看到，伴随着不断的技术进步和业务的需求牵引，总体已经经历了5个时期：**第1和第2个时期主要是依托铜线基础设施，**通过从PSTN/ISDN到XDSL的技术进步，提供从56K的窄带到20M宽带能力，典型业务应用主要是Web页面浏览以及语音，我国宽带网络初步发展的头10年基本处于第1、2时期；**第3个时期固定家庭宽带主要围绕不断提速来进行，**包括VDSL技术的应用，不断挖掘铜缆的传输潜力，以及光纤接入技术的初步应用，主要是FTTB以及PON+LAN的接入技术，逐步提供30~100M的家庭宽带，这个时期在我国的时间较短。

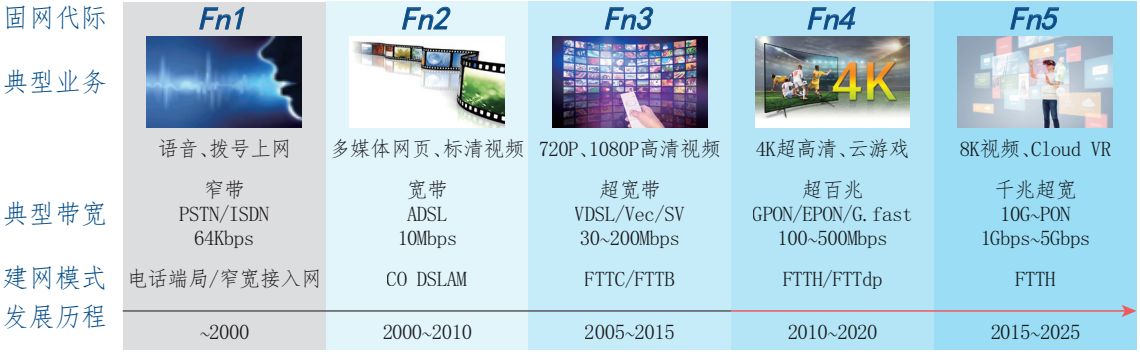


图1-1 固定家庭宽带发展历程

2012年以来，伴随着“宽带中国”战略的实施和“提速降费”工作的不断深入推进，我国进入了以**光纤到户（FTTH）为典型建网模式的第4个固定家庭宽带发展时期，**开始普遍提供百兆及以上宽带业务，典型的业务应用主要是高清视频（如480P和1080P的IPTV和OTT视频）、超高清视频（如4K视频）、云游戏等。

当前，4K/8K高清视频、虚拟现实与增强现实业务（VR/AR）、在线游戏及家庭云服务正在逐步应用和不断普及。国际电信联盟通过7680x4320分辨率作为国际的8K

超高画质电视(SHV)标准，日本准备在2020年第32届东京夏季奥林匹克运动会使用8K技术转播奥运赛事。国际上从2018年7月起开启Cloud VR业务试商用，将Cloud VR从家庭场景延伸至VR教育、VR电竞馆、VR营销等2B（To Business）场景，截至目前，全球Cloud VR用户月活跃率已达到62.9%。我国也在加紧推动相关业务的普及应用，从2017年底，中国首个4K超高清电视直播频道在广州举行开播仪式，标志着4K时代的全面来临。2018年，Cloud VR亮相在福建举行的首届数字中国建设峰会，标志着VR商业部署进入千家万户。至2018年底，我国仅网络在线游戏用户注册数量就达到了4亿用户，标志着游戏已经成为家庭宽带的一个主要业务场景之一。

可见，我国宽带网络的不断快速发展，以及新业务的不断普及应用，对家庭固定宽带业务提出了更高的要求，推动千兆家庭宽带接入业务部署已经成为了当前必然的选择。我国固定宽带接入发展将进入**第5个时期，即以10G PON光纤接入实现用户端的千兆带宽业务，**用户体验和系统容量将会有飞跃式的发展，上下行速率将达到千兆甚至更高，时延降低到100μs以下。我国政府也正在推动千兆宽带业务的规模部署，在李克强总理的《2019年政府工作报告》中明确提出：“持续推动网络提速降费，开展城市千兆宽带入户示范,……，让用户切实感受到网速更快更稳定”。2019年5月14日国务院召开常务会，部署进一步推动网络提速降费工作，重点提出：“把加快网络升级扩容作为扩大有效投资的重要着力点。今年实现光纤到户接入端口占比超过90%，在300个以上城市部署千兆宽带接入网络，推动固定和移动宽带迈入千兆时代”。2019年5月，工信部、国资委两部委发布了《关于开展深入推进宽带网络提速降费 支撑经济高质量发展2019专项行动的通知》，提出要“开展千兆宽带入户示范。推动基础电信企业在超过300个城市部署千兆宽带接入网络，千兆宽带覆盖用户规模超过2000万，为高带宽应用创新和推广提供基础网络保障。研究制定千兆城市评价指标，开展千兆宽带应用示范，重点面向AR/VR、超高清视频、远程教育、远程医疗等领域拓展应用空间，全年新增千兆宽带用户（含家庭用户和政企用户）40万”。可见，在提速降费政策牵引、高宽带业务发展驱动、相关技术和产业逐步成熟的共同推动下，我国千兆宽带接入迎来快速发展，我国家庭宽带业务发展即将进入“千兆时代”。

02 家庭宽带业务应用类型

2.1 总述

不同的家庭宽带业务应用在网络层面具有不同的业务特点和业务传输过程，高质量业务体验对网络也有着不同的要求。当前家庭宽带业务应用逐渐从单一的语音、上网通信向娱乐、生活应用类服务等多元化需求扩展。Web浏览、文件下载与上传是家庭宽带的基础业务；IPTV/OTT视频、网络游戏成为家庭宽带的增值业务，正在逐步普及；VR/AR、家庭智慧云等新业务也将逐渐应用，而传统的固定电话语音业务则在快速萎缩。

本章分别梳理了当前典型的家庭宽带业务应用，并研究总结了相关业务的主要定义和特点、业务应用情况、业务实现过程和相应的网络能力要求。

2.2 Web浏览

Web浏览，即网页浏览业务，是指用户通过PC、智能手机、平板电脑等客户端接入电信运营商固定宽带网络，通过网页浏览器（IE、Chrome、Firefox等）进行检索并展示Internet信息资源。这些信息资源可以为文字、图片、影音或其它内容。

2.2.1 业务应用情况

Web浏览是一项家庭宽带的基本业务应用，网民基本均会使用到Web浏览业务。据CNNIC中国互联网发展状况统计调查报告指出，截至2018年12月，中国网民规模达8.29亿，普及率达59.6%，较2017年底提升3.8个百分点，全年新增网民5653万。

2.2.2 业务实现过程

Web浏览是用户浏览器从运营商CDN（内容分发）缓存/服务提供商Web服务器进行内容下载并在本地显示屏上显示的过程。业务过程包含IP地址获取、连接建立、数据下载和内容显示。

域名服务器指定优先从CDN缓存获取内容，只有CDN缓存无相关内容时才会从内容提供商Web服务器获取。浏览器访问的内容在CDN缓存时，流量会依次经过家庭网络和电信运营商网络（含接入网、城域网、省级骨干网）；浏览器访问内容不在城域网且服务器在其它电信运营商网络时，流量会经国家骨干网网络到服务器所在城域网，再经城域网出口到其它电信运营商网络，最终连接到内容提供商的Web服务器，获取内容后会同步存储在本地城域CDN，以便后续访问。

下面重点关注用户PC、域名服务器、内容服务器间的业务关系，其业务实现的过程如图2-1所示。

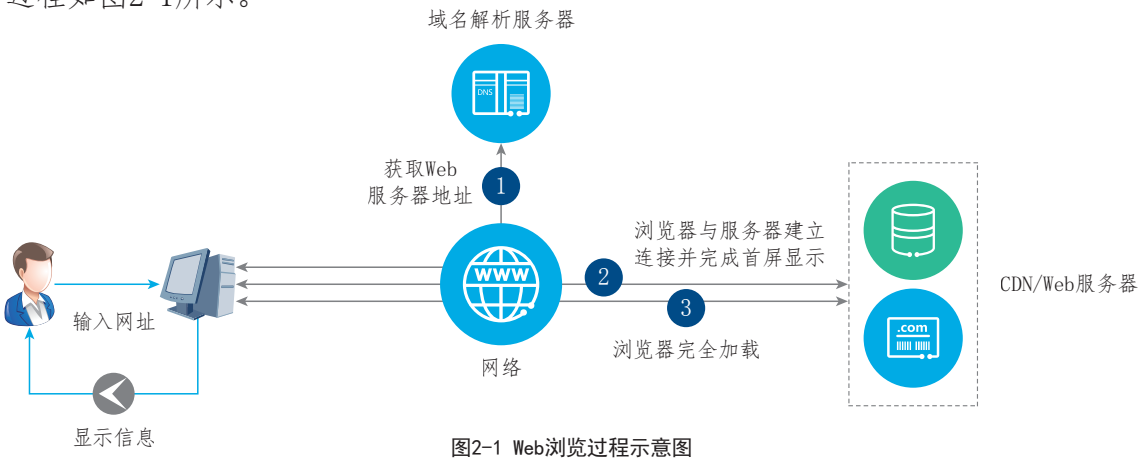


图2-1 Web浏览过程示意图

1)用户访问一个网页，通常需要在浏览器上输入该网页的地址，浏览器向域名服务器请求获取网址对应的IP地址，域名系统服务器处理后返回CDN/Web服务器的IP地址给浏览器。

2)浏览器与CDN/Web服务器所属IP完成连接建立，接着向服务器获取文件。在通常情况下，服务器上的文本、图片和构成该网页的其它文件会被逐一请求并发送回用户，在用户浏览器上完成首屏显示。

3)浏览器持续下载剩余内容，加上图像、链接和其它必须的资源，显示给用户，这些就构成了用户所看到的完整的“网页”。

通过Web浏览的业务实现过程可以见到，此类应用的业务体验质量由网络中的多个环节来决定，网络层面涉及到用户家庭网络，电信运营商的接入网、城域网、省级骨干网、国家骨干网，相关主体涉及到电信运营商、CDN服务提供商、业务内容提供商等多类企业。

2.2.3 网络能力要求

当前的固定家庭宽带网络能力支撑Web浏览普遍已不成问题，主要的关注点是内容、网络质量和网络实时带宽对用户浏览Web体验的影响。Web浏览业务应用对具体网络能力要求主要以接入带宽、网络时延和业务丢包率等指标来衡量，可参考表2-1：

表2-1 Web浏览对网络能力的要求

业务类型	接入带宽	网络时延	业务丢包率
Web浏览	≥18Mbps	<20ms	<0.08%

2.3 文件下载与上传

文件下载是指从互联网上接收数据到本机上的操作，占用了绝大多数的带宽，它让用户可以获取所需要的数据并保存在本机上，包含文字、图片、音乐、影片及应用程序等等。

文件上传是指由本机发送数据到互联网服务器上的操作。相对于下载，上传所占用的带宽往往少了数倍，这是因为上传只需要发送和远程服务器沟通时的必要数据。

2.3.1 业务应用情况

文件下载是互联网的基本应用，应用主要有网页下载（文件、图片、视频、音乐等）、FTP下载、电子邮件下载、软件下载、APP应用下载、P2P下载等。文件上传主要在网络硬盘和云存储服务中使用。

2.3.2 业务实现过程

文件下载/上传业务通常方式是客户端/浏览器从服务器下载/上传数据，其实现过程和途经的网络情况与Web浏览业务类似，业务过程包含IP地址获取、连接建立、数据下载/上传，如图2-2所示。

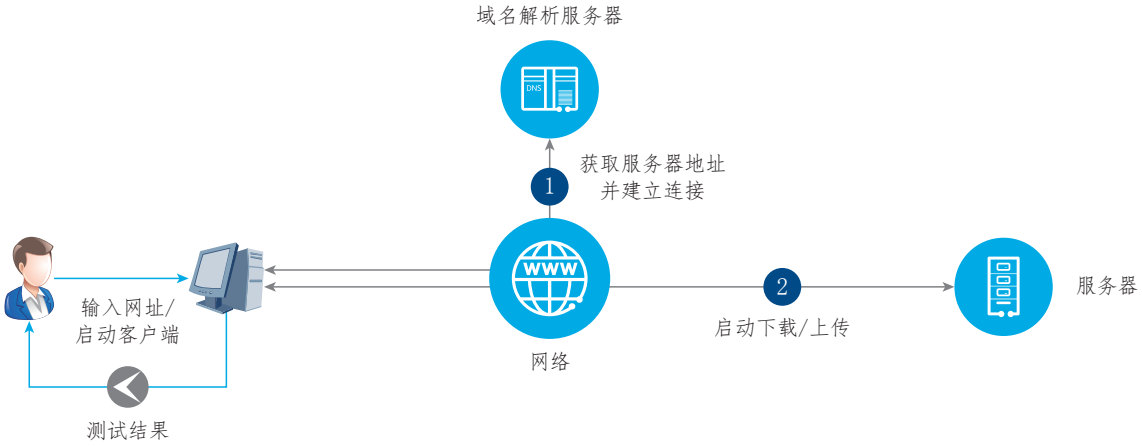


图2-2 文件下载/上传示意图

1) 用户通过浏览器访问Web或者启动下载/上传客户端，从域名服务器获取服务器的IP地址，然后浏览器或者客户端与服务器间完成连接建立。

2) 用户启动下载/上传，服务器/客户端控制数据的传输，如数据发送的速度和文件大小、个数等。客户端统计下载/上传文件个数和速率。

2.3.3 网络能力要求

网络下载/上传速率与用户接入带宽、客户端到服务器间的网络质量、客户端及服务器性能相关，对网络能力的要求主要以带宽、时延和丢包率等指标来来衡量，可参考表2-2：

表2-2 文件下载与上传对网络能力的要求

业务类型	接入带宽	网络时延	业务丢包率
文件下载/上传	由用户签约带宽决定	<20ms	<0.08%

2.4 IPTV

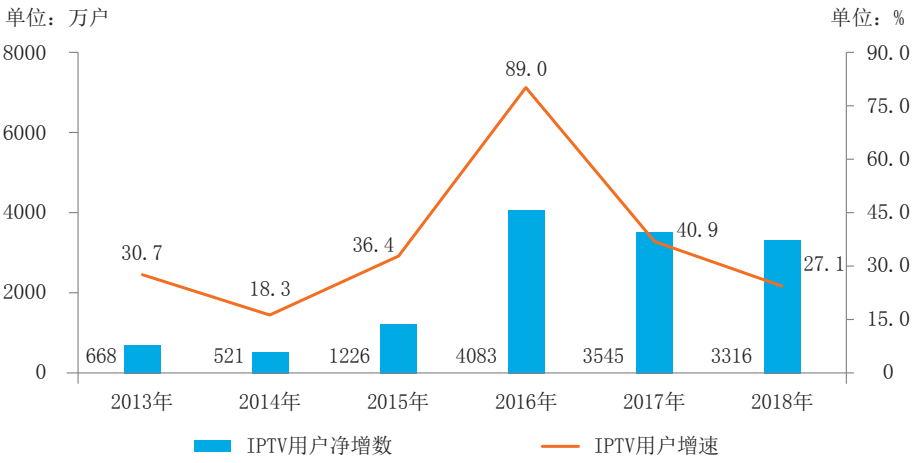
IPTV（Internet Protocol Television，网络协议电视），是电信运营商和有线电视播出机构联合提供的，以宽带专网方式承载的，通过IPTV 机顶盒+电视终端观看的视频播放业务，是数字电视的一种。

2.4.1 业务应用情况

IPTV从视频质量上可分为标清、高清、超高清等，其中超高清是指国际电信联盟批准的电视信息显示像素名称，定义了下一代电视视频技术，包含4K和8K，当前4K视频已经在家庭中普遍应用，8K技术将是电视视频技术发展方向。2018年底，产业界推出的机顶盒芯片主流是全4K芯片，新的IPTV用户也主要是全4K用户。随着全4K用户规模的增长和全4K业务的发展，用户视频体验将真正进入全4K视频体验时代。

IPTV业务从应用上一般分为直播（BTV）和点播（VOD）业务，均采用实时流媒体方式。直播业务可节约网络带宽资源，当多个用户访问同一视频流，在网络上只需要保证该视频的一份视频流的带宽；点播业务则是每个用户观看视频会端到端独自占用网络资源。

2018年底我国IPTV用户总数达到1.55亿户，比上年末增长27.1%，全年净增3316万户。



数据来源：工信部2018年通信业报告

图2-3 IPTV用户数量趋势图

2.4.2 业务实现过程

1. 直播

其业务过程通常包含机顶盒（STB）上线、用户选择节目、观看节目等，其业务实现的过程如图2-4所示：

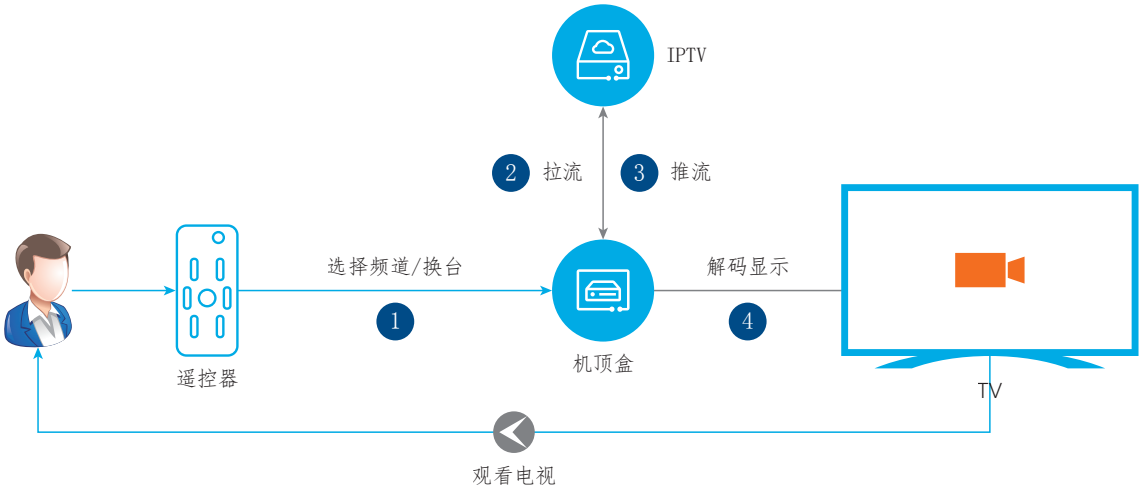


图2-4 IPTV 直播过程示意图

首先是机顶盒自动上线过程，机顶盒交互流量经过运营商的接入网络、城域网网络，最后到达运营商的IPTV系统，与IPTV系统交互以获取IP地址、完成认证、接受推送节目信息等。然后是用户操作选择观看电视的过程，具体描述如下：

1）根据电视上推送的节目信息，用户通过遥控器选择节目频道或者换台。
2）机顶盒向网络发送信息获取节目，城域边缘设备接收并处理节目请求信息，向IPTV系统发起流量请求。
3）IPTV系统CDN（内容分发网络）把业务流推送至城域边缘设备，城域边缘设备则继续推流到机顶盒。
4）机顶盒把视频呈现在电视机屏幕上。用户持续观看直播节目，直至用户换台或者关闭退出操作。

观看过程中，用户可能会进行换台操作，其过程是机顶盒会发送信息给网络边缘设备获取新频道的节目，与用户观看第一个节目频道过程一致。

2. 点播

点播业务的过程是用户通过遥控器选择观看视频，其业务过程通常包含机顶盒上线、用户选择视频、观看视频、快进/快退/暂停/播放等，具体实现过程如图2-5所示：

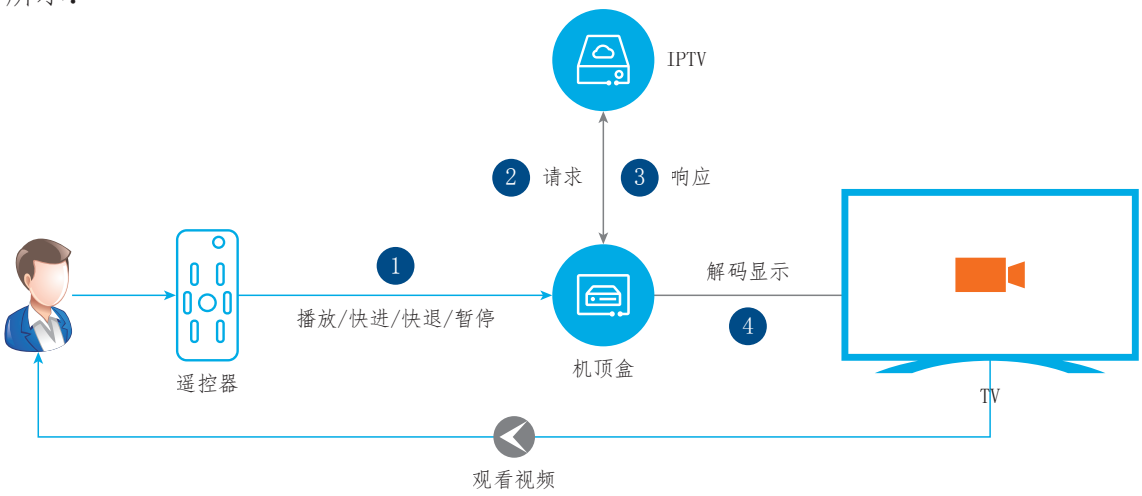


图2-5 IPTV 点播过程示意图

点播与直播的开机过程一致，下面描述点播的业务过程：

1）根据电视上推送的节目信息，用户通过遥控器选择需观看的视频。
2）机顶盒直接向IPTV系统发送获取视频的请求。
3）IPTV系统响应机顶盒请求，提供视频所在CDN地址给机顶盒。随后，机顶盒与CDN建立连接，获取指定视频流到机顶盒。

4) 机顶盒解码后把视频呈现在电视机屏幕上。用户持续观看视频，直至用户快进/倒退、暂停/恢复或者关闭退出操作。

观看过程中，用户进行快进/快退/暂停/播放等操作，都需要机顶盒重新从IPTV视频服务器下载对应视频流。

通过IPTV的业务实现过程可以见到，此类应用的业务体验质量由多个环节来决定，网络层面涉及到用户家庭网络，电信运营商的接入网、城域网，服务器能力涉及到电信运营商的IPTV服务器、CDN缓存服务器等。

2.4.3 网络能力要求

根据清晰程度、内容压缩情况等技术指标的差异，可以将目前的超高清视频发展分成几个等级：入门级4K、运营级4K、极致4K和8K，用户体验要求不同，其对应的网络要求也不同，主要以接入带宽和网络时延等指标来衡量，具体参考表2-3。

表2-3 IPTV对网络能力的要求

特征		1080P	入门级4K	运营级4K	极致4K	8K
分辨率 Resolution		1920*1080	3840*2160	3840*2160	3840*2160	3840*2 *2160*2
帧率Frame rate		30	25/30P	50/60P	100/120P	120P
色彩位深度 bits		8	8	10	12	12
对比度		-	-	HDR	HDR	HDR
压缩编码		H.264	H.265 main profile	H.265 main 10	H.265 Range Extension	H.265 Range Extension / H.266
平均码率(Mbps)	点播	8	12~16	12~20	18~30	35-60
	直播	8	25~30	15~25	25~40	50-80
带宽需求(Mbps)		>12	>30	>50	>50	>100
时延(ms)		30	20	20	20	20

注：在具体视频源中，片源的码率差别较大，与片源特征、压缩技术优化有关，这里提供的码率水平仅供参考。

上表中定义的运营级4K的码率是25~30Mbps，承载运营级4K带宽要求在当前至少要50Mbps（一般承载带宽要求是视频码率的1.5倍以上），再加上网络承载的需求，

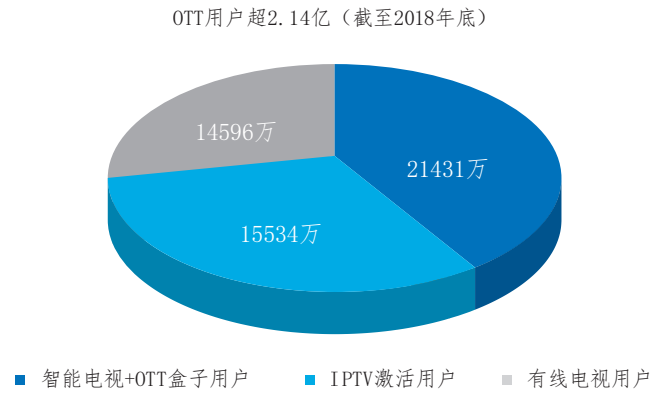
对带宽的要求在50~100Mbps；在将来，8K需要有100Mbps的带宽，再加上其它业务承载的需求，对带宽的要求将在100Mbps以上。

2.5 OTT视频

OTT(Over-The-Top)泛指互联网应用，本文讨论的OTT视频业务专指通过公共互联网向以电视为主的终端提供视频和互联网应用的业务形态，通过OTT 机顶盒（即通常所说的网络盒子）+电视终端观看的，或通过智能电视直接接入观看的视频播放业务。

2.5.1 业务应用情况

据统计，截至2018年底，国内OTT 视频用户已超过2.14亿，在家庭大屏幕的各类视频业务应用中增长率最高。越来越多的OTT 视频运营商开始更注重服务的体验质量，并开始提供高分辨率的内容，主流OTT的视频1080P占比超过50%，4K占比也在飞速提升。



数据来源：OTT统计数据来源于奥维互娱，IPTV激活用户数据来源于工信部，有线电视用户数据来源于有线电视发展公报

图2-6 2018年底OTT视频用户规模

2.5.2 业务实现过程

OTT视频业务过程是智能电视/OTT机顶盒从视频服务器进行视频流下载并在本地电视屏上显示的过程。除初始解析地址外，运营商网络在OTT视频业务中只是作为数据业务传输的管道。通常OTT视频服务器部署于城域网络中，流量会经过运营商的城域网和接入网，以及用户家庭网络。

OTT视频基于IP可靠的传输方式，视频播放一般分为3个阶段：初始缓冲准备阶段，初始缓冲下载阶段和播放阶段。其业务实现的过程如图2-7所示：

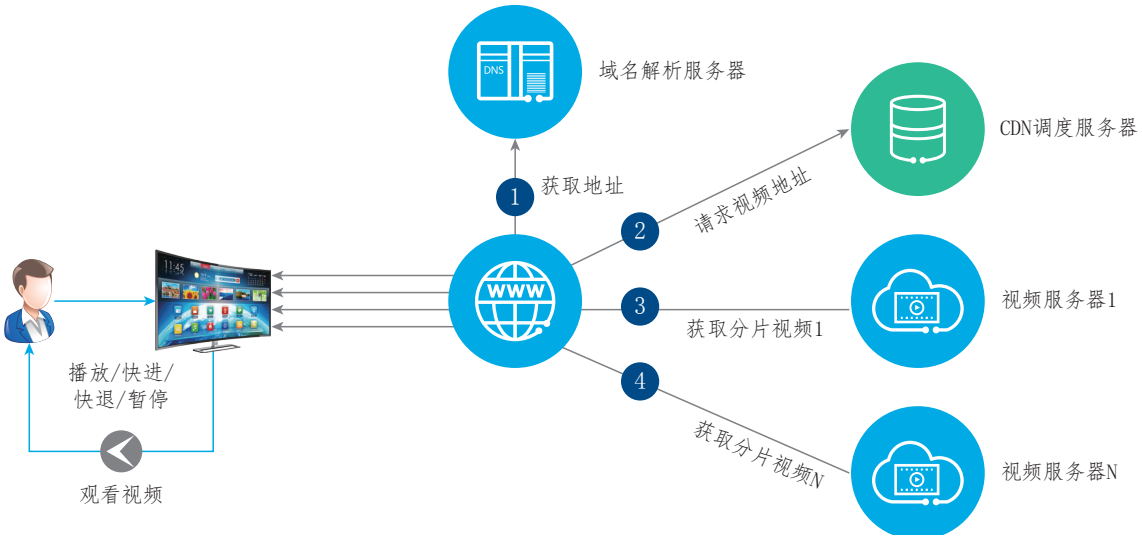


图2-7 OTT视频过程示意图

1）终端（智能电视/OTT机顶盒）会通过视频播放地址访问域名服务器，获取到CDN调度服务器的IP地址。

2）终端发送视频请求给CDN调度服务器，CDN调度服务器返回视频文件的真实地址给终端机顶盒。

3）终端与CDN视频服务器建立可靠连接，下载指定的视频文件到缓冲区，并读取缓冲区数据解码呈现在电视屏幕上，完成首次视频缓冲过程。

4）终端依次下载剩余视频分片和解码呈现的过程，直至用户有新的操作或者视频播放完成。

观看过程中，用户操作快进/倒退，都需要客户端重新从服务器下载对应流量到缓冲区，然后解码播放。

通过OTT视频业务实现过程可见，此类应用的业务体验质量由多个环节来决定，网络层面涉及到用户家庭网络、电信运营商的接入网与城域网，服务器能力涉及到内容提供服务商的OTT服务器、CDN业务提供商的缓存服务器等。

2.5.3 网络能力要求

在视频播放的过程中，如果因数据未能按时到达而进行缓冲，将造成卡顿效果，对视频体验的影响较大。随着网络不断提速，接入宽带限制对OTT视频的影响越来越小，并且大的OTT视频服务平台已经支持可变码率，在网络资源不足的时候适当降低清晰度，从而尽量避免缓冲等待，但接入带宽不够仍会影响播放视频切换清晰度，影响用户体验。具体参考表2-4。

表2-4 OTT视频对网络能力的要求

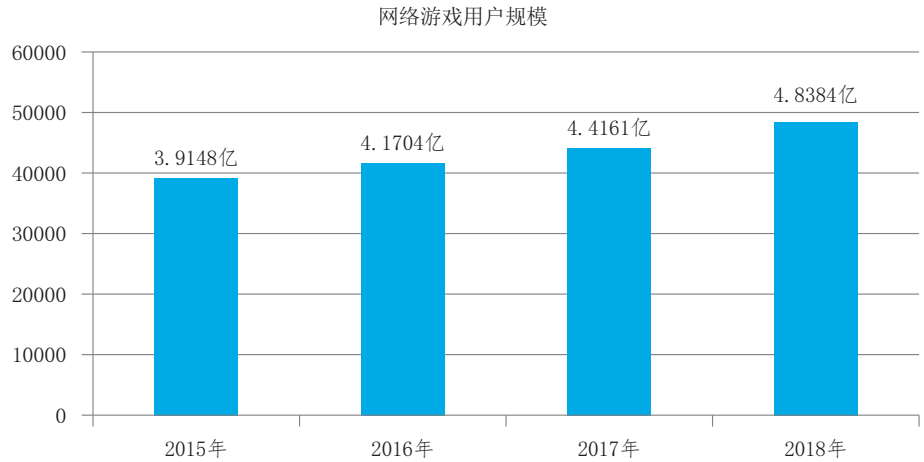
业务类型	接入带宽	网络时延	业务丢包率
1080P视频	≥18Mbps	<20ms	<0.1%
全4K视频	≥45Mbps	<20ms	<0.05%

2.6 网络游戏

以家庭宽带网络为承载媒介的游戏主要是网络游戏。网络游戏一般指多名玩家通过计算机互联网进行交互娱乐的电子游戏，主要包括回合（Turn）类游戏和实时(Real-Time)类游戏，对业务体验的网络能力的要求存在差异。

2.6.1 业务应用情况

据统计，国内网络游戏用户规模已达到4.8亿，网络游戏已成为家庭宽带的重要业务。如图2-8所示。



数据来源：CNNIC中国互联网络发展状况统计调查

图2-8 网络游戏用户规模

回合类的游戏会设定定时器等待其它玩家反馈，对于网络时延的要求相对于实时游戏更宽松。

实时类游戏主要有MOBA（Multiplayer Online Battle Arena，多用户在线对战）、MMO（Massive Multiplayer Online，大型多人在线）和FPS（First-Person Shooting，第一人称射击）等。实时类游戏所提供的体验更接近于人们的日常生活，在虚拟世界中获得现实无法获取的体验，在游戏中用户比例最高。实时类游戏对响应延迟的要求非常高，过长的传输延迟会影响服务器和玩家状态的同步过程，形成“卡”的感觉，本文重点针对此类游戏进行说明。

2.6.2 业务实现过程

游戏过程主要分为游戏启动/加载、游戏场景加载、游戏进行、游戏退出，影响用户体验最重要的是游戏进行中的流畅性。游戏过程如图2-9所示：

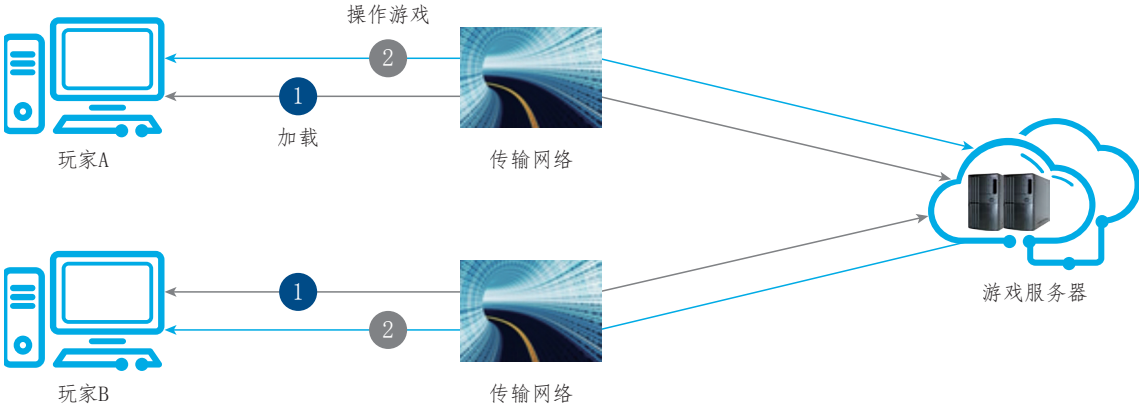


图2-9 游戏最重要的两个过程示意图

不同游戏从登录到游戏过程中交互过程不同，以游戏“王者荣耀”为例说明其过程：

1）游戏客户端启动后，获取调度服务器地址，然后由调度服务器协助把多个玩家调度到同一对战服务器，最后完成游戏加载。
2）游戏过程中，客户端向对战服务器发送玩家的操作指令，对战服务器按固定周期同步所有玩家的交互操作，将计算结果按固定周期发送给所有玩家客户端。
3）游戏结束退回到大厅，上传用户状态信息。

通过网络游戏业务的过程可见，网络游戏是终端与游戏服务器间进行信息交互的过程，通常游戏服务器部署于1到2个大城市，故绝大部分用户游戏业务流量都会经过用户家庭网络、电信运营商的接入网、城域网、省级干线、国家级干线，以及跨越其它电信运营商网络。

2.6.3 网络能力要求

目前游戏基本都是本地渲染，网络带宽需求较小，网络时延是影响游戏的主要原因。不同游戏因为玩法和和竞技程度不同，采用的算法不一样，对网络的延迟的要求也不一样。具体参考表2-5。

表2-5 网络游戏对网络能力的要求

游戏类型	典型游戏举例	业务特征
多用户在线对战游戏	王者荣耀	1. 对网络延时要求特别高，网络时延<50ms， 2. 多人同时在线，服务器高速读写速度和高稳定性。
大型多人在线游戏	魔兽争霸	1. 对网络延时要求非常高，网络时延<100ms； 2. 多人同时在线，服务器高速读写速度和高稳定性。
第一人称射击游戏	反恐精英	1. FPS实时竞技，客户端与服务器端频繁产生交互，时延<100ms； 2. 游戏状态频繁变化，多人同时在线，服务器高速读写速度和高稳定性。

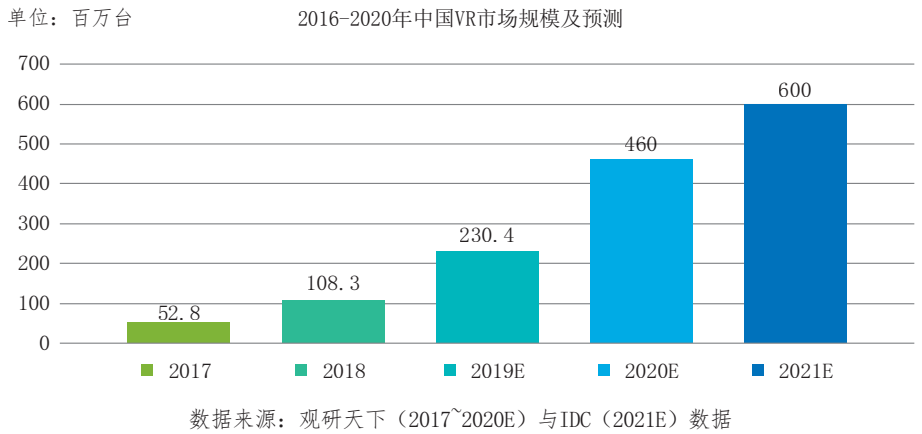
以多用户在线对战类游戏为例，当网络延时超过100ms时，会开始出现卡顿；当网络延时超过250ms时，会对玩家操作造成较大影响，导致游戏无法公平进行。

2.7 Cloud VR

2.7.1 业务应用情况

虚拟现实的Cloud VR（Cloud Virtual Reality，云VR）是将云计算、云渲染的理念及技术引入到VR业务应用中，借助高速稳定的网络，将云端的显示、声音输出等经过编码压缩后传输到用户的终端设备，实现VR内容上云、渲染上云。

据研究机构观研天下的数据，当前我国VR产业处于高速增长的态势中，2018年行业市场规模达到108.3亿元，预计到2020年市场规模将达到460亿元。另外，市场研究机构IDC预测2023年中国VR终端出货会达到1050.1万台。



数据来源：观研天下（2017~2020E）与IDC（2021E）数据

图2-10 中国VR市场规模及预测

前目前，市场上的VR终端产品主要包括手机式VR、PC VR、以及一体式VR。其中，手机式VR和一体式VR由于有限的渲染和计算能力，一般用于弱交互VR以及一部

分简单的强交互VR业务。而PC VR可借助高端PC或主机强大的渲染和计算能力，在用于强交互VR业务时用户也能获得较好的体验，如VR游戏类业务、VR健身等。

相对本地VR，Cloud VR有更大的用户基数空间、聚合平台和内容版权保护，更容易聚合内容，也更容易规模化发展，本文重点关注Cloud VR业务。

从用户和虚拟环境之间的交互体验角度进行分类，Cloud VR业务可分为强交互VR和弱交互VR，强交互主要是游戏，弱交互主要是VR视频。

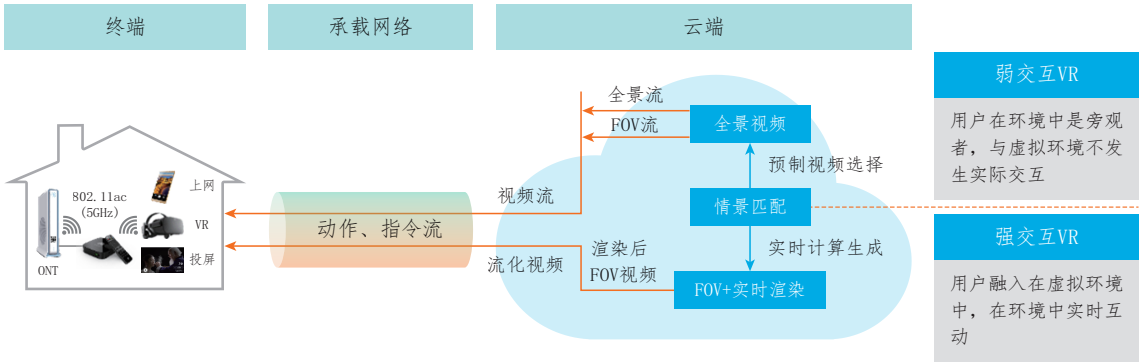


图2-11 Cloud VR强交互和弱交互类业务

2.7.1.1 Cloud VR强交互

强交互VR是指用户可通过交互设备与虚拟环境进行互动，通过虚拟环境中的物体对交互行为实时响应，使用户能够感受到虚拟环境的变化。在强交互VR中，强交互VR的虚拟空间图像生成与用户输入有关。

Cloud VR强交互类业务主要有VR游戏、VR教育、VR医疗等。

Cloud VR游戏

- 无绳终端自由移动
- 3DoF趣味小游戏
- 6DoF大型游戏

Cloud VR教育

- 第一人称视角体验
- 天文地理自然文化，寓教于乐

Cloud VR医疗

- 复制真实世界体验
- 医学无风险训练
- 多次反复练习

图2-12 Cloud VR强交互类业务

2.7.1.2 Cloud VR弱交互（视频）

VR弱交互类业务典型应用是VR视频，是指用户与虚拟环境中的实体不发生实际的交互（如触摸），用户仅可以在一定程度上选择视点和位置。在这种情况下，用户体验是相对被动的，体验内容也是预先规划好的。

VR巨幕影院、VR直播、VR360°视频是Cloud VR视频类业务的典型应用场景，能让用户获得身临其境的体验。

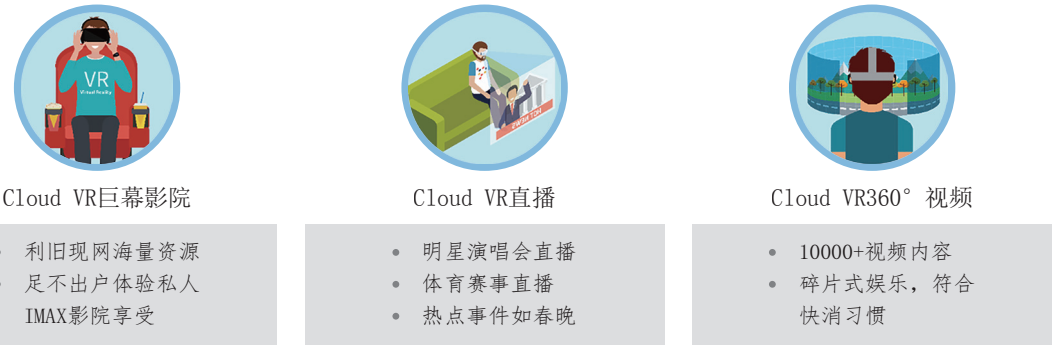


图2-13 Cloud VR弱交互类业务

2.7.2 业务实现过程

2.7.2.1 Cloud VR强交互

Cloud VR强交互类的业务过程包含头盔登录认证、请求渲染、业务循环、退出等步骤，下图以云游戏为例进行说明。

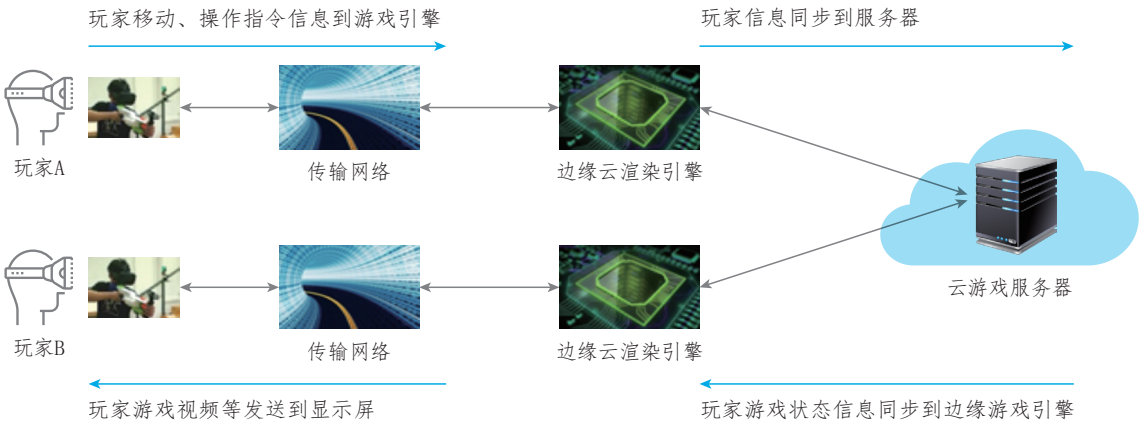


图2-14 Cloud VR游戏过程示意图

1）终端（如VR一体机）启动应用，使用用户账户向云VR系统认证，自动登录系统。

2）终端从服务器获取应用界面，用户选择应用后，终端向服务器发起渲染请求。服务器处理后分配资源给该用户，并返回资源信息给终端。

3）终端进入游戏中，发送用户操作信息和头盔角度信息给服务器，服务器处理后推送渲染后的流给终端，终端解码显示。本过程一直持续，直至用户退出该应用。

4）终端退出应用时，通知服务器退出渲染，服务器完成资源释放，完成整个业务服务。

Cloud VR强交互类业务，除去终端的启动和接入外，体验影响因素主要是画质导致的沉浸体验和交互体验两个方面。画质体验要求有好的视觉信息质量，从而避

免产生晕眩感；交互体验主要要求运动和视野延迟时间短，避免产生黑边、滞后感。

Cloud VR强交互业务过程是终端与云服务器间进行信息交互的过程，由于对于网络时延要求较高，云服务器只能部署于城域网内，用户业务流量都会经过用户家庭网络、电信运营商的接入网与城域网，业务体验受到上述环节的影响。

2.7.2.2 Cloud VR弱交互（视频）

根据传输内容的不同又可以分为全视角场景和FOV（Field of View，视场角）场景，其中FOV场景存在VR客户端与服务器的交互，对网络的时延有较高的要求。

目前Cloud VR视频类应用都是OTT方式，同样存在终端加载、地址解析、视频分片获取等过程，差异主要在于终端要多处理视角信息，下面针对终端处理视角信息进行说明：

1）全景视频场景

在Cloud VR视频类业务的起步阶段被广泛采用，云端会将360°视频内容全部都推送给终端，再由终端负责去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频、视频数据。当用户头部转动需要切换画面时，所有的处理都在本地头盔完成。

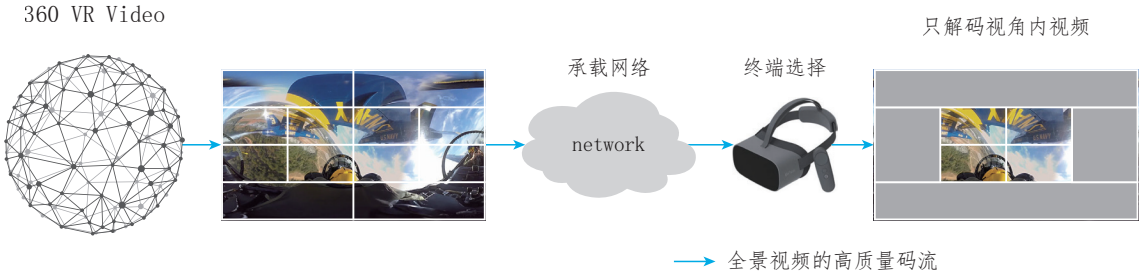


图2-15 全景视频场景过程示意图

2）FOV视频场景

随着视频分辨率、帧率和码率的不断提升，发展出基于用户视角变化进行有差别传输的FOV传输方式，该方式按需传输、部分解码，可以有效支撑8K、16K等全景视频业务的开展。

服务器推送的FOV视频，除了传输视角范围内的高清晰度内容外，还会同时传输低清晰度的360°视频，转头动作发生时，头盔会拼接低清晰度视频+高清晰度视频来完成视角切换，然后再请求云端刷新视角。在这个过程中，如果网络时延过大

会影响视频从低清晰度到高清晰度切换，将给用户带来不好的体验。

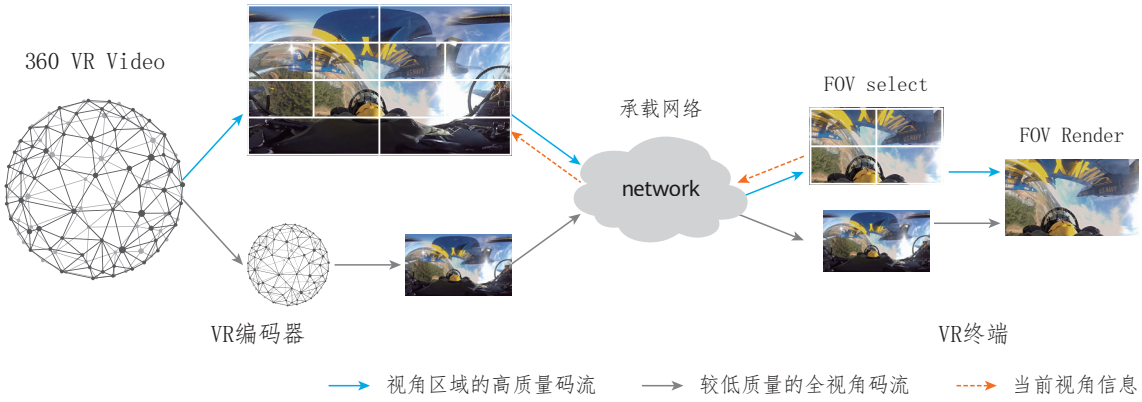


图2-16 FOV视频场景过程示意图

2.7.3 网络能力要求

2.7.3.1 Cloud VR强交互

针对强交互VR业务，其中时延和带宽是关键指标。基本起步阶段需要100Mbps带宽/20ms时延支持，未来需要大于1Gbps带宽/10ms时延支持。具体参考表2-6。

表2-6 强交互VR业务对网络能力的要求

业务类型		起步阶段 4K	舒适体验 8K	理想体验 ≥12K
强交互VR业务（游戏类）	带宽需求（Mbps）	≥80	≥130	≥540
	时延（ms）	≤20	≤20	≤10

2.7.3.2 Cloud VR弱交互（视频）

针对弱交互VR业务体验，其中带宽是关键指标。起步阶段需要100Mbps带宽，未来需要大于1Gbps带宽。具体参考表2-7。

表2-7 弱交互VR业务对网络能力的要求

业务类型		起步阶段 4K	舒适体验 8K	理想体验 ≥12K
弱交互VR业务（全景视频）	接入带宽需求(Mbps)	≥60	≥180	不考虑全景
	网络时延（ms）	≤20	≤20	≤20
弱交互VR业务（FOV视频）	接入带宽需求(Mbps)	不需要FOV	≥120	≥420
	网络时延（ms）	≤30	≤20	≤20

2.8 语音

语音业务即VoIP（Voice over Internet Protocol），它是指将模拟的声音信号经压缩与封包后，以数据封包的形式在IP网络环境中进行语音信号的传输。通俗来说也就是互联网电话、网络电话或者IP电话的意思。

VoIP是通过语音分组实现的，在VoIP 中，数字信号处理器DSP（Digital Signal Processor）将语音信号封装成帧并储存在分组包中再进行传输。占用的带宽比较小，对时延等要求比较高，如果时延太大，可能会存在产生回声等问题，影响话音质量。

VoIP整个业务过程分为摘机、呼叫等待、通话及结束共4个阶段，其中用户体验影响大的是呼叫等待和通话过程。

相对于视频、游戏等业务，VoIP对网络的要求低，且应用已经非常成熟，本节不再详细描述。

03 业务体验的关键指标

3.1 总述

上一章主要介绍了家庭宽带的主要业务应用类型、业务实现过程和对网络能力的基本要求。本章节将主要阐述针对不同的业务应用，提出影响其业务体验的关键技术指标，分析决定这些关键指标的网络主要因素。各类业务体验的关键指标汇总如下，具体内容下文将分别阐述。

表3-1 各类业务体验的关键指标汇总

业务类别	影响业务体验的关键指标名称	对应的网络层面决定因素
Web浏览	首屏呈现时间	转发时延、丢包率、用户带宽
文件下载与上传	文件可用下载速率	转发时延、丢包率、用户带宽
	文件可用上传速率	转发时延、丢包率、用户带宽
IPTV（直播）	频道切换时延	转发时延
	画面花屏时长占比	丢包率
	画面平均花屏面积百分比	丢包率
IPTV（点播）	首次缓冲时间	转发时延
	观看卡顿次数	转发时延、丢包率、用户带宽
OTT视频	首次缓冲时间	转发时延
	观看卡顿次数	转发时延、丢包率、用户带宽
游戏	操作响应时间	转发时延
	操作卡顿率	丢包率
Cloud VR（强交互）	程序加载等待时长	转发时延
	MTP越限次数	转发时延
	黑边越限次数	转发时延
	花屏次数/时长	丢包率
	卡顿次数/时长	丢包率
Cloud VR（弱交互视频）	视频加载等待时长	转发时延
	MTP越限次数	转发时延
	画质切换越限次数（仅FOV视频涉及）	转发时延
	卡顿次数/时长	转发时延、丢包率、用户带宽
语音	语音接通率	转发时延
	语音通话时延	转发时延

3.2 Web浏览

用对于Web浏览业务来说，影响业务体验的关键指标有：首屏呈现时间。

1.首屏呈现时间

首屏呈现时间指标定义为在与某网站服务器建立TCP连接之后，固定宽带用户发出获取该网站数据请求消息直至收到该网站返回的数据首次占满用户终端屏幕的延迟时间，即某网站页面在浏览器（如IE）窗口的区域（如800*600）充满时所需要的时间，主要反映用户打开网页时的等待时间。

对于最终用户体验而言，当内容充满首屏的区域时，用户能看到网站的主要内容并可以进行各自的选择。首屏呈现时间的快与慢，直接影响到了用户对网站的访问体验。例如：当用户打开网页的首屏呈现时间小于1.5秒，用户在浏览网页时感觉“零”等待，体验较好；首屏呈现时间在超过1.5秒后，用户在浏览网页时就有了等待感；首屏呈现大于5秒，用户在浏览网页时等待较久，体验就会比较差了。

网页的首屏呈现时间网络层面的影响因素主要为网页域名解析时间、网页连接建立时间和网页的平均下载速率决定，主要受到网络转发时延、丢包率和用户带宽的影响，用户带宽决定下载速率的上限，而网络时延和丢包率决定实际能够达到的平均下载速率。

3.3 文件下载与上传

对于文件下载和上传业务来说，影响业务体验的关键指标有：可用文件下载速率，可用文件上传速率。

1.可用文件下载速率

根据通信行业标准《宽带速率测试方法 用户上网体验》(YD/T 2400~2014)中的定义，固定宽带可用下载速率主要反映用户从网站下载文件或其它内容的速率，具体来说，是当固定宽带用户与远端多个网站建立多个TCP连接后，在15秒内用户能够从这些TCP连接上所获得的数据量与统计时间之比，可用下载速率的单位为“兆比特每秒（Mbit/s）”。

可用文件下载速率受到网络中多个环节的影响，首先和用户的固定宽带签约速率有关，签约速率越高，表明用户的接入带宽越高，在下载文件时，可利用的带宽多，单位时间内下载的数据量大，自然下载速率也就越高；但可用文件下载速率不仅仅与签约速率有关，还受到用户所使用的终端性能（比如电脑、手机、Pad等终端

的性能）、用户家庭网络环境（比如Wi-Fi的信号质量，是否多人同时上网等）、访问被下载文件所在的网站经过的网络路径（比如内容网站距离远近，是否使用了内容分发CDN技术就近访问，是否经过了不同运营商之间的网络）以及访问网站的服务能力（给用户的接入带宽，网站的服务能力等）有关系。这些环节也对应着网络中的多个性能指标，比如：用户带宽，双向时延，丢包率。

2.可用文件上传速率

根据通信行业标准《公众固定宽带接入业务上下行速率配置要求》（YDT 3328~2018）中的规定，公众用户固定宽带接入业务签约上行接入速率与签约下行接入速率按照最低1:5的比例配置，当签约下行接入速率超过150Mbit/s时，签约上行接入速率最低应为30Mbit/s。与文件可用下载速率类似，文件可用上传速率既与签约上行速率有关，同时也受到上述多个网络环节的影响。比如：用户带宽，双向时延，丢包率，具体描述参考“可用文件下载速率”中所述。

3.4 IPTV

IPTV分为直播和点播业务，在体验关键指标上有差异，下面分别展开说明。

3.4.1 直播

直播视频业务的体验关键指标包括：频道切换时延、画面花屏时长占比、画面平均花屏面积百分比。

1.频道切换时延

频道切换时延指标定义为切换节目时上个频道关闭至下一个频道播出的总时长。

基于广播电视换台操作经验，直播业务时，用户对换台低时延的要求较高。因此频道切换的时延是影响直播互动体验的重要因素。频道切换时延越长，用户的交互体验越差。

例如：当频道切换时延小于100ms时，频道切换操作非常流畅，用户的交互体验很好；而当频道切换时延大于4000ms时，频道切换操作响应很慢，用户的交互体验很差。

影响频道切换时延的网络层面的因素主要由网络转发时延决定，在网络转发时延低的条件下能获得低频道切换时延。在大量用户同时切换频道时，对网络设备的处理能力有较高要求。

2.画面花屏时长占比

画面花屏时长占比指标定义为视频播放期间，画面花屏时长在总体播放时长中的比例。

视频画面是用户最直接感受的信息，当画面出现花屏时，用户的观看体验变差。画面花屏时长占比反映的是画面花屏的严重程度，画面花屏时长占比越高，用户的观看体验越差。

例如：当画面花屏时长占比为0%时，代表整个观看过程无花屏画面出现，用户的观看体验很好；而当画面花屏时长占比大于15%时，用户的观看体验很差。

影响画面花屏时长占比的网络层面的因素主要为媒体丢包率。对于采用UDP报文承载的直播视频，丢包将会导致画面花屏的出现，理想的视频流传输要求媒体丢包率数值为零。

媒体丢包率主要由网络丢包率决定，在低网络丢包率条件下能获得低媒体丢包率。

3.画面平均花屏面积百分比

画面平均花屏面积百分比指标定义为画面发生花屏期间，平均花屏面积百分比(%)。

视频画面是用户最直接感受的信息，当画面出现花屏时，用户的观看体验变差。画面平均花屏面积百分比反映的是画面花屏在观看画面中存在的严重程度，画面平均花屏面积百分比越大，用户的观看体验越差。

例如：当画面平均花屏面积百分比为0%时，代表整个观看过程无花屏画面出现，用户的观看体验很好；而当画面平均花屏面积百分比大于35%时，用户的观看体验很差。

影响画面平均花屏面积百分比的网络层面的因素主要为媒体丢包率。对于采用UDP报文承载的直播视频，丢包将会导致画面花屏的出现，理想的视频流传输要求媒体丢包率数值为零。

媒体丢包率主要由网络丢包率决定，在低网络丢包率条件下能获得低媒体丢包率。

3.4.2 点播

点播视频业务的体验关键指标包括：首次缓冲时间、观看卡顿次数。

1.首次缓冲时间

首次缓冲时间指标定义为从用户开始点播视频节目或在观看过程中进行快进/快退操作（跳转到尚未缓存的时间点），到终端首次出现视频影像的等待时间。

首次缓冲时间反映的是用户开始点播画面后的等待时间，如果缓冲时间过长会引起用户长时间的等待，导致比较差的体验。

例如：当首次缓冲时间小于0.5s时，用户的观看体验很好，几乎感觉不到等待；而当首次缓冲时间大于7s时，用户就会明显感觉到较长的等待，用户的观看体验很差。

影响首次缓冲时间的网络层面的因素主要为DNS解析时间和视频连接时间，较大的DNS解析时间内和视频连接时间内都会导致首次缓冲时间过大。

DNS解析时间和视频连接时间主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低DNS解析时间和低视频连接时间。

2.观看卡顿次数

观看卡顿次数指标定义为用户在指定观看时间（例如5分钟）内，视频播放出现卡顿等待缓冲的次数。

观看卡顿次数反映的是用户观看画面的流畅程度，如果卡顿次数过多会导致比较差的观看体验。

例如：当观看卡顿次数为0时，用户的观看体验很好，观看过程“零”卡顿，拖放进度条后画面瞬间呈现；而当观看卡顿次数大于7时，观看过程卡顿次数非常频繁，用户的观看体验很差。

影响观看卡顿次数的网络层面的因素主要为视频下载平均速率，较低的视频下载平均速率会导致观看卡顿的出现。视频播放持续流畅不卡顿要求视频流接收速率大于等于视频流解码速率。如果视频下载平均速率过小，会导致视频播放过程中视频接收速率小于视频流的解码播放速率，这样就会出现播放过程中的卡顿。

平均下载速率主要由网络转发时延、丢包率和用户带宽共同决定，用户带宽决定平均下载速率的上限，而网络时延和丢包率决定实际能够达到的平均下载速率。

3.5 OTT视频

OTT视频在业务过程上与IPTV有所区别，因为均属于视频业务，在影响业务体验的关键指标上与IPTV业务中的点播业务类似，主要是首次缓冲时间、观看卡顿次数，具体情况可见3.4.2。

3.6 网络游戏

影响实时类游戏和非实时类游戏的关键体验指标项相同，主要包含操作响应时间、操作卡顿率。

1.操作响应时间

操作响应时间指标定义为玩家点击鼠标或键盘到游戏客户端开始响应的平均时间差。

操作响应时间包含了从用户指令上传给服务器到服务器下传计算结果并在终端上显示的整个时间。用户对操作响应时间的期望值较高，操作响应时间越长，用户的游戏体验越差。

例如：对时延要求最为苛刻的实时对战类游戏，当操作响应时间小于100ms时，用户可以感知到游戏体验十分流畅，全程无卡顿；而当操作响应时间大于100ms时，则用户开始感知到操作响应偏慢，游戏体验差。

影响操作响应时间的网络层面的因素主要为游戏报文时延。在一局游戏中，游戏关键交互报文（一般为UDP报文）端到端双向时延过大时，就会引起操作响应时延过大。

游戏报文时延主要由网络时延决定，在低网络时延条件下能获得优秀的游戏报文时延。

2.操作卡顿率

操作卡顿率指标定义为游戏出现卡顿的次数与总操作次数之比（不考虑终端的性能瓶颈）。

卡顿是一个明显的游戏画面延迟，严重影响玩家在游戏中的动作反馈结果。通常，高延迟导致滞后，滞后可以反映为游戏中的图片冻结或“快进”或跳帧操作。卡顿率反映游戏运行的流畅度，操作卡顿率越高，用户游戏体验越差。

影响操作卡顿率的网络层面的因素主要为游戏报文丢包率和游戏报文时延。一段时间内，游戏数据报文的丢包率越高，操作卡顿率越高。

游戏报文丢包率主要由网络丢包率决定，在低网络丢包率条件下能获得低游戏报文的丢包率。游戏报文时延主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低游戏报文时延。

3.7 Cloud VR

VR业务分为两大类：Cloud VR强交互类和Cloud VR弱交互（视频）类。其中Cloud VR视频类根据传输方式和内容的不同，分为Cloud VR全景视频和Cloud VR FOV视频。

这两类VR业务用户可感知的关键体验指标侧重有所不同，如下文详细描述。

3.7.1 Cloud VR强交互

1.程序加载等待时长

程序加载等待时长指标定义为从用户点击视频播放按钮到屏幕显示出视频画面的时长。该指标直接影响到了用户首次体验VR业务等待时间。在Cloud VR 游戏应用中，加载等待时长是指从用户点击游戏开始按钮到最终进入游戏画面的时长。

例如：在VR游戏应用中，游戏加载时长不应该超过60s，如果超过，用户等待时间过长，体验很差。

程序加载时长主要受网络的DNS域名服务器解析时间和视频连接时间的影响。

较长的DNS域名服务器解析时间和视频连接时间都会导致程序加载时间过长。

DNS域名服务器解析时间和视频连接时间主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低DNS解析时间和低视频连接时间。

2.MTP越限次数

MTP（移动感知延迟）指从用户头部姿态变化到终端显示画面出现变化的时间差。MTP延时过大容易影响用户体验VR业务的眩晕感。业界研究，MTP时延低于20ms时能大幅减少晕动症发生。当MTP时延>20ms时，记一次越限次数。

例如：当MTP越限次数为0时，用户的沉浸感体验很好；而当MTP越限次数大于7时，表示越限次数非常频繁，用户的沉浸感体验很差。

MTP越限次数主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低MTP越限次数。

3.黑边越限次数

黑边是指用户在VR中看到的画面出现了黑边。黑边产生主要是当头部转动较快时，本地不能生成预测画面，超出原图像的部分会显示为黑边。黑边出现的次数越多，越影响用户VR体验。业界研究，黑边超过5度时，用户会有明显感知。当黑边超过5度时，记一次黑边越限次数。

例如：当黑边越限次数为0时，用户的沉浸感体验很好；而当黑边越限次数大于7时，表示黑边越限次数非常频繁，用户的沉浸感体验很差。

黑边越限次数主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低黑边越限次数。

4.花屏次数/时长

花屏是指用户观看屏幕有图像，但图像上覆盖有点状、片状、马赛克干扰。

视频画面是用户最直接感受的信息，当画面出现花屏时，用户的观看体验下降。画面花屏占比反映的是画面花屏在时间维度的严重程度，画面花屏时长占比越高，用户的观看体验越差。

例如：当画面花屏时长占比为0%时，代表整个观看过程无花屏画面出现，用户的观看体验很好；而当画面花屏时长占比大于15%时，用户观看体验很差。

影响画面花屏次数/时长的网络层面的因素主要为媒体丢包率。对于采用UDP报文承载的直播视频，丢包将会导致画面花屏的出现，理想的视频流传输要求媒体丢包率数值为零。

媒体丢包率主要由网络丢包率决定，在低网络丢包率条件下能获得低媒体丢包率。

5.卡顿次数/时长

卡顿是指游戏过程中突然出现画面停滞，经过一段时间后又恢复正常的现象。

业界研究，VR终端显示有效视频画面两帧之间的间隔时间超过50ms，就会让人感觉画面停滞。卡顿严重影响用户体验VR业务。

例如：当操作卡顿次数为0时，用户的交互体验很好，操作过程“零”卡顿，操作流畅；而当操作卡顿次数大于7时，操作过程卡顿次数非常频繁，用户的交互体验很差。

影响卡顿次数/时长的网络层面的因素主要为游戏报文丢包率。一段时间内，游戏数据报文的丢包率越高，卡顿次数/时长越高。

游戏数据报文丢包率主要由网络丢包率决定，在低网络丢包率条件下能获得低游戏数据报文的丢包率。

3.7.2 Cloud VR弱交互（视频）

1.视频加载等待时长

视频加载等待时长指标定义为从用户点击视频播放按钮到屏幕显示出视频画面的时长。该指标直接影响到了用户首次体验VR业务等待时间。

例如：当首次缓冲时间小于2s时，用户的观看体验很好，几乎感受不到等待；而当首次缓冲时间大于7s时，用户就会明显感觉到较长的等待，用户的观看体验很差。

视频加载时长主要受网络的DNS域名服务器解析时间,视频连接时间的影响。

较大的DNS域名服务器解析时间和视频连接时间都会导致视频加载时间过长。

DNS域名服务器解析时间和视频连接时间主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低DNS解析时间和低视频连接时间。

2.MTP越限次数

MTP（移动感知延迟）指从用户头部姿态变化到终端显示画面出现变化的时间差。MTP延时过大容易影响用户体验VR业务的眩晕感。业界研究，MTP时延低于20ms时能大幅减少移动感知时延产生的晕动症发生。当MTP时延>20ms时，记一次越限次数。

例如：当MTP越限次数为0时，用户的沉浸感体验很好；而当MTP越限次数大于7时，表示越限次数非常频繁，用户的沉浸感体验很差。

MTP越限次数主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低MTP越限次数。

3.画质切换越限次数（仅FOV视频涉及）

以主流视频编解码MPEG国际组织的FOV方案为例，云端会根据终端上报的姿态发送用户视角内的高质量内容和一个低质量的全视角视频内容，终端在移动时在收到新视角高质量内容之前会用低质量内容填补。这个过程中，新视角高质量内容获取超过200ms后会让用户感知到，故画质切换时间超过200ms界定为画质切换越限。

例如：当画质切换越限次数为0时，用户的观看体验很好，用户沉浸感好；而当画质切换越限次数大于7时，表示切换越限次数非常频繁，用户的沉浸感体验很差。

画质切换越限次数主要由网络转发时延决定，在低网络转发时延条件下能获得低画质切换越限次数。

4.卡顿次数/时长

卡顿是指在视频播放过程中，由于网络下载数据总量（通量）无法赶上视频的播放速度（码率）时导致播放缓冲区内容耗尽引起的现象。卡顿严重影响用户体验VR业务。

例如：当观看卡顿次数为0时，用户的观看体验很好，观看过程“零”卡顿；而当观看卡顿次数大于7时，观看过程卡顿次数非常频繁，用户的观看体验很差。

影响观看卡顿次数/时长的网络层面的因素主要为网络下载平均速率，较低的下载平均速率会导致观看卡顿的出现。

平均下载速率主要由网络转发时延决、丢包率和用户带宽共同决定，用户带宽决定平均下载速率的上限，而网络时延和丢包率决定实际能够达到的平均下载速率。

3.8 语音

语音关键体验指标有：语音接通率，语音通话时延

1.语音接通率

语音接通率指标定义为主叫用户发起语音呼叫，直到听到振铃成功建立语音通话连接的概率。该指标直接影响到了主叫和被叫用户是否成功打通电话的成功率。

语音接通率大于99%接通率是体验最优，95~99%接通率用户体验良，低于95%接通率以下用户体验差。

影响语音接通率的主要网络因素是网络丢包率。丢包率越大，掉线概率越大。

2.语音通话时延

语音通话时延指标定义从说话人开始说话到受话人听到所说的内容的时间。该指标直接影响了终端用户的等待感受和通话过程中对通话质量的满意程度。

一般人们能忍受小于220ms的时延，若时延太长，形成回波后会造成回音，通话的人会听到自己说话的回音，会使通信双方都不舒服。

影响语音通话时延的主要网络因素是网络时延。网络时延越大，通话时延也越大，用户体验越差。

04 如何构建高质量的业务体验

4.1 总述

通过前述章节对影响固定家庭宽带业务体验关键指标的分析，可以了解到固定家庭宽带业务的特点各异，对于不同的业务类型，均有不同的关键体验指标要求。

在家庭宽带业务的“千兆时代”，Web浏览、文件上传/下载是家庭宽带的基础类业务；游戏、4K/8K超高清视频是家庭宽带业务的增值类业务；VR是家庭宽带业务的新兴类业务，其中Cloud VR视频被称为下一代的IPTV，强交互型的Cloud VR应用，如游戏、教育、社交等应用也将进入家庭。要保证家庭宽带业务高质量的体验，需要在网络带宽、突发性、低时延、稳定性、网络QoS保障上都能满足家庭宽带业务的要求。

各类业务的特点以及对网络各项相关能力的要求汇总如图4-1所示：

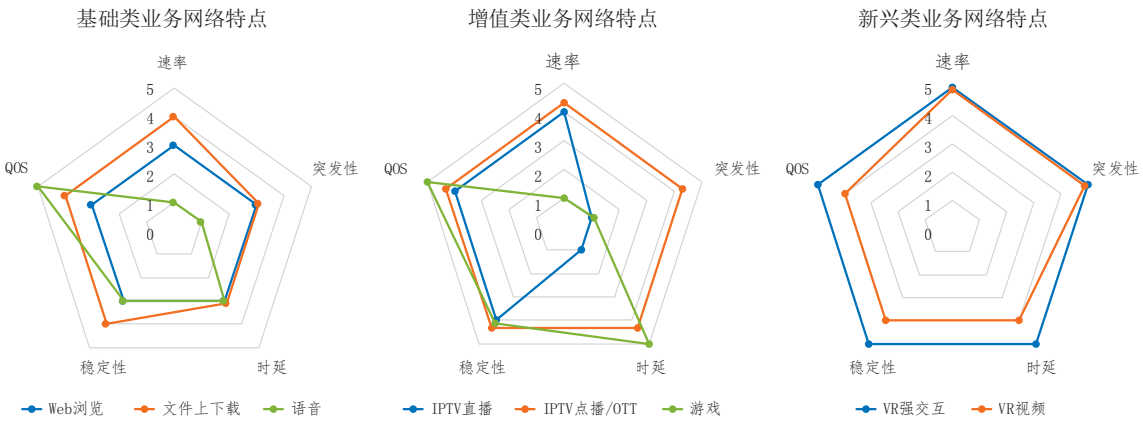


图4-1 家庭宽带各类业务特点汇总图

家庭宽带业务体验最终是用户实实在在的感知，整个网络的各个环节，包含云、管、端（如图4-2所示）共同决定了家庭宽带的业务体验，要想获得高质量的家庭宽带业务体验，需要电信运营商、互联网企业、家庭用户等各个方面共同开展工

作。本章基于用户体验的要求，针对构建固定家庭宽带高质量的业务体验，给出了相关具体建议。

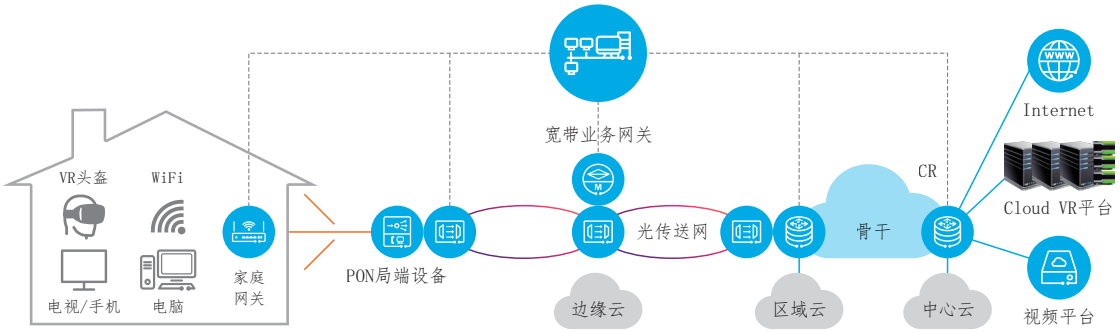


图4-2 端到端网络图示

4.2 城域网

4.2.1 影响体验的因素分析

家庭宽带业务有对时延敏感的游戏和VR强交互业务，也有对带宽要求高的超高清视频、VR视频、文件下载与上传业务，城域网对于高质量业务体验的影响因素分析如下：

1) 4K/8K超高清视频、Cloud VR业务等高码率的数据流必然要求城域网具备高容量和接入带宽。如超高清视频，一路4K视频普遍要求带宽50Mbps以上，8K视频则要求带宽在100Mbps以上；再如VR视频，起步阶段就要求带宽60Mbps以上，想得到舒适的体验则要求带宽在180Mbps以上。为适应业务发展及高质量体验的需求，电信运营商的城域网需要在总体容量、总接入带宽和业务流量抗突发方面不断的提升能力。

2) 当前城域网络多级汇聚的网络架构也是影响高质量业务体验的重要因素。当网络承载超高清视频、Cloud VR业务时，每一级汇聚网络都相当于一个拥塞点，而流量则像穿越多个“红绿灯”， 增加了网络中丢包和高时延的可能性。

3) 传统的宽带业务网关（BNG）在网络中位置（靠近省级骨干网络），一定程度上影响了内容分发网络（CDN）尽可能下移至离用户更近的地方，视频流量从内容服务器到用户终端需要经过较长的路径，导致时延长。还有，Cloud VR游戏的渲染服务器也只能部署在较高位置，但云端渲染对网络时延要求非常高，网络时延的增加都会影响到高质量的业务体验。

4) 如果网络进行层次简化改造，会带来大量光纤铺设或者改造的诉求。另外业

务的扩展也会带来新增光纤需求，但光纤新铺设或者调整的周期较长，也制约着高质量用户体验网络的构建。

4.2.2 网络优化措施分析

通过上述分析可以看出，要获得好的家庭宽带高质量业务体验，在城域网层面，优化的主要措施是扩大网络容量、简化网络架构、保证稳定的低时延，主要优化措施有：

1. 城域网容量升级

城域网设备的总容量和接口带宽升级到更大、更高，以支撑大带宽业务。当前宽带业务网关和城域网设备容量进入了Tbps时代，城域网设备单接口速率也已达到400Gbps。采用大容量的设备和接口对于构建高质量的业务体验网络具有重要的意义。

2. 简化网络结构

a) 减少网络层级，降低拥塞概率，如图4-3所示，通过IP+光传送网络简化了IP汇聚层和汇聚交换层，使得网络结构由5层变成3层，是一种解决方案。

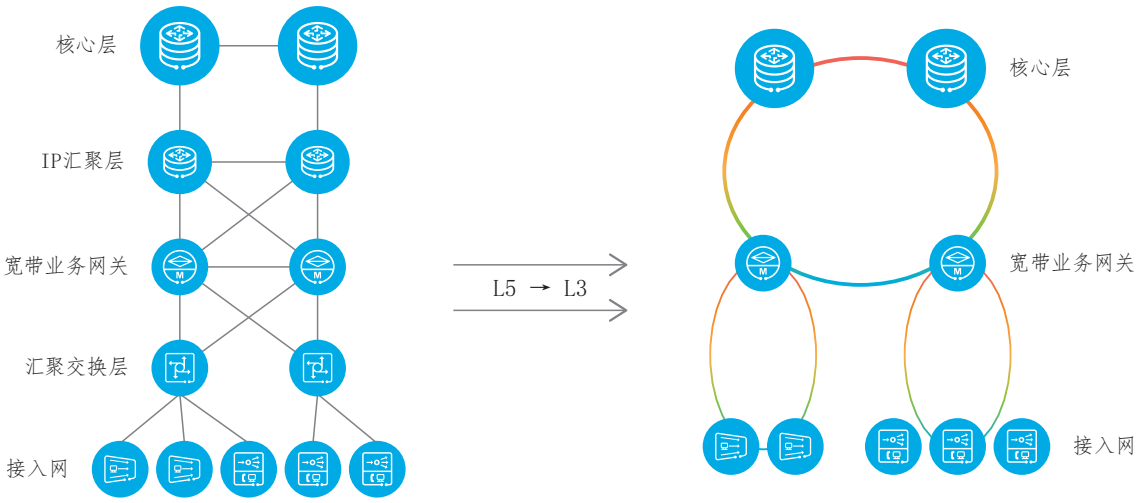


图4-3 5层网络变成3层网络示意图

b) 宽带业务网关下移到城域网边缘，支撑内容服务器向城域网下移。例如，Cloud VR时延要求非常高，为了保证业务体验，云渲染服务器需要部署到尽量靠近用户的城域网中，宽带业务网关位置下移也为云渲染服务器向城域网部署提供了基础。

c) 光传送网络（OTN）适当下移，如图4-4所示，通过一根光纤内配置多个波长替代多根光纤，可以实现单光纤传输Tbps级别容量，不用增加光纤也能升级光纤带

宽，且扩容对其它业务不产生影响，无光缆资源后顾之忧。

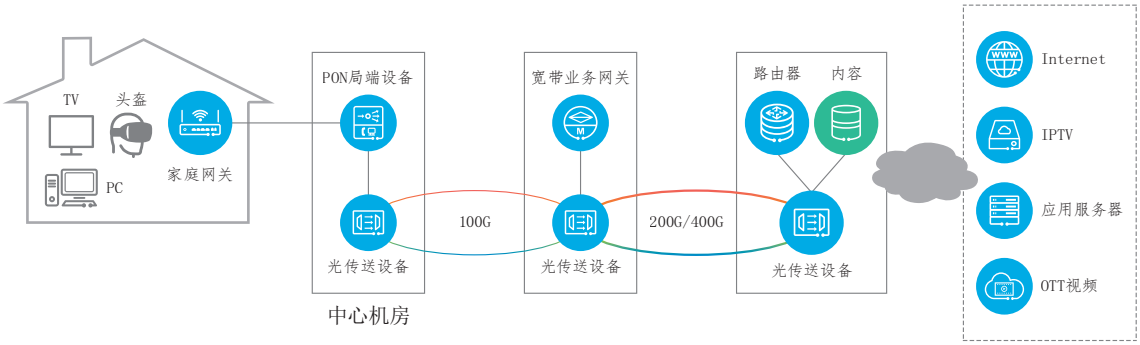


图4-4 OTN放置到中心机房典型组网

d) 可以考虑利用光传送网专用管道来传输和承载超高清的视频业务。如图4-5所示，传统IPTV的方式中，流量通过网络层层汇聚，带宽不足时会带来“花屏”等问题。光传送网络为视频业务提供直接的端到端管道，从视频平台直达接入网，就像在视频源与接入网间建立了一条“专用通道”一样。

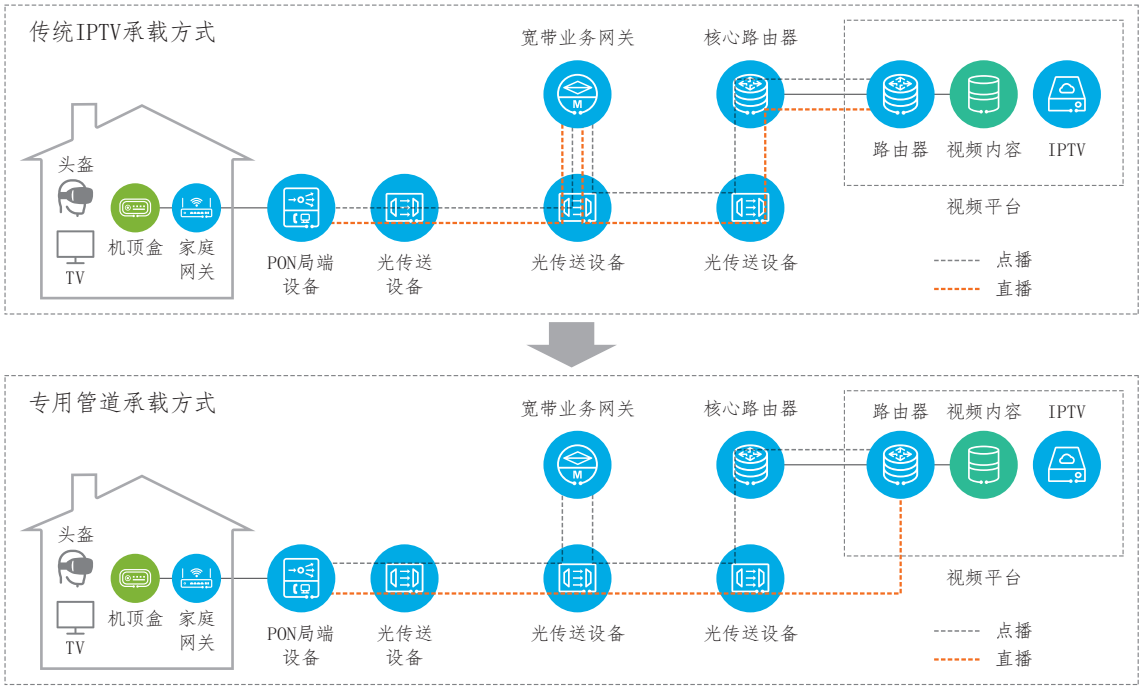


图4-5 传统IPTV承载与光传送网络专用管道承载IPTV对比

4.2.3 构建高质量体验网络建议

综合以上分析，构建家庭宽带高质量业务体验，在城域网层面，提出相关建议如下：

1) 不断提升城域网容量，城域网设备的总容量和接口带宽升级到更大、更高，

以支撑高质量业务对于带宽的需求，接入网络设备连接到城域网后续升级使用更高速率的接口；

2)优化城域网结构，考虑通过简化网络结构，减少城域网内网络层级，减少业务汇聚节点，使得城域网更加扁平化，从而降低高速率、突发性的网络流量拥塞概率；

3)宽带业务网关和支撑内容服务器在城域网内适当下移，在网络条件允许的情况下，部署在尽可能靠近用户的位置，从而保障用户对于内容源的就近访问；

4)利用光传送网专用管道来传输和承载超高清的视频业务，提供直接的端到端管道，是可以考虑的一种解决方案。

4.3 接入网

4.3.1 影响体验的因素分析

接入网对于高质量业务体验的影响因素分析如下：

1)网络接入带宽限制。之前的Giga比特无源光网络（GPON）技术下行带宽仅2.5Gbps，每个GPON口接入用户数可达几十个，大量用户并发，在用户使用高带宽业务时，就会产生带宽不足。

2)基于业务感知的网络业务质量保障（QoS）能力不足。当前网络的差异化服务保障能力还不足，不能快速识别出对网络高要求的关键业务并优先调度，对各种业务无差别的处理机制导致在网络拥塞时对丢包和时延敏感的业务体验下降。

3)故障预测和快速诊断能力还不够。接入网中的PON技术是一种采用点到多点结构的双向光接入网络，包含有主干光纤和分支光纤。在故障和网络质量劣化发生后，难以快速定位问题是发生在主干光纤还是分支光纤，会导致业务体验恢复时间变长。

4.3.2 网络优化措施分析

下面针对以上影响业务体验的环节和因素，详细分析如何优化网络。

1.接入带宽扩容

采用10 Giga比特无源光网络（10G PON）的接入网络技术。

之前被广泛采用的GPON技术单接口的下行总带宽为2.5Gbps，接入用户数可达几十个，最多仅可支撑100Mbps的宽带接入业务；因此需要将接入网升级到下一代10G PON网络，10G PON技术单接口的下行总带宽为10Gbps，可为用户提供200Mbps到

1000Mbps宽带接入业务。

此外，考虑当前还有不少用户的宽带是使用GPON技术接入，10G PON技术接入的宽带业务开通是一个渐进的过程，GPON和10G PON用户在一定时间内会共存，部署GPON和10G PON的混合接入网络，也是可以考虑的一个解决方案。

2.对QoS能力进行差异化升级

4K/8K高清视频业务在播放过程中，在画面的剧烈变化时会引发流量的突发，网络设备如果没有足够缓存来缓冲这些突发的流量，数据就可能会被丢弃，从而引起视频画面的花屏或卡顿，严重影响用户的观看体验；同时，在直播视频观看过程中，当大量用户同时切换频道时，就会出现切换频道延迟的变长，导致用户的业务体验下降，这都需要对网络接入设备进行技术升级或者改造以适应高质量业务体验的需求。此外，识别业务类型对丢包的敏感程度，采用可以感知具体业务的QoS机制，并按照不同的策略来处理，也是可以保障高质量业务体验的一种解决方案。

3.采用智能运维

当前业务体验对网络的要求越来越高，即使是短暂的某一个环节的网络故障都会导致用户业务体验受到严重的影响。如果能构建一个能够主动发现和预测故障，实时感知用户业务体验，并自动化的修复故障和优化网络的业务体验保障系统，就可以极大的降低相关因素对于业务体验的影响。采用人工智能技术对接入网络的运维能力进行改造，是今后技术发展的方向之一。

4.3.3 构建高质量体验网络建议

综合以上分析，构建高质量体验的网络，在接入网层面，提出相关建议如下：

1) 加大接入网扩容和技术改造力度，加快从传统的GPON向10G PON的演进力度，从而实现对千兆带宽入户的支撑能力，满足新业务对带宽的需求；

2) 研究和推动部署可感知业务的差异化QoS能力，对网络资源进行灵活分配，以保障对时延丢包敏感的关键业务的体验；

3) 基于人工智能和大数据技术构建智能运维系统，主动预测故障和体验的劣化，提前修复，从而最大程度的保障业务体验。

4.4 CDN网络/业务服务器

4.4.1 影响体验的因素分析

内容分发（CDN）网络能够实时地根据网络流量和用户需求情况，将用户导向离自己最近的内容资源服务器上，使得用户可就近访问所需内容，解决 Internet网络拥挤的状况，提高用户访问网站的响应速度。例如，CDN可以把Internet的视频/流媒体/网页/文件等内容源下载到离用户最近的服务节点，用户可就近访问，提升用户体验。

当前，CDN影响业务体验的主要因素是如果CDN部署位置离终端用户较远（例如在省级骨干网的数据中心内），导致用户不能就近访问，数量流量还需要穿越城域网到用户终端，大量占用了城域网的带宽，也导致时延长。

还有，Cloud VR渲染服务器距离用户距离太远，时延就会变大，无法满足Cloud VR强交互类业务的要求。

4.4.2 网络优化措施分析

通过上述的分析可见，将CDN/业务服务器尽可能在网络中下移，部署到用户更近的地方，缩短与用户的距离是降低端到端时延的有效途径。

例如，Cloud VR游戏要求用户到业务服务器之间网络往返时延只允许在10~20ms，其中4ms留给城域网之间的光纤传输。一般光纤一千公里产生的往返物理时延为10ms，因此建议业务服务器距离用户的理论距离不要超过400公里，实际上建议不超过200公里，加上汇聚和内容分发的时间延迟，这也就是意味着等要求业务服务器布放在城域网内，甚至离用户更近的地方。

随着5G的到来，低时延高可靠的应用投入使用，边缘云计算（例如车联网业务处理服务器）会部署到靠近终端用户的网络边缘位置，如图4-7所示，CDN/业务服务器借5G应用契机，也可部署在区域云、边缘云等靠近用户的城域网机房中，减少传输和处理时延以保障用户体验。

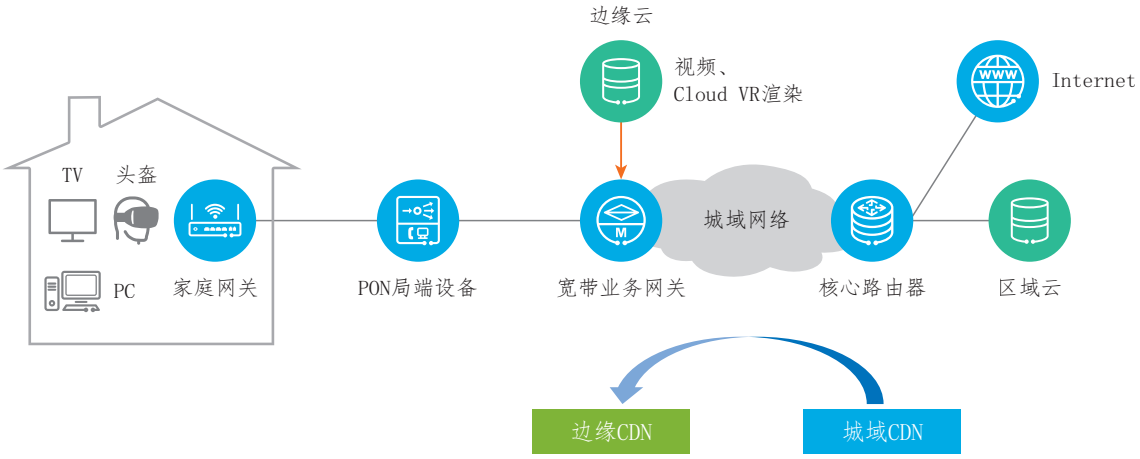


图4-6 CDN部署位置图示

4.4.3 构建高质量体验网络建议

结合上述分析，构建高质量体验网络，在CDN和业务服务器层面，主要的建议如下：

1)CDN及业务服务器需要部署在尽量靠近用户的城域网络边缘，使得用户可以就近访问各项业务内容源，从而保障业务高质量体验，在后续还可以考虑进一步下移至尽可能靠近用户的区域云或者边缘云中，进一步提升用户体验。

2)要注重CDN网络及业务服务器的节点及热点内容源均衡，尤其加强对网络视频等用户访问量较大的业务内容源优化，合理调配运营商的网络流量分布。对CDN带宽和内容源分布不平衡的区域加以重点优化，从而保障用户高质量的业务体验。

4.5 家庭网络

4.5.1 影响体验的因素分析

家庭网络也是影响家庭宽带高质量业务体验的重要方面，根据电信运营商针对家庭宽带质量的投诉以及最终问题定位及解决的统计分析表明，家庭网络因素在其中的占比超过70%以上，可见，家庭网络在构建高质量业务体验网络中起着非常重要的作用。根据相关问题的统计分析，家庭网络对于业务体验的影响主要来源于光纤接入终端ONU（即通常大家所说的光猫）、家庭路由器质量及Wi-Fi网络的组建、IPTV及视频机顶盒性能等，其中的主要典型问题及原因有：

1)光纤接入终端ONU（光猫）型号老旧，不具备支持高带宽接入业务的能力。很多家庭用户的光猫仍沿用最初安装宽带时电信运营商赠送的设备，并且后续没有升级，型号较老的设备往往仅有百兆宽带的接口，没有千兆宽带的接口。随着当前

网络接入速率的不断提升，当签约速率达到了100M以上甚至千兆，这类光猫就成为了制约网速提升，影响高质量业务体验的瓶颈。

2)家庭Wi-Fi网络影响业务体验，问题来源于以下几个方面：

a)很多用户购买的2.4GH单频低速率路由器，受路由器的性能限制，Wi-Fi的速率低；

b)家庭的Wi-Fi设备位于信息箱内信号被屏蔽、房间多Wi-Fi信号覆盖不足，以及穿墙后信号衰减大导致速率低等；需要注意的是，Wi-Fi信号对金属物的穿透性很差，而很多家庭放置网关的信息箱门却是打孔金属板，造成Wi-Fi信号质量非常差；

c)Wi-Fi干扰太大导致速率拥塞，Wi-Fi连接是像车道一样，如果一个车道太多车就会导致拥塞，同样的，如果家庭附近同时存在多个Wi-Fi，附近很多Wi-Fi连接工作在同一个信道，就会相互干扰严重导致Wi-Fi速率下降。

3)各类IPTV/OTT视频机顶盒本身的性能问题，导致IPTV及OTT视频花屏或卡顿。

据统计，在这些问题中，与Wi-Fi相关的问题又占了60%左右，因此可见，解决好家庭宽带Wi-Fi覆盖问题，将会大幅度的提升用户的业务体验。

4.5.2 网络优化措施分析

针对上述家庭网络对于高质量业务体验的影响，提出对于网络优化的措施如下：

1)提高家庭宽带的签约速率，并注意使用带有高速业务接口的光纤接入终端（光猫）；

2)购买支持4K高清视频功能的机顶盒、电视机等，提升电视画面的质量和体验的舒适感。并尽量通过网线或光纤连接至每个房间的机顶盒和电视机，避免因为Wi-Fi导致质量不稳定的情况；

3)对于Cloud VR、网络游戏、家庭云等家庭宽带新兴类业务应用，涉及到各类服务器的网络优化、专用网络的保障等，用户是无法独自完成这些网络质量保障，如目前国内已经有不少发达省份的运营商提供了游戏宽带、Cloud VR、智能宽带等

服务套餐，满足宽带用户的不同诉求，用户可以根据自身需求来进行选择；

4)构建良好Wi-Fi网络，保证信号在家庭中的良好覆盖，这方面工作对于构建高质量业务体验影响较大，而且对于专业知识不足的用户具有一定的难度，下文具体推荐相关的部署方案可供用户参考。

5)管理方面的用户电话及投诉。

针对常见家庭的详细建议方案如下：

1) 小户型1-2个房间家庭Wi-Fi覆盖

图4-7 小户型Wi-Fi部署场景

解决方案建议：由于该户型覆盖面积较小，干扰源主要来自上下左右邻居和不同楼层，且高层住宅的层数很多，干扰源也会较多。建议部署一个带有2.4G和5G的双频千兆Wi-Fi光猫或路由器就能覆盖所有区域，可以支持家庭宽带中常用的业务类型，以及1路4K/Cloud VR节目。

2)大户型3-5个房间家庭Wi-Fi覆盖

图4-8 大户型Wi-Fi部署场景

解决方案建议：由于户型面积较大，且信号传递需穿越2堵以上墙体，干扰源包括本栋的上下左右，前栋，后栋。因此，除了要部署带有2.4G和5G的双频千兆光猫或路由器，为增强边缘覆盖效果，建议再部署2个双频Wi-Fi扩展器（即所谓AP接入源）对信号进行扩展，这样可以支持家庭宽带业务的高质量体验，以及支持2~3路4K或2路Cloud VR 节目。

3)别墅跨楼层Wi-Fi覆盖

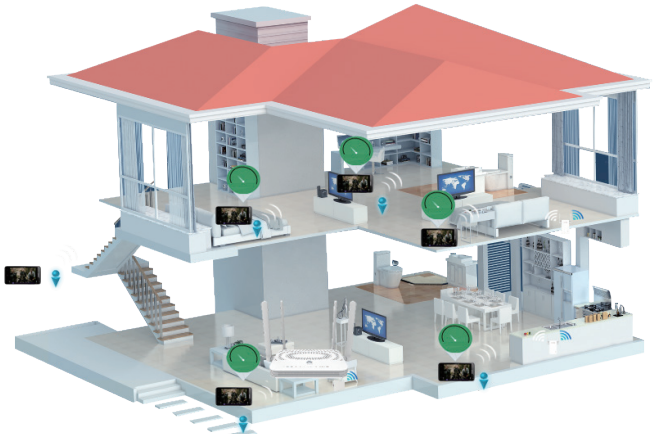


图4-9 别墅户型Wi-Fi部署场景

解决方案建议：用户家庭具有多楼层和多个房间，建议家庭网络结构为部署1个带有2.4G和5G的双频千兆光猫或路由器和3个扩展器（即所谓AP接入源），保障每层楼都能至少部署一个，这样就可以保证家庭宽带业务的高质量体验以及3~4路4K或Cloud VR 的节目。

4.5.3 构建高质量体验网络建议

结合上述分析，构建高质量体验网络，在家庭网络层面，根据上面分析的相关因素，用户可以自己去尝试解决，或向运营商的维护人员求助推荐好的方案，提出相关建议如下：

1)选择高的家庭宽带签约速率（如100M以上的签约速率，未来可选择千兆接入带宽），并注意使用带有高速业务接口的光纤接入终端（光猫）；

2)优化家庭的Wi-Fi网络设置，实现整体的高质量Wi-Fi信号覆盖以保障用户体验。

a)家庭Wi-Fi网络方面，可依据小户型、中大户型、别墅三种不同的户型和场景，使用具有2.4G和5G的双频Wi-Fi光猫或路由器或相应的扩展器（AP），用户还可咨询运营商的宽带维护人员并购买相应的家庭组网产品方案和技术支持，从而提升家庭网络的宽带体验。

3)使用高质量业务的终端保障业务体验，并选择专业的新兴业务应用产品和方案：

a)使用支持4K视频功能的机顶盒、电视机等，提升电视画面的质量和体验的舒适感。

b)对于Cloud VR、网络游戏、家庭云等家庭宽带新兴类业务应用的用户，建议从有保障的业务提供商获取专业可靠的产品和方案。

4)尽可能部署网线或光纤到每个房间，在家庭网关和Wi-Fi路由器或扩展器、机顶盒、电视机等需要高质量网络能力保证的设备连接时，优先采用网线等有线方式，以保障高质量的用户体验。

05 家庭宽带业务未来展望

未来，随着技术的不断发展，人们对家庭生活品质的需求不断提高，家庭宽带业务及应用将呈现几大发展趋势：家庭生活各方面逐渐信息化，家庭业务需求多样化，如智能家居、增强现实（AR）、极致高清（16K）甚至全息交互等新业务不断涌现，给人们带来更好的业务体验，同时对家庭宽带网络和家庭内的设备互联也将提出越来越高的要求。

5.1 智能家居

智能家居指以住宅为载体，融合自动控制技术、计算机技术、物联网技术，将家电控制、环境监控、信息管理、影音娱乐等功能有机结合，通过对家居设备的集中管理，提供更具有便捷性、舒适性、安全性、节能性的家庭生活环境。

图5-1 智能家居全景图

目前比较典型的业务包括智能语音识别、智能门锁等。例如，数据显示智能音箱的市场体量在过去两年急速上升，2018年底总销量约达5630万台，使用人数突破1亿。

智能家居设备之间的连接目前主要通过Wi-Fi、Zigbee及蓝牙等方式连接，因为涉及到与智能家居云服务器及互联网的网络通信，与外部网络连接的稳定性和时延是关键的网络指标。以典型家庭开通家庭看护、家庭安防、智能语音、家庭自动化等4个业务为例，至少需要200Mbps及以上带宽，接入时延要保证在20ms~40ms以内。

5.2 增强现实（AR）

增强现实（Augmented Reality，简称 AR），是一种实时地计算摄影机影像的位置及角度并加上相应图像的技术，这种技术的目标是在屏幕上把虚拟世界套在现实世界并进行互动。AR具备三个主要特征：融合虚拟和现实，将计算机生成的虚拟物体和信息叠加到真实世界的场景中来；实时交互，人们以自然方式与增强现实环境进行交互操作；三维注册，指的是将计算机产生的虚拟物体与真实环境进行一一对应，且用户在真实环境中运动时，也将继续维持正确的对准关系。

总的来说，VR要求沉浸感，对显示画质要求较高。AR强调与现实环境的融合，对交互要求较高，体验上要特别考虑用户的定位精度和低延迟，这样就对则对网络的时延和带宽提出了更高的要求，8K分辨率的AR带宽要求至少达到200Mbps至1Gbps，网络端到端时延则要求在20ms以内。

5.3 极致高清（16K）

极致高清的16K视频业务主要用于VR全景视频， 16K~32K VR全景视频对于带宽需求更是高达1Gbps~4Gbps，即使采用基于视点自适应的传输模式，带宽需求依然高达500Mbps，需要千兆宽带才能提供支持；当前最突出的问题是清晰度，而在小尺寸屏幕上做出高分辨率，技术要求很高，如下表所示，VR屏幕双眼分辨率在16K的情况下，才能等效电视4K的分辨率，因此对于网络就提出了更高的要求。

表5-1 不同分辨率下的VR与传统电视的等效观看体验

VR屏幕双眼分辨率	对应VR 360内容分辨率	等效TV体验分辨率
2K（1920*960）	4K	240P
4K（3840*1920）	8K	480P
8K（7680*3840）	12K	2K
16K（15360*7680）	24K	4K

5.4 全息交互

对于2D平面图像，人眼只能通过遮挡、阴影、仿射等产生立体“错觉”，未来，显示交互中的信息量越来越大，全息交互将是显示交互的最终模式。全息将进一步提升显示技术对网络的需求，未来万兆至太兆宽带或6G移动网络才可承载，届时《头号玩家》里虚拟与现实世界并存、《阿凡达》里三维全息沙盘将不再是梦想。

全息交互对网络时延的要求更高，网络带宽在500Mbps~1Gbps之间，而端到端的网络要求在20ms~30ms以内。

A 缩略语

缩略语	全称
AP	接入点 Access Point
BNG	宽带网络业务网关 Broadband Network Gateway
BTV	宽带电视/视频广播 Broadcast TV
CDN	内容配送网 Content Distribution Network
DNS	域名系统 Domain Name Service
FOV	视场角 Field of View
FTP	文件传输协议 File Transfer Protocol
FTTB	光纤到楼场景 Fiber to The Building
FTTH	光纤到户场景 Fiber to The Home
HDR	高动态范围 High Dynamic Range
IP	互联网协议 Internet Protocol
IPTV	IP电视 Internet Protocol Television
ISDN	综合业务数字网 Integrated Services Digital Network
LAN	局域网 Local Area Network
MOS	平均意见值 Mean Opinion Score
OLT	光线路终端 Optical Line Terminal

缩略语	全称
OTN	光传输网 Optical Transmission Network
OTT	通过互联网向用户提供各种应用服务 Over The Top
PON	无源光传送网络 Passive Optical Network
PSTN	公共交换电信网 Public Switching Telecommunication Network
QoS	服务质量 Quality of Service
STB	机顶盒 Set Top Box
TCP	传输控制协议 Transmission Control Protocol
UDP	用户数据报协议 User Datagram Protocol
VDSL	极高码率数字用户线 Very High Bit Rate Digital Subscriber Line
VOD	视频点播 Video On Demand
URL	统一资源定位符 Uniform Resource Locator
xDSL	数字用户线 x Digital Subscriber Line