



#### 编写

华为技术有限公司  
中国超高清视频产业联盟  
Wi-Fi 联盟  
中国电信集团有限公司  
中国移动通信集团有限公司

#### 参与者

海信集团有限公司  
创维集团有限公司

#### 版权所有，保留一切权利。

未经书面同意，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

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。可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

# 家庭 Wi-Fi 网络 承载超高清视频 解决方案白皮书



# 目录

01	前言	01	
02	4K 视频标准和承载技术要求	03	2.1 4K视频标准 2.2 4K承载技术要求
03	4K over Wi-Fi 的挑战	11	3.1 4K视频码率 3.2 4K直播原理 3.3 4K点播原理 3.4 Wi-Fi发送原理 3.5 4K over Wi-Fi挑战
04	4K over Wi-Fi 的解决方案及关键特性	21	4.1 家庭网关和AP的规格要求 4.2 家庭Wi-Fi网络的性能提升 4.3 可维护可管理 4.4 4K over Wi-Fi解决方案
05	典型场景部署建议	31	5.1 小户型1-2房家庭 5.2 大户型3-5房家庭 5.3 别墅跨楼层
06	4K over Wi-Fi 的测试标准	33	6.1 测试方法 6.2 典型测试场景
07	展望	36	
08	附录 A 参考资料	37	
09	附录 B 缩略语	38	





# 01

## 前言

依托物联网、云计算、大数据、超宽带的飞速发展，4K、VR、智能家居应用等业务蓬勃发展，Wi-Fi 逐渐成为宽带用户刚性需求，有数据表明目前运营商的 80% 流量来自 Wi-Fi 且大部分是视频业务，而主要消耗场景为家庭场景。这也成为运营商新的商业模式市场机会点。

从通信学上分析，耳朵是听觉的入口，连接语音时代；眼睛是视觉的入口，连接视频时代。进入数字时代后，只需要 64kbps 网络带宽就可以传递清晰的话音，而仅仅是高清视频，就需要不止 10Mbps 网络带宽。如今，音频已经发展到极致，20~20KHz 沉浸式音频已经达到人耳听觉的极限。但视频从黑白到彩色，从标清到高清、4K，未来还有 8K、增强现实 AR、虚拟现实 VR 等发展。视频需求还远远没有得到满足。在信息爆炸的大时代中，视频是信息的主要载体，视频需求是一个全球性的普遍需求。

随着终端、内容、网络的飞速发展，4K 视频业务正在普及。2017 年全球 4K 电视机产量为 8000 万台，预计到 2020 年全球 4K 视频用户数将超过 3.3 亿。

全球众多运营商已将视频业务作为 ICT 时代转型的战略机会，伴随 4K 终端的普及及内容的丰富，4K 业务已经逐步成为运营商构建差异化竞争力的关键手段。例如：德国电信认为 4K 视频业务使其获得了能真正与付费电视竞争的机会；英国电信则通过建设 NGA 超宽网络并发布 BT SPORT 视频业务实现了 23% 的业务增长；中国四川电信的视频用户超 500 万，其中 4K 视频用户超 120 万，且还在快速增长中。

多屏以及任意位置观看 4K 视频的需求导致未来家庭 4K 视频业务的承载方式主要是 Wi-Fi。但当前 Wi-Fi 的质量成为用户抱怨的焦点，主要问题有：Wi-Fi 速率低，Wi-Fi 覆盖差干扰多，Wi-Fi 质量对运营商不可视，难定位问题和解决问题。从而影响运营商宽带品牌，增加了无效保障比例，制约 4K 视频业务发展。

据 Conviva 用户视频报告的数据，当视频卡顿时，三分之一的用户会感到难以忍受，立即放弃观看；84% 的用户会在体验变差一分钟内，停止观看。同时有数据表明，有近 1/3 的用户对家庭内的 Wi-Fi

覆盖和速率不满意，同时也有 1/2 的用户愿意花钱订购相关的 Wi-Fi 业务套餐。因此，能否为最终用户提供基于 Wi-Fi 的更好的视频体验成为了 4K 视频业务商业成功的关键。

因此，针对电信运营商和用户热切关注的家庭 4K over Wi-Fi 网络覆盖和质量问题，运营商级的家庭 Wi-Fi 网络应以双频 Wi-Fi 的家庭网关为中心，充分利用室内已有线缆资源或 5G Wi-Fi 作为 Wi-Fi 扩展介质实现 Wi-Fi 的智能覆盖，网关作为控制中心实现家庭整网的 Wi-Fi 无缝漫游和信道调优，打造最佳视频体验的，可管理可运维的家庭 Wi-Fi 网络。同时需要系统性提供以家庭网关为中心的家庭 4K over Wi-Fi 体验衡量标准 KQI（关键质量标准）和 KPI（关键性能指标），通过客观量化最终用户的体验（如在线 4K 视频的时延等），提出构建端到端最佳视频体验并具备可管理可运维的家庭 Wi-Fi 网络架构的指导方案，帮助运营商高质量、高效部署家庭 Wi-Fi 网络、提升 Wi-Fi 承载 4K 视频 QoS、Wi-Fi 网络感知及云管理与运维等运营能力；基于该方案，可有效解决最终用户对家庭 Wi-Fi 覆盖差，速率低，甚至投诉故障无法排查定位等商用难题。

通过构建最佳 4K 视频体验的家庭 Wi-Fi 网络，以家庭网关为中心，通过以太网线、电力线、无线中继和 5G Wi-Fi 等多介质灵活延伸 Wi-Fi 信号，可以有效解决家庭 Wi-Fi 覆盖和性能问题；通过组建 1+N 家庭网络，支持网络参数智能同步、终端设备无缝漫游切换、整网的 Wi-Fi 信道调优以及 Wi-Fi 承载视频 QoS，实现家庭 Wi-Fi 网络智能全覆盖和视频的最佳体验；通过支持用户的家庭 Wi-Fi 自助管理，实现易维易用；通过云端管理平台 and 手机端 APP，实现家庭 Wi-Fi 网络快速装维和管理，提升家庭 Wi-Fi 网络运营效率。

4K 视频业务快速发展，多屏和任意位置观看视频的需求让 Wi-Fi 成为家庭内 4K 视频承载的主要方式，而运营商也开始从关注 connection（连接）转向关注 experience（体验），家庭网络建设思路也向业务和体验驱动转变。为了给用户提供良好的 Wi-Fi 覆盖、以及最佳的 4K 视频体验，需打造以用户体验为中心的家庭 Wi-Fi 网络。本文主要介绍了最佳 4K 视频体验的家庭 Wi-Fi 网络的技术原理、质量标准 KQI 及部署建议，运营商可以根据自身网络基础和业务发展策略选择最合适的部署方案。

# 02

## 4K 视频标准和承载技术要求

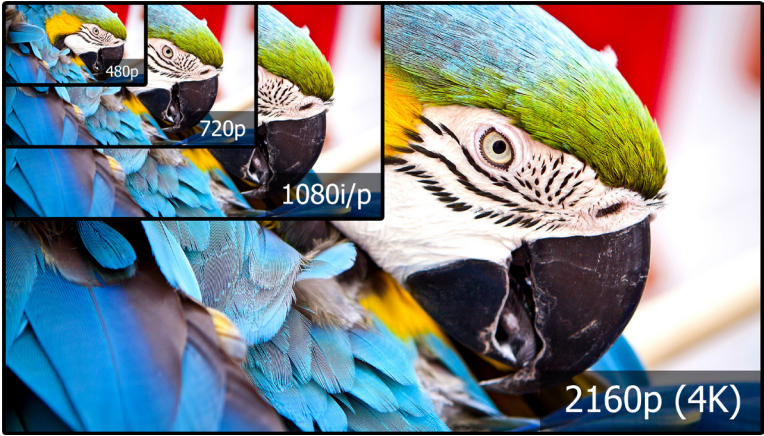
### 2.1 4K视频标准

#### 2.1.1 4K 介绍

2012 年 8 月 23 日，ITU 发布了超高清电视国际标准：ITU-R BT.2020，标志着 4k 电视正式进入市场，4k 业务经过 5 年多的发展，目前在电视支持和节目上都已经是非常丰富的，用户在家庭里对 4K 的需求已成了标准需求，在欧洲等大 T 市场，更是提出了在家庭里支持多路 4k 的需求。

视频的发展从高清到 4K：

常见视频分辨率



视频常见的分辨率包括：标清 SD（480P）、高清 HD（720P）、全高清 FHD（1080P）和超高清 UHD（4K）。4K 标准最先在电影行业提出，在电视标准中最初由 NHK（日本放送协会）科学技术研究所（SRTL）提议的一种分辨率模式，该标准被国际电联（ITU）所采纳和定义，在 2012 年 10 月份被美国消费者电子协会（Consumer Electronics Association）正式取名为 Ultra High-Definition 或者 Ultra HD（超高清），特指最低分辨率为 3840x2160、画面比例 16:9 的视频分辨率。

4K 不仅仅是视频分辨率的提升，还带来了视频质量的 4 大优化：首先是画面更清晰，4K 的分辨率为 3840\*2160、是全高清（FHD）的 4 倍；其次是画面更流畅，从高清时代的每秒 24 帧提升到每秒 50 帧、60 帧、甚至 120 帧；再次是色彩更真实，色阶从 8bit 到 10bit、12bit；最后是色彩

更自然，4K 视频的色域比高清增大约 50%；一般情况下，4K 视频流的码率是相同帧率 / 相同压缩编码方式的全高清（FHD）视频流码率的 4 倍以上。

4K 的发展可以分为三个阶段，如下表所示。目前，运营阶段使用的帧率、色彩位深度等是当前商用部署较合适的选择。值得注意的是，随着压缩编码技术的不断成熟和优化，提升帧率和色彩位深度并不一定会加大码率。

4K 视频的三个阶段

4K 发展预测		入门阶段	运营阶段	极致阶段
成熟时间		2014-2015年	2017-2018年	2019年后
分辨率 Resolution		3840*2160	3840*2160	3840*2160
帧率 Frame rate		25/30P	50/60P	100/120P
色彩位深度 bits		8	10	12
压缩编码		HEVC main profile	HEVC main 10	HEVC Range Extension
压缩率		低	中	高
压缩后平均码率（预计）	点播	12~16Mbps	12~20Mbps	18~30Mbps
	直播	25~30Mbps	15~25Mbps	25~40Mbps

注：在具体项目中，片源的码率差别较大，从10Mbps+到40Mbps不等，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

上图中定义的是入门级 4K 的带宽要求，针对帧率和 GOP 结构的变动，码率在 15M~25M 之间，同时随着分辨率，帧率、色深 / 色域空间 / 动态范围也在持续演进，分辨率从标清 480P，高清 1280\*720，全高清 1920\*1080，超高清 /4K 3840\*2160，8K 7680\*4320 在持续演进，承载比特也从 8bit，10bit，12bit 在变化，相应的带宽需求也在水涨船高，带宽演进趋势请参考下图：

4K视频商用趋势

4K商用节奏				
	2014-2016	2015-2016	2017-2019	2020+
	入门级4K Entry-levle 4k 4k@30p 8bit	运营级4K Carrier-grade 4k 4k@60p 10bit	极致4K Ultra 4k 4k@120p 12bit	8K 8k 8k@120p 12bit
码率	直播 25-30M	25-35M	25-40M	50-80M@H.266
	点播 12-16M	20-30M	18-30M	35-60M@H.266
带宽要求	>30M	>50M	>50M	>100M

从这个趋势来看，考虑到 VBR 模式下速率的正常波动，Wi-Fi 承载 4K 净荷速率要求在当前至少 要 50M，在将来单路需要有 100M 的净荷带宽。

2.1.2 常见几种视频技术分类

目前主流的几种视频技术：

主流视频技术对比

视频技术	运营商	比较
CATV有线视频	传统广电运营商运营	虽然有双向互动业务，但其业务的开放性，互动性，内容和服务的多样性都较差，属于封闭式视频业务，广电已逐渐向IPTV领域渗透。 2017年，CATV国内约2.5亿用户（有效用户估计在2亿以下了），有不断下降趋势
DTH卫星视频	传统广电运营商	
DTT数字地面视频	传统广电运营商	
IPTV	电信运营商	由电信运营商在其IP专网里提供，发展初期是作为宽带的附加捆绑业务进行发展，只是替代了传统有线电视，后续必将作为运营商的基础业务，向高清化，智能化，精细化，多屏，智慧家庭发展。 2017年国内IPTV用户数过1.2亿，在不断增长
HTTP stream(OTT)	互联网企业	通过公共互联网提供，内容丰富，平台开放，代表了视频内容服务的发展趋势； OTT终端达到2.4亿（激活的有1.88亿）

从运营商来讲，主要是分为 IPTV、OTT 和广电，对于电信运营商来说主要关注前两类。

下面是从流传输协议，网络要求等几个维度对 IPTV 和 HTTP stream（OTT）视频业务特征进行比较：

IPTV和OTT视频业务特征对比

	IPTV	HTTP stream(OTT)
视频压缩	MPEG4、H.264，H.265,AVS2等	MPEG4、H.264，H.265等
封装格式	MPEG2-TS	mp4、rmvb，MPEG2-TS
流传输协议	RTSP/RTP实时流媒体协议	HTTP stream传输技术，包括：HPD/HLS/HDS/HSS/DASH 加密方式的有：https/SPDY/QUIC P2P主要也用在OTT场景，用来做HTTP stream的一个补充技术。
服务质量	真正的实时流技术，几乎0延迟，可以从任意时间点开始播放；在运营商专网运行，服务质量高	渐进式下载分片，缓存，播放，有秒级缓冲延迟；只能从流媒体文件的切片点开始播放；在互联网上运行，容易出现卡顿；直播效果更差。
网络要求	组播采用的UDP传输，无丢包重传机制，对网络丢包很敏感	采用TCP，有TCP重传机制（QUIC采用了UDP），多份码流，缓冲等技术，对网络时延敏感
业务功能	直播用组播，VOD点播用单播	直播和点播都采用单播，直播时占用带宽大
终端种类	主要用于电视大屏	电视大屏，手机小屏都可以使用
服务内容	直播电视是优势；其它内容较少。	内容海量；但直播效果不好。

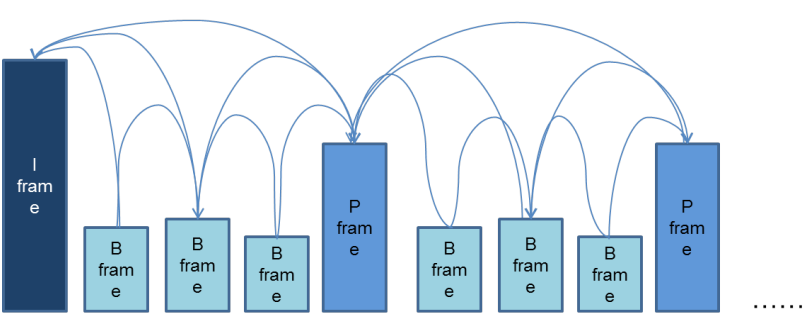
总结：

- 1. 组播主要用在 IPTV 场景，IPTV 媒体流通常基于 UDP，这部分业务对网络丢包很敏感。对于 VOD 业务，媒体流通常是基于 TCP 的，这部分对时延较为敏感；
- 2. HTTP stream 主要用于 OTT 视频场景，基于 TCP，对于时延较为敏感。P2P 主要也用在 OTT 场景，用来做 HTTP stream 的一个补充技术。随着发展，HTTP stream 在电信运营商也会使用；
- 3. 要解决家庭 Wi-Fi 场景下的 4K 承载，从对网络要求上来看，我们必须解决 Wi-Fi 链路上的丢包和延时问题；

2.1.3 4k IPTV流传输协议介绍

在4k视频编码序列中，主要有三种编码帧：I帧、P帧、B帧，如下图所示：

4K视频编码帧





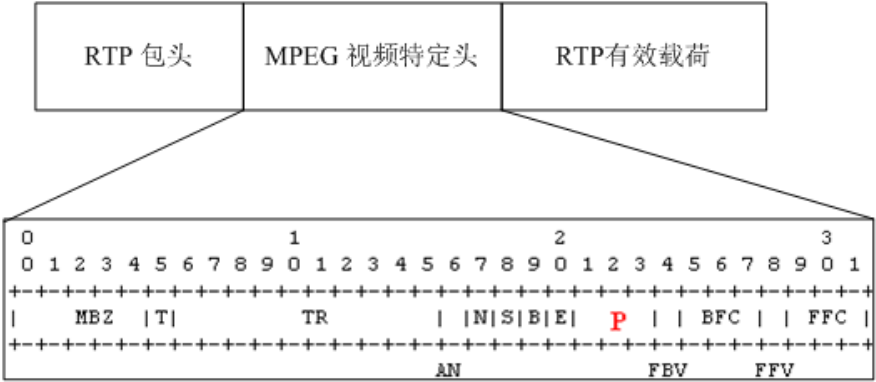
I 帧（I frame）又称为内部画面 (intra picture)，I 帧通常是每个 GOP（MPEG 所使用的一种视频压缩技术）的第一个帧，经过适度地压缩，做为随机访问的参考点，可以当成图象。在 MPEG 编码的过程中，部分视频帧序列压缩成为 I 帧；部分压缩成 P 帧；还有部分压缩成 B 帧。I 帧法是帧内压缩法，也称为“关键帧”压缩法。I 帧法是基于离散余弦变换 DCT（Discrete Cosine Transform）的压缩技术，这种算法与 JPEG 压缩算法类似。采用 I 帧压缩可达到 1/6 的压缩比而无明显的压缩痕迹。I 帧丢弃会导致黑屏。

P 帧：在针对连续动态图像编码时，将连续若干幅图像分成 P，B，I 三种类型，P 帧由在它前面的 P 帧或者 I 帧预测而来，它比较与它前面的 P 帧或者 I 帧之间的相同信息或数据，也即考虑运动的特性进行帧间压缩。P 帧法是根据本帧与相邻的前一帧（I 帧或 P 帧）的不同点来压缩本帧数据。采取 P 帧和 I 帧联合压缩的方法可达到更高的压缩且无明显的压缩痕迹。P 帧丢弃会导致视频卡顿。

B 帧：B 帧法是双向预测的帧间压缩算法。当把一帧压缩成 B 帧时，它根据相邻的前一帧、本帧以及后一帧数据的不同点来压缩本帧，也即仅记录本帧与前后帧的差值。B 帧压缩最高可达到 200：1。参考 B 帧丢弃会导致视频卡顿，花屏。非参考 B 帧丢弃视频不会卡顿和花屏。

RFC2250( RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video )标准规定可以把 MPEG 视频流里的 I，B，P 帧直接封装到 RTP 包中。在 RTP 包头后增加一个 MPEG 视频特定头，结构如下图所示：

MPEG视频特定头结构



MPEG 视频特定头长度为 4 个字节，其中 P 为 3 bits，通过 P 字段指示报文类型，P 字段数值定义如下：

- 1：I 帧；
- 2：P 帧；
- 3：B 帧；
- 4：D。
- 0：禁止使用，其他数值目前保留

MPEG over TS 类型的视频帧格式也是类似。都是 I，B，P 帧拆分成一个一个的 TS 流，再组包发送出去。

2.2 4K承载技术要求

2.2.1 业务性能KPI

对100M@Anywhere家庭网络，需要能满足至少2路4K TV（30P）业务需求，以及100M连续覆盖的性能要求。

4K TV（30P）业务对家庭Wi-Fi的带宽、时延和丢包率要求

KPI 指标	4K	全 4K
视频码率	15 – 25M	20-35M
网络带宽	>35M	>50M
RTT	10-25ms	10-25ms
丢包率	<10^-5	<10^-5
组播大Buffer能力	16MB	24MB
部署场景	>-68dBm	>-68dBm

下一代家庭网络要实现 100M 连续覆盖，不仅需要在典型家居环境下，主要上网位置 Wi-Fi 的吞吐量都能达到 100Mbps 左右。

不同的视频节目对承载网络有要求，体现在网络的 KPI 三个指标：带宽，时延，丢包率。对于运营商级 4K，可以看到，运营商通常采用的 CBR IPTV 节目码率是 30Mbps~50Mbps, 要稳定承载 4K IPTV，承载网络要求达到：丢包率要小于 5\*10E-5。

结合 4K Wi-Fi 承载，由于 Wi-Fi 链路本身的不稳定性，易受周边 AP 干扰，速率波动大以及突发丢包等特点，要小于 10E-5 丢包率非常困难，实际 Wi-Fi 空口丢包是在 10E-2~10-E-3 级别，基于 Wi-Fi 实际情况要能支持 4K over Wi-Fi，必须要能解决 Wi-Fi 突发丢包率在 10E-2~10-E-3 的家居场景下 4K 视频承载不卡顿问题。



2.2.2 业务体验 KQI

1 ) HTTP stream(OTT) 视频业务体验 KQI 标准定义：

此处指客户端通过 Wi-Fi 点播在线视频的体验 KQI 指标。

用户感知到的在线视频体验 KQI 指标有：首次缓冲时间、观看的卡顿次数，SEEK 操作作成功数和观看的卡顿占比。

首次缓冲时间：定义为用户开始点播 视频节目，在点播动作发起后， 终端发出获取 OTT 节目源请求消息直至收到 OTT 云平台返回的数据能够满足终端首次出现视频影像的等待时间。

SEEK 操成功次数：即在约束时间内成功显示视频第一帧，即为 seek 操作成功，反之为 seek 操作失败（如果用户在约束时间内返回则不统计）。

观看的卡顿次数：定义为用户在指定观看时间（例如 1 小时）内， 终端因已下载数据量小于视频解码播放所需要的数据量或用户终端运行异常而导致的卡顿次数（典型造成卡顿原因如用户终端 CPU 高负荷运行，但卡顿是不包含用户自行暂停）， 导致出现卡顿等待缓冲的次数。

观看的卡顿占比：定义为用户在指定观看时间（例如 1 小时）内， 终端因已下载数据量小于视频解码播放所需要的数据量或用户终端运行异常而导致的卡顿时长占比（典型造成卡顿原因如用户终端 CPU 高负荷运行，但卡顿是不包含用户自行暂停）， 等待缓冲的总时长占单位观看时间的比例。

视频业务体验KQI

体验等级	MOS	指标			
		首次缓冲时间 (ms)	SEEK 操作数 成功占比	观看卡顿次数 *	卡顿时间占比 *
优	5	<=100	>98-99%	0	0%
良	4	1000	>90%	1	0.1%
中	3	2000	>80%	3	1%
次	2	5000	<70%	6	5%
劣	1	8000	<50%	>10	10%

2 ) IPTV视频业务体验KQI标准定义：

IPTV视频业务体验KQI

发展阶段				启蒙时代		品质时代	
主流视频				720P及以下	1080P	4K	
点播业务	典型码率			2M	5M	15M	
	网络指标要求	U-vMOS. sView=5	带宽	≥6.4Mbps	≥15Mbps	≥22.5Mbps	
			RTT	≤30ms	≤20ms	≤20ms	≤10ms
			PLR	≤3.5*10 <sup>-3</sup>	≤1.5*10 <sup>-3</sup>	≤3*10 <sup>-4</sup>	≤1*10 <sup>-3</sup>
		U-vMOS. sInteraction=4	带宽	≥8Mbps	≥20Mbps	≥50Mbps	
			RTT	≤30ms	≤20ms	≤20ms	≤10ms
			PLR	≤2*10 <sup>-3</sup>	≤8*10 <sup>-4</sup>	≤1*10 <sup>-4</sup>	≤5*10 <sup>-4</sup>
直播业务	典型码率			2M	8M	20M	
	网络指标要求	U-vMOS. sInteraction = 4	带宽	≥4.6Mbps （ RTT 20ms 条件下 ）	≥14Mbps （ RTT 20ms 条件下 ）	≥36Mbps （ RTT 20ms 条件下 ）	
			RTT	组播终端到末级组播复制点≤20ms（ 建议值，非强制 ）			
		U-vMOS. sView ≈ 4	抖动	最大抖动≤50ms 平均抖动≤5ms（ 高斯分布模型 ）			
			PLR	≤1*10 <sup>-5</sup> （ 无 RET ）			
			U-vMOS. sView=5	RTT	组播终端到末级组播复制点≤20ms（ 建议值，非强制 ）		
		抖动		最大抖动≤50ms 平均抖动≤5ms（ 高斯分布模型 ）			
		PLR		=0（ 无 RET ） ≤1*10 <sup>-4</sup> （ 有 RET ）			

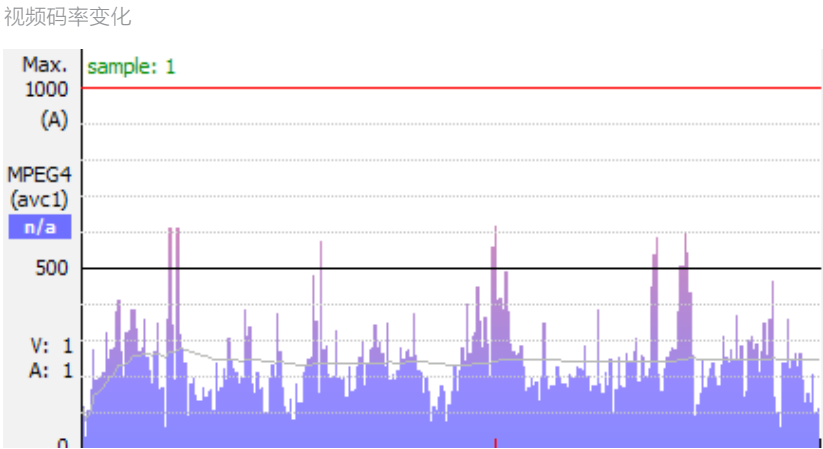
上面所述是整个视频体验的 KQI 的专业化的量化标准，不管是 HTTP stream 还是 4K IPTV 视频业务，最后对用户直接感知就是视频的黑屏、卡顿、花屏， 下面几个章节重点介绍如何解决 4K 视频 Wi-Fi 承载体验，解决绝大部分场景下的 4K over Wi-Fi 下视频的黑屏，卡顿，花屏问题。

# 03

## 4K over Wi-Fi 的挑战

### 3.1 4K视频码率

视频会因为画面内容的变化，单位时间内需要携带的信息量不同。视频流通过网络传输时，码率会动态变化，对网络带宽的需求也会发生变化，如下图所示：

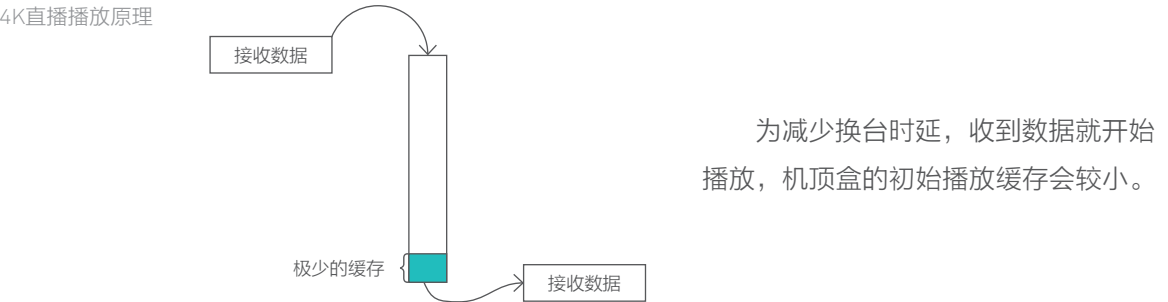


4K视频的码率有2种方式，一种是固定码率，一种是动态码率。

### 3.2 4K直播原理

#### 3.2.1 4K直播播放原理

4K直播的播放原理如下图所示：

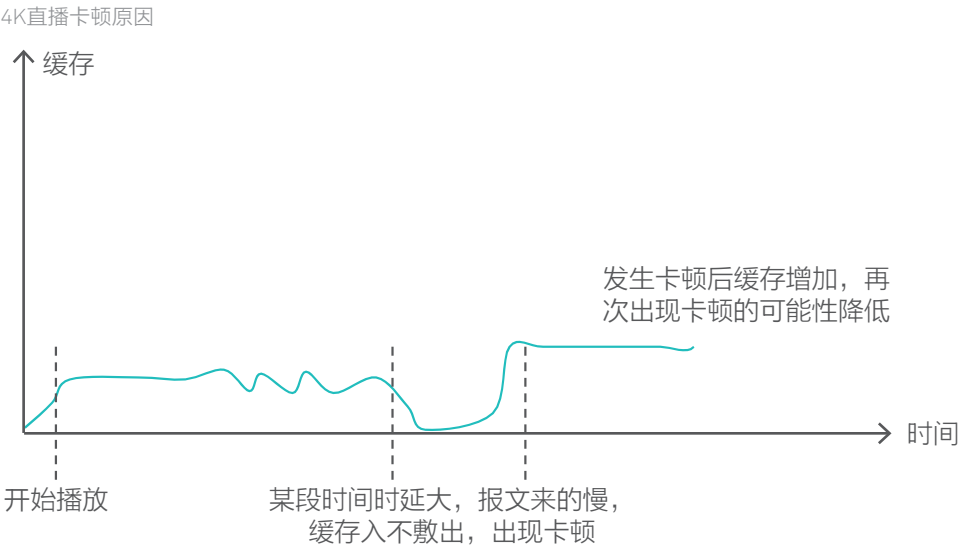


#### 3.2.2 4K IPTV直播卡顿原因

4K 直播采用 UDP 传输，没有确认机制，如果网络偶尔丢包，会导致花屏。

如果 Wi-Fi 物理空口等效速率低于视频平均码率，无法传输所有的视频流，会导致卡顿。4K 视频的码率越高，对 Wi-Fi 的物理空口等效速率要求越高。

如果 Wi-Fi 物理空口等效速率不低于视频平均码率，但某段时间内 Wi-Fi 物理空口等效速率低于视频实时码率，或者 Wi-Fi 发送时延大，报文发送不及时，会导致机顶盒缓存数据耗尽，出现卡顿，如下图所示。出现一次卡顿后，后续因为缓存增加，再次出现卡顿的概率降低。如果换台，则原来缓存的报文丢弃，再次回到初始状态。



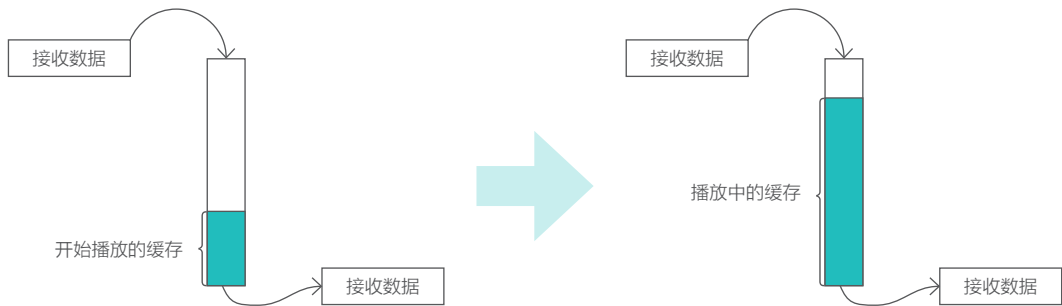


3.3 4K点播原理

3.3.1 4K点播播放原理

4K点播的播放原理如下图所示：

4K点播播放原理



与 4K 直播不同，4K 点播可以先缓存一定的数据，再开始播放，由于点播的初始缓冲时间，相比直播的换台时间要长很多。开始播放以后，还可以边播放边缓存更多的数据，这样抵抗网络抖动的能力更强。

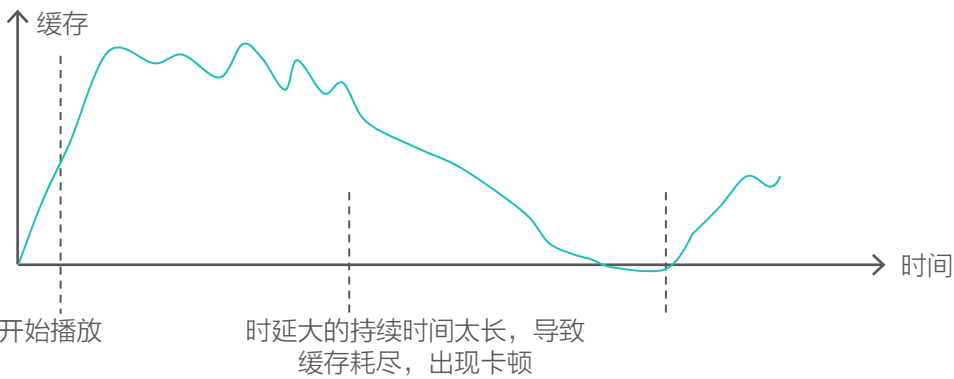
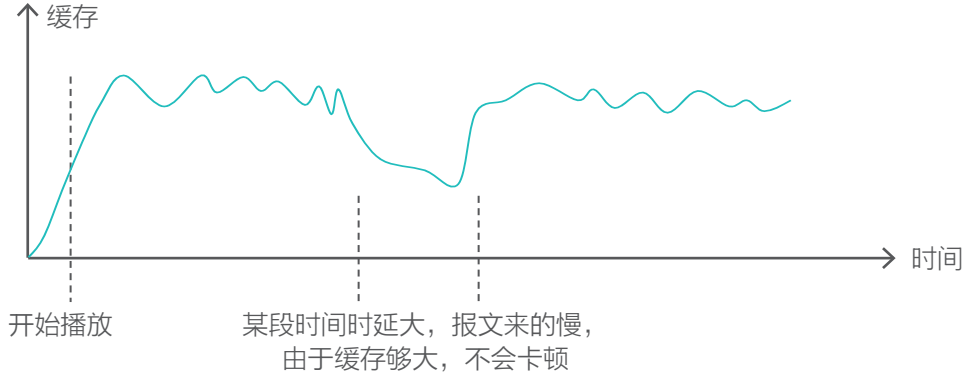
3.3.2 4K 点播卡顿原因

4K 点播采用 TCP 传输，有确认机制，网络丢包不会直接导致卡顿。但如果网络丢包，会导致 TCP 滑窗降低，传输速率降低。如果传输速率持续一段时间低于 4K 视频码率，会导致机顶盒缓存耗尽，出现卡顿。

如果 Wi-Fi 等效速率低于视频平均码率，无法传输所有的视频流，会导致卡顿。4K 视频的码率越高，对 Wi-Fi 的等效速率要求越高。

如果 Wi-Fi 等效速率不低于视频平均码率 1.5 倍，但某段时间内 Wi-Fi 等效速率低于视频实时码率，或者 Wi-Fi 发送时延大，报文发送不及时，因为机顶盒有缓存，不会直接导致视频卡顿。

4K点播卡顿原因



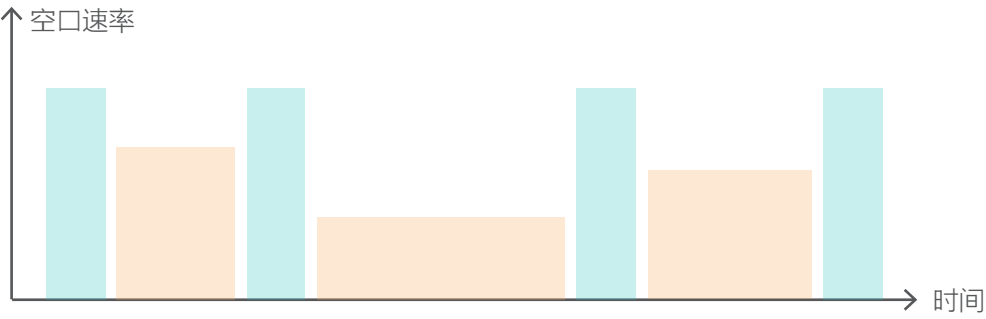
如果网络时延持续很大，会因为 RTT 增加，TCP 滑窗降低，传输速率降低。如果传输速率持续一段时间低于 4K 视频码率，会导致机顶盒缓存耗尽，出现卡顿。

3.4 Wi-Fi发送原理

3.4.1 Wi-Fi等效速率

Wi-Fi等效速率如下图所示：

Wi-Fi等效速率



绿色方块表示当前 Wi-Fi 设备发送 4K 视频报文，红色方块表示当前 Wi-Fi 设备发送其它报文，或者其它 Wi-Fi 设备发送报文。方块的高度代表空口速率，宽度代表发送时间。绿色方块的面积总和除以总的时间，即为 Wi-Fi 设备发送 4K 视频的等效速率。

影响 Wi-Fi 等效速率的两个因素，一个是红色方块占用的时间比例，简称干扰占空比，另一个是空口速率。通过选择干扰较少的信道，可以减少干扰占空比，提高绿色方块占用的时间比例。

对于空口速率，以 11ac，80M 频宽的速率表为例。

11ac 80M频宽空口速率表

MCS	空间流数	调制方式	编码率	空口速率
0	1	BPSK	1/2	32.5
1	1	QPSK	1/2	65.0
2	1	QPSK	3/4	97.5
3	1	16-QAM	1/2	130.0
4	1	16-QAM	3/4	195.0
5	1	64-QAM	2/3	260.0
6	1	64-QAM	3/4	292.5
7	1	64-QAM	5/6	325.0
8	1	256-QAM	3/4	390.0
9	1	256-QAM	5/6	433.3
0	2	BPSK	1/2	65.0
1	2	QPSK	1/2	130.0
2	2	QPSK	3/4	195.0
3	2	16-QAM	1/2	260.0
4	2	16-QAM	3/4	390.0
5	2	64-QAM	2/3	520.0
6	2	64-QAM	3/4	585.0
7	2	64-QAM	5/6	650.0
8	2	256-QAM	3/4	780.0
9	2	256-QAM	5/6	866.7
0	3	BPSK	1/2	97.5
1	3	QPSK	1/2	195.0
2	3	QPSK	3/4	292.5
3	3	16-QAM	1/2	390.0
4	3	16-QAM	3/4	585.0
5	3	64-QAM	2/3	780.0
6	3	64-QAM	3/4	877.5
7	3	64-QAM	5/6	975.0
8	3	256-QAM	3/4	1170.0
9	3	256-QAM	5/6	1300.0
0	4	BPSK	1/2	130.0
1	4	QPSK	1/2	260.0
2	4	QPSK	3/4	390.0
3	4	16-QAM	1/2	520.0
4	4	16-QAM	3/4	780.0
5	4	64-QAM	2/3	1040.0
6	4	64-QAM	3/4	1170.0
7	4	64-QAM	5/6	1300.0
8	4	256-QAM	3/4	1560.0
9	4	256-QAM	5/6	1733.3

空间流个数越多，空口速率越高。空间流个数为 AP 支持的空间流个数和 STA 支持的空间流个数的较小值。AP 和 STA 的空间流规格越高，承载 4K 视频的效果越好。

调制方式和编码率越高，空口速率越高。调制方式和编码率取决于信号强度和噪声强度。11ac 不同调制方式和编码率对信号强度的要求如下。

11ac 信号强度要求

Table 22-25—Receiver minimum input level sensitivity

Modulation	Rate ( R )	Minimum sensitivity (20MHz PPDU )( dBm )	Minimum sensitivity (40MHz PPDU )( dBm )	Minimum sensitivity (80MHz PPDU )( dBm )	Minimum sensitivity (160MHz or 80+80 MHz PPDU )( dBm )
BPSK	1/2	-82	-79	-76	-73
QPSK	1/2	-79	-76	-73	-70
QPSK	3/4	-77	-74	-71	-68
16-QAM	1/2	-74	-71	-68	-65
16-QAM	3/4	-70	-67	-64	-61
64-QAM	2/3	-66	-63	-60	-57
64-QAM	3/4	-65	-62	-59	-56
64-QAM	5/6	-64	-61	-58	-55
256-QAM	3/4	-59	-56	-53	-50
256-QAM	5/6	-57	-54	-51	-48

11ac不同调制方式和编码率对信噪比的要求如下。

Table 22-24—Allowed relative constellation error versus constellation size and coding rate

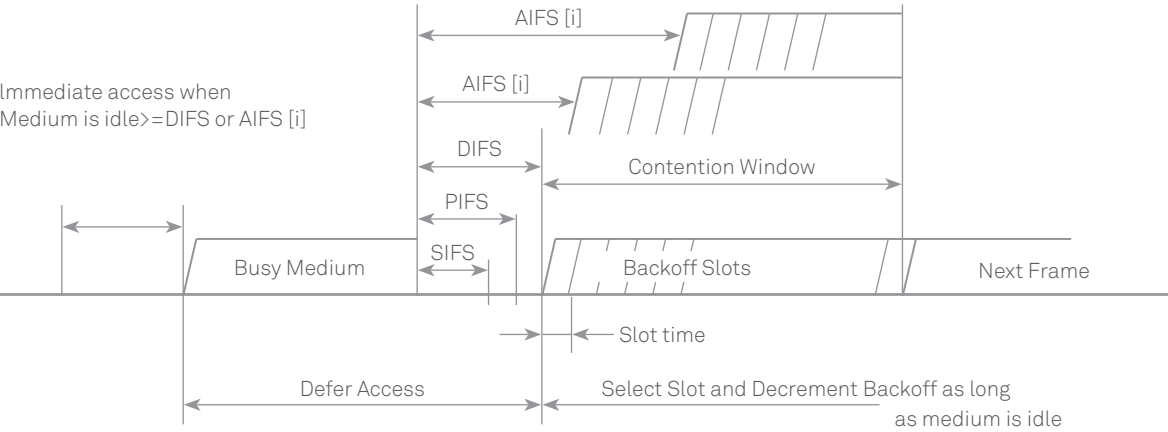
Modulation	Coding rate	Relative constellation error ( dB )
BPSK	1/2	-5
QPSK	1/2	-10
QPSK	3/4	-13
16-QAM	1/2	-16
16-QAM	3/4	-19
64-QAM	2/3	-22
64-QAM	3/4	-25
64-QAM	5/6	-27
256-QAM	3/4	-30
256-QAM	5/6	-32

通过调整设备摆放位置和天线角度（外置天线设备），可以提高信号强度，提高空口速率。通过选择底噪比较低的信道，可以提高信噪比，提高空口速率。

3.4.2 Wi-Fi发送时延

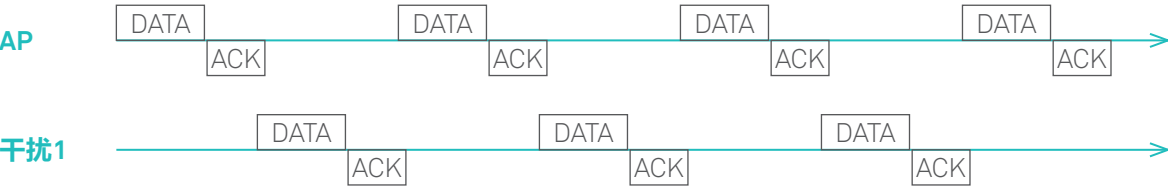
由于空中可能存在多个Wi-Fi设备，因此Wi-Fi设备发送数据时，不能直接发送，而是需要进行空口竞争，如下图所示：

Wi-Fi空口竞争机制



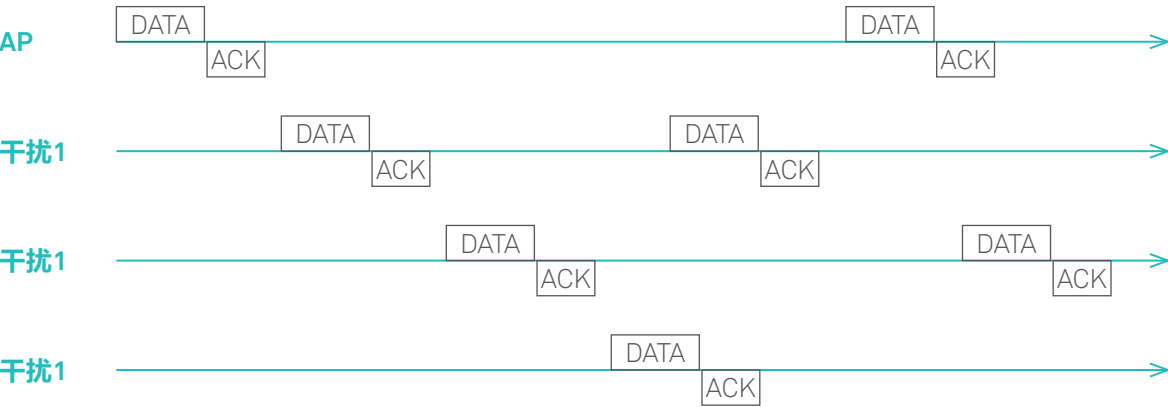
如果空中Wi-Fi设备不多，比较容易竞争到发送机会，Wi-Fi发送时延不大，如下图所示：

Wi-Fi设备较少时空口竞争示意图



如果空中Wi-Fi设备很多，则需要较长时间才能竞争到发送机会，Wi-Fi发送时延很大，如下图所示：

Wi-Fi设备较多时空口竞争示意图

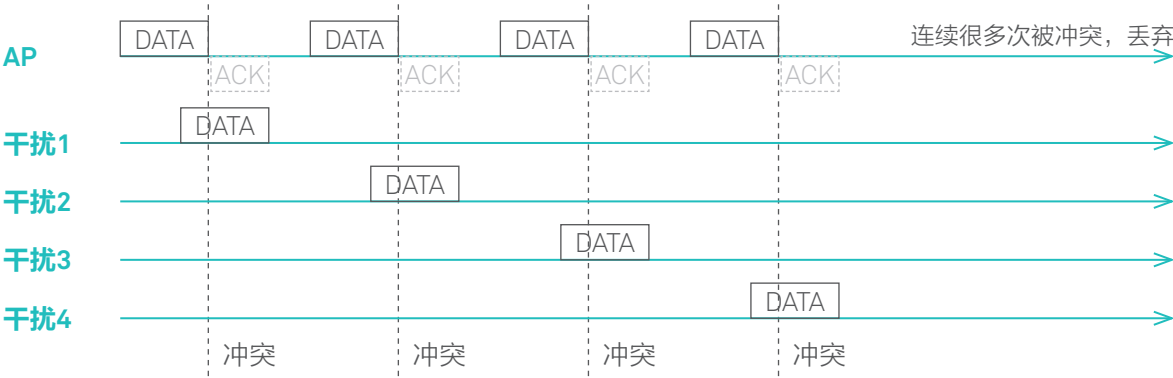


如果Wi-Fi设备下接入多个用户，Wi-Fi设备需要轮流发送不同用户的报文，对单个用户而言，会增加排队等待时延。

3.4.3 Wi-Fi丢包

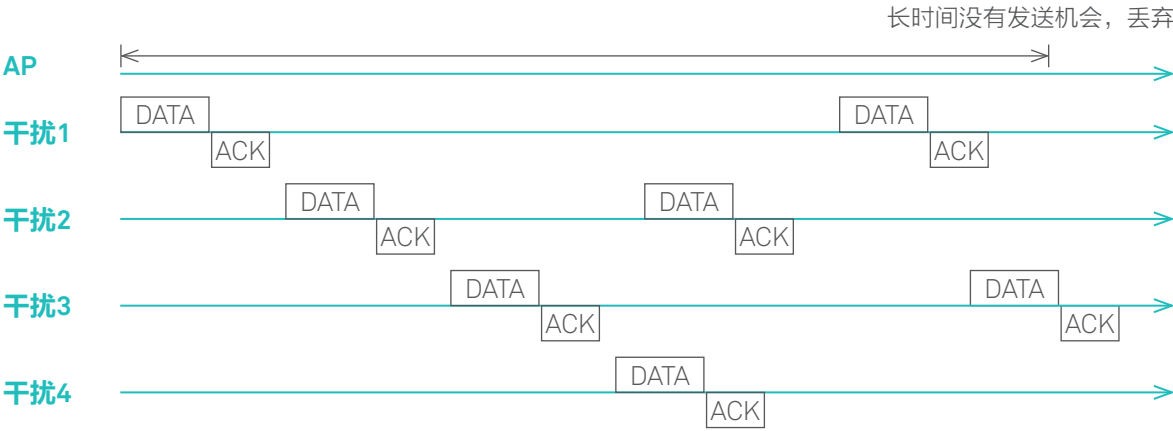
Wi-Fi有重传确认机制，如果没有收到对方的ACK，会重传报文。但如果某段时间内，空口冲突特别严重，每次都冲突，达到一定重传次数后，Wi-Fi设备会丢弃报文，导致丢包。

Wi-Fi丢包示意图



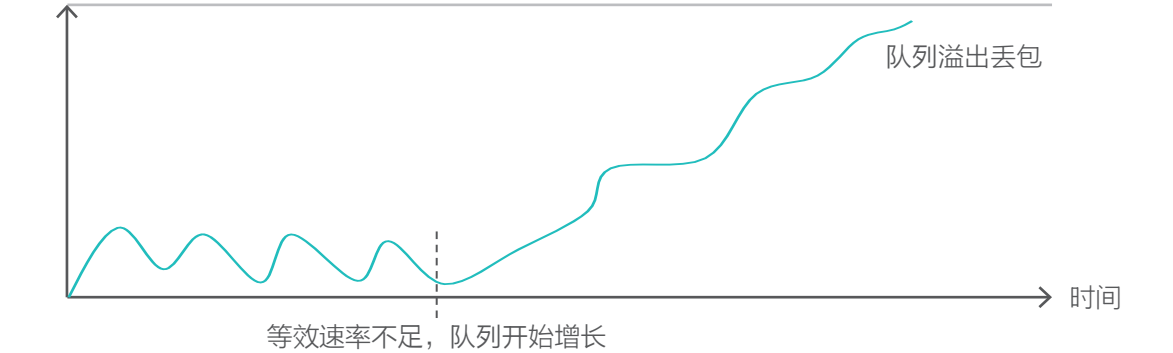
如果某段时间内，空口持续繁忙，一直没有发送机会，会因为空口超时丢弃报文，导致丢包。

Wi-Fi丢包示意图



如果某段时间内Wi-Fi等效速率不足，低于视频码率，Wi-Fi设备的报文队列持续增长，最终溢出，导致丢包。

Wi-Fi丢包示意图





3.5 4K over Wi-Fi挑战

3.5.1 信号衰减

Wi-Fi信号衰减主要来自2个方面，一个是自由空间衰减，另一个是障碍物衰减。

自由空间衰减如下表所示：

Wi-Fi信号自由空间衰减

距离 m	工作频率	空间衰减 dB
1	5.8	47.7
2	5.8	53.7
3	5.8	57.2
4	5.8	59.7
5	5.8	61.6
6	5.8	63.2
7	5.8	64.6
8	5.8	65.7
9	5.8	66.8
10	5.8	67.7

典型的障碍物衰减如下表所示：

Wi-Fi信号典型障碍物衰减

WiFi attenuation in different substance

Modulation	Ref Attenuation ( dB )	
	2.4GHz	5.8GHz
Space Atten @ 5m	54	62
Space Atten @ 10m	60	68
Space Atten @ 15m	64	71
Wood Door	3	4
Glass Window	4	7
Thick Glass	8	10
12cm Brick Wall	10	20
24cm Brick Wall	15	25
Concrete Iron Wall	25	30

上表为垂直穿越障碍物的衰减。如果是斜穿障碍物，衰减更大。

Wi-Fi 设备的发射功率一般为 23~30dBm。如果是 5 米距离，垂直穿 1 堵混凝土墙，衰减为 62+30=92dB。信号强度为 -69dBm~-62dBm，对应 MCS 2~4。如果是 2 条空间流的设备，对应空口速率为 190M~390M。如果距离更远，或者斜穿墙壁，则衰减更大，空口速率更低。如果墙壁为砖墙，则衰减较小，空口速率较高。

需要根据实际布放环境，才能知道衰减值，判断可以达到的空口速率。Wi-Fi 设备的布放位置是 4K over Wi-Fi 的一个挑战。

3.5.2 干扰占空比和底噪

即便空口速率较高，也不一定能够承载 4K 视频，还需要考虑干扰情况。

相同信道，距离不是太远的其它 Wi-Fi 设备，会影响干扰占空比。其它 Wi-Fi 设备越多，流量越大，干扰占空比越大。

不同信道，或者距离太远的 Wi-Fi 设备，以及 Wi-Fi 频率范围内的非 Wi-Fi 设备，会产生底噪，影响信噪比。

Wi-Fi 干扰设备的多少，以及干扰占用时间的多少，取决于周围邻居的布放和使用情况。对某个家庭而言，周围的干扰不可控，导致自身的 Wi-Fi 等效速率不可控。Wi-Fi 设备周围的干扰情况是 4K over Wi-Fi 的另一个挑战。

3.5.3 多 STA 接入和业务并发

多个 STA 同时接入业务并发，如 BT 下载，文件下载，视频业务流， 对视频业务如何保证优先调度是一个挑战。

家庭低速 STA 存在，会影响整个空口的性能，进而影响视频业务 Wi-Fi 承载。



# 04

## 4K over Wi-Fi 的解决方案及关键特性

构建最佳视频体验的家庭网络，需要以家庭网关为中心，通过以太网线、电力线、无线中继和 5G Wi-Fi 等多介质灵活延伸 Wi-Fi 信号，有效解决家庭 Wi-Fi 覆盖和性能 问题；通过组建 1+N 家庭网络，支持网络参数智能同步、终端设备无缝漫游切换、整网的 Wi-Fi 信道调优以及 Wi-Fi 承载视频 QoS 等关键特性，实现家庭 Wi-Fi 网络智能全覆盖和视频的最佳体验。

### 4.1 家庭网关和AP的规格要求

网关和 AP 的硬件配置和规格对家庭网络的性能和质量至关重要，如 CPU、内存和 Flash 以及 Wi-Fi 的规格对转发和 Wi-Fi 吞吐量等有很大影响，防雷和节能对安全性和稳定性很重要，智能网关能支撑未来家庭智慧业务。因此家庭网关和 AP 的规格要求建议如下：

家庭网关和AP的规格

规格项	家庭智能网关规格要求	AP 规格要求
内存	256MByte以上	64MByte以上
Flash	128MByte以上	64MByte以上
Wi-Fi规格	2*2 11ac + 2*2 11n以上	2*2 11ac + 2*2 11n 以上
NNI	GPON / XG-PON / 10G EPON / 1GE	1GE / 5G Wi-Fi/PLC
UNI	2-4GE+2.4G Wi-Fi+5G Wi-Fi	1GE+2.4G Wi-Fi+5G Wi-Fi
Antenna gain	2 dBi 以上	2 dBi 以上
Wi-Fi 信道调优	自主调优	自主信道调优及智能网关控制的信道调
Wi-Fi 主动漫游	支持802.11k/802.11v控制STA漫游切换漫游切换决策中心	支持 802.11k/802.11v 控制 STA 漫游切换
视频承载	视频报文优先级标记及 WMM 支持	WMM 支持，应支持 802.1Q 的 VLAN；不同 VLAN 数据二层隔离；支持 VLAN 透传，能同时透传 tag 和 untag 报文。 应支持 IGMP/MLD（Multicast Listener Discovery）SNOOPING，组播协议符合 IGMPV2 和 MLD（Multicast Listener Discovery）V1 版本协议要求
Band Steering	支持 5G 优先，2.4G 优先配置	支持 5G 优先，2.4G 优先配置
Beamforming	波束成型，定向发送	波束成型，定向发送

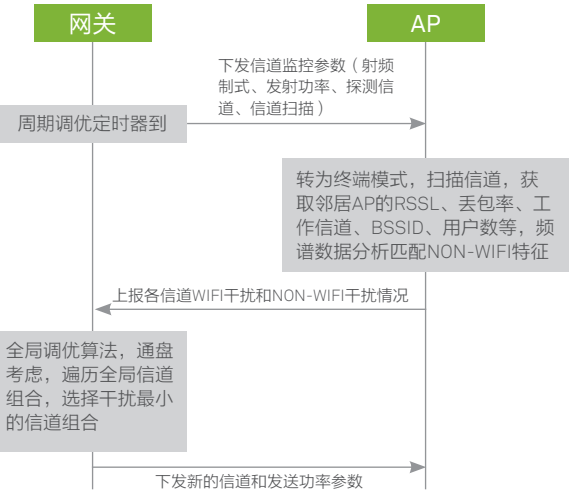
规格项	家庭智能网关规格要求	AP 规格要求
业务发放	继承运营商现有发放模式	免配置即插即用
智能操作系统	基于 OSGi 开放系统	-
远程管理维护	支持基于插件的家庭网络管理	支持被智能网关管理
节能	Wi-Fi 节能模式	Wi-Fi 节能模式
防雷	4KV	4KV
CE 认证	要支持	要支持
Wi-Fi Alliance 认证	要支持	要支持

### 4.2 家庭Wi-Fi网络的性能提升

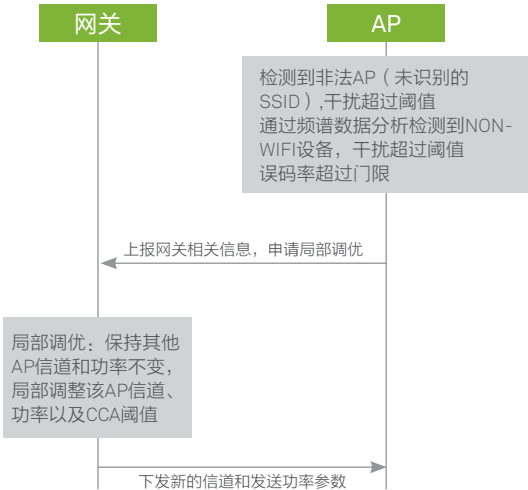
#### 4.2.1 智能信道管理

2.4GHz 只有 3 个无重复的信道，所有的 AP 均只能在这三个信道中选择，而物理相邻的 AP 之间的信道必须不同。5GHz 信道虽然比较多，但同样需要妥善处理相邻 AP 之间的信道和功率关系。在没有实现该功能的情况下，必须由用户手动对每一个 AP 所处的信道和功率进 行配置，配置过程不但繁复，而且周围环境动态变化后，已经配置好的 AP 的信道和功率可能又不再满足使用要求。在这种情况下，为了简化用户的配置过程，一个统揽全局的智能频道及功率调整就显得尤为重要。

Wi-Fi周期性自动调优的原理示意图

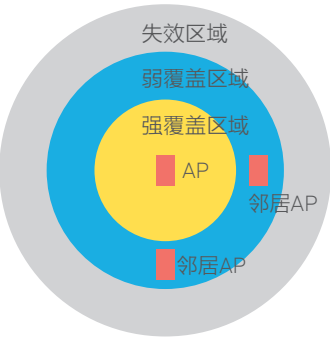


Wi-Fi事件触发调优的原理示意图



智能功率管理的目的是保证覆盖最大，和对外界干扰最小的平衡，如下图，按照房间布局和业务需要定义强覆盖区域和弱覆盖区域，比如 2.4G 信道定义 >-70dbm 为强覆盖区域，-90dbm 到 -70dbm 为弱覆盖区域，强覆盖区域必须要覆盖该 AP 主要服务的终端业务点；如果邻居 AP 处在失效区域，则可能造成覆盖不足；让尽量多的邻居 AP 位于弱覆盖区域，保证一定的覆盖重叠；尽量不要让邻居 AP 进入强覆盖区域，否则会造成无冲突信道分配困难；通过调整 AP 发射功率来扩大 / 减小覆盖区域达到以上原则。

智能功率管理示意图



例如，当新的分布式 AP 加入，为了防止无意义的对外干扰，网关和 AP 可以减小发射功率，反之当某个分布式 AP 故障时，其他网关和 AP 会增大发射功率，来增强覆盖；

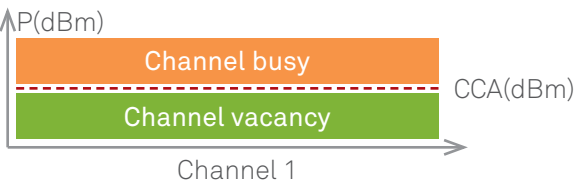
数据流量越多，发射功率越大，对外的干扰就会越大，所以在性能满足要求的前提下，流量小并且误码率低的情况下，可以适当减小发送功率；当数据流量增大或者误码率增大的情况下就需要适当增大发送功率

网关或者 AP 可以进行逐包功率控制，网关和 AP 实时检测各个终端的信号强度，如果某个终端信号强度强于功耗目标值（距离 AP 较近），则发送数据包给该终端时自动降低实际发送的功率；如果终端信号强度小于目标值（距离 AP 较远），则发送该报文时增加发射功率。

4.2.2 动态抗干扰

在密集的高层住宅环境中，想要找到比较干净的信道将会非常困难，当 AP 不得不使用一个拥挤的信道时，采用 CCA 动态调整的办法可以提高系统对干扰的容忍度 CCA（Clear Channel Assessment），即空闲信道评估。AP 或者终端是通过对信道进行能量检测的方式判断信道空闲的：

空闲信道评估示意图



- 当检测到某信道的能量  $\geq$  CCA 门限，认为信道繁忙，不在该信道发送。
- 当检测到某信道的能量  $<$  CCA 门限，认为信道空闲，使用该信道发送。

在密集的高层住宅环境下，由于 AP 以及终端密度大，距离近，信号强度比普通场景要强，信道上检测到的能量很容易超过 CCA 门限，导致 AP 或者终端无法发送数据。CCA 优化特性可以通过根据无线信道干扰情况、误码率以及业务需求来动态调整 CCA 门限，当针对某个终端的误码率满足要求，并且该终端的优先级较高时，可以适当提高 CCA 门限来获得更大的发送机会。

4.2.3 智能终端引导

Band steering：当终端支持双频时，网关或者 AP 根据 2.4G 和 5G 频段的拥塞情况，该终端的业务特性，终端这两个频段上的 RSSI 强度，将终端引导到合适的频段上。

Band steering 工作原理示意图



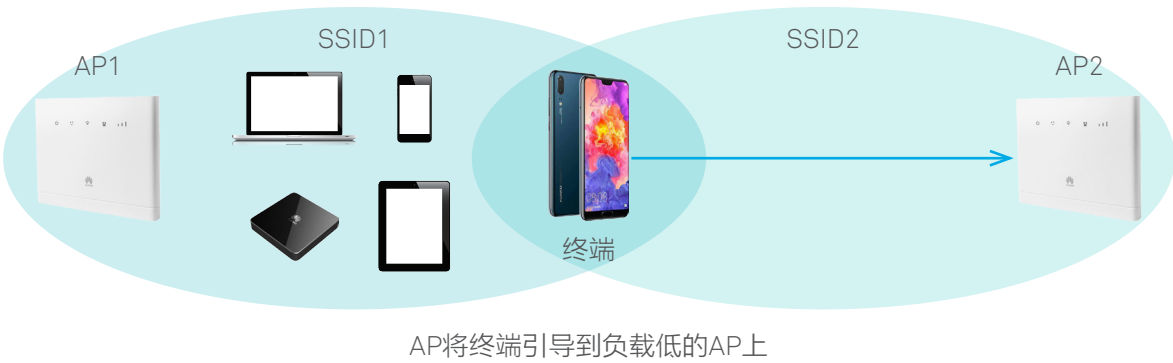
SSID steering：当终端可以加入多个SSID时，网关或者AP根据各个SSID的拥塞情况，考虑负载均衡，让终端加入最适合的SSID。

SSID Steering 工作原理示意图



AP steering：每个 AP 定时扫描信道信息，找到重叠的邻居 AP；AP 记录每个终端发送的探测消息；AP 同时还要记录当前的用户密度（RSSI）以及每个用户的空口使用量，并定时上报这些信息给家庭网关，家庭网关分析出在两个相邻 AP 中，那个处在流量过载或者用户过载的状态；并同时分析出那些终端处在两个相邻 AP 的重叠区域，然后引导连接到过载 AP 的终端迁移到轻载 AP 上。

AP Steering 工作原理示意图





4.2.4 智能无缝漫游

无缝漫游技术主要包括 IEEE 802.11K、802.11V 和 802.11R 等标准，通过 802.11K 可以让 STA 测量到其它 AP 的信号强度，作为漫游决策的依据。通过 802.11V 可以让 STA 漫游到指定的信道和 BSSID。通过 802.11R 可以在漫游切换时无需重新协商密钥，节省漫游切换时间。

智能无缝漫游示意图



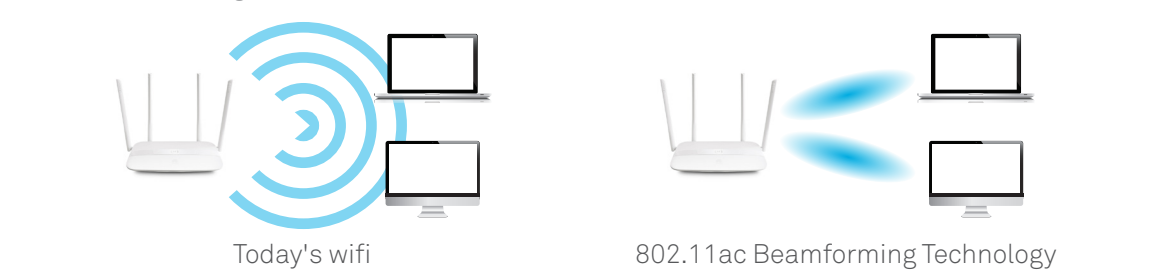
802.11K, 802.11V 智能无缝漫游技术已经被多数终端所支持，很多终端在移动时不会立即切换到信号最强的 AP，需要由网关或 AP 主动触发漫游切换，提升网络性能；当前 AP 检测终端的 RSSI，发送成功率，速率，当这些指标低于阈值也就说明终端正在远离当前 AP，当前 AP 则通知终端触发漫游，并基于 RSSI 强度，级联层级，回传路径，负载等选择最优的目标 AP 提供给终端，终端则按照指示切换到最优的目标 AP 上。

对于不支持 802.11K 的终端来说，当前 AP 检测到该终端可以连接到信号更好的 AP 时，当前 AP 可以强制迫使该终端下线，通过目标的 AP 的接纳控制迫使该终端连接到目标 AP 上。

4.2.5 基带波束成型（Beamforming）

无缝漫游技术主要包括 IEEE 802.11K、802.11V 和 802.11R 等标准，通过 802.11K 可以让 STA 测量到其它 AP 的信号强度，作为漫游决策的依据。通过 802.11V 可以让 STA 漫游到指定的信道和 BSSID。通过 802.11R 可以在漫游切换时无需重新协商密钥，节省漫游切换时间。

Beamforming 工作原理示意图



波束成型技术是 802.11n 和 802.11ac 协议的一部分，在协议中被称为 Tx Beamforming，AP 通过协议的交互，获取终端的信道基础信息，基带芯片根据信道基础信息计算出不同天线空间流到达终端的相位差异，使用多个天线发送相同的数据符号，但是每根天线的数据符号使用不同的相位幅度，然后发送出去。使得多个天线信号的相位叠加在不同的方向呈现出不同的强弱，使得特定接收端方向的信号功率最大化；由于各个天线发送的是相同的数据符号，所以主要获得是分集增益

4.2.6 空口时间公平性调度（Airtime Fair schedule）

Airtime 公平调度是在同一射频下对每个终端某业务类型的无线信道占用时间进行调度，确保每个终端的相同业务相对公平的占用无线信道。传统的 AP 空口调度方式是一个先进先出的队列，会出现以下弊端：

- 1. 单个终端使用过多的下行带宽资源，对其他终端不公平；
- 2. 部分老制式（802.11b/g）低速终端占用过多空口资源，整体空口吞吐量下降。针对某个业务队列，Airtime 公平调度相对于 FIFO 队列调度方式则做了以下改进：
- 3. 调度器每周期给各个终端分配相同的空口时间令牌，针对新的待发送报文，调度器估算该报文所需要占用的空口时间并减去目的终端当前令牌数；
- 4. 调度器往空口发送报文时，按照各个终端的剩余时间令牌数从大到小进行排列，每次优先发送当前周期占用空口时间最少的终端（时间令牌剩余最多）的报文；
- 5. 调度器周期性重新分配时间令牌，保证长时间的统计公平。

4.3 可维护可管理

运营商家庭 Wi-Fi 网络必须是可运维可管理的网络，才能给运营商带来价值。可运维可管理包括故障诊断、故障定责。

故障诊断是指在家庭 Wi-Fi 网络出现异常时，能够通过远程搜集故障信息并根据故障信息进行分析 and 定位的能力。

故障定责是指在家庭 Wi-Fi 网络出现异常时，能力在获取故障信息基础上，对故障原因进一步定位到是上行接口、Wi-Fi AP 设备本身或者 Wi-Fi 线路的故障，从而能够缩小故障范围更快进行网络恢复。

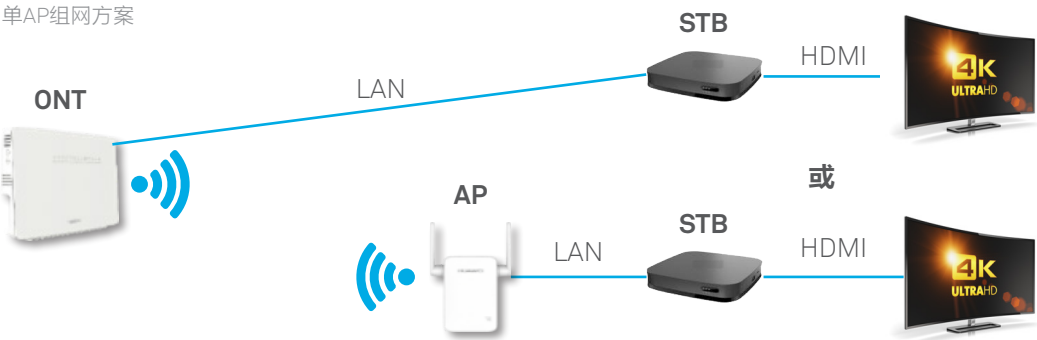
4.4 4K over Wi-Fi解决方案

4.4.1 4K Wi-Fi 典型组网

本文主要讨论的是家庭场景下 4k 点播可能存在的 Wi-Fi 组网，考虑到家庭不同的户型结构，从单居室，三居室，跃层及别墅等不同的户型结构，4k 点播存在的组网主要是如下几种类型：

单 AP 组网方案：考虑单路 Wi-Fi 穿墙距离有限，适应面积比较小家庭。有线连接因为涉及到布线工程，连接也不方便，在家庭里要支持多个地方的视频点播，无线连接是一个选择。

单AP组网方案



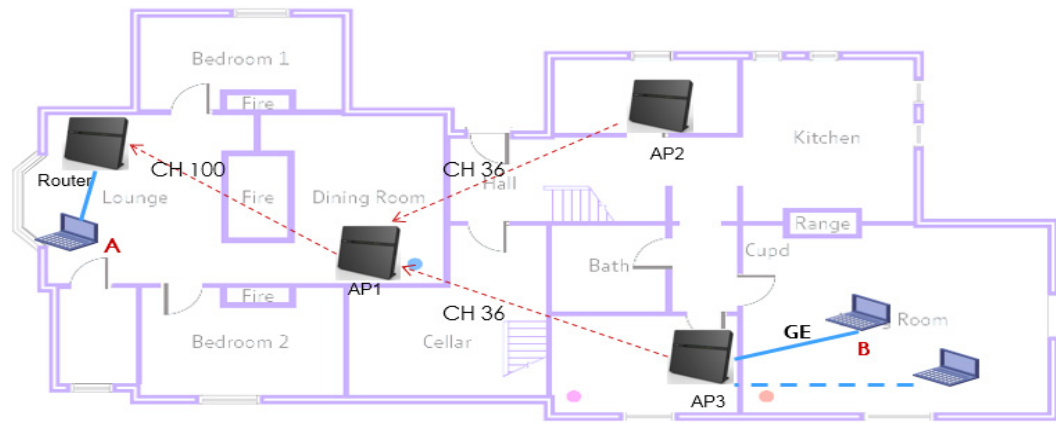
视频通组网方案: 通过专门的 4k 视频 bridge 设备, 实现视频类专项承载, 同时通过特定的优化, 可以比较好的保证视频质量, 同时也实现的居家覆盖面积的有效扩展。

视频通组网方案



分布式组网方案: 针对别墅, 大户型等场景, 通过多个三频 AP 级联, 实现家庭各个角落的 Wi-Fi 300M 全覆盖, 提供高质量的 4K 连接接入。

分布式组网方案

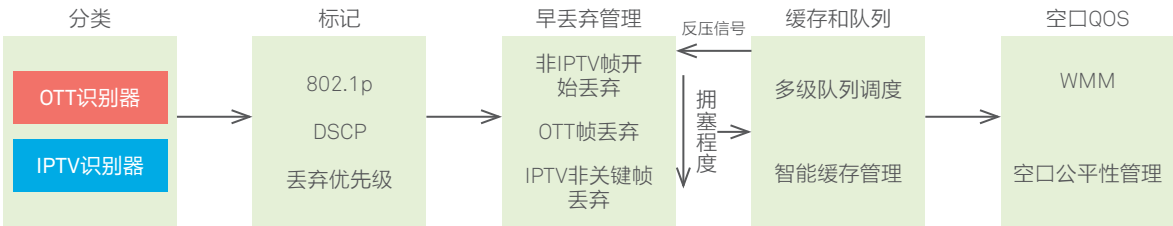


4.4.2 Wi-Fi 承载 4K 视频的关键技术

家庭 Wi-Fi 网络应该是一个视频感知的, 提供最佳视频体验的网络; 如前所述, 视频对丢包率和时延都有较高的要求, 提高 Wi-Fi 视频承载体验的关键是保证干净独享的信道, IPTV 优先的 QOS 技术以及尽可能采用重传技术, 要做到视频带宽的动态、可智能感知动态带宽调整技术。

①. 视频业务优先的QOS调度

视频业务优先的QOS调度示意图



家庭网关上的总体 QOS 框架如上图, 这里我们假设家庭网关直接通过 Wi-Fi 某个频段接入自带 Wi-Fi 的 STB, 对于视频来讲, 下行方向的空口信道是瓶颈点, 如果不能保证视频业务独占下行无线信道, 则必须依赖 QOS 机制保证视频报文可以优先发送出去。

分类器识别出多路 IPTV 视频流和 OTT 视频流以及视频关键帧, 标记器则根据规则标记上 802.1p 或者 DSCP 值, 并标记出那些非关键帧可丢弃。

早丢弃管理模块根据后端拥塞级别启动早丢弃, 随着拥塞的加重, 按照各个业务、各个终端、各个 SSID 的优先级来依次丢弃队列尾部的报文。

在队列和缓存管理模块中合理设置每个终端的每种业务的队列长度, 调度优先级和权重、以及队列限速, 基于 UDP 的 IPTV 业务队列长度要尽量大, 基于 TCP 的 OTT 视频队列长度要等于主流 OTT 运营商的双向时延 (目前普遍 50ms 时延设计)。

802.11e 是 Wi-Fi QOS 的标准, 其中主要定义了 WMM (Wi-Fi Multimedia, Wi-Fi 多媒体) 机制, WMM 定义了 4 个 AC (Access Category, 接入类), 按照优先级从高到低的顺序分为 Voice、Video、Best-effort、Back-ground 四个优先级队列, 用于保证高优先级分类的报文优先抢占无线信道和发送。

WMM 还定义了一系列 EDCA 参数用于各业务的信道竞争:

- 1. AIFSN (Arbitration Inter Frame Spacing Number, 仲裁帧间隙数), AIFSN 数值越大, 该业务类型的空闲等待时间越长。等待时间越短则获取信道的机会更大;
- 2. ECWmin (Exponent form of CWmin, 最小竞争窗口指数形式) 和 ECWmax (Exponent form of CWmax, 最大竞争窗口指数形式), 决定了平均退避时间值, 这两个数值越大, 遇到碰撞时该业务类型平均退避时间越长;
- 3. TXOP (Transmission Opportunity, 传输机会), 一次竞争成功后, 该业务类型可占用信道的最大时长。



针对视频业务可以配置小的 AIFSN 和 ECWmin 和 ECWmax，配置较大的 TXOP 来保证视频业务的空口优先。

802.11AC wave2 的 MU-MIMO 技术是网关可以将多个数据流同时传输给不同的用户终端，下行 MU-MIMO 可以在接收端通过消除 / 零陷的方法，分离传输给不同终端的数据流，还可以通过在发送端采用波束成形的方法，提前分离不同终端的数据流，从而简化接收端的操作；如果家庭网关和 STB 或者 STB AP 都支持 MU-MIMO 技术，也可以使能该技术，使得 STB 或者 STB AP 接收信号增益最大。

②. 视频优先的CAC控制和空口时间保证

如果无法让视频业务使用单独的无线信道，则也需要在共享信道时给予视频业务尽量多的优先权，例如，家庭网关通过某个 2.4G 信道级联 STB AP，同时还有多个其他终端也通过这个信道接入家庭网关，则检测到 STB 开机后，家庭网关需要提高 STB AP（这里也看做是家庭网关 2.4G 频段下的一个终端）的时间片调度权重；

WMM CAC 机制：

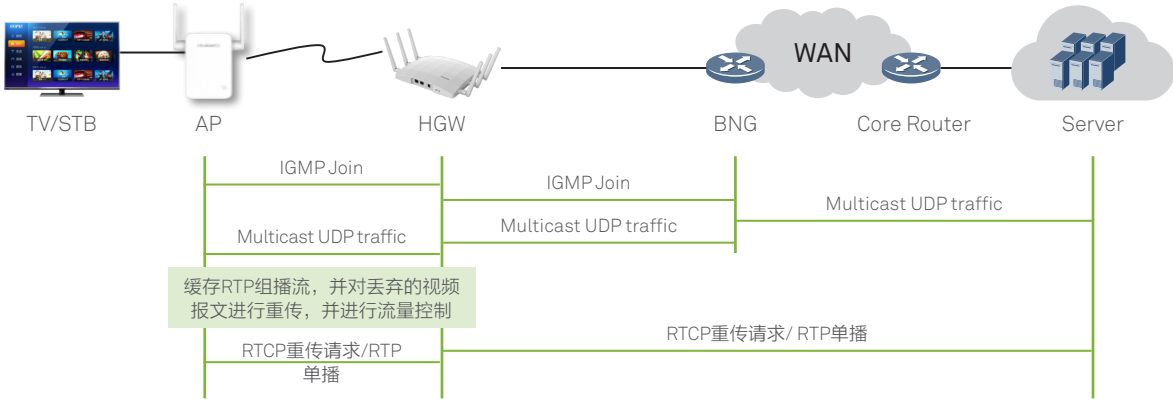
- 1. 终端在上行方向发送高级别的 voice 和 video 报文首先要获得 AP 或者家庭网关的许可，所以在检测到 STB 开机后，家庭网关可以只允许 STB 或者 STB AP 在上行方向发送 voice 和 video 类别报文，不允许其他终端发送这两个类别的报文，防止对家庭网关空口下行方向的视频报文形成竞争。
- 2. 在 STB 或者 STB AP 的接收误码率恶化时，则将低速的以及接收信号弱的终端强制下线，防止它们拖累下行视频业务。



③. 视频重传技术

IPTV 直播采用 UDP 承载，IPTV 业务对丢包非常敏感，在支持 4K 后，持续的大流量以及高通量要求，需要通过视频重传来保证家庭 Wi-Fi 空口瞬时大量丢包能及时重传。

视频重传机制



在网关和 AP 缓存 RTP 报文，对丢弃的视频报文发起重传请求，降低对 Wi-Fi 网络的时延需求。

在进行 RTP 报文重传时，需要提高重传报文的优先级，优先调度，减少转发时延。

④. VABA智能视频带宽调整技术

VABA (Video Aware Bandwidth Adjustment) 智能视频带宽调整技术解决在队列拥塞时，UDP 视频报文随机丢包问题。

VABA 算法通过智能感知 Wi-Fi 链路拥塞情况，动态智能调整视频节目带宽来解决 4K 视频节目由于队列拥塞丢包的卡顿问题。

VABA算法公式

$$drop P_i \xrightarrow{\text{yields}} \max QoE\{\cup_{n \neq i}(P_n)\}$$

VABA使能和不使能对比效果：

VABA使能和不使能对比效果





# 05

## 典型场景部署建议

### 5.1 小户型1-2房家庭

户型特点：小户型一般为1-2房。

用户特征：客厅和主卧有电视。客厅，卧室有非视频用户，1~2个用户左右。

干扰特征：干扰源包括本栋的上下左右后，前栋，后栋有本栋其它房子遮挡，可忽略。前栋不同楼层的房子也会产生干扰，并且高层住宅的层数很多。干扰源的套数在30个以上。

解决方案要求：该户型一个ONT（HS8245W）就能覆盖所有区域，支持1路4K节目。

小户型场景部署



### 5.2 大户型3-5房家庭

户型特点：大户型一般为3~4房。

用户特征：客厅和主卧有电视。客厅，卧室有非视频用户，5个用户左右。

干扰特征：干扰源包括本栋的上下左右，前栋，后栋。前后栋不同楼层的房子也会产生干扰。干扰源的套数在20个以上，每套有1~2个AP。

解决方案要求：户型面积较大，且信号传递需穿越2堵以上墙体，需要部署2个AP扩展，支持2~3路4K节目，1个HS8245W+2个WA8011Y。

大户型场景部署



### 5.3 别墅跨楼层

户型特点：独栋或双拼，2~3层，一般5~6房。

用户特征：客厅和多个卧室有电视，需要多级级联。客厅，卧室有非视频用户，10个用户左右。

干扰特征：干扰源来自双拼的另一套房子，以及附近的其它别墅，干扰相对较少。干扰源的套数在10个左右，每套需要部署多个AP。

解决方案要求：以每层2-3个房间为例，一层需要1~2个三频AP，Wi-Fi中继时对三频AP穿楼板有强烈要求，需要多级AP级联组网，多级级联后对网络拓扑稳定性要求很高，多级组网后至少要支持3~4路4K节目，每级AP之间的信号要求在-65dBm，1个HS8245W+3个WA8011Y。

别墅场景部署



# 06

## 4K over Wi-Fi 的测试标准

### 6.1 测试方法

#### 6.1.1 影响因素

4K over Wi-Fi测试，需要考虑各种影响4K视频卡顿的因素。包括：

- 1. 从视频头端到Wi-Fi设备的时延和丢包。可通过独立的视频头端+网损仪进行测试，避免Internet网络对测试结果的影响。
- 2. Wi-Fi设备下接几路4K视频。
- 3. 视频STA的信号强度。
- 4. 4K视频的码率。
- 5. 上网STA的个数。
- 6. 上网STA的信号强度。
- 7. 上网STA的流量。
- 8. 干扰Wi-Fi设备的个数。
- 9. 干扰Wi-Fi设备的工作信道。
- 10. 干扰STA的信号强度。
- 11. 干扰STA的视频流量。
- 12. 干扰STA的上网流量。

#### 6.1.2 测试环境

Wi-Fi 测试环境包括仪表环境、屏蔽环境、办公环境、家居环境等。

仪表环境和屏蔽环境可以避免非可控的干扰，按照需要添加定量干扰，测试结果的可重复性比较好。只是直观上，觉得跟实际的使用场景不太一样。

办公环境可获得性比较好，但干扰不可控，测试结果可重复性很差。

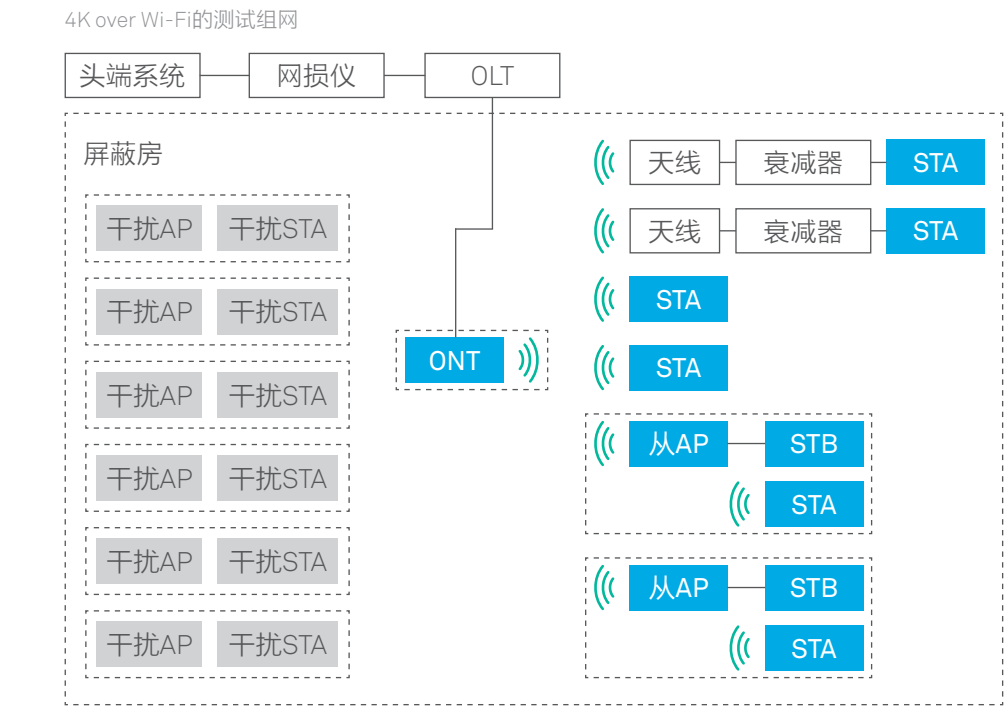
家居环境取决于周围的干扰情况。如果是郊区的独栋别墅，周围没有房子，测试结果的可重复

性较好。如果是普通的住宅小区，周围的干扰比较多，几乎等不到所有邻居都停止使用 Wi-Fi 的时间，测试结果的可重复性比较差。

总得来讲，为保证测试结果的可重复性和公平性，我们建议在屏蔽环境，构造定量可控的干扰，测试 4K over Wi-Fi。

#### 6.1.3 测试组网

建议4K over Wi-Fi的测试组网如下图所示：



6.2 典型测试场景

典型测试场景的测试参数建议如下：

典型测试场景的测试参数建议

参数名称	场景 1	场景 2	场景 3	场景 4
网损时延	20ms	20ms	20ms	20ms
4K视频路数	1	1	2	2
视频STA信号强度	-65dBm	-65dBm	-65dBm	-65dBm
4K视频码率	平均码率30M 峰值码率50M	平均码率30M 峰值码率50M	平均码率30M 峰值码率50M	平均码率30M 峰值码率50M
上网 STA 个数	1	2	1	2
上网 STA 信号强度	-72dBm	-72dBm	-72dBm	-72dBm
上网 STA 流量	10M	10M	10M	10M
干扰 Wi-Fi 设备个数	2	4	2	4
干扰 Wi-Fi 设备工作信道	1 同频 +1 邻频	2 同频 +2 邻频	1 同频 +1 邻频	2 同频 +2 邻频
干扰 STA 信号强度	-65dBm	-65dBm	-65dBm	-65dBm
干扰 STA 视频流量	60M	120M	60M	120M
干扰 STA 上网流量	20M	40M	20M	40M

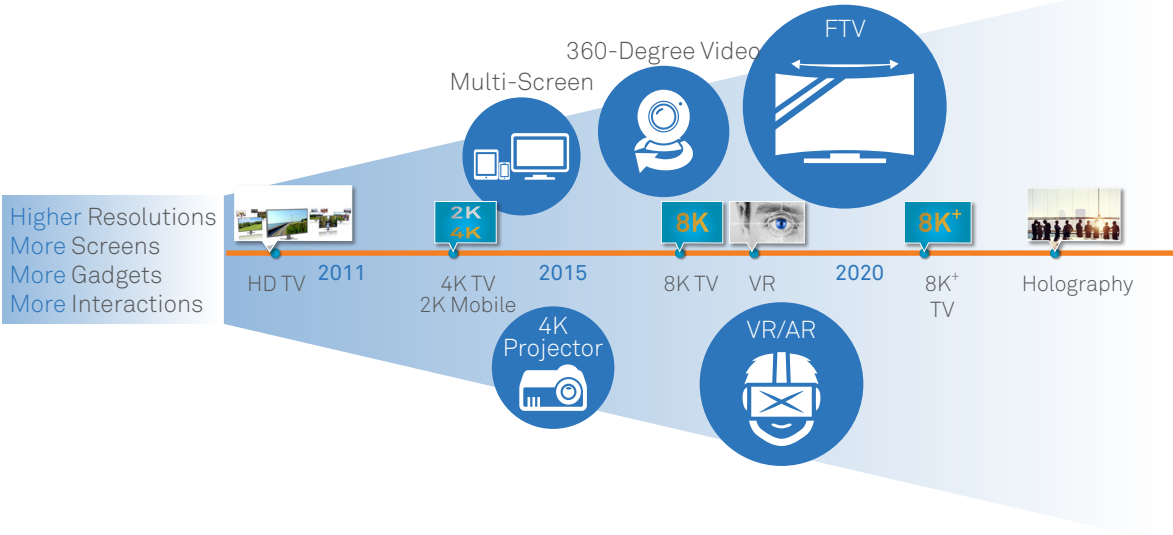
注 1：信号强度参考 Android 系统的信号强度分类，4 格（大于等于 -65dBm），3 格（-66dBm 到 -72dBm），2 格（-73dBm,-79dBm），1 格（-80dBm,-85dBm），0 格（小于等于 -86dBm）。

注 2：本表只是针对典型测试场景举例，实际可以采用更多的测试参数组合。

展望07

最终用户对更好业务体验的追求是永无止境的，更高的清晰度、更多的屏幕、更多的观看方式都将推动视频流量的不断增长。视频占据了当前 60% 的网络流量，未来将持续增长到 85%。

业务体验的追求永无止境



4K 以及更高清晰度视频业务的发展，家庭多屏视频业务的普及，终端的日益增多，对 Wi-Fi 的覆盖、速率及时延等要求将越来越高。

随着 4K 视频的兴起，4K over Wi-Fi 将成为普遍的要求，同时在未来几年，8K 和 VR 视频也将逐渐出现，这就要求未来的家庭 Wi-Fi 带宽、时延能够支撑 8K 和 VR 等超高清视频业务的发展。



08

附录 A 参考资料

1. 华为U-vMOS视频体验标准白皮书V1.0
2. TR 126: Triple-play Services Quality of Experience (QoE)
3. IEEE 802.11n , Higher throughput improvements using MIMO (multiple input, multiple output antennas)
4. IEEE 802.11ac, IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: High Speed Physical Layer in the 5 GHz band

附录 B 缩略语

09

缩略语	英文全称
Wi-Fi	无线局域网，可以提供手机、PAD 等的无线接入
AP	Access Point
STA	Station
SSID	Wi-Fi 信号的名称
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
RTT	round-trip time
IPTV	交互式网络电视业务
STB	机顶盒
HGW	网线上行家庭网关，可以工作在路由、桥接两种模式
WAN	HGU、HGW 的业务逻辑接口或者网络侧接口
LAN	指网线接口或者指用户侧接口
GE	支持 1000M 接入速率的网线接口
PLC	电力猫
Video Aware Bandwidth Adjustment	视频带宽智能调整