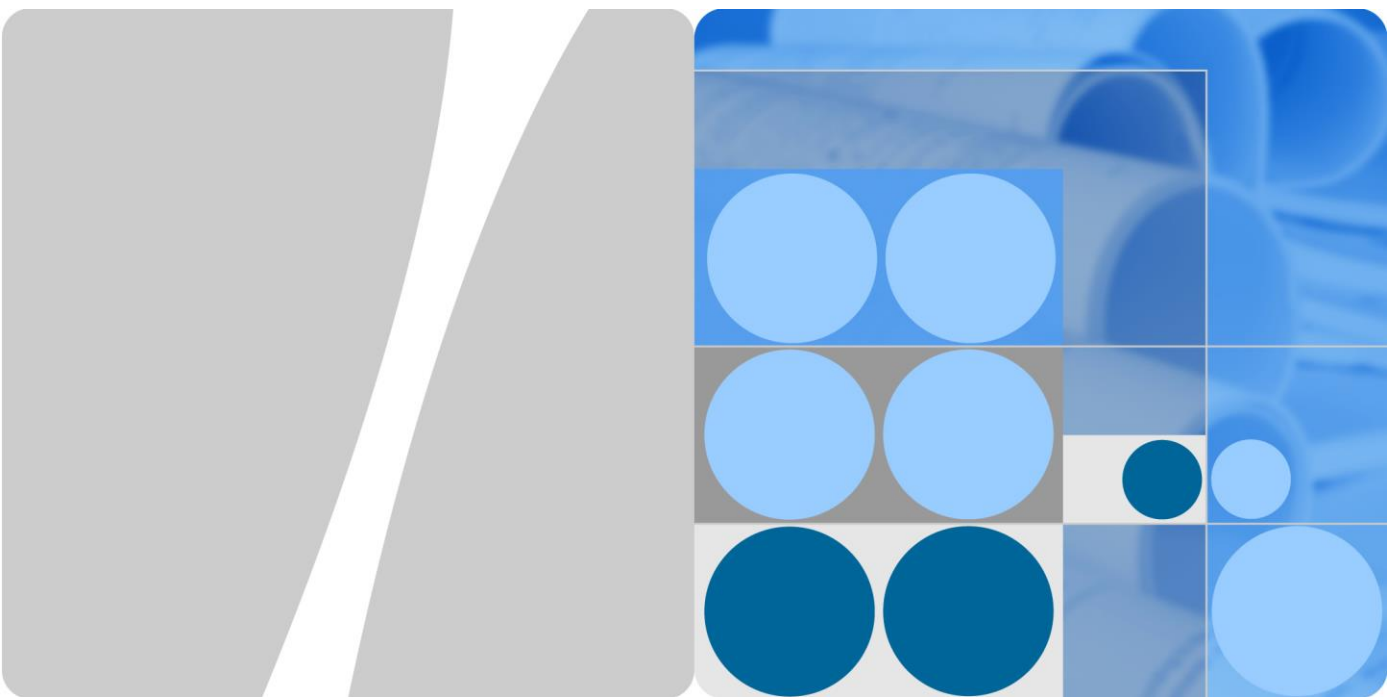




最佳体验的家庭网络 Wi-Fi 技术白皮书

文档版本 01
发布日期 2017-06-22

华为技术有限公司



版权所有 © 华为技术有限公司 2017。 保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



HUAWEI 和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受华为公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，华为公司对本文档内容不做任何明示或默示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

华为技术有限公司

地址： 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编：518129

网址： <http://www.huawei.com>

客户服务邮箱： support@huawei.com

客户服务电话： 4008302118

前言

在国家“互联网+”的大背景下，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。

但同时运营商在宽带提速(如 100M/1000M)后，用户入户的带宽虽然增加了，但百兆带宽不等于百兆体验，瓶颈就在于用户侧的家庭网络质量参差不齐。同时高清视频业务和日益增多的移动终端所依赖的优质高速 Wi-Fi 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，制约高价值业务发展。在大户型覆盖，视频承载和智慧家庭领域运营商可以在家庭 Wi-Fi 网络方面发挥自身优势，构建差异化的家庭网络能力。

随着 Wi-Fi 成为家庭网络的主要联接方式以及用户对视频等体验的关注。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家庭网络商业成功的关键。

因此，针对电信运营商和用户热切关注的家庭网络 Wi-Fi 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网络 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（如在线视频的时延，网页浏览的加载时间，在线游戏的响应时间等），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。

关键词

4K, Experience, Network, 家庭网络, KQI, KPI, 100M, Wi-Fi, FTTH, WMM, 云管理平台。

摘要

家庭内移动终端的日益增多，移动端的视频和超高清 IPTV 持续驱动超宽带的发展，也让 Wi-Fi 成为家庭内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。

目 录

前言.....	ii
1 Wi-Fi 的技术和原理	1
1.1 以体验为中心的建网理念	1
1.1.1 Wi-Fi 基本概念	1
1.1.2 如何发送数据	2
1.1.3 工作信道和工作频宽	3
1.2 空口物理速率	4
1.2.1 802.11b	4
1.2.2 802.11g 和 802.11a.....	4
1.2.3 802.11n	4
1.2.4 802.11ac.....	5
1.2.5 802.11ax.....	6
1.3 空口承载速率	7
1.4 改善空口效率的技术	8
1.4.1 WMM	8
1.5 Wi-Fi 的应用前景	8
2 家庭 Wi-Fi 网络面临的挑战	10
2.1 家庭 Wi-Fi 难以管理运维	10
2.2 Wi-Fi 性能的问题	10
2.3 视频承载体验差	13
2.4 IPTV 和上网业务无法融合	15
3 家庭 Wi-Fi 网络的 KQI	16
3.1 家庭 Wi-Fi 网络的质量标准	16
3.1.1 家庭 Wi-Fi 网络体验 KQI 指标	17
3.1.1.1 网页浏览	17
3.1.1.2 宽带测速	18
3.1.1.3 在线视频	18
3.1.1.4 在线游戏	19
3.1.1.5 高速下载	20
3.1.2 家庭 Wi-Fi 网络 KPI 指标.....	20

3.1.2.1 业务体验	20
3.1.2.2 连接能力	21
3.1.2.3 覆盖性能	21
3.1.2.4 吞吐性能	22
3.1.2.5 抗干扰性能	22
3.1.2.6 可维护可管理	22
3.2 建设下一代家庭 Wi-Fi 网络目标：100M@Anywhere	22
4 Wi-Fi 覆盖的解决方案及关键特性	24
4.1 家庭网关和 AP 的规格要求	24
4.2 家庭 Wi-Fi 网络的性能提升	25
4.2.1 智能信道管理	25
4.2.2 动态抗干扰	27
4.2.3 智能终端引导	28
4.2.4 智能无缝漫游	29
4.2.5 基带波束成型（Beamforming）	30
4.2.6 智能天线选择	31
4.2.7 空口时间公平性调度（Airtime Fair schedule）	32
4.3 家庭 Wi-Fi 网络在视频承载方面的关键特性介绍	32
4.3.1 视频业务优先的 QOS 调度	32
4.3.2 视频优先的 CAC 控制和空口时间保证	33
5 典型场景的家庭 Wi-Fi 网络部署建议	34
5.1 统一的多业务网络	34
5.2 多介质扩展 AP 介绍	35
5.3 家庭网络 Wi-Fi 部署和设计原则	37
5.4 典型场景部署家庭 Wi-Fi 网络	38
5.4.1 小户型 Wi-Fi 方案设计	38
5.4.2 中等户型 Wi-Fi 方案设计	39
5.4.3 大户型平层的 Wi-Fi 方案设计	41
5.4.4 多层及别墅 Wi-Fi 方案设计	42
5.5 建设可视可管的家庭 Wi-Fi 网络	44
5.5.1 AP 即插即用	44
5.5.2 家庭 Wi-Fi 网络可视可管	45
5.5.3 家庭 Wi-Fi 远程运维	46
5.5.4 家庭 Wi-Fi 网络的装维工具	46
5.5.5 性能分析工具	47
5.5.6 用户 APP 让用户体验智能 Wi-Fi 网络	47
6 展望.....	49
7 附录 A 参考资料	50

8 附录 B 缩略语.....51

插图目录

图 1-1 Wi-Fi 网络的组成部件	1
图 1-2 Wi-Fi 网络的 DCF 发送数据的过程.....	2
图 1-3 Wi-Fi 网络的数据传送的机制	3
图 1-4 Wi-Fi 2.4G 频段的信道	3
图 1-5 Wi-Fi 5G 频段的信道	4
图 1-6 WMM 原理图.....	8
图 2-1 Wi-Fi 性能问题示意图	11
图 2-2 Wi-Fi 网关放置在金属板的信息箱内示意图.....	12
图 2-3 Wi-Fi 干扰示意图	12
图 2-4 终端设备移动对 Wi-Fi 质量的影响示意图	13
图 2-5 IPTV 和上网业务无法融合示意图	15
图 3-1 网络、业务和体验 KQI 的层次关系示意图.....	17
图 4-1 Wi-Fi 周期性自动调优的原理示意图	26
图 4-2 Wi-Fi 事件触发调优的原理示意图	26
图 4-3 智能功率管理示意图.....	27
图 4-4 CCA 空闲信道评估示意图	28
图 4-5 Band steering 工作原理示意图.....	28
图 4-6 SSID Steering 工作原理示意图.....	29
图 4-7 AP Steering 工作原理示意图.....	29
图 4-8 智能无缝漫游示意图.....	30
图 4-9 Beamforming 工作原理示意图	30
图 4-10 智能天线选择工作原理示意图.....	31
图 4-11 视频业务优先的 QOS 调度示意图	32
图 5-1 未来融合家庭网络示意图.....	35
图 5-2 电力/以太/Wi-Fi AP 扩展 Wi-Fi 示意图	36

图 5-3 一房一厅 Wi-Fi 方案设计 38

图 5-4 小两房 Wi-Fi 方案设计 39

图 5-5 大两房（塔楼）Wi-Fi 方案设计 39

图 5-6 三房 Wi-Fi 方案设计 40

图 5-7 大户型平房 Wi-Fi 方案设计 41

图 5-8 多层及别墅 Wi-Fi 方案设计 42

图 5-9 多层(>3 层)及别墅 Wi-Fi 方案设计 43

图 5-10 可视可管家庭 Wi-Fi 网络示意图 44

图 5-11 网关和 AP 即插即用示意图..... 45

图 5-12 家庭网络 Topo 管理示意图..... 45

图 5-13 家庭网络装维助手示意图..... 46

图 5-14 家庭网络用户 APP 示意图 47

图 6-1 业务体验的追求永无止境..... 49

表格目录

表 1-1 802.11g 和 802.11a 支持的物理速率 4

表 1-2 802.11n 支持的物理速率 5

表 1-3 802.11ac 支持的物理速率 5

表 1-4 802.11ax 支持的物理速率 6

表 1-5 Wi-Fi 各空口类型的实际感知速率 7

表 2-1 常见家庭障碍物对 Wi-Fi 信号造成的衰减参考 11

表 2-2 常见家庭设备对 Wi-Fi 的干扰评估 13

表 2-3 华为标准定义的视频质量 KPI 14

表 2-4 Wi-Fi 网络的典型质量参数表 14

表 3-1 网页浏览业务体验 KQI 17

表 3-2 宽带业务体验 KQI 18

表 3-3 在线视频业务体验 KQI 19

表 3-4 在线游戏业务体验 KQI 19

表 3-5 高速下载业务体验 KQI 20

表 3-6 4K TV（30P）业务对家庭 Wi-Fi 的带宽、时延和丢包率要求 22

表 4-1 家庭网络和 AP 的规格 24

表 5-1 G.hn 与 PLC 电力猫的技术对比 35

表 5-2 多介质扩展 AP 的设备形态 36

表 5-3 按户型建议的分布式 Wi-Fi 覆盖方案 37

1 Wi-Fi 的技术和原理

随着 Wi-Fi 技术的发展 802.11ac 作为新一代 Wi-Fi 标准，其工作在 5GHz 频段，主流配置采用 5GHz 2×2 MIMO，空口最大速率可达 1166Mbps，实际吞吐率可达 500~600Mbps 左右。相对于 802.11n 的 2.4GHz 频段，双频 Wi-Fi 网关具有可选信道数量更多、抗干扰能力更强、速率更高和时延更小等诸多优势，能更好地承载高清视频等高速无线业务。

1.1 以体验为中心的建网理念

1.2 空口物理速率

1.3 空口承载速率

1.4 改善空口效率的技术

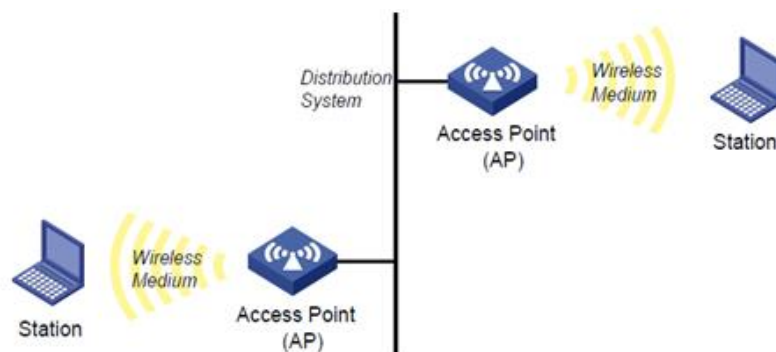
1.5 Wi-Fi 的应用前景

1.1 以体验为中心的建网理念

1.1.1 Wi-Fi 基本概念

Wi-Fi 是一种基于 IEEE 802.11 标准的无线局域网（Wireless Local Area Network, Wi-Fi）技术。Wi-Fi 网络包括以下部件：

图1-1 Wi-Fi 网络的组成部件



- Stations (STA): 工作站, 指带 Wi-Fi 功能的笔记本电脑, 平板电脑, 智能手机等。
- Access points (AP): 接入热点, 指带 Wi-Fi 功能的 ONT, CPE, CM, 路由器等。
- Wireless medium: 无线介质, 采用射频和天线, 通过空气传播信号。
- Distribution system: 分布式系统, 由 STA, AP, 无线介质组成的系统。

AP 提供无线接入服务时, 需要配置 service set identifier (SSID), STA 打开 Wi-Fi 时, 扫描到的 Wi-Fi 热点名称, 就是 SSID。

一个物理 AP 可以配置多个 SSID, 相当于有多个虚拟 AP (VAP), STA 打开 Wi-Fi 时, 可以扫描到多个热点。多个 VAP 只是用于区分业务, 并没有增加空口资源。

1.1.2 如何发送数据

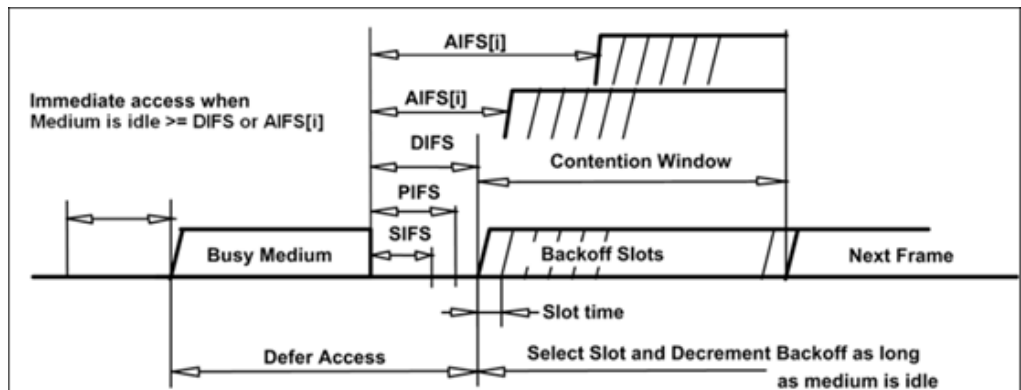
AP 和 STA 发送数据时, 需要错开时间, 否则会相互干扰, 对方收不到数据。为了成功发送数据, Wi-Fi 有三种协调机制:

- DCF: distributed coordination function, AP 和 STA 通过载波侦听多路访问/碰撞避免机制发送数据。
- PCF: point coordination function, 由 AP 统一协调每个设备发送数据的时间。
- HCF: hybrid coordination function, 混合使用 DCF 和 PCF 方式。

空口中可能有多个 AP, PCF 的效率不高, 实际广泛应用的是 DCF 方式。

通过 DCF 方式发送数据的过程如下。首先检测空口是否繁忙。如果空口空闲, 等待 DIFS+随机时间。等待之后, 如果空口仍然空闲, 则发送数据。

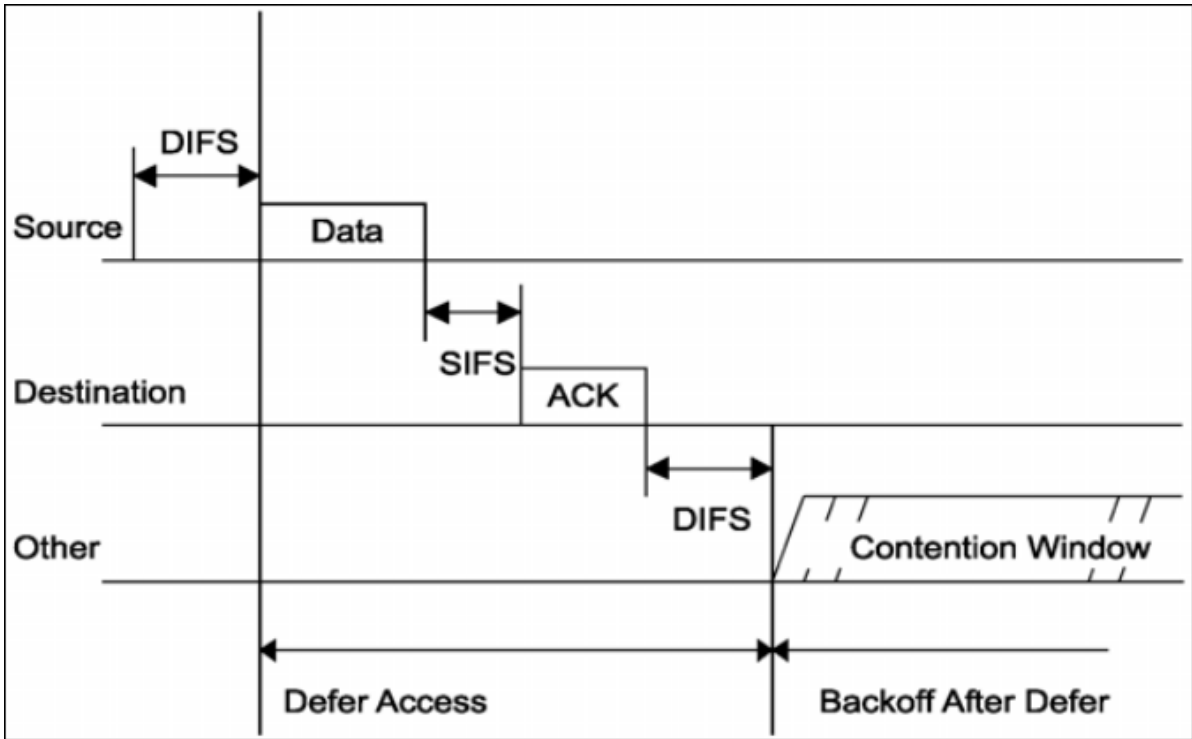
图1-2 Wi-Fi 网络的 DCF 发送数据的过程



SIFS (Short interframe space) 是一个连续过程的间隔。PIFS (PCF interframe space) 用于 PCF。DIFS (DCF interframe space) 用于 DCF 方式。

如果多个设备的随机时间刚好相同, 仍然会存在冲突, 需要重新等待发送机会, 重发数据。为了确保对方能够收到数据, 发送数据时, 需要对方确认。Frame 和 ACK 是一个连续的过程, 发送 ACK 时不需要检测空口。

图1-3 Wi-Fi 网络的数据传送的机制

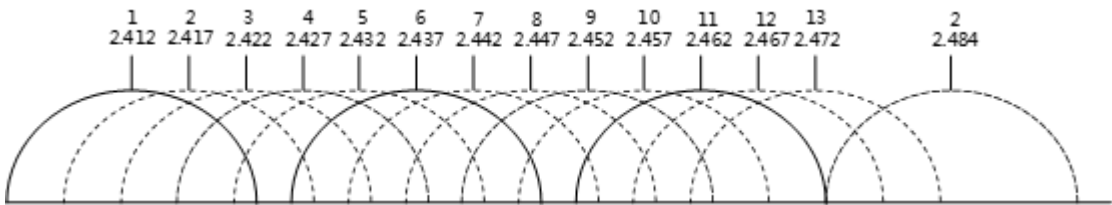


1.1.3 工作信道和工作频宽

Wi-Fi 设备通过无线电波发送数据时，需要工作在一定的频率范围，这个频率范围称为信道。由 AP 选择工作信道，STA 跟随 AP 的工作信道。工作在不同信道的 Wi-Fi 设备，可以同时发送数据。工作在相同信道的 Wi-Fi 设备，不能同时发送数据。Wi-Fi 工作的频率范围大小可以不同，称为工作频宽，包括 20M，40M，80M，160M 频宽。

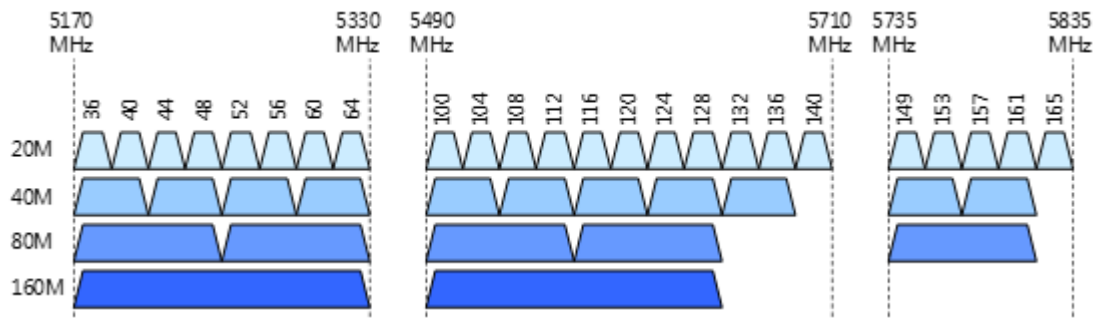
2.4G 频段，中国大陆地区开放 1~13 信道，这些信道相互重叠。11bg 频宽为 22M，不重叠的只有 1,6,11 三个信道。采用 40M 频宽时，不重叠的信道只有 1 个。

图1-4 Wi-Fi 2.4G 频段的信道



5G 频段，中国大陆地区开放 36~64 信道，以及 149~165 信道，其中 52~64 需要支持 DFS/TPC，进行雷达检测和功率控制。与 2.4G 不同，40M，80M，160M 频宽的信道由标准定义，不能随意组合。

图1-5 Wi-Fi 5G 频段的信道



1.2 空口物理速率

IEEE 802.11 定义了多种物理层标准，不同标准可以支持不同的空口物理速率。

1.2.1 802.11b

802.11b 工作在 2.4G 频段，支持的物理速率如下：1M，2M，5.5M，11M。

1.2.2 802.11g 和 802.11a

802.11g 工作在 2.4G 频段，802.11a 工作在 5G 频段，支持的物理速率如下：

表1-1 802.11g 和 802.11a 支持的物理速率

调制方式	编码率	物理速率(Mbps)
BPSK	1/2	6.0
BPSK	3/4	9.0
QPSK	1/2	12.0
QPSK	3/4	18.0
16-QAM	1/2	24.0
16-QAM	3/4	36.0
64-QAM	2/3	48.0
64-QAM	3/4	54.0

Wi-Fi 设备需要根据空口情况动态调整调制方式和编码率，工作在不同的物理速率。

1.2.3 802.11n

802.11n 工作在 2.4G 频段或 5G 频段。支持 MIMO，多空间流的物理速率在单空间流的物理速率基础上乘以空间流个数。支持 40M 频宽。支持的物理速率如下：

表1-2 802.11n 支持的物理速率

MCS 索引	空间流个数 (MIMO 数)	调制方式	码率	20MHz 空 口速率 (Mbps)	40MHz 空 口速率 (Mbps)
0	1	BPSK	1/2	7.2	15.0
1	1	QPSK	1/2	14.4	30.0
2	1	QPSK	3/4	21.7	45.0
3	1	16-QAM	1/2	28.9	60.0
4	1	16-QAM	3/4	43.3	90.0
5	1	64-QAM	2/3	57.8	120.0
6	1	64-QAM	3/4	65.0	135.0
7	1	64-QAM	5/6	72.2	150.0
.....					
15	2	64-QAM	5/6	144.4	300.0
.....					
23	3	64-QAM	5/6	216.7	450.0
.....					
31	4	64-QAM	5/6	288.9	600.0

空间流个数取决于 AP 和 STA 共同的能力，如果 STA 支持的空间流个数较少，则无法达到较高的速率。2.4G 的信道比较少，往往无法工作在 40M 频宽。应用比较广泛的 11n 设备，一般支持 2 条空间流，20M 频宽下可以达到 144.4M 物理速率。

1.2.4 802.11ac

802.11ac 工作在 2.4G 频段或 5G 频段。在 11n 的基础上，提高调制方式，支持更多的空间流个数，更大的频宽。支持的物理速率如下：

表1-3 802.11ac 支持的物理速率

MCS	空间流 个数 (MIMO 数)	调制方 式	码率	20MHz 空口速 率 (Mbps)	40MHz 空口速 率 (Mbps)	80MHz 空口速 率 (Mbps)	160MH z 空口 速率 (Mbps)
0	1	BPSK	1/2	7.2	15.0	32.5	65.0
.....							
7	1	64-QAM	5/6	72.2	150.0	325.0	650.0

MCS	空间流个数 (MIMO 数)	调制方式	码率	20MHz 空口速率 (Mbps)	40MHz 空口速率 (Mbps)	80MHz 空口速率 (Mbps)	160MHz 空口速率 (Mbps)
8	1	256-QAM	3/4	86.7	180.0	390.0	780.0
9	1	256-QAM	5/6	/	200.0	433.3	866.7
.....							
9	2	256-QAM	5/6	/	400.0	866.7	1733.3
.....							
9	3	256-QAM	5/6	/	600.0	1300.0	2600.0
.....							
9	4	256-QAM	5/6	/	800.0	1733.3	3466.7
.....							
9	8	256-QAM	5/6	/	1600.0	3466.7	6933.4

应用比较广泛的 11ac 设备，支持 80M 频宽，2 条空间流可以达到 866.7M 物理速率，3 条空间流可以达到 1300M 物理速率，4 条空间流可以达到 1733.3M 物理速率。

1.2.5 802.11ax

802.11ax 工作在 2.4G 频段或 5G 频段，标准还没有定稿。在 11ac 的基础上，进一步提高调制方式，改善编码方式。支持的物理速率如下：

表1-4 802.11ax 支持的物理速率

MCS	空间流个数	调制方式	码率	20M 空口物理速率 (Mbps)	40M 空口物理速率 (Mbps)	80M 空口物理速率 (Mbps)	160M 空口物理速率 (Mbps)
0	1	BPSK	1/2	8.6	17.2	36.0	72.1
.....							
9	1	256-QAM	5/6	114.7	229.4	480.4	960.8
10	1	1024-	3/4	129.0	258.1	540.4	1080.9

MCS	空间流个数	调制方式	码率	20M 空口物理速率 (Mbps)	40M 空口物理速率 (Mbps)	80M 空口物理速率 (Mbps)	160M 空口物理速率 (Mbps)
		QAM					
11	1	1024-QAM	5/6	143.4	286.8	600.5	1201.0
.....							
11	2	1024-QAM	5/6	286.8	573.5	1201.0	2401.9
.....							
11	3	1024-QAM	5/6	430.1	860.3	1801.5	3602.9
.....							
11	4	1024-QAM	5/6	573.5	1147.1	2401.9	4803.9
.....							
11	8	1024-QAM	5/6	1147.1	2294.2	4803.9	9607.8

主流 11ax 芯片场景支持 4 条空间流，80M 频宽，物理速率达到 2401.9M。如果支持 4 条空间流，160M 频宽，或 8 条空间流，80M 频宽，物理速率可以达到 4803.9M。

1.3 空口承载速率

空口承载以太报文的速率，和空口物理速率，有很大的区别，原因如下：

- 802.11 帧头部开销大；空口冲突避免机制需要消耗时间；ACK 帧需要消耗时间；管理帧需要消耗时间；
- 其它无线设备消耗时间；
- 由于障碍物，空间衰减，达不到最大的物理速率。
- STA 空间流个数较少，或者不支持最近的技术标准，或没有工作在最大频宽；

评估空口承载速率时，需要确认当前工作的技术标准，频宽，空间流个数，信号强度，干扰情况等因素。排除这些因素以后，一般可以达到的承载速率如下：

表1-5 Wi-Fi 各空口类型的实际感知速率

空口类型	工作频宽	空口物理速率	理想测试速率	实际感知速率
2*2 11n	20M	144M	80~95M	60~75M

空口类型	工作频宽	空口物理速率	理想测试速率	实际感知速率
3*3 11n	20M	216M	110~130M	80~100M
2*2 11ac	80M	866M	500~530M	370~420M
3*3 11ac	80M	1300M	650~750M	580~650M

1.4 改善空口效率的技术

1.4.1 WMM

通过 Wi-Fi 承载视频，语音业务时，可以通过 WMM 机制，避免数据业务影响视频，语音业务的质量。前面说到，发送数据之前，需要等待“DIFS+随机时间”，支持 WMM 以后，DIFS 改为 AIFS。WMM 定义了 VO（语音），VI（视频），BE（Best effort），BK（Background）四种业务类型，不同业务类型的 AIFS 不同，随机时间的窗口不同，通过 AIFS 和随机窗口的差异，确保语音和视频业务更容易获得发送机会。

图1-6 WMM 原理图

AC	CWmin	CWmax	AIFSN	TXOP limit		
				For PHYs defined in Clause 16 and Clause 17	For PHYs defined in Clause 18, Clause 19, and Clause 20	Other PHYs
AC_BK	aCWmin	aCWmax	7	0	0	0
AC_BE	aCWmin	aCWmax	3	0	0	0
AC_VI	$(aCWmin+1)/2 - 1$	aCWmin	2	6.016 ms	3.008 ms	0
AC_VO	$(aCWmin+1)/4 - 1$	$(aCWmin+1)/2 - 1$	2	3.264 ms	1.504 ms	0

语音和视频报文需要在 IP 头或 VLAN tag 中填写正确的优先级，确保能够映射到 VO 或 VI 队列。以 VLAN tag 优先级为例，6 和 7 对应 VO，4 和 5 对应 VI，3 和 0 对应 BE，2 和 1 对应 BK。

1.5 Wi-Fi 的应用前景

Wi-Fi 承载着全球超过 42%移动数据流量和 90%平板电脑数据流量。它无形中已成为移动互联网时代这幢擎天大厦的地基代表。我们难以想象，如果地基没了，会是什么情景。未来 Wi-Fi 还将连接多种设备，切入更多领域，以提高社会的自动化、生产率与舒适度。

随着 4G/5G 概念不断普及，移动用户的需求也在不断提升。LTE 网络假设要达到与 Wi-Fi 相近的承载人群、用户体验，则需要尽量密集的站点，如此将导致站点租赁及设备维护费用激增。相比之下，无论从耗电、易维护性、硬件成本、配套设施，Wi-Fi 都

比 LTE 要低上千倍，未来的移动网络供需注定需要 Wi-Fi 的参与，如 VoWi-Fi 等技术已经开始出现。

同时，在智慧家庭领域，随着越来越多的 Wi-Fi IOT 设备的增多，Wi-Fi 将来也有望成为智慧家庭连接的协议之一，其优势在于传输速率快，且产品成本低，生活中也最为普及，对用户来说，基于 Wi-Fi 的智能家居组合最为省事，购买设备直接组网即可。如基于 Wi-Fi 的视频监控，很好地避免了复杂的布线也大大减少了施工部署的时间。

总之，家庭 Wi-Fi 除了满足家庭移动设备、视频承载和 VR/AR 的需求之外，在以后的移动通信、智慧家庭的应用中也将发挥它的无限潜能。

2 家庭 Wi-Fi 网络面临的挑战

有统计数据表明，中国每个家庭通过 Wi-Fi 连接的设备数平均达到 6 个，超过 80% 的用户通过 Wi-Fi 点播视频。但实际中 Wi-Fi 速率和宽带套餐速率不匹配，严重影响到用户实际的业务体验而导致用户的投诉不断增多。同时家庭 Wi-Fi 出现的性能等问题没有有效的手段定位和解决，导致用户投诉无法及时解决。

2.1 家庭 Wi-Fi 难以管理运维

2.2 Wi-Fi 性能的问题

2.3 视频承载体验差

2.4 IPTV 和上网业务无法融合

2.1 家庭 Wi-Fi 难以管理运维

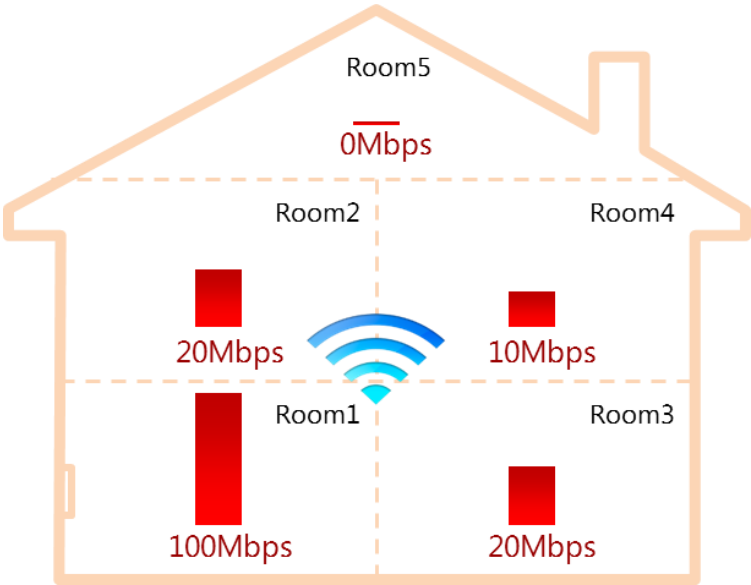
家庭 Wi-Fi 网络的规划和实施需要较高的专业技能；如果用户 DIY 的话会带来很多潜在的质量问题；第一，规划错误；“多大的房子，需要什么级别的家庭网关，需要几个分布式 AP，分别放在什么安装位置”，这些问题用户很难给出专业的回答，第二，自购的家庭网关或者分布式 AP 兼容性无法保证，性能差；第三，网关或者 AP 配置错误；第四；连线、安装等工程错误。

不管是否运营商提供家庭 Wi-Fi 服务，用户往往都将家庭 Wi-Fi 网络看做是宽带的一部分，一旦出现问题，用户还是会选择向运营商报障；据统计，目前家庭网络内的故障 30% 到 50% 都是 Wi-Fi 原因导致的，而目前家庭 Wi-Fi 基本处在无管理状态，一方面，运营商管理系统并没有去收集用户 Wi-Fi 的运行数据；另外一方面作为运营商边界的 CPE 上也缺乏有效 OAM 工具；一旦出现问题，远程维护人员很难快速的将故障定界到是家庭 Wi-Fi 的问题还是宽带网络的问题，只能依赖装维人员上门处理。

2.2 Wi-Fi 性能的问题

很多用户家里的家庭网关的摆放位置和天线角度不合理，影响了 Wi-Fi 的覆盖性能，比如：将家庭网关放置于入户处信息箱里；放在封闭的储物间里；放在墙角的地上；天线靠墙贴放；全向天线没有竖起并彼此形成一定角度。

图2-1 Wi-Fi 性能问题示意图



家庭环境的复杂性对 Wi-Fi 信号衰减很大；下面列出了常见家庭障碍物对 Wi-Fi 信号造成的衰减，比如，承重墙将造成 Wi-Fi 信号衰减为 1%（20db）到 0.01%(40db)。

表2-1 常见家庭障碍物对 Wi-Fi 信号造成的衰减参考

障碍物	衰减	障碍物	衰减
承重墙	20~40db	普通混凝土墙	10~18db
楼层	30db	空心砖墙	4~6db
石膏板墙	3~5db	普通玻璃门窗	2~4db
木门	3~5db	金属镀膜玻璃门窗	12~15db
木质家具	2~10db	木板隔墙	5~8db
金属物	全反射	水	全吸收

需要注意的是，Wi-Fi 信号无法穿透金属物，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

图2-2 Wi-Fi 网关放置在金属板的信息箱内示意图

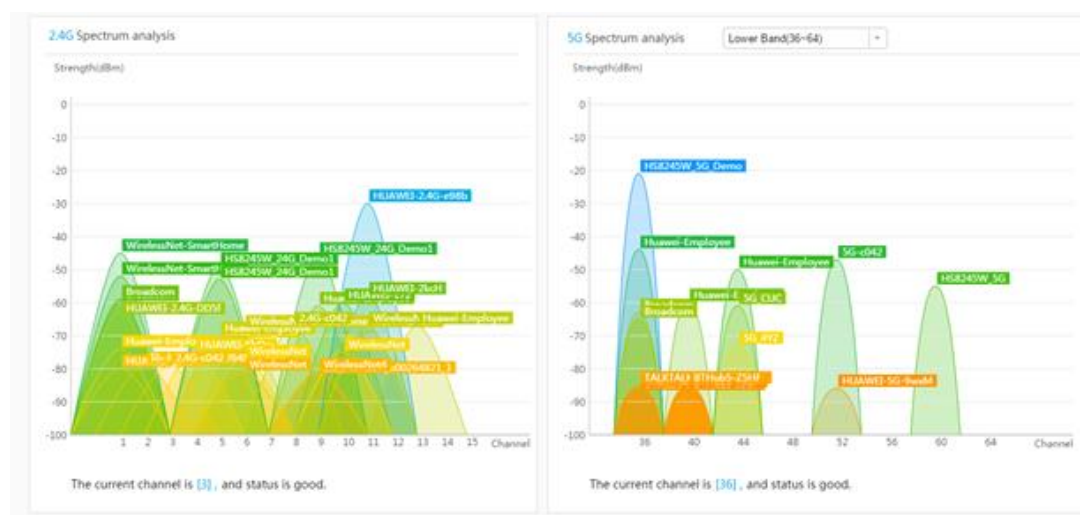


多居室环境没有使用分布式 AP 加强覆盖，居室隔墙对 Wi-Fi 信号的阻隔作用非常明显，而很多用户还仅仅是花大价钱在“高性能 Wi-Fi”的家庭网关上，没有意识到分布式 AP 对于大房子户型 Wi-Fi 覆盖的必要性。

干扰也是 Wi-Fi 性能差的主要因素：

- Wi-Fi 同频/邻频干扰；
- 同频干扰：工作在相同信道的 Wi-Fi 设备间的相互干扰。空口是所有设备的公共传输媒介，两个 AP 之间将根据 CSMA/CA 原则，进行互相退避，导致大大降低性能；2.4G 只有 3 个不重叠的信道，在小区环境中很难找到一个和别人不重叠的信道；
- 邻频干扰：工作在不同信道的 Wi-Fi 设备间的干扰。中心频率不同的 Wi-Fi 设备之间的发射频宽若有重叠部分，也会产生相互影响。

图2-3 Wi-Fi 干扰示意图



- 非 Wi-Fi 干扰源

表2-2 常见家庭设备对 Wi-Fi 的干扰评估

干扰源	频率	功率	干扰评估
微波炉	S 段（2.4-2.5G）	>800W	干扰严重（距离<4 米时速率下降明显、<2 米偶尔断网）
无绳电话	2.4G， 5G	3W	较严重（距离<1 米时速率下降、<0.5 米出现断网）
无线摄像头	2.4G	0.5~1W	相对较轻， 仍需远离
蓝牙设备	2.4G	1mW	很小
雷达	5G	KW~MW	虽然距离远， 但是雷达功率巨大， 会造成严重干扰

Wi-Fi 带宽不足，可移动性能差；很多用户的家庭网关没有升级到 11ac 双频，或者网关是新的 11ac 双频，但是 PC、STB 等客户端仍然是老的 11b/n/g 制式，在同时使用的时候会拖慢整体性能；在使用手机或者 PAD 移动上网或者看视频时，由于家庭网关或者终端不支持快速切换（11k， 11v）技术，无法迅速切换到信号更好的 AP 上，导致业务长时间卡顿；还有的用户将分布式 AP 配置成和家庭网关不同的 SSID，导致无法自动切换。

图2-4 终端设备移动对 Wi-Fi 质量的影响示意图



2.3 视频承载体验差

很多用户为了方便或者美观，使用 Wi-Fi 来接入 STB，但是实际使用中体验却非常糟糕，主要原因还是因为目前很多家庭的 Wi-Fi 网络质量无法满足高质量视频的要求，下面的表格列出了 IPTV 视频对网络端到端的质量要求，可以看出，live TV 基于 UDP，所以对时延和抖动要求不高，但是对丢包率非常敏感，而基于 TCP 的 VOD 或者 OTT 视频则对时延非常敏感，同时网络还需要满足 1.3 倍甚至 1.5 倍码率的带宽要求。

华为标准定义的视频质量 KPI 指标如下：

表2-3 华为标准定义的视频质量 KPI

IPTV 视频	码率	带宽	时延	抖动	丢包率
HD liveTV	CBR 15M	>19.5M	<200ms(单向)	<50ms	<0.0011%
4K live TV	CBR 30M	>39M	<200ms(单向)	<50ms	<0.001%
4K TCP VOD /OTT 视频	VBR ~25M，峰值 40M	>37.5M	<55ms (双向)	< 20ms	<0.01%

而 Wi-Fi 网络的典型质量参数如下，可以看出干扰较多的 2.4G 频段很难满足一路高清视频的质量要求。

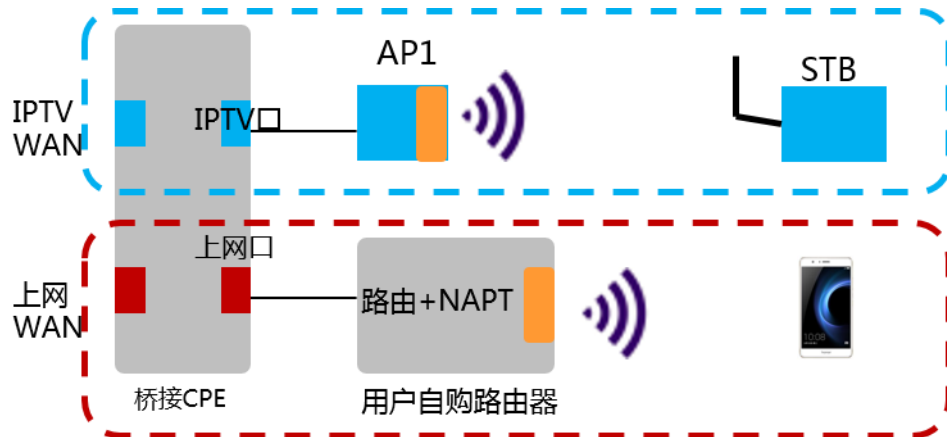
表2-4 Wi-Fi 网络的典型质量参数表

单个 STB	5 米距离无障碍时带宽	双向平均时延	抖动	丢包率
2.4G 2*2 MIMO 弱干扰	Down:65Mbps Up:63Mbps	5ms	116ms	0.1%
2.4G 2*2 MIMO 强干扰	Down:19Mbps Up:17.5Mbps	12ms	138ms	0.6%
5G 2*2 MIMO 弱干扰	Down:420Mbps Up:280Mbps	4ms	10ms	0%

未来家庭视频消费将会向多路 4K 甚至是 8K 演进，对 Wi-Fi 网络的要求将会更高。

2.4 IPTV 和上网业务无法融合

图2-5 IPTV 和上网业务无法融合示意图



很多运营商使用 LAN-WAN 绑定技术将 IPTV 和上网隔离开，以便给 IPTV 分配单独的带宽和业务通道；这种情况下要求机顶盒连接 CPE 的一个固定端口，这将会带来很多问题：

1. 采用以太网连接的话，意味着没法联接第二台机顶盒；
2. 如果用户为了美观使用 Wi-Fi 来连接机顶盒的话，没有办法使用自购家庭网关的 Wi-Fi 连接（家庭网关的 Wi-Fi 只提供上网业务）；
3. 如果使用 Wi-Fi 来连接机顶盒的话，很多消费者 AP 无法支持组播和 IGMP，即使用户新购买一对桥接 AP 来连接 CPE IPTV 口和 STB，也无法观看直播节目
4. 不利于终端上多业务的融合，未来终端一定是多业务的，STB 上不仅仅可以观看运营商的 IPTV 节目，也应该可以观看 OTT 视频以及上网；手机不仅仅也可以上网也应该可以观看运营商的 IPTV 视频以及 OTT 视频；
5. 不能支持手机或 PAD 观看 IPTV。

3 家庭 Wi-Fi 网络的 KQI

如何衡量家庭网络特别是 Wi-Fi 的质量一直是运营商和用户不太清楚的问题，因此定义家庭网络 Wi-Fi 体验衡量标准 KQI（关键质量标准）和 KPI（关键性能指标）很关键，通过客观量化最终用户的体验（如在线视频的时延，网页浏览的加载时间，在线游戏的响应时间等），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；

3.1 家庭 Wi-Fi 网络的质量标准

3.2 建设下一代家庭 Wi-Fi 网络目标：100M@Anywhere

3.1 家庭 Wi-Fi 网络的质量标准

QoE：用户主观感受到的业务自身的体验质量。

QoS：网络面向业务的服务质量。

MOS：Mean Opinion Score 平均意见值，分为主观 MOS 和客观 MOS。根据 ITU-T P.800 和 P.830 建议书，由不同的人分别对经过不同网络条件下有损失的业务进行主观感觉对比，得出 MOS 分，最后求平均值。

体验 KQI：被用户直接感受到，基于业务特征分析得出的决定业务质量的背后的客观的业务质量参数。

业务 KPI：不会被用户直接感受到，但影响用户体验感知的分解技术指标。

网络 KPI：网络关键性能指标。

家庭 Wi-Fi 网络业务体验指标分为体验 KQI 指标、业务 KPI 指标和网络 KPI 指标三个层次。

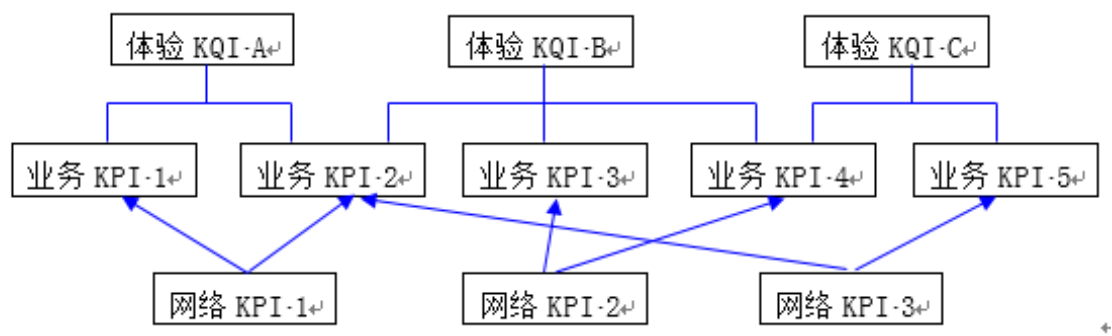
体验 KQI 指标是从用户视角出发，对用户感知进行分解和量化。体验 KQI 指标可分解为多个业务 KPI 指标。

业务 KPI 指标从运维技术人员视角出发，用于分析影响用户感知的技术因素。

网络 KPI 指标直接反映网络管道运行的关键性能指标。网络 KPI 直接影响业务 KPI，从而间接影响体验 KQI。

三类指标之间的层次关系如下图所示：

图3-1 网络、业务和体验 KQI 的层次关系示意图



3.1.1 家庭 Wi-Fi 网络体验 KQI 指标

3.1.1.1 网页浏览

此处指移动客户端通过 Wi-Fi 进行网页浏览的体验 KQI 指标。

用户感知到的网页浏览体验 KQI 指标有：页面响应时间、首屏显示时间和完全加载时间。

页面响应时间：定义为用户访问页面（需要有 DNS 解析过程），从用户在终端上发起访问指令（浏览器输入 URL 地址并触控或回车访问），到用户在页面上看到第一个内容的时间，桌面版浏览器以浏览器上方的标题成功显示为标志，移动版浏览器以页面第一个元素显示为标志。

首屏显示时间：定义为用户访问页面（需要有 DNS 解析过程），从用户在终端上发起访问指令（浏览器输入 URL 地址并触控或回车访问），浏览器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，即页面在浏览器窗口的上部区域（如桌面终端为 1920*1080 分辨率）充满时所需要的时间。

完全加载时间：定义为用户访问页面（需要有 DNS 解析过程），从用户在终端上发起访问指令（浏览器输入 URL 地址并触控或回车访问），到整个页面在浏览器上完全加载所需要的时间。

网页浏览业务体验 KQI 定义

表3-1 网页浏览业务体验 KQI

体验等级	MOS	指标		
		页面响应时间 (秒)	首屏显示时间 (秒)	完全加载时间 (秒)
优	4.5~5	<0.6	<1.5	<8
良	3.5~4.5	0.6~1.5	1.5~3	8~18
中	2.5~3.5	1.5~2	3~5	18~30

次	1.5~2.5	2~2.5	5~7	30~48
劣	0~1.5	>2.5	>7	>48

3.1.1.2 宽带测速

此处指移动客户端通过 Wi-Fi 进行宽带测速的体验 KQI 指标。

用户感知到的宽带测速体验 KQI 指标有：下载速率比和上传速率比。

下载速率比：该指标定义为使用符合本标准推荐的测速软件（参见工具要求）访问指定服务器获取的最高下载速率与忙时平均用户下行带宽的比率（从无线规划部门获取）。

上传速率比：该指标定义为使用符合本标准推荐的测速软件（参见工具要求）访问指定服务器获取的最高上传速率与忙时平均用户上行带宽的比率（从无线规划部门获取）。

宽带测速业务体验 KQI 定义

表3-2 宽带业务体验 KQI

体验等级	MOS	指标	
		下载速率比	上传速率比
优	5.0	>=100%	>=100%
良	3.5~4.9	>=90%	>=90%
中	2.5~3.5	>=70%	>=70%
次	1.5~2.5	>=50%	>=50%
劣	0~1.5	<50%	<50%

3.1.1.3 在线视频

此处指移动客户端通过 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或在观看过程中进行快进/快退操作（跳转的目标播放时间点为尚未进行缓存的时间点），在点播动作或快进/快退操作发起后，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。

观看的卡顿次数：定义为用户在指定观看时间（例如 5 分钟）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（不包含用户自行暂停或者用户终端 CPU 运行高负荷运行情况下造成的停顿），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 5 分钟）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（不包含用户自行暂停或者用户终端 CPU 运行高负荷运行情况下造成的停顿），导致出现卡顿，等待缓冲的总时长占单位观看时间的比例。

表3-3 在线视频业务体验 KQI

体验等级	MOS	指标		
		首次缓冲时间(ms)	观看卡顿次数*	卡顿时间占比*
优	5	<=100	0	0%
良	4	1000	1	0.1%
中	3	2000	3	1%
次	2	5000	6	5%
劣	1	8000	>10	10%

* 以 45 分钟为统计周期（常见电视剧为 45 分钟一集）

3.1.1.4 在线游戏

此处指移动客户端通过 Wi-Fi 进行在线游戏的体验 KQI 指标。

用户感知到的在线游戏体验 KQI 指标有：操作响应时间、操作卡顿率。

操作响应时间：用户在反复操作测试中（推荐 1000 次），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，单位为 ms。

操作卡顿率：用户在反复操作测试中（推荐 1000 次），游戏出现卡顿的次数与总操作次数之比（不考虑终端性能瓶颈），单位为 %。

在线游戏业务体验 KQI 定义如下：

表3-4 在线游戏业务体验 KQI

体验等级	MOS	指标*	
		操作响应时间(ms)	操作卡顿率(%)
优	4.5~5	<0.4	0%
良	3.5~4.5	0.4~0.7	<3%
中	2.5~3.5	0.7~0.9	3%~7%
次	1.5~2.5	0.9~1.2	7%~10%
劣	0~1.5	>1.2	>10%

* 以 MMORPG 在线游戏为例。

3.1.1.5 高速下载

此处指移动客户端通过 Wi-Fi 进行高速下载的体验 KQI 指标。

用户感知到的高速下载体验 KQI 指标有：传输请求响应时延、传输速率稳定程度和平均传输速率。

传输请求响应时延：从用户发起请求到成功建立文件传输连接的时延，包括 DNS 解析（可选）、TCP 建连和第一次连接请求过程。

传输速率稳定程度：实时传输速率落在平均速率 80%~120%之间的时间占总传输时间的比例，反映速率的波动情况。

平均传输速率：数据内容传输阶段的平均速率，反映网络的传输能力。

高速下载业务体验 KQI 定义如下：

表3-5 高速下载业务体验 KQI

体验等级	MOS	指标		
		传输请求响应时延(s)	传输速率稳定程度(%)	平均传输速率(Mbps)
优	4.5~5	0.1~0.14	65%~70%	4~5Mbps
良	3.5~4.5	0.14~0.22	55%~65%	2~4Mbps
中	2.5~3.5	0.22~0.3	45%~55%	0.8~2Mbps
次	1.5~2.5	0.3~0.38	35%~45%	0.5~0.8Mbps
劣	0~1.5	0.38~0.5	20%~35%	0~0.5Mbps

3.1.2 家庭 Wi-Fi 网络 KPI 指标

网络 KPI 决定了用户终端到互联网内容的端到端实际可用吞吐量，影响互联网内容传输到用户终端的时间，从而影响用户体验 KQI。

家庭 Wi-Fi 网络 KPI 指标包括业务体验、连接能力、覆盖能力、吞吐性能和抗干扰性能等指标。影响互联网用户业务体验的网络 KPI 指标包含双向时延和丢包率，该指标与互联网业务的云特征、客户端应用的端特征有关。

3.1.2.1 业务体验

1. 网页浏览

双向时延：定义为客户端（端）与网页对象（云）之间的管道双向时延。该指标同时适用于固定宽带互联网用户和移动互联网用户。

丢包率：定义为客户端（端）与网页对象（云）之间的管道丢包率。该指标同时适用于固定宽带互联网用户和移动互联网用户。

2. 宽带测速

双向时延：定义为客户端（端）与测速服务器（云）之间的管道双向时延。该指标同时适用于固定宽带互联网用户和移动互联网用户。

丢包率：定义为客户端（端）与测速服务器（云）之间的管道双向丢包率。

3. 在线视频

双向时延：定义为客户端（端）与测量时播放的视频分片文件所在服务器（云）之间的管道双向时延。该指标同时适用于固定宽带互联网用户和移动互联网用户。

丢包率：定义为客户端（端）与测量时播放的视频分片文件所在服务器（云）之间的管道双向丢包率。该指标同时适用于固定宽带互联网用户和移动互联网用户。

3.1.2.2 连接能力

衡量 Wi-Fi 连接稳定性的指标有信号稳定性、异常断链率、发送接收能力平衡度、多 STA 混合业务，以及多 AP 漫游性能。

信号稳定性是指在极限场景下的信号波动，同样的使用区域，要求用户 STA 不会出现信号格数波动大于 1 格的情况。

异常断链率是指在 Wi-Fi 网络受到干扰或设备出现异常情况下，用户 STA 异常断链的比例。

发送接收能力平衡度是指 Wi-Fi AP 与 STA 之间上下行链路的预算的平衡，避免出现有信号却无法上网的情况。

多 STA 混合业务包括两个方面指标，多 STA 分别跑不同业务时 Wi-Fi 网络的性能、时延和丢包率，以及远近距离 STA 相互影响（混合业务）。

多 AP 漫游性能是指 STA 在两个 AP 之间漫游时，对业务体验的综合影响。

3.1.2.3 覆盖性能

衡量 Wi-Fi 覆盖性能的指标包括 Wi-Fi AP 的射频基本性能指标发射功率和接收灵敏度，以及能更全面衡量覆盖能力的拉距覆盖性能、360 度转角覆盖性能。

发射功率是指在屏蔽环境下，Wi-Fi 发射机的等效全向辐射功率（EIRP），可以通俗理解为发射出来的信号强度。接收灵敏度是指在屏蔽环境下，Wi-Fi 接收机能够正确地把有用信号拿出来的最小信号接收功率。

理论上，发射功率越大，发送方向的覆盖越好，接收灵敏度越低，接收方向性能越好。但实际上，覆盖性能还和 STA 的发送功率/接收灵敏度相关，发送和接收方向平衡才能获得最佳的覆盖效果，如果发送方向是短板则会出现 STA 信号弱的情况，如果接收方向是短板则会出现 STA 有信号但上不了网的情况。

拉距覆盖性能是指在空旷无遮挡无干扰的实际环境下，不同距离的吞吐量。

360 度转角覆盖性能是指在屏蔽环境下，Wi-Fi AP 与 STA 相距固定距离时，旋转 Wi-Fi AP 或 STA，每个固定角度测得的吞吐量，通常每隔 30° 测试 12 个点。这个指标实际上是衡量 Wi-Fi AP 天线的全向覆盖能力，相对拉距覆盖性能，360 度转角覆盖性能更切合家居场景下的综合覆盖性能。

3.1.2.4 吞吐性能

衡量家庭网络 Wi-Fi 吞吐性能的指标包括极限吞吐性能、家居环境吞吐性能、多用户吞吐性能、RvR 性能。

极限吞吐性能是指在屏蔽环境下，Wi-Fi AP 与 STA 间可达到的最大 Wi-Fi 吞吐量。

家居环境吞吐性能是指在特性干扰的实际家居环境下，不同位置或衰减后的 360 度转角性能。通常选择 4 个家居的不同位置：近距离、中距离、远距离、极限距离（即极限覆盖点），每个位置记录 360 度转角性能。

多用户吞吐性能是指在特性干扰的实际家居环境下，多个 STA 分布在近、中、远距离并发开展业务的最大 Wi-Fi 总吞吐量。

RvR 性能是指 Wi-Fi AP 与 STA 通过同轴线连接，中间增加不同衰减后，获得的最大吞吐量与衰减的曲线。该曲线能比较直观的体现该 Wi-Fi AP 在不同距离下的极限性能。

3.1.2.5 抗干扰性能

衡量家庭网络 Wi-Fi 抗干扰性能的指标包括同频/临频/叠频干扰性能、强/中/弱干扰性能。

同频/临频/叠频干扰性能是指分别在指定强度的同频、临频或叠频干扰下，单用户和多用户的吞吐性能及时延、丢包率等性能。

强/中/弱干扰性能是指分别在指定的干扰模型（重度干扰、中度干扰、弱干扰）下，单用户或多用户的吞吐性能及时延、丢包率等性能。

3.1.2.6 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。

3.2 建设下一代家庭 Wi-Fi 网络目标：100M@Anywhere

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。

表3-6 4K TV（30P）业务对家庭 Wi-Fi 的带宽、时延和丢包率要求

	1080p	准 4K	基础 4K	真 4K	极致 4K
分辨率	1920*1080	3840*2160	3840*2160	3840*2160	3840*2160
帧率	23P	23P	30P	50/60P	100/120P

	1080p	准 4K	基础 4K	真 4K	极致 4K
抽样 bits	8	8	8	10	12
压缩	H.264	H.264/H.265	H.265	H.265	H.265
带宽要求	5~8Mbps	8~15Mbps	20~30Mbps	30~50Mbps	50~100Mbps
时延	12~20ms	7~12ms	6~11ms	6~11ms	6~11ms
丢包率	5*10 ⁻⁴	5*10 ⁻⁴	1*10 ⁻⁴	5*10 ⁻⁵	5*10 ⁻⁵

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，还需要确保 STA 在不同 AP 之间漫游时，带宽/时延/丢包率要求能满足上述 4K TV（30P）的业务体验要求。

4 Wi-Fi 覆盖的解决方案及关键特性

构建最佳体验的家庭网络，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
- 4.2 家庭 Wi-Fi 网络的性能提升
- 4.3 家庭 Wi-Fi 网络在视频承载方面的关键特性介绍

4.1 家庭网关和 AP 的规格要求

网关和 AP 的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，因此家庭网络和 AP 的规格要求建议如下：

表4-1 家庭网络和 AP 的规格

规格项	智能网关规格要求	AP 规格要求
内存	256MByte 以上	128MByte 以上
Flash	256MByte 以上	128MByte 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

规格项	智能网关规格要求	AP 规格要求
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
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
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。

图4-1 Wi-Fi 周期性自动调优的原理示意图

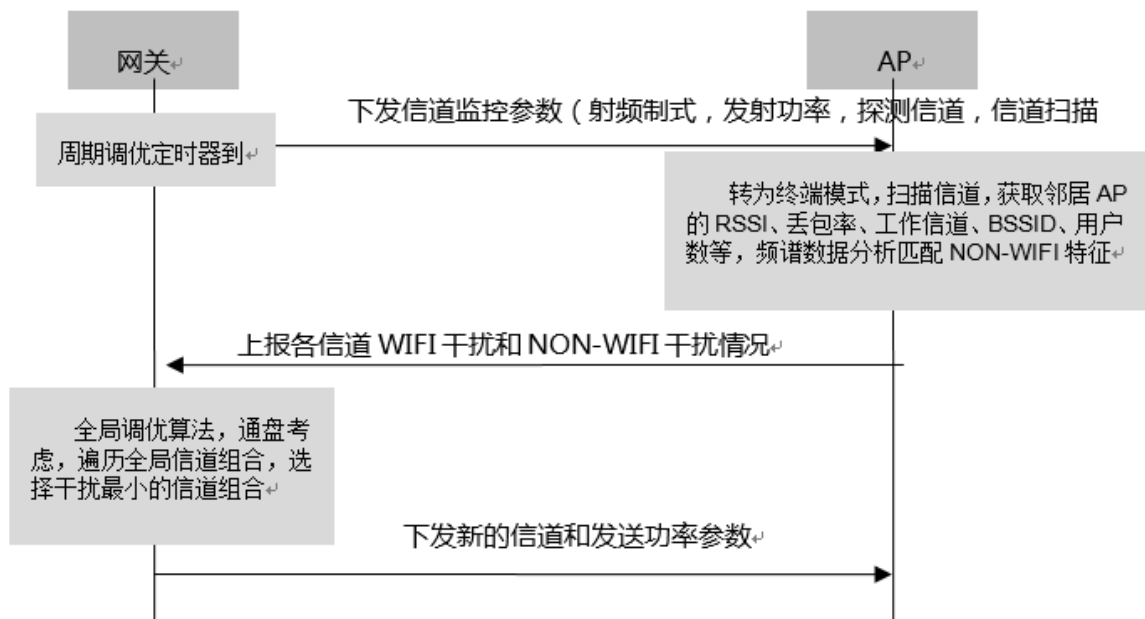
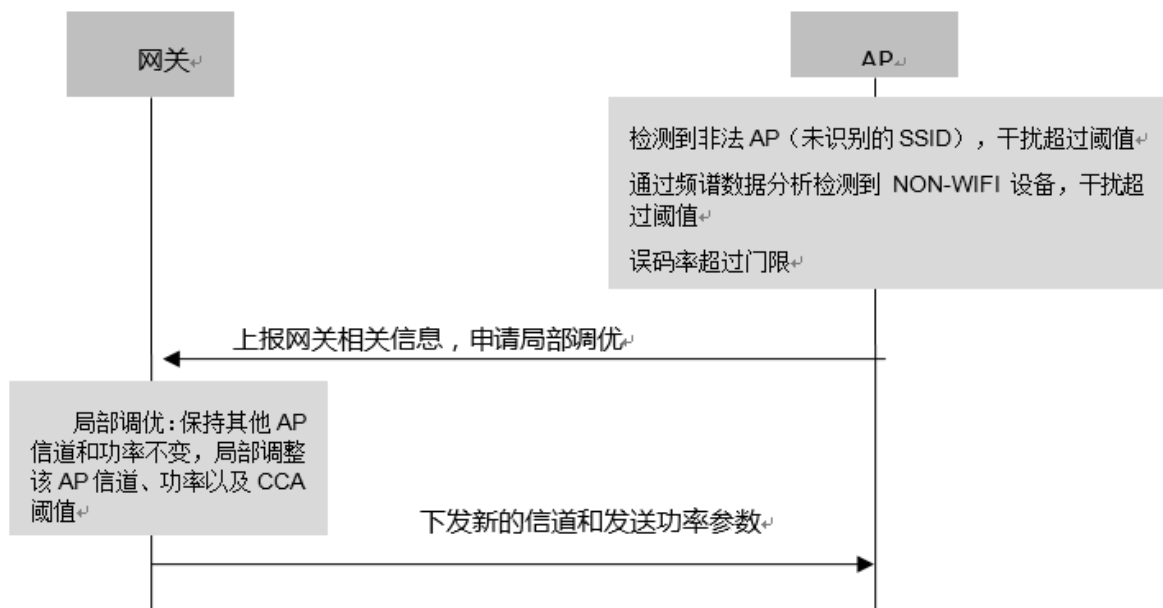


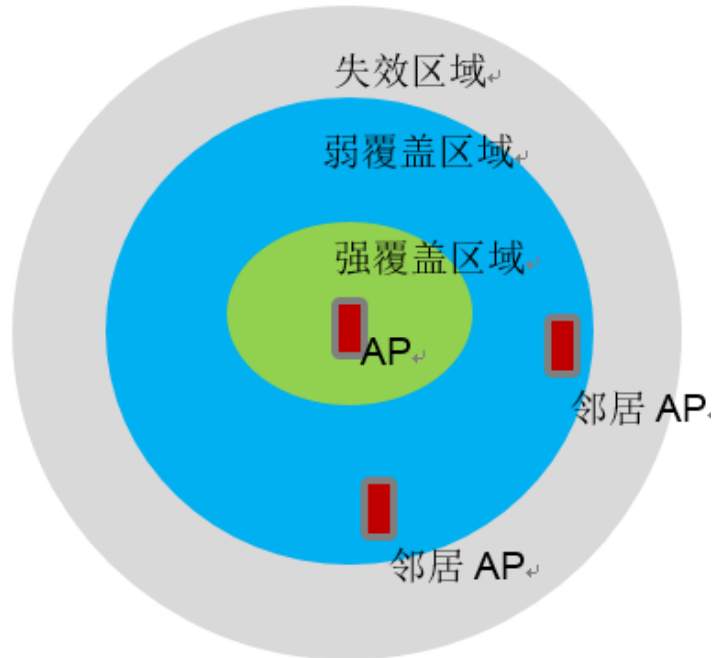
图4-2 Wi-Fi 事件触发调优的原理示意图



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。

图4-3 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；

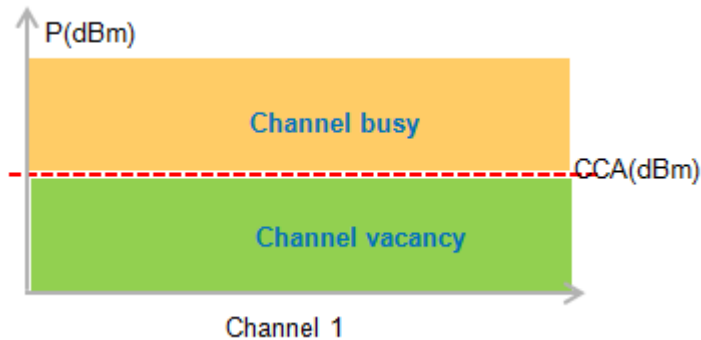
数据流量越多，发射功率越大，对外的干扰就会越大，所以在性能满足要求的前提下，流量小并且误码率低的情况下，可以适当减小发送功率；当数据流量增大或者误码率增大的情况下就需要适当增大发送功率

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 或者终端是通过信道进行能量检测的方式判断信道空闲的：

图4-4 CCA 空闲信道评估示意图



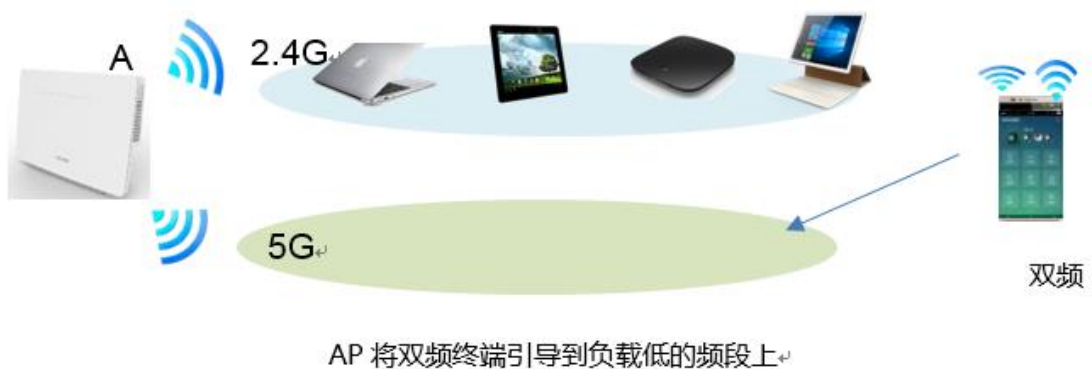
- 当检测到某信道的能量 $\geq$ CCA 门限，认为信道繁忙，不在该信道发送。
- 当检测到某信道的能量 $<$ CCA 门限，认为信道空闲，使用该信道发送。

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。

图4-5 Band steering 工作原理示意图



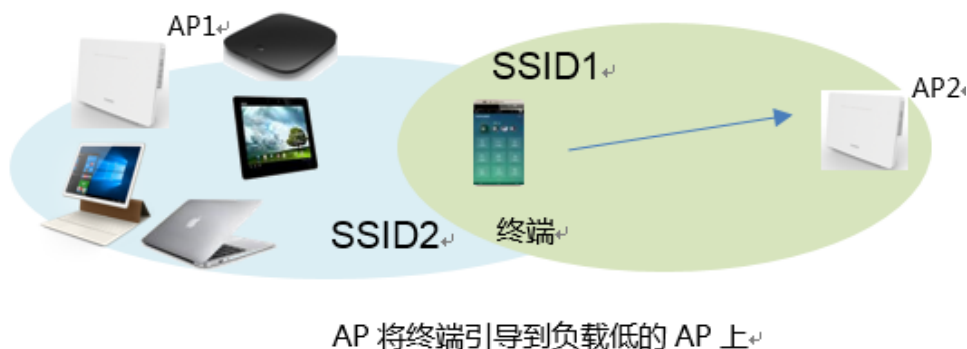
SSID steering: 当终端可以加入多个 SSID 时，网关或者 AP 根据各个 SSID 的拥塞情况，考虑负载均衡，让终端加入最适合的 SSID。

图4-6 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。

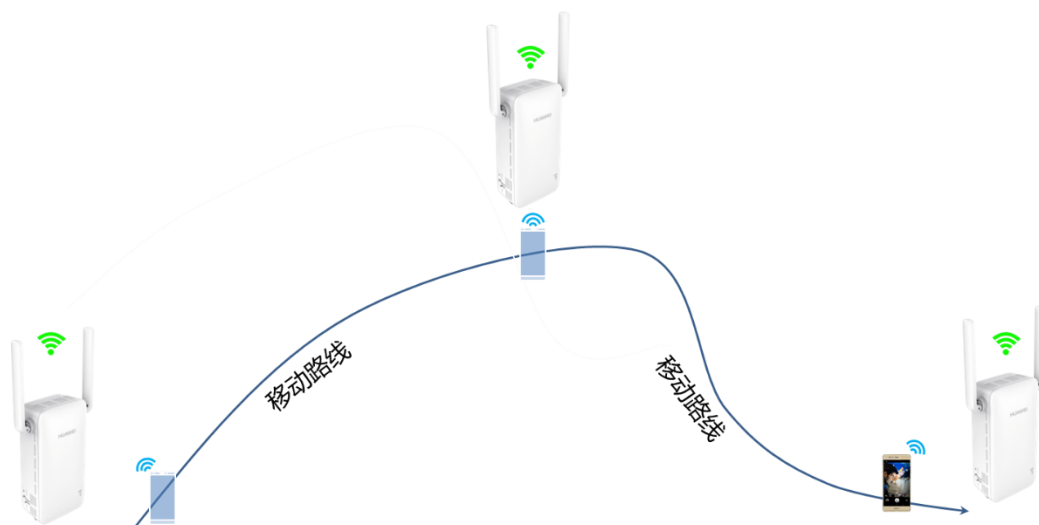
图4-7 AP Steering 工作原理示意图



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。

图4-8 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)

图4-9 Beamforming 工作原理示意图

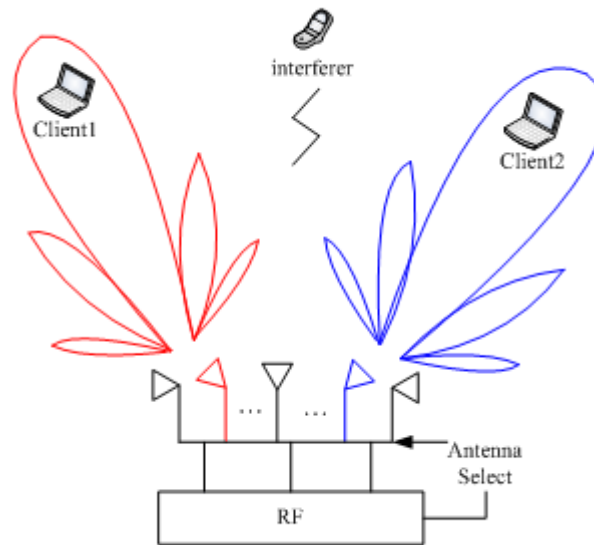


波束成形技术是 802.11n 和 802.11ac 协议的一部分, 在协议中被称为 Tx Beamforming, AP 通过协议的交互, 获取终端的信道基础信息, 基带芯片根据信道基础信息计算出不同天线空间流到达终端的相位差异, 使用多个天线发送相同的数据符

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 智能天线选择

图4-10 智能天线选择工作原理示意图



类似于基带方式的波束成形，智能天线技术则是利用硬件天线的差异性来获得针对不同终端的能量指向性：

1. 天线阵列上不同全向天线有一定的位置差异，从各全向天线发送的信号到达特定终端的路径有长有短，到达时间也就有差异（相位差异），相同发送相位时，有的天线对特定终端的接收信号起到好的作用，有的天线则起到坏的作用，针对不同的终端可以选择出一组信号叠加最强的天线组合
2. 定向天线对于特定方向的信号增益远大于全向天线，天线阵列上的部分天线设计成不同的指向性，针对不同方向的终端，选择最优的方向天线组合，可以显著的提高针对特定终端的 EIRP

网关或者 AP 上有一个历史数据库，针对家庭每个终端记录一个天线组合的历史信息，当终端上线后，根据历史信息选择出最优天线组合来给这个终端服务；

发送给不同终端的数据，将会选择对应终端的最优天线组合来发送；

网关或者 AP 周期性从各天线发送探测信号给终端，分析各个天线对于终端的“优劣”，然后重新选择最优天线组合，并刷新历史数据库；

当终端位置移动时，通过 RSSI 的降低也可以触发最优天线的重新选择；

相对于基带方式的波束成形，智能天线选择不需要协议报文交互以获取无线信道参数，不仅仅在低速时可以获得天线分集的增益，也可以在高速多空间流情况下获得天线复用的增益。

4.2.7 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：

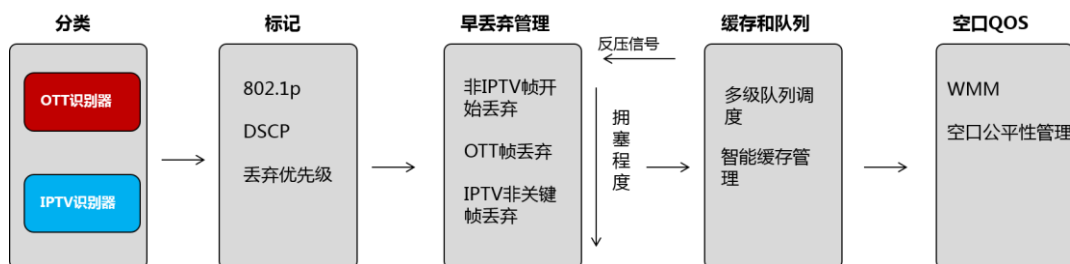
1. 单个终端使用过多的下行带宽资源，对其他终端不公平；
2. 部分老制式（802.11b/g）低速终端占用过多空口资源，整体空口吞吐量下降。
针对某个业务队列，Airtime 公平调度相对于 FIFO 队列调度方式则做了以下改进：
 1. 调度器每周期给各个终端分配相同的空口时间令牌，针对新的待发送报文，调度器估算该报文所需要占用的空口时间并减去目的终端当前令牌数；
 2. 调度器往空口发送报文时，按照各个终端的剩余时间令牌数从大到小进行排列，每次优先发送当前周期占用空口时间最少的终端（时间令牌剩余最多）的报文；
 3. 调度器周期性重新分配时间令牌，保证长时间的统计公平。

4.3 家庭 Wi-Fi 网络在视频承载方面的关键特性介绍

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

4.3.1 视频业务优先的 QOS 调度

图4-11 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办法，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。

4.3.2 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。

5

典型场景的家庭 Wi-Fi 网络部署建议

针对高价值客户，或者大户型，别墅住户，单台双频网关的覆盖能力不足以保证业务体验。这样可以通过家庭内部 1 个智能双频网关 + 多个分布式 AP 的方式，借助室内已有的以太网线/电力线/Wi-Fi 等媒介将超宽带延伸到家庭的每个角落，让用户在每个房间轻松享受超百兆的超宽体验。同时建设家庭网络管理平台让家庭网络可视可管，并通过支持用户的家庭 Wi-Fi 自助管理，实现易维易用；通过云端管理平台和手机端 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。

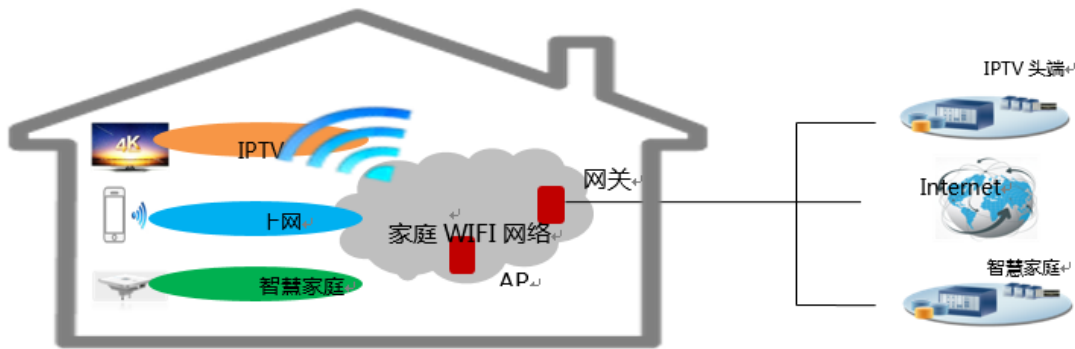
- 5.1 统一的多业务网络
- 5.2 多介质扩展 AP 介绍
- 5.3 家庭网络 Wi-Fi 部署和设计原则
- 5.4 典型场景部署家庭 Wi-Fi 网络
- 5.5 建设可视可管的家庭 Wi-Fi 网络

5.1 统一的多业务网络

如前所述，目前在 CPE 上，IPTV 采用单独的 LAN 口带来了很多问题；不利于多业务终端的发展；运营商应该改造业务模型，使 IPTV 和上网业务可以承载在一张物理的家庭 Wi-Fi 网络上。

未来家庭 Wi-Fi 网络是一个多业务融合的，物理上是一张网络，通过逻辑的手段将语音业务，IPTV 视频，OTT 视频，上网和未来智慧家庭业务隔离开：

图5-1 未来融合家庭网络示意图



家庭网关通过 DHCP option60 识别特定类型终端，并分配特定的用户侧 IP 地址；去往网络侧的报文则可以根据目的 IP 地址匹配识别出各种业务，送给对应的 WAN 口（假如使用多 WAN 口区分业务）；下行报文则可以根据来源 WAN 口、源 IP 地址和目的私网地址识别出业务；不同的业务在家庭网内部可以使用 VLAN、SSID 等逻辑标识区隔开。

5.2 多介质扩展 AP 介绍

AP 的设备形态按上行接口方式分有：以太 AP，Wi-Fi AP，电力 AP 和 Coaxial AP。

以太 AP 即指通过以太网线上行，将现有的有线网络转为 Wi-Fi 网络，可以支持桥接、路由两种模式。

Wi-Fi、HomePlug 是常用的家庭网络标准，G.hn 是一个新的家庭网络标准，电力 AP 主要基于两种技术：Homeplug AV2 和 G.hn，当前市场上主要是基于 Homeplug AV2 标准的 PLC 电力猫，但 G.hn 与 Homeplug AV2 相比，具有更好的抗邻居干扰机制：

表5-1 G.hn 与 PLC 电力猫的技术对比

技术特点	G.hn	当前 PLC 电力猫
邻居干扰处理机制	完善邻居干扰处理机制，充分考虑密集型住宅应用场景	有限的邻居网络处理机制，非标准，最初是基于非密集型住宅场景设计
邻居网路干扰实测	速度下降小于10%~15%	速度下降超过60%
抗干扰(充电器)	速度下降15%~20%	速度下降20%~30%

Wi-Fi AP 通过 Wi-Fi 上行和网关连接，工作中继模式，通过重复 Wi-Fi 信号来扩展现有的 Wi-Fi 覆盖范围。

Coaxial AP 即利用室内同轴线缆传输信号，目前有 MoCA、DOCSIS 和 G.hn 等标准。

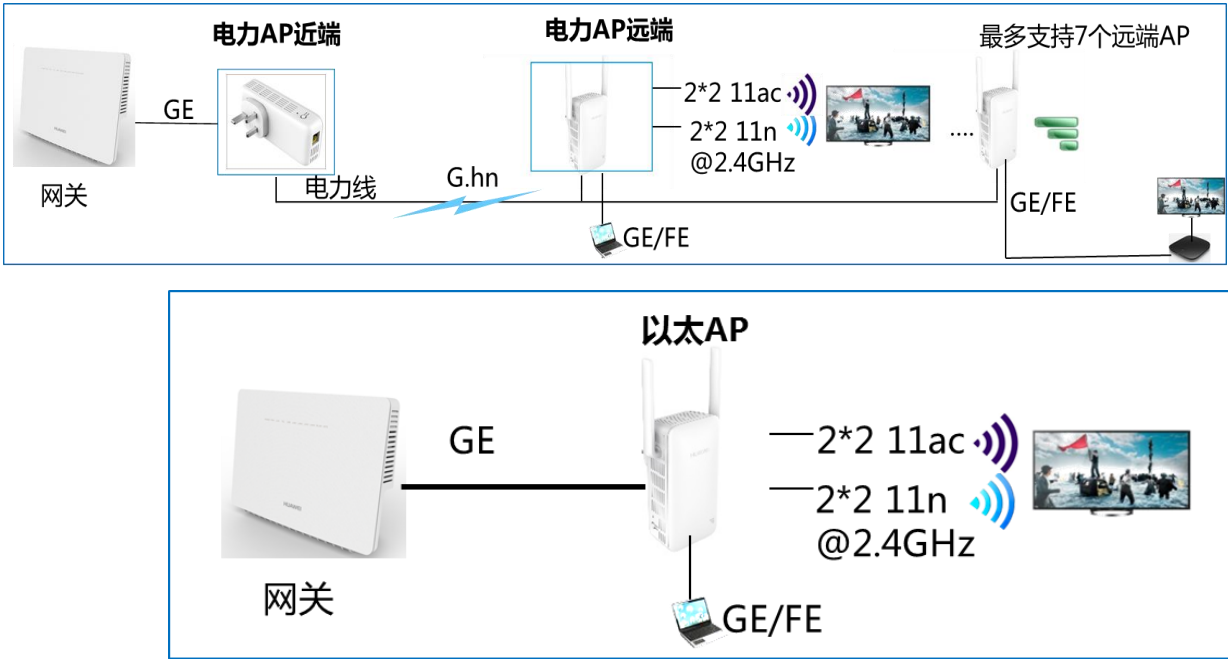
表5-2 多介质扩展 AP 的设备形态

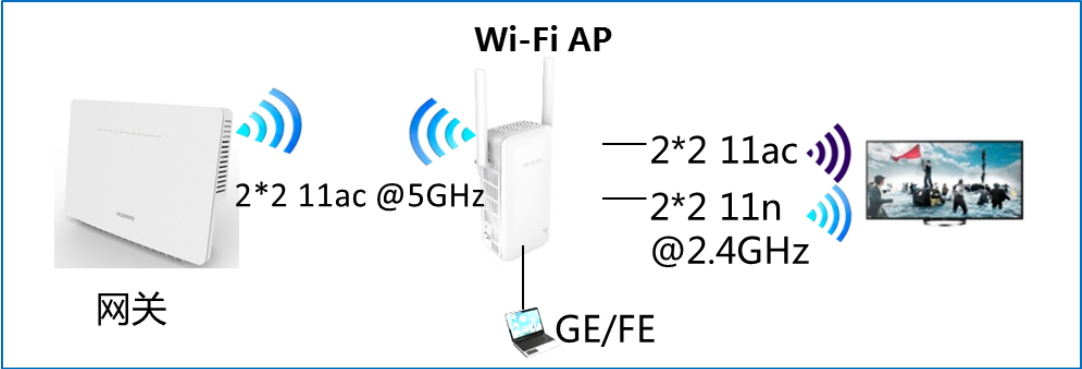
设备形态	以太 AP	双频 Wi-Fi AP	三频 Wi-Fi AP	G.hn PLC AP	G.hn Coaxial AP
上行接口	1*GE	5GHz	5GHz band A	G.hn 电力线	G.hn 同轴线
用户侧空口	2.4GHz 5GHz	2.4GHz	2.4GHz 5GHz band B	2.4GHz 5GHz	2.4GHz 5GHz
用户侧有线接口	若干 GE	若干 GE	若干 GE	若干 GE	若干 GE

备注：

- 1. 因为速率和抗干扰等性能不足，建议不考虑单频 AP；
- 2. PLC AP 和 Coaxial AP 都需要配套近端的 G.hn 电力猫和 Coaxial 猫使用；
- 3. Home plug AV 和 AV2 电力线抗干扰性能远逊于 G.hn，建议不考虑。

图5-2 电力/以太/Wi-Fi AP 扩展 Wi-Fi 示意图





从接口性能上来说，以太 AP>G.hn PLC AP> Wi-Fi AP，但是从组网便利性上来讲，Wi-Fi AP>G.hn PLC AP>以太 AP；需要结合居室环境混合使用。

5.3 家庭网络 Wi-Fi 部署和设计原则

- 1. 根据房屋大小，居室多少确定是否采用分布式 AP，初步核算采用多少个分布式 AP；

表5-3 按户型建议的分布式 Wi-Fi 覆盖方案

居室类型	一室一厅 ~40 m2	小两房 40~60 m2	大两房 70~80 m2	小三房 70~90 m2	大户型 100~120 m2	大户型复式 两层，每层 80 m2	三层别墅 每层 70 m2
Wi-Fi 设备	双频智能网关	双频智能网关+1*AP	双频智能网关+1*AP	双频智能网关+1*AP	高端双频智能网关+2*AP	1 楼：高端双频智能网关+1*AP 2 楼：2*AP	地下室：1*AP 1 楼：高端双频智能网关+1*AP 2 楼：1*AP 3 楼：1*AP

- 2. 注意承重墙、楼板、金属镀膜玻璃对 Wi-Fi 信号的阻隔作用，户外的院子、大的露台、复式房间都需要单独增加 AP 进行覆盖；
- 3. 根据宽带入户线路位置确定家庭网关的部署位置，一般宽带入户线路的交接点都位于综合信息箱位置，户内无法延伸，如果运营商提供的是网关式的 CPE，则只能将网关放在综合信息箱内；
- 4. 根据居室结构，室内障碍、电器干扰情况确定网关或者 AP 的布放位置；将网关和 AP 尽量放在计划覆盖区域的中间，尽量开阔没有遮挡，位置高比位置低可以获得更好的覆盖；尽量远离微波炉、2.4G 无线鼠标、2.4G 无绳电话等电器；

5. 视频业务需要提前考虑组网设计，优先使用网线连接 STB 和网关，如果用户不允许，则考虑用 G.hn 电力线技术（网关+近端电力猫+远端电力 AP+GE 口+STB）；如果插座条件不具备或者中间跨电表，则可以考虑 STB 直接使用 5G Wi-Fi 连接网关；如果 STB 不支持 5G Wi-Fi，则需要在 STB 旁边增加 STB AP 给 STB 服务；
6. 常用业务点需要重点覆盖；对于常用的上网业务点（比如客厅沙发、书房写字台、主卧床上）需要预判信号强度是否足够；如果信号强度不足，则需要调整网关或者 AP 位置或者增加新的分布式 AP；
7. 整体规划出来后，查找信号覆盖盲点来做局部优化；输出整体规划图后，要检查可能存在的信号覆盖差点和盲点；比如判断出院子或者阳台的信号偏弱，则进行局部优化：增大 AP 的发射功率或者微调 AP 位置；
8. 组网设计；家庭网络设备包括桥接 CPE、家庭网关和分布式 AP；桥接 CPE 和家庭网关也有可能是合一的；分离的情况下尽量使用 GE 链路连接网关和桥接 CPE，不要使用 FE；分布式 AP 到网关的 backhaul 链路优先采用以太网链路，其次 G.hn 电力线，其次 5G 单独频段，最差是 2.4G 共享频段（repeater 模式）；可以根据实际情况混合使用；
9. 射频设计；使用 Wi-Fi 频段做 backhaul 的 AP 和网关尽量使用三频系统，其余 AP 可以采用双频系统；条件允许的情况下，每个频段尽可能支持多的天线 MIMO；支持尽量多的工作频宽（2.4G: 20Mhz, 40Mhz; 5G: 20Mhz 40 Mhz 80Mhz 160Mhz）；天线也尽可能选用大增益的；
10. 子网 SSID 设计；根据业务类型和用户组设计不同的 SSID，比如 IPTV SSID，上网 SSID，儿童上网 SSID 访客 SSID；各个 SSID 的加密方式采用 WPA2 加密，访客 SSID 可以不设置密码，由手机 APP 控制授予访问权限；
11. 根据业务需要用户可配置 MAC 地址访问列表，家长控制，基于 MAC 地址的流量限速，NAPT 端口映射等安全功能。

5.4 典型场景部署家庭 Wi-Fi 网络

5.4.1 小户型 Wi-Fi 方案设计

图5-3 一房一厅 Wi-Fi 方案设计



单房或者一房一厅因为隔断少，所以总体上部署一个双频网关就可以满足要求，但是要考虑 STB 是否要使用 Wi-Fi 进行连接，如果 STB 不支持 5G Wi-Fi 时，建议如上图配置，入户信息箱处放置家庭网关，在 STB 旁部署一个分布式 AP。

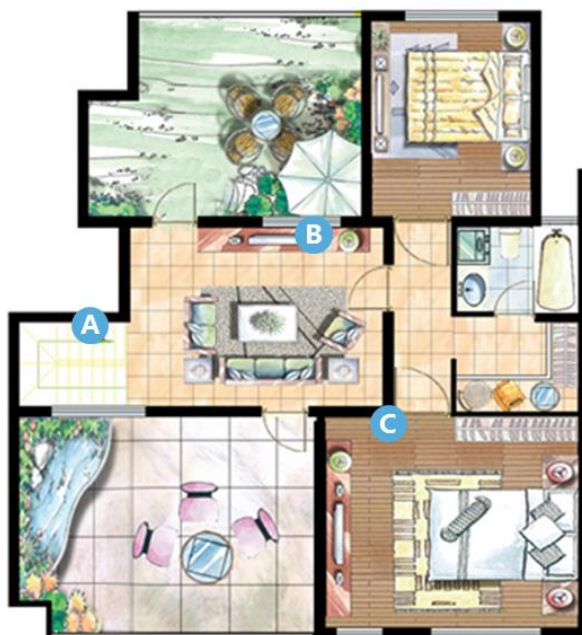
图5-4 小两房 Wi-Fi 方案设计



上图是小两房的户型图，总体上部署一个双频网关在 A 位置也可以满足要求，但是如果 STB 需要 5G Wi-Fi 连接的话，则建议将网关放置在信息箱 B 位置，STB AP 放在 A 位置。

5.4.2 中等户型 Wi-Fi 方案设计

图5-5 大两房（塔楼）Wi-Fi 方案设计



这个户型是一个塔楼结构，也就是客厅周围使用的是较厚的混凝土墙，所以对 Wi-Fi 信号的阻隔较大；客厅和主卧要做重点覆盖；上下两个露台有门和窗口和客厅相通，可以获得客厅的 Wi-Fi 信号；考虑到 IPTV 承载在 Wi-Fi 上，则部署网关在 A 位置信息箱，在 B 和 C 位置分别部署两个分布式 AP。

图5-6 三房 Wi-Fi 方案设计



这个三房户型比较方正，每个 AP 覆盖的位置可以稍大一些，网关 A 放在入户信息箱，AP 放在客厅 STB 所在的 B 位置，提供 STB 做 backhaul 并同时覆盖客厅；分布式 AP 放在 C 位置用来覆盖几个卧室。

5.4.3 大户型平层的 Wi-Fi 方案设计

图5-7 大户型平房 Wi-Fi 方案设计



大户型需要较多的 AP 来加强覆盖，网关放在入户信息箱 A 位置，AP 放在客厅的 B 位置满足 STB 需要，另外两个 AP 分别放在 C 和 D 位置覆盖卧室和书房。

5.4.4 多层及别墅 Wi-Fi 方案设计

图5-8 多层及别墅 Wi-Fi 方案设计



首选家庭网关放在客厅 STB 的 A 位置，如果宽带线路只接在信息箱的话，则将网关放在 D 位置，其余三个 AP 分别放在 A,B,C 位置。

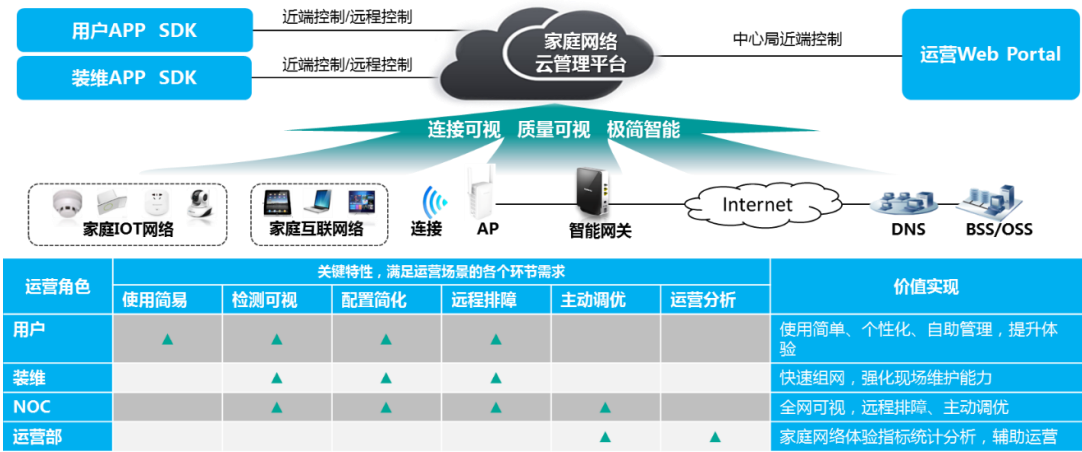
图5-9 多层(>3层)及别墅 Wi-Fi 方案设计



家庭网关放在一楼客厅 A 位置，地下的娱乐室则放置一个 AP 在 STB 旁边，一楼增加一个 AP 在 C 位置覆盖饭厅，厨房和后花园；2 楼和 3 楼分别放置一个 AP 覆盖卧室。

5.5 建设可视可管的家庭 Wi-Fi 网络

图5-10 可视可管家庭 Wi-Fi 网络示意图



家庭 Wi-Fi 网络的运管架构如上，包括以下逻辑部件：

- 1. 家庭网关，家庭网关是家庭网和宽带网络的分界点，做业务的识别，特别是视频业务的识别；家庭网关作为中枢还要负责家庭网络 TOPO 的管理，Wi-Fi 的集中管理和优化；网关还要负责提供 TOPO、网络状态数据、日志和事件告警给管理平台。
- 2. 基础家庭 Wi-Fi 网络，网关的用户侧 Wi-Fi 部件加各个分布式 AP，提供 Wi-Fi 连接给上层业务；提供基础 Wi-Fi 运行数据给网关；接受网关的管理指令；
- 3. 家庭业务网络，使用基础 Wi-Fi 网的多业务终端组成，包括 STB，PAD，PC 等
- 4. 智慧家庭 IOT 网络，未来使用低功耗 Wi-Fi 的 IOT 部件组成。
- 5. 云化的运营管理平台，负责收集家庭 Wi-Fi 网络的数据和状态，提供设备管理、故障处理、性能管理、业务数据配置、日志大数据等功能，提供运维 API 给各个 portal 部件。
- 6. Portal 部件，包括装维 APP，用户 AP，运维 portal 客户端等。

5.5.1 AP 即插即用

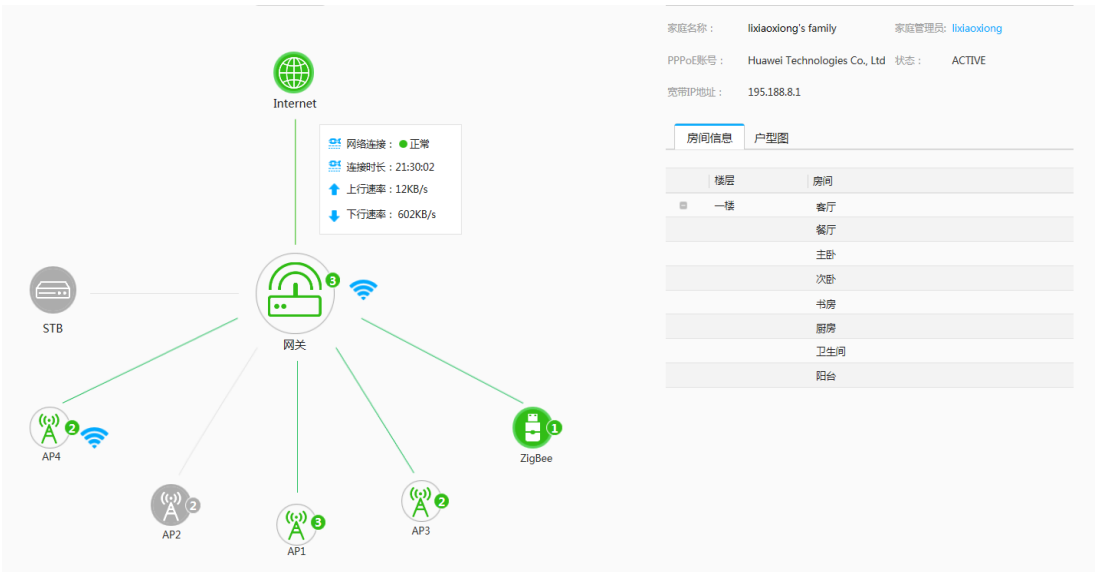
当新的 AP 上电后，网关应会自动发现该 AP，并在手机 APP 上提示，用户可以在手机 APP 或者按 WPS 按键允许该 AP 接入，并自动同步网关的无线配置到 AP 上

图5-11 网关和 AP 即插即用示意图



5.5.2 家庭 Wi-Fi 网络可视可管

图5-12 家庭网络 Topo 管理示意图



家庭 Wi-Fi 网络的设备、TOPO、状态应该是可视的:

1. 家庭网关 WAN 侧的连接状态可视;
2. 网关和分布式 AP 的状态, TOPO 连接, 各链路的状态、速率、拥塞情况可视;
3. 网关 Wi-Fi 部件和各 AP 空口的状态、信道、误码率、功率等信息可视;
4. 连接 Wi-Fi 的各个终端的 IP/MAC, 接入 SSID, 信号强度, 误码率、上下行实时速率等;

家庭 Wi-Fi 设备可以进行管理：

1. 网关和 AP 软件可升级；
2. 控制网关和各个分布式 AP 重启、离网、入网、端口打开关闭等；
3. 控制网关和分布式 AP 的环回测试测速，硬件软件自检，TOPO 连接改变；
4. 可以控制各个终端设备的离网、允许入网、强制切换到新 AP；
5. 家庭 Wi-Fi 的数据可以进行配置；
6. 信道、SSID、功率、加密、密码，并自动同步到其他 AP；
7. 家长控制，安全策略，终端的限速，CAC 策略等。

云管理平台给装维 APP，用户 APP 和运维 portal 提供不同的可视和管理范围。

5.5.3 家庭 Wi-Fi 远程运维

云管理平台提供一定的自动化运维能力：

1. 云管理平台实时收集家庭 Wi-Fi 网络的信息并进行自动分析，包括无线分析，视频业务分析来发现异常，异常超过门限后会启动自动处理过程：包括宽带网络和 Wi-Fi 网络检测，预置业务插件测试，Wi-Fi 网络局部和全局调优触发，如果异常无法恢复则上报人工处理。
2. 云管理平台积累了每个用户的历史数据，通过历史数据拟合出期望数据；实时收集到的数据将会和这个期望数据进行比较，用来检测出异常。
3. 云管理平台也可以通过积累的大数据进行学习训练，提高异常检测算法的准确性。

5.5.4 家庭 Wi-Fi 网络的装维工具

图5-13 家庭网络装维助手示意图



装维 APP 提供工单处理、入场规划、设计部署、竣工验收等辅助功能。

1. 提供电子工单的接收、处理、提交；
2. 规划环节提供户型分析，部署建议，AP 选择，规划输出功能；
3. 可以自动化连接到网关和云端，自动获取配置，一键完成宽带账号、Wi-Fi 和 AP 的配置；
4. 验收环节提供专业的自动化测试工具进行质量评估，验收报告自动输出。

社区经理使用装维 APP 快速故障处理；装维 APP 基于云管理平台，可以快速获得状态数据，通过提供的一键检测工具包可以进行实时检测，迅速发现故障点。

5.5.5 性能分析工具

云管理平台提供丰富性能分析工具来协助运营；依托大量的 Wi-Fi 历史性能数据，云管理平台可以生成各种维度的 Wi-Fi 性能质量报表，比如单用户历史数据，区域用户 Wi-Fi 质量分析，社区信号强度分析等；

例如：云管理平台可以基于一定时间周期的单用户数据进行质量评估，给予其一个客户的质量评分，也可以将用户的质量评分进行排名，发现潜在的质差用户，然后进行主动的维护优化，还可以对比优化前后用户质量分数变化，评价优化效果。

5.5.6 用户 APP 让用户体验智能 Wi-Fi 网络

图5-14 家庭网络用户 APP 示意图



用户可以安装手机 APP 来更方便智能的使用自己的 Wi-Fi 网络。

1. 远程管理：无论身在何处，用户可以通过用户 APP 管理和控制自己的 Wi-Fi 网络；
2. 基于终端的策略：用户可以针对连接 Wi-Fi 的终端定义相应的策略：允许/不允许，带宽；

3. 安全管理；Wi-Fi 定时开关，访客专用 SSID，访客设备免密确认；
4. 自助业务订购；带宽按需订购，视频业务提速。

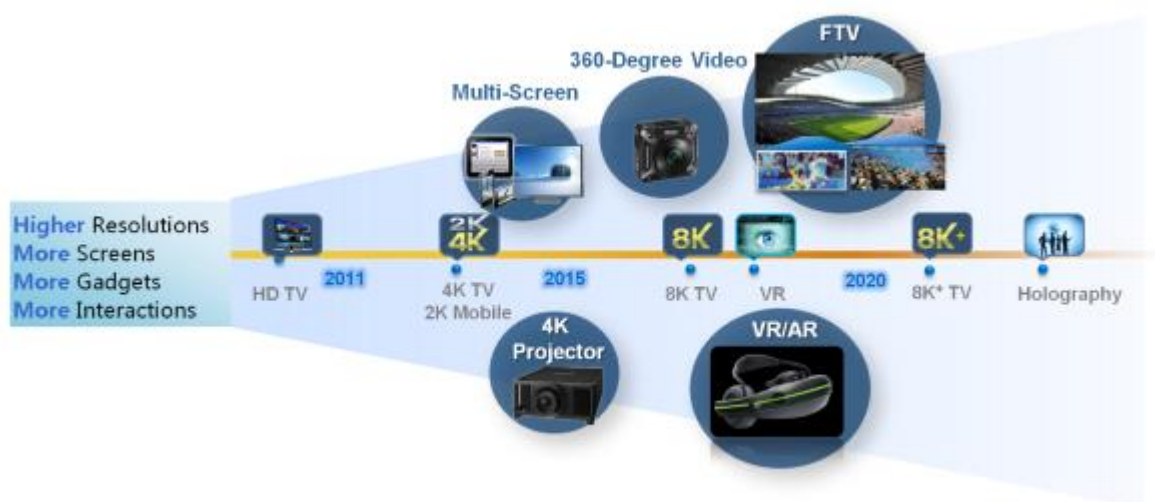
用户可以使用手机 APP 来进行自助维护，减少运营商的维护压力

1. 自助的安装新的扩展 AP；
2. 通过家庭 Wi-Fi 的可视化界面发现连接类和硬件类故障；
3. 通过一键式检测工具发现配置类故障。

6 展望

首先，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。

图6-1 业务体验的追求永无止境



其次，移动终端的日益增多，以及智慧家庭的逐渐普及，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，Wi-Fi 100M 的覆盖速率将成为普遍的要求，同时在未来几年，8K 和 VR 视频也将逐渐出现，这就要求超 100Mbps 的 Wi-Fi 带宽，来支撑 8K 和 VR 等超高清视频业务的发展。

7

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

8 附录 B 缩略语

缩略语	英文全称
AP	Access Point
SSID	Wi-Fi 信号的名称
IPTV	交互式网络电视业务
GE	支持 1000M 接入速率的网线接口
STB	机顶盒
PLC	电力猫
WAN	HGU、HGW 的业务逻辑接口或者网络侧接口
HGW	网线上行家庭网关，可以工作在路由、桥接两种模式。
LAN	指网线接口或者指用户侧接口
Wi-Fi	无线局域网，可以提供手机、PAD 等的无线接入

