

家庭 Wi-Fi 网络技术白皮书

中国联通

2017 年 9 月

目次

1	家庭 Wi-Fi 网络服务背景与目标	3
1.1	家庭 Wi-Fi 服务面临的主要问题.....	3
1.1.1	家庭 Wi-Fi 性能问题.....	3
1.1.2	家庭 Wi-Fi 管理运维问题.....	5
1.1.3	视频承载体验问题.....	5
1.1.4	IPTV 和上网业务融合问题.....	6
1.2	家庭 Wi-Fi 的目标.....	7
1.2.1	高质量全覆盖能力.....	7
1.2.2	多终端多业务承载能力.....	7
1.2.3	高可靠安全保障能力.....	7
1.2.4	维护管理和故障诊断能力.....	8
2	家庭 Wi-Fi 网络总体架构	9
2.1	家庭 Wi-Fi 网络目标架构.....	9
2.2	家庭 Wi-Fi 网络组网终端.....	9
2.2.1	无线路由器.....	10
2.2.2	Wi-Fi 中继器.....	10
2.2.3	电力线 PLC 终端.....	11
3	中国联通 WoLink 协议	12
3.1	基本概况.....	12
3.2	应用场景.....	12
3.3	技术要求.....	14
3.4	未来规划.....	15
4	家庭 Wi-Fi 网络及终端测试方法	16
4.1	设备能力测试.....	16
4.2	无线业务承载能力测试.....	16
4.3	家庭 Wi-Fi 场景化测试方法.....	17
5	家庭 Wi-Fi 网络体验感知评价体系	19
5.1	家庭 Wi-Fi 网络质量标准.....	19
5.2	家庭 Wi-Fi 网络体验 KQI 指标.....	19
5.2.1	网页浏览.....	19
5.2.2	宽带测速.....	20
5.2.3	在线视频.....	21
5.2.4	在线游戏.....	22
5.2.5	高速下载.....	22
5.3	家庭 Wi-Fi 网络 KPI 指标.....	23
5.3.1	业务体验.....	23
5.3.2	连接能力.....	24
5.3.3	覆盖性能.....	24
5.3.4	吞吐性能.....	25

5.3.5	抗干扰性能.....	25
5.4	家庭 Wi-Fi 感知指标体系.....	26
5.4.1	家庭 Wi-Fi 感知性能评估机制.....	26
5.4.2	家庭 Wi-Fi 感知性能评估细则.....	26
附录 1	家庭 Wi-Fi 网络关键技术.....	28
附录 1.1	智能终端引导.....	28
附录 1.2	智能无缝漫游.....	29
附录 1.3	基带波束成型 (Beamforming).....	30
附录 1.4	空口时间公平性调度 (Airtime Fair schedule).....	30
附录 2	Wi-Fi 测试评估参考.....	32

中国联通家庭 Wi-Fi 网络白皮书

1 家庭 Wi-Fi 网络服务背景与目标

在国家“互联网+”的大背景下，依托物联网、云计算、大数据、超宽带的飞速发展及普及，同时带动了 4K、VR、智能家居等电信应用业务蓬勃发展，Wi-Fi 逐渐成为家庭宽带用户的刚性需求。有数据表明，目前运营商 80% 的流量来自 Wi-Fi 且大部分是视频业务，主要消耗场景为家庭场景，这成为运营商新的商业模式挖掘点。

然而，宽带提速后(如 100M/1000M)，用户的带宽体验却由于家庭 Wi-Fi 网络的质量参差不齐、服务保障水平不高而大打折扣。劣质低速 Wi-Fi 已经成为用户抱怨的焦点，包括速率低、覆盖差、干扰多、运维难等问题。如不能有效解决这些问题，不仅会降低运营商宽带品牌价值，而且会增加无效保障比例、制约高价值业务发展。

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 网络解决方案的推出已经迫在眉睫。

1.1 家庭 Wi-Fi 服务面临的主要问题

目前，家庭 Wi-Fi 服务主要面临 Wi-Fi 网络性能问题、Wi-Fi 管理运维问题、视频承载体验问题以及 IPTV 和上网业务融合问题等。

1.1.1 家庭 Wi-Fi 性能问题

用户家庭 Wi-Fi 性能不佳，主要原因体现在四个方面。

首先，很多家庭用户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，包括但不限于：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。

其次，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，而很多用户还仅仅只是花大价钱在“高性能 Wi-Fi”的个体家庭网关上，没有意识到分布式 AP 对于大房子户型 Wi-Fi 覆盖的必要性。事实上，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，例如，承重墙将造成 Wi-Fi 信号衰减 1% (20db) 到 0.01%(40db)。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。

表 1-1 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

再次，干扰也是 Wi-Fi 性能差的主要因素，包括 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。
- 非 Wi-Fi 干扰源引发的干扰：主要干扰源及其评估见下表

表 1-2 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

最后，用户购买的 Wi-Fi 产品质量不高，会造成家庭 Wi-Fi 带宽不足，可移动性能或体验较差。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。

1.1.2 家庭 Wi-Fi 管理运维问题

家庭 Wi-Fi 网络的规划和实施需要较高的专业技能；用户 DIY 的家庭网络常常会存在很多潜在的质量问题，包括但不限于：

- 规划不合理：“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；
- 自购的家庭网关或者分布式 AP 兼容性无法保证，性能差；
- 网关或者 AP 配置错误；
- 连线、安装等工程错误。

无论运营商是否提供家庭 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，目前家庭网络故障中 30%到 50%都是 Wi-Fi 原因导致的，而家庭 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。

1.1.3 视频承载体验问题

很多用户为了方便或者美观，使用 Wi-Fi 来接入 STB，但在实际体验却非常糟糕，主要原因是目前很多家庭的 Wi-Fi 网络质量无法满足高质量视频业务的要求。研究表明，live TV 基于 UDP 协议，所以其对时延和抖动要求不高，但是对丢包率非常敏感。而基于 TCP 协议的 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。

Wi-Fi 网络的典型质量参数如下,可以发现干扰较多的 2.4G 频段很难满足一路高清视频业务的质量要求。

表 1-3 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 8K 演进,对 Wi-Fi 网络的要求将会更高。

1.1.4 IPTV 和上网业务融合问题

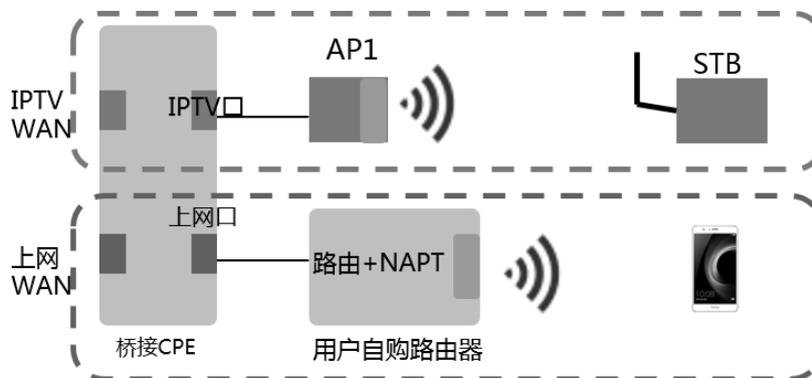


图 1-1 IPTV 和上网业务无法融合示意图

运营商通常使用 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:

- 如果采用以太网连接,意味着无法连接第二台机顶盒;
- 如果用户为了美观而使用 Wi-Fi 来连接机顶盒,则无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);

- 如果使用 Wi-Fi 来连接机顶盒，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；

1.2 家庭 Wi-Fi 的目标

针对以上家庭 Wi-Fi 存在的问题或痛点，以用户感知为出发点，未来家庭 Wi-Fi 网络的目标应具备：

1.2.1 高质量全覆盖能力

智能终端的普及带来了用户家庭网络使用习惯的变化，从原有 PC 的固定位置、有限时间内使用，转变为家中随时随地都有高速上网的需要。同时，4k 视频、互动游戏以及未来的 VR/AR 应用也为家庭 Wi-Fi 的带宽提出了更高要求。

因此，联通提供的运营商级家庭 Wi-Fi 网络，应能够满足用户在家庭内各位置均可高速上网的需要，尽快达到家庭内 100Mbps 带宽全覆盖的要求。

1.2.2 多终端多业务承载能力

随着智慧家庭业务应用的持续发展，家庭 Wi-Fi 终端类型从 PC、手机、平板电脑，进一步扩展到智能机顶盒、家用摄像头、各类智能家电和多种智能硬件。这要求家庭 Wi-Fi 网络能够支持大量 WiFi 设备同时接入和传输数据，并且能够针对家庭 Wi-Fi 承载的不同业务提供差异化的保障能力。

1.2.3 高可靠安全保障能力

Wi-Fi 是一个开放性网络，虽然 Wi-Fi 标准中支持 WEP、WPA 等多种鉴权和加密方式，但由于市面上多种 Wi-Fi 暴力破解工具、密钥共享工具，导致大量用户 Wi-Fi 被攻破，带宽被共享，甚至家庭隐私被泄露。

因此，电信级家庭 Wi-Fi 网络应具备高等级的安全保障能力，如：

- 防蹭网：主动发现用户蹭网行为并提示用户隔离
- 防破解：主动发现暴力破解行为并主动隔离

- 访客网络：为家庭访客提供有时限的独立 Wi-Fi 密钥，避免 Wi-Fi 密码外泄

1.2.4 维护管理和故障诊断能力

家庭 Wi-Fi 是一个不确定性很高的网络，每个家庭户型不同、用户终端和使用习惯不同、周边干扰情况不一，导致家庭 Wi-Fi 的故障率高、故障定界定位难。

运营商提供的家庭 Wi-Fi 服务，应将运营商的网络维护管理能力延伸至家庭，具备集中远程管理、快速故障定界定位的能力，提供高质量的用户家庭 Wi-Fi 服务。

2 家庭 Wi-Fi 网络总体架构

2.1 家庭 Wi-Fi 网络目标架构

随着运营商宽带业务的不断发展以及用户智能终端的逐渐普及，家庭网络日趋复杂。家庭网络结构从过去的 PC 直连光猫上网的点状结构逐渐演变为 PC、手机、机顶盒、智能摄像头等智能终端连接家庭网关的星形结构。为了满足用户家庭 Wi-Fi 网络无缝覆盖的需求，家庭 Wi-Fi AP 也呈现多样化。目前常见的 AP 设备包括：以太 AP、电力猫 AP 以及 Wi-Fi 中继器。家庭 Wi-Fi 网络架构示意图如下图所示。



图 2-1 家庭 Wi-Fi 网络架构示意图

2.2 家庭 Wi-Fi 网络组网终端

网关、AP 的配置及规格对家庭网络的性能和质量至关重要，如 CPU、内存、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、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 2-1 家庭网络和 AP 的规格

设备类型	路由器		中继器		电力线	
	上行接口	下行接口	近端	远端	近端	远端
上行接口	GE	FE	---	---	FE/GE	---
下行接口	2GE 及以	2FE 及以上	---	---	---	---

	上					
Wi-Fi	双频 2X2 及以上	单频 2X2	双频 2X2	单频 2X2	——	双频 2X2 及以上
RAM	64M 及以上	32M 及以上	——	——	64M 及以上	64M 及以上
FLASH	16M 及以上	16M 及以上	——	——	8M 及以上	8M 及以上
CPU	不小于 1500Dmips	不小于 800Dmips	——	——	不小于 800Dmips	不小于 1500Dmips
自动连接	WoLink	WoLink	WoLink	WoLink	WoLink	WoLink
IPTV 业务	需支持	需支持	需支持	需支持	需支持	需支持
其他			DC 供电	DC/USB 供电	G. hn/Home plug AV2	G. hn/Home plug AV2

2.2.1 无线路由器

无线路由器设备的技术规格与目前零售市场的产品技术规格基本保持一致，在现有设备的基础上增加了针对 IPTV 业务、WoLink 协议的功能要求。

主要功能包括：上行支持 GE/FE 以太网接口接入；下行集成 2-4 个用户侧 GE/FE 接口（全 FE 或全 GE）、单频 Wi-Fi（802.11n 2×2）或双频（不低于 802.11n 2×2+802.11ac 2×2），支持有线/无线网络接入、IPTV 业务、DHCP 及 PPPoE 拨号等。无线路由器做为宽带和 IPTV 业务的入口扩展和延伸，使用以太网线将 WAN 口与光猫 LAN 口连接（也支持 Wi-Fi 中继模式连接），用户侧提供 Wi-Fi 接入和多个以太网口。该类型终端 Wi-Fi 信号较强、覆盖范围较大，可代替光猫拨号。

当用户期望的 Wi-Fi 覆盖点已经预留五类线时，无线路由器是最佳选择。无线路由器不仅可以为用户提供质量较高的 Wi-Fi 覆盖，还可以为用户提供 LAN 口用于有线接入。价格方面，无线路由器的性价比比较高。

2.2.2 Wi-Fi 中继器

Wi-Fi 中继器设备通过对主 AP 的 Wi-Fi 信号进行中继，向用户提供下行的 Wi-Fi 信号。

主要功能包括：上行接口支持 802.11n 2×2 或 802.11ac 2×2 中继；用户侧

可提供单频 Wi-Fi (802.11n 2×2) 或双频 (不低于 802.11n 2×2+802.11ac 2×2)。支持用户侧无线网络接入、IPTV 业务承载、WoLink 协议等。该类型终端小巧灵活、配置简单、不受室内布线限制。

当用户期望的 Wi-Fi 覆盖点没有预留五类线且用户不希望室内有明显走线时, Wi-Fi 中继器可用于进行盲点的 Wi-Fi 网络补充覆盖。当用户对设备价格较敏感且对网络速度要求一般时, 可以采用 Wi-Fi 中继器对家庭中已有的 Wi-Fi 信号进行中继和增强。

2.2.3 电力线 PLC 终端

电力线 PLC 终端是一种电力线传输的 Wi-Fi 延伸设备, 分为近端设备和远端设备, 配对成功后可以实现在电力线上的信号传输。

主要功能如下:

- 近端设备: 安装在光猫位置。上行提供 FE/GE 接口, 下行可以通过电力线实现数据的传输。部分近端设备也支持路由模式, 此时也可以完成 PPPOE 拨号和 DHCP 功能。
- 远端设备: 安装在靠近用户使用的一侧。下行提供 FE/GE 接口, 用户侧可提供单频 Wi-Fi (802.11n 2×2) 或双频 (不低于 802.11n 2×2+802.11ac 2×2)。

两者配对使用支持用户侧无线网络接入、IPTV 业务承载、WoLink 协议、DHCP 及 PPPOE 拨号等。用户即可通过连接远端设备的 Wi-Fi 实现无线接入。一般一个主猫可下挂 7 个子猫。

当用户期望的 Wi-Fi 覆盖点没有预留五类线且用户不希望室内有明显走线时, PLC 设备也是进行 Wi-Fi 网络补充覆盖的可行选择。此外, 部分 PLC 设备还可以提供用户侧 LAN 口用于有线接入。但是, PLC 设备的价格相对较高。

3 中国联通 WoLink 协议

3.1 基本概况

为了解决家庭多终端 Wi-Fi（接入点设备 AP）组网覆盖缺失，提升 Wi-Fi 覆盖性能，中国联通自主研发“WoLink”组网协议，该协议可应用于实现家庭多种类型设备（接入点设备 AP）组网，从而提升 Wi-Fi 覆盖性能。

WoLink 协议主要解决家庭组网终端接入家庭网络配置复杂、技术门槛高的问题，是实现家庭组网延伸业务的关键。通过该协议，组网终端可以自动实现与智能网关的连接和无线配置信息（SSID、秘钥等）同步。

WoLink 协议主要特点如下：

- 即插即用和零配置组网

为了减少用户的安装和配置难度，智能网关作为主控制设备通过 WoLink 协议，对组网 AP 的 Wi-Fi 参数自动配置（SSID 名称、密码等），只需要对主控制设备完成基础参数配置，组网终端即可实现即插即用，大幅度降低用户的操作难度。

- 智能覆盖和自动切换

智能网关和多个组网设备协同工作，实现家庭网络多点扩展和覆盖；家庭内所有终端可以在同一个 SSID 下工作，并可根据信号强弱，实现在智能网关和组网终端间 Wi-Fi 自动切换，为用户提供最佳 Wi-Fi 体验。

- 配置管理

通过智能网关手机 APP 直接查看家庭组网设备及下挂终端信息；同时，手机 APP 也可以远程配置家庭组网终端，实现故障诊断和配置管理功能。

3.2 应用场景

早期，运营商在宽带业务领域以提供宽带接入和光纤到户为主，并未过多关注家庭网络部署，需要用户自行购买无线路由器解决家庭内部 Wi-Fi 覆盖。随着智能手机、PAD、笔记本等移动终端的普及，以及 IPTV、OTT 等视频业务的迅猛发展，家庭网络的最后十米已经成为限制家庭业务顺利开展的主要瓶颈，具体表

现在：

- 多数家庭的光纤到户终端 ONT 安放在金属材质的信息箱内，Wi-Fi 难以发挥良好的室内覆盖效果；
- 部分家庭室内网线布线不充分、端口位置不合适，或者网线质量不佳，导致有线覆盖缺失；
- 部分家庭住宅面积大、房间多，单点 Wi-Fi 覆盖效果欠佳，不能满足用户需求。

现阶段，多数运营商在宽带能力上已经实现百兆普及、千兆引领的目标，在业务上视频已经成为基础业务，尤其是 4K 业务被很多电信运营商视为战略转型的重要机会，为了保障超带宽和大视频给用户带来卓越的体验和感知，尤其是为了迎接智慧家庭时代的到来，网络向家庭内部延伸的重要性和必要性，将智能家庭组网作为宽带业务的一个重要延伸服务来发展。如果家庭网络中，多个设备有多 SSID，用户需要在不同的 SSID 下进行切换，过程复杂，体验较差。

智能组网及智能家居设备是由多个智能硬件组合而成的系统，由于各厂商使用不同的通信协议，如不同生产厂家生产的智能设备，手机里需要安装不同厂商的 APP，用来控制不同的智能产品。而这些智能产品有的采用 Wi-Fi 控制，为了使这些智能产品都使用一个 APP 来控制，需要统一协议。

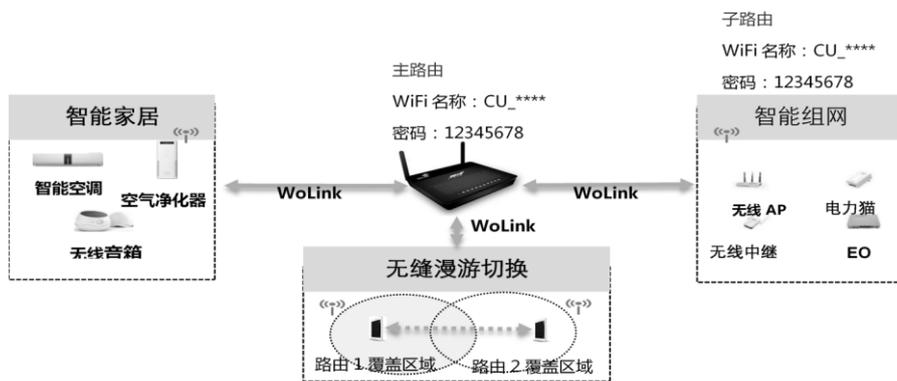


图 3-1 WoLink 应用场景

WoLink 协议是为了解决家庭组网中遇到的诸多问题而研发的，主要应用场景包括：智能组网、智能家居管理以及在家庭内部实现无缝漫游等。

- 智能组网场景

智能组网通过外设基于 WoLink 协议，结合联通网关，可实现的核心功能包

括：即插即用和零配置组网，在组网终端连上联通网关之后，能够自动同步网关的 Wi-Fi 设置（SSID 名称、密码等），从而实现网关或 APP 控制智能家居产品。

- 无缝漫游场景

无缝漫游智能覆盖和自动切换：组网终端自动工作在桥接模式下，整个家庭所有终端实现在同一个 SSID 下的 Wi-Fi 无缝覆盖，支持家庭内部无线网络自动切换。支持通过联通网关以及 APP 直接查看并管理各组网外设下挂的设备，实现通过网关以及 APP 对组网外设进行配置管理。

- 智能家居场景

智能家居始终要与互联网连接，通过网络实现场景设置和远程控制，也可以通过语音识别技术实现智能家电的声控功能；通过各种主动式传感器(如温度、声音、动作等)实现智能家居的主动性动作响应等功能，为了更便捷的对智能家居进行操作，通过 WoLink 协议对家庭网络相关参数进行统一配置，从而实现一键接入，便于用户操作智能家居。

3.3 技术要求

WoLink 插件支持以下功能：无线配置信息同步功能、AP 设备的无线自同步选项可配置功能、AP 设备的模式切换功能、AP 设备被联通网关同步后桥模式下支持 IPTV 业务的功能、无线配置信息同步功能。

WoLink 包含以下三个接口

- 手机 APP 和智能网关之间的本地逻辑接口：实现对智能网关及组网终端的配置及管理功能。
- 智能网关与组网终端之间的管理控制接口，完成以下功能：
 - ✓ 智能网关发现组网终端，建立快速连接；
 - ✓ 与组网终端之间建立消息通路；
 - ✓ 向组网终端发送管理控制消息；
 - ✓ 查询组网终端运行状态及统计信息；
 - ✓ 组网终端向智能网关上报状态变化等事件。
- 应用终端与智能网关或组网终端接口：实现与应用终端之间的快速连接。

3.4 未来规划

作为智能组网的关键组成部分，为了更好的实现家庭组网智能化，WoLink 规划三阶段分步走：

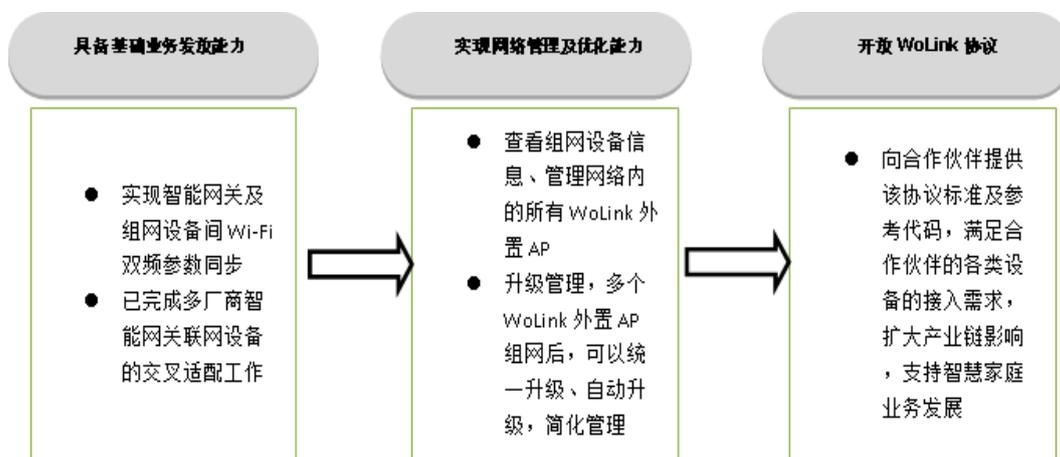


图 3-2 WoLink 规划

- 具备基础业务发放能力：

现阶段，已经实现智能网关及组网设备间 Wi-Fi 双频多 SSID、密钥等无线参数同步，已完成多厂商智能网关联设备的交叉适配工作；后续将尽快推动到省分公司进行现网试点。

- 实现网络管理及优化能力，主要包括：

- ✓ 实现 AP 同步管理，WoLink 主 AP 的管理密码、黑白名单配置、家长控制等关键配置，自动同步到接入网络内的其他 WoLink 外置 AP；
- ✓ 拓扑管理，通过 WoLink 主设备的 APP 或 WEB 页面的智联拓扑图入口，查看组网设备信息、管理网络内的所有 WoLink 外置 AP；
- ✓ 升级管理，多个 WoLink 外置 AP 组网后，可以统一升级、自动升级，简化管理；
- ✓ 异常提示管理，多个 WoLink 外置 AP 组网后，如果从路由的上行连接，可以通过 APP 查看和引导用户调整。

- 开放 WoLink 协议：

通过向合作伙伴提供该协议标准及参考代码，满足合作伙伴的各类设备的接入需求，借助宽带用户入口数量吸引合作伙伴，扩大产业链影响，支持智慧家庭业务发展。

4 家庭 Wi-Fi 网络及终端测试方法

Wi-Fi AP 设备场景化测试包含设备能力、业务承载能力两部分。

- 设备能力，包含设备硬件测试、功能测试、性能测试、安全性测试、管理及维护测试等部分。
- 无线业务承载能力，该部分主要为在模拟最终用户真实使用的干扰环境下，AP 对于各项业务承载能力的测试。

4.1 设备能力测试

在电磁屏蔽室内无任何外部干扰情况下，针对 Wi-Fi AP 的设备能力开展测试工作。主要目标为确定 Wi-Fi AP 的各项理论性能。



图 4-1 设备能力测试模块图

- 硬件测试，在外观、电气性能、接口等方面满足要求；
- 性能测试，包含吞吐量、接收灵敏度、发射功率、不同距离下的接收信号强度、360 度转角接收信号强度、丢包率等；
- 功能测试，包含无线功能、中继功能、网络协议及数据转发功能、漫游功能、双频优选、多终端设备并发接入支持及对 AP 进行配置管理等；
- 安全性测试，设备满足电气安全、网络及数据安全要求；
- 管理及维护测试，支持通过 WEB、手机及远程等方式对 AP 进行管理、配置及维护。

4.2 无线业务承载能力测试

业务承载能力测试，是指在模拟用户实际外部干扰情况下，针对 Wi-Fi AP

的业务承载能力开展的测试工作，确保 Wi-Fi AP 在实际环境中的展现性能可以满足用户体验。

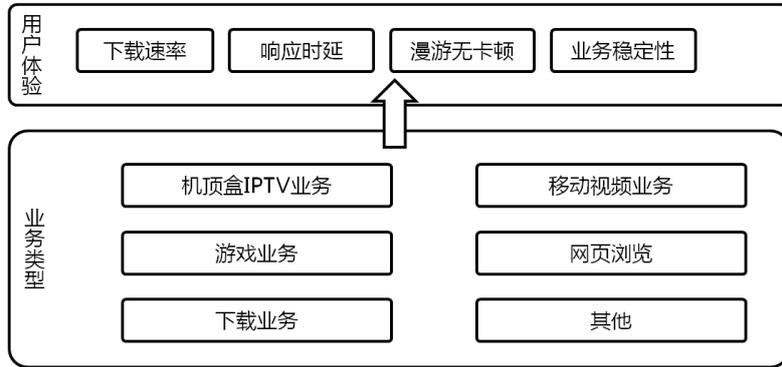


图 4-2 业务承载能力与用户体验

业务承载性能主要包含对用户常用的业务开展针对性性能支撑测试，包含：

- 机顶盒 IPTV 业务；
- 视频业务，如腾讯视频、爱奇艺等；
- 游戏业务，如英雄联盟、王者荣耀等；
- 网页浏览业务；
- 下载业务；
- 其他。

以上述业务的最终用户实际体验为核心，AP 在不同业务交织存在的情况下，每种业务对应的吞吐量、下载速率、时延、家庭漫游无卡顿、业务安全性、业务稳定性等方面均需满足体验要求。

4.3 家庭 Wi-Fi 场景化测试方法

参考典型的家庭 Wi-Fi 网络实际组网方案，针对家庭 Wi-Fi 网络覆盖测试方法主要涉及接入终端、业务承载及 Wi-Fi 网络场景三方面。

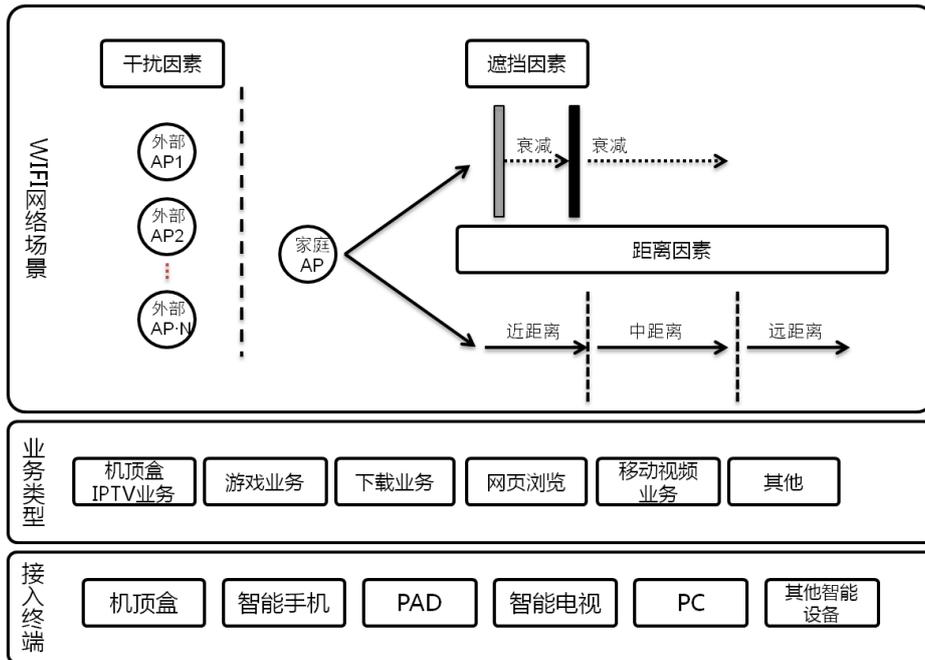


图 4-3 家庭 Wi-Fi 覆盖测试场景示意

- 测试选点

测试选点原则为：房屋中每个独立空间至少一个测试点，客厅等较大区域需要测试 2 个点及以上。主要目标区域包含：客厅、卧室、卫生间、阳台等。

- 测试内容

在家庭常见外部干扰环境中根据不同的接入终端，选定不同的常用位置区域，在使用不同的业务类型条件下，结合 Wi-Fi 网络覆盖场景，开展家庭 Wi-Fi 网络覆盖针对性测试。

测试内容包含：

- Wi-Fi 网络性能：不同位置点的接收信号强度 RSSI、同频/临频/叠频干扰、下载速率等；
- 业务承载性能：不同业务类型的承载性能，包含响应时延、业务稳定性等；
- 漫游性能：根据用户移动使用习惯，保障漫游无卡顿。

5 家庭 Wi-Fi 网络体验感知评价体系

5.1 家庭 Wi-Fi 网络质量标准

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 指标从用户视角出发,对用户的体验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关键因素。

网络 KPI 指标从基础网络承载性能出发,直接反映网络运行的关键性能指标。

网络 KPI 直接影响业务 KPI, 进而间接影响体验 KQI。

三类指标之间的层次关系如下图所示:

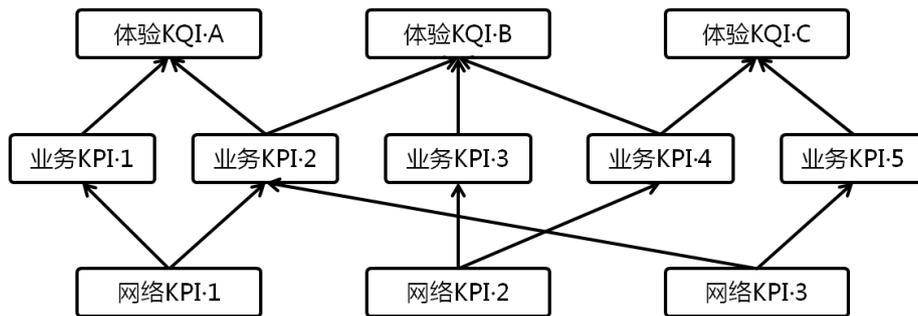


图 5-1 网络、业务和体验 KQI 的层次关系示意图

5.2 家庭 Wi-Fi 网络体验 KQI 指标

5.2.1 网页浏览

此处指用户终端通过 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 定义如表 5-1 所示：

表 5-1 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

5.2.2 宽带测速

此处指用户终端通过 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：该指标定义为使用测速软件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。

上传速率比：该指标定义为使用测速软件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。

宽带测速业务体验 KQI 定义如表 5-2 所示：

表 5-2 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%

5.2.3 在线视频

此处指用户终端通过 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 5-3 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）

5.2.4 在线游戏

此处指用户终端通过 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 5-4 在线游戏业务体验 KQI

体验等级	MOS	指标*	
		双向时延（毫秒）	操作卡顿率（%）
优	4.5~5	<100	0%
良	3.5~4.5	<100	<3%
中	2.5~3.5	100~200	3%~7%
次	1.5~2.5	200~460	7%~10%
劣	0~1.5	>460	>10%

* 以王者荣耀在线游戏为例。

5.2.5 高速下载

此处指用户终端通过 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，反映传输速率的波动情况。

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 5-5 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%	>50Mbps
良	3.5~4.5	0.14~0.22	55%~65%	40~50Mbps
中	2.5~3.5	0.22~0.3	45%~55%	20~40Mbps
次	1.5~2.5	0.3~0.38	35%~45%	10~20Mbps
劣	0~1.5	0.38~0.5	20%~35%	0~10Mbps

5.3 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侧的端到端实际承载能力，直接影响互联网内容传输到用户终端的时间，最终体现在用户体验 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。

5.3.1 业务体验

- 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。

丢包率：定义为客户端（端）与网页对象（云）之间的管道丢包率。

- 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。

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。

- 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。

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。

5.3.2 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、多用户终端混合业务，以及多 AP 漫游性能等。

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，要求用户终端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，用户终端异常断链的比例。

发送接收能力平衡度是指 Wi-Fi AP 与终端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。

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

多 AP 漫游性能是指终端在两个 AP 之间漫游时，对业务体验的综合影响。

5.3.3 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 度转角覆盖性能等。

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，覆盖性能还和终端的发送功率/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终端信号弱的情况，如果接收方向是短板则会出现终端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 与终端相距固定距离时，旋转 Wi-Fi AP 或终端，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。

5.3.4 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 与终端间可达到的最大 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，多个终端分布在近、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 与终端通过同轴线连接，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。

5.3.5 抗干扰性能

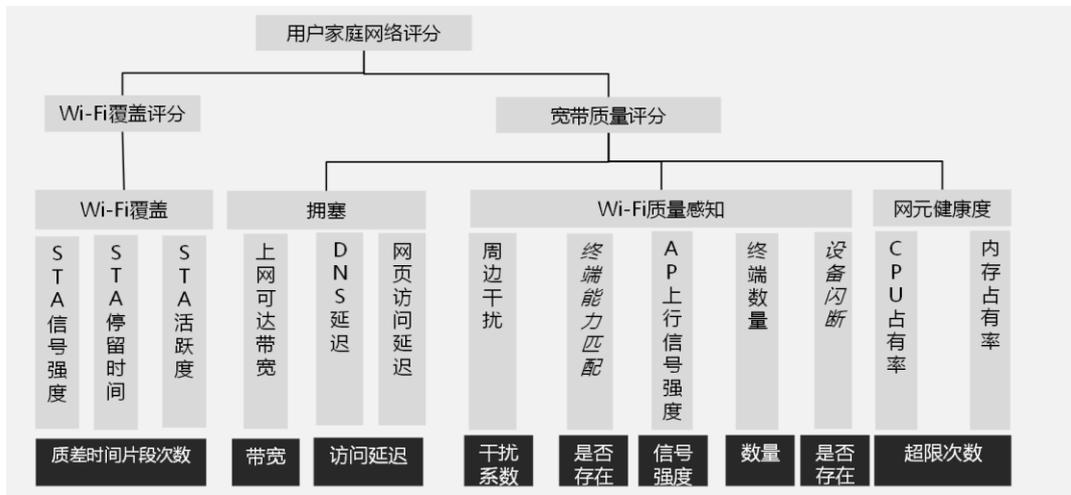
衡量家庭网络 Wi-Fi 抗干扰性能的指标包括同频/临频/叠频干扰性能、强/中/弱干扰性能。

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。

5.4 家庭 Wi-Fi 感知指标体系

5.4.1 家庭 Wi-Fi 感知性能评估机制



5.4.2 家庭 Wi-Fi 感知性能评估细则

表 5-6 联通家庭 Wi-Fi 感知性能评估细则表

分类	权重	评估项	细分项	权重	采样周期	上报周期	评估算法
Internet 质量	15	宽带测速	WAN口速率	N/A	60s	1h	分段统计实时速率 (单位: Kbps) 上传速率比; 下载速率比;
			网页浏览	HTTP网页访问速度	20	1h	1h
			DNS解析速度	80	1h	1h	DNS解析时长打分
Wi-Fi 质量	70	在线IPTV 视频	IPTV时延和丢包统计	25	0.5s	60s	IPTV时延和丢包统计
		在线游戏	双向时延	5	5s	60s	统计双向时延值

		P2P下载	传输请求响应 延时	5	实时 采样	60s	统计传输请求响应 延时
		周边干扰	周边AP干扰数	35	12h	12h	同频干扰，邻频干 扰
		覆盖	Wi-Fi AP信号 强度	30	24h	24h	AP的信号强度
		Wi-Fi终 端数目	STA下挂设备 个数		300s	1h	一天中同时在线最 大STA个数
网元健康 度	15	网元健康 度	智能ONT CPU占 有率情况	50	60s	5min	周期CPU占用率超 过80%次数，
			智能ONT内存 使用情况	50	60s	5min	内存占用超80%次 数

附录 1 家庭 Wi-Fi 网络关键技术

附录 1.1 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, 终端在这两个频段上的 RSSI 强度, 将终端引导到合适的频段上。

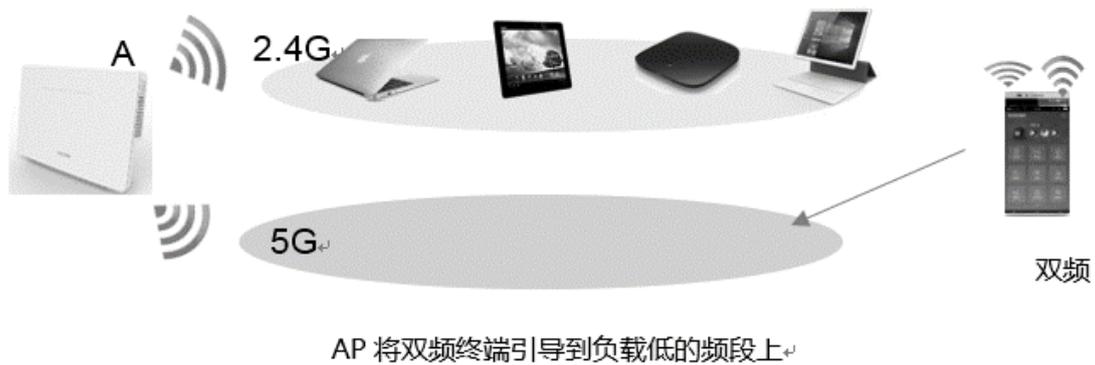


图 附录 1-1 Band steering 工作原理示意图

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。

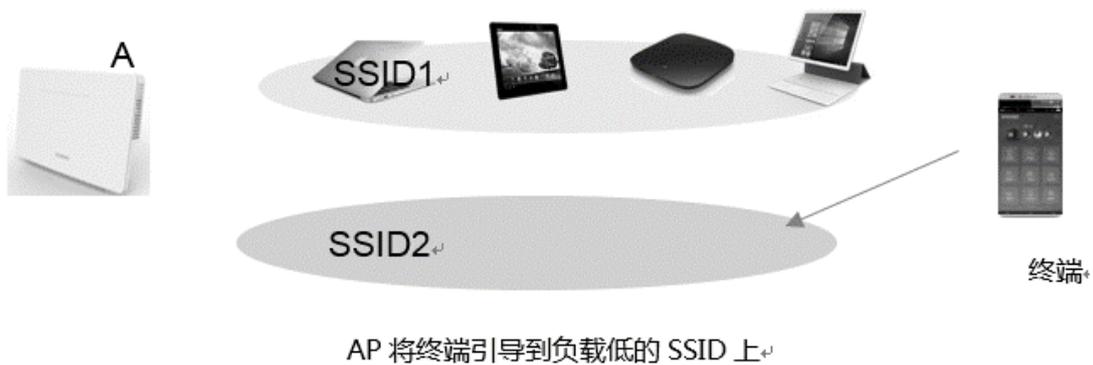
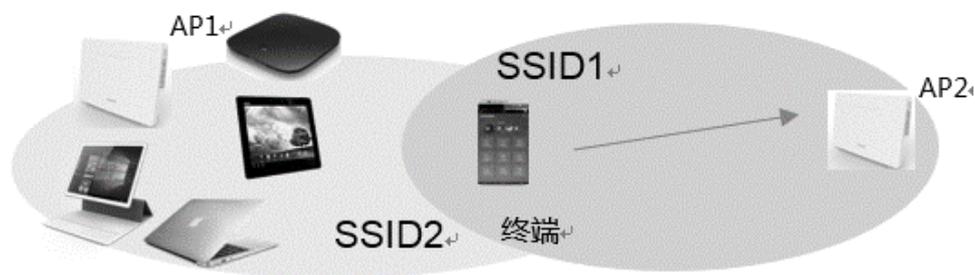


图 附录 1-2 SSID Steering 工作原理示意图

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 中哪个处在流量过载或者用户过载的状态；并同时分析出哪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 将终端引导到负载低的 AP 上

图附录 1-3 AP Steering 工作原理示意图

附录 1.2 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。

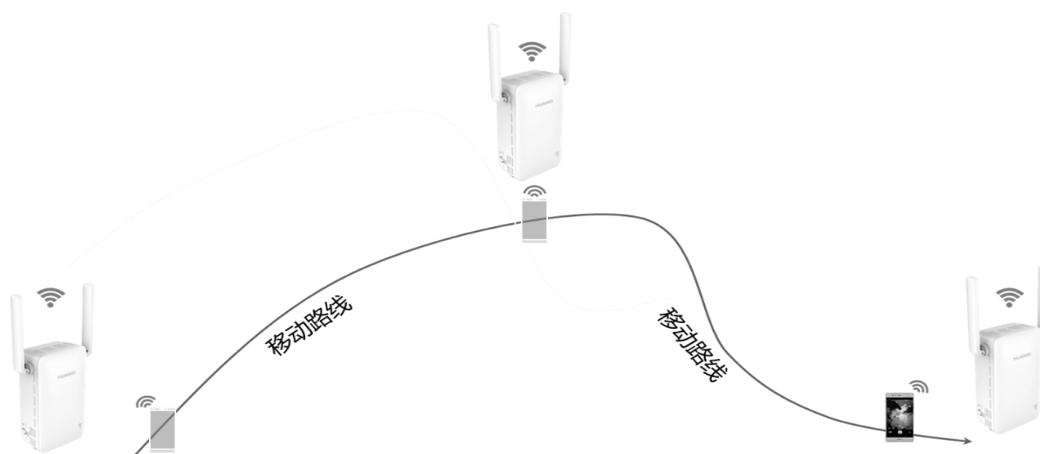


图 附录 1-4 智能无缝漫游示意图

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。

附录 1.3 基带波束成型（Beamforming）



图 附录 1-5 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

附录 1.4 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：

- 单个终端使用过多的下行带宽资源，对其他终端不公平；

- 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:
 - ✓ 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;
 - ✓ 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;
 - ✓ 调度器周期性重新分配时间令牌, 保证长时间的统计公平。

附录 2 Wi-Fi 测试评估参考

本次参测设备分为中国联通智能网关以及社会化路由器。针对不同场景，对 4+1+Wi-Fi 双频型号的中国联通智能网关和 3 款社会化路由器进行测试。联通智能网关和社会化路由器的配置指标对比参见表附录 2-1。其中，参测中国联通智能网关将于 2017 年第四季度正式发布使用。

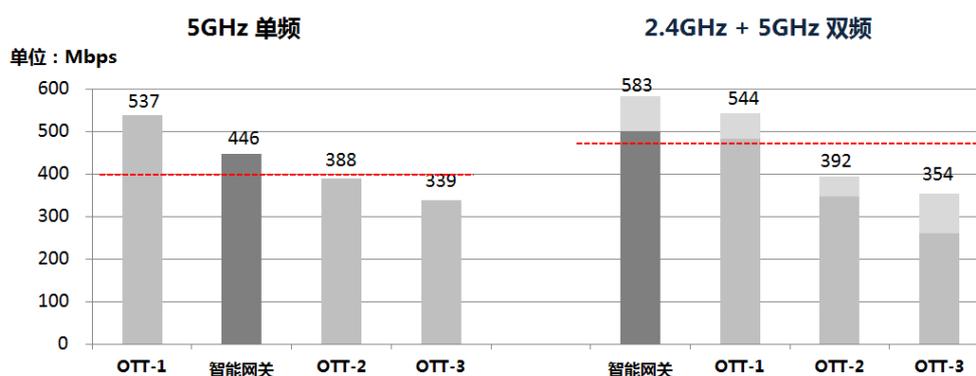
表附录 2-1 联通智能网关和社会化路由器配置指标

	中国联通智能网关	社会化路由器
价格区间	220-240 元	160-240 元
Wi-Fi 规格	11n+11ac 双频	11n+11ac 双频
CPU	800MHz	880-900MHz
RAM	256MB	128-256MB

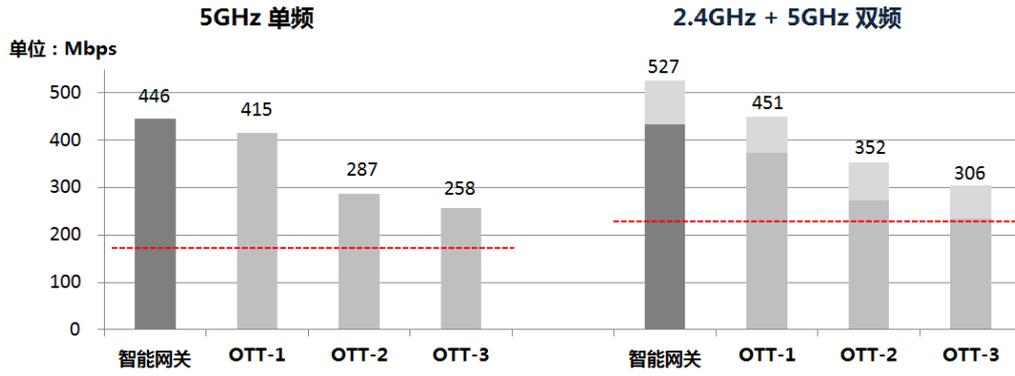
如下测试数据来源于中国联通实验室测试，包括三种测试场景：近距离吞吐量性能、30 米直线覆盖性能和 20 米穿墙覆盖性能。由于 Wi-Fi 性能与不同测试环境有很大关系，因此本白皮书所提供的测试结果仅供参考。

整体测试结果按照场景不同分别列举。参测型号的中国联通智能网关和 3 款社会化路由器对比性能测评结果如下：

表附录 2-2 近距离吞吐量性能测试结果对比



表附录 2-3 30 米覆盖性能测试结果对比



表附录 2-4 20 米穿墙性能测试结果对比

