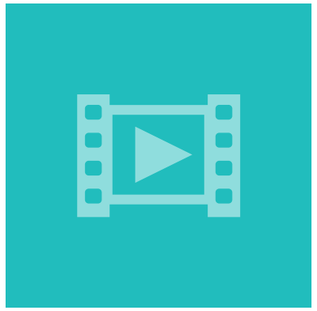


家庭Wi-Fi网络承载超高清视频通用规范

（征求意见稿）

CUVA

中国超高清视频产业联盟

前言

本标准为家庭 Wi-Fi 网络承载超高清视频通用规范及测试方法。在本标准的制定过程中注意与下列标准协调统一：BBF TR-398 Wi-Fi In-Premises Performance Tesing

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国超高清视频产业联盟提出并归口。

本标准起草单位：华为技术有限公司、中国电信集团有限公司、中国移动通信集团有限公司、中兴通讯股份有限公司。

本标准主要起草人：汪伊明（华为技术有限公司）、陈溥（华为技术有限公司）、唐友国（华为技术有限公司）、罗传飞（中国电信集团有限公司）、孙齐峰（中国超高清视频产业联盟）、郭勐（中国移动通信集团有限公司）、张远建（中兴通讯股份有限公司）。

目录

01 范围 01

02 规范性引用文件 02

03 术语和缩略语 03

04 技术要求 04

4.1 家庭网关和AP 的规格要求
4.2 家庭Wi-Fi网络的性能要求
4.3 家庭Wi-Fi 网络承载超高清视频的KPI/KQI 标准要求
4.4 家庭Wi-Fi 网络承载超高清视频的技术要求

05 测试方法 12

5.1 设备特性
5.2 测试环境
5.3 家庭Wi-Fi网络性能测试
5.4 家庭Wi-Fi网络承载超高清视频性能测试

06 附录 47

01 范围

本标准根据 IEEE 802.11mc 规范提供了一系列针对 IEEE 802.11n/ac 实现的家庭 Wi-Fi 性能测试用例和与之对应的通过 / 失败要求。

本标准主要目标是提供一组测试用例和框架来验证 AP（例如，带有 Wi-Fi 的客户端设备）和一个或多个终端（例如个人电脑、移动电话）之间的性能。测试案例是针对被测设备（仅限 AP，终端性能不在此标准中考虑）定义的，针对一个或一组终端进行测试。待测设备不应该是一个参考设计，并且应该包含必要的系统功能来执行这个测试计划（参见第 5 章）

本标准中的技术内容包括测试设置信息，设备配置要求，测试程序以及每个测试用例的通过 / 失败要求。测试和测量的具体制造商信息未包含在本文件中，除非选择或使用替代设备可能会对测试结果产生负面影响。

02 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- IEEE 802.11 无线局域网接入控制与物理层规范（IEEE standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks- Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications specification）
- BBF TR-126 Triple-play Services Quality of Experience (QoE)
- BBF TR-398 Wi-Fi In-Premises Performance Tesing
- CCSA 2017-0950T-YD 宽带视频服务用户体验评估

03 术语和缩略语

下列术语定义适用于本标准。

Wi-Fi	由 Wi-Fi 联盟创建和注册的名称，用于描述基于 IEEE 802.11 标准的技术

下列缩略语适用于本文件。

AP	接入点（Access Point）
DHCP	动态主机配置协议（Dynamic Host Configuration Protocol）
DTIM	投递传输指示信息（Delivery Traffic Indication Message）
IEEE	国际电气和电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers）
IP	互联网协议（Internet Protocol）
LAN	局域网（Local Area Network）
MAC	媒体介入控制（Media Access Control）
MTU	最大发送单元（Maximum Transmission Unit）
NSS	空间流数量（Number of Spatial Stream）
QoS	服务质量（Quality of Service）
RSSI	接收信号强度指示（Receive Signal Strength Indicator）
SSID	服务集标识（Service Set Identifier）
TCP	传输控制协议（Transmission Control Protocol）
TR	技术报告（Technical Report）
UDP	用户数据包协议（User Datagram Protocol）
VLAN	虚拟局域网（Virtual Local Area Network）
WAN	广域网（Wide Area Network）
WLAN	无线局域网（Wireless Local Area Network）
WMM	Wi-Fi 多媒体协议（Wi-Fi Multimedia）
WPA	Wi-Fi 安全接入协议（Wi-Fi Protected Access）

04 技术要求

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 Mesh 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：

表4-1 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IGMP V2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
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 网络的性能要求

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

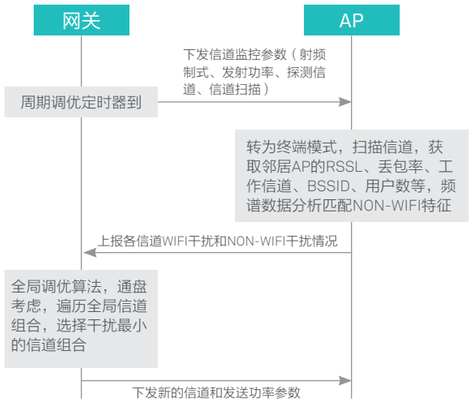
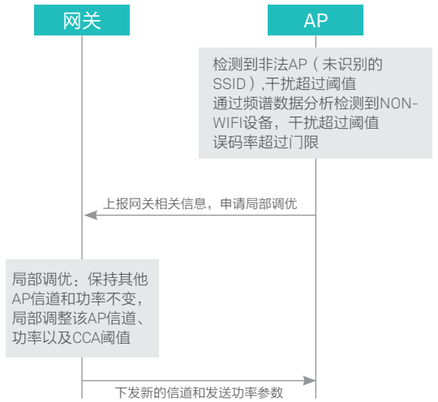
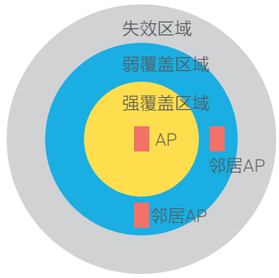


图4-2 Wi-Fi事件触发调优的原理示意图



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；

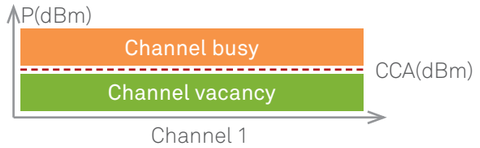
数据流量越多，发射功率越大，对外的干扰就会越大，所以在性能满足要求的前提下，流量小并且误码率低的情况下，可以适当减小发送功率；当数据流量增大或者误码率增大的情况下就需要适当增大发送功率

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大于功控目标值（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：

图4-4 CCA空闲信道评估示意图



- 当检测到某信道的能量 >=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。

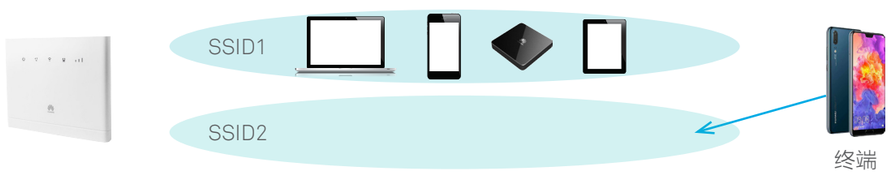
4.2.3 智能终端引导

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

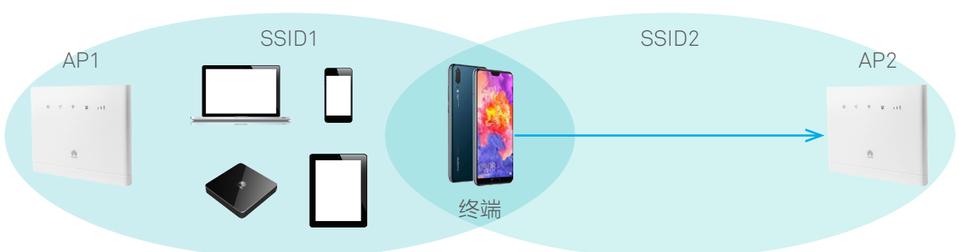
SSID steering：当终端可以加入多个SSID时，网关或者AP根据各个SSID的拥塞情况，考虑负载均衡，让终端加入最适合的SSID。

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7-7 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 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。

4.3 家庭 Wi-Fi 网络承载超高清视频的 KPI/KQI 标准要求

家庭 Wi-Fi 网络承载超高清视频 KPI 标准要求见表 4-2。

表4-2 家庭Wi-Fi网络承载超高清视频 KPI标准要求

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

家庭 Wi-Fi 网络承载超高清视频 KQI 体验标准见表 4-3。

表4-3 家庭Wi-Fi网络承载超高清视频KQI体验标准

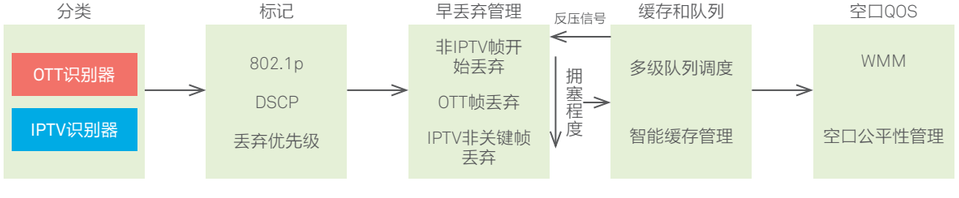
KQI 指标	标准
视频质量	1. 视频质量主观评分(MOS)大于4分
观看质量	2. 每45分钟卡顿数要小于2次，卡顿时长小于2秒(弱干扰环境测试)； 3. 每45分钟花屏数要小于2次，花屏时长小于2秒,花屏面积小于35%(弱干扰环境测试)；
交互质量	4. 直播频道切换时延小于1.5秒 5. 点播首播时延小于1秒 6. EPG操控响应时延小于1秒
典型家居九宫格场景4K稳定性	视频流畅\清晰\无卡顿\无花屏

4.4 家庭 Wi-Fi 网络承载超高清视频的技术要求

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。本节内容参考《CCSA 2017-0950T-YD 宽带视频服务用户体验评估》。

4.4.1 视频业务优先的 QOS 调度

图4-10 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的大，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。

4.4.2 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；

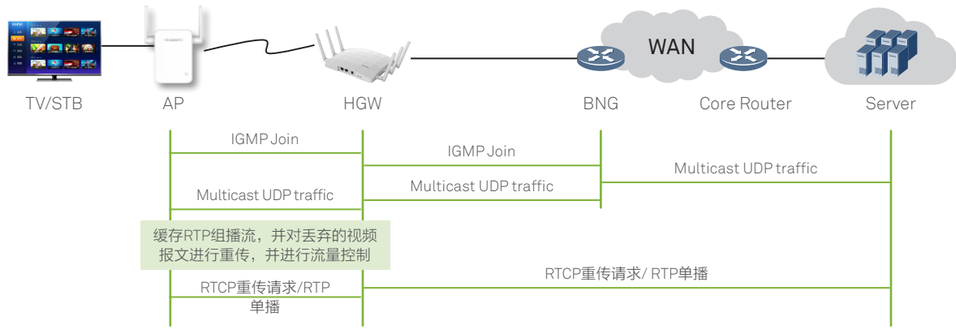
WMM CAC 机制：

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。

4.4.3 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。

4.4.4 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。

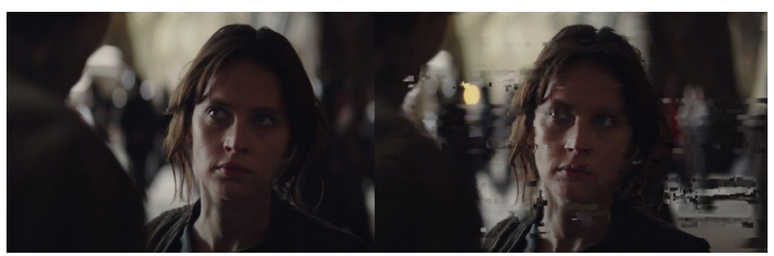
VABA 算法通过智能感知 Wi-Fi 链路拥塞情况，动态智能调整视频节目带宽来解决 4K 视频节目由于队列拥塞丢包的卡顿问题。

VABA算法公式

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

VABA使能和不使能对比效果：

VABA使能和不使能对比效果



05 测试方法

本节内容参考以下标准：

- BBF TR-126 Triple-play Services Quality of Experience (QoE)；
- BBF TR-398 Wi-Fi In-Premises Performance Tesing。

5.1 设备特性

5.1.1 待测设备与终端

表 5-1 和表 5-2 旨在向测试工程师和测试报告的读者提供有关待测设备和连接终端的足够信息，以确保结果的可重复性并准确比较报告的测试结果。表中定义的信息应在测试开始前提供给测试工程师，并应作为测试报告的一部分。所有字段都应该填充；如果某个项目不适用于待测设备或连接的终端，则该项目可能被标记为“不适用”。

表5-1 待测设备信息

待测设备供应商	
待测设备系统固件版本	
待测设备芯片供应商	
待测设备芯片固件版本	

表5-2 终端信息

终端类型（如个人电脑，移动电话等）	
终端系统供应商	
终端系统固件版本	
终端芯片供应商	
终端芯片固件版本	
终端支持的IEEE规范	

备注：如果测试终端能力不同（多个终端情况下），应该分别为其填写本表格

5.1.2 待测设备与终端的管理

待测设备应支持北向管理协议或本地图形用户界面，该协议允许在此测试计划中配置和检索 5.3 中的设置。管理协议是由待测设备供应商自行决定的。

终端应支持执行此测试计划所需的南向管理协议，如配置终端和 LAN 接口之间传递以太网通信所需的协议。

5.2 测试环境

Wi-Fi 性能测试环境很容易受到外部因素和环境的影响，如现有的办公室 Wi-Fi 系统或附近的电器（如微波炉）。本测试计划使用的测试环境构建，应以减轻这些外部因素对测试结果影响的方式构建。执行测试计划的测试环境应符合本章节中所有测试的要求。

5.2.1 测试配置

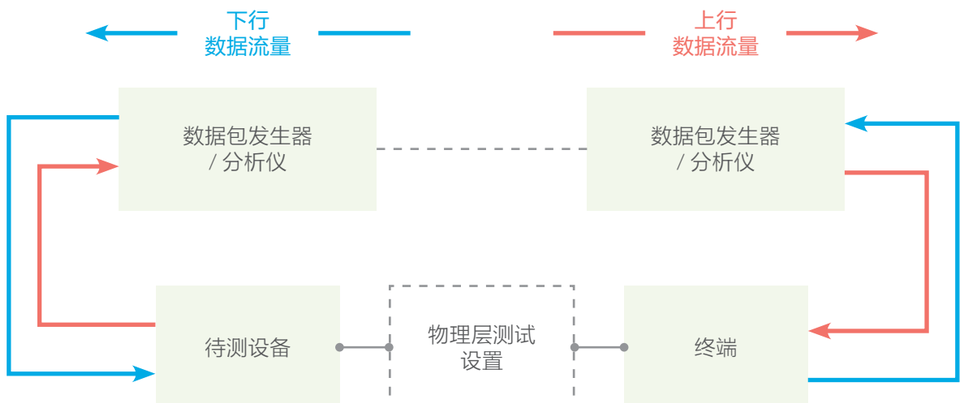
以太网 /IP 流量配置

用于传输测试流量的 LAN 接口应该是千兆以太网端口，支持至少 1 Gbps 的速度。配对终端应向 / 从待测设备空口或同轴电缆接口（如果需要的话）发送 / 接收 Wi-Fi 数据包。数据包的生成和接收应使用测试软件完成。

如果测试案例要求 LAN 接口的测试流量大于 1 Gbps，则应采用多个千兆以太网端口来满足测试中的测试流量需求。

图 5-1 显示了通过待测设备和单个终端传递以太网 /IP 流量的基本设置。 附录 I 提供了测试设置的实例。

图5-1 单个终端性能测试设置



待测设备和终端应该满足以下要求来支撑测试计划。

待测设备应该支持：

1. 基于 MAC 学习或 VLAN 标记，在 Wi-Fi 接口和北向以太网接口之间转发以太网 /IP 流量。
2. 通过物理接口（空口或同轴电缆）和流量发生器为终端分配本地 IP 地址。

终端应该至少支持以下配置：

如果终端使用了数据包生成器 / 分析仪，则终端和数据包生成器 / 分析仪之间的接口应满足流量要求，不会影响性能测试。

以太网帧大小

本小节提供 TCP 和 UDP 设置的要求，以便在测试中使用不同的测试软件，操作系统或独立设备时创建一致的流量模型。

如果在此测试计划中使用数据包发生器 / 分析仪来实现流量的生成和监控，则应使用以下设置来配置流量生成器。

1. TCP 与 UDP 的通用设置

a. 在生成业务流之前通过 IP 配对建立 TCP / UDP 链路，即设置待测设备和终端的 IP 地址以确保所有设备都在同一 LAN 中。
b. 流生成应基于 IPv4。
c. 在待测设备和每个终端之间创建 5 个测量流。待测设备和终端之间的吞吐量应该是所有测量流的总和。
d. 开始测量后应保留无延迟。
e. 不应为 TCP/UDP 流设置速率限制。
f. 通过 TCP 发送的数据不应被压缩。

2. TCP 设置

a. TCP 窗口大小应设置为 64KB。
b. 应在 TCP 连接中模拟文件传输（用于 2.4GHz 测试的文件大小为 100000 字节，用于 5 GHZ 测试的文件大小为 10000000 字节）。在测试过程中应不断重复执行本操作。
c. 在模拟文件传输的过程中，每个文件分片的大小应连续发送至测试软件运行的操作系统。大小应该由操作系统决定。

3. UDP 设置

a. 应在 UDP 连接中模拟文件传输（文件大小为 730000 字节）。在测试过程中应不断重复执行本操作。
b. 在模拟文件传输的过程中，发送到操作系统的每个文件片段大小应设置为 1460 字节。

5.2.2 测试环境参数

一般环境

测试计划应处于工作频率和信道中无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰的环境中。此处的“无法检测”应定义为：满足工作频率在 80 MHz 带宽内小于 -100 dBm。这种情况保证不会发生虚假退避或竞争，并且在极端情况下有助于正确的性能测量（例如，具有大衰减的性能测试）。

本标准推荐使用屏蔽房来保证测试的效果和可重复性。

温度与湿度

在整个测试过程中，测试设备的温度和湿度范围应被记录为测试过程中观察到的最高值和最低值（见下表），并应作为测试报告的一部分。温度应该在 21 ± 5° C 之内。湿度应该在 20%和 60%之间。

表5-3 测试设备的温度与湿度范围

参数	最高值	最低值
温度		
湿度		

距离与测试信道实现

待测设备和终端通过 Wi-Fi 测试信道分离。这种分离可以被定义为特定的距离，或者是特定的路径损耗。具体分离方法在每个测试用例中单独定义，以下规定了测试信道的通用要求：

如果使用距离，则关联终端应放置在与待测设备相同的高度。此外，

待测设备和终端都应放置为其制造商所定义的“直立”状态。

如果测试仅使用一个终端，则待测设备和终端应放置为其制造商所定义的互相“正对”状态。

如果测试使用了一组终端，则终端应以待测设备为中心，测试距离为半径均匀分布；终端旋转角度应放置为其制造商所定义的“正对”待测设备状态。

如果设备使用了外置天线，则应调整其天线角度使之垂直于水平面。

如果使用路径损耗，则关联终端应该通过工作频率上的等效自由空间路径损耗与待测设备分离。各向同性天线之间的自由空间路径损耗表示为：

路径衰减 (dB)=20log10(f(GHz))+20log10(d(米))+32.45(dB)

其中，f 为工作的中心频率（单位 GHz），d 为待测设备天线和终端天线之间的距离（单位米）。本标准使用上述公式实现物理距离和自由空间衰减之间的转化。例如，在 2.4 GHz 时，1 米距离的路径损耗为 40 dB；在 5.2 GHz 时，1 米距离的路径损耗为 46.8 dB。

信道仿真仪（及其它可行的测试仪器）可以用来实现测试信道。

如果测试信道是使用衰减器或信道仿真仪创建的，则测试仪器应至少支持与正在测试的空间流数相同数量的独立通道。

如果使用衰减器来模拟信道的衰减，衰减器在 Wi-Fi 工作频率的衰减应为平坦衰减。

如果使用测试仪器进行测试，则应在测试过程中补偿仪器所带来的固有衰减。

有多种方法可以实现满足上述要求的测试信道仿真。为了简化标准，每个测试用例仅包括基于单屏蔽室实现的测试设置图。

在屏蔽室内，射频信号将从室壁反射，并且可能产生对室内装置的干扰。测试中所使用的屏蔽室应该将反射衰减至少 20 dB，以最大限度地减少这些反射的影响。

终端要求

Wi-Fi 终端是用来充当测试、发送和接收来自 Wi-Fi AP（待测设备）数据流量的对等设备。用于测试的终端设备应符合本节的要求。

终端应至少具有与待测设备相同的 Wi-Fi 物理层能力（即支持的最大空间流数和天线数量）。终端可以支持超过待测设备的物理层能力。

用于测试的终端设备可以是真实的产品（如笔记本电脑或手机），或者可以是专用的测试和测量设备，模拟标准 Wi-Fi 终端的行为。

对于需要多个终端设备的测试，设备可以是多个分立设备；或者多个终端设备可以由单个测试和测量设备模拟。

5.2.3 待测设备设置

待测设备要求

待测设备应能够支持至少 2 个空间流(在 802.11n/ac 规范中定义的 Nss ≥ 2)的 Wi-Fi 数据包传输。

如果待测设备支持多个 Wi-Fi 信道，待测设备应该自动选择用于 Wi-Fi 数据包传输的信道。关联终端向待测设备注册与关联以建立链路。

如果待测设备支持多个 Wi-Fi 信道，则待测设备在 2.4GHz 应选择 6 信道而 5GHz 时应选择 36 信道。关联终端向待测设备注册与关联以建立 Wi-Fi 通信链路。

SSID 设置

SSID 的设置应按下表中的规定进行配置。2.4GHz 和 5GHz 频段的 SSID 应单独设置。

表5-4 SSID设置与配置

配置参数	默认值
SSID	Wi-Fi_Perf_Test_XG (备注)
开启SSID	True
关联设备数量	32
广播SSID	True
开始WMM	True
认证模式	WPA-WPA2-Personal
加密模式	TKIP&AES
WPA预分享秘钥	True
WPA重新生成组秘钥间隔	3600s

备注：当待测设备配置为工作在 2.4 GHz 频段时，“X”代表“2.4”，而当待测设备配置为工作在 5 GHz 频段时，“X”代表“5”。

工作设置

2.4 GHz 频段

所有支持 802.11n 的待测设备都应将工作频段设置为 2.4 GHz，本标准中关于 802.11n 的测试用例均在 2.4GHz 上进行。默认设置应按下表中的定义进行配置。

表5-5 2.4GHz频段的工作设置

配置参数	默认值
发送功率	100 % (备注)
监管区域	中国
信道	6
信道带宽	20 MHz
标准模式	802.11b/g/n
DTIM间隔	1
Beacon间隔	100 ms

备注：100%对应 20 dBm，该值表示空口用于通信的所有链路的总功率。

5 GHz 频段

所有支持 802.11ac 的待测设备都应将工作频段设置为 5 GHz。工作模式的默认设置应按下表中的规定进行配置。如果待测设备支持 5GHz 的双频段，则应分别进行两个工作设置。

表5-6 5GHz频段的工作设置

配置参数	默认值
发送功率	100 % (备注)
监管区域	中国
信道	36
信道带宽	80 MHz
标准模式	802.11a/n/ac
DTIM间隔	1
Beacon间隔	100 ms

备注：100%对应 23 dBm，该值表示空口用于通信的所有链路的总功率。

5.3 家庭 Wi-Fi 网络性能测试

5.3.1 基线性能

多用户支持能力测试

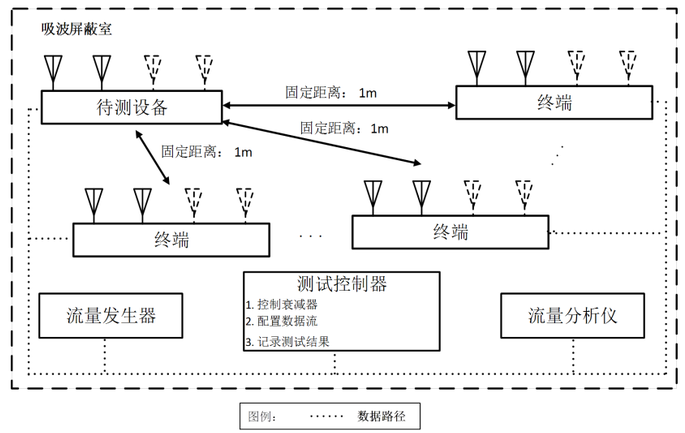
介绍

最大连接测试旨在验证 Wi-Fi 设备是否可以支持同时连接多个终端并仍能正常工作。

设置

1. 测试设置（如图 5-2 所示）应位于吸波屏蔽室内，工作频率和信道无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。
2. 发送以太网数据包的流量发生器 / 分析仪连接到待测设备的 LAN 接口（GE 端口）。关联终端与待测设备的距离为 2 米（Wi-Fi 信号在 2.4GHz 频段 2 米自由空间的衰减约为 46dB）。
3. 本测试需准备 32 个终端，并将其与待测设备相关联。
4. 本测试过程中应使用 UDP 连接来传输以太网报文。

图5-2 最大连接测试设置



待测设备配置

测试应在如下配置中进行：

1. 待测设备工作在不同的模式
   a. 802.11n
   b. 802.11ac
   c. 802.11n+802.11ac

流程

1. 将待测设备的工作模式设置为 802.11n 的默认配置。
2. 建立局域网连接并让终端向待测设备注册。
3. 开启 2Mbps 下行以太网数据包生成。等待 10 秒。记录每个终端在 120 秒内的吞吐量，并计算每个终端在记录时间内的平均下行吞吐量。
4. 开启 2Mbps 上行以太网数据包生成。等待 10 秒。记录每个终端在 120 秒内的吞吐量。计算每个终端在记录时间内的平均上行吞吐量。
5. 将待测设备的工作模式设置为 802.11ac 的默认配置。
6. 建立局域网连接并让终端向待测设备注册。
7. 开启 8 Mbps 下行以太网数据包生成。等待 10 秒。记录每个终端在 120 秒内的吞吐量，并计算每个终端在记录时间内的平均下行吞吐量。

8. 开启 8 Mbps 上行以太网数据包生成。等待 10 秒。记录每个终端在 120 秒内的吞吐量，并计算每个终端在记录时间内的平均上行吞吐量。

备注：测试结果可能会受到关联终端能力的轻微影响。建议测试中使用的终端具有来自至少 2 个不同供应商的芯片组。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，具体描述如下：

1. 对于每种测试配置，吞吐量应满足以下要求：

表5-7 吞吐量性能要求

待测设备 Wi-Fi 配置	终端 Wi-Fi 配置	带宽 (MHz)	下行吞吐量要求（Mbps）	上行吞吐量要求（Mbps）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	64	64
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	256	256

2. 测试过程中没有发生去关联。

测试过程中丢包率为 0。

最大吞吐量测试

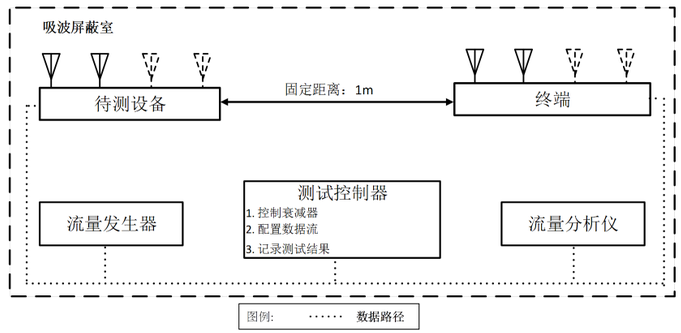
介绍

最大吞吐量测试旨在测量 Wi-Fi 设备的最大吞吐量性能。该测试通过短距离的空口进行连接（考虑到 Wi-Fi 的实际使用场景）。

设置

1. 测试设置（如图 5-3 所示）应位于吸波屏蔽室内，工作频率和信道内无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。
2. 发送以太网数据包的流量发生器 / 分析仪连接到待测设备的 LAN 接口（GE 端口）。关联终端与待测设备的距离为 2 米。（对应 2.4GHz 无线信道空间衰减应约为 46dB。）
3. 本测试过程中应使用 TCP 连接来传输以太网报文。

图5-3 最大吞吐量测试设置



待测设备配置

测试应在如下配置中进行：

1. 待测设备工作在不同的模式

a. 802.11n
b. 802.11ac
c. 802.11n+802.11ac

待测设备支持的每一个模式都应该进行相应的测试。

流程

1. 将待测设备的工作模式设置为 802.11n 的默认配置。
2. 建立局域网连接并让终端向待测设备注册。
3. 开始生成下行以太网数据包。记录 120 秒时间内，来自主机的吞吐量，并计算平均吞吐量。
4. 开始生成上行以太网数据包。记录 120 秒时间内，来自主机的吞吐量，并计算平均吞吐量。
5. 将待测设备的工作模式设置为 802.11ac 的默认配置，并重复步骤 2-4。

备注：测试结果可能会受到关联终端能力的轻微影响。可以使用多种终端（采用不同供应商的芯片组）进行测试。然后计算的平均吞吐量可以在芯片组的维度上再次平均。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，如下所述：

1. 测得的平均吞吐量应满足下表的性能要求

表5-8 吞吐量性能要求

待测设备 Wi-Fi 配置	终端 Wi-Fi 配置	带宽 (MHz)	下行吞吐量要求（Mbps）	上行吞吐量要求（Mbps）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	100	100
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	600	600

空口公平性测试

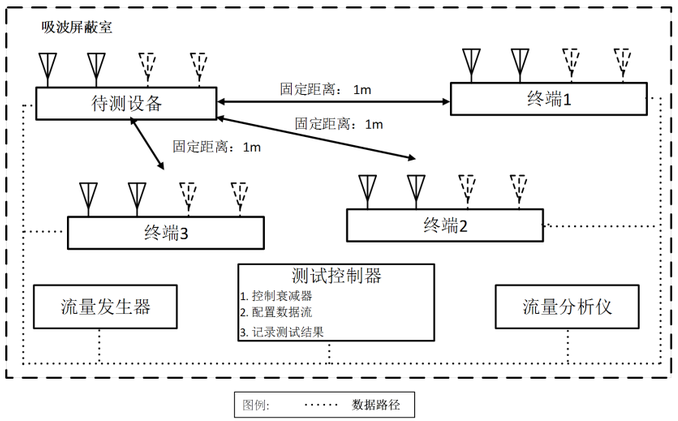
介绍

空口公平测试旨在验证 Wi-Fi 设备保障空口公平使用的能力，避免部分终端过多占用空口资源。

设置

1. 测试设置（如图 5-4 所示）应位于吸波屏蔽室内，工作频率和信道中无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。
2. 在测试中使用三个关联终端， 这些终端应具有与待测设备相同的 Wi-Fi 物理层能力配置（即空间流数和天线数量）。终端 1 和终端 2 支持与待测设备相同的协议功能。终端 3 仅支持 802.11b/g（2.4GHz）或 802.11a（5GHz）。所有终端与待测设备的距离为 2 米。
3. 使用一个流量发生器 / 分析器，将以太网数据包发送到每个关联的终端，并连接到待测设备的 LAN 接口（GE 端口）。
4. 本测试应使用 TCP 连接发送以太网报文。

图5-4 空口公平性测试设置



待测设备配置

本项测试应在默认配置下进行。

流程

1. 使将待测设备的工作模式设置为 802.11n 的默认配置。
2. 将终端 1 和终端 2 与待测设备关联。建立局域网连接并等待 10 秒钟。
3. 启用生成终端 1 和终端 2 的下行以太网数据传输。记录 120 秒内终端 1 和终端 2 的吞吐量，并计算终端 1（STA1_throughput_1）和终端 2（STA2_throughput_1）的平均吞吐量。
4. 将终端 2 移动到离待测设备中等距离（等效衰减为 38dB@2.4GHz 和 32dB@5GHz），等待 10 秒 , 记录 120 秒内终端 1 和终端 2 的吞吐量，并计算终端 1（STA1_throughput_2）和终端 2（STA2_throughput_2）的平均吞吐量。
5. 将终端 2 和待测设备去关联。用终端 3 替换终端 2。建立终端 3 和待测之间的 Wi-Fi 连接。为终端 1 和终端 3 启用生成下行以太网数据包。等待 10 秒。记录 120 秒内终端 1 和终端 3 的吞吐量，并计算终端 1（STA1_throughput_3）和终端 3（STA3_throughput_3）的平均吞吐量。
6. 用支持 802.11a 的新终端替换终端 3。将待测设备的工作模式设置为 802.11ac 的默认配置，并重复步骤 2 到 5。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，详述如下：

a. 在整个测试程序中未发生关联或去关联失败。

b. 在 2.4GHz 频段，吞吐量应满足：

0.95*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)<STA1_throughput_1<1.05*Mean(STA1_throughput_1, STA2_throughput_1)
0.95*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)<STA1_throughput_2<1.05*Mean(STA1_throughput_1, STA2_throughput_1)
0.85*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)<STA1_throughput_3<1.15*Mean(STA1_throughput_1, STA2_throughput_1)

在 5GHz 频段，吞吐量应满足：

0.95*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)<STA1_throughput_1<1.05*Mean(STA1_throughput_1, STA2_throughput_1)

0.95*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)<STA1_throughput_2<1.05*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)
0.75*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)<STA1_throughput_3<1.25*Mean(STA1_throughput_1,STA2_throughput_1)

c. 在测试过程中记录的吞吐量应该满足以下性能要求：

表5-9 吞吐量性能要求

待测设备 Wi-Fi 配置	终端 Wi-Fi 配置	带宽 (MHz)	下行吞吐量要求 STA1_throughput_1 + STA2_throughput_1 （Mbps）	下行吞吐量要求 STA1_throughput_2 + STA2_throughput_2 （Mbps）	下行吞吐量要求 STA1_throughput_3 + STA3_throughput_3 （Mbps）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	80	60	50
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	480	260	250

5.3.2 覆盖能力

穿透性能测试

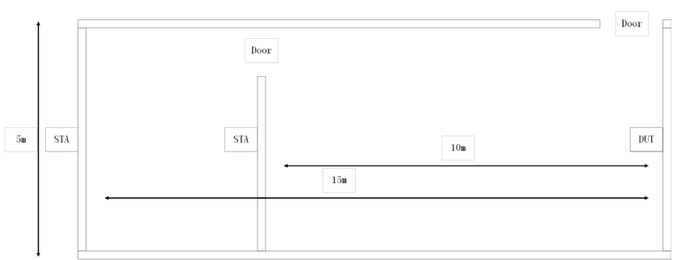
介绍

穿透性能测试旨在测量穿透墙壁后的 Wi-Fi 设备吞吐量。测试是在真实环境中通过空口设置一些典型的距离值进行。

设置

1. 测试设置应部署在真实的环境中，工作频率和信道无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。用于测试的墙体为 24cm 厚的砖墙。
2. 发送以太网数据包的流量发生器 / 分析仪连接到待测设备的 LAN 接口（GE 端口）。关联终端被放置在距离待测设备特定距离的位置（如距离待测设备 10 米的墙后，下图所示）。关联终端通过空口从待测设备接收 Wi-Fi 数据包。

图5-5 穿墙测试拓扑图



3. 主机应该以待测设备能够达到的理论最大速率发送以太网数据包。
4. 测试应使用 TCP 连接进行数据流发送。

待测设备配置

测试应在如下配置中进行：

1. 待测设备工作在不同的模式和带宽：

a. 802.11n 工作在 20MHz 带宽；
b. 802.11ac 工作在 80MHz 带宽。

流程

1. 将关联终端放置在和待测设备相同高度且相距 10 米的墙后。将待测设备的工作模式设置为 802.11n 的默认配置。
2. 创建局域网并让终端向待测设备注册以建立关联。
3. 启用下行以太网数据包生成。等待 10 秒。记录来自主机的 120 秒的吞吐量，并计算平均吞吐量。
4. 启用上行以太网数据包生成。等待 10 秒。记录来自终端的 120 秒的吞吐量，并计算平均吞吐量。
5. 将终端与待测设备去关联，并将其重新放置在和待测设备相同高度且相距 15 米的第二堵墙后。重复步骤 2-4。
6. 将待测设备的工作模式设置为 802.11ac 的默认配置，重复步骤 2-5。

备注：测试结果可能会受到关联终端能力的轻微影响。可以使用多种终端（采用不同供应商的芯片组）进行测试。然后计算的平均吞吐量可以在芯片组的维度上再次平均。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，详述如下：

1. 测试中的平均吞吐量必须满足以下性能要求：

表5-10 吞吐量性能要求

待测设备 Wi-Fi 配置	终端 Wi-Fi 配置	带宽 (MHz)	吞吐量要求 （Mbps） （10 米一堵墙）	吞吐量要求 （Mbps） （15 米两堵墙）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	80	40
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	100	10

距离与速率测试

介绍

范围与速率测试旨在测量 Wi-Fi 设备的基带和射频链路性能。通过在终端侧使用衰减器来实现由于范围增加导致的信号衰减。

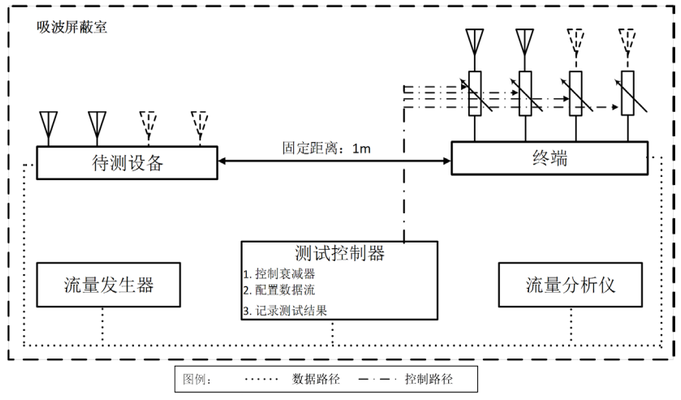
设置

1. 测试设置（如下图所示）应位于吸波屏蔽室内，工作频段和信道内无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。
2. 发送以太网数据包的流量发生器 / 分析仪连接到待测设备的 LAN 接口（GE 端口）。关联终端位于距离待测设备 2 米的位置。
3. 在终端的每个射频链路中增加衰减以模拟增量距离。用于测试的具体衰减值在 5.2.2.3 中定义。
4. 主机应该以待测设备能够达到的理论最大速率发送以太网数据包。
5. 测试应使用 TCP 连接进行数据流发送。

备注 1：对于选定的工作频段，衰减器需要能够在 0dB~80dB 之间提供非连续的衰减。

备注 2：信道模拟仪可以仿真具体的真实环境，可以用来代替简单的衰减器进行更全面的测试。

图5-6 距离与速率测试设置



待测设备配置

测试应按照以下配置运行：

1. 待测设备 / 终端工作模式，带宽和射频链路数量的配置表：

表5-11 距离与速率测试配置

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽（MHz）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80

2. 测试过程中，终端射频链路应添加以下额外衰减值：

0 dB (default), 10 dB, 21 dB, 24 dB, 27 dB, 30 dB, 33 dB, 36 dB, 39 dB, 42 dB, 45 dB, 48 dB, 51 dB, 54 dB, 57 dB, 60 dB, 63 dB。

流程

1. 将衰减器配置为衰减 0dB。将待测设备的工作模式设置为 802.11n 的默认配置。
2. 将信道带宽设置为 20MHz。创建局域网并让终端向待测设备注册以建立连接。
3. 启用下行以太网数据包生成。记录 120 秒内到达终端的吞吐量，并计算平均吞吐量。
4. 启用上行以太网数据包生成。记录 120 秒内到达待测设备的吞吐量，并计算平均吞吐量。
5. 根据 5.2.2.3 更改终端射频链路的衰减值，直到衰减达到 63dB。重复步骤 2-4。
6. 将衰减器配置为衰减0dB。将待测设备的工作模式设置为802.11ac的默认配置。重复步骤2-5。

备注：测试结果可能会受到关联终端能力的轻微影响。可以使用多种终端（采用不同供应商的芯片组）进行测试。然后计算的平均吞吐量可以在芯片组的维度上再次平均。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，详述如下：

测得的平均吞吐量应满足以下性能要求。

1. 工作在 2.4GHz 时：

a. 衰减值小于等于 36dB 时，吞吐量应大于等于 90Mbps。
b. 衰减值小于等于 60dB 时，吞吐量应大于等于 10Mbps。

2. 工作在 5GHz 时：

a. 衰减值小于等于 18dB 时，吞吐量应大于等于 500Mbps。
b. 衰减值小于等于 48dB 时，吞吐量应大于等于 10Mbps。

360 度性能测试

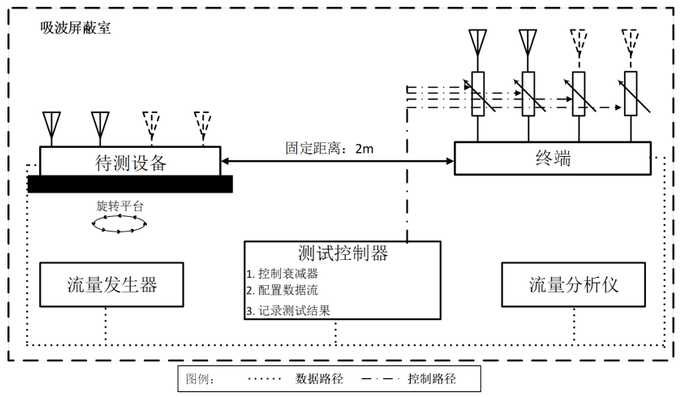
介绍

360 度性能测试旨在验证 Wi-Fi 信号在空间上的一致性。

设置

1. 测试设置（如下图所示）应位于吸波屏蔽室内，待测设备和关联终端距离 2 米。待测设备被固定在一个二维旋转平台上，它与关联终端的高度相同。
2. 发送以太网数据包的流量发生器 / 分析仪连接到待测设备的 LAN 接口（GE 端口）。关联终端通过空口从待测设备接收 Wi-Fi 数据包。
3. 在终端的每个射频链路中增加衰减以模拟增量距离。具体数值在 6.2.3.3 中定义。
4. 主机应该以最大速率发送以太网数据包。
5. 测试应使用 TCP 连接进行数据流发送。

图5-7 空间一致性测试设置



待测设备配置

测试应按照以下配置运行：

1. 待测设备 / 终端工作模式，带宽和射频链路数量的配置表：

表5-12 空间一致性测试配置

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽（MHz）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80

2. 测试过程中，终端射频链路应添加以下额外衰减值：

a. 强信号强度终端：10dB @2.4GHz，10dB @5GHz；
b. 中等信号强度终端：38dB @2.4GHz，32dB @5GHz；
c. 弱信号强度终端：48dB @2.4GHz，42dB @5GHz；

备注：信号在 2.4G 和 5.2G 频段上一米距离的自由空间衰减分别约为 40dB 和 47dB。

流程

1. 将待测设备的工作模式设置为 802.11n 的默认配置。
2. 创建局域网并让终端向待测设备注册以建立连接。
3. 等待 10 秒钟，启用下行以太网数据包生成。记录 60 秒内到达终端的吞吐量，并计算平均吞吐量。等待 10 秒钟，启用上行以太网数据包生成。记录 60 秒内来自终端的吞吐量，并计算平均吞吐量。
4. 将待测设备平台旋转 30° 并重复步骤 3，直到平台旋转 360° 。
5. 停止数据包生成，根据 6.2.3.3（直到所有衰减值都已经过测试）调整终端侧每个射频链路的衰减，将待测设备平台的位置重置为 0° 。重复步骤 2-4。
6. 将待测设备的工作模式设置为 802.11ac 的默认配置。将待测设备平台的位置重置为 0° ，重复步骤 2-5。

备注：测试结果可能会受到关联终端能力的轻微影响。可以使用多种终端（采用不同供应商的芯片组）进行测试。然后计算的平均吞吐量可以在芯片组的维度上再次平均。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，详述如下：

a. 整个测试中未发生去关联。
b. 对于每项基本配置和衰减设置下的测试，测得的平均吞吐量应不小于下表所规定的值：

表5-13 空间一致性测试通过/失败条件（下行）

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽（MHz）	不同衰减条件下的吞吐量 (Mbps)		
			强信号	中信号	弱信号
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	90	70	35
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	500	200	100

表5-14 空间一致性测试通过/失败条件（上行）

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽（MHz）	不同衰减条件下的吞吐量 (Mbps)		
			强信号	中信号	弱信号
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	90	70	35
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	500	200	100

c. 每个角度测得吞吐量不应偏离相应配置下所有角度平均值的 40%。

5.3.3 多终端性能测试

多终端性能测试

介绍

多终端性能测试旨在测量真实环境下的待测 Wi-Fi 设备的性能。多个终端同时连接到待测 Wi-Fi 设备，并且使用不同强度的信号与服务类型进行测试。

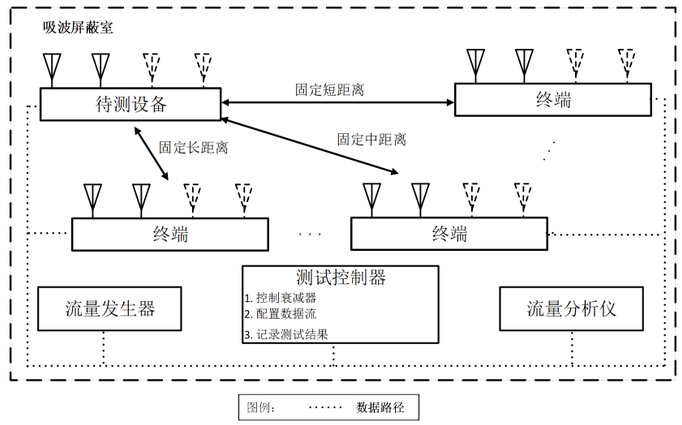
设置

1. 测试设置（如下图所示）应位于吸波屏蔽室内，工作频率和信道中无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。
2. 共有 9 个终端参与测试：3 个终端位于待测设备短距离处；3 个终端位于待测设备中距离处；3 个终端位于待测设备长距离处。 短 / 中 / 长距离应导致终端处所接收到的信号的衰减值分别为：

a. 短距离测试：10dB @2.4GHz，10dB @5GHz；
b. 中距离测试：38dB @2.4GHz，32dB @5GHz；
c. 长距离测试：48dB @2.4GHz，42dB @5GHz；

3. 流量发生器 / 分析器应向每个终端发送相应的以太网包，并且连接到待测设备的 LAN 接口（例如 GE 端口）。
4. 测试中传输的以太网报文应使用 TCP 连接。

图5-8 多终端性能测试设置



待测设备配置

测试应按照以下配置运行：

1. 待测设备应按照最大的射频链路能力进行测试（即 Nss = 最大可能的 Nss 数量）。

流程

1. 配置待测设备的工作模式为 802.11n，工作频段为 2.4GHz，使用默认配置。
2. 创建局域网并让近距离终端向待测设备注册以建立连接。等待 10 秒。
3. 测量 120 秒内每个终端的下行 TCP 吞吐量。等待 10 秒。测量每个终端在 120 秒时间内的平均上行 TCP 吞吐量。计算所有终端的总吞吐量。
4. 让中距离终端向待测设备注册以建立连接，等待 10 秒。测量 120 秒内每个终端的下行 TCP 吞吐量。等待 10 秒。测量每个终端在 120 秒时间内的平均上行 TCP 吞吐量。计算所有终端的总吞吐量。
5. 让长距离终端向待测设备注册以建立连接，等待 10 秒。测量 120 秒内每个终端的下行 TCP 吞吐量。等待 10 秒。测量每个终端在 120 秒时间内的平均上行 TCP 吞吐量。计算所有终端的总吞吐量。
6. 将待测设备的工作模式设置为 802.11ac 的默认配置，并重复步骤 1-5。

备注 1：测试结果可能会受到关联终端能力的轻微影响。可以使用多种终端（采用不同供应商的芯片组）进行测试。然后计算的平均吞吐量可以在芯片组的维度上再次平均。

备注 2：以上测试中的距离可以通过待测 Wi-Fi 设备的射频输出和终端天线之间的衰减器来模拟。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，详述如下：

a. 整个测试的过程中没有发生关联失败；
b. 关联终端的下行吞吐量应满足下表的要求：

表5-15 多终端性能测试吞吐量要求

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽 (MHz)	短距离终端总吞吐量 (Mbps)	中距离终端总吞吐量 (Mbps)	长距离终端总吞吐量 (Mbps)
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	70	60	50
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	500	400	300

上下线稳定性测试

介绍

上下线稳定性测试旨在测量 Wi-Fi 设备在连接状态频繁变化的动态环境下的稳定性。

设置

1. 测试设置应位于吸波屏蔽室内，工作频率和信道内无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。
2. 16 个终端应连接到专用工作频段（2.4 GHz 或 5 GHz），并与待测设备保持 2m 的短距离。本测试在每个测试周期中仅使用一个工作信道。待测设备和终端之间的无线信道衰减在 2.4GHz（约 2 米的自由空间）时应为 46dB。
3. 测试中传输的以太网数据报文应使用 UDP 连接。

备注：可以使用模拟器以模拟关联终端的连接。

待测设备配置

测试应按照以下配置运行：

1. 待测设备 / 终端工作模式，带宽和射频链路数量的配置表：

表5-16 多关联/去关联测试配置

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽（MHz）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80

备注：如果上表适用于待测设备，则每一项配置均应进行测试。

流程

1. 配置待测设备的工作模式为 802.11n，工作频率为 2.4GHz，使用默认配置。
2. 建立局域网并让终端向待测设备注册以建立关联，等待 10 秒。
3. 在工作频段中随机选择半数的关联终端，开启下行的 UDP 流量（从待测设备发送至关联终端，2Mbps@2.4GHz，4Mbps@5GHz）。
4. 并将其余终端与待测设备进行去关联。等待 30 秒后，这些终端同时重新关联待测设备，并记录从重新关联操作开始直到最后一个终端关联成功的时间。
5. 设置待测设备的工作模式为 802.11ac 的默认配置。等待 10 秒钟，重复步骤 2-4。

备注：测试结果可能会受到关联终端能力的轻微影响。可以使用多种终端（采用不同供应商的芯片组）进行测试。并进行相应的统计和平均。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，详述如下：

a. 整个测试过程中未发生关联失败，也未发生计划外的去关联。
b. 去关联 / 重新关联的操作不影响其他关联终端的性能：
   （1）对于其它关联终端，实时吞吐量变化小于 1%。
   （2）测试过程中的丢包率保持为 0。
c. 重新关联所花费的总时间不得多于 3 秒。

5.3.4 稳定性 / 鲁棒性测试

长期稳定性测试

介绍

长期稳定性测试旨在测量 Wi-Fi 设备在压力测试下的性能稳定。本测试将在很长一段时间内（24 小时）持续监控吞吐量，信号强度和连接可用性。

设置

1. 测试设置应位于吸波屏蔽室内，工作频段和相应信道内无法检测到 Wi-Fi 或非 Wi-Fi 干扰。
2. 至少有 3 个终端参与测试。在每个测试周期中，使用一个工作频段（2.4 GHz 或 5 GHz）进行吞吐量测试。选择 2 个终端用于用于收发报文和 ping 测试，一个终端用于周期性地进行关联 / 去关联。所有的终端都放在距离待测设备 2 米远的地方。

3. 一台流量发生器 / 分析仪应向终端传输以太网数据包，并连接到待测设备的 LAN 接口（例如 GE 端口）。待测设备应选择 2.4GHz 频带的 20MHz 带宽和 5GHz 频带的 80MHz 带宽（如果适用）。
4. 测试中所使用的以太网数据报文应使用 TCP 连接。

待测设备配置

测试应按照以下配置运行：

1. 待测设备应按照最大的射频链路能力进行测试（即 Nss = 最大可能的 Nss 数量）。

流程

1. 配置工作模式为 802.11n，工作频段为 2.4GHz，使用默认配置。
2. 创建局域网并让终端向待测设备注册以建立连接。等待 10 秒。开始生成下行以太网数据包。
3. 每隔 10 分钟记录关联终端（接收数据包）的平均吞吐量。
4. 使关联终端（执行定期关联 / 去关联）每隔 5 分钟进行关联 / 去关联（执行去关联，在 1 分钟后重新关联）。

备注：在周期性关联与去关联测试中：关联终端首先向待测设备进行注册建立连接。等待 5 分钟后，关联终端向待测设备发起去关联。等待 1 分钟后，关联终端重新向待测设备发起连接请求。该循环将持续整个测试。

5. 每隔 15 秒进行一次关联终端与待测设备之间的 Ping 测试。记录 Ping 报文每一个小时内的平均误包率和延时。
6. 连续进行 24 小时的测试。
7. 将工作模式更改为 802.11ac 的默认配置。重复步骤 2-6。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，如下所述：

a. 整个测试过程中未发生关联 / 去关联失败；
b. 关联终端的下行吞吐量在每个频带内保持稳定，在 24 小时内，吞吐量波动不应大于平均吞吐量的 20%；
c. 每小时 Ping 测试的错包率均应小于 0.1%。

AP 共存测试

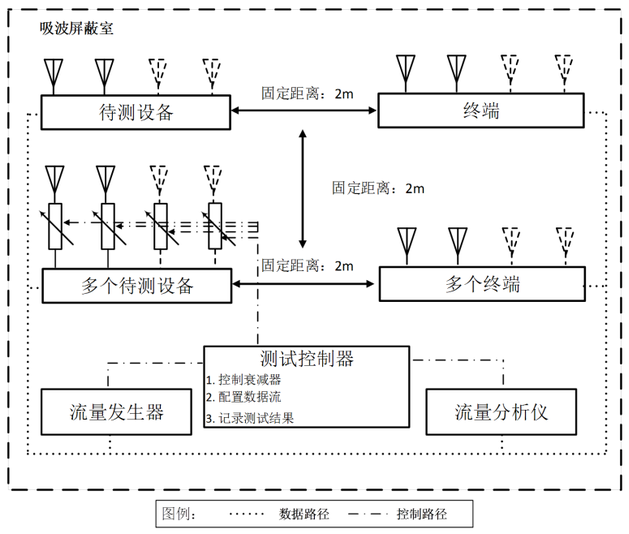
介绍

AP 共存测试旨在通过设置外来的 AP 来验证待测 Wi-Fi 设备的性能。测试中的外来 AP 应该与待测设备保持一样的规格及实现方式（建议为同款设备）。本测试将对待测设备添加不同层次的干扰。

设置

1. 测试设置（如下图所示）应位于吸波屏蔽室内，待测设备和关联终端的距离为 2 米。
2. 主机向待测设备发送 / 接收以太网 /IP 数据包。关联终端通过空口从 / 向待测设备接收 / 发送 Wi-Fi 数据包。
3. 主机应该以待测设备理论最大速率发送以太网 /IP 数据包。
4. 使用另一对 AP 和终端（与待测设备和终端同样型号与配置），并将其视为外来干扰。这对干扰设备应与待测设备对根据 6.4.2.3 配置信道。
5. 测试中传输的以太网报文应使用 TCP 连接。

图5-9 AP共存测试设置



待测设备配置

测试应按照以下配置运行：

1. 待测设备 / 终端工作模式，带宽和射频链路数量的配置表：

表5-17 AP共存测试测试配置

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽（MHz）
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80

备注：如果上表适用于待测设备，则每一项配置均应进行测试

2. 作为干扰的 AP 与终端信道配置：

表5-18 AP共存测试信道配置

工作频率	待测设备信道配置	干扰设备的信道配置		
		同频场景	叠频场景	邻频场景
2.4 GHz	6	6	7	11
5 GHz	36	36	36（备注）	52

备注：此时应将带宽设置为 40MHz。

流程

1. 设置待测设备的工作模式为 802.11n 的默认配置。终端完成注册。
2. 配置作为干扰的设备对（含 AP 与终端）工作在与待测设备相同的信道上。干扰 AP 开始向干扰终端传输相同的流量模型。
3. 等待 10 秒钟。记录 120 秒内到达终端的下行吞吐量，并计算平均吞吐量。
4. 停止作为干扰的 AP 与终端的数据包传输。根据 5.4.2.3 叠频场景重新配置其信道。
5. 等待 10 秒钟。记录 120 秒内到达终端的下行吞吐量，并计算平均吞吐量。
6. 停止作为干扰的 AP 与终端的数据包传输。根据 5.4.2.3 邻频场景重新配置其信道。
7. 等待 10 秒钟。记录 120 秒内到达终端的下行吞吐量，并计算平均吞吐量。
8. 停止作为干扰的 AP 与终端的数据包传输。将干扰 AP 与终端进行去关联，并随后断电。
9. 设置待测设备的工作模式为 802.11ac 默认配置。终端完成注册。重复步骤 2-8。记录新工作频率的相应平均吞吐量。

备注：本测试用例中的平均吞吐量应为待测设备与干扰设备之和。

指标

为了通过测试用例，记录的结果应符合通过 / 失败条件，详述如下：

a. 在整个测试过程中未发生意外的去关联。
b. 测得的平均吞吐量（待测设备与干扰设备之和）应满足下表的要求：

表5-19 AP共存测试通过/失败条件

Wi-Fi 配置（待测设备）	Wi-Fi 配置（终端）	带宽（MHz）	吞吐量要求（Mbps）		
			同频	叠频	邻频
11n (Nss=2)	11n (Nss=2)	20	100	90	200
11ac (Nss=2)	11ac (Nss=2)	80	600	500	1200

5.4 家庭 Wi-Fi 网络承载超高清视频性能测试

5.4.1 家庭 Wi-Fi 网络承载超高清视频 KPI 极限性能测试

测试条件

- 使用弱干扰环境测试（5G 占空比小于 10%）；
- 测试一对 ONT（4*4 11ac）和 AP（2*2 11ac）；
- 组网为 PC1—LAN—ONT—WIFI—AP—LAN—PC2，PC1 和 PC2 运行 Iperf
- 测试所有 5G 信道的性能（36,52,100,149）；
- 测试 RSSI = -60dBm 和 RSSI = -68dBm(10 米 @ 一堵墙) 的 TCP 和 UDP 性能；
- 对于 UDP 性能测试，使用 Iperf -w200k，2 分钟一个粒度，记录 PER=0% 时的吞吐量；
- 对于 TCP 性能，使用 Iperf -w1500k 进行测量，2 分钟一个粒度，记录 TCP 吞吐量；

UDP 性能测试通过标准

RSSI = -60dBm 场景下和 RSSI = -68dBm 场景下，ONT 和 AP 的 PLR=0% 时的吞吐量要>=300Mbps。

UDP 性能测试结果

UDP 性能测试结果记录表见下表。

表5-20 UDP性能测试结果记录表（RSSI=-60dBm）

RSSI=-60dBm	CH36			CH52			CH100			CH149		
发包速率（Mbps）	丢包数	发包数	丢包率	丢包数	发包数	丢包率	丢包数	发包数	丢包率	丢包数	发包数	丢包率
200												
250												
300												
310												
320												
330												
340												
350												
360												
370												
380												
390												
400												
410												

表5-20 UDP性能测试结果记录表（RSSI=-68dBm）

RSSI=-68dBm	CH36			CH52			CH100			CH149		
发包速率（Mbps）	丢包数	发包数	丢包率	丢包数	发包数	丢包率	丢包数	发包数	丢包率	丢包数	发包数	丢包率
200												
250												
300												
310												
320												
330												
340												
350												
360												
370												
380												

TCP 性能测试通过标准

RSSI = -60dBm 场景下，ONT 和 AP 的吞吐量要 >=350Mbps，RSSI = -68dBm 场景下，ONT 和 AP 的吞吐量要 >=200Mbps。

TCP 性能测试结果

TCP 性能测试结果记录表见下表。

表5-21 TCP性能测试结果记录表

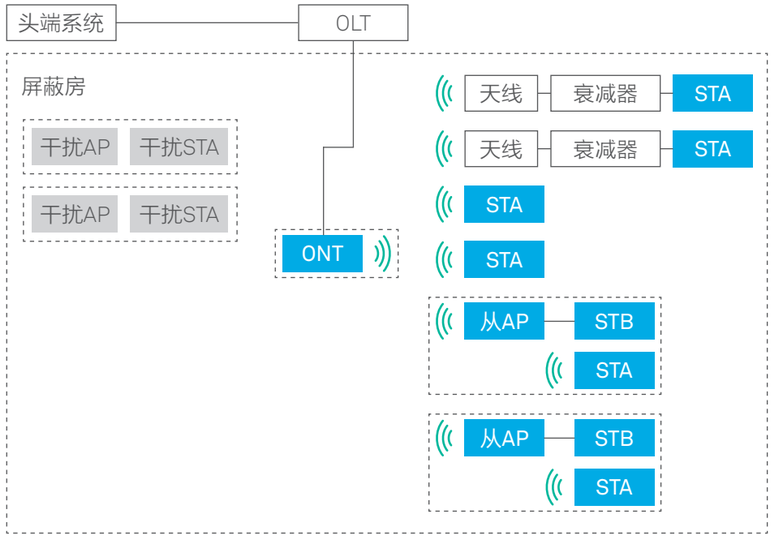
信道	RSSI=-60dBm	RSSI=68dBm
	吞吐量（Mbps）	吞吐量（Mbps）
36		
50		
100		
149		

5.4.2 Octoscope(屏蔽箱) 测试设备 Wi-Fi 承载超高清视频场景下的抗干扰能力

测试条件

在干扰场景下测试 ONT 和 AP 4K WiFi 承载视频不卡顿的边界，要求在典型 RSSI>-68dBm , 5G 占空比小于 80% 时， ONT 和 AP 之间 WiFi 空口丢包小于 1%，4K 视频都不卡顿。

图5-10 设备Wi-Fi承载超高清视频场景下的抗干扰能力测试组网



典型测试场景的测试参数建议如下：

表5-22 典型测试场景的测试参数建议

参数名称	干扰场景 1	干扰场景 2	干扰场景 3	干扰场景 4
4K视频路数	1	1	2	2
AP信号强度	>=-68dBm	>=-68dBm	>=-68dBm	>=-68dBm
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	NA	NA	NA	NA
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

通过标准

在干扰场景下测试 ONT 和 AP 4K WiFi 承载视频不卡顿的边界，要求在典型 RSSI>-68dBm , 5G 占空比小于 80% 时， ONT 和 AP 之间 WiFi 空口平均丢包率小于 1%，4K 视频都不卡顿。

测试结果

Octoscope(屏蔽箱) 设备 Wi-Fi 承载超高清视频场景下的抗干扰能力测试结果记录表见下表。

表5-23 屏蔽箱设备Wi-Fi承载超高清视频场景下的抗干扰能力测试结果记录表

场景	ONT 5G 占空比	空口丢包率	视频是否卡顿
场景 1			
场景 2			
场景 3			
场景 4			

5.4.3 Wi-Fi 承载超高清视频稳定性测试

测试条件

- 使用家居环境测试；
- 测试一个 ONT（4*4 11ac）和 2 个 AP（2*2 11ac）通过 WiFi 连接；
- 采用固定 5G 信道测试；
- 两个 AP 选择 RSSI = -60dBm 和 RSSI = -68dBm 测试 UDP 性能数据；
- 4 小时稳定性测试，在每个 AP 上使用 50 Mbps UDP 流量进行测试。

通过标准

- 对于 UDP 性能，使用 Iperf -w200k，15 分钟一个粒度，通过标准是 PER=0% 包丢失；
- 4 小时稳定性测试，PER 小于 10exp-8。

测试结果

Wi-Fi 承载超高清视频稳定性测试结果记录表见下表。

表5-24 Wi-Fi承载超高清视频稳定性测试结果记录表

AP 到 ONT RSSI	UDP 流量大小	测试时长	测试结果
-60dBm	50Mbps	4 小时	
-68dBm	50Mbps	4 小时	

5.4.4 真实家庭环境九宫格测试

测试条件

需要选取典型家庭九宫格场景，每层三套，一共三层，共计九套二室一厅。

典型户型图

图5-11 典型户型图

3D 户型图

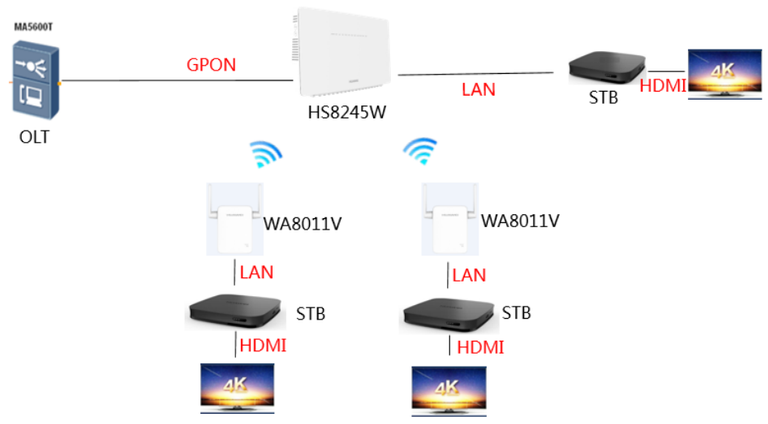
图5-12 3D户型图

测试环境及组网

每套房子 2 路 4K，ONT 位于客厅，两路 AP 分别位于主卧和次卧，具体位置参见户型图；

ONT 和 AP，一路 STB 通过有线接到 ONT 的 LAN 口，另外两路 STB 通过有线连到 AP 的 LAN 口，如下图所示：

图5-13 测试组网图



ONT 推荐 4*4 11ac + 2*2 11n 以上配置， AP 推荐 2*2 11ac +2*2 11n 以上配置。

验证 AP 接收 ONT 信号强度分别为 -60dBm，-68dBm，-75dBm 时的结果；

分别测试 4 个手机都在客厅连到 ONT 下的吞吐量，每个 AP 附近各接入 2 个手机时的吞吐量，打流时每手机打 5 条 BE 不限速流量；

测试环境信道配置按照各个信道规划配置。

邻居干扰情况扫描

分别在被测房间 1702 扫描九宫格所有部署好的 ONT 和 AP RSSI 及强度，结果列表如下：

被测房间客厅（如下面形式记录）：

表5-25 被测房间客厅记录表

SSID Name	Signal Strength (dBm)
202-5G	-46
202-5G	-46
302-5G	-70
302-5G	-48
302-5G	-70
203-5G	-82
203-5G	-84
303-5G	-86

被测房间主卧（如下面形式记录）：

表5-26 被测房间主卧记录表

SSID Name	Signal Strength (dBm)
202-5G	-51
202-5G	-55
302-5G	-70
302-5G	-54
302-5G	-82
103-5G	-92
102-5G	-84
102-5G	-82
102-5G	-59
201-5G	-85
201-5G	-93
203-5G	-88
203-5G	-71
303-5G	-93
303-5G	-78

被测房间次卧（如下面形式记录）：

表5-27 被测房间次记录表

SSID Name	Signal Strength (dBm)
202-50	-50
202-5G	-51
302-5G	-64
302-5G	-77
302-5G	-72
101-5G	-95
101-5G	-91
102-5G	-84
102-5G	-84
102-5G	-65
201-5G	-85
201-5G	-77
201-5G	-53
301-5G	-87
301-5G	-95

2 个 5G Band 信道干扰场景视频承载测试

信道规划

表5-28 信道规划表

房间	R01	R02	R03
3 楼	36	149	36
2 楼	149	36	149
1 楼	36	149	36

通过标准

要求在此场景下，ONT 的 5G 占空比小于 80% 时，ONT 和 AP 之间 WiFi 空口平均丢包率小于 1%，4K 视频都不卡顿。

记录测试结果

2 个 5G Band 信道干扰场景视频承载测试结果记录表见下表。

表5-29 2个5G Band信道干扰场景视频承载测试结果记录表

AP 接收信号强度	ONT + 2 * AP + STB					
	ONT 下接 4 个 STA 吞吐量 (Mbps)	视频体验（是否卡顿）	AP 各下接 2 个 STA 吞吐量（Mbps）	ONT 5G 占空比	ONT 和 AP 间 的 WiFi 空口丢包率	视频体验（是否卡顿）
-60dBm						
-68dBm						
-75dBm						

3 个 5G Band 信道干扰场景视频承载测试

信道规划

表5-30 信道规划表

房间	R01	R02	R03
3 楼	36	52	149
2 楼	149	36	52
1 楼	52	149	36

通过标准

要求在此场景下，ONT 的 5G 占空比小于 80% 时，ONT 和 AP 之间 WiFi 空口平均丢包率小于 1%，4K 视频都不卡顿。

记录测试结果

2 个 5G Band 信道干扰场景视频承载测试结果记录表见下表。

表5-31 3个5G Band信道干扰场景视频承载测试结果记录表

AP 接收信号强度	ONT + 2 * AP + STB					
	ONT 下接 4 个 STA 吞吐量 (Mbps)	视频体验（是否卡顿）	AP 各下接 2 个 STA 吞吐量（Mbps）	ONT 5G 占空比	ONT 和 AP 间 的 WiFi 空口丢包率	视频体验（是否卡顿）
-60dBm						
-68dBm						
-75dBm						

测试方法

4 个 5G Band 信道干扰场景视频承载测试

信道规划

表5-32 信道规划表

房间	R01	R02	R03
3 楼	52	100	52
2 楼	149	36	149
1 楼	52	100	52

通过标准

要求在典型 RSSI>-68dBm , 5G 占空比小于 80% 时， ONT 和 AP 之间 WiFi 空口平均丢包率小于 1%，4K 视频都不卡顿。

记录测试结果

表5-33 4个5G Band信道干扰场景视频承载测试结果记录表

AP 接收信号强度	ONT + 2 * AP + STB					
	ONT 下接 4 个 STA 吞吐量 (Mbps)	视频体验（是否卡顿）	AP 各下接 2 个 STA 吞吐量 (Mbps)	ONT 5G 占空比	ONT 和 AP 间 的 WiFi 空口丢包率	视频体验（是否卡顿）
-60dBm						
-68dBm						
-75dBm						

06 附录

实例化测试设置（资料性附录）

附录提供了测试设置的实例，用作为执行测试计划的指导。测试设备的选择超出了本文的范围。

测试设置：通过 TCP 或 UDP 传输 IP 报文

如果测试中需要 TCP/UDP 流量，则数据包发生器 / 分析仪应为 IP 流量发生器 / 分析仪。TCP 流量的性能统计应该来自 TCP 流量的发送方（数据包发生器），而 UDP 流量的性能统计报告则应该从接收方（数据包分析器）发送到发送方（数据包分析器）。

图6-1 使用不同的流量发生器/分析仪传输TCP与UDP数据

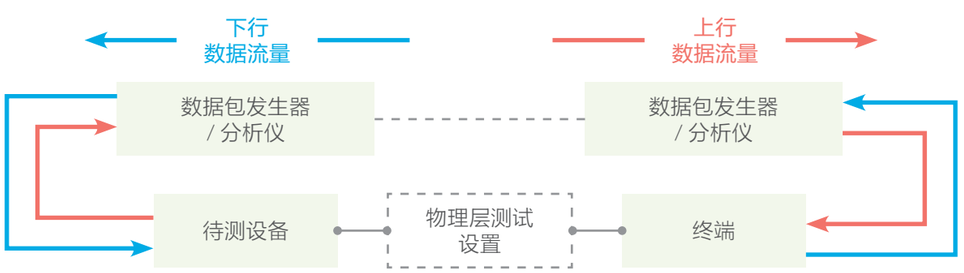


图 6-1 给出了一个在测试中使用 TCP/UDP 流量时的典型示例。两个独立的数据包发生器 / 分析器用于数据包生成 / 分析。在这种情况下，终端应该提供接口以接收 / 转发来自 / 到终端侧的数据包。

图6-2 使用单一专用流量发生器/分析仪产生TCP/UDP数据

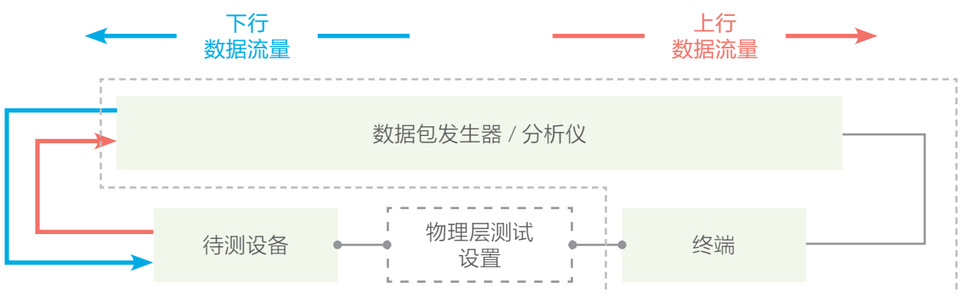


图 6-2 给出了使用TCP/UDP流量的另一个示例。测试中使用了单一专用的数据包发生器/分析仪。

图6-3 使用独立终端产生TCP/UDP数据

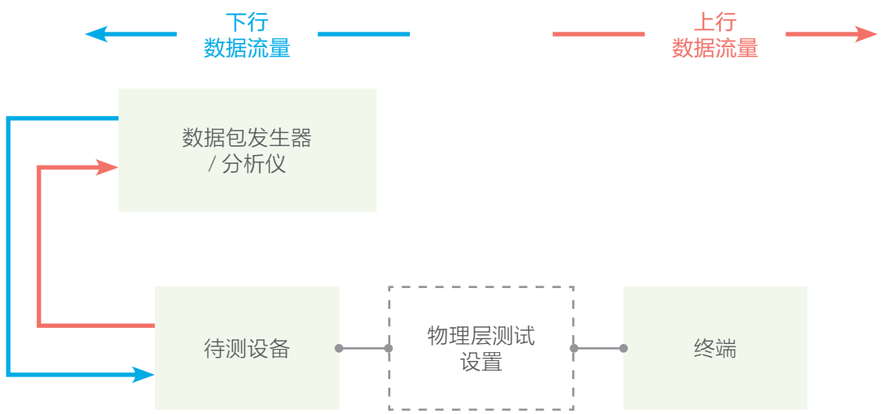


图 6-3 给出了使用 TCP/UDP 流量的另一个示例。在测试中使用独立的终端（即能够生成 / 分析 IP 业务）。额外的软件应该是必要的，以实现终端侧的数据包产生 / 接收 / 分析。软件的实现超出了本文的范围。

测试设置：使用 L2 层以太网包

如果测试中需要 L2 层以太网数据包，待测设备侧的数据包发生器 / 分析器和终端侧的数据包发生器 / 分析仪可以位于同一个盒子（例如 Testcenter）中。

图 6-4 给出了在测试中使用 L2 层以太网流量时的典型示例。 常见的数据包发生器 / 分析仪提供双向数据包生成 / 接收。在这种情况下，终端应该提供接口以接收 / 转发来自 / 到终端侧的数据包。

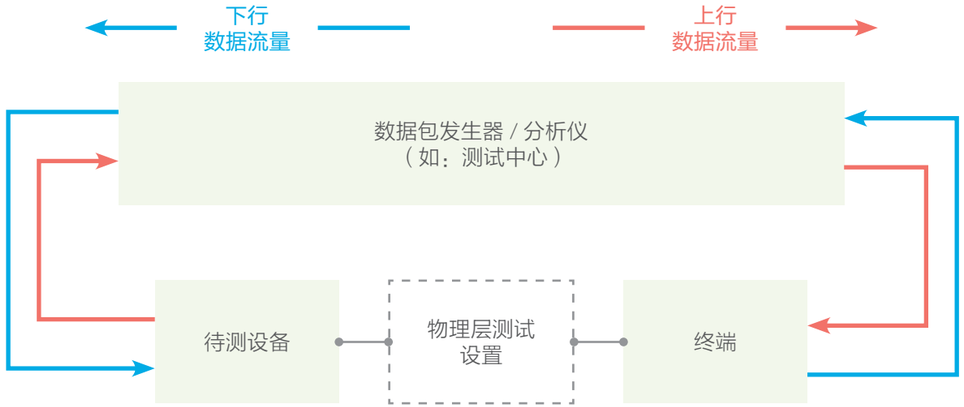



图6-4 使用一个公共的数据包发生器/分析仪产生L2层以太网包