

ICS33.060.99/35.110

CCS M36/L78



世界无线局域网应用发展联盟标准

T/WAA 007-2024

家庭场景 WLAN 设备组网性能及体验 技术要求

Technical specifications for home scenario wireless local area network (WLAN)
devices networking performance and experience

2024-03-26 发布

2024-03-26 试行

世界无线局域网应用发展联盟 (WAA) 发布

目 录

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 性能要求和场景定义术语.....	1
3.2 性能指标和WLAN相关术语.....	2
4 缩略语.....	3
5 家庭场景网络结构及设备组成.....	4
5.1 家庭场景网络组网结构.....	4
5.2 设备定义.....	4
6 家庭场景WLAN设备组网性能要求概述.....	4
6.1 家庭场景WLAN设备组网基础性能概述.....	4
6.2 家庭场景WLAN设备组网承载的业务KPI&KQI概述.....	5
7 家庭场景WLAN设备组网基础性能要求.....	5
7.1 带宽.....	5
7.2 时延.....	11
7.3 漫游.....	14
7.4 连接.....	17
7.3 智能运维.....	19
7.4 安全.....	19
8 家庭场景WLAN设备组网业务体验场景定义及体验要求.....	20
8.1 家庭综合场景分类.....	20
8.2 典型现网家庭组网场景一.....	20
8.3 典型现网家庭组网场景二.....	22
附 录 A（资料性） 常见障碍物信号衰减参考值.....	26

图 1 网络结构示意图.....	4
图 2 家庭场景WLAN设备组网性能指标.....	5
图 3 家庭场景业务KQI指标.....	5
图 4 有线组网极限性能场景示意图.....	6
图 5 无线组网极限性能场景示意图.....	6
图 6 设备组网并发带宽场景示意图（有线介质组网）.....	7
图 7 多设备组网并发带宽场景示意图（有线介质组网）.....	7
图 8 多设备组网多用户远近分布并发场景（有线组网）.....	8
图 9 多设备组网多用户远近分布并发场景（无线组网）.....	8
图 10 多AP单用户UDP业务并发时延示意图.....	12
图 11 多AP多用户TCP业务并发时延.....	12
图 12 家庭组网中主-从设备间漫游场景示意图.....	15
图 13 家庭组网中从-从设备间漫游场景示意图.....	15
图 14 多用户并发吞吐场景.....	18
图 15 两热点家庭场景示意图.....	21
图 16 五口之家并发WLAN业务示意图.....	23
表 1 单用户接入组网主设备及从设备的带宽要求.....	8
表 2 多AP下挂单STA并发吞吐量性能要求.....	9
表 3 多用户远近吞吐量性能要求.....	10
表 4 多用户接入多设备组网场景下UDP并发时延.....	13
表 5 多用户接入组网设备场景下TCP并发时延.....	13
表 6 漫游切换时延指标要求.....	16
表 7 漫游切换吞吐性能指标要求.....	16
表 8 连接性能指标要求.....	18
表 9 典型家庭组网场景综合业务体验KPI指标要求一.....	22
表 10 典型家庭组网场景综合业务体验KPI指标要求二.....	24

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利权和著作权。本文件的发布机构不承担识别专利和著作权的责任。世界无线局域网应用发展联盟不对标准涉及专利的真实性、有效性和范围持有任何立场；不涉足评估专利对标准的相关性或必要性；不参与解决有关标准中所涉及专利的使用许可纠纷等。

本文件由世界无线局域网应用发展联盟标准委员会提出并归口。

本文件由世界无线局域网应用发展联盟拥有版权，未经允许，严禁转载。

本文件起草单位：中国信息通信研究院、中国移动通信集团有限公司、中国电信集团有限公司、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、新华三技术有限公司、烽火通信科技股份有限公司、上海海思技术有限公司、思博伦通信科技有限公司、灿芯技术（深圳）有限公司、杭州永谐科技有限公司、极致汇仪科技有限公司、中国电子技术标准化研究院、中国质量认证中心、瑞晟微电子苏州有限公司、耕兴股份有限公司。

本文件主要起草人：程习学、陈洁、赵航斌、汤宪飞、任虎、邹长明、韩晓亮、江韦、张晔。

家庭场景 WLAN 设备组网性能及体验技术要求

1 范围

本文件规定了家庭场景WLAN设备带宽、时延、漫游、连接等组网性能及业务体验的技术要求。

本文件适用于FTTR、mesh无线组网路由器、家用AC+AP、家用PLC的设计、开发、生产及测试，以及WAA联盟对家庭场景WLAN设备组网性能和体验测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 Std. 802.11-2020（IEEE信息技术标准系统间远程通信和信息交换局域网和城域网特定要求第11部分：无线局域网媒体访问控制（MAC）和物理层（PHY）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

3 术语和定义

3.1 性能要求和场景定义术语

3.1.1

场景 scenario

泛指系统和系统运行。系统包括终端、网络、无线传播环境、服务器、使用人等。系统运行包括子系统和部件在具体使用中的交互条件，包括各种影响网络性能和业务性能的元素，比如手机与无线路由器距离3m、用户参加视频会议等。

3.1.2

家庭场景 home scenario

本文中“家庭场景”指用户在家里使用网络进行学习、娱乐、社会生产等活动中涉及的网络元素（上网设备、互联网业务、终端等）组成的业务场景。

3.1.3

场景模型 scenario model

为了模拟用户使用的网络环境，提出的终端、网络、无线传播环境等用户使用环境要素和设备要求的集合，用以配置测试床，构建性能测试的综合系统。不同的网络基础性能要求和业务性能要求可能使用不同的场景模型，以反应被测设备不同的实际使用环境。

3.1.4

基础性能要求 basic performance requirements

网络使用者使用网络过程中，对网络性能的基础评估要求，例如带宽、接入终端连接能力、覆盖、时延等指标，大部分指标是对设备的要求，也有部分指标是组网要求，例如漫游能力。网络基础性能要求可以支撑业务性能要求的评估。

3.1.5

业务性能要求 service performance requirements

从使用网络的应用出发，评估网络对多业务使用网络的性能要求。明确使用网络的业务类型、业务数量以及各业务类型的占比，与典型组网模型，模拟贴近用户实际使用环境，评估网络对应用体验的支撑能力。性能要求包括人对交互式系统的体验（包括不限于视频卡顿、语音延迟、操作延迟等）。

3.1.6

测试床 testbed

由终端、网络和无线传播环境等要素构成，用于模拟用户使用的网络环境，可以修改环境参数、网络参数和终端参数完成设备、网络、业务的性能测试的综合系统。

3.2 性能指标和 WLAN 相关术语

3.2.1

时延 latency

针对不同业务网络需要保障的端到端时延。

3.2.2

丢包率 packet loss ratio

未发送成功报文个数占总报文个数的比例。

3.2.3

业务并发 service concurrency

同一时间段内实际接入网络的用户同时使用网络或者业务。

3.2.4

2.4GHz

泛指设备使用国家允许无线局域网使用的2.4GHz频段频谱，每个国家规定可以使用的频谱不尽相同，设备需遵从使用国家对应射频技术要求以及干扰规避技术要求（例如：中华人民共和国允许无线局域网使用的2.4GHz频段频率范围：2400MHz-2483.5MHz）。

3.2.5

5GHz

泛指设备使用国家允许无线局域网使用的5GHz频段频谱，每个国家规定可以使用的频谱不尽相同，设备需遵从使用国家对应射频技术要求以及干扰规避技术要求（例如：中华人民共和国允许无线局域网使用5GHz频段频率范围：5150MHz-5350MHz、5725MHz-5850MHz）。

3.2.6

频宽 channel bandwidth

不同频段20MHz、40MHz、80MHz、160MHz，应遵从使用国家频谱划分要求。

3.2.7

干扰 interference

由于一种或多种发射、辐射、感应或其组合所产生的无用能量对无线电通信系统的接收产生的影响，其表现为性能下降、误解、或信息丢失，若不存在这种无用能量，则此后果可以避免。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AC: 接入控制器 (Access Controller)

AP: 接入点 (Access Point)

CSMA/CA: 带冲突避免的载波侦听多路访问 (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance)

FTTR: 光纤到房间 (Fiber to The Room)

IP: 互联网协议 (Internet Protocol)

IPTV: 网络电视 (Internet Protocol Television)

KPI: 关键性能指标 (Key Performance Indicator)

KQI: 关键质量指标 (Key Quality Indicator)

LAN: 局域网 (Local Area Network)

MAC: 媒质接入控制 (Media Access Control)

MTU: 最大发送单元 (Maximum Transmission Unit)

NSS: 空间流数量 (Number of Spatial Stream)

OPEN-SYS: 开放系统 (Open System)

OWD: 单向延时 (One-Way Delay)

PHY: 物理层 (Physical Layer)

RTT: 往返时间 (Round Trip Time)

SAE: 对等同步认证 (Simultaneous Authentication of Equals)

SSID: 服务集标识 (Service Set Identifier)

STA: 工作站 (Station)

TCP: 传输控制协议 (Transmission Control Protocol)

TID: 流量标识 (Traffic Identifier)

UDP: 用户数据报协议 (User Datagram Protocol)

WEP: 有线等效保密 (Wired Equivalent Privacy)

WLAN: 无线局域网 (Wireless Local Area Network)

WPA: WLAN安全接入协议 (WLAN Protected Access)

WPA3: WLAN安全接入协议3 (WLAN Protected Access3)

XR: 扩展现实 (Extended Reality)

5 家庭场景网络结构及设备组成

5.1 家庭场景网络组网结构

网络包括家庭网络、接入网、城域网、骨干网和运营商互联部分，见图1，每部分定义如下：

- 家庭网络段：指用户终端到接入网用户端设备及子设备的网络侧接口部分；
- 接入网段：指接入网用户端设备网络侧接口到接入网局端设备网络侧接口部分；
- 城域网段：指接入网局端设备的网络侧接口到城域网出口部分；
- 骨干网+服务器段：指城域网出口到服务器部分。

本文件重点关注家庭网络段的WLAN性能及体验指标技术要求。

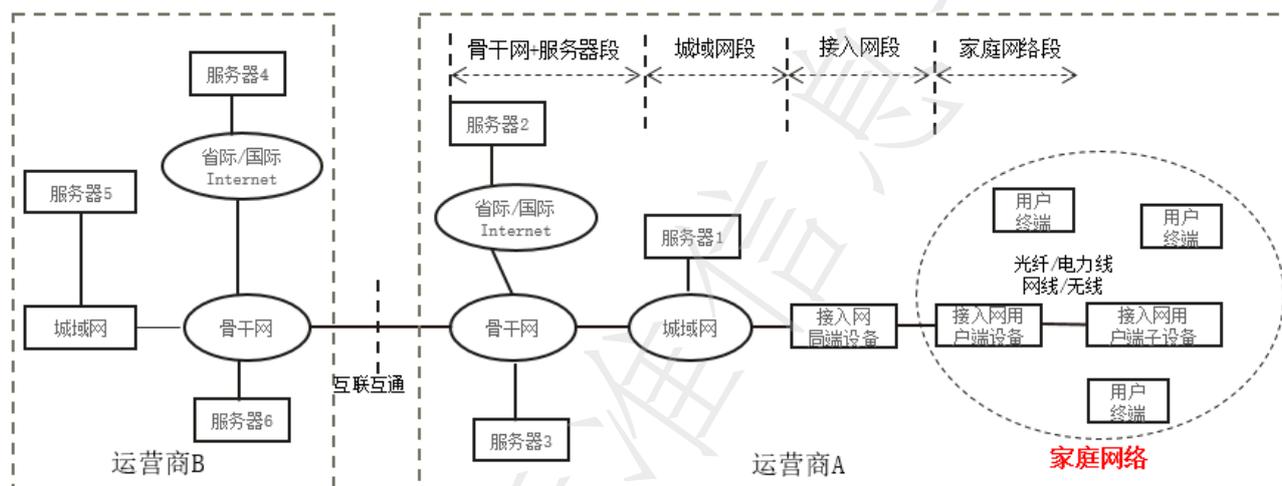


图 1 网络结构示意图

5.2 设备定义

家庭场景下产品形态主要包括家庭网关、无线路由器、无线路由器组网套装、FTTR组网套装等设备。基于家庭中的网络设备的个数，将家庭场景下的被测对象分为单网关或单路由产品、以及由多个设备组成的家庭组网。

单设备：家庭网关或者无线路由器。

家庭设备组网：FTTR、无线组网路由器、家用AC+AP、家用PLC组网，本文件仅对组网环境下的家庭WLAN设备进行规范。

6 家庭场景 WLAN 设备组网性能要求概述

6.1 家庭场景 WLAN 设备组网基础性能概述

针对家庭场景中的多设备组网场景，见图2，带宽、时延、连接、漫游、绿色安全及智能运维是保障家庭WLAN业务体验的六大网络性能指标。

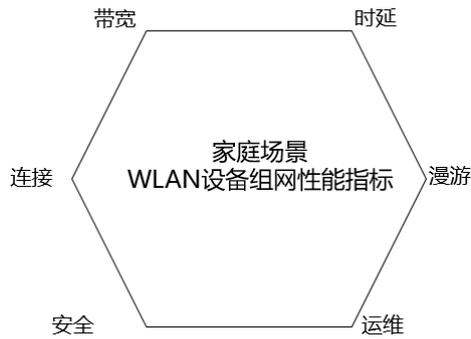


图 2 家庭场景WLAN设备组网性能指标

6.2 家庭场景 WLAN 设备组网承载的业务 KPI&KQI 概述

家庭场景业务包括语音、网页浏览、上传/下载、IPTV、手机游戏、云游戏、互联网视频、远程教育/在线教育以及云VR等。针对如上业务，影响用户的业务体验感知的网络相关的KQI指标见图3：

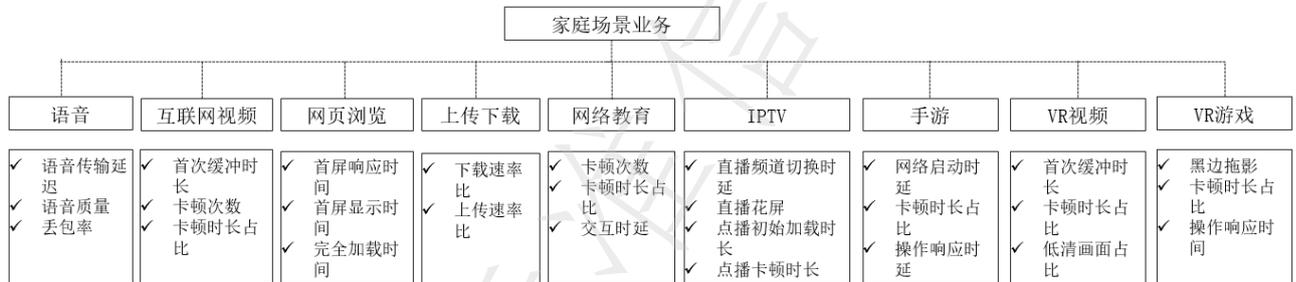


图 3 家庭场景业务KQI指标

家庭场景下业务KQI的指标是指影响用户体验的且用户可感知到的指标，如操作时长、卡顿占比等；站在网络KPI角度，影响某个业务的KQI指标的网络要素主要包括如下几个指标：

- 业务需要的最小带宽；
- 业务需要满足的最大时延和时延抖动；
- 业务需要满足的最大丢包率。

本规范定义的业务体验场景，主要是通过构造综合的家庭场景，评估某个典型场景下各个业务应用的带宽、时延、时延抖动和丢包率指标。

7 家庭场景 WLAN 设备组网基础性能要求

7.1 带宽

7.1.1 带宽参数和场景模型

7.1.1.1 带宽参数

带宽参数是指单用户使用WLAN网络时能获取的最大性能指标。在家庭场景下，带宽指标直接影响了测速、数据下载、8K视频、云游戏等带宽要求高的业务的体验。

针对多设备组网场景，WLAN接口的带宽指标主要是针对组网主设备和组网从设备（对于AC+AP组网，主要针对AP）WLAN接口的最大吞吐量及组网场景下多个AP的并发吞吐量。

7.1.1.2 家庭组网带宽场景模型 1：无干扰场景主从设备极限性能

理想条件下（无干扰），用户近距离接入到组网主设备及组网从设备（对于AC+AP组网，主要针对AP），获取组网主设备及组网从设备（对于AC+AP组网，主要针对AP）单一频段的最大吞吐量。在多个热点组网的场景下，不同的组网介质对用户获取的带宽性能有影响，本规范把家庭组网场景连接介质分为两类：有线组网介质和无线组网介质。其中有有线介质包含网线、光纤和PLC，无线介质主要为WLAN空口，见图4，以光纤组网为例定义有线组网介质的极限性能场景，见图5，定义无线组网介质的极限性能场景。

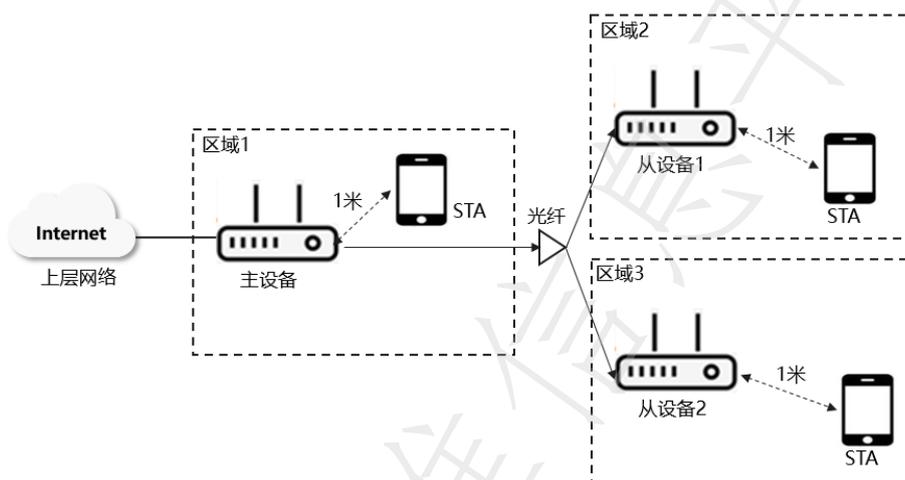


图 4 有线组网极限性能场景示意图

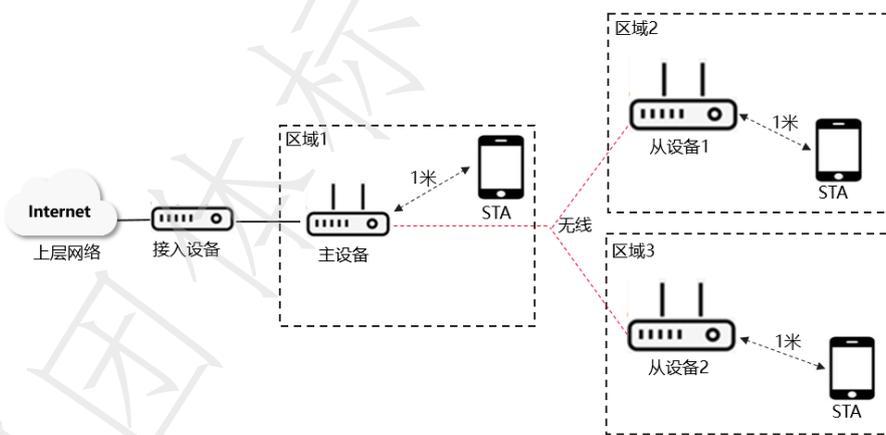


图 5 无线组网极限性能场景示意图

该场景下，主要测量组网主设备及组网从设备（对于AC+AP组网，主要针对AP）在理想空口条件下的TCP业务承载能力，为测试出极限TCP承载能力，空口条件有如下约束：

- 环境中无除组网内的干扰源外无其他同频段的干扰源，包含WLAN干扰源（如其他网关或者路由器设备）和非WLAN干扰源（如蓝牙、无绳电话、微波炉设备等）；
- 使用的STA（手机或者便携式计算机或者无线网卡等）与家庭组网设备间无其他障碍物，视距距离1m；
- 接入用户数为1个；

——场景中定义的TCP业务流的报文长度取决于服务器和客户端间网络路径的MTU值，默认MTU为1500Byte。

7.1.1.3 家庭组网带宽场景模型 2：多 AP 下挂近距离用户时整网并发带宽

理想条件下（无干扰），多用户近距离接入组网主设备及组网从设备（对于AC+AP组网，主要针对AP）时，获取的多AP并发最大吞吐量。见图6、图7，定义多个用户同时接入组网主设备及组网从设备（对于AC+AP组网，主要针对AP）时的并发带宽场景。

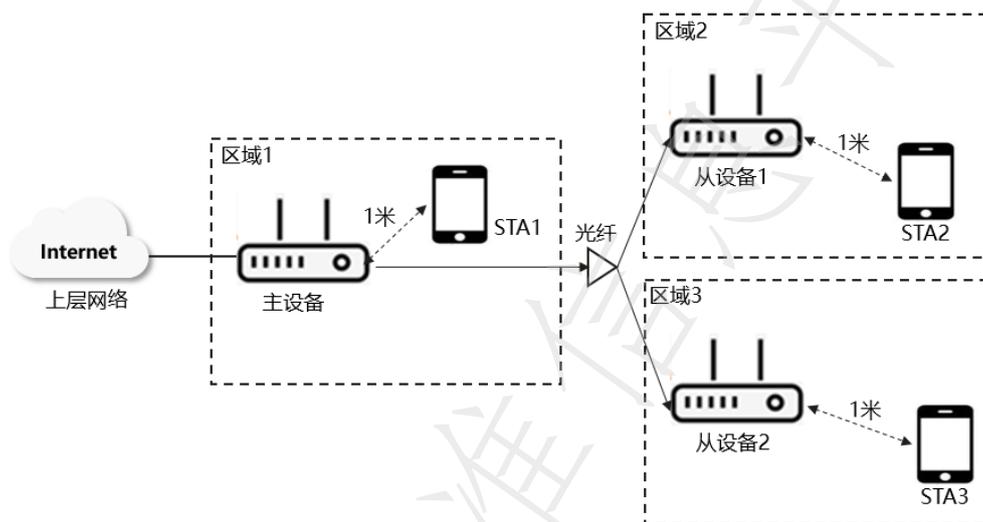


图 6 设备组网并发带宽场景示意图（有线介质组网）

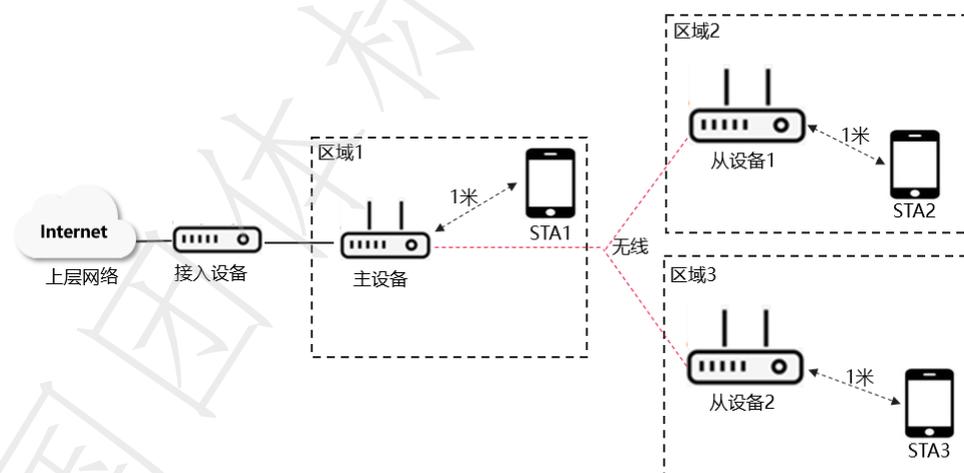


图 7 多设备组网并发带宽场景示意图（有线介质组网）

该场景下，多个用户均近距离并发接入到组网主设备和组网从设备上，主要测量在家庭组网场景下多AP并发时TCP业务的承载能力，为测试出多AP并发场景下的极限TCP承载能力，空口条件有如下约束：

- 环境中无除组网设备外的其他同频段的干扰源，包含WLAN干扰源（如其他网关或者路由器设备）和非WLAN干扰源（如蓝牙、无绳电话、微波炉设备等）；
- 使用的STA（手机或者便携式计算机或者无线网卡等）与家庭组网设备间无其他障碍物，视距距离1m；

- 接入用户数与组网下AP个数相同；
- 场景中定义的TCP业务流的报文长度取决于服务器和客户端间网络路径的MTU值，默认MTU为1500Byte。

7.1.1.4 家庭组网带宽场景模型 3：多 AP 下挂近距离用户时整网并发带宽

理想条件下（无干扰），多用户分布在不同距离接入组网主设备及组网从设备时，获取的多AP并发最大吞吐量。见图8、图9，定义不同距离的用户同时接入组网主设备及组网从设备时的并发带宽场景。

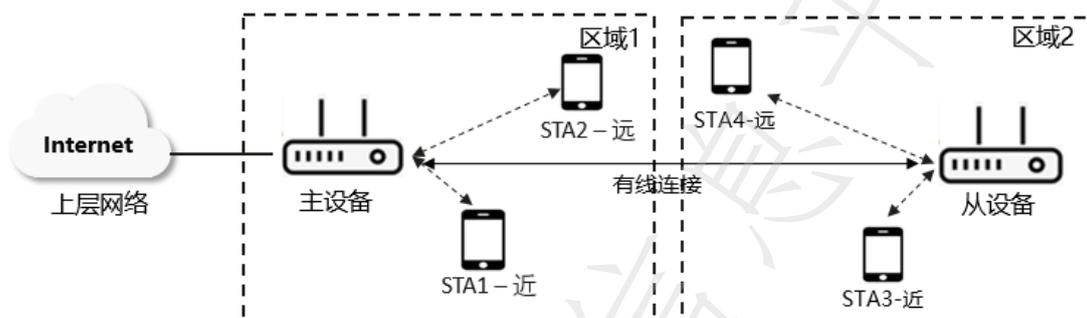


图 8 多设备组网多用户远近分布并发场景（有线组网）

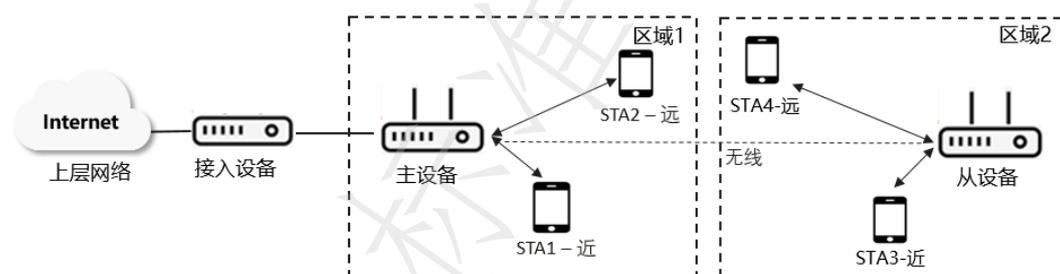


图 9 多设备组网多用户远近分布并发场景（无线组网）

该家庭组网场景下，组网主设备和组网从设备存在近距离用户和远距离用户接入，此场景下，信号较弱的用户在整网空口资源调度中容易得不到较好的调度机会，导致业务体验得不到保障。通过测量整网远近距离用户并发的整网性能及弱信号用户的带宽来评估此场景下整网带宽能力。

空口条件有如下约束：

- 环境中无除组网设备外的其他同频段的干扰源，包含WLAN干扰源（如其他网关或者路由器设备）和非WLAN干扰源（如蓝牙、无绳电话、微波炉设备等）；
- 使用的STA（手机或者便携式计算机或者无线网卡等）与家庭组网设备间无其他障碍物，
- 近距离用户距离1m，远距离用户距离10m
- 场景中定义的TCP业务流的报文长度取决于服务器和客户端间网络路径的MTU值，默认MTU为1500Byte。

7.1.2 带宽要求

理想条件下（无干扰），用户近距离接入到组网主从设备时，获取单一频段的最大吞吐量性能要求见表1：

表 1 单用户接入组网主设备及从设备的带宽要求

组网类型	主从设备	终端WLAN 配置	协议模式	带宽 (MHz)	下行带宽要求 (Mbps)
FTTR 光纤回传	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	1500
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	1500
	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	750
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	750
无线路由器 组网 或AC+AP组网 ¹ 网线回传	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	1500
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	900
	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	750
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	750
路由器PLC组网 PLC回传	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	1200
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	600
	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	800
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	600
路由器组网 无线回传	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	1500
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	300
	主设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	750
	从设备	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	150

Note 1: 在有线回传场景中, AC+AP组网只关注从设备指标。

理想条件下（无干扰），多个用户分别近距离接入到组网主从设备时，整网最大并发吞吐量性能要求见表2：

表 2 多AP下挂单STA并发吞吐量性能要求

组网内 AP个数	单AP下挂 STA 个数	组网 类型	终端WLAN配置	协议模式	AP的信道 是否相同	带宽 (MHz)	总吞吐量要求 (Mbps)
3	1	FTTR 光纤回传	5GHz (Nss=2)	802.11ax	相同	160MHz	2000
3	1	路由器 或AC+AP组	5GHz (Nss=2)	802.11ax	相同	160MHz	2000

		网 ¹ 网线回传					
3	1	路由器PLC 组网 PLC回传	5GHz (Nss=2)	802.11ax	相同	160MHz	1000
3	1	路由器组网 无线回传	5GHz (Nss=2)	802.11ax	相同	160MHz	400
3	1	FTTR 光纤回传	5GHz (Nss=2)	802.11ax	不同	80MHz	2250
3	1	路由器 或AC+AP组 网 ¹ 网线回传	5GHz (Nss=2)	802.11ax	不同	80MHz	2250
3	1	路由器PLC 组网 PLC回传	5GHz (Nss=2)	802.11ax	不同	80MHz	600
3	1	路由器组网 无线回传	5GHz (Nss=2)	802.11ax	相同	80MHz	200

理想条件下（无干扰），多个用户分别近距离及远距离接入到组网主从设备时，整网最大并发总吞吐量及单个STA最小吞吐性能要求见表3：

表 3 多用户远近吞吐量性能要求

组网 内AP 个数	单AP下 挂STA 个数	组网 类型	STA信号强度分 布	终端WLAN 配置	协议模式	带宽(MHz)	总吞吐量 要求 (Mbps)	最小吞吐量 要求 (Mbps)
2	2	FTTR 光纤回传	近：[-30±2] 远：[-55±2]	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	1200	100
2	2	路由器 或AC+AP组 网 ¹ 网线回传	近：[-30±2] 远：[-55±2]	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	1000	100

2	2	路由器PLC 组网 PLC回传	近: $[-30 \pm 2]$ 远: $[-55 \pm 2]$	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	800	50
2	2	路由器组网 无线回传	近: $[-30 \pm 2]$ 远: $[-55 \pm 2]$	5GHz (Nss=2)	802.11ax	160MHz	300	25
2	2	FTTR 光纤回传	近: $[-30 \pm 2]$ 远: $[-55 \pm 2]$	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	1200	150
2	2	路由器 或AC+AP组 网 ¹ 网线回传	近: $[-30 \pm 2]$ 远: $[-55 \pm 2]$	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	1200	150
2	2	路由器PLC 组网 PLC回传	近: $[-30 \pm 2]$ 远: $[-55 \pm 2]$	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	400	50
2	2	路由器组网 无线回传	近: $[-30 \pm 2]$ 远: $[-55 \pm 2]$	5GHz (Nss=2)	802.11ax	80MHz	150	20

7.2 时延

7.2.1 时延参数和场景模型

7.2.1.1 时延参数

时延参数是指数据从网络（或链路）的一端到另一端所需要的时间，主要包括发送时延、传播时延、排队时延和处理时延。

传统的时延指标中，主要包含两种时延指标，一种是RTT（Round Trip Time）时延，另外一种是OWD（One-Way Delay）时延，不同时延指标应用于不同场景，对于TCP业务交互的时延，一般使用RTT时延来评估，对于UDP业务场景，一般使用OWD时延评估。

区别于单设备的业务时延场景，在家庭组网场景下，由于多AP并发而产生了组网内干扰，而这种干扰会对时延敏感型业务体验有较大影响。

为准确评估家庭设备组网的WLAN接口的时延，本文件统一规定时延的测量起始点和截止点如下：

- 双向时延：家庭组网主设备的UNI接口连接的业务服务器到WLAN终端（此终端可接入到主设备上也可接入到从设备上）的往返时延；
- 下行单向时延：起始于家庭组网主设备的UNI接口连接的业务服务器，截止于WLAN终端（此终端可接入到主设备上也可接入到从设备上）；
- 上行单向时延：起始于WLAN终端（此终端可接入到主设备上也可接入到从设备上），截止于家庭组网主设备的UNI接口连接的业务服务器。

基于不同业务类型、数据包大小、空口并发条件，将时延指标定义为如下场景。

7.2.1.2 家庭组网时延场景模型 1：多 AP 单用户 UDP 业务并发

组网场景下，多AP单用户UDP业务并发时延场景见图10，主从设备下各接入一个WLAN用户终端，每个用户终端距离其连接的AP设备为10m，同时运行UDP类型业务。

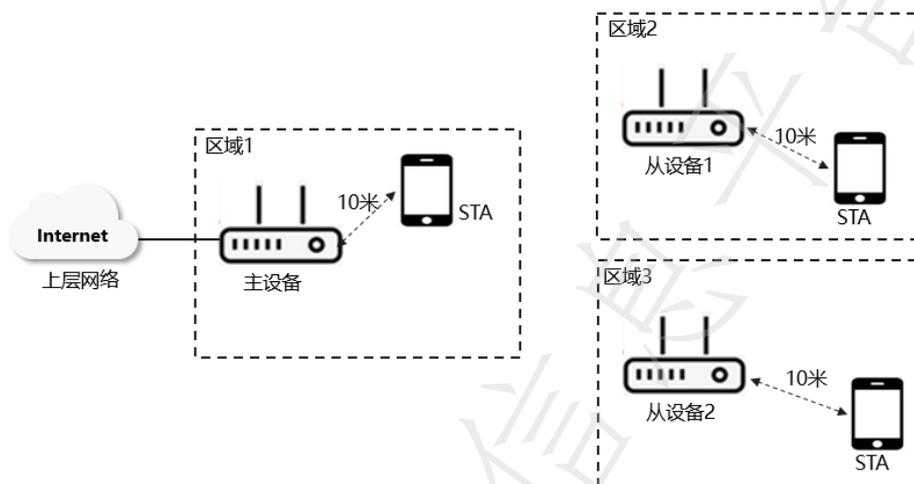


图 10 多AP单用户UDP业务并发时延示意图

该场景下，多个用户分别远距离接入家庭组网主设备和从设备，测量运行UDP业务时的并发时延。该场景需要满足如下设定：

- 环境中无其他同频段的干扰源，包含WLAN干扰源（如其他网关或者路由器设备）和非WLAN干扰源（如蓝牙、无绳电话、微波炉设备等）；
- 使用三个热点的典型组网，此组网场景下，热点与热点之前的干扰对时延指标有较大影响。
- 测量时延指标的业务流量使用UDP业务流，每个用户的流量大小为150Mbps，场景中定义的UDP业务流的报文长度取决于服务器和客户端间网络路径的MTU值，默认MTU为1500Byte。

7.2.1.3 家庭组网时延场景模型 2：多 AP 多用户 TCP 业务并发

组网场景下，多AP多用户TCP业务并发时延场景见图11，主从设备下各接入两个WLAN用户终端，各AP下挂的WLAN用户终端距离AP 1m和10m，并同时运行TCP类型业务。

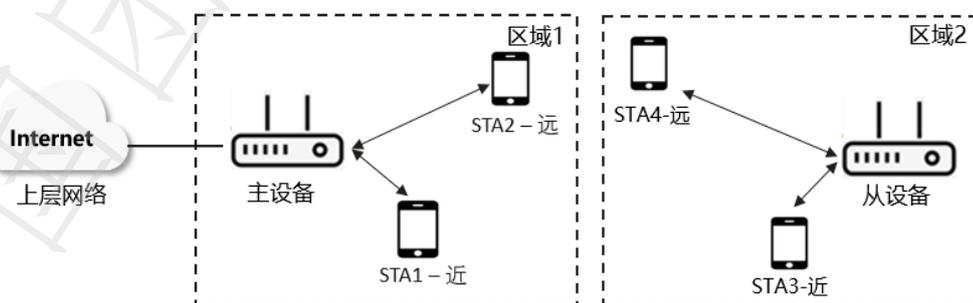


图 11 多AP多用户TCP业务并发时延

该场景下，多个用户分别近距离及远距离接入家庭组网主设备和从设备，测量运行TCP业务时的并发时延。该场景需要满足如下设定：

- 环境中无其他同频段的干扰源，包含WLAN干扰源（如其他网关或者路由器设备）和非WLAN干扰源（如蓝牙、无绳电话、微波炉设备等）；
- 使用三个热点的典型组网，此组网场景下，热点与热点之前的干扰对时延指标有较大影响。
- 测量时延指标的业务流量使用TCP业务流，每个用户的流量大小为150Mbps，当组网方式为路由器无线组网时，每个用户的流量大小为100Mbps，报文字节长度为1500Byte

7.2.2 时延要求

组网场景下，多AP单用户UDP业务并发OWD时延应符合表4要求：

表 4 多用户接入多设备组网场景下UDP并发时延

组网内AP个数	单AP下挂STA个数	组网类型	STA的信号强度分布 (dBm)	每用户流量模型	字节长度	协议模式	每个用户平均时延	每个用户的TP99时延
3	1	FTTR 光纤回传	$[-55 \pm 2]$	150Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	20ms	100ms
3	1	路由器 或AC+AP 组网 ¹ 网线回传	$[-55 \pm 2]$	150Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	20ms	100ms
3	1	路由器 PLC组网 PLC回传	$[-55 \pm 2]$	150Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	30ms	150ms
3	1	路由器组网 无线回传	$[-55 \pm 2]$	150Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	40ms	200ms

组网场景下，多AP多用户TCP业务并发RTT时延应符合表5的要求：

表 5 多用户接入组网设备场景下TCP并发时延

组网内AP个数	单AP下挂STA个数	组网类型	STA的信号强度分布 (dBm)	每用户流量模型	字节长度	协议模式	每个用户的平均RTT时延	每个用户的TP 99 RTT时延
2	2	FTTR 光纤回	$[-30 \pm 2]$ $[-55 \pm 2]$	150Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	40ms	200ms

		传						
2	2	路由器 或 AC+AP 组网 ¹ 网线回 传	$[-30\pm 2]$ $[-55\pm 2]$	150Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	40ms	200ms
2	2	路由器 PLC组 网 PLC回 传	$[-30\pm 2]$ $[-55\pm 2]$	150Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	50ms	250ms
2	2	路由器 组网 无线回 传	$[-30\pm 2]$ $[-55\pm 2]$	100Mbps	1500Byte	802.11ax 2*2	60ms	300ms

7.3 漫游

7.3.1 漫游参数和场景模型

7.3.1.1 漫游参数

在家庭组网场景下，用户需要在家庭内部不同区域间移动办公、娱乐的同时保持网络业务不中断，针对漫游场景，WLAN的漫游指标主要是测量漫游过程中的切换时延及漫游过程中的吞吐性能的变化趋势。

7.3.1.2 家庭组网漫游场景模型 1：多 AP 间漫游切换时延

单用户在两个无线AP之间来回漫游过程中，因发生漫游切换导致的业务中断时间，见图12和图13：

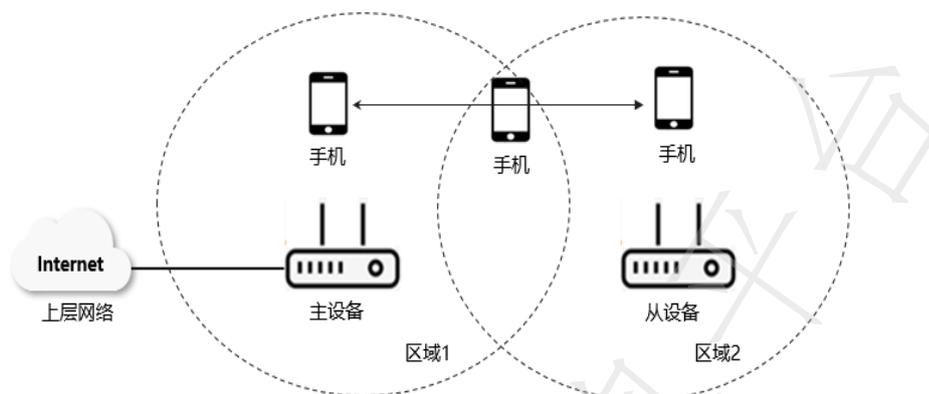


图 12 家庭组网中主-从设备间漫游场景示意图

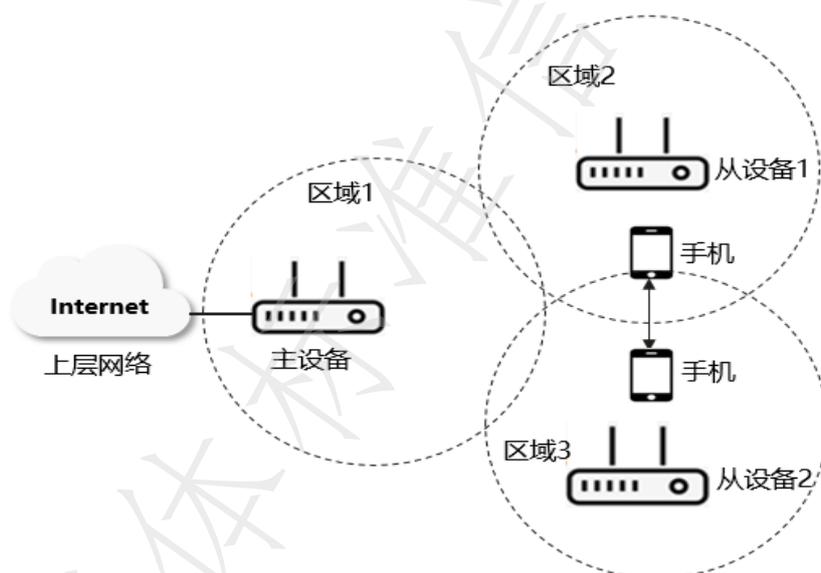


图 13 家庭组网中从-从设备间漫游场景示意图

终端在两个无线AP间来回移动，终端会从一个BSS网络切换到另外一个BSS网络，切换过程涉及到漫游探测、漫游决策、漫游切换动作等流程，而切换快慢是衡量漫游行为对业务体验质量的关键指标，漫游切换得越快，业务中断的时间就越低，用户体验越好。通过构造一定的业务流量的方式，测量在漫游过程中的丢包情况可以评估漫游切换的快慢。此场景下需要满足如下约束：

- 环境中无其他同频段的干扰源，包含WLAN干扰源（如其他网关或者路由器设备）和非WLAN干扰源（如蓝牙、无绳电话、微波炉设备等）；
- 家庭组网中两个AP存在合理的交叠区域，即手机在一定区域内能同时收到两个AP的信号
- 漫游终端按照0.5m/s的速率在两个AP间来回移动。
- 漫游终端包括支持802.11kv协议的终端，也包含不支持802.11kv协议的终端。
- 漫游终端在漫游过程中承载的业务流量约为1000pps，业务字节长度为1500Byte

7.3.1.3 家庭组网漫游场景模型 2：多 AP 间漫游过程吞吐性能

单用户在两个无线AP之间来回漫游过程中，获取的最低吞吐量和平均吞吐量。该场景模型示意图参考图13和图14。

除了漫游切换时延指标外，在漫游过程中的平均性能和最小性能也是一项评估漫游体验的关键指标，通过限速的UDP流量测量在终端漫游过程中的最低吞吐量和平均吞吐量，评估终端漫游的时机和终端漫游的时长的合理性。

此场景下需要满足如下约束：

- 环境中无其他同频段的干扰源，包含WLAN干扰源（如其他网关或者路由器设备）和非WLAN干扰源（如蓝牙、无绳电话、微波炉设备等）；
- 家庭组网中两个AP存在合理的交叠区域，即手机在一定区域内能同时收到两个AP的信号
- 漫游终端按照0.5m/s的速率在两个AP间来回移动。
- 漫游终端包括支持802.11kv协议的终端，也包含不支持IEEE 802.11kv协议的终端。
- 漫游终端在漫游过程中承载的UDP业务流量约为200Mbps，业务字节长度为1500Byte

7.3.2 漫游要求

家庭场景下，对漫游指标应符合表6和表7的要求：

表 6 漫游切换时延指标要求

漫游路径	终端是否支持 IEEE 802.11kv协议	漫游切换时延
主-从	支持	100ms
从-从	支持	100ms
主-从	不支持（可选）	200ms
从-从	不支持（可选）	200ms

表 7 漫游切换UDP吞吐性能指标要求

组网类型	漫游路径	终端是否支持 IEEE 802.11kv协议	漫游路径吞吐性能	
			平均吞吐性能	最小吞吐性能
FTR 路由器有线组网 AC+AP组网 PLC组网	主-从	支持	160Mbps	60Mbps
FTR 路由器有线组网 AC+AP组网 PLC组网	从-从	支持	160Mbps	60Mbps

FTTR 路由器有线组网 AC+AP组网 PLC组网	主-从	不支持（可选）	150Mbps	40Mbps
FTTR 路由器有线组网 AC+AP组网 PLC组网	从-从	不支持（可选）	150Mbps	40Mbps
路由器组网 无线回传	主-从	支持	120Mbps	30Mbps
路由器组网 无线回传	从-从	支持	120Mbps	30Mbps
路由器组网 无线回传	主-从	不支持（可选）	100Mbps	20Mbps
路由器组网 无线回传	从-从	不支持（可选）	100Mbps	20Mbps

7.4 连接

7.4.1 连接参数和场景模型

7.4.1.1 连接参数

业务并发是家庭网络的特点，连接体现了网络与物理世界的结合程度，其指标为连接用户数和并发用户数。

——连接用户数：可以接入的最大用户数。

——并发用户数：同一时刻有业务的用户数。

家庭WLAN占空比理论模型如公式（1）：

$$\text{Duty Cycle (占空比)} = \frac{\sum_{l=1}^n T_{\text{nrates}}}{N_{\text{SS}} * (N_{\text{CBPS}} * R) * (1 / (T_s + T_{\text{GI}}))} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

N_s ——空间流数；

N_{CBPS} ——每个OFDM symbol中的总编码；

R ——码率；

T_{GI} ——GI长度；

T_s ——symbol（IFFT）长度；

T_{nrates} ——终端实际速率。

并发用户数越多，空口占用率越高，竞争冲突加剧，业务体验变差。

在家庭组网场景中，基于组网各AP接入多用户时的整体吞吐量和最小单用户的吞吐量来评估整网的接入能力。

7.4.1.2 家庭组网连接场景模型 1：多 AP 多用户并发吞吐及公平性

理想条件下（无干扰），多用户并发接入到组网主设备和组网从设备时，整网并发吞吐和最小用户吞吐。基于公式（1），当实际终端的业务流量增大时，空口的利用率随之增大，竞争冲突加剧，业务体验变差，此处使用多用户并发的最大吞吐量来衡量家庭整网在多用户并发业务时的业务调度能力。

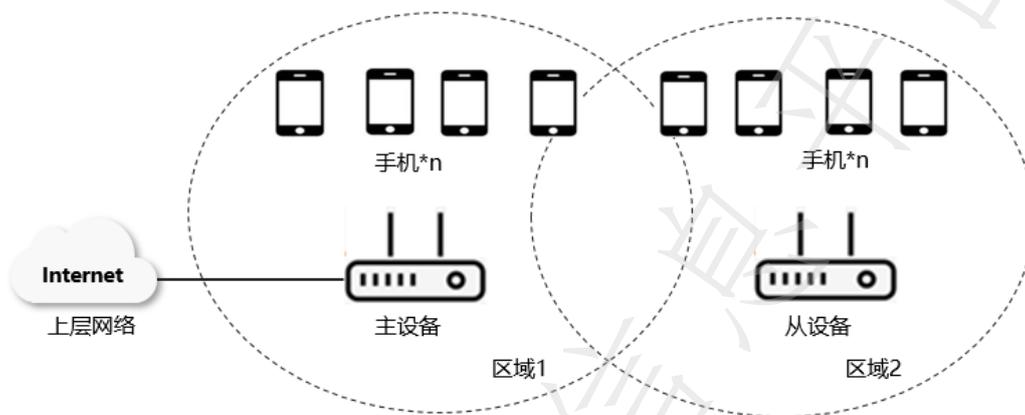


图 14 多用户并发吞吐场景

见图14，按照主从设备上接入用户数的个数分为两个场景：

场景一：整网接入16个用户，其中主设备上接入8个用户，其中6个近距离用户，另外2个用户为远距离用户。从设备接入8个用户，其中6个近距离用户，另外2个用户为远距离用户。

场景二：整网接入32个用户，其中主设备上接入16个用户，其中12个近距离用户，另外4个用户为远距离用户。从设备接入16个用户，其中12个近距离用户，另外4个用户为远距离用户。

通过不限速的TCP流测量在满足一定的性能要求的情况下测试系统能支持的最大用户数，评估家庭组网设备整网并发性能和多用户并发调度的公平性。

多连接场景下关键约束和条件定义如下：

- 每个STA具备独立的WLAN PHY+MAC，STA MIMO 能力为2*2，协议模式相同；
- TCP业务流的报文长度取决于服务器和客户端间网络路径的MTU值，默认MTU为1500Byte。

7.2.1 连接要求

场景一、多用户并发吞吐场景要求：

表 8 连接性能指标要求要求

待测组网 WLAN 配置	带宽 (MHz)	组网模式	协议模式	16用户（8+8）并发		32用户（16+16）并发	
				总吞吐	最小吞吐	总吞吐	最小吞吐
5GHz (Nss=2)	160	FTTR	802.11ax	1500Mbps	40Mbps	1200Mbps	30Mbps
5GHz (Nss=2)	160	路由器有线 AC+AP有线	802.11ax	1500Mbps	40Mbps	1200Mbps	30Mbps
5GHz (Nss=2)	160	路由器 PLC有线	802.11ax	1000Mbps	30Mbps	800Mbps	15Mbps

5GHz (Nss=2)	160	路由器无线	802.11ax	600Mbps	20Mbps	300Mbps	5Mbps
-----------------	-----	-------	----------	---------	--------	---------	-------

7.3 智能运维

7.3.1 智能运维参数及场景模型

智能运维的目标是通过数据与知识驱动，敏捷使能新业务并实现极致客户体验，实现资源和能源利用效率最高，实现网络自动、自优、自愈，并在此基础上网络自我演进实现自治。

---自动，根据用户意图业务自动部署，最终目标业务全自动部署。

---自愈，预测预防故障并基于事件自我恢复，最终目标全自动运维。

---自优，根据用户体验自适应调整优化，最终目标全自动优化。

---自治，在实现自动、自愈、自优的基础上，实现网络功能自演进。

在家庭场景下，本规范聚焦在WLAN网络的自愈能力上，定于如下两种故障自愈能力。

场景一：家庭组网子设备断电场景，家庭组网需要在某一个关键节点故障或者掉电场景下，其下挂的STA终端需要能快速恢复业务，业务恢复时间在一定程度上能定义其网络自愈能力。

场景二：家庭组网子设备断链场景，家庭组网需要在某一个关键节点失去与主节点的连接场景下，其下挂的STA终端需要能快速恢复业务，业务恢复时间在一定程度上能定义其网络自愈能力。

7.3.2 智能运维指标要求

针对场景一：家庭组网子设备断电场景下STA业务恢复时间小于5秒。

针对场景二：家庭组网子设备断链场景下STA业务恢复时间小于5秒。

7.4 安全

7.4.1 安全参数及场景模型

WLAN网络中的终端设备面临来自互联网或局域网的攻击威胁，随着越来越多的如智慧屏、智能音箱、打印机等涉及用户敏感信息和隐私的智能设备联网，作为家庭中枢设备，我们将家庭网关或者路由器设备涉及到安全机制做如下分类：

a) 接入安全

无线侧安全主要包括：用户接入和认证的安全以及用户数据的传输安全。用户接入和认证安全主要依靠多种的工作站接入方式以及多种用户身份认证和授权方式提供安全保证，用户数据安全主要使用各种加密方式保证用户数据的安全传输。

当前家庭WLAN网络支持的用户接入身份认证及数据加密有如下几种：

- 1) 支持OPEN-SYS认证
- 2) 支持WEP认证/加密
- 3) 支持WPA/WPA2认证/加密方式(TKIP/CMP加密)
- 4) 支持WPA3-SAE认证方式

最新的接入认证标准WPA3-SAE取代了WPA2个人版的PSK认证方式，可以有效地抵御离线字典攻击，增加暴力破解的难度。SAE能够提供前向保密，即使攻击者知道了网络中的密码，也不能解密获取到的流量，大大提升了WPA3个人网络的安全。

WLAN网络除了接入层面有一定的认证和加密安全措施外，在应用层面，通过上层软件也对接入行为有控制能力，主要有：

- 1) 通过配置黑白单的MAC直接拒绝AP 上线
- 2) 通过配置白名单并基于MAC 地址认证
- 3) 通过802.1x、portal等方式进行鉴权
- 4) 手工确认后接入

b) 系统安全

WLAN的系统安全主要表现在对各种攻击的防护，系统安全需要同时运用多种防护手段达到对攻击的防护。常见的防护手段有：用户黑白名单过滤、DoS检测、Rouge AP检测、防御MAC/IP欺骗、禁止ESSID广播、AP MAC/SN过滤、使用高级加密算法等等。

基于如上原子的安全能力，将家庭场景的WLAN安全分为如下三个场景：

场景一：防暴力破解

家庭WLAN接入方式一般是用PSK方式接入，而这种方式容易被暴力破解法破解，暴力破解法，或称为穷举法，是一种密码分析的方法，即将密码进行逐个推算直到找出真正的密码为止。例如一个已知是四位并且全部由数字组成的密码，其可能共有10000种组合，因此最多尝试10000次就能找到正确的密码。理论上除了具有完善保密性的密码以外，利用这种方法可以破解任何一种密码，问题只在于如何缩短试误时间。有些人运用计算机来增加效率，有些人辅以字典来缩小密码组合的范围。家庭网关或者路由器应该支持PSK防暴力破解，通过检测PSK认证频繁尝试，打断尝试流程，大大降低尝试频率和攻击效率，避免密码被攻破。

场景二：邻居用户蹭网

目前WLAN用户密码常被第三方软件共享，蹭网现象较普遍，导致用户网速慢。用户需要经常检查在线用户，并将未知用户拉黑。家庭网关或者路由器应该支持禁止陌生设备接入家庭网络：通过精准识别破解和窃取WLAN密码的攻击行为，路由器能够自动阻挡恶意攻击设备接入到家庭WLAN网络。

场景三：防协议报文攻击

恶意用户发送大量的协议报文攻击系统，导致系统无法处理正常用户的服务请求，即拒绝对正常用户的服务，为了保护系统，将系统接收的用户协议报文数量限制在规定的范围内。对于超出规定范围的报文，作为非法报文丢弃；对发起DoS 攻击的用户加入黑名单，并拒绝接收该用户的协议报文。

场景四：防中间人攻击

非法用户使用网络工具截获无线客户端与家庭网关或者路由器的通讯报文，并将自己插入到无线客户端与AP正常通讯之间，一旦插入成功，先发送Decatenation报文迫使客户端断开连接，然后复制合法AP的MAC地址以及伪造一致的SSID来利诱无线客户端，同时攻击者的计算机将于AP建立正常的连接，这样，无线客户端所有的数据就都先通过攻击者的接入点再流向合法AP，家庭网关或者路由器需具备防中间人攻击的能力。

7.4.2 安全指标要求

家庭网关或者路由器应支持防暴力破解和防邻居蹭网功能、防协议报文攻击、防中间人攻击的能力。

8 家庭场景 WLAN 设备组网业务体验场景定义及体验要求

8.1 家庭综合场景分类

按照家庭场景下参与组网的设备的实际布放情况看，目前实际使用的典型组网集中在2个热点和3个热点，此场景下覆盖的户型面积在120平米以上。

8.2 典型现网家庭组网场景一

8.2.1 典型现网家庭组网场景一 定义

典型现网家庭组网场景一 定义户型面积在120平米左右的户型场景，通过2个WLAN热点达到全屋覆盖。选取该场景下业务并发及业务体验要求最高的场景作为评估场景，见图15：

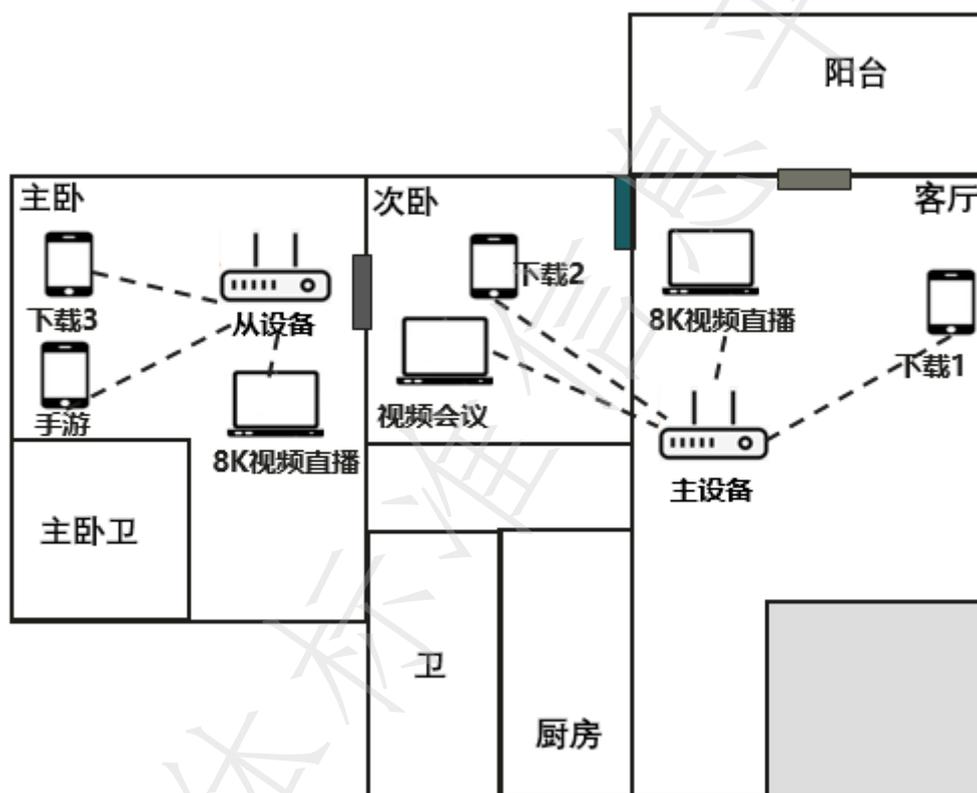


图 15 两热点家庭场景示意图

如上图所示，家庭组网主设备安装在客厅，从设备安装在主卧，通过两个热点使95%的区域接收信号强度指示（RSSI） $\geq -65\text{dBm}$ ；家庭场景下常用的业务如下：

- a. 社会生产类业务：视频语音会议、网页浏览、电子邮件、在线教育等；
- b. 娱乐类业务：视频、游戏、即时通讯、下载等。

根据设备承载业务类型和并发率来看，本文件主要通过大带宽、低时延类要求的业务来评估此场景下家庭网络组网设备的业务承载能力，主要场景描述如下：

主设备下挂业务：

- 1、近距离 8K 视频直播业务（娱乐类业务）：8K 机顶盒距离主设备 1m，接入主设备 5G SSID，运行 8K 直播业务。
- 2、远距离不限速下载业务（非实时性业务）：用户手机或者便携式计算机与主设备间隔一堵普通砖墙，距离约 5m，接入到主设备 5G SSID，运行不限速下载业务。

3、远距离在线视频会议业务（社会生产类业务）：用户手机或者便携式计算机与主设备间隔一堵普通砖墙，距离约 5m，接入到主设备 5G SSID，运行在线视频会议业务。

从设备下挂业务：

- 1、近距离 8K 视频直播业务（娱乐类业务）：8K 机顶盒距离从设备 1m，接入从设备 5G SSID，运行 8K 直播业务
- 2、近距离不限速下载业务（非实时性业务）：用户手机或者便携式计算机距离从设备 3m，接入到从设备 5G SSID，运行不限速下载业务。
- 3、近距离手游类业务（实时娱乐类业务）：用户手机近距离 3m 接入从设备 5G SSID，运行在线手游业务。

8.2.2 典型现网家庭组网场景一指标要求

在家庭 1+1 组网业务模型下，并发业务的关键性能指标（KPI）体验要求如下表所示：

表 9 典型家庭组网场景综合业务体验KPI指标要求一

网络模型	场景模型	业务	参数项	指标要求
协议： IEEE802.11ax 频段：5GHz 带宽：160MHz 终端流数：2	主设备	8K 视频直播	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			视频业务时延平均值(ms)	$\leq 50\text{ms}$
			视频业务大时延占比 (平均时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$
		下载业务	下载平均吞吐量	$\geq 100\text{Mbps}$
		在线视频会议	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			视频会议往返平均时延	$\leq 50\text{ms}$
	视频会议往返大时延占比 (往返路程时间 (RTT) 时延超 100ms 比例)		$\leq 1\%$	
	从设备	8K 视频直播	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			视频业务时延平均值(ms)	$\leq 50\text{ms}$
			视频业务大时延占比 (平均时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$
		下载业务	下载平均吞吐量	$\geq 100\text{Mbps}$
		手游业务	游戏业务平均往返时延	$\leq 50\text{ms}$
			游戏业务超过 100ms 时延占比	$\leq 1\%$

8.3 典型现网家庭组网场景二

8.3.1 典型现网家庭组网场景二定义

典型现网家庭组网场景二定义户型面积在150平米左右的户型场景，通过3个WLAN热点达到全屋覆盖。选取改场景下业务并发及业务体验要求最高的场景作为评估场景，见图16：

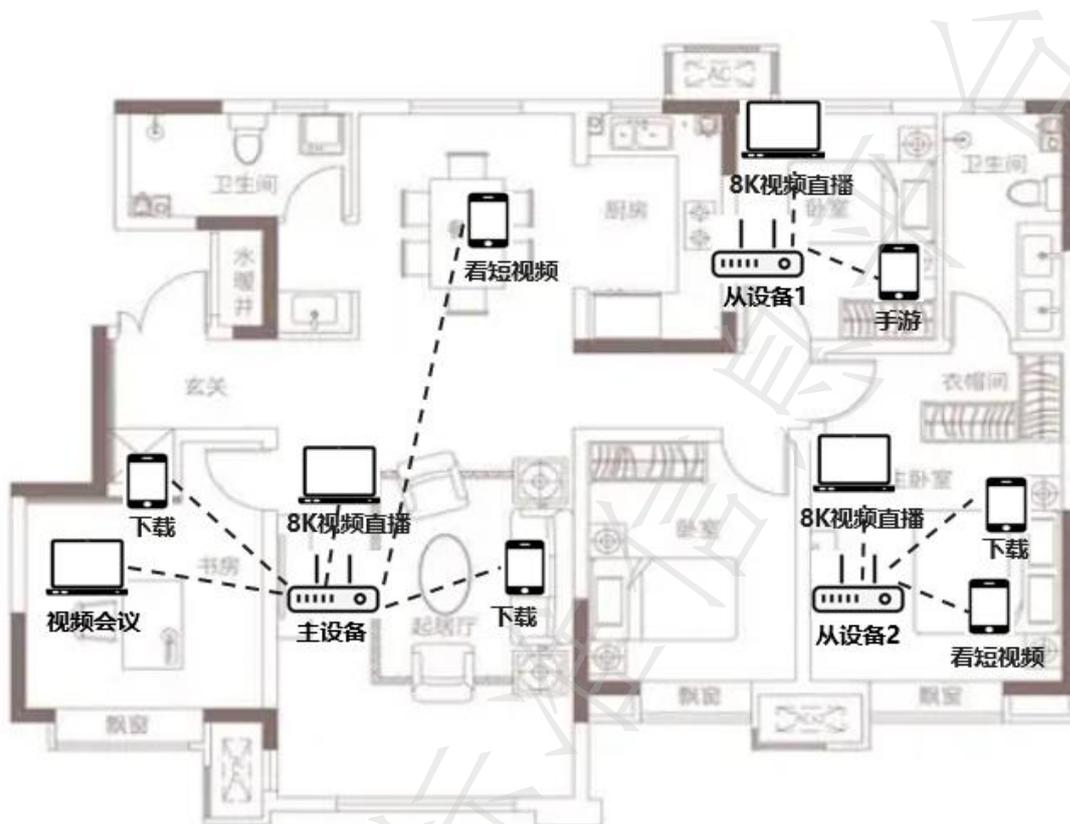


图 16 五口之家并发WLAN业务示意图

家庭组网主设备安装在客厅，1个从设备安装在主卧，另外一个从设备在次卧，通过三个热点使95%的区域接收信号强度指示（RSSI） $\geq -65\text{dBm}$ ；家庭场景下常用的业务如下：

- a. 社会生产类业务：视频语音会议、网页浏览、电子邮件、在线教育等；
- b. 娱乐类业务：视频、游戏、即时通讯、下载等。

根据设备承载业务类型和并发率来看，本文件主要通过大带宽、低时延类要求的业务来评估此场景下家庭网络多设备组网的业务承载能力，主要场景描述如下：

主设备下挂业务：

- 1、近距离 8K 视频直播业务（娱乐类业务）：8K 机顶盒距离主设备 1m，接入主设备 5G SSID，运行 8K 直播业务。
- 2、近距离手机不限速数据业务下载（家庭内部存储共享业务），用户手机距主设备 3m，接入到主设备的 5G SSID，运行不限速的下载业务。
- 3、中远距离的短视频业务，用户手机距主设备 8m，接入到主设备的 5G SSID，运行短视频业务。
- 4、远距离在线视频会议业务（社会生产类业务）：用户手机或者便携式计算机与主设备间隔一堵普通砖墙，距离约 5m，接入到主设备 5G SSID，运行在线视频会议业务。

5、远距离不限速下载业务（家庭内部存储共享业务）：用户手机或者便携式计算机与主设备间隔一堵普通砖墙，距离约 5m，接入到主设备 5G SSID，运行不限速下载业务。

从设备 1 下挂业务：

- 1、近距离 8K 视频直播业务（娱乐类业务）：8K 机顶盒距离从设备 1m，接入从设备 5G SSID，运行 8K 直播业务
- 2、近距离手游类业务（实时娱乐类业务）：用户手机近距离 3m 接入从设备 5G SSID，运行在线手游业务。

从设备 2 下挂业务：

- 1、近距离 8K 视频直播业务（娱乐类业务）：8K 机顶盒距离从设备 1m，接入从设备 5G SSID，运行 8K 直播业务
- 2、近距离手机不限速数据业务下载（家庭内存存储共享业务），用户手机距主设备 3m，接入到主设备的 5G SSID，运行不限速的下载业务。
- 3、近距离的短视频业务，用户手机距主设备 3m，接入到主设备的 5G SSID，运行短视频业务。

8.3.2 典型现网家庭组网场景二指标要求

在家庭 1+2 组网业务模型下，并发业务的关键性能指标（KPI）体验要求见表 10：

表 10 典型家庭组网场景综合业务体验KPI指标要求二

网络模型	场景模型	业务	参数项	指标要求
协议： IEEE802.11ax 频段：5GHz 带宽：160MHz 终端流数：2	主设备	8K 视频直播	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			视频业务时延平均值 (ms)	$\leq 50\text{ms}$
			视频业务大时延占比 (平均时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$
		下载业务	下载平均吞吐量	$\geq 100\text{Mbps}$
		在线视频会议	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			视频会议往返平均时延	$\leq 50\text{ms}$
			视频会议往返大时延占比 (往返路程时间 (RTT) 时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$
		短视频业务	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			短视频往返平均时延	$\leq 60\text{ms}$
			短视频往返大时延占比 (往返路程时间 (RTT) 时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$
	从设备 1	8K 视频直播	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			视频业务时延平均值 (ms)	$\leq 50\text{ms}$

网络模型	场景模型	业务	参数项	指标要求
			视频业务大时延占比 (平均时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$
		手游业务	游戏业务平均往返时延	$\leq 50\text{ms}$
			游戏业务大时延 (超过 100ms 时延) 占比	$\leq 1\%$
	从设备 2	8K 视频直播	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			视频业务时延平均值 (ms)	$\leq 50\text{ms}$
			视频业务大时延占比 (平均时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$
		下载业务	下载平均吞吐量	$\geq 100\text{Mbps}$
		短视频业务	丢包率	$\leq 10^{-3}$
			短视频往返平均时延	$\leq 60\text{ms}$
			短视频往返大时延占比 (往返路程时间 (RTT) 时延超 100ms 比例)	$\leq 1\%$

附录 A
(资料性)
常见障碍物信号衰减参考值

常见障碍物参考值见表A.1。

表 A.1 常见障碍物信号衰减参考值

典型障碍物	厚度 (毫米)	2.4GHz信号衰减 (dB)	5GHz信号衰减 (dB)
普通砖墙	120	10	20
加厚砖墙	240	15	25
混凝土	240	25	30
石棉	8	3	4
泡沫板	8	3	4
空心木	20	2	3
普通木门	40	3	4
实木门	40	10	15
普通玻璃	8	4	7
加厚玻璃	12	8	10
防弹玻璃	30	25	35
承重柱	500	25	30
卷帘门	10	15	20
钢板	80	30	35
电梯	80	30	35