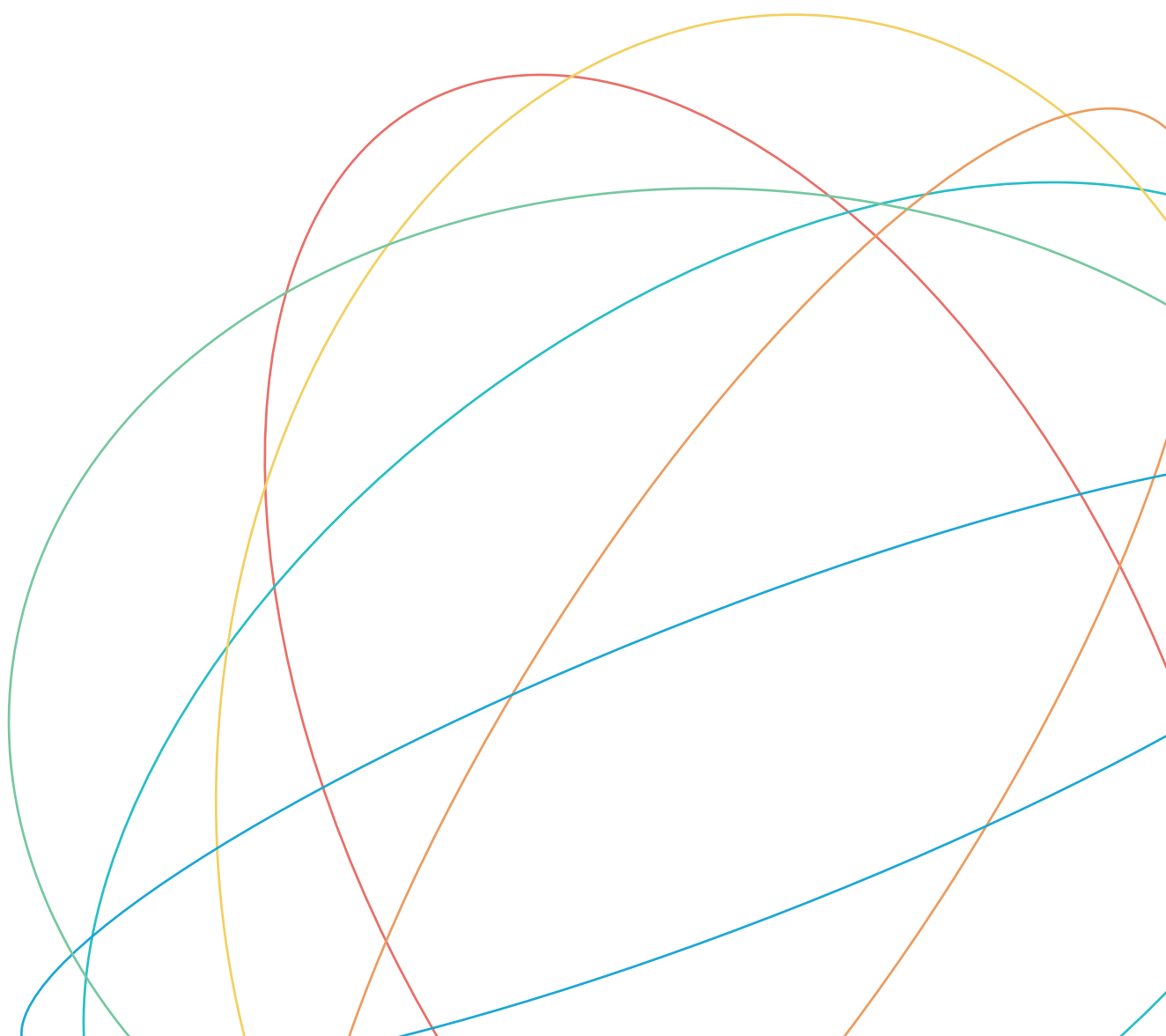


# WLAN 11ac Wave 2 技术白皮书



# WLAN 11ac Wave2 技术白皮书

关键词：11ac、wave1、Wave2、160MHz、多用户 MIMO

摘 要：从 1997 年第一代 802.11 标准 802.11 发布至今已有 19 年的时间，在这 19 年时间内 WiFi 经历了巨大的发展和普及，现在 11ac 的推出又一次推动了 802.11 大步的前进。11ac 在走向市场的过程中分为两个阶段交付，即 Wave1 和 Wave2 两个阶段。本文将介绍什么是 11ac Wave2 以及 Wave2 的关键特性。

缩略语：

缩略语	英文全名	中文解释
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气和电子工程师协会
TxBF	Tx Beamforming	波束成形
STA	Station	客户端
AP	Access Point	无线接入点
WFA	Wi-Fi Alliance	Wi-Fi联盟
MIMO	Multi input, multiple output	多输入输出天线系统

## 1 11ac 产生背景

从 1997 年第一代 802.11 标准 802.11 发布至今已有 19 年的时间，在这 19 年时间内 WIFI 经历了巨大的发展和普及。在今天，WIFI 成为越来越多的用户上网接入的首选方式，并且有逐步取代有线接入的趋势。为适应新的业务应用和减小与有线网络带宽的差距，已经发展和普及的四代 WIFI 系统（801.11，802.11b，802.11a/g，802.11n）中，每一代 802.11 的标准都在大幅度的提升其速率。在第五代的 802.11 标准中，速率的质的飞跃仍然是其让业界兴奋的一个绝对亮点。

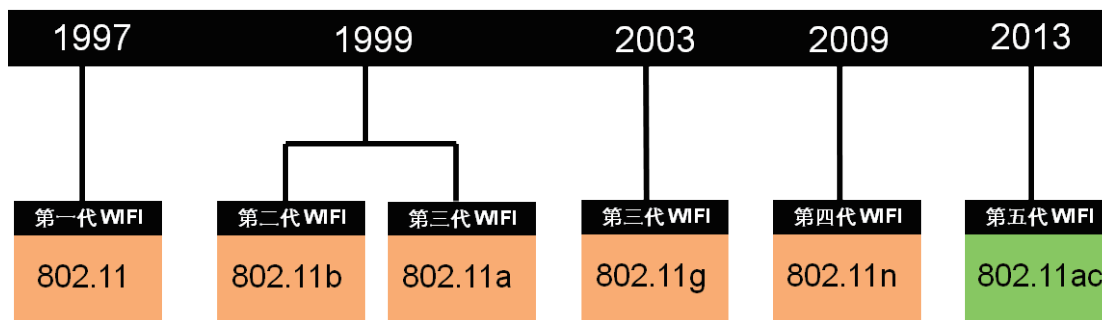


图 1 802.11 标准的演进

802.11ac 的驱动力的一方面来自与有线以太网，另一方面来自于部署中的应用需求。在有线以太网 GE 接入接入渐成主流的大背景下，WIFI 需要提供一个与其抗衡的能力，提供一个拥有良好用户感知和业务体验的大管道。而在实际部署中，现有的 802.11n 产品也面临诸多挑战：

### 1、大带宽需求应用

大带宽需求的应用在 WIFI 的应用越来越广泛：

- (1) 苹果 iCloud 服务类的同步
- (2) Youtube 视频类业务
- (3) Vine（由 Twitter 所有）视频摄制及分享类应用类业务
- (4) 正超脱会议室固定设备发展到移动设备上的视频会议业务
- (5) 越来越多的企业通过视频的方式宣传其产品与方案
- (6) ...

这些应用对 WIFI 提出了越来越高的带宽需求，根据爱立信的预测，移动网络上的视频流量每年将增长 60%，这一增长态势将一直持续到 2018 年底，到那时它将占据全球移动数据流量的一半。

## 2、海量的终端接入

(1) 在 BYOD 趋势下，每个员工可能同时两个甚至多个 WIFI 终端，而每个终端都在消耗着网络资源。(2) 在进行足球赛事的足球场，新品发布会现场或者学生教室，海量用户的同时接入对现有的 802.11n 产品提出了严重的挑战。

(3) 在用户无线接入逐步增多，有线接入越来越少大背景下，在 WIFI 接入的终端会越来越多。

## 3、3G/4G 系统的 OFFLOAD

在蜂窝系统数据业务大爆发的背景下，越来越多的流量被卸载到 WIFI 网络上以减少蜂窝系统的负载，WIFI 被定位第“N”张网而委以重任。这也需要 WIFI 网络能够提供更多的容量和更多的用户接入。

在这些需求的驱动下，第五代 802.11 标准 802.11ac 应运而生。由于 802.11ac 进行了众多的技术革新，如果将这些革新从技术标准一次性变成 WIFI 产品推向市场，需要等待较长的时间。因此，在第五代 802.11 标准 802.11ac 走向市场过程中，WFA (WIFI Alliance, WIFI 联盟) 将它拆分成了两个阶段：即 Wave1 和 Wave2 两个阶段。这种方式既能让 802.11ac 技术快速推向市场，满足当前迅速增长的流量需求，又带来 11ac 技术的可演进性，保持了 WIFI 的竞争力。

本文主要介绍 802.11ac 第二阶段 (Wave2) 技术，对 802.11ac 技术的详细介绍请参考《WLAN 802.11ac 技术白皮书》。

# 2 什么是 11ac Wave2

---

Wave1 和 Wave2 是 WIFI 联盟将 802.11ac 标准推向市场的不同阶段。在介绍 11ac Wave2 之前，先简单回顾一下 802.11ac 技术，然后再介绍 802.11ac Wave2。

## 2.111ac 与 11n

我们在谈论 802.11ac 是什么的时候，经常会拿它与 11n 以及工作在相同频段的 802.11a 进行对比，以帮助我们理解 802.11ac。下表中给出了 IEEE 标准中 802.11ac 和 802.11n 以及 802.11a 的对比：



Feature	802.11a	802.11n	802.11ac
Channel Widthd	20 MHz	20 MHz	20/40/80 MHz
		40 MHz(option)	160 and 80+80 MHz(option)
OFDM	Y	Y	Y
SGI	N	Y	Y
MIMO	Single antenna	SU MMO Up to 4 antennas	SU and MU MIMO Up to 8 antennas
Preamble	Legacy	Mixed Format(MF)	Mixed Format(MF) only
		Green Field(GF)	
Modulation and Coding Schemes	Expressed as rates	76 MCS	9 MCS
Beamforming(option)	NA	Staggered and NDP	NDP
Feedback Format	NA	Compressed and non-Compressed V Matrix	Compressed V Matrix
Link Adaptation	N	Y	Y
Coding	BCC	BCC/LDPC(option)	BCC/LDPC(option)
Media Access Control (MAC)	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
QoS(802.11E)	4 Access Categories TXOP Support	4 Access Categories TXOP Support	4 Access Categories TXOP Support
MAC Protection	RTS/CTS	RTS/CTS Spoofing	RTS/CTS Spoofing
TXOP Sharing	NA	NA	Supported for MU-MIMO
Static/Dynamic BA Opration	NA	N	Y
MSDU	2304B	2304B or 7920B	2304B or 7920B
MPDU	3895B	3895B or 7991B	3895B,7991B,or 11454B
A-MSDU	N	3839B or 7396B	3839B or 7396B
A-MPDU	N	65 KB	1 MB
MAC Protocol Data Unit	MPDU only	MPDU or A-MPDU	A-MPDU only

在 PHY 层和 MAC 层，11ac 对信道带宽，MIMO，调制方式等很多方面做了优化、改进或引入新的技术点，但整体架构仍然与 802.11n 是一样的。因此，11ac 相对于 11n 来说，使用“演进”这个词而不是“革命”这个词显然更加合理。

经过这种演进，11ac 在吞吐率性能上最大达到了 6.93Gbps，相对于 11n 最大 600M，几乎增加了 10 倍。即使在最初推出的 Wave 1 的 11ac 的产品，其吞吐率性能也能达到 1.3Gbps，完全达到了人们对其 Gbit WIFI 的期待和定位。11ac 在达成大幅提升吞吐率这个对其最核心的需求的同时，增强了多用户并发能力，改进了对不同带宽共存时的管理，增强了与 802.11a 和 802.11n 之间的兼容性。

## 2.2Wave1 与 Wave2

Wave1 的 11ac 产品在 2013 年已经面市，在家用无线路由器，USB 终端，企业级和运营级 AP，以及智能终端上都得到了越来越广泛的支持和应用。Wave2 的 11ac 产品在 2015 年开始在不同类型的终端和设备上开始陆续面市。WFA 的 Wave1 与 Wave2 以及 IEEE 的 802.11ac 标准之间的主要区别如下表所示：

	802.11ac Wave1(WFA)	802.11ac Wave2 (WFA)	802.11ac (IEEE)
Band	5GHz	5GHz	5GHz
MIMO	Single User (SU)	Multi User (MU)	Multi User (MU)
Channel Width	20、40、80MHz	20、40、80、80+80、160MHz	20、40、80、80+80、160MHz
Modulation	256QAM	256QAM	256QAM
Spatial Streams	3	4	8
PHY Rate	1.3Gbps	3.47Gbps	6.9 Gbps
MAC Throughout*	845MHz	2.26Gbps	4.49Gbps

注：\* 假设 MAC 效率为 65%。

从上表可以发现，与 Wave1 相比，Wave2 变化主要体现在支持多用户 MIMO，支持更大的信道带宽，支持更多的 MIMO 流。Wave2 这种变化，带来了更多的用户接入能力、更灵活的带宽组合和更大的吞吐率能力。

### 1、支持多用户 MIMO（MU-MIMO）

11ac Wave1 只支持单用户 MIMO，AP 一次同时只能与一个用户通信。而 11ac Wave2 可以支持多用户 MIMO，一次同时可以与几个用户通信。多用户 MIMO 可以增加终端接入数，在“全无线”、“物联网”和“单用户多终端”时代可以更好的应对大量终端接入带来的挑战。

2、最大可支持 160MHz（连续 160MHz 或者 2 个不连续 80MHz 组合）

11ac Wave1 最大可以支持 80MHz 信道带宽，而在 Wave2 最大可以支持到 160MHz 信道带宽，并且 160MHz 可以是连续的信道带宽，也可以是不连续的 2 个不连续的 80MHz 信道的。这种变化带来了更大的峰值吞吐率，同时也带来了信道组合的灵活性。在大信道带宽场景下，也可以提高 5G 频段信道的利用率。

3、最多可支持 4 条的 MIMO 流。

11ac Wave1 最大可以支持 3 条 MIMO 流，而在 Wave2 最大可以支持 4 条 MIMO 流。MIMO 流数的增加可以增加用户的峰值吞吐率，或者提升覆盖范围。

信道带宽和 MIMO 流的增加，提升了 Wave2 的吞吐率。峰值吞吐率从 Wave1 时代的 1.3Gbps（3 条流），增加到 Wave2 时代最大可支持 3.47Gbps（4 条流）。

从上面的表中我们还可以发现，WIFI 联盟认证的 Wave2 产品与 IEEE 制定的 802.11ac 标准仍然存在少许差距（主要是 MIMO 流数），这是由于将标准落入产品需要考虑实现的成本（复杂度）。

2.3 支持 Wave2 的终端

Wave2 的 11ac 产品在 2015 年开始在不同类型的终端和设备上开始陆续面市。下面给出了当前市面支持 802.11ac Wave2 的终端（包括笔记本电脑和智能手机）。有意思的是，当前支持 Wave2 的智能终端主要集中在使用更可开放的 Andriod 系统的终端。小众的 Windows Phone 系统也有个别款型支持，而 IOS 系统的终端暂时还没有看到。

品牌	型号	类型
Acer	Aspire E14, E14,R13,V13, V Nitro,Predator	笔记本电脑
Dell	DW1820,Alienware13,15,17	笔记本电脑
Fujitsu	Arrows NX F-04G	smartphone
HTC	One M8	smartphone
LeTV	LeMAX ,LePro1	smartphone
Google	Nexus 5X	smartphone
Microsoft / Nokia	Lumia 950XL, Lumia 950	smartphone
Oppo / OnePlus	OnePlus 2	smartphone
Samsung	Galaxy S5, Galaxy S6	smartphone
TCL	Evoque (Aurora)	smartphone
Xiaomi	Mi Note Pro (7 variants)	笔记本电脑
Xiaomi	Mi 4i (9 variants), Mi 4C	smartphone
ZTE	Nubia Z9 (7 variants), Axon (2 variants)	Smartphones

# 3 Wave2 关键特性

在 Wave2 中，最主要的两个变化是引入了多用户 MIMO（Multi User）以及支持可绑定的更大信道带宽。本章将介绍这两个主要特性。

## 3.1 支持可绑定的大信道带宽

在 IEEE 的 11n 协议中，可以支持 20MHz 和 40MHz 两种带宽。其中 20MHz 信道带宽是必选的，40MHz 信道是可选的。在 IEEE 的 11ac 协议中，可以支持 20MHz、40MHz、80MHz、80+80MHz（不连续，非重叠）和 160MHz，其中 20MHz、40MHz、80MHz 是必选的，80+80MHz 和 160MHz 是可选的。在 WFA 的 Wave1 阶段，支持 20MHz、40MHz、80MHz；在 WFA 的 Wave2 阶段，增加支持 160MHz，并且 160MHz 可以是连续的，也可以通过不连续的非重叠带宽绑定实现。下图为北美频谱为例，给出了 11ac Wave1、11ac Wave2、11n 以及 11a 的对比。

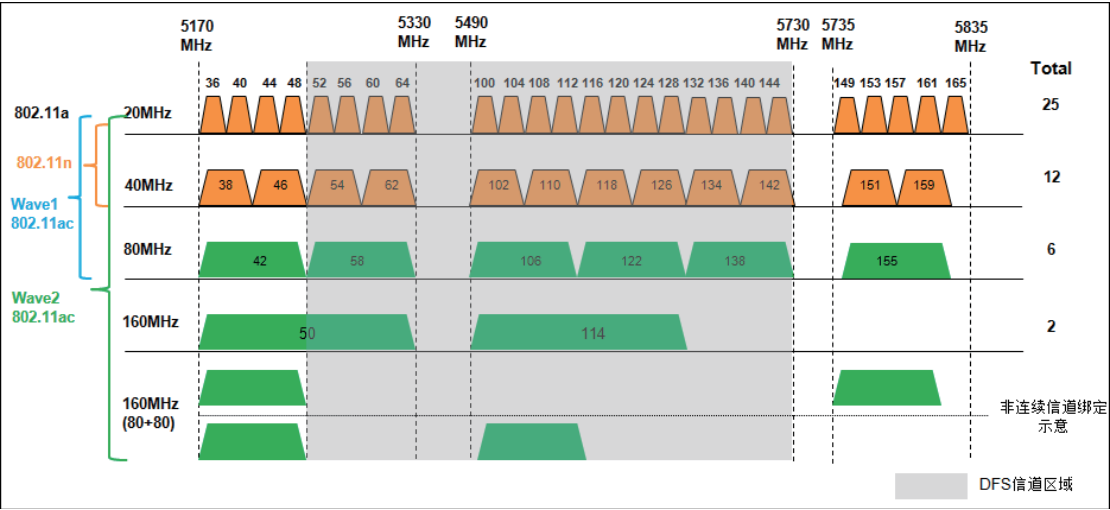


图 2 802.11ac Wave2 信道带宽



在上图中可以发现: 如果是 20MHz, 有 25 个信道; 如果是 40MHz, 有 12 个信道; 如果是 80MHz, 有 6 个信道; 如果是 160MHz, 有 2 个连续信道。160MHz 的信道也可以通过非重叠的 2 个 80MHz 信道绑定而成。这种绑定非常灵活, 比如在上图中, 如果想避开雷达信道, 可以使用非雷达信道的 2 个 80MHz 的信道绑定成一个 160MHz 的信道使用。在 80MHz+80MHz 绑定模式下, 最多可以支持如下图所示的 13 种绑定方式。

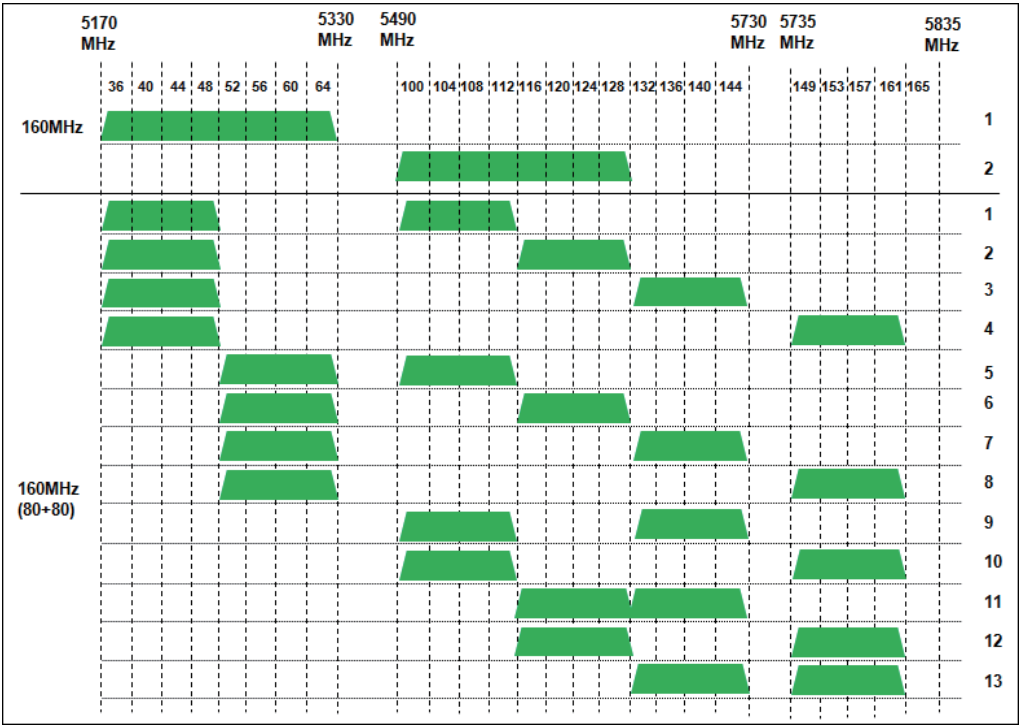


图 3 Wave2 80MHz+80MHz 信道组合

更大的带宽意味着可以提供更大的信道带宽, 同时提供的信道绑定特性也可以将不同的信道绑定在一起。信道绑定的特性可以灵活有效的规避一些干扰, 同时也可以提高零散信道的利用率。

与 HT20、HT40 和 HT80 信道一样, 每一个 HT160 也是由一个主信道 (Primary 80 MHz channel) 和一个辅信道 (Secondary 80 MHz channel) 两部分组成。如下图所示, 在 80MHz 的内也分为主 40MHz 和辅 40MHz; 在 40MHz 信道内也分为主 20MHz 和辅 20MHz。

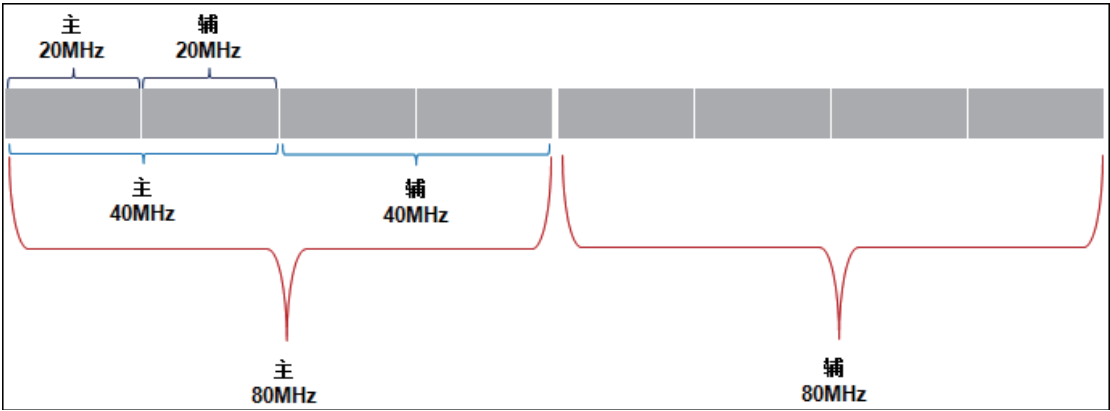
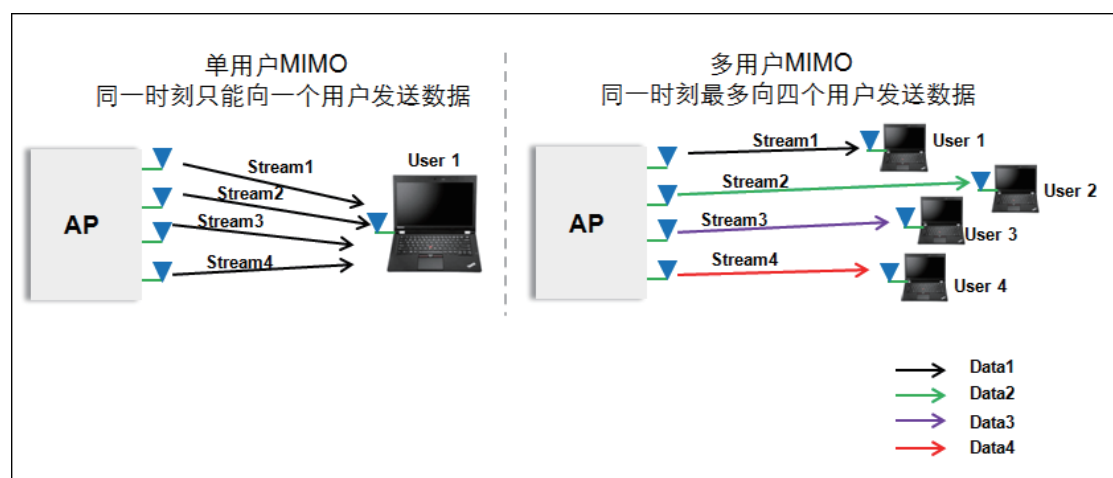


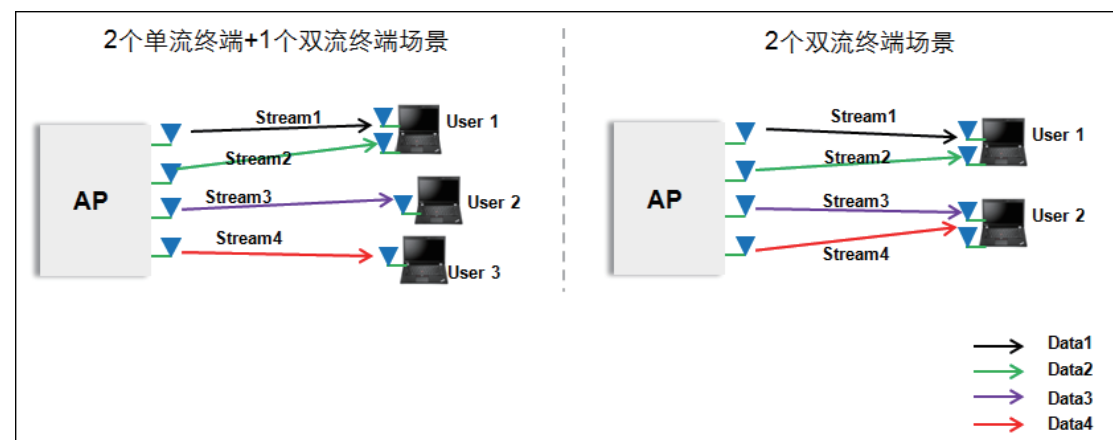
图 4 Wave2 HT160 信道组成

3.2 支持多用户 MIMO (Multi-MIMO)

单用户 MIMO 可以大大增加单用户的吞吐率，但现网中大量终端（尤其是移动智能终端）仍然单流。单流的终端相对于多流的终端传输相同的大小的数据需要占用更多的空口时间，因此单流终端也成了提升接入用户数的一个瓶颈。多用户 MIMO 是解决这问题的一个好办法。在不改变用户带宽和频率的情况下，在同一时刻，一个 AP 可以同时给多个用户（最多支持 4 个用户）发送不同的数据。比如在下图中，给出了一个支持 4\*4 MIMO 的 AP 和一个只支持 1\*1 MIMO 的终端通信时的对比。在单用户 MIMO 场景下，在 AP 的每根天线上都是发送的相同一份数据。虽然在不同天线发送相同的数据会带来分集增益，但收益是有限的。而在多用户 MIMO 场景下，在 AP 的每根天线上发送不同的数据（不同的天线对应不同的用户），就单个 AP 来说，可以发送 4 份不同的数据，效率比单用户 MIMO 提升了 4 倍。



多用户 MIMO 同样也可以在支持多流终端和单流终端混合场景下的多用户 MIMO。比如在下图中，给出了 1 个双流终端与 2 个单流终端混合的场景，以及 2 个双流终端混合的场景。



MU-MIMO 是 Wave2 阶段的一种非常显著的特征，其实现需要依赖于 Explicit TXBF（显示波束成形，需要终端支持）功能。这是由于当 AP 在相同的频率同时给多个用户发送数据时，每个用户流收到的发给其他用户的流的信号对其来说就是一种干扰。因此，多用户 MIMO 需要 TXBF 的协助其完成信道探测，根据反馈的矩阵在发送端使用预编码技术消除这种干扰。

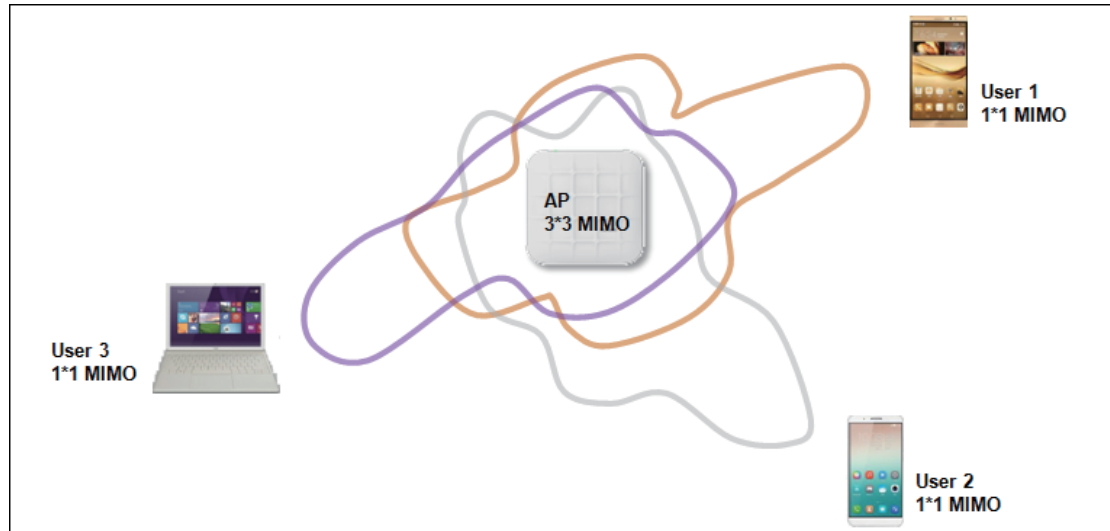


图 7 3\*3 MIMO AP 与 3 个 1\*1 MIMO 终端 MU MIMO 通信示意

上图给出了 1 个 3\*3 MIMO 的 AP 与 3 个 1\*1 MIMO 形成多用户 MIMO 的示意。AP 为了获得每个终端的信道信息，会为每个终端发送一个 Sounding 帧，终端将收集到的信道信息反馈给 AP。这样 AP 就获取到了 3 个终端对应的信道信息，在发送时通过预编码的技术形成波束成形，在用户所在方向形成最强信号，而在其他方向（包括其他用户所在方向）形成弱信号。这样既达到了覆盖效果，也抑制对其他用户干扰。

多用户 MIMO 只支持下行，且最多只能同时给 4 个用户传输数据。而对于用户上行数据仍然采用一个一个发送的方式，不能并发，即，不支持上行多用户 MIMO。当需要同时传输的用户数据不一样大时，需要通过 Frame Padding 对并发数据补齐。同时 Scheduled BA 机制，对每个用户回复的 ACK 进行调度，使得 ACK 一个一个的发送。

MU-MIMO 提升了多用户并发能力，增加了单个 AP 并发的用户数。尤其在单流终端的应用场景中，可以增加并发用户数，明显增加 AP 的下行吞吐量。当多用户传输时，流之间存在的干扰会影响高阶调制方式的使用，例如在多用户传输时很难使用 256QAM 这种高阶的调制方式。

## 4 客户价值

虽然 WFA Wave2 的认证要在 2016 年的第 2 季度启动，但是各种家用路由器，智能终端和企业级的 AP 已经开始面市。相比于以往的产品，Wave2 产品极大的提升了空口的吞吐率，增加了多用户的并发能力。

### 1、更高的吞吐率

在过去的几代 WiFi 标准中，吞吐率一直追求的目标。从第一代的 2Mbps 到第三代的 54Mbps，吞吐率一直在快速增加，到四代有了质飞跃，最大可支持到 600Mbps，而到第五代 11ac Wave1 阶段最大可以支持 1.3Gbps，而到了 Wave2 阶段最大可以支持 3.47Gbps。

Standard	Channel Size	Max Modulation	MaxSpatial Streams	Max Data Rate
802.11	20MHz	DQPSK	1	2Mbps
802.11b	20MHz	CCK	1	11Mbps
802.11g	20MHz	64QAM	1	54Mbps
802.11a	20MHz	64QAM	1	54Mbps
802.11n	40MHz	64QAM	4	600Mbps
802.11ac Wave1	80MHz	256QAM	3	1.3Gbps
802.11ac Wave2	160MHz	256QAM	4	3.47Gbps

吞吐率的提高，可以更好的应对快速增长的视频应用，快速增大的数据规模等带来的挑战。同时吞吐率提高的也使 WiFi 与有线网络的竞争中占得了更多的优势，朝着 WiFi 成为终端接入网络的首选甚至替代有线网络的目标更近了一步。

### 2、更多的接入

11ac Wave2 虽然没有改变 WIFI 的多址接入方式，但其提供了更大的吞吐率和多用户 MIMO 在客观上提高了用户接入能力。速率的提高意味着每个用户占用的空口时间更短，在相同的时间内意味着 AP 能为更多的用户提供接入服务。多用户 MIMO 提供的更多接入能力更加明显，在同一个时间 AP 可以同时为多个用户提供数据传输，意味着 AP 能够提供更多的并发接入能力。在“全无线”、“物联网”和“单用户多终端”时代，接入能力的提升可以更好的应对大量终端接入带来的挑战。





图 8 单用户多终端时代到来

**版权所有 © 华为技术有限公司 2018。保留一切权利。**

非经华为技术有限公司书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

#### **商标声明**

、HUAWEI、华为、是华为技术有限公司的商标或者注册商标。

在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

#### **免责声明**

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

华为技术有限公司  
深圳龙岗区坂田华为基地  
邮编：518129  
电话：+86 755 28780808

[www.huawei.com](http://www.huawei.com)