

# 什么是 802.11ac 和 802.11ac Wave2

文档版本

03

发布日期

2020-08-25



版权所有 © 华为技术有限公司 2020。保留一切权利。

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

## 商标声明



HUAWEI和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

## 注意

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

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

## 华为技术有限公司

地址： 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编：518129

网址： <https://e.huawei.com>

---

# 目 录

---

1 简介.....1

2 什么是 802.11ac..... 2

3 802.11ac VS 802.11n..... 4

4 802.11ac Wave1 的关键技术..... 6

5 802.11ac Wave2 VS 802.11ac Wave1..... 16

6 802.11ac Wave2 的关键特性..... 18

7 更多信息：Wi-Fi 6（802.11ax） ..... 22

# 1 简介

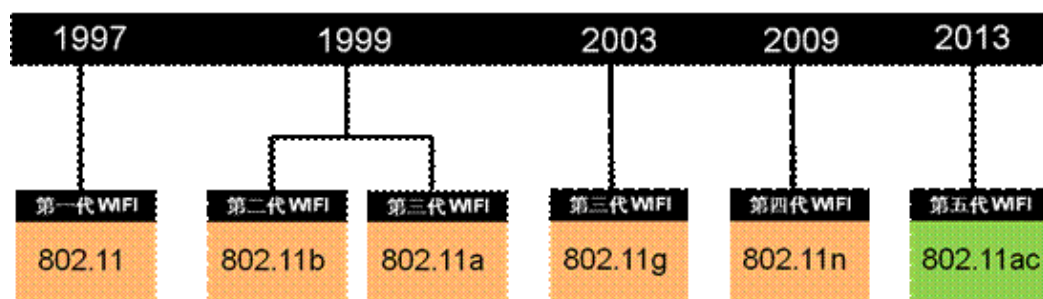
---

从1997年第一代802.11标准802.11发布至今，Wi-Fi经历了巨大的发展和普及，802.11ac的推出又一次推动了802.11大步的前进。802.11ac在走向市场的过程中分为两个阶段，即802.11ac Wave1和802.11ac Wave2两个阶段。本文将介绍什么是802.11ac以及802.11ac对比802.11n的优势。

# 2 什么是 802.11ac

在今天，Wi-Fi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Wi-Fi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 2-1 802.11 标准的演进



802.11ac的驱动力的一方面来自于有线以太网，另一方面来自于部署中的应用需求。在有线以太网GE接入渐成主流的大背景下，Wi-Fi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：

- 大带宽需求应用  
大带宽需求的应用在Wi-Fi的应用越来越广泛：
  - 苹果iCloud服务类的同步
  - YouTube视频类业务
  - Vine（由Twitter所有）视频摄制及分享类应用类业务
  - 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
  - 越来越多的企业通过视频的方式宣传其产品与方案
  - ...

这些应用对Wi-Fi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。

- 海量的终端接入

- 在BYOD趋势下，每个员工可能同时两个甚至多个Wi-Fi终端，而每个终端都在消耗着网络资源。
- 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。
- 在用户无线接入逐步增多，有线接入越来越少大背景下，通过Wi-Fi接入的终端会越来越多。
- 3G/4G系统的offload  
在蜂窝系统数据业务大爆发的背景下，越来越多的流量被分担到Wi-Fi网络上以减少蜂窝系统的负载，Wi-Fi被定位第“N”张网而委以重任。这也需要Wi-Fi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Wi-Fi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（Wi-Fi Alliance，Wi-Fi联盟）将它拆分成了两个阶段：即802.11ac Wave1和802.11ac 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802.11ac技术的可演进性，保持了Wi-Fi的竞争力。

# 3 802.11ac VS 802.11n

第五代802.11标准802.11ac是对第四代标准802.11n的优化和发展，我们在谈论它是什么的时候，经常会拿它与802.11n以及工作在相同频段的802.11a进行对比。下表中给出了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-MIMO 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)	-	Staggered and NDP	NDP
Feedback Format	-	Compressed and non- Compressed V Matrix	Compressed V Matrix
Link Adaptation	N	Y	Y
Coding	BCC	BCC/ LDPC(option)	BCC/LDPC(option)

Feature	802.11a	802.11n	802.11ac
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	-	-	Supported for MU-MIMO
Static/Dynamic BA Opration	-	N	Y
MSDU	2304 B	2304 B or 7920 B	2304 B or 7920 B
MPDU	3895 B	3895 B or 7991 B	3895 B, 7991 B, or 11454 B
A-MSDU	N	3839 B or 7396 B	3839 B or 7396 B
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，802.11ac对信道带宽、MIMO、调制方式等很多方面做了优化改进或引入了新的技术点，但整体架构仍然与802.11n是一样的。因此，802.11ac相对于802.11n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，802.11ac在吞吐率性能上最大达到了6.93Gbps，相对于802.11n最大600Mbps，几乎增加了10倍。即使在最初推出的802.11ac Wave1的产品，其吞吐率性能也能达到1.3Gbps，完全达到了人们对Gbit Wi-Fi的期待和定位。802.11ac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（最多同时与4个用户传输数据），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。



# 4 802.11ac Wave1 的关键技术

从前面的对比可以发现，802.11ac Wave1在很多方面对802.11n做了改进或者优化：

- 引入了新的技术或者扩展了原有的技术以增加吞吐率或接入用户数。例如：更多流MIMO、256QAM、多用户MIMO等。
- 优化了协议，放弃了原先的很多可选性以减少复杂度。例如：TXBF放弃了支持隐式TXBF，信道探测和反馈方式也只支持一种方式。
- 保持与旧协议的兼容性。例如：改进了物理层帧结构，考虑了不同信道带宽共存时的信道管理等。

下表给出了主要的改进或优化点：

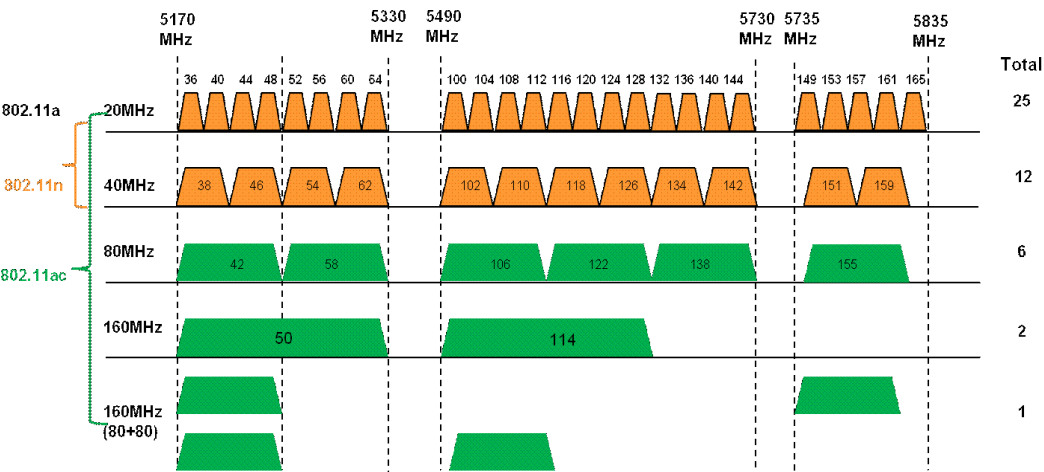
序号	改进/优化点	描述	带来的价值
1	信道带宽	<ul style="list-style-type: none"><li>• 增加支持80M信道带宽。</li><li>• 增加支持160M信道带宽。</li><li>• 增加支持两个不相邻的80M带宽，组合成160M信道带宽。</li></ul>	增加吞吐率。
2	工作频率	小于6GHz的频率，但其中不包括2.4GHz，5GHz是其主要承载频率。	<ul style="list-style-type: none"><li>• 频谱资源更丰富。</li><li>• 干扰更少。</li></ul>
3	MIMO	<ul style="list-style-type: none"><li>• 改进单用户MIMO，最多可支持多达8条流。</li><li>• 引入多用户MIMO，最多可支持4个用户同时传输数据。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 增加吞吐率。</li><li>• 增加接入用户数。</li><li>• 增强链路的可靠性</li></ul>
4	TXBF	<ul style="list-style-type: none"><li>• 改进为仅支持显式波束成形（不再支持隐式）。</li><li>• 改进信道探测和反馈方式：信道探测使用空数据帧NDP，反馈信息由compressed V matrix组成，放弃了原来多种探测方式和多种反馈方式。</li></ul>	简化设计，减少复杂度。

序号	改进/优化点	描述	带来的价值
5	MCS	<ul style="list-style-type: none"><li>引入了256-QAM（256-QAM码率3/4和256-QAM码率5/6）。</li><li>不再按MIMO给出MCS，统一给出了10种MCS方式。</li></ul>	提升吞吐率。
6	兼容性	<ul style="list-style-type: none"><li>放弃了Greenfield前导码设计，仅支持Mixed前导码。</li><li>改进了物理层的帧结构，以保持对旧802.11标准的兼容。</li></ul>	增强了与以往Wi-Fi标准的兼容性。
7	带宽管理	增加信道管理，考虑20M、40M、80M、160M带宽共存时的信道管理问题。	<ul style="list-style-type: none"><li>增加了信道利用率。</li><li>减少信道干扰。</li><li>提升吞吐率。</li><li>增强了兼容性。</li></ul>
8	帧聚合	<ul style="list-style-type: none"><li>增加了帧聚合的聚合度。</li><li>在MAC层改为只支持A-MPDU的聚合。</li></ul>	提升MAC层效率，提升吞吐率。

信道带宽

802.11ac协议引入了80MHz带宽和160MHz带宽。在802.11n协议中，可以支持20MHz和40MHz两种带宽。其中20MHz信道带宽的必选的，40MHz信道是可选的。在802.11ac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。下图为北美频谱为例，给出了802.11ac与802.11n以及802.11a的对比。需要说明的是160MHz的信道，可以支持连续的2个80MHz的信道和不连续的两个80MHz的信道。

图 4-1 802.11ac 信道带宽



这种可变带宽的设计在信道带宽上保留了向小带宽信道的兼容性，同时带宽增加也带来了吞吐率的大幅提升，给用户带来更好的体验。

但信道带宽的扩展也带来了多种信道共存时的干扰问题，如何对信道带宽进行管理既能减少信道干扰又能充分利用频谱带宽，也是802.11ac中信道管理需要考虑的问题。

## 工作频段

在以往的Wi-Fi协议中，Wi-Fi系统的工作频率定义在2.4G或者5G的频段上（802.11n同时支持2.4G和5G）。随着Wi-Fi应用越来越广泛，实践证明2.4G频段上的弊端越来越明显。

- 频率拥挤。大量的非Wi-Fi设备如BabyMonitor、微波炉、无绳电话等也工作在2.4G频段上，这些设备带来的系统外的干扰一直影响着Wi-Fi的性能，并且使得Wi-Fi系统显得束手无策。
- 频率资源少。2.4G只有83.5MHz的频率资源，频率资源少意味着频率复用更加紧密，系统内的干扰更大。同时也限制了使用更高的信道带宽组网，不能充分发挥Wi-Fi吞吐率的优势。

在802.11ac中已经不再支持2.4G频段。这一方面避免了工作在2.4G上收到的种种困扰，另一方面从标准上推动了支持5G频段的终端的普及。在802.11n时期，现网中仍然有近一半以上的终端仅支持2.4G频段。

虽然协议上会将11ac的工作频率定义在小于6GHz的不包括2.4GHz的频率，但其主流的工作频段仍然会是5G频段，因此802.11ac也被俗称为5G Wi-Fi。

## MCS

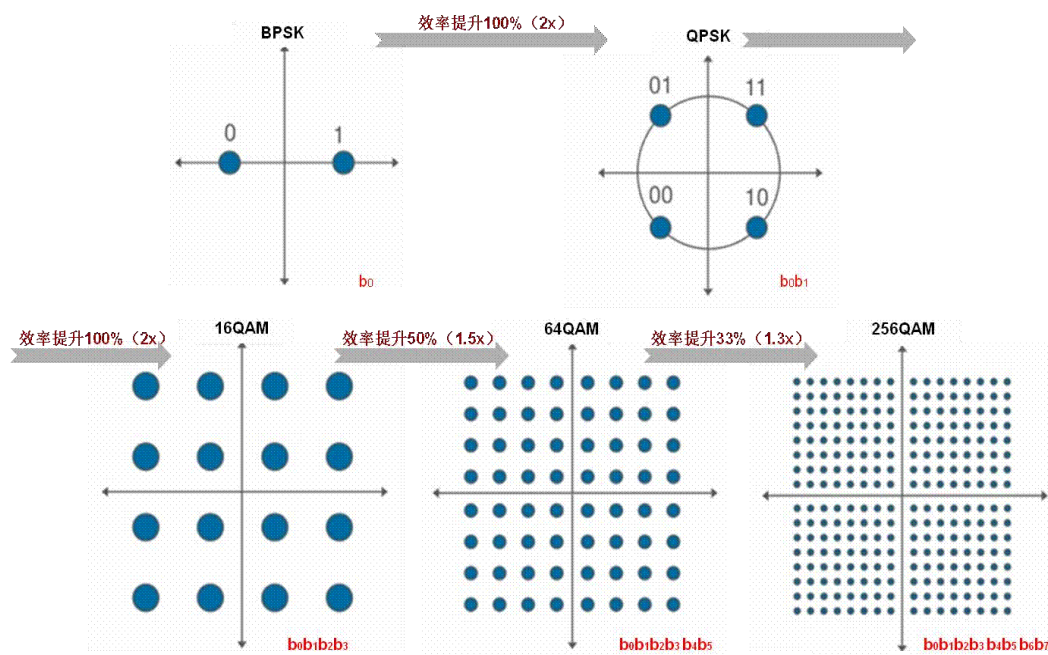
在802.11n中为每个MIMO组合定义了8种MCS，如下表所示。在调制方式中包括了BPSK、QPSK、16QAM和64QAM。

MCS Index	调制方式	码率	802. 11n	802.11ac
0	BPSK	1/2	支持	支持
1	QPSK	1/2	支持	支持
2	QPSK	3/4	支持	支持
3	16-QAM	1/2	支持	支持
4	16-QAM	3/4	支持	支持
5	64-QAM	2/3	支持	支持
6	64-QAM	3/4	支持	支持
7	64-QAM	5/6	支持	支持
8	256-QAM	3/4	不支持	支持
9	256-QAM	5/6	不支持	支持

为了提高吞吐率，在802.11ac中引入调制效率更高的更高阶调制方式256Q-AM。支持3/4和5/6两种码率，MCS方式也因此增加到了10种。在MCS的表示上，802.11ac中放

弃了原来为每个MIMO组合进行MCS编码，因此MCS编码方式也由原来的几十种变成了10种。MCS越高，吞吐率越高，这是由于调制编码方式的区别带来的每个子载波代表的bit数的差异。在使用BPSK调制时每个子载波只能表示2个bit，16-QAM时每个子载波表示4个bit，64-QAM时，每个子载波表示6个bit，而在引入256-QAM后，每个子载波可以表示8个bit。下图给出了从BPSK到256-QAM时的星座图，越高阶的调制方式调制效率越高，但不同调制方式时的效率提升也并不是成线性的，越往后提升越不明显。

图 4-2 不同调制方式星座图



256QAM提升了效率，但其对无线环境的要求也更加苛刻，对信噪比（SNR）的要求要比64QAM更高。因此，MCS8与MCS9一般会适应在终端离AP比较近的场景下，这种场景下有用信号强，干扰信号弱，更容易满足SNR要求（ $SNR = \text{有用信号} / \text{干扰信号}$ ）。

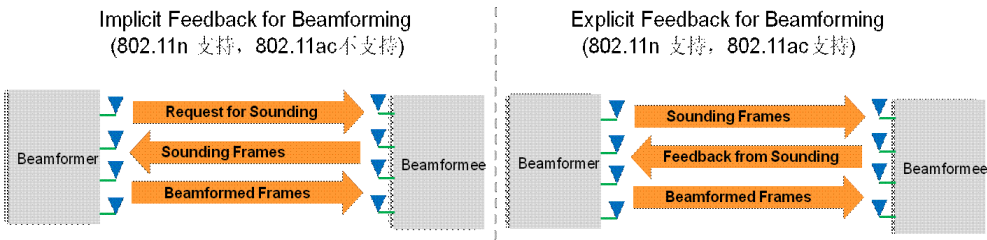
## 单用户 MIMO（SU-MIMO）

单用户MIMO是指单个用户使用的MIMO特性，与多个用户同时传输的MIMO特性相区别，实际上它们都属于MIMO技术。MIMO本身包括空间分集、空间复用。空间分集虽然不能直接提升吞吐率，但其提供的分集增益可以提升信噪比，从而帮助链路使用更高阶的调制编码方式获得容量的提升；空间复用就是我们常说的多流，在不改变信道带宽的前提下，同时传输单个用户的多个数据或者多个用户的数据。

在Wi-Fi中最引人关注的空间分集就是我们常说的波束成形（TXBF）。由于802.11n对TXBF的定义过于复杂，被市场的接收度并不高，在802.11ac中，简化了这些设计。

1. 在802.11n中定义了两种波束成形的方式：显式波束成形和隐式波束成形，但在802.11ac中仅支持显式波束成形。

图 4-3 显式波束成形和隐式波束成形



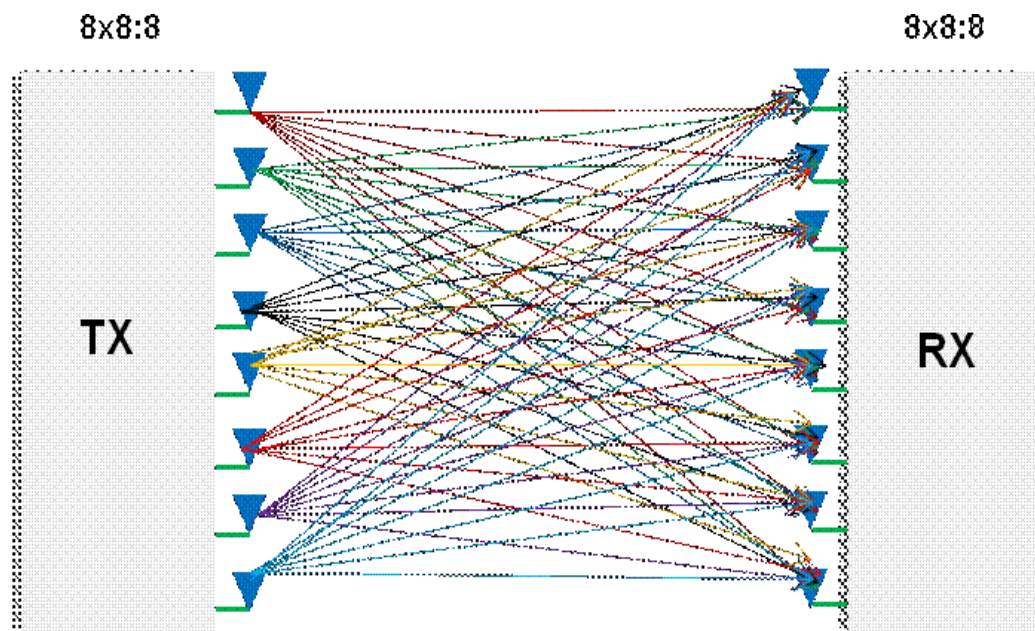
2. 802.11ac对TXBF的改进不仅是放弃了隐式波束成形，而且还体现在显示波束成形的信道探测和反馈上。在802.11n显示波束成形中对信道的探测可以有两种方式：NDP(Null data packet，空包帧)和staggered preamble。反馈格式上有三种：CSI、Noncompressed beamforming和Compressed beamforming。在反馈的实时性上分为immediate和delayed两种。在802.11ac中仅支持NDP的探测方式，在反馈格式上只支持compressed V matrix，并采用immediate的方式。

	Sounding		Feedback Methods and Formats						
	NDP	Staggered Preamble	Implicit	Explicit					
				Immediate			Delayed		
				CSI	Noncompressed	Compressed	CSI	Noncompressed	Compressed
11n	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11ac	X				X				

Wi-Fi在802.11n时中引入的多流，支持空间复用。802.11n第一次在Wi-Fi标准里引入了MIMO技术，最多可以支持多大4条流，最高速率可以达到600Mbps的吞吐率，相对于802.11a/b/g标准有了质的飞跃。在802.11ac标准中，将最大可支持的流数从4条增加到8条，单用户的最大吞吐率也因此接近7Gbps。

不管是空间复用还是分集都需要多天线系统作为前提，如果要实现802.11ac支持8条流的的天线，AP和终端都需要8根天线，这对AP和终端都是一个挑战，因为天线越多，设备的复杂度、尺寸、成本都会大大增加。这也是虽然802.11n可以支持4条流，但主流的802.11n的AP仍然是双天线，而终端仍然是单天线的一个原因。

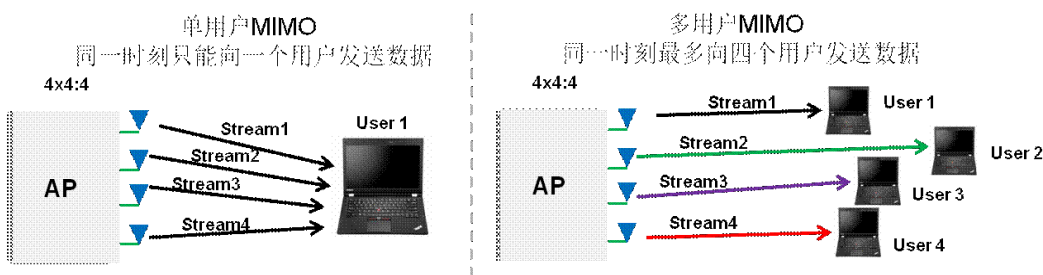
图 4-4 8\*8 MIMO 示意图



## 多用户 MIMO ( MU-MIMO )

多流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）仍然是单流。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，单流终端成为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。

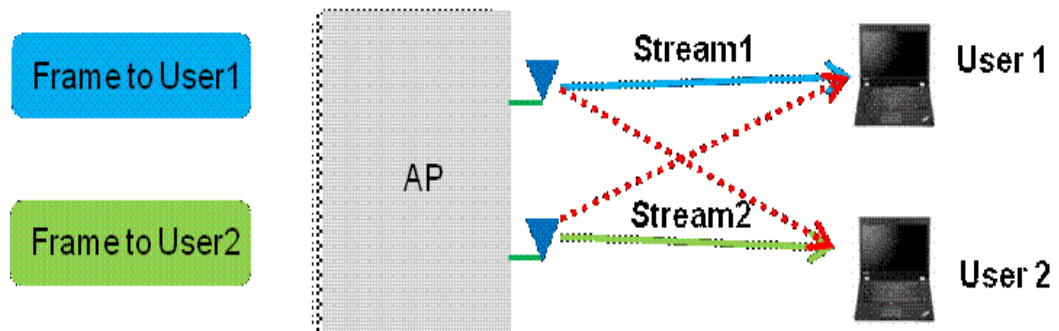
图 4-5 单用户 MIMO 与多用户 MIMO 对比



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来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 4-6 多用户 MIMO 之间的干扰



在802.11ac的多用户MIMO中，只支持下行的多用户MIMO，且最多只能同时给4个用户传输数据，对于用户的上行数据仍然采用一个一个发送的方式，不能并发。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。

当AP支持EDCA时，不同的用户业务的优先级可能不一样，这样会分布到不同的AC队列中。在多用户MIMO时通过TXOP共享实现不同优先级的用户同时传输。

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无法使用256QAM的调制方式。

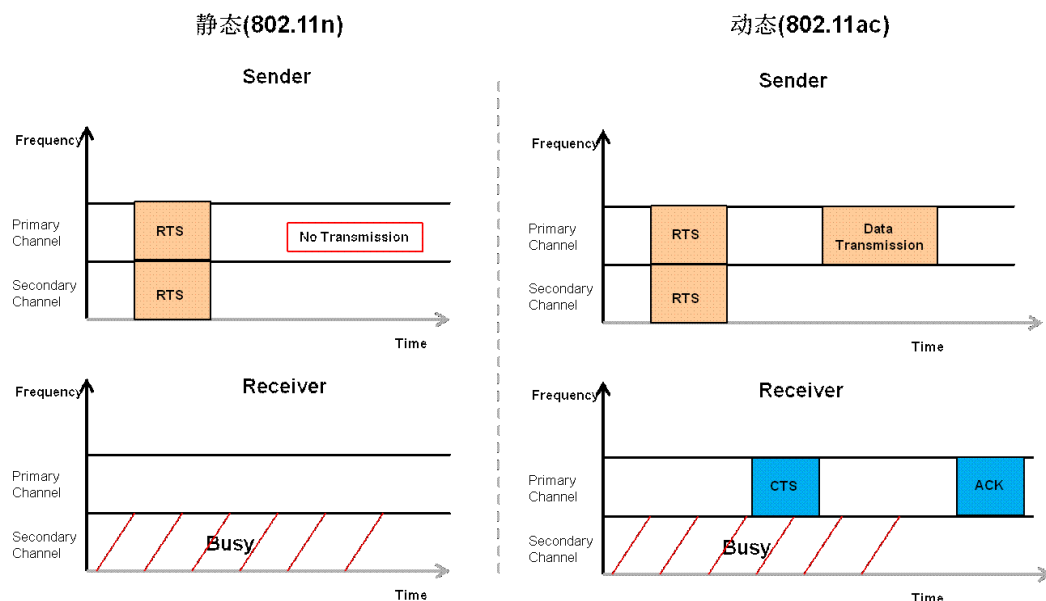
## 动态信道管理

802.11ac支持从20MHz到160MHz的几种不同的信道带宽，这种灵活性也给信道管理带来挑战。当网络中有不同的带宽的信道在使用时怎么管理这种状况，以减少信道之间的干扰，并且保证信道得到充分的利用。

在802.11ac中，增强定义了RTS/CTS机制，用来协调什么时候信道可用和哪些信道可用。具体的协调机制如下：

1. 802.11ac设备在其使用的信道内以20MHz为单位的子信道内发送RTS。当信道带宽为80MHz时，再复制3份充满80MHz；当信道带宽为160MHz时，复制7份充满160MHz。这样做的好处是，不管周边设备的主信道是80MHz或者160MHz信道中的任意20MHz都可以侦听到这个RTS报文。每个收到RTS报文的设备将虚拟载波侦听设为忙。
2. 收到RTS报文的设备会检测其主信道或者80MHz带宽内的其他子信道是否繁忙。如果信道带宽的一部分被使用，则接收设备只会在CTS帧内响应可用的20MHz的子带宽，并报告重复的带宽。
3. 在每个可用的20MHz带宽的子信道上回复CTS报文。这样发送设备就知道了哪些信道是可用的，哪些信道是不可用的，最终只在可用的子信道上发送数据。

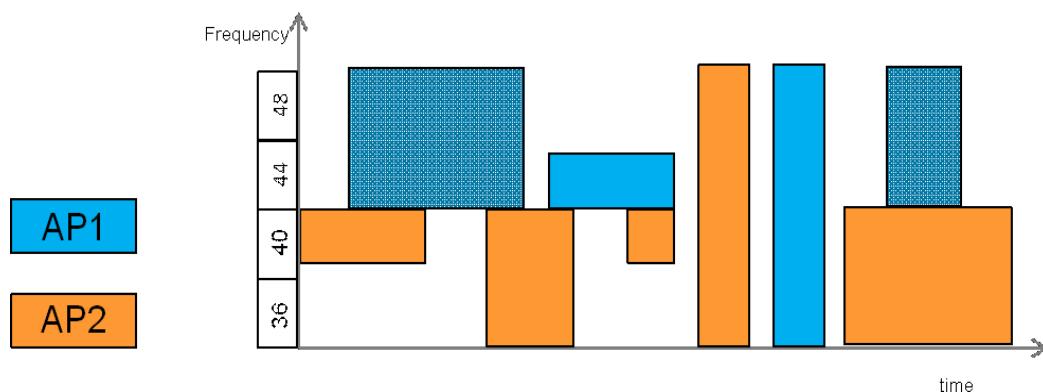
图 4-7 动态频谱管理



如图4-7所示，在原来802.11n的时候，频谱是使用静态的，即发现一个子信道上不可用则整个带宽都不可用，而在802.11ac中，当检测到繁忙的子信道不可用时，其他子信道仍然可以发送数据。

动态带宽管理几乎是为了频谱复用而设计的，通过动态信道管理可以增加信道的利用率，减少信道之间的干扰。在这种机制下可以让两个AP同时工作在一个相同的带宽信道上。

图 4-8 两个 AP 工作在相同 80M 带宽



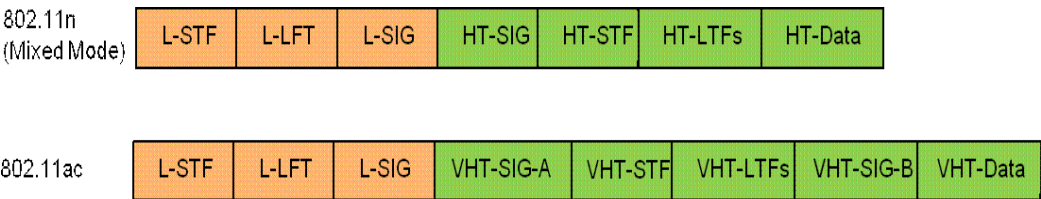
## 兼容性

在原来802.11n中的物理层定义了两种不同的前导，一种是Greenfield格式，一种是Mixed格式。Greenfield完全不考虑与以前系统的兼容性，一直备受争议，在802.11ac中已完全放弃了Greenfield格式，而对于Mixed格式也进行了改进，以保证其现有设备良好的兼容性。

从帧结构上看，802.11ac的系统能够探测接入设备的帧结构里所包含的前导码（preamble）和导频信号（pilot），来区分接入设备使用的是何种标准并自适应，这就是后向兼容。802.11n和802.11ac的帧结构如图4-9所示。



图 4-9 802.11n 和 802.11ac 帧结构对比

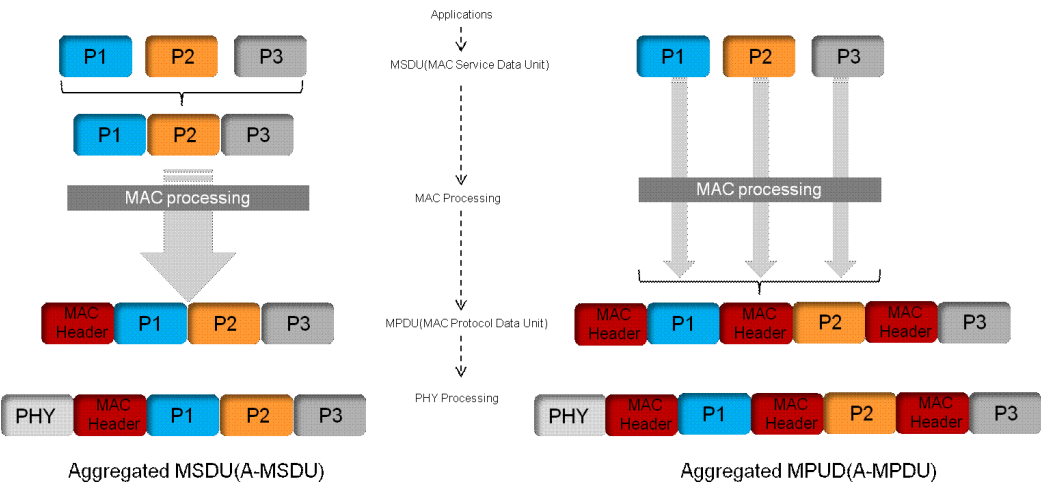


从这两个帧结构里可以看到，最前面的3个部分：短码部分（short training field-STF）、长码部分（long training field-LTF）和信号部分（signal field-SIG）是用来兼容现有标准的（即802.11a/b/g/n），也就是它们都有一个开头字母L，代表的Legacy的含义。第4个部份VHT-SIG-A第一个码字是BPSK调制信号，而第二个码字则旋转了90°，为QBPSK，用来区分HT和VHT模式。在802.11ac中的VHT-STF用来改善在MIMO传输中的自动增益控制。紧跟在VHT-STF后面的是VHT-LTF，即长训练序列，它为接收机提供了在发射天线和接收天线之间进行MIMO预估信道测算的比特。根据空分码流的总数可以分为1、2、4、6或者8个VHT-LTF。在802.11ac中，1，2或者4个VHT-LTF进行直接映射，又增加了6或者8个VHT-LTF用于最大8个空分码流的应用。VHT-SIG-B描述了所要传输的数据长度、调制方式和编码方式（即MCS）是单个用户还是多用户的模式。

帧聚合

在Wi-Fi中每一个帧的传输都需要在空中口中进行，通过CSMA/CA的方式取得对空口的使用权。大量帧传输时，这种碰撞大大降低了空口的利用率。从802.11n开始，在MAC层引入了帧聚合技术，将MSDU或MPDU进行聚合后再进行物理层封装，使得多个帧使用同一个物理头，提高封装效率，减少对空口的占用和争抢次数。

图 4-10 A-MSDU 与 A-MPDU



A-MSDU和A-MPDU的封装过程如图4-10所示。两种聚合都能提高封装效率，但是A-MPDU有一个显而易见的好处，当传输过程中发生错误时，A-MSDU需要对整个聚合的帧重传，而在A-MPDU中每个MPDU都有自己的MAC头，发生错误时只需要对错误的数据包进行重传，而不需要对整个聚合帧进行重传。这也是在实际中A-MPDU比A-MSDU用得更多的原因。

在802.11ac中，为了进一步提高效率和可靠性，增加了MPDU帧的大小和A-MPDU帧的大小，并且只支持A-MPDU。

PHY	Aggregation	Max Bytes(Layer 2)	Max Bytes(Layer 1)	Max Data Rate	Throughput
802.11b	NO	2304	2336	11Mbps	5 ~ 6Mbps
802.11a/g	NO	2304	2336	54Mbps	20 ~ 25Mbps
802.11n	YES	7935	65535	450Mbps	270Mbps
802.11ac	YES	11454	1048575	1.3Gbps	800Mbps

# 5 802.11ac Wave2 VS 802.11ac Wave1

802.11ac Wave1和802.11ac Wave2是Wi-Fi联盟将802.11ac标准推向市场的不同阶段。Wave1的802.11ac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API以及智能终端上都得到了越来越广泛的支持和应用。Wave2的802.11ac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802.11ac Wave1、802.11ac Wave2以及IEEE的802.11ac标准之间的主要区别如下表所示。

Feature	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	6.9Gbps
MAC Throughput 说明 假设MAC效率为65%。	845Mbps	2.26Gbps	4.49Gbps

从上表可以发现，与802.11ac Wave1相比，802.11ac Wave2的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。802.11ac Wave2的这种变化，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。

- 支持多用户MIMO（MU-MIMO）  
802.11ac Wave1只支持单用户MIMO，AP一次同时只能与一个用户通信。而802.11ac 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。

- 最大可支持160MHz（连续160MHz或者2个不连续80MHz组合）

802.11ac Wave1最大可以支持80MHz信道带宽，而802.11ac 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。

- 最多可支持4条的MIMO流。

802.11ac Wave1最大可以支持3条MIMO流，而802.11ac 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802.11ac Wave2的吞吐率。峰值吞吐率从802.11ac Wave1时代的1.3Gbps（3条流），增加到802.11ac 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，WFA认证的802.11ac 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）。

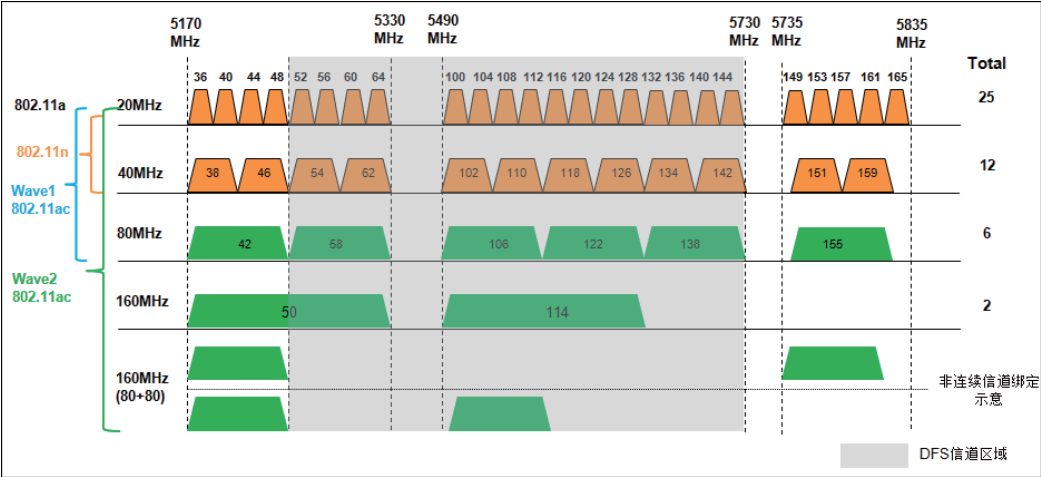
# 6 802.11ac Wave2 的关键特性

在802.11ac Wave2中，最主要的两个变化是引入了MU-MIMO以及支持可绑定的更大信道带宽。

## 支持可绑定的更大信道带宽

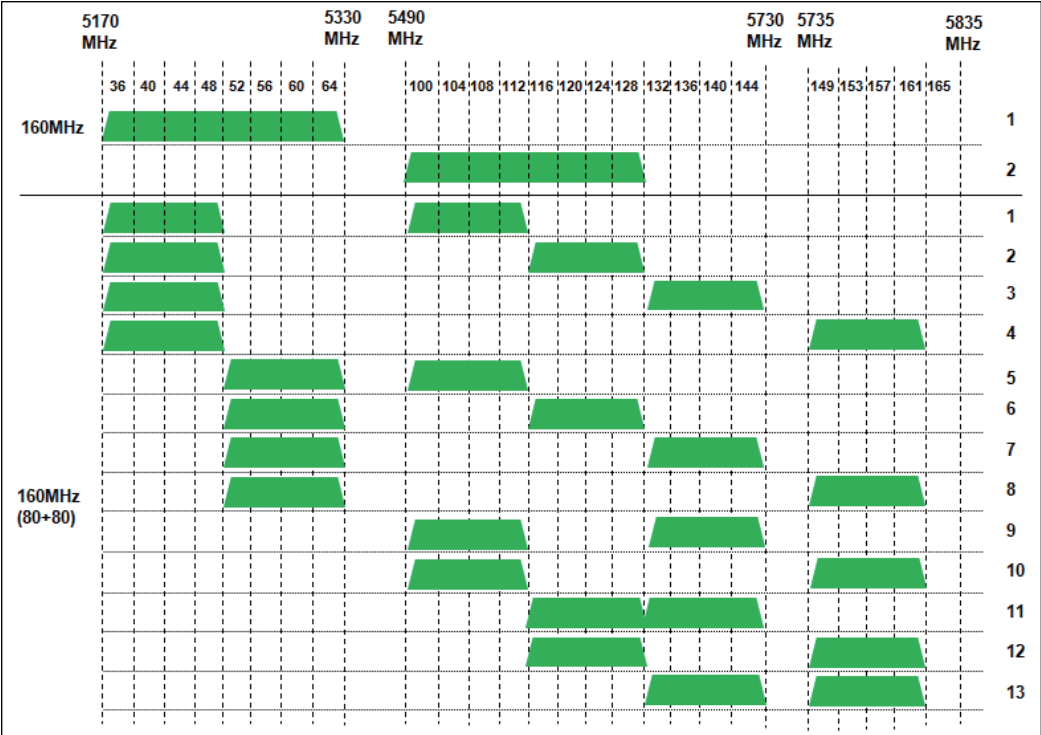
在IEEE的802.11n协议中，可以支持20MHz和40MHz两种带宽。其中20MHz信道带宽是必选的，40MHz信道是可选的。在IEEE的11ac协议中，可以支持20MHz、40MHz、80MHz、80+80MHz（不连续，非重叠）和160MHz，其中20MHz、40MHz、80MHz是必选的，80+80MHz和160MHz是可选的。在WFA的802.11ac Wave1阶段，支持20MHz、40MHz、80MHz；在WFA的802.11ac Wave2阶段，增加支持160MHz，并且160MHz可以是连续的，也可以通过不连续的非重叠带宽绑定实现。下图为北美频谱为例，给出了802.11ac Wave1、802.11ac Wave2、802.11n以及802.11a的对比。

图 6-1 802.11ac 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，最多可以支持如图6-2所示的13种绑定方式。

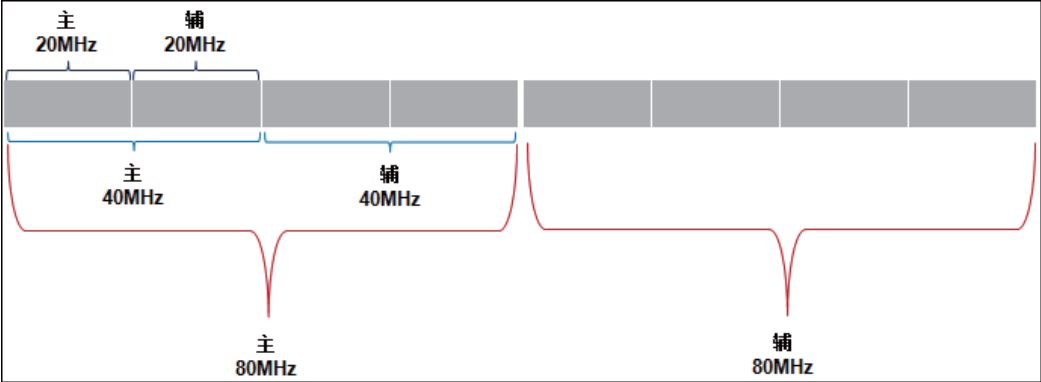
图 6-2 802.11ac Wave2 80MHz+80MHz 信道组合



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 80MHz channel）和一个辅信道（Secondary 80MHz channel）两部分组成。如图6-3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 6-3 802.11ac Wave2 HT160 信道组成

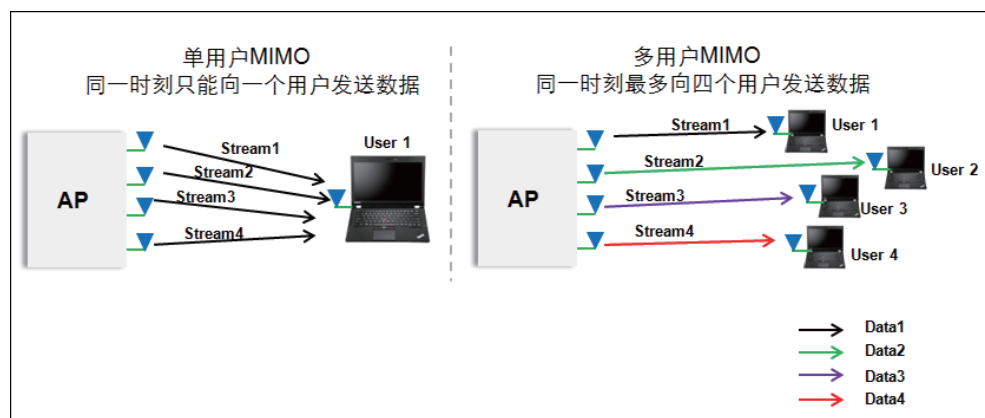


### 支持 MU-MIMO

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是解决这个问题的一个好办法。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

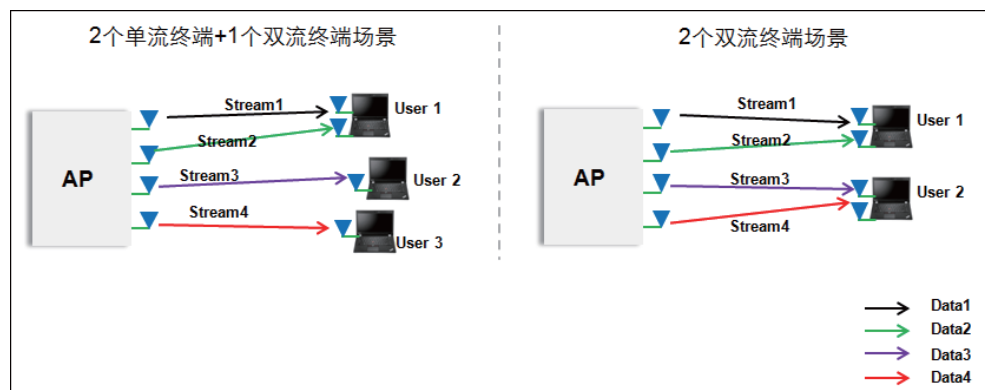
时给多个用户（最多支持4个用户）发送不同的数据。比如在下图中，给出了一个支持4\*4 MIMO的AP和一个只支持1\*1 MIMO的终端通信时的对比。在单用户MIMO场景下，在AP的每根天线上都是发送的相同一份数据。虽然不同天线发送相同的数据会带来分集增益，但收益是有限的。而在多用户MIMO场景下，在AP的每根天线上发送不同的数据（不同的天线对应不同的用户），就单个AP来说，可以发送4份不同的数据，效率比单用户MIMO提升了4倍。

图 6-4 单用户 MIMO 与多用户 MIMO 对比



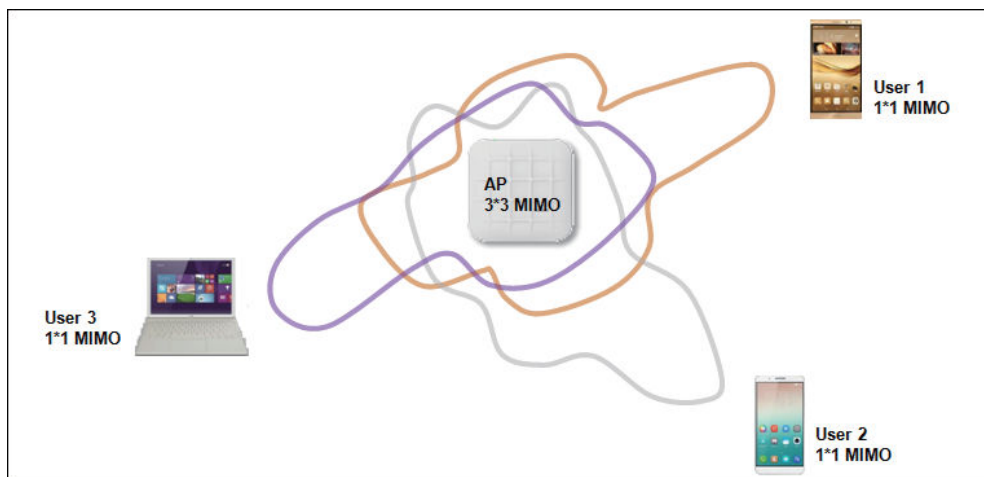
多用户MIMO同样也可以在支持多流终端和单流终端混合场景下的多用户MIMO。比如在下图中，给出了1个双流终端与2个单流终端混合的场景，以及2个双流终端混合的场景。

图 6-5 不同 MIMO 能力终端混存示意



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 6-6 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。而对于用户的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。



# 7 更多信息: Wi-Fi 6 ( 802.11ax )

---

[什么是802.11ax \( Wi-Fi 6 \)](#)