

什么是 802.11ax (Wi-Fi 6)

文档版本

01

发布日期

2019-08-31



版权所有 © 华为技术有限公司 2019。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：<http://e.huawei.com>

目 录

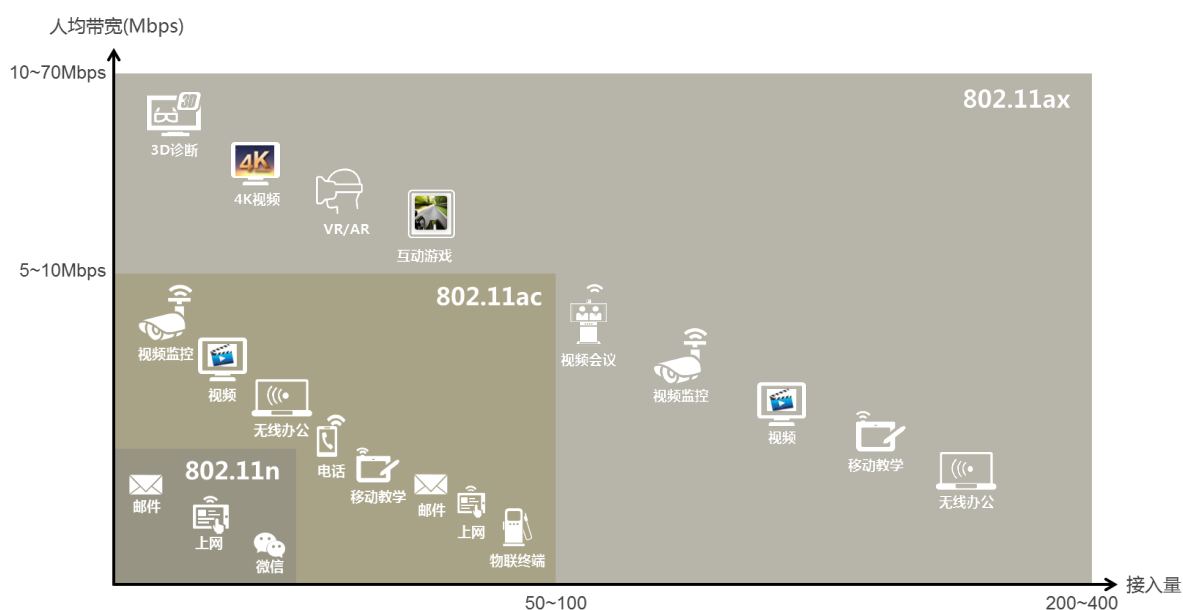
- 1 简介..... 1
- 2 什么是 Wi-Fi 6..... 2
- 3 Wi-Fi 6 速度有多快? 4
- 4 Wi-Fi 6 核心技术..... 7
 - 4.1 OFDMA 频分复用技术..... 7
 - 4.2 DL/UL MU-MIMO 技术..... 10
 - 4.3 更高阶的调制技术（1024-QAM） 12
 - 4.4 空分复用技术（SR）和 BSS Coloring 着色机制..... 12
 - 4.5 扩展覆盖范围（ER） 14
- 5 其他 Wi-Fi 6（802.11ax）新特性..... 15
 - 5.1 支持 2.4GHz 频段..... 15
 - 5.2 目标唤醒时间（TWT） 15
- 6 相关信息..... 17

1 简介

Wi-Fi已成为当今世界无处不在的技术，为数十亿设备提供无线连接，也是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，每一代802.11的标准都在大幅度的提升其速率。

随着视频会议、无线互动VR、移动教学等业务应用越来越丰富，Wi-Fi接入终端越来越多。IoT的发展更是让越来越多的智能家居设备接入到Wi-Fi网络。因此，Wi-Fi网络仍需要不断提升速率，同时还需要考虑是否能接入更多的终端，适应不断扩大的客户端设备数量以及不同应用的用户体验需求。

图 1-1 不同 Wi-Fi 标准下的接入量与人均带宽关系



下一代Wi-Fi需要解决更多终端的接入导致整个Wi-Fi网络效率降低的问题，早在2014年IEEE 802.11工作组就已经开始着手应对这一挑战，802.11ax标准将引入上行MU-MIMO、OFDMA正交频分多址接入、1024-QAM高阶调制等技术，将从频谱资源利用、多用户接入等方面解决网络容量和传输效率问题。目标是在密集用户环境中将用户的平均吞吐量相比如今的Wi-Fi 5提高至少4倍，并发用户数提升3倍以上，因此，Wi-Fi 6（802.11ax）也被称为高效无线（HEW）。

2 什么是 Wi-Fi 6

Wi-Fi 6是下一代802.11ax标准的简称。随着Wi-Fi标准的演进，WFA为了便于Wi-Fi用户和设备厂商轻松了解其设备连接或支持的Wi-Fi标准，选择使用数字序号来对Wi-Fi重新命名。另一方面，选择新一代命名方法也是为了更好地突出Wi-Fi技术的重大进步，它提供了大量新功能，包括更大的吞吐量和更快的速度、支持更多的并发连接等。根据WFA的公告，现在的Wi-Fi命名和802.11技术标准的对应关系如表2-1所示。

和以往每次发布新的802.11标准一样，802.11ax也将兼容之前的802.11ac/n/g/a/b标准，老的终端一样可以无缝接入802.11ax网络。

表 2-1 802.11 标准与新命名

发布年份	802.11标准	频段	新命名
2009	802.11n	2.4GHz或5GHz	Wi-Fi 4
2013	802.11ac Wave1	5GHz	Wi-Fi 5
2015	802.11ac Wave2	5GHz	
2019	802.11ax	2.4GHz或5GHz	Wi-Fi 6

802.11ax设计之初就是为了适用于高密度无线接入和高容量无线业务，比如室外大型公共场所、高密场馆、室内高密无线办公、电子教室等场景。

图 2-1 高密高带宽应用场



在这些场景中，接入Wi-Fi网络的客户端设备将呈现巨大增长，另外，还在不断增加的语音及视频流量也对Wi-Fi网络带来调整，根据预测，到2020年全球移动视频流量将占移动数据流量的50%以上，其中有80%以上的移动流量将会通过Wi-Fi承载。我们都知道4K视频流（带宽要求50Mbps/人）、语音流（时延小于30ms）、VR流（带宽要求

75Mbps/人，时延小于15ms）对带宽和时延是十分敏感的，如果网络拥塞或重传导致传输延时，将对用户体验带来较大影响。而现有的Wi-Fi 5（802.11ac）网络虽然也能提供大带宽能力，但是随着接入密度的不断上升，吞吐量性能遇到瓶颈。而Wi-Fi 6（802.11ax）网络通过OFDMA、UL MU-MIMO、1024-QAM等技术使这些服务比以前更可靠，不但支持接入更多的客户端，同时还能均衡每用户带宽。比如说电子教室，以前如果是100多位学生的大课授课形式，传输视频或是上下行的交互挑战都比较大，而802.11ax网络将轻松应对该场景。

3 Wi-Fi 6 速度有多快？

4G是移动网络高速率的代名词，同样，Wi-Fi 6是无线局域网高速率的代名词。Wi-Fi 6的速率由以下几个因素决定。

计算公式：

整机速率 = 空间流数量 × 1 / (Symbol+GI) × 编码方式 × 码率 × 有效子载波数量

- 空间流数量
空间流其实就是AP的天线，天线数越多，整机吞吐量也越大，就像高速公路的车道一样，8车道一定会比4车道运输量更大。

表 3-1 不同 802.11 标准对应的单射频最大空间流数量

802.11协议标准	单射频最大空间流数量
802.11a/g	1
802.11n	4
802.11ac	8
802.11ax	8

- Symbol与GI
Symbol就是时域上的传输信号，相邻的两个Symbol之间需要有一定的空隙（GI），以避免Symbol之间的干扰。就像中国的高铁一样，每列车相当于一个Symbol，同一个车站发出的两列车之间一定要有一个时间间隙，否则两列车就可能会发生碰撞。不同Wi-Fi标准下的间隙也有不同，一般来说传输速率较快时GI需要适当增大，就像同一车道上两列350KM/h时速的高铁发车时间间隙要比时速250KM/h时速的高铁发车间隙要大一些。

表 3-2 802.11 标准对应的 Symbol 与 GI 数据

Symbol与GI	802.11ac之前	802.11ax
Symbol	3.2 us	12.8 us

Symbol与GI	802.11ac之前	802.11ax
Short GI	0.4 us	-
GI	0.8 us	0.8 us
2*GI	-	1.6 us
4*GI	-	3.2 us

- 编码方式

编码方式就是调制技术，即1个Symbol里面能承载的bit数量。从Wi-Fi 1到Wi-Fi 6，每次调制技术的提升，都能至少给每条空间流速率带来20%以上的提升。

表 3-3 802.11 标准对应的 QAM

802.11协议标准	最高阶调制	bit数/Symbol
802.11a/g	64-QAM	6
802.11n	64-QAM	6
802.11ac	256-QAM	8
802.11ax	1024-QAM	10

- 码率

理论上应该是按照编码方式无损传输，但现实没有这么美好。传输时需要加入一些用于纠错的信息码，用冗余换取高可靠度。码率就是排除纠错码之后实际真实传输的数据码占理论值的比例。

表 3-4 802.11 标准对应的码率

协商方式	调制方式	802.11a/g	802.11n	802.11ac	802.11ax
MCS0	BPSK	1/2	1/2	1/2	1/2
MCS1	QPSK	1/2	1/2	1/2	1/2
MCS2	QPSK	3/4	3/4	3/4	3/4
MCS3	16-QAM	1/2	1/2	1/2	1/2
MCS4	16-QAM	3/4	3/4	3/4	3/4
MCS5	64-QAM	2/3	2/3	2/3	2/3
MCS6	64-QAM	3/4	3/4	3/4	3/4
MCS7	64-QAM	5/6	5/6	5/6	5/6
VMCS8	256-QAM	-	-	3/4	3/4
VMCS9	256-QAM	-	-	5/6	5/6

协商方式	调制方式	802.11a/g	802.11n	802.11ac	802.11ax
VMCS10	1024-QAM	-	-	-	3/4
VMCS11	1024-QAM	-	-	-	5/6

- 有效子载波数量

载波类似于频域上的Symbol，一个子载波承载一个Symbol，不同调制方式及不同频宽下的子载波数量不一样。

表 3-5 802.11 标准对应的子载波数量

子载波参数	频宽	802.11n	802.11ac	802.11ax
最小子载波带宽	-	312.5 KHz	312.5 KHz	78.125KHz
有效子载波数量	HT20	52	52	234
	HT40	108	108	468
	HT80	-	234	980
	HT160	-	2 x 234	2 x 980

至此，我们可以计算出802.11ac与802.11ax在HT80频宽下的单条空间流最大速率：

PHY	1/(Symbol +GI)	Bit数/ Symbol	码率	有效子载波	速率
802.11ac	1/(3.2us +0.4us)	8	5/6	234	433 Mbit/s
802.11ax	1/(12.8us +0.8us)	10	5/6	980	600 Mbit/s

4 Wi-Fi 6 核心技术

Wi-Fi 6(802.11ax)继承了Wi-Fi 5(802.11ac)的所有先进MIMO特性，并新增了许多针对高密部署场景的新特性。以下是Wi-Fi 6的核心新特性：

- 4.1 OFDMA频分复用技术
- 4.2 DL/UL MU-MIMO技术
- 4.3 更高阶的调制技术（1024-QAM）
- 4.4 空分复用技术（SR）和BSS Coloring着色机制
- 4.5 扩展覆盖范围（ER）

下面详细描述这些核心新特性。

4.1 OFDMA频分复用技术

4.2 DL/UL MU-MIMO技术

4.3 更高阶的调制技术（1024-QAM）

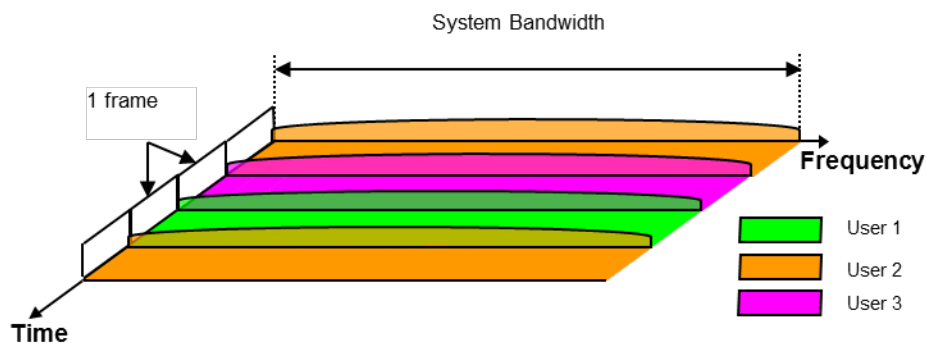
4.4 空分复用技术（SR）和BSS Coloring着色机制

4.5 扩展覆盖范围（ER）

4.1 OFDMA 频分复用技术

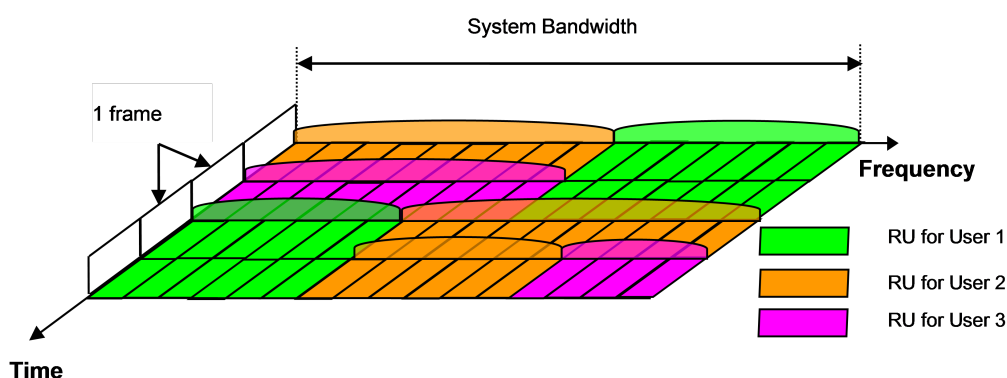
802.11ax之前，数据传输采用的是OFDM模式，用户是通过不同时间片段区分出来的。每一个时间片段，一个用户完整占据所有的子载波，并且发送一个完整的数据包，如下图所示。

图 4-1 OFDM 工作模式



802.11ax中引入了一种更高效的数据传输模式，叫OFDMA（因为802.11ax支持上下行多用户模式，因此也可称为MU-OFDMA），它通过将子载波分配给不同用户并在OFDM系统中添加多址的方法来实现多用户复用信道资源。迄今为止，它已被许多无线技术采用，例如3GPP LTE。此外，802.11ax标准也仿效LTE，将最小的子信道称为“资源单位（Resource Unit，简称RU）”，每个RU当中至少包含26个子载波，用户是根据时频资源块RU区分出来的。我们首先将整个信道的资源分成一个个小的固定大小的时频资源块RU。在该模式下，用户的数据是承载在每一个RU上的，故从总的时频资源上来看，每一个时间片上，有可能有多个用户同时发送，如下图所示。

图 4-2 OFDMA 工作模式

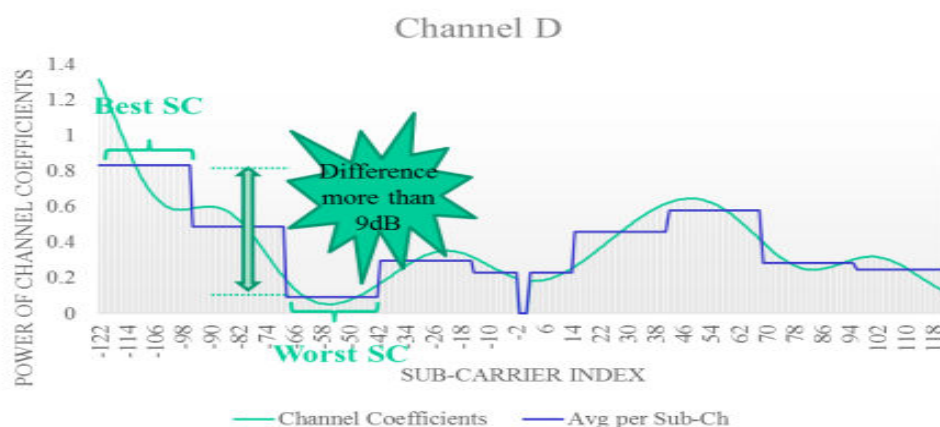


OFDMA相比OFDM一般有三点好处：

- 更细的信道资源分配。

特别是在部分节点信道状态不太好的情况下，可以根据信道质量分配发送功率，来更细腻化的分配信道时频资源。下图呈现出了不同子载波频域上的信道质量差异较大，802.11ax可根据信道质量选择最优RU资源来进行数据传输。

图 4-3 不同子载波频域上的信道质量



- 提供更好的QOS

因为802.11ac及之前的标准都是占据整个信道传输数据的，如果有一个QOS数据包需要发送，其一定要等之前的发送者释放完整整个信道才行，所以会存在较长的时延。在OFDMA模式下，由于一个发送者只占据整个信道的部分资源，一次可以发送多个用户的数据，所以能够减少QOS节点接入的时延。

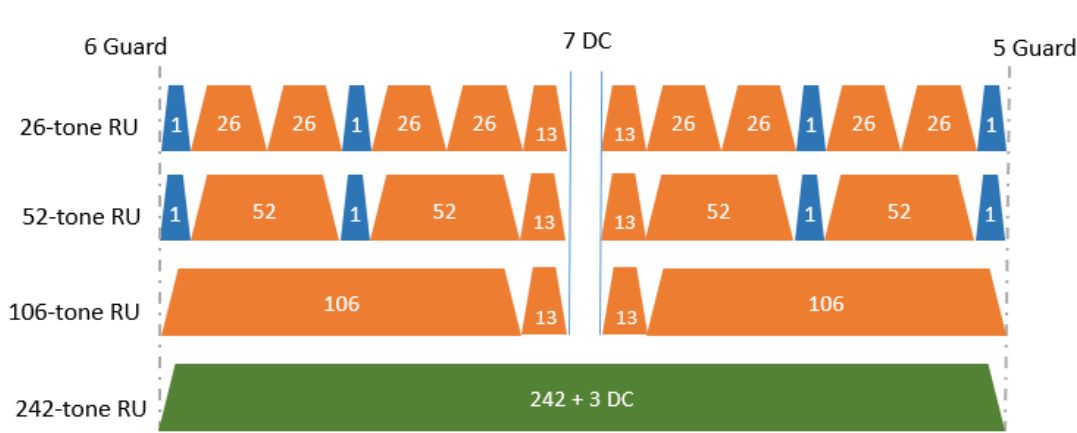
● 更多的用户并发及更高的用户带宽

OFDMA是通过将整个信道资源划分成多个子载波（也可称为子信道），子载波又按不同RU类型被分成若干组，每个用户可以占用一组或多组RU以满足不同带宽需求的业务。802.11ax中最小RU尺寸为2MHz，最小子载波带宽是78.125KHz，因此最小RU类型为26子载波RU。以此类推，还有52子载波RU，106子载波RU，242子载波RU，484子载波RU和996子载波RU，下表显示了不同信道带宽下的最大RU数。

表 4-1 不同频宽下的 RU 数量

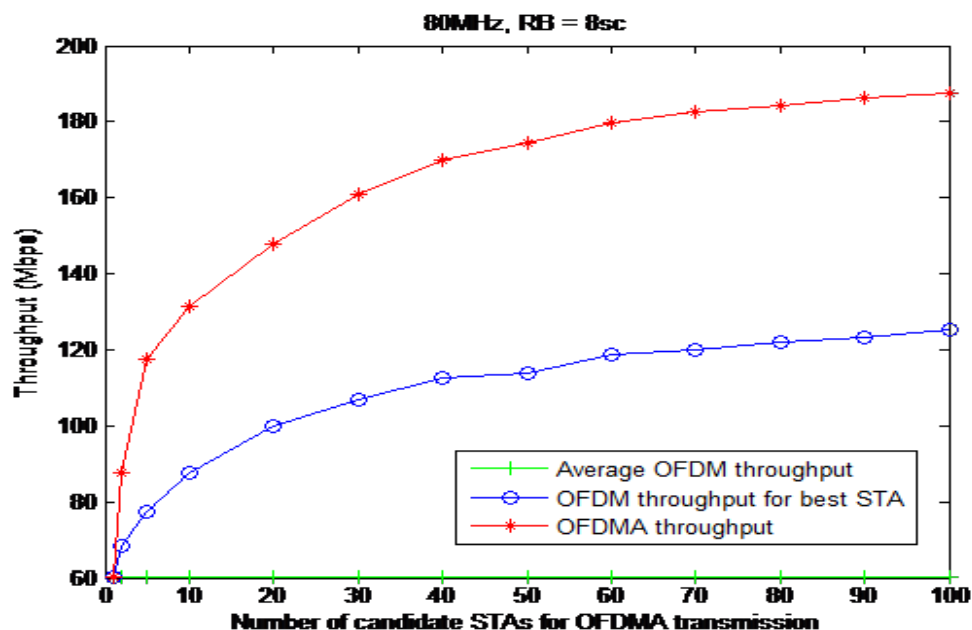
RU type	CBW20	CBW40	CBW80	CBW160 and CBW80+80
26-subcarrier RU	9	18	37	74
52-subcarrier RU	4	8	16	32
106-subcarrier RU	2	4	8	16
242-subcarrier RU	1-SU/MU-MIMO	2	4	8
484-subcarrier RU	-	1-SU/MU-MIMO	2	4
996-subcarrier RU	-	-	1-SU/MU-MIMO	2
2×996-subcarrier RU	-	-	-	1-SU/MU-MIMO

图 4-4 RU 在 20MHz 中的位置示意图



RU数量越多，发送小包报文时多用户处理效率越高，吞吐量也越高，下图是仿真收益：

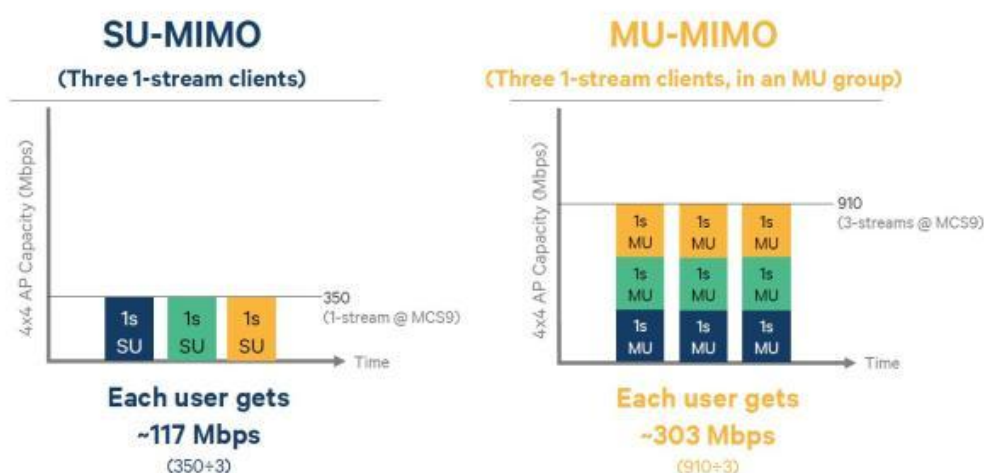
图 4-5 OFDMA 与 OFDM 模式下多用户吞吐量仿真



4.2 DL/UL MU-MIMO 技术

MU-MIMO使用信道的空间分集来在相同带宽上发送独立的数据流，与OFDMA不同，所有用户都使用全部带宽，从而带来多路复用增益。终端受天线数量受限于尺寸，一般来说只有1个或2个空间流（天线），比AP的空间流（天线）要少，因此，在AP中引入MU-MIMO技术，同一时刻就可以实现AP与多个终端之间同时传输数据，大大提升了吞吐量。

图 4-6 SU-MIMO 与 MU-MIMO 吞吐量差异

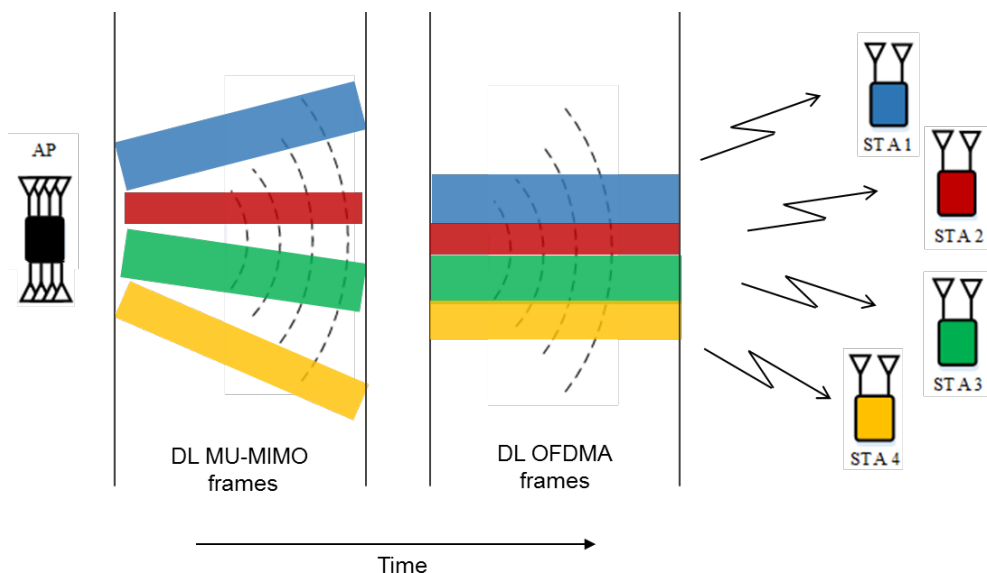


- DL MU-MIMO技术

MU-MIMO在802.11ac就已经引入，但只支持DL 4x4 MU-MIMO（下行）。在802.11ax中进一步增加了MU-MIMO数量，可支持DL 8x8 MU-MIMO，借助DL

OFDMA技术（下行），可同时进行MU-MIMO传输和分配不同RU进行多用户多址传输，既增加了系统并发接入量，又均衡了吞吐量。

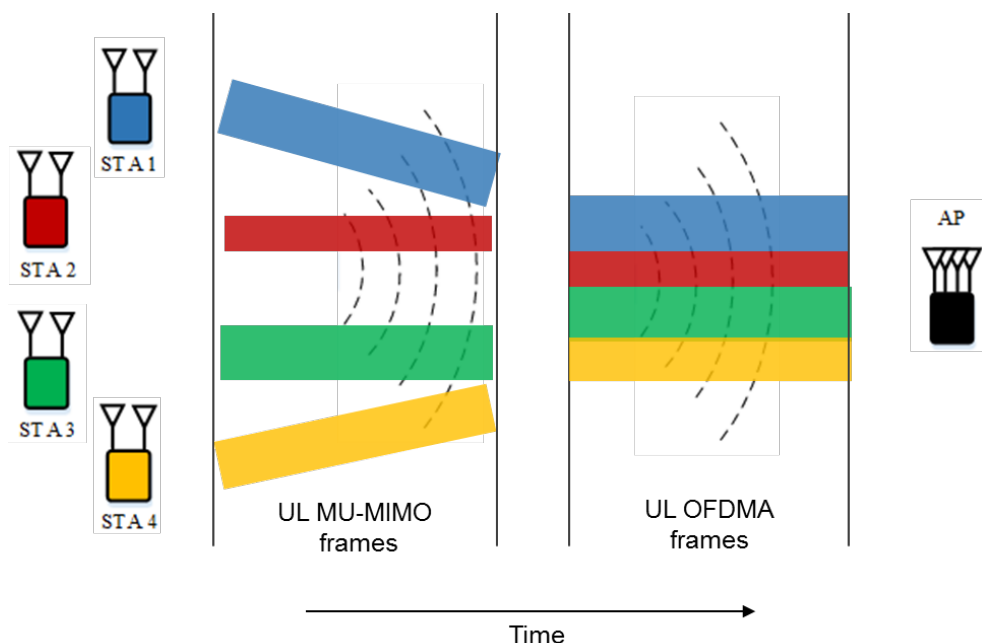
图 4-7 8x8 MU-MIMO AP 下行多用户模式调度顺序



● UL MU-MIMO技术

UL MU-MIMO（上行）是802.11ax中引入的一个重要特性，UL MU-MIMO的概念和UL SU-MIMO的概念类似，都是通过发射机和接收机多天线技术使用相同的信道资源在多个空间流上同时传输数据，唯一的差别点在于UL MU-MIMO的多个数据流是来自多个用户。802.11ac及之前的802.11标准都是UL SU-MIMO，即只能接受一个用户发来的数据，多用户并发场景效率较低，802.11ax支持UL MU-MIMO后，借助UL OFDMA技术（上行），可同时进行MU-MIMO传输和分配不同RU进行多用户多址传输，提升多用户并发场景效率，大大降低了应用时延。

图 4-8 多用户模式上行调度顺序



虽然802.11ax标准允许OFDMA与MU-MIMO同时使用，但不要将OFDMA与MU-MIMO混淆。OFDMA支持多用户通过细分信道（子信道）来提高并发效率，MU-MIMO支持多用户通过使用不同的空间流来提高吞吐量。下表是OFDMA与MU-MIMO的对比：

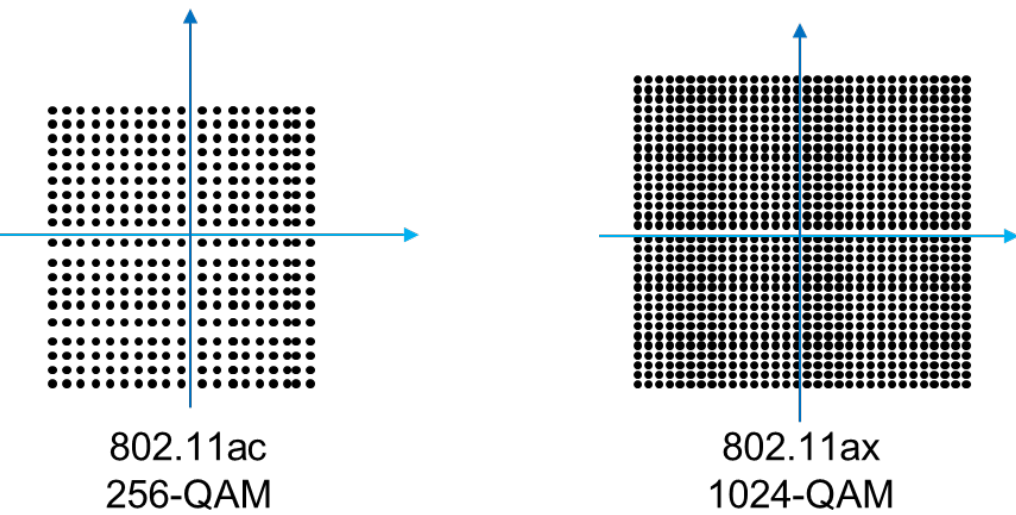
表 4-2 OFDMA 与 MU-MIMO 对比

OFDMA	MU-MIMO
提升效率	提升容量
降低时延	每用户速率更高
最适合低带宽应用	最适合高带宽应用
最适合小包报文传输	最适合大包报文传输

4.3 更高阶的调制技术（1024-QAM）

802.11ax标准的主要目标是增加系统容量，降低时延，提高多用户高密场景下的效率，但更好的效率与更快的速度并不互斥。802.11ac采用的256-QAM正交幅度调制，每个符号传输8bit数据（ $2^8=256$ ），802.11ax将采用1024-QAM正交幅度调制，每个符号位传输10bit数据（ $2^{10}=1024$ ），从8到10的提升是25%，也就是相对于802.11ac来说，802.11ax的单条空间流数据吞吐量又提高了25%。

图 4-9 256-QAM 与 1024-QAM 的星座图对比



需要注意的是802.11ax中成功使用1024-QAM调制取决于信道条件，更密的星座点距离需要更强大的EVM（误差矢量幅度，用于量化无线电接收器或发射器在调制精度方面的性能）和接受灵敏度功能，并且信道质量要求高于其他调制类型。

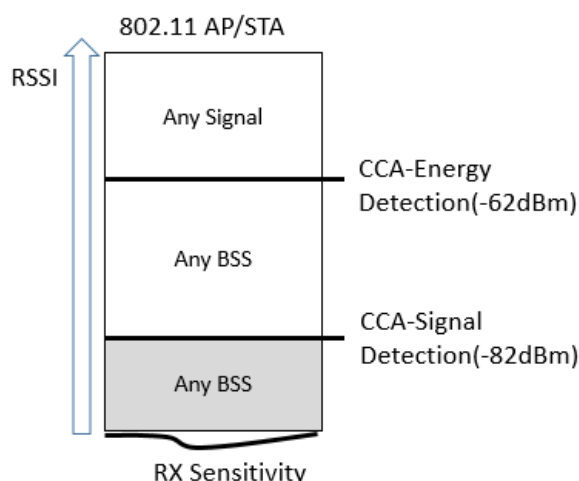
4.4 空分复用技术（SR）和 BSS Coloring 着色机制

Wi-Fi射频的传输原理是在任何指定时间内，一个信道上只允许一个用户传输数据，如果Wi-Fi AP和客户端在同一信道上侦听到有其他802.11无线电传输，则会自动进行冲突

避免，推迟传输，因此每个用户都必须轮流使用。所以说信道是无线网络中非常宝贵的资源，特别在高密场景下，信道的合理划分和利用将对整个无线网络的容量和稳定性带来较大的影响。802.11ax可以在2.4GHz或5GHz频段运行（与802.11ac不同，只能在5GHz频段运行），高密部署时同样可能会遇到可用信道太少的问题（特别是2.4GHz频段），如果能够提升信道的复用能力，将会对提升系统的吞吐容量。

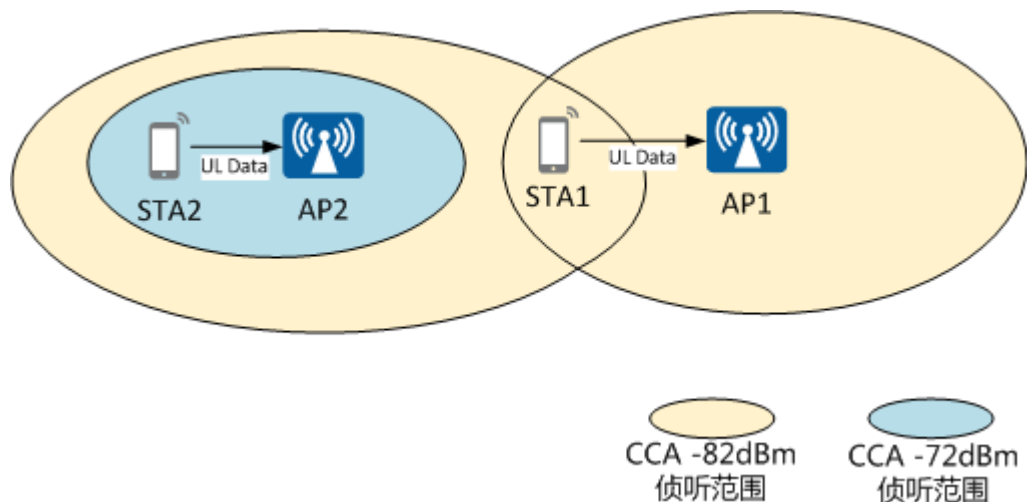
802.11ac及之前的标准，通常采用动态调整CCA门限的机制来改善同频信道间的干扰，通过识别同频干扰强度，动态调整CCA门限，忽略同频弱干扰信号实现同频并发传输，提升系统吞吐容量。

图 4-10 802.11 默认 CCA 门限



例如下图，AP1上的STA1正在传输数据，此时，AP2也想向STA2发送数据，根据Wi-Fi射频传输原理，需要先侦听信道是否空闲，CCA门限值默认-82dBm，发现信道已被STA1占用，那么AP2由于无法并行传输而推迟发送。实际上，所有的与AP2相关联的同信道客户端都将推迟发送。引入动态CCA门限调整机制，但AP2侦听到同频信道被占用时，可根据干扰强度调整CCA门限侦听范围（比如说从-82dBm提升到-72dBm），规避干扰带来的影响，即可实现同频并发传输。

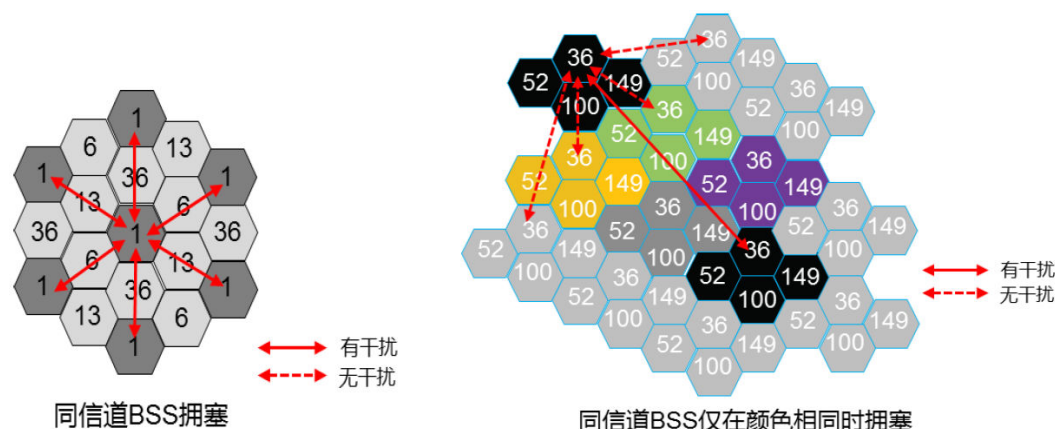
图 4-11 动态 CCA 门限调整



由于Wi-Fi客户端设备的移动性，Wi-Fi网络中侦听到的同频干扰不是静态的，它会随着客户端设备的移动而改变，因此引入动态CCA机制是很有效的。

802.11ax中引入了一种新的同频传输识别机制，叫BSS Coloring着色机制，在PHY报文中添加BSS color字段对来自不同BSS的数据进行“染色”，为每个通道分配一种颜色，该颜色标识一组不应干扰的基本服务集（BSS），接收端可以及早识别同频传输干扰信号并停止接收，避免浪费收发机时间。如果颜色相同，则认为是同一BSS内的干扰信号，发送将推迟；如果颜色不同，则认为两者之间无干扰，两个Wi-Fi设备可同信道同频并行传输。以这种方式设计的网络，那些具有相同颜色的信道彼此相距很远，此时我们再利用动态CCA机制将这种信号设置为不敏感，事实上它们之间也不太可能会相互干扰。

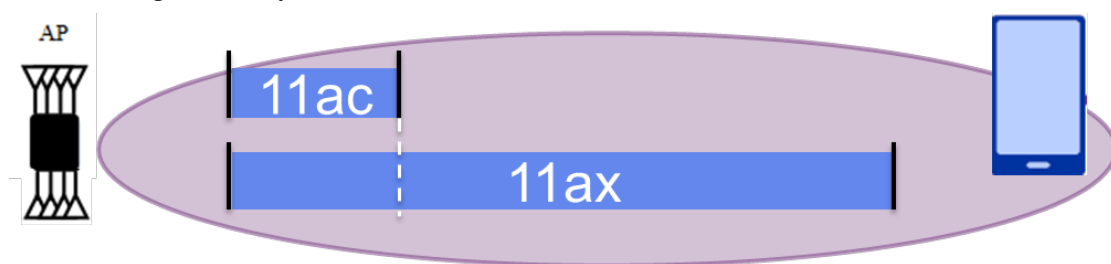
图 4-12 无 BSS Color 机制与有 BSS Color 机制对比



4.5 扩展覆盖范围（ER）

由于802.11ax标准采用的是Long OFDM symbol发送机制，每次数据发送持续时间从原来的3.2us提升到12.8us，更长的发送时间可降低终端丢包率；另外802.11ax最小可仅使用2MHz频宽进行窄带传输，有效降低频段噪声干扰，提升了终端接受灵敏度，增加了覆盖距离。

图 4-13 Long OFDM symbol 与窄带传输带来覆盖距离提升



5 其他 Wi-Fi 6 (802.11ax) 新特性

前面的几大核心技术已经足够证明802.11ax带来的高效传输和高密容量，但802.11ax也不是Wi-Fi的最终标准，这只是高效无线网络的开始，新标准的802.11ax依然需要兼容老标准的设备，并考虑面向未来物联网、绿色节能等方向的发展趋势。以下是802.11ax标准的其他新特性：

- 5.1 支持2.4GHz频段
- 5.2 目标唤醒时间 (TWT)

下面详细描述这些新特性。

5.1 支持2.4GHz频段

5.2 目标唤醒时间 (TWT)

5.1 支持 2.4GHz 频段

我们都知道2.4GHz频宽窄，且仅有3个20MHz的互不干扰信道（1，6和11），在802.11ac标准中已经被抛弃，但是有一点不可否认的是2.4GHz仍然是一个可用的Wi-Fi频段，在很多场景下依然被广泛使用，因此，802.11ax标准中选择继续支持2.4GHz，目的就是充分利用这一频段特有的优势。

优势一：覆盖范围

无线通信系统中，频率较高的信号比频率较低的信号更容易穿透障碍物，而频率越低，波长越长，绕射能力越强，穿透能力越差，信号损失衰减越小，传输距离越远。虽然5GHz频段可带来更高的传播速度，但信号衰减也越大，所以传输距离比2.4GHz要短。因此，我们在部署高密无线网络时，2.4GHz频段除了用于兼容老旧设备，还有一个很大的作用就是边缘区域覆盖补盲。

优势二：低成本

现阶段仍有数以亿计的2.4GHz设备在线使用，就算如今成为潮流的IoT网络设备也使用的2.4GHz频段，对有些流量不大的业务场景（如电子围栏、资产管理等），终端设备非常多，使用成本更低的仅支持2.4GHz的终端是一个性价比非常高的选择。

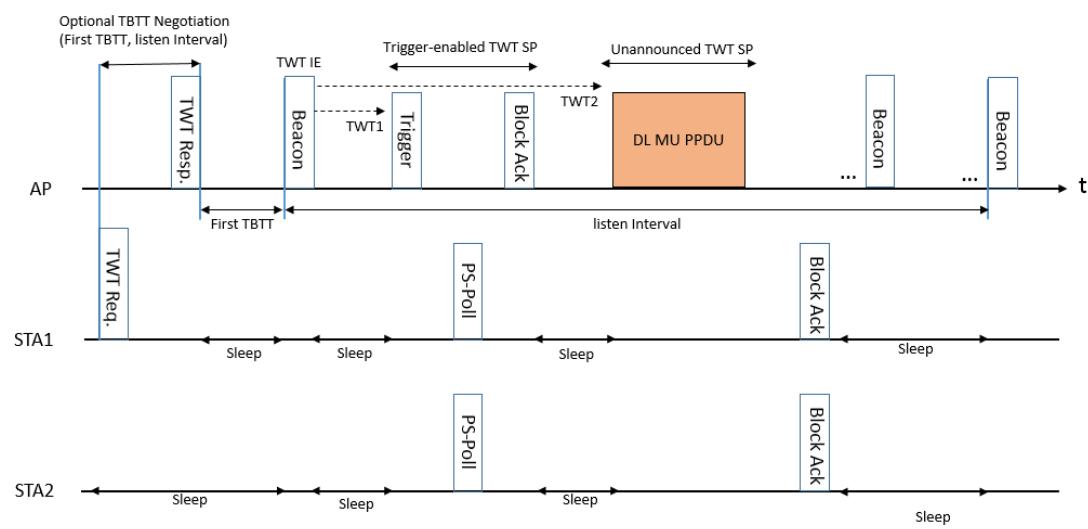
5.2 目标唤醒时间 (TWT)

目标唤醒时间TWT (Target Wakeup Time) 是802.11ax支持的另一个重要的资源调度功能，它借鉴于802.11ah标准。它允许设备协商什么时候和多久会被唤醒，然后发送或接

收数据。此外，Wi-Fi AP可以将客户端设备分组到不同的TWT周期，从而减少唤醒后同时竞争无线介质的设备数量。TWT还增加了设备睡眠时间，对采用电池供电的终端来说，大大提高了电池寿命。

802.11ax AP可以和STA协调目标唤醒时间功能的使用，AP和STA会互相交换信息，当中将包含预计的活动持续时间，以定义让STA访问介质的特定时间或一组时间，这样就可以避开多个不同STA之间的竞争和重叠情况。另外，支持802.11ax标准的STA可以使用TWT来降低能量损耗，在自身的TWT来临之前进入睡眠状态。AP还可另外设定TWT编排计划并将TWT值提供给STA，这样双方之间就不需要存在个别的TWT协议，此操作称为“广播TWT操作”。

图 5-1 广播目标唤醒时间操作



6 相关信息

[什么是802.11ac和802.11ac Wave2](#)