

华为 Wi-Fi 6 (802.11ax)技术白皮书



HUAWEI

华为技术有限公司

目录

1. Wi-Fi 发展简介	4
2. 什么是 Wi-Fi 6(802.11ax)	6
2.1 Wi-Fi 6 速度有多快?	6
2.2 Wi-Fi 6 核心技术.....	9
2.2.1 OFDMA 频分复用技术	9
2.2.2 DL/UL MU-MIMO 技术.....	13
2.2.3 更高阶的调制技术 (1024-QAM)	15
2.2.4 空分复用技术 (SR) & BSS Coloring 着色机制.....	16
2.2.5 扩展覆盖范围 (ER).....	19
2.3 其他 Wi-Fi 6 (802.11ax) 新特性	19
2.3.1 支持 2.4GHz 频段	19
2.3.2 目标唤醒时间 (TWT)	20
3. 为什么要 Wi-Fi 6(802.11ax)	22
4. 5G 与 Wi-Fi 6(802.11ax)的共存关系.....	23
5. 华为对 Wi-Fi 6(802.11ax)产业发展的贡献.....	26
6. 华为 Wi-Fi 6(802.11ax)产品和特性.....	28
6.1 业界首款商用 Wi-Fi 6 AP.....	28
6.2 华为自适应阵列天线	28

6.3	三射频 & 双 5G 设计	29
6.4	SmartRadio 技术-智能射频调优	30
6.5	SmartRadio 技术-智能 EDCA 调度	32
6.6	SmartRadio 技术-智能无损漫游	33
7.	总结	35

1. Wi-Fi 发展简介

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。

1997 年 IEEE 制定出第一个无线局域网标准 802.11，数据传输速率仅有 2Mbps，但这个标准的诞生改变了用户的接入方式，使人们从线缆的束缚中解脱出来，。

随着人们对网络传输速率的要求不断提升，在 1999 年 IEEE 发布了 802.11b 标准。802.11b 运行在 2.4 GHz 频段，传输速率为 11Mbit/s，是原始标准的 5 倍。同年，IEEE 又补充发布了 802.11a 标准，采用了与原始标准相同的核心协议，工作频率为 5GHz，最大原始数据传输率 54Mbit/s，达到了现实网络中等吞吐量(20Mbit/s)的要求，由于 2.4GHz 频段已经被到处使用，采用 5GHz 频段让 802.11a 具有更少冲突的优点。

2003 年，作为 802.11a 标准的 OFDM 技术也被改编为在 2.4 GHz 频段运行，从而产生了 802.11g，其载波的频率为 2.4GHz(跟 802.11b 相同)，原始传送速度为 54Mbit/s，净传输速度约为 24.7Mbit/s(跟 802.11a 相同)。

对 Wi-Fi 影响比较重要的标准是 2009 年发布的 802.11n，这个标准对 Wi-Fi 的传输和接入进行了重大改进，引入了 MIMO、安全加密等新概念和基于 MIMO 的一些高级功能(如波束成形，空间复用.....)，传输速度达到 600Mbit/s。此外，802.11n 也是第一个同时工作在 2.4 GHz 和 5 GHz 频段的 Wi-Fi 技术。

然而，移动业务的快速发展和高密度接入对 Wi-Fi 网络的带宽提出了更高的要求，在 2013 年发布的 802.11ac 标准引入了更宽的射频带宽（提升至 160MHz）和更高阶的调制技术（256-QAM），传输速度高达 1.73Gbps，进一步提升 Wi-Fi 网络吞吐量。另外，在 2015 年发布了 802.11ac wave2 标准，将波束成形和 MU-MIMO 等功能推向主流，提升

了系统接入容量。但遗憾的是 802.11ac 仅支持 5GHz 频段的终端，削弱了 2.4GHz 频段下的用户体验。

然而，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 的发展更是带来了更多的移动终端接入无线网络，甚至以前接入终端较少的家庭 Wi-Fi 网络也将随着越来越多的智能家居设备的接入而变得拥挤。因此 Wi-Fi 网络仍需要不断提升速度，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。

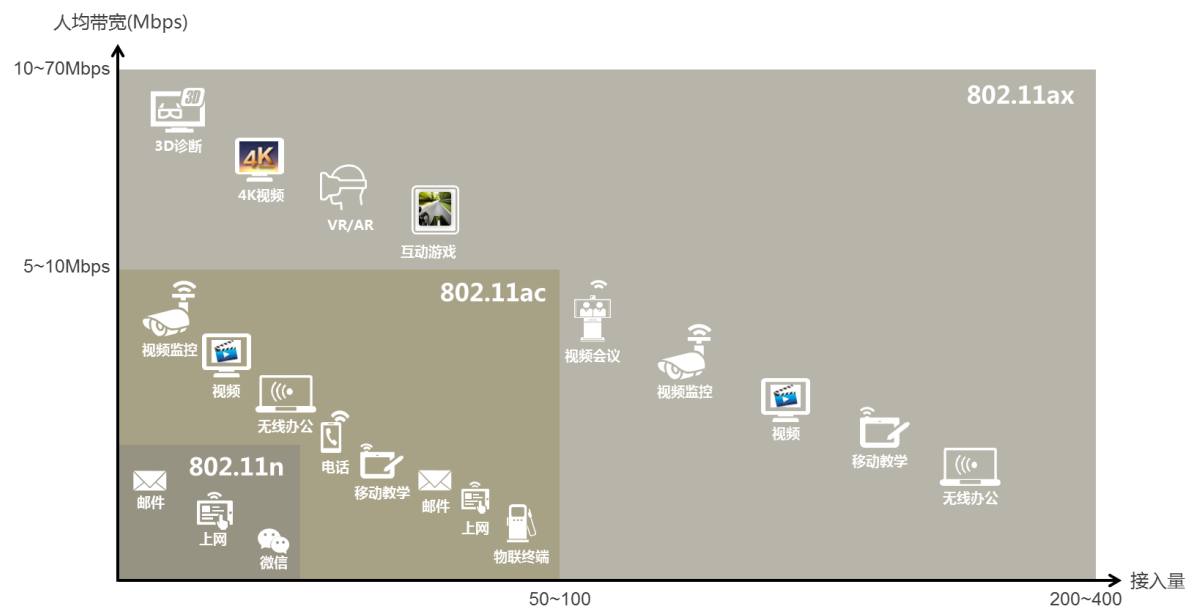


图 1-1 不同 Wi-Fi 标准下的接入量与人均带宽关系

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，预计在 2019 年正式推出的 802.11ax(下个章节介绍为什么叫 Wi-Fi 6)标准将引入上行 MU-MIMO、OFDMA 频分复用、1024-QAM 高阶编码等技术，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(802.11ax)

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 型号，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，包括增加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 命名分别对应如下 802.11 技术标准：

发布年份	802.11 标准	频段	新命名
2009	802.11n	2.4 GHz 或 5 GHz	Wi-Fi 4
2013	802.11ac wave1	5 GHz	Wi-Fi 5
2015	802.11ac wave2	5 GHz	
2019	802.11ax	2.4 GHz 或 5 GHz	Wi-Fi 6

表 1 802.11 标准与新命名

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。

2.1 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，但这个高速率是怎么来的，由以下几个因素决定。

计算公式：

$$\text{整机速率} = \text{空间流数量} \times 1 / (\text{Symbol} + \text{GI}) \times \text{编码方式} \times \text{码率} \times \text{有效子载波数量}$$

(1) 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。

	802.11a/g	802.11n	802.11ac	802.11ax
单射频 最大空间流	1	4	8	8

表 2 不同 802.11 标准对应的空间流数量

(2) 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,一般来说传输速度较快时 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。

	802.11ac 之前	802.11ax
Symbol	3.2 us	12.8 us
Short GI	0.4 us	/
GI	0.8 us	0.8 us
2*GI	/	1.6 us
4*GI	/	3.2 us

表 3 802.11 标准对应的 Symbol 与 GI 数据

(3) 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。

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

表 4 802.11 标准对应的 QAM

(4) 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。

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
VMCS10	1024-QAM	-	-	-	3/4
VMC11	1024-QAM	-	-	-	5/6

表 5 802.11 标准对应的码率

(5) 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。

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

表 6 802.11 标准对应的子载波数量

至此，我们可以计算一下 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

2.2 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：

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

下面详细描述这些核心新特性。

2.2.1 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）。

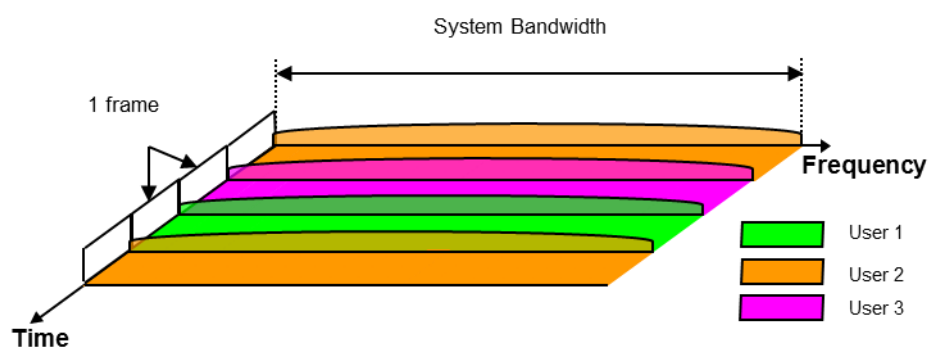


图 2-1 OFDM 工作模式

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）。

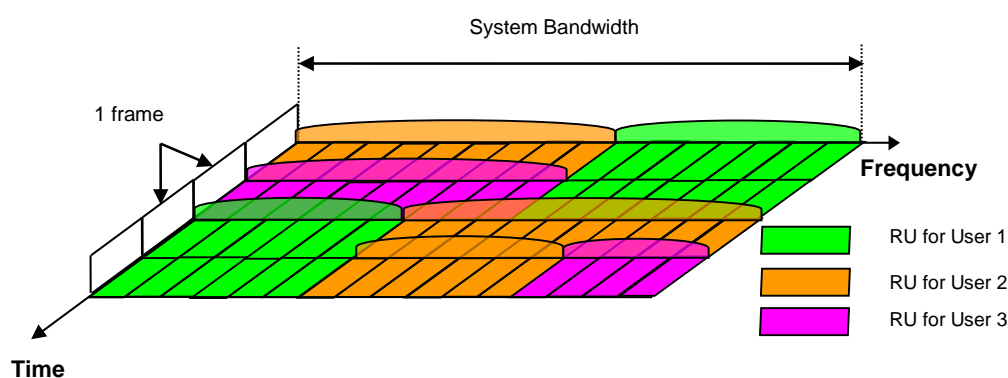


图 2-2 OFDMA 工作模式

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。

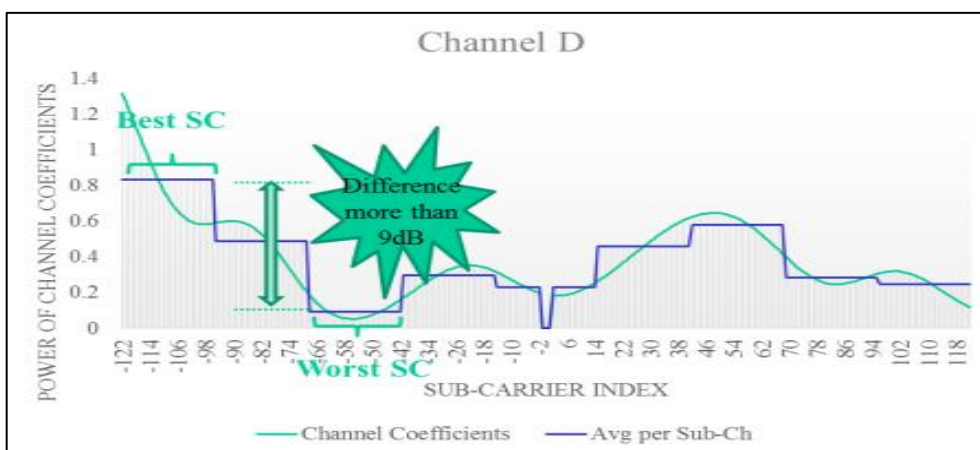


图 2-3 不同子载波频域上的信道质量

- **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。

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	N/A	1-SU/MU-MIMO	2	4

996-subcarrier RU	N/A	N/A	1-SU/MU-MIMO	2
2x996-subcarrier RU	N/A	N/A	N/A	1-SU/MU-MIMO

表 7 不同频宽下的 RU 数量

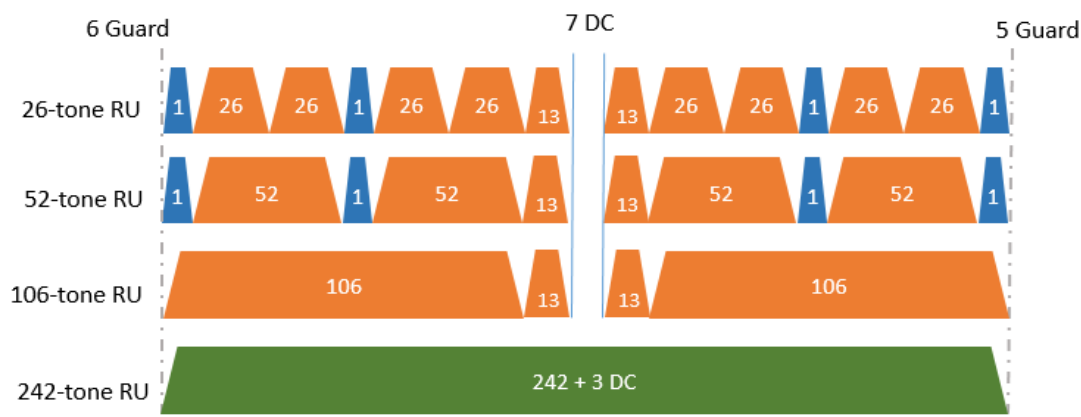


图 2-4 RU 在 20MHz 中的位置示意图

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：

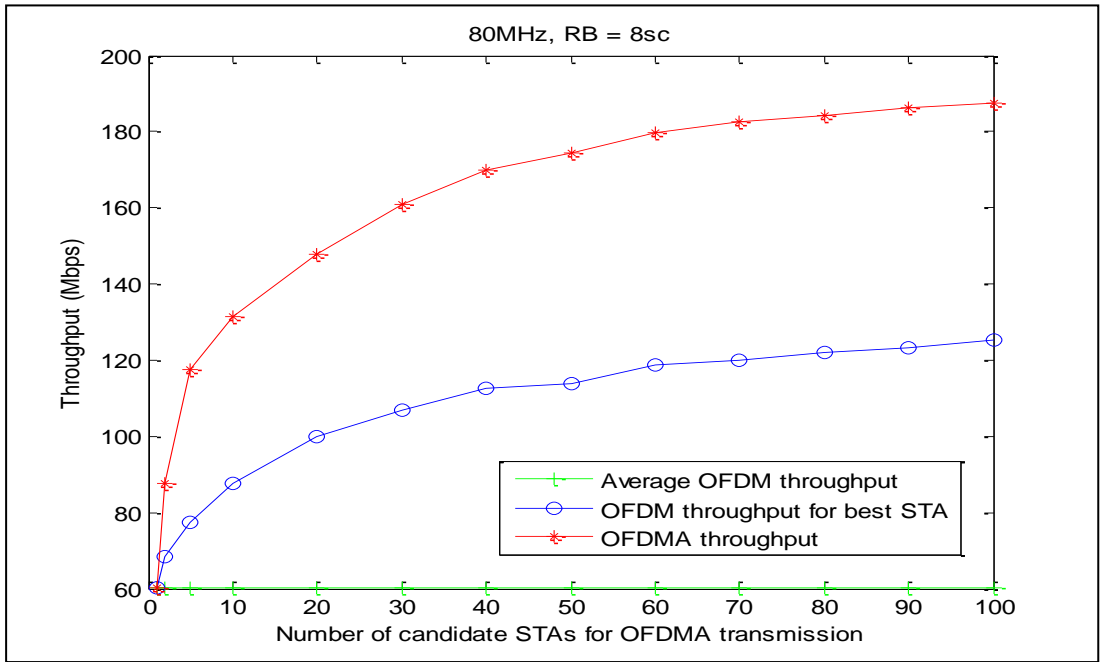


图 2-5 OFDMA 与 OFDM 模式下多用户吞吐量仿真

2.2.2 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 2-6 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。

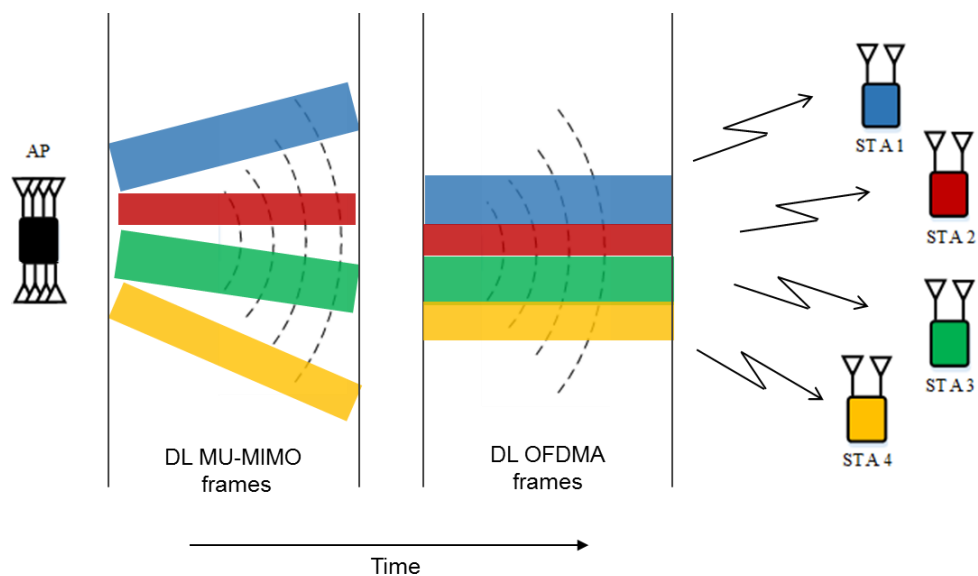


图 2-7 8x8 MU-MIMO AP 下行多用户模式调度顺序

- 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。

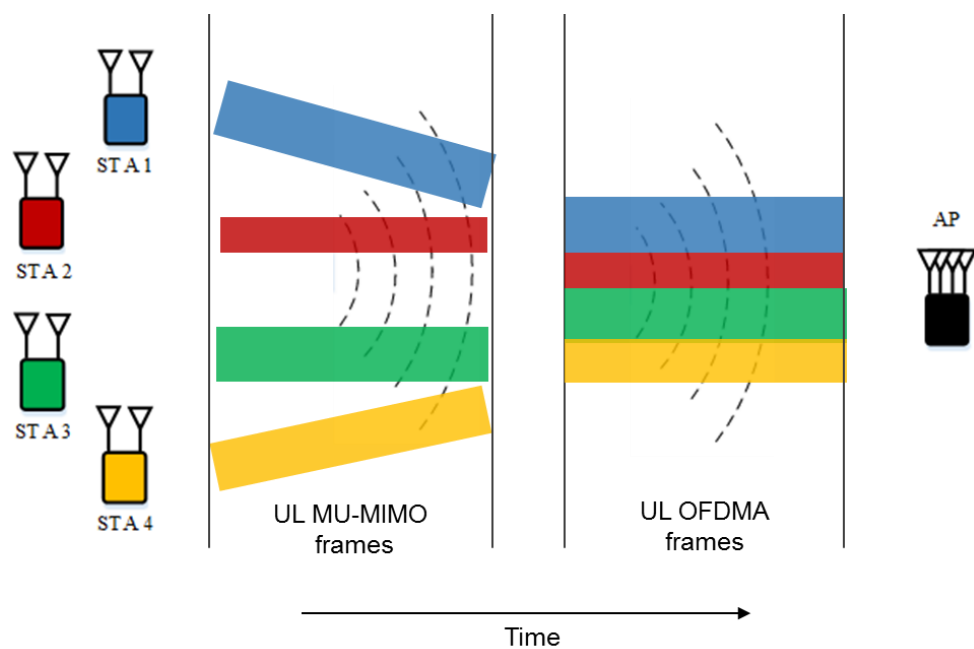


图 2-8 多用户模式上行调度顺序

虽然 802.11ax 标准允许 OFDMA 与 MU-MIMO 同时使用，但不要 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：

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

表 8 OFDMA 与 MU-MIMO 对比

2.2.3 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%。

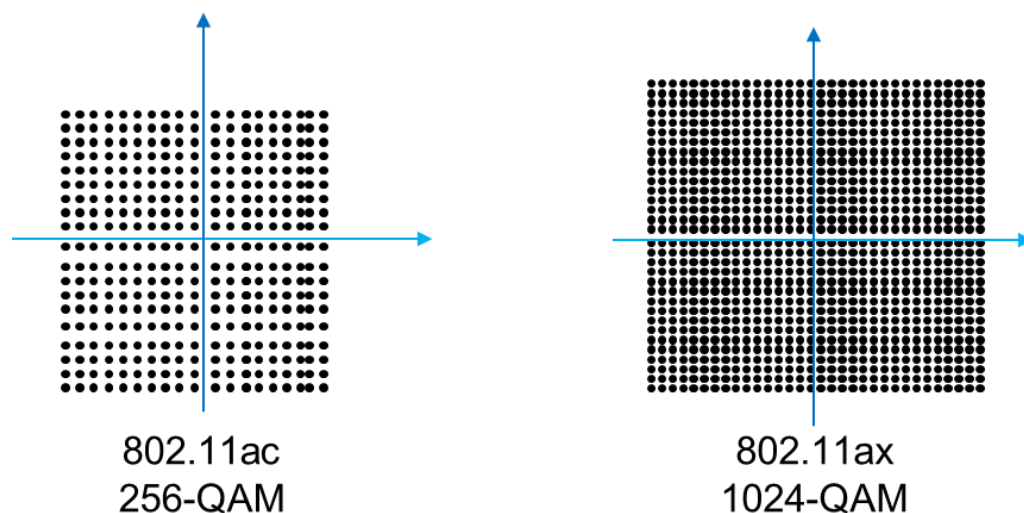


图 2-9 256-QAM 与 1024-QAM 的星座图对比

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。

2.2.4 空分复用技术 (SR) & 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。

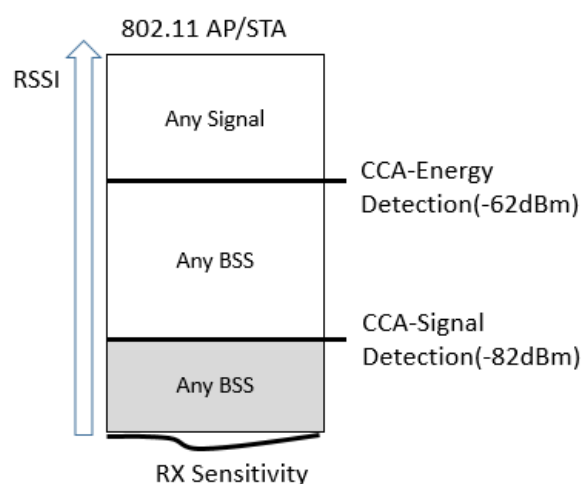


图 2-10 802.11 默认 CCA 门限

例如如图 12, 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, 当 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。

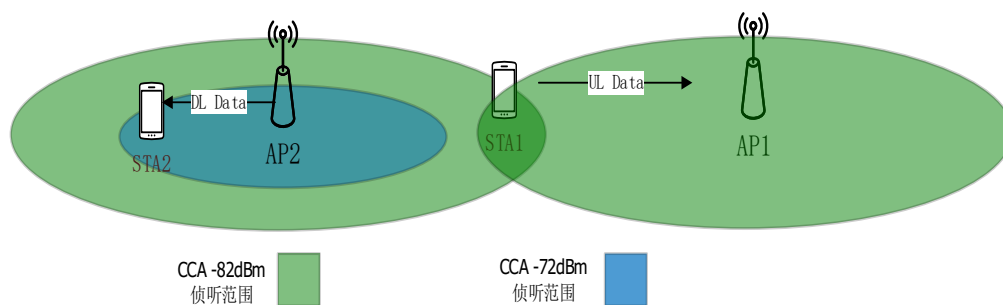


图 2-11 动态 CCA 门限调整

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 报文头中添加 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。

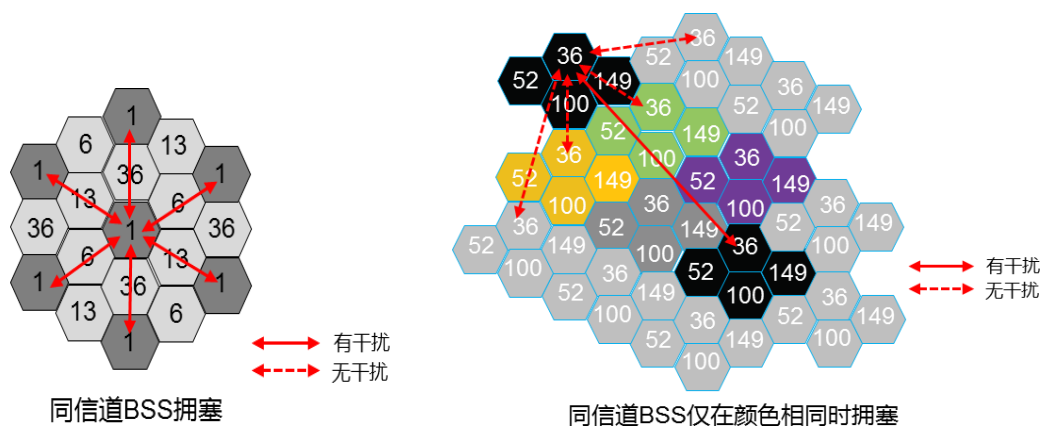


图 2-12 无 BSS Color 机制与有 BSS Color 机制对比

2.2.5 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。

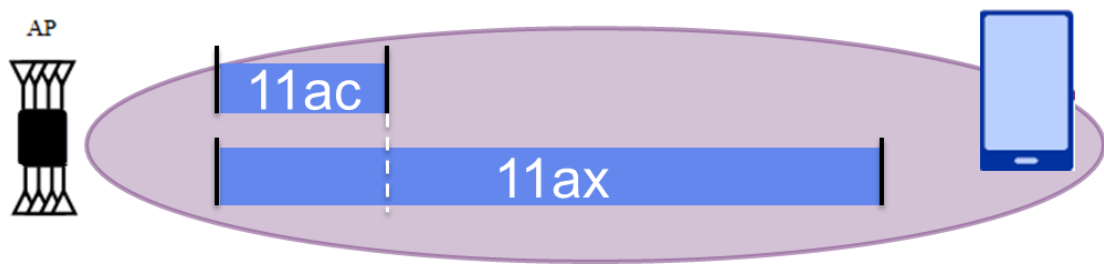


图 2-13 Long OFDM symbol 与窄带传输带来覆盖距离提升

2.3 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：

- 支持 2.4GHz 频段
- 目标唤醒时间 (TWT)

下面详细描述这些新特性。

2.3.1 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

就是要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。

2.3.2 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。它允许设备协商他们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(TWT)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”。

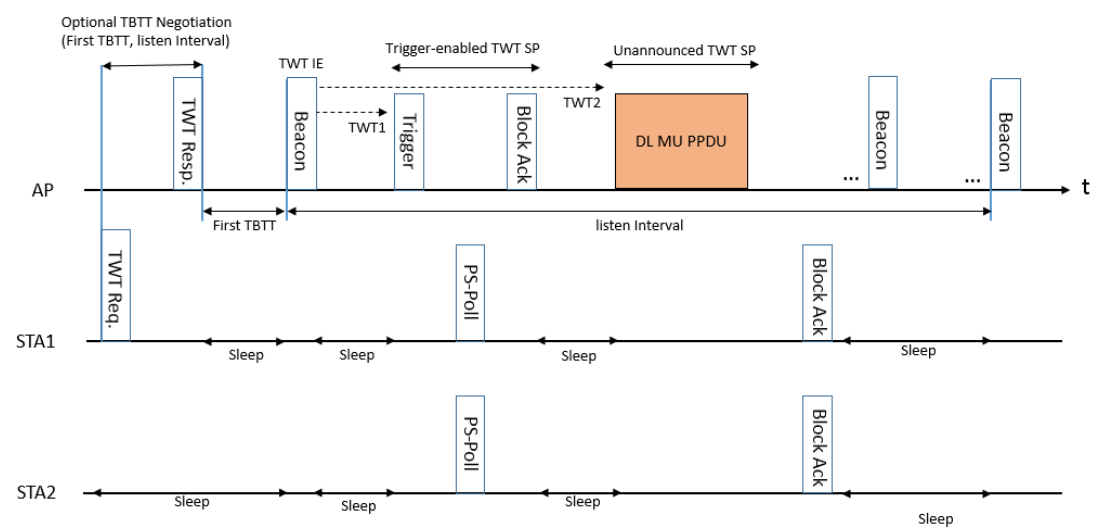


图 2-14 广播目标唤醒时间操作

3. 为什么要 Wi-Fi 6(802.11ax)

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 3-1 高密高带宽应用场景

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 4K 视频流（带宽要求 30Mbps/人）、语音流（时延小于 30ms）、VR 流（带宽要求 50Mbps/人，时延 10~20ms）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，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。

4. 5G 与 Wi-Fi 6(802.11ax)的共存关系

这不是一个新颖的话题，在 1999 年~2000 年间，就有人提出 2G 将替代 Wi-Fi 的观点;2008 年~2009 年也出现了 4G 将代替 Wi-Fi 的猜测;现在又有人开始讨论 5G 代替 Wi-Fi 的话题了。可是，5G 与 Wi-Fi 的应用场景模式是不相同的。Wi-Fi 主要用于室内环境，而 5G 则是一种广域网技术，它在室外的应用场景更多。所以我们相信 Wi-Fi 和 5G 将长期共存下去。

我们从以下几个角度进一步分析：

➤ 流量费用

假设 5G 技术取代 Wi-Fi，那么就必須推出无限流量的套餐，否则费用会远远大于宽带的使用的费用，更何况目前宽带的价格一年比一年低，谁也不会去选择更贵的 5G。在目前的 4G 时代无限流量的套餐就是个噱头，三大运营商都纷纷推出过无限流量的套餐，当时流量超出套餐的流量之后，网络会自动降为 2G 模式，最高速度只有 128Kbps，这个速度看视频不如看漫画，因此所谓的无限流量只是个无稽之谈。

➤ 网络覆盖

5G 网络技术采用的是超高频频谱（5G 网络频段: 24GHz~52GHz；4G 网络频段: 1.8GHz~2.6GHz，不包括 2.4GHz），前面已经提到，频率越高衍射现象越弱，穿越障碍的能力也就越弱，所以 5G 信号是很容易衰弱的。如果保持 5G 信号的覆盖需要比 4G 建设更多的基站。而且由于信号的衰减，如果在大楼的内部，隔着几道墙，信号衰减就更加严重了。再有个极端的例子就是地下室，Wi-Fi 网络可以将路由器通过有线连接放入地下室产生信号，但是 5G 网络是不可能覆盖到所有大楼的地下室的，单就这一个弊端，5G 也无法取代 Wi-Fi。另外，现在几乎所有智能设备都有 Wi-Fi 模块，大多数物联网设备也配备了 Wi-Fi 模块，出口只用一个公网 IP 地址，局域网内部占用大量地址也没关系，用户在自己的 Wi-Fi 网络

下管理这些设备都很方便，而用 5G 势必会占用更多公网的 IP 地址。

➤ 网络容量

带宽 \times 频谱效率 \times 终端数量 = 总容量。5G 的优点在于它的载波聚合技术，提升了频谱利用率，大大提升了网络容量。在 3G/4G 时代，当用户在人群密集的场所如地铁、车站等地方使用手机上网时，可以明显感觉到上网延迟变大，网速变慢。而在 5G 时代，随着网络容量大幅提升上述现象带来的影响明显降低。也正是这样的特性，让人们觉得 5G 网络下可以无限量接入，但很多人忽视了一点，那就是随着物联网时代的到来，入网设备的数量也在大幅提升，如果真的所有的上网设备都直连区域内的基站，这条 5G 高速路再宽也得堵死啊！而要想降低基站塔的负担，就必须依靠 Wi-Fi 来做分流。

➤ Wi-Fi 速率高于 5G 速率

移动设备厂商宣传的 5G 最重要的 3 个特征是高速度、大容量、低时延，其实最新一代的 Wi-Fi 速率比 5G 还要快，最新的 802.11ax (Wi-Fi 6) 单流峰值速率 1.2Gbps (5G 网络峰值速率 1Gbps)，平均来看，Wi-Fi 每升级一代所用的时间大约只是移动网络的一半左右，所以从最新的 Wi-Fi 6 开始，速率会持续领先于移动网络。

➤ 终端类型

办公、物流、商业、智能家居等各行各业都在走向无线化，首先要做的就是设备、人员、终端等全部联网使用。假设 5G 替代了 Wi-Fi 的存在，那么未来的所有联网终端都需要配备一张类似手机 SIM 卡的东西才可以上网。这一个理由也注定了目前在室内场景 5G 是不可能取代 Wi-Fi 的。类似的设备还有 VR、游戏机、电子阅读器、机顶盒等等.....

➤ 移动端电池耗电

大家都知道手机、pad 等移动终端都是用的电池，大家通常都认为电池的耐用性与安装的业务，和使用频率有关，但人们往往忽略了一点，终端的各种移动信号接入质量好与差也

与电池耗电量有关。当信号变差时，移动终端为了确保给用户提供一个良好的体验，会自动增加发射功率来提升信号质量，这就导致电池耗电量增加。由于 Wi-Fi 的信号源基本是在室内范围，而 5G 信号在室外几十公里外的基站，这样就导致移动终端上传数据时，Wi-Fi 的传送距离远远小于 5G 信号。通常情况下 5G 的通信距离是 Wi-Fi 的几千倍以上，这样就需要手机的信号发射强度大大增加，这就增加了耗电量。曾经有人做过实验，以 4G 为例，使用网络数据半小时，Wi-Fi 会比移动网络节省 5% 的电量。另外，最新一代的 Wi-Fi 6 (802.11ax) 支持 TWT 功能，可以在业务需要时自动唤醒，在业务不适用时自动休眠，进一步节省了电量。

因此，目前所面临的这些问题使得 5G 还无法彻底取代 Wi-Fi，更多的是与 Wi-Fi 进行深度融合，因此使用 Wi-Fi 的企业和用户并不用过于慌张。今天的 Wi-Fi 已不再是一个提供无线网络的设备，更多的应该被视为企业数字化转型的必备设施或中央枢纽。例如目前绝大部分的智慧零售、智慧物流、智慧办公等解决方案的中央枢纽就是 Wi-Fi 网络。

5. 华为对 Wi-Fi 6(802.11ax)产业发展的贡献

华为凭借自身在无线通信领域的深厚积累及强大实力，积极参与 IEEE 802 工作组各项工作，公司专家 Osama 和 Edward 担任着不同 802.11 标准工作组主席，其中 Osama 凭借 802.11ac 标准制定工作的突出表现，再次当选为 802.11ax 标准工作组主席，牵头制定 802.11ax 技术标准。同时华为成立了由 15 名无线专家组成的 802.11ax 标准制定团队，累计已提交 165 件标准提案，占有提案的 25%，所有厂家中排名第一。

Status of Project IEEE 802.11ax

High Efficiency (HE) Wireless LAN Task Group

Task Group Leadership

Chair	Osama Aboul-Magd (Huawei Technologies)
1st Vice Chair	Ron Porat (Broadcom Ltd.)
2nd Vice Chair	Alfred Asterjadhi (Qualcomm)
Secretary	Yasuhiko Inoue (NTT)
Technical Editor	Robert Stacey (Intel)

图 5-1 802.11ax 工作组领导成员

在 Wi-Fi 领域另一个重要国际组织是 Wi-Fi 联盟，华为于 2011 年加入 Wi-Fi 联盟，并成为董事会 15 名核心成员之一，是 Wi-Fi 联盟中仅有的两家 Wi-Fi 设备厂商之一。

华为是 10G Wi-Fi 标准的引领者，是 10G Wi-Fi 产品化的践行者，是 10G Wi-Fi 产业链的推动者。2014 年发布了业界首款基于下一代新架构的 10Gbps Wi-Fi 样机，率先将 Wi-Fi 提升到 10G 时代；随后与全球最大的移动终端芯片厂商高通公司合作，全力投入 802.11ax 产品研发，于 2017 年 9 月，完成产业链最后一步，发布业界首款商用产品，并与 2018 年 9 月成功在中国-上海外滩规模部署，进一步加速 10G Wi-Fi 的商用进程。



图 5-2 中国-上海外滩 802.11ax AP 规模商用

6. 华为 Wi-Fi 6(802.11ax)产品和特性

在我们看来,要完美部署高性能的Wi-Fi网络,除了将Wi-Fi AP升级到最新的802.11ax标准之外,信号覆盖、软件算法优化等特性也是十分重要的,基于不同应用场景还需要定制化的全系列Wi-Fi AP产品和方案。

6.1 业界首款商用 Wi-Fi 6 AP



图 6-1 华为 Wi-Fi 6 AP7060DN

- 1024 QAM, 8*8 MU-MIMO, 速率提升 4 倍
- OFDMA 从冲突到有序, 并发容量提升 4 倍
- 业务有序调度, 时延 < 10ms
- 高密接入控制技术, 并发性能提升 30%
- 融合 Wi-Fi 和 IoT 网络, 可扩展电子价签、资产管理等业务, TCO 降低 50%

6.2 华为自适应阵列天线

自适应阵列天线与全向天线相比有很多优势, 比如不同方向的信号覆盖强度可灵活调整, 信号可跟随用户而动。源自华为 5G 的自适应阵列天线技术业界领先, 在水平面上具有多个定向辐射和 1 个全向辐射模式, 天线以全向模式接收终端发射的信号; 天线算法根据接收到的信号判断终端所在位置, 并控制 CPU 发送控制信号选择最大辐射方向指向终端的定

向辐射模式。

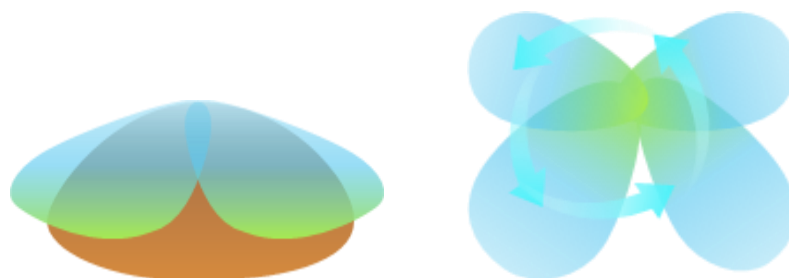


图 6-2 全向天线和华为自适应阵列天线

6.3 三射频 & 双 5G 设计

目前被大量使用的 Wi-Fi AP 基本都是双频设计 (2.4GHz & 5GHz)，为了提供更多用户的接入及更大的带宽，每个 Wi-Fi AP 厂商都在优化射频算法、业务处理算法，但在某些特定的高密场景，优化后的 Wi-Fi AP 仍然无法承载更高密度的用户接入或提供瞬时流量突发业务。这就好比节假日期间一条拥挤的高速公路，通过各种车流量的管控，分流，仍然会发生拥堵现象，解决这个问题最简单的方法就是在旁边再增加一条高速公路。在 Wi-Fi AP 上，我们也效仿这种方法，给 AP 增加一个射频（设计时一般都是增加一个 5GHz 射频），有了这个第三个射频，接入用户数增加了，吞吐量也增加了。这么好的解决方案为什么业界其他厂商不效仿？原因是要想在 Wi-Fi 拥挤的 5GHz 频段增加一个射频，首先就是要解决两个 5GHz 射频邻频干扰问题，换句话说，邻频干扰解决不好，增加的 5GHz 射频不仅仅不会带来容量和吞吐量的提升，还会导致原来的 5GHz 射频由于受到干扰导致性能下降。华为将 LTE 领域中控制同频干扰的技术移植到 Wi-Fi 领域，在两个 5GHz 射频之间增加了高性能滤波器模块，实现两个 5GHz 射频互不干扰，且能够同时承载多用户并发接入，提升总吞吐量。

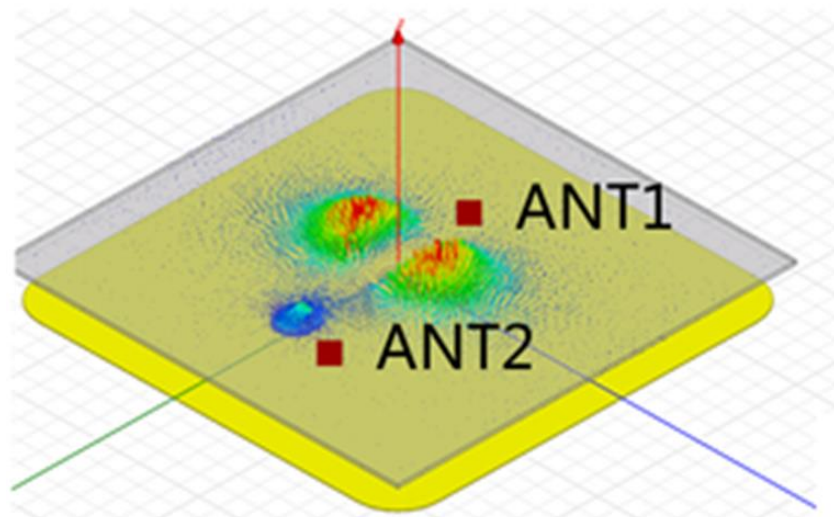


图 6-3 增加高性能滤波器后两个 5GHz 射频的场强分布

前面已经提到 802.11ax 标准是为高效高容量的 Wi-Fi 网络设计的，但是真正要实现高效高容量，需要所有的终端也都支持 802.11ax 标准，对目前市场上大量存在的 802.11ac 及之前标准的 Wi-Fi 终端来说，几乎没有任何效率上的提升。因此，在 802.11ax 终端全面普及之前，华为通过被称为 SmartRadio 技术的软件算法优化，在 802.11ax AP 中实现了对 802.11ac 及之前标准的 Wi-Fi 终端兼容，让这些老终端依然能够得到较大的体验提升。

6.4 SmartRadio 技术-智能射频调优

无线网络的规划比有线网络要难，典型的原因就是无线网络容易受到周边环境不确定性的干扰，随着接入量的增加，Wi-Fi 网络均衡负载和信道资源优化变得极为重要，这就需要网络能够基于使用环境智能优化，每时每刻都提供良好的网络体验。

(1) 动态频段选择 DFS

这是一个基于区域拓扑关系智能调整网络覆盖的技术，即可识别覆盖冗余射频，又可增加功率弥补覆盖。当 5GHz 接入终端较多时，可将信道资源更少的 2.4GHz 射频自动切换为信道资源更多的 5GHz 射频，提高系统容量和用户吞吐量。



图 6-4 动态频段选择 DFS

(2) 动态信道分配 DCA

Wi-Fi 网络中的信道是非常宝贵的资源，看不见摸不着的信道之间每时每刻都存在着干扰和，就像一条很宽的道路需要分割成不同的车道一样，如果不分配就会存在竞争的不合理性导致交通混乱。同样，在 Wi-Fi 网络中，如果信道资源分配不合理，则会引起同频干扰，将显著影响 BSS 的吞吐量与用户体验。但信道的动态分配是个复杂的过程，比如说一个网络中有 1000 个 AP，13 个信道，则理论上存在 13^{1000} 个分配组合，要从中找到一个最合理的组合，显然 Wi-Fi AP 设备是难以承载如此之大的运算量的。华为通过 K-Best 专利算法，将 AP 分为若干个调优组，每个组分别进行信道分配，每遍历一个射频，先做一次筛选，仅保留 K 个较好的信道分配组合，再对这些筛选出来的组合进行多次遍历，最终找到最合理的组合，为每个 AP 分配最合理的信道，在运算复杂度与性能之间求得平衡。

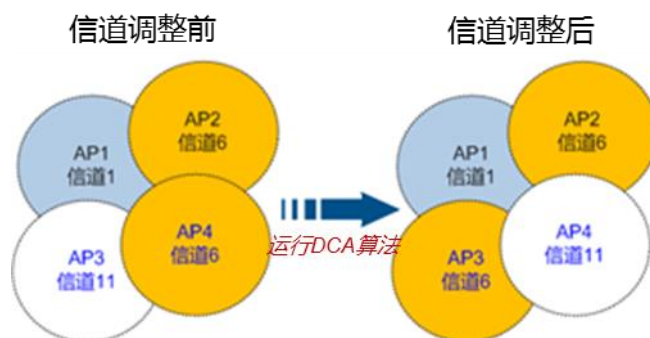


图 6-5 动态信道分配 DCA

(3) 动态带宽选择 DBS

从 802.11ac 开始，Wi-Fi 系统中的频宽类型增加到了 4 种：20 MHz，40 MHz，80 MHz，160 MHz。频宽越高，吞吐量越大，但可用信道数量是有限的，因此不能将每个 AP 都配置为 80MHz 模式，甚至 160MHz 模式。华为通过第二代 K-Best 算法，在动态 DCA 信道分配的基础上，根据流量信息与频谱资源，优先为热点高流量区域分配更多网络资源，为每个 AP 分配合理的带宽，提高用户体验。

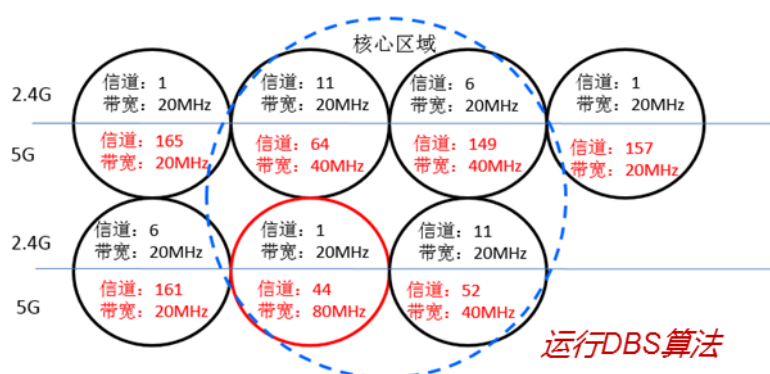


图 6-6 动态带宽选择 DBS

6.5 SmartRadio 技术-智能 EDCA 调度

EDCA 调度是 802.11e 标准中定义的一种信道竞争机制，有利于高优先级的报文享有优先发送的权利和更多的带宽。它提供 4 种 AC (Access Category) 的 QoS 保障：从高到低的顺序分为 AC-VO (语音流)、AC-VI (视频流)、AC-BE (尽力而为流)、AC-BK (背景流) 四个优先级队列，保证越高优先级队列中的报文，抢占信道的能力越高。华为优化了 EDCA 调度机制，可根据空口业务负载动态计算最优的 EDCA 参数，使得 EDCA 优先级分配更智能。业务高峰时适当拉大 VO/VI 与 BE/BK 竞争参数的差距，保障高优先级业务的体验。

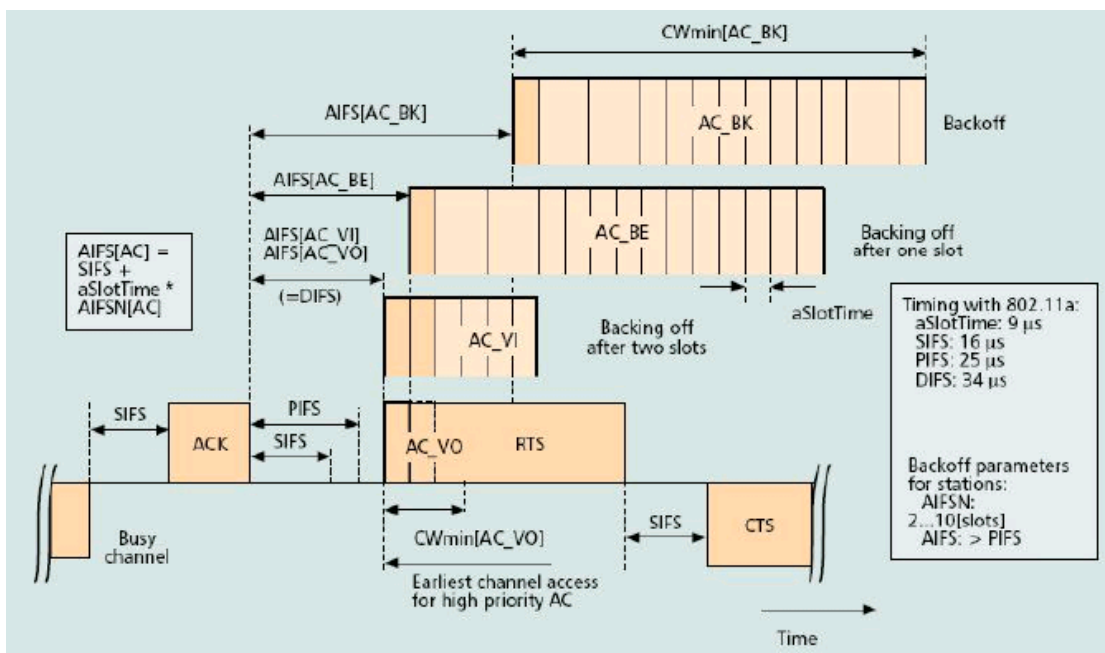


图 6-7 动态 EDCA 参数自适应

另外，针对 Wi-Fi AP 内单一队列顺序调度，一旦堵塞则无差别延迟和丢包，导致高优先级业务仍可能得不到优先调度的问题，华为通过优化转发调度机制，基于 TID 将单一队列顺序调度优化为多队列按优先级调度，使用不同的反压门限，部分堵塞不影响其他队列，提升了业务处理效率和用户体验。

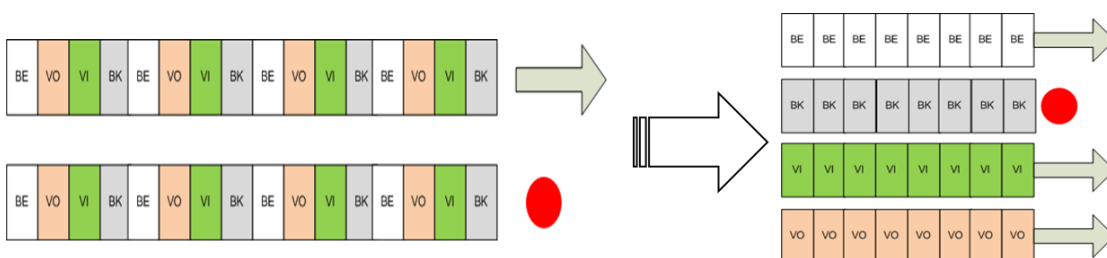


图 6-8 多队列调度机制

6.6 SmartRadio 技术-智能无损漫游

漫游是终端的一种行为状态，漫游质量的好坏严重影响用户的业务体验。不同于 LTE 网络，Wi-Fi 网络中终端是漫游行为的决策者和发起者，在终端看来，是它主动将与某一个 AP 的关联关系切换到另一个 AP，从而实现其与无线始终保持连接的目的。对于 AP 来说，AP 提供终端进行漫游所需的无线信号，并提供具有相同 SSID 标识的无线服务，同时以一定的

机制保证终端在移动过程中不间断通信的无缝移动需求。从漫游行为的设计目的来看，漫游旨在通过最小化不必要的数据交互流量来提高整体 Wi-Fi 网络的性能。为了实现漫游过程中低时延、不丢包，华为无损漫游技术基于网络拓扑识别算法缩小扫描范围，快速找到最佳漫游 AP，降低漫游时延；采用数据回放技术，在漫游前对原 AP 报文进行缓存，漫游后在新 AP 上进行回放，确保漫游过程不丢包。

802.11ax 时代 Wi-Fi 6 AP 空间流至少增加了一倍，功能也越来越多，同时还会支持 IoT 设备的接入，这些额外增加的功能和设备将不可避免的要求 Wi-Fi 6 AP 提供更大的功耗，标准的 802.11af PoE 肯定是不够的，未来 Wi-Fi 6 AP 预计会标配 802.11at PoE+能力。因此，我们在产品设计和网络部署时不可避免的要考虑上行 PoE 供电的问题，要考虑升级接入层 PoE 交换机。另外，最低性能的 2x2 MU-MIMO Wi-Fi 6 AP 的空口吞吐量就快达到 2Gbps 了，只配置一个千兆以太网端口将会成为 Wi-Fi 6 AP 高效吞吐的瓶颈，我们预计多速率以太网端口在 Wi-Fi 6 AP 中将会成为主流。其实华为在 Wi-Fi 5 (802.11ac wave2)的部分产品中就已经配置了 2.5GE/5GE 上行多速率以太网端口，在 Wi-Fi 6 高端 AP 中，将会配置支持上行 10GE 的多速率以太网端口。

早在 2017 年，华为就发布了业界首款多速率以太网交换机 S6720-SI，支持 24 个 2.5GE/5GE/10GE 自适应以太网端口，200 米远距离 PoE++ (60W) 供电能力，提前迎接 Wi-Fi 6 时代的到来。

7. 总结

总体来说，802.11ax 从 DL/UL MU-MIMO、OFDMA、1024-QAM 三大最重要的核心技术上实现了设定的目标，另外，华为通过自己的软件算法优化实现了对 802.11ac 及之前标准的老终端性能提升。因此，我们猜想您对是否现在就应该立刻升级到 Wi-Fi 6 网络可能还存在以下疑问，我们从专业的角度给您建议。

Q: 802.11ax 标准尚未最终发布，现在升级到 Wi-Fi 6 是否会出现与正式发布的标准不一致的问题？

A: 802.11ax 标准预计在 2019 年 Q3 正式发布，WFA 联盟也将在 2019 年 Q3 开始启动 Wi-Fi 6 产品认证。目前华为 Wi-Fi 6 AP 已经可以满足 WFA 联盟的认证要求，满足商业化应用，即将上市的 Wi-Fi 6 终端也可完全兼容现在已上市的 Wi-Fi 6 AP。

Q: 什么样的场景需要升级到 Wi-Fi 6 网络？

A: 如果您的网络已经是 802.11ac 或 802.11ac wave2 的产品，现阶段网络可以支撑您的业务，那么可以不用急着升级；如果您的网络是 802.11n 及之前标准的产品，而且现阶段网络无法满足您的业务，我们建议您直接升级到 Wi-Fi 6 网络，利用 Wi-Fi 6 网络的高效高性能能力来加速业务数字化；另外，如果您现在打算新建一个 Wi-Fi 网络，我们建议您直接部署 Wi-Fi 6 AP，一方面您可以享受 Wi-Fi 6 网络带来的高效价值，另一方面可以保证您的网络满足未来 5 年以上的业务发展需求。

Q: 升级到 Wi-Fi 6 网络是不是更安全？

A: 虽然是 802.11ax 标准本身没有指定任何新的安全增强功能或要求，但是据我们了解，后面上市的 Wi-Fi 6 AP 中会很快支持 WPA3 加密功能，这是一种更安全的加密方式，新增

如下 4 项新功能：

- (1) 对使用弱密码的人采取“强有力的保护”。如果密码多次输错，将锁定攻击行为，屏蔽 Wi-Fi 身份验证过程来防止暴力攻击。
- (2) WPA3 将简化无显示接口设备的安全设置流程。能够使用附近的 Wi-Fi 设备作为其他设备的配置面板，为物联网设备提供更好的安全性。用户将能够使用他的手机或平板电脑来配置另一个没有屏幕的设备（如智能锁、智能灯泡或门铃）等小型物联网设备设置密码和凭证，而不是将其开放给任何人访问和控制。
- (3) 在接入开放性网络时，通过个性化数据加密增强用户隐私的安全性，它是对每个设备与 AP 之间的连接进行加密的一个特征。
- (4) WPA3 的密码算法提升至 192 位的 CNSA 等级算法，与之前 WPA2 的 128 位加密算法相比，增加了字典法暴力密码破解的难度。