



无线

www.ruijie.com.cn

下一代无线Wi-Fi 6 (802.11ax)

锐捷网络无线技术白皮书



如有疑问
扫一扫在线咨询

Ruijie 锐捷
Networks

概要

802.11ax技术的由来

IEEE 802.11是IEEE中负责无线局域网的协议标准的工作组。该组织先后制定了数个成功的WLAN协议，如11g、11n及11ac。

802.11 Wireless Standards					
IEEE Standard	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Year Adopted	1999	1999	2003	2009	2014
Frequency	5 Ghz	2.4 Ghz	2.4 Ghz	2.4/5 Ghz	5 Ghz
Max,Data,Rate	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	1 Gbps

802.11ac将WLAN的数据链接速率突破了1Gbps的关口。但随着WLAN应用的普及，AP和终端的数量越来越多，设备间的冲突、干扰可能导致整网的效率不理想；新增的应用场景，如视频、生产网、自动化技术等，也在吞吐、稳定性、传输时延方面对WLAN提出了更高的要求。

为了应对新的挑战，802.11工作组在2013年成立HEW（High Efficiency Wireless）研究组，并于2014年转为正式的11ax任务组，在802.11-2012标准基础上开发11ax协议。

11ax工作组当前进展 ¹	
May 2014	工作组正式成立
November 2016	Draft 1.0版本
September 2017	Draft 2.0版本
May 2018	Draft 3.0版本
January 2019	Draft 4.0 版本
July 2019	发起最终投票（计划）
January 2020	Final 802.11 Approval（计划）

802.11ax的技术目标

根据11ax技术组的计划²，11ax技术的主要改进目标有：

1. System performance：在高密部署场景中提升至少4倍的每用户平均吞吐性能，并改善终端设备的电力消耗；降低通信延迟以满足高密场景的QoS应用需求。
2. Spectrum Efficiency：提高无线频谱资源的利用效率，并提供管理临近设备的干扰的能力，以改善高密部署中的性能。
3. Bands of Operation：规定11ax工作的频段在1Ghz~6Ghz之间。即，包含传统的2GHz和5GHz频段，以及新增的6Ghz频段。

可以看到，在11ax的目标中没有对最大链接速率的要求，而是高密、多用户、效率等关键字。这一代协议将朝着更实用、更贴近用户场景的方向迈进。

¹ 11ax工作组截止2019年5月的进展，http://www.ieee802.org/11/Reports/tgax_update.htm

² <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/14/11-14-1009-02-00ax-proposed-802-11ax-functional-requirements.doc>

802.11ax与Wi-Fi 6

802.11ax是IEEE 802.11标准组织对新一代WLAN标准的命名，在标准文档内部则以HE（High Efficiency）来称呼该技术。

Wi-Fi 6是由WFA（Wi-Fi Alliance，Wi-Fi联盟是一个非盈利性组织，旨在推广Wi-Fi技术并对Wi-Fi产品进行标准化认证）提出的对于Wi-Fi的新命名方式，以便于Wi-Fi新技术的推广。其中，Wi-Fi 5对应802.11ac；Wi-Fi 6对应802.11ax。



| 802.11ax新技术

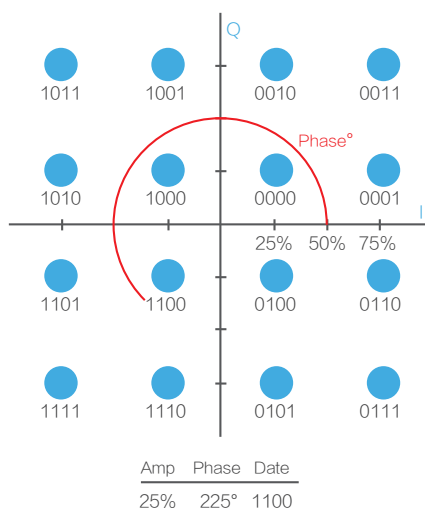
更快

人们对于单纯速度的追求，一直贯穿802.11的整个发展历程。随着无线及芯片技术的不断成熟，以前难以做到或成本过高的技术在现在变成了可能。在11ax中，也有一部分新特性提升了物理层链接速率。

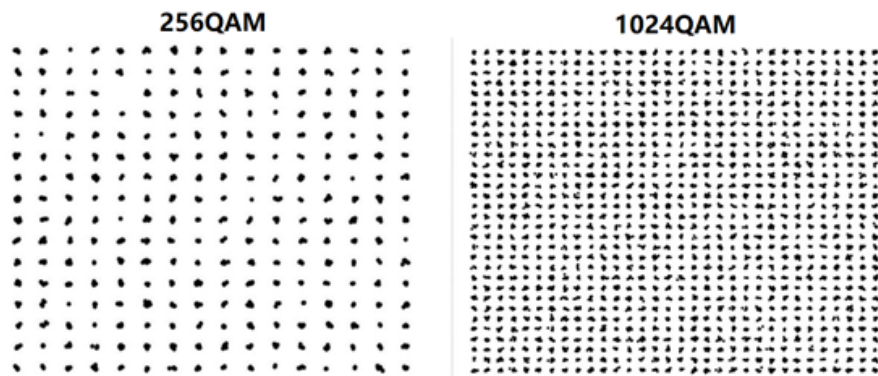
1024QAM

QAM（正交幅度调制），通过叠加两个正交的同频载波，携带双倍的数据，提高频谱的利用率。QAM在Wi-Fi及蜂窝网等通信技术中有广泛的应用。

在数字通信领域，通常用星座图直观地表示信号以及信号之间的关系。QAM是一种结合幅度和相位变化的调制方式，即通过信号的不同相位和幅度组合表示不同的信息。如下图16QAM的星座图，信息“1100”即为相位225°，幅值25%的组合来表示。16QAM的1个单位信号可表示4bit（16种）的信息。



在11ac时代最大支持256QAM。11ax引入了更高阶的编码即1024QAM，单位信号可以表达10bit（1024种）的信息，相比256QAM性能提升了25%。



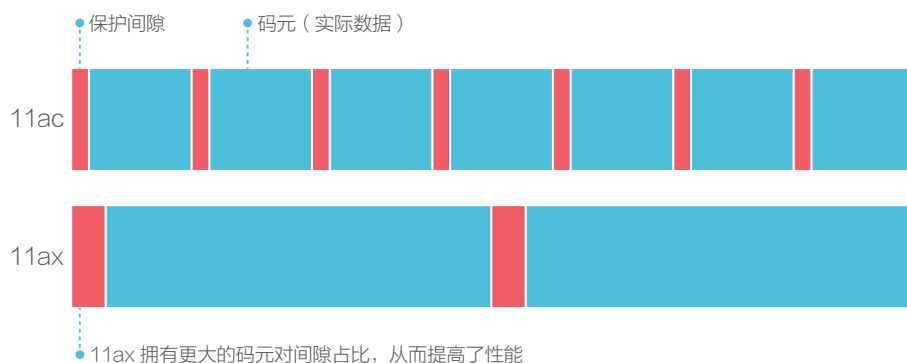
由于1024QAM信息密度的增加，携带不同编码的信号之间的区别也更小，对信号质量的要求也更高。因此该技术在无线环境较好、距离较近的场景中才能充分发挥优势，如信号良好小型的办公室、会议室等。

Long OFDM Symbol

11ax中采用了更长的OFDM码元，其作用有三个方面³：

1. 提高室外通信的健壮性
2. 增强对UL MU-MIMO及OFDMA通信时的时延抖动的容忍度
3. 提高室内通信时的效率（更低的GI时间占比），即本节要讨论的对于速率的提升作用。

在Wi-Fi的OFDM编码过程中，信息被分为多个小的OFDM Symbol(码元，即下图中蓝色部分)。码元之间插入了GI（保护间隙，即图中红色部分）以减少码元之间的相互影响。11ax中采用了更长的码元时长，降低了GI的占比，从而提升了性能。



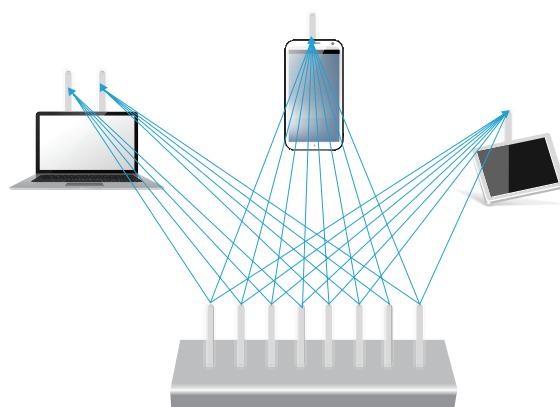
以典型室内放装部署为例，11ac网络中GI为0.4us或0.8us，码元长度为3.2us，即代为长度的有效载荷占比80%；11ax网络中，GI为0.8us，码元长度为12.8us，有效载荷占比94%。因此在同样QAM调制方式下，HE（11ax）速率会有14%的速率提升。

同时，从MCS1到MCS11的各档HE速率都存在该性能增益，所以用户不论在什么环境下使用何种速率，都可以享受长码元带来的性能增益。

8x8 MIMO

尽管在11ac协议中已经提到8x8 MIMO空间流的支持，但是在11ac时代未出现成熟的商业应用。随着技术的进步，在11ax时代已经可以看到成熟的8x8商业产品出现。这不仅提升了单用户的最大吞吐性能，同时也支持更多用户的MU-MIMO，提升多用户并发的吞吐性能。

³ 参考IEEE 802.11-15/0099



更高效

历代的Wi-Fi协议把重心放在物理链接速率的提升方面。11ax除了前述的链接速率的改进，更多的革新体现在了对多用户高密场景下的支持。

由于Wi-Fi的通信基础是EDCA的竞争模型，因此每个终端需要在相同的信道媒介上相互竞争，其中有很多退避和等待的时间浪费。随着终端数量的增加，竞争的开销也越来越明显。OFDMA、MU-MIMO和SR等技术就是为了减少这种浪费而导入的技术。

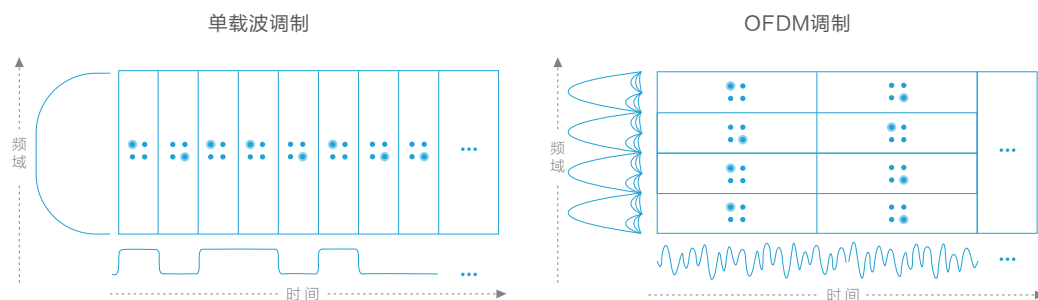
DL/UL OFDMA

OFDMA技术不能提升物理速率，而是通过在频域上向多个用户并发，提升多用户通信时的效率。该技术在LTE等标准中有过成功的应用，理论上相对于MU-MIMO技术在实际场景中稳定性更好，因此在11ax标准中被寄予厚望。

OFDM基础知识

为了介绍OFDMA的基本原理，首先需要了解OFDM技术。OFDM（正交频分复用）应用在11a、11g、11n及11ac中。

与单载波调制方式不同，OFDM将整个载波频段切分成大量紧邻的子频段（子载波），每个子载波采用传统的调制方案，进行低符号率调制。



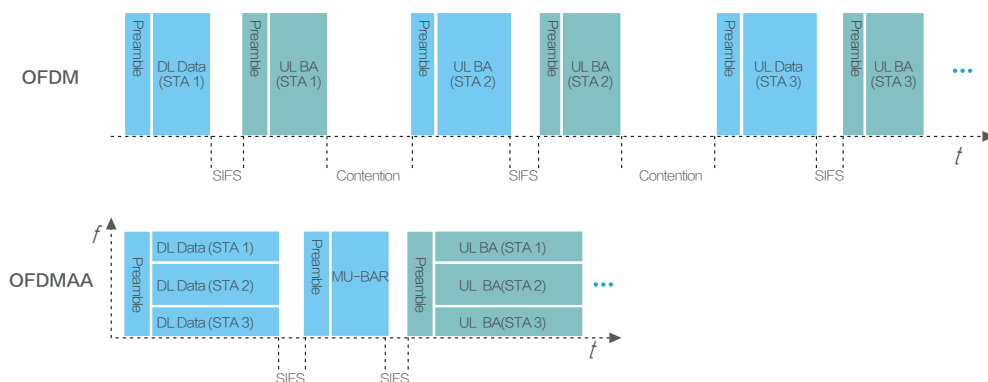
以11ac 20Mhz带宽为例，子载波的频宽为312.5Khz，子载波数量为64个。每个子载波上，被切分为一个个3.2us的码元+0.8us的保护间隔。然后，64个子载波通过反向傅里叶变换生成时域的信号进行发送。接收端通过傅里叶变换将信号分解为64个子载波，解调每个子载波的数据，通过重新组合得到发送的数据。

OFDM方式有频谱效率高，带宽扩展性强，抗多径衰落等优点，因此广泛应用于无线通信领域。

OFDMA

OFDMA（正交频分多址），是OFDM技术的演进。OFDM技术中，一个报文中的所有子载波

都用于和单一用户通信；OFDMA中，一个报文中不同的子载波可以分配给不同的用户进行并发的通信。



如图所示，OFDMA方式减少了帧前导（Preamble）和帧间隙（SIFS等）及终端之间竞争退避（Contention）的时间消耗，从而提升了多用户并发场景的通信效率。

子载波与RU

11ax协议中将子载波定义划分了几种不同的用途：

- Data子载波：用于传输数据。
- Pilot子载波：分布在Data子载波内部，辅助Data子载波做同步相位等。
- Unused子载波：又分为DC载波、Guard band子载波，Null子载波。这些子载波也起到辅助和保护的作用。

其中，协议规定了几种不同大小的Data子载波集合，即可分配给单个用户的子载波集合，称为RU（Resource Unit）。

- 26-tone with 2 pilots
- 52-tone with 4 pilots
- 106-tone with 4 pilots
- 242-tone with 8 pilots
- 484-tone with 16 pilots
- 996-tone with 16 pilots

（注：tone即为子载波，26-tone就是26个子载波组成的RU，11ax中每个子载波频宽为78.125KHz，26-tone约为2MHz，是单个用户可分配的最小单位；pilot子载波占据相应数量的子载波，所以26-tone with 2 pilots实际的数据子载波为24个）

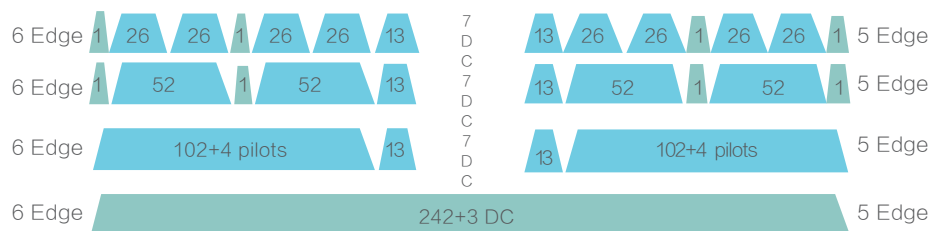


Figure 4 20MHz频宽下的不同大小的RU基本组合

上图中列出了4中基本的RU组合：

1. 9x 26-tone，即单个报文的子载波平分给9个终端（中间的一个RU被DC切开）
2. 4x 52-tone + 1x 26-tone，共5个终端
3. 2x 102-tone + 1x 26-tone，共3个终端
4. 1x 242-tone，1个终端独占所有子载波

下表列出了各频宽下不同大小的RU的最大数量。

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

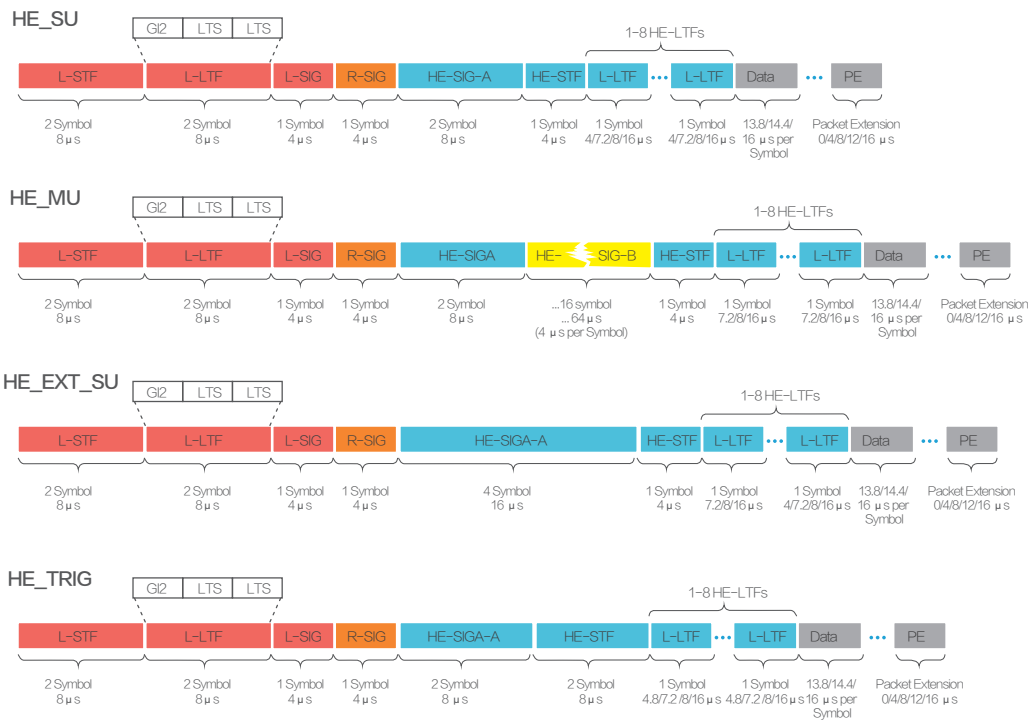
可以看到，在典型的80Mhz频宽下可以实现37或16终端的大容量并发，这在一些典型的高密并发场景可以带来明显的增益。

HE PPDU

OFDMA为了实现在单个报文中分配RU给不同的终端，需要怎么样特殊的帧结构来支撑呢？终端如何知道哪些频段的子载波是分配给自己的？

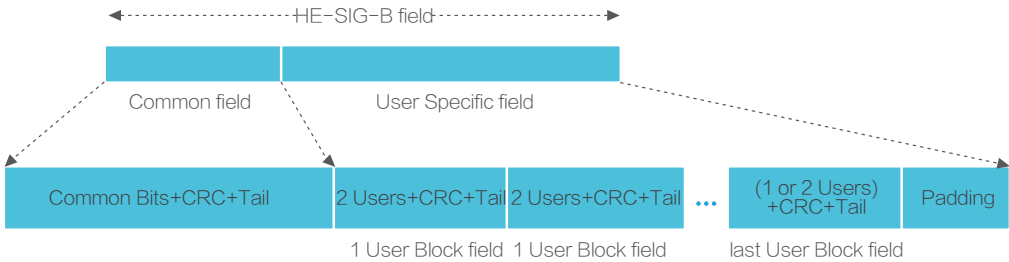
要回答这个问题，需要了解11ax的新增的HE PPDU格式，共有4种：

- HE SU PPDU：用于向单个终端发送报文。
- HE Extended Range PPDU：为了向远距离的单终端发包而设计。只在主20Mhz下发送，只用1条空间流和MCS0~2。同时Preamble部分有针对性的加强。
- HE MU PPDU：用于向一个或多个终端发送数据。用于OFDMA和HE MU-MIMO报文的发送。
- HE Trigger-based PPDU：用于上行的OFDMA或MU-MIMO，由AP发送的Trigger报文触发。



字段	说明
L-STF	Legacy Short Training Field，兼容non-HT设备的字段
L-LTF	Legacy Long Training Field，兼容non-HT的字段
L-SIG	Legacy Signal Field，兼容non-HT设备的字段
RL-SIG	Repeated Legacy Signal Field，兼容non-HT设备的字段
HE-SIG-A	HE Signal A Field，新增的信息字段A
HE-SIG-B	HE Signal B Field，新增的信息字段B
HE-STF	HE Short Training Field，新增的短训练字段
HE-LTF	HE Long Training Field，新增的长训练字段
Data	Data，数据部分
PE	Packet Extension Field，报文结尾的补齐和信息字段

字段HE-SIG-B可以回答本节开头的问题。



HE-SIG-B为可变长的字段，分为Common部分和per-user部分。其中，

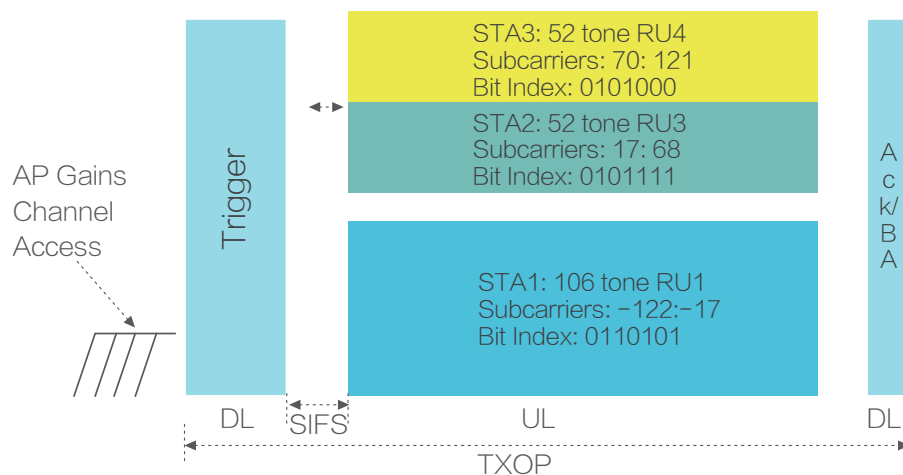
- Common字段中RU Allocation子字段决定了RU分配的方案和user的数量。
- Per-user字段中描述了每个终端的STA-ID、MCS、编码等关键信息。同时，user排列的顺序也决定了占用的RU位置和大小。

终端在收到该字段后，就可以得知该报文是否发送给自己，且对应的RU位置和大小，即可以正确的解调发送给自己的RU的内容。

Trigger报文和上行OFDMA

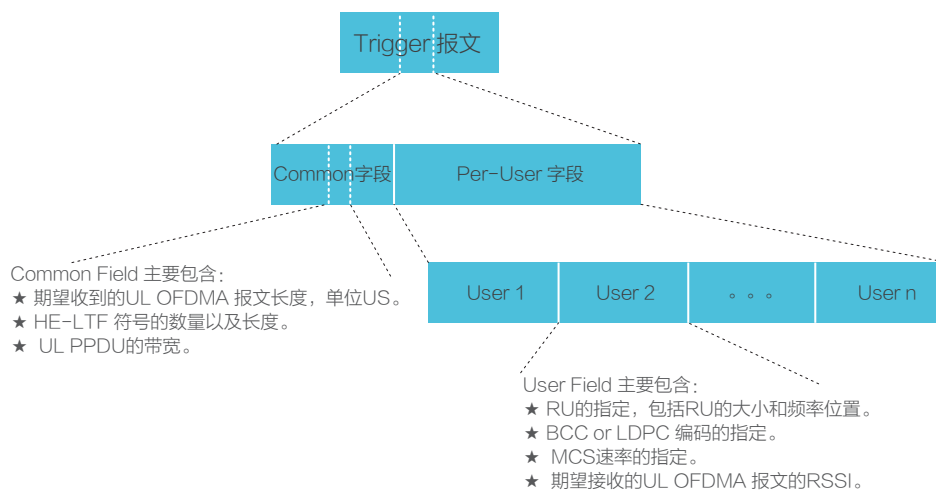
和AP发送的下行OFDMA报文的原理类似，上行OFDMA在发送时，多个终端分别用不同的RU在不同的子频段发送报文。

为了让终端能够协同一致的发送上行OFDMA报文，AP需要发送一个名为trigger报文的控制报文。STA在接收到trigger报文后，会在一个SIFS间隔后一同发送HE TB (Trigger Based) PPDU，即上行的OFDMA报文。



如上图，AP发送了Trigger报文，给三个终端分配了RU；三个终端在一个SIFS时间后，一齐开始发送HE TB报文；AP成功接收后回复ACK或BA。

Trigger报文是一个非HE报文，即使用传统速率进行发送，保持与旧设备的兼容性。其中主要的字段包含Common field和每User field两部分。



Common Field主要包含：

- 期望收到的UL OFDMA报文长度，单位us。
- HE-LTF符号的数量以及长度，以适应不同的场景。
- 规定UL OFDMA报文的带宽等。

User Field主要包含：

- RU的指定，包括RU的大小和频率位置。
- BCC or LDPC编码的指定。
- MCS速率的指定。
- 期望接收的的UL OFDMA报文的RSSI。

可以看到，trigger报文对于每个终端的UL OFDMA报文做了详细的规定，极大的提升了AP对于终端的控制能力。

除了用于调度basic的UL数据报文，Trigger报文还可以用于其他的用途，如Beamforming的请求，MU-BAR，终端buffer状况获取等。

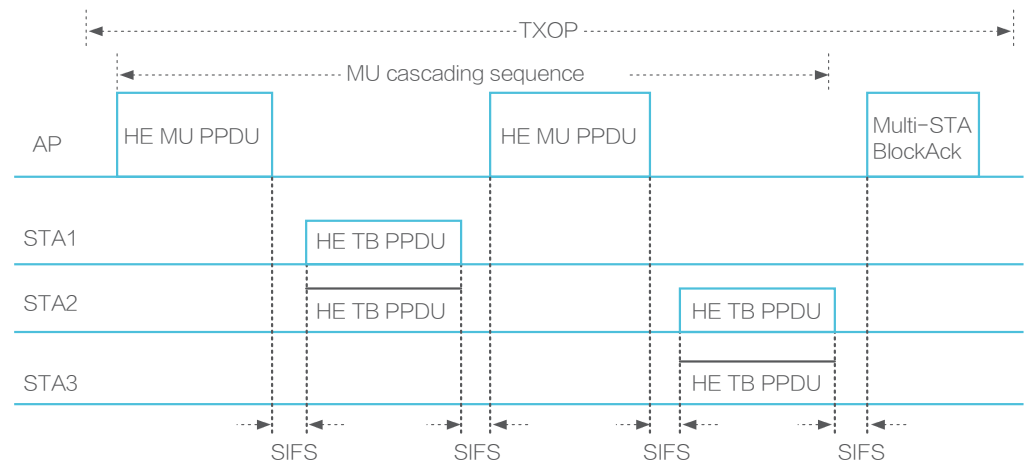
Trigger Type subfield value	Trigger frame variant
0	Basic
1	Beamforming Report Poll (BFRP)
2	MU-BAR
3	MU-RTS
4	Buffer Status Report Poll (BSRP)
5	GCR MU-BAR
6	Bandwidth Query Report Poll (BQRP)
7	NDP Feedback Report Poll (NFRP)
8-15	Reserved

Cascading模式

11ax协议还规定了一种称为cascading的通信模式，这是一种通信效率极高的模式。如下图：

1. AP发送的HE MU PPDU，其中包括下行的数据，Trigger报文以及对上行报文的ACK，其中Trigger报文会激发STA的HE TB PPDU；
2. STA发送的HE TB PPDU亦可包含对AP下发报文的ACK，需要上送的数据。

整网的通信将由AP进行统一的控制和调度。形成一种类似蜂窝网的通信方式。与传统的EDCA方式相比，Cascading的方式极大的减少了竞争退避造成的浪费，提升了整网的通信效率。



DL/UL MU-MIMO

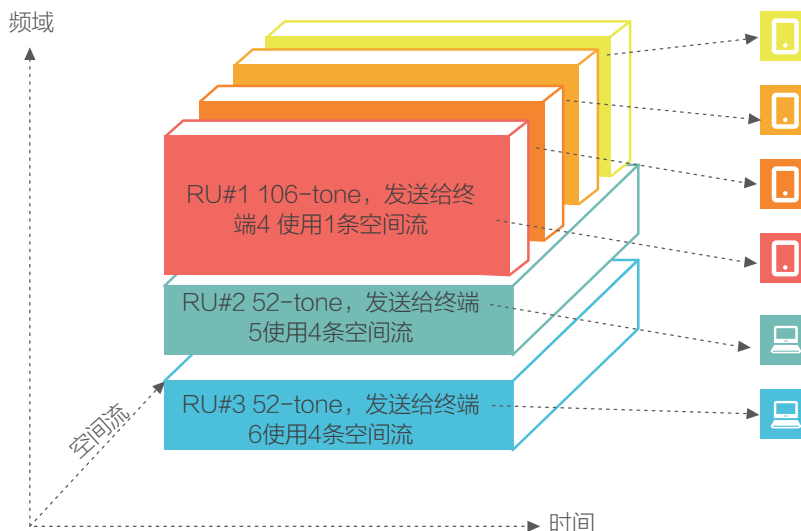
11ax中对MU-MIMO也进行了扩展，采用HE MU PPDU进行发送，支持与OFDMA的混用（可选支持），并新增了UL MU-MIMO的支持。

HE DL MU-MIMO

11ax标准中的MU-MIMO可以与OFDMA技术混合使用，采用HE MU PPDU进行发送。

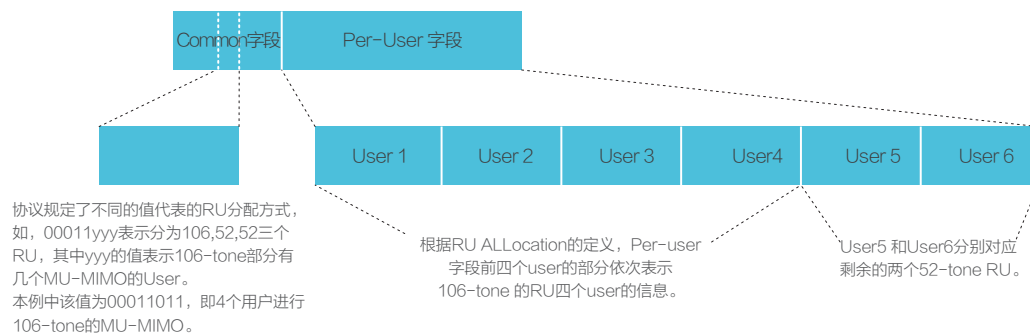
如下图中，在20MHz的频宽中，OFDMA子载波被切分为3个RU。

- RU#2和RU#3为52-tone，分别发送给2个3x3终端。
- RU#1为106-tone，再切分为向4个终端发送的MU-MIMO空间流，分别发送给4个1x1的手机终端。



可以看到，这种精巧的设计进一步提高了频谱资源的利用效率，为高密场景中的各种复杂的场景应用提供了更多选择。

这种复杂的组合报文是怎么样实现的呢，答案也在之前提到的HE-SIG-B字段中。



可以看到，协议给了充分的组合空间，可以形成OFDMA和MU-MIMO的各种组合，也可以实现单独的OFDMA或者单独的MU-MIMO传输。混合OFDMA和MU-MIMO的方式由于其复杂性，在11ax wave1中不会正式支持，需要等到wave2才会问世。

HE UL MU-MIMO

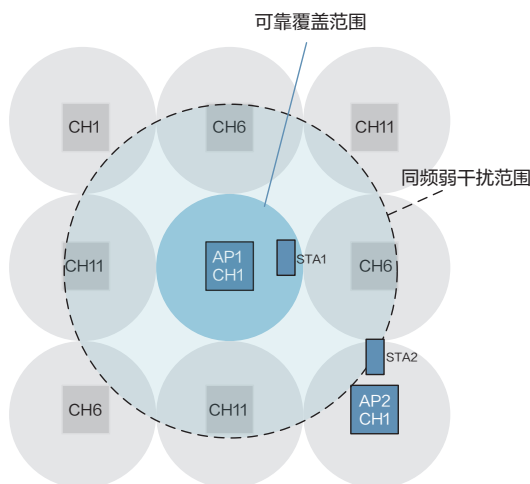
802.11ac协议中，只有下行MU-MIMO的支持，上行的回复报文依然采用依次发送的方式，还是存在浪费。在11ax协议中，利用与UL OFDMA相同的Trigger机制，可以实现UL MU-MIMO功能。UL MU-MIMO的原理可以参考UL OFDMA的章节。

值得一提的是，UL MU-MIMO亦可用于cascading模式，结合OFDMA与MU-MIMO的混合模式，可以形成前所未有的通信模式，给与了Wi-Fi网络灵活的控制和调度能力。

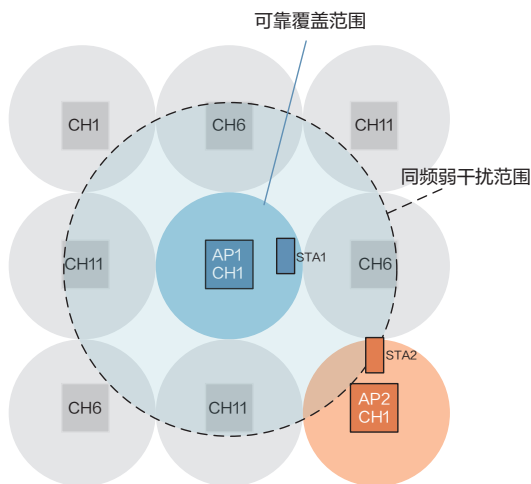
Spatial Reuse

Spatial Reuse（空间复用，简称SR）技术，降低了多台设备间同频信号带来的相互影响，提高了高密部署中整网的效率。

在传统的11ac网络中，多台同频设备之间会产生大量的竞争和退避。如图所示，AP1与AP2同在channel 1。即使通过网优调整覆盖范围后，AP1还是可能对临近的AP2产生同频若干扰。导致AP1在与STA通信的过程中，AP2和STA2需要停下来等待。



11ax标准中，在报文的PHY头部增加了名为BSS Color的字段，用以在报文发送的早期阶段让其他所有终端识别当前这个报文的“颜色”，颜色相同则认为和自己有关；颜色不同则视为不用关心的报文。



如上图，AP1和STA1配置为蓝色，AP2和STA2配置为了橙色。当AP1和STA1通信时，产生的弱信号报文被STA2和AP2接收到，当判断颜色不同且报文信号强度低于阈值后，STA2和AP2会继续通信，无需等待AP1的报文传输完毕。由于此时AP1带来的干扰较弱，AP2和STA2的之间的信号依然拥有可接受的信噪比，可以正常解调出报文。

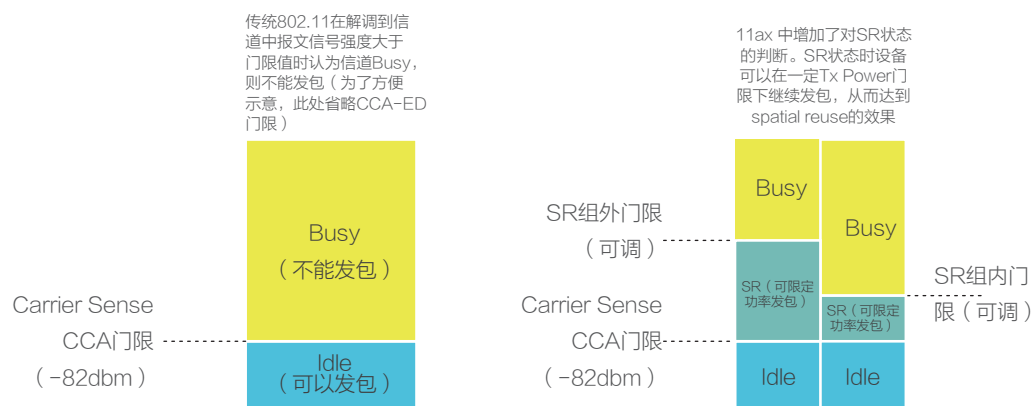
在11ax之前的协议中，一直延用CCA门限来界定信道是否繁忙，以此判断是否可以发包。802.11定义了两个门限：

- Carrier Sense CCA：载波监听过程检测报文的preamble部分，可以判断报文的起始边界并计算信号强度。当信号强度大于阈值，判定信道为繁忙。协议规定的阈值为-82dbm。
- CCA-ED（Energy Detection）：对接收的信号做积分能量计算，无法识别报文的边界。但能够识别数据段的信号强度，以及异构网络的信号强度（如微波炉，蓝牙等）。协议规定的阈值为-62dbm。

11ax中，除了在PHY头部增加BSS Color字段表明报文的“颜色”，还增加的针对同色及非同色报文的信号强度判断阈值，用于实现SR操作。

- Non-SRG（Spatial Reuse Group）OBSS PD（Packet Detect）level：即非SR组内（非同色）报文的SR信号阈值。取值范围在-82dbm ~ -62dbm之间。终端计算报文preamble前段的信号强度，如果信号低于本阈值，则可进行SR操作，其他终端可以在限定的发射功率内进行发包操作。
- SRG OBSS PD level：即SR组内报文的SR信号阈值。取值范围在-82dbm ~ -62dbm之间，但可以由AP的通过报文通告终端在这个范围内做进一步调整。低于这个阈值的组内报文在发送时，其他终端可以在限定的发射功率内进行发包操作。

如下图所示，11ax相比之前的协议，新增了两个阈值，黄色SR的部分即为新增的可发包的门限范围。增大了空间中可复用的资源，提升了整网的通信效率。



但SR机制同样存在两面性，如果SR门限设置不当，会导致报文间干扰过大影响信号解调。因此不同的场景和部署条件下，需要有合理的算法来支撑SR参数的调节。这在给与设备厂商更大灵活度的同时，也带来了技术上的挑战。

更物联

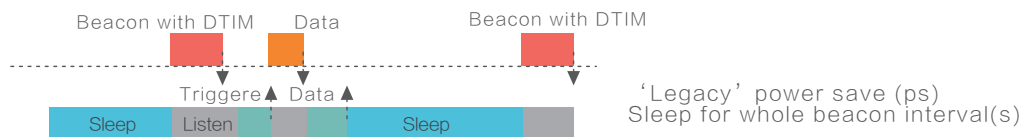
物联网已经逐渐渗透到社会的方方面面。802.11ax标准的部分新增特性对物联网场景亦有帮助和促进作用。

TWT节电

11ax的一个主要目标是改善性能的同时保持或改进电力消耗，可以看到在IoT发展的背景下，电力消耗与网络性能摆在了同样重要的位置上。历代的802.11标准中存在一些节电机制，它们在11ax中也将继续被支持。

“legacy PS”的节电机制从802.11b开始支持，被广泛应用在所有Wi-Fi设备上。终端可以在一个或多个beacon的间隔之间睡眠；当唤醒时可以发送上行的报文，也可以通过监听beacon的

DTIM字段获知是否有需要接收的下行报文，如果有需要接收的报文，终端可以发出trigger获取相关的报文。这个机制被验证有效单节电效果有限，通常终端需要在一秒内唤醒多次来读取DTIM。

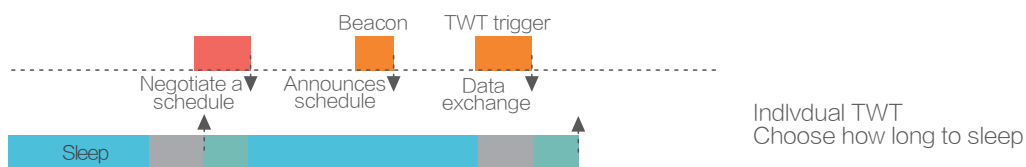


再后来的802.11e中，引入了U-APSD（Unscheduled automatic power-save delivery）节电技术，主要针对voice-over-Wi-Fi设备对于节电的需求。语音设备往往需要以固定的短间隔传输报文（如20ms）。U-APSD允许设备在一个beacon周期内多次休眠和传输报文。同时，考虑到语音通信的对等特性，U-APSD设计了通过上行报文触发下行发送的机制。



11ax新引入的节电机理TWT（Target Wake Time）拥有更大的弹性，允许更长的节电周期，以及多设备的休眠调度。

TWT允许AP和终端之间单独协商休眠和通信的周期，通常是超过数个beacon周期的间隔（可达分钟，甚至小时或天级别）。当协商的唤醒时刻来临时，终端会醒来并等待AP的trigger报文，然后开始交换数据，最终再次进入休眠状态。由于AP是和每个终端单独协商，AP可以根据终端的情况组合或分离各终端的休眠周期，已达到最好的通信效率。



除了TWT机制，11ax还有一些值得提出的改进，它们对于终端节电同样起到了贡献作用。

- 在报文最初的Preamble中新增了标明上行/下行的比特位。由于通常的Wi-Fi网络（infrastructure BSS）中，终端只需要接收来自AP的下行报文。因此通过preamble的上行/下行标识，终端可以忽略接收大量的来自其他终端的上行报文，从而达到节电的效果。假设下行和上行报文的比例为2:1，则在所有报文通信时间中，终端可以有约1/3的时间可进行节电。
- BSS Color同样在Preamble中有标志位，终端可以用其判断下行报文是否属于自己所属的通信组，对于其他WLAN的报文可以忽略不接受。在高密度BSS的网络中，也能显著的减少接收处理，降低耗电量。
- 20MHz Only设备让IoT设备的Wi-Fi芯片可以更精简，耗电量更低。

20MHz Only Client

11ax诞生于这个IoT的时代，也需要更多的针对IoT市场的支持。虽然Wi-Fi芯片的出货量很大，有助于削减芯片成本。但是相对于蓝牙或Zigbee芯片，Wi-Fi芯片还是过于复杂，因此在IoT应用中缺乏成本优势。同时，复杂的芯片带来了更高的电力消耗。

11ax中，TWT技术预期能够将电力消耗降低到与其他IoT通信技术相同的量级。但是，复杂的Wi-Fi芯片还是不利于IoT的低成本应用。因此协议定义了对20MHz-Only non-AP HE STA这种终端的支持。这种终端可以工作在2.4G或5G频段，但只能在主20Mhz频段工作，其他的11ax强制特性如OFDMA等均有保留。这些终端可以利用OFDMA在更窄的RU中通信，确保稳定性。有了协议的保障，AP会意识到还有仅支持20Mhz的设备存在，确保这些IoT设备的通信得到保障，同时合理的调度资源。

室外通信增强

11ax中有一些新增的技术点可以增强室外通信以及IoT场景的可靠性。

- 专门为远距离传输设计的新报文格式HE Extended Range PPDU。只在主20Mhz下发送，只用1条空间流和MCS0~2速率发送。同时Preamble的部分字段提高3db进行增强，确保远距离下可以正常解调。
- Long-GI和4x LTF长度，码元间的GI（保护间隔）可以从0.8us调整到3.2us，降低干扰；Preamble中的训练字段LTF也可以拉长，增加可靠性。
- DCM（Dual sub-Carrier Modulation），增加一倍的子载波用于承载相同的信息，通过信息冗余提升可靠性。
- 另外，在IoT低带宽要求的场景，通过OFDMA的小RU进行传送，配合合理的算法调度，可以有效避开空间中的窄带干扰，提升传输的可靠性。

典型场景分析

多用户文件传输

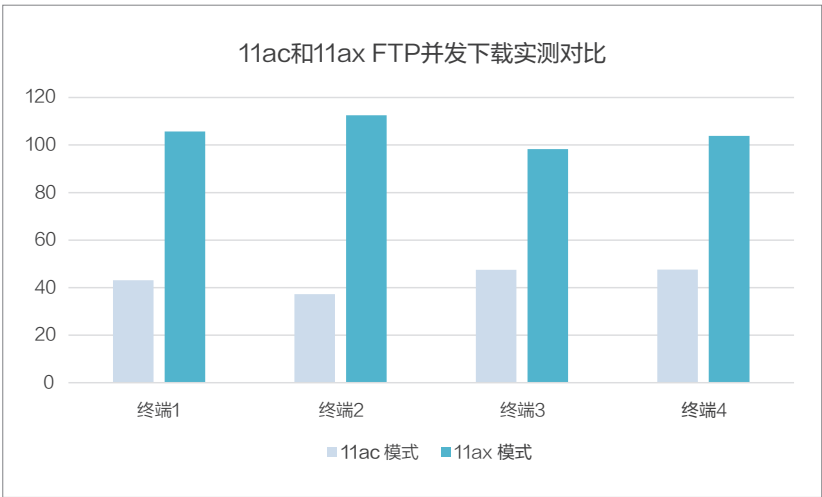
多用户文件下载功能在高密度办公、教室等场景中重要的应用，这是考验最大吞吐指标的场景。我们首先对该场景下11ax性能进行了模拟和分析。

发送模式	并发用户数	MCS	单用户最大吞吐Mbps	总吞吐Mbps	总吞吐提升%
11ac/SU	n	9	345.32	345.32	0
11ax/SU	1	11	451.50	451.50	30.75%
11ax/RU484	2	11	238.25	495.11	43.38%
11ax/RU242	4	11	125.26	510.99	47.97%
11ax/RU106	13	9	43.46	397.05	14.98%
11ax/RU52	21	9	20.22	374.12	8.34%
11ax/RU26	37	9	9.87	365.09	5.73%

802.11ax OFDMA各种子带宽分配方式下的最大吞吐分析

多用户文件下载场景，OFDMA并发用户数 ≤ 4 时，每个用户可以分得较大的频宽，协议规定该频宽下可以用MCS11进行传输，从而其系统容量吞吐相比802.11ac都提升了30%以上。当用户数进一步增加，超过4个，那么每用户分配的OFDMA子带宽为RU106、RU52、RU26三种或这三种的混合模式，协议规定该频宽下最大支持MCS9，并且由于子带宽导频、空子载波开销上升，导致这样的用户数目下带宽利用率下降。

根据近期的实验室实测的结果，在四终端的并发下载场景中，11ax的传输性能是11ac产品的2倍。因此，11ax对于办公文件传输、4K视频、云桌面等应用场景中的网络体验有很好的提升作用。



多用户网页浏览

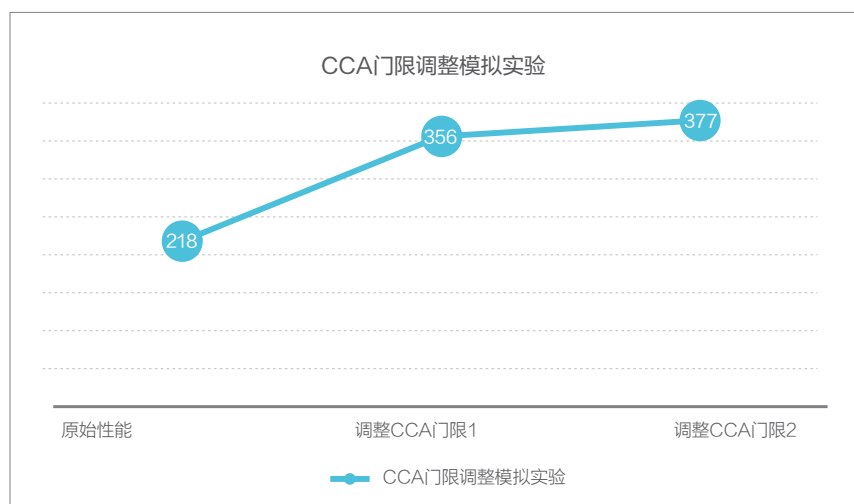
日常网络应用中另一个重要应用是网页浏览，该类业务的特点是传送的报文都为小报文，类似的应用还有如微信聊天，语音通信等。
假设此时有多个用户同时发送512字节报文，暂不考虑用户碰撞，采用轮询算法进行用户调度：

发送模式	并发用户数	MCS	单用户吞吐Mbps	总吞吐Mbps	总吞吐提升%
11ac/SU	n	9	12.45	12.45	0
11ax/SU	1	11	12.34	12.34	-0.88%
11ax/RU484	2	11	11.03	22.06	77.19%
11ax/RU242	4	11	10.18	40.71	227.05%
11ax/RU106	8	9	8.45	67.61	443.14%
11ax/RU52	16	9	6.37	101.89	718.52%
11ax/RU26	37	9	4.20	155.38	1148.18%

上表可以看到，在512字节小报文场景下，OFDMA并发能有效节省多用户的空口开销。尤其并发用户数37时，OFDMA方式吞吐提升1148%。考虑到实际空口环境下，个别OFDMA用户信道恶化，性能可能无法提升1148%，但只要信道未恶化的用户数大于等于4，那么吞吐至少提升34.93%，信道未恶化的用户数大于等于16，吞吐可实现4.4倍提升。

组网性能

通过CCA门限模拟OBSS_PD门限，可以初步估算OBSS_PD门限可能带来的增益。模拟实验中，2个BSS分别关联2个终端，对比不同门限值下的整网性能。可以看到通过调整CCA门限可以带来平均70%的增益。考虑到终端的差异和组网的规模，实际场景中的性能增益在20%~70%之间。



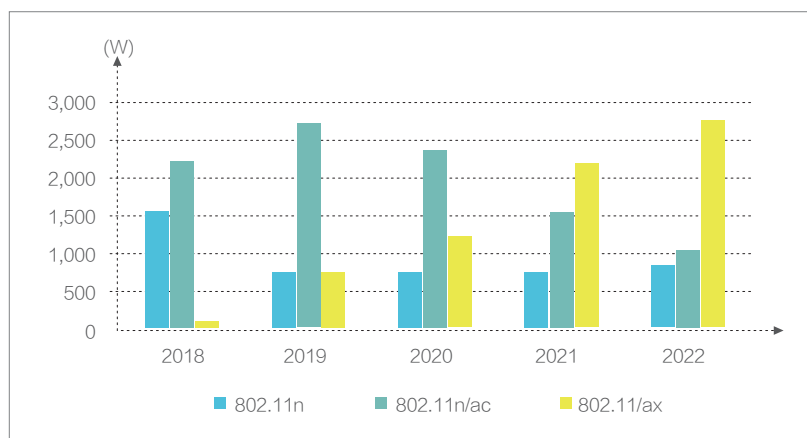
实验中发现，门限值的调整是一把双刃剑，不恰当的调整可能导致性能负增益。在复杂的实际网络部署中，如果有效的调整整网的参数将是厂家的一个重要课题。

总结

802.11ax作为第六代Wi-Fi技术，将会是一次令人激动的无线技术革新。它不仅带来更快更高效的无线网络，也为更多商业模式和应用场景提供了更有力的支撑，如：

- 办公/生产网高可靠场景
- IoT应用场景
- 实时高吞吐应用，如企业级4K/8K视频，以及AR、VR应用
- 高密并发应用场景，如学校，车站，商场

如同历代Wi-Fi协议，802.11ax拥有向后兼容性，构建于现有技术之上。随着11ax设备的不断涌现，11ax网络部署的性能增益将愈发明显。根据IDC的芯片出货量预测，在2021年11ax的终端出货量将超过11ac。因此11ax绝对是未来5年的主流Wi-Fi网络技术。



11ax与历代协议不同，不单纯考虑理想条件下的最优性能，而是着眼于实际场景中的真实问题改善，如OFDMA、Spatial Reuse、TWT等技术。在给与AP更大控制能力的同时，也对厂商提出了更高的技术要求。结合大数据及AI智能算法的优化，Wi-Fi6将带来全新的无线体验。

附录

1. 三代Wi-Fi技术的速率相关参数对比

	802.11n	802.11ac	802.11ax
频宽（Mhz）	20、40	20、40、80、80+80、160	20、40、80、80+80、160
OFDM子载波频宽（Khz）	312.5	312.5	78.125
码元时长（us）	3.2	3.2	12.8
GI保护间隙（us）	0.8	0.4、0.8	0.8、1.6、3.2
最大流数	3x3	4x4	8x8
MU-MIMO	无	下行	下行、上行
调制方式	OFDM	OFDM	OFDM、OFDMA
子载波调试方式	BPSK、QPSK、16QAM、64QAM	BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM	BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM、1024QAM
编码方式	BCC（强制）LDPC（可选）	BCC（强制）LDPC（可选）	BCC（强制）LDPC（强制）

2. 在1x1空间流的情况下，11ax与11ac速率表格。

Mddulation and coding schemes for single spatial stream										
MCS index ^[a]	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mb/s) ^[b]							
			20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
			1600 ns GI ^[c]	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI	1600 ns GI	800 ns GI
0	BPSK	1/2	8	8.6	16	17.2	34	36.0	68	72
1	QPSK	1/2	16	17.2	33	34.4	68	72.1	136	144
2	QPSK	3/4	24	25.8	49	51.6	102	108.1	204	216
3	16-QAM	1/2	33	34.4	65	68.8	136	144.1	272	282
4	16-QAM	3/4	49	51.6	98	103.2	204	216.2	408	432
5	64-QAM	2/3	65	68.8	130	137.6	272	288.2	544	576
6	64-QAM	3/4	73	77.4	146	154.9	306	324.4	613	649
7	64-QAM	5/6	81	86.0	163	172.1	340	360.3	681	721
8	256-QAM	3/4	98	103.2	195	206.5	408	432.4	817	865
9	256-QAM	5/6	108	114.7	217	229.4	453	480.4	907	961
10	1024-QAM	3/4	122	129.0	244	258.1	510	540.4	1021	1081
11	1024-QAM	5/6	135	143.4	271	286.8	567	600.5	1134	1201

Figure 1 11ax 1x1空间流速率表

Mddulation and coding schemes											
MCS index ^[a]	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^{[15][b]}							
				20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	68
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	1	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433.3	780	866.7

Figure 2 11ac 1x1空间流速率表

3. 各空间流数下，11ax AP产品在不同带宽下的最大链接速率。（采用0.8us的GI进行计算）

空间流	最大链接速率（in Mbps, 800ns GI的情况下）			
	20Mhz	40Mhz	80Mhz	160Mhz
1x1	143.4	286.8	600.5	1201.0
2x2	286.8	573.5	1201.0	2401.9
4x4	573.5	1147.1	2401.9	4803.9
8x8	1147.1	2294.1	4803.9	9607.8

Figure 3 各空间流数下11ax最大链接速率



锐捷网络股份有限公司

欲了解更多信息，欢迎登陆 ruijie.com.cn，咨询电话：400-620-8818。

*本资料产品图片及技术数据仅供参考，如有更新恕不另行通知，具体内容解释权归锐捷网络所有。