

IEEE 802.11ax: 第六代 Wi-Fi

1 执行摘要

设备、连接和需要大量带宽的应用日益增多，在这些因素的驱动下，无线技术在不断发展。未来的网络将需要更高的无线容量和可靠性。这正是第六代 Wi-Fi 的用武之地。

全新的 IEEE 802.11ax 标准是无线技术持续创新所取得的最新成果。此标准以功能强大的 802.11ac 为基础，同时增加了灵活性和可扩展性，使新网络和现有网络能够为下一代应用提供支持。IEEE 802.11ax 既有线网自由、高速的特点，又有获得许可的无线电 (LTE) 技术的可预测性。

借助 IEEE 802.11ax，企业和运营商能够在相同无线局域网 (WLAN) 基础设施上支持新兴应用，同时为旧应用提供更高水准的服务。这种方案可为新业务模式和更广泛的 Wi-Fi 采用奠定基础。

借助 IEEE 802.11ax，无线接入点可在密集环境中支持更多客户端，并为典型的无线局域网提供更出色的体验。IEEE 802.11ax 还可为 4K 视频、超高清、无线办公和物联网 (IoT) 等先进应用提供更具可预测性的性能。灵活的唤醒时间安排使客户端设备能比使用 802.11ac 时的休眠时间更长，并能合理唤醒以减少争用，从而延长智能手机、物联网和其他设备的电池续航时间。

IEEE 802.11ax 从三个不同层面推动实现上述优势：

- 使用 1024 正交调幅 (QAM) 进行更密集的调制，实现超过 35% 的速度突增
- 基于正交频分多址 (OFDMA) 的调度，可降低开销和延迟
- 可靠、高效的信令，可在接收的信号强度指示 (RSSI) 显著降低的情况下实现更好的运作

借助 IEEE 802.11ax OFDMA 技术，第一代 802.11ax 无线接入点甚至可以支持 8 个空间流，并在物理层提供高达 4800 Mbps 的吞吐量（具体取决于供应商的实施情况）。所有客户端均能在 MAC 层实现更高的有效吞吐量，从而成就更佳的整体用户体验。

与 802.11ac 不同，802.11ax 属于双频 2.4 GHz 和 5 GHz 技术，因此仅采用 2.4 GHz 的客户端也能立即从中受益。最重要的是，802.11ax 2.4 GHz 支持可大幅扩展 Wi-Fi 的范围，从而增加基于标准的声音和波束成形，并为室内和室外覆盖提供新的用例和业务模式。

目录

1 执行摘要

2 市场动态

3 802.11ax 是什么？

3.1 802.11ax 驱动因素

3.2 802.11ax 为何发展如此之快？

3.3 IEEE 802.11ax 和确定因素

3.3.1 资源分配的三个维度

3.3.2 灵活、低功耗的设备调度

3.3.3 提高容量同时降低调度的不确定性

3.4 IEEE 如何让 802.11ax 更强大？

3.5 技术概述

3.5.1 OFDMA 和资源单元分配

3.5.2 1024 QAM

3.5.3 空间重用 (SR) 和 OBSS 操作

3.5.4 速率范围

4 11ax 何时推出？

5 11ax 对我有何影响？

5.1 兼容性

5.2 何时升级到 802.11ax？

6 总结

IEEE 802.11ax 将增强现有的 802.11a/g/11n/11ac 部署，即使这些部署未立即完全升级到 802.11ax。IEEE 802.11ax 基于 OFDMA 的信道接入会完全向后兼容传统的 EDCA/CSMA，并且思科® 无线接入点将以最佳方式运用每种方案。其次，802.11a/g/11n/11ac 监控和无线入侵防护系统（无线入侵防护交换 [WIPS]）可以继续解码大多数管理帧（例如信标和探测请求/响应帧），即使使用全新的 802.11ax 数据包格式发送时也是如此。

IEEE 802.11ax 可以实现最大兼容性，与 802.11a/n/ac 设备高效共存。该标准的新前导码 (HE-SIG-A/B) 遵循传统的 802.11a/g/n/ac 前导码形式，扩展为面向多用户的请求发送/允许发送 (RTS/CTS) 程序，以帮助避免与较为陈旧的单用户模式用户之间发生冲突。

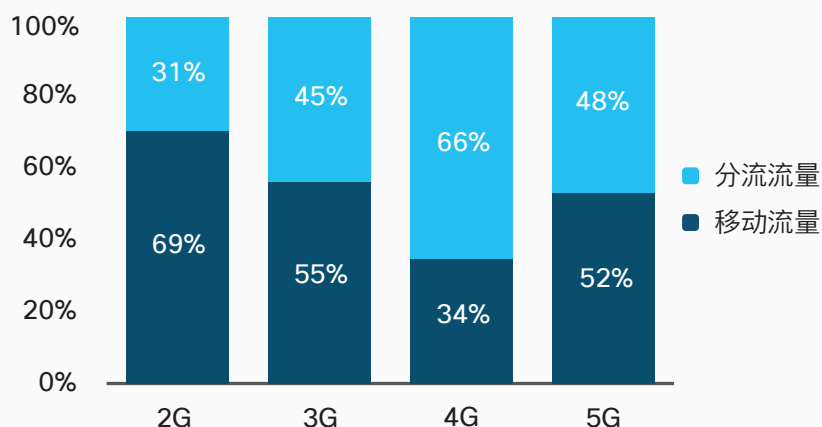
全新的 802.11ax 标准是无线技术向前迈出的的一大步，从长期来看能为企业和运营商组织带来切实可见的益处。

2 市场动态

通过审视既往基于 802.11 的网络，我们发现，每一代技术都为用户提供了高于以往的吞吐量和覆盖范围，支持企业网络实现扩展和密集化。然而，思及未来的无线网络便可认识到，下一代技术不仅需要支持这种持续扩展，还需要为现有网络提供更高水准的服务。具体而言，除了要为运营商客户提供可靠的移动核心功能扩展（例如语音）外，还日益需要为企业客户提供 4K/8K 视频、增强现实和虚拟现实 (AR/VR) 以及物联网服务支持 - 所有这一切都要求具备比先前几代的 Wi-Fi 技术更高水平的确定性行为。

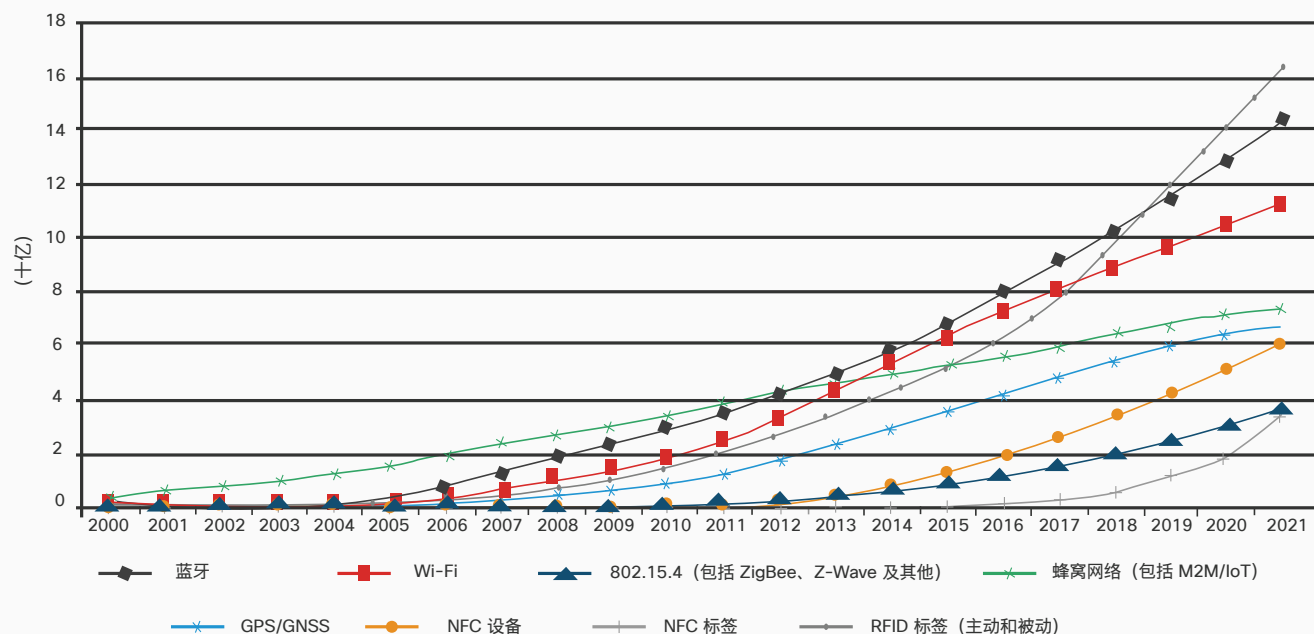
从历史角度来看，每一代蜂窝网络（2G、3G 和 4G）都将越来越多的流量负载分流到 Wi-Fi 网络，因为 Wi-Fi 的速度和成本效益更好，包括企业也采取了这种做法。放眼未来（2020 年以后），我们可以明显看到，即便是最新的蜂窝技术 (5G) 也需要大量 Wi-Fi 容量，以支持最适合通过 802.11ax 及其类似于蜂窝网络的调度功能交付的运营商级语音和视频服务（图 1）。

图 1. 移动分流流量趋势（思科虚拟网络指数 [VNI]）



物联网 (IoT) 是一项重要趋势，它使企业面临巨大挑战，即如何安全、轻松地将数百或数千台电子设备连接到符合企业运营和工程需求的企业 IT 网络。与笔记本电脑等用户设备不同，物联网设备需要确定性无线服务（例如每 5 毫秒轮询一次，否则就会关机）或低功耗服务（也就是说，除非确有必要，否则不会发出任何信号）。传统上，这些需求一直通过专有、利基或运营商特定的技术得到满足，但凭借出色的规模经济效益和简便的 IT 管理，企业 Wi-Fi 日趋为首选的室内物联网平台。为了满足这些物联网运营需求，预计 802.11ax 及其物联网功能（例如低功耗和确定性）将加速这种采用（参见图 2）。

图 2. 物联网趋势（思科 VNI）



我们可以设想，未来将会出现这样的企业：通过增强现实 (AR)、虚拟现实 (VR) 或混合现实 (MR) 技术，用户能以虚拟方式与同事、合作伙伴和客户进行联系。随着研究人员、工程师和 IT 人员着手开发企业解决方案（例如远程医疗、远程现场支持、零售可视化工具、虚拟培训和协作），我们每天都能发现这种协作形式的好处。显然，这些应用需要超高吞吐量（例如 1 Gbps 以上）和低延迟（例如不到 10 毫秒），因此 802.11ax 凭借先进的多路输入和多路输出 (MIMO) (8 x 8) 以及调度功能（图 3）占据有利地位。

图 3. 各种形式的现实：增强、混合和虚拟



- ▶ 这些形式的现实对网络质量和性能提出了新的要求。
- ▶ 满足带宽和延迟要求对于实现高 QoE 至关重要。
- ▶ AR 流量将在 2016-2021 年期间增长 7 倍：从每月 3 PB 增长到每月 20 PB。
- ▶ VR 流量将在 2016-2021 年期间增长 11 倍：从每月 13 PB 增长到每月 140 PB。

3 802.11ax 是什么？

首先，802.11ax 是 802.11ac 的演进结果。如果您想详细了解 802.11ac，请访问：<https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf>。如果您已经熟悉 802.11ac 带来的下行链路 (DL) 多用户 (MU) MIMO、256 QAM 和 160 MHz 宽信道，并且不需要回顾相关内容，请继续阅读下文。

3.1 802.11ax 驱动因素

IEEE 802.11ax 是对 802.11ac 的演进式改进。802.11ax（也称为高效无线技术 [HE]）的目标之一是为现有 Wi-Fi 网络提供更高水平的效率：

- 在常见的 Wi-Fi 环境中，更加一致地提供高数据速率
- 关注能提高体验质量 (QoE) 的关键性能指标 (KPI)

传统企业领域中的挑战包括：

- 具有大量用户的超高密度 (UHD) 环境，每个用户分别携带或穿戴三四个 802.11 客户端，同时耗用网络资源
- 越来越多的实时应用（例如 4K 视频和增强现实或虚拟现实 [AR/VR]）的采用对本已压力重重的环境提出了新的要求

在相邻的物联网领域，传统专用运营网络与 IT 网络的融合加速了为如下技术提供支持的需要：

- 低复杂度和低功耗设备，例如 HVAC、资产标签和医疗保健传感器
- 超可靠低延迟通信 (URLLC)，例如需要严格 KPI 控制的医疗（成像/控制）和制造（仓储物流、机器人）行业

3.2 802.11ax 为何发展如此之快？

无线速度峰值是四个因子的乘积：信道带宽、集群密度、空间流数量和每码元开销。IEEE 802.11ax 通过添加 1024 QAM 提高了集群密度，但借助灵活的 PHY 定时参数，更显著地降低了每码元开销。

首先，从 256 QAM 转至 1024 QAM 将峰值速率提高了 $10/8 = 1.25$ 倍。由于集群点彼此之间的距离更加接近，对于噪声更加敏感，因此 1024 QAM 能在较短的距离内提供更多帮助。256 QAM 的可靠性更高，但 1024 QAM 所需的频谱数量或天线数量并不比 256 QAM 多。它可以使用现有的物理系统轻松实施。

其次，从 3.2 微秒 (μs) 的固定码元持续时间 (T_s) 和仅有 400 ns 或 800 ns 两种可选保护间隔 (GI) 转到更长的 T_s (12.8 μs) 和三种可选保护间隔 (0.8、1.6 或 3.2 μs)，既可支持更高的速度，又能在必要情况下保证更高的可靠性。从数学角度来看， T_s -to- $(GI + T_s)$ 比率决定了峰值时域效率，对于 11ac 来说，这一结果高达 $3.2 \mu s / (3.2 \mu s + 400 \text{ ns})$ 或 88.9%，而使用 802.11ax 时，可以达到 $12.8 / (12.8 + 0.8) = 94\%$ 的效率，峰值吞吐量增益为 5.9%，同时具有更高的多路径可靠性。此外，802.11ax 频分布更加密集，在 80 MHz 下时每 13.6 μs ($T_s +$ 最小 GI) 有 980 个数据频 (OFDMA 子载波)，而同样在 80 MHz 下，802.11ac 每 3.6 μs 有 234 个数据频 (OFDM 子载波)。在相同频谱中，这种增加的频密度可带来与 802.11ac 相比 10% 的额外峰值吞吐量增益 (计算方式为 $(980/13.6)/(234/3.6) = 1.1$)。

然后，速度与空间流数量成正比。空间流越多，在发射器和接收器处便需要越多的天线、射频连接器以及射频链。天线应间隔 1/3 波长 (5.25 GHz 时为 3/5 inch) 或更远，额外的射频链会耗用额外的功率。特别是，物理分离要求促使绝大多数移动设备将天线数量限制为一根或两根。对于即将推出的支持 802.11ax 的移动设备，这一趋势预计将保持不变。但是，对于无线接入点，这些物理资源限制并不如此严格，因此我们预计第一代 802.11ax 无线接入点最多支持 8 个空间流，而这已经达到当前 802.11ac 产品支持的最大数量的两倍。

表 1 汇总了这三项加速。

表 1. 计算 802.11ac 和 802.11ax 的速度

PHY	带宽 (按照数据子载波数量计算得出)	每个子载波的数据位	每个 OFDM 码元的时间 (800ns GI)	1 个空间流	3 个空间流	4 个空间流	8 个空间流
802.11ac	234 (80 MHz)	$5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$	4 μs	390 Mbps	1.17 Gbps	1.56 Gbps	-
	2×234 (160 MHz)	X	/	= 780 Mbps	-	3.12 Gbps	-
802.11ax	980 (80 MHz)	$5/6 \times \log_2(1024) \approx 8.33$	13.6 μs	600 Mbps	1.8 Gbps	2.4 Gbps	4.8 Gbps
	2×980 (160 MHz)			1.2 Gbps	3.6 Gbps	4.8 Gbps	-

3.3 IEEE 802.11ax 和确定因素

使用 1024 QAM 在单个空间流中提供千兆位数据速率，可提供以往能在低密度企业环境中实现的理论峰值吞吐量。但是，在客户端密度（以及由此产生的无线接入点密度）增加时，随着相同基本服务集 (BSS)（无线接入点）内的客户端使用或相邻或重叠 BSS (OBSS) 中的客户端和无线接入点造成的信道争用或传播时间用量增加，实现这些吞吐量的可能性会降低。我们通常将后一种降级称为同信道干扰 (CCI)，这种问题在射频传播接近于理想情况或视距 (LOS) 的开放空间场所（例如会议室和公共热点）中尤其严重。

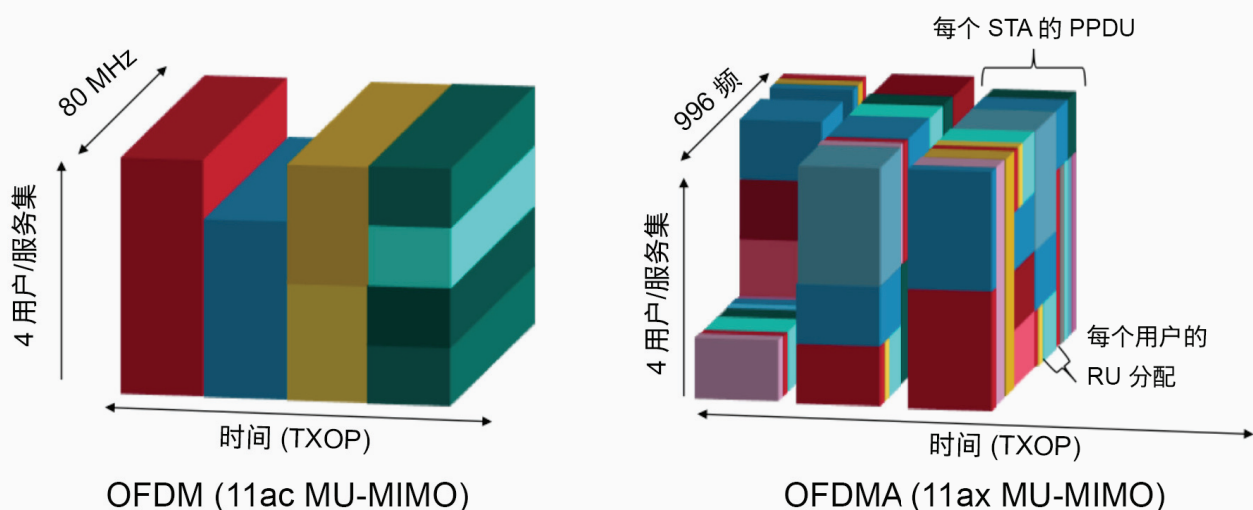
为了应对这些众所周知的现象，802.11ax 引入了 OFDMA，这是一种与蜂窝/LTE 无线网络有相似之处但又并非完全相同的新信道接入机制，因为它保持了 Wi-Fi 在未经许可的频谱中的稳健性。首先，OFDMA 确保在相应单次传输机会 (TXOP) 内，为下行链路 (DL) 和上行链路 (UL) 实现向多个客户端的无争用传输。其次，向 UL-OFDMA 添加多用户增强型分布式信道接入 (EDCA) 允许无线接入点影响客户端的相对信道接入优先级，甚至在 11ax 和 802.11ac 客户端之间也是如此。这两种方案不仅更高效，而且更不容易出现由争用造成的丢包和抖动，同时由于它们允许无线接入点对上行链路和下行链路传输进行精准控制，因此还带来了更高的确定性。

3.3.1 资源分配的三个维度

在 802.11ac 中，多个用户按空间和时间分隔。在时域中，传输机会则使用 EDCA 以分布式方式分配给客户端和无线接入点。在空间域中，下行链路\多用户多路输入多路输出 (MIMO) 技术用于受发射天线数量（通常最多 4 个）限制的隔离和联播功能。两种技术均基于每个多用户物理层协议数据单元 (MU-PPDU) 应用。

在 802.11ax 中，我们沿用了与 802.11ac 相同的空间和时间分隔，但增加了第三个多用户维度：频分。通过 802.11ac，Wi-Fi 信道（20、40、80 或 160 MHz）被分解为一系列较小的 OFDM 子信道，以减轻干扰。在任何给定时间点，在各 PPDU 中会为单个用户分配所有这些子载波。但是，利用 OFDMA (802.11ax)，各个子载波组会在各 PPDU 的基础上作为资源单元单独分配给客户端（图 4）。

图 4. OFDM 与 OFDMA 对比



如前所述，第三个维度 (OFDMA) 具有许多优点，例如通过减少冲突和争用来实现确定性和提高效率。但它也彻底改变了您交付服务质量 (QoS) 的方式。过去使用 802.11ac 时，如果某个无线接入点希望为一个客户端提供一定的吞吐量，但为另一个客户端提供更高的吞吐量，那么最佳做法就是在时域中调度正确数量的下行链路 PPDU（例如，排队和整流技术），并且“寄希望于”客户端能够为 UL-PPDU 分配足够数量的 TXOP。这种低效和不可预测性使其难以在吞吐量和其他 KPI（例如延迟和抖动）方面提供任何保证。

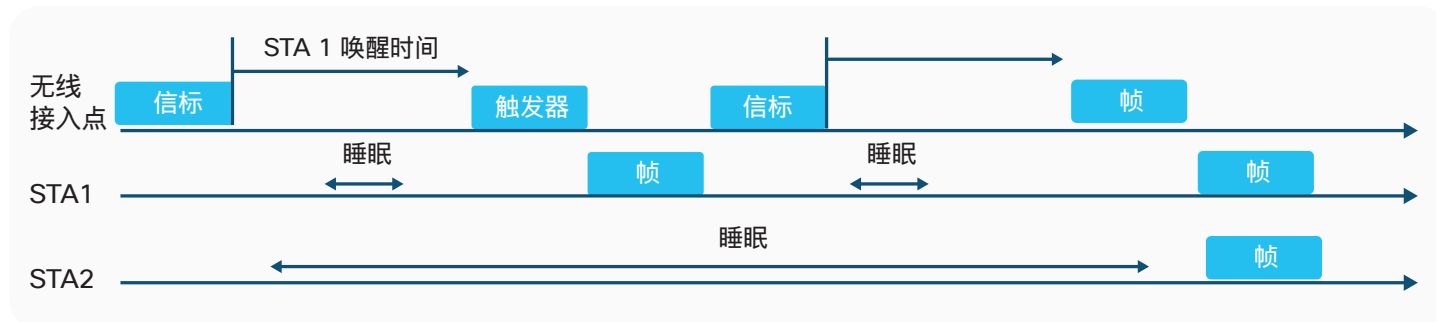
通过 OFDMA，我们现在可以拥有更加精细的“时间 + 频率”下行链路资源单元，并且还首次实现了在上行链路中显式分配资源单元。这种双向资源单元分配能力类似于 LTE 资源块 (RB)，并帮助形成了 5G 术语中的虚拟资源或“分片”。可想而知，这种 802.11ax 分片可能具有各种属性（例如带宽、延迟和抖动），从而实现比 802.11ac 先前所提供的更精细的 QoS。

3.3.2 灵活、低功耗的设备调度

在前几代 802.11 中，手机等低功耗设备采用非调度自动节能传输 (U-APSD) 或 Wi-Fi 多媒体节能 (WMM-PS)。处于这种模式的客户端可以采用无线接入点缓冲区传输方式，而非立即发送。相反，无线接入点通过流量指示消息 (TIM) 发送信令，表明周期性信标中的数据可用性，这允许客户端让其无线电接收器保持关闭状态（节能），并且仅周期性地唤醒以接收信标（周期间隔通常为 102.4 ms 的倍数）。然而，这种对信标的严格遵守制约了物联网设备的节能潜力，这些设备不需要像手机那样定期接入信道，但必须随时能够接听电话。

利用 802.11ax 和 802.11ax 的全新 OFDMA 调度功能，我们可以设计出一种称为目标唤醒时间 (TWT) 的新型省电模式。使用 TWT，无线接入点信标与设备休眠时间之间不再存在紧密关系。通常，站点可以请求在将来的任何时间唤醒一项安排。结果是电池供电设备实现大幅节能，尤其是物联网领域的设备（图 5）。

图 5. 目标唤醒时间 (TWT) 运作



TWT 的一种相关但非常重要的优势在于，它也可以用作类似于 UL-OFDMA 的上行链路调度方法。也就是说，由于 TWT 有效地使客户端按照预定的唤醒时间（基于其请求）进入休眠状态，这让确定性传输时间成为可能，进而也就能实现上行链路调度。无线接入点可以利用此功能来减少争用（分布范围更广的信道使用），并满足应用的延迟敏感性要求。

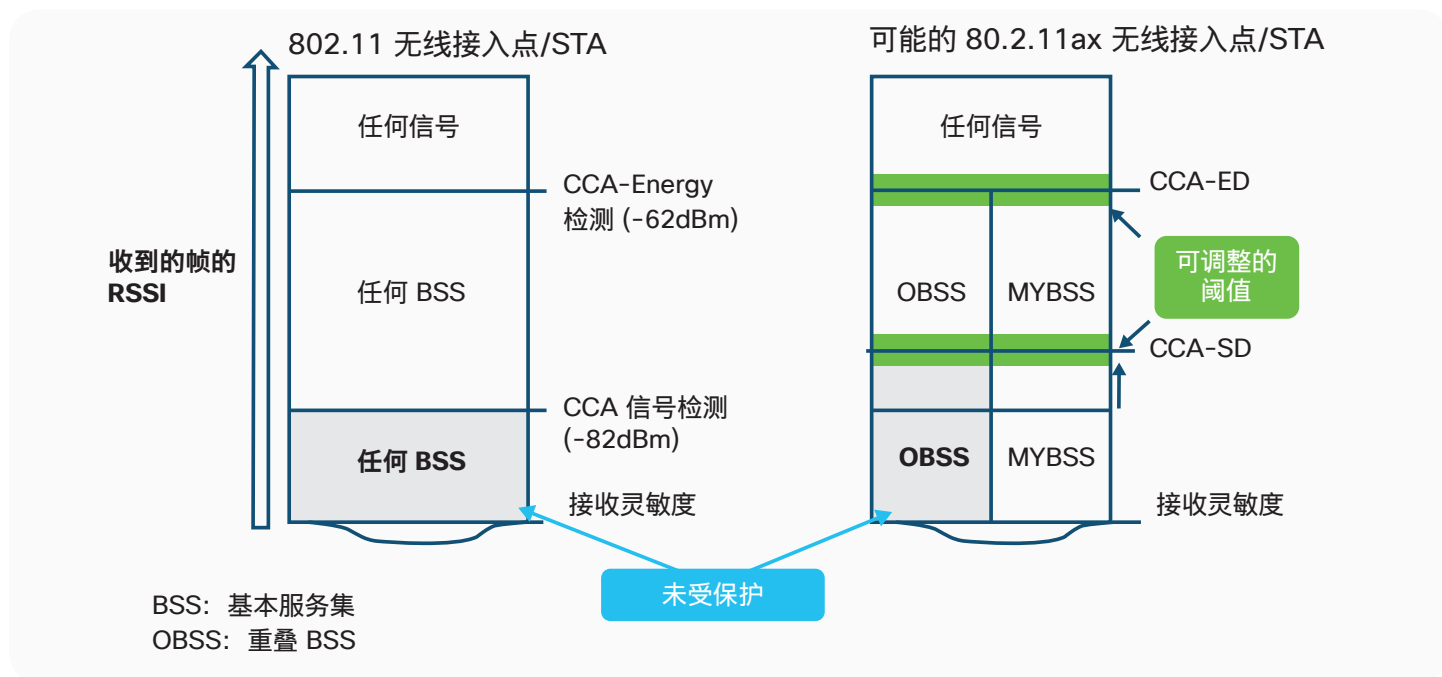
3.3.3 提高容量同时降低调度的不确定性

众所周知，CCI 管理在未获许可的频谱中至关重要，因为它能显著降低总系统容量，但它同时也会干扰无线接入点调度任务，因为相邻无线接入点（例如，来自其他网络的无线接入点）通常并未协调。IEEE 802.11ax 基于将我自己的信元 (BSS) 的传输与其他信元或 BSS 或 OBSS 的传输区分开来的原理，提供了一种管理 CCI 的优雅机制。

尤其是，802.11ax 支持动态 OBSS 数据包检测 (OBSS-PD)，它允许一个 BSS 中的客户端/无线接入点忽略来自其他 BSS 的帧（通常是相距较远的帧）。通过动态选择适当的空闲信道评估 (CCA) 阈值和最小发射功率 (TXP) 水平，接收并接通其自身所在 BSS 的成员，来实现这种设置。

此方案如图 6 所示。

图 6. OBSS 和 BSS 着色操作



具体优势包括系统容量增益，更重要的是延迟变化显著减少，因为服务无线接入点或客户端不太可能让其 TXOP 因友好（或恶意）邻居延迟。

3.4 IEEE 如何让 802.11ax 更强大？

802.11 的挑战之一是平衡客户端的覆盖需求与系统的整体性能需求。对于 802.11ac，我们需要使客户端的最低数据速率保持高位，以便最大限度地利用频谱，因为每次只能有一台设备接入无线连接。因此，我们牺牲了覆盖范围来换取整体性能。然而，采用 OFDMA 后，情况发生了变化，因为多个用户同时访问媒介，并且每个用户的影响仅限于信道的较小部分。鉴于这一事实，802.11ax 的设计师可以通过如下方式扩展覆盖范围：

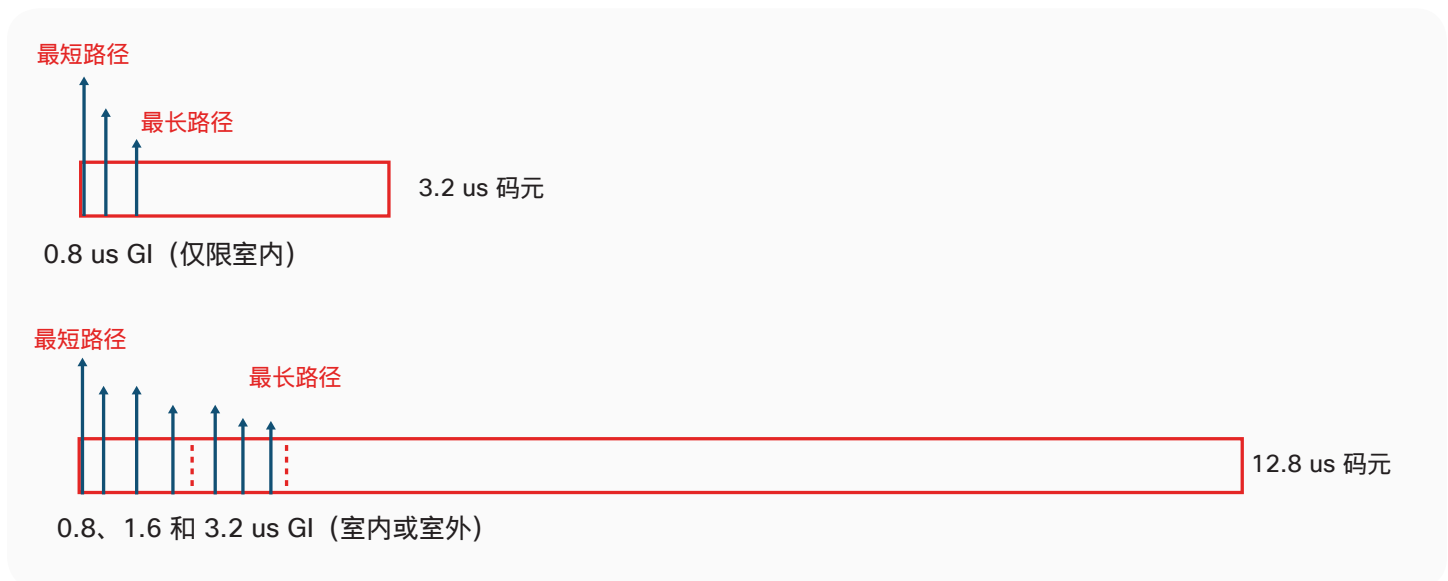
- 引入低速率和低功耗模式
- 采用灵活的 PHY 时间安排

极低的数据速率解决了远距离或在嘈杂环境中解码信号的问题，因为较小的资源单元（即，OFDMA 子载波数量减少）需要的总能量降低，同时仍能实现相同的信噪比 (SNR)。尽管过去 802.11ac 中的最小信道是 20 MHz，但 802.11ax 中最小的资源单元是 2MHz，因此噪声功率降低了 8 dB（大幅），相应地，所需的信号功率也降低了 8 dB。这种情况让 802.11ax 能够耐受 8 dB 以上的噪声，并为低比特率客户端实现更大的覆盖区域（例如物联网遥测数据）。

灵活的 PHY 时间安排（包括保护间隔 [GI]）可解决多路径衰减（例如在室外时）的问题，即“回声”能量从一个 OFDM 码元泄漏到下一个 OFDM 码元中，从而导致码元间干扰 (ISI)。可以证明，这种更稳健的保护间隔会使室外环境（例如当前由蜂窝/LTE 技术支持的环境）中的吞吐量翻倍。这两项功能相结合，使 Wi-Fi 运营商能够在低速物联网领域提供堪比 4G LTE 和 5G-NR 的具有成本效益、基于 Wi-Fi 的解决方案。

如图 7 所示，当射频信道在空间上较为紧凑时（例如室内小型蜂窝基站）、延迟扩散 (DS) 或最短与最长路径之间的差异很小（例如 300 英尺）时，会表现出低延迟扩散（例如 300 ns）。然而，当射频信道空间较大时（例如，室外大型蜂窝基站），则延迟扩散较大；例如，一个码元分量可能是 LOS，但下一个码元分量可能反弹自远处的建筑物，导致路径差异大约为 1 km (3200 ft)，由此表现出非常高的延迟扩散 (3.2 μ s)。在诸如 802.11ax 和 LTE 的所有 OFDMA 系统中，OFDMA 保护间隔必须长于延迟扩散，以避免由 ISI 引起的严重解码错误或码元的一个版本与其自身的时间重叠。因此，为了支持室外（例如大都市）或部分室外（例如体育场或热点）信道，802.11ax 中的保护间隔可以从最初 802.11ac 的 0.8 μ s 规格扩展到 1.6 μ s 或高达 3.2 μ s（具体取决于信道类型）。

图 7. PHY 的时间安排选项

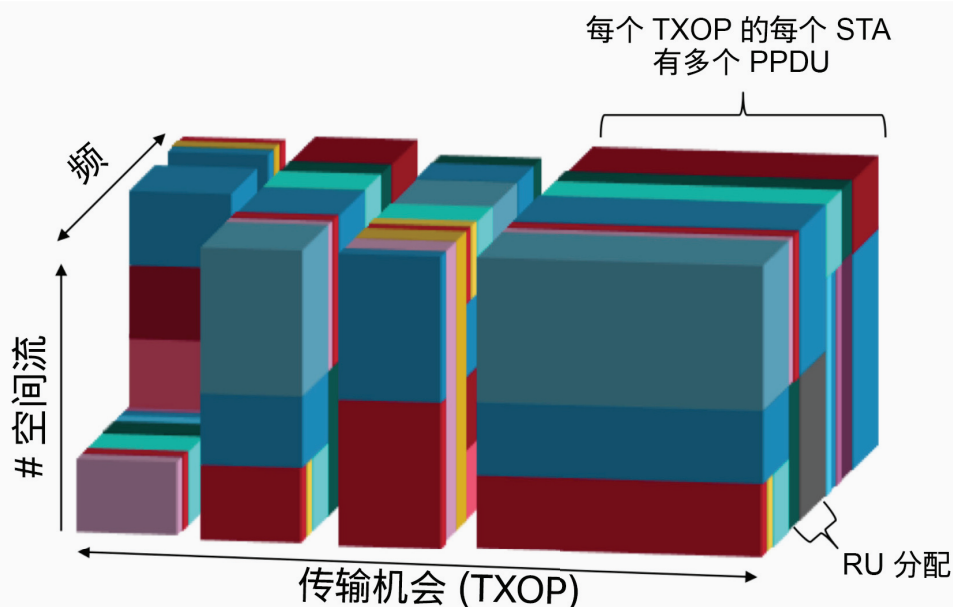


3.5 技术概述

3.5.1 OFDMA 和资源单元分配

在 802.11 系列中，只有 802.11ax 支持将资源单元（即一组连续 OFDMA 子载波 [“频”]）分配给同一 PPDU 中的每个客户端或站点 (STA)。最小的资源单元为 26 频 (2 MHz)，最大的为 2 x 996 频 (160 MHz)，因而可以高度灵活地平衡汇聚（平均）性能和峰值吞吐量。同时，802.11ax 支持多用户 MIMO，并且可以为每个 STA 分配 1 到 8 个空间流 (SS)（参见图 8）。

图 8. OFDMA 资源维度



一般的下行链路 OFDMA 操作如下：

1. 无线接入点决定此 TXOP 中 STA 的数量和每个资源单元的大小，并在 PPDU 前导码的字段中指明。
2. 无线接入点在其分配的资源单元 (MU-PPDU) 中将下行链路数据传输到多个 STA。
3. 来自所有 STA (MU-BAR) 的无线接入点请求块确认。
4. STA 将块 ACK 发回给无线接入点 (M-BA)。

一般的上行链路 OFDMA 操作如下：

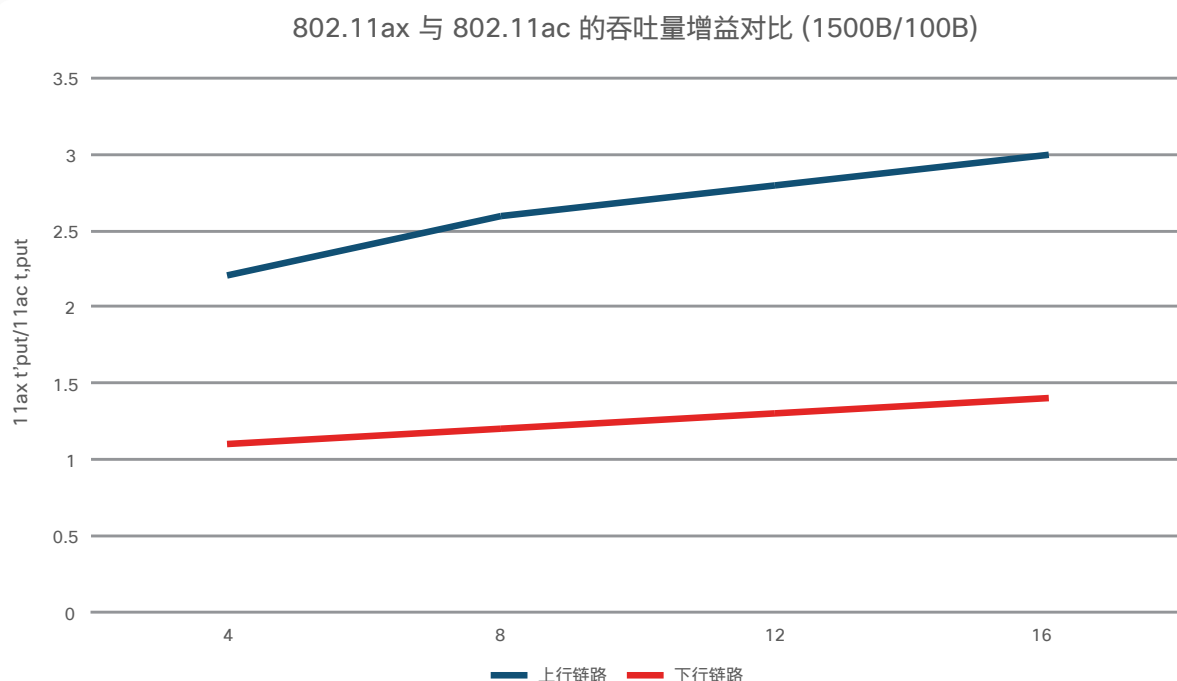
1. 无线接入点决定需要向哪些 STA 请求数据以及将为每个 STA 分配多少资源单元
2. 无线接入点通过触发器 (HE 触发器) 从 STA 请求或轮询数据
3. STA 响应数据 (上行链路 MU-PPDU)
4. 无线接入点响应 ACK (M-BA)。

与 802.11ac 不同，802.11ax 无线接入点基于每 PPDU 控制下行链路和上行链路资源单元分配，这可以被视为无线接入点调度的一种形式（在频率和空间域中）。尽管 802.11ax 并未正式指定类似于许可频谱 LTE 的基于时间的调度，但可以想象由于基本框架已经到位，并且纯粹的 802.11ax 网络将具有出色的频谱和干扰管理功能，因此可以使用先进的排队或 QoS 技术来实现与蜂窝网络相似的结果。

对于任务关键型应用和延迟敏感型应用（例如增强现实、虚拟现实和物联网），无线接入点调度功能对于实现更高有效吞吐量和确定性的预期特性至关重要。同样，STA 必须支持无线接入点的指令才能实现良好的体验。此领域是供应商有望树立独特优势的领域，具体而言，是无线接入点与 STA 之间的互操作性将在实现最高性能方面发挥关键作用的领域。

在吞吐量方面，增益（与 802.11ac 相比）如图 9 所示，其中可以看到相对于同步客户端 (STA) 的下行链路和上行链路增益。例如，在只有 4 个 STA 的情况下，802.11ax 下行链路吞吐量（具有较大的 1500B 数据包）仅比 802.11ac 高 10%，但上行链路吞吐量是 802.11ac 的 2.2 倍（相当于 120% 的增益）。通常，每个 TXOP 或信道接入中处理的客户端和无线接入点数量越多，无线接入点实现的效率比 802.11ac 高出得就越多，对于来自语音、视频或 TCP ACK 等的小型数据包而言尤为如此。

图 9. 相对于 STA 的下行链路和上行链路增益



3.5.2 1024 QAM

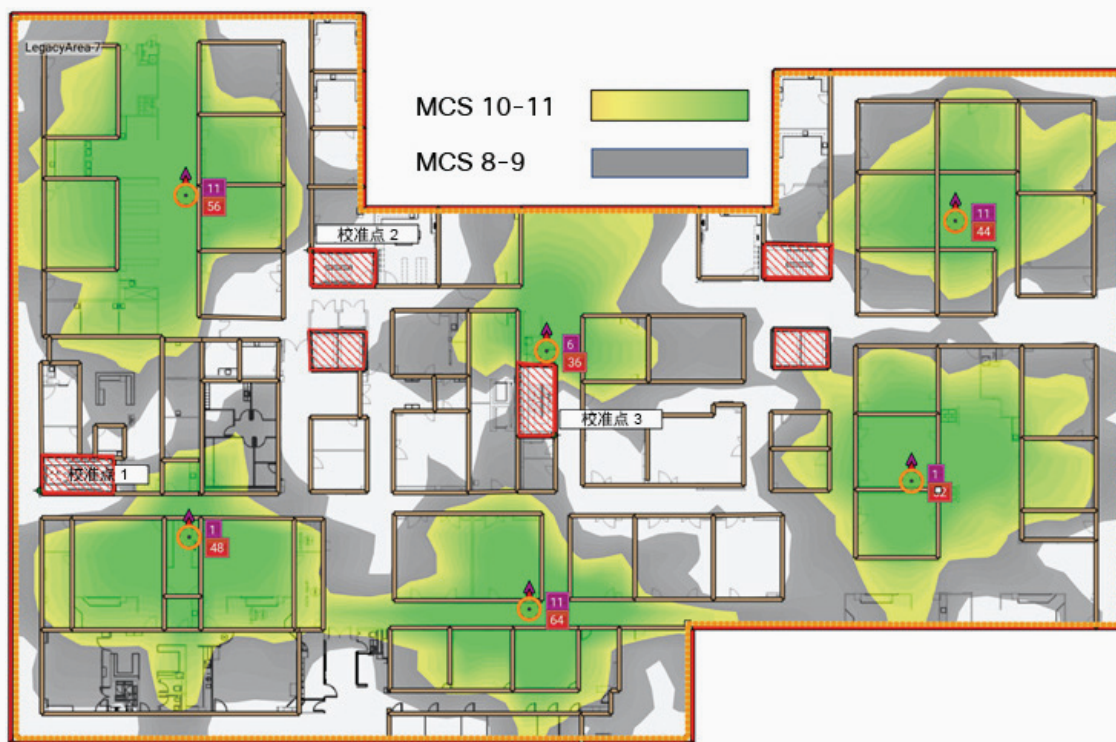
将 1024 QAM 引入 802.11ax 是通过将其与 3/4 和 5/6 编码率配对，以此创建两种新的调制与编码方案 (MCS) 10 和 11 来实现的。802.11ac 256 QAM 的原始速度增益为 10/8 或 25%，使得 802.11ax 成为第一款采用单天线即可实现千兆速度的商用无线技术。

尽管在考虑对于整体基站吞吐量的影响时，1024 QAM 对于更小、更密集的基站（小于 2500 ft²）的影响预计要超过更大的基站（大于 5000 ft²），但 4.8 Gbps 的峰值速度将实现采用无线头盔 (HMD) 的沉浸式企业级虚拟现实等新功能，这是一项非常有益的结果。

要实现如此出色的速度，需要将集群点的紧密程度提高 50%，从而导致信噪比 (SNR) 要求高出约 6 dB。然而，与 802.11ac 不同，802.11ax 设计用于支持 8 个 Tx 和 8 个 Rx 天线，有助于实现更高的传输波束成形和最大比率组合 (MRC) 增益，以抵消这种不足。从 Wi-Fi 部署角度来看，设计人员应根据所需的网络容量来考虑这些峰值速度。

从图 10 所示的 Ekahau 热度地图可以看出，在常见的企业办公室中，1024 QAM (MCS 10-11) 的覆盖区域不出意料地小于 256 QAM (MCS 8-9) 的覆盖区域。但是，无线接入点下的关键区域得到了很好的覆盖，这些用户仍然有可能达到数千兆位的速度（取决于设备的性能）。

图 10. Ekahau 热度地图



3.5.3 空间重用 (SR) 和 OBSS 操作

对于包括基于 802.11 CSMA 的网络在内的任何无线系统而言，在同一物理空间中共享相同的射频信道始终是一项挑战。虽然在这方面，802.11 比其他方案更可靠、更文雅，但客户端 (STA) 和无线接入点仍然独立行动，以最大限度提升其各自的体验质量 (QoE)。例如，某些客户端可能会在接近关联无线接入点的情况下使用过高功率，产生不必要的干扰，或者在受到干扰情况下使用的功率过少，无法接通其无线接入点。

关键的是，STA 确定信道时所用的信号电平 (RSSI) “可自由传输”，或者我们所谓的载波侦听 (CS) 既往一直较为保守（根据最低性能预期确定），并且在实践中由各个供应商补充以提高性能。但是未来，802.11ax 会将此行为标准化，以通过规范化四个概念来确保实现最佳性能改进：

1. 重叠基本服务集 (OBSS) 是与 STA 关联的 BSS（即无线接入点及其关联的 STA）同未与 STA 关联的相邻 BSS 之间的重叠或干扰。
2. BSS 着色是一种用来区分相同射频信道上的 BSS（即无线接入点及其客户端）的方法。
3. OBSS 数据包检测 (PD) 是指检测来自其他 BSS (OBSS) 的信号的能力。
4. 空闲信道评估阈值控制是指设备基于其关联的无线接入点和当前传输来改变其 CCA 灵敏度的功能。

倘若将这些概念加以整合，我们就能够有效地应对托管网络（例如企业和运营商部署的托管网络）中的干扰。具体而言，这种功能允许客户端和无线接入点隐式商定所需的分组检测或“繁忙”信号阈值和发射功率 (TX) 级别。

BSS 着色操作如下所示：

- 每个 BSS（无线接入点）使用不同的“颜色”（信号前导码或 SIG 中的 6 位）。
- 每个 STA 在关联时都会得知自己的 BSS，因此其他 BSS 属于 OBSS。
- 具有相同 BSS 颜色的信号为推迟使用较低的 RSSI 阈值，从而减少同一个 BSS 内的冲突。
- 具有不同 BSS 颜色的信号为推迟使用较高的 RSSI 阈值，从而允许更多并发传输。

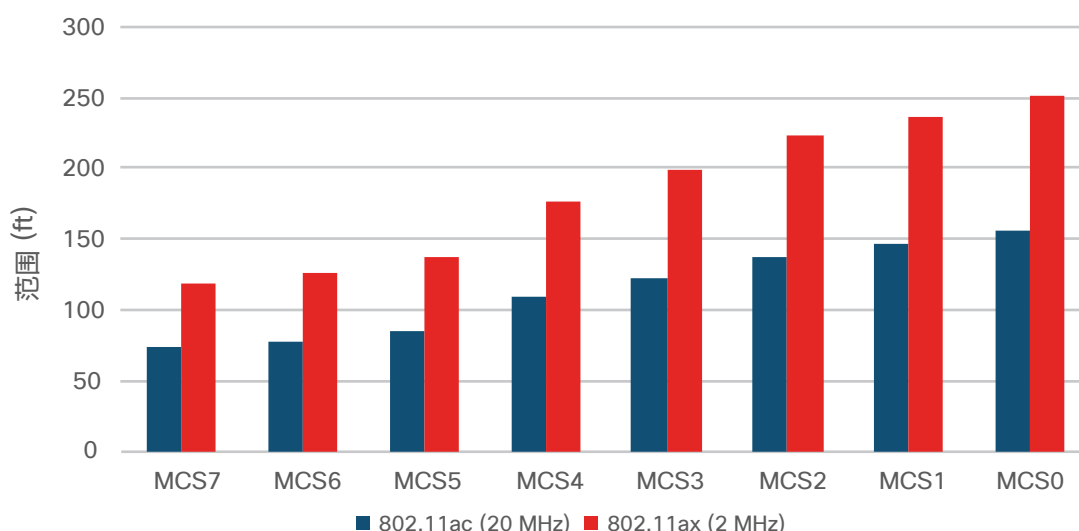
从根本上说，这种方案会以某种程度的普遍公平性（即每个 STA 都有相同的机会争用 TXOP）换取更高的每无线接入点容量（即我的 BSS 中的 STA 优先）。在托管的高密度 (HD) 企业网络中，这项技术效果良好，而在非托管环境中，此功能可能不太有效，甚至对客户端性能有负面影响。总体而言，尽管这并非射频设计纯粹主义者的完美解决方案，但如果以负责任的方式使用，这种功能确实有助于在各种 STA 行为导致整个基站性能降级的多种条件下改善状况。

在这一点上，重要的是要考虑企业或运营商解决方案如何补充这一基本功能。首先，我们需要了解 STA 会响应 IT 感知到的射频状况，因此，必须保证 Wi-Fi 或 WLAN 基础设施具有客户端所看到的网络的准确视图，才能提供最佳 QoE。事实上，鉴于生态系统中客户端的多样性，WLAN 能够收集到的客户端历史或分析数据越多越好。其次，由于无线接入点在组中协作以提供连续服务，因此无线电资源管理 (RRM) 功能向 STA 提供适当条件（例如在基站边缘）以便其得出同时适合自己的以及其他 BSS 的最优 CCA 阈值非常重要。换句话说，在做出射频分配决策时，RRM 应该了解 BSS_COLOR 和 OBSS_PD。无论如何，BSS_COLOR 和 OBSS_PD 有望显著提高企业和运营商网络的 QoE 和容量，增强现有的 HD 用例，并可能为 Wi-Fi 运营商带来新的商业模式。

3.5.4 速率范围

除了提供更高的速度之外，802.11ax 还提供比 802.11a/g/n/ac 更大的覆盖范围。具体而言，可以通过最小资源单元分配（26 频，2 MHz）降低有效数据速率，实现比 802.11ac 高 8 dB 的链路预算。此增益如图 11 所示。

图 11. IEEE 802.11ax 2-MHz 范围增强（室内 5-GHz NLOS）



4 11ax 何时推出？

支持 IEEE 802.11ax 的产品是 IEEE 与 Wi-Fi 联盟长期共同努力的结晶。IEEE 802.11ax 于 2017 年 9 月提交了经批准的草案 2.0 修订版，并将于 2018 年 5 月提交经过修订的草案 3.0，最终批准预计于 2019 年年底完成。与此同时，预计 Wi-Fi 联盟将采用早期的 IEEE 草案（例如草案 2.0），并将其用作 2019 年中期第一代产品互操作性认证的基准。

5 11ax 对我有何影响？

5.1 兼容性

用户不必担心的其中一个影响是兼容性。

IEEE 802.11ax 经过精心设计，可以最大限度地向前和向后兼容 802.11a/g/n/ac 设备。事实上，802.11ax 的兼容性设计甚至能比 802.11n 更简单、更彻底地兼容 802.11a 设备。

802.11ax 设备必须支持 802.11a/g/n 和 802.11ac 的所有强制模式。802.11ax 无线接入点可以使用 802.11a/g/n 或 802.11ac 格式的 PPDU 与 802.11a/g/n 和 802.11ac 客户端进行通信。为此，无线接入点会表现出类似于 802.11ac 无线接入点的行为。同样，802.11ax 客户端可以使用 802.11a/g/n 或 802.11ac PPDU 与 802.11a/g/n 或 IEEE 802.11ac 无线接入点进行通信。因此，802.11ax 客户端的出现不会对现有基础设施造成问题。

802.11ax 格式数据包的前导码（参见图 12）是成熟的 802.11a/g 格式数据包的扩展。此扩展允许已用于 802.11a/g/n 和 802.11ac 设备的现有 CCA 机制在 802.11ax 环境中继续延用。一旦这些设备看到 802.11ax 前导码，便会知晓 PPDU 的持续时间并且可以遵守该时间请求。PPDU 通常后接以 802.11a/g 格式 PPDU 发送的 Ack 或 Block Ack 帧，由此确保了与现有设备的兼容性，并且保证所有设备都可以遵守已经确立的时间承诺，之后才会照常继续进行争用和传输。在最糟糕的情况下，设备会侦听到 802.11ax PPDU，但会超出发送 Ack 或 Block Ack（隐藏节点）的站点的范围。在这种情况下，观测站仍必须等待一段更长的持续时间（称为 EIFS），并留出传输预期 Ack 或 Block Ack 的时间，从而减少对发生冲突的担忧。

图 12. 802.11ax 信号格式



由于这种前导码级别的兼容性，802.11ax 设备没有在其 802.11ax 传输中以 CTS-to-self 或 RTS/CTS 为前导的固有需求，但设备仍然可以选择实施并发送它们以保护时间更长的 PPDU。但是，802.11ax 增加了多用户 RTS/CTS 功能，允许无线接入点使用单个 MU-RTS PPDU 同时为多个 STA 保留信道（设置 NAV），然后通过来自多个 STA 的同步 CTS PPDU 进行确认。这种方案克服了 802.11ac 网络中仍然普遍存在的单用户 RTS/CTS 固有的低效率，同时增加了对 802.11ax 传输的保护。

5.2 何时升级到 802.11ax ?

企业和运营商的客户非常幸运，能够在两种超棒的技术之间进行选择：

- IEEE 802.11ac：支持 MU-MIMO、波束成形，并且在 80 MHz 条件下速度范围介于 290 Mbps 至 1300 Mbps 之间
- IEEE 802.11ax：客户端具有多达 8 个服务集和 600 Mbps 至 1800 Mbps（采用 1024 QAM）的速度，外加更高的高级应用可预测性

IEEE 802.11ac 现已可用，适用于当前大多数客户使用案例。

IEEE 802.11ax 是无线局域网的未来发展方向，但只消短短数月，Wi-Fi 可认证的 802.11ax 无线接入点就会面市。支持 802.11ax 的客户端（智能手机、平板电脑、笔记本电脑等）预计也会从 2019 年开始推出。IEEE 802.11ax 将会实现：

- 多名用户同时观看一定范围内的 4K/8K 视频（对于每个家中有十几岁孩子的父母而言，这会让他们真正如释重负）
- 超高密度 (UHD) 客户端
- AR/VR 应用的确定性和可观的节能效果，对于物联网设备而言尤为如此

大多数企业客户都会在装修办公楼或改造空间的同时部署新的无线接入点。对于这些客户，我们建议目前选择安装采用第二代 802.11ac 技术的无线接入点，因为第二代 802.11ac 技术极具价值。另外，考虑到局域网和广域网网络的基础设施（端口速度），由于 802.11ac 目前可以提供高于千兆位的速度，而未来的 802.11ax 必定可以实现同样等级的速度，因此您的未来投资计划会使得这一评估在当前颇有意义。

任务关键型应用对确定性和可预测性的需求日趋提高。物联网的规模不断超出预测。出于这些原因，考虑采用 802.11ax 很有必要。802.11ax 带来的增量价值可绰绰有余地抵消任何合理的价差，并保护您的投资，而不会影响当前的实际运营情况。

6 总结

对于无线局域网而言，IEEE 802.11ax 是一项十分令人兴奋的新进展。

第六代 Wi-Fi 不仅可以提供更高的有效速度，还可以实现新的商业模式和用例，包括：

- 全运营商运营商负载分流
- IT/物联网融合
- 实时应用，例如企业级 4K/8K 视频、增强现实或虚拟现实

与最近取得进展的其他 Wi-Fi 技术一样，802.11ax 是向后兼容的，基于现有技术构建，并会提高它们的效率。随着客户群逐渐向 802.11ax 靠拢，这种方案能使客户群顺利完成过渡，获得不断增长的收益。802.11ax 一旦退出便值得考虑采用 - 尽管该技术的客户端密度仍在不断提升。与此同时，想要在无线局域网领域进行长期投资的企业和运营商客户应该认真考虑采用 802.11ac 无线接入点。