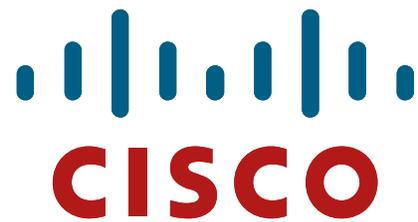




802.11ac: 第五代 Wi-Fi 技术

Aug, 2012



802.11ac: 第五代 Wi-Fi 技术

1. 概要	3
2. 什么是 802.11AC?	5
2.1 802.11AC 的驱动力	5
2.2 802.11AC 的速度为何这么快?	6
2.3 我们如何保证 802.11AC 的健壮性?	9
2.3.1 技术综述.....	9
2.3.2 802.11ac 和 802.11n 的区别	11
2.3.3 基于标准的波束成形.....	13
2.3.4 基于带宽指示的 RTS/CTS.....	14
2.3.5 所有的 A-MPDU.....	16
2.3.6 信道化和 80+80MHz	17
2.3.7 数据速率与覆盖范围.....	21
2.3.8 频谱管制.....	22
2.3.9 多用户 MIMO	23
2.3.10 802.11ac 项目授权请求	24
3. 802.11AC 什么时候才会到来?	25
4. 802.11AC 如何影响我们?	26
4.1 兼容性.....	26
4.2 什么时候更新到 802.11ac?	28
4.3 无线电资源管理和无线入侵保护系统 (WIPS) 效果	29
5. 总结	29
附录: 什么是 802.11N?	30

1. 概要

802.11ac 作为 IEEE 的新标准借鉴并更进一步地优化了 802.11n 的优点。802.11ac 是一个更快且更易扩展的 802.11n 版本。802.11ac 结合了无线技术的灵活与千兆以太网的高容量。

无线局域网站点中每个无线接入点所用支持的用户数量会获得极大的改进，每个用户能够拥有更好的体验，并且能够为更多的并行视频流提供更多的可用带宽。

即使当网络没有满载时，用户也能看到好处：文件下载及电子邮件的同步能够达到低延迟的千兆速度。此外，由于设备的 WiFi 接口能够被及时唤醒，与无线接入点交换数据后更快地进入待机状态，设备的电池寿命也被延长了。

802.11ac 通过三个方面的进步来达到它的基础速度：

- 更多的信道带宽绑定，从 802.11n 的最大 40MHz 增加到如今的 80 MHz 甚至 160MHz（分别达到 117%或者 333%的增速）
- 密集调制模式，从 802.11n 的 64 阶正交调幅（QAM）到如今的 256 阶正交调幅（QAM）（在小范围内达到 33%的增速，覆盖范围仍然不变）
- 更多的多输入多输出（MIMO）空间流。鉴于 802.11n 只有四个空间流，802.11ac 能够达到 8 个空间流（达到 100%的增速）。

迫使 802.11n 产品使用一个，两个或者三个空间流设计的经济性因素同样对 802.11ac 产品适用，因此我们能够预期类似产品的推出，第一代 802.11ac 产品可实现 80MHz 信道绑定并在物理层提供 433Mbps（低端），867Mbps（中端），或者 1300Mbps（高端）的数据速度。第二代产品会保证使用更多的信道绑定及更多的空间流，通过合理的配置能够实现 3.47Gbps 的数据速度。

802.11ac 只能在 5GHz 频谱运行，所以双频段的无线接入点和客户端会继续在 2.4GHz 上使用 802.11n。当然，802.11ac 客户端能够在不太拥挤的 5GHz 频谱工作。

第二代 802.11ac 产品还会推出一种新的技术，多用户 MIMO（MU-MIMO）。802.11n 就像一个以太网的集线器，在一个时间点只能向所有接口转发一个帧，MU-MIMO 允许一个无线接入点在一个时间点使用相同的频带向多个用户发送多个帧。没错：通过多个天线以及智能算法，一个无线接入点能够表现的像是一台无线交换机。尽管有一些技术限制，对于智能手机及平板电脑之类只有一根天线的设备，MU-MIMO 尤其适合自带设备（BYOD）的应用场合。

802.11ac 产品是 IEEE 和 WiFi 联盟的努力成果。2012 年 1 月，IEEE 发布了 802.11ac 2.0 版本的修正草案，在同年的 5 月份发布了 3.0 版本的草案，最终版计划于 2013 年发布。与此同时，WiFi 联盟有望根据一份早期的 IEEE 草案，很有可能是 3.0 版本的草案，将其作为 2013 年早些时候第一代产品互操作认证的基础。之后，在 802.11ac 的批准日期（即 2013 年 12 月之后），WiFi 联盟有望更新 802.11ac 的认证，包括测试更多 802.11ac 的高级特性。第二波认证应该会包括诸如信道绑定到 160MHz，四个空间流以及 MU-MIMO 等特性。总之，这些安排会紧紧跟随 802.11ac 产品的推出。

考虑到 WiFi 架构的投资，企业网络有两个好的选择：（1）购买 802.11n 的无线接入点，因为他们是目前就能够提供卓越性能的产品，而且 802.11n 客户端已经被广泛地部署了，或者（2）等待 802.11ac 的无线接入点来实现最先进的性能。当然为了避免等待，您还有第三个选择（3）：购买模块化的 802.11n 无线接入点，例如思科 Aironet 3600 无线接入点，该设备能够现场升级到 802.11ac。

与此同时，消费级别的产品可能会在更早的时候，于 2012 年内发布，这早于 WiFi 联盟的认证进程。然而，我们强烈建议所有期望获得高兼容性的企业等待 WiFi 联盟认证后再购买（即 2013 年）。

即使不立刻升级到 802.11ac，802.11ac 的到来也会对现存的 802.11a/11n 部署有些新的影响：（1）邻居无线接入点拥有更宽的信道带宽需要更新无线电资源测量，即 RRM（尤其是动态信道分配算法）的方法，（2）802.11a/11n 无线入侵保护系统（WIPS）能够继续解

码大部分的管理帧，例如信标和探测请求/响应帧（因为它们总是以 802.11a 的格式发送），但是无法识别使用新的 802.11ac 包格式发送的数据帧。

不用担心兼容性的问题。802.11ac 被深度地设计成能够有效地与现有的 802.11a/n 设备共存，拥有强大的载波侦听，一个新的前导符作为有效的 802.11a 前导符与 802.11a/n 设备兼容，以及对于请求发送/清除发送（RTS/CTS）的扩展来帮助避免与在相近信道工作的用户间的冲突。

2. 什么是 802.11ac?

首先，802.11ac 是 802.11n 的演进。如果你想更多地了解 802.11n 请跳转到附录。如果你已经熟悉了 802.11n 引入的信道绑定、MIMO 以及聚合概念并且不需要复习这些内容的话请继续阅读本文。

2.1 802.11ac 的驱动力

802.11ac 是对 802.11n 的一种改进和发展。802.11ac 的其中一个目标是提供与千兆以太网网络相比肩的高性能：

- 看似“瞬间完成”的数据传输体验
- 一个足够大的管道来很容易地提供高质量的体验（QoE）

其在消费领域的目标是多个信道的高清内容能够被传送到房间的每个角落。然而企业网络则面临不同的挑战：

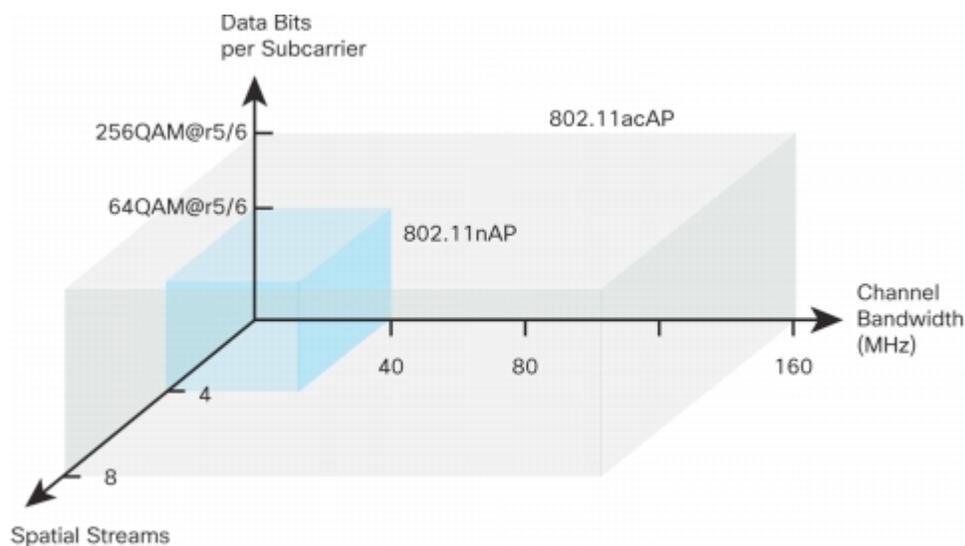
- 交付企业级速度和延迟的网络
- 每个无线接入点提供高密度用户接入环境
 - BYOD 的趋势使得每个员工可能携带两个甚至三个 802.11 设备并在同一时刻让它们消耗网络的资源
- 日益增长的视频流量

802.11ac 可以在苛刻的负载下使得无线接入点服务的每个客户获得卓越的体验。

同时 802.11 设备组成广泛，它们中的很多设备受到成本、电源和体积限制。对于这些设备来说，通常使用一根天线，但是对于 802.11ac 还必须仍然能够提供峰值效率。

802.11ac 一个显著特点是利用了过去 6 年多硅芯片技术的改进来实现：信道带宽更宽，调制更加密集，无线接入点能够集成更多的功能。

图 1. 802.11ac 如何加速 802.11n



2.2 802.11ac 的速度为何这么快？

无线的速度由三个因素驱动：信道带宽，调制模式以及空间流的个数。802.11ac 在每个方面都进行了深度的改进，如图 1 所示。

从数学的角度，802.11ac 物理层的速度按照表 1 计算。例如，一个 80MHz 频宽的信号，经过 256 阶正交调幅，以短保护间隔的三个空间流发送，速度是 $234 \times 3 \times 5/6 \times 8\text{bits}/3.6\mu\text{s} = 1300\text{Mbps}$ 。

表 1. 计算 802.11n 和 802.11ac 的速度

物理层	带宽（数据子载波频率的个数）		空间流个数		每个子载波的数据比特		每个正交频分复用符号的时间		物理层数据速率(bps)
11n 或 11ac	56(20MHz)	×	1 到 4 个	×	最多 $5/6 \times \log_2(64)=5$	÷	3.6us(短保护间隔)	=	
	108(40MHz)								
11ac	234(80MHz)	×	5 到 8 个	×	最多 $5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$	÷	4us(长保护间隔)	=	
	$2 \times 234(160MHz)$								

我们能够马上看到，将信道带宽增加到 80MHz 能够获得 2.16 倍的增速，而 160MHz 能够额外提供两倍的增速。但是没有什么免费的：这样做会消耗更多的频谱资源，并且每次我们将相同的传输功率分割到两倍的子载波频率来获得两倍的速度时，两倍速度信号的覆盖范围会稍微减小（总的来说是好的）。

从 64 阶正交调幅到 256 阶正交调幅提供了额外的 $8/6=1.33$ 倍增速。彼此靠近之后，集群点对于干扰噪声更加敏感，因此 256 阶正交调幅主要在 64 阶正交调幅已经可靠覆盖的较短范围内有帮助。与 64 阶正交调幅相比，256 阶正交调幅并不需要更多的频谱或者更多的天线。

然后，速度是与空间流的数量成正比的。更多的空间流需要更多的天线，射频连接器以及在传输和接收端的射频链。天线之间应该相隔 $1/3$ 的波长（ $3/4$ 英寸）或者更远的距离，额外的射频链会消耗额外的功率。这导致了移动设备将天线的数量限制为一、二或者三根。

总体来讲，这三个加速手段显著提升了速度。从图 2 和表 2 中看到，802.11ac 的产品最少比相应的 802.11n 产品快了 4.4 倍，第一代中端及高端 802.11ac 产品比相应的 802.11n 产品快了将近 3 倍，达到 1.3Gbps 的物理层数据速率。实际的吞吐能力将会由 MAC 层效率（很少大于 70%）以及链路两端设备的能力决定。

图 2. 基于 802.11 物理层改进的思科无线接入点

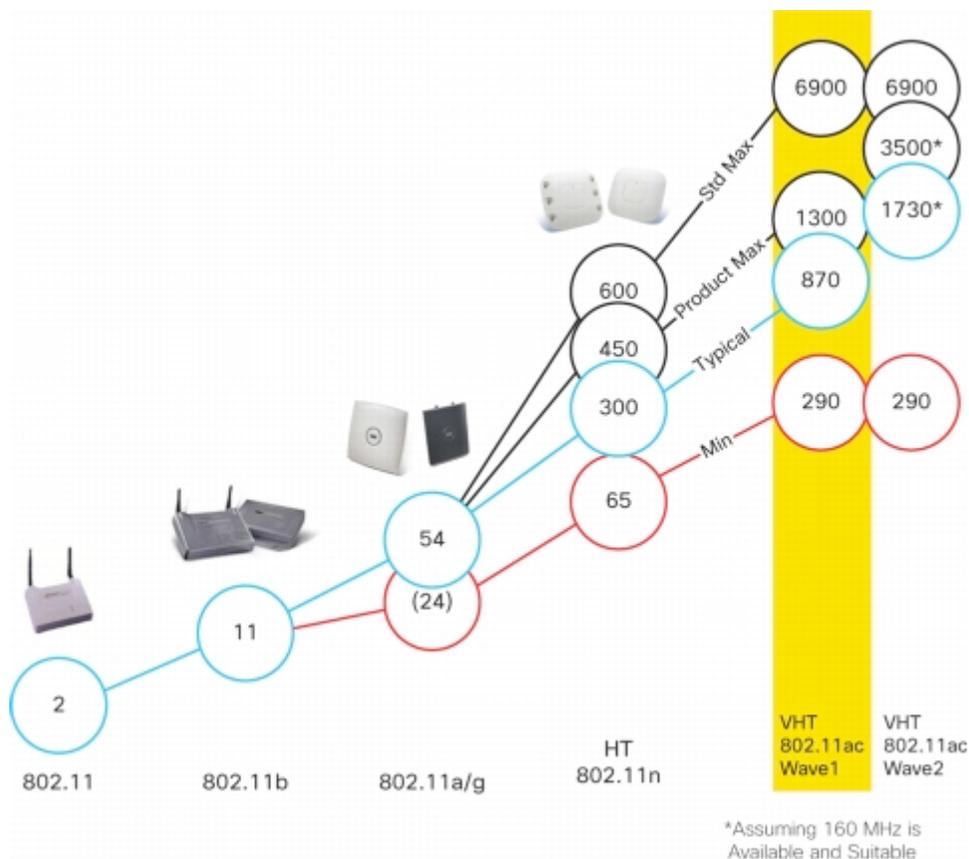


表 2. 802.11a, 11n 以及 11ac 的主要数据速率

标准配置	带宽 (MHz)	空间流数量	调制模式和比例	保护间隔	物理层数据速率 (Mbps)	吞吐量 (Mbps)*
802.11a						
全部	20	1	64QAMr3/4	长	54	24
802.11n						
最小值	20	1	64QAMr5/6	长	65	46
低端产品(仅支持 2.4GHz)	20	1	64QAMr5/6	短	72	51
中端产品	40	2	64QAMr5/6	短	300	210
高端产品	40	3	64QAMr5/6	短	450	320
最大改进值	40	4	64QAMr5/6	短	600	420
802.11ac 第一代						
最小值	80	1	64QAMr5/6	长	293	210

**2012 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved.
This document is Cisco Public Information.**

低端产品	80	1	256QAMr5/6	短	433	300
中端产品	80	2	256QAMr5/6	短	867	610
高端产品	80	3	256QAMr5/6	短	1300	910
80MHz 最大改进值	80	8	256QAMr5/6	短	3470	2400
802.11ac 第二代						
低端产品	160	1	256QAMr5/6	短	867	610
中端产品	160	2	256QAMr5/6	短	1730	1200
高端产品	160	3	256QAMr5/6	短	2600	1800
超高端产品	160	4	256QAMr5/6	短	3470	2400
最大改进值	160	8	256QAMr5/6	短	6930	4900
*假设 70%有效的 MAC 层效率，除了缺乏聚合功能的 802.11a						
*假设由于其他无线接入点的存在，无法使用 40MHz 频率						

2.3 我们如何保证 802.11ac 的健壮性？

产品包装盒上描述最大数据速率的标签并不适用于现实世界，原因有很多，诸如设备会受到来自非 802.11 设备的干扰，早期的无线接入点只能使用 20MHz 或者 40MHz 频宽，多路径衰退，移动设备只拥有少量的天线，接收范围内的信号很弱等。802.11ac 的基本速度之所以这么有价值是因为其扩展性能够在实际环境下提供可靠的吞吐量。

2.3.1 技术综述

基于设计，如表 3 所示，802.11ac 意图只工作在 5GHz 频谱上。这避免了来自于 2.4GHz 的干扰，包括蓝牙耳机，微波炉等，并极大地刺激了用户将它们的移动设备（和无线接入点）升级到支持双频带，进而使得 5GHz 频谱的使用变得更加普遍。这一选择也简化了 IEEE 的进程，避免了 802.11 和 802.15 支持者之间关于频谱的争论。无论如何 2.4GHz 频谱上都无法达到单信道 80MHz 带宽。

就如我们已经看到的那样，802.11 使用了更高阶的调制，最高到 256 阶 QAM；额外的信道绑定，最大达到 80MHz 或者 160MHz；以及更多的空间流，最多可到 8 个。对于发送

一个 160MHz 的信号，有另一个替代方法，称为“80+80” MHz，我们将在之后讨论（见 2.3.6 小节）。

802.11ac 继承了 802.11n 的一些有价值的特性，包括短保护间隔的选择（可实现 10% 的性能提升）以及使用高级低密度奇偶校验（LDPC）来转发差错修正码，以此在一定范围内获得更高的速率。这些 LDPC 码被设计为 802.11n 的 LDPC 码的更新扩展，因此产品研发人员能够很容易地扩展他们现有的硬件设计。

尽管有多种空时分组码（STBCs）是可选的，但是（1）该列表是从 802.11n 丰富功能集的列表中精简下来的，（2）STBC 是波束成形技术的冗余。802.11n 定义了核心的 2×1 和 4×2 的 STBC 模式，以及 3×2 和 4×3 作为扩展模式，但是扩展模式在带来额外复杂性的同时只能提供少量的增益，并且没有成型的产品。实际上，只有最基本的 2×1 模式被 WiFi 联盟认证了。基于这一经验，802.11ac 只定义了核心的 2×1 ， 4×2 ， 6×3 和 8×4 的 STBC 模式，同样的只有 2×1 模式有望被产品化：如果你有一台拥有四根天线的无线接入点，当你可以使用波束成形获得更大增益时，为什么你会对 4×2 的 STBC 模式感到满意？

802.11ac 还有权对于波束成形定义一种单向的信道探测：也就是所谓的显示压缩反馈。虽然是可选项，如果一个产品研发者想要提供基于标准的波束成形的好处，他别无选择地只能选择此单个机制，然后进行互操作性的测试。

表 3. 802.11ac 的主要元素

参数	802.11ac D3.0 草案，WiFi 联盟认证的第一代产品	802.11ac（之后的草案）潜在的 WiFi 联盟认证的第二代产品	802.11ac 最终版
频谱	5GHz（根据国家不同而变化，在美国接近 600MHz 频宽）		小于 6GHz，除了 2.4GHz
频宽	必选：20，40 和 80MHz	必选：20，40 和 80MHz 可选：160 和 80+80MHz	
调制模式	必选：BPSK，QPSK，16QAM，64QAM 可选：256QAM		

空间流数量	必选: 2 (无移动无线接入点*), 1 (其他) 可选: 最多 3 个空间流	必选: 2 (无移动无线接入点*), 1 (其他) 可选: 最多 4 个空间流	必选: 1 可选: 2-8
转发差错修正	必选: BCC 可选: LDPC		
空时分组码	可选: 2×1 从无线接入点到客户端		可选: 2×1, 4×2, 6×3, 8×4
短保护间隔	可选		
信道探测 (单个互操作协议)	可选		
CTS 使用带宽指示来响应 RTS	必选		
基于带宽指示的 RTS	可选		
汇聚	必选: A-MPDU 的收发 可选: A-MSDU 的接收 A-MPDU	必选: A-MPDU 的收发 TBD: A-MSDU 的接收 A-MPDU	A-MDPU, A-MSDU 中的 A-MDPU
多用户 MIMO	-	可选	
*WiFi 联盟发布的额外需求。			

由于 802.11ac 拥有更宽的信道带宽, 因而一个 80MHz 的无线接入点很有可能与另一个 20 或者 40MHz 的无线接入点的信号-及一个 80 或者 160MHz 的无线接入点的信号-或者他们中的几个信号重叠, 为了在这一复杂性上保证可靠地操作, 802.11ac 要求扩展 RTS/CTS 机制, 更强的干净信道评估 (CCA) 需求以及新的主信道选择规则。详见 2.3.4 小节。

802.11ac 还引入了一个称为多用户 MIMO 的有价值的新技术。要真正实现该技术很有挑战, 因而被推迟到第二代的 802.11ac 产品中, 并且是可选项。更多的信息会包含在之后的 2.3.9 小节中。

2.3.2 802.11ac 和 802.11n 的区别

802.11ac 避免与 802.11n 之间的竞争, 致力于扩展 802.11n 已经取得的巨大进步, 来提供下一代无线网络的速度和健壮性。

例如，802.11n 倡导通过选择性地使用 A-MPDU，A-MSDU 和 A-MPDU 的 A-MSDU（见附录）来聚合。802.11ac 实际需要每个 802.11ac 传送以 A-MPDU 聚合的方式发送。这是因为 A-MPDU 固有的高效率以及其他一些原因（详见 2.3.5 小节）。

另一个例子是 802.11ac 扩展了 802.11n 的信道访问机制：虚拟载波侦听和退避发生在单个 20MHz 的主信道；然后在传输之前，CCA 被立刻用于剩下的 20MHz 的子信道。

考虑到 A-MPDU 和 802.11n 信道接入机制的能力，802.11ac 实际上不需要在 MAC 部分做很多改进。实际上，RTS/CTS 机制的扩展是唯一新的必选 MAC 特性。

802.11n 没有纳入许多有价值的可选项。802.11ac 则采用更为务实的方法来对待它们。如果一个“无用”选项被使用并且影响到一个第三方的设备，那么典型的 802.11ac 会阻止一台 802.11ac 设备（工作于 802.11ac 模式下）使用该选项。如果一个“无用”选项没有被用于 802.11n 产品或者只影响激活该选项的设备，那么该特性不会为 802.11ac 更新，而是取而代之的“等待死亡状态”。

例如，对于 802.11n 的绿里（greenfield）前导格式并没有对应的 802.11ac 版本。对于旧有的 802.11a/11n 设备，802.11ac 只定义了一种前导格式，看上去像是一个 802.11a 前导符后跟着一个拥有错误循环冗余校验值的载荷。这意味着旧有设备既不会尝试在 802.11ac 传输之上发送数据，也不会尝试在数据栈上发送一个坏的载荷。

802.11n 引入了一种“降低帧间空隙”的技术，来降低连续传输之间的开销，但是经验显示 A-MPDU 极大地解决了同一个问题，并且更加的有效。工作在 802.11ac 模式下的 802.11ac 设备不允许传输 RIFS 帧（来自 3.0 草案）。

没有引入到 11ac 的 802.11n 特性（或者被工作于 802.11ac 模式下的 802.11ac 设备显示禁止）包括所有 802.11n 探测选项，包括扩展的 LTFs，校正步骤，天线选择，PCO，LSIG TXOP 保护，不平等调制， 4×3 和 3×2 STBC 模式，MCS32 和双 CTS 保护。如果你不知道这些术语也没问题，因为几乎可以肯定的是你永远不需要知道它们。

2.3.3 基于标准的波束成形

任何设备（使用多天线）能够在任意时间对任何其他设备进行波束成形。802.11ac 添加的是使接收方有机会帮助发送方更好地进行波束成形的工作。这称为“探测”，它使得波束成形的发送方精确地控制发往接收方的能量。802.11ac 定义了一个可选的协议，使得一台 802.11ac 设备可以探测其他 802.11ac 设备。该协议类似于 802.11n 的“显示压缩反馈”协议，如下所示。

一台典型的无线接入点设备，会发送一种叫做“VHT 空数据包（NDP）通告”的帧。它只是包含无线接入点及目标接收者的地址。紧接着 VHT NDP 通告帧，会为那些目标接收者发送 VHT NDP 帧。每个预定的接收者使用 VHT NDP 的前导符测量从无线接入点到自己的射频信道，并且压缩信道。第一个预定接收者立刻使用 VHT 压缩波束成形帧内的压缩信道信息进行响应，其他预定接收者在被无线接入点轮询到的时候响应。VHT NDP 通告帧，VHT NDP 帧和 VHT 压缩波束成形帧都和 802.11n 的特性类似。然而，由于一些细微的区别，802.11ac 的探测并不与 802.11n 的兼容。

另外，为了支持新的多用户 MIMO 特性（详见 2.3.9 小节），信道反馈能够包括更多的额外细节。

显示压缩反馈（ECFB）是考虑到发送方和接收方的所有非理想性之后，用来提供信道的精确估计。

然而，ECFB 的开销很大：例如 VHT NDP 通告帧，VHT NDP 帧本身以及携带压缩反馈的帧。对于一台拥有 4 根天线的无线接入点，压缩反馈数据的大小可能从 180 到 1800 字节不等，这取决于客户端天线的数量和压缩程度。探测一台频宽 80MHz 并具有一根天线的客户端需要 250 微秒。当设备能够达到 433Mbps 传输速率时，这是很昂贵的，因为同一时间，这本来可以用于发送额外的 13000 字节的数据。

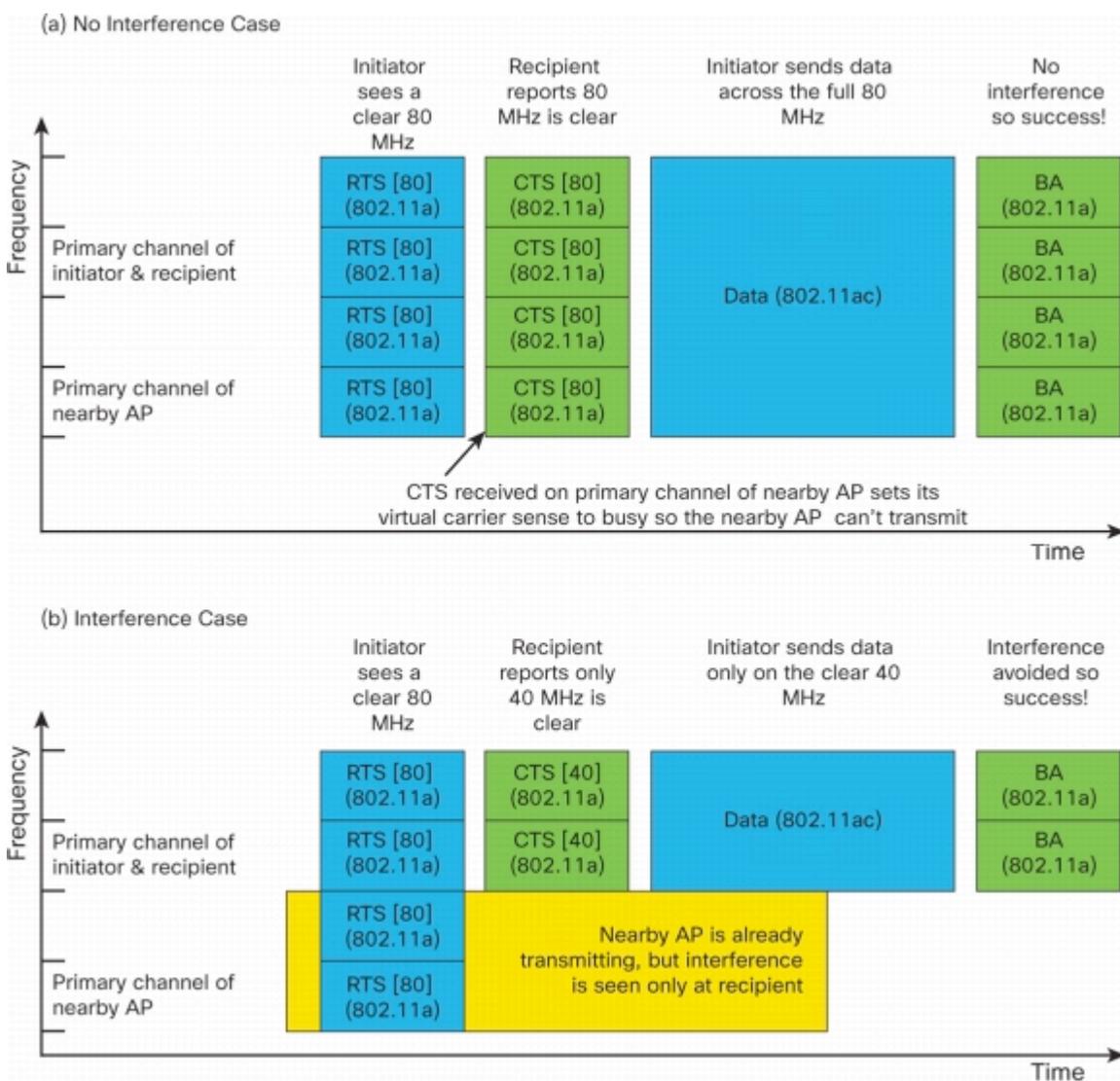
因此不依赖客户端辅助来解决探测问题（例如思科的 ClientLink 技术）不断地显示着其价值。它们可以（1）仍然帮助旧有的 802.11a/n 客户端，（2）仍然帮助那些不支持 802.11ac 探测的 802.11ac 客户端，（3）仍然帮助工作在 2.4GHz 的客户端以及（4）能够避免基于标准的显示探测带来的无谓开销。

2.3.4 基于带宽指示的 RTS/CTS

一台工作在 80MHz（或者 160MHz 等等）的 802.11ac 无线接入点应该仍然能够允许 802.11a 或者 802.11n 客户端相连。因此在该 80MHz 频率内，信标帧在一个被称为主信道的 20MHz 信道内发送。无线接入点以及所有连接到该无线接入点的客户端接收并处理每个与该主信道重合的传输并且在解码帧的过程中提取虚拟载波侦听信息。

然而，该无线接入点可能靠近其他不具备协调能力的无线接入点。那些无线接入点可能是预先存在的 802.11a 或者 802.11n 无线接入点，它们的主信道可能是 802.11ac 无线接入点 80MHz 频率内的任意一个 20MHz 的信道。不同的无线接入点及连接到它们的客户端会拥有不同的虚拟载波侦听，因此能够在不同的时间，在不同的子信道上传输，包括重合的时间。由于 802.11ac 拥有更宽的信道带宽，这一场景发生的可能性比 802.11n 最大 40MHz 频宽时更大。

图 3. 带宽信令的增强 RTS/CTS



由于这个原因，802.11ac 定义了增强的 RTS/CTS 协议。RTS/CTS 能够用来发现发送者和接收者什么时候信道可用以及多少信道带宽是可用的，如图 3 所示。

第一，当一台 802.11ac 设备发送一个 RTS 时，（1）这台初始设备不得不核实该 80MHz 信道在其附近是可用的，（2）该 RTS 通常以 802.11a PPDU 的格式发送以及（3）通过 20MHz 频宽的 802.11a 传输，被复制 3 次后充满 80MHz 带宽（或者被复制 7 次后充满 160MHz 带宽）。然后每台临近的设备，无论是不是一台 802.11a/n/ac 设备，收到 RTS 帧

并理解主信道。每台收到 RTS 帧的设备将虚拟载波侦听设为忙（见图 3（a））。为了使协议更加健壮，RTS 帧的复制带宽在 802.11a 的 PPDU 内通告¹。

第二，在设备使用 CTS 帧来响应复制的 RTS 帧前，接收设备会检查是否有人在它附近的主信道或者其他 80MHz 内的 20MHz 信道上传输。如果带宽的一部分正在附近被使用，那么接收者只在 CTS 帧内响应可用的 20MHz 子信道，并且在 CTS PPDU 的内部报告重复的 CTS 带宽。这里“可用”的子信道指的是初始设备能够发送数据的子信道，例如一个 20, 40 或者 80MHz（而不是 60MHz）的传输。如图 3（b）所示。

第三，类似于 RTS，CTS 使用 802.11a PPDU 的格式发送，在可用的带宽内以 20MHz 为单位的方式复制。同样的，每台临近设备在主信道上收到一个能够理解的 CTS 帧。

对于发送者无法实时切换到窄带宽等情况，该协议还有一些其他变化，但是之前的描述已经包括了增强的本质：接收者能够说“这些子信道正忙——不要使用它们”。

2.3.5 所有的 A-MPDU

802.11 定义每个 802.11 PPDU 的传输都是一个 A-MPDU，但是 A-MPDU 可能只包含单个 MPDU。为什么？较简短的回答是原因很复杂。

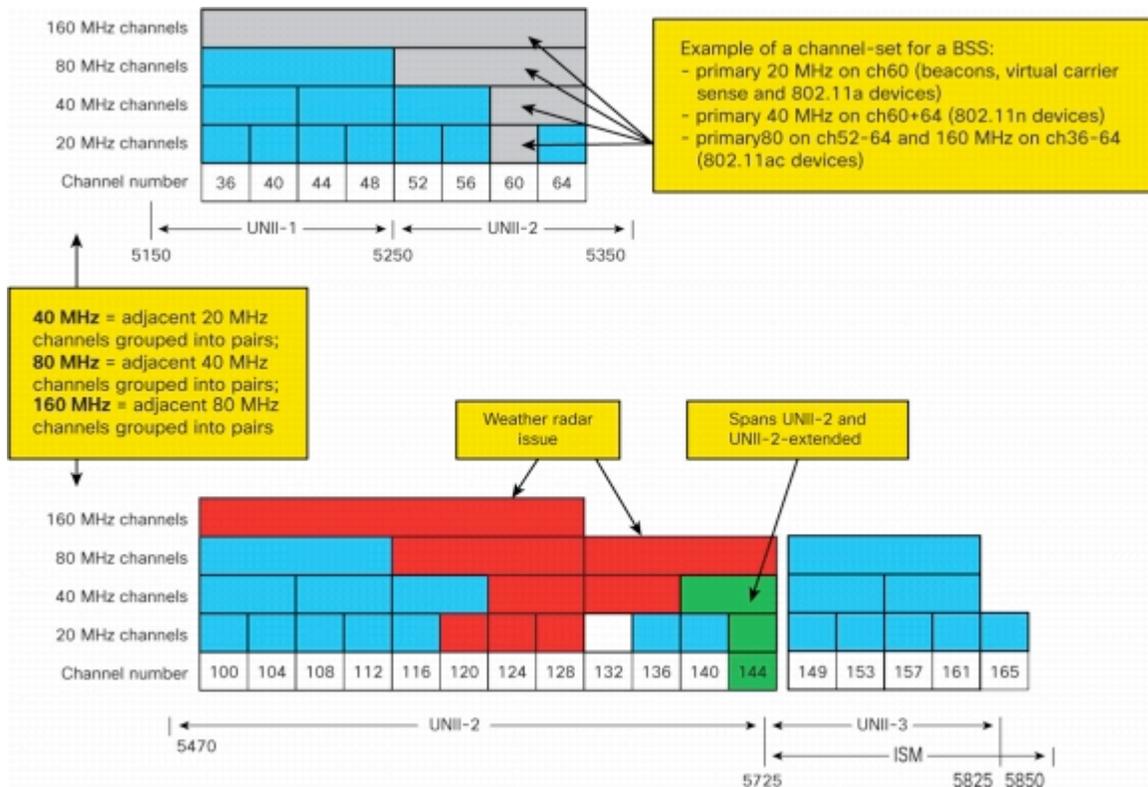
较长的回答是：这里有三个原因：（1）在 802.11a/n 里，传输的持续时间由字节数和传输的数据速率设置。但是对于以 6.93Gbps 的速度传输 5.5ms 时间的数据，可能超过 4 百万字节，而这需要 23 位来表示。这些位将会以最低的 MCS 速率在每个 802.11ac 传输开始时发送，所以实际上是每个时间点增加 4 微秒。一个 802.11ac 传输的长度被限制到每个 OFDM 符号的多个数据位中，然后只用 OFDM 符号的数量需要作为信令发送。此外，（假定是）4 微秒长的 OFDM 符号数量已经暗中显示在旧有的前导符部分了，因此这个信令几乎是“免费的”²。然后我们需要一种能够用数据完全填充甚至是最后一个 OFDM 符号的方法。A-MDPU 让事情变得简单：将数据作为 MDPU，包含在 A-MDPU 中的 MDPU 子帧内发送，然后使用足够的空 MDPU 子帧来填充 A-MDPU，直到装满最后一个 OFDM 符号。

(2) 相同的填充机制迟早会用于新的多用户 MIMO 特性中。(3) A-MDPU 对于长载荷来说，通常是增加可靠性的好的方法。

2.3.6 信道化和 80+80MHz

802.11ac 使用了一种简单的方法来信道化。相邻的 20MHz 子信道成对组合成 40MHz 的信道，相邻的 40MHz 子信道成对组合成 80MHz 的信道，相邻的 80MHz 子信道成对组合成可选的 160MHz 的信道，如图 4 所示。一个 BSS（也就是无线接入点加上客户端）使用不同的带宽用于不同的目的，但是用法主要由客户端的能力决定。

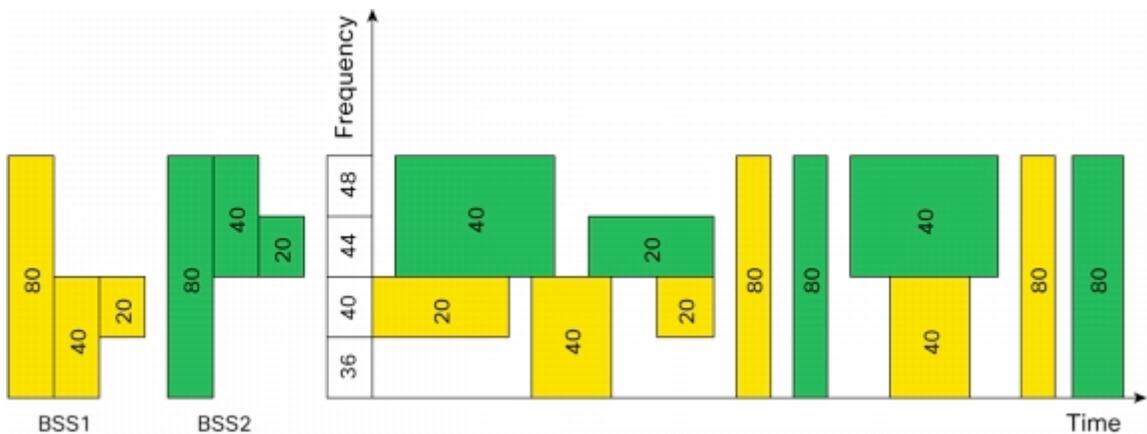
图 4. 802.11ac 信道化（美国）



我们看到在美国，有 20 到 25 个 20MHz 信道，8 到 12 个 40MHz 信道，4 到 6 个 80MHz 信道以及 1 或者 2 个 160MHz 信道，这些数字是一个范围是因为不同的频谱管理问题，如图 4 所示。

如果大部分用户部署的还是最大 40MHz 的 802.11n 客户端会怎么样？部署 802.11ac 是否意味着更少的信道和更多的干扰？就如同你对 IEEE 标准所期望的那样，答案是响亮的“不”。完全允许两个 80MHz 的 802.11ac 无线接入点选择相同的 80MHz 信道带宽，但是一个无线接入点将其 20MHz 主信道置于低 40MHz，而另一个无线接入点将其 20MHz 主信道置于高 40MHz。这意味着与第一个无线接入点相关联的 802.11n 的客户端能够向往常一样以 20MHz 或者 40MHz 传输，同时，关联到第二个无线接入点的 802.11n 客户端能够并行地以 20 或者 40MHz 传输。对于 802.11ac 客户端，其具有整个可用的 80MHz 的可视性来调用超高速模式，并在整个 80MHz 内传输。如图 5 所示。

图 5. 在相同的 80MHz 上使用两个 BSS 并行传输但是使用不同的 20MHz 主信道的例子



促使能够使相互重叠信道的无线接入点使用不同的主信道成为可能的原因是：

- 802.11ac 强制执行的增强次级 CCA 阈值，它比 802.11n 中定义的次级信道 CCA 阈值更加严厉，达到了 13dB
- 增加了对于 RTS/CTS 交换的带宽指示（见 2.3.4 小节）

随着时间的推移，客户端会从 802.11n 转换到 802.11ac，以至于 80MHz 信道会被越来越广泛地使用。在这种环境下，无线接入点应该调整它们的 20MHz 主信道。

80MHz 信道的能力相比窄带宽有了极大的增强。这一点在许多典型场景下提供了许多价值：关联到一个 40MHz 的无线接入点的客户端，在传输大量流量时，其速度会被限制到 802.11n 标准的 300 或者 450Mbps。即使在临近的 40MHz 的无线接入点处于轻量级负载的情况下也是这样。通过更宽的信道，更多的客户端能够更快地传输它们的数据，并且能够更快地完成它们的传输。另外，客户端消耗的电池电量更小，其他的客户端不用长时间地等待（更好的 QoS）。这里的讨论都源于“统计复用”，对于突发性流量能够更多并更有效地复用。

因为 160MHz 信道的数量很少，她不适合典型的企业部署。在家庭部署中，160MHz 信道潜在的会遇到雷达监测管理问题。因此 802.11ac 还引入了非邻接的 80+80MHz 模式。我们可以很容易地从其名字想象，它是 160MHz 的波形，但是在两个分离的 80MHz 频段传输，每一个 80MHz 分段可以位于任何允许的 80MHz 信道上。为了实现这点，它仍然是时分复用系统，因为无线接入点和客户端只能以 80+80 的方式发送或者接收，无法在一个 80MHz 的分段上发送而在第二个 80MHz 的分段上接收。

在轻度及中度使用的频谱上，这似乎能极大地提供更多的灵活性来避免冲突，如图 6 所示。相比于只有两个选项的 160MHz（假设忽略管理问题），80+80MHz 有 13 个选项。不幸的是，一个 80+80MHz 的设备比一个 160MHz 的设备复杂很多，因为 80+80MHz 的设备需要两倍的射频通道。一台设备可能是工作在两个空间流的 80MHz 设备或者是工作在一个空间流的 80+80MHz 设备。在这个案例中，80+80MHz 允许使用更多的频谱，但是频谱的使用效率仅为原有的一半。

图 6. 对于 160MHz 和 80+80MHz 的信道选择



考虑到当前可用的频谱，160MHz 和 80+80MHz 都不建议用于典型的企业部署。

从图 4 可以看出，射频资源管理（RRM）成为了一项更为复杂的任务。它必须：

- 避免使用雷达的信道（如果存在）。
- 一致地扩展每个无线接入点的信道带宽以及最好的扩展无线接入点的 20MHz 主信道。
- 避免信道与附近其他的 20, 40, 80, 160 或者 80+80MHz 的无线接入点相重合。
- 在一个 80MHz 信道带宽内（举例），决定是否将 20MHz 主信道与其他无线接入点相重合或者故意不重合。在这里并没有一个完美清晰的选择方法：
 - 如果主信道重合，那么虚拟载波侦听能够完全工作，但是所有 20/40MHz 流量（去往 802.11a/n 设备的包括广播，组播以及数据流量）都以串行方式发送。在这期间，40 或者 60MHz 的带宽并没有被使用。如果客户端都是 802.11ac 设备，那么在吞吐量和通信的公平性上，这通常是最好的方法。
 - 相反地，如果一个无线接入点的主信道置于低 40MHz 而另一个无线接入点的信道置于高 80MHz，那么 20/40MHz 的流量能够并行传输（就如图 5 所示的那样）。如果客户端都是 802.11a/802.11n，那么这是最好的选择。并且当物理载波侦听和/

或基于带宽指示的 RTS/CTS 测量到整个 80MHz 是空闲时，仍然允许 802.11ac 设备之间的 80MHz 通信。

当然，没有无线接入点信道分配的协调，我们很难充分利用 802.11ac 的优势，通常的典型情况是需要集中化的射频资源管理（RRM）算法的支持。

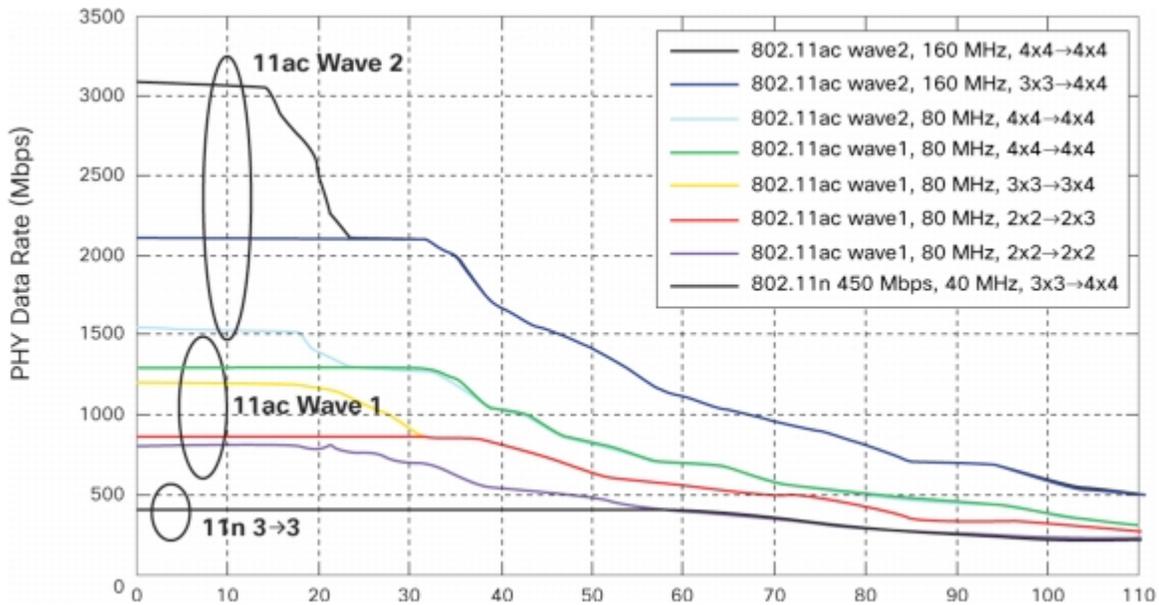
2.3.7 数据速率与覆盖范围

除了提供更高的速度，802.11ac 还提供了比 802.11a 或者 802.11n 更好的健壮性。

考虑提供 450Mbps 的速度，802.11n 不得不使用 3 个空间流、敏感的 64QAM 调制方式，并且不具备多径的免疫性：短保护间隔和很少的编码增益（采用 5/6 的编码速率，只有 20%冗余）。但是，频宽从 40 MHz 提高到 80MHz，802.11ac 只需要使用一个长的保护间隔，16QAM 和 3/4 编码速率（即 33%冗余）就能达到 530Mbps 的速度。

我们能够从图 7 看到这个改进，80MHz 的链路在近距离处提供更高的数据速率，并能传的更远。对于第一代 802.11ac 产品，不同的产品配置会提供不同的优势，但是与 802.11n 相比，它们的性能都有所提高。同时对于第二代 802.11ac 产品，尤其是 160MHz 信道的使用，提供了更高的速度。然而，这一改进并不会立刻变得有用，尤其对于企业来说，因为可用的 160MHz 信道数量极为有限。

图 7. 802.11ac 数据速率与覆盖范围仿真



2.3.8 频谱管制

802.11ac 在频谱管制上的考虑有如下五个方面：

- 在某些管理域中，设备需要新的规则来发送 80MHz，160MHz 和/或 80+80MHz 的波形：
 - 到 2012 年 3 月有效，>40 MHz 的频宽被美国，欧盟，澳大利亚，新西兰，巴西和南非所允许，并且对于在其他许多国家实现也没有什么障碍。
 - 一些国家可能只有当 IEEE 批准 802.11ac 规范后，才会允许 80MHz 或者 802.11ac 的运营。
- 在某些管理域中，需要对设备做一些新的当前规则允许的测试，比如的 160 和/或 80+80MHz 波形跨越邻接子带（例如，5.15-5.25，5.25 和 5.35GHz）。
- 在某些管理域中，需要一些新的规则使得波形传输能够跨邻接子带，这在当前规则是不允许的（例如，低于和高于 5.725GHz，也就是所谓的信道 144）。
- 802.11ac 设备（以及其他无需许可的设备）会遇到有限接入到 5.6-5.65GHz 天气雷达频谱的问题。
- 由于 802.11ac 拥有更宽的带宽，市场强烈渴望开放新的频谱，例如，5.35-5.47GHz 频段（使得能够获得两个新的 80MHz 信道和一个新的 160MHz 信道）：

- 例如，美国国会法案 HR3630 授权国家电信和信息管理局（NTIA）研究开放这个频带作为非授权使用的问题。

由于全世界范围内的频谱管理在不断地发展，因而很难在这份白皮书中详细地讨论这一主题。

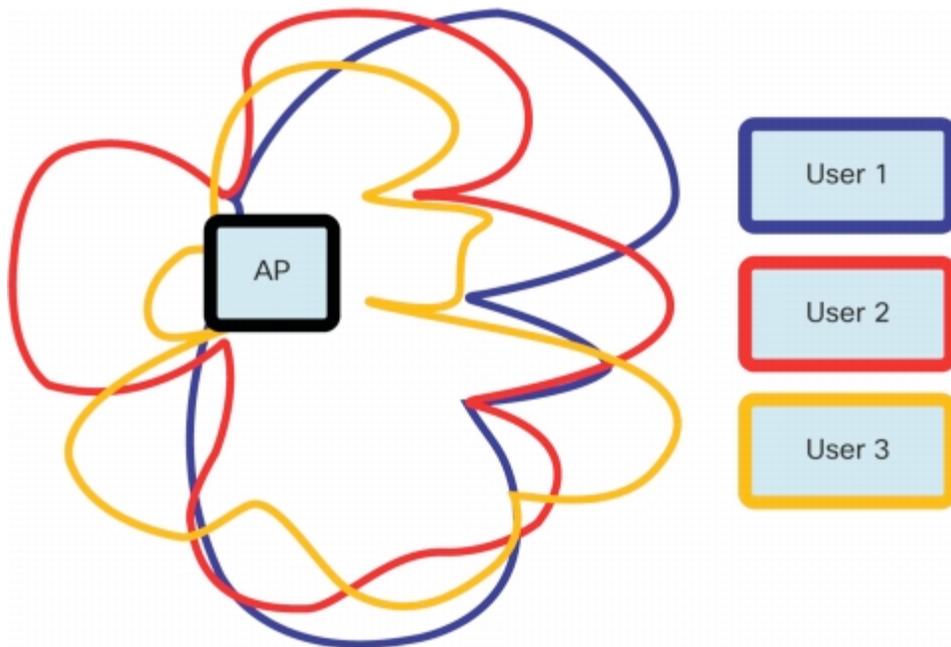
2.3.9 多用户 MIMO

对于 802.11n，一个设备能在一瞬间发送多个空间流，但是只能发往单个地址。对于单独寻址的帧，这意味着在某一时刻，只有一个设备（或用户）能够获得数据。我们将这称为单用户 MIMO（SU-MIMO）。802.11ac 的出现定义了一项新的技术，称为多用户多输入输出（MU-MIMO）。现在一个无线接入点能够使用天线资源在同一时间，使用同一频谱，传输多个帧给多个客户。如果 802.11n 类似于一个集线器，那么 802.11ac 可以认为是一台无线交换机（在下行线路）。

然而，要正确地部署 MU-MIMO 是一项极具挑战的技术，它并不会被包含在第一代的 802.11ac 无线接入点产品中。并且即使设备可以支持，MU-MIMO 也会有其限制性。

图 8 显示了谜题的一部分。为了向用户 1 发送数据，无线接入点向用户 1 发送了一个强波束，波瓣显示为右上边的蓝色曲线。同时，无线接入点在用户 2 和用户 3 的方向上降低了用户 1 的波束能量。这被称为“空操纵”，显示为蓝色的凹口。同时，无线接入点向用户 2 发送数据，向用户 2 形成一个波束，对用户 1 和用户 3 形成凹口，显示为红色曲线。接着黄色曲线显示了类似的对于用户 3 的波束和对于用户 1 和 2 的凹口。用这种方法，每个用户都能获得所需数据的强信号，并且仅会受到发往其他用户的数据的轻微干扰。

图 8. MU-MIMO 对多个客户并行使用波束成形和空操纵



为了让所有这些能够正常工作，尤其是深度空操作，无线接入点不得不准确地知道从其自身到所有用户的无线信道的情况。因为信道会随着时间变化，无线接入点不得不持续检测信道，这增加了开销。一些无线接入点甚至可能只使用需要更高开销的 802.11ac 探测协议，但是如果无线接入点能够采用诸如 ClientLink 机制那样最小化显式探测交换的个数，才能发挥 MU-MIMO 的最大优势。

同时，用户获得的信号中夹杂了发往其他用户的干扰信号。这些干扰会使得一个 MU-MIMO 传输时无法达到最高的调制模式，例如 256QAM 变得不可行。

总之，MU-MIMO 允许一台无线接入点向它的客户端发送更多的数据，尤其对于小型的只有一根天线的客户端（通常是 BYOD 客户端）。如果无线接入点向两个或者三个客户端发送数据，根据无线信道的情况，有效的速度增长可能根据单位因子³（没有速度增长）达到其两倍或者三倍的变化。

2.3.10 802.11ac 项目授权请求

802.11ac 的项目授权请求包括一些吞吐量的数据：500Mbps 的单用户吞吐量和 1Gbps 的多用户吞吐量。这些数据是 802.11ac 修正案的需求，并不是对单个产品的需求。修正案定义了能够被称为 802.11ac 的产品的最低要求是不支持多用户模式，并能够工作在 290Mbps 的单用户模式下。

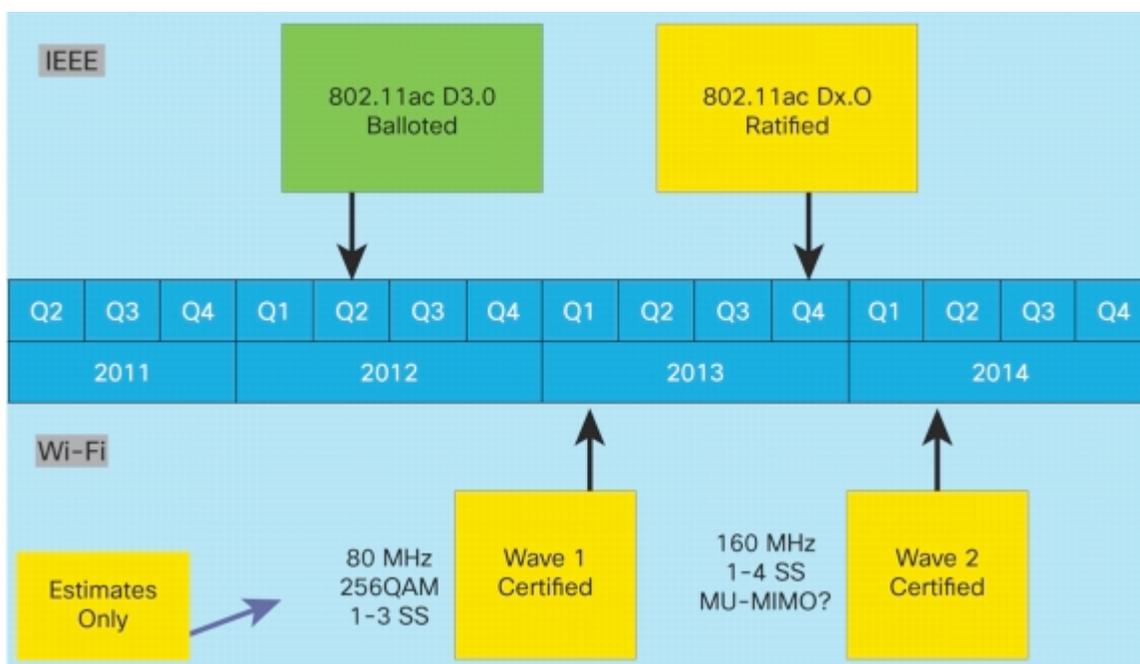
3. 802.11ac 什么时候才会到来？

802.11ac 正在被积极地标准化，如图 9 所示。一个成熟的 3.0 版草案已经于 2012 年五月完成，总计超过 300 页。预计 WiFi 联盟会将这份草案作为 2013 年早期第一代产品认证的基础。802.11ac 的产品可能会在认证日期之前发布，但是这些是典型的针对返校日或者圣诞节市场的消费级产品，它们并没有获得 WiFi 联盟对于互操作性的认证测试。强烈建议企业客户等到相关产品被 WiFi 联盟认证之后再购买。

IEEE 会基于由业界专家驱动的技术革新来持续地精炼 802.11ac 修正草案。这一过程会催生一系列的草案并最终批准版的发布而告终。这一过程预计于 2013 年年底完成。

同时，WiFi 联盟有望开发第二代认证，包含更多的 802.11ac 特性，如四个空间流，160MHz 及 MU-MIMO。第二代产品的发布日期很有可能紧跟 IEEE 802.11ac 的正式批准，如图 9 所示。

图 9. 802.11ac 标准化和认证的时间进程



4. 802.11ac 如何影响我们？

4.1 兼容性

一个不用担心的问题是兼容性。

802.11ac 被很仔细地设计用来最大限度地与 802.11a/n 设备前向和后向兼容。实际上，802.11ac 的设计更为简单，兼容性相比 802.11n 兼容 802.11a 设备也更为彻底，如表 4 所示。

一台 802.11ac 设备必须支持所有 802.11a 和 802.11n 的必选模式。因此一台 802.11ac 的无线接入点能够使用 802.11a 或者 802.11n 格式的数据包与 802.11a 和 802.11n 的无线客户端进行通信。从这一点上看，它就好像是一台 802.11n 的无线接入点。类似地，一台 802.11ac 的无线客户端能够使用 802.11a 或者 802.11n 的数据包与一台 802.11a 或者 802.11n 的无线接入点进行通信。因此，802.11ac 无线客户端的出现不会对现有架构造成问题。

表 4. 802.11a, 802.11n 和 802.11ac 设备间的兼容及共存

接收者角色	发送器	802.11a	802.11n	802.11ac
预定的接收者	接收器			
	802.11a	√	√802.11n 设备下降到 802.11a 的 PPDU	√802.11ac 设备下降到 802.11a 的 PPDU
	802.11n	√	√	√802.11ac 设备下降到 802.11n 的 PPDU
	802.11ac	√	√	√
第三方接收者	802.11a	√	√对于传输 HT_MM PPDU, 第三方等待前导符旧有的部分来指示包的长度 □HT_GF PPDU, 只有当之前 MAC 保护 (例如 RTS/CTS 或者 CTS 到自身) 使用 802.11a 格式的 PPDU (因此没有冲突) 发送, 前导符才应该被发送	√第三方等待前导符旧有的部分来指示包的长度, 然后是额外的 EIFS (因此没有冲突)
	802.11n	√	√	√第三方等待前导符旧有的部分来指示包的长度, 然后是额外的 EIFS (因此没有冲突)
	802.11ac	√	√	√

此外, 802.11ac 格式数据包的前导符和 802.11a 数据包的相同, 因此 CCA 机制对于第三方的 802.11a 和 802.11n 设备都有效。一旦这些第三方设备看到 802.11ac 的前导符, 它们知道数据包的持续时间, 并且知道在那段时间内不能发送。由于数据包一般会紧跟一个 802.11a 帧格式的 ACK 或者 Block ACK 帧, 第三方设备能够正确接收 ACK 或者 Block ACK 帧, 然后继续向往常一样发送。在最坏情况下, 第三方设备收到 802.11ac 帧, 但是在发送 ACK 或者 Block ACK 帧的范围之外。但是即使这样, 第三方设备也必须等待一段额外的时间 (称为 EIFS) 才能发送 ACK 或者 Block ACK 帧, 用于避免冲突。

因为前导符级的兼容，对于 802.11ac 设备，在传输数据之前，并不需要先传输 RTS/CTS 和 CTS-to-self 帧。关于在存在 802.11b 设备时，发送 802.11g 数据包的低效率问题，已经完全在 5GHz 避免了。

4.2 什么时候更新到 802.11ac?

IT 管理员有幸能够在两个伟大的技术中做出选择：（1）802.11n 具有 A-MPDU，MIMO，波束成形，在 40MHz 内其速度能够达到 65 到 450Mbps，（2）802.11ac 具有 A-MPDU，MIMO，波束成形，在 80MHz 内其速度能够达到 290 到 1300Mbps。

802.11n 的产品目前就能买到，并且能够应付许多用户场景。

802.11ac 是未来的无线局域网技术，但是现在并没有经过 WiFi 联盟认证的 802.11ac 无线接入点产品。802.11ac 能够为多个用户提供全高清的视频，支持更大的用户密度，更好的 QoS 以及通过更快地进入和离开网络来节省更多的电能。

大部分 IT 管理员是在装修、改造或建设一幢大楼的同时部署新的无线接入点。对于现在，由于 802.11n 所能提供的价值，我们建议安装 802.11n 无线接入点。考虑到以后的投资保护，最理想的是安装模块化的可现场升级到 802.11ac 的无线接入点。当最终标准的 802.11ac 无线接入点产品出现后，用户应该自动开始安装 802.11ac 无线接入点，因为 802.11ac 带来的价值提升超过了任何合理的价格差距。

IT 管理员通常以 3,4 或者 5 年的频率更新他们的无线接入点。IT 管理员应该继续按照时间表来更新他们的无线接入点，因为当今无线接入点的能力已经大大地超过了前代产品。直到 802.11ac 无线接入点发布前，我们建议安装模块化的 802.11n 无线接入点，以此提供一条通往 802.11ac 的便捷升级路径。

4.3 无线电资源管理和无线入侵保护系统 (WIPS) 效果

没有升级到 802.11ac 的 802.11a/11n 部署仍然不得不考虑邻居的 802.11ac 网络带来的影响以及额外的攻击。

802.11ac 改进了无线电资源管理，使得重合的设备现在能够在 80 甚至 160MHz 上传输数据。通过软件的升级，现存的无线电资源管理系统能够从警示帧内新的 802.11ac 字段中检测到 802.11ac 的无线接入点，并且解析出受影响的带宽。有了这个知识后，无线电资源管理系统能够减轻相邻的 802.11ac 无线接入点的影响。无线电资源管理系统不得不工作的更为困难，因为（1）单个重合的 802.11ac 无线接入点会影响更宽的带宽，（2）对任何 20MHz 子信道的影响都取决于 20MHz 主信道是否在网络内以及重合无线接入点的位置（详见 2.3.6 小节）。

用户应该确认他们的无线接入点能够使用所有可用的信道，即使对于那些雷达监测需求信道也一样。（许多消费级和企业级的无线接入点没有被认证能工作在 DFS 信道，这有点不幸，因为在美国，举个例子，63%的 20MHz 信道都是 DFS 信道）。

通常说来，802.11a/11n 的无线入侵保护系统能够监测并减轻许多 802.11ac 设备的攻击，尤其对于较幼稚的攻击者。这是因为 802.11ac 设备在与 802.11a/11n 设备通信时使用的是 802.11a/11n 格式的数据包，802.11ac 总是以 802.11a 的速率持续发送警示，探测请求及探测响应。然而，以 802.11ac 格式发送的数据包无法被 802.11a/n 设备解码。关于此种攻击，建议的对策是部署少量工作在全时 WIPS 的 802.11ac 无线接入点（例如，一个 802.11ac WIPS 无线接入点为 5 个或 6 个 802.11a/n 无线接入点服务）或者完全升级所有的无线接入点。

5. 总结

802.11ac 是无线局域网的崭新一步，它会被业界于 2012 年早些时候（消费者级别）及 2013 年早些时候（企业级）所采用。802.11ac 是 802.11n 的改进版本，能够在更宽的频宽

上提供更高的速度。802.11ac 设备是值得拥有的，不论部署环境是混合客户端还是到全部采用 802.11ac 设备。与此同时，802.11n 在今天仍然提供了许多类似的技术，虽然是以较低的速度，但是您今天就能够购买到。近期正在寻找无线局域网投资方向的 IT 管理员应该强烈考虑采用能够现场升级到 802.11ac 的 802.11n 无线接入点。

附录：什么是 802.11n？

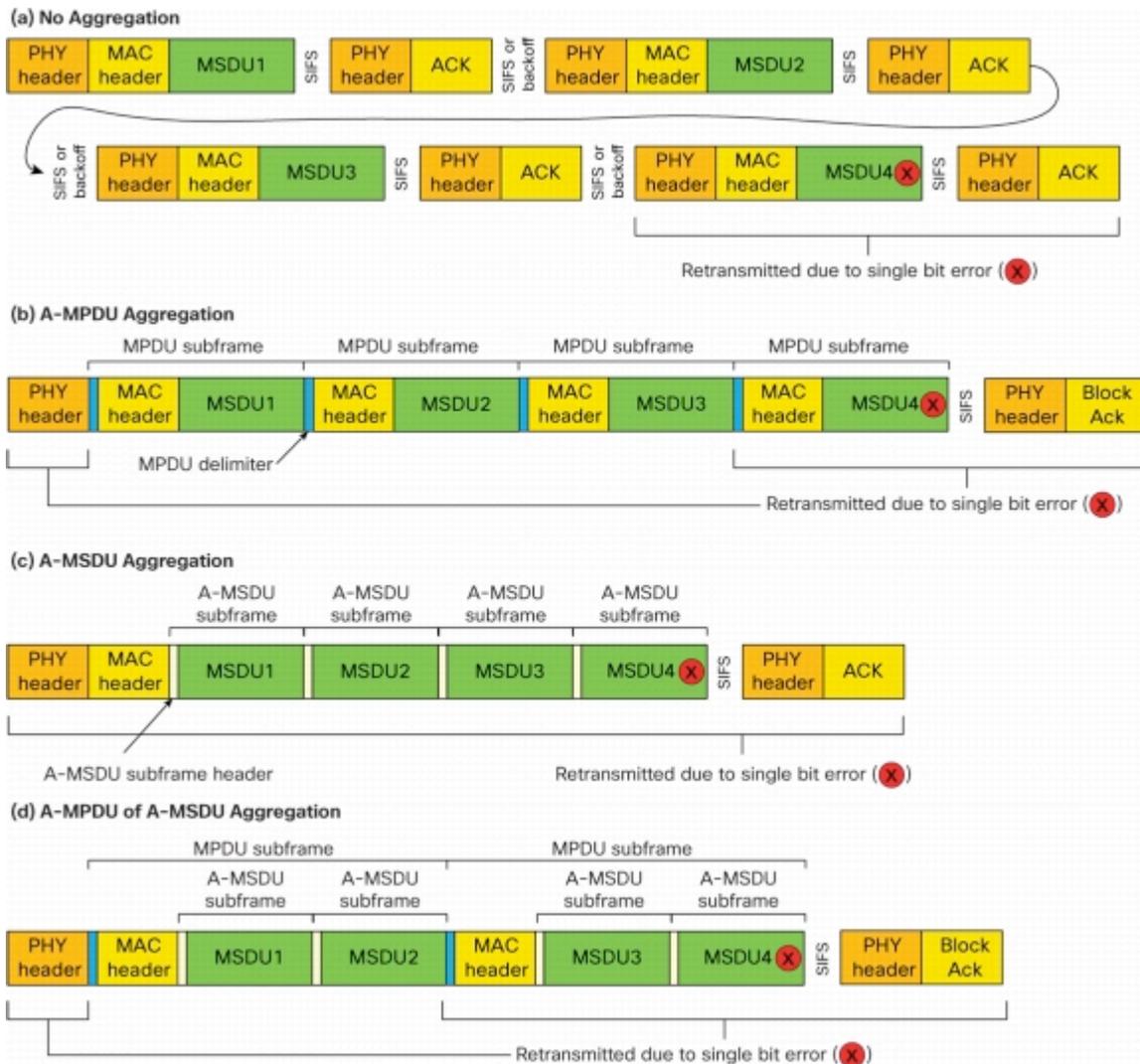
802.11n 相对于 802.11a 是一大进步。802.11n 引入了多个主要 MAC 子层和物理层的进步，也就是：

- 多输入输出（MIMO）。MIMO 带来了许多好处
 - 使用空间复用（SM），在不增加频带的情况下拥有更高的速度。空间复用将数据分割成小片，沿着并行的空间信道发送每个小片，避免了串行地发送数据。没有空间复用，802.11n 最高达到 150Mbps 数据速率。使用空间复用后，只要发送和接收方各自拥至少 2 根和 3 根天线（和射频链），速度就能够达到 300 和 450Mbps
 - 更高的上行链路可靠性。由于多径效应，一台拥有 4 根天线的无线接入点接收到一个客户发来的四个信号备份。每个备份都以不同的方式被扭曲（可恢复或不可恢复），所以所有备份在同一时间都不可恢复的概率很低。因此接收器内部的 MIMO 均衡器能够获得所有这些备份，智能地组合它们，来获得更好的可靠性，提供更容易预测的数据速率和更少的重传。当然，一台拥有较少天线的无线接入点无法做到这些，尤其当空间流的个数超过接收方天线个数的时候
 - 更好的下行链路可靠性（也许）。802.11n 能够提供波束成形（拥有极大的好处），空时分组码（有用但是不如波束成形效果好）以及循环延迟差异（拥有适度的好处）。但是对于波束成形，802.11n 拥有许多不兼容的地方，其需要客户端辅助，业界也没有花时间在开发这些功能上。因此波束成形实际上被不需要客户端辅助的技术所支持，例如思科的 ClientLink 技术。对于天线数量较少的设备来说，波束成形尤其有用。
 - 这些都在相应的白皮书上有更详细的描述。

- 信道绑定。通过加倍信道的带宽，从 20 到 40MHz，单个传输能够携带两倍的数据。实际上，由于两个传统的 20MHz 信道之间的保护带也能被利用，增益会大于两倍。
- 聚合。如果物理层是一台汽车的引擎，用于产生马力，那 MAC 层就像汽车的变速器，用于将马力有效地传输到轮子上。

在 802.11n 之前，每个 802.11a 的数据帧都有各种开销，例如，帧的前导符，确认帧以及任何传输之间的空隙时间。当数据的大小比开销小时，那么加速传输数据载荷并不能增加数据传输的效率。

图 10. 802.11n 引入的聚合形式



802.11n 使用两个聚合技术：称为 A-MSDU 和 A-MPDU，它们也能组合在一起，称为“A-MPDU 中的 A-MSDU”。通过聚合，数据被封装到单个单元中，和一个前导符和确认一起发送。A-MSDU 在 MAC 传输路径之上聚合 MSDU（例如，LLC+IP+TCP+data），因此在一个 A-MSDU 内的单个 MSDU 没有 MAC 头部/尾部，例如序列号或者帧校验序列。这能够提供效率，但是使得无法针对单个 MSDU 进行重传。同时，A-MPDU 在 MAC 之下聚合 MPDU，因此 A-MPDU 中的每个 MPDU 都包含自己的 MAC 头部。这种方法效率不高，尤其对于较短的 MPDU，但是如果数据包在传输过程中遗失了-例如，某个位发生了错误-那么其他 MPDU 仍然能够被正确地接收，只有发生错误的数据包需要被重传。如图 10 所示。

- 对于 40MHz 的信道接入。也许 802.11 成功的基本原因是每个人都能够安装一个无线接入点或者使用一个客户端，不用考虑附近部署的其他 802.11 设备，它可以直接工作。

MAC 设计的目标是信道接入的高效率及公平性与设备的数量，无线接入点的距离，设备的能力等无关-即“你的数据包和我的一样重要”。我们可以看到通过一系列 MAC 技术来达到高效率这一目标，通过例如物理层载波侦听来降低冲突（如果检测到许多能量就不发送）以及虚拟载波侦听（当其他人告诉你他们在发送或者接收数据时不发送）。我们可以通过每个设备只有在符合相同的载波侦听和冲突避免需求后才被允许发送看到公平性。

然而，40MHz 为冲突避免和公平性带来了实际的挑战，因为要在两个并行的 20MHz 子信道上维持正确的物理层载波侦听和虚拟载波侦听要么是不可能的，要么成本很高。作为代替，一个 20MHz “主”信道被定义用来满足载波侦听和冲突避免的需求，通过降级第二个 20M 的物理层载波侦听来扩大范围。当一个设备想要发送数据时，它使用惯常的方法⁴进行信道接入-完全在主 20MHz 子信道上。在设备能够发送一个 40MHz 的数据包之前，设备简短地通过第二个信道检测物理层载波侦听的状态，确定第二个信道也空闲。如果空闲，20MHz 的数据包被发送，否则设备可以（1）在主 20MHz 信道上发送 20MHz 的数据包或者（2）继续退避，然后重新检测是否整个 40MHz 的信道都空闲。显然，这一简单的机制十分公平，并且（1）很有效率。

在某些拓扑，相对于 40MHz 的设备，处于第二个 20MHz 的设备会被不公平地对待，因此 802.11n 有额外的信道选择规则来尝试避免这种情况。考虑到 5GHz 上大量的 40MHz 信道，这些规则工作的十分良好。

802.11n 由于其标准化进程的缓慢而遭人诟病。这里有三个原因：（1）用来选择 802.11n 提议的程序带来了长时间的争论。（2）许多专家想要帮助并且贡献他们的技术。关于采用哪些可选模式的争论花了很长的时间，精炼所有的可选模式同样花了很长时间。（3）

在 802.15 系统（例如蓝牙）附近运营 802.11 系统，在 2.4GHz 上使用 40MHz 的信道带宽增加了部分 802.15 委员会的担心。

1 由于 802.11a 的 PPDU 格式不包括带宽指示，802.11ac 不得不使用一些技巧来保持后向兼容。带宽指示被编码成不规则序列，同时 RTS 帧内发送者 MAC 地址的个人/组位从“个人”改变到“组”。这一个变化能够通过无线嗅探看到。

2 如果传输使用短的保护间隔并且 OFDM 符号实际上是 3.6 微秒长，那么只需要单个位就能够消除实际 OFDM 符号的歧义。

3 如果加速因子小于单位因子，无线接入点使用 SU-MIMO。

4 也就是说，设备会检查载波侦听，如果信道繁忙，就等待其空闲，随机地退避一定数量的时间后发送。

原文链接：http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps11983/white_paper_c11-713103.html

翻译：余骏

校对：谢清

译于 2012 年 11 月

