

802.11n: 标准揭晓

下一代无线网络

概要

IEEE 802.11工作组已经完成了802.11n标准的制定，经过多年的努力，802.11n终于实现了标准化。802.11n技术通过一系列的手段显著地提高了通信的稳定性，实现更加可预测的覆盖以及达到设备性能吞吐量的整体提升。

在802.11n正式标准在802.11n草案2.0版本上没有增加任何强制性的特性。因此，已经部署了802.11n草案2.0版本认证设备的客户无需担心，您可以继续运行这些设备且无需修改任何硬件和软件。此外，那些等待该标准最后批准的客户现在可以大胆的向802.11n迈进了。

802.11n协议对物理层和MAC子层进行了数项增强使无线网络的部署受益。这四项关键的特性是：

- 多输入多输出(MIMO)。MIMO技术利用多天线收发技术实现分集和信号复用。
- 40-MHz 频宽将两个相邻的信道结合在一起并利用原先保留的频间带宽将数据率提高两倍以上。
- 数据帧汇聚通过把多个数据帧结合在一起发送减少了802.11开销。
- 后向兼容的机制，使得802.11n设备可以和a/b/g设备共存，因此允许用户可以分阶段的迁移他们的无线接入点和无线客户端。

本技术白皮书详细描述了上述这些新的能力，解释了802.11n如何实现它们并使客户获益，还将帮助您确认现有的802.11n部署与正式标准的兼容性。本技术白皮书也描述了在从现有的802.11a/g部署迁移到802.11n时需要解决的问题，迁移到11n会使我们得到何种结果。但是首先重要的是要明白802.11n标准能够做什么不能做什么。

IEEE 和 Wi-Fi联盟的角色

IEEE 802.11n标准化的过程历时7年的努力，有三个主要阶段：研究小组，工作组和赞助者投票。高吞吐量研究小组第一次会议于2002年9月11号召开，这导致了802.11n工作组在一年后成立。随后工作组进行了大量的工作，保证核心功能集可以为广泛的设备提供最大的利益，这些功能是在2.0草案版本定稿。思科公司在协议的制定方面显示了其领导力，提供了强大的向后兼容性和协议安全性增强的宝贵的意见。

Wi-Fi 联盟，是一个为802.11设备提供互操作性认证的产业组织。它在2007年6月开始对802.11n设备进行互操作性认证。该认证测试802.11n的核心特性，该计划被广泛的Wi-Fi厂商所接受。迄今为止几百种符合802.11n草案2.0版本的产品已通过了Wi-Fi联盟的认证，数千万的认证设备已经在全球部署。¹

¹ 802.11n: Ready for Business: http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps6973/white_paper_c11-457039_ns767_Networking_Solutions_White_Paper.html

随着时间的推移，IEEE在其他草案2.0版本未完全解决的一些功能上取得了进展。在每个草案的修订版，对使客户获益的可选功能都进行了调整。这个过程一直持续到2009年6月的草案11.0版本。最终，由802.11工作组制定完成的802.11n正式版本由IEEE批准。这个版本于2009年9月11日被IEEE标准委员会批准。

关于草案2.0版本以后标准改变的讨论是在一个共同的目标下完成的，Wi-Fi联盟和其成员确保已经通过802.11n草案2.0版本认证的的设备只需通过软件升级就可以被升级为支持最终的802.11n标准。这一战略被证明是非常有效的。事实上，最终的802.11n标准和草案2.0版本相比没有增加任何强制性的特性。

Pre-802.11n Products

需要注意的是：在802.11工作组批准802.11n草案版本之前，就存在一些“Pre-n”的产品。这些产品基于提交给802.11工作组的一个或多个建议书。大多数产品之间都不兼容，无法实现厂商之间的互操作。

802.11n Technology

802.11n的目标是显著增加802.11设备的吞吐量，而不是简单地建立高比特率的无线传输能力。

802.11每一个产生开销的方面都必须尽可能的最小化。

这是802.11n精髓：不仅提供一个更快的物理层，而且需要更有效的MAC层，这样才能使用户不仅获得速度提升，同时还享受到其它的利益。802.11n作出的重要改进包括：

- 通过MIMO技术提高信号稳定性，建立更高的比特率。
- 通过40-MHz 频宽进一步提高比特率。
- 数据包汇聚技术保证在建立更高的比特率的同时可以为应用提供高吞吐量。
- 健壮的后向兼容机制意味着网络可以逐步的升级到802.11n。

此外：

- 为客户端省电特性提供扩展支持。

下面，让我们依次深入的了解这些改进的细节。

MIMO

多输入多输出（MIMO）技术是802.11n的核心。关于MIMO的技术讨论提供了基本信息，让我们可以了解802.11n如何能够在相同的无线电频谱上提高可靠性并将数据速率达到802.11a/b/g的数倍以上。这些改进将改善所有无线用户的使用体验，尤其对于在特别困难的射频环境（例如厚厚的墙壁或小房间）部署无线网络的客户是非常有价值的，它们将给使用语音或视频的用户带来高吞吐量和优质的服务质量（QoS）。

无线传输基础

要了解MIMO技术带来的好处，必须了解是什么决定传统无线电运作的好坏。传统单输入单输出无线传输，接收的无线信号中携带的信息量的多少取决于接收信号的强度超过噪声强度的多少，也就是信噪比（**signal-to-noise ratio**），或**SNR**。**SNR**通过分贝（**dB**）来表示。信噪比越大，信号能承载的信息量就越多，在接收端复原的信息量也越多。

要了解MIMO技术对802.11的改善，可以想象一下在路上驾驶汽车的感觉。汽车的发动机马力越大、轮胎和悬挂系统越好、自身的风阻越小，车子就开的越快。同时，一条路况很差满是坑洼的道路将使您放慢速度。在这个比喻中，汽车代表信号，路况差的道路代表噪音。好的信噪比意味着快速的驾驶体验。

即使追求速度不是驾车的最主要的目的，有更多的动力意味着更容易通过行车缓慢的路段，在路况不佳的情况下（如攀爬陡坡或顶风行驶）更容易保持车的速度。巡航速度可以使车保持更高的可靠性。具备较好信噪比对无线数据的传输的好处也是同样道理：好的信噪比可以有效减少无线覆盖的盲点，并在环境不断变化情况下达到理想的数据传输速率。

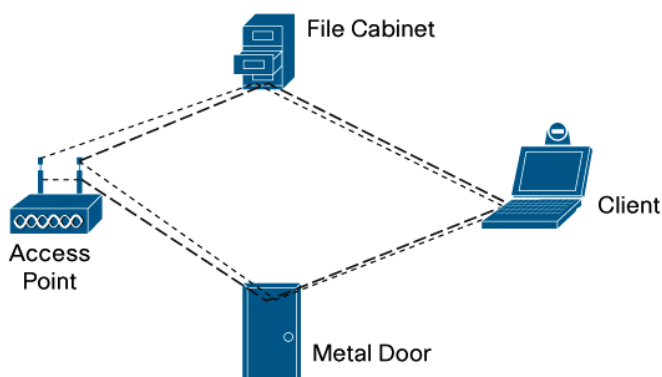
一旦达到了允许信息交换的最小**SNR**，任何额外的**SNR**都将使您进一步获益。额外的**SNR**可以用来增加数据速率，增加覆盖距离，或者二者均增加一些。但是你不能多次使用相同的**dB**，就像你不能多次使用同一美金一样。

MIMO的空间流传播

对于典型的室内无线局域网部署，例如办公室、教室、医院或仓库，无线信号很少通过直接的最短的路径传送到接收端。因为在发射端和接收端很少在视线范围之内。通常都会有隔板，门或者其他阻碍视线的东西。在信号穿透这些障碍物时，信号强度都会减弱，甚至于减弱到十分不稳定的级别。

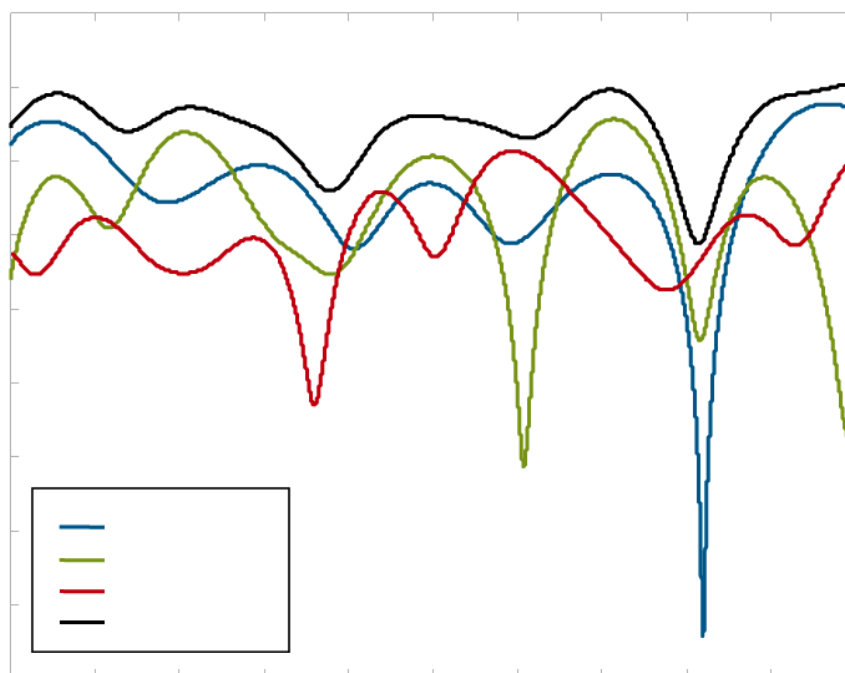
幸运的是，大多数障碍物都会像镜面反射光一样反射无线信号。想像一下所有的金属表面，不论大小，对于无线电波它们实际上就是镜子。螺钉，门框，天花板吊顶等都是无线信号的反射体。你可能在这些镜子同时看到同一个无线接入点。有一些无线接入点的图像是通过单个镜子直接反射，而有一些可能是反射的反射。这种现象叫做多径效应。如图1所示。

图 1. 多径效应



当信号通过不同的路径传播到单个接收者时，信号到达时间取决于路径的长度。路径最短的信号最早到达，接下来是经过较长路径的原信号的复本或者回声。当通过光速传播时，无线信号也是如此，第一个信号和其他副本到达的时延非常小，通常在纳秒级。但这个时延足以显著减弱单天线的信号，因为所有的副本都干扰第一个到达的信号。有时干扰是建设性的，有时是中立的，有时具有破坏性的。的确，干扰性质随信号频带和天线位置随机而定（见图2）。

图 2. 跨越整个信号和频率波段以及天线产生的建设性和破坏性的干扰影响信号质量



MIMO传输同时发送多个无线信号，并且利用多径效应。这些信号可能承载相同的资料以提高可靠性，或完全不同的信息以提高吞吐量。每个信号称为空间流。每个空间流都从自己的天线发送，使用自己的发射器。由于在各个天线之间存在空间，每个信号都会通过略微不同的路径发送给接收端。这叫做空间分集。每个无线电波都可以传送不同于其他无线电波的数据流。接收端也有多个天线，每个天线有自己的无线电波接收器，每个接收器都对收到的信息进行独立解码。如图3所示。然后将各个无线电接收器收到的信号组合起来。通过复杂的运算，MIMO提供下面三个能力，如图4所示：

- 能够使用多个发射天线，以改善接收端信号的信噪比。
- 能够使用多个接收天线，以改善接收端信号的信噪比，这被称之为MIMO接收均衡（即最大比合并MRC）。
- 能够在同一时间和同一频谱发送两个或两个以上的信号。这些信号被称为**空间流**，以这样的方式发送多条空间流被称之为**空间复用**。802.11n标准允许最多4个空间流。从本质上讲，这比现在常用的两个空间流实现的性能要高。

图 3. 空间复用

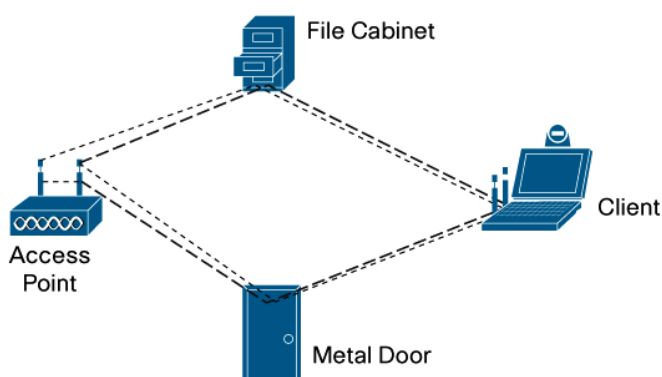
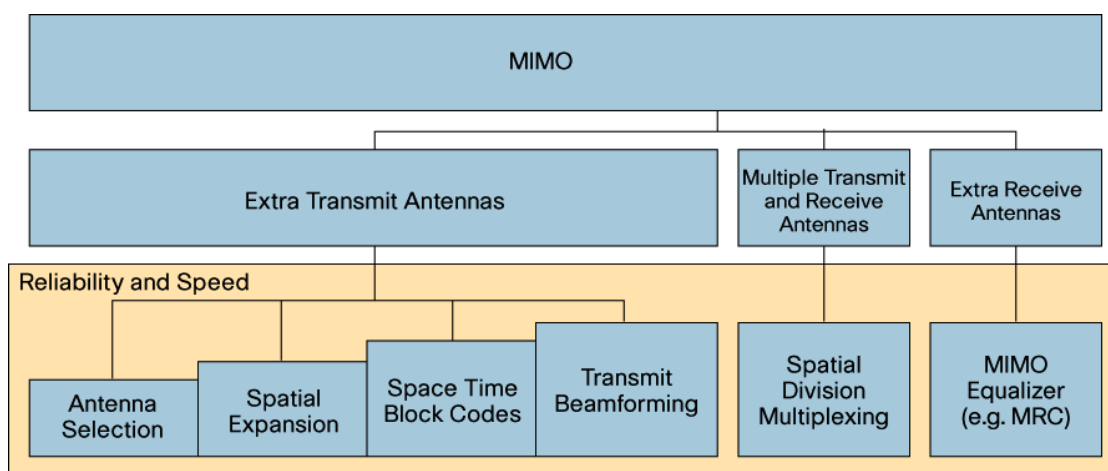


图 4. 通过MIMO技术获得信号稳定性和速度的提升



MIMO 链路 描述了一台设备（例如一个无线接入点）如何传输信号到另外一台设备（例如一个无线客户端）。由发射天线和接收天线的数量描述，例如2x1表示两个发射天线及一个接收天线。

另一个容易混淆的概念是，**MIMO 设备** 也采用相同的方式来描述：设备里的发射和接收天线数量。例如，2x3无线接入点代表其具有2个发射天线和3个接收天线。本技术白皮书所关注的MIMO的链路，而不是MIMO设备。

802.11n定义了MIMO链路一系列不同数目的发射天线及接收天线的组合。其中一些天线用于空间复用，如果还有多余数量的天线，他们会被用于改善链路的信噪比。然而，每个新增发射机或接收机增加的信噪比增益值会快速递减。多个发射机的应用体现了MIMO的第二个优势：即采用不同的空间信息流分别承载各自的信息，从而大大提高了数据传输速度。此外，MIMO技术环节是**相互作用**的，即从设备A发送到设备B的信号受到射频环境的影响与设备B发送到设备A的信号受到射频环境的影响是相同的。这意味着，充分利用MIMO链路，取决于在一端或两端采用正确的MIMO技术。

MIMO技术的第一个获益是改善信噪比。采用正确的MIMO技术，从 1x1 到 1x2 或 2x1，到 2x2 再到 2x3 或 3x2，信噪比逐步显著增加，然而，从3x3之后，信噪比增幅则趋于自然且幅度比较小。

采用发送天线改善信噪比

具备或使用多于空间流数量的发送天线可以有助于改善MIMO链路的信噪比，通过下列技术之一实现（按照最有帮助到帮助较小的顺序排列）：传输波束成形(transmit beamforming)，空时分组码(Space Time Block Coding - STBC)，空间扩展(spatial expansion，又称循环延迟分集(cyclic delay diversity))，和天线选择(antenna selection)。

要理解这些技术之间的区别，考虑以下类推。如果天线选择类似于在高速上变换车道到路况更好的车道上行驶，空间扩展更像随机变换车道，这使交通挤塞不会变得非常稠密。空时分组码就像沿着两条车道行驶，并将一条车道中的空位与另一条车道中的空位组合，而传输波束成形就像将其他汽车全部移出你行驶的车道。

因此，尽管可用的技术很多，但是**传输波束成形**是提高链接信噪比的最强有力的机制。

传输波束成形

当有多个发射天线时，**传输波束成形**可以调整从各个天线发出的信号使得接收端信号强度有显著的改善。该技术一般用于接收端只有单天线和表面反射障碍较少（如空旷环境）的情况。然而事实证明，将传输波束成形与MIMO-正交频分复用(MIMO - OFDM)技术相结合的解决方案在室内多径环境下同样是非常有用的。例如2x1传输波束成形可以根据数据速率将信噪比提高3至6个分贝。

要了解传输波束成形，可以认为无线信号是一种具有特定波长的波形。当从不同的天线发送两个无线信号时，这些信号在接受端天线进行叠加（如图5）。由于传播的路径不同，两个信号在接收端存在相差。这种差异影响接收端总体的信号强度。通过谨慎调整发射端无线信号的相位，可以最大化接收端信号强度，即增加信噪比。这就是传输波束成形在信号的各个子载波的工作——在发送端对接收端进行聚焦。如图6所示。

图 5. 破坏性干扰

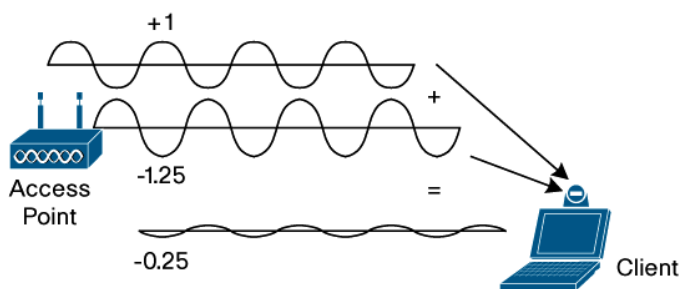
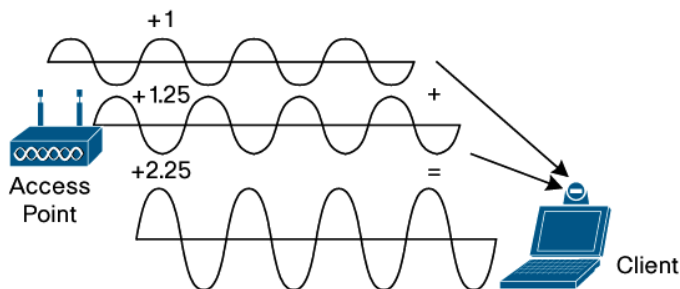


图 6. 传输波束成形(合成建设性的干扰)



乍看起来如果没有接收端接收信号的信息，传输波束成形很难在发射端完成。802.11n标准规定了多种方式来提供这种反馈，但是都作为可选项规定。这些方式需要无线接入点和无线客户端支持一个通用的可选项子集。然而，由于这些零散的选项和实施它们的复杂性，第一代的主流802.11n接入点和客户端芯片组将不会实施802.11n传输波束成形。因此，802.11n的传输波束成形将不会进行认证。802.11n的传输波束成形将会在下一代芯片组上市时才会最终实现。与此同时，思科已经通过提供无需客户端支持的波束成形技术证明了自己的领先地位。²

同时802.11n传输波束成形技术并不能用于802.11a/b/g设备，而正是这些设备才最需要传输波束成形！思科的ClientLink传输波束成形技术正是应用于此，它无需关心客户端是否支持802.11n或是能否提供信号反馈，它只是从接收到的客户端发出的数据包中收集必要信息就可以工作。客户端甚至没有意识到无线接入点侧已经进行了波束成形处理，客户端将以更高更稳定的数据率连接和接收数据。

传输波束成形最有价值之处是当发送数据到单接收端无线设备时提高了数据传输速率。在进行广播或者组播时无法对发射信号的相位进行优化。因此，传输波束成形不增加一个接入点的覆盖范围，因为这很大程度上是由从无线接入点接收信标的能力决定的。而信标是一种广播传送，并不会从波束成形中受益。

时空分组码

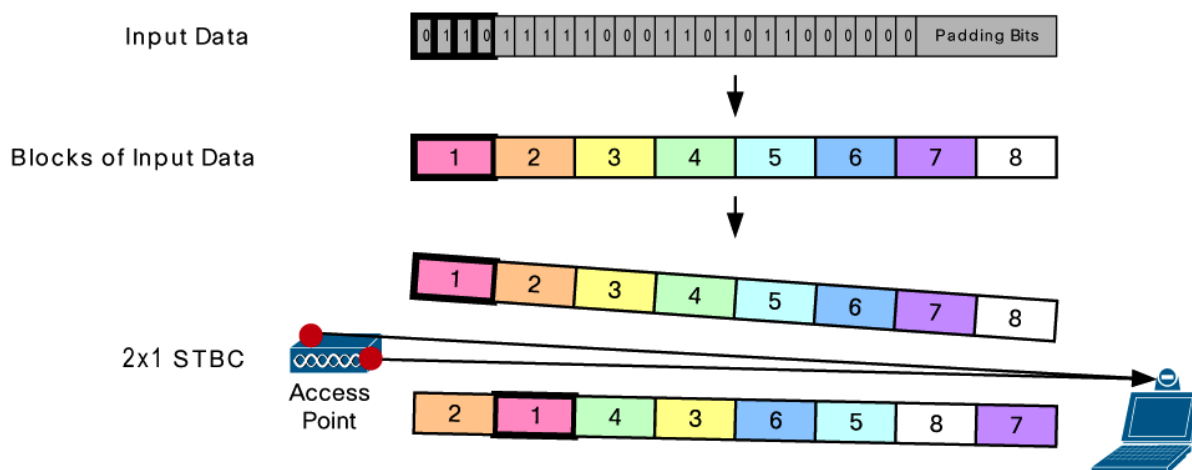
传输波束成形通过协调从每个天线发出的信号提高信道质量，而 **时空分组码 (STBC)** 可以更好的利用为改进的信道。

时空分组码有2x1, 3x2, 4x2和4x3 几种形式，只有2x1时空分组码被Wi-Fi联盟认证。2x1空时分组码将数据划分成块（按一个合适的OFDM符号可以承载的数据比特）。下一步，2x1空时分组码复制两个数据流，每个天线一个数据流，第二个数据流将第一个数据流重新进行排序。考虑第一个数据块，它被在两个发射天线上各传输了一次。这意味着从发射天线到接收天线如果信噪比是好的，数据可以可靠的恢复并接收；一旦它在两路天线上都经历破坏性的多径干扰就无法工作了。

其奇数块伎俩是众所周知的快速时间分集，它通过减少百分之五十的数据速率提高其可靠性。2x1空时分组码则是增加了传输偶数数据块的能力，如图7所示。所有数据块在不同的天线发送两次，因此，从未经改善信道获得分集效果无需牺牲数据率。这些信号被巧妙修改以帮助这一进程，所以在接收端支持空时分组码是必要的。然而，对于小数据包平均数据速率会有轻微损失，因为传输的数据必须充分填充到均匀的两个OFDM符号（而不是一个）中。空时分组码基于空间扩展(Spatial Expansion)，根据数据速率可以将信噪比提高1至4分贝。

² 思科ClientLink波束成形技术-802.11n环境下优化客户端的性能：
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps10092/white_paper_c11-516389.html
http://www.cisco.com/web/CN/products/products_netsol/wireless/pdf/wireless_wb_8.pdf

图 7. 2x1时空分组码



当传输波束成形不可用，只是采用2x1空时分组码的情况下，非常适合无线接入点到手持终端的传输，因为大多数手持终端没有安装第二个802.11n射频链或天线的空间。然而，正是这第二个天线的缺乏也使得手持终端无法利用空时分组码发送数据到其关联的无线接入点

由于无需针对独立的接收端进行优化定制，空时分组码可以很好的用于发送单播、组播和广播数据包。然而，空时分组码是一种物理层的技术，它要求芯片支持。对于802.11n标准是可选的。只要网络中存在一个传统的客户端或一个不支持空时分组码的802.11n客户端，空时分组码就不能用于组播/广播的数据传输。此外，在802.11n草案2.0认证测试时空时分组码是关闭的。由于空时分组码只是一个标准认证的可选组件，大多数802.11n认证的客户端不支持它也未作认证。因此，对于当前市场上客户端的组合，空时分组码对于组播/广播的好处并不重要。

空间扩展

空间扩展，也称之为**循环延迟分集**，是一种将较少的空间流映射到较多的发射天线的基本方法。空间扩展是为了避免无意中在某个随机方向发送过多能量，这经常在信号被复制到多个天线时发生。空间扩展可以提供适度的分集获益。

空间扩展只在某些环境中获益，即没有长多径回声只有短回声。这因信道的不同而不同：子载波往往以相同的方式受多径影响，因此如果一个子载波的信号薄弱，几乎所有的子载波都会薄弱，其结果是信噪比差。空间扩展通过从不同的天线发送附加的信号副本如回声来工作，从而在发射端人工合成多路径效应。空间扩展对于某个独立的子载波可以产生更大的改进，使得信道整体的信号水平平均得到改善。无论物理信道如何，接收方往往会看到一个“平均”水平的信道。但是，空间扩展的应用独立于实际的信道，因此最终的好处是相当有限的。

我们遗憾的看到一些设备供应商提供标有所谓“3x3”设备，实际上是2x3的设备加上循环延迟分集来合成第三路发送信号。虽然第三路发射信号有自己的射频链路和天线，但是没有额外的信息输入第三路射频链，所以没有速度的增加。

尽管思科Aironet® 802.11n无线接入点提供空间扩展的支持，思科仍然建议尽可能采用传输波束成形，因为传输波束成形为客户提供了在困难的传播环境中最需要的可靠性和最大获益范围。

天线选择

天线选择最常用于802.11a/b/g无线接入点。这些无线接入点通常有只有一个射频链，使他们缺乏对传输波束成形、空时分组码、甚至空间扩展的必要的支持。通过考量数据包错误率或接收信号的强度，天线选择决定使用哪根天线来传送数据到客户端是效果最好的。相对于传输波束成形或空时分组码，天线选择是一种生硬的手段，因为它不能基于子载波优化信号，选择最优的天线也需要传输许多数据包来完成。

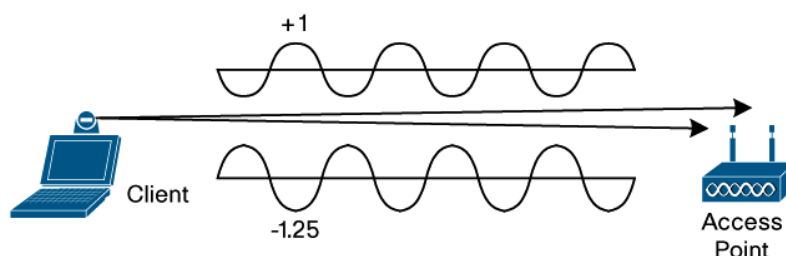
MIMO 均衡

MIMO均衡和传输波束成形是互补的。传输波束成形利用发射天线完成，MIMO均衡利用接收天线使接收到的信号相结合，如图8所示。对于单一空间流的情况，MIMO均衡通常称为最大比合并(Maximum Ratio Combine – MRC)。

回到镜面性质（多径）环境：如果空间流是从一个单一的发射天线到接收天线，发送流经过的路径可能会受到建设性或破坏性的干扰到达接收天线。如果有第二个接收天线，空间流遵循的路径略有不同，因为两个接收天线之间距离一定的空间。有时一条路径在一个接收天线遭到破坏性的干扰，但两条路径在两组天线同时遭受破坏性的干扰不太常见。这种现象被称为**空间分集**，它可以像传输波束成形一样大幅改善（通过MIMO均衡）信噪比（见图2中的“所有”曲线）。

MIMO 均衡是一个提高无线通信的可靠性和可预见性的有效办法。802.11n的企业级厂商包括思科一般提供了三个接收天线和射频链，这将对一路或两个上行空间流信号提供显著的获益，例如笔记本电脑备份，语音服务和视频监控应用。

图 8. MIMO 接收端接收多路信号



空间复用

采用多个天线于实现空间复用提供了MIMO的第二个重要的好处：即能够使用每个空间流承载自己的信息，它将大大增加数据传输率。

802.11a/b/g只允许单一空间流的传输，它像行驶在单车道的道路上。随着空间复用的采用，单一车道变成了一个多车道的高速公路。

为两个空间流使用空间复用至少需要链路中具备两个发射天线和两个接收天线。一般地，S路空间流总是至少需要在发射端具备S路发射天线和在接收端具备S路接收天线。例如，如果发射器或接收器只有一个天线，802.11n物理层数据率在40MHz宽度的信道可达150Mbps。然而，如果它们都具有两个天线和所需的空间复用功能，802.11n数据率可达300Mbps。

随着空间流数量的增加，实现最高数据传输速度变得更加困难。较高的信噪比是必要的，以至于设备需要更接近且传输对Wi-Fi的干扰和周边设备产生的碰撞更为敏感。最高数据率的建立需要高于35dB的信噪比和不到20英尺的范围。因此，在企业环境中部署，有必要通过许多种辅助手段改善信噪比来加固空间复用。这些额外的改进包括：通过较多的发射天线支持较少的空间流来进行传输波束成形和/或MIMO均衡；改进的纠错机制，不对称调制(在后面介绍)；最优的接收算法；和非Wi-Fi设备干扰的缓解。

802.11草案2.0认证测试只对两个空间流设备进行。随着802.11n标准的正式批准，三个空间流也作为可选项进行测试。不过三个空间流提供的好处和两个空间流相比非常有限，除非信噪比的严格要求得到解决，同时目前现存的客户端是由占主导地位的802.11a/g客户端与一个和两个空间流的802.11n客户端，三个空间流的客户端设备目前还没有。

MIMO 举例

举例来总结上述这些观点，两个发射天线的无线接入点发送数据到两个接收天线的客户端有几种选择。如果无线接入点和客户端十分接近且信噪比很好，无线接入点可以发送两个空间流给客户端来实现最高的吞吐量。这类似于在艳阳高照的日子远足，以全部色彩看到景色并获得最好的现场体验。另外，如果无线接入点和客户端距离较远，以至信噪比不好，需要改进，无线接入点应只发送一个空间流。为了可靠地在单个空间流上使用高的数据传输速度，无线接入点可以使用它的其他备用天线进行传输波束成形和/或客户端可以利用其额外的天线提供另一路输入到它自己的MIMO均衡器，从而提高该链接信噪比。这就像远足时，在昏暗的光线下，大多数细致的景色以黑色和白色来分辨。

MIMO链路的获益总结如下：

- 额外接收天线的好处即使在发射端是802.11a/b/g的无线电也能获得。
- 思科ClientLink技术的好处即使接收端不支持MIMO或波束成形也可以获得。但是，基于标准的波束形成，需要发送端和接收端都支持波束成形的相同模式才能实现。
- 空间复用的获益需要MIMO链路两端均支持才可获得

802.11n射频增强

除了应用MIMO技术外，802.11n还利用其他一些射频技术，提高了WLAN的有效吞吐。其中最重要的改进是，增大信道宽度，采用更高的调制速率，同时还减少冗余数据。这一部分会介绍新应用的射频技术及他们对WLAN吞吐量的影响。

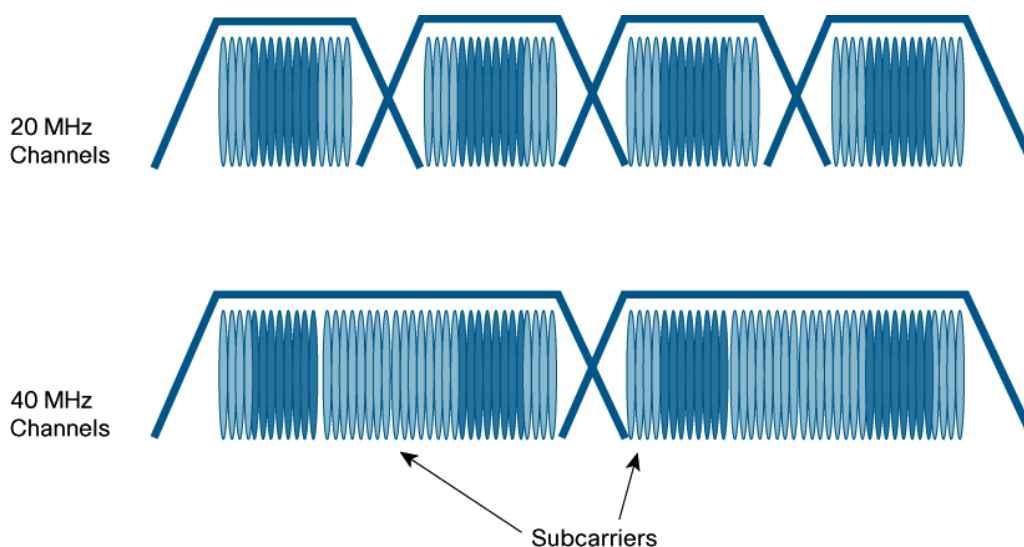
20 和 40MHz 信道

原本的802.11直接序列射频和802.11b增强标准使用的信道带宽为22MHz和25MHz。802.11a及802.11g使用20MHz信道。因802.11g是802.11b的增强，固其也使用25MHz带宽。每信道的数据率是衡量射频效率的重要标准，称为：**频谱效率**，以比特每秒每赫兹(bit/s/Hz)为单位。802.11b的频谱效率为0.5bit/s/Hz(例如11Mbps在22MHz信道)，802.11a及802.11g有稍高的频谱效率，在54Mbps时可达2.7bits/s/Hz。

使用完全相同的技术，802.11a及802.11g的专有网络有时可到达108Mbps。这些专有系统使用简单的技术把802.11a/g数据率增强到原来的两倍。这种技术称为“**信道绑定**”，即同时利用两个信道传输。采用信道绑定，频谱效率跟原先的802.11a/g相同，而信道带宽是后者的两倍，这提供了一种简单的将数据速率提高到两倍的方法。

802.11n使用20MHz及40MHz信道。与前面提到的专有产品类似，40MHz信道由两个相邻的20MHz信道组成。若采用原先单独的20MHz信道，信道最低及最高频段保留一部分带宽避免信道间干扰。而当使用40MHz绑定信道时，这些保留带宽可以用来传输信息。通过利用保留带宽，802.11n的信道应用效率更高，通常可比20MHz带宽的两倍要稍高（如图9示）。

图 9. 20-MHz 和 40-MHz 信道



更高的调制速度

802.11协议最早支持1Mbps和2Mbps的数据率，虽然802.11b（11Mbps）和802.11a/g（54Mbps）的调制方式更加复杂，但其频谱效率大幅提升。802.11a和802.11g改变了信息在射频信号传输的方式。采用了一种新的调制解调技术：**正交频分复用 (OFDM)**。OFDM 把信道分割成大量子信道，每个子信道采用各自子载波信号（如图9示）。每个子载波信号可以独立携带信息。这样做的效果几乎等同于同时进行几个独立射频传输。

802.11a/g中，每个符号持续4微秒，包括800纳秒的**保护间隔**。若达到最高54 Mbps，每个符号要携带216比特信息。这些数字比特分布在48个子载波中。另外，在54Mbps时，每个符号包含72比特纠错信息。即一个符号达到288比特（比率3/4编码器）。为了把这么多比特包含在一个子载波里，子载波采用64位四进制幅度调制（64QAM）。也即是说，每个子载波能携带6比特信息（包括数据信息及纠错码）每符号。

802.11n继续对调制方式演进，和802.11a/g类似，802.11n继续采用OFDM及4微秒符号。然而，802.11n把每个20MHz信道的子载波数由48个提高到52个。802.11n标准对于发射器提供了8个数据速率选择，其中包括采用新的比率5/6编码器使用64QAM调制的数据速率。综合上述改变，对单一传输射频，数据速率可以达到最大65Mbps。通过空间复用，802.11n的同时发射机数目也提高到最多可达四个。在20兆赫信道中，802.11n一共能提供多达32个数据传输速率。对于两个发射机，最大速率为130Mbps。三个发射机提供最大速率195Mbps。四个则为260Mbps。现在频谱效率显著提高5倍，并达到13比特每秒每赫兹。

当采用40MHz信道时，802.11n把可用子载波数提高到108，从而为一到四个发射机分别可提供最大的速率为135Mbps，270Mbps，405Mbps，540Mbps，其中每个发射机有八个数据传输速率选项，对四发射机，总共32个。对于具有额外子载波的40MHz信道，频谱效率可达13.5比特每秒每赫兹。

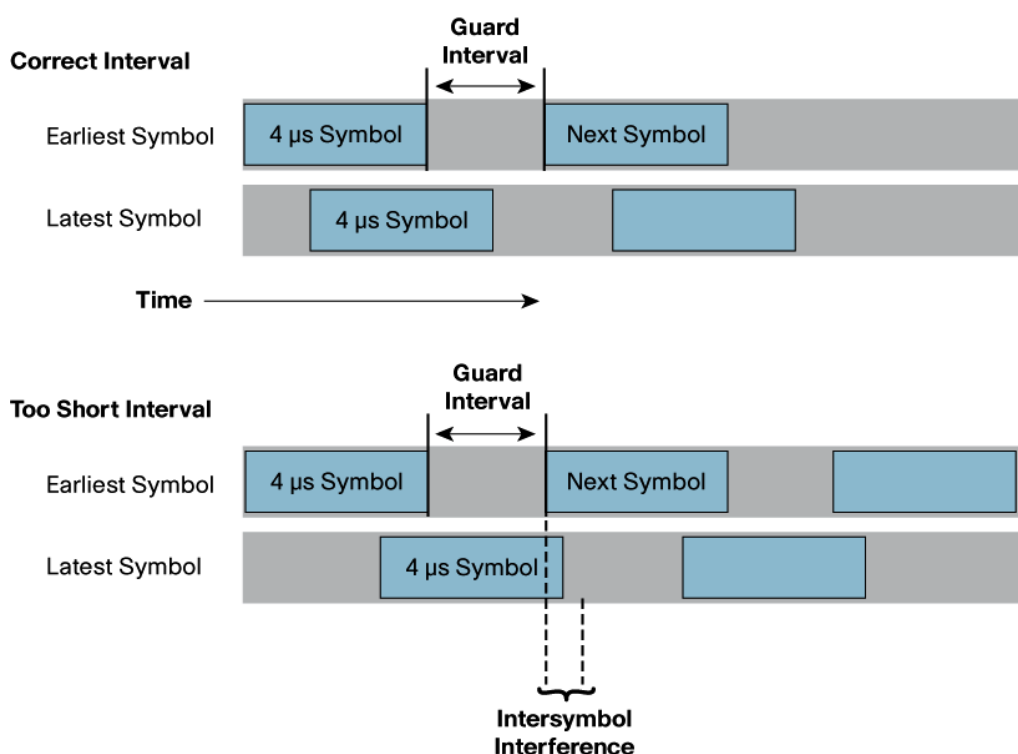
以上讨论的速率对所有子载波都基于相同的调制方式（又称**平等调制**），例如，所有子载波采用QPSK或者64QAM。这与802.11a/g技术是一致的。802.11n可以对不同的流采用不同调制方式。比如，一些空间流采用QPSK，其他采用16QAM，余下的则采用64 QAM。通过**不平等调制**这项技术，大大提高了可用速率的数目。然而，发射机需要接收机提供反馈信息才能判断对于不同的数据流应采用何种调制方法，而这在实际应用中是比较难实现的。

可以看出，40MHz信道是在5GHz的模式加强吞吐的重要手段，因此建议客户应尽量将传统客户端保留在2.4GHz频段，同时将他们的双频客户端通过手动配置或利用思科创新的BandSelect技术迁移到5GHz频段。

更低冗余开销：保护间隔

保护间隔是OFDM符号中用于减少符号间干扰的时间。在多径环境下，后一符号的前端比前一符号的末端更快到达接收机，从而引致符号间产生干扰。前后符号由不同路径到达，前一符号尚未被接收机完全接收，后一符号却由一个更短路径到达（如图10所示）。符号间干扰会降低射频链路的信噪比（SNR）。保护间隔是前后符号间的一段空白时间，可以为迟到信号提供更长的缓冲时间。保护间隔长度根据多径状态选择。在最多800英尺的路径差异下，802.11a/g使用800纳秒的保护间隔。

图 10. 保护间隔



802.11n默认也采用800纳秒保护间隔。然而，假如多径环境中，最长径与最短径差异远小于800英尺，802.11n采用400纳秒的保护间隔。这使符号长度从4微秒减少到3.6微秒。减少的符号时间会相应提高数据速率。对于20兆赫信道，采用一到四个发射机的最大数据速率分别为：72，144，216及288 Mbps，对于40兆赫信道，则为150，300，450及600 Mbps。

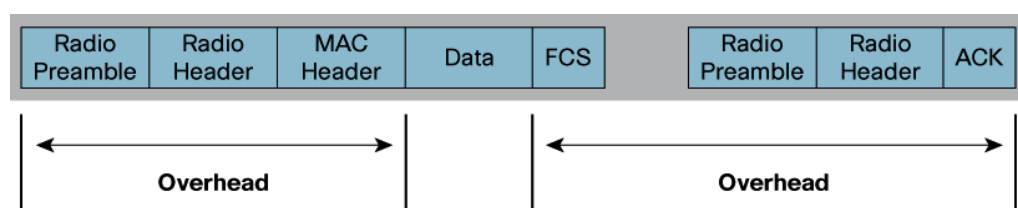
MAC 层增强

在MAC层协议中，有很多固定开销，尤其在帧间及传输每帧收到的确认信息。在最高数据率下，这些多余开销甚至比整个数据帧要长。另外，空中拥塞及冲突也会降低802.11的有效吞吐量。802.11n通过改善MAC层而减少固定开销及拥塞损失。

帧汇聚

通过802.11传输的帧，每个帧都具有固定开销，包含射频前缀及MAC帧头，这些开销会降低有效吞吐，即使数据速率是无限的，也会降低有效吞吐（如图11所示）。

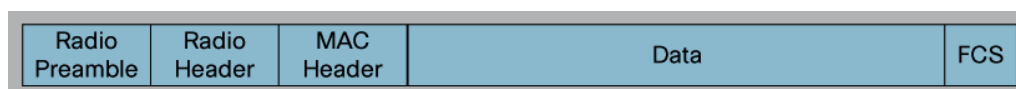
图 11. 开销



为了减少开销，802.11n提出**帧汇聚**技术。帧汇聚即把两个以上帧组合成一个帧传输。

802.11n提供两种帧汇聚方法：**MAC服务数据单元（MSDU—Mac Service Data Units）**汇聚及**MAC协议数据单元（MPDU—MAC Protocol Data Unit）**汇聚。两种汇聚方法都使多个帧开销缩减为一个（如图12所示）。这对大量传输较小的数据包，如语音帧，TCP的ACK消息等等是特别有益的。

图 12. 帧汇聚



因为多个帧以单个传输，潜在冲突时间及回退时间大大减少。为了容纳这些大的汇聚帧，802.11n最大帧长度也从4KB提高到64KB。

帧汇聚的一个局限是，所有汇聚的帧必须要有同一个目的地址。也即是，每个汇聚的帧必须通向同一个移动客户端或者同一个无线接入点。

另外一个局限是，所有汇聚的帧必须在客户或无线接入端同时传输，即构成同一汇聚帧的一些子帧为了等待其他汇聚子帧，有延迟的潜在性。

第三个局限是，信道可传输的最大帧长度受**信道相干时间**影响。信道相干时间由传输环境中，发射机，接收机及其他物体的移动快慢决定。物体移动得越快，则可传输最大帧长度越小，相应的数据速率也会下降。换言之，传输时间必须小于信道相干时间。

两种不同汇聚方法会导致不同的效率增益。下文将分别描述这两种方法。

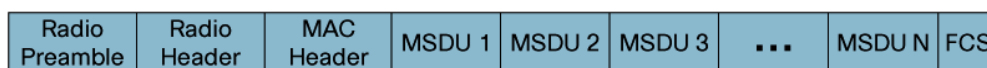
MAC服务数据单元（MSDU）汇聚

MSDU汇聚比MPDU更加有效。它根据无线接入点从以太网口接收帧，通过转换以802.11帧传输至无线客户端。同样的，大多无线客户协议栈产生以太网帧。802.11驱动需要把它转化成802.11帧。

理论上，MSDU汇聚允许将去往不同目的的帧汇聚于一个单独帧传输。实际上，MSDU汇聚收集多个去往同一目的的以太网帧，将其封装在一个单独802.11帧里，然后传输这个802.11封装的以太网帧群（如图13所示）。这个方法比MPDU汇聚更加有效(根据不同设备的能力，MSDU汇聚的帧大小从3839字节到7935字节)，因为以太网帧头远远小于802.11帧头。

图 13. MSDU 汇聚

MSDU = Ethernet Frame



在移动设备上，汇聚的帧被发往无线接入点，并在那里被转发到不同的最终目的地。在无线接入点上，因为每个移动设备只有一个目的地址，所以汇聚到一起的帧都发往相同的移动设备。

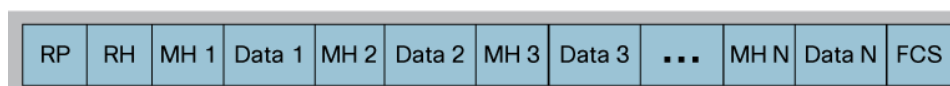
MSDU汇聚会在封装完汇聚帧后自动用目的地的SA对其进行加密。MSDU汇聚帧中的所有帧必须具备一致的QoS等级，换言之，不能将语音帧和通过尽力而为方式发送的帧汇聚到一起。

MAC协议数据单位（MPDU）汇聚

MPDU汇聚与MSDU汇聚有细微的差别。MPDU汇聚不会搜集以太网帧，而是将每个以太网帧都转换为802.11格式，再将这些帧按照相同的目的地搜集起来。这个过程省却了802.11的封装，因为每个帧已经有了一个MAC地址头（如图14所示）

图 14. MPDU 汇聚

RP = Radio Preamble
RH = Rapid Header
MH = Mac Header
FCS = Frame Check Sequence



MPDU汇聚不要求汇聚到一起的帧具有相同的目的地址，这就造成了与MSDU汇聚一样的结果，所有移动设备发送的目的地址是移动接入点，在这里802.11帧进入以太网并转发到最终目的地。类似的，接入点发出的任何一个帧的目的地址也是单个的移动设备。

在MPDU汇聚中，可以802.11目的地的SA对每一个组成帧单独加密。在效果上，这和MSDU采用的做法没有区别。

与MSDU汇聚类似，MPDU汇聚要求所有的成分帧具有一样的QoS等级。

MPDU汇聚的每一个成分帧有一个额外的802.11帧头，对短尺寸和中等尺寸的帧汇聚在这一点上MPDU不如MSDU高效。这种对比在MPDU使用加密的时候变得更加明显，因为MPDU在每一个成分帧上都加上了开销，而MSDU仅仅对一个汇聚帧加密，仅有单个开销。但是另一方面，MPDU汇聚可以创建65,535字节的大尺寸数据帧，它更适合有大量数据需要汇聚的场景。

MAC层汇聚需要802.11n发射端和接收端都支持才能完成，当然其效果极为可观。

确认阻止 (Block Acknowledgement)

为了增加802.11 MAC协议的可靠性，每一个除了组播和广播之外的帧都将被接收方立即确认。MSDU汇聚对这一策略没有修改，和其他802.11帧一样，汇聚帧也会被确认。但在MPDU汇聚中，需要对每一个成分帧逐一确认。802.11n增加了**确认阻止**功能来达到高性能与稳定性的综合要求。

增加确认阻止之后，对单个成分帧的确认会被MPDU汇集中为一个单独的帧发给发送者。这样就可以仅仅对没有收到确认的成分帧进行选择性地重发。在高错帧的环境下，MPDU汇聚的选择重传机制能够提供比MSDU汇聚更高效WLAN利用率，因为只有出错的成分帧会被重传，而不是重传整个汇聚帧，从而大大减少了需要重传的数据。

帧汇聚的标准认证

802.11n标准的认证测试中，所有设备都必须可以接收MPDU汇聚帧和MSDU汇聚帧，但是不测试设备能否发送MSDU汇聚帧。您无需对思科的Airone 802.11n无线接入点有所担心，因为这些接入点能够发送和接收MSDU汇聚帧和MPDU汇聚帧。Cisco Aironet无线接入点选择MSDU汇聚方式处理小尺寸数据包的汇聚，同时也能在MSDU汇聚和MPDU汇聚之间自动选择处理大尺寸数据包的汇聚，以提供最大的可靠性，以及低延迟和高效率。

对于标准802.11n设备进行认证的测试项只包括MPDU汇聚。也就是说，尽管其效率优越，MSDU聚集并非是对802.11n无线接入点厂商的要求。

更低的额外开销：减少的帧间间隔

当无法进行帧汇聚时，802.11n工作在多轮询节能模式(PSMP)下提供了一种减小传送一系列帧到相同或不同目的开销的机制。这种机制能够减小发送帧时的帧间隔。802.11e的QoS扩展集定义了单个发送者在单个有限的“发送机会”内发送突发数据帧的能力。在这样一个“发送机会”内，发送者不需要在发送动作间执行随机退避，这样每一个发送帧之间只用最小的帧间间隔（SIFS）隔开了。

802.11n进一步完善了这个机制，定义了一个更小的称为RIFS（Reduced Interframe Space）的帧间间隔。RIFS进一步缩小了发送帧间的空闲时间，增加了可用来发送数据的时间。

这个机制的两个缺点是，当数据帧是发送到相同目标地址时，汇聚方式比RIFS方式更有效；RIFS被严格限制用于高吞吐模式(greenfield)，不能与之前的802.11a/b/g设备部署在一起。

节能特性

MIMO无线电射频电路非常消耗能源。同时运行多个无线电射频电路则需要更多的能源。为了处理这个问题，802.11n扩展了802.11 MAC层中的能源管理能力。在现有机制和802.11e的自动节能特性的基础上802.11n增加了两个新特性，分别是“空间复用节能（Spatial Multiplexing Power Save）”和“多轮询节能（Power Save Multi-Poll）”

空间复用节能

空间复用节能特性能够让802.11n客户端只保留一个无线射频电路，而关掉其他所有无线射频电路。空间复用节能有两种运行模式：静态模式和动态模式。

静态模式下，客户端只保留一个无线射频电路，使其本质上变成一个802.11a或802.11g客户端。无线接入点将被告知，现在客户端运行在静态单个无线射频电路模式下，无线接入点将只发送单个空间流，直到客户端声明其启用了多个无线射频电路为止。客户端使用一个802.11n定义的全新管理帧来知会无线接入点，客户端现在运行在静态节能模式下。

动态模式同样只保留一个无线射频电路，但客户端能在收到一个启用无线射频电路的帧后快速启用另外的无线射频电路。在接收完毕后，客户端又能够马上关闭相关的无线射频电路收发。在动态模式下，无线接入点在发送数据或管理帧前，先发送一个RTS信号唤醒客户端上相应的无线射频电路。客户端收到RTS信号后，马上启用无线射频电路，并返回一个CTS帧，这时客户端所有的无线射频电路都准备好接收从接入点发出的多路空间流。类似的，802.11n客户端会发送一个新的管理帧告诉无线接入点自己现在运行在动态节能模式下。

多轮询节能

多轮询节能类似于802.11e中定义的HCCA轮询机制。采用HCCA，无线接入点以其固有的高优先级访问信道并保留一定的期限，这称之为无竞争期(contention free period - CFP)。在CFP期间，无线接入点轮询各个关联在其上的客户端。这一机制减少了无线客户端之间和无线客户端与无线接入点之间的竞争。减少竞争也意味着减少客户端在执行退避时占用的时间和和帧成功发送之前占用的时间。当然，客户端可以被在任何时间轮询到，所以它们必须在CFP期间保持在苏醒状态并消耗能源。

使用多轮询节能，无线接入点在发送前首先分配下行（无线接入点至无线客户端）和上行（无线客户端至无线访问点）的广播，组播和单播传输。客户端可以立即确定什么时候他们必须保持清醒，其余的时间可以进入节能的睡眠状态。这样，多轮询节能提供了一个减少竞争的轮询机制，同时还向客户端提供了节能的机会。此外，RIFS只能在多轮询节能模式下使用来获得更大的效率。

然而，多轮询节能无法像不定期自动节能交付(unscheduled automatic power-save delivery - U-APSD)一样有效节能，因为多轮询节能是由无线接入点驱动，多轮询节能要求客户端保持清醒来接收多轮询节能时间安排表。

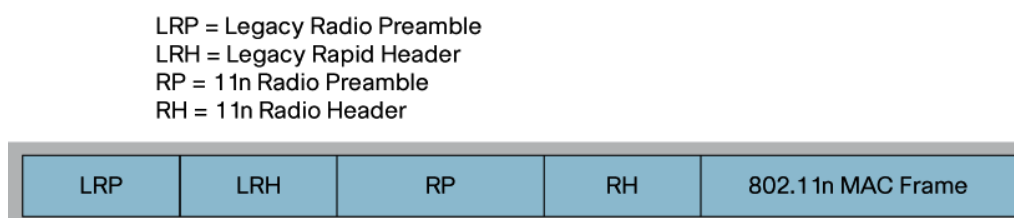
后向兼容特性

与802.11a/b/g兼容对802.11n的成功非常重要。如同802.11g提供了与802.11b设备共同运作的保护模式一样，802.11n也提供了好几种机制，使得802.11a/b/g和802.11n设备能相互理解并在一个范围内工作。

很长一段时间内，802.11n将要在802.11a/b/g设备存在的情况下部署。这种混合模式将持续到一个地区的所有设备都升级到802.11n标准为止。802.11n针对混合模式的保护机制与802.11g非常类似。

和802.11g一样，802.11n发送的信号不能被之前的标准解码。为了保证整个网络不陷入无法控制的干扰和冲突，工作在混合模式（称之为**HT-mixed模式**）下的802.11n会发送能够被802.11a/g标准设备读取的帧格式的前导同步信号和帧头（如图15所示）。这提供了足够的信息，说明现在网络中有一个其他标准的信号传送，并说明了这个传送会持续多久时间。在这个前导信号和帧头之后，802.11n设备开始使用新标准的802.11n数据率和多路空间流发送数据，包括802.11n标准的前导同步信号和帧头。

图 15. HT-Mixed 帧格式

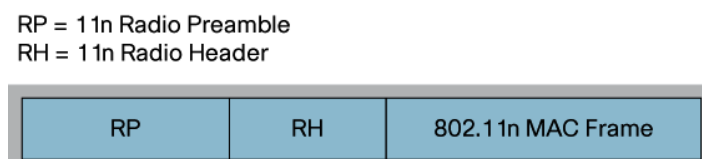


除了发送兼容的前导同步信号和帧头之外，802.11n设备还能使用802.11g中提供的其他保护机制让使用旧标准的设备知道发送数据和执行退避的时机。这种借用802.11g被802.11n使用在802.11g和802.11a上的机制称为“自我CTS”（CTS-to-self）。802.11n设备会发送一个“自我CTS”帧，这个CTS帧包含了足够的信息，能够保护接下来802.11n的传输不被周围的旧标准设备干扰。这个CTS信号必须使用旧标准能够读取的传输方式发送。

使用的兼容的前导同步信号和自我CTS等保护模式特性的开销非常较大，抵消了802.11n能带来的部分好处，在混合模式中802.11n设备的传输吞吐量将会下降。因此，与802.11g类似，802.11n和使用旧标准的设备如果不关联到同一个接入点上，将可避免使用保护模式。如果附近地区有旧标准的设备运行在相同信道上，将使得802.11n设备启用保护模式。

802.11n还可以工作在一种称之为**HT-greenfield**的纯粹模式，即不需要保护机制，也无需向后兼容传统的数据包格式（如图16所示）。HT-greenfield无需增加传统的前导信号和帧头。它减少了12微秒的开销，因此它可以对无法汇聚的短尺寸和中等尺寸的载荷提高效率。另一方面，HT-greenfield的帧格式仍然比802.11a/g长4微秒。因此，HT-greenfield对于采用中等长度的数据包来发送多条空间流帮助不大。

图 16. HT-Greenfield 帧格式



可以预见的是，保护模式将被应用在2.4GHz频段(802.11b 和 802.11g)，直到所有旧标准的设备都被替换。这是因为在该频段内，可用信道数目太少，无法在802.11n和旧标准设备共存的环境中提供足够的纯802.11n信道数。在一些国家，5GHz频段的信道资源比较丰富，这就使得在相同区域内，802.11a和802.11n设备工作在各自独立的信道集内成为可能。这可以使得802.11n工作在高吞吐量模式下，进而完全发挥这一新标准的优势。

无线入侵检测系统

在缺乏802.11n接入点的站点，攻击者将处于优势。这是因为无线入侵检测系统（wIDS）没有足够的能力发现和分类非法802.11n无线接入点，因为802.11a/b/g无线接入点无法理解802.11n的传输。虽然非法802.11n无线接入点应在传统传输速率发送信标帧（以便被传统的客户端发现），但是此行为可以通过配置关闭，这就不排除某些类型的攻击会发生。由于这个原因，关切安全的客户应升级到最新的802.11n无线接入点进行防护。

后向兼容特性：在 2.4 GHz频段使用 40 MHz信道

在世界大部分地区，2.4GHz 频段可以为802.11b/g提供3到4个互相不重叠的信道。在这个频段使用40MHz信道将面临一系列的问题：

- 传统设备在信道1，6和11被大量部署，这些信道之间距离25MHz，混合模式前导为信道绑定提供保护机制，距离20MHz。
- 还有一小部分设备工作在中间的信道(例如信道2，3，4)，这种情况混合模式前导就无法提供帮助了。同样，采用最高数据率发送的自我CTS也无法提供帮助。即使自我CTS以最低的1 或 2 Mbps数据率发送，帮助也极为有限。
- 一种观点是在2.4 GHz频段使用 40MHz信道将会影响其它工作在该频段的无线系统，例如蓝牙等。

基于上述原因，802.11n标准对2.4 GHz频段使用40MHz信道规定了非常高的标准：在802.11n无线接入点可以使用40MHz信道之前，必须没有传统的无线接入点工作在重叠的渠道（除主要信道外）。即使可以使用40MHz信道，无线接入点和客户端必须定期扫描是否有工作在重叠频点的传统无线接入点。一旦附近有802.11b/g/n设备，它将命令802.11n无线接入点停止使用40MHz信道。最后，802.11n无线接入点，可以检测非802.11n通讯设备（如蓝牙或ZigBee）而且它发现它们，同样不能使用40MHz信道，除非该无线接入点可以实现共存机制。

我们看到，802.11n标准允许在2.4 GHz频段运行40 MHz信道是在小心翼翼的“睦邻友好”方式下进行的。这些要求，很难在实践中加以使用。因此40MHz信道最好是在偏僻的地方部署，用在802.11n无线接入点和传统无线接入点没有重叠信道的情况下。在企业中部署还有另外两个问题：

- 2.4GHz频段只支持一个40MHz信道和一个20 (或 25) MHz信道，如何规划信道将是一个巨大挑战。
- 当自我CTS帧以1 或 2 Mbps数据率发送时，系统开销很大，因此一个40 MHz信道的效率要比两个20 MHz信道的使用效率低。

由于在2.4GHz频段使用40MHz信道面临大量限制，以及40MHz信道对企业网络的不利影响，思科不建议 802.11n无线接入点在2.4GHz频段使用40MHz信道。相反，应在5 GHz频段使用40MHz信道。

芯片组

无线接入点通过硬件和软件的结合提供需要实现的一系列功能。思科是业界唯一一家根据需求为其无线接入点创建可定制的，企业级的芯片组来帮助客户解决问题的公司。而其他厂商使用现成的，消费级的芯片组，通常有许多功能在其上执行不力。此外，思科Aironet无线接入点的软件代码根据企业的要求优化定制，而其他厂商则是将消费级的代码翻新使用。因此，性能好坏与否不能仅仅通过功能清单判断，但是考察真正部署在企业级环境中时设备的表现。

802.11n 技术总结

概括总结802.11n技术的优势，简单来说主要在以下两个方面对以前的802.11设备进行了改进。第一是采用MIMO技术在信道上达到更高的信噪比并实现了空间复用。第二是提升了无线射频传输和MAC协议的效率。这些改进使得无线传输的可靠性，可预见覆盖范围，原始数据率和吞吐率上都得到了提高。

可靠性

较大的信噪比对于无线链路传输就意味着更可靠的通信和更高的数据传输速率。更高的信噪比意味着没有更多的干扰来破坏传输。这意味着可以支持更多的客户端接入。

可预见覆盖范围

利用MIMO技术提供的多空间数据流技术来消除在覆盖范围内的盲区。先前受到多路反射信号干扰的区域，现在可以利用它来提供更健壮的通信。

原始数据率

空间复用，40MHz信道和短帧间间隔一起为802.11n提供了远远高于802.11a/g的原始数据率。

吞吐率

802.11n的显著改进在于通过提供更高的数据传输速率为应用提供更有效的吞吐。即使在向后兼容老式802.11设备的混合模式下，802.11n也可以提供较高的吞吐率(低于纯粹的 HT- greenfield 11n 模式)。

迁移到 802.11n

向802.11n标准迁移已经开始并进展顺利。这一进程被802.11n草案2.0的认证所触发，随着802.11n的正式标准化而逐渐深入。支持802.11n的客户端设备(比如笔记本电脑)也已经就绪。新的客户端设备会在几个季度内不断出现，直到802.11n成为手持和移动设备标准的WLAN适配器，现在802.11n已经是笔记本电脑的默认无线网卡。这些客户端设备完全兼容现有的802.11a/b/g无线接入点，与现有设备的操作完全一样。对当前部分网络架构进行升级以支持802.11n设备已经箭在弦上。

规划

当向802.11n网络迁移的时候，需要考虑以下几个方面。由于802.11n无线接入点更高的速度和更多的电源需求，升级过程中需要考虑的方面不仅仅是无线接入点。

无线频段

802.11n可以工作在2.4GHz(802.11b和802.11g)和5GHz频段。对每个频段的规划要单独进行，因为每个频段的要求各不相同。

2.4GHz 频段

2.4-GHz频段的频宽只有不到100MHz可用频谱，在很多国家甚至更小。用于802.11b和802.11g的工作信道同样可以用于802.11n。但使用802.11n的40-MHz工作模式并不推荐，因为频段上很大一部分将受到单一40MHz传输的干扰。除此之外，它要求与原有20MHz频道相级联形成40MHz频道的第二个20MHz频道不能传输任何原有的802.11信息。这极大的减少了任何40MHz传输工作在这一频段机会。

世界上很多地方都使用2.4GHz中相互间没有重叠的三个信道，无线接入点采用单一的40MHz信道将很难提供足够的信道来满足一个大企业的接入需要。即使在这个频段上不使用原有802.11b和g设备，部署使用40MHz信道的接入点也十分困难。在原有层面上很难找到足够的带宽来满足三个没有重叠的信道。

5GHz 频段

5GHz频段在世界上很多地方都已开放。5GHz比2.4GHz有更多可用的信道。大量的可用信道使得设计和部署802.11n网络变得简单，即使是工作在40MHz模式下。

在5GHz频段，至少有两种方式可以迁移到802.11n。第一种方式是在用户预算和其他能力达到的情况下，使用802.11n接入点直接替换原有接入点。这种升级可以在计划时间内完成，或根据需要调整。802.11n接入点在这种方式将取代原有接入点工作信道。新的802.11n接入点会支持802.11n客户端，并同时支持原有802.11a客户端。它将工作在混合模式，为传统的802.11a提供保护机制。当最后一个老式接入点更换完毕，最后一个老式客户端被取代后，802.11n接入点将切换到单一纯粹的802.11n模式。

第二种升级到802.11n的方法是重新分配当前接入点的一些信道为802.11n所用。当预算和需求明确情况下，802.11n接入点可以加入到当前WLAN中，与当前接入点并行工作在重叠区域。但802.11n接入点将只支持802.11n客户端并工作在单一模式下，这将为新标准提供最大的益处。当802.11n接入点覆盖整个区域后，802.11n客户端将可以以单一模式工作在所有地方。与此同时，原有的接入点将继续为老式客户端提供服务。一旦老式客户端全部被取代，原有接入点也没有存在的必要了。

有线网络基础架构

今天，802.11a/g双频接入点在理论上可以在以太网连接上提供108Mbps的传输速率。但实际上由于802.11协议自身效率问题，传输峰值在50到60Mbps之间。

802.11n接入点需要更多的以太网连接带宽。随着更高速率以及协议本身效率的提升，使得支持20MHz信道(2.4GHz)和40MHz信道(5GHz)的单一双频802.11n接入点可以提供峰值在300Mbps到400Mbps之间的以太网连接。这将明显高于单一或两个百兆以太网连接的速率。

由于这个原因，计划升级支持802.11n也应该包括对以太网交换机能力进行升级，使其可以支持1Gbps的连接。802.11n无线接入点。这样就会减少任何802.11n客户端高速接入时可能存在的瓶颈。

电源要求

很多当前使用的802.11接入点都可以使用802.3af标准以太网供电的交换机进行供电。802.11n使用多个无线射频电路，所需电源高于802.3af所能提供的电源。幸运的是，IEEE 802.3工作组对于这已经有了解决方案。802.3at标准将提供802.3af标准两倍的电源，30瓦。802.3at可以为802.11n接入点提供充足的电源。再有就是通过创新的技术优化芯片，使得802.3af可以为之供电并实现最大性能。其它可选的供电方式是电源注入器或电源适配器。

无线接入点的部署

升级到802.11n过程中，无线接入点的部署位置也是需要考虑的方面之一。如果是将现有接入点完全替代，则不需要考虑以后部署的需要。如果是在当前网络中增加新的802.11n接入点，那么802.11n所提供的附加的SNR可以扩展无线接入点的覆盖范围，但这样做的代价是降低802.11无线网络的整体性能，两者反之亦然。SNR就像是存放在银行中的钱，SNR可以用来增加数据传输速率，也可以增大覆盖范围，或者二者都提升一些。但在同一时刻最大限度提升二者是不可行的。

承诺与期望

802.11n标准的最大承诺即是健壮性和吞吐率，健壮性体现在应用的高可用性和无线链路的高可靠性上。只有当所有的无线接入点和无线客户端支持所有802.11n功能时，802.11n才能发挥其最大的潜能。

由于大部分的传统设备继续运行在2.4GHz频段，802.11n仅能够在这一频段提高的系统健壮性和吞吐量屈指可数。与此同时，在5 GHz频段上存在大量上网本和手持终端，出于成本压力，这些802.11n设备只支持一个空间流。由于这个原因，测试得出的峰值吞吐量要少得多。为了实现无线网络最佳性能，客户需要仔细的规划他们的应用和设备，根据实际使用场景进行优化。

结论

随着802.11n标准获得批准，客户可以非常有信心地开始部署新的802.11n客户端、迁移到或增加其802.11n网络基础设施。当然要注意的是，应当谨慎选择合适的802.11n设备。随着时间的推移往往会发现在受控环境下的吞吐量测试很难体现最终的良好使用经验。无线接入点应尽可能和最广泛的客户端设备进行测试。重要的是要考察设备覆盖范围和吞吐率的一致性，并提供最大的可用频率，以及在多种场景(混合模式，高密度客户端等)下基于标准的管理协议和性能优化。

802.11n可以很大程度上提升当前WLAN的能力，加大每用户的吞吐量，提高网络的稳定性以增进用户的使用体验。如果当前网络中有增加新的无线访问点的需求，就可以开始向新的标准迁移，以满足WLAN扩展其系统能力和稳定性的需要。



Americas Headquarters
Cisco Systems, Inc.
San Jose, CA

Asia Pacific Headquarters
Cisco Systems (USA) Pte. Ltd.
Singapore

Europe Headquarters
Cisco Systems International BV
Amsterdam, The Netherlands

Cisco has more than 200 offices worldwide. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Website at www.cisco.com/go/offices.

CCDE, CCENT, CCSI, Cisco Eos, Cisco HealthPresence, Cisco IronPort, the Cisco logo, Cisco Lumin, Cisco Nexus, Cisco Nurse Connect, Cisco Pulse, Cisco StackPower, Cisco StadiumVision, Cisco TelePresence, Cisco Unified Computing System, Cisco WebEx, DCE, Flip Channels, Flip for Good, Flip Mino, Flipshare (Design), Flip Ultra, Flip Video, Flip Video (Design), Instant Broadband, and Welcome to the Human Network are trademarks; Changing the Way We Work, Live, Play, and Learn, Cisco Capital, Cisco Capital (Design), Cisco Financial (Stylized), Cisco Store, and Flip Gift Card are service marks; and Access Registrar, Aironet, AllTouch, AsyncOS, Bringing the Meeting To You, Catalyst, CCDA, CCDP, CCIE, CCIP, CCNA, CCNP, CCSP, CCVP, Cisco, the Cisco Certified Internetwork Expert logo, Cisco IOS, Cisco Press, Cisco Systems, Cisco Systems Capital, the Cisco Systems logo, Cisco Unity, Collaboration Without Limitation, Continuum, EtherFast, EtherSwitch, Event Center, Explorer, Fast Step, Follow Me Browsing, FormShare, GainMaker, GigaDrive, HomeLink, iLNX, Internet Quotient, IOS, iPhone, iQuick Study, IronPort, the IronPort logo, Laser Link, LightStream, Linksys, MediaTone, MeetingPlace, MeetingPlace Chime Sound, MGX, Networkers, Networking Academy, Network Registrar, PCNow, PIX, PowerKEY, PowerPanels, PowerTV, PowerTV (Design), PowerVu, Prisma, ProConnect, ROSA, ScriptShare, SenderBase, SMARTnet, Spectrum Expert, StackWise, The Fastest Way to Increase Your Internet Quotient, TransPath, WebEx, and the WebEx logo are registered trademarks of Cisco Systems, Inc. and/or its affiliates in the United States and certain other countries.

All other trademarks mentioned in this document or website are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (0908R)