

# 应对新一代高吞吐量 802.11ac WLAN MIMO 设计和测试挑战

## Tackling MIMO Design and Test Challenges for Next Generation High Throughput 802.11ac WLAN

作者：Greg Jue 安捷伦科技公司应用软件开发工程师 / 科学家

### 802.11 ac WLAN MIMO 设计和测试挑战

无线局域网不断向传统电子邮件和浏览应用以外的新应用扩展，推动了对更高数据速率吞吐量的需求。为了实现极高的吞吐量，无线显示、HDTV 流 / 分布和快速上载 / 下载数据等新应用促进了两个新的 IEEE WLAN 标准要求。802.11ac 适用于 6 GHz 以下的频率，802.11ad 适用于 60 GHz 频段。

802.11ac 的目标是以最低 1 Gbps 的数据速率在 5 GHz 频段内支持多媒体流 / 数据流的无线分布。一些提高数据吞吐量的关键特性是较宽的通道带宽（例如，连续的 80 MHz 和 160 MHz 或不连续的 80 MHz+80 MHz）、支持可选的 256 QAM 的高阶调制和采用多天技术并支持空间复用的多路输入多路输出（MIMO），预失真和波束赋形可以更好地实现高性能系统。

这个具有挑战性的宽带宽、高阶调制和 MIMO 组合给系统工程师带来了新的设计和测试挑战。支持高阶调制格式（例如 256 QAM）将要求发射机具有更佳（较低）的误差矢量幅度（EVM）性能，来达到总的系统性能。实现较低的 EVM 要求发射机功率放大器（PA）具有更佳的线性、所用的本底振荡器（LO）具有较低的相位噪声（以 dBc/Hz 为单位）以便在发射机中进行频率上变频，并降低 IQ 调制器的 IQ 偏移和增益不平衡。由于这些严格的设计裕量，系统工程师需要在设计早期更深入地分析并预测性能，以平衡系统设

计预算。开始研发和原型测试之后，根据发射机链路测量各个阶段的 EVM 性能非常有用，以测量误差并优化总系统 EVM 性能。

本文将介绍系统工程师如何使用系统仿真，帮助了解其所需的设计性能和设计要求，从而实现发射机系统级标准，例如 EVM。设计硬件之前，系统设计仿真工具能够快速、轻松地进行系统性能预算。完成硬件并开始进行原型和研发测试之后，系统仿真工具与任意波形发生器（AWG）相结合，生成进行 MIMO 测试的宽带宽 160 MHz 波形。然后使用具有矢量信号分析（VSA）软件的多通道相位相干高性能数字示波器执行 SISO 或 MIMO 解调，以测评发射机性能。此外，可以根据发射机链路（IQ、IF、射频）使用含有 VSA 软件的数字示波器进行误差测量，帮助系统工程师优化原型硬件的设计性能。

### 802.11ac MIMO 系统仿真

图 1 显示 802.11ac MIMO 射频发射机的建模仿真设计。左侧通过复杂的基带输出对空间多路复用 802.11ac MIMO 源进行建模，中间对具有 IQ 输入的双通道 MIMO 射频发射机进行建模并在射频发射机输出端进行 VSA 仿真测量，以测量模拟发射机的仿真 MIMO 性能。

工程师可以对各种发射机设计减损进行建模，例如 IQ 调制器相位不平衡、LO 相位噪声（dBc/Hz vs. 频偏）、IF/ 射频滤波器减损和功率放大器（PA）非线性（1 dB 压缩点）。



图 1. 802.11ac MIMO 发射机仿真设计。



图 2. 802.11ac 160MHz 256 QAM MIMO。

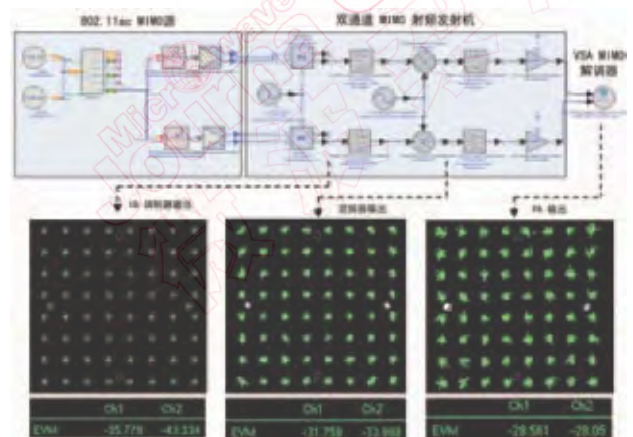


图 3. 测评 64 QAM MIMO 的系统性能预算。

160MHz 256 QAM MIMO 仿真的仿真结果如图 2 下所示。左上角显示两个星座图，左下角是两个以 5.8 GHz 为中心的频谱，右侧显示的是 EVM。由于对设计减损进行了建模，通道 1 和通道 2 EVM 分别约为 -33.3 dB 和 -35.8 dB，在本例中，模拟设计减损对通道 1 EVM 的影响显著大于对通道 2 EVM 的影响。

系统工程师可以轻松地更改参数（例如带宽），测评 20、40、80 或 80+80 MHz 配置，并更改调制阶数，测评不同的 QAM 格式。系统工程师还能够轻松地测评和修改仿真设计（IQ 调制器相位不平衡、LO 相位噪声、IF/射频滤波器减损和 PA 非线性）中建模（modeled）的各种设计减损，以便更好地了解设计需求和平衡预算，从而

达到总的系统级 EVM 标准。

图 3 显示与图 1 相同的设计，并具有针对 160 MHz 64 QAM MIMO 的参数配置。本图修改了一些设计参数（例如，相位噪声和 PA 1 dB 增益压缩）来满足 EVM 设计性能标准，并按照发射机设计，在 IQ 仿真器输出端、IF/射频混频器输出端和 PA 输出端放置一些 VSA 仿真测量元件，以深入分析发射机链路的递增波形减损。

IQ 调制器输出端的星座图非常干净，由于对设计减损进行了建模，通道 1 EVM 约为 -35.8 dB，通道 2 EVM 约为 -43.3 dB。因为空间紧张，只能显示两个星座图中的一个。通道 1 IQ 调制器导致的波形失真高于通道 2 IQ 仿真器。用于从 IF 上变频到射频的混频器输出显示了 LO 相位噪声的额外波形失真和其他混频器减损。通道 1 EVM 约为 -31.8 dB，通道 2 EVM 约为 -33.9 dB。PA 输出显示更多的 PA 增益压缩波形失真。通道 1 总的发射机输出 EVM 约为 -28.6 dB，通道 2 总的发射机输出 EVM 约为 -28 dB。

### 仿真与测试结合，生成和分析宽带 802.11ac MIMO 波形

在研发测试阶段，通过无缝集成到仿真工具的测试设备链路，可以轻松实现仿真。用于在上例中设计射频发射机的 802.11ac MIMO 仿真源现用于将 MIMO 波形下载到两个任意波形发生器（AWG）。复杂的 IQ 仿真波形馈送到两个信号下载器接收机，以便将仿真 IQ 波形下载到两个 Agilent 81180A AWG。此外，信号下载器接收机使用接收机上的参数和数学脚本设置和配置两个 81180 的参数，例如主机/从机关系。

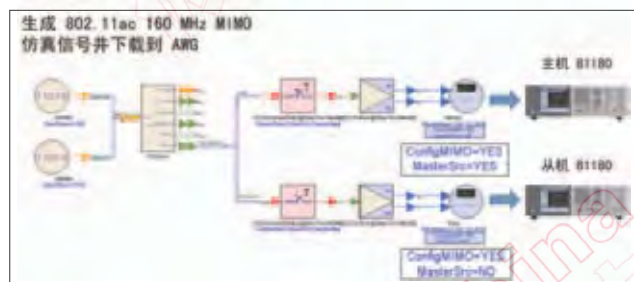


图 4. 生成 MIMO 仿真波形，并下载到 81180A AWG。

图 5 显示 802.11ac MIMO 测试设备设置图。左上角显示两个主/从 AWG，左下角显示将基带信号上变频到射频信号的两个 MXG 信号发生器，右侧是一个包含 VSA 软件的高性能 13 GHz 数字示波器。两个 AWG 后面板使用特定的同步电缆设置主机/从机配置。两个 AWG 输出模拟 IQ 信号连接到射频信号发生器的外部 IQ 输入端，



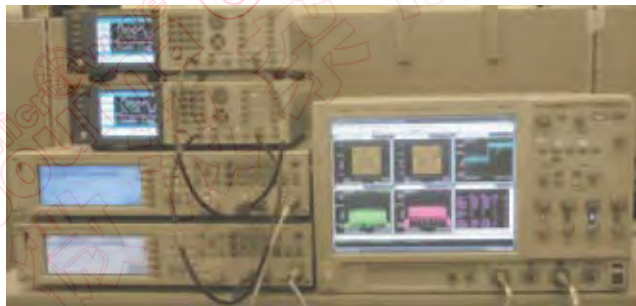


图 5. 802.11ac MIMO 测试设备，具有两个 81180A AWG（左上角）、两个 MXG（左下角）和配有 VSA 软件的 Agilent Infiniium DSA91304A 高性能 13 GHz 数字示波器（右侧）。

来调制 5.8 GHz 载波的 IQ 波形。两个调制的 5.8 GHz 载波输入到 13 GHz 数字示波器的 4 个相位相干通道中的 2 个通道（通道 1 和通道 3）中，以通过 VSA 软件执行射频 MIMO 测量。

如图 6 所示，使用 13 GHz 数字示波器验证主/从 AWG 的两个 MIMO 波形是否完全保持同步。

图 7 详细显示 5.8 GHz 时的射频 MIMO 解调结果，



图 6. 使用 Agilent Infiniium DSA91304A 13 GHz 数字示波器对主/从 AWG MIMO 波形进行时间测量。

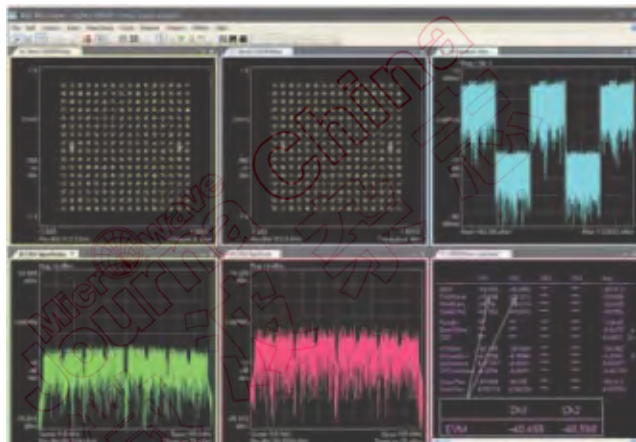


图 7. 使用 13 GHz 数字示波器的 VSA 软件进行 VSA MIMO 解调，将均衡器训练设置为“Preamble, Pilots, and Data”。

回放数字示波器捕获的 VSA 记录结果。

左上角显示两个星座图，左下角是两个以 5.8 GHz 为中心的频谱，右侧显示的是 EVM。通道 1 EVM 约为 -40.4 dB，通道 2 EVM 约为 -40.6 dB，均衡器训练设置为“preamble, pilots, and data”。

均衡器训练设置为“preamble only”时，测得的通道 1 EVM 约为 -36.1 dB，测得的通道 2 EVM 约为 -36.4 dB。均衡器训练设置为“preamble, pilots, and data”时，均衡器估计是所有测量符码的平均值，生成一个高精度、低噪声的均衡器估计。对于 802.11ac，EVM 的典型变化在 2 到 4 dB 之间。

高性能数字示波器的多通道、相位相干功能还可以支持系统工程师根据发射机链路（IQ、IF、射频）在各个阶段执行测量，帮助调试原型硬件中出现的问题。

## 总结

实现新一代 WLAN 应用的高数据速率吞吐量在宽通道带宽、高阶调制格式（例如 256 QAM）和多天线 MIMO 支持方面给系统工程师带来了新的设计和测试挑战。本文介绍系统级仿真如何帮助深入分析性能要求和设计进行折中，以解决这些新的设计挑战。开始研发测试之后，可以使用集成的测试设备链路将仿真与测试设备相结合，来进行硬件原型测试。

MIMO 测试实例如下，通过仿真生成波形并下载到两个主/从 AWG 中，将仿真 IQ 波形变成物理 IQ 波形，来进行硬件原型测试。两个信号发生器与 AWG 结合使用，生成调制的 5.8 GHz 测试信号，然后使用高性能 13 GHz 数字示波器和 VSA 软件对该信号进行测量，以显示 MIMO EVM 测量结果及均衡器训练对 EVM 的影响。

仿真、AWG 和信号发生器组合提供灵活的波形和信号生成功能，帮助系统工程师应对新一代 WLAN 测试挑战。除了本文介绍的基本 MIMO 信号生成功能，还可轻松生成具有建模减损的波形，将波形下载到 AWG，以测试“假设怎样”情景及对原型硬件进行极限测试。使用高性能多通道相位相干数字示波器能够对 MIMO 信号进行分析，并在各个阶段根据发射机链路执行性能测量。

## 参考文献

“Testing New-generation Wireless LAN” 安捷伦应用指南

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-8856EN.pdf>