

# 整合高性能仪器和 FPGA, 实现最佳 WLAN 测量



## 概览

在下一代无线局域网白皮书中已经讨论了最新的 802.11 标准存在的一些问题。众所周知，测试工程师都想尽快找到测试该标准的测试设备。大多数测试工程师发现使用最佳性能的昂贵盒式仪器的传统方法已经无法适用于该情况。出现该问题的原因十分简单：测试工程师急需各种资源，主要包括时间、预算和空间。当前测试工程师已通过各种新技术来缩减预算并减小空间，以及加快测试和开发时间。NI 提供的用户可编程 FPGA 仪器可帮助测试工程师解决这些问题。本文章主要讨论通过现场可编程门阵列 (FPGA) 针对 802.11ac 进行测试的优势。

## 目录

1. [WLAN 测量入门指南](#)
2. [软面板](#)
3. [多用户 MIMO \(MU-MIMO\)](#)
4. [用户可编程 FPGA 的优势](#)
5. [获取最佳 EVM 值](#)
6. [相位跟踪](#)
7. [通道跟踪](#)
8. [正交偏移补偿](#)
9. [添加减损](#)
10. [传输频谱屏蔽](#)
11. [测量速度](#)
12. [总结](#)

## WLAN 测量入门指南

NI PXIe-5644R 是业界首台矢量信号收发仪(VST)。该 VST 的特点是高达 80MHz 的实时带宽以及最高至 6 GHz 的中心频率。该仪器同时包括可编程 FPGA，可用于提高测试速度或实现各种实时算法，如快速傅立叶变换(FFT)、功率控制以及调制或解调等。完整的 WLAN 测试仪器的宽度为三个 PXI Express 插槽，并包括可用于待测设备(DUT)控制类型应用的数字 I/O 端口。

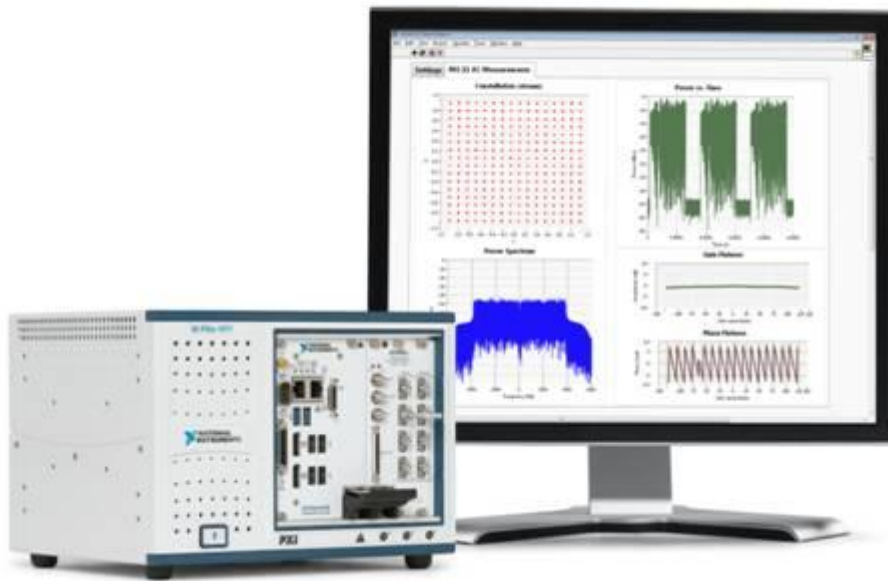


图 1. NI PXIe-5644R 是用于 WLAN 测量的最佳选择，可编程 FPGA 允许用户根据需要定制仪器。

## 软面板

[NI WLAN 分析工具包](#)提供的软面板可通过 NI PXIe-5644R 使用快速生成或采集功能。该分析软面板可用于调制或频谱测量。通过软面板和多达 4 台 NI PXIe-5644R 也可获得 4x4 MIMO 配置。

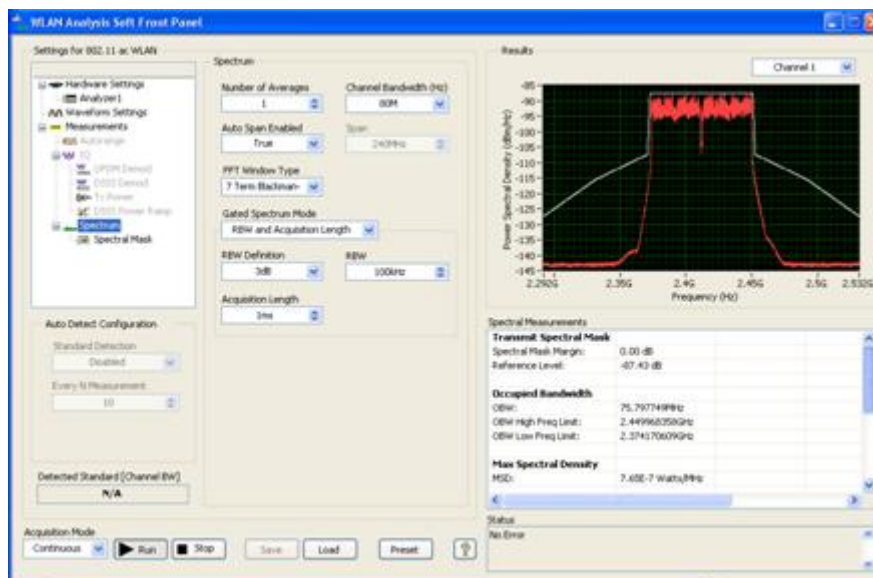


图 2. 利用 NI WLAN 分析工具包可方便地使用 NI PXIe-5644R 进行测量。

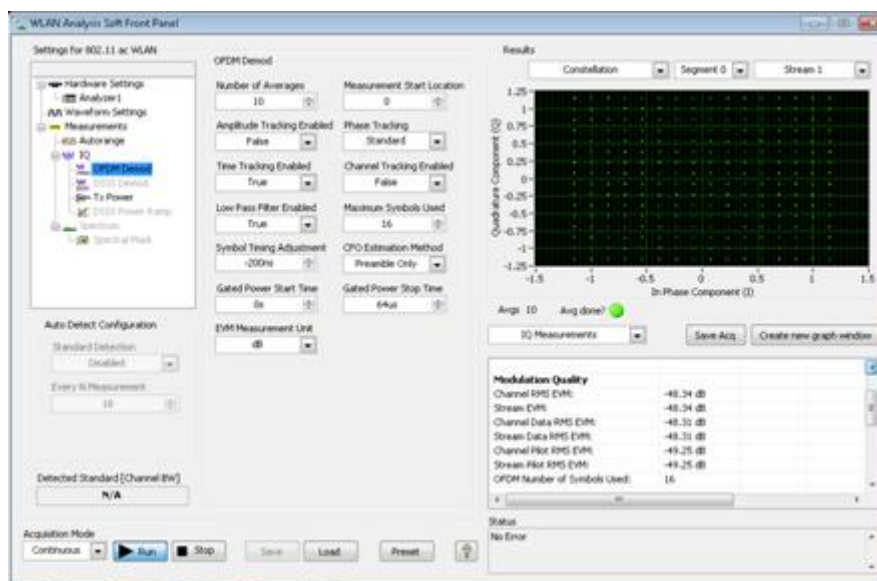


图 3. 利用 NI WLAN 生成工具包可生成 80 MHz 带宽的 802.11ac 信号。

802.11ac 可支持 5 GHz 波段并强制包括 20、40 和 80 MHz 带宽。支持 160 MHz 当前为可选项。可选项还包括非连续 80+80 MHz TX 和 RX 带宽。

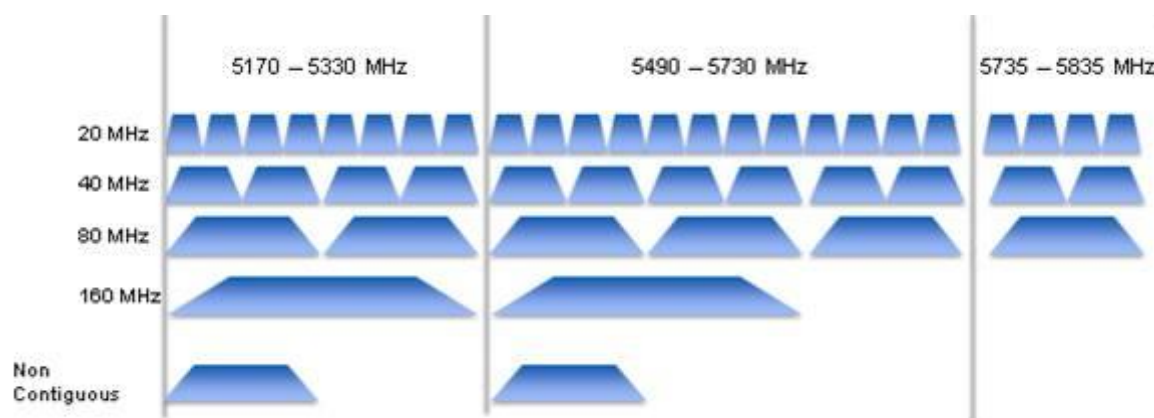


图 4. 802.11ac 波段分配

IEEE 草案要求 802.11ac 标准可向后兼容 802.11a 和 802.11n 的 5 GHz 波段，以便允许同时存在不同标准。部分其它强制规范包括：80 MHz 带宽、256-QAM 调制、高达 8 条空间流、多用户多输入和多输出(MIMO)。

当使用最大带宽 160 MHz、8x8 MIMO 配置、256-QAM 和短保护间隔时，802.11ac 理论上可获得最大 6.93 Gbit/s。当使用 80 MHz 带宽、4 tx 通道以及 256-QAM 调制时，平均数据率为 1.56 Gbit/s。

以下步骤可用于计算下列配置的数据率：80 MHz 带宽、带 800 ns 保护间隔的 64-QAM 信号以及一条空间流。基本上有 234 数据载波（242—8 导频）。符号率计算方式如下：256/80 MHz + 800 ns (GI)。将数值代入数据率公式可得：

$$\text{数据率} = \frac{NBPPSCS \times NSD \times R}{TSYM}$$

$$\text{数据率} = \frac{6 \times 234 \times 5/6}{4\mu s}$$

$$\text{数据率} = 292.5 \text{ Mbit/s}$$

其中

NBPPSCS = 每子载波每空间流的编码位数

NSD = 每频段的复数数据数

R = 码率

TSYM = 符号间隔

## 多用户 MIMO (MU-MIMO)

MU-MIMO 可允许一个终端同时与同一个波段的多个用户收发信号。MU-MIMO 属于高级 MIMO 技术，可利用多个独立无线电终端以便提高单个终端的通信能力。单用户 MIMO 仅考虑使用实际连接至每个单独接线端的多个天线。

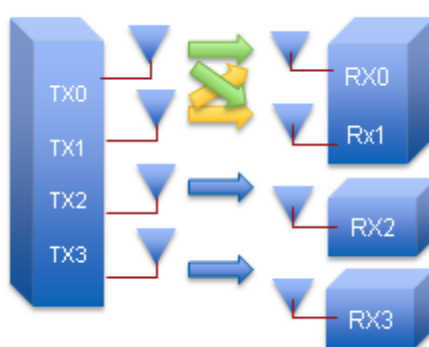


图 5. MU-MIMO 属于 802.11ac 的特有概念，可允许多个接收器。

PXI 平台通过背板以及 NI PXI 仪器中嵌入的同步和内存核心(SMC)芯片可提供同步能力，使得该 PXI 平台尤其适用于 MIMO。通过 NI-TLCK 技术，可在多个分析仪和发生器（甚至多个连接机箱）间获得高达 0.1 相位偏移度。

此外新的 NI PXIe-5644R VST 提供更小尺寸，可允许在单个机箱中使用多达 5 个 VST 以便创建完整的 5x5 MIMO 系统。通过传统盒式仪器实现类似系统时将会需要更复杂的线缆和仪器设置。

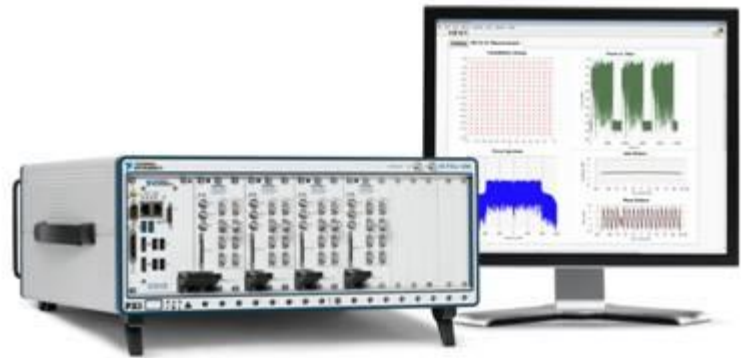


图 6. 一套 4x4 MIMO 802.11ac 解决方案可方便地置于一台 18 插槽 PXI Express 机箱中。

## 用户可编程 FPGA 的优势

虽然在射频仪器中使用 FPGA 并不是新概念，但 NI PXIe-5644R 为用户提供了新的可编程 FPGA。FPGA 可用于以下应用：

- 伺服
- 自动增益控制
- 调制和解调
- FFT 和平均
- 通道仿真

传统盒式仪器将会限制使用诸如 FFT 和触发等算法。对盒式仪器使用的 FFT 或触发进行自定义通常十分困难。类似于在手机上自定义各种应用，新的基于软件的仪器可允许工程师根据需要对仪器进行完全自定义。

## 获取最佳 EVM 值

随着调制方式越来越复杂，保持高质量的信号变得更加重要。表 1 显示了 802.11ac 中不同调制方式的 RMS EVM 要求。

调制	码率	RMS EVM
BPSK	1/2	-5 dB
QPSK	1/2	-10 dB
QPSK	3/4	-13 dB
16 QAM	1/2	-16 dB

16 QAM	3/4	-19 dB
64 QAM	2/3	-22 dB
64 QAM	3/4	-25 dB
64 QAM	5/6	-27 dB
256 QAM	3/4	-30 dB
256 QAM	5/6	-32 dB

表 1. 802.11ac 中调制方式的 RMS EVM 要求

测试设备通常需提供比规范要求（如 -32 dB 用于 256 QAM）高至少 10 dB 的测量能力，从而提供足够的空间用于特征和产品测试。如图 7 所示，NI PXIe-5644R 可提供业界领先的 EVM 值。

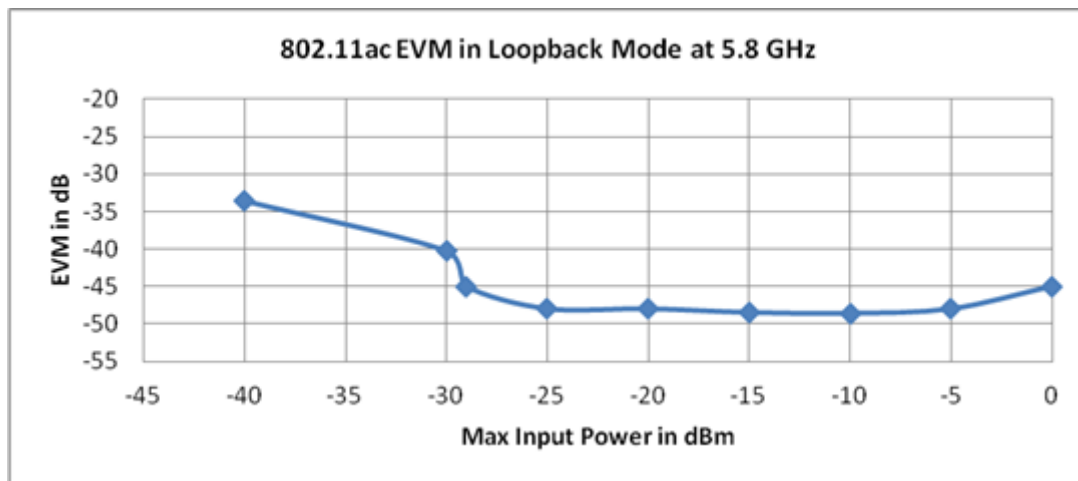


图 7. 使用 NI PXIe-5644R 的 802.11ac EVM 环回模式

针对所有无线标准和测试设备，可以通过调整软件和硬件以获取最佳测量方式。[使用 NI PXIe-5665 VSA 进行相邻通道失真测量](#)中讨论了可用于信号分析仪的部分硬件优化。

下面将讨论诸如相位跟踪、通道跟踪、正交偏移补偿等其它优化方式。

注：以下图片均使用通过 NI PXIe-5644R 环回模式生成和采集的 80 MHz、MCS 9 802.11ac 信号。

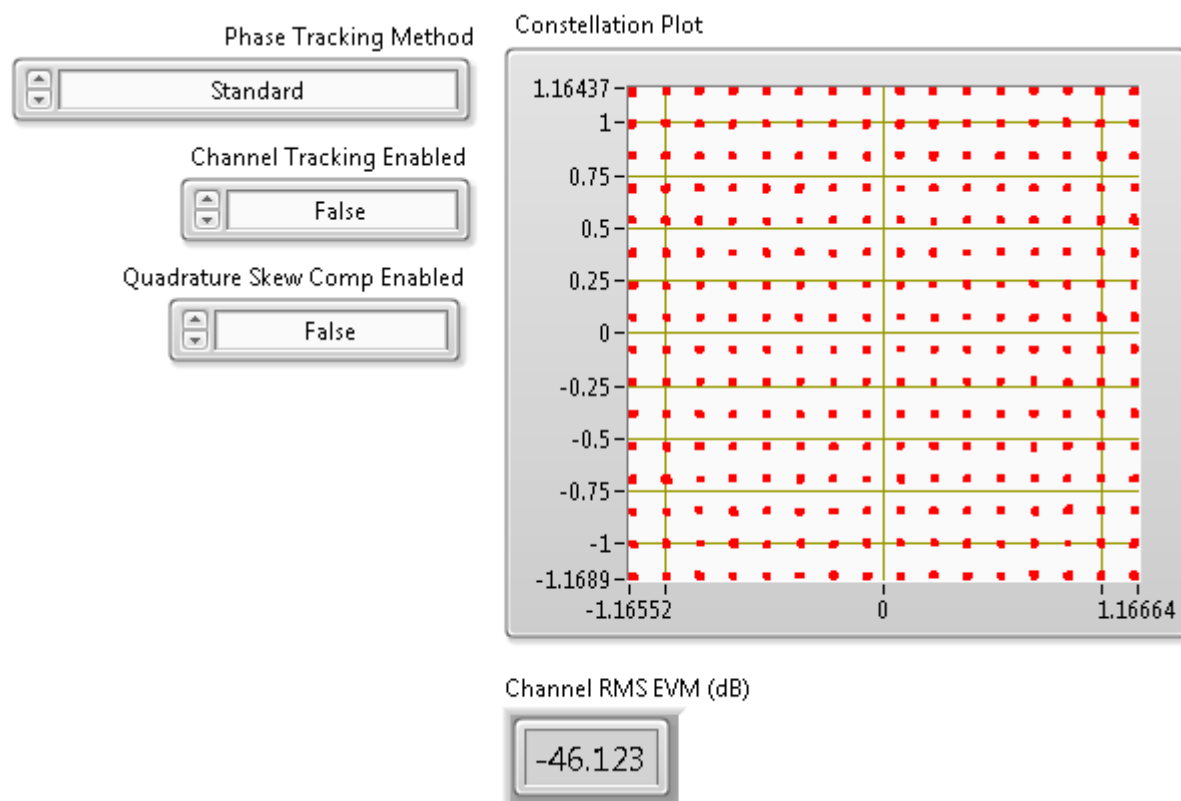


图 8. NI PXIe-5644R 可对 80 MHz 256-QAM 信号进行-46 dB EVM 测量。

## 相位跟踪

相位跟踪可用于跟踪由残余频偏和相位噪声引起的调制符号的相位变化。如果将正交频分复用(OFDM)相位跟踪方法设置为标准，根据 IEEE 标准 802.11a-1999 的 17.3.9.7 章节和 IEEE 标准 802.11n-2009 的 20.3.21.7.4 章节指定，该工具包可对 OFDM 符号执行基于导频的通用相位误差纠正。

如果将 OFDM 相位跟踪方法设置为瞬时，WLAN 分析工具包可对 OFDM 符号执行基于导频的通用相位误差纠正，以及在每个调制符号中补偿相位失真。IEEE 标准中并未定义该类型补偿，但该补偿对于确定幅值中调制失真和相位误差十分有用。通过该相位跟踪方法，该工具包仅计算误差向量幅度(EVM)，EVM 为对包长度和不同子载波的复数调制符号变化引起的误差。

默认值为标准。

注：下图为放大的 256-QAM 信号图。为了更好的说明参数变化效果，下图仅显示了 4 个符号。



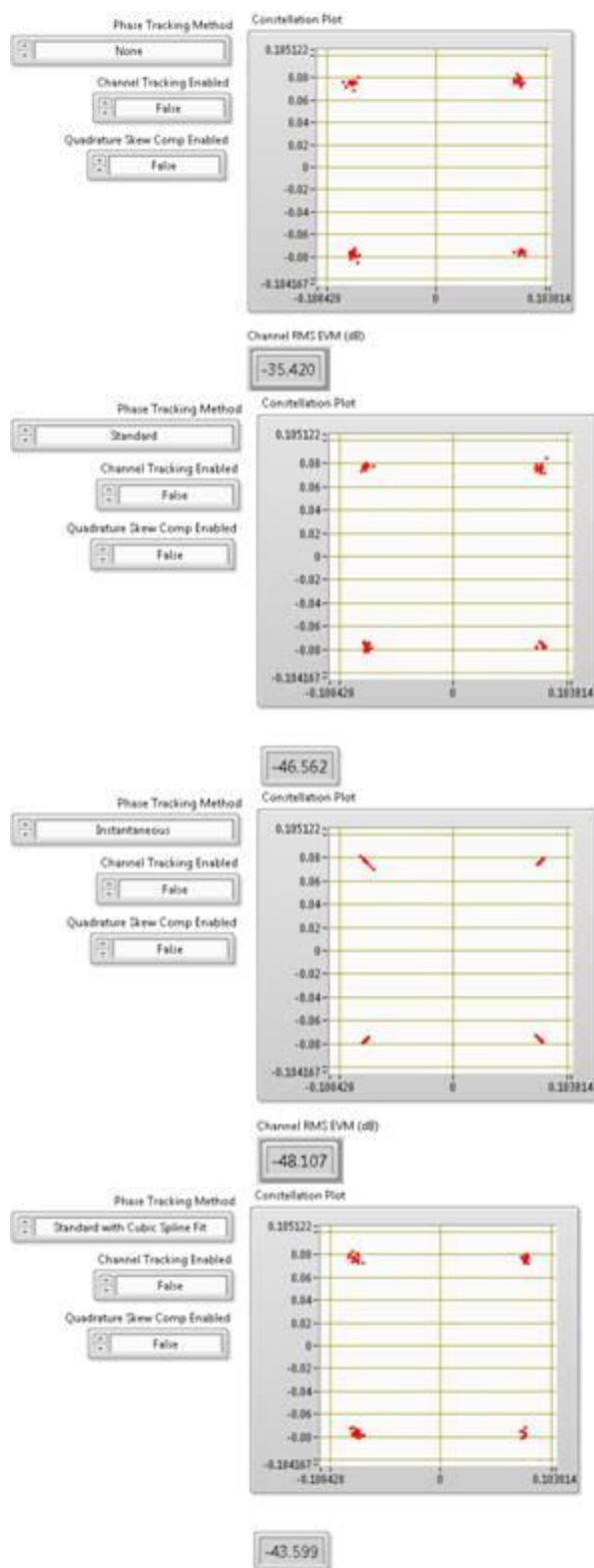


图 9. 上图显示了 80 MHz 802.11ac 信号进行相位跟踪对 EVM 数的影响。该图表在 256-QAM 信号图中仅显示了 4 个符号。

## 通道跟踪

通过启用通道跟踪，WLAN 分析工具包可估计前导包和数据的通道响应，然后将该响应作为整个包的通道频率响应估计。如禁用通道跟踪，该工具包可估计长训练序列 (LTS) 的通道响应，然后将该响应作为整个包的通道频率响应估计。

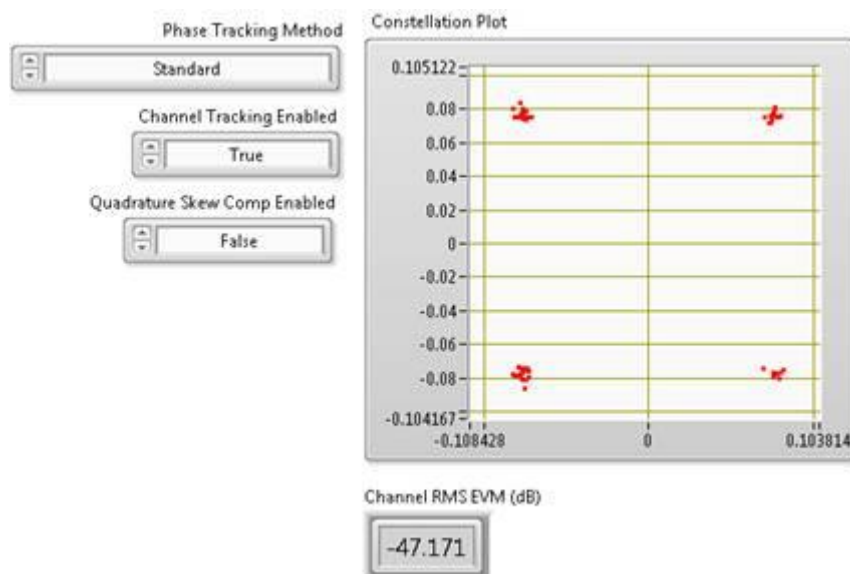


图 10. 启用通道跟踪的效果

## 正交偏移补偿

WLAN 分析工具包也可以补偿由于发生器/DUT 引起的相位偏移。图 11 显示了带正交偏移的信号。正交偏移补偿最适用于带大量点的调制方式（如 256 QAM）。

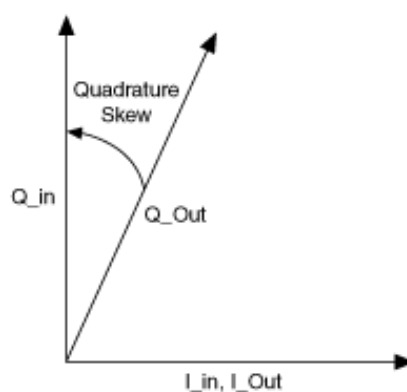


图 11. 带正交偏移的信号

256-QAM 信号图（已放大为仅显示 4 个符号）显示了正交偏移补偿的效果。

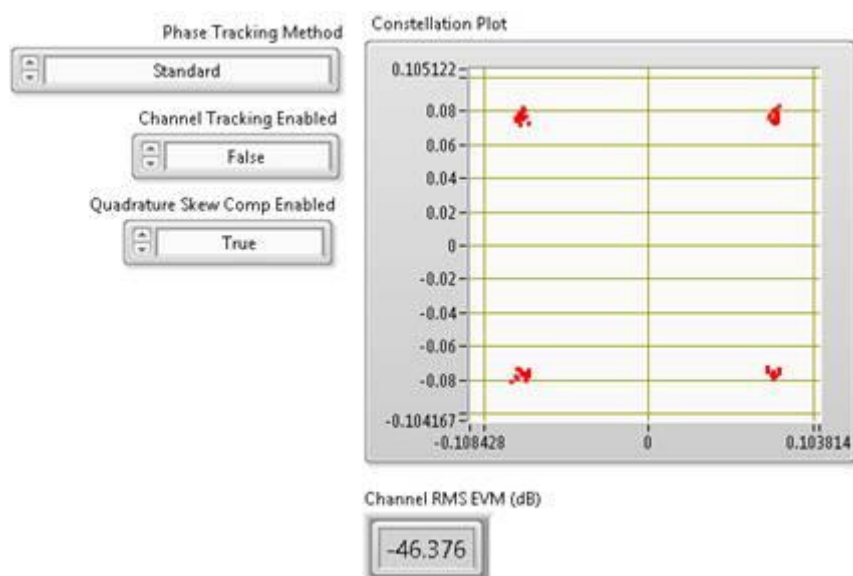


图 12. 启用相位偏移补偿的效果

## 添加减损

NI WLAN 生成工具包也可以在生成信号中增加减损并查看 DUT 的响应。通过 WLAN 生成工具包可添加以下减损：

- 载波频率偏移
- 采样时钟偏移
- IQ 减损
  - 增益失调
  - 直流偏移
  - 正交偏移
  - 定时偏移
- 载波噪声比

## 传输频谱屏蔽

802.11ac 要求强制 80 MHz 频谱屏蔽测试。可选项也包括 80+80 MHz 和 160 MHz 频谱屏蔽测试。80 MHz 段可以为连续或非连续（在不同波段中）。

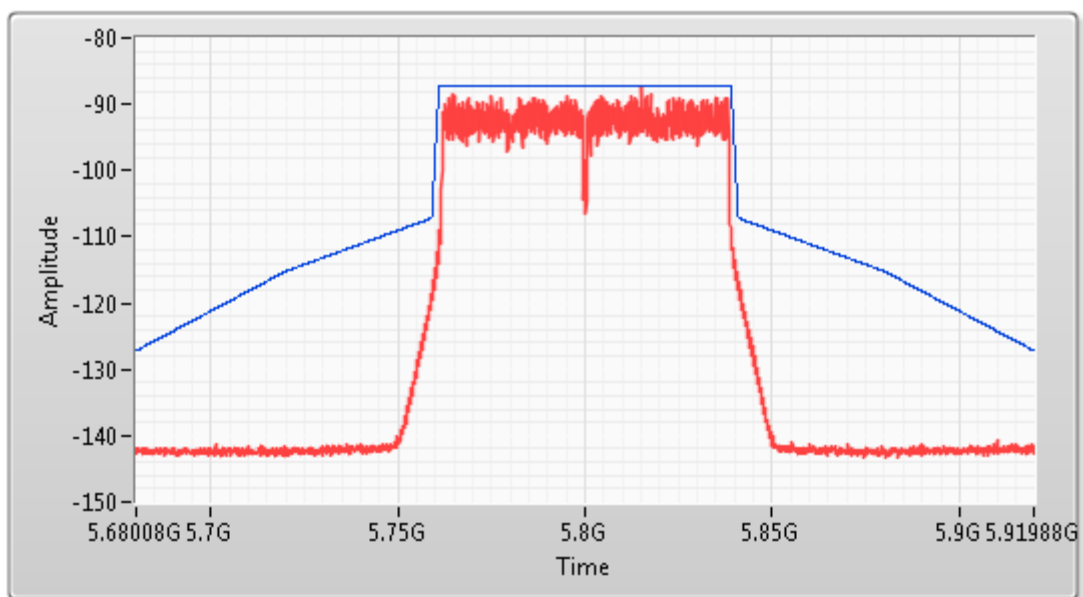


图 13. 80 MHz 802.11ac 信号的频谱屏蔽测量

工程师可以通过两个同步的发生器或分析仪生成并采集 80+80 信号。如图 14 所示，如果两段属于不同波段，将在每段中应用常规 80 MHz 频谱屏蔽，但当两段属于同一波段并且为连续时，将在信号中应用叠加的频谱屏蔽。

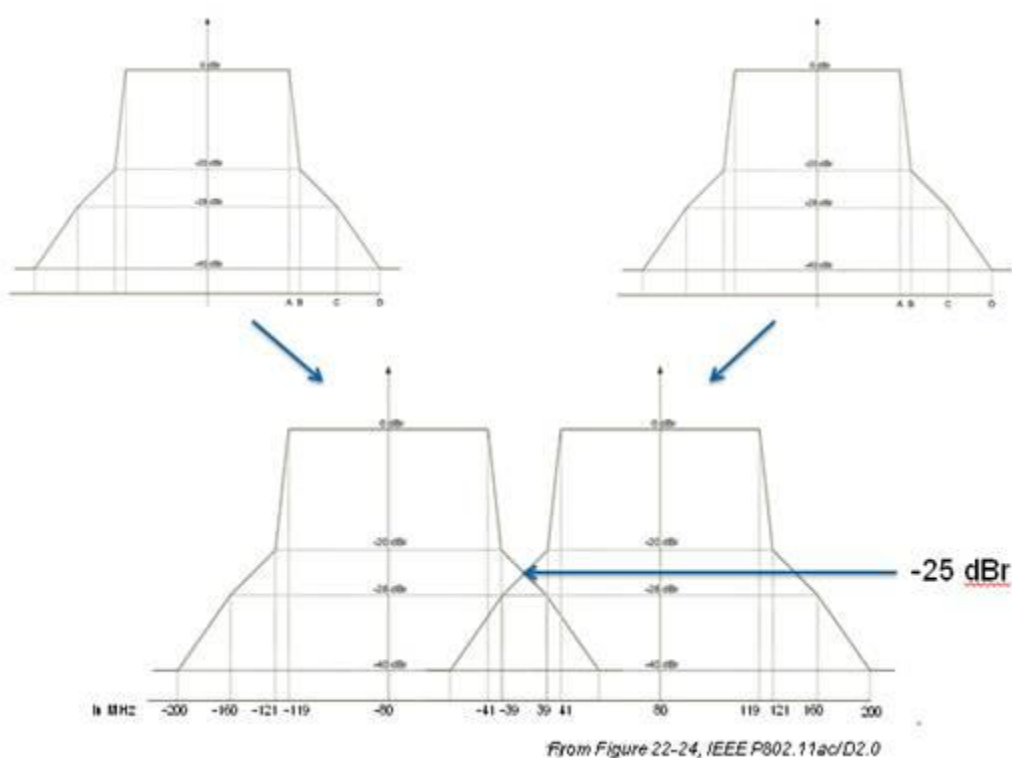


图 14. 80+80 802.11ac 信号的频谱屏蔽测量

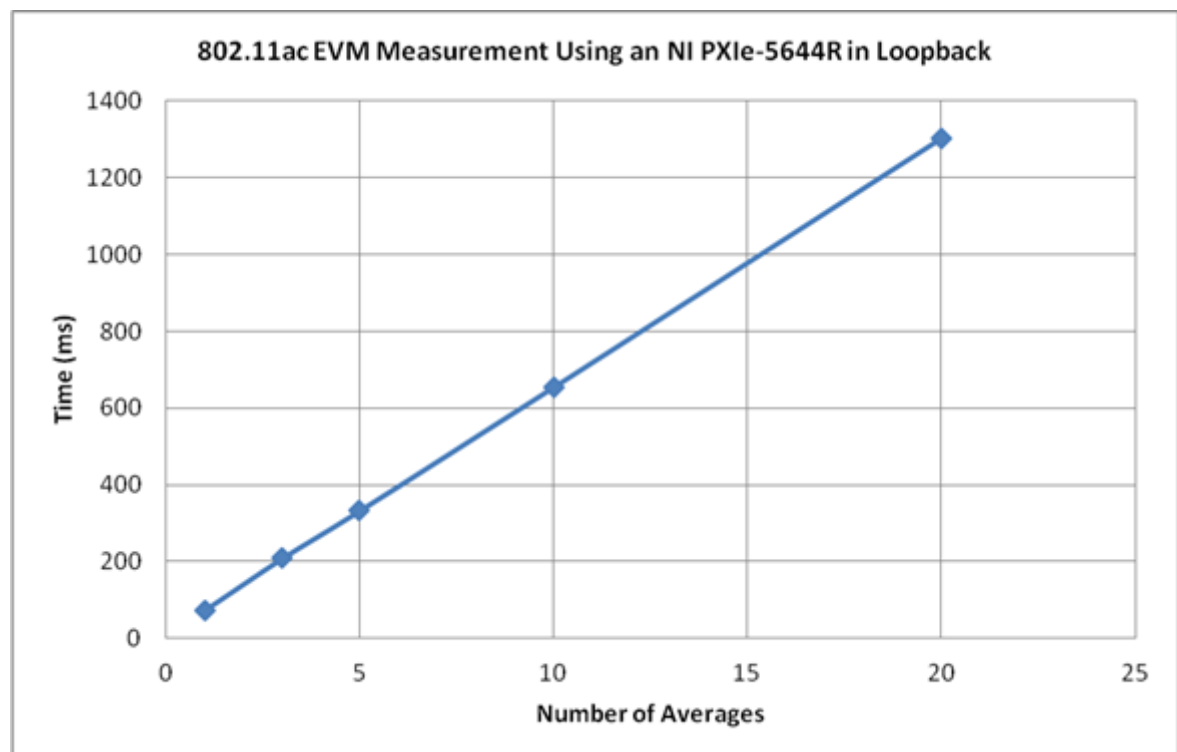
## 测量速度

所有测试工程师都面临缩减测试时间的挑战。在特定环境中，工程师需要保证新产品的稳定测试流程。在生成环境中，测试工程师需要以最快时间测试尽可能多的参数。

PXI 平台可为仪器以及使用的处理器提供模块化方法，测试工程师提高测试速度的最简便方法就是使用最新最快的处理器。在传统箱式仪器中尝试升级处理器将会十分困难。工程师们很大程度上依赖于仪器制造商来提供最新的处理器。通过 PXI 系统，工程师自己即可购买高性能计算机来执行所有处理计算。

NI 射频仪器已在主控计算机中实现所有调制/解调以及处理计算，该主控计算机可以嵌入 PXI 机箱或者使用由 PXI 系统控制的外部计算机。

图 15 显示了在 802.11ac 中使用不同平均数执行 EVM 和频谱屏蔽测试所需的测试时间。



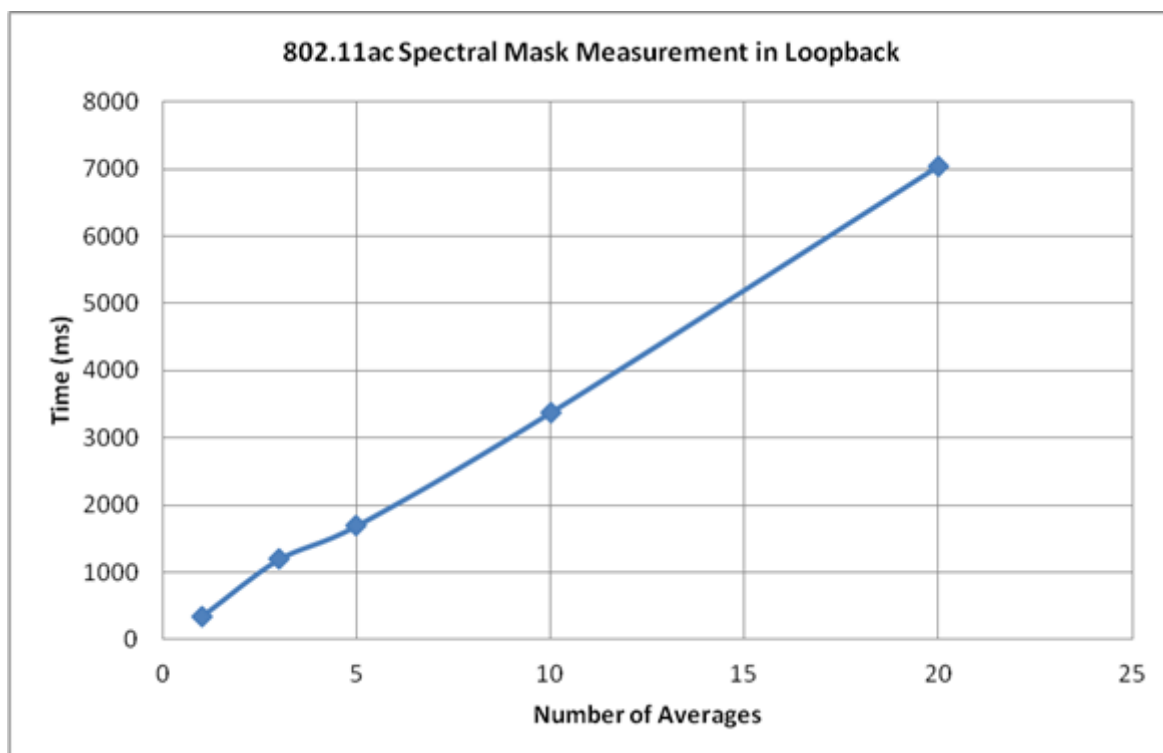


图 15. 执行 EVM 和频谱测试的测试时间

## 总结

NI PXIe-5644R 的速度、性能、体积和灵活性使其成为 WLAN 测试的理想仪器。通过开放式架构，用户可以对仪器进行 FPGA 级别的各种自定义，从而实现复杂的触发解决方案，工程师甚至可以在仪器中实现通道仿真。

