Agilent MIMO
产线测试解决方案

应用指南

Agilent Technologies

序言

本应用指南详细介绍了 Agilent 802.11n 多路输入多路输出 (MIMO) 测试解决方案的功能。该解决方案由 Agilent N4010A 无线连通性测试仪选件 108 和 Agilent N4011A MIMO／多端口适配器组成，主要面向从事大批量 MIMO 器件、模块和子系统制造的生产经理和工程师。该测试设备具有经济高效、测试覆盖范围广泛的特点，以及故障诊断功能，能够为客户提供一个快速、精确且可靠的测试解决方案。N4010A/N4011A 仪器增强的诊断功能也会为后期的研发与设计验证工程师提供极大的帮助。

MIMO器件制造商可以在测试设备类型、供应商以及配置之间进行选择，从而满足其特定的测试需求。本文还将比较两种应用最广泛的制造领域测试方法，并提供相关实例，以说明 Agilent N4010A/N4011A 解决方案的优势和劣势。

产线测试方法

MIMO射频器件的多通道体系结构以及严格的性能要求向产线测试系统的设计提出了一定挑战，较之单通道802.11a/b/g无线局域网(WLAN)器件，每个器件上发射机和接收机数量的增加意味着测试时间和复杂程度的线性增加。鉴于测试成本直接正比于测试时间，理想的选择是采用一种能够最大限度地缩短测试时间，同时保持质量、精度及可重复性的测试方法。

通常，测试配置包括以下4种不同类型:

1. 传统 —— Golden radio (GR)、频谱分析仪、信号发生器和功率计
2. 多通道、一体化测试仪(OBT)或多个同步OBT
3. 单通道OBT加GR
4. 单通道OBT

如欲了解有关这些测试配置比较的更多信息，请参见Ewan Shepherd编写的《解决MIMO无线局域网制造领域测试中的新挑战》"Addressing the New Challenges of MIMO Wireless LAN Manufacturing Test"(**www.agilent.com/find/mimo_manufacturing**)。

尽管多通道／多箱配置可以在最广的范围内提供真正的MIMO测试，但其高昂的测试设备成本限制了此类解决方案在研发实验室的应用。大部分MIMO器件制造商因此选择了单通道／单箱OBT测试配置，而部分制造商计划将多通道被测件(DUT)连接至单通道OBT。此测试配置能够提供适中的MIMO测试范围、极快的测试速度和较低的拥有成本。

MIMO 制造领域测试最常用的两种方法是功分器／合路器或开关矩阵与 OBT 结合使用 (图 1)。

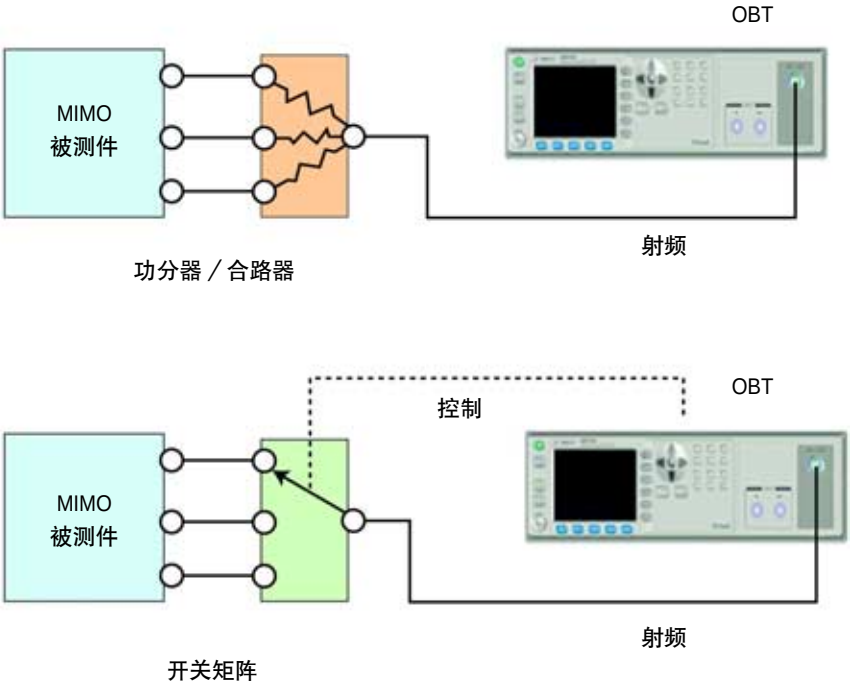

图 1. 使用单通道 OBT 的 MIMO 测试配置

N4010A/N4011A MIMO 制造领域测试解决方案使用开关矩阵法，提供由 N4010A 及其配套软件控制的全校准测量。

N4010A/N4011A 描述和操作方法

N4011A 多端口适配器是一个 1/4 单元宽、2 单元高的模块，可以安装在 N4010A WLAN 测试仪的侧面，组成一个 19 英寸宽的复合仪器 (图 2)。N4011A 可以通过一条短的半刚性电缆实现与 N4010A 的射频连接，电源、数据和信号控制线则由连接两个仪器的多路串行电缆提供。

图 2. Agilent N4010A 和 N4011A MIMO 产线测试解决方案

N4011A 可同时连接多达 4 个被测件通道，以使用快速固态开关向 N4010A 传送信号。此外，它还提供 REF 端口，支持 Golden radio (黄金样机) 直接连接至被测件端口或 N4010A。

N4011A 中的所有射频路径都分别使用仪器 EEPROM 中存储的 S 参数进行了表征。连接后，N4010A 会下载这些参数，并在测量过程中自动将其作为路径损耗补偿应用，以确保始终保持最佳精度。N4011A 的射频设计也可以提供大于 50 dB 的通道间隔离。

N4010A/N4011A 采用了多个捕获单一分析的方法，来执行 MIMO 发射 (Tx) 测量。下面以设置为同时在双通道上连续发射信号的双通道器件为例。被测件连接至 N4011A 的被测件端口 1 和 2。将 N4010A 配置为在第一个射频脉冲 (或帧) 上触发，并在端口 1 上捕获该脉冲 (或帧); 之后 N4010A 会自动将 N4011A 切换至端口 2，重新准备触发并捕获第二个帧。尽管要连续捕获这些帧，但切换过程仍然非常快。图 3 显示了这个过程。

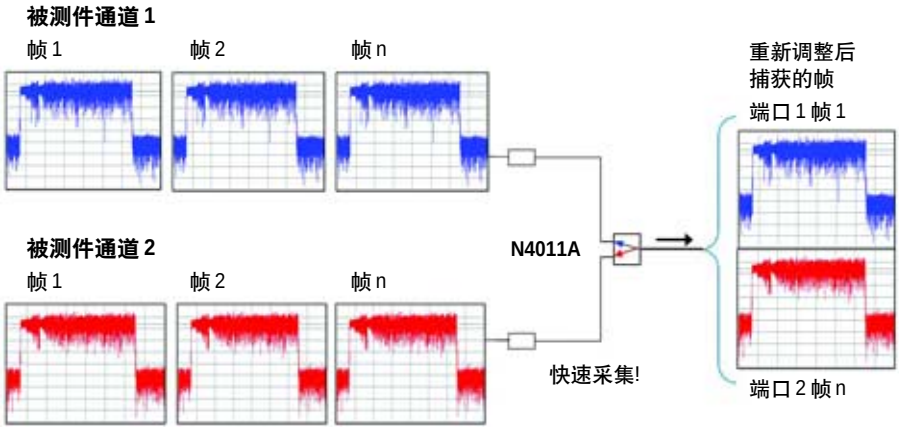

图 3. 双通道 MIMO 信号的连续捕获过程

采集的数据会结合起来并传输到解调算法。该算法与业界标准 Agilent 89601A矢量信号分析 (VSA) 软件使用的算法相同。因此，该算法可以解调数据，就像同时采集数据一样，这可以得出所有的解调结果，包括通道和流误差矢量幅度 (EVM)、突发功率、交叉功率、通道响应和突发信息。实际上，结合N4011A 的通道隔离性能，该算法可处理 MIMO 通道矩阵。

发射测量

被测件测试方案的第一部分通常会涉及被测件的校准和校正。成功完成第一步后，测试过程会进入到参数测试阶段。此阶段的测试应当谨慎选择，以便最大程度地覆盖已知失败机制，同时尽力缩短总体测试时间。本节我们将讨论此阶段测试所需的典型发射测量，并评价 Agilent N4010A/N4011A 测试解决方案的测试范围、分辨率和速度。在适当的情况下，我们将使用图 1 所示的功分器／合路器方法进行比较。

Tx EVM

相对星座图误差或发射 EVM 是一项关键测量，因为它衡量的是器件的发射调制质量。由于EVM性能会受到MIMO射频功能(数字)操作以及模拟射频效应的影响，因此这并不是一个纯参数测试。安捷伦连续捕获过程支持独立通道EVM测量，且允许被测件在所有通道上连续发射信号。它是一个代表器件实际运行的配置。安捷伦解调算法可以有效地处理通道矩阵，因此该解决方案可以提供独立的流 EVM 结果(图 4)。

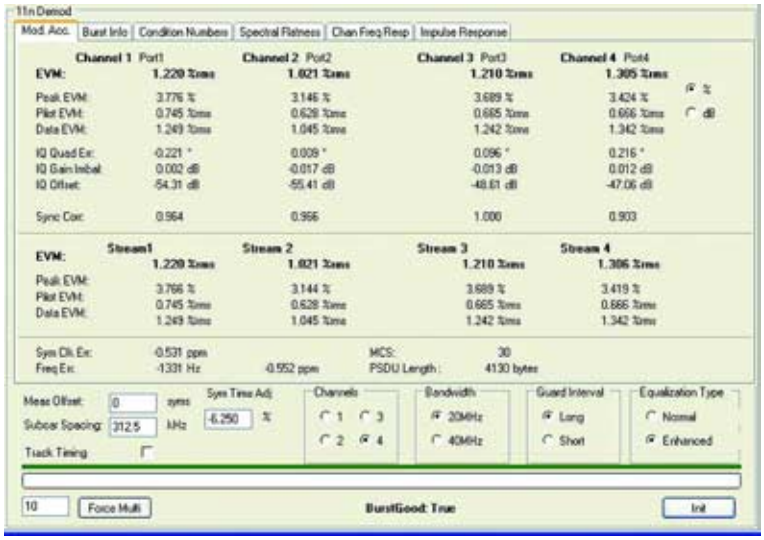

图 4. 在 Agilent N4010A 虚拟前面板上显示的 EVM 结果

在被测件是直接映射模式时(每个空间码流直接映射到对应的发射通道)，解调是最简单直接的方法。这在图4显示的实例中十分明显: 通道和码流EVM值相同。虽然必须使用连续捕获技术在不同时间(即不是同时)捕获不同通道上的脉冲，但假如载荷数据和扰码器种子值在所有脉冲上保持一致，空间映射信号仍可成功获得解调。图5显示了直接映射与空间映射(空间扩展)信号的差异。

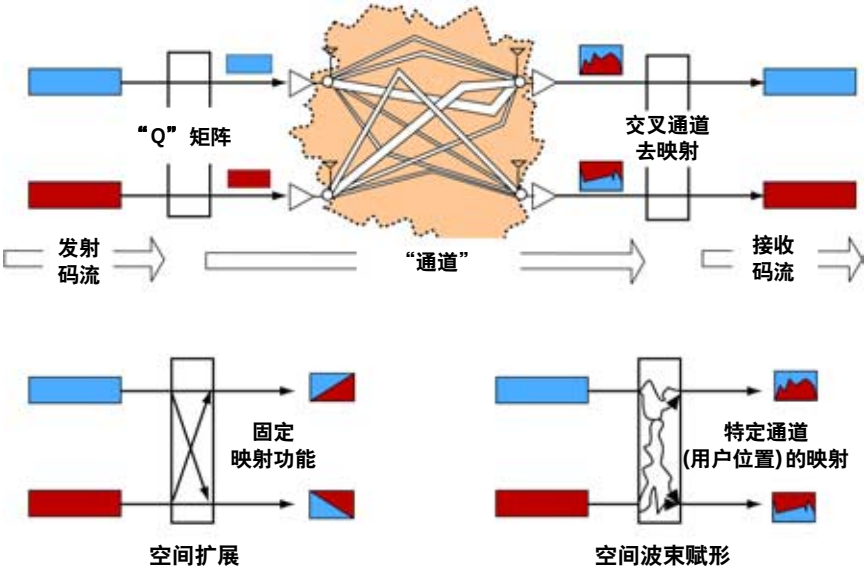

图5. 直接映射、空间扩展和波束赋形信号

由单一分析计算出的解调结果还可以提供其他有用数据。如图4所示，除了每个通道和码流的峰值、导频和数据EVM外，单一分析还可以计算IQ方误差、增益不平衡和偏置。(注意，使用多个配有Agilent 89601A VSA软件的数字转换器也可获得以上所有结果。)

相比之下，使用OBT和功分器／合路器测量多通道被测件的EVM需解决以下问题。OBT上显示的数据为单个发射通道的叠加，从而得到I和Q值的矢量和。这可以使被测件发射已知数据，来创建“复合”星座图，从而计算“复合”EVM。但是，这种方法通常难以识别误差原因，因此可能会导致较差的EVM，而且无法提取交叉功率测量(参见“Tx交叉功率和通道隔离”)。

Tx 交叉功率和通道隔离

交叉功率值是诊断被测件故障最有用的结果之一。例如双通道MIMO器件在直接映射模式下，测量通道2泄漏到通道1中的功率量，反之亦然。交叉功率测量结果加上EVM结果，可以精确诊断出发射机间多余的信号泄漏，而引发的原因包括接地不良、射频泄漏、印制电路板装配(PCA)制造故障等。Agilent WLAN驱动软件也能够以图形格式显示通道频率响应。图6显示在直接映射模式下从双通道被测件测得的一组典型结果。圈中的两个图形显示了通道间的信号泄漏量，继而给出了发射通道间的隔离量。

尤其当被测件在空间映射模式(空间扩展)下运行时，所有通道隔离或泄漏效应都会被发射通道中空间流的有意映射掩盖。这种情况下，交叉频率值可以衡量所用空间扩展的度(取决于Q矩阵)。

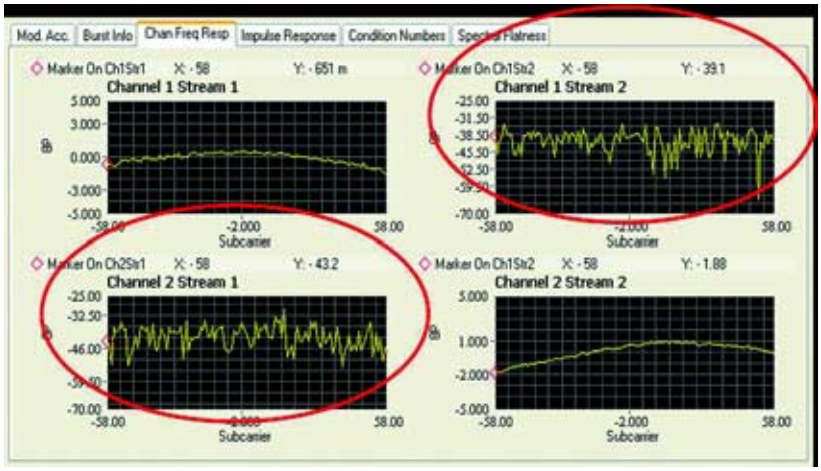

图6. 显示通道隔离的通道响应图形

相比之下，如果OBT与功分器／合路器结合使用，将不可能以这种方式提取通道隔离或独立通道频率响应的信息。因此，使用此测试配置时，无法快速诊断并修正影响这些参数的生产或设计错误。

Tx 功率

使用 Agilent N4010A/N4011A 测试解决方案，在同一数据解调过程中，不仅可以返回 EVM 结果，还可自动计算发射功率测量，消除了对被测件进行二次测量的麻烦。因此，使用 Agilent N4010A/N4011A 解决方案可以在被测件于所有通道上同时发射信号时，快速测量其单个通道功率。图7显示Agilent N4010 WLAN 虚拟前面板 11n 解调选项卡下突发信息页面 (图 8) 的详情。

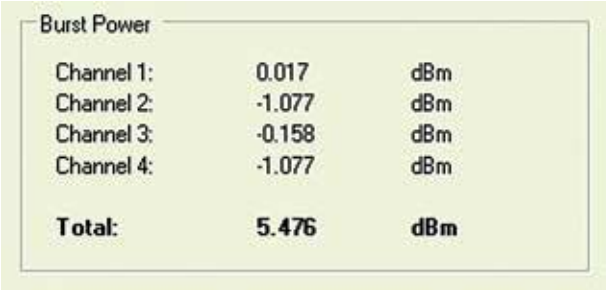

图 7. 突发功率和总功率结果的详细显示

图 8. 11n 解调选项卡的突发信息页面; 20 MHz greenfield 信号, 直接映射

使用 OBT 与功分器／合路器的测试配置，通过将被测件打开和关闭其发射机的过程进行测试，则只能测量被测件的单个通道功率，因而可能会掩盖有源发射机之间多余的交互。此外，需要更多被测件控制能力的测试方案可能会将测试时间耗费在被测件控制和被测件设置上。如果被测件发射机不做开关切换，使用功率合路器测得的功率将会是所有发射机的总功率。但是，此配置下通过的测试结果可能使部分发射机以过高功率运行而部分发射机以过低功率运行的结果，因此存在风险。

Tx 频谱模板测试

Tx 频谱模板测量 (例如模板裕量和模板违规) 通常在“每个通道”上执行。Agilent N4010A/N4011A测试解决方案支持单个被测件发射机频谱发射测量，同时允许被测件持续发射信号，从而最大程度地降低了被测件控制时间，继而减少了总体测试时间。

使用 OBT 与功分器／合路器的测试配置，如果将被测件打开和关闭其发射机的过程进行测试，则只能测量被测件的单个通道频谱。与功率测量测试类似，此过程也可能掩盖有源发射机之间的交互，同时增加被测件控制时间。另一个选择是使用专门的模板配置文件，测量所有发射机的组合频谱。但这同样存在风险，因为使用此配置无法检测单个发射机的错误。

表 1 是 Agilent N4010A/N4011A 测试解决方案与 OBT 及功分器／合路器测试解决方案的 Tx 测试覆盖范围对比，显示了与特定测试解决方案以及测试项目相关的被测件控制要求。根据表格中阴影单元显示，一般情况下被测件控制的增加意味着测试时间的延长。

表 1. 不同测试方法的 Tx 测试范围对比

测试项目		N4010A 和 N4011A		OBT 结合功分器／合路器	
		测试	是否需要被测件控制?	测试	是否需要被测件控制?
发射机	单个通道 EVM	✓	否	✓	是
	组合 EVM	✓ (通道 EVM 平均值或峰值)	否	✓	参考文件
	单个通道功率	✓	否	✓	是
	总功率 (所有通道)	✓	否	✓	否
	Tx 频率误差	✓	否	✓	否
	通道交叉功率／隔离	✓	否	x	无
	通道响应	✓	否	x	无
	单个发射机模板裕量	✓	否	✓	是
	单个发射机模板违规	✓	否	✓	是
	组合通道模板裕量	无	无	✓	否

接收机测量

使用单通道OBT在多通道被测件上进行接收机测试的根本局限在于使用的MIMO信号必须限定为单通道信号，也就是具有调制指数MCS0-MCS7的信号。尽管OBT能够每次接收一个通道上的多通道信号，但被测件将因接收信号只包含部分信息而无法解调该信号。

接收机(Rx)灵敏度

使用在端口间快速进行切换的N4011A多端口适配器，Agilent N4010A/N4011A测试解决方案可以分别向每个被测件接收机天线发送信号单流信号。这样，被测件便可测量天线连接器上的最小输入电平，并作为每个接收机天线的平均功率来参考。这些结果通常作为包误码率(PER)返回。此方法符合IEEE 802.11n草案2.00标准(2007年2月版)20.3.21.1章接收机最小输入灵敏度的要求。标准陈述如下:

“被测空间流的数量应当与使用的传输STA天线(输出)端口数相等，同时与使用的被测件端口数相等。每个传输STA的输出端口应当通过电缆与被测件的一个输入端口连接。”

由于单通道OBT是只有一个输入端口的传输标准测试天线(STA)，可以传输单一空间流信号(MCS0-MCS7)，因此，需根据草案标准要求测试每个天线的被测件接收机性能。

OBT与功分器／合路器结合使用，允许将同一信号同时传输到所有被测件接收机天线。这似乎是一个比较理想的方法，因为它接近“真实”情形。而且在一次测量中，被测件即可返回整个PER结果。但是，单个被测件拓扑结构通常会采用多种技术，例如可以增强单个接收机灵敏度的最大比合并(MRC)技术。尽管为特定被测件设置测试极限是可以接受的(取决于被测件的天线数量和排列及其数字信号处理(DSP)算法)，但这些极限应该仔细地参照标准中指定的“每个天线”极限。

如果必要，可Agilent N4010A/N4011A对进行配置，以使用外部分离器向所有被测件接收机端口同时传输信号。此配置支持具有2和3个接收机的被测件，但基于上述原因，我们不建议使用此方法。

接收机隔离

如果可以分别启动被测件接收机，N4010A/ N4011A可用于进行接收机隔离测量。在此测试配置中，使用被测件的RSSI可以测量从一个接收机到另一个接收机的泄漏。例如，如果N4011A输出切换到被测件的一个接收机天线，则可能测量在另一个接收机天线上接收到的信号。与发射机隔离测量类似，此类测量可以找出接收机路径之间的信号泄漏问题。

Golden Radio (黄金样机) 支持

Agilent N4011A多端口适配器的一个独有特性是提供一个可连接GR的 REF端口。N4011A 中的固态开关可以直接将射频信号路由到被测件，从而扩展接收机测试范围，包含具有调制指数(MCS8-MCS31) 的真正MIMO多通道信号(图9)。鉴于Golden Radio 由其自身制造过程的一个产品所定义，N4010A /N4011A可用于定期表征 Golden Radio 性能。

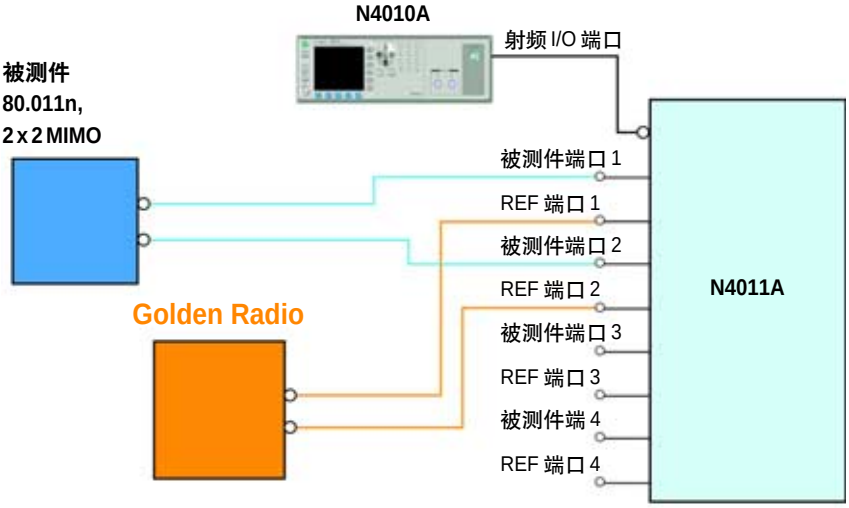

图 9. N4011A 与一个 2 x 2 被测件提供的 Golden Radio 支持的实例

表 2 提供 Agilent N4010A/N4011A 测试解决方案与 OBT 及功分器／合路器测试解决方案的接收机测试范围对比。

表 2. 不同测试方法的接收机测试范围对比

	测试项目	N4010A 和 N4011A	OBT 结合功分器／合路器
接收机	单个接收机通道 PER, 所有激活的被测件通道	✓	x
	单个接收机通道 PER,仅激活的被测通道	✓ (带被测件控制)	✓ (带被测件控制)
	组合通道 (被测件) PER* 接收机	✓ (高达 3 x 3)	✓
	隔离 (相邻通道)	✓	x
	使用 MCS8-MCS31 信号的多通道测试	✓ (使用 Golden Radio)	x

* 不建议使用

总结

Agilent N4010A/N4011A MIMO 制造领域测试解决方案可以提供覆盖 MIMO 器件、模块和子系统的全面、精确、快速、灵活且可靠的测试，可以让制造经理和工程师充满信心，相信他们能够获得最佳的测试范围、提高产品质量、降低测试成本，并且同时符合 802.11n 草案 2.00 标准。

更多信息

关于 Agilent N4010A 和 N4011A 的更多信息，包括配置指南、价格和供货状况，请访问: **www.agilent.com/find/n4010a** 和 **www.agilent.com/find/n4011A**

其他相关信息请访问 MIMO 网页: **http://www.agilent.com/find/MIMO**

N4019C *蓝牙*／WLAN 无线测试管理软件网页: **http://www.agilent.com/find/N4019C**

网络研讨会记录: “推动 802.11n MIMO 从研发到制造领域测试”，请访问: **http://seminar2.techonline.com/s/agilent_jan2307**

Shepherd、Ewan 的*《应对 MIMO 无线局域网制造领域测试的新挑战》*: **www.agilent.com/find/mimo_manufacturing**

相关文献

N4010A Programming Made Easy for WLAN Applications, 应用指南，5989-6233EN

MIMO Wireless LAN PHY Layer (RF) Operation and Measurement, 应用指南 1509, 5989-3443EN

欢迎订阅免费的

安捷伦电子期刊

www.agilent.com/find/emailupdates
得到您所选择的产品和应用的最新信息。

www.lxistandard.org
LXI 是 GPIB 的 LAN 基继承者，可提供更快和更有效的连通能力。Agilent公司是LXI联盟的创始成员。

Agilent 渠道合作伙伴

www.agilent.com/find/channelpartners
两全其美兼而得之，既有安捷伦的测量专长和丰富的产品资源，又有渠道合作伙伴的便捷服务。

Remove all doubt

使您的设备恢复如新并准时送还

安捷伦承诺经我们修理和校准的设备在返回您时就像新设备一样。安捷伦设备在整个生命期中都保持其全部价值。您的设备将由接受过安捷伦培训的技术人员，使用最新的工厂校准规范、自动维修诊断步骤和正品备件进行维修和校准。您可对您的测量充满信心。

安捷伦还为您的设备提供各种测试和测量服务，包括入门级培训，现场培训，以及系统集成和项目管理。

要了解有关维修和校准服务的详细情况，请访问:

www.agilent.com/find/removealldoubt

有关安捷伦开放实验室暨测量方案中心和安捷伦测试与测量技术认证，
请访问: **www.agilent.com.cn/find/openlab**

安捷伦电子测量事业部中文资料库: **http://www.tm.agilent.com.cn/chcn/**

安捷伦电子杂志教育版: **http://www.reeducate-agilent.com/english**

请通过Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。
热线电话: 800-810-0189
热线传真: 800-820-2816

安捷伦科技 (中国) 有限公司
地址: 北京市朝阳区望京北路 3 号
电话: 800-810-0189
(010) 64397888
传真: (010) 64390278
邮编: 100102

上海分公司
地址: 上海张江高科技园区
碧波路 690 号 4 号楼 1-3 层
电话: (021) 38507688
传真: (021) 50273000
邮编: 201203

广州分公司
地址: 广州市天河北路 233 号
中信广场 66 层 07-08 室
电话: (020) 86685500
传真: (020) 86695074
邮编: 510613

成都分公司
地址: 成都高新区南部园区拓新西一街 116 号
电话: (028) 83108888
传真: (028) 85330830
邮编: 610041

深圳分公司
地址: 深圳市福田中心区
福华一路六号免税商务大厦 3 楼
电话: (0755) 82763668
传真: (0755) 82763181
邮编: 518048

西安办事处
地址: 西安市高新区科技路 33 号
高新国际商务中心
数码大厦 23 层 02 室
电话: (029) 88337030
传真: (029) 88337039
邮编: 710075

安捷伦科技香港有限公司
地址: 香港太古城英皇道 1111 号
太古城中心 1 座 24 楼
电话: (852) 31977777
传真: (852) 25069256

香港热线: 800-938-693
香港传真: (852) 25069233

E-mail: tm_asia@agilent.com

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
©Agilent Technologies, Inc. 2010

出版号：5989-7037CHCN
2010 年 1 月　印于北京

Agilent Technologies