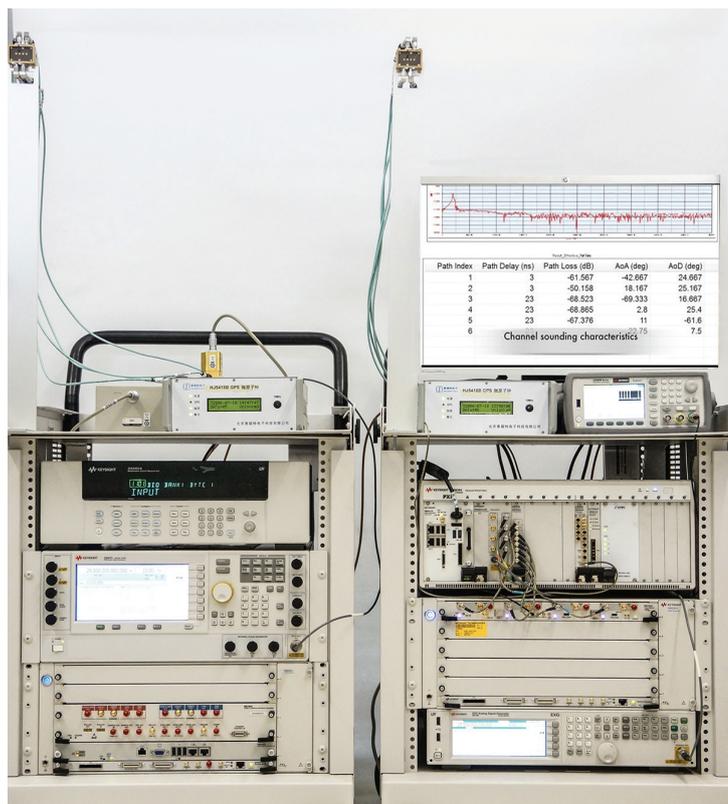


是德科技

# 5G 全频段 MIMO 信道测量参考解决方案

解决方案手册





# 加速 5G 信道测量研究，包括毫米波、超宽带和 MIMO 解决方案

## 序言

当前的 LTE/LTE-Advanced 标准显然不能满足用户对更高的数据吞吐量、更大的网络容量和更高的可靠性的需求。所以，新的 5G 蜂窝标准正在开发，以期达到所需的性能目标，并能与 4G 技术共存。频率在 6 GHz 以下的无线信道准备投入应用，例如 3.6 和 5 GHz 信道。但在 6 GHz 以下的频段可用频谱非常有限，所以下一代蜂窝系统正着眼于毫米波频段，因为它能够支持宽带传输。新的空中接口标准正在研发中，它们覆盖了 6 GHz 以上的频段，包括 15、28、32、38、45、72 GHz 以更高频率。

为了定义毫米波频段上新的信道模型，研究和设计工程师需要了解无线信号如何在特定频率上传播。在这些更高的频段上，最主要的障碍有路径损耗、多普勒效应、氧气吸收损耗和雨水等环境影响因素，可利用信道测量技术分析这些障碍给信号传输带来的影响。信道测量技术使用数学模型来提取无线信道的特征，以确定在给定频率上的信道性能。是德科技的信道测量参考解决方案整合了计量级、商用现成的硬件和 5G 信道测量所用的软件，以及可选的服务，从而能够对潜在的 5G 信道进行深入分析。

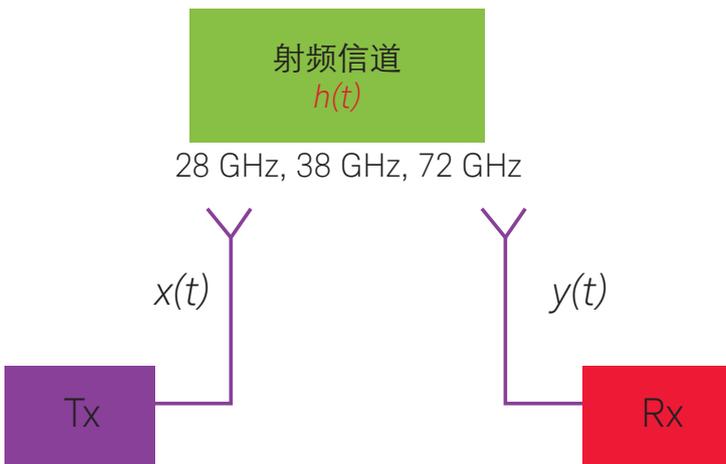
## 5G 信道测量的测试挑战

评估新的频段需要使用非常复杂的多信道仪器对潜在信道进行捕获和表征，包括精密定时和同步以及高级软件。主要测量包括：

- 根据幅度、解扩相位、群时延参数测量频率响应
- 绝对路径损耗和路径时延分布 (PDP)
- 到达角 (AoA)
- 离去角 (AoD)

设计和研究工程师面临的主要测试挑战如下：

- 在毫米波频率上生成和分析宽带 MIMO 信号
- 对宽带发射机和接收机测试执行校准，包括矢量预校正、IQ 频率响应和 IQ 失衡、信道间偏差
- 花费大量时间去采集和管理海量数据
- Tx/Rx 定时和同步，以获得精确的测量结果



## 技术挑战

- 信号生成和捕获
- 毫米波频段
- 超宽带宽
- MIMO
- 数据流和存储
- 信道参数估计
- 校准和同步

## 关键测量：

- 多径分布
- AoA、AoD、AS (扩展角)
- 多普勒频移

## 5G 信道测量参考解决方案

为帮助解决这些测试挑战，5G 信道测量参考解决方案结合了是德科技的硬件、软件和专业测量技术，这些是构成 5G 信道测量测试平台的基本组件。该解决方案支持工程师和研究人员根据需要使使用、增强或修改测试平台，以满足特定的测试应用需求，例如扩展信道数、在毫米波频率上传输和测量、超宽的传输和分析带宽、捕获数据并进行后期处理。该参考解决方案使用宽带信号在发射机上快速切换的方式相关，然后在接收机上并行采集，如下图所示。

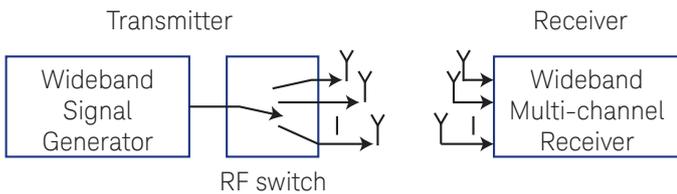


图 1. 图中描述了宽带信号关联，在接收机上进行并行采集。

通过在接收机上进行并行采集，可以捕获到多个信号，把信号发送到数字化仪中的 FPGA 进行处理。参考解决方案软件对在 M9703A 数字化仪的 FPGA 上获得的信道脉冲响应 (CIR) 数据进行实时关联和处理，加速数据采集过程，明显降低了对数据数量的需求。使用 SystemVue 中的定制算法也可以对信道参数估算进行后期处理。

校准和同步对于实现精确测量至关重要，例如绝对时延、AoA、AoD 等参数。除了系统校准以外，相位相关测量还包括通道间幅相一致性。参考解决方案利用高精度的 10 MHz LO (由铷时钟提供) 和触发，可使 Tx 和 Rx 实现精准同步。

该 5G 信道测量参考解决方案支持频率范围高达 44 GHz 的应用，激励信号可具有 2 GHz 带宽带宽，接收部分具有 1 GHz 分析带宽，并多达 8 个信道。定制解决方案能够支持更高的频率范围、更宽的分析带宽和更多的信道。如果您的应用需要定制解决方案，请与是德科技公司联系。

### 参考解决方案的体系结构

下面显示了 5G 信道测量参考解决方案的简单结构图。该解决方案是灵活可扩展的。它通过添加额外的下变频器和数字化仪进行扩展，可支持更多的信道，或使用是德科技的智能混频器提高信号频率。

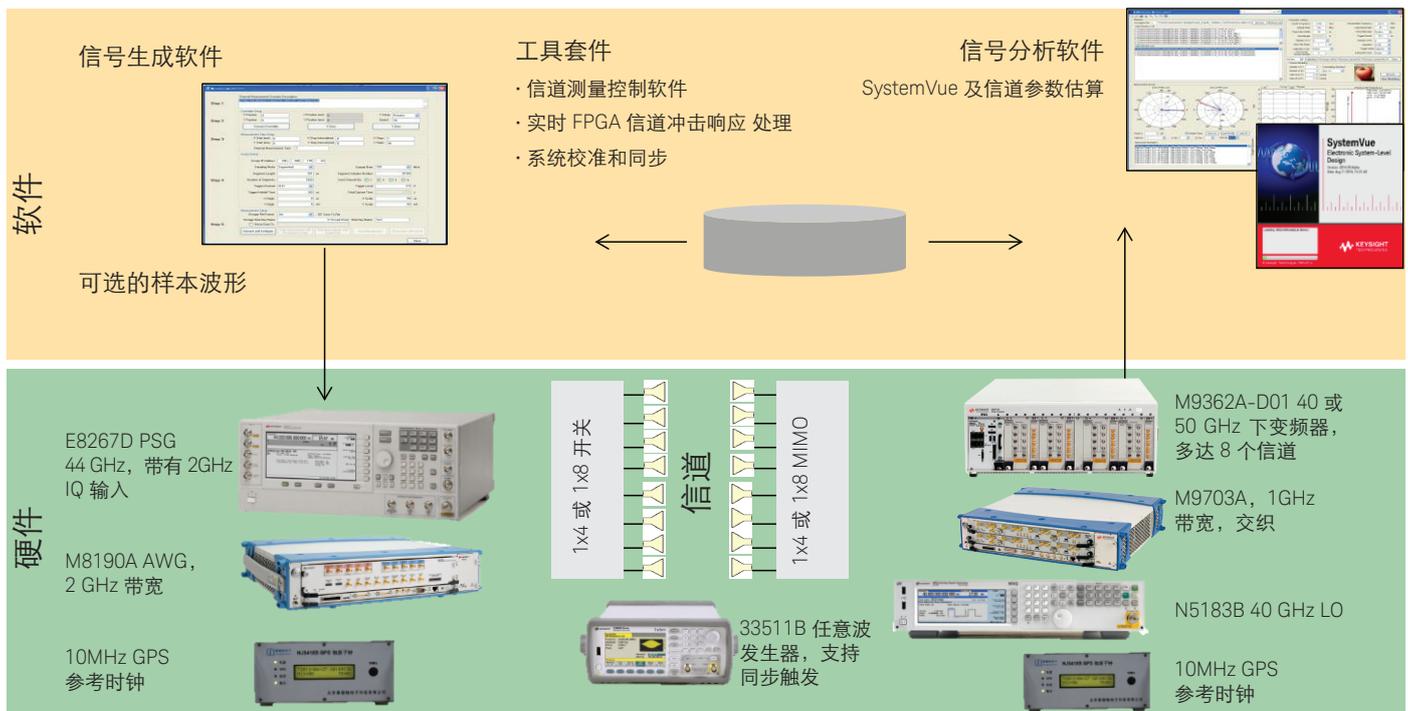


图 2. 5G 信道测量参考解决方案的体系结构

## 参考解决方案的特性和优势

| 特点                                      | 优势                                 |
|---|------------------------------------|
| 毫米波信号产生和分析经过可靠的校准和同步。                   | 对宽频段信道测量测量充满信心, 可用于分析新的 5G 信道。     |
| 多通道相位相参、配有开放式 FPGA 的宽带数字化仪进行实施信道冲击响应处理。 | 利用实时信道冲击响应处理 加速信号采集, 需要更少的磁盘空间或内存。 |
| 全球首个 5G 基带波形探测库, 可使用 SystemVue 进行设计和仿真。 | 灵活性和可扩展性, 可根据标准的演进适用于新的 5G 测试。     |

### 主要性能技术指标

参考解决方案提供:

- 频率高达 44 GHz、带宽为 1 GHz 的 Tx/Rx, 可借助是德科技智能混频器进行扩展
- 4 或 8 个 MIMO 信道, 可扩展为 104 个信道
- 捕获多个相位相干信道, 使用板上 FPGA 对信道脉冲响应 (CIR) 进行实时处理
- IO 控制可使 Tx 和 Rx 同步为精度  $<1 \text{ e-}12$ , 稳定性  $<1\text{e-}12$

#### 主要产品技术指标

##### M9703A AXIe 12 位, 3.2 GS/s 宽带数字化仪

12 位相位相干信道, 信道数可从 8 扩展到 104

在交织模式下, 分析带宽为 1 GHz

在 FPGA 上进行实时 信道冲击响应 数据处理

##### M9362A-D01 PXIe 微波下变频器

4 相干信道

26.5、40 或 50 GHz 频率选项

1 GHz 模拟带宽

##### M9352A PXI 混合放大器/衰减器

4 个信道

1 GHz 模拟带宽, 36 dB 增益

##### 适用于微波 LO 的 N5183B MXG 微波模拟信号发生器

13、20、31.8 或 40 GHz

+20 dBm 输出功率 (20 GHz 时), +15 dBm 输出功率 (40 GHz 时)

-124 dBc/Hz 相位噪声 (10 GHz、10 kHz 偏置时)

-116 dBc/Hz 相位噪声, 40 GHz 时

##### E8267D PSG 矢量信号发生器

20、31.8、44 GHz, 使用毫米波智能混频器可以扩展到 75、90 或 110 GHz

+23 dBm 输出功率 (20 GHz 时), +13 dBm 输出功率 (40 GHz 时), 带有差分 IQ 输出

外部差分 I/Q 输入和高达 2 GHz 的调制带宽

##### M8190A 12 GS/s 任意波形发生器

14 位分辨率, 高达 8 GS/s; 或 12 位分辨率, 高达 12 GS/s

与 PSG 结合使用时, 带宽为 2 GHz; 在双重模式下, 带宽高达 8 GHz

高达 90 dBc 典型值的无杂散动态范围 (SFDR)

任意波形存储器每信道内存为 2 GSa, 支持高级序列功能

## 硬件配置

测试设备组合提供了 Tx 和 Rx，频率高达 44 GHz，带有超宽带和 MIMO 功能

### M9703A AXIe 12 位数字化仪/宽频接收机



[www.keysight.com/find/m9703a](http://www.keysight.com/find/m9703a)

单一 AXIe 模块可实现 8 类高速、高分辨率的基带测量。使用单台 AXIe 机箱集成多个模块可以扩展信道和功能。通过数字化仪 FPGA 执行实时 CIR 数据处理。

### M9362A-D01 PXIe 四路下变频器和 M9352A PXI 混合放大器/衰减器



[www.keysight.com/find/m9362a-d01](http://www.keysight.com/find/m9362a-d01)

[www.keysight.com/find/m9352a](http://www.keysight.com/find/m9352a)

使用 PXI 相位相干四路下变频器和放大器模块可匹配天线阵列的每个信号输出与数字化仪的输入。下变频器选件可提供高达 50 GHz 的频率覆盖范围。

### N5183B MXG X 系列微波模拟信号发生器



[www.keysight.com/find/n5183b](http://www.keysight.com/find/n5183b)

提供下变频器和低相位噪声的本地振荡器，以维持相位相干性。MXG 大功率输出可允许您使用分离器向多个下变频器的本地振荡器 (LO) 输出信号，以确保相位相干。

### M8190A 12 GS/s 任意波形发生器



[www.keysight.com/find/m8190a](http://www.keysight.com/find/m8190a)

使用精密型双信道 AWG 生成基带调制信号。使用 E8267D PSG，它为高达 44 GHz 的载波信号提供高达 2 GHz 的调制带宽。AWG 在 12 位分辨率时提供 12 GS/s 采样率，在 14 位分辨率时提供 8 GSa/s 采样率。这些信号可驱动 E8267D PSG 矢量信号发生器的宽带 I/Q 调制输入。

### E8267D PSG 矢量信号发生器



[www.keysight.com/find/e8267d](http://www.keysight.com/find/e8267d)

生成高达 44 GHz、+13 dBm 输出功率的宽带信号。PSG 包括宽带差分外部 I/Q 输入，调制带宽高达 2 GHz。如欲在毫米波频率上生成单信道信号，可使用是德科技下变频器。

### 适用于数字化仪和 AWG 的 M9502A、M9505A 或 M9514A AXIe 机箱



[www.keysight.com/find/axie-chassis](http://www.keysight.com/find/axie-chassis)

AXIe 机箱可在 PCI 总线上容纳多台高速数字化仪或 AWG，模块配有 Gen2 x4 链路，系统插槽提供的数据速率最高为 2 GB/s。对于小尺寸 MIMO 系统，M9502A 在交叉模式下支持多达 16 个数字化仪信道 (2 个模块) 和 1.6 GS/s 采样率，或 8 信道、3.2 GS/s 采样率。M9505A 可支持多达 40 个数字化仪信道 (5 模块)，能够满足大型系统；M9514A 14 插槽 AxIe 机箱可以构建超大型系统。

### M9018A 18 插槽 PXIe 机箱和 M9037A PXIe 嵌入式控制器



[www.keysight.com/find/m9018a](http://www.keysight.com/find/m9018a)

[www.keysight.com/find/m9037a](http://www.keysight.com/find/m9037a)

M9018A PXIe 机箱可以为 PXI 下变频器、放大器和频率基准模块提供 17 个仪器插槽。结合使用基于 Core i7 的 M9037A PXIe 控制器能够控制 AXIe 和 PXIe 机箱。M9037A 可使用固态硬盘上预装的操作系统、驱动程序和 Keysight IO 程序库快速启动。PXIe 机箱支持 PCI Gen2 标准并具有 8 个链路和高达 8 GB/s 的系统插槽传输速率，因而可以提供最出色的灵活性、兼容性和性能。M9018A 的功率足够支持 4 个四路下变频器和 4 个放大器模块的组合，并应用了创新的散热设计，使它可以安装到 4U 机架空间中。

## 5G 信道测量软件

信道测量表征有几个步骤。软件的作用如下：

- 可用于控制仪器，执行高度同步的测量，生成精确的绝对时延结果
- 生成信道测量信号，捕获表征所需的数据
- 使用数学模型对数据进行后期处理，提取信道参数
- 执行系统校准，确保精确的结果

### 信道测量信号

信道测量信号是探测系统不可或缺的部分。是德科技为生成信道测量信号提供了多个选项，可使用信号生成工具生成该信号，例如 SystemVue、波形生成器或 Signal Studio。是德科技的专业服务团队也能生成定制的探测信号。

### 信道冲击响应 (CIR) 和信道参数提取

参考解决方案可使用软件来捕获、关联和处理 CIR 数据，软件也能离线进行信道参数提取。可用不同的算法对信道参数进行提取，每种算法各有其优缺点。是德科技使用 SAGE 算法在 SystemVue 平台上提供定制信号参数提取。

### 仿真新的信道模型

一旦信道建模完成，SystemVue 5G 基带探索库可针对新的信道模型提供链路级仿真，并支持扩展到 MIMO 信道。集成的仿真环境可以让用户借助环路上的硬件对新设计进行调查、实施和验证。

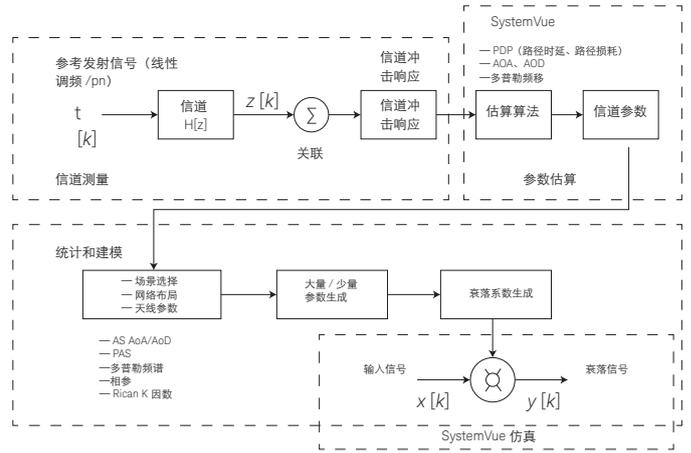


图 3. MIMO 信道测量、参数提取、建模和仿真

## Y1299A 参考解决方案启动套件

信道测量表征有几个步骤。参考解决方案包括 Y1299-006 工具套件，套件为用户提供配置和测试工具，帮助他们加快完成复杂信号探测表征。

### I/O 控制软件

与参考解决方案一起提供的 I/O 控制软件可以实现仪器的精密时序和控制，它可以让 Tx 和 Rx 子系统保持同步，确保绝对时延测量得到精确的结果。

该软件控制 Tx 开关子系统，使用高度同步的 10 MHz GPS 参考时钟和触发，使探测激励信号的生成和采集同步。这样可确保测量是在正确时间内进行。

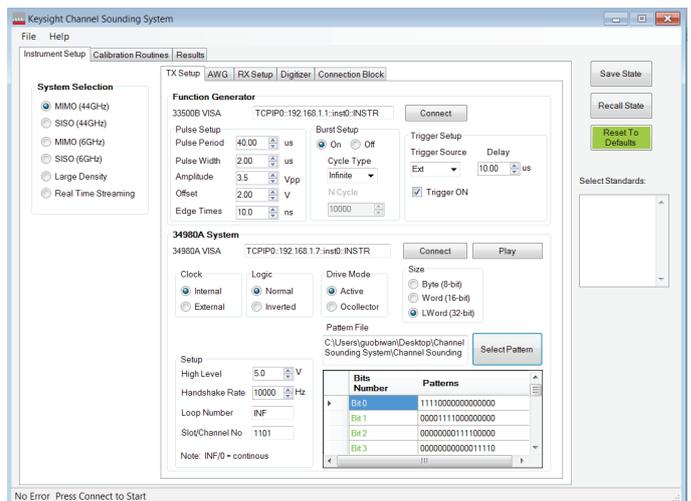


图 4. IO 控制软件，仪器设置为同步和触发

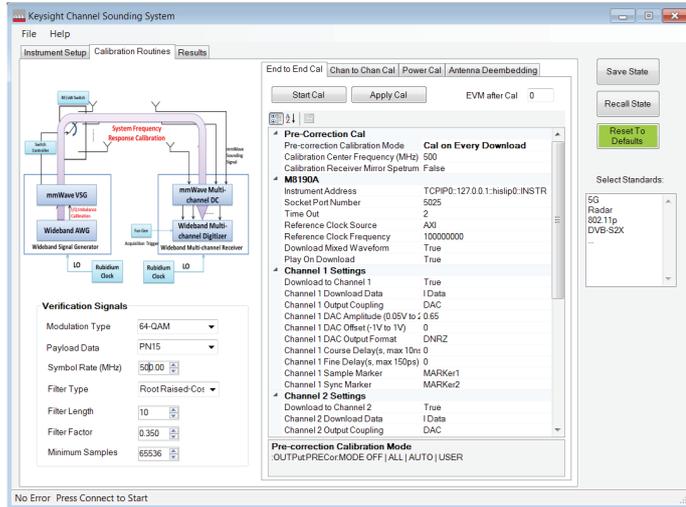


图 5. IO 控制软件及 IQ 平衡校准

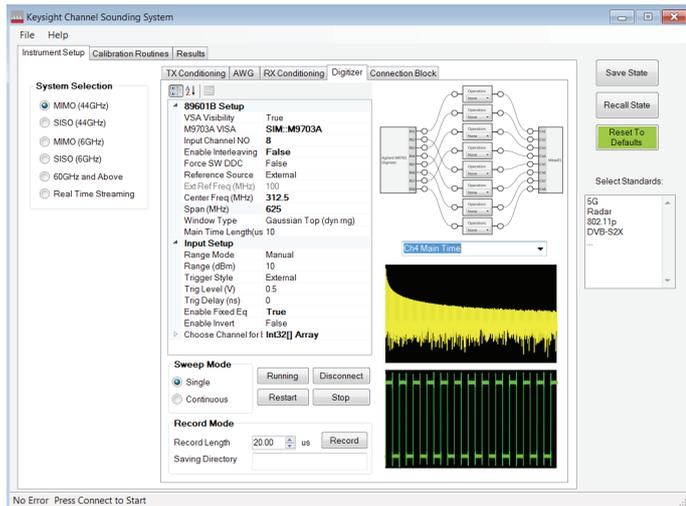


图 6. IO 控制软件执行数字化仪通道间校正

## 系统校准

为了获得精准的信道测量结果，校准是非常重要的。参考解决方案通过 M9099 波形生成器和 89600 VSA 软件以及特定说明提供校准服务：

- 系统脉冲响应
- I/Q 不平衡
- 多信道幅度和相位偏移
- 功率

## 数据存储和数据流

信道测量分析需要长时间采集大量的数据做基础。当涉及到超宽带和 MIMO 时，对数据存储的要求也会很高。为了优化和减少数据采集，参考解决方案通过 M9703A FPGA 提供实时数据处理能力，以便对数据进行实时关联和处理，生成有效的信道冲击响应 (CIR) 数据。数据可以保存到存储器，或离线发送，以进行后期处理。

## 是德科技专业服务

是德科技提供一系列专业服务，以完善这个解决方案：

- 基于 SystemVue 平台的软件开发服务，生成定制的探测信号和信道参数提取。
- 生产效率服务，可完成是德科技应用专家提供的项目。该服务能够在客户现场提供额外的配置和全套解决方案。了解更多：<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-0099EN.pdf?id=393341>

专业服务团队还提供扩展的支持和培训。

## 参考解决方案推荐配置

参考虚拟机是灵活、可扩展的。您可以购买当前所需的性能，并在今后根据 5G 测量要求的演进添加更多的信道和功能。

下面是 40 GHz MIMO 解决方案的概要。有关特定配置的更多信息，请参见《5G channel sounding Reference Solution》配置指南 (5991-0990EN)。

### Rx 子系统元件

| 型号             | 描述                             |
|----------------|--------------------------------|
| M9703A         | AXIe 12 位数字化仪                  |
| 联系厂商           | 实时 CIR 测量流盘                    |
| 联系厂商           | 实时 DDC 测量流盘                    |
| M9502A         | 2 插槽 AXIe 机箱                   |
| M9352A-H01     | PXI 放大器/衰减器                    |
| M9362A-D01     | PXIe 四路下变频器                    |
| M9362A-D01-F40 | 频率范围: 10 MHz 至 40 GHz          |
| M9300A         | PXIe 频率基准                      |
| M9018A         | 18 插槽 PXIe 机箱                  |
| M9037A         | PXIe 高性能嵌入式控制器                 |
| M9037A-WE6     | Win embedded standard 7 (64 位) |
| M9037A-M16     | 添加 16 GB 存储器                   |
| N5183B         | MXG X 系列微波模拟信号发生器              |
| N5183B-1EA     | 大功率输出                          |
| N5183B-540     | 频率范围: 9 kHz 至 40 GHz           |
| N5183B-UNY     | 低相位噪声                          |
| 33511B         | 波形/函数发生器                       |

### Tx 子系统元件

| 型号              | 描述                             |
|-----------------|--------------------------------|
| M9505A          | AXIe 5 插槽机箱                    |
| M9536A          | AXIe 嵌入式控制器                    |
| M9536A-WE6      | Win embedded standard 7 (64 位) |
| M9536A-M16      | 添加 16 GB 存储器                   |
| M8190A          | AXIe AWG                       |
| M8190A-002      | AWG - 2 信道                     |
| M8190A-02G (x2) | 128 MSa 至 2 GSa 存储器/信道         |
| M8190A-14B      | 14 位分辨率                        |
| M8190A-805(x4)  | 低通滤波器                          |
| M8190A-811(x4)  | 电缆组件                           |
| E8267D          | PSG 矢量信号发生器                    |
| E8267D-016      | IQ 差分输入                        |
| E8267D-544      | 频率范围: 250 kHz 至 44 GHz         |
| E8267D-UNX      | 超低相位噪声                         |
| E3630A          | 电源                             |
| L4450A          | 64 位数字 IO, 包含存储器               |
| 34950T          | 端子块, 配有螺旋连接器                   |
| 85332B          | 固态开关                           |
| 85332B-201      | 开关控制单元                         |

### 其他硬件和附件

|   |
|---|
| 10 MHz GPS 时钟提供精密时序和同步 (铷)                |
| 其他天线、放大器、电缆和连接器完善了测试系统 (如欲查看完整列表, 参见配置指南) |

### 软件、工具套件

| 型号                  | 描述                     |
|---------------------|------------------------|
| Y1299-006<br>(联系厂商) | 5G 参考解决方案启动套件          |
| 89601B-200          | 为 89600 VSA 软件提供 Rx 校准 |
| M9099A- LIC, DFW    | 波形生成器应用软件, 可进行 Tx 校准   |

### 推荐的可选软件

| 型号      | 描述                       |
|---------|--------------------------|
| E1462BP | SystemVue FPGA Architect |
| W1906EP | SystemVue 5G 基带探索库       |

### 推荐的可选定制服务

| 型号         | 描述   |
|------------|--|
| PS-S10-100 | 远程预定生产效率协助                                     |
| PS-S20-100 | 日常的仪器和应用软件咨询, 以及客户设备                           |
| PS-X10-100 | 特定应用的技术协助                                      |
| E8991A     | 日常应用软件咨询/为客户的 System Vue 软件提供 Premium Services |

## 硬件支持与保修

是德科技为其所有的硬件产品提供标准保修。保修服务提供覆盖产品使用国家或地区的标准保修，包括：

- 恢复到规定性能所需要的全部部件和劳务
- 针对配有校准证书产品的重新校准
- 返回装运

标配硬件保修包括产品的 3 年保修和典型 15 天的服务周期。

是德科技为其每款产品提供可选的升级保修服务，包括：

- 保修期从 3 年延长到 5 年
- 快速保修，提供更短的服务周期（3 或 5 天）



**myKeysight**

myKeysight  
[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)  
 个性化视图为您提供最适合自己的信息！



[www.axistandard.org](http://www.axistandard.org)  
 AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准，将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)  
 局域网扩展仪器 (LXI) 将以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德科技是 LXI 联盟的创始成员。



[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)  
 PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。



3 年保修  
[www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty)  
 是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



是德科技保证方案  
[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)  
 5 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。



[www.keysight.com/go/quality](http://www.keysight.com/go/quality)  
 Keysight Technologies, Inc.  
 DEKRA Certified ISO 9001:2008  
 Quality Management System

**Keysight Infoline**

Keysight Infoline  
[www.keysight.com/find/service](http://www.keysight.com/find/service)  
 Keysight's insight to best in class information management. Free access to your Keysight equipment company reports and e-library.

Keysight Channel Partners  
[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)  
 Get the best of both worlds: Keysight's measurement expertise and product breadth, combined with channel partner convenience.

[www.keysight.com/find/solution-5GSounding](http://www.keysight.com/find/solution-5GSounding)

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：[www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

**是德科技客户服务热线**  
 热线电话: 800-810-0189、400-810-0189  
 热线传真: 800-820-2816、400-820-3863  
 电子邮件: [tm\\_asia@keysight.com](mailto:tm_asia@keysight.com)

**是德科技(中国)有限公司**  
 北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦  
 电话: 86 010 64396888  
 传真: 86 010 64390156  
 邮编: 100102

**是德科技(成都)有限公司**  
 成都市高新区南部园区天府四街 116 号  
 电话: 86 28 83108888  
 传真: 86 28 85330931  
 邮编: 610041

**是德科技香港有限公司**  
 香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼  
 电话: 852 31977777  
 传真: 852 25069233

**上海分公司**  
 上海市虹口区四川北路 1350 号  
 利通广场 19 楼  
 电话: 86 21 26102888  
 传真: 86 21 26102688  
 邮编: 200080

**深圳分公司**  
 深圳市福田区福华一路 6 号  
 免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元  
 电话: 86 755 83079588  
 传真: 86 755 82763181  
 邮编: 518048

**广州分公司**  
 广州市天河区黄埔大道西 76 号  
 富力盈隆广场 1307 室  
 电话: 86 20 38390680  
 传真: 86 20 38390712  
 邮编: 510623

**西安办事处**  
 西安市碑林区南关正街 88 号  
 长安国际大厦 D 座 501  
 电话: 86 29 88861357  
 传真: 86 29 88861355  
 邮编: 710068

**南京办事处**  
 南京市鼓楼区汉中路 2 号  
 金陵饭店亚太商务楼 8 层  
 电话: 86 25 66102588  
 传真: 86 25 66102641  
 邮编: 210005

**苏州办事处**  
 苏州市工业园区苏华路一号  
 世纪金融大厦 1611 室  
 电话: 86 512 62532023  
 传真: 86 512 62887307  
 邮编: 215021

**武汉办事处**  
 武汉市武昌区中南路 99 号  
 武汉保利广场 18 楼 A 座  
 电话: 86 27 87119188  
 传真: 86 27 87119177  
 邮编: 430071

**上海MSD办事处**  
 上海市虹口区欧阳路 196 号  
 26 号楼一楼 J+H 单元  
 电话: 86 21 26102888  
 传真: 86 21 26102688  
 邮编: 200083

