

使用虚拟仪器技术创建合成仪器

在众多工业应用领域，电子系统的发展速度和灵活性要求日益提升，促使电子系统的软件内容更加丰富。过去二十年中，测量和自动化领域的显著发展趋势就是通过软件定义测量仪器的功能。在上世纪八十年代中期出现的虚拟仪器技术成为了这一趋势的引领者。最近，美国国防部明确提出，他们希望根据一个称为合成仪器的计划，创建更灵活的基于软件的测试系统。本文将分别阐述虚拟仪器和合成仪器的概念，并给出一个通过虚拟仪器技术创建 RF 混合仪器系统的案例。

目录:

- 虚拟仪器的概念
- 虚拟仪器的软件
- 虚拟仪器的硬件
- 美国国防部的合成仪器计划
- RF 合成仪器案例
- 虚拟仪器的前景-图形化系统设计
- 参考文献
- NI 相关产品

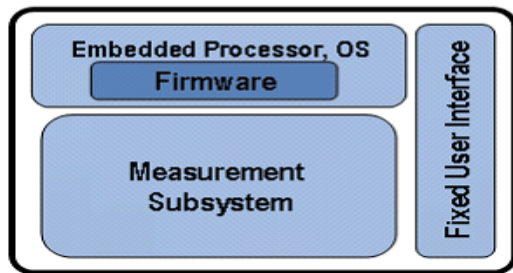
虚拟仪器的概念

虚拟仪器 (VI) 的定义是这样的:

一个由软件定义的系统，通过基于用户需求的软件对通用测量硬件的功能进行定义。

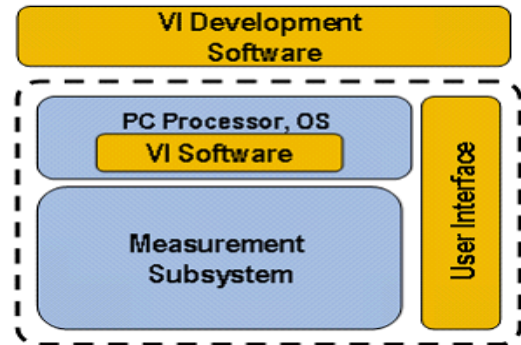
虚拟仪器使用了传统独立仪器的许多功能模块，但两者主要的区别在于虚拟仪器允许终端用户通过软件对仪器的核心功能进行定义。传统仪器使用的是厂商定义的嵌入式固件，而虚拟仪器则具备能够由用户自定义的开放性软件。因此用户能够对虚拟仪器进行重新配置，以满足多种不同任务的需要；当应用需求发生变化时，用户能够对虚拟仪器进行全新的定制。我们后面将讨论的合成仪器就是虚拟仪器的一种，现阶段合成仪器是专门针对军用测试系统中的 RF 激励和测量进行定义的。

Traditional Instrument Architecture



• Vendor defines/controls functionality

Virtual Instrument Architecture



• User/Integrator defines functionality through software

图 1：虚拟仪器与传统仪器有很多相同的功能子系统，但在软件应用上却有着巨大的差异。

软件定义的虚拟仪器的优势包括：

- 可配置软件提升了系统的灵活性
- 能够适应未来的需求，从而延长系统的使用周期
- 能够在共享的测量硬件上创建不同的软件特性，从而减小了系统的尺寸
- 硬件的重用降低了系统成本
- 能够满足现有传统仪器无法满足的系统需求

虚拟仪器的软件

对于一个虚拟仪器系统而言，软件是最关键的部分。虚拟仪器与传统仪器的最根本的区别就在于用户能够通过软件对仪器进行配置。创建一台虚拟仪器，其软件需要包含以下几个关键元素：

- 1、能够与各类 I/O 硬件进行连接
- 2、全面的内置测量算法
- 3、能够创建各类处理系统，以应用 DSP 和 FPGA 等技术。

测量和自动化系统的需求是如此多样，所以没有单独的一种总线或是 I/O 标准能够满足所有的需求。例如，USB 非常适合于需要简单桌面连接的应用，而 PCI 和 PCI Express 等内部 PC 总线则能提供最低的延时和最高的吞吐量；多功能的硬件设备，如基于 PC 的数据采集设备，能够满足许多应用的需要，而某些应用场合需要更高精度或更高速度的模块化仪器。虚拟仪器软件必须能够将各种 I/O 无缝地整合到一个单一的系统当中。架构合理的软件还包含一个称为测量和控制服务的抽象层面，以提供在设备和总线间通用的软件规则。虚拟仪器软件还应该能够整合传统仪器，做成一个混合系统。整合传统仪器有着两方面的价值：首先，许多系统必须利用现有的测量设备以节省成本；其次，可能有某些专业的需求只有特定的传统仪器能够满足。齐全的 I/O 驱动程序和架构合理的测量和控制服务层次使用户有能力创建一个整合的混合系统。

虚拟仪器软件还必须全面涵盖各类测量算法，以方便用户创建自定义的测量和自动化系统。在最底层上，这些算法需要包含测量系统所需的基本数学方法。例如，频域测量需要使用快速傅立叶变换 (FFT) 将时域数据转换到频域当中。除了基本的数学方法，用户也可以使用高级的专业应用库。例如，对于声音和震动应用而言，在验证和测试中经常需要 THD 测量，SINAD 以及阶次追踪等功能。尽管您也可以使用基本的数学模块构建这些功能，但是却不实际，包含这些功能的软件开发工具将大大节省您构建系统的时间。类似的，在创建通信应用的虚拟仪器时，复杂的数字调制和解调、信号品质测量和频谱分析等功能函数都是非常有用的。

最后，虚拟仪器软件应该具备在一个独立的软件开发环境下创建混合处理应用的能力。混合处理应用中是整合多种类型的处理单元，如微处理器，FPGA 以及 DSP 等等。对不同类型的应用，每种处理单元都有各自的优势。例如，FPGA 固有的并行架构非常适合于多循环控制的应用，而 Pentium 系列处理器的强劲处理能力则能够满足绝大多数基于矢量的分析计算。它能够以多种处理器作为目标对象，并能够提供一定的对象透明度的软件环境，可以最大限度地提升系统性能，同时节省开发时间。例如，您可以先在主机 (基于 PC) 的处理器上进行测量算法的原型设计，再将算法的一部分部署在板载 I/O 模块的 FPGA 上，以获得最大的系统吞吐量。

虚拟仪器的硬件

尽管虚拟仪器软件应该具备将通用虚拟仪器硬件和传统仪器整合成为一个混合系统的能力，但构建虚拟仪器或是合成仪器硬件平台，还有一些必不可少的硬件要求：

- 1、一个能够适用于各类应用的通用硬件架构
- 2、一个在硬件和虚拟仪器处理单元之间的高速连接
- 3、能在系统需要提升时对其进行部分升级的模块

虚拟仪器最根本的优势在于使用软件对测量和自动化系统进行重新配置时的灵活性。为了最大限度地提升系统的软件可重复配置能力，硬件设计应该尽可能得通用化。对于模拟测量而言，虚拟仪器的硬件负责将信号数字化，之后的其他测量处理工作都在软件中完成。因此，数字化硬件的能力可以由采样频率和数字化精度的对比获得，如图 2 所示。虚拟仪器的最终愿景是采用真正通用的测量设备，可以既进行高精度测量也可以进行高速测量，而事实上，则需要在本成本和现有半导体处理能力上进行权衡。尽管如此，仍然有可能借助软件方法，使用少量通用硬件测量设备满足大部分的应用需求。

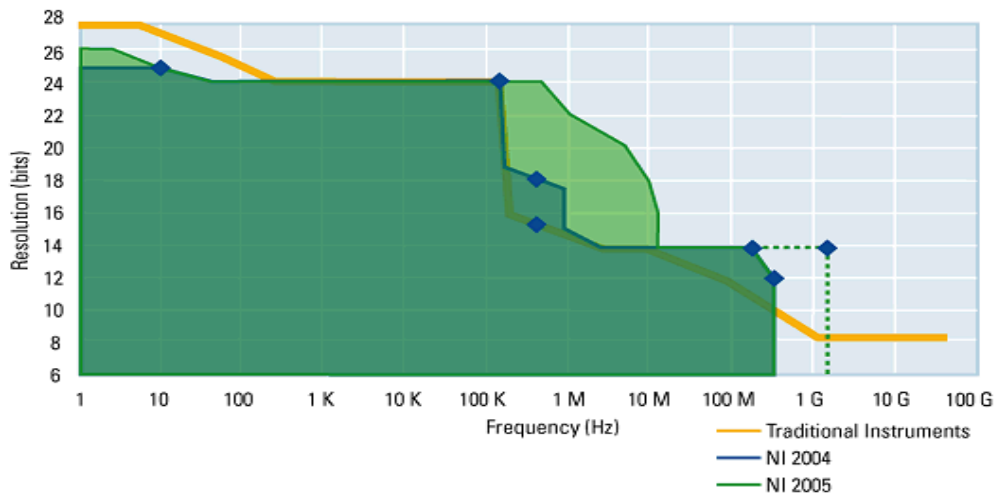


图 2 用数字化精度和采样频率对比给出虚拟仪器测量硬件的现有能力。在许多领域，通用虚拟仪器硬件的能力超过了传统仪器。

一旦信号在虚拟仪器系统中被数字化后，将通过数据总线传送到执行相应软件程序的处理单元当中。由于各种总线各有优势，针对特定的应用总有某些总线的性能要优于其他总线。在对总线性能进行评估的时候，带宽和延时是两个重要的考虑因素。延时度量数据传输中的延迟时间，而带宽度量总线传输数据的速率，通常以 MB/s 计算。对需要传输大量信令和小数据包的系统，较短的延时能够提升应用的性能。而高带宽则对波形生成和采集等应用非常重要。图 3 对各种仪器总线的延时和带宽进行了对比。

请注意，图中从下至上带宽逐渐的在升高/提高，而从左至右，延时逐渐缩短/提高。高速应用或高通道数应用需要一个相当带宽的高速数据总线，来满足系统的需要。如果带宽不足，则只能像传统仪器一样将测量算法嵌入到仪器当中，从而牺牲了仪器的灵活性。另外一种方法是向 I/O 模块添加大容量板载内存，这将使得成本上升，并且限制了对采集和生成的数据量。因此，很多用于传统仪器控制的总线，如 GPIB 或 LAN 都不再适合于高性能虚拟仪器系统。现在，用于仪器系统中的最高性能总线是 PCI Express，能够在低延时情况下达到 6 GB/s(x16 配置情况下)的数据传输速率。

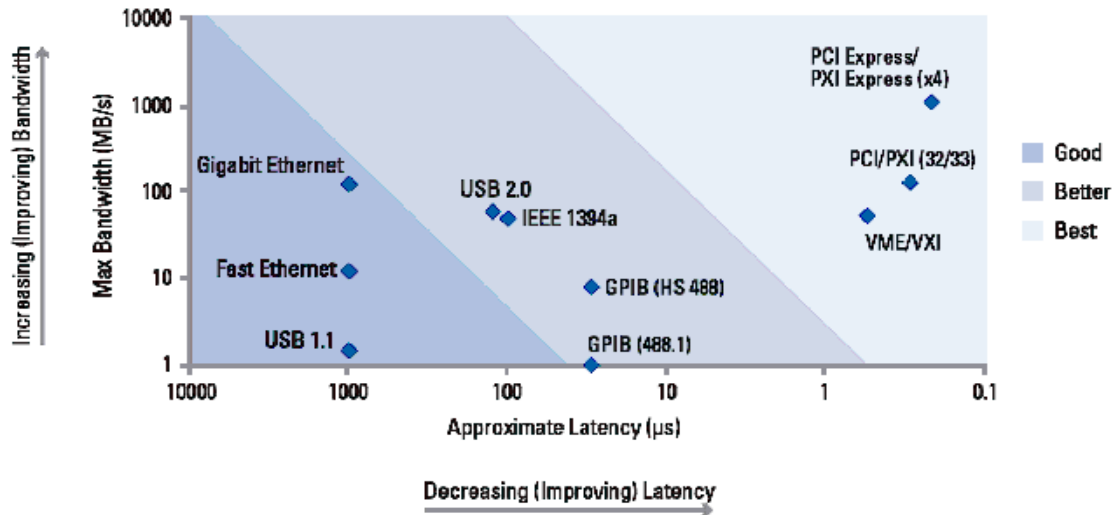


图 3 常用总线技术延时和带宽性能的比较

最后，虚拟仪器硬件应该是模块化的，以便随着系统需求的变化轻松添加或升级某个单独组件。这能使系统具备可升级性，并延长使用周期。模块化同样能够促进通用系统资源的共享，从而降低系统成本。在一个 PXI(PCI 的仪器扩展)系统中，通用系统资源包括共享的底板，系统控制器，定时引擎，以及交换模块。每种共享资源都能够基于系统需求进行交替，或是在新技术出现时进行升级。例如，当一个系统控制器被一个更高速的处理器取代时，系统的吞吐量将会得到提升，而加入一个具有更加精确参考的定时控制器，能够提升整个系统的定时精度。

美国国防部的合成仪器计划

作为世界上测试设备最大的独立采购者，美国国防部是下一代仪器技术的关键使用者。对他们所拥有的数量众多的各类专用测试设备进行维护，已经成为了一项繁重而又昂贵的工作。近来，国防部已经明确提出需要更灵活的，以软件为中心的方法来构建测试设备。一份在 2002 年 2 月由国防部技术转换办公室提交到国会的报告指出：“最新的商业技术已经具备开发合成仪器的能力，这种仪器能够进行实时配置以实现各种测试功能...” 一台合成仪器能够取代许多单一功能的仪器，从而简化物流过程，并解决设备过时的问題。

国防部已经成立了一个名为合成仪器工作组 (SIWG) 的制定标准部门，它的职责是为合成仪器系统的交互操作性制定标准。SIWG 为合成仪器 (SI) 给出的定义是：
一个可重复配置的系统，能够通过标准化接口连接一系列硬件单元和软件组件，使用各种处理技术进行信号生成或测量工作。

将 SI 的概念用于 RF 仿真和测量系统一直是 SIWG 的工作重点。工作组已经为 RF 合成仪器创建了一个标准的模块流程图，如图 4 所示。这个流程图的功能模块包括：

- 频率转换设备 (RF 上下转换器)
- 中频输入和输出
- 包含专用软件的处理引擎

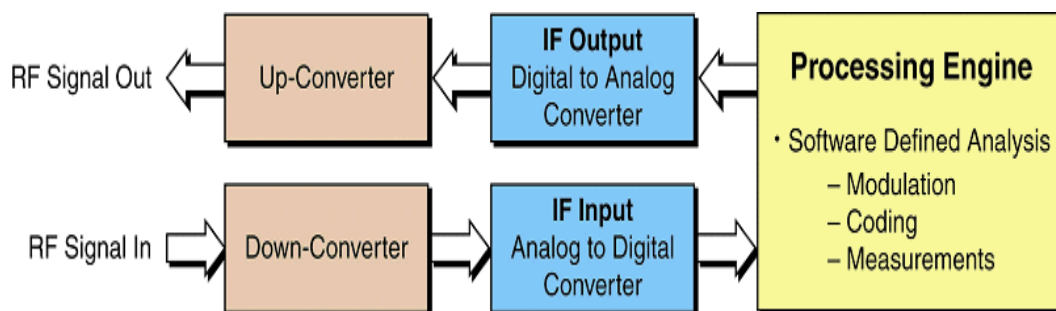


图 4: RF 合成仪器的 SIWG 模型

为满足众多 RF 应用的性能需要，模型中包含了一个中频设备和处理引擎之间的高带宽连接，处理引擎中将进行的实时数据分析。比如对一个 50MHz 带宽的 RF 信号进行数字化处理至少需要 200 Mbytes/s 的带宽(100MS/s 的采样速率，采样精度为 2 个字节)。对于一个输入和一个输出通道来说，带宽需求就增加到 400Mbytes/s。而现在多通道设备以及 MIMO（多输入，多输出）应用越来越多，对于带宽的需求也成倍增长，已达到了 G 字节/每秒。

RF 合成仪器案例

现在的商用技术已经有能力使用合成仪器的模型来构建系统了。一种常用于构建这类系统的平台就是 PXI。PXI 是七十多家厂商共同支持的工业标准，该平台上现有超过 1200 种产品，包括多厂商提供的用于构建 RF 系统的模块。如图 5 所示，PXI 包含了一个共享高速背板，并整合了共享的定时和同步资源。高速总线、模块化以及整合定时特性的组合，使得 PXI 非常适合于创建模块化的基于软件的系统。

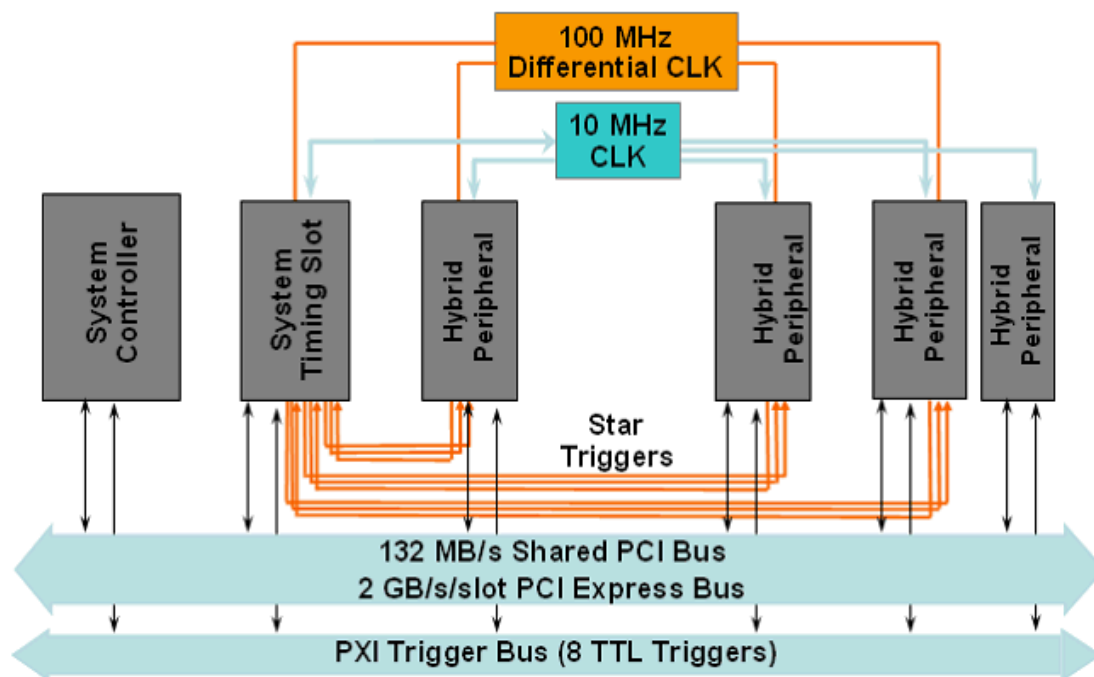


图 5 PXI 包含了一个高速背板以及共享定时和同步资源

让我们来看一个应用的实例：一个频率高达 2.7GHz 的信号发生和测量的系统。在这个例子中，我们将数据流传回主机，再进行软件定义的测量工作。由于能够通过修改软件生成各种调制仿真信号或进行各个级别的测量，这大大提升了系统的灵活性。我们同样也可以使用这个系统作为一个软件定义的无线电台，模拟一个现实的通信系统。图 6 是该系统的结构框图，图 7 则是实际的硬件模块和软件界面图片。

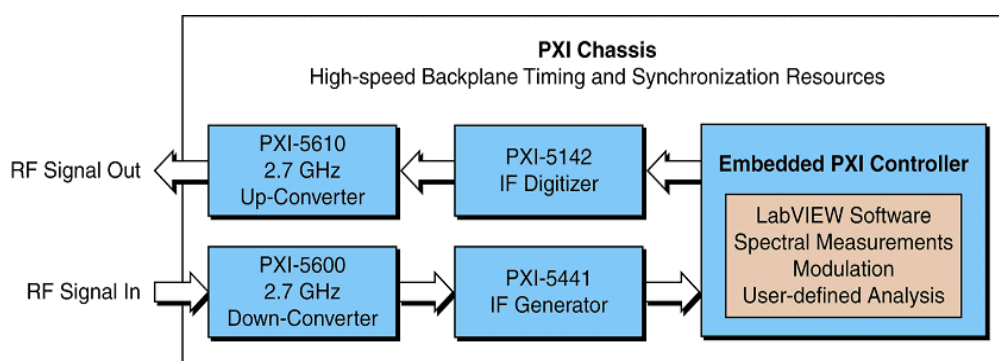


图 6 一个基于 PXI 和 LabVIEW 的 RF 合成仪器的结构框图

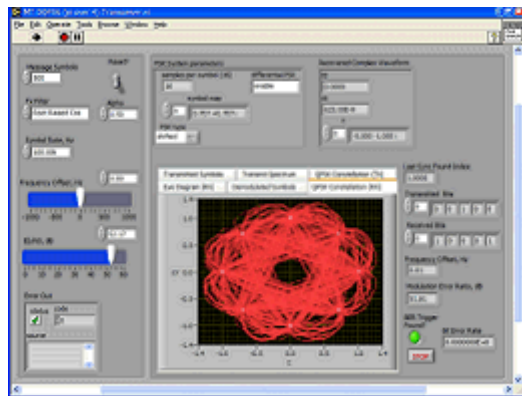


图 7 一个基于 PXI 和 LabVIEW 的 RF 合成仪器

在这个系统中，RF 模块的下变频器借助高达 20MHz 的实时带宽，将信号变换到中频数字化仪的频率范围当中。中频数字化仪通过板载 FPGA 实现数字的下转换器，并对数据进行滤波和裁减。数据通过高速 PXI 背板传送到运行用户自定义 LabVIEW 程序的主机控制器上。LabVIEW 是一个使用模块流程图语法进行系统编程的图形化开发环境。模块流程图方法非常适合于开发这类 RF 系统。因而，LabVIEW 程序能够进行重新配置，从而改变仪器的特性。例如使用内建的频谱分析函数，系统可以作为一个实时频谱分析仪。而通过添加解调功能后，系统还可以进行调制错误率和误码率的测量。改变调制类型之后，系统在频率和带宽能力范围之内，能够对各种基于标准信号的通信信号进行测试。您还可以使用中频发生器和模块上变频器，做成信号发生装置。

这种基于 PXI 的合成仪器能与其他类型的仪器结合，创建一个混合系统，并对功能进行扩展。例如，当配合 VXI 或独立上下变频器使用时，频率范围能够扩展到 26.5GHz 以上。另外，由于中频发生和数字化仪工作仍然在 PXI 模块中完成，系统还能够完成大多数应用要求的高速数据传输和处理任务。图 8 是一个已经完成配置的 PXI/VXI 混合系统的例子。

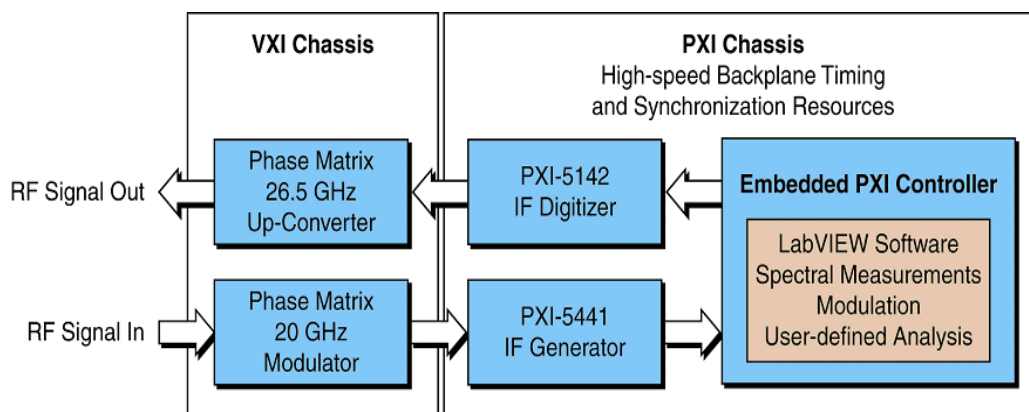


图 8 一个能够进行 26.5GHz 测量的 PXI/VXI 混合系统

虚拟仪器的前景-图形化系统设计

虚拟仪器软件和硬件技术已经达到并超越了军用合成仪器的要求。由于很多业界都需要更快地进行产品设计，并及早将产品推向市场，因此对虚拟仪器面向软件设计方法的需求在很多领域都快速增长。特别是由于设计复杂系统的挑战同时也带来了对这些系统进行测试的挑战，因此虚拟仪器技术非常适用于此类系统设计。LabVIEW 就是一个很好的例子，现在它能够以 FPGA，DSP 和嵌入式微处理器等嵌入式系统作为目标对象。LabVIEW 还可以对包含多种处理和双向通信的各类嵌入式系统进行编程。而在很多需要 FPGA 等技术提升系统性能并保持软件定义灵活性的测量和自动化应用当中，也需要这样的能力。在嵌入式设计，快速原型设计以及系统验证和测试当中使用统一的软件工具，能够大大缩短新产品的设计和市场化时间。

NI 相关产品

软件：

- NI TestStand 测试管理架构
- LabVIEW 图形化编程环境
- Signal Express 交互式测量软件

硬件：

- 模块化仪器(示波器，万用表，RF，开关和其他)
- 多功能数据采集
- PXI 系统组件(机箱和控制器)
- 仪器控制(GPIB,USB 和 LAN)。

