

测试系统构建基础知识

仪器选择

目录

引言

模拟和RF仪器

数字仪器

组成结构

下一步

引言

工程师通常对“为工作选择正确的工具”这一名言的重要性不置可否。使用错误的工具可能会浪费时间并影响质量，而正确的工具则可在短时间内提供正确的结果。

在构建自动化测试系统时，使用的主要工具是测量仪器。这些仪器包括数字万用表（DMM）、示波器和波形发生器等大家耳熟能详的仪器，以及各种新的和不断变化的产品类别，如矢量信号收发器和多功能一体式示波器。如果要选择正确仪器，资深的测试工程师必须对以下方面有深入的了解：

- 被测设备的技术测量要求(DUT)
- 会影响应用的重要仪器规格
- 可用的各种类型的仪器，以及功能、尺寸、价格等方面的权衡
- 特定仪器类别中产品型号之间的细微差异

为工作选择正确的工具说起来容易，做起来难，特别是当涉及到评估许多权衡时。本指南介绍了可用仪器的主要类别，以及常见的选择标准，可帮助您缩小应用的最佳选择范围。

模拟和射频仪器

模拟和射频测试仪器的市场非常广泛，数以百计的产品类别包含数千个型号。而且，这些仪器同样可根据物理定律来选择，具体来说，噪声和带宽的基本原理体现在放大器技术和用于创建仪器的模数转换器(ADC)上。这些基本的物理限制使得工程师经常需要在测量精度和数据采集速度之间进行取舍。下图显示的是随着传统和模块化仪器的技术进步，速度与分辨率之间的关系如何随着时间的推移而变化。

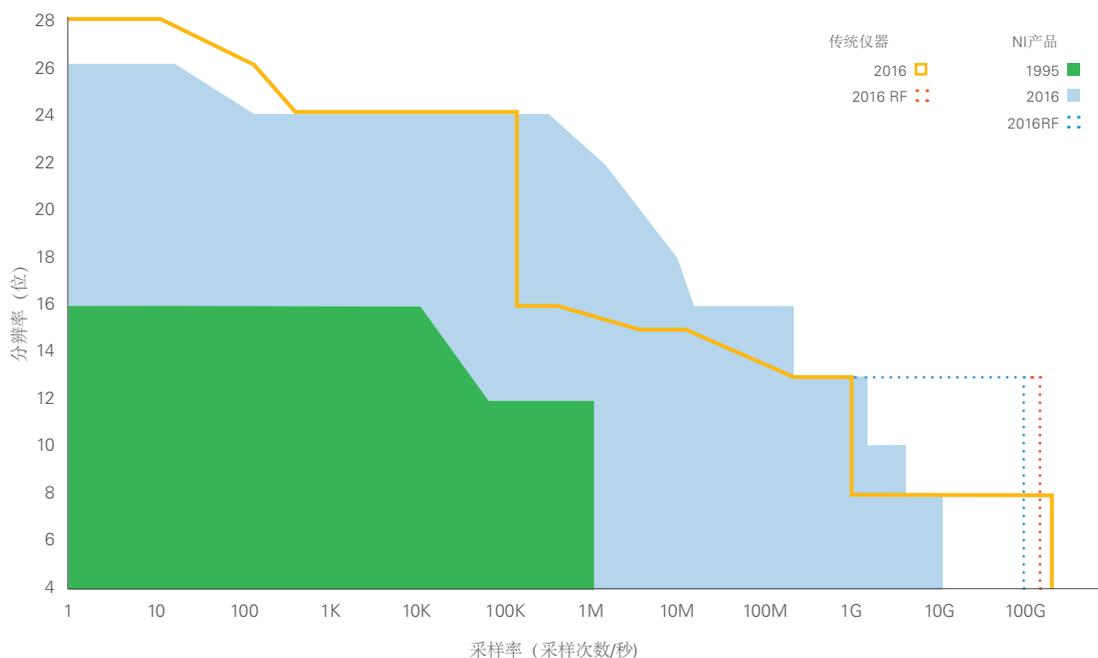


图1.分辨率与仪器的采样率

模拟和射频仪器类别

图1中的曲线代表了各种不同仪器类别的示例。图表左上角的DMM在低速下提供高精度，图表右下角的示波器在较低分辨率下提供高频采集，而左下角的DAQ产品则提供更高的通道密度和更低的成本。

如果要确定从哪个类型的仪器开始研究，首先要考虑几个关于您测量任务的关键问题：

- **信号的方向是什么？**（输入、输出或两者皆有）
- **信号的频率是多少？**（DC、kHz、MHz或GHz）

在确定上面关于方向性和速度这两个关键问题的答案后，便可根据表1来确定从哪种类型的仪器开始着手。

	DC和电源	低速模拟	高速模拟	RF和无线
输入, 测量	数字万用表	模拟输入, 数据采集 (DAQ)	示波器, 频率计数器	RF分析仪 功率计 (频谱分析仪, 矢量信号分析仪)
输出, 生成	可编程电源	模拟输出	函数/任意波形发生器 (FGEN, AWG)	RF信号发生器 (矢量 信号发生器, 连续波 源)
同一个设备上 输入和输出	DC电源分析仪	多功能数据采集卡 (多功能DAQ)	多功能一体式示波器	矢量信号收发仪 (VST)
同一个引脚上 输入和输出	源测量单元 (SMU)	电感电容电阻测量计	阻抗分析仪	矢量网络分析仪 (VNA)

表1. 模拟仪器类别

这个图表虽然有用，但包含的仪器类型非常少，特别是缺少垂直或特定用途的仪器。该表未提及的一些值得注意的领域包括：

- 专用直流仪表，如静电计、微欧姆计、纳伏表等
- 音频频带分析和生成（也称为动态信号分析仪）
- 专业模拟产品，包括脉冲发生器、脉冲源/接收器等

需考虑的关键规格

在将测量任务缩小到特定仪器类别之后，下一步是对该类别的产品进行比较和权衡，需考虑的规格包括：

- **信号范围、隔离和阻抗** - 首先，确保仪器的输入信号范围足够大，可捕获感兴趣的信号。此外需考虑仪器的输入阻抗（影响测量装置的负载和频率性能）以及仪器与地面的隔离（影响抗噪声性和安全性）。
- **模拟带宽和采样率** - 接下来，确保仪器的模拟带宽（以kHz、MHz或GHz为单位）能够传递感兴趣的信号，并且ADC具有足够快的采样率来捕获感兴趣的信号（以每秒样本数单位，例如每秒千个样本、每秒百万个样本或每秒十亿个样本）。
- **测量分辨率和精度** - 最后，评估仪器垂直规格中影响测量质量的多个参数，如ADC分辨率（模拟信号的数字量化，通常在8位至24位之间）、测量精度（最大测量误差随时间和温度的变化，一般以百万或百万分之一表示）和测量灵敏度（最小可检测变化，通常以绝对单位表示，例如mV）

在量程、精度和速度等功能维度具有出色性能的仪器将可能需要在价格、尺寸、功耗和通道密度方面进行取舍，所有这些都会影响仪器的实用性。

图2显示了通用测量仪器的模拟输入路径简图，包含四级主要输入、每一级影响的仪器规格，以及典型DMM和典型示波器的仪器规格受每一级影响的示例。

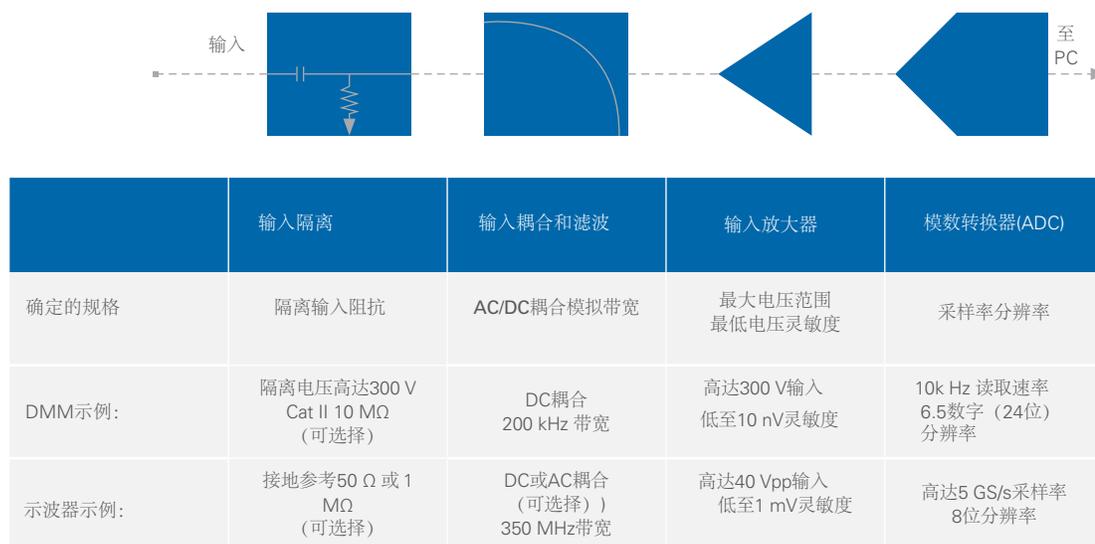


图2. 模拟仪器的四级输入

上面的表格概括了筛选仪器规格时的一些思路，通常使用各种仪器类别和仪器供应商的各种不同命名法来表示。这些级在影响关键规范时通常是相互依赖的。例如，输入放大器还可以影响仪器的输入带宽和有效分辨率。类似地，仪器的输入阻抗可能对带宽具有显著影响。

模拟和射频仪器类别

在比较DUT的测量要求以及仪器测试DUT的能力时，请记住以下关键比率。

测试准确度比= 4:1

当测试组件（例如电压参考）时，请确保测量设备的准确度远远大于被测组件的准确度。如果不满足该标准，则测量误差可能同时来源于DUT和测试设备，这样便不可能知道真实的误差源。因此，测试准确度比(TAR)这一概念可用于描述测量设备和被测组件的相对准确度。

TAR的可接受值为4及以上，取决于所执行的测试和所需的测试确定度。

$$TAR = \frac{\text{待测组件所需的准确度}}{\text{测量设备的准确度}}$$

宽带比 = 5:1

上升时间和带宽直接相关，可以通过一个值算出另一个值。上升时间定义信号从满量程值的10%上升到90%所需的时间。可根据上升时间使用以下公式计算出信号的带宽：

$$\text{带宽} = \frac{0.35}{\text{上升时间}}$$

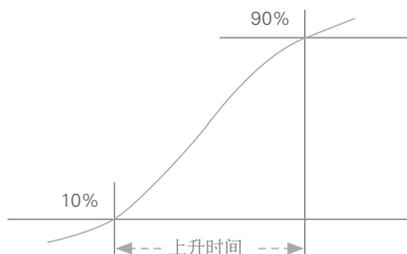


图3. 模拟信号上升时间

理想情况下，数字化仪的带宽应该是信号带宽的三到五倍，如上式所计算。换句话说，数字化仪的上升时间应该是信号上升时间的1/5到1/3，才能以最小的误差采集信号。根据以下公式可随时逆推来确定信号的实际带宽：

$$T_m = \sqrt{T_5^2 + T_d^2}$$

T_m = 测量的上升时间, T_5 = 实际信号上升时间, T_d = 数字化仪的上升时间

时域采样比 = 10:1

尽管带宽描述了可以以最小衰减进行数字化的最高频率正弦波，但采样率仅仅是数字化仪或示波器中的ADC提供时钟以对输入信号进行数字化的速率。采样率和带宽不直接相关；然而，这两个重要参数之间存在一个我们希望的关系：

数字化仪实时采样率=输入信号带宽的10倍

奈奎斯特定理指出，为了避免混叠，数字化仪的采样率需要至少是被测信号中最高频率分量的两倍。然而，仅仅是最高频率分量的两倍并不足以精确地再现时域信号。为了准确地数字化输入信号，数字化仪的实时采样率应至少为数字化仪带宽的三到四倍。具体原因请看下图，想想你希望在示波器上看到的数字化信号。

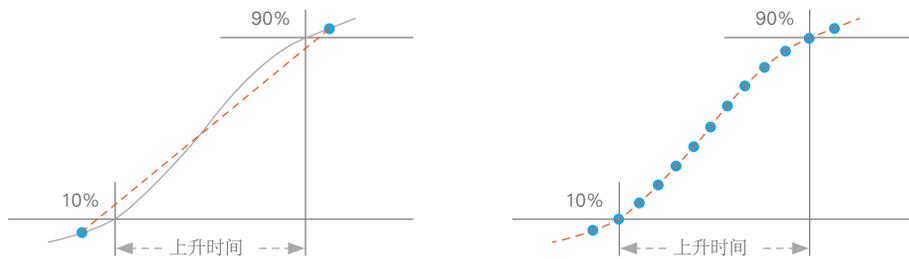


图4. 右图显示的是具有足够高采样率的数字化仪，可精确地重建信号，从而实现更精确的测量。

尽管在两种情况下通过前端模拟电路的实际信号都是相同的，但是左侧的图像属于欠采样，会使数字化信号失真。相反，右侧的图像具有足够的采样点来精确地重建信号，这可实现更精确的测量。因为信号的清晰表示对于上升时间、过冲或其它脉冲测量的时域应用非常重要，所以具有更高采样的数字化仪有益于这些应用。

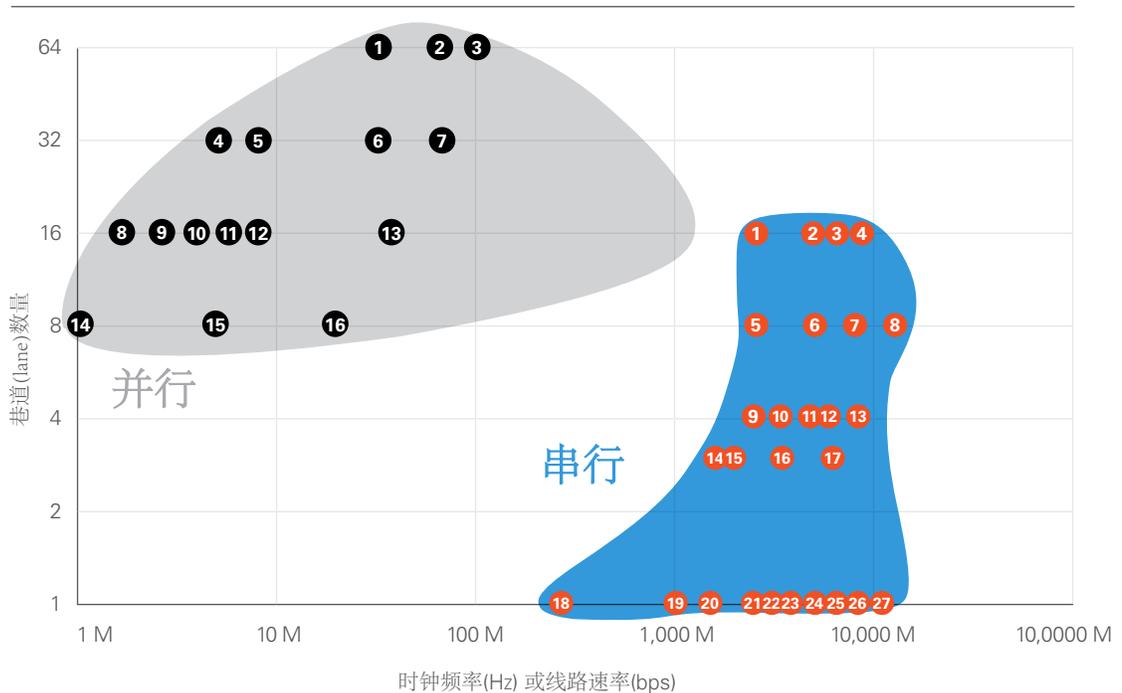
数字仪器

在电子功能测试环境中，数字仪表用于与数字协议连接并测试协议的电特性和通信链路特性。影响特定任务的可用仪器的一个最关键方面是并行与串行数字通信比较。

并行与串行标准比较

由于1GHz到2GHz附近的并行总线的时钟速率存在物理限制，串行标准越来越受欢迎。这是因为由每个时钟和数据线引入的偏移会以更快的速率引起误码。高速串行总线会发送包含单个差分信号数据和时钟信息的编码数据，从而避免了并行总线的速度限制。串行化数据以及以更快的速率发送有助于减少集成电路(IC)的引脚数，从而减小了尺寸。此外，因为串行通道可以以快得多的时钟速度运行，所以它们还可以实现比并行总线更高的数据吞吐量。

总线标准



并行总线

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| ① PCI 64-bit/33 MHz | ⑬ Ultra-2 wide SCSI |
| ② PCI 64-bit/66 MHz | ⑭ RapidIO Gen1.1 |
| ③ PCI 64-bit/100 MHz | ⑮ GPIB |
| ④ Front Panel Data Port | ⑯ SCSI |
| ⑤ EISA | ISA 8-bit/4.77 MHz |
| ⑥ PCI 32-bit/33 MHz | |
| ⑦ PCI 32-bit/66 MHz | |
| ⑧ IDE (ATA PIO 0) | |
| ⑨ ATA PIO 1 | |
| ⑩ ATA PIO 2 | |
| ⑪ ATA PIO 3 | |
| ⑫ ATA PIO 3 | |
| ISA 16-bit/8.33 MHz | |

串行总线

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| ① PCIe Gen1x16 | ⑮ HDMI 1.3 |
| ② PCIe Gen2x16 | ⑯ HDMI 2.0 |
| ③ Serial RapidIO Gen2 | ⑰ SD-SDI |
| ④ PCIe Gen3x16 | ⑱ Gigabit Ethernet |
| ⑤ PCIe Gen1x8 | ⑲ SATA 1.0 |
| ⑥ PCIe Gen2x8 | ⑳ Serial FPDP |
| ⑦ PCIe Gen3x8 | PCIe Gen1x1 |
| ⑧ JESD204B | ㉑ SATA 2.0 |
| ⑨ PCIe Gen1x4 | 3G-SDI |
| ⑩ Serial RapidIO Gen1.3 | JESD204A |
| ⑪ PCIe Gen2x4 | 10 Gigabit Ethernet |
| ⑫ DisplayPort | ㉒ PCIe Gen2x1 |
| ⑬ PCIe Gen3x4 | USB 3.0 |
| ⑭ HDMI 1.0 | ㉓ SATA 3.0 |
| DVI | ㉔ PCIe Gen3x1 |
| | ㉕ USB 3.1 |

图5. 该图显示了一些常见的总线标准及其车道数量与线路速率的关系图。串行标准具有比并行标准多得多的线路速率，从而可实现更高吞吐量。

数字仪器类别

与模拟仪器一样，您可以使用以下几个关键问题快速缩小数字仪器的选项范围：

- **需要完成哪些任务？**（数字连接、自定义数字连接或电气和定时测试）
- **链路的速率有多快？**（静态和kbit/s、Mbit/s或Gbit/s）

	静态低速	同步和高速并行 (100 MBit/s)	高速串行 (100 GBit/s)
接口（标准）	低速标准接口卡(I2C, C) 同步协议接口 (ARINC 429, CAN, GPIB, I2C, SPI)		接口卡 (10 千兆以太网, 光纤通道, PCI Express等)
接口（自定义）	数字I/O (GPIO)	数字波形发生器/ 分析仪分析仪, 测试图案发生器	基于FPGA的高速串行接口 Aurora, Serial Rapid I/O, JESD204b
(电气测试和定时测试 (基本接口))	引脚电子数字, 每引脚参数测量单元(PPMU)		BERT, 示波器

表2. 数字仪器类别

硬件定时与软件定时

数字通信方案主要通过两种方法实现：软件定时和硬件定时。软件定时应用的输入输出不需要使用任何类型的时钟。软件负责控制I/O，而编程语言则通过软件来控制定时。这种编程语言通常在操作系统上运行，可能需要几毫秒来执行软件调用。对于软件定时，可以使用操作系统定时器来确定定时操作的速率。通常，监测和控制报警、电机和报警器等低速应用使用软件定时。

有两种类型的软件定时通信可供选择：确定性控制和非确定性控制。使用实时操作系统，可以实现高达1 μ s的精度；但是，实时操作系统不会提高通信速率，仅仅是增加确定性。非实时系统，如Microsoft Windows，是非确定性的。在这些系统中，软件命令在硬件中执行所花费的时间是不一致的，并且可能要花费几毫秒。计算机内存、处理器速度和在操作系统上运行的其他应用程序等因素都可能会影响执行时间。

相比之下，硬件定时设备使用时钟的上升沿或下降沿进行确定性生成或采集。您可以使用此类定时，以非常高的确定性在千兆位每秒的速率下采集或生成数字数据，并且可以在预确定的位置可靠地输出数据。

使用硬件定时的应用包括：

- 芯片测试
- 协议仿真和测试
- 数字视频和音频测试
- 数字电子测试

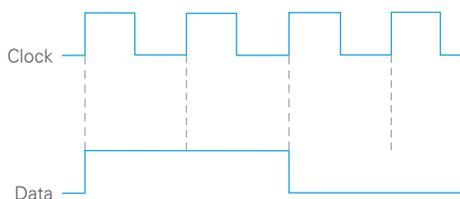


图6. 通过硬件定时操作，您可以利用实时确定的数字信号输出。

时钟速率

硬件定时数字应用的一个重要考量因素是时钟速率。如果设备的最大时钟速率不够快，将难以补偿。您可以使用NI高速数字I/O设备实现高达200 MHz的单端信号采样速率和高达200 MHz的差分信号，从而实现协议、数字音频和视频以及数字电子等的测试。对于设备可能不满足串行数据流所需的时钟速率要求的情况，可以使用串行器/解串器（SERDES）来采集更高频率的数字信号。但是，根据使用的SERDES类型，采用SERDES可能会减少可用线路的数量。

组成结构

除了理解从物理角度进行正确测量所需的模拟前端外，您还需要稳定、可重复、快速且连接PC仪器-这是工作的一部分。这有助于您根据环境做出决定：

- **对于台式和实验室** — 准确度、重复性、底层控制、易于安装和重复测试自动化的能力
- 对于制造车间 - 速度、吞吐量、准确度、通过编程接口优化以及调试

显然，在如何选择实验室与制造车间所需的仪器上有相似之处和不同之处。通常需要针对终端部署对仪器的组成结构进行一系列主要成功标准评估。以下是您可能在制造环境中看到的一组典型的评估标准。

功能需求	测试工程说明
仪器，需要I/O?	
处理，需要计算?	
数据吞吐量，存储?	
同步?	
未来需求?	
需要在几年内部署几个系统?	
计划使用的年限?	
全球站点复制的数量?	
部署场景的环境稳定性?	
初始设置、配置和维修如何管理?	
机架安装式?	
尺寸、重量和功耗?	
连接件和连接?	

表3. 硬件部署检查清单

选择总线类型

今天，USB、PCI Express和以太网/LAN作为仪器控制的有效通信选项而备受关注。一些测试和测量供应商和行业权威人士声称，其中这些总线本身就代表了所有仪器需求的解决方案。实际上，未来的测试和测量系统很可能仍然同时采用多种总线技术，因为每个总线都有自己的优势。

带宽

在考虑其他总线的技术优点时，带宽和延迟是两个最重要的总线特性。带宽衡量的是通过总线发送数据的速率，通常以兆字节每秒为单位。高带宽总线可以在给定周期内比低带宽总线传输更多数据。大多数用户认识到带宽的重要性，因为带宽会影响数据是否能够以与采集和生成一样快的速率通过总线输入或输出共享主机处理器，以及仪器需要多少板载内存。带宽对于复杂波形生成和采集以及RF和通信等应用十分重要。高速数据传输对于虚拟和合成仪器架构尤其重要。虚拟或合成仪器的功能和特性由软件定义；在大多数情况下，这意味着数据必须移动到主机PC进行处理和分析。图7显示了本指南中介绍的所有仪表总线的带宽（和延迟）。

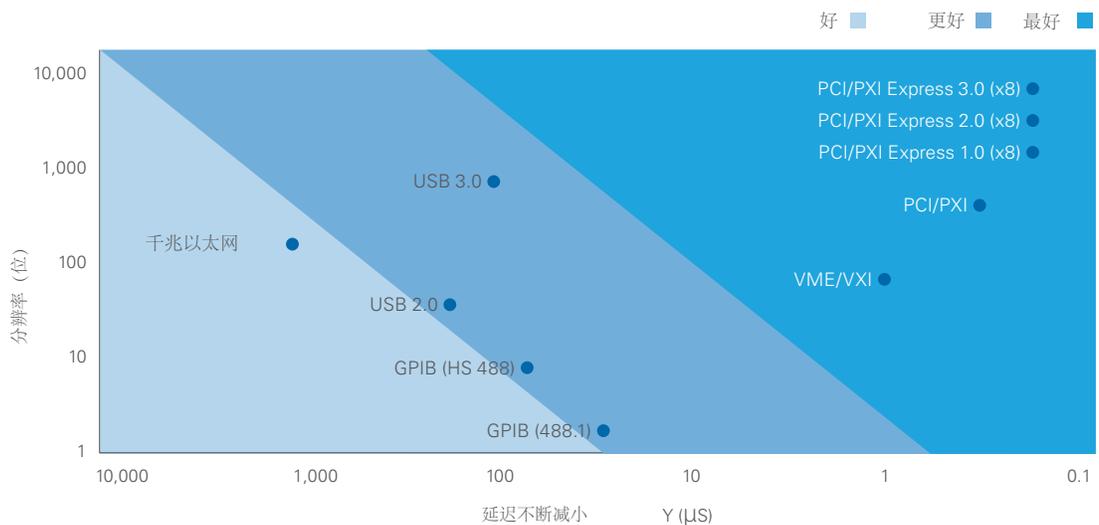


图7. 不同仪器总线的带宽和延迟关系图

延迟

延迟衡量的是通过总线的数据传输延迟。打个比方，将仪表总线看成公路，带宽则对应于车道数和行驶速度，而延迟则对应于入口匝道和使出匝道引入的延迟。低（越低越好）延迟总线在一端发送数据和另一端处理数据的时间之间的延迟较少。延迟虽然比带宽更难观察到，但是会直接影响需要通过总线快速连续地发送间断性短命令的应用，例如DMM和开关之间的握手以及仪器配置。

GPIB

IEEE 488总线（通常称为GPIB）是专为仪器控制应用而设计且经过验证的总线。GPIB作为一种强大可靠的通信总线已经应用了30年，仍然是仪器控制最受欢迎的选择，因为它具有低延迟和可接受的带宽。GPIB目前拥有最广泛的行业领先地位，超过10,000台仪器型号采用GPIB连接。

GPIB的最大带宽约为1.8 Mbytes/s，最适合用于独立仪器的通信和控制。最新的高速版本HS488将带宽增加至高达8 Mbytes/s。数据的传输基于消息，通常采用ASCII字符的形式。多个GPIB仪器可以通过电缆连接，使总距离长达20 m，并且总线上所有仪器之间共享带宽。尽管带宽相对较低，GPIB延迟明显低于（更好）比USB，特别是以太网。GPIB仪器在连接到系统后不会自动检测或自动配置；但是GPIB软件仍是最佳选择之一，而且坚固的电缆和连接器也是恶劣物理环境的理想选择。GPIB是自动化现有设备或需要高度专业化仪器的系统的理想选择。

USB

USB近年来广泛用于连接计算机外设。随着越来越多的仪器供应商在仪器中添加了USB设备控制器功能，这种普及已经扩展到测试和测量领域。虽然大多数笔记本电脑、台式机和服务器可能配有几个USB端口，但这些端口通常都连接到同一个主机控制器，因此USB带宽在所有端口之间共享。

USB的延迟相对较好（介于慢速的以太网和快速PCI和PCI Express之间），并且电缆长度最长为5m。USB设备可自动检测，这意味着与其他acargteyhfrjtgk技术（如LAN或GPIB）不同，USB设备在连接PC时会立即被PC识别和配置。USB连接器是所有介绍的总线中最不可靠和最不安全的。可能需要外部电缆扎带将其固定到位。

USB设备非常适合于需要便携式测量、笔记本电脑或台式数据记录以及车载数据采集的应用。该总线已经成为独立仪器的常见通信选择，因为它在PC上普遍存在，特别是其即插即用的易用性。USB测试和测量类（USBTMC）规范满足各种测试和测量设备的通信要求。

PCI

PCI和PCI Express是本文介绍的所有仪器总线中带宽和延迟性能最好的总线。PCI带宽为132 Mbytes/s，该带宽由总线上的所有设备之间共享。PCI延迟以700 ns为基准，与以太网的1 ms相比，性能非常出色。PCI使用基于寄存器的通信。与此处提到的其他总线不同，PCI不能连接到外部仪器。相反，它是用于PC插入卡和模块化仪器系统（如PXI）的内部PC总线，因此无法直接进行距离测量。尽管如此，当连接到PXI系统时，通过使用NI光纤MXI接口，PCI总线可以扩展到长达200 m。因为PCI连接在计算机内部，所以我们可以将连接器的鲁棒性看成受其所驻留的PC的稳定性和耐用性的约束。

PXI模块化仪器系统基于PCI信号，通过高性能背板连接器和多个螺栓端子增强了连接性，保持连接到位。插入PCI或PXI模块启动后，Windows就会自动检测并安装模块的驱动程序。通常，PCI仪器可以实现更低的成本，因为它们依赖于托管它们的PC电源、处理器、显示器和存储器，而不是将该硬件并入仪器本身中。

PCI Express

PCI Express类似于PCI。它是PCI标准的最新版本。因此，PCI的上述大部分评估也适用于PCI Express。

PCI和PCI Express性能的主要区别在于PCI Express具有更高的带宽，并为每个设备提供专用带宽。在本指南涵盖的所有总线中，只有PCI Express为总线上的每个外设提供专用带宽。GPIB、USB和LAN在所连接外设上共享带宽。数据通过点对点连接传输，称为通道(lane)，第1代链路每个方向的带宽为250 Mbytes/s。每个PCI Express链路可以由多个通道组成，因此PCI Express总线的带宽取决于在插槽和设备中的实现方式。x1链路提供了250 Mbytes/s，x4链路提供1 Gbyte/s，x16链路提供4 Gbytes/s的专用带宽。PCI Express实现了软件向后兼容性，意味着迁移到PCI Express标准的用户可以保留其在PCI的软件投资。PCI Express也可通过外部布线扩展。

高速内部PC总线专为快速通信而设计。因此，PCI Express是需要高带宽的高性能数据密集型系统以及集成和同步多种类型仪器的理想总线选择。

以太网/ LAN / LXI

以太网一直是一个仪器控制选项。它是一种成熟的总线技术，已被广泛应用于外部测试和测量的许多应用领域。100BASE-T以太网的理论最大带宽为12.5 Mbytes/s。千兆以太网或1000BASE-T将最大带宽增加到125 Mbytes/s。在所有情况下，以太网带宽在网络上共享。125 Mbytes/s千兆以太网在理论上比高速USB快，但是当多个仪器和其他设备共享网络带宽时，该性能快速下降。以太网总线通信是基于消息的，其中通信分组显著增加了数据传输的开销。为此，以太网的延迟在本指南所述的总线技术中是最差的。

尽管如此，以太网仍然是创建分布式系统网络的强大选择。在有中继器的情况下，以太网的工作距离长达85米到100米，没有中继器时不存在距离限制。其他总线无法与控制PC或平台的分离范围。与GPIB一样，以太网/ LAN无法进行自动配置。您必须手动为仪器分配IP地址和子网配置。与USB和PCI一样，以太网/ LAN连接也普遍存在于现代PC中。这使得以太网非常适合分布式系统和远程监测。它通常与其他总线和平台技术结合使用来连接测量系统节点。这些本地节点本身可以由基于GPIB、USB和PCI的测量系统组成。物理以太网连接的鲁棒性比USB连接高，但比GPIB或PXI低。

LAN对仪器的扩展(LXI)是一种基于LAN的新兴标准。LXI标准定义了采用以太网连接的独立仪器的规格，增加了触发和同步特性。

尽管从概念上说，将某个总线或通信标准指定为最终或理想技术较为方便，但历史经验表明，几种替代标准可能继续共存，因为每种总线技术都有其独特的优点和缺点。表4汇总了各种总线的性能标准。应该清楚的是，没有一种总线在所有性能指标方面都是优越的。

	带宽 (MBYTES/S)	延迟(μS)	距离(米) (无扩展器)	设置和安装	连接器 坚固性
GPIB	1.8 (488.1) 8 (HS488)	30	20	好	最好
USB	60 (USB 2.0)	模拟输出	5	最好	好
PCI (PXI)	132	0.7	内部PC总线	更好	更好 最好(用于PXI)
PCI EXPRESS (PXI EXPRESS)	250 (x1) 4,000 (x16)	0.7 (x1) 0.7 (x4)	内部PC总线	更好	更好 最好(用于PXI)
以太网/ LAN/LXI	12.5 (快) 125 (千兆)	1,000 (快) 1,000 (千兆)	100米	好	好

表4. 总线性能比较

您可以通过创建混合测试和测量系统，将来自模块化仪器平台的组件（如PXI和独立仪器）连接到GPIB、USB和以太网/LAN，从而充分利用多个总线和平台的优势。创建和维护混合系统的一个关键是实现一个能够透明地识别多种总线技术并利用开放的多供应商计算平台（例如PXI）的系统架构，以实现I/O连接。

成功开发混合系统的另一个关键是确保在驱动程序、应用程序和测试系统管理级别选择的软件是模块化的。虽然一些供应商可能为特定仪器提供垂直软件解决方案，但最有用的系统架构是将软件功能分解为可互换的模块层，从而使系统不与特定硬件或特定供应商绑定。这种分层方法提供了最佳的代码复用、模块化和使用寿命。例如，虚拟仪器软件架构（VISA）是一种不依赖于供应商的软件标准，用于配置和编程基于GPIB、串行（RS232/485）、以太网、USB和/或IEEE 1394接口的仪器系统以及进行故障排除。VISA是一个非常有用的工具，因为用于编程VISA函数的API对于各种通信接口都是类似的。

借助混合系统，您可以结合许多类型仪器的优势，包括传统设备和专用设备。尽管为仪器找到一个通用型解决方案非常有吸引力，但现实需要您采用合适的仪器和相关总线技术来满足您的特定应用需求的。

定时和同步

PXI平台提供了仪器之间集成定时和同步的良好示例，PXI平台是用于测试和测量的模块化标准。PXI Express可维持10 MHz背板时钟以及原始PXI规范提供的单端PXI触发总线和长度匹配的PXI星形触发信号。PXI Express还为背板添加了一个100 MHz的差分时钟和差分星形触发器，以提供更高的抗噪能力和行业领先的同步精度（分别为250 ps和500 ps的模块间偏移）。NI定时和同步模块旨在利用PXI和PXI Express机箱中的高级定时和触发技术。

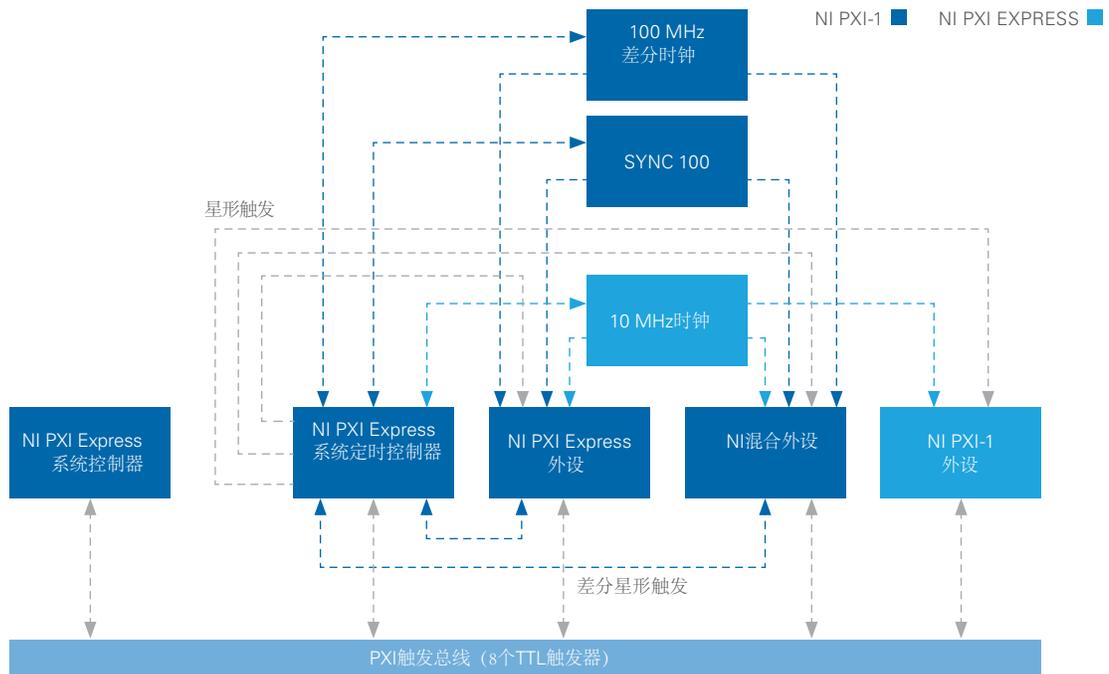


图8. PXI机箱定时和同步特性示例

下一步

通过阅读《仪器基础》白皮书系列，了解更多关于使用测试和测量仪器的基础知识。该系列包括从模拟采样理论到接地考虑因素等主题，旨在提高测量质量。