

## 使用 LabVIEW FPGA 模块和可重新配置 I/O 设备开发测量与控制应用

通过使用 LabVIEW FPGA 模块和可重新配置 I/O(RIO)硬件, NI 为您提供了一种直观可用的解决方案, 它可以将 FPGA 技术的灵活性整合到测量和控制系统当中。您可以使用 LabVIEW 这一专门为测量和自动化控制应用开发所设计的图形化开发环境, 对嵌入在 NI R 系列 RIO 设备中的 FPGA 进行配置, 进而创建一个高性能的鲁棒系统。使用这种基于 LabVIEW 的系统, 您可以轻松地将图像采集/分析、运动控制、以及工业通信接口, 例如 CAN 总线和 RS232 串口, 整合在一起。通过 LabVIEW FPGA 模块和 R 系列硬件实现的应用包括了灵活的编码输入, PWM 信号 I/O, PID 控制, 定制计数器实现, 数字协议仿真, 离散控制和定制测量等等。

### 内容提要:

- 简介
- R 系列 RIO 设备
- LabVIEW FPGA 模块功能
- 应用开发流程
- 性能提升
- 应用
- 总结

### 简介

使用 LabVIEW FPGA 模块, 您可以通过图形化的编程对 NI R 系列 RIO 设备上的现场可编程逻辑阵列(FPGA)进行配置。另外, LabVIEW FPGA 模块和 R 系列设备提供了一个灵活的平台, 以便于创建复杂精密的测量和控制系统, 这在从前是只能通过定制设计的硬件才能够完成的。

FPGA 是一个包含许多未经配置的逻辑门的芯片。与厂商设计固定的专用集成电路芯片(ASIC)不同, 您可以对 FPGA 芯片进行反复配置, 以适应不同的应用需要。当开发制造一个 ASIC 芯片的成本过高, 或者在产品投入使用后硬件需要重新配置的时候, FPGA 正是一个合适的选择。由于 FPGA 可以使用硬件实现特定算法, 这为精确定时和同步, 快速判决, 以及同时执行并行任务提供了很大的便利。现在 FPGA 越来越多地用于仪器, 消费电子, 汽车, 飞机, 复印机和专用计算机硬件等领域, FPGA 也经常用于测量和控制领域的产品, 但是这些系统的终端用户往往不愿意开发他们自己的基于 FPGA 的系统。因为从前配置 FPGA 是需要 VHDL 编程的专业知识或复杂的设计工具的, 这些工作通常是由硬件设计工程师而非测试和控制工程师所完成的。

现在, 使用 LabVIEW FPGA 模块, 您可以通过 LabVIEW 这一专为开发测量和控制应用所设计的图形化开发环境以及 FPGA 带来的便利条件, 创建测量和控制系统。您不需要掌握其它的设计工具, 就可以对系统中 R 系列设备上的 FPGA 进行配置。因为 LabVIEW FPGA 模块会在硬件中执行您设计的逻辑算法, 您的系统可以快速地, 确定性地处理和生成同步模拟信号或数字信号。

### R 系列 RIO 设备

首先是 R 系列设备中的 NI PXI-7831R 模块。NI PXI-7831R 的特性如下:

- 8 个独立的 16 比特模拟输入, 4.3 微秒转换时间
- 8 个独立的 16 比特模拟输出, 1 微秒更新时间
- 96 个数字 I/O 线
- 板载 Flash 存储空间
- LabVIEW 可配置 FPGA
- PXI 触发接口, 用于两个或多个 PXI-7831R 模块之间的同步

您可以通过创建 LabVIEW 虚拟仪器来定义 PXI-7831R 的测量和控制功能，并将其下载到模块上。图 1 说明了 PXI-7831R 的一个高级模块流程图。在您的 LabVIEW 虚拟仪器中，用户自行配置的 FPGA 对定时、同步和判决等方面进行了处理。FPGA 与模拟 I/O，数字 I/O 和 NI MITE ASIC 芯片连接，NI MITE 则与 PXI 背板连接，并在 PXI-7831R 和其他模块之间通过 PXI 总线传输数据，这些模块包括了 I/O 模块和控制器。

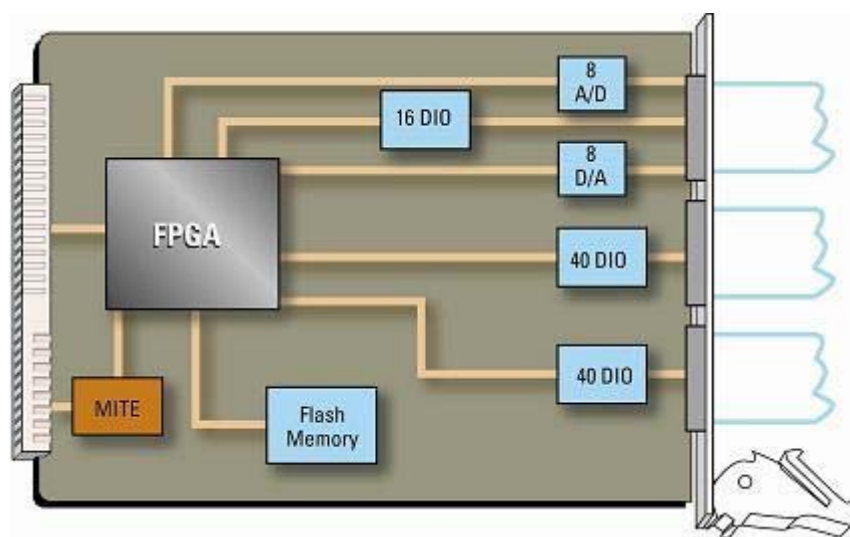


图 1. PXI-7831R 的模块流程图

您可以使用 LabVIEW FPGA 模块独立地对每个 I/O 信号线进行处理，或是在任意信号线之间进行同步协调。PXI-7831R 的全局时钟会对所有的操作执行进行安排。所有的操作由 PXI-7831R 的 40MHz 全局时钟进行定时，所以您的操作定时同步精度可以达到 25 纳秒。您可以将数字 I/O 线配置为定制计数器/定时器，PWM 通道，或是作为用户自定义的协议接口。PXI-7831R 的板载 Flash 闪存可以使您将模块配置存储起来，并在模块上电之后自动导入配置并执行程序。

下面介绍一下 PXI-7831R 系列可重新配置 I/O 模块与诸如 NIE 系列等数据采集模块之间的主要区别。例如，E 系列设备包括了固定数量的计数器/定时器和触发功能，能够进行波形处理，并使用高级驱动软件和预先设置好的功能函数对这些操作进行控制。相反，PXI-7831R 提供了一系列灵活的计数器/定时器，用户自定义的定时、触发以及 I/O 同步的功能。它同样可以进行高速的单点模拟输入和输出，并能够提供底层硬件的 I/O 控制。

	典型多功能数据采集设备	PXI-7831R
I/O 控制	用于计数器/定时器操作，触发等方面的 ASIC	使用 LabVIEW FPGA 模块进行配置
定制板载判决操作	N/A	使用 LabVIEW FPGA 模块进行配置
定时和同步	针对信号路由，时钟共享，触发和脉冲测量 / 生成的驱动功能函数	LabVIEW 架构，例如 While 循环，顺序结构，等待函数等等。在硬件中实时实现
模拟输入	16 个单端输入或 8 个差分输入复用	8 个独立差分，可相互同步
模拟输出	2 个独立差分	8 个独立差分，可相互同步
数字 I/O	8 个独立静态 I/O 线 可配置成输入或输出	96 个独立 I/O 线，可配置为输入或输出 — 静态的或同步的
计数器/定时器	2 个通用计数器/定时器	96 个 I/O 线均可配置为定制计数器

表 1. 传统多功能 I/O 设备与 PXI-7831R 的比较

## LabVIEW FPGA 模块的功能

使用 LabVIEW FPGA 模块，您可以通过在 LabVIEW 中进行编程对 FPGA 设备的操作进行配置。您的 LabVIEW 模块流程图将在硬件中得以实现，使您可以直接控制 PXI-7831R 模块的所有 I/O。您可以灵活的对 I/O 信号进行分析和操作，这在固定 I/O 硬件上是不可能实现的。图 2 表示了 LabVIEW FPGA 模块的一个例程中简单的上升沿计数器的模块流程图。事实上我们使用了一个 U16 数据类型来完成这个 16 比特计数器。在传统的数据采集卡上，计数器逻辑是在固定的 ASIC 芯片上实现的，如 DAQ-STC 等，您需要使用 NI-DAQ 计数器 VI 编写您自己的应用程序。使用 LabVIEW FPGA 模块，您完全可以在 LabVIEW 中自己编写并实现计数器，然后在 FPGA 的相应部分配置您自己的计数器芯片。基于软件的计数器只能对比较低频的边沿进行计数，如果您单单使用 LabVIEW 或 LabVIEW 实时模块，都是不可能实现这样一个计数器的。由于 LabVIEW FPGA 模块是使用模块流程图在硬件上实现您的应用的，因此所实现的这个计数器的可以达到与数据采集设备上的预设计数器相当的水平。

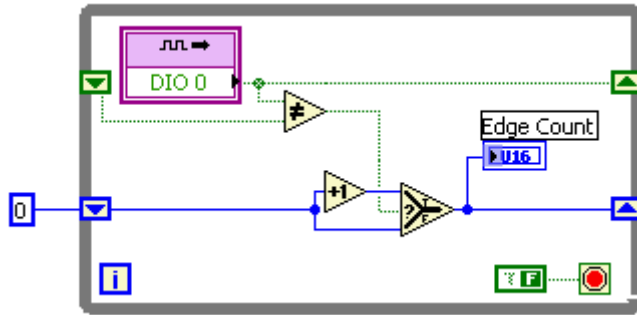


图 2. LabVIEW FPGA 例程-16 比特计数器

LabVIEW FPGA 模块中附带了许多可以完成常规功能的 LabVIEW 虚拟仪器例程。修改这些例程可以满足您定制应用程序的需要。以下是例程所涵盖的主题范围：

- 脉冲宽度调制(PWM)
- 定时，同步操作
- 定制计数器和编码器接口
- 定制触发方式

## 应用程序开发流程

图 3 显示了开发应用程序的典型流程，第一步是开发 VI，它将要被部署到 PXI-7831R 的板载 FPGA 目标上。在您编译程序之前，您需要通过 FPGA 设备仿真器对 FPGA VI 进行测试，仿真器将在您的主机处理器上运行您的算法。在完成开发，调试以及编译 FPGA VI 之后，您需要开发主机接口 VI。您可以使用带有 Windows 的计算机或是将任何一种实时目标作为您的主机。如果您使用实时目标作为主机，则需要在 LabVIEW 中开发一个单独的 Windows 用户接口。

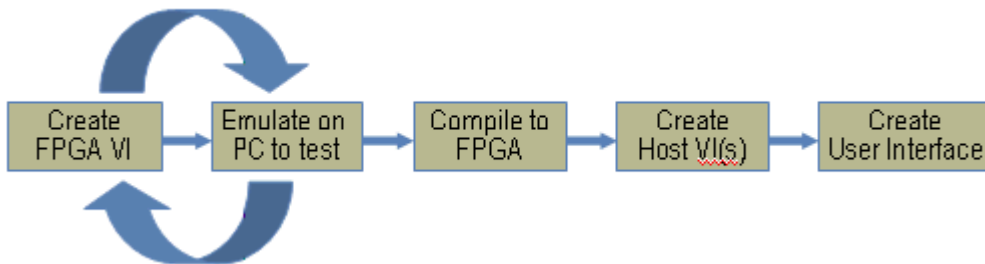


图 3. 应用程序开发流程

## 开发 FPGA VI

开发应用程序的第一步是创建用于配置 PXI-7831R 板载 FPGA 的模块流程图。您在这个过程中将实现您的算法逻辑，包括信号同步，定制数字通信协议，PWM 通信，以及板载控制和预警处理判决机制。通过 LabVIEW FPGA 模块，您可以使用 LabVIEW 开发环境和许多类似的功能。如图 4 所示，如果您将 LabVIEW 作为 Windows 的目标时，功能面板和 Windows 下 LabVIEW 中的所有功能面板都很相似。这里 FPGA 设备 I/O 面板取代了 NI-DAQ 面板，这是因为 NI-DAQ 无法用于可重新配置 I/O。在 Time & Dialog 面板中，您可以为 VI 选择定时精度，从毫秒、微秒到 ticks 均可选择。如我们之前讨论的，FPGA 设备使用了 40MHz 的全局时钟，这样一个 tick 相当于 25 纳秒。创建 FPGA VI 时您可以使用相同的基本程序结构（While 循环、For 循环、Case 结构，以及顺序结构）在标准的 LabVIEW 环境下创建您的应用程序。由于 FPGA 不支持浮点操作，所以 LabVIEW FPGA 模块较之 LabVIEW 完整 Windows 版开发软件缺少了一些操作符和分析函数。另外，由于 PXI-7831R 模块没有硬盘和操作系统，因此不支持文件 I/O 和 ActiveX 功能。

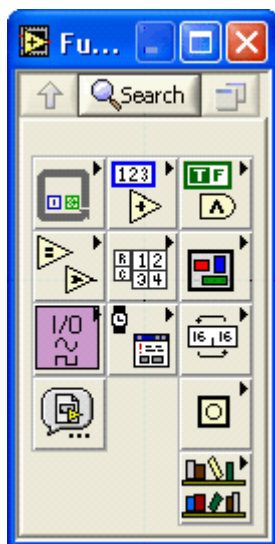


图 4 LabVIEW FPGA 函数面板

无论您的目标硬件是 FPGA 设备还是 FPGA 仿真器，您都可以访问 LabVIEW FPGA 面板。仿真器使用 RIO 设备的 I/O 接口，却在主机处理器上执行逻辑算法。您可以使用仿真器验证 VI 的执行流程，但是您无法通过仿真器验证硬件的确定性。使用 FPGA 设备仿真器可以帮助您完成以下功能：

- 进行调试。仿真器提供了 LabVIEW 的所有调试工具，例如加亮显示执行，探针，断点和单步执行，但是需要注意的是，在编译后这些工具都无法使用。
- 不必等待编译就可以测试您的 VI。

与其它 FPGA 开发工具一样，根据应用程序的复杂程度和计算机资源的不同，编译步骤可能要花上几分钟到几个小时的时间。但若需要验证 FPGA VI 的运行速度和硬件性能确定性，您还是必须对 FPGA VI 进行编译，而不是仅仅在 FPGA 设备仿真器上运行。当 LabVIEW 以 FPGA 设备为目标时，您只需要点击 Run 按钮就可以开始进行编译。

由于以 PXI-7831R 为目标的虚拟仪器在硬件上运行时没有上层操作系统，所以程序执行是具有完全确定性的。

## 开发主机虚拟仪器

在您创建 FPGA 虚拟仪器并完成调试之后，您需要为主机接口创建一个或多个虚拟仪器。您可以使用 LabVIEW Windows 版或 LabVIEW 实时版作为 PXI-7831R 模块的主机。如果您使用 LabVIEW Windows 版，您可以直接在主机虚拟仪器中使用许多 Windows 相关的功能，但是您的主机应用程序在执行中就不具有确定性了。LabVIEW 实时版是一个具有完全确定性的主机端，它可以完全控制您系统中的所有 I/O，并与运行在您用户接口机器上的 LabVIEW Windows 版进行通信。您可以在主机端进行浮点运算操作，例如快速傅立叶变换，或者一些基于模型的控制和仿真。当您安装了 LabVIEW

FPGA 模块之后，如果您的目标硬件是 LabVIEW Windows 版或是一个实时设备，如图 5 所示，FPGA 接口面板将作为子面板也被安装到 All Functions 面板中。

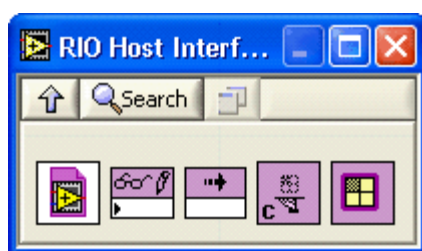


图 5 FPGA 接口面板

FPGA 接口面板包括了用来与 FPGA VI 进行通信，以及用来处理中断的 VI。通过确定您的主机 VI 和 FPGA VI 的交互方式，您可以确定您自己的驱动级软件。

### 开发您的用户界面应用程序

您可以在用户界面应用程序中完成一些时间限制不是很严格的操作，例如配置系统参数，生成报告，以及管理数据等等。如果您的主机是 Windows 系统，您可以使用同一机器作为您的用户接口。如果您使用一个实时目标作为您的主机，您必须在您的 Windows 计算机上创建一个基于 Windows 的用户界面。图 6 说明了在此类系统中平台之间的交互作用。

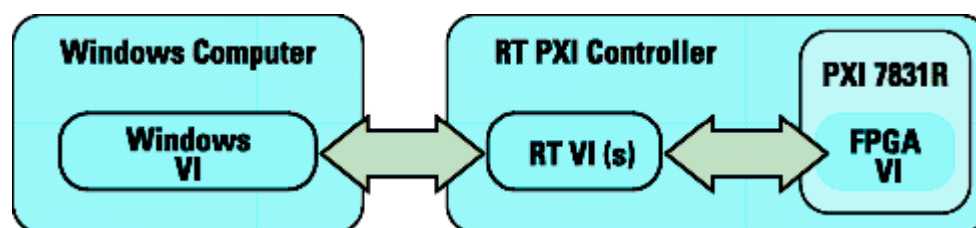


图 6. 部署策略范例

另外一种部署方式是创建一个嵌入式系统，那么您就不需要一个用户界面来进行显示和监控了。您可以使用 LabVIEW 实时模块或 LabVIEW FPGA 模块进行此类部署。

### 性能提升

由于使用硬件本身来运行算法，与基于软件的系统相比较，一般来说程序性能都会大大提高。例如，考察一个使用了八个 PID 控制循环的应用程序。通过使用一个实时目标来进行八个 PID 计算以及一个 PXI-7831R 进行简单的 I/O，您可以实现 28KHz 的循环速率。当您在 PXI-7831R 自带的 FPGA 上实现一个基于整数的 PID 算法时，每八个循环的速率可以达到 100KHz。在 PXI-7831R 上执行 PID 控制循环时的速率瓶颈不是 PID 计算，而是 16 位模数转换所需要的时间。而对于数字 I/O 的控制循环，如 PWM，执行速度甚至可以达到几兆赫兹。

在 PXI-7831R 自带的 FPGA 上运行 LabVIEW 代码的另一项优势是您可以达到真正的同步与并行处理。在模块上没有运行操作系统，所以它在任务之间进行调度的时候无需对 CPU 资源进行分配。例如，考察一个使用了两个并行 While 循环的 LabVIEW 模块流程图，每个循环实现了一个计数器，如图 2 所示。这个应用程序实际上在 FPGA 中创建了两个独立的硬件处理器，它们可以同时独立运行，也可以根据全局时钟进行同步。即使是在同一个 While 循环或是其它结构中，您也可以通过使用流水线架构进行并行操作，从而获得性能上的提升。您可以在模块流程图对处理流程进行划分，并在 While 的后续循环中执行程序片。图 7 中控制算法就被划分为两个程序片。



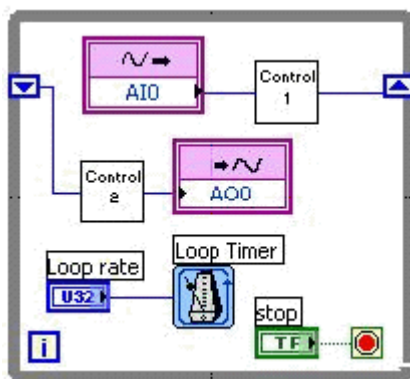


图 7. 管道架构

图 7 中，每次循环执行都将刷新控制输出，但是 AI，Control 1 与 AO，Control 2 操作在并行执行。这样算法的执行速度要高于使用内联处理架构。这种并发，并行处理机制在有微处理器和操作系统的平台上是不可能实现的。

## 实际应用

使用 LabVIEW FPGA 模块和 PXI-7831R 模块，您可以创建定制的硬件，并将其应用于各个工业领域内的多种应用。例如制造业和科学研究中的离散控制和模拟控制，以及电子控制模块开发中的仿真等应用。

## 模拟控制

许多类型的模拟控制应用都可以从 PXI-7381R 和 LabVIEW FPGA 模块中获益。PXI-7381R 的模拟输入通道每 4.3 微秒就可以进行一次 16 比特采样，模拟输出通道每 1 微秒就可以完成一次刷新。另外，LabVIEW FPGA 模块所带来的灵活性不但使您可以实现各种常用的控制算法，如 PID，同时也可以让您为应用程序定制自己的算法。下面是一些模拟控制的例子：

- 功率计控制(速度/负载)
- 伺服液压或电动振荡器控制
- 电机速率或位置控制

## 仿真

除了像前面描述的那样将其作为一个完整的控制系统，您也可以在快速控制原型(RCP)，或是硬件在环仿真测试系统中使用 PXI-7381R 作为开发控制器。电子控制器在汽车和家用电器中的应用非常普遍。在开发初期，在实际建立控制器之前，控制算法必须在受控系统中进行测试。为了实现这一目的，RCP 系统被作为控制器使用所设计的算法对系统的控制进行测试。在建立控制器的早期版本之后，仍必须对其进行验证。在更进一步的测试中，我们还是经常对系统进行仿真，以方便地对控制器进行测试。这在硬件在环测试(HIL)中是非常普遍的。

LabVIEW FPGA 模块通过对 LabVIEW 和 LabVIEW 实时模块的功能扩展，将 LabVIEW 平台进行了延伸。特别的是针对一个 HIL 或 RCP 应用，您都可以使用实时目标作为您的主机端，执行您的主模型和复杂的处理算法。您可以使用 LabVIEW FPGA 模块对 PXI-7381R 进行配置以处理 I/O，并在外部事件之间实现同步。正如固定功能的 I/O 设备一样，硬件处理的速率要大大高于主机上的软件处理速率。使用 PXI-7381R，您可以定制您自己的硬件处理流程，包括仿真传感器输出，生成 PWM 信号并对其进行解码，以及针对测量值进行板上判决。使用这种架构，您可以大大降低对多处理器系统的需求，而这一系统经常被用于对模拟和 I/O 进行处理。

## 数字协议仿真

许多应用都需要系统与设备进行连接，这些设备通常使用非常规的数字协议。通常用于此设备的硬件没有供应或是价格太过昂贵。使用 LabVIEW FPGA 模块，您可以利用硬件的高速数字处理能力，灵活地对信息进行编码和解码。通过这

种方法，您可以将 PXI-7381R 模块配置成为您通信协议所需要的接口模块。

### 灵活的编码器界面

编码器是用于测量速度和位置的一种设备。每次循环交替之后，都会产生脉冲。现在市场上有多种不同类型的编码器，一个应用中经常需要多种类型的编码器。使用 LabVIEW FPGA 模块，您可以将 PXI-7381R 模块的各个数据线配置成为不同类型的编码器界面，并且在不同的应用中对设备进行重新配置以满足需要。您可以添加自定义功能，例如同步地读取计数器和其它信号，而不是基于输入信号读取计数器。

### PWM 通信:

脉冲宽度调制信号在众多工业领域内很常见，例如汽车业和电信行业。在 PWM 脉冲序列中，频率是固定不变的，信息是通过信号有效周期数（脉冲电平为高的时间百分比）进行传递的。许多固定功能的数据采集设备无法处理快速变化的有效周期数，或是无法为静态 PWM 及其它操作分配固定数量的通道。只要使用 LabVIEW FPGA 模块，您可以根据应用需要对 PXI-7381R 中的任意一个数字线进行配置，以读写 PWM 信号。

### 离散控制

制造业应用需要快速的鲁棒控制系统。在使用 FPGA 设备中的 FPGA 来执行应用程序的逻辑时，LabVIEW FPGA 为您提供了开发此类系统的平台。PXI-7381R 能够扫描并设置多个数字线，同时能在不到一微秒的时间内作出控制判决。由于没有类似于实时操作系统或 Windows 内核修改版的上层操作系统软件，所以运行在 LabVIEW FPGA 模块下 PXI-7381R 不可能出现无法预知的延迟。

### 定制测量

LabVIEW FPGA 模块为测量和控制系统带来了一种新层次的定时控制和同步能力。您现在可以通过简单地绘制 LabVIEW 模块流程图，设计您自己的 I/O 板卡。作为例子，我们考察一个汽车引擎火花定时的实时测量应用，从引擎的曲轴转过零度标志（一般被称为上止点 TDC）到某个特定火花塞点火，存在着延时。为进行这样的测量，您必须测量曲轴的位置和点火线圈的电压。传统的内置汽车曲轴传感器是磁性的，而且会对曲轴的齿轮齿进行计数，并能将您能够读取的脉冲传输到数字输入线上。但在上止点却有齿轮缺齿的情况，因此，为测量火花点火定时，当曲轴传感器传来的信号说明有缺齿的情况发生时，您必须进行实时判决。现在您还必须在实时的情况下测量从数字输入线上的这一事件到火花点火这一模拟事件的延迟。但通过使用 LabVIEW FPGA 模块实现这一逻辑算法，您可以创建一个定制的 I/O 设备。与大多数 I/O 板卡返回一个电压或是脉冲宽度到主机端不同，经过对混和信号输入计算，这个设备可以返回最终的火花定时结果。

### 总结

通过使用 LabVIEW FPGA 模块，您的应用不但可以从 FPGA 的速度和同步能力中获益，同时仍然可以保留传统的功能，如数据采集，图像采集和处理，运动控制和工业通信等。LabVIEW FPGA 模块的早期使用者反馈说，数据流模型和 LabVIEW 图形化编程语言内在的并行特性，为开发硬件执行的测量和控制应用提供了一个高度直观的环境。使用 LabVIEW FPGA 与 LabVIEW 或 LabVIEW 实时版本配合，您可以完成新型的应用，并能获得更强的系统性能。



021-65557838 • 800 820 3622 • [china.info@ni.com](mailto:china.info@ni.com) • [ni.com/china](http://ni.com/china)