

运用示波器和使用者可设定的FPGA 提高测量质量与速度

美国国家仪器(NI)公司

1 引言

示波器的需求急速成长,同时新的研究和测试应用也需要更多、更快、更复杂的信号。这需要具有更多智能功能的测试设备,才能准确侦测特定的信号状况并避免空滞时间、在采集期间处理资料以缩短测试时间,或者是快速产生反馈信号以控制待测装置(DUT)。过去十年来,强大的PC软件和模块化I/O的紧密整合,不仅缩短了测试时间,同时也降低了整体测试成本。软件设计仪器属于全新的产品类别,能够把用户算法扩充至仪器本身,藉此把这个概念提升到新的境界。这样一来即可设计高度优化的测量系统,进一步实时分析每个样本,避免耗时的后续处理作业。最后不但能够缩短测试时间,还可以更快地探索科学与研究应用。

2 什么是软件设计示波器

示波器等仪器通常采用多个软件层,有些是用户较容易存取的软件,有些则不是。PC上的软件可控制测试系统的整体运作,仪器驱动程序可提供示波器的通信功能,嵌入仪器本身的软件则控制了数据采集和提供给使用者的方式。传统仪器会通过仪器驱动程序提供固定的测量功能;模块

化仪器则运用了开放式的PC软件和现代CPU的处理效能,可以在PC(而非仪器内部)执行信号分析。这样,使用者即可迅速定制针对采集到的数据执行数据分析的方式,以此满足个人的特殊需求,例如缩短测试时间或提高测量分辨率。

软件设计仪器进一步运用这个概念,可供使用者修改或甚至彻底替换仪器FPGA上所执行的嵌入式软件。因为每个采集到的数据点都可以实时在仪器FPGA上完成分析,所以使用者可实现定制的实时分析和复杂的触发,并且避免空滞时间(错失信号)。简而言之,软件设计仪器能够让用户存取所有的软件层,从主机PC到仪器数据转换器的针脚全都包含在内,进一步实现定制的修改内容,满足特定的应用需求。

全新NI PXIe-5171R示波器(如图1所示)是一种软件设计仪器,配备8个输入通道、300 MHz模拟带宽、250 MS/s取样率、14位分辨率,以及用户可设定的 Xilinx Kintex-7 FPGA。

3 通过软件来设计示波器FPGA的程序

LabVIEW FPGA Module能够把

LabVIEW系统设计软件扩充至NI可重设I/O(RIO)硬件上的FPGA;而这类硬件则包含了PXIe-5171R和PXIe-5624R示波器、数字序列仪器、RF向量信号分析器,以及在2012年发表“软件设计仪器”概念的向量信号收发器(VST)。

LabVIEW本身即具有平行机制,而且数据流概念和FPGA的数据流也很像,因此非常适合用来设计FPGA程序。LabVIEW能够抽象化系统内不同操作部分所执行的处理和数据迁移作业(例如,仪器内的FPGA和PC内的微处理器),因此工程师和科学家不需要Verilog或VHDL之类的FPGA程序设计、运算架构或数据串流等方面的深入知识,即可充分发挥软件设计仪器的效能。

仪器设计函数库(Instrument Design Library)是一种LabVIEW FPGA Module和NI RIO架构内建的软件堆栈。可做为许多应用的着手点,其中的参考设计、范例、LabVIEW范例项目等都很实用。这些项目全都配备默认的LabVIEW FPGA属性和预建的FPGA Bitfile,可协助使用者尽早开始动手,避免过多的程序设计作业。

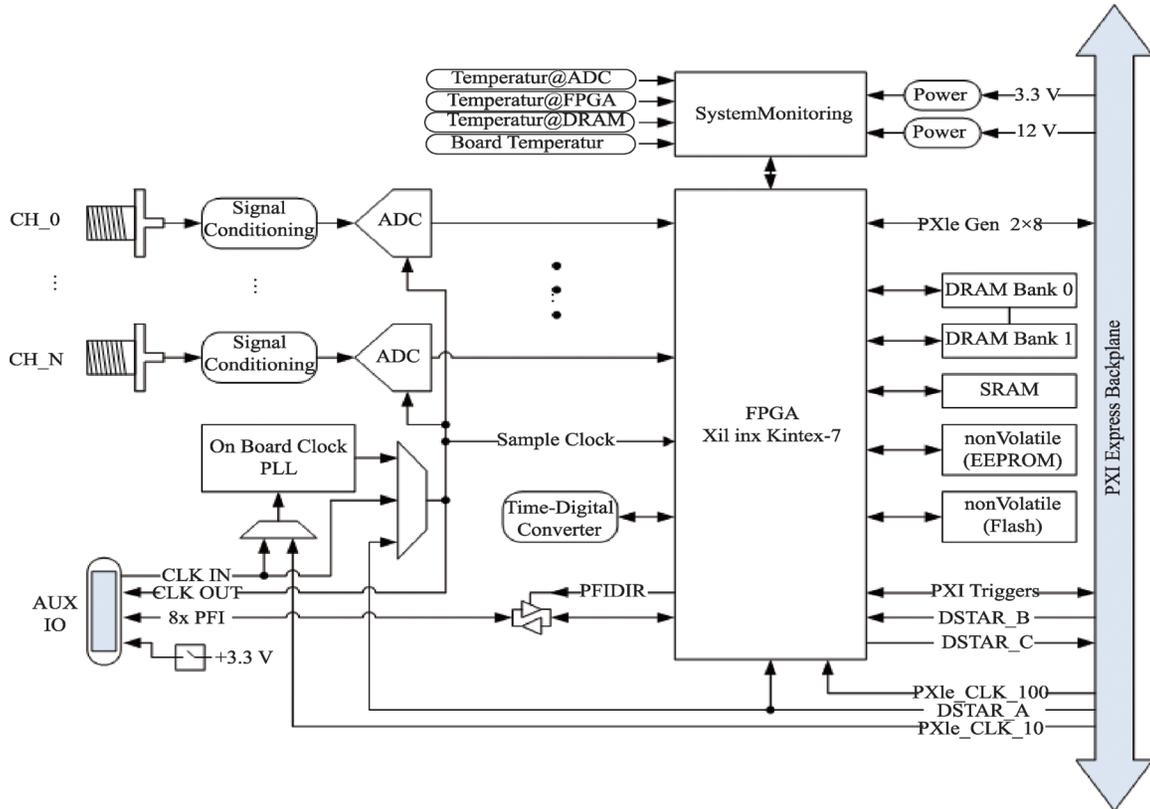


图1 使用者可设定的FPGA作为软件设计仪器 (PXIe-5171R示波器) 方块图的核心组件

图2为软件设计仪器的软件架构 (目前以示波器为例)。此架构包含了实现FPGA的例程, 可用于实际采集和实时处理, 以及主机PC上对应的软件模块, 能够和FPGA上的对应部分互动, 进一步设定/控制测量作业、处理PXI Express总线的数据传输, 并且呈现数据给用户。

主机PC的组件和仪器驱动程序很类似, FPGA程序代码则是和传统的示波器硬件比较像。不同于传统示波器, 这些组件可用来定制示波器IP, 同时也因为开放式特性, 可供使用者根据特定需求而修改或扩充。

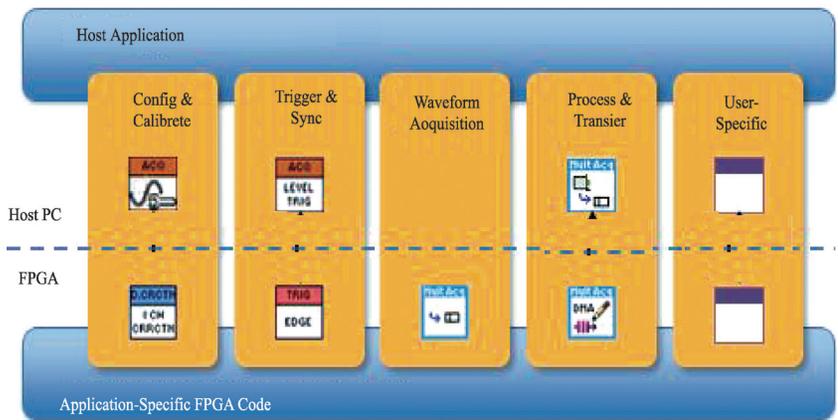


图2 就软件设计仪器的架构而言, 主VI会和FPGA上的对应部分互动, 以此设定硬件并执行测量

4 示波器搭配FPGA所提供的测试优势

测试应用的终极目标之一就是

是缩短整体的测试时间。时间通常是提高大量制造成本的主要原因之一, 弹性和可重复使用率对高度混

合或高度维护测试系统而言则是非常重要的。以下3个示例说明了示波器搭配使用者可设定的FPGA如何节省时间和成本。

4.1 行内处理和DUT控制，加快测量速度

许多应用必须通过数字滤波、信道化、快速傅立叶变换 (FFT) 或解调等措施来处理所采集的数据。虽然现代的多核心CPU可提供无与伦比的处理效能给桌面计算机，但通常无法实时处理多核心示波器所产生的数据，所以也无法快速执行测量作业。结果就是CPU会成为测试速度的关键。有了FPGA和固有的平行机制，即可轻松持续执行复杂的分析作业，例如，实时并行计算多个通道的功率频谱。

另一个行内处理的例子就是透过DUT关闭循环。示波器本身可控制DUT并缩短测试时间，而非由主机PC来控制测试系统内的DUT和示波器(这样会降低通信时间的运作成本)。示波器的I/O通道可做为分离式I/O使用，也可当作SPI之类的序列总线，以便和DUT通信。

通过P2P串流技术，示波器即可结合其他仪器，打造出闭循环测试系统如图3所示。示波器内部的FPGA会产生测试信号，并且传送至数字序列仪器，以此驱动DAC输入。示波器会采集频谱，并且自动比较采集到的信号和预期的信号(也就是之前产生的信号)。

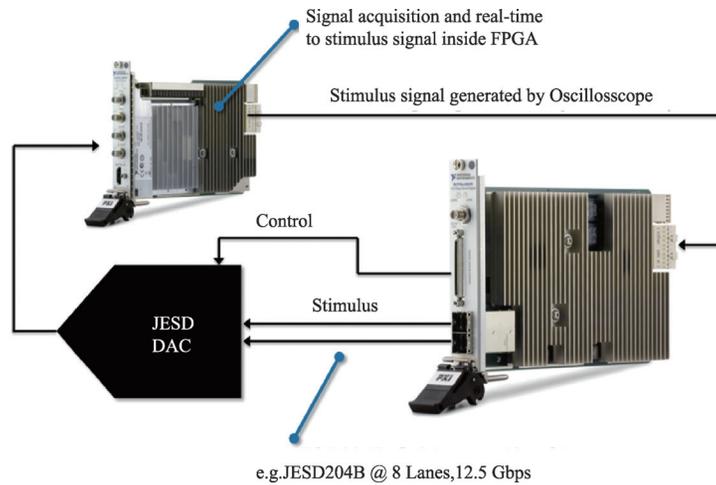


图3 测试高速数字转模拟转换器 (DAC) 的刺激反应系统

4.2 通过定制触发和协议解码缩短测试时间

对许多测量作业而言，侦测特定的信号状况以启动采集作业是相当重要的功能。传统的示波器可以精确采集一些触发状况(例如某个信号超过临界值)，但因为仪器处理已采集的资料而带来的空滞时间，所以无法每次都侦测到更复杂的事件，例如脉宽。

用户可设定的FPGA可作为作号

链不可或缺的一部分，并且针对使用者定义的状况实时分析每个信号。这样一来即可以精确稳定的方式，侦测简易(准位和磁滞)和复杂触发，例如信号抖动或脉宽、特定上升时间，甚至特定的信号形状。图4所示的触发状况运用了一个信号封包，以此触发采集作业。诸如此类的触发情景可用于设计和测试项目，以便侦测单边缘触发难以侦测到的异常行为。



图4 特定信号形状引发的触发，在此范例中，信号必须介于红色和绿色曲线之间，才能够触发采集作业

此外,也可以组合多个触发器,进而侦测复合状况,例如可以在不同通道上看到特定频谱内容的数字样式,或者是一连串的事件,通常称为A-B触发器。

有个相关功能就是可根据序列通信接口上的特定数据字词或错误,侦测并触发采集作业。有了使用者可设定的FPGA,即可测试信号的完整性(根据规格测试信号的模拟波形),同时平行译码输入数据,以此验证数据内容。这样一来,用户不但可以测试信号,也能够建立可做为最终系统组件并快速制作原型的测试设定,有效运用单一仪器同时完成两项工作。

4.3 仿真旧设备以减缓产品淘汰

军事或航天应用领域内许多维护测试系统都有使用寿命的需求,可延长至10年以上。通常会根据特定的仪器特性而撰写测试程序代码(无论是否刻意),因此很难在避免大幅变动的情况下替换仪器,而且重新认证测试程序代码也需要高额的成本。

使用者可设定的FPGA可供程序设计,藉此修改仪器并仿真被替换设备的行为,有助于避免上述问题。运用FPGA逻辑即可轻松复制触发行为或时序组合等特性,此外只要透过数字方式选择所需的滤波器,甚至可以模拟更复杂的方面,例如示波器的滤波特性。

5 示波器搭配FPGA所提供的应用优势

就高能物理等科学应用而言,仪

器的效能与弹性都是很重要的特色。一般来说,这类应用大部分的信号处理和控制作业都会采用模拟电子和相对较慢的ADC,以此采集预先处理过的信号。现在,快速的高分辨率ADC(14位和250 MS/s以上)可直接从传感器采集信号样本。只要仪器搭载用户可设定的FPGA,即可在采集期间同时执行信号处理作业,不必通过PC完成后续处理。这样不但可以更快取得结果,也能够提高科学实验控制的弹性和效率。

5.1 有效实时反馈系统的行内处理

许多科学实验都必须仰赖控制系统,确保所有设定项目都维持在明确定义的状态。举例来说,DIII-D Tokamak等融合研究系统会透过RF功率来加热等离子体,这会需要测量复杂的RF反射系数,并且根据测量结果衍生出合适的控制参数。

使用粒子加速器和同步加速器时,必须持续监控粒子光束的轨迹,才能满足磁铁的正确控制输入需求。示波器搭配使用者可设定的FPGA,提供了固有的快速平行处理效能,能够同时分析信号和频域,以及高速的控制循环,因此有助于解决DIII-D Tokamak等应用问题。只要客制化FPGA,即可监测重要的安全参数,以便在系统处于非理想状态时触发关机作业。

示波器可通过高速PXI Express

总线,搭配输出模块以产生实验所需的控制信号,或是以每个仪器超过3 GB/s的速度连续把数据串流至储存媒介。使用者可设定的FPGA还有另一个优点,那就是可以快速修改处理和控制算法。可以把已编译过的位串流加载FPGA,只要不到1 s的时间,即可改变示波器的行为。

5.2 实时事件侦测和数据减量,有助于加速探索

判断重点事件通常相当困难、常见的作法就是等到实际数据采集作业结束之后,在后续处理期间寻找事件,不过这么做很花时间,而且必须储存大量的数据。

另外,一个更有效的方式,就是在采集期间决定要保留和舍弃的信号,以此把数据量降到最低。通常唯一的重点参数就是时间戳和能量脉冲的计算结果,所以就储存观点而言,从仪器回传这些参数会更有效率,而且因为采集到的结果可轻松卸除至主机PC,所以还可以延长测量时间。

例如,飞行时间(ToF)应用会持续绘制粒子和能量。如图5所示,较快的粒子位于左边(飞行时间较短),较慢的粒子则位于右边。

测量系统的作用在于采集、时间戳、测量能量脉波,并且排除时间(采集到的数据),中间完全没有脉冲,通常称为零点抑制。

(下转第24页)



图5 陈宇睿（左一）、Robert Canik（左二）、汤敏（左三）、刘旭阳（右一）就媒体提问进行回答

PXI产品线，NI的PXI产品线已经从最初的数据采集扩展到射频仪器、矢

量信号分析仪等高频仪器，日后NI将继续丰富产品线应对更加复杂的

(上接第4页)

通过FPGA即可轻松运行，因为可以实时计算每个样本。如图5所示，侦测事件的一般架构可能会是脉冲(例如某个临界值) 侦测器，接着是符合已侦测脉冲的参考脉冲(例如高斯

形状)的算法，以便估计最大值。侦测峰值和对应时间戳并加以储存之后，即可舍弃所采集到的脉波，也可传送至另一个缓冲区，以便进一步分析或在PC显示。

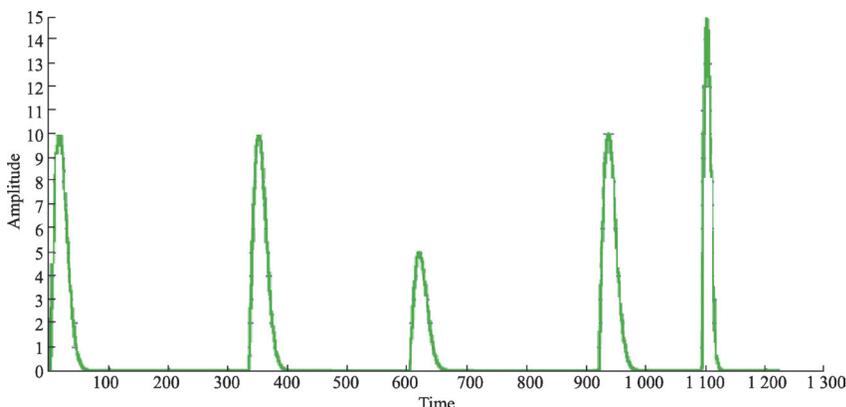


图5 标准的ToF图和侦测到的脉波，这些脉波会传输至主机PC

LabVIEW FPGA提供一些工具给使用者，能够把必要的信号处理阶段动行于示波器上，藉此执行脉冲过

滤和整形、计算出现次数并加上时间戳、测量高度和上升时间、直接在仪器内重新构建基线，并且把压缩过的

测试需求；3) 提高测试质量，通过采纳一些新的技术(如PCIe Gen3、FPGA等), 解决日后的应用困难。

在本次PXI TAC上，NI还展示了PXI平台在射频和无线、汽车电子、国防与航空航天、能源电力、半导体测试领域的应用案例。同时，NI积极与其他的厂商、科研院所进行合作，各取所长，为测试测量行业用户提供更加贴合的解决方案。期待明年的PXI TAC会呈现更多的新产品、新技术、新解决方案!

结果回传至PC，以便提高研究人员的工作效率。

6 结论

传统示波器的原理是基于对信号进行快照的模式，然后在采样的后端将采集到的信号对齐显示给客户波形测量。这样的方式会丢掉两次快照之间的数据，如果需要寻找一个信号中很小概率的细节，那传统仪器无疑会增加很多的测试时间。并且基于FPGA将所有信号无缝采集，可以进行实时的信号处理，比如找出特定的信号波形，将其触发。与传统的示波器只能基于电平触发方式不同，全新的可重配置示波器可帮助使用者通过定制化触发，更快侦测事件，并且实时处理数据，直接通过仪器把数据转换成结果，进一步提高测量质量与速度。