

虚拟仪器

——一种全新概念的仪器

电子科技大学自动化工程学院 © 詹惠琴 古 军

计算机技术、软件技术、微电子与超大规模集成电路的发展及其在电子测量技术与仪器领域中的应用,使新测试理论、测试方法、测试技术不断出现,仪器与系统的结构不断推陈出新,测量仪器的功能和作用也发生了质的变化。特别是计算机技术和测试技术更紧密的结合,更加有效地发挥计算机的作用,使仪器的结构概念和设计观点等都发生了革命性的变化。在上述的背景下,出现了全新概念的仪器——虚拟仪器。所谓虚拟仪器,是一种以计算机和测试模块的硬件为基础,以计算机软件为核心所构成的,并且在计算机显示屏上虚拟的仪器面板,以及由计算机所完成的仪器功能,都可由用户软件来定义的计算机仪器。目前,虚拟仪器发展迅速,在工业、交通、军事、科研、教学等领域得到广泛应用。

一、自动测试系统的发展和虚拟仪器的提出

1. 自动测试系统发展的三个阶段

测试系统的发展经历了从手动到自动,从专用型到通用型的发展过程。在 20 世纪 50 年代,出现了由计算机控制的自动测试系统。计算机自动测试系统的发展过程大体上可分为以下三个阶段。

(1) 第一代自动测试系统——特定设计专用型

早期的自动测试系统大多是

针对具体测试任务而研制的专用系统,它在测试功能、性能、测试速度和效率,以及使用方便等方面明显优于人工测试。第一代自动测试系统的缺点突出表现在硬件、软件和接口都是非标准化的,因此系统的通用性和互换性差,研制工作量很大,组建系统的时间长,研制费用高。

(2) 第二代自动测试系统——台式仪器积木形

第二代自动测试系统是在标准接口总线的基础上,以积木方式组建的系统。系统中的各个设备(计算机、可编程仪器、可编程开关等)均为台式设备,每台设备都配有符合接口标准的接口电路。组装系统时,用标准的接口总线电缆将系统所含的各台设备连在一起构成系统。普遍采用的接口总线为 GPIB(General Purpose Interface Bus),也称为 IEEE488。

第二代自动测试系统的优点是组建方便,系统更改、增减测试内容很灵活,而且设备资源的复用性好。其主要缺点为:①总线的传输速度不够高(最大传输速率为 1MB/s),②系统体积、重量较大。

(3) 第三代自动测试系统——模块化仪器集成型

针对第二代测试系统上述两个主要缺点,第三代自动测试系统的硬件平台采用了高速的 VXI、PXI 测试总线和模块化的仪器结构形式。VXI (VMEbus eXtensions for Instrumentation)总线是 VME 计算机总线向测试领域的扩展,具有高达 40MB/s 的数据传输速率。PXI (PCI eXtensions for Instrumentation)总线是 PCI 总线向测量领域的扩展,其数据传输速度约为 132~264MB/s。在 VXI(或 PXI)总线系统中,仪器、设备或嵌入计算机均以 VXI(或 PXI)总线插卡的形式出现,插入带有 VXI(或 PXI)总线插槽、电源的 VXI(或 PXI)总线机箱中,仪器的面板用统一的计算机显示屏以软面板(Soft Panel)的形式来实现,从而避免了系统中各仪器在机箱、电源、面板、开关等方面的重复配置,大大降低了整个系统的体积、重量,节约了成本。

基于 VXI、PXI 总线的自动测试系统具有数据传输速率高、数据吞吐量大、体积小、重量轻,系统组建灵活,扩展容易,复用性好,标准化程度高等诸多优点。

2. 虚拟仪器的提出

1983 年 Apple 公司推出了图形界面的个人计算机 Macintosh,使得在计算机屏幕上模拟真实仪器的面板成为可能。美商国家仪器公司(National Instrument, NI 公司)致力于测试系统软件模块化、编程图形化的研究,于 1986 年提出了虚拟仪器(Virtual Instrumentation)的概念。并于同年 10 月正式发布了图形化编程的虚拟仪器设计软件 LabVIEW,虚拟仪器概念的核心是以计算机作为仪器的硬件支撑,充分利用计算机的数据运算、存储、回放、调用、显示及文件管理等功能,把传统仪器的专业功能软件化,使之更

加紧密地与计算机融为一体,构成一种性能和功能都与传统仪器相似,但在实现时却主要依赖计算机软硬件资源的全新仪器系统。图1为一个虚拟仪器的组成实例。

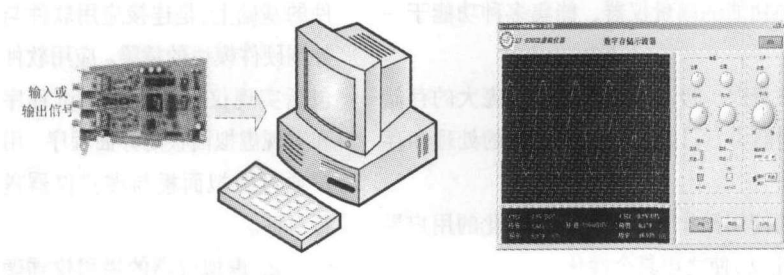


图1 由采集卡和计算机硬件及软件组成的虚拟示波器

二、虚拟仪器的特点

测试仪器种类很多,功能也各异。但不论是何种仪器,就其内部所具有的基本功能而言,都可以概括为信号采集与产生、信号分析与处理、参数置入与结果输出等三个部分,如图2所示。虚拟仪器从实现这三个基本功能的技术特点来说,具有如下特点:

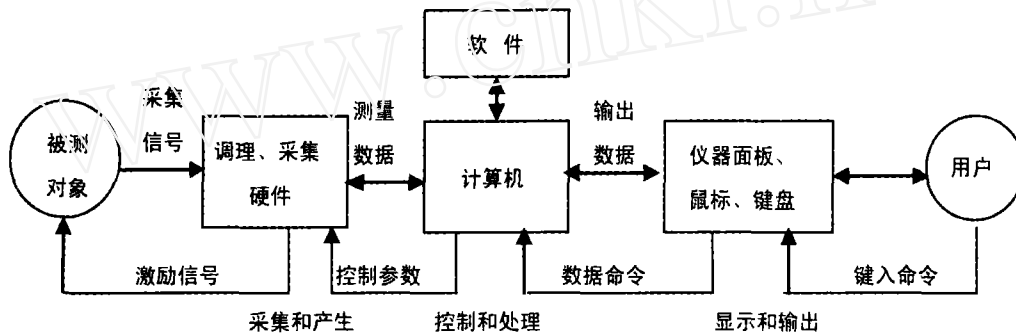


图2 测量仪器的三个基本功能组成框图

1. 虚拟仪器的硬件是通用的

虚拟仪器的硬件是由计算机和测试模块构成的,通用计算机是虚拟仪器的基础硬件平台,它是仪器完成信号采集、数据处理、和结果显示三个基本功能(见图2)的共同支撑平台;测试硬件模块也是通用的,在同一信号调理、采集、A/D转换器的硬件平台上使用不同的测试软件,可构造出“电子计数器”、“数字多用表”、“数字示波器”、“频谱分析仪”等多种电子仪器;采用通用的标准总线及接口技术,和采用模块化、标准化的软件设计,实现了即插即用,即实现了不同厂家、不同型号的仪器硬软件资源的互换性、通用性。

2. 虚拟仪器的面板是虚拟的

测量仪器的面板是在测量过程中实现人一机对话的基本部件,通过它的各种开关、按键、旋钮等完成仪器的各种工作参数的设置(如功能、频段、量程等参数置入),从它的读盘、数码管或显示屏上读出测量结果。传统仪器面板上的器件都是“实物”,而且操作是“手动”的。

虚拟仪器的面板是在计算机屏幕上虚拟出来的。虚拟面板上的各种外形与实物相像的“控件”完成与传统仪器面板上的各种机件相同的功能,通过鼠标和计算机键盘操作虚拟面板上各种开关、按钮、显示器,对虚拟仪器进行操作,控制仪器电源的“通”或“断”、设置被测信号“输入通道”、“放大倍数”“滤波特性”等参数,以及测量结果的“数值显示”或“波形显示”等。

3. 虚拟仪器的功能是由用户软件定义的

传统仪器的功能通常是由具体的模拟或数字电路来实现的,是由硬件或固化的软件决定,其功能是固定的。虚拟仪器是在以计算机为核心组成的硬件平台支持下,测

试硬件模块仅完成前端的信号采集和产生功能,不承担分析处理和显示输出等功能,而虚拟仪器中不仅可以通过软件编程设计来实现某种仪器的功能,而且可以通过不同测试功能的软件模块的组合来实现多种仪器的功能。虚拟仪器是由软件定义的,它是一种被软化了的柔性结构方式。

总而言之,决定虚拟仪器具有传统仪器不可能具备的特点的根本原因在于“虚拟仪器的关键是软件”。与传统仪器相比,虚拟仪器具

有以下特点:

- ① 虚拟仪器是一种创新的计算机仪器,仪器功能可由用户软件定义,柔性结构,灵活组态;
- ② 一台计算机被设计成多台不同功能的测量仪器,能集多种功能于一体,构成多功能和多用途的综合仪器;
- ③ 由于计算机有极其丰富的软件资源,极高的运算速度和庞大的存储空间,对测量数据有强大的分析和处理能力,可以进行快捷、实时的处理和存储;
- ④ 友好的人机交互界面使仪器的使用操作十分简便,图形化的用户界面形象、美观,可以方便地由用户自己定义,使之更具个性化;
- ⑤ 由于虚拟仪器硬件和软件都制定了开放的工业标准,仪器硬件实现了模块化、系列化,软件实现了标准化,大大方便了系统集成,其开发技术难度低、效率高、成本低;
- ⑥ 基于计算机网络技术的虚拟仪器技术,可组建大型的分布式网络化远程测试系统。

三、虚拟仪器的系统组成和基本功能

1. 虚拟仪器的系统构成

虚拟仪器由硬件和软件两大部分构成,如图 3 所示。硬件是虚拟仪器的基础,软件是虚拟仪器的核心。

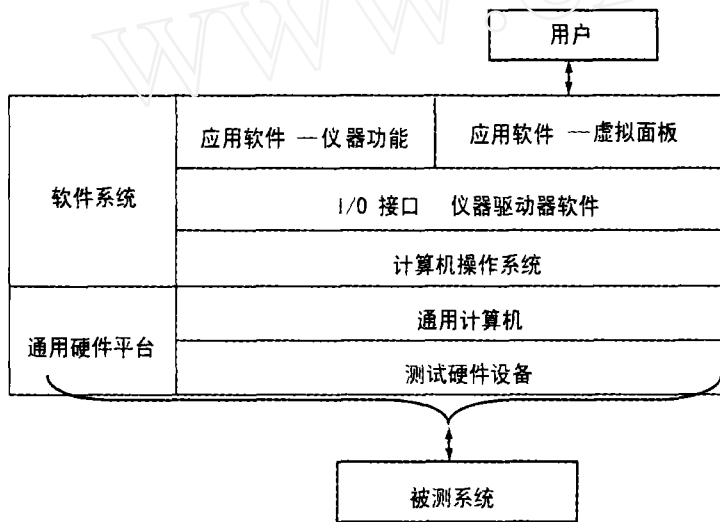


图 3 虚拟仪器的系统构成

虚拟仪器硬件通常包括基础硬件平台和外围测试硬件设备,它们共同组成通用仪器硬件平台。基础硬件平台采用各种类型的通用计算机,如笔记本电脑、台式计算机或工作站等。外围测试硬件设备可以选择 GPIB 系统、VXI 系统、PXI 系统、DAQ 系统或串口系统等,也可以选择由两种或两种以上系统构成的混合系统。其中,最简单、最廉价的形式是采用基于 ISA 或 PCI 总线的数据采集卡(DAQ),或是基于 RS232 或 USB 串行总线的便携式数据采集模块。

虚拟仪器的软件包括操作系统、仪器驱动器和应用软件三个层次。操作系统是虚拟仪器软件系统的基础平台,它可以选择 Windows 98/NT/2000、SUN

OS、Linux 等。仪器驱动器软件是直接控制各种硬件接口的驱动程序,它建立在 I/O 接口操作软件的基础上,是连接应用软件与外围硬件模块的桥梁。应用软件包括实现仪器功能的测试程序和实现虚拟面板的界面程序。用户通过虚拟面板与虚拟仪器进行对话。

2. 虚拟仪器的通用仪器硬件平台

(1)通用仪器硬件平台的基本功能结构

根据测试的基本要求,作为通用硬件平台应具备两种基本仪器的功能:

①采集信号,构成各种信号检测仪器;

②产生信号,构成各种信号发生器。或者两者同时兼而有之。因此,外围硬件设备的基本功能结构应以实现 A/D 转换和 D/A 转换功能为核心,再配备适当的前端信号调理,数据存储、数字 I/O 等功能,共同完成虚拟仪器的信号采集、产生和控制功能,如图 4 所示。

(2)基本功能模块

①高速数据采集模块。高速数据采集模块将被测的模拟信号转换为计算机可以识别的数字信号,即数字化功能,其核心器件是 A/D 转换器。A/D 转换器的主要指标包括:采集速率、分辨率、输入动态范围、采集通道数量、建立时间等。

②信号前端调理模块。信号前端调理模块的作用就是将外部输入信号加以调节,向高速数据采集模块提供符合要求的信号。信号前端调理模块可对信号隔离、限幅、衰减、放大、滤波等。

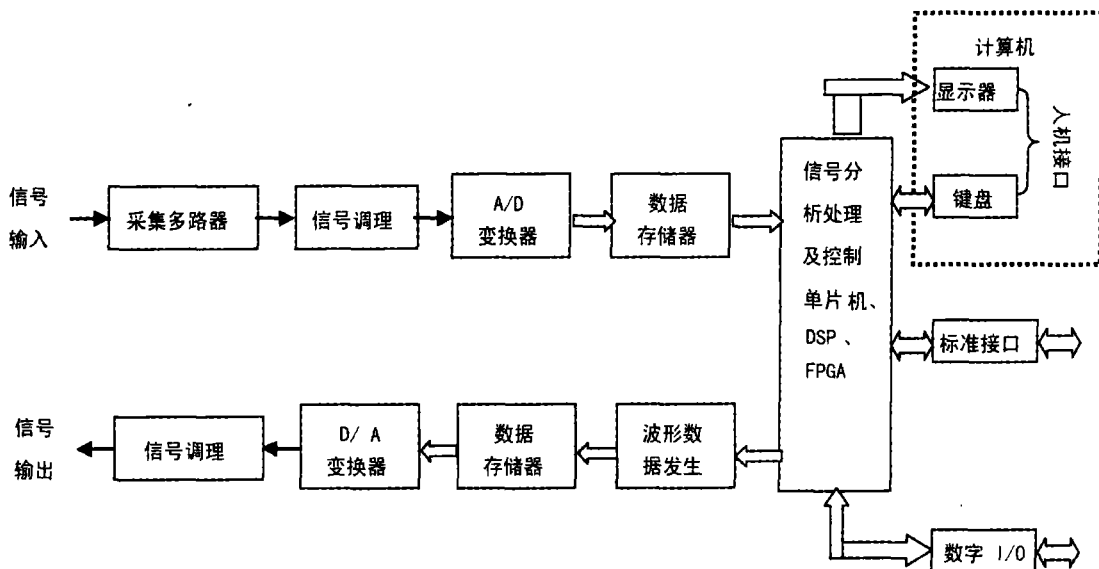


图4 通用硬件平台的基本功能结构框图

它将输入信号与A/D转换器隔离,抗共模干扰,以保证安全;对小信号进行放大,提高分辨率;低通滤波器滤出被测信号中不需要的高频成分,防止A/D转换中出现混叠现象,并降低噪声,抗串模干扰,提高测量精确度。广义的信号调理还包括频率变换、阻抗变换、波形变换、参量变换等。

③模拟信号产生模块。当虚拟仪器要向外提供测试激励信号时,需要提供一个模拟信号产生设备,如任意波形发生器,因此必须使用模拟信号产生模块,其核心器件是D/A转换器。D/A转换器把计算机软件产生的波形数据转换成波形信号。D/A转换器输出的信号也需进行信号调理,如输出信号的滤波、放大、衰减等,以便输出用户所需波形和幅值的信号。

④大容量存储器阵列模块。在对高速信号进行测试时,当采集模块的采集速率很快,产生的数据量巨大,而又不能将数据实时地传递给计算机,或者计算机来不及进行实时处理,此时就需要将测试数据暂时保存在快速大容量存储器阵列模块中,然后用适当的速率传送给计算机,再进行后处理。

⑤数字信号输入/输出模块。数字信号输入/输出模块常常用于过程控制的场合,通常包括数字驱动或隔离模块,将数字

I/O信号转换为功率信号,去监视与控制工业系统中的高电压、大电流设备。

四、虚拟仪器的软件开发

目前,比较成熟的虚拟仪器软件开发平台主要有两大类:一类是专用于虚拟仪器开发的软件编程环境,主要有NI公司的图形化编程环境LabVIEW及文本编程环境LabWindows/CVI,Agilent公司的图形化编程环境Agilent VEE。另一类是通用的可视化软件编程环境,主要有Microsoft公司的Visual C++和Visual Basic,Inprise公司的Delphi和C++ Builder等。

虚拟仪器软件开发工具中,LabVIEW是目前最流行、应用最广、发展最快、功能最强的图形化编程语言,其源程序完全是图形化的框图,而不是文本代码。它把复杂、繁琐、费时的语言编程简化为利用线条把各种不同的图形化功能模块连接起来的图形编程。

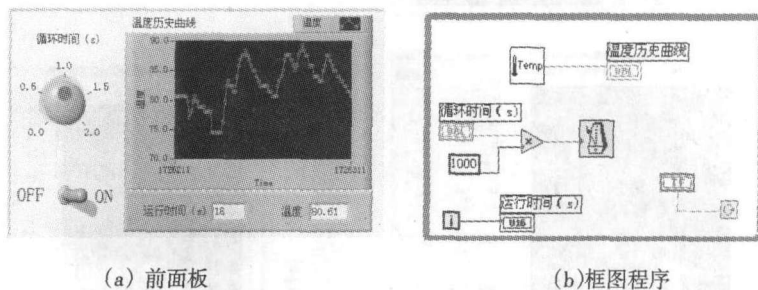


图5 LabVIEW程序举例

专题与综述

LabVIEW 开发平台包括三个部分:前面板、框图程序和图标/连接口:

①前面板主要用于输入量的设置和输出量的显示,它模拟了真实仪表的面板,包括旋钮、开关、按钮、图表、图形。用户使用虚拟仪器时所观察到的就是前面板,并在前面板中执行对仪器的操作。

②框图程序用图形编程语言编写,包括以图标表示的控件端口、函数、子VI,以及它们之间的连线,可以把框图程序理解成传统程序的源代码;

③通过图标/连接口可以在其他程序中调用VI子程序。

VI程序的创建步骤为3步:①创建前面板;②设计框图程序;③调试程序。

图5是一个LabVIEW程序的例子,程序的功能是每隔一定时间测量一次温度,显示当前温度和已运行时间,并且显示温度历史曲线。前面板中,使用一个钮子开关控制测量的启停,使用一个圆形旋钮选择测量时间间隔,两个数字指示器和一个图形控件显示测量数值和曲线。框图程序中调用了测量温度的子VI(Temp.VI)定时器,采用了循环结构。可以看出,使用LabVIEW设计程序非常方便、快捷。

五、虚拟仪器举例

经过多年的研究,我们研制出了具有图4结构的虚拟仪器通用硬件平台,包括:二路100MHz、8位的高

速ADC(AD9288)、两个100MHz、12位的高速DAC(AD9762)、一个12位的双积分ADC(ICL7109)、一个电子计数器(FPGA内)和32路高速数字信号的输入通道和输出通道。

在这个相同的硬件平台上,开发了不同的虚拟仪器应用软件,构成了双路数字存储示波器、双路数字合成多波形和任意波形信号源、直流数字电压表、电子计数器、频率特性测试仪、逻辑分析仪、频谱分析仪和数字信号发生器等多种虚拟仪器,加上传感器和少量电路,还可构成多种自动测试系统,如温度监控系统、称重仪、振动测试系统等。图6是几种虚拟仪器的人机界面。

六、结论

虚拟仪器的出现和发展是计算机技术、软件技术、微电子与超大规模集成电路、通信技术相结合的必然产物,虚拟仪器的关键是软件。与传统仪器相比,虚拟仪器的仪器功能可由用户软件定义,柔性结构,灵活组态,能集多种功能于一体,构成多功能和多用途的综合仪器,友好的人机交互界面使仪器的使用操作十分简便。图形化的用户界面形象、美观,性价比高。并且仪器硬件实现了模块化、系列化,软件实现了标准化,大大方便了系统集成,其开发技术难度低、效率高、成本低。还可利用计算机网络技术,组建大型的分布式网络化远程测试系统。虚拟仪器技术的发展方兴未艾,其应用越来越广阔。

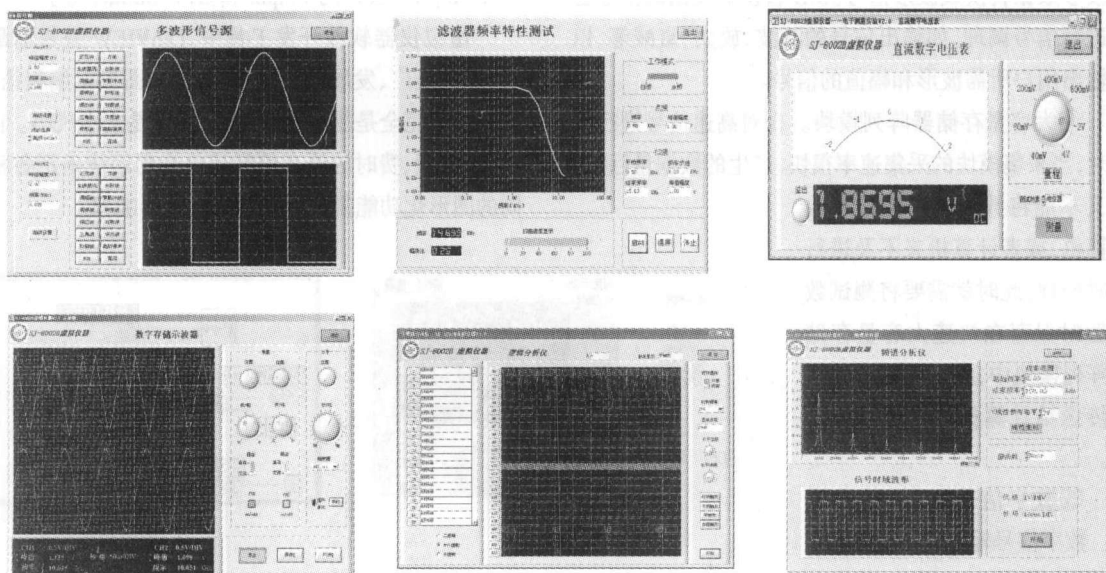


图6 几种虚拟仪器界面

Elc