

基于 PXI 和 LabVIEW 的通用数据采集系统设计

吴 晖, 祁晓野

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘要: 针对某测试系统提出的多通道数据采集要求, 采用 PXI 采集硬件设计了多路不同类型信号的采集系统; 使用 LabVIEW 编写了采集控制程序, 实现了通道配置、数据采集、实时显示、数据存储及回放等功能; 通过运用配置文件存储不同试验的通道信息, 使系统具备做不同试验的能力; 通过多任务的并行执行, 提高了高速采集时程序的执行效率; 通过采用分页访问的形式, 解决了回放数据量庞大的问题; 实验表明: 系统满足项目测试任务要求, 同时具有很强的通用性和一定的推广价值。

关键词: PXI; 数据采集; LabVIEW; 通用性

Design of General Data Acquisition System Based on PXI and LabVIEW

Wu Hui, Qi Xiaoye

(School of Mechanical Engineering and Automation, BUAA, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to satisfy the testing requirement of multi-channel data acquisition (DAQ), a multi-channel DAQ system is designed on PXI acquisition hardware. LabVIEW is adopted for the acquisition and control programming, and the system realizes a series of functions, including channel configuration, data acquisition, real-time display, data storage and replay and so on. The system has the ability to conduct various tests by the method of using configuration files to store the channel information of different tests. The execution efficiency of the program is improved at the time of high-speed acquisition by the multi-task parallel execution. The problem of replaying huge amounts of data is solved by adopting the form of paging visit. Experiments have showed that the system can satisfy the testing requirements, and it has wide generality and certain promotional value.

Keywords: PXI; data acquisition; LabVIEW; generality

0 引言

某研保项目需研制一套通用数据采集系统, 用于完成机电管理系统试验过程中非总线试验参数的综合测试、处理、存储与回放, 以便于对试验数据进行集中的采集、处理、分析, 进而快速地发现故障、定位故障。

目前工程上大多数的数据采集系统只是面向特定范围内的测量对象^[1], 而此项目每次试验所规划的试验参数是不同的, 且待采集的信号量多达 500 多路, 每通道采样和存储的频率最高可达 200 Hz, 每次试验产生的数据量数以亿计, 以上这些都对数据采集系统的开发提出了更高的要求。

为了满足项目测试任务要求, 本文采用 NI 公司的 PXI 采集硬件和 Dell 远程工作站, 使用 LabVIEW 2013 编写控制程序, 设计了一种通用数据采集系统。该系统能完成不同被测对象的多种类型信号的多通道数据采集任务, 包括通道配置、数据采集、实时显示、数据存储及回放。

1 被测信号类型及路数

通用数据采集系统的设计首先要明确被测信号的类型和路数, 这些在一定程度上决定着该系统的适用范围^[2]。

该系统的测试信号包括模拟量输入和数字量输入两大类, 其中:

- 1) A/D mA: 4~20 mA 模拟输入信号 64 路;
- 2) A/D ACRMS 或 A/D DC: 115 V/ (350~650) Hz 变频交流信号有效值测量或直流电压值测试 64 路;
- 3) DI: 数字量输入信号 384 路。

由此可见, 系统测试信号类型可细分为 4 种, 且输入信号路数共计 512 路。

2 硬件设计

在明确被测信号类型及路数后, 便可以对数据采集系统进行硬件配置, 然后在此基础上完成硬件结构设计。

2.1 硬件配置

为满足测试任务要求, 该数据采集系统的硬件清单见表 1。

表 1 硬件清单

名称	型号	数量
测试计算机	Dell 工作站(含 PCIe-x4 接口)	1
机柜	威图标准机柜	1
机箱	NI PXIe-1075	1
控制器	PXIe-8375 套件(光缆 30 m)	1
大电压 A/D 采集板	PXIe-4300 及端子 TB-4300B	8
DI 采集板	PXI-6511 及电缆、端子	6
4~20 mA 采集板	PXI-6289 及电缆、端子	2
柜内安装集成	含电线、接线端子、连接器等	1

其中, PXIe-4300 板卡有 8 路同步采样模拟输入通道, 250 kS/s/通道的采样率, 选用端子 TB-4300B, 电压输入范

收稿日期: 2014-08-27; 修回日期: 2014-10-10。

作者简介: 吴 晖 (1991-) 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事流体传动与控制技术方向的研究。

祁晓野 (1961-) 男, 北京人, 副教授, 主要从事机械传动系统、机电系统集成与控制方向的研究。

围最大可达 300 V。PXI-6511 板卡有 64 路漏/源输入通道 (± 30 VDC), 每 8 路通道为一组, 每组具有光学隔离, 工业级 24 V 逻辑阈值。PXI-6289 板卡有 32 路 18 位模拟输入通道, 电压输入范围为 ± 10 V, 4~20 mA 电流经电阻转换成电压后供其采集^[3]。

2.2 硬件结构设计

该数据采集系统主体上由数据采集控制柜和远程工作站组成, 二者之间通过 30 m 长的光纤电缆进行通信。系统硬件结构图如图 1 所示。

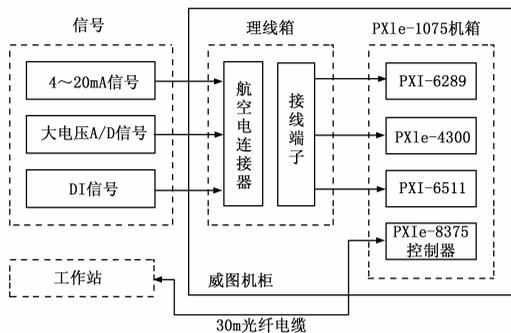


图 1 系统硬件结构图

3 软件设计

软件采用 LabVIEW 2013 进行开发, 总体上需实现通道配置、数据采集、实时显示、数据存储及数据回放这 5 个功能模块^[4]。编程的难点在于如何体现试验参数配置的通用性、如何提高多通道并行采集的程序执行效率以达到 200 Hz 的采集频率、如何存储与回放数以亿计的数据量。系统软件结构设计如图 2 所示。

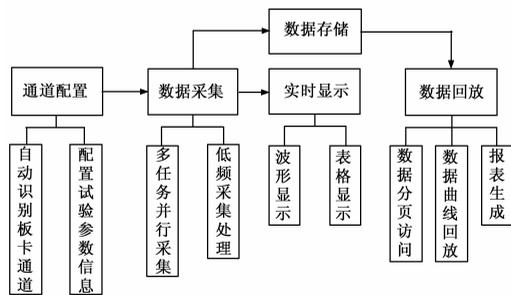


图 2 系统软件结构图

3.1 通道配置模块

通道配置模块负责配置数据采集卡的物理通道, 并形成配置文件供后续采集任务调用。

3.1.1 板卡通道的自动识别

DAQmx 封装了最新的 NI 数据采集硬件的驱动程序, 所以利用 LabVIEW 中丰富的 DAQmx 属性函数^[5], 可以实现数据采集板卡的通道自动识别并形成通道列表。

3.1.2 试验参数的配置

为实现试验参数配置的通用性, 利用文件 I/O 中的配置文件 VI, 针对不同的试验, 生成相应的配置文件, 配置文件中存储着全部 512 路通道的配置信息, 包括参数名称、物理通道、参数类型、原始信号与真实物理量之间的转换关系、启用

状态及采集频率。其中, 采集频率决定着每秒钟每通道采样和存储的点数。

系统将某配置文件载入到界面后, 由于所有启用通道采用同一采集频率, 所以可统一设置。双击通道信息列表中的各通道, 弹出的参数设置对话框, 即可修改各通道信息。

3.2 数据采集模块

数据采集模块负责读取数据采集卡采集到的数据供后续显示和保存。

3.2.1 多任务并行采集

将配置文件中的通道信息解析出来后, 即可利用启用的物理通道创建采集任务。为了提高采集程序的执行效率, 将 8 块 PXIe-4300 配置成一个采集任务, 而 2 块 PXI-6289 和 6 块 PXI-6511 是一块板卡对应一个采集任务, 也就是说软件中最多有 9 个采集任务在并行执行。相应地, 在每个读取循环中用一个数据显示队列实现数据的同步显示、一个数据保存队列实现数据的同步保存。这充分利用了 LabVIEW 多线程并行的特点, 使每通道的采样周期最快可达到 5 ms 等级。例如 PXIe-4300 采集任务的多通道读取循环如图 3 所示。

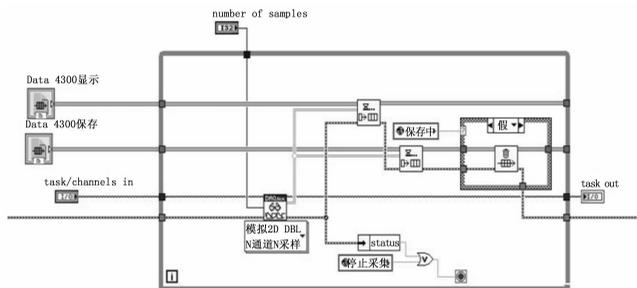


图 3 PXIe-4300 采集任务的读取循环

3.2.2 低频采集处理

为了拓展和利用采集卡的带宽, 以及提高被采集信号的精度, 本系统采用算术平均滤波算法或均方根平均滤波算法去处理模拟信号数据。

假配置文件设定的统一采集频率为 f_0 (≤ 200 Hz), PXIe-4300 采集任务采用硬件定时, 采样率固定是 80 kHz, 那么该任务的每通道采样数为 $80k/f_0$ 。PXI-6289 的两个采集任务也采用硬件定时, 每通道采样数固定为 100, 那么它们的采样率便是 $100 f_0$ 。而 6 个 PXI-6511 采集任务只能采用软件定时, 读取方式是 N 通道 1 采样, 读取循环中等待下一个整数倍毫秒的输入端为 $1000/f_0$ 。

当定时时间到后, 每个采集任务都会返回每通道采样的一串点, 对参数类型为直流大电压采集和 4~20 mA 电流采集的数据进行算术平均, 对参数类型为交流大电压采集的数据进行均方根平均。其中, 计算 115 V 变频交流信号真有效值的均方根算法的基本思想是截取每通道采样返回的 $80k/f_0$ 个点中的完整波形, 然后对完整波形的所有点求均方根, 并通过完整波形的个数计算出交流信号的频率。

这样, 所有采集任务启用的通道便都按照 f_0 的采集频率返回数据。然后再将这些原始数据按参数配置中定义的原始信号与真实物理量之间的转换关系转换成真实物理值。

3.3 实时显示模块

将采集到的数据以适当的形式实时显示给用户是数据采集

系统表达数据的重要手段^[6]。本系统在设计上提供了波形显示和表格显示两种模式。

3.3.1 波形显示

为保证肉眼可见，显示时的数据刷新率是 4 Hz，这可以通过给显示循环 250 ms 的定时实现。定时到后，将数据显示队列中的 $0.25 f_0$ 个数据出队，经上节所述的数据处理后将数据数组分别输出到 6 个波形图表中，默认显示前 6 个参数数据，波形图表的显示量程可根据不同的数据自动调节以显示完整波形。另外，可以通过对应的曲线选择对话框选择其他模拟通道进行显示。

3.3.2 表格显示

数据的表格实时显示可通过索引出队数据的最后一组数据作为各参数的当前值来实现。表格显示时既显示全部启用通道的值，也显示本次试验参数通道的值。显示内容包括处理后的原始数据、经物理关系转换后的工程数据及变频交流信号的频率。

3.4 数据存储模块

在需要存储测试或测量数据，为数据分组创建新的数据结构，存储定制数据信息并进行高速数据读写时，应当考虑使用 TDMS 文件类型^[7]。同时，为了节省存储空间，模拟量存储类型为双精度，而数字量存储类型为字节。

在观察显示屏上的数据没有问题后，便可以开始保存本次试验数据。在此之前，数据保存队列中一直处于数据入队后即清空的状态。保存开始后队列便不再清空，当监测到队列中的元素数量达到 500 后，便一次性出队进行数据处理。然后使用 TDMS 文件 API 可轻松地将高速的数据流按硬件类型存入指定的文件路径中，同时使用 TDMS 特有的设置属性 VI 可以保存数据文件的其他属性。此外，LabVIEW 中提供了高层文件和底层文件 I/O 函数来进行文件 I/O 的操作。

利用这种高效的存储方式可以很好地解决“丢数”和内存溢出的问题。

3.5 数据回放模块

存储在硬盘上的 TDMS 数据文件通过编写的历史数据回放 VI 即可打开并查看。

3.5.1 分页访问

正常情况下，一次试验的时间可能长达 1 小时，此时存储在文件中的数据量便数以亿计。为了完成对如此大的数据量的访问，该系统采用了分页访问的方式。

具体办法就是固定每页显示的数据量为十万多，根据所选通道的多少计算出此次访问要显示的行数，再通过首页、尾页、向前、向后及跳转等按钮确定回放的起点索引，这样在 TDMS 读取时便可以指定回放的组名、通道名、偏移量和总数，把数据显示到当前页上。

3.5.2 曲线回放

程序实现了 10 条单曲线的回放，默认显示的是前十个模拟量。另外，通过曲线选择对话框选择组名、通道名及回放时间范围，便可显示出相应曲线。为了方便对比这 10 个参数值，并研究其关联性，10 个波形图的 X 标尺范围统一调整。同时，可利用波形图的游标功能和图形工具选板来分别实现显示当前时间点坐标值功能和曲线放大缩小功能，且十个游标既可以同

步移动也可以单独移动，对比十条曲线的同一时刻下的值相当方便。

3.5.3 报表生成

NI 报表工具包封装了 Word 和 Excel 对象，是创建复杂报表的强大工具^[5]，所以凭借它可以将需要打印的信息按 Excel 模板形成试验报告，且可以将十条波形导入到 Word 中。

4 实验与分析

为了验证该通用数据采集系统的软硬件性能，笔者在设备调试成功后进行了大量的实验，其中一次模拟实验的采集信号为 278 路，具体说明见表 2。

表 2 待测信号

信号类型	路数	输入电压范围/V	采集频率
交流大电压	15	115(350~650 Hz)	200 Hz
直流大电压	25	0~28	
4~20 mA 电流	10	0~5(经 250 欧电阻)	
数字量输入	228	0~10(逻辑阈值为 5 V)	

当程序运行后，首先在通道配置菜单下配置 278 路通道的参数信息。当采集开始后，数据采集模块的数据会通过数据显示队列同步到显示屏上。当开始保存后，数据保存队列中的数据会按照程序设定的方式写入到本次试验记录文件中。采集过程中，利用毫秒计数器测得每任务读取循环执行时间间隔为 5 ms，表明程序执行效率满足要求。当采集任务执行半个小时后停止保存和采集，此时记录文件中存储着约 200, 160, 000 (即 $278 \times 200 \times 1\ 800 \times 2$) 个点，利用分页访问的形式成功实现了对数以亿计的历史数据的回看。

5 结论

本文采用 PXI 采集硬件设计了多路非总线信号采集系统，在完成系统硬件平台的基础上，利用 LabVIEW 编写系统的远程控制程序。软件设计上分模块阐述了实现该通用数据采集系统的难点及解决方案。最后，经实验验证，该系统可以满足项目测试任务的要求，同时具有很强的通用性，在涉及数据采集的各领域有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 张国垒, 汤宝平, 戴功伟. 面向机械参量的通用数据采集仪的设计 [J]. 中国测试, 2012, 38 (2): 69-72.
- [2] 闫纪红, 杨伟成. 基于 PXI 和 LabVIEW 的双板卡远程数据采集系统设计 [J]. 实验技术与管理, 2013, 30 (7): 80-82.
- [3] National Instruments. LabVIEW User Manual [Z]. Texas: National Instruments, 2013.
- [4] 程建鑫, 何玉珠, 向复生. 通用数据采集系统的设计 [J]. 电子测量技术, 2008, 31 (5): 100-101.
- [5] 陈树学, 刘 萱. LabVIEW 宝典 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [6] 黄 明, 刘亚斌, 韩亚钦. 基于 PXI 的通用数据采集系统 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (12): 1745-1747.
- [7] 钱国平, 马怀俭. 基于 PXI 总线的数据采集模块设计 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2003, 8 (6): 61-64.