

文章编号:1007-2780(2017)01-0029-06

瞬态信号集中式测量系统接口的 PC 机驱动设计

刘 轩¹, 陈小云², 韩太林^{1*}

(1. 长春理工大学 电子信息工程学院, 吉林 长春 130022;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 为了实现瞬态信号集中式测量系统数据的实时传输, 设计了基于 PCIe 总线接口的瞬态信号集中式测量系统。瞬态信号集中式测量系统 PCIe 总线接口的设计包括 PCIe 从设备设计和 PC 机驱动设计, 本文仅对该系统 PCIe 接口的 PC 机驱动进行研究。PCIe 总线的 PC 机驱动程序采用 NI 公司的 NI-VISA 和 LabWindows 开发环境设计, 首先采用 NI-VISA Driver Wizard 软件配置 PCIe 设备相关信息和中断检测寄存器, 生成 INF 驱动配置文件, 接着使用 LabWindows 软件通过 NI-VISA 相关库函数对 PCIe 设备进行初始化和 DMA 数据传输设计, 最后完成对 PCIe 总线的 PC 机驱动验证。实验结果表明: 采用 NI-VISA 和 LabWindows 开发环境设计的 PCIe 总线驱动传输速率可以达到 300 MB/s。NI 公司的 NI-VISA 和 LabWindows 开发环境设计的 PCIe 总线驱动, 不仅满足瞬态信号集中式测量系统的数据传输要求, 而且降低了 PCIe 总线的开发难度, 缩短了开发周期。

关 键 词: 瞬态信号; 集中式测量系统; PCIe; VISA; LabWindows

中图分类号: TP311.11 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173201.0029

Design of PC driver for the interface of centralized measurement system of transient signal

LIU Xuan¹, CHEN Xiao-yun², HAN Tai-lin^{1*}

(1. School of Electronic Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to realize the real-time transmission of the transient signal centralized measurement system, a centralized measurement system based on the PCIe bus is established. The design of the PCIe bus interface of the transient signal centralized measurement system consists of the design of the PCIe slave device and the PC driver. The design of the PC driver is only researched in the paper. NI-VISA and LabWindows development environment are used to design the PC driver program of PCIe bus. First of all, NI-VISA Driver Wizard is used to configure PCIe equipment informations and inter-

收稿日期: 2016-08-28; **修订日期:** 2016-09-12.

基金项目: 国家重点项目 (No.267110)

Supported by National Key Project of China (No.267110)

* 通信联系人, E-mail: hantl@cust.edu.cn

rupt detection registers to generate an inf driver configuration file. Then, the PCIe bus is initialized and the DMA data transmission is designed with the LabWindows. Finally, the PC driver of the PCIe bus is tested. Experimental results indicate that the PCIe bus driver transmission rate can reach 300 MB/s with the NI-VISA and LabWindows development environment. The PCIe bus driver designed by NI-VISA and LabWindows development environment, not only meets the data transmission requirements of centralized measurement system for transient signal, but also reduces the development difficulty of the PCIe bus and shortens the development cycle.

Key words: transient signal; centralized measurement system; PCIe; VISA; LabWindows

1 引言

集中式测量系统通常由一台主机,多个采集单元组成,采集单元采集到的数据需要实时传输到主机,并由主机显示和存储数据。在很多场合如水声、雷达、瞬时爆炸、火箭发射等都会出现瞬态信号,瞬态信号的采集要求测量系统的传输带宽足够大。传统的 PCI 总线传输速率仅为 133 MB/s^[1],无法满足多通道、高速率的场合,PCIe 是由英特尔于 2001 年推出的新的总线接口标准,它原来的名称为“3GIO”,代表着下一代 I/O 接口标准。目前最高的 16X2.0 版本可达到 10 GB/s,满足瞬态信号集中式测量系统的要求^[2-3]。

传统 PCIe 总线的 PC 机驱动通常采用微软公司的 WDF 开发,但是 WDF 开发要求开发人员了解 Windows 系统的内核,学习 Windows 系统相关知识,对于非专业的软件开发人员来说,存在开发难度较大,开发周期长等问题^[4-5]。而 NI-VISA 是美国国家仪器 NI 公司开发的内部集成了多种通信协议的软件平台,开发人员仅需做少量的工作,即可完成驱动的开发,大大提高了开发效率。所以 PCIe 总线的 PC 机驱动开发采用 NI-VISA 是一种比较理想的选择。

2 VISA 驱动程序设计

2.1 VISA 简介

NI-VISA 是美国国家仪器 NI 公司开发的一种用来与各种仪器总线进行通信的高级应用编程接口,不受平台、总线和环境的限制,可用来对 USB、GPIB、串口、VXI、PXI 和以太网系统进行配置、编程和调试^[6]。通过 NI-VISA 的驱动

生成工具,只需要简单配置就可以完成 PCIe 驱动的开发,简化了开发流程,大大提高了开发效率。

2.2 INF 驱动文件生成

VISA 的 PCIe 驱动生成工具是 NI-VISA Driver Wizard,打开该软件后,按照驱动生成向导,首先选择 PXI/PCI 总线,然后在设备信息界面填入 PCIe 采集设备的相关信息,如设备 ID、厂商 ID 等^[7]。由于 PCIe 采集设备支持中断,因此需要配置中断检测序列。在每个检测序列中存在有多个检测步骤,保证准确地检测到 PCIe 设备的中断信号。PCIe 设备产生中断时,会将自己 BAR0 空间的中断寄存器的中断标志位置位,PC 机驱动检测到 PCIe 中断信号后,比较 BAR0 中断寄存器的标志位,并且清除中断标志^[8]。配置完成后生成 INF 驱动文件。

3 PC 机驱动程序设计

PC 机驱动程序开发采用基于 VISA 的 LabWindows 开发环境,LabWindows 是 NI 公司推出的交互式 C 语言开发平台,集成了大量与数据采集分析相关的函数,大大提高了开发人员的开发效率^[9]。

LabWindows 通过 VISA 函数接口读取和写入 PCIe 设备的 BAR0 空间相关寄存器,来与 PCIe 设备进行交互。由于 VISA 函数太多,本文不一一列出,仅列出主要使用的 VISA 函数接口,如表 1 所示。BAR0 空间包含很多寄存器,对不同寄存器读写,可以获取或者设置 PCIe 设备的状态。本文使用的 PCIe 设备的 BAR0 空间使用了 4 个寄存器,寄存器详细信息如表 2 所示。

表 1 VISA 函数接口
Tab.1 VISA function interface

函数名称	功 能
viOpenDefaultRM	打开 VISA 资源
viOpen	打开 PCIe 设备
viSetAttribute	设置 PCIe 设备属性
viMemAlloc	DMA 内存创建
viMapAddress	DMA 地址映射
viPoke32	32 位寄存器写
viMoveOut32	DMA 数据从设备空间移动到用户空间
viMoveIn32	DMA 数据从用户空间移动到设备空间
viUnmapAddress	取消 DMA 地址映射
viMemFree	释放 DMA 内存
viClose	PCIe 设备关闭
viInstallHandler	中断处理函数设置
viEnableEvent	VISA 中断事件使能

表 2 寄存器详细信息
Tab.2 Register information

地址	名 称	功 能
0x04	中断寄存器	中断允许和产生控制寄存器
0x08	首地址寄存器	DMA 传输的 PC 机内存首地址寄存器
0x0c	数量寄存器	PCIe DMA 传输数据数量寄存器
0x10	方向寄存器	PCIe DMA 传输方向控制寄存器

3.1 设备初始化

PCIe 设备操作之前需要对该设备进行初始化,基于 VISA 的 PCIe 设备初始化流程如图 1 所示。

(1) VISA 驱动加载。PC 机重新启动或者 PCIe 设备插入 PC 机时,PC 机根据该 PCIe 设备的制造商标识(MANF_ID)、制造商的名称(Manufacture Name)搜索相应的驱动程序,并加载相应的 VISA 驱动程序,调用 VISA 底层驱动为设备分配资源、初始化寄存器配置等,完成初步初始

化功能。

(2) PCIe 设备打开。成功加载 VISA 底层驱动后,在 NI-MAX 软件的设备与接口目录下就会显示该 PCIe 设备信息如 PXI1::0::INSTR^[10]。打开 PCIe 设备时,需要 3 次打开操作。

- 打开 VISA 资源,获得 VISA 资源句柄;
- 通过 VISA 资源句柄,打开 PCIe 设备,获得 PCIe 设备句柄;
- 通过 VISA 资源句柄,打开 PCIe 内存资源,获得 PCIe 设备的内存资源句柄。

(3)DMA 内存开辟。通过 PCIe 设备的内存资源句柄,调用 VISA 内存开辟函数(viMemAlloc),在 VISA 资源中开辟 DMA 缓冲区。

(4)BAR 空间寄存器地址映射。由于用户无法直接访问 BAR 空间,所以必须通过 PCIe 设备句柄,调用 VISA 内存映射函数(viMapAddress),将 BAR 空间映射到用户空间,使用户可以访问 BAR 空间来配置 PCIe 设备。

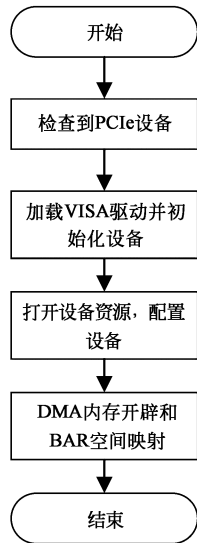


图 1 PCIe 设备初始化流程

Fig.1 Device initialization flow chart

3.2 DMA 数据传输

PCIe 设备的数据传输分为普通数据传输和 DMA 数据传输。普通数据传输通过对 BAR 空间的数据进行读写来完成数据传输,每次传输都需要 CPU 对寄存器进行设置,大大降低了传输的速度。DMA 数据传输不同于普通传输,CPU 仅需要对 PCIe 设备寄存器进行一次设置后,数据自动通过 DMA 传输,完全不需要 CPU 参与,大大提高了数据传输的效率^[11]。由于瞬态信号集中式测量系统要求数据的传输速率达到百兆以上,普通数据传输无法满足要求,所以采用 DMA 数据传输的方式传输数据。DMA 传输主要包括 DMA 读和 DMA 写,分别如图 2 和图 3 所示。

(1)DMA 读。DMA 读主要是指数据通过 DMA 从 PCIe 设备传输到 PC 机。每次启动 DMA 读之前,PC 机需要配置 BAR0 空间的 4 个寄存器值,即允许 PCIe 中断、设置 DMA 传输首地址和传输数量、DMA 传输方向为 DMA 读。

PCIe 设备根据 PC 机设置的寄存器值,启动 DMA 传输,向 PC 机传输数据。PCIe 设备判断数据传输数量满足要求后,向 PC 机发送中断,通知 PC 机 DMA 传输完成,PC 机进入中断函数读取 DMA 传输的数据并清除中断标志位,完成 DMA 读操作^[12]。

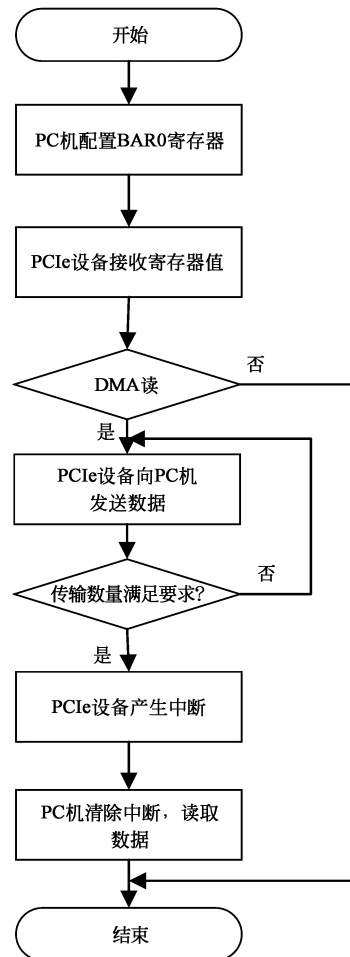


图 2 DMA 读

Fig.2 DMA read

(2)DMA 写。DMA 写主要是指数据从 PC 机传输到 PCIe 设备。每次启动 DMA 写前,PC 机需要配置 BAR0 空间的 4 个寄存器值,即允许 PCIe 中断、设置 DMA 传输首地址和传输数量、DMA 传输方向为 DMA 写,并且 PC 机将数据写入 PC 机的 DMA 缓冲区^[13]。PCIe 设备根据 PC 机设置的寄存器值,向 PC 机请求数据,PC 机接收到请求后,向 PCIe 设备传输数据。PCIe 设备判断接收到的数据数量满足要求后,向 PC 机发送中断通知 PC 机 DMA 传输完成,PC 机进入中

断函数清除中断标志,完成 DMA 写操作。

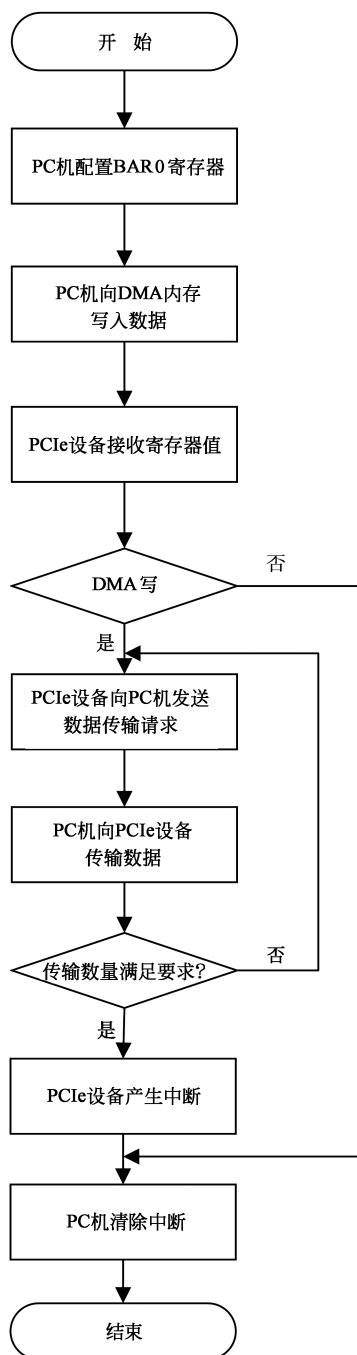


图 3 DMA 写

Fig.3 DMA write

4 实验结果

本文使用的 PCIe 设备采用 Altera 公司的 EP4CGX30F 芯片作为核心芯片,该芯片内置 PCIe x4 硬核,简化了 PCIe 总线开发的难度,整个系统的硬件结构框图如图 4 所示。

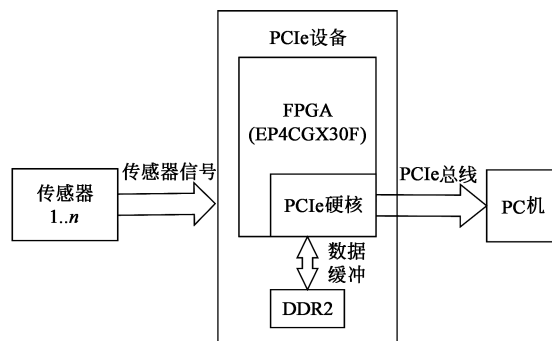


图 4 系统的硬件结构框图

Fig.4 Hardware structure diagram of the system

PCIe 设备上共连接 n 个传感器,每个传感器采集到的数据通过 PCIe 总线实时传输到 PC 机。经测试,采用 DMA 数据传输方式,数据的传输速率可以达到 300 MB/s。

5 结 论

采用 NI-VISA 和 LabWindows 开发环境设计的 PCIe 总线驱动的 PC 机驱动程序传输速率可达 300 MB/s,满足瞬态信号集中式测试系统数据实时传输的要求。

采用基于 VISA 的 LabWindows 开发环境设计 PC 机驱动,不仅降低了驱动的开发难度,缩短了开发周期。并且由于 VISA 支持多个平台,可以很方便的将驱动程序移植到其他平台,提高了程序的可移植性。所以采用基于 VISA 的 PCIe 总线驱动设计是比较理想的驱动设计方案。

参 考 文 献:

- [1] 董岩,张涛,李清军,等.基于 PCI 总线的 CMOS 图像传感器 OV6620 的驱动设计[J].液晶与显示,2010,25(3): 460-465.
DONG Y, ZHANG T, LI Q J, et al. Design of image aquisition system based on PCI bus [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(3): 460-465. (in Chinese)

- [2] 崔月霞.基于 PCI Express 总线的高速数据传输系统的设计与实现[D].北京:北京邮电大学,2013.
CUI Y X.Design and implementation of high speed data transmission system based on PCI express [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013. (in Chinese)
- [3] 田泽,刘娟,王绮卉.基于 WDM 的 PCIE 驱动设计和实现[J].软件导刊,2010,9(4):9-10.
TIAN Z, LIU J, WANG Q H. Design and implementation of PCIE driver based on WDM [J]. *Software Guide*, 2010, 9(4): 9-10. (in Chinese)
- [4] 袁晓兵,张新,王沛,等.PCI 总线数据采集卡 Windows NT 驱动程序的设计[J].光学 精密工程,2001,9(1):89-92.
YUAN X B, ZHANG X, WANG P, *et al.* Device driver programming in Windows NT for PCI data acquisition card [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001, 9(1): 89-92. (in Chinese)
- [5] 张强,耿爱辉,曹立华,等.Compact PCI 板卡硬件设计与传输速率测试[J].光学 精密工程,2009,17(8):2047-2052.
ZHANG Q, GENG A H, CAO L H, *et al.* Design of Compact PCI communication card and its bandwidth test [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2009, 17(8): 2047-2052. (in Chinese)
- [6] 吕笛,范红旗,卢再奇.基于 NI-VISA 的 PCI 卡驱动程序设计[J].微处理机,2009,30(5):112-115.
LV D, FAN H Q, LU Z Q. Developing a VISA-based driver for a PCI card [J]. *Microprocessors*, 2009, 30(5): 112-115. (in Chinese)
- [7] 罗宣平.基于 PCIE 接口的上位机调试系统设计[D].长沙:国防科学技术大学,2012.
LUO X P.Designing of the host computer debugging system based on the PCI express interface [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2012. (in Chinese)
- [8] 李晃,巩峰,陈彦化.基于 PCIE 驱动程序的数据传输卡 DMA 传输[J].电子科技,2014,27(1):117-120.
LI H, GONG F, CHEN Y H. Data transmission card based on the PCIE driver [J]. *Electronic Science and Technology*, 2014, 27(1): 117-120. (in Chinese)
- [9] 杨建和.基于 LabWindows/CVI 数据采集系统的设计[D].北京:北京邮电大学,2012.
YANG J H.Design of data acquisition system based on LabWindows/CVI [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012. (in Chinese)
- [10] Using the NI-VISA Driver Wizard and NI-VISA to Develop a PXI(e)/PCI(e) Driver in Windows [EB/OL]. (2013-03-20) <http://www.ni.com/tutorial/4713/en/>.
- [11] 王晓庆.PCIE 高速数据采集系统的驱动及上位机软件开发[D].北京:北京交通大学,2013.
WANG X Q.Driver and upper-position computer software development of high-speed data acquisition system based on PCI express interface [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013. (in Chinese)
- [12] 樊博,王廷杰,孙宏海,等.FPGA 实现高速实时多端口图像处理系统的研究[J].液晶与显示,2013,28(4):620-625.
FAN B, WANG Y J, SUN H H, *et al.* High speed real-time multiport image processing system realized on FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(4): 620-625. (in Chinese)
- [13] 王聪,王彬,薛洁,等.基于 PCIe 总线协议的设备驱动开发[J].信息技术,2013(3):32-35.
WANG C, WANG B, XUE J, *et al.* Driver development of device based on PCIe bus protocol [J]. *Information Technology*, 2013(3): 32-35. (in Chinese)

作者简介:刘轩(1990—),男,湖北襄阳人,硕士研究生,2014 年于长春理工大学获得学士学位,主要从事盲信号与通信信号处理。E-mail: woliuxuan1@163.com

陈小云(1966—),男,四川人,副研究员,主要从事模拟、仿真仪器等控制理论与设计。E-mail: chenxyciomp@sina.com

韩太林(1970—),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,1999 年于长春光学精密机械学院获得硕士学位,2010 年于长春理工大学获得博士学位,主要从事盲信号与通信信号处理的研究。E-mail: hantl@cust.edu.cn