

基于 PCIe 总线协议的设备驱动开发

王 聪¹, 王 彬¹, 薛 洁¹, 张 岩², 吴 平¹

1(昆明理工大学信息工程与自动化学院, 昆明 650500 ;

2. 哈尔滨工业大学深圳研究生院电子与信息工程学院, 广东 深圳 518055)

摘 要 简要介绍 Xilinx 公司生产的基于 Virtex-5 系列的 FPGA 的 ML555 开发板特点, 并用 ML555 开发板实现带有 DMA 数据传输通道的 PCIe 总线协议。以数据采集与传输为例, 详细介绍了采用 WinDriver 与 MFC 相结合的方法来实现基于窗口操作的 PCIe 驱动程序的开发步骤。

关键词 WinDriver 设备驱动程序 FPGA DMA

Driver development of device based on PCIe bus protocol

WANG Cong¹, WANG Bin¹, XUE jie¹, ZHANG Yan², WU Ping¹

1(Information Engineering and Automation College, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China 2; Electronic and Information Engineering College, Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, Guangdong Province, China)

Abstract This paper briefly introduced the characteristics of Xilinx's development board ML555 based on Virtex-5 FPGAs and achieved PCIe bus protocol of the development board ML555 with the DMA data transmission channel. Such as data collection and transmission, a method that combined WinDriver and MFC is proposed in order to introduce the development steps of PCIe driver of the Windows operating.

Key words WinDriver device driver FPGA DMA

0 引言

在数据采集系统中,需要硬件采集系统和上位机进行数据通信。由于采集的数据类型可能为多媒体数据流,因而对数据的传输速率就有很高的要求。为了满足这些高速率数据传输要求,需要寻求一种标准的高性能的总线协议接口。目前个人计算机通信中,常用总线主要有 USB 总线、ISA 总线和 PCI/PCIe 总线^[1-2]。在这三种总线中,USB 总线的理论传输速率可达到 480Mb/s,但它的 CPU 占用率较高,不适合多任务系统的应用。ISA 总线采用程序请求 I/O 方式与 CPU 进行通信,它的 CPU 占用率较高且传输速率较低。而 PCI/PCIe 传输速率及性能均较高,特别是 PCIe 总线,传输速率为 250Mb/s (×1),被称为第三代 I/O 标准接口。PCIe 目前已成为设备间通信的主流协议,已经广泛应用到数据采集、传输等领域。

硬件数据采集系统需要将采集到的数据通过

PCIe 总线传输到个人计算机上进行数据的后续处理。在此期间,需要个人计算机上的驱动程序来完成对硬件数据采集系统的控制,以完成数据的采集和传输。为了缩短系统的开发时间和提高驱动程序的可靠性,Jungo 公司的 WinDriver^[3] 驱动程序开发软件包给驱动程序的开发提供了一种简洁可靠的开发方法。

1 硬件系统的实现

本系统采用 ML555 开发板,它自身带有 PCIe 硬件总线接口,其核心是 Xilinx 公司生产的 Virtex-5 系列的 FPGA^[4-5]。首先按照开发板的手册将开发板上的拨码开关配置到正确位置,然后在装有 Windows XP SP2 系统并且带有 ×8 或者 ×16 链路

收稿日期 2012-11-06

基金项目 云南省自然科学基金项目 (2011FZ060) 云南省科学研究基金面上项目 (2010Y450)

作者简介 王聪 (1986-) 男,在读硕士研究生,研究方向为数字加密系统。

的 PCIe 插槽的个人计算机上,将开发板插入个人计算机的 PCIe 插槽中,最后用 ISE 软件将开发板提供的 PCIe IP 核代码经过 ISE 软件的综合布线后生成的“.b”文件通过 JTAG 接口下载到 ML555 开发板中。这就完成了开发板的硬件配置。Virtex-5 FP-GA 是系统数据传输的核心部件,主要用来配置 PCIe 的配置空间、实现 DMA 操作的控制及 DDR2 存储设备的控制器。图 1 为系统的框架结构图。

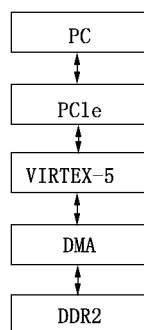


图 1 数据传输系统结构

PCIe 配置空间主要配置单元配置情况 Vendor ID = 0x10EE, Device ID = 0x0007 这是驱动程序识别该硬件的厂商号和设备号 地址空间选择 BAR0, 类型为 Memory, 大小为 128 字节。这是 DMA 控制寄存器的起始地址。

DMA 控制寄存器简介 DMAWAS, 偏移量 0x00, DMA 写操作时 DDR2 存储器地址 DMAWAD_L, 偏移量 0x04, DMA 写操作时上位机低 32 位地址; DMAWAD_U, 偏移量 0x08, DMA 写操作时上位机高 32 位地址 DMARAS_L, 偏移量 0x0C, DMA 读操作时低 32 位地址 DMARAS_U, 偏移量 0x10, DMA 读操作时高 32 位地址 DMARAD, 偏移量 0x14, DMA 读操作时 DDR2 存储器地址 DMAWXS, 偏移量 0x18, 从 DDR2 存储器到上位机存储器传送的字节数 $1q8 \times 2^n$, $n = [0 \ 13]$ DMARXS, 偏移量 0x1C, 从上位机存储器到 DDR2 存储器传送的字节数 $1q8 \times 2^n$, $n = [0 \ 13]$ 偏移量 0x20、0x24 和 0x2C 为保留字节 DMACST, 偏移量 0x28, DMA 控制/状态寄存器 DMAWRP, 偏移量 0x30, 32 位 DMA 写操作只读计数器 DMARDP, 偏移量 0x34, 32 位 DMA 读操作只读计数器。

DMACST 控制/状态寄存器位介绍 位 0, DMA 写启动位, 初始值 0 位 1, DMA 写完成位, 初始值 0; 位 2, DMA 读启动位, 初始值 0 位 3, DMA 读完成位, 初始值 0 位 4, DDR2 存储器硬件初始化完成位, 初始值 0 位 31 5: 保留位。

ML555 开发板配置完成后就需要开发和上位

机通信的驱动程序。目前开发驱动的方式主要有 DDK、DriverStudio 以及 WinDriver。使用 DDK 来开发应用驱动需要掌握操作系统专业知识, 开发过程涉及到很多面向底层的应用程序, 因而不适合于开发硬件的专业人员。DriverStudio 能够提供开发向导, 也能自动生成 C++^[6] 代码, 但是在调试过程中需要不断地安装驱动程序, 使用不方便。WinDriver 能够像 DriverStudio 一样提供开发向导, 可以生成 C、Delphi、VB 和 VC++ 语言代码框架, 使用灵活、方便。因而本系统采用 WinDriver 来开发 PCIe 驱动程序。

2 驱动程序开发

WinDriver 软件是由 JUNG0 公司出品的驱动程序开发软件, 其大大简化了硬件工程师开发硬件驱动程序的工作量。它支持的操作系统有 Windows 系列、Linux 和 Solaris 支持的开发语言 C/C++、VB 和 Delphi 等 支持的开发平台 VC 和 GCC 等 支持的驱动接口 PCI/PCMCIA、CardBus、ISA 和 PCIe 等。并且具有一种平台开发, 其它平台通用的特点, 因而有很强的平台移植性。

2.1 驱动代码的生成

本系统选用开发语言 C++ , 开发平台 MFC , 上位机操作系统 Windows XP , 接口通讯协议 PCIe , 开发一款基于窗口界面的驱动程序。通过窗口界面按钮来控制上位机和开发板之间的数据传输以及监视寄存器状态、查看数据。

按照开发要求安装 VS2005、Windows XP DDK 和 WinDriver9.21。启动 WinDriver 后, 按照开发向导一步一步完成, 直到生成基于 C++ 语言的驱动程序代码, 弹出 VS2005 编译平台。当前生成的 C++ 代码是基于 DOS 操作系统下的顺序执行机制程序, 而 MFC 是基于对话框的事件驱动执行机制。所以向导生成的代码不能直接在窗口模式下进行运行。下面介绍如何将其转化为基于窗口的对话框模式。

2.2 基于窗口的驱动开发

重新打开 VS2005 软件, 新建“项目”, 创建“MFC 应用程序”, 选择“基于对话框”选项, 其余默认。新建好 MFC 项目以后, 需要添加必须的头文件和源文件。

需要添加的头文件 virtex5_diag.h 源文件 diag_lib.c、pci_diag_lib.c、print_struct.c、virtex5_lib.c、wdc_diag_lib.c。另外, bits.h、diag_lib.h、pccard_cis.h、pci_regs.h、windrvr_events.h、status_strings.h、status_strings.c、utils.h、virtex5_lib.h、wd_ver.h、wda_pi921、wdapi921.dll、windrvr_int_thread.h、wdc_diag_

lib.h、wdc_lib.h、windrvr.h、print_struct.h、wdc_defs.h 需要添加到工程文件目录下。在 xxxDlg.cpp 中为窗口驱动程序项目名称,下同 文件中需要添加预编译头文件“virtex5_diag.h”和“wdc_defs.h”。

设置工程属性。在添加的文件属性页中,创建/使用预编译头 不使用预编译头 预编译头文件 : .\Debug\xxx.pch 在工程属性中,配置属性 → 连接器 → 输入 → 附加依赖项 wldapi921.lib。工程属性设置完成,编译项目,成功通过。此时就可以按照开发一般窗口程序一样开发基于对话框的 PCIe 驱动程序了。

在资源视图中创建好对话框以后,需要添加各对应控件的消息响应函数。由于 WinDriver 对 Xilinx 公司出品的 Virtex-5 系列的 FPGA 有专门的驱动程序,所以只需要把提供的各功能的函数代码实现到控件消息响应函数处,即可实现相应的操作功能。驱动程序界面如图 2 所示。

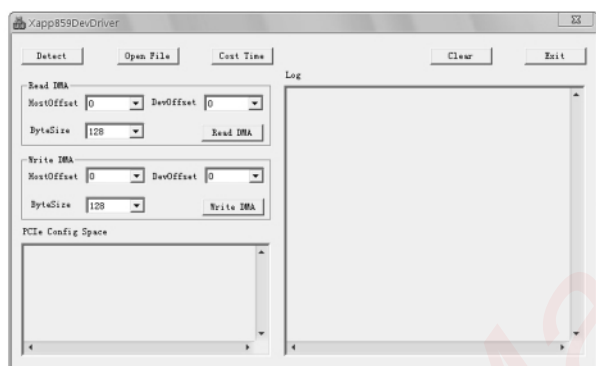


图 2 驱动程序界面

2.3 主要函数功能介绍

WDC_PciScanDevices (dwVendorId, dwDeviceId, &scanResult) //dwVendorId 为 PCIe 配置空间中 Vendor ID, dwDeviceId 为 PCIe 配置空间中 Device ID, scanResult 为 PCIe 信息结构体。该函数是将有特定厂商号和设备号的硬件信息填写到 scanResult 信息结构体中。

dwOptions |= DMA_KERNEL_BUFFER_ALLOC //分配一个连续的 DMA BUFFER 物理地址。

pVIRTEX5Dma = (VIRTEX5_DMA_STRUCT *) calloc (1, sizeof (VIRTEX5_DMA_STRUCT)) //在内存中分配一个 sizeof (VIRTEX5_DMA_STRUCT) 大小的内存空间。

WDC_DMAContigBufLock (hDev, &dma) > pBuf, dwOptions, dwtran_size, & p(VIRTEX5Dma -> pDma) //锁定 DMA 传输空间。

WDC_ReadAddr32 (hDev, VIRTEX5_SPACE,

VIRTEX5_DMACST_OFFSET, &est_data) //读取 DMACST 值。

est_data & BIT4 //该语句用来检测在 DMA 设备初始化过程中存储器初始化是否完成。

WDC_WriteAddr32 (hDev, VIRTEX5_SPACE, VIRTEX5_DMACST_OFFSET, est_data & ~ BIT0) // ; BIT0 位为写 DMA 启动位。写传送完毕,该位由硬件清零。

WDC_WriteAddr32 (hDev, VIRTEX5_SPACE, VIRTEX5_DMARAD_OFFSET, DeviceMemOffset) //DMA 读目标地址寄存器 DMARAD,该寄存器中存放 DDR2 存储器地址。

WDC_WriteAddr32 (hDev, VIRTEX5_SPACE, VIRTEX5_DMARAS_L_OFFSET, dma_phys_addr + HostMemOffset) //DMA 读源地址寄存器 DMARAS_L,该寄存器存放系统存储器的低地址位。

WDC_WriteAddr32 (hDev, VIRTEX5_SPACE, VIRTEX5_DMARAS_U_OFFSET, 0x0) //DMA 读源地址寄存器 DMARAS_L,该寄存器存放系统存储器地址位的高位。

WDC_WriteAddr32 (hDev, VIRTEX5_SPACE, VIRTEX5_DMARXS_OFFSET, ReadSize) //DMA 读传送大小寄存器。

//启动 DMA 传送

WDC_ReadAddr32 (&dma) > hDma) > hDev, VIRTEX5_SPACE, VIRTEX5_DMACST_OFFSET, &est_data) ;

WDC_WriteAddr32 (&dma) > hDma) > hDev, VIRTEX5_SPACE, VIRTEX5_DMACST_OFFSET, est_data | BIT2) //DMACST^[2] 为 DMA 读启动位,读完成后其值由硬件清零。

//采用查询方式

DWORD timeout = 5000000 //5s

WD_SLEEP sleep = 2{,0} //2μs

for (i = 0; i < timeout; i += 2)

WD_Sleep (hDev, &sleep) ; }

3 实例应用

将本系统嵌入到基于 DICOM 图像格式的 CT 医学图像处理中,实现由 CT 采集回来的数据通过 PCIe 总线接口传输到 PC 机上。数据采集框架图如图 3 所示。

该结构是由 CT 采集回的数据传输到 ML555 开发板上,进行图像处理,并将最终的处理结果传输到个人电脑上,用软件把数据还原为图像进行显示,如图 4 所示。

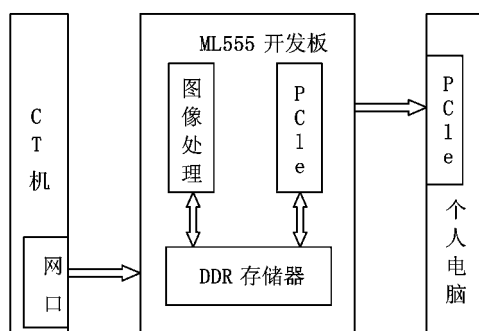


图3 数据采集框架结构

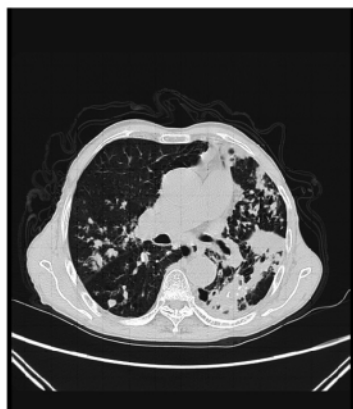


图4 图像显示结果

由图4得出,本次设计的PCIe总线驱动具有良

好的可靠性,实现了数据传输要求。

4 结束语

在实验条件为PCIe插入×8数据链路插槽,单次传输数据量为1024字节,数据传输为DMA查询方式,数据传输速率可达到610Mb/s。并且整个系统性能稳定,在数据传输系统中可完全达到高速传输要求。

窗口驱动程序在测试硬件方面很直观,应用方便。不但能完成普通驱动程序高效传输数据的要求,而且在测试过程中便于观察硬件中特殊功能寄存器的状态,有利于硬件功能的进一步完善。

参考文献:

- [1] Ravi Budruk, Don Anderson, Tom Shanley. PCI Express 系统体系结构标准教材[M]. 电子工业出版社 2005.
- [2] Tom Shanley, Don Anderson. PCI 系统结构[M]. 刘辉, 冀然, 夏意军, 译. 北京 电子工业出版社 2000.
- [3] Jungo Ltd. WinDriver™ PCI/ISA/ CardBus User's Manual Version 9.20[Z]. Jungo Ltd. 2008.
- [4] 何宾. Xilinx 可编程逻辑器件设计技术详解[M]. 清华大学出版社 2010.
- [5] Kraig Lund, David Naylor, Steve T-ynosky. Virtex-5 FPGA Integrated End-point Block for PCI Express Designs DDR2 SDRAM DMA Initiator Demonstration Platform, XILINX 2008.
- [6] 钱能. C++ 程序设计教程[M]. 清华大学出版社 2009.

责任编辑 么丽苹

上接第31页)

```
pformattedgridlabel. Format = pnumeric
format
m_pMapGrid. LabelFormat = pgridlabel
m_pMapGrid. TickLength = 1
pLineSymbol = New SimpleLineSymbol
pLineSymbol. Style = esriSimpleLineStyle.
esriSLSSolid
pGraphicsContainer = AxPageLayoutCon-
troll. PageLayout
pMapFrame = pGraphicsContainer. Find-
Frame pMap )
pMapGrids = pMapFrame
pMapGrids. AddMapGrid m_pMapGrid )
```

3 结束语

本文研究的基于GIS的环境放射性管理与评价系统在放射性环境质量现状调查与评价项目中得到了较好的应用,提高了工作人员对环境评价的效率,促进了地理信息系统等技术在环境领域的应用。

参考文献:

- [1] 夏益华. 国际核应急要求与技术的某些进展[J]. 辐射防护通

- 讯 2001 21 3(3) -10.
- [2] 刘华, 赵顺平, 等. 我国辐射环境监测的回顾与展望[J]. 辐射防护 2008 28 6(6) 362-391.
- [3] 郑丽. 数理统计在环境放射性数据处理中的运用[J]. 新疆环境保护 2001 23 1(1) 36-38.
- [4] 胡艳慧, 陈俊杰. 地理信息系统在矿产资源管理系统中的应用[J]. 电脑开发与应用 2007 20 6(6) 18-20.
- [5] 游珍. 基于GIS技术的南岭地区钨锡矿产资源管理系统[D]. 北京 中国地质大学 2006.
- [6] 朱创业. 地理信息系统在矿产预测中的应用——以华蓥山锑矿带为例[J]. 成都大学学报 自然科学版 1999 18 4(4) 36-37.
- [7] 洪亮. 基于GIS的水库移民管理信息系统设计与实现[D]. 昆明 昆明理工大学 2006.
- [8] 孙怡. 基于ArcGIS Engine开发的大连市路灯地理信息系统[D]. 大连 大连理工大学 2006.
- [9] Mark Harris, Julian Clark. ArcSDE Administration Guide[S]. ESRI PRESS 1999.
- [10] 张嘉峻. 基于GIS的公路地质灾害信息管理系统的理论与方法研究[D]. 长沙 中南大学 2006.
- [11] 龚健雅. 地理信息系统[M]. 北京 科学出版社 2001.
- [12] 龚健雅, 等. 当代地理信息技术[M]. 武汉 武汉大学出版社, 2004.
- [13] 陆书玉. 环境影响评价[M]. 北京 高等教育出版社 2001.
- [14] 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉 武汉测绘科技大学出版社 1997 47.

责任编辑 刘新影