

基于 PCIE 驱动程序的数据传输卡 DMA 传输

李 晃, 巩 峰, 陈彦化

(西安电子科技大学 电子工程学院, 陕西 西安 710071)

摘 要 为提高数据传输速度, 研制了一套基于 PCIE 接口的数据发送和接收系统。该系统主要由 4 部分组成: 数据发送卡、数据接收卡、PCIE 驱动程序以及上位机应用程序。文中介绍了数据传输卡的基本原理和构成, 重点研究了在 Windows XP 系统下利用 WinDriver 开发 PCIE 设备驱动程序的主要步骤、DMA 数据传输的实现和中断响应的处理。经测试, 该数据传输系统比较稳定, 开发的驱动程序可以实现数据的高速传输。

关键词 PCI Express(PCIE); WinDriver; 驱动; 直接内存访问(DMA)

中图分类号 TN919 **文献标识码** A **文章编号** 1007-7820(2014)01-117-04

Data Transmission Card Based on the PCIE Driver

LI Huang, GONG Feng, CHEN Yanhua

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract In order to improve data transmission rate, a set of data transmission and reception system based on the PCIE interface is developed. The system consists of four parts: the data transmission card, the data reception card, the PCIE driver and the PC application. After a brief introduction of the basic principle and composition of the data transmission card, the processes of developing device driver using WinDriver, data transferring with DMA controller and interrupt handling in Windows XP system are studied. Tests show that the system is stable and the driver developed can achieve the high-speed data transmission.

Keywords PCI Express(PCIE); WinDriver; driver; Direct Memory Access(DMA)

PCIE(PCI Express)是第三代高性能 I/O 总线,在总线结构上采取了根本的变革,主要体现在两个方面:一是由并行总线变为串行总线;二是采用了点到点的互联。它具有速度快并且点对点串行传输,使两端设备可以独享带宽,扩展灵活方便等优点^[1]。为实现高速数据传输采用 PCIE 2.0 × 8 接口,为此设计了基于 PCIE 接口的驱动程序以实现传输卡的 DMA 高速数据传输功能。

1 数据传输卡的结构及基本工作原理

系统为了检验存储器存储性能,基本结构框图如图 1 所示:FPGA 采用 Xilinx 公司的 Virtex -6 芯片,主要实现 PCIE 系统逻辑、DDR3 控制逻辑以及 TLK 的控制逻辑。

数据传输卡分为发送板和接收板,发送板在发送端 PC 机启动向板卡发送数据请求时,在 PCIE 系统逻辑的控制下将数据从 PC 机内存接收到 DDR3 中,然后再从 DDR3 中将数据取出放在 TLK2711 发送端口上,

通过 TLK2711 将数据发送出去;接收板从 TLK2711 接收端接收发送端过来的数据传递给 FPGA,然后在控制逻辑作用下存放于 DDR3,当接收端 PC 机启动读板卡内数据请求时,在 PCIE 系统逻辑的控制下将数据传送给接收端 PC 机内存区。

本传输卡中加入 DDR3,利用其采用 8-bit 预取技术解决了外部数据传输率与核心频率之间的矛盾,保证了数据传输率的持续增长,同时增加了带宽;此外存储器模块的地址、命令、控制信号和时钟采用了“fly-by”的拓扑结构,大幅减轻了地址、命令、控制与数据总线的负载,提高了信号的完整性从而确保了数据的正确稳定传输。

2 驱动程序的实现及主要代码分析

2.1 开发工具的选择

本驱动开发选择 Jungo 公司的 WinDriver 作为开发工具,因为利用 WinDriver 开发驱动程序不需熟悉操作系统的内核,整个驱动程序是工作在用户态下的,这样可以大幅加速 PCIE 设备驱动程序的开发^[2]。WinDriver 的易用性并不影响驱动程序的运行效率,实验证明用 WinDriver 开发的驱动程序符合高速数据传输的要求。

收稿日期: 2013-07-19

作者简介: 李晃(1989—), 男, 硕士研究生。研究方向: 电路与系统。E-mail: lh_suda@163.com。巩峰(1990—), 男, 硕士研究生。研究方向: 电路与系统。陈彦化(1989—), 男, 硕士研究生。研究方向: 电路与系统。

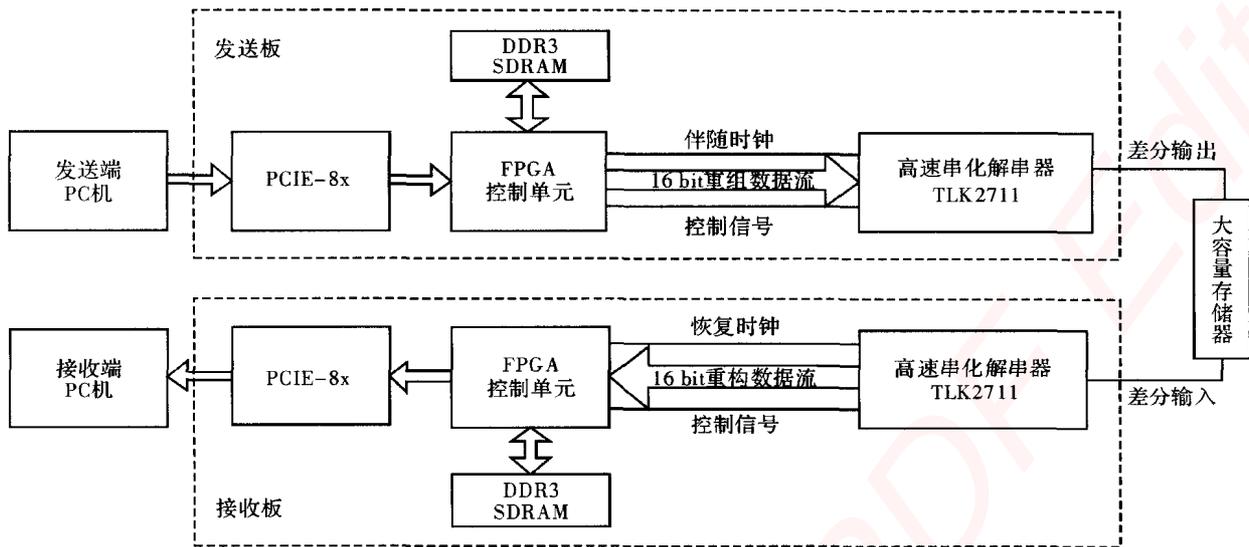


图1 数据传输卡的基本结构

2.2 PCI Express 接口的配置空间

PCI Express 的配置空间如图 2 所示,主要由 4 部分组成:配置头标区、PCI 设备专用寄存器组、能力寄存器组及 PCI Express 扩展配置空间^[3]。配置空间是设备硬件与软件进行联系和交互的区域,是设备实现

即插即用的基础。每一个功能的配置空间容量为 4 kB,PCI 兼容空间占据 4 kB 功能配置空间的 256 个字节(即 64 个双字),驱动程序设计中主要是对其中的基地址寄存器进行操作^[4]。



图2 PCI Express 的配置空间

2.3 设备驱动程序的开发

本驱动程序设计共有 4 个模块:设备的打开与释放、设备寄存器控制、对设备中断的轮询处理以及设备读写(主要是 DMA 读写)。

2.3.1 设备的寄存器控制

在 PCI Express 系统逻辑结构中,DMA 状态控制寄存器主要是实现 PCI Express 端口核与 PC 机根联合体之间数据的传递,DMA 控制状态寄存器映射于 PCI Express 配置空间中的 BAR0 空间,对设备的寄存器控制就是对映射与 BAR0 空间的 DMA 控制状态寄存器进行控制,代码如下所示(以读为例):

```
WDC_ReadAddr32 (hDev, 0, offset, outdata); //读
偏移地址为 offset 的寄存器值
```

2.3.2 设备的中断处理

PCI Express 数据传输卡作为 DMA 的主控制器,当 DMA 传输完成后,传输卡会发起一个硬件中断。PCI Express 驱动程序处理硬件中断的流程如图 3 所示。

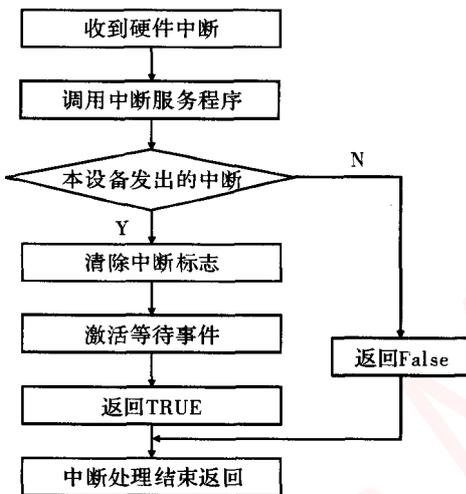


图 3 中断处理流程图

驱动程序收到硬件中断,调用中断服务程序。中断服务程序工作主要有两个:一是清除中断标志位,避免一个中断信号导致两次中断服务程序调用的情况;二是激活等待事件对内存区数据进行处理。

2.3.3 DMA 读写

为实现大容量数据的高速传输,就需要采用 DMA 数据传输方式,整体流程如图 4 所示。

在进行 DMA 读写之前首先对硬件进行初始化复位操作,初始化完成后开启 DMA 中断,然后为 DMA 读写设置参数如读写地址、读写长度等,在完成上述操作后启动 DMA 进行数据读写传输,当 DMA 读写完成时响应中断进入中断服务程序进行判断是否所有数据处理结束,若没有则启动下一次 DMA 传输,否则终止 DMA 读写。当 DMA 写或读完成时,板卡发起中断,在

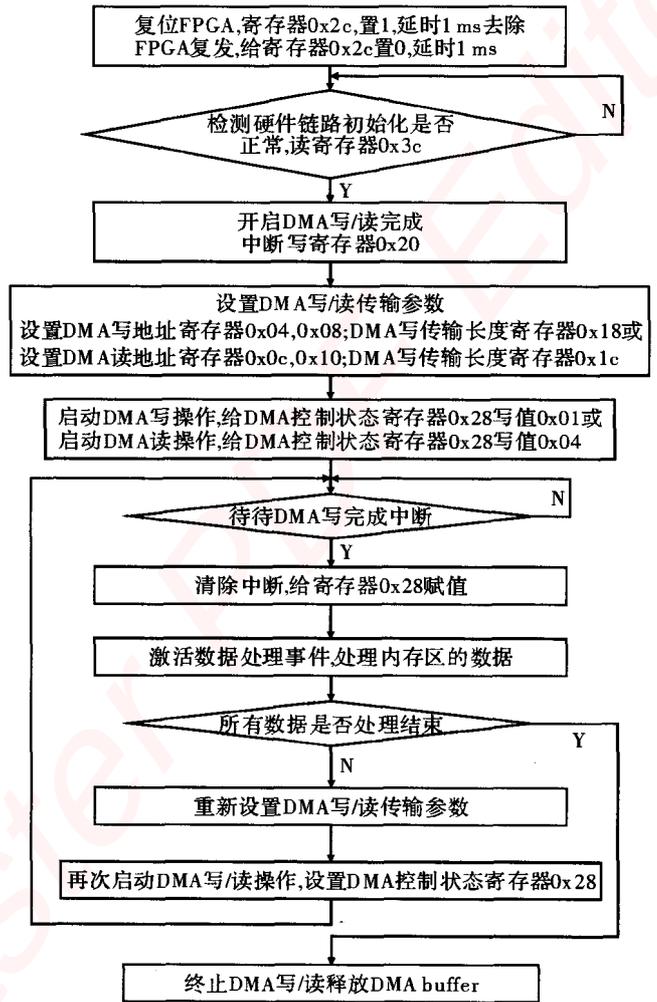


图 4 DMA 读写流程图

系统捕捉到中断后进行中断处理,若数据未处理完则重新填写 DMA 读写参数,再一次启动 DMA 直至处理完全。在处理完后对程序占用的内存区进行释放。

3 驱动程序和应用程序的通信

当驱动程序捕获到事件信号时应该主动和应用程序进行通信,方案中采用事件通知的方法。应用程序与驱动程序之间通信的软件流程如图 5 所示。

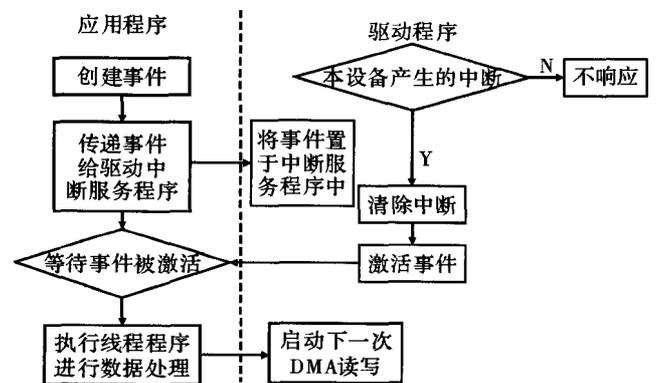


图 5 通信流程图

在应用程序创建一个线程等待后,用 CreateEvent 函数创建自动重置事件,应用程序通过 WaitForSingleObject(hEvent,0) 函数来等待事件发生。当有中断产生时调用中断服务程序,然后在中断服务程序中激活事件,此时应用程序捕捉到激活事件后执行创建的线程程序,从而进行数据处理操作。

4 实验结果

通过 WinDriver 编写的驱动程序经过实验测试可以实现 DMA 数据高速传输功能,图 6 所示即为 DMA 读传输界面。

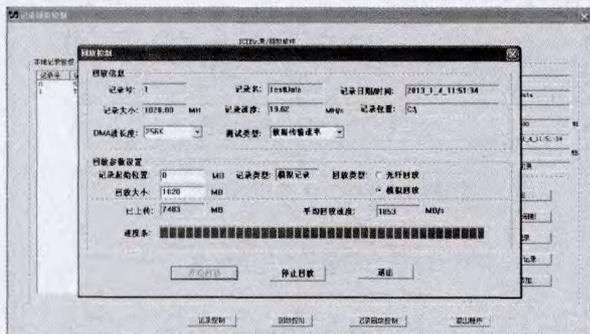


图 6 DMA 读传输

实验将一定量内存区数据量在 PCIE 2.0 版本、数据链路 X8 通道的条件下用 DMA 模式循环发送到板卡,所显示平均回放速度即为 DMA 读传输速度,由此表明开发的驱动程序完全能够实现板卡的 DMA 高速传输功能。

5 结束语

WinDriver 是一款功能强大、使用方便的驱动开发工具,利用其开发驱动程序大幅加快了开发周期,提高了开发效率,本项目利用它开发了基于 PCIE 的高速数据传输卡的驱动程序。实验和测试结果表明:在 Windows XP 下开发的驱动程序运行稳定,本项目在 PCIE 2.0 版本、数据链路 X8 通道的条件下用 DMA 模式传输,可以满足项目 $1.2 \text{ GByte} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率要求。如果采用更高版本的 PCIE 或 X16 通道,传输速率会有大幅的提升空间^[5-7]。

参考文献

- [1] 梁国龙,何昕,魏仲慧,等. PCIE 数据采集系统的驱动程序开发[J]. 计算机工程与应用,2009,45(31):63-65.
- [2] 张银发. 利用 WinDriver 开发 KernelPlugIn 驱动程序[J]. 山西电子技术,2004(6):6-8.
- [3] 刘波,库锡树,孙兆林. 基于 PCIE 总线协议的数据采集设备驱动程序实现[J]. 工业控制计算机,2007,20(7):28-29.
- [4] 王齐. PCI Express 体系结构导读[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [5] 武安河,郇铭,于洪涛. Windows2000/XP WDM 设备驱动开发[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [6] 怀靓亮, FERNAND L S. 基于 FPGA 的 I/O 控制器的设计和实现[J]. 计算机仿真,2013(1):254-258.
- [7] 张森峰,甄国涌. 基于 PCI-Express 的高速数据交换设计及应用[J]. 电子设计工程,2009,17(5):3-5.

(上接第 116 页)

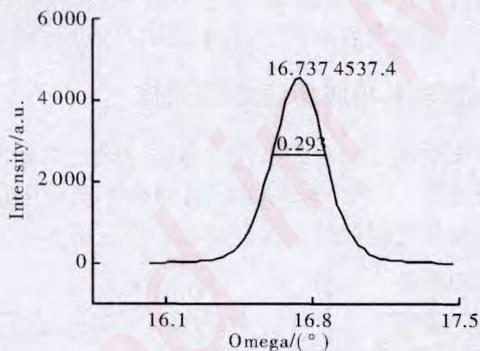


图 5 XRD 衍射峰

测试结果显示, GaN(002) 面的半高宽为 0.293° 。

参考文献

- [1] TANKA S, HOND A Y, SA W AKI N. Structural characterization of GaN laterally overgrowth on a (111) Si substrate [J]. Application Physics Letter, 2001, 79(7):955-957.
- [2] ZHAO D G, XU S J, XIE M H, et al. Stress and its effect on optical properties of GaN [J]. Application Physics Letter, 2003, 83(4):677-679.
- [3] JAMH M, GRANDUSKY J T, JINDAL V et al. Development of strain reduced GaN on Si(111) substrate engineering [J]. Application Physics Letter, 2005, 87(8):103-106.
- [4] PAL S, JACOB C. Silicon - a new substrate for GaN growth [J]. Bull Mater Science, 2004, 27(6):501-504.
- [5] YIN Jiayun, LIU Bo, ZHANG Sen, et al. Stress analysis of GaN materials grown on Si(111) substrates [J]. Nanomaterial Structure, 2008(12):703-705.
- [6] 杜阳,李培成,周小伟,等. 基于 MOCVD 生长的高 Al 组分 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的 HRXRD 研究[J]. 电子科技, 2009, 23(5):62-65.
- [7] 刘毅,赵广才,李培成. GaN 基 LED 电流分布的模拟[J]. 电子科技, 2010, 24(8):43-46.
- [8] 许振嘉. 半导体检测与分析[M]. 2 版. 北京:科学出版社, 2007.

3 结束语

本实验中,采用 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 做缓冲层,在 Si(111) 衬底上生长 GaN,研究了 GaN 薄膜的结晶质量。通过高倍数光学显微镜和 AFM 观测表明, GaN 晶体的表面光亮没有裂纹。通过拉曼光谱测试分析发现, Si(111) 面上生长的 GaN 中存在张应力,约为 0.23 GPa 。XRD