

基于 PCI-E 总线的北斗导航授时卡 Linux 驱动设计

王 军^{1,3}, 韩 力¹, 杜博军², 王 磊¹, 何 昕³

(1. 苏州科技学院, 江苏 苏州 215009; 2. 中国白城兵器实验中心, 吉林 白城 137001;

3. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 为提高 Linux 系统时间的精确度, 设计了 PCI-Express 接口的北斗授时卡以及驱动程序; 授时卡通过北斗卫星导航信息接收模块接收时间定位信息并输出至 FPGA (Field-Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列), FPGA 利用状态机检测出时间位置信息, 并存入 IP 核创建的虚拟双口 RAM 中; 当 PCI-E 驱动芯片接收到读取当前时间命令时, 将虚拟双口 RAM 中时间数据传输至 PCI-E 总线供上位机读取; 实验编写了 Linux 系统设备驱动程序, 包括驱动的编译、加载, 利用图形界面开发工具 GTK+ 编写授时测试软件; 打开授时测试软件, 通过指令使能授时卡 PCI-E 驱动芯片硬件中断, 检测到 FPGA 输出的中断信号, 测试软件进去中断服务程序读取 PCI-E 总线上的时间信息, 并在目标栏中显示; 试验结果证明: 在 Ubuntu Kylin 系统平台下授时测试软件运行稳定、界面简洁, 且授时精度达到 100 纳秒。

关键词: Linux; PCI-Express; 授时; FPGA

Design and Implementation of Driver of Beidou Navigation Timing Card under Linux PCI-E

Wang Jun^{1,3}, Han Li¹, Du Bojun², Wang Lei¹, He Xin³

(1. Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China;

2. Bai Cheng Ordnance Test Center of China, Baicheng 137001, China; 3. Changchun Institute of Optics,

Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: To improve the time accuracy of Linux system, a Beidou timing card driver under PCI-Express interface is designed. Timing card transmits time and location information to the FPGA (Field-Programmable Gate Array) by Beidou satellite navigation receiver module. FPGA decodes time and location information by using state machine, and creates a virtual double port RAM to store data by using IP core. When the PCI-E driver chip receives a command to read the current time, time data will be read from virtual dual-port RAM and transmit to PCI-E bus for the host computer. It programs timing card drivers for Linux including the driver compilation and loading, uses GTK+ graphical interface development tools to programming test software. Opening software and sending command to enable PCI-E driver chip hardware interrupt, when an interrupt signal output from the FPGA is found, the software runs interrupt service process will be tested and the time information on the PCI-E bus will be read and displayed in the column. Test results show that: software is stable and the interface is simple, and the timing error is 100 ns under Ubuntu Kylin system platform.

Keywords: Linux; PCI-Express; timing; FPGA

0 引言

计算机时间基本由网络时间或主板时钟芯片提供, 导致时间误差大, 在工业控制、数据测量等领域无法完成特定任务。为解决计算机时间误差较大问题, 部分学者提出 Windows 系统下 PCI 总线接口的 GPS 授时卡^[1-2]。这种方法的不足在于: 数据吞吐量、带宽的限制使得 PCI 总线逐渐被 PCI-E 总线所取代, 且 GPS 授时方式以及美国微软 windows 系统无法在国家安全敏感部门使用。针对上述不足, 基于国产 Linux 系统平台, 设计了 PCI-E 总线接口的北斗授时卡、驱动程序以及基本应用软件。

1 PCI-Express 授时卡硬件设计

1.1 授时卡总体设计

授时卡总体设计了 3 个模块: 北斗卫星解码、可编程逻辑器件以及 PCI-E 驱动, 总体设计如图 1 所示。北斗卫星解码模块通过天线接收北斗卫星授时信号, 可编程逻辑器件通过串行通讯模块接收 GPRMC 格式码流, 并解出 GPRMC 码中的时间定位信息。PCI-E 驱动模块在接收到计算机的命令后读取双口 RAM 中时间信息, 并传输到 PCI-E 总线上供计算机应用层软件获取^[3-5]。

1.2 授时卡硬件设计

可编程逻辑器件 FPGA 采用 Altera 公司 Cyclone IV 系列中的 EP4CE22E22C8N, 该芯片具有 144 个 IO 端口、36 个 RAM 块、2 个 PLL 锁相环、18 个嵌入式乘法器、4 种配置方式和 AS、JTAG 下载调试接口。北斗卫星解码模块采用和芯星通 UM220-III 为主芯片, 授时精度可高达 15 纳秒, 与 FP-

收稿日期: 2015-10-12; 修回日期: 2015-11-14。

作者简介: 王 军(1979-), 男, 江苏徐州人, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事光电测控技术与仪器方向研究。

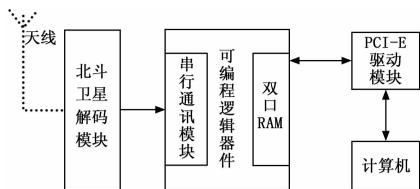


图 1 授时卡总体设计

GA 采用串口通信且有多种波特率可供选择，只要保证有一颗卫星连接正常，芯片就能输出准确的时间信息。PCI-E 驱动芯片采用 PLX 股份有限公司研发的 PEX8114，支持输入输出端口地址映射和 ROM 的扩展，支持硬件和软件中断，简化了授时卡硬件程序开发过程。授时卡部分硬件连接图如图 2 所示。

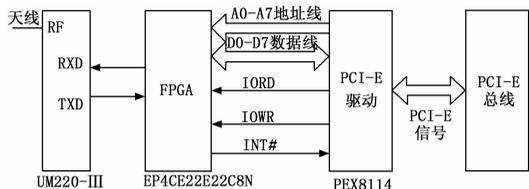


图 2 授时卡部分硬件连接图

2 授时卡 Linux 系统驱动设计

2.1 授时卡初始化设计

首先通过模块初始化函数对 PCI-E 授时卡进行初始化，在系统内核中注册 pcie_driver 数据结构体，结构体包括 PCI-E 驱动模块名称、授时卡驱动号等信息，然后通过 probe () 函数使能 PCI-E 授时卡，调用系统函数对配置寄存器设置。然后读取 PCI-E 配置信息获取授时卡的内存基址，调用 ioremap 完成配置信息的映射。接着通过 request_region () 完成 I/O 资源的申请，request_irq () 完成中断的申请。最后注册字符设备，通过 file_operations 实现应用程序对 PCI-E 授时卡的控制^[5]。授时卡驱动初始化流程如图 3 所示。

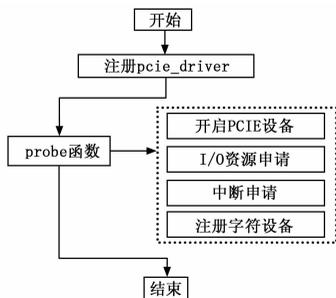


图 3 授时卡驱动初始化流程图

2.2 释放授时卡模块

通过 module_exit () 函数释放授时卡模块，主要包括端口释放、关闭授时卡设备、消除设备号和字符设备的注销。授时卡模块释放流程如图 4 所示。

3 授时卡测试软件设计

应用层测试软件采用 C 语言编写，利用 GTK+ 函数库编写图形交互界面^[7-8]。首先初始化 GTK+ 函数，创建引导窗口，此窗口列出所有 PCI-E 的设备编号。输入北斗授时卡设备号进入主窗口，此窗口显示授时卡的基本信息，同时检测窗

口“中断打开”按钮事件。当事件发生，使能外部硬件中断，进入中断服务程序进行时间信息的读取并显示。授时卡测试软件总体流程如图 5 所示。

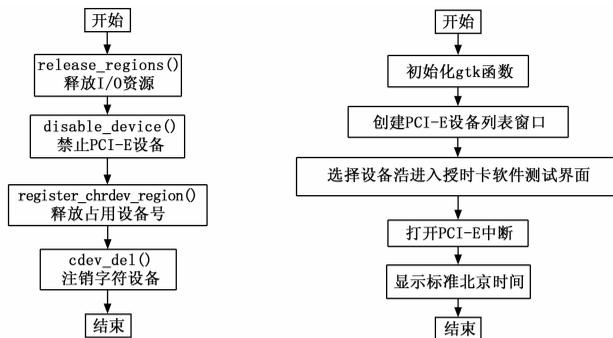


图 4 释放授时卡流程图 图 5 授时卡测试软件总体流程图

3.1 窗口模块软件设计

窗口作为用户直接操作对象，首先通过 gtk_window_new () 函数新建 PCI-E 设备列表窗口，利用窗口设置函数对窗口大小、位置等参数进行设置。完成后窗口建立后，通过 PCI-E 驱动函数打开 PCI-E 设备获取授时卡设备号，并在窗口文本框中显示。通过 gtk_button_new_with_label 函数新建进入时间显示界面按钮控件，当检测到按键的点击事件，则会通过 g_signal_connect () 函数调用回调函数进入授时卡时间显示界面，否则一直在 gtk_main () 函数循环等待控件触发事件，流程如图 6 所示。

3.2 中断模块软件设计

进入时间显示界面后，通过“中断打开”按钮调用中断打开程序，将授时卡 PCI-E 驱动芯片设置为外部硬件中断，当检测到 FPGA 的中断后，进入中断子程序。中断子程序包括对存放时间存储器的读取，将读取的时间信息转化为可显示字符串在时间文本栏显示，流程如图 7 所示。

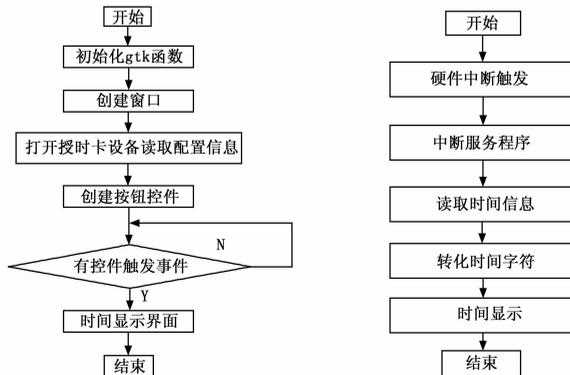


图 6 窗口模块软件设计流程图 图 7 中断模块软件设计流程图

4 测试结果

实验计算机采用华硕主板，操作系统为 Ubuntu Kylin 15.04，内核版本 Linux 3.19.0。打开终端，使用 su - 命令获取超级用户权限，然后使用 cd 命令进入授时卡驱动文件夹下使用 make 命令编译，驱动编译命令如图 8 所示。

在没有错误的情况下，文件夹下会产生多个文件，使用 insmod 命令将驱动模块动态加载到内核中，驱动加载命令如图 9 所示，并且通过 lsmod 检测授时卡驱动是否加载到系统内核中，驱动模块显示命令如图 10 所示。

```

X 终端 文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
pc@pc:~$ su -
密码:
root@pc:~# cd /home/pc/pcie/drv
root@pc:/home/pc/pcie/drv# make

```

图 8 驱动编译命令图

```

root@pc:~# cd /home/pc/pcie/drv
root@pc:/home/pc/pcie/drv# insmod ./PCIE.ko
root@pc:/home/pc/pcie/drv# lsmod

```

图 9 驱动加载命令图

```

X 终端 文件(F) 编辑(E) 查看(V) 搜索(S) 终端(T) 帮助(H)
root@pc:/home/pc/pcie/drv# lsmod
Module              Size  Used by
PCIE                 26480  0
cfg80211            462848  0
r8712u              163840  0

```

图 10 驱动模块显示命令图

当看到 PCIE 授时卡的驱动在列表中, 进入应用软件文件夹下对软件程序进行编译, 编译命令如图 11 所示。

```

root@pc:/home/pc/pcie/drv# cd ..
root@pc:/home/pc/pcie# cd demo
root@pc:/home/pc/pcie/demo# make

```

图 11 应用软件编译命令图

编译没有错误后, 可以使用 ./DEMO_GUI_GTK 运行可执行文件, 也可以直接双击可执行性文件打开, 此时显示图 12 应用测试软件的主界面。从主界面中能够查询硬件商和设备编码, 以及 I/O 和寄存器基址。点击“打开”按钮打开授时卡中断, 状态栏显示 on 状态表示设备中断打开, 点击“显示”按钮就能显示标准北京时间。



图 12 授时卡应用软件主界面

(上接第 114 页)

实时、有效地完成 APU 系统各工作状态功能、性能的可靠模拟, 且兼具了小型化、轻量化设计理念。

6 结论

本文设计的便携式 APU 数控系统硬件在环仿真平台通过硬件架构的优化与综合, 采用实时、精确的多线程技术, 保证了单一计算机台下发动机硬件在环仿真多任务的实时可靠性运行。经过大量调试试验, 仿真设备可以进行 APU 各个工作状态和工作模式的仿真。试验证明: 仿真设备运行实时性高, 计算结果准确, 能够有效地进行 APU 控制系统功能、性能的综合试验验证。该系统的建立为 APU 电子控制器外场测试、试验和保障提供了有力支持。

使用 Tektronix 公司的 TDS-2014C 示波器检测北斗卫星标准秒头与授时卡授时秒头误差 50 纳秒, 波形如图 13 所示。

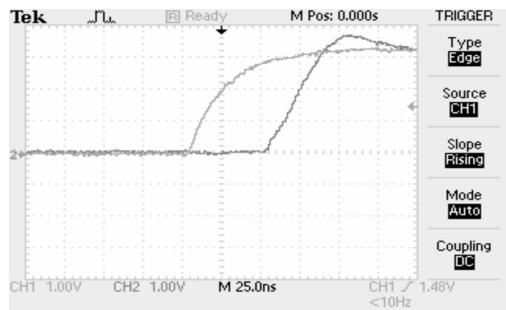


图 13 授时秒头与标准秒头波形图

5 结论

Linux 系统下设计的北斗 PCI-E 授时卡克服了 GPS 授时安全问题, 拥有授时精度高、兼容性好等优点。采用 C 语言和 GTK+ 函数库编写授时卡的驱动和应用软件, 通过了 GCC 编译, 运行稳定, 代码在 Linux 系统下有很高的移植性, 也为其他 PCIE 设备在国家安全部门 Linux 系统下运行提供了一种方法。

参考文献:

- [1] 刘军良, 胡永辉, 候 雷. 基于 PCI 总线的 GPS 授时卡设计 [J]. 电子测量与仪器学报, 2008 (s2): 122-127.
- [2] 赵志雄, 李孝辉, 刘 娅, 等. PCI 总线的高精度大量程时间间隔计数器研制 [J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28 (12): 1317-1323.
- [3] 杨会玲, 唐 彬. 基于 PCI-E 的北斗/GPS 双模授时系统设计 [J]. 苏州科技学院学报 (工程技术版), 2014, 27 (1): 68-69.
- [4] 鞠 康. 基于 FPGA 的 PCI-E 数据采集电路设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [5] 刘 娟, 田 泽, 黎小玉. PCI-E 接口驱动软件设计与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2012, 22 (8): 53-55, 59.
- [6] 李鹏飞. Linux 内核编译机制分析以及优化研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [7] 颜廷芝, 袁东风, 江铭炎, 等. 基于嵌入式 Linux 终端的在线流媒体服务系统 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 30 (2): 171-173, 197.
- [8] 刘立才, 康维新, 王海生, 等. 基于 GTK+/GNOME 的视频监控系统客户端软件设计 [J]. 电视技术, 2012, 36 (23): 146-150.

参考文献:

- [1] Rodgers C. Small Gas Turbine Auxiliary Power Units [R]. ASME 1975-ENAS-1.
- [2] Curlett B P, Felder J L. Object-oriented approach for gas turbine engine simulation [R]. NASA-TM-106970, 1999.
- [3] 赵小勇, 赵 刚, 杨恒辉. 小型涡轴发动机数控系统硬件在回路仿真技术研究 [J]. 测控技术, 2012, 31 (7).
- [4] 蔡开龙, 谢寿生, 胡金海, 等. 涡轮发动机燃油综合控制半物理仿真试验系统 [J]. 推进技术, 2007, 8 (4).
- [5] 杨东升, 王高峰. 多线程技术在虚拟仪器开发软件 LabWindows/CVI 中的实现 [J]. 电测与仪表, 2005, 42 (271).
- [6] 常博博, 苏三买, 刘铁庚, 等. 辅助动力装置建模及数值仿真 [J]. 航空动力学报, 2011, 26 (9).
- [7] 习郑虎, 年夫顺. 基于 LabWindows/CVI 的 USB 总线微波功率计软件设计 [J]. 软件工程技术, 2011, 01 (271).