

doi:10.16652/j.issn.1004-373x.2017.14.010

VxWorks 下龙芯3A 中断控制技术的研究

徐 骞

(江苏自动化研究所, 江苏 连云港 222061)

摘 要: 中断控制是嵌入式操作系统 VxWorks 正常运行的基础,是其具有高实时性的保障。针对 VxWorks 系统下中断控制驱动开发难度大、应用广等特点,首次提出了 VxWorks 系统中断控制驱动分层模型。基于该模型提出了 VxWorks 下中断控制驱动软件的设计方法,并基于该方法实现了 VxWorks 下国产龙芯 3A 处理器中断控制驱动软件的开发。最后提出一种优化龙芯 3A 中断控制性能的方法,大大缩短了中断响应时间,提高了系统的性能。

关键词: 中断控制; VxWorks; 龙芯 3A; 驱动软件

中图分类号: TN876-34; TP311.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2017)14-0036-04

Research on interrupt control technology of Loongson 3A based on VxWorks

XU Qian

(Jiangsu Automation Research Institute, Lianyungang 222061, China)

Abstract: Interrupt control is the base of normal running of the embedded operating system VxWorks and is a safeguard of high real-time performance. A drive hierarchical model of interrupt control on VxWorks is proposed aiming at the characteristics that the drive development of interrupt control on the embedded operating system VxWorks has great difficulty and its wide application. According to this model, a design method of interrupt control drive software based on VxWorks is put forward. The interrupt control drive software of Loongson 3A have was developed successfully with the method. A method to optimize the Loongson 3A interrupt control performance is presented. It greatly shortens the interrupt response time, and improves the performance of the system.

Keywords: interrupt control; VxWorks; Loongson 3A; drive software

VxWorks 操作系统是风河公司推出的一种嵌入式实时操作系统,以其高性能、高可靠性、高实时性等特点成为实时操作系统中最具特色的系统之一。其广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高端技术及实时性、扩展性要求极高的领域中^[1]。龙芯系列处理器芯片是龙芯中科技术有限公司研发的具有自主知识产权的处理器芯片,产品包括龙芯 1 号、龙芯 2 号和龙芯 3 号三个系列^[2]。龙芯 3A 处理器是龙芯 3 号处理器的第一款产品,主要面向高性能计算机、服务器和高端桌面应用,是一款实现 64 位 MIPS III 指令集的高性能四核处理器芯片,片内集成了 HT 控制器、PCI/PCIX 等接口,最高工作主频^[3]可以达到 1 GHz。VxWorks 作为一个实时嵌入式操作系统,通常采用中断的方式来满足系统实时性的要求。因此,中断控制驱动的实现对于 VxWorks 操作系统的开发是至关重要的^[4]。本文在研究 VxWorks 系统中

断控制技术的基础之上,描述了 VxWorks 下龙芯 3A 中断控制驱动的设计方法和实现过程,并对其中断控制性能进行了优化。

1 龙芯 3A 的中断控制

龙芯 3A 的中断通路示意图如图 1 所示。南桥的中断控制器在接收到外部设备的中断申请后,发出中断请求,经过 PCIE 根控制器转化后发送到 HT 总线上,然后被 HT 控制器得知,HT 控制器根据接收到的中断信息来设置自己的中断状态寄存器,之后按照既定的配置发出中断信号至 CPU 的中断路由由配置模块,最后按照中断路由模块的设置将中断信号送到某个 CPU 核上^[5]。

2 VxWorks 下的中断控制

2.1 中断控制驱动分层模型

VxWorks 下中断控制有一个层次的划分,一些中断控制器的输入是其他中断控制器的输出,因此可以将中断控制驱动抽象为三层,具体情况如图 2 所示。

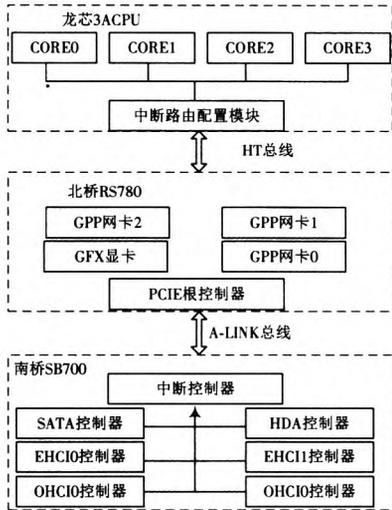


图1 龙芯3A 中断通路示意图

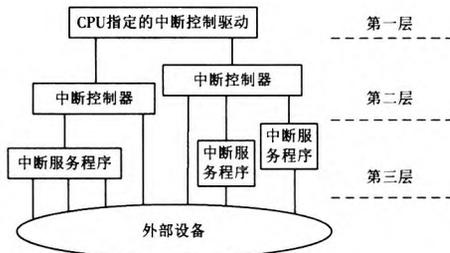


图2 VxWorks 下中断控制驱动分层模型

图2中,第一层为CPU指定的中断控制驱动,与CPU的体系架构密切相关,主要包括CPU一级与中断相关的配置,如中断路由等;第二层中断控制器直接与第一层CPU中断路由模块相连,并作为其中断输入,最常见的如8259中断控制器^[5];第三层中断控制作为第二层的中断输入,一般与外部设备密切相关,主要实现了中断服务程序的挂接和中断的响应处理,如传统的PCI设备中断控制就属于该层^[6]。

2.2 中断控制驱动设计方法

基于VxWorks下中断控制驱动分层模型,本文提出了VxWorks下中断控制驱动的设计方法,主要包括中断路由配置、初始化中断控制器、挂接中断服务程序和中断响应处理四个部分,具体流程如图3所示。

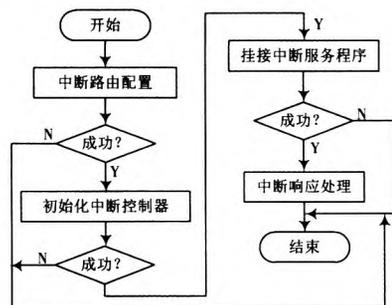


图3 VxWorks 下中断控制驱动设计方法

3 龙芯3A 中断控制驱动的的实现

根据VxWorks下中断控制驱动的设计方法,可以将龙芯3A中断控制驱动的实现主要分为四个步骤,配置中断路由、初始化中断控制器、挂接中断程序以及中断响应处理。

3.1 配置中断路由

龙芯3A下通过配置中断路由模块来确定中断信号最终分配到哪个CPU核上^[7-8],中断路由模块示意图如图4所示。

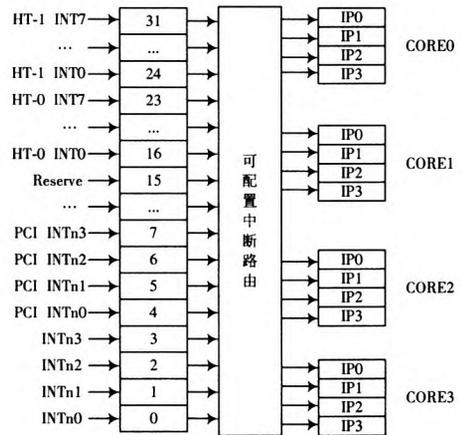


图4 龙芯3A 处理器中断路由示意图

图4中,中断路由配置模块有32个外部中断源,以统一方式进行管理。龙芯3A集成了4个处理器核,任意一个中断源都可以通过软件配置选择期望中断的目标处理器核,进一步中断源可以选择路由到处理器核4个中断INT0~INT3中的任意一个,即图4所示的CORE0~CORE3的IP0~IP3。在32个中断源中,最重要的是与HT总线相关的中断源,龙芯3A下绝大部分外部中断都是通过HT中断引脚输入至CPU,通过设置相关的中断路由寄存器可以对这些中断源进行路由配置,部分相关代码如下:

```

STATUS sysIntRouteSet()
/*将HT0相关中断路由至CPU CORE0 INT1*/
MIPS_SB64_IO_base_regs_addr(HT0_INT0_ADDR,0x21);
MIPS_SB64_IO_base_regs_addr(HT0_INT1_ADDR,0x21);
...
/*将HT1相关中断路由至CPU CORE0 INT1*/
MIPS_SB64_IO_base_regs_addr(HT1_INT0_ADDR,0x21);
MIPS_SB64_IO_base_regs_addr(HT1_INT1_ADDR,0x21);
...}

```

3.2 初始化中断控制器

龙芯3A下,中断控制器位于南桥上,默认配置为8259模式,初始化中断控制器主要包括设置中断控制器和使能中断控制器两个部分。

3.2.1 设置中断控制器

龙芯3A中断控制器可用的中断输入有8个,INTA#~INTH#,输出的中断号为irq0~irq15,每个中断输入与输出中断号的映射关系可以通过设置相关寄存器来完成,如图5所示。

| Address | Register Name | Description |
|---------|----------------|---|
| C00h | PCI_intr_Index | PCI IRQ Routing Index 0 - INTA# 1 - INTB# 2 - INTC# 3 - INTD# 4 - SCI 5 - SMBus interrupt 9 - INTE# 0Ah - INTF# 0Bh - INTG# 0Ch - INTH# |
| C01h | PCI_intr_Data | 0 - 15: IRQ0 to IRQ15 IRQ0, 2, 8, 13 are reserved |

图5 设置中断控制器的映射关系

图5中,可以先往0xC00写入一个值表示配置哪个中断输入,然后写0xC01表示将中断输入映射至哪个irq号。例如要把INTC#对应的中断号设置为irq6,则操作为:先往0xC00写入2,再往0xC01写入1即可。

3.2.2 使能中断控制器

中断配置寄存器都是以位的形式对相应的中断线进行控制。中断控制器使能的配置主要有三个寄存器:Intenset, Intenclr 和 Inten。Intenset 设置中断使能, Intenset 寄存器写1的位对应的中断被使能; Intenclr 清除中断使能, Intenclr 寄存器写1的位对应的中断被清除; Inten 寄存器读取当前各中断使能的情况。

3.3 挂接中断服务程序

VxWorks 系统下,需要实现类函数 func{vxbIntCtrlConnect}为硬件配置指定的中断并搭接相应的中断服务程序以及中断输入,该函数主要通过调用系统函数 intCtrlISRAdd()完成相关工作^[9]。龙芯3A中断控制驱动中实现的类函数名为 vxbMipsSbIntCtrlConnect,其部分代码如下:

```

LOCAL STATUS vxbMipsSbIntCtrlConnect()
{
    ...
    /* 获取中断输入并确认其有效 */
    if (ERROR == intCtrlPinFind(pDev, index, pIntCtrl, &isrHandle))
        return (ERROR);
    /*为指定的中断分配中断服务程序和参数*/
    if (intCtrlISRAdd(&pVxbPMipsSbIntCtrlDrvCtrl->isrHandle, inputPin, pIsr, pArg) != OK)
        return (ERROR);
    ...
}
    
```

3.4 中断响应处理

龙芯3A处理中断的流程,从外部中断请求到内核软件对中断的处理,其过程都是一样的,如图6所示。

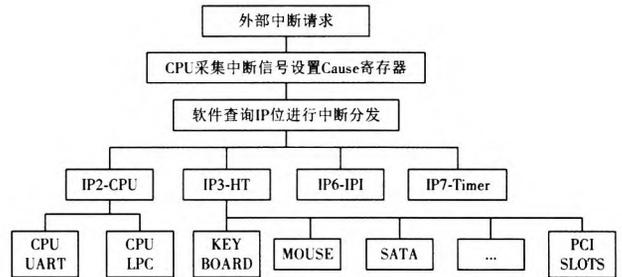


图6 龙芯3A处理器中断响应处理示意图

中断发生时,CPU会设置Cause寄存器的Excode域及相关的IP位^[10]。进而进入软件处理过程,软件通过查询Excode域来确定是哪一种类型的异常,并选择使用何种异常处理例程。如果是外部硬件中断,就会进入相应的中断分发函数。中断分发函数再根据Cause寄存器的IP位来进行一级中断分发,然后再根据中断号的位域来进行二次分发,最后执行具体的中断操作处理程序^[11]。

4 驱动测试与优化

4.1 驱动测试

基于龙芯3A的硬件平台,对中断控制驱动进行测试,能够成功运行VxWorks系统,如图7所示。



图7 龙芯3A在VxWorks系统下运行示意图

4.2 驱动优化

在驱动开发的设置中断控制器环节,默认配置情况下,龙芯3A平台的设备中断输入与中断号的映射关系如表1所示。

| 中断输入 | 设备名称 | 中断号 irq |
|------|--------------------------------------|---------|
| INTA | IDE,网卡 | 3 |
| INTB | 3G | 3 |
| INTC | OHCI0, OHCI1, EHCI0, EHCI1, WiFi, 显卡 | 6 |
| INTD | / | / |
| INTE | HDA | 5 |
| INTF | / | / |
| INTG | / | / |
| INTH | SATA | 4 |

从表 1 中可以看出,中断号 irq6 对应的中断输入过于集中,即挂载在中断输入 INTC 上的设备过多,这样会导致系统中断响应的的时间过长,从而影响系统的性能。可以在驱动软件设置控制器的环节对其进行优化,将其中的 USB 设备包括 OHCI 和 EHCI 进行分流,将这些设备映射到其他中断号上。修改后的软件经过测试,系统的中断响应时间大大缩短,性能显著提升,测试结果如表 2 所示。

表 2 优化前和优化后系统中断响应时间对比

| 测试对象 | 测试次数 | 优化前中断 响应时间 /s | 优化后中断 响应时间 /s |
|------|-------|------------------|------------------|
| 网卡 | 1 000 | 1.22 | 0.97 |
| USB | 1 000 | 1.69 | 1.18 |

5 结 语

本文提出一种 VxWorks 系统中断控制驱动分层模型,基于该模型给出了 VxWorks 下中断控制驱动软件的设计方法,并通过该方法实现了 VxWorks 下国产龙芯 3A 处理器中断控制驱动软件的开发。另外,本文还提出了一种优化 VxWorks 下龙芯 3A 中断控制性能的方法,通过该方法可以大大缩短系统中断响应时间,提高系统的性能。目前,VxWorks 下龙芯 3A 中断控制驱动软件已成功应用于某通信系统项目中,在应用的过程中,驱动程序

工作稳定,性能可靠,满足实际应用的需求。

参 考 文 献

- [1] 陈怀民,王哲,程鹏飞,等.VxWorks 下设备驱动程序开发技术研究[J].现代电子技术,2015,38(10):38-41.
- [2] HU Weiwu,ZHANG Fuxin,LI Zusong. Microarchitecture of the Godson-2 processor [J]. Journal of computer science and technology,2005, 20(2): 243-249.
- [3] 中科院计算技术研究所.龙芯 3A 处理器数据手册[M].北京:龙芯中科技术服务有限公司,2010.
- [4] 王迪.基于 X86 体系结构 VxWorksSMP 调度和中断机制研究与优化[D].长沙:国防科技大学,2009.
- [5] 李祖松,许先超,胡伟武,等.龙芯 2 号处理器的同时多线程设计[J].计算机学报,2009,32(11):2265-2273.
- [6] 徐立松,于森,李佩玥,等.基于 VxWorks 的 VME 从板驱动设计与实现[J].现代电子技术,2013,36(6):79-82.
- [7] 金浩,韩江洪,李阳铭.基于 ARM 的嵌入式系统中断处理机制研究[J].现代电子技术,2005,28(22):1-3.
- [8] 周启平,张扬.VxWorks 下设备驱动程序及 BSP 开发指南[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [9] 付月生,王丽.基于 VxBus 的驱动程序架构分析[J].计算技术与自动化,2012,31(2):98-102.
- [10] Wind River. VxWorks device driver developer's guide V10ume2 [M]. US: Wind River, 2008.
- [11] Wind River. VxWorks architecture supplement, 6.7 [M]. US: Wind River, 2008.

作者简介:徐 骞(1985—),男,江苏连云港人,工程师,工学硕士。研究方向为计算机软件开发。

(上接第 35 页)

指令人的普通话不标准。当然无线传输时,在隔了几堵墙或者距离过远时,误差也会增大。

5 结 语

通过对非特定人语音识别技术和相关软硬件知识的研究,设计了无线语音控制装置,实现了语音控制灯的开关动作。从目前的使用状况来看,控制装置的性能和功能都相对稳定,今后可以进一步扩展对多种用电设备的控制。

参 考 文 献

- [1] 赵奎兵,段富海.基于 ZigBee 节点智能家居系统语音控制设

计[J].现代电子技术,2012,35(20):5-8.

- [2] 苏建.非特定语音识别技术在现代家居控制系统中的应用[J].科技创新导报,2014(27):38-39.
- [3] 陈喜春.基于 LD3320 语音识别专用芯片实现的语音控制[J].电子技术,2011(11):20-21.
- [4] 付蔚,唐鹏光,李倩.智能家居语音控制系统的设计[J].自动化仪表,2014(1):46-50.
- [5] 张晓丹,黄丽霞,张雪英.关于在噪声环境下语音识别优化研究[J].计算机仿真,2016,33(8):172-176.
- [6] 潘丽杰,徐本亮,朱琪,等.基于双麦克风降噪技术的语音识别系统[J].现代电子技术,2016,39(2):137-139.
- [7] 棠丽亚,赵国栋,张鹏.关于连续语音识别率优化仿真研究[J].计算机仿真,2016,33(3):395-400.

作者简介:傅大梅(1967—),女,江苏海安人,副教授,硕士。主要研究方向为测量与控制技术。

盛 彬(1974—),男,江苏南京人,教授,博士。研究方向为通信与信息系统。