文章编号: 1004-289X(2007)02-0014-05

基于实时操作系统的嵌入式控制器的设计

陶嘉龙[1],李树江[1],吴海[2]

(1沈阳工业大学信息科学与工程学院,沈阳 110023; 2.伊利诺伊大学,美国)

摘 要: 本文基于 ATmega16微处理器和 AVRX嵌入式实时操作系统设计并完成了水秋千的嵌入式控制器,为实现高级控制策略和非线性控制理论研究提供了一个能够运行多任务的实验平台,通过移植和裁剪 AVRX嵌入式实时操作系统,为应用程序的设计提供了软件平台。与传统的单片机控制相比,解决了难于实现多任务,复杂控制算法以及系统的实时性问题

关键词: 水秋千; AVRX;嵌入式;实时操作系统

中图分类号: TM571 文献标识码: B

Design of Water Seesaw Controller Based on Real-time Operating System

TAO Jia-Long[1], *LI Shu-Jiang*[1], *WU Hai*[2]

(1. School of Electrical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China; 2. University of illinois at Urbana-champaign, Illinois 61801, USA)

Abstract: ATmeg16 and AVRX Real-Time operating system is applied here to design the embedded controller for water seesaw, at the request of multi-tasks scheduling. After establishing the real-time embedded experiment platform, the real-time operating system AVRX is transplanted and cut down. On this bases, the application programs is designed. By contrast with the traditional SMC, it is difficult to achieve the problems for multitask, complex controls and real time performance

Key words: seesaw; AVRX; embedded; real-time operating system

1 引言

嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,软件硬件可裁剪,适用于系统对功能、可靠性等严格要求的专用计算机系统[1]。水秋千控制系统是以航空航天平衡控制为背景的具有非线性特性的控制理论实验装置,它是将控制理论、力学、电子技术、计算机软件等学科有机结合的系统。因此实现水秋千系统平衡控制的研究有非常重要的实际意义。本文以水秋千平衡系统为对象,设计水秋千嵌入式控制器,通过对嵌入式实时操作系统 AVRX的移植和裁剪,硬件电路的设计为实现基于高级控制策略的多任务,实时[2][3]控制提供了一个实验开发平台。

2 水秋千系统的控制原理

水秋千系统由梁体、两个盛有重物的容器,其中一个容器放有弹性球可以保持重量不变、另一个盛有水,两台微型直流水泵,一台用于向盛水的容器中注水,另一台用于排水。控制系统由控制器主体、驱动放大装置偏移角检测等主要部分构成。

水秋千系统的基本控制原理是通过检测梁体偏离平衡位置角度的电位器获得电压反馈信号,再由控制算法算出控制量,输入到 D/A转换模块,并通过功率放大装置驱动系统的两台直流微型水泵,使系统达到新的平衡,由于横梁在不同的角度,横梁两边的容器对其产生的力矩是变化的,因此水秋千系统具有很强的非线性特性。水秋千系统结构见图 1

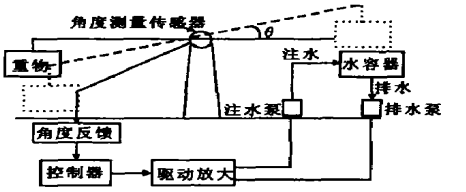

图 1 水秋千系统的结构

3 水秋千控制系统的设计

(1)控制系统组成

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

控制装置的核心采用的是 ATmega16微处理器,系统的硬件部分主要分为 A/D采样模块、232数据通讯模块、D/A转换器模块、液晶显示器等。

ATmega系列微处理器是采用先进的 RISC结构,大多数为单周期指令,具有 32个 8位通用工作寄存器,工作于 16M时钟频率时高达 16MIPS的处理效率[4]。它有丰富的 I/O接口资源,各个 I/O端口的功能可通过片内相应的寄存器位来设置,内有 8通道 10位 A/D转换器,可编程为单端或者差分输入;含有 16K的系统内可编程 Flash 512字节的 EEPROM和 1K字节的 SRAM 符合 JTAG标准的边界扫描功能,支持扩展的片内调试功能的 JTAG接口,可以通过该接口实现对 Flash、EEPROM的编程。

(2) A/D采样模块

控制系统采集的模拟信号来自测量电位器的电压信号,此信号在水秋千平衡时为 3V,当水秋千偏离平衡位置的角度为± 60°时,分别为 1.2V和 4V,此信号直接输入到 ATmega16自带的 10位 A/D转换器的模拟采集端口中,不需要另接元件,简化了硬件电路的设计。在 A/D采样模块中,选择的是外部的 5V参考电压。

(3) RS232通信电路的设计

ATmega16微处理器具有一个串行通信接口 USART,通过电平转换芯片 MAX232实现 RS-232电平与 TTL/CMOS电平的转换。通过该接口可将水秋千的控制信息实时传给上位机 PC,便于观察和发现问题。也可以实现上位机 PC对 Atmega16的控制,例如调节控制器参数等。

(4) 液晶显示器

本系统选用 LCD显示器分辨率为 128× 64的汉字图形型模块,背光手动控制外形尺寸为 93× 70mm,内置国标 GB2312码简体中文字库(16× 16点阵)、128个字符(8× 16点阵)及 64× 256点阵显示 RAM(GDRAM)。可与 ATmega16直接接口,提供两种界面来连接微处理器: 8-位并行及串行两种连接方式,电源电压+ 5V。在水秋千的控制过程中用于实时显示系统的控制信息,包括两台直流水泵的当前工作电压值及偏角检测电位器的反馈信息等。

(5) 模拟量输出模块

本模块的作用是将 CPU运算的控制量转换成模拟电压信号,经过功率放大装置去驱动水秋千系统的两个水泵。选用 Burr-Bron公司的串行 12位分辨率的 D/A转换器 DAC7611,该器件采用+ 5V供电,电压输出型,最大输出量为 4.095V。

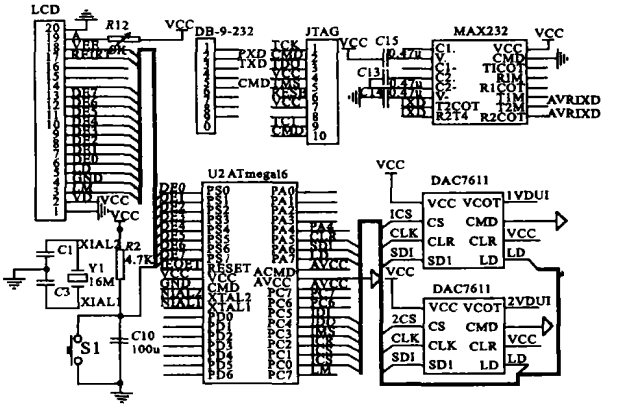

图 2 控制器主要部分的电路原理图

6) 功率放大装置与水泵

功率放大器采用运算放大器与晶体三极管相结合的方式,运算放大器选用 LM324,三极管选择 S8050NPN型号,水泵选用的是直流电动机驱动的微型水泵,额定电压 12V,额定电流 150mA,流量 1.2L/min,扬程 1.5m。硬件主要部分的电路原理图和水秋千嵌入式控制器见图 2和图 3。

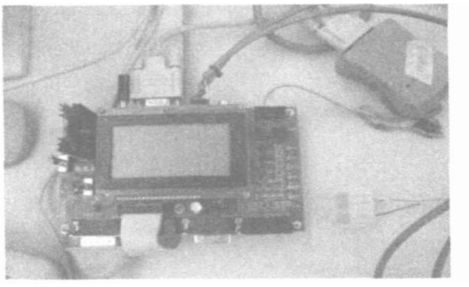

图 3 水秋千嵌入式控制器

4 水秋千控制系统的软件设计

实时操作系统是指具有实时性,能支持实时控制系统工作的操作系统[5][6]。本文软件的设计紧紧围绕硬件电路和系统功能进行。为了提高系统的实时性,在应用程序设计中采用了嵌入式实时操作系统,可以把应用程序划分为多个任务,利用实时操作系统的内核调度功能实现任务的管理,这样降低了软件设计的难度。为此,本文选择了应用于 AVR系列处理器的实时操作系统 AVRX,这与传统的单片机系统不同,它把水秋千控制系统的应用程序划分为 5个任务,分别为 A/D转换任务,用于控制系统采集模拟数据;控制策略和 D/A输出任务,该任务完成控制量的输出来驱动水泵的运转;LCD显示任务实现实时信息的显示,提供人机界面的功能,基于操作系统的软件开发如下。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4.1 AVRX在水秋千控制器 ATmega16上的内核移植和裁剪

AVRX是一个运行在 AVR系列微处理器上的轻型实时操作系统内核,目前的版本为 AVRX2.6 该版本可用 IAR或 AVR-GCC两种编译器进行编译。因此可以选择 AVR-GCC作为编译器,能够提高移植的成功率,移植工作主要是重新编译内核文件,这样才能和应用程序相连接,重新编译内核首先修改 AVRX源码的 Makefile文件,需要更改的部分如下:

ABSPATH=… /avrx /把这个部分修改为 AVRX源文件所在的实际文件目录。

将 MCU=8535

AAVRMCU=1

GCCMCU=at90s$(MCU)

AVRXMCU=-AT90S$(MCU)-

改为 ICCMCU=m16

AAVRMCU=3

GCCMCU=atmega16

AVRXMCU=_AT90Mega16_

然后修改 AVRX源代码的 serialio.s文件,也就是根据不同的微处理器型号修改串行口部分的寄存器定义,对于 ATmega16来说需要增补如下代码:

```
#  if defined(UBRRL)
#  define UBRR UBRRL
#  endif
#  if defined(UBRRH)
 Sts UBRRH,plh
#  endif
```

以上部分修改后保存,然后编译内核。如果是在 windows xp环境下,可以在开始菜单单击运行,在弹出的对话框中输入“cmd”弹出命令行窗口,显示 AVRX目录后输入“make”命令后运行,就完成了 AVRX内核的编译,会生成很多的.O文件,此为目标文件以及 avrx.a文件,这些文件在以后的应用程序中会用到。

作为一种嵌入式实时操作系统,AVRX同样可以像其它实时操作系统一样进行内核功能裁剪,这对于一些简单的应用是很有必要的。AVRX实时内核提供的功能包括:基本的任务和信号量大约 670字节;计数器队列管理约 230字节;消息队列管理 48字节;单步执行功能大约 200字节;调试监视器 1300字节;FiFo支持 300字节。对于水秋千控制系统涉及如下几个功能。

(1)信号量:信号量是一个 SRAM指针,它有 3种状态:挂起(PEND),等待(Watting),执行(DONE)。当一个任务被一个信号量阻塞时,它就处于等待状态,多个任务可以排队等待一个信号量。在这种情况下,信号量可以看作是互斥信号量,使用它可以防止共享数据的破坏。更典型的情况是,信号量用于中断处理程序和任务之间的通信标志。还可用于任务和定时器,消息的同步,并且提供应用接口函数,供用户应用程序调用。在本文的水秋千控制系统中,就是使用信号量进行任务间同步的,在定时器的中断中发送一个信号量来激活一个任务,使该任务来完成电压偏差的检测。

(2)定时器:定时器控制块(TCB)是 4(或 6)字节。它们管理一个 16位的计数值。定时器队列管理器管理一个分类的定时器队列,每个都调整为所有计数器的和到和延时需要的值。取消一个定时器就需要重新调整队列以使所有的时间运行正确,AVRX内核提供相关的接口函数供用户使用。定时器主要用于系统中延时调整,这是很必要的,因为在占先式内核中优先级高的任务如果没有延时调整或者被信号量等阻塞,那么低优先级的任务就无法得到运行。本文中它有两个功能,一是作为定时采样的定时,二是延时调整。

(3)消息队列:消息队列使用消息控制块(MCB)作为队列的首地址。任何一个任务,中断处理函数和多个任务都可以等待消息。消息控制块 MCB长度是 2字节或 4字节,这取决于操作系统内核的版本。队列中的第一个元素是指向队列中下一个元素的指针。队列中的第二个元素是用于给等待队列发送消息的任务的信号量。消息可以看成是灵活性更大的信号量。它们可以被等待和确认,或者只是作为互斥信号量的指示使用。在本系统中 LCD显示的任务就是依靠消息来实时显示水秋千系统的角度偏差-测量电位器的反馈信号。

(4)单步执行:通过重新编译内核可以使能或禁止 AVRX的单步运行功能。如果用户需要使用这个功能,那么可通过编译内核库时定义以下的变量实现。

```
#  define SIGNALSTEPSUPPORT
```

该功能可以使操作系统的内核逐个语句执行程序,从而方便程序的调试。在没有调试监视器的条件下使用 GCC编译器编译的 AVRX内核大约 1200字节,因此它是非常小的。用户可以根据应用程序的需要选择以上提到的部分或全部的功能,不需要的功能在内核和应用程序连接时不会被编译器编译从而达到裁剪的目的。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4.2 基于 AVRX的软件设计

AVRX操作系统的内核是由汇编语言编写的,但是其应用层的程序是可以使用 C语言编写的,所以其程序结构和 C语言是很相似的,首先是 main()主函数最后调用内核函数 Epilog()将 CPU交给操作系统的内核来进行多任务的调度。下面是主程序结构的例子。

```
int main(void)
{
    AvrXSetKernelStack(0); /设置内核堆栈
    /初始化相应的端口和外设,也可以写成任
      务级的代码
    /时钟节拍的设置
    /多任务的建立,任务代码要另写
    AvrXRunTask(TCB(task1));
    AvrXRunTask(TCB(task2));
    ……;
    ……;
    AvrXRunTask(TCB(taskN));
    Epilog(); /任务切换
}
```

以上给出的是程序的框架,详细的代码要根据具体的问题编写。

在操作系统下编写应用程序,首先要将应用程序划分为若干个任务,并为每个任务赋予一定的优先级和堆栈。AVRX内核提供的任务定义宏 AVRX_TASKDEF隐藏了定义任务的许多细节,它定义任务的执行函数的同时,还定义了任务的堆栈数组,进程控制块及任务控制块等数据。关于这个宏的定义可以在头文件 AVRX.h中找到,这里仅说明宏的各参数的意义,宏 AvrX_TASKDEF有 3个参数需要指明,分别为任务名,用户堆栈大小及任务优先级,这一点和_C/OS-Ⅱ中的创建任务函数 OSTaskCreate()很相似[7],下面给出一个任务宏定义使用示例。

```
AVRX_TASKDEF(task1, 10, 3)
{
……;
……;
}
```

将这个宏展开后的形式如下:

```
char task1stk[10+ MINCONEXT]; /堆栈空间定义
void task1(void)_attribute_((naked)); /任务函数声明
ProcessID task1Pid; /进程控制块定义
TaskControlBlock(TCB) task1Tcb
{
    &task1Stk[size(task1Stk)-1];
    task1;
    &task1Pid;
    3;
}
    void task1(void)
        {
    ……;
        }
```

其中数组 task1Stk作为任务的堆栈空间使用,MINCONEXT是任务切换时至少要用到的堆栈大小,在 2.6版本中这个堆栈的大小为 35字节,变量 task1Pid将实时存储被宏 AVRX_TASKDEF()定义的任务的堆栈指针和优先级,结构体 ProcessID构成内核任务的单项链表,TCB是存储在程序存储器中的数据类型,它存储任务的初始数据,前面定义的堆栈及进程控制块都通过它传递到任务的运行函数 AvrXRunTask()。任务定义好后,调用内核函数 AvrXRunTask()将被定义的任务链接到系统的任务队列中去,等待调度。AvrXRunTask()需要一个参数指向任务控制块的指针,如果要运行上面的任务,AvrXRunTask()的调用格式:AvrXRunTask(&task1Tcb)或 AvrXRunTask(TCB(task1)),AvrXRunTask()通常在主函数 main()中调用。首先分配给任务一定的优先级和堆栈,对于 AVRX2.6版本这个堆栈大小至少是 35字节。在水秋千控制系统中根据任务的执行情况将 A/D数据采集任务设置为最高的优先级,这个任务是由定时器以信号量的方式触发的。其次是控制策略运算及 D/A输出任务和 LCD显示任务。系统控制的软件流程如图 4所示。定时中断选择 ATmega16的定时计数器 0实现 10ms系统时钟节拍中断,采样周期定为 0.1s,在定时器 0的中断中计数,记到 10后发送信号量触发 A/D数据采集任务,采集当前的偏差电压信号,之后再发信号量触发控制策略和 D/A输出任务,由于 LCD显示任务优先级低,只有当前两个任务释放 CPU的使用权时才会得到执行。

5 结语

本文主要针对水秋千系统设计出了基于实时操作

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系统的嵌入式控制器,通过对实时操作系统内核的剪裁、移植及硬件电路的设计完成了控制器系统,对于以平衡控制为目标的一类非线性控制对象的各种理论研究提供了一个实验平台,同时也为实现基于 AVRX实时多任务,满足实时性要求的嵌入式控制器设计提供了一个开发环境。

该控制器以 PID控制策略运用于水秋千系统的控制,在平衡位置± 30°范围内的运行结果表明,该控制器运行可靠,实时性能好,而且能准确的实现平衡控制。

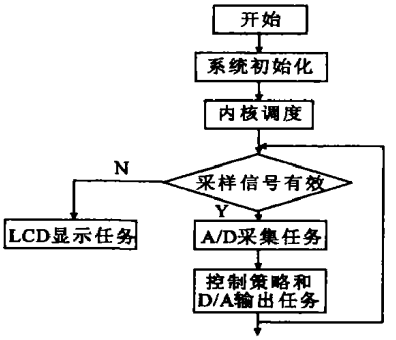

图 4 系统的软件流程图

参考文献

[1] Estrin D. Connecting the physical world with pervasive networks [J]. IEEE PervasivComnuting, 2002, 1(1): 56- 69

[2] Eker J, Hagander P, rz n K E. A feedback scheduler for real- time control tasks [J]. Control Engineering Practice, 2000, 8(12): 1369- 1378

[3] 吴瑞强.控制系统的实时性研究与优化 [D].浙江: 浙江大学, 2006

[4] 赵英凯,王景芹. 基于 ATmega16单片机的干式变压器智能温度控制器设计 [J].仪表技术, 2005, 1: 47- 48

[5] 任彩霞. 基于嵌入式实时操作系统的随动系统开发 [D].吉林: 吉林大学, 2004

[6] 张昭瑜. 嵌入式操作系统在机电一体化设备控制过程中的应用 [D].四川: 四川大学, 2005

[7] [美] Jean J Labrosse著, 邵贝贝 等.译 μc/os- II(第二版) [M].北京: 北京航空航天大学出版社 2003

收稿日期: 2007- 01- 12

(上接第 13页)

~ 100kΩ 和 0Ω~ 120kΩ 范围内的电阻,仅在保护器漏

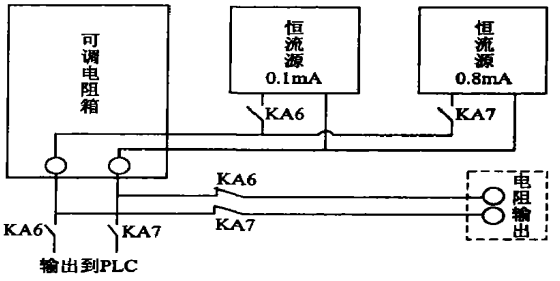

图 3 电阻测量原理

电、漏电阻箱输出阻值作为测量信号时,恒流源和 PLC模拟量模块均未接入电路,以保证电阻箱输出精确的电阻值。随着电阻值的变化,保护器在达到其动作值后给出一个动作信号, PLC检测到动作信号后就发出控制信号,使继电器 KA6或 KA7动作。继电器常闭触头断开,电阻箱的电阻值不再输出;常开触头闭合,将恒流源输入到电阻箱中,并将电阻箱上产生的电压降输出到 PLC的模拟量模块, PLC通过检测到的电压值进行计算后即可确定此时的电阻值。这样,在测量过程中没有附加任何电路在电阻箱上, PLC就可检测到保护器动作时的电阻值并通过触摸屏显示器显示。

在 PLC对电阻值测量过程中,根据输入模拟量模块的值,进行计算后控制继电器 KA6和 KA7自动切换两个恒流源,从而保证测量精度。两个恒流源配合使用,理论上 PLC可以测量并显示 25Ω~ 125kΩ 的电阻值,这个范围完全可以满足煤矿设备电气保护所用到的绝大多数电阻值。

4 结语

高精度三相交流仪表校验台的升级改造,可以对矿用控制开关电子保护装置性能进行调试和校验。该试验台采用了先进可靠的可编程控制器 PLG触摸屏人机界面等设备,其智能化、自动化程度较高,它的应用将会给矿用电气设备保护性能的检测水平带来极大的提高。

收稿日期: 2006- 08- 09

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net