

嵌入式系统在气浮转台无线测控实验中的应用

曲宏松^{1,2}, 张 叶^{1,2}, 徐 伟^{1,2}, 金 光¹

(1. 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 以卫星气浮转台实验为背景, 介绍了基于实时嵌入式系统的气浮转台无线测控通信子系统的设计。利用 VxWorks 操作系统实时性强、多任务调度的特点, 对转台上的串口数据采集、转台上下的无线网络通信进行了任务化编程。在线测试表明, 嵌入式实时操作系统 VxWorks 可以合理而快速地对各任务进行实时而可靠的管理和调度, 嵌入式系统可以出色地完成转台无线测控通信任务。

关键词: 气浮转台 无线网 VxWorks 嵌入式系统

Application of embedded system in wireless TT&C experiment with air-bearing turntable

QU Hong Song^{1,2}, ZHANG Ye^{1,2}, XU Wei^{1,2}, JIN Guang¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: At the background of the experiment of satellite air-bearing turntable, the design of wireless TT&C sub-system based on realtime embedded system is introduced in this paper. Using the characters of real-time and multi-task of VxWorks OS, tasks of serial data collection and wireless LAN communication between turntable and main-control computer on the ground are modularized. The On-line test indicates that VxWorks OS can manage and control every realtime task quickly and credibly, and embedded system behaves well in wireless TT&C task.

Key words: air-bearing turntable; wireless LAN; VxWorks; embedded system

在卫星的地面全物理或半物理仿真实验中, 气浮转台作为卫星的运动仿真器, 不仅可以模拟卫星的刚性本体, 而且要承载转台控制系统、测控通信系统等实物部件, 所以气浮转台是卫星控制系统物理仿真实验的核心设备。由于在仿真实验中需要将转台上的各种实验数据实时下载到台下的监控计算机中, 并且有时需要台下的监控计算机上传必要的遥控指令和数据信息至台上的控制计算机, 因此需要有一套实时性、鲁棒性很强的测控系统来完成转台上下的通信任务。

当前, 嵌入式技术发展迅猛, 已经广泛渗透到科学研究、工程设计、军事技术以及人们的日常生活中。VxWorks 作为一款实时嵌入式操作系统, 以其强实时性、高可靠性成为航空航天、军事国防、通信等领域应用最广的操作系统之一。而 PC104 设备采用了紧固堆叠的安装方式, 体积小巧、结构紧凑, 特别适合转台这种空间有限的应用。本系统针对气浮转台实验的实际需要, 并结

合嵌入式系统的特点, 最终选取了“VxWorks+PC104”的嵌入式软硬件搭配方式, 完成转台数据采集管理、转台控制以及台上的测控终端等实验任务。

1 硬件实验环境

气浮转台测控实验要完成的中心任务是: 将转台上的各系统、各设备的遥测数据下载到地面测控终端中, 由地面测控终端进行处理、显示以及保存。同时, 地面测控终端要将转台上所需要的数据信息以及一些控制指令上传到台上测控终端中。

1.1 台上实验环境

转台上采用 PC104 嵌入式计算机作为转台主控计算机, 选用的型号是数字逻辑公司的 CPU 卡 MSMP5SEV, VxWorks 操作系统在此 CPU 卡上运行。为了能够采集台上设备的工程数据, 并对台上的执行部件进行控制, 通过 PC104 总线扩展了一个 8COM 的串口卡和一个 D/A 转换卡。台上的 GPS 接收机、光纤陀螺、自

制飞轮电机通过串口与 PC104 串口卡相连,以传递 GPS 授时数据、转台转速以及飞轮转速等遥测数据。而自制飞轮电机和磁力矩器等执行部件连接到 D/A 转换卡上,由 D/A 卡发出的模拟信号控制执行部件。此外台上配有多路供电电源,为台上电子设备供电。

1.2 台下实验环境

转台下需要一个工业控制计算机作为地面的监控平台,负责接收转台传来的重要数据,并向上传递控制命令及必要的实验数据。需要上传的数据有模拟卫星的轨道数据和转台感应同步器得到的转台位置信息。模拟卫星轨道数据可以利用 STK 软件得到,而转台感应同步器的数据则通过一个自制数据采集板,将并行数据转换成串行数据输入到监控计算机中。

1.3 转台上下的通信链路

由于转台在实验时不断转动,很不适合有线通信,所以选用无线局域网作为转台上下的数据通信链路。台上使用符合 IEEE802.11g 协议的无线接入点(Wireless Access Point)作为台上的测控连接点,通过网线接入到 PC104 主机。台下使用 USB 接口的无线网卡,直接插入到地面监控计算机中。这样就建立起一个无线点对点的局域网。图 1 给出了转台实验环境的总体结构图。

2 基于 VxWorks 的转台测控通信端软件开发

2.1 实时嵌入式操作系统 VxWorks

VxWorks 是美国风河公司(Windriver)为嵌入式系统量身打造的一款实时操作系统。其微秒量级的任务切换和中断延迟时间,使其成为实时操作系统家族中的佼佼者。经过二十多年市场应用的验证,VxWorks 被认为是高度可靠的操作系统。

VxWorks 除了强实时性和高可靠性之外,还具备多任务调度的特点。VxWorks 中任务的概念类似 Windows 中的线程,每个明显单独运行的程序成为一个任务。每个任务都可以直接访问或共享大多数资源和内存空间,并拥有自己存放局部变量的栈和存放寄存器、延时定时器、时间片定时器等控制块。每个任务都拥有自己的任务名、任务 ID 和优先级。内核根据各任务优先级的高低,进行高优先级抢占式的调度,而对于同等优先级的任务采用轮转调度策略。VxWorks 任务间的同步方式也比较灵活,分别提供了共享内存、管道、信号量、消息队列等机制。丰富的通信机制和调度方式选择使 VxWorks 下的任务编制非常灵活,十分适合在有限时间内同时处理多个事件。

2.2 测控系统软件设计

测控软件从功能角度分类可以分为遥测任务和遥控任务两个部分。遥测任务需要采集、整理转台上各设备的工程数据,然后通过网络发送到地面监控计算机中。遥控任务需要先通过网络接收到地面监控计算机发送来的数据,然后通过解包、解码发送给遥控处理任务来执行遥控指令。但从数据的通信类别角度分类,可以分为串口通信和网络通信两部分。从编程角度,更倾向于后一种分类来组织软件的编写。

2.2.1 串口通信

串口通信的主要任务是采集遥测数据。从图 1 可以看出,转台上有 3 路数据要通过串口进行通信,分别是 GPS、陀螺和飞轮电机。由于 3 个设备的数据更新率不同(GPS 为 1Hz、陀螺为 300Hz、飞轮电机为 2Hz),所以对于 PC104 主机而言,遥测数据的到来具有随机性。为了能在各路遥测数据到来之际及时做出响应,需要利用

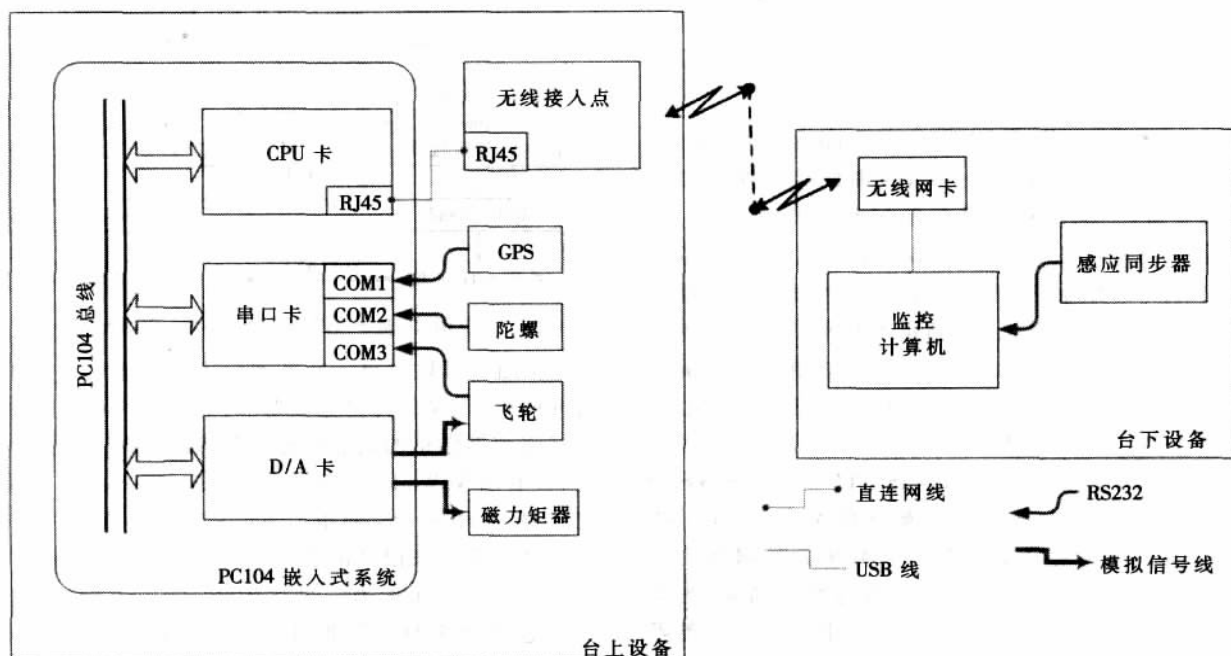


图 1 转台实验环境结构示意图

VxWorks 系统提供的 I/O 复用机制进行串口数据接收。具体程序代码如下：

```
if((xxxFd =open( /tyCo/0 , O_RDWR, 0))==ERROR)
{
    perror( Error in opening com1! );
    return(ERROR);
}
taskSpawn(TNAME_COMXXXRECV, TPRI_COMXXXRECV,
0, XXX_STACK_SIZE, (FUNCPTR)xxxRecv,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);
STATUS xxxRecv(void)
{ ...
    while(1)
    {
        FD_ZERO(&readFds);
        FD_SET(xxxFd, &readFds);
        if(select (width, &readFds, NULL, NULL, NULL)==
                                ERROR)
            return (ERROR);
        if(FD_ISSET(xxxFd,&readFds))
        {
            if((recvLen=read(xxxFd, recvBuf, buf_size))==ERROR)
            {
                printf( ERROR when read XXX! );
                return(ERROR);
            }
            .....
            //释放相应信号量, 进行数据处理、遥测数据编码、
            下传数据打包等任务的执行。
            .....
        }
    }
}
```

首先, 需要通过 I/O 系统 API 函数 open() 打开串口, 系统为相应的串口分配一个表示该串口的文件标识符 xxxFd, 然后通过 taskSpawn() 函数发起串口接收任务。串口接收任务对应的入口函数为 xxxRecv(), xxxRecv() 函数的函数体是一个死循环, 不断接收串口数据。在死循环的开始处应用 I/O 复用机制, 利用 FD_ISSET() 函数查看文件描述符集的 xxxFd 位是否被置位。如果 xxxFd 所对应的串口有数据到来, 底层的驱动程序会将数据传递到系统维护的接收环形队列缓冲内存中, 同时将文件描述符集中的 xxxFd 位置位。当 FD_ISSET() 函数发现 xxxFd 位被置位时, 则使串口接收任务解除阻塞, 开始向下执行, 通过 read() 函数将存放在环形队列中的数据接收到用户缓冲区 recvBuf[] 数组中。如果没有数据到来, 则文件描述符集中的 xxxFd 位为复位状态, 串口接收任务阻塞。通过使用 I/O 复用机制, 成功地解决了不同数据源更新率不同步的难题。这种机制类似一个软中断, 真正

做到了数据的即到即收。

2.2.2 网络通信

无线网络通信担负着连接转台与地面监控计算机的重任。由于 PC104 主机带有网卡, 而且 VxWorks 对多任务和 BSD Socket 具有良好的支持, 所以完备的嵌入式软硬件环境使得无线网络通信在转台测控系统中的应用成为可能。

网络通信任务是基于 BSD Socket 的编程, 使用的是 Server/Client 模式。转台上的嵌入式主机为服务器(Server), 台下的监控计算机为客户端(Client)。BSD Socket 通常构造两种应用类型: 面向连接的 SOCK_STREAM 应用和无连接的 SOCK_DGRAM 应用。面向连接的应用即基于 TCP 协议的 socket 应用, 无连接的应用即 UDP 应用。TCP 协议是提供给用户的一种可靠的全双工面向连接的协议, 而且 TCP 协议具有正确性检查机制。在此选用 TCP 协议进行网络通信。

基于 TCP 协议面向连接的 Socket 应用框架如图 2 所示。首先, 在服务器端创建 Socket, 然后调用 bind() 函数将 Socket 与一个端点地址绑定, 并通过 listen() 函数侦听客户的连接请求, 然后调用 accept() 阻塞任务, 等待请求的到来。当客户端利用 connect() 连接到服务器的侦听端口时, 服务器与客户端进行 3 次握手建立点到点的连接。连接建立完毕以后, 就可以调用 read() 和 write() 函数进行网络数据的接收和发送了。

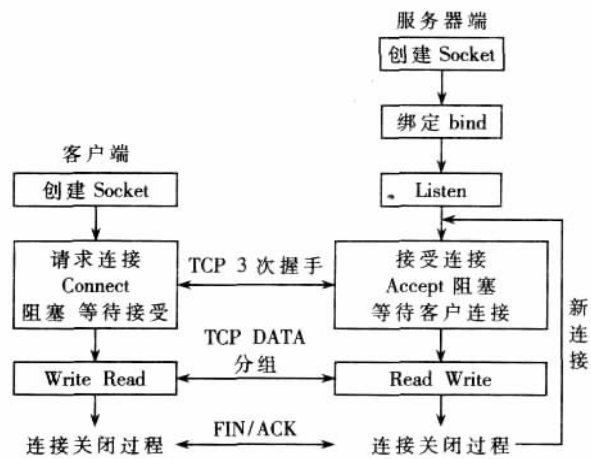


图 2 基于 TCP 协议的 Socket 应用框架

从图 3 可以看出, 网络通信应用程序中建立了两个缓冲队列, 用来缓冲网络接收和网络发送数据。缓冲队列由链表数据结构的动态添加与删除来实现。为了节省空间, 没有用 VxWorks 自身提供的双向链表结构, 而是用单向链表, 并用两个全局指针来记录链表头尾的首地址, 用一个全局变量来记录链表的长度, 以省略查找的过程。

每个链表元素为一个结构体 struct xxxList, 结构体内容包含网络数据头指针 pTemp 和指向下一个元素的指针 pNext。全局变量为链表头的指针 listHead、指向链表尾的指针 listRear 以及链表的长度变量 listLen。图 4 表

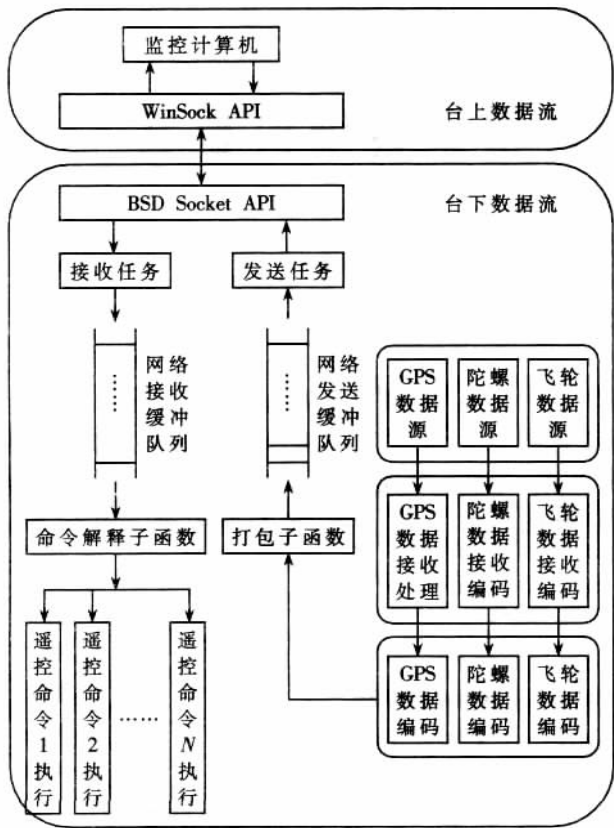


图 3 网络通信数据流

示含有 n 个元素的链表结构。

使用缓冲队列可以有效地提高通信的可靠性。在没有缓冲队列的情况下,虽然实时性极强的 VxWorks 在绝大多数情况下能够保证对需要传递的数据进行及时的处理,但仍然不能避免数据缺失情况的发生。而如果有

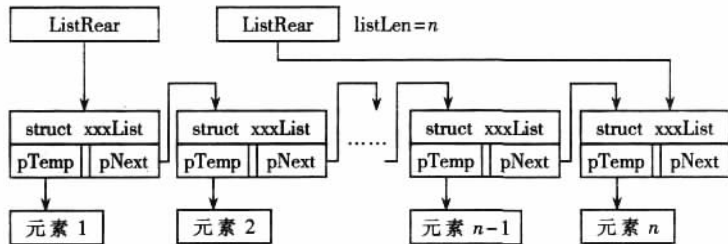


图 4 n 个元素的单向链表结构图

一帧关键数据丢失,则有可能造成某任务的阻塞。当阻塞时间超时,可能引起 Watchdog 的启动,从而中止实验的进行。而加入缓冲队列可以使尚未来得及处理的数据得到保护,从而避免了数据的丢失。从另一种角度说,也提高了 CPU 的利用率。

3 多任务调度测试

由于转台上只有一台嵌入式控制主机,所以台上各种数据的采集、控制算法的实现、转台的自主管理等功能都将由这个嵌入式主机单独完成。VxWorks 强大而灵活的多任务调度管理能力可以协助嵌入式 PC104 主机完成这些功能。

在转台仿真实验进行过程中, VxWorks 操作系统将同时维护二十多个任务。对于用户来说, 要明确各任务的运行状况就必须了解系统对多个任务调度的情况, 从而发现编程时考虑不周的 bug。VxWorks 的开发环境 Tornado 为用户提供了一个动态监视工具 WindView, 此工具可以在 Target 端的实时系统运行过程中记录各个元素之间动态交互的信息, 然后在 Host 端用图形化的方式直观地显示出来。

图 5 给出了进行转台仿真实验过程中,用 WindView

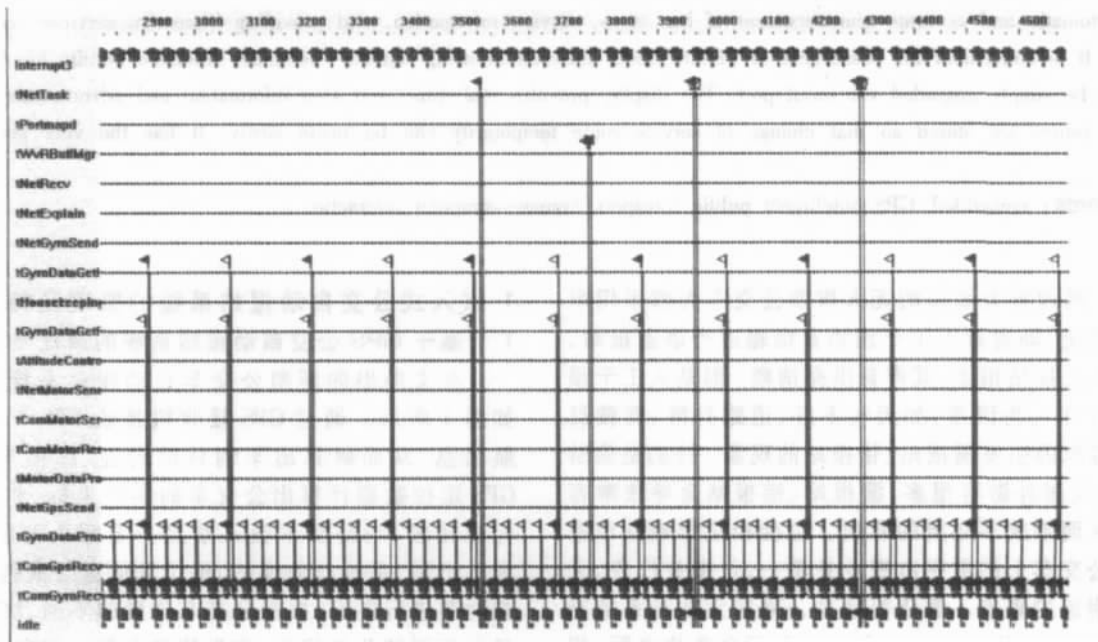


图 5 各任务 WindView 时序图

(下转第 37 页)

序可以通过触摸屏显示当前时间、本公交运行路线图、首末班车发车时间及本线路沿途各站点所经过的其他公交车。

2.2.2 多媒体播放器

用于播放景点介绍、广告等信息的播放器选用 MPlayer 播放器,它基于 0.2.0 版本的 Libmpeg2 函数库编写,因此支持多种流行的图像压缩格式,例如:MPG、DAT、BIN、VOB、ASF、WMF、AVI 等。MPlayer 播放器本身编译自带了多种类型的编码器,不需要再安装 xvid、ffdshow、ac3、filter、ogg、vobsub 等解码器。本系统移植采用较新版本的 MPlayer-1.0pre7try2.tar.bz2。

2.2.3 GPS 定位应用程序

GPS 模块工作流程如图 5 所示。任务启动后,模块接收 GPS 信息,然后解析出 GPS 信息,根据解析出来的经纬度信息与数据库中存储的站点信息比较,计算出实际距离。如果距离到达阈值时,启动 GPS 报站中断。

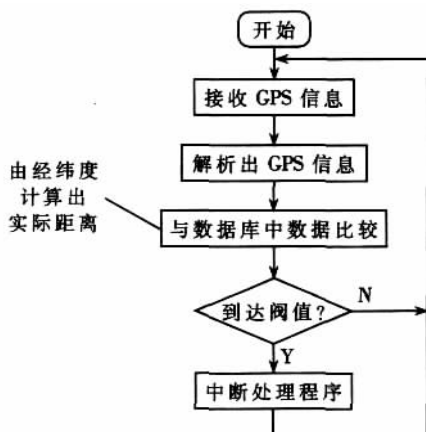


图 5 GPS 模块工作流程图

2.2.4 系统软件总流程

系统的软件流程如图 6 所示。上电后,首先完成系统初始化,然后创建 GPS 信号检测任务,并进入此任务执行 GPS 信号检测及解析,同时监测是否有 GPS 报站中断产生。若有中断产生,则启动 MPlayer 播放器播报站名、景点介绍等信息;若没有,则检测是否有触摸屏中断产生。若有中断,则进入人机交互界面;否则启动 MPlayer 播放器

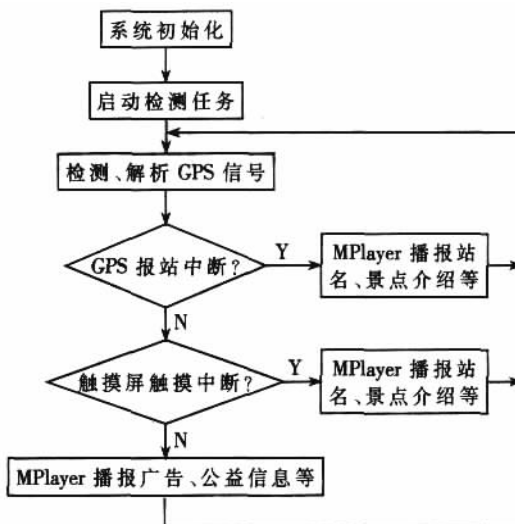


图 6 嵌入式 GPS 公交自动报站系统工作流程图

播报广告、公益信息等,同时检测、解析 GPS 信号。本嵌入式公交自动报站系统采用 GPS 定位技术,具有体积小、播报准确的特点。系统可存储多条线路,方便公交车临时更换运营线路;并利用触摸屏作为人机交互界面,方便乘客查询相关信息;可提供广告等增值业务。系统基本解决了当前各大城市公交系统报站出错的问题。

参考文献

- [1] 管素清.公交车自动报站和地图匹配的研究(学位论文).山东大学,2005,4.
- [2] 倪继利.Qt 及 Linux 操作系统窗口设计.北京:电子工业出版社,2006.
- [3] 李征航,黄劲松.GPS 测量与数据处理[M].湖北:武汉大学出版社,2005.
- [4] 刘森.嵌入式系统接口设计与 Linux 驱动程序开发[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [5] 严盈富.触摸屏与 PLC 入门[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [6] 张其善.智能车辆定位导航系统及其应用[M].北京:科学出版社,2002.

(收稿日期:2007-04-25)

(上接第 33 页)

采集到的各任务占用 CPU 的时序。通过 WindView 图可以看出,虽然系统维护的任务很多,而且有的任务被调用或者响应中断的频率很高,但由于 VxWorks 操作系统实时多任务调度的能力很强,所以没有造成任务的拥堵、死锁或者饥饿等情况的发生,圆满地完成了转台的仿真实验。

参考文献

- [1] VxWorks Programmer's Guide.Wind River System Inc, 2002.
- [2] Tornado 2.2 User's Guide.Wind River System Inc, 2002.

- [3] 陈洋,陆宇平.机器人实时远程控制系统及其开发库的设计与实现[J].电子技术应用,2006,(2):7-10.
- [4] 孔祥营,柏桂枝.嵌入式实时操作系统 VxWorks 及其开发环境 Tornado[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [5] 程敬原.VxWorks 软件开发项目实例完全解析[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [6] 邝坚.Tornado/VxWorks 入门与提高[M].北京:科学出版社,2004.
- [7] 曲宏松,耿爱辉,陈涛.基于 VxWorks 的串口芯片 ST16C554 的驱动程序设计[J].电子器件,2006,(3):959-962.

(收稿日期:2007-05-14)