

用于传动系统的嵌入式信号采集及传输设备

刘晓明, 韩 术, 谭廷庆, 简福斌
(重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

摘 要:在分析了传统的传动系统信号采集设备的不足之处,并考查了一些传动系统的特殊环境之后,提出了基于 ARM7 微处理器的用于传动系统的嵌入式信号采集及传输设备设计方案。根据方案,以移植于 ARM7 上的 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 嵌入式实时操作系统为软件设计基础,设计了数据采集、存储、USB 有线传输、无线传输等软件模块。介绍了 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 系统及其移植,重点阐述了设备的设计原理和基于操作系统的软件设计思想。与传统的外部信号采集器相比,本设备能适应旋转、封闭、多尘、多油气等特殊工作环境,工作稳定可靠,所得信号的干扰及能量损失更小。

关键词:嵌入式;信号采集;数据传输; $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)08-0243-04

Embedded Signal Acquisition and Transmission Device for Driven System

LIU Xiao-ming, HAN Shu, TAN Ting-qing, JIAN Fu-bin

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Considering the deficiency of traditional signal acquisition device for driven system and some specific environment, brought forward the entire system design scheme for embedded signal acquisition and transmission device used in driven system. This system was based on microprocessor ARM7 with an embedded real-time operating system $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ on it. Based on $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$, software modules such as signal acquisition, data storage, data transmission were designed. Introduced the $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ system and its transplant, then gave the design idea of the whole system detailedly. Comparing to the traditional signal acquisition, this device can adapt to the rotary, sealed, dusty and oiled environment. The signal fetched by it has less disturbing and less energy loss.

Key words: embedded; signal acquisition; data transmission; $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$

0 引 言

传动系统的在线监测及故障预报系统,一般由信号采集、信号处理、状态识别、故障诊断和趋势预报四个典型功能模块集成^[1]。信号采集模块是收集设备在运行过程中诸如振动、压力、温度等信号,一般由传感器、信号放大、A/D 转换、计算机存储等部分组成。由于传统信号采集设备具有体积大、可测量点远离所关心的信号源、连线复杂等特点,使所得信号能量损失过大,信号间耦合程度过强且映射关系复杂,不便于提取有用信号^[2],导致一些重要技术装备,如坦克传动箱、风电齿轮箱、舰船齿轮箱等的状态监测、损坏原因分析及残余寿命预测等都无法有效实现,使得提高其产品的可靠性困难。综上所述,数据采集及传输模块是传动系统的在线监测及故障预报系统实现的前提,而传

统数据采集及传输设备难以采集到对象的内部强信号,亟需开发能够解决以上问题的嵌入式信号采集及传输设备。

1 嵌入式信号采集及传输设备设计原理

嵌入式信号采集及传输设备可实现对传动系统中各种不同特殊环境中数据的采集及传输,文中以对一种特殊传动轴内部信号的采集及传输设备为例加以阐述,设备的使用可首先将具有电信号输出的微型复合型传感器安装于传动轴内部需观察点,并将其固定于其中,然后将嵌入式信号采集及传输设备安装于内部,并用导线与前端传感器相连即可,如果测量环境非常恶劣,则需将传感器与采集装置密封于传动轴内部^[3]。设备与外部 PC 机的数据传输方式有两种:(1)数据存储及有线传输方式;(2)无线传输方式。用户可通过使用电路板上跳线来选择不同的传输方式。

嵌入式信号采集及传输设备的结构框图如图 1 所

收稿日期:2009-12-17;修回日期:2010-03-05

基金项目:军工科研项目支持(20081113)

作者简介:刘晓明(1963-),男,教授,研究方向为电子电路。

示,主要由前端信号处理单元、微处理器(ARM7LPC2146)、电源单元、存储单元、USB单元、无线通信单元以及外部隔热、防尘、防油单元组成。

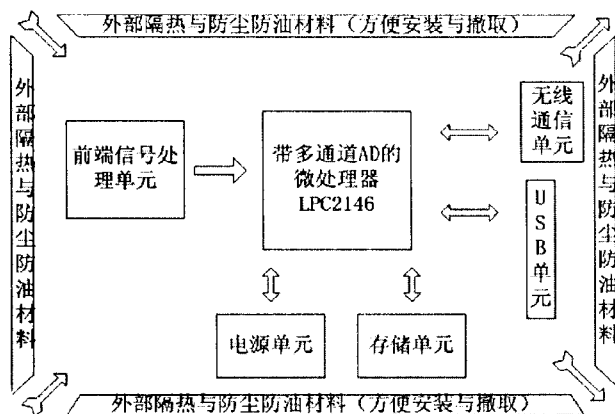


图1 嵌入式信号采集及传输设备结构

工作时,由传感器传入的电信号首先通过前端信号处理单元,其主要有运算放大电路、滤波及转换电路,能够输出满足 ARM7 AD 接口要求的多路电信号。本设备中微处理器采用 PHILIPS 公司基于 ARM7TDMI-S 核、单电源供电和 LQF64 封装的 LPC2146^[4],具有 JTAG 仿真调试和 ISP 编程功能。本系统采用 LPC2146 芯片,主要是因为其具有 2 个 10 位 A/D 转换器,提供总共 14 路模拟输入,每个通道的转换时间低至 2.44 μ s。另外因为该芯片内部带有一个 USB 设备控制器,该控制器支持 32 个固定配置的物理端点,并完全兼容 USB2.0。该微处理器是本系统的核心部分,除对前端输入信号进行多通道 AD 采样外,还实现了存储器单元控制、USB 单元控制、无线传输单元控制等功能。对于封闭或旋转的采集环境可采用有线传输方式^[2],ARM 可通过对存储单元的控制,将 AD 采样的数据以 2k BYTE 为单位写入大容量 NANDFLASH^[5],以实现长时间的采样数据储存,在数据采集结束后可通过 USB 线与 PC 机相连并进行传输。LPC2146 USB 的所有端点都有一个双向的 DMA 通道,且 DMA 接口挂接在 LPC2146 的 AHB 总线上,使得数据交换速度非常快,适合高速传输大量数据,因此本系统中 USB 采用 DMA 模式。对于相对静止的采集环境,可采用无线方式,ARM 可缓存少量数据并通过对外部无线发送及接收芯片 CC1101 的控制实现数据的无线实时传输。CC1101 是一种低成本真正单片的 UHF RF 收发器,为低功耗无线应用而设计,电路主要设定为在 315MHz、433MHz、868MHz 和 915MHz 的 ISM(工业、科学和医学)和 SRD(短距离设备)频率波段,可编程控制的数据传输率,最高可达 500kbps,自带 FEC 和 CRC 处理,可支持 2FSK, GFSK, MSK,

OOK, ASK 等调制解调方式,能为嵌入式信号采集及传输设备的开发提供可靠的硬件支持。无线传输单元主要是与外部无线收发器通信,实现遥控和数据传输功能。电源单元由电池和放大、滤波、转换电路组成,为设备提供稳定的正负 5V 和 3.3V 电压。外部隔热、防尘、防油单元位于电路板外,由特殊材料制成,使设备能够适应传动系统中的各种特殊环境。

2 μ C/OS-II 系统

2.1 μ C/OS-II 简介

μ C/OS-II 是专门为计算机的嵌入式应用设计的一个多任务实时操作系统。 μ C/OS-II 是一个源代码公开、可移植、可固化、可剪裁的占先式实时多任务内核,具备现代操作系统的特点,可用于 8 位、16 位和 32 位单片机、ARM 或 DSP。目前 μ C/OS-II 主要应用于照相机、医疗器械、音响设备、发动机控制系统、GPS 系统、网络设备、高速公路电话系统、ATM 机、工业机器人等领域^[6]。

μ C/OS-II 具有以下的特点^[7]:① μ C/OS-II 的源代码是开放的。②可固化: μ C/OS-II 是为嵌入式应用而设计的操作系统,只有具备合适的软硬件工具,就可将 μ C/OS-II 嵌入到产品中,成为产品的一部分。③可裁剪:可根据应用的需要来裁剪系统功能,以减少代码空间和数据空间。④可剥夺性: μ C/OS-II 是完全可剥夺型的实时内核,总是运行就绪条件小优先级最高的任务。⑤多任务: μ C/OS-II 可管理 64 个任务,除系统任务外,留给用户应用程序的任务最多可有 56 个。⑥可确定性:绝大多数 μ C/OS-II 的函数调用和服务的执行时间具有确定性,用户知道函数调用和服务的执行时间。⑦ μ C/OS-II 的每一个任务都有自己单独的栈和栈空间。⑧ μ C/OS-II 提供了很多系统服务,如信号量、邮箱、消息队列、内存管理、中断管理、时间管理即块大小固定的申请与释放等。⑨中断管理:中断可使正在执行的任务暂时挂起。如果优先级更高的任务被中断唤醒,则高优先级的任务在中断嵌套全部退出后立即执行。中断嵌套层数可达 255 层。

2.2 μ C/OS-II 的移植

移植 μ C/OS-II 到一个新的体系结构上需要修改 3 个文件:OS_CPU.H(C 程序头文件)OS_CPU_C.C(C 程序源文件)及 OS_CPU_A.ASM(汇编程序源文件)^[6,8]。 μ C/OS-II 在 LPC2146 处理器上移植的过程包含以下步骤:

(1)修改和编写 OS_CPU.H 文件。主要工作有:定义一系列不依赖于编译器、移植性强的数据类型为 μ C/OS-II 移植到 ARM 服务,例如:INT16U 代表 16

位无符合整数,所以需要定义 INT16U 为 unsigned short。根据 GCC 的 C 语言编译器的实际情况,定义 OS_STK_GROWTH 的值为 1,即制定堆栈的增长方向为满递减^[7,8]。

(2)修改和编写 OS_CPU_C.C 文件包。其中,任务堆栈初始化函数是唯一必须保留的函数,其余函数必须声明。根据 LPC2146 的体系结构编写任务堆栈初始化函数 OSTaskStkInit(), OSTaskCreate() 和 OSTaskCreateExt() 会通过调用 OSTaskStkInit() 来初始化任务的堆栈结构,得到任务的堆栈栈顶和任务的优先级。因此,堆栈看起来就像刚发生过中断并将所有的寄存器保存到堆栈的情形一样。另外值得一提的是 OS_ENTER_CRITICAL() 和 OS_EXIT_CRITICAL() 宏,分别实现关闭和打开中断,这是为了保护临界段代码。

(3)修改和编写 OS_CPU_A.S 文件,需要在该文件文件中编写 4 个汇编语言函数:其中 OSStartHighRdy() 函数用于启动当前就绪的的优先级最高的任务, OS_TASK_SW() 函数实现任务级的任务切换函数, OSIntCtxSw() 函数实现中断级的任务切换函数, OS_TASK_SW() 和 OSIntCtxSw() 都是用于任务切换的函数,其区别在于,在 OSIntCtxSw() 中无需再保存 CPU 的寄存器^[8]; OSTickISR() 函数提供系统时钟节拍中断函数,主要实现任务切换,本系统采用定时器 0 作为时钟节拍发生器,每 1ms 一个节拍。

经过上述移植工作, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 代码就可以在 LPC2146 处理器系统上开始工作了,对于文中所述的嵌入式信号采集及传输设备,涉及如下几个功能:

1)多任务管理。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的每一个任务都是一个无限循环程序,且都具有一个唯一的优先级别,一共分为 64 个优先级别,且每个任务可在休眠、就绪、运行、挂起、中断服务五个状态中转换^[7,8]。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 多任务调度的思想是:每时每刻总是让优先级最高的就绪任务处于运行状态。在系统或者用户任务调用系统函数执行中断服务程序结束时,总是调用调度器 OSSched() 来确定应该运行的任务并运行它。

2)时间的管理。由于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是一个抢先式内核^[7,8],所以为了使高优先级的任务不至于独占 CPU, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 规定:除了空闲任务之外的所有任务必须在任务中适合的位置调用系统提供的 OSTimeDly(), 使当前的任务延时一段时间并进行一次任务调度,让出 CPU 使用权。

3)任务间的通信。在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中,使用信号量、消息邮箱和消息队列来实现任务间通信。本系统主要采用信号量,信号量有两部分组成^[7]:一个是信号量的

计数值,它是一个 16 位的无符号整数,另一个是由等待该信号量的任务组成的等待任务。信号量可用来表示一个或者多个事件的发生,其初值设为 0;也可以用于对共享资源的访问,其初值设为 1。

3 嵌入式信号采集及传输设备的软件设计

成功将 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核移植到 LPC2146 上以后,整个应用程序的软件设计以任务为中心进行。如前文所述,根据电路板跳线设置不同,设备将运行于两种不同的模式:数据存储及有线传输模式和无线传输模式。系统的启动以及运行过程如图 2 所示,图中主任务会读取跳线的电平选择系统工作模式,以根据实际情况创建子任务并进行任务调度,无线传输模式相对有线传输模式少了存储任务和 USB 任务,多了无线发送任务,其 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统软件设计思想和无线传输模式一致,而从程序设计的角度来看,无线传输模式设计相对更复杂,所以下文以有线传送模式的软件设计为例加以阐述。

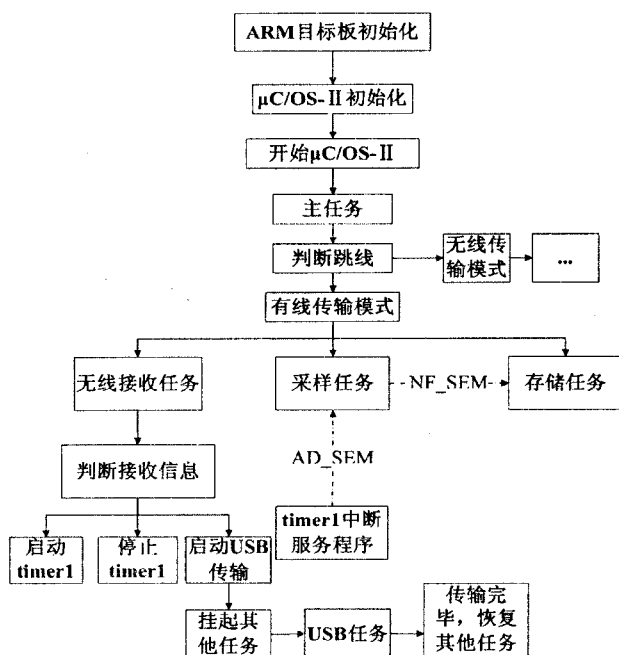


图2 系统的启动以及运行过程图

根据系统的实际需要,将系统划分为 5 个任务,优先级从高到低分别是:主任务、无线接收任务、采样任务、存储任务、USB 任务,任务间通信采用信号量方式。主函数依次实现目标板的初始化, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 初始化,创建信号量 AD_SEM、NF_SEM 和主任务,最后启动目标板,调用 OSSStart() 之后, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 立即进入多任务管理阶段。当前只有一个任务,即主任务,开始运行主任务。

① 主任务。在主任务中,首先启动系统时钟,然

后调用 `OSSetInit()` 来确定 CPU 速率,接着创建无线接收任务、采样任务和存储任务。接着主任务通过调用 `OSTaskSuspend(OS_PRIO_SELF)`^[7] 挂起自身,来停止主任务的运行。

② 无线接收任务。主任务挂起之后,各个被创建的任务分时轮流运行,其中无线接收任务优先级最高。该任务因为等待遥控信号一直被挂起,收到无线信号后做相应处理。本设备和外部无线收发器均采用时分双工(半双工)通信芯片 CC1101 实现无线通信,速度最高可达 500kb/s,在该模式下,无线通信主要起遥控作用,外部无线收发器作为发射机每次向设备传输 8 字节的遥控信号^[9]。采用 switch 语句处理不同的信号:收到启动采样命令则启动定时器 Timer1 并打开其中断,在系统初始化时定义 Timer1 的定时长度为 1/2000 s,即实现 2kHz 的采样频率;收到停止采样命令则停止 Timer1 并关闭其中断;收到 USB 启动信号后的处理在后面 USB 任务说明。

③ 采样任务。该任务因为请求 AD_SEM 信号量而被一直挂起,Timer1 定时中断发生后运行相应的中断服务程序,调用 `OS_ENTER_CRITICAL()` 和 `OS_EXIT_CRITICAL()` 宏保护程序^[7],并在该程序中调用 `OSMboxPost()` 发送 AD_SEM 信号量。采样任务请求到 AD_SEM 信号量后会启动 AD 控制器以实现多通道采样,因为每一路模拟信号被转换为 10bit^[4],所以用 2 字节存储,将所得数据依次存入名为 DataBuf 的 4kB 采样缓存中,之后检查 DataBuf 是否已满,若没满则循环挂起,若已满则调用 `OSMboxPost()` 向存储任务发送 NF_SEM 信号量。

④ 存储任务。该任务因为请求 NF_SEM 信号量而被一直挂起,请求到采样任务发送的 NF_SEM 信号量后,则将 DataBuf 中的数据写入 2G 大小的 NAND-FLASH。在系统初始化时会对 FLASH 的 Block 进行检查,并在其第一个 Block 中用数据结构记录每个 Block 状态,在对 FLASH 进行写操作时,首先查询 Block 状态表,保证跳过坏块进行记录^[10]。另外,每 5 分钟会向 EEPROM 中记录当前写 FLASH 的地址,以防止突然断电造成的已写地址不便查找问题。

⑤ USB 任务。如前所述无线接收任务会收到 USB 启动信号,之后会调用 `OSTaskSuspend()` 挂起采样任务和存储任务、创建 USB 任务、打开 USB 中断,并将自身挂起。本系统作为设备采用 USB2.0(全速)进行与 PC 机之间的数据传输^[4],而 PC 机作为主机,实际数据传输可达到 1Mbyte/s。USB 任务启动后会对 USB 控制器进行一系列的初始化,包括硬件初始

化、事件标志清零、中断配置、配置控制端点和 DMA 端点等^[4]。在数据采集完成后,连接 USB 动作会产生 USB 中断,在 USB 中断服务程序中会对相应的事件标志置位^[11],在该任务中会循环调用事件处理函数 `usb-serve()` 查询各事件标志,并依次做出相应处理以实现与 PC 的数据传输与握手,主要有控制传输和 DMA 传输方式,控制传输只在开始时与 PC 机进行数据流交换。当 DMA 传输结束后,PC 机可向设备发出传输结束数据流,设备收到后会调用 `OSTaskResume()` 恢复之前挂起的采样、存储、无线接收任务,最后调用 `OSTaskDel(OS_PRIO_SELF)` 将自身删除(休眠)。

4 结束语

用于传动系统的嵌入式信号采集及传输设备创建了特殊环境下局域信号采集与数据传输机制,突破了传统信号采集与数据传输的局限性,从信号采集与传输机制上彻底改变了传统设备状态监测与故障诊断的系统集成模式。把实时多任务操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 引入到该设备的软件设计中,使软件设计思路更清晰,更易于管理和维护,可靠性更强。

参考文献:

- [1] 李爱华,李世平,王新国.基于嵌入式计算机的导弹测试记录仪的设计与实现[J].计算机测量与控制,2005,13(9):955-966.
- [2] 李爱华,李世平,王新国.基于嵌入式计算机的导弹测试记录仪的设计与实现[J].计算机测量与控制,2005,13(9):955-966.
- [3] 刘峻华,黄树红,陆继东.汽轮机故障诊断技术的发展与展望[J].汽轮机技术,2000,42(1):1-6.
- [4] 周立功.深入浅出 ARM7-LPC213X/214X[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [5] 何 瑛,朱明武,李永新.腔内多路瞬态信号存储测试技术[J].仪器仪表学报,2001,22(3):133-135.
- [6] 胥 静.嵌入式系统设计与开发实例详解——基于 ARM 的应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [7] 任 哲.嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 原理与应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [8] 尚 宇,郅 琦. $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 LPC2210 上的移植研究[J].计算机技术与发展,2007,17(2):103-108.
- [9] 张永强,初秀琴.基于 ARM 的移动无线传输系统设计[J].国外电子元器件,2008(1):70-72.
- [10] Franco Jr R A, Ingram J K. A very high shock data recorder [M]. [s.l.]:IEEE, 1991:503-507.
- [11] 李英伟. USB2.0 原理与工程开发[M].第 2 版.北京:国防工业出版社,2007.