

基于 uC/OS-II 的数字电能表计量软件系统^①

周荣华, 左国才

(湖南软件职业学院 软件工程系, 湘潭 411100)

摘要: 首先介绍了将模拟小信号电能表与纯数字电能表的计量综合成一个系统以后的体系结构, 然后分析了在嵌入式实时操作系统 uCOS-II 环境下计量系统的实现: 包括任务的划分、任务间的通信以及数据的共享问题, 其中重点研究了任务间通信时数据的共享问题, 最后总结了任务间的总体通信情况, 为设计出高精度的数字电能表计量软件奠定了坚实的基础。

关键词: 数字电能表; uCOS-II; 共享数据; 模块化; 计量任务

Digital Energy Meter Software System Based on the uC / OS-II

ZHOU Rong-Hua, ZUO Guo-Cai

(Software Engineering, Hunan Vocational Institute of Software, Xiangtan 411100, China)

Abstract: This paper introduces firstly the analog signal energy meter and a pure digital power meter integrated into the architecture of a Measurement system, and analysis of the realization of the measurement system in embedded real-time operating system uCOS-II environment and include: the division of tasks communication and data sharing issues between tasks, which focus on the problem of communication data sharing between tasks. Concluded the overall inter-task communication situation, and laid a solid foundation for the design of a high-precision digital power meter measurement software.

Key words: digital energy meter; uCOS-II; shared data; modular; measurement tasks

在微控制器组成的系统中, 软件与硬件设计占有同样重要的地位, 当系统的硬件电路确定以后, 系统的主要功能就要靠软件来实现, 在硬件条件相同的情况下, 软件的效率决定了整个系统的效率。电能表的软件系统是整个系统的控制、指挥中心^[1,2], 本文主要研究的是遵循 IEC61850 标准的数字电能表选用实时操作系统后计量软件部分如何实现的问题。

1 电能表计量程序体系结构

数字化变电站体系结构由过程层、间隔层、站层三层构成, 而位于间隔层的数字电能表从位于过程层的合并单元或数字化变电站外置互感器接收采样数据来完成计量工作。本文设计的数字电能表符合 IEC61850 标准, 体系结构如图 1 所示, 将模拟小信号电能表与纯数字电能表的计量综合成一个系统, 以整

合资源和提高计量平台的可维护度, 从图 1 可以看出此系统分为四层:

第一层为驱动层, 本层主要功能是负责 ADC(模数转换器)或 EMAC(以太网控制器)硬件的初始化、接收数据、控制增益和处理异常等, 目的是使硬件正常接收数据, 并将数据交付第二层进行处理。

第二层为数据处理层, 在模拟小信号电能表中无此层, 这是专为纯数字电能表设立, 从驱动层接收的只是网络数据包, 本层主要功能是解析以太网数据包, 提取其中的采样数据和设置信息交付第三层进行处理。

第三层为接口层, 本层主要功能是负责从数据处理层接收采样数据和设置信息, 如果是采样数据它将提交给第四层进行计算加工处理, 如果是设置信息它将更新系统配置模块。

第四层为计量层, 本层主要功能是负责从接口层

^① 基金项目:湖南省教育厅科学研究项目(11C0723,11C0724)

收稿时间:2013-02-26;收到修改稿时间:2013-04-07

接收采样数据,结合系统配置模块情况进行计量运算处理。

模块化电表采用层次化设计,使整个程序结构清晰明了,即增加程序的可调试性和可维护性,又增加程序运行的可靠性。

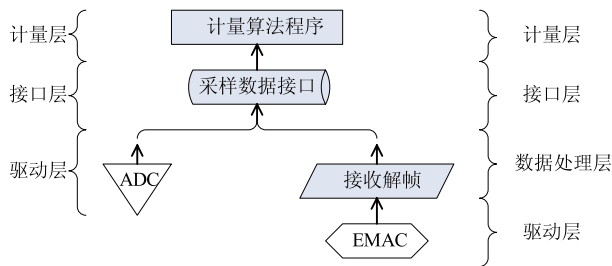


图1 数字电能表体系结构

2 uCOS-II环境下计量软件系统分析

2.1 uCOS-II 特点

uCOS-II 是一款源码开放的实时多任务操作系统,其源码绝大部分是用移植性强的 ANSI C 写的,与微处理器硬件相关的部分是用汇编语言写的,具有可裁剪、实时性强、可剥夺性、能够方便移植到各种微处理器上的特点。其高稳定性和可靠性适用于实时性要求高,安全性要求苛刻的系统中^[3]。

从数字电能表分层结构中可以得知在该系统中计算电参量将是最花费 CPU 时间的任务,此外,还有接收解析以太网数据包的任务,响应管理平台事件的任务,其中有些任务(如接收解析或采样)的优先级比较高。考虑到任务的数量和优先级,本电能表系统采用 uCOS-II 操作系统来管理整个系统的运行。

2.2 系统资源考虑

表计数数据量大,更新快,选用 uC/OS-II 后,DSP-BF537 计量芯片^[4]在不额外对系统的存储资源进行扩展的情况下,我们需要将现有计量系统的程序空间和数据空间都优化精减:

(1) 程序空间优化的方法是,采用带标识的消息传递机制,将同构的电参数计算代码组合成一个代码段,杜绝 2 份及以上同功能代码的存在。

(2) 数据空间压缩的方法是,将正弦波周期的采样计算缓冲区缩减三分之一,EMAC 接收数据包的循环缓冲区减少至可以进行“乒乓操作”^[5]的两个单元,以实现资源利用最大化。“乒乓操作”是一种用于数据流控制的处理技巧,通过输入数据选择单元和输出数

据选择单元按节拍相互配合切换,将经过缓冲的数据流没有时间停顿地送到运算单元,能有效的完成数据的无缝缓冲和处理。

2.3 任务设计

2.3.1 任务划分

嵌入式系统中的所有任务都是一个大任务的子任务,他们之间有着各种各样的关联,所以需要通过彼此之间的有效合作来完成一项大规模的工作。

本电能表是利用嵌入式操作系统 uCOS-II 管理整个系统的运行,可大大提高系统的性能。uCOS-II 要求在其上面运行的应用软件任务化,这就需要按 uCOS-II 的任务编写规范设计系统应用任务。结合系统的具体功能,按任务优先级从高到低设计 5 个任务。

任务 1: 完成计量软件环境各部分初始化工作,并建立消息队列以便在各任务之间传递多条消息的初始化任务(InitSys_task),它的优先级是最高的(标记为 prio0)。

任务 2: 完成从 ADC 接收采样数据,或者采用时间片的方式从 EMAC 接收以太网数据包后通过解析再获取采样数据的采样数据任务(SampData_task),它的优先级是高的(标记为 prio1)。

任务 3: 完成从数据接口层接收采样数据来计算各种电参量的电参量计算任务(EleParaCal_task),如计算总有功功率、总无功功率、总视在功率、总有功电能、总无功电能、总视在电能、最大需量等,这些计算是最消耗 CPU 时间资源的,因此它的优先级是最低的(标记为 prio4),而且在计算期间可能还会有其他事件发生,这种情形就是经典的实时操作系统情形。

任务 4: 完成与管理平台的互操作,负责上传电能量、设置参数和校验表计等工作的通讯任务(Commu_task),它的优先级是中等(标记为 prio3)。

任务 5: 完成容错与调试处理工作的容错调试任务(FaulDebug_task),负责定时喂看门狗,当处于调试版本时,还允许通过 UART 或 LED 向外界显示系统错误的发生,它的优先级较高(标记为 prio2)。

2.3.2 任务间通信

实时操作系统中通过通信来完成任务之间的默契和协调,从而使各任务可以无冲突、流畅地同步运行。uC/OS-II 通信的经典方式是:任务阻塞在等待消息上,直到中断服务程序或者其他任务给自己发送消息。如下代码段所示:

```

void TaskA(void)
{
    For(; ;)
    {
        OSQPend(p_QData, 0, &err);    // 等待事件
        // 处理接受事件
    }
}

```

当其他任务向自己发送消息时, 把该消息封装在“外壳函数”中, 这样可以避免使用全局变量, 同时增加了安全性:

```

void TaskA_SendPrompt(int IMsg)
{
    assert(IMsg >= MIN_VAL && Imsg <=
MAX_VAL);
    OSQPost(p_QData, (void *)IMsg);
}

```

2.3.3 任务间数据共享的处理

各任务间通信必然存在数据共享的问题, 计算机实现数据共享的方式主要有:

(1) 定义为全局变量, 这种方式实现数据共享是最容易的, 但是它带来的紧耦合度问题与软件设计要求“高内聚, 低耦合”的原则背道而驰, 而且多个线程竞争共享资源的问题也会防不胜防.

(2) 将共享数据模块化, 通过信号量机制来保证对共享数据的互斥同步访问. 这种方式数据访问安全, 但是不适合数据量大的情况, 而且任务可能会因长时间等待信号量而阻塞.

(3) 用回调函数与消息传递的机制来实现数据的共享. 这种方式的实时性虽不如共享数据模块化强, 但是它能进行大批量数据的处理.

本文中涉及到的数据共享部分有:

(1) 采样数据任务向电能参量计算任务传递采样数据, 如果采用数据模块化的方式来共享采样数据, 那么会因为电能参量计算任务长时间地持有信号量而使采样数据任务因等待信号量而阻塞, 所以设置为数据模块是不合理的. 实现的方式应该改为: 缓冲区属于计量任务的私有数据, 采样数据任务向它传递消息与拷贝数据的指针, 实现流程如图 2 所示.

(2) 通信任务定时向管理平台上传当前电参量数据, 但电能计量任务需长时间地使用电参量数据,

它们之间共享数据可以通过回调函数结合消息传递的机制来实现数据的共享, 实现流程如图 3 所示.

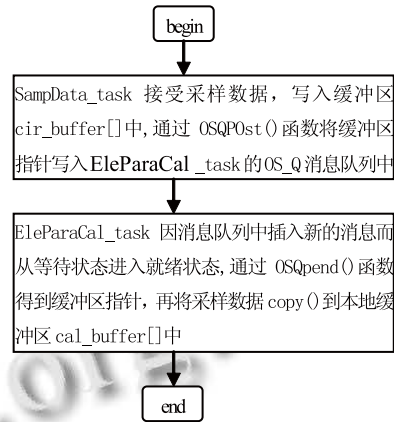


图 2 采样数据任务与计量任务数据共享

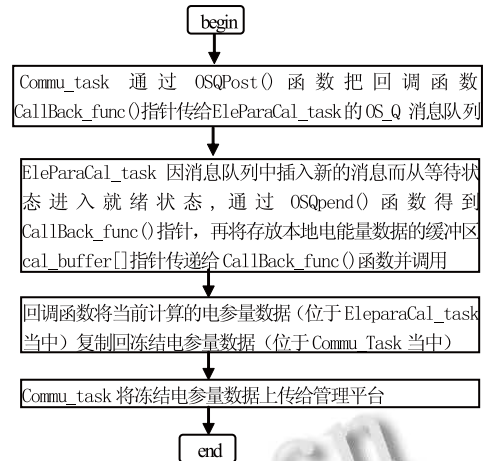


图 3 计量任务与通信任务数据共享

(3) 管理平台也会向通信任务传送系统设置参数 (如脉冲常数等) 和校表参数, 这些数据量不多, 并且每个任务使用时间不长, 抽象成数据模块是个不错的选择, 具体实现说明如下:

① 系统参数与校表参数等共享数据常被 EleParaCal_task、Commu_task 等任务访问, 为保证互斥操作就需要信号量予以保护;

② 为了保证本数据模块对外的透明和信号量的封装, 设置了 Read/Write 两个函数提供读取、写入访问的操作.

3 uC/OS-II操作系统在DSP-BF537中的移植

移植 uC/OS-II 首先需要初始化硬件资源, 然后转入 uC/OS-II 的 main() 函数初始化软件资源, uC/OS-II 内核代码中与硬件及编译器的代码不需要改动, 移植

工作主要是修改三个文件 `os_cpu.c`、`os_cpu.h`、`os_cpu_a.asm` (`ASM` 文件根据编译器不同而又有一些不同) 中的五个函数与宏定义^[6]:

(1) `os_cpu.c` 中的 `OSTaskStkInit()`, 它是需要修改的唯一一个 C 语言函数;

(2) `os_cpu_a.asm` 中的函数 `OSStartHighRdy()`, `OSCtxSw()`, `OSIntCtxSw()`, `OSTickISR()`,

(3) 以及 `os_cpu.h` 文件中的宏定义

`OS_ENTER_CRITICAL()`,

`OS_EXIT_CRITICAL()`, `OS_STK_GROWTH()`,

`OS_TASK_SW()`.

4 结论

综上所述可知, 基于 `uC/OS-II` 下的数字电能表任务大致分成了五个小任务: 用于初始化工作的 `InitSys_task` 任务; 用于采集数据的高优先级 `SampData_task` 任务; 用于电能计量的低优先级 `EleParaCal_task` 任务(DSP 的主要使用者); 用于负责与管理平台通信, 获取设置参数, 上传当前电参数的中优先级 `Commu_task` 任务; 用于喂狗, 如果是 `Debug` 版本, 还允许调试错误与打印警告语句等操作的高优先级 `FaulDebugTask` 任务. 各任务间的总体通信情况如图 4 所示.

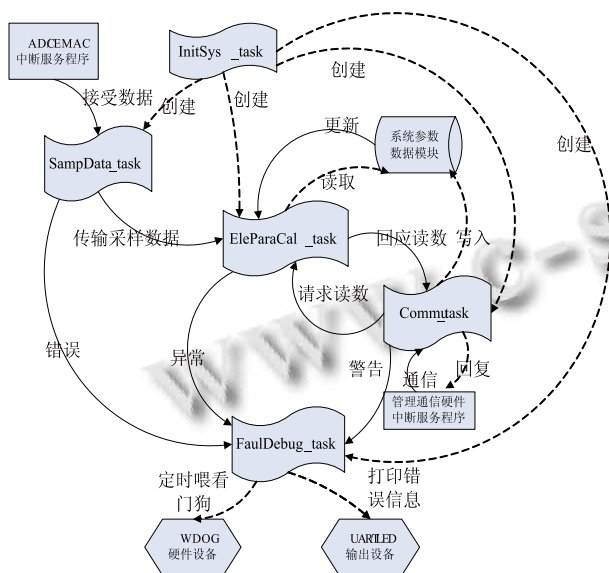


图 4 `uC/OS-II` 下的数字电能表任务设计示意图

参考文献

1 王成进,陶维青.基于 ATT7022 和 MSP430 的三相多费率电能表.仪器仪表用户,2005,12(4): 38-39.

2 MilkoVic M. A polyphase microelectronic watt-hour meter, *International Journal of Electronics*, Mar 1999, 48(3): 257-261.

3 Analog Devices. ADSP-BF537 Blackfin Processor Hardware Reference. Preliminary Revision 0.3. Analog Devices, Inc.,2005.

4 王智,罗新民.基于乒乓操作的异步 FIFO 设计及 VHDL 实现.电子工程师,2005,31(6):13-16.

5 Labrosse JJ. 邵贝贝,译.嵌入式实时操作系统 `uC/OS-II`.第 2 版.北京:北京航空航天大学出版社,2003.

6 黄涛,徐宏喆,陈宁,聂科峰.嵌入式实时操作系统移植技术的分析与应用.计算机应用,2003,23(9):88-90.

7 石东源,卢炎生,王星华,段献忠.SVG 及其在电力系统软件图形化中的应用初探.继电器,2004,32(16):37-40.

8 刘崇茹,孙宏斌,张伯明,董越,辛耀中.基于 CIM XML 电网模型的互操作研究.电力系统自动化,2003,27(14):45-48.

9 朱丽娟,王康元,张洁.基于 SVG 和 Java 的电力系统节点电压可视化.继电器,2006,34(5):60-61.

10 王志春,杨军,胡桂杰.基于 Surfer Automation 接口的气象等值线图的绘制.内蒙古气象,2006,31-33.

11 陈志波,陆雍森.Surfer 在环境评价和规划中的应用.同济大学学报(自然科学版),2005,33(2):191-195.

12 章坚民,徐爱春,李海翔等.基于 SVG/XML/CIM 的变电站自动化工程配置系统.电力系统自动化,2004,28(14):53-56.

13 Zhang JM, Xu AC, Li HX, et al. An Automatic Engineering Configuration System for Substation Automation Based on SVG/XML/CIM. *Automation of Electric Power Systems*, 2004, 28(14): 53-56.

14 章坚民,楼坚.基于 CIM/SVG 和面向对象的配电单线图自动生成.电力系统自动化,2008,32(22):61-65.

15 吴延霞.Surfer 软件嵌入 VB 编程在激光平地系统中的应用.德州学院学报,2006,12(6):101-102.

16 尼建军,张学宏.Surfer 7.0 嵌入 VB 6.0 编程实现水文数据快速可视化.海洋测绘,2005,25(1):64-65.

17 韩丽娜,石昊苏.利用 Surfer 8.0 绘制地质等值线图.计算机与现代化,2008,11:85-88.

18 张二勇,李云峰,王玮.Surfer 软件绘图接口的开发及应用.地下水,2005,27(3):212-214.