

基于 ARM 的智能多串口板监控软件的设计与实现

温 婷,程绪建,刘晓方

(第二炮兵工程学院,陕西 西安 710025)

摘 要: 针对某任务计算机系统中多个单板计算机与多串口板之间不能通过背板总线直接进行读、写访问的问题,文中提出了以多串口板为透明桥梁,通过网络数据包实现多个单板计算机与外部设备之间双向数据交互的监控软件解决方案. 监控软件充分利用了实时嵌入式操作系统 VxWorks 的微内核、多任务、组件可裁减特性和消息队列机制解决了同时监听 8 路外设、实时、大量数据交互等难点问题,实现了一个代码尺寸小、实时性高、处理能力强的监控单元. 实验表明:该软件达到了多任务计算机系统的设计初衷,有效完成了网络与多串口之间的透明互通.

关键词: 多串口板;驱动软件;通信控制软件;网络交互;多任务;实时

中图分类号: TP311; TP393.09

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)11-0177-04

Design and Realization of Monitoring Software on ARM - Based Intelligent Multi - Channel UART Board

WEN Ting, CHENG Xu-jian, LIU Xiao-fang

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: The terminal display control computer unit of some system had a problem that its single CPU unit cannot access the multi-channel UART board (MCUB) directly through the compact PCI bus. To settle it, the paper presents a monitoring software solution, which takes the MCUB as a transparent bridge, exchanges bidirectional data between the CPU unit and the external devices via network packets. By fully applying the characters of the real-time embedded operating system VxWorks, e. g. micro kernel, multi-task, scalable components and message queue, the software tackles such difficulty as listening eight external devices simultaneously, real time and mass data exchange, realizes a mini-sized, highly real-timed and well processed monitoring system. Experiment shows that the monitoring software satisfies the requirements of system development.

Key words: MCUB; driver; communication control software; network exchange; multi-task; real time

1 引言

在实际工程中经常会遇到多任务计算机系统,为了完成系统的整体设计要求,须有多个计算机并存,计算机之间的互联通过局域网实现,大量的交互数据通过网络进行传递.而对于每个计算机单元的其它外设接口又需针对性地配置,这样不仅会增加系统的复杂性,还增加了成本,特别是对于一些机载、车载系统来说,因设备尺寸严格受限而不能满足系统的体积要求^[1].

文中针对该类系统多任务、小体积的需求,设计

了一种简单易行的参考方案,该方案由 3 个独立的计算机单元、1 块可公用的智能 8 串口板和 1 块网络交换设备组成;3 个计算机、智能串口板均通过网络交换板互联,计算机通过多串口板实现对外连通,方案的核心是智能串口板的设计与实现.

文中确定的设计方案是:采用 PICMG2.16 规范,构建一个由数个单板计算机和串口板组成的嵌入式系统局域网(ESAN),如图 1 所示.可以看出,整个计算机以网络交换板为中心,以单板计算机 1、单板计算机 2、单板计算机 3、多串口板为节点组成了一个星型网络^[2].

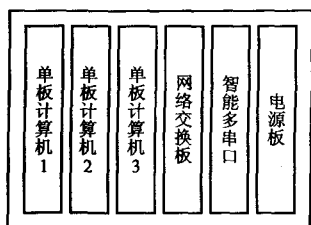


图1 多任务计算机系统结构

这样一个采用 PICMG2.16 规范构建的系统具有集成度高、造价低、网络带宽高、点到点连接、系统处理能力强以及扩展性好等优点,但对软件开发提出了挑战,因为计算机板不能通过总线直接访问多串口板,这就无法实现单板计算机与外设之间的直接数据交互,从而需要在多串口板上开发监控软件,该软件须满足以下要求:

- (1) 驱动多串口板的串口接口部分工作,实现串口数据接收、发送和控制等功能;
- (2) 利用多串口板上的网络接口,以网络数据包方式在单板计算机和外设之间相互转发数据;
- (3) 对多路串口数据进行同时处理和转发;
- (4) 数据转发具有高实时性;
- (5) 代码尺寸小,以满足嵌入式硬件的资源限制。

针对以上要求,文中选择实时嵌入式操作系统 VxWorks^[3-4]为运行平台,深入研究了 VxWorks 的驱动软件框架,微内核、多任务特性以及消息队列和定时机制。监控软件的串口驱动部分遵循 VxWorks 驱动软件框架开发,数据处理和交换部分则充分利用 VxWorks 的上述特性和机制^[5-6],为系统的多任务、实时性提供了有效保证。该监控软件的设计思路可为其它同类软件提供一定的借鉴作用。

2 智能多串口板系统总体设计

2.1 硬件设计

多串口板提供 7 路 RS-422 和 1 路 RS-485 异步通信接口,板上以 ARM 9 微处理器、10M/100M 以太网接口和 UART 异步通信控制器为主体,提供符合 PICMG2.16 规范的“智能”通信接口,原理结构如图 2 所示。ARM 9 是多串口板的控制中心,通过控制串口控制器控制 8 路 RS-422/485 接口与外设的数据发送和接收,同时通过以太网接口和单板计算机进行通信^[7-8]。

2.2 软件设计

多串口板监控软件运行在 ARM9 处理器上,主要有两个功能:一是驱动串口控制器正常工作,二是

控制单板计算机和外设之间的双向通信。通信控制功能建立在驱动功能之上,它通过网络接收单板计算机对外设的控制指令信息或配置信息,并对其进行解析,若是指令信息,则通过驱动模块的发送接口发送给对应的外设,若是配置信息,则通过驱动模块的配置接口对通信参数进行配置;同时,它通过驱动模块的接收接口接收外设的工作状态和故障信息,通过网络接口转发给单板计算机。监控软件顶层数据流程图如图 3 所示,其中从外设来的数据^[9]包括 8 个通道的外设数据。

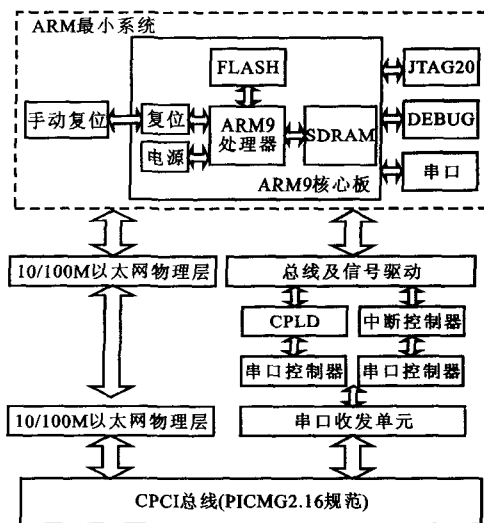


图2 智能多串口板原理结构框图

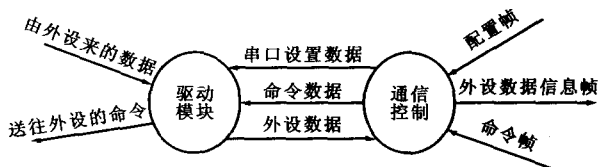


图3 多串口板监控软件顶层数据流程图

两层、两大功能模块的总体设计思路符合模块化设计原则,在不损失性能的情况下,获得了良好的软件结构,使得系统具有良好的灵活性和易扩展性。

3 软件实现的关键问题研究

从顶层数据流程图可以看出,监控软件需要处理的数据量比较大,处理过程不是简单的转发,还需按照协议对数据帧进行组织或解析。为了获得良好的处理性能,满足总体的实时性要求,同时提高系统的可靠性,需要解决以下关键问题。

3.1 驱动软件设计

驱动软件设计主要考虑两方面内容,一是驱动软件框架,二是接口的可重用性。

由于本监控软件是专门针对基于 ARM 的智能

多串口板设计的,具有专用性,不存在后续移植可能,为了提高驱动接口调用效率,驱动软件采用由上层应用程序直接调用的开发模式,避免了按 Vx-Works 标准驱动框架开发造成的系统管理开销,提高了驱动软件运行效率^[10]。

在多任务系统中接口的可重入性是必须考虑的一个设计方面。可重入性是指函数可以被多个任务调度而不会破坏数据。不管被多少个任务调用,可重入函数总是为每个任务得到预期结果。在多串口板监控软件中,串口驱动接口会被并发的数据接收、发送任务同时调用,因此将其设计为可重入的,以此提高任务的并发度,提高系统的数据处理效率。

3.2 多任务划分和调度

单处理器系统上,实时多任务设计要解决的关键问题是多任务划分和多任务调度,因为它们是决定系统实时性的主要因素。多任务划分是将系统功能设计为不同的任务来实现,任务粒度应适当,任务间的耦合关系应尽可能低。多任务划分目的的实现需要多任务调度,多任务调度的设计要点是关键任务得到实时响应,同时整体上所有任务的设计内容都能在允许的时间内完成。调度内容包括系统调度策略的选择,任务优先级的确定以及任务间竞争和合作的设计。根据监控软件以数据处理为中心的总特征(系统)特征,主要根据数据流来划分任务,软件由 6 个主要任务模块组成:网络数据接收任务 t1、网络数据解析及处理任务 t2、串口数据发送任务 t3、串口数据接收任务 t4、串口数据组织任务 t5 和网络数据发送任务 t6。其中, t3 模块由 8 个独立的串口发送任务组成,以提高串口发送效率; t4 模块由 8 个独立的串口接收任务组成,以对各通道的外设数据进行同时监听。细化的任务级数据流程图如图 4 所示。

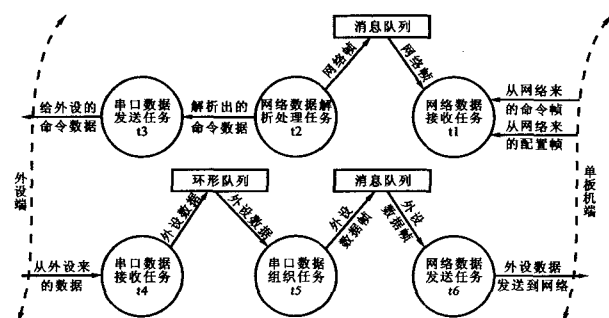


图4 监控软件细化数据流程图

由图4可知,任务模块 t1、t2、t3 相互合作,完成从单板计算机到外设方向的数据接收、处理和转发过程;任务模块 t4、t5、t6 协作完成从外设到单板计

算机方向的数据接收、处理和转发过程。任务分工明确,任务间通过参数传递或共享缓冲区方式合作,是低耦合的。两个数据流向中,将数据接收和处理划分为独立任务的考虑是:网络和外设数据量较大,而数据的解析、处理和组织是比较耗时的操作,为避免耗时操作延误数据接收可能导致的丢数问题,数据接收由一个执行时间短且优先级高的任务来完成;数据收回后,放在消息队列中再由处理任务逐一处理。这种处理思路提高了系统的吞吐率。

任务优先级的主要确定依据是任务职责的轻重缓急,各任务模块的优先级从高到低依次是 t4→t1→t2, t5→t3, t6; t4 优先级高于 t1 的考虑是串口控制器硬件缓冲区较之网络接口较小,数据需要得到更及时的处理,以免发生溢出错误。以上优先级关系可以很好地指导 VxWorks 基于优先级的调度策略对任务的执行机会和时间作出合理安排。

3.3 任务间通信和同步

任务间的通信和同步属于多任务调度的一部分,因此也是影响系统实时性的一个因素,需要仔细设计。多串口板监控软件选择的任务通信工具主要是消息队列,只有串口数据接收任务与组织任务之间采用的是环形队列,因为环形队列在截取数据片段时优于消息队列。

VxWorks 消息队列是任务间的一种高级通信方式,可以在各任务间传递较大量的数据信息,如图 5 所示。

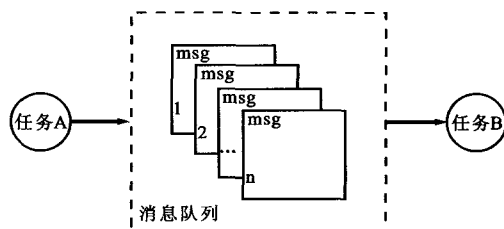


图5 消息队列通信

采用消息队列带来以下优点:

(1) 完全适合监控软件的任务合作关系,任务和消息队列之间是单向的,发送消息到消息队列或者从队列中取走消息,与接收任务和数据处理任务对数据的共享情况相一致;

(2) 使得应用程序简单,消息队列为应用程序封装了生产者-消费者在信号量保护下利用共享缓冲区通信的细节,简化了任务间的通信过程,简单的系统往往有更高的可靠性;

(3) 协调了任务的运行关系,消息队列提供了阻塞机制,当队列有数据时,读取消息的任务可逐条

获取消息并处理,直到队列空,队列空时,读取任务阻塞,让出 CPU 给其它任务,对于多任务系统来说这是必要的。

3.4 实时性设计

为了提高系统的实时性,在设计细节上也有深入研究。

(1) 将操作耗时的共享资源变为非共享资源

外设发送来的数据通过基于 TCP 协议的套接字(socket)发送给单板计算机,根据设计的通信协议要求,单板计算机与多串口板之间仅建立一个 socket 连接,因此,该 socket 由 8 个串口通道共享,各通道在发送前都需要用互斥信号量对共享的 socket 进行保护,而 socket 操作是比较费时的,要经过应用层到协议层再到底层驱动的多次数据复制。对共享 socket 的耗时操作导致其他通道不能及时发送数据,影响系统的实时性。采取的措施是用高效的消息队列做共享资源,各通道访问共享消息队列,将各自待发送的数据放入消息队列,由网络数据发送任务从消息队列中取数通过 socket 送出。这样一个将操作耗时的 socket 由需要互斥的直接共享资源变为不需要互斥的间接共享资源的做法有助于改善系统的性能。

(2) 巧妙设计数据结构,提高协议解析效率

依据多串口板与单板计算机的通信协议格式,定义了结构体和字节缓冲区的相联合的数据结构,如下所示:

```
/* 网络数据帧帧头结构定义 */
typedef struct * * * Header
{
    char * * * ;
    short * * * ;
    char * * * ;
    char * * * ;
    char * * * ;
} * * * Header;
/* 网络数据帧结构定义 */
typedef union
{
    * * * Header header; /* 帧头 */
    char * * * buffer[ buffersize ]; /* 字节缓冲区 */
} * * * frame;
```

与逐字节解析的方式相比,采用联合体大大简化了协议数据的解析过程,提高了解析效率;同时,联合体方式能很好地适应协议的变化,可方便地添加或减少字段来容纳协议的变化,而字节解析方式

是很难做到的^[11]。

3.5 网络状态的检测和现场恢复

为了提高系统的可靠性,降低故障恢复时间,在单板计算机复位或断电情况下,无需复位多串口板或重启整个系统而重新建立单板计算机和多串口板之间的 socket 连接,在多串口板监控软件中使用了网络死链接检测和现场恢复机制,即检测到死连接时发生时,恢复多串口板的工作状态为初始状态,并重新请求与单板计算机建立连接。监控软件采用 ping 机制来测试单板计算机是否可达,每隔一段时间测试一次;连续 ping 若干次,若干次中单板计算机只要响应一次,则立即返回;如果若干次均无响应,则认为单板计算机异常,监控软件恢复初始工作状态,并重新请求连接,直到连接成功后,监控软件重新启动多任务运行。该机制的引入提高了软件逻辑的完备性,提高了系统的可靠性。

4 结束语

基于 ARM 的智能多串口板监控软件以 Vx-Works 操作系统为运行平台,在设计和实现中很好地利用了 VxWorks 微内核、高实时、多任务、组件可裁减的特性和消息队列通信机制,关注实时性设计细节,解决了同时监听 8 路外设、实时、大量交换数据等关键问题。设定单板计算机和外设进行大数据量交互的测试环境,单板计算机以 N ms 为周期向多串口板各通道发送一定字节长度的数据包,与此同时,由外部工装的多端口通信板以 N ms 为周期同时向多串口板 8 个通道发送一定字节长度的数据包,在此条件下测试多监控板监控软件的运行效果。经实验验证,监控软件运行稳定、良好,能够正确接收、处理和转发两端数据。

基于设计的智能串口板,完成了本文提出的包含 3 个独立的计算机单元、1 块智能串口板和 1 块网络交换设备组成的多任务小尺寸系统的研制,实验结果表明,该系统的构建,特别是智能串口卡的设计思路可借鉴到同类系统中。

参考文献:

- [1] Atmel. AT91RM9200 user manual[R]. Atmel 公司, 2003.
- [2] 周立功. ARM 嵌入式系统基础教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.
- [3] 李方敏. VxWorks 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

(下转第 184 页)

```

theta_o <= z(17) - 1;
else
    :
else
    x(1) <= x(0) + y(0);
    y(1) <= y(0) - x(0);
    z(1) <= z(0) + 25736;
end if
end if
end process

```

上述的 VHDL 代码,在 Quarts II 6.0 环境下,选取 Altera 公司的 FPGA stratix EP1S10F484C5 器件后进行编译,该代码占用了该器件的资源如图 4 所示.可见该代码的硬件资源消耗较少.

Logic Element Usage	■ 1,180 / 10,570 (11 %)
Memory Block Usage	■ 0 / 920,448 (0 %)
DSP Block Usage	■ 0 / 48 (0 %)
I/O Usage	■ 83 / 336 (25 %)

图 4 消耗的硬件资源

最大半径为 9947 的圆上点的反正切的仿真结果与理论结果一致.半径小于 9947 的某些圆上点的反正切计算结果也是修正 CORDIC 算法计算反正切后的结果.说明文中所述的反正切函数的计算方法是正确的,可以进行 FPGA 实现.

5 结束语

文中提出了 CORDIC 算法的改进方法,给出了

FPGA 的实现结构,其结构简单,硬件实现方便,基于 Quarts II 6.0 环境,在 Altera 公司的 FPGA stratix EP1S10F484C5 进行仿真验证,其误差较小,占用资源较少,运算速度快.文中提出的改进 CORDIC 算法实现反正切函数的计算已用于实际数字通信系统中,该算法也适合于其他高速运算的场合,具有较好的实用价值.

参考文献:

- [1] Volder J E. The CORDIC trigonometric computing technique[J]. IRE Transactions on Electronics Computers, 1959,8(3):330-334.
- [2] Walther J S. A unified algorithm for elementary functions[J]. Spring Joint Computer Conference Proceedings, 1971 (38):379-385.
- [3] 张欣. 扩频通信数字基带信号处理算法及其 VLSI 实现[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [4] 李滔,韩月秋. 基于流水线 CORDIC 算法的三角函数发生器[J]. 电子技术应用,1999,25(6):52-53.
- [5] 刘福奇,刘波. Verilog HDL 应用程序设计实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

作者简介:

张建斌 男,(1966-),副教授.研究方向为无线通信、扩频通信、EDA 技术等.

梁芳 女,(1980-),实验师.研究方向为 DSP 与 FPGA 应用系统设计.

刘乃安 男,(1966-),教授,硕士生导师.研究方向为无线通信与射频技术、无线 IP 网络与技术、扩频通信.

(上接第 180 页)

- [4] 陈智育. VxWorks 程序开发实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2004.
- [5] 孔祥营. VxWorks 驱动及分布式编程[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [6] 周启平. 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.
- [7] Wind River. Tornado training workshop[R]. Wind River 培训资料. 1999.
- [8] Wind River. VxWorks: guide to writing and porting device

drivers[R]. Wind River. 1999.

- [9] 严蔚民. 数据结构[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [10] Stephen Prata. C primer plus[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [11] 张海藩. 软件工程导论[M]. 北京:清华大学出版社,1998.

作者简介:

温婷 女,(1985-).研究方向为军事装备学.