

基于以太网的嵌入式数据采集系统的研究与应用^①

张早生 黄廷磊 (桂林电子科技大学 计算机与控制学院 广西 桂林 541004)

摘要: 介绍了一种基于以太网技术的数据采集与传输系统。采用单片集成方案,实现了以太网和多种通讯接口之间的数据交换,并实施多种措施以提高系统的稳定性,由计算机上的配置软件通过建立 TCP 连接来配置采集终端的参数。该系统具有成本低,可靠性高和使用方便等优点。

关键词: 以太网;嵌入式系统;RTOS;数据采集;可配置

Research and Implementation on the Embedded Data Acquisition System Based on the Ethernet

ZHANG Zao-Sheng, HUANG Ting-Lei

(School of Computer and Control, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In this paper, a data acquisition and transmission system based on the Ethernet technology has been proposed. It adopts the single-chip solution, exchanges information between the Ethernet and other channels, and implements a variety of measures to improve system stability. Its parameters are configured by a configuration software running on the computer through TCP connection. The system has the advantages of low cost, high reliability, easy to use and so on.

Keywords: ethernet; embedded system; RTOS; data acquisition; configurable

随着计算机通信系统的不断发展,其在工业控制领域的应用也越来越广泛,尤其是应用于远程监控、远程诊断以及远程数据采集^[1]。通常,工业现场的设备 and 终端非常多,而且这些设备和终端都是由不同的厂家生产,其通讯方式不尽相同,那么如何有效的监控这些设备和终端呢?本文介绍了一种基于以太网的嵌入式解决方案。利用以太网的传输速度快、传输距离远和应用广泛等优点^[2],设计一个低成本,高可靠性,可配置的,具有多协议转换和一定控制功能的多通道数据采集系统,使之能适应相关领域的应用需求。

1 系统方案设计

从需求方面来分析,监控中心通过本系统实现对多种设备和终端的监控。首先,本系统需要实现的是如何采集设备和终端的信息,为此,系统必须具备多种常用的接口。一般来说,工业现场设备和终端比较通用的通讯接口是串口(RS-232 标准或者 RS-485 标准),一些模块和终端也采用其它的一些通讯接口,如

IIC, SPI 和 1-Wire 等,那么本系统必须支持这些接口。其次,需要实现的是如何将采集到的信息传输到监控中心,这个传输方式必须是目前应用很广泛而且实现成本不太高,这样有利用我们最终产品的推广。可供选择的方案有:以太网,RS-485,USB,CAN 总线等现场总线。由于以太网具有传输速度快,传输距离远和应用越来越广泛等诸多优点,所以本系统选择通过以太网向监控中心传输信息。再次,系统必须具有可配置功能以满足不同用户和应用的需求。

数据采集系统主要由 3 个部分组成:嵌入式采集部分、数据传输部分、远端主机^[3]。采集终端和远端主机之间基于客户端/服务器模式进行传输数据^[4]。从实现的角度来分析,本系统可分为两个部分:其一:嵌入式数据采集终端,作为本系统的主体,实现数据采集和以太网通信等功能;其二,运行在计算机上的监控软件和配置软件,其中配置软件作为提供给用户的一个远程工具,通过建立 TCP 连接,实现对采集终端的参数配置。

^① 收稿时间:2009-10-26;收到修改稿时间:2009-11-29

对于一个嵌入式系统来说,稳定性和抗干扰性是至关重要的。随着半导体技术的不断进步,集成电路的集成度越来越高,单片集成方案也日趋流行。单片集成方案的优点主要有:第一,易于设计,由于系统的绝大多数功能都集成于一个芯片,只需要少量的辅助电路,所以系统元器件数量比较少,这能大大降低设计难度;第二,产品成本的降低,系统的元器件少了,购买元器件这部分成本自然就降低了,另外元器件的减少意味着电路板的面积甚至是层数的减少,这对降低产品成本也是很有利的;第三,系统抗干扰性能的提高,由于系统的绝大多易受干扰的高速信号传输和处理是在芯片内部完成,芯片外部传输的只是一些低速的接口信号和极少量的高速信号,也就是说大部分抗干扰设计转移到了芯片设计阶段,所以芯片的集成度越高,系统的抗干扰能力越有优势。因此,单片集成方案是本系统的首选方案。

2 硬件设计

本设计采用飞思卡尔的 ColdFire 系列高集成度微控制器 MCF52233。该芯片是专门为工业控制设计的,内部集成了 32K 字节的 SRAM, 256K 字节的 Flash, 带有收发器的以太网控制器, 三个通用异步接收发送装置(UART), Inter-integrated circuit(IIC)总线控制器, Serial Peripheral Interface(SPI)控制器, 模数转换(ADC)模块等[5]。

系统硬件结构如图 1 所示。以 MCF52233 微控制器为核心, 加上必要的电源和复位等辅助电路, 外围是各种通讯接口。

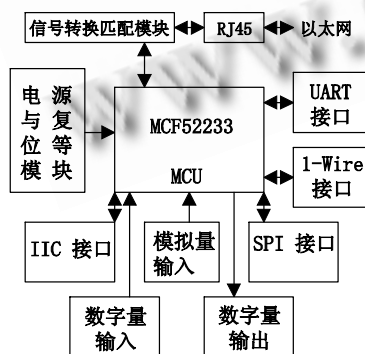


图 1 系统结构模块图

本系统能实现以太网、串口、SPI、IIC 和 1-Wire 接口的数据传输, 具有模拟电压信号采集、数字量输

入和输出控制等功能, 由于采用了单片集成方案, 所以系统简洁而且可靠性高。

3 软件设计

软件设计分为两个部分: 其一, 运行在微控制器上的部分, 属于嵌入式软件设计; 其二, 运行在计算机上的部分, 属于面向对象的程序开发。

3.1 嵌入式软件设计

在嵌入式软件开发方面, 飞思卡尔提供了比较完善的支持。开发环境选用 CodeWarrior for ColdFire V7.1, 它支持 ColdFire 系列的微处理器。TCP/IP 协议栈及操作系统选用 ColdFire TCP/IP Lite and RTOS[6]。软件系统结构如图 2 所示。

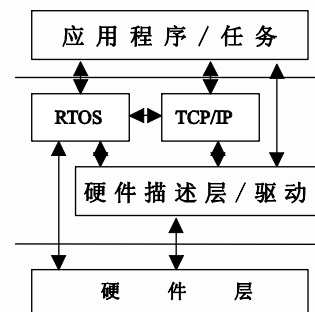


图 2 ColdFire TCP/IP Lite and RTOS

其中, RTOS 和 TCP/IP 协议栈位于驱动层之上, 应用程序层之下。系统程序开发过程中, 主要工作中在驱动层和应用程序层。在驱动层, 主要完成硬件部分相关模块的初始化, 参数设置, 数据读写和中断处理等操作, 并提供一些接口函数供上层调用。在应用程序层, 主要体现在根据需求创建的多个任务。

RTOS 是基于轮询调度策略, 每个任务只两个状态: 睡眠态和运行态。其中睡眠态表示任务正在等待某个事件的发生或者等待一段时间的耗尽, 在这个状态, 任务是会被调度器调度的。运行态表示任务正在运行, 任务执行完相关操作后必须及时退出运行态, 以免阻塞其它任务的调度从而影响系统的实时性[6]。

根据功能需求, 本系统创建了多个任务。最先被创建的是任务一: `tk_netmain()`, 该任务首先调用初始化函数 `netmain_init()` 以完成网络部分的硬件和软件的初始化, 之后进入任务主体: 循环等待网络数据包的到来并进行相关处理。之后被创建的是任务二: `tk_nettick()`, 该任务处理 TCP/IP 相关的定时。任务

三是 `tk_config_parameter()`, 建立一个 TCP 服务器, 等待计算机上配置软件连接, 建立连接后, 就可以对开发平台的参数进行修改, 并将修改后的参数保存到内置的 Flash 中。任务四是 `tk_tcp_send()`, 把其它模块采集到的信息通过已经建立的 TCP 连接发送到远程监控中心。任务五是 `tk_tcp_receive()`, 把远程监控中心发送过来的数据转发到其它各个模块。

将数据接收和发送分开在两个任务中实现的目的是使接收与发送互不阻塞, 从而减少传输延时并增加数据吞吐量。在任务四中, 轮询等待各个通讯模块, 若在指定的时间内某个模块采集到的数据量达到限定值或者超过限定时间, 就将采集到的数据作为一个数据包发送到远程监控中心。在任务五中, 接收到远程监控中心发送过来的数据后, 立即拷贝到各个模块的发送缓冲区并发送。图 3 显示了数据流和程序模块之间的关系。

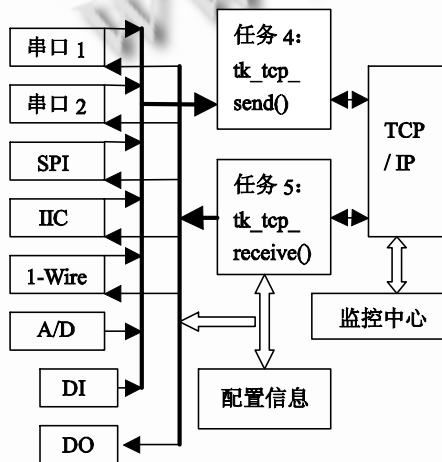


图 3 数据流图

其中, 左边八个模块的使能、初始化和参数设置是由配置信息确定的。两个任务通过 TCP/IP 协议与远程监控中心建立连接也是由配置信息确定的。对于不同的应用和需求, 只需修改系统的配置信息即可, 从而极大的方便用户使用。

TCP 协议是面向连接的, 正式传输数据前必须要与对方建立连接, 并具有数据校验和数据包重传机制, 可以保证数据可靠的传输。在 ColdFire TCP/IP Lite 协议栈中, 应用程序首先通过调用 `m_socket()` 函数来分配一个 socket 数据结构; 若是 TCP 客户端, 则通过调用 `m_connect()` 函数来建立与服务器的连接; 若是 TCP 服务器端, 则通过调用 `m_bind()`、

`m_listen()`、`m_accept()` 三个函数与客户端建立连接; 之后双方就可以通过调用 `m_recv()` 函数接收数据和调用 `m_send()` 函数发送数据; 若要断开连接, 调用 `m_close()` 函数即可。

在正常情况下, 这种传输方式是没有问题的; 但是当异常情况发生后, 如网络发生故障或者通信中的一方断电重启等, 这种传输方式就会出现故障。那么在应用程序中, 必须能够及时的检测到这些异常情况的发生, 并且作出相应的处理以使传输尽快地恢复正常。

对己方的网络出现故障, 如网线被拔出, 系统检测到后立即关闭 TCP 连接, 并清空发送缓冲区, 待网络正常后再重新建立连接。对于传输线路或者对方出现异常, 则无法直接检测。一种比较通用的方法是额外的建立一个 TCP 连接并周期性的发送测试数据包, 若在设定的时间内没有收到对方发送的测试数据包, 则表示连接异常。这种方式需要占用额外的系统资源, 而且需要对方的软件配合。为了节约系统资源和易于实现, 我们采用其它方式。

在 ColdFire TCP/IP Lite 协议栈中, 调用 `m_send()` 函数成功, 并不表示数据成功的发送到对方, 只是表示数据被成功的被转移到发送缓冲队列中。只有数据被成功发送后, 才就会被从发送缓冲队列中清除。若网络或者对方发生故障, 数据就会一直存在于发送缓冲队列中。一旦发送缓冲队列耗尽, `m_send()` 函数调用就会失败, 返回没有可用缓冲区的错误提示。那么在应用程序中, 当 `m_send()` 函数调用失败并返回没有可用缓冲区的错误提示达到一定的次数后, 就可以认为连接出现异常。

3.2 参数配置软件的开发

为了使用户能在计算机上对采集终端进行在线参数设置, 专门用 Visual C++ 开发了一个配置软件。配置软件主要实现的功能有: 1) 搜索连接到局域网或者指定 IP 段上的采集终端; 2) 建立 TCP 连接, 读取采集终端上的配置参数, 3) 修改配置参数, 复位采集终端。

对于如何搜索连接到局域网或者指定 IP 段上的采集终端, 有两种方式: 一种是通过网络物理地址, 即将采集终端的网络物理地址设置在某个范围内, 然后由配置软件查询交换机的物理地址表, 找出网络物理地址匹配的设备; 另一种是通过 UDP 广播, 相对比较

容易实现,但是需要采集终端的配合,先由配置软件以指定的端口向网络上发送预定格式和指定端口的UDP广播,采集终端监听指定的端口,收到UDP广播后,经检验若符合预定格式,则响应一个UDP数据包,配置软件收到响应数据包后,就知道网络上已经连接的采集终端及其IP地址。

配置软件搜索到采集终端后,创建一个TCP客户端,根据IP地址与采集终端进行TCP连接。之后双方就以约定的数据结构进行通讯,该数据结构定义了所有的配置参数及操作。配置参数修改后会自动被保存到内置的Flash中,但是不会改变系统的当前参数;只有当系统复位后,修改的参数才生效。

4 测试与结果

研究中设计和使用的硬件电路如图4所示。从图中可以看出,硬件电路的设计是简洁紧凑的。经过连续多天的测试,在多种网络异常发生的情况下,该系统都可以稳定可靠的工作。

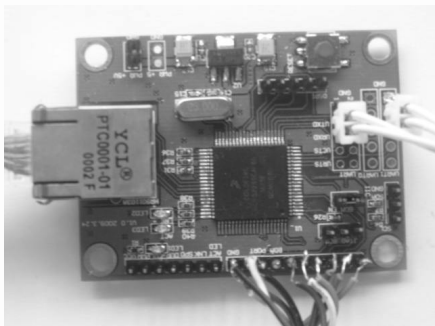


图4 硬件电路图

经测试,系统的网络发送速率最高可达2.9MB/S,接收速率最高可达1.8MB/S,同时接收和发送的速率均可达1.1MB/S,这些能够满足系统的需求。两个串口的波特率可以设置在1.2Kbps到115.2Kbps之间,并且支持流控制。SPI接口的波特率可以设置在117.6Kbps到15Mbps之间。IIC接口支持的波特率最高可达100Kbps。1-wire接口的

波特率支持16Kbps和142Kbps。模拟信号的采集可分别设置采样通道、采样频率和滤波算法,单通道采样频率最高可达300kHz。

5 结语

本文介绍的以太网数据采集与传输系统,采用飞思卡尔的ColdFire系列高集成度微控制器MCF52233,使系统小型化,降低了成本,从根本上保障了系统的抗干扰能力;采用ColdFire TCP/IP Lite and RTOS,加速了开发过程;实施多种措施解决ColdFire TCP/IP Lite协议栈的不足之处,极大的提高了系统的稳定性;开发配置软件使系统具有可配置性,从而方便用户使用并扩大了系统的应用范围。

参考文献

- 1 徐晓光,李永胜,孙驹洲.基于以太网的远程数据采集系统.自动化与仪器仪表,2008,(2):65-68.
- 2 Chuan Wu, Bin Wang. Design and Implementation of Embedded Ethernet Accessing in Data Collection and Proc. System Based on ADSP-BF533. Embedded Software and Systems Symposia, 2008. ICCESS Symposia '08. International Conference on 29-31 July, 2008 Page 71-274.
- 3 崔钊,高蒙.基于ARM和 μ C/OS II的以太网实时数据采集通信系统设计.计算机测量与控制,2008,16(2):273-275.
- 4 Nguyen V I, Benjapolakul W, Visavateeranon K. A high-speed, low-cost and secure implementation based on embedded ethernet and internet for SCADA systems. SICE, 2007. Annual Conference 17-20 Sept. 2007.1692-1699.
- 5 MCF52235 ColdFire[®] Integrated Microcontroller Reference Manual, [2009-6-15] <http://www.freescale.com>.
- 6 ColdFire TCP/UDP/IP Stack and RTOS[2009-6-15].