

基于单片机的嵌入式 TCP/IP 协议栈的设计与实现

赵国锋, 邱作雨, 张 毅

(重庆邮电大学 移动通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘 要:随着网络技术和单片机技术的发展,嵌入式网络在远程控制领域拥有广泛的应用前景。文中以 Atmega16 单片机和 CP2200 网络芯片为硬件平台,设计和实现了一个面向远程工业控制领域的精简 TCP/IP 协议栈,包括 ARP, IP, UDP 及 TCP 等协议模块。文中给出了系统的硬件设计,详细论述了精简 TCP/IP 协议栈的实现方法,并给出了一个远程控制的应用实例。该系统具有低成本、易使用的特点。

关键词:单片机;以太网;CP2200;TCP/IP

中图分类号:TP273+.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)03-0137-04

Design and Realization of TCP/IP Protocol for Embedded System Based on Single-Chip

ZHAO Guo-feng, QIU Zuo-yu, ZHANG Yi

(Key Lab. of Mobile Communication Technology, Chongqing University
of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: With the development of network and single-chip technology, embedded network holds a wide range of application prospect in the field of remote control. Taking Atmega16 microcontroller and CP2200 network chip as hardware platform, a simplified TCP/IP protocol orienting to remote industrial control field has been designed and realized, including ARP, IP, UDP, TCP protocol module etc. A simple application example for remote control was given too, when hardware design was given and the realization method of TCP/IP protocol was discussed detailedly. The system has low-cost, easy-to-use features.

Key words: single-chip; Ethernet; CP2200; TCP/IP

0 引 言

Internet 一旦与家庭生活用品相结合,必然给家庭生活的网络接入带来飞速的发展。当前,能接入 Internet 的家庭生活用品及设备大多是基于 MCU 的嵌入式设备,所以嵌入式系统的 Internet 接入研究具有广阔的应用前景。嵌入式系统的 Internet 接入方式众多,目前比较普遍的方式是处理机加 TCP/IP 协议,这种接入方式对 TCP/IP 协议的处理有两种方法。其一,在嵌入式实时操作系统(RTOS)上运行 TCP/IP 协议。由于这种方法对硬件配置要求较高,所以它不仅开发难度大,而且开发成本高。其二,采用固化 TCP/IP 协议的专用芯片。虽然应用 TCP/IP 协议专用芯片能降低开发难度,但会增加系统硬件电路设计的复杂性。另外,这种方法的开发成本也较高。

笔者以家庭网络接入的远程开关控制为研究背景,采用处理机+TCP/IP 协议+以太网控制芯片的嵌入式以太网接入方式,设计并实现了基于 8 位单片机的精简 TCP/IP 协议栈,并固化在单片机内,无需操作系统也可运行。网络控制芯片采用 Silicon lab 公司最新开发以太网芯片 CP2200,与传统的 RTL8019 和 CS8900A 等常用芯片相比,具有硬件电路简单,成本较低的特点。

1 硬件设计

1.1 芯片选择与介绍

硬件部分主要由处理机、以太网控制芯片和 RJ45 三部分构成。

处理机采用 AVR 公司的 Atmega16 单片机。用 Atmega16 作控制器件,工作稳定,抗干扰能力强。Atmega16 主要特点如下:

1) 具有 16k 字节的系统内可编程 Flash(具有同时读写的能力,即 RWW), 1k 字节 SRAM, 512 字节的

收稿日期:2008-07-02

基金项目:教育部科学技术研究重点项目(208117)

作者简介:赵国锋(1972-),男,陕西泾阳人,博士,教授,主要从事宽带 IP 网络、流量控制、网络管理研究。

EEPROM;

2) 32 个通用 I/O 口, 32 个通用寄存器;

3) 用于边界扫描的 JTAG 接口, 支持片内调试和编程;

4) 独立片内振荡器的可编程看门狗定时器。

网络控制芯片采用 Silicon lab 公司的新近推出的 CP2200 以太网控制芯片。用 CP2200 做以太网控制器件, 电路简单, 效能高, 能使系统更好地连入以太网中^[1]。其主要特点如下^[2]: a. 它集成了 IEEE802.3 以太网媒体访问控制器 (MAC)、10Base-T 物理层 (PHY) 和 8kB 非易失性 Flash 存储器; b. 拥有 8 位并行总线, 8 位并线总线接口支持 Intel 和 Motorola 总线方式, 可以使用复用或非复用方式寻址; c. 片内 Flash 存储器的最后 6 个存储单元固定了一个唯一的 48 位 MAC 地址。

1.2 硬件连接

系统的硬件连接图如图 1 所示, 在此仅给出了主要的连接。

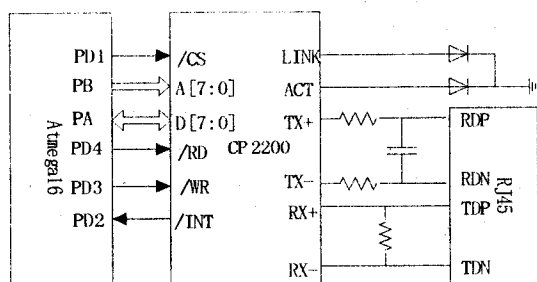


图 1 硬件连接图

CP2200 有两种总线模式, 两种总线模式下均有地址/数据复用和非复用两种工作方式。设计时, 将 CP2200 的 MUXEN 和 MOTEN 引脚接地。此时, CP2200 工作于 Intel 总线下地址/数据非复用方式。虽然该连接方式占用较多的单片机的 I/O 口, 但数据传输速率超过 30Mbps。设计时将 MUXEN 引脚设计成跳线连接方式, 当单片机 I/O 短缺时, 更改该引脚的跳线连接, CP2200 可工作于地址/数据复用方式, 释放部分 I/O 口供系统使用。

Atmega16 的 PD1 口与 CP2200 的片选信号引脚相连, 实现片选功能; PD2 口与 CP2200 中断信号引脚相连, 用于读取硬件中断信号。Atmega16 的 PA0-PA7 口分别与 CP2200 的 D0-D7 口相连, 作为数据线; Atmega16 的 PB0-PB7 口分别与 CP2200 的 A0-A7 相连, 作为地址线。Atmega16 的 PD4、PD3 口分别与 CP2200 的 /RD、/WR 引脚相连, 实现读/写选通控制。CP2200 通过与 RJ45 相连实现以太网接入。

1.3 底层驱动与通信

为了确保 CP2200 的正常工作, 必须完成相应的

初始化工作。CP2200 的初始化工作主要包括物理层初始化、MAC 层初始化、接收接口初始化和发送器接口的初始化。CP2200 初始化工作是通过 Atmega16 操作 CP2200 的寄存器来完成的。为了实现 CP2200 寄存器读/写功能, 该设计方式需要模拟 Intel 总线非复用方式的读写时序。设计中, 使用单片机指令周期作为基准时间, 单片机的晶振为 8M, 所以每个指令周期为 125ns。实现总线模拟时, 根据 Intel 总线的 AC 参数, 一般执行一条指令, Intel 总线时序就应做出相应变化。在初始化 CP2200 接收接口应注意定时和缓冲溢出情况, 否则接收数据时会出错。

单片机与 CP2200 之间的通信采用查询模式, 读取以太网数据速度快。根据 Atmega16 存储空间的特点, 为接收/发送数据包定义一个共用体类型的静态缓存。之所以使用静态缓存, 是因为 Atmega16 本身存储空间问题不适合为接收/发送数据开辟较大的动态的缓存, 而开辟较小的动态的缓存又会影响收/发速度。

2 TCP/IP 协议

单片机内实现 TCP/IP 协议栈与 PC 机内不同, 因为单片机内部资源有限, 所以要在单片机内实现 TCP/IP 协议栈, 就必须根据具体应用系统的有限资源环境, 对 TCP/IP 栈协议进行裁简^[3], 实现与需要有关的功能。文中针对大多应用系统设计的 TCP/IP 协议栈, 同样进行了裁减, 实现了 ARP、IP、TCP 及 UDP 等功能, 其工作流程如图 2 所示。

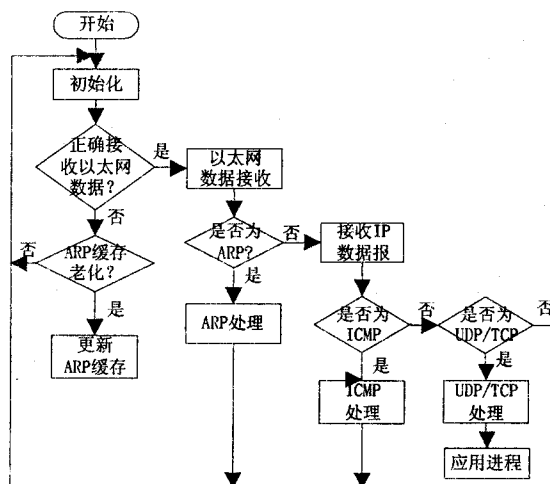


图 2 TCP/IP 工作流程图

2.1 ARP 协议

地址解析协议 (ARP) 提供 IP 地址与硬件地址之间的动态映射。为了实现 ARP 的地址映射功能, 设计中将 ARP 模块主要分成三部分: ARP 缓存、ARP 应答和 ARP 请求。ARP 缓存实现 IP 地址与硬件地址之间映射记录的更新, 其处于动态更新状态, 而 ARP 应答

和 ARP 请求通常处理休眠状态。当接收到 ARP 请求时,ARP 应答才从休眠状态被唤醒,更新 ARP 缓存中的 IP 地址和硬件地址之间的映射记录,并发送 ARP 应答包;当上层发送 IP 数据包而没有目的主机硬件地址时,ARP 请求部分才被唤醒,发送 ARP 请求包。整个 ARP 模块实现流程如图 3 所示。

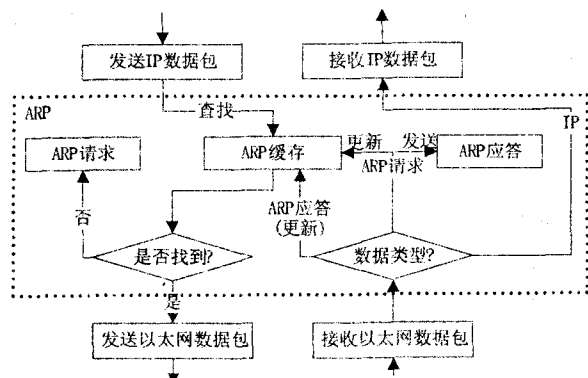


图3 ARP模块实现流程图

2.2 IP 和 ICMP 协议

本设计只实现了网络层两个部分:IP 模块和 ICMP 模块。IP 是一个无连接协议,主要负责主机间寻址和数据包设定路由^[4]。设计的 IP 模块只完成 IP 数据包的接收、发送和转交,由函数 IP_Input() 和 IP_Output() 实现。它不处理带 IP 选项的数据包和 IP 分片数据包。设计时,考虑到系统的需求,IP 模块的分层并不严格,这虽然降低了层与层之间的独立性,但提高了数据的处理速度,对系统的网络通信并无影响。由于底层网络硬件接口为以太网接口,所以应用网络为以太网,因此虽未实现 IP 层的分片与重装等功能,但简化 TCP/IP 协议栈同样可以工作。ICMP 协议的作用是弥补 IP 协议无差错控制机制的缺点,所以 ICMP 模块用于实现系统通信的差错控制。ICMP 功能由 ICMP_Input() 和 ICMP_Output() 两个函数实现,前者接收处理 ICMP 数据包,后者发送 ICMP 数据包。设计中,ICMP 部分主要实现了 PING 功能和 ICMP 端口不可达差错功能。

2.3 TCP 协议

TCP 用于向应用层提供一种面向连接的、可靠的字节流服务。对于标准的 TCP/IP 协议来讲,TCP 层会实现滑动窗口协议、流量控制、拥塞控制、TCP 计时、重传、TCP 连接状态等机制^[5]。但由于设计的协议栈以 Atmega16 为处理机,其存储资源相对有限。所以结合系统本身特点,对 TCP 层的功能进行了简化,未实现其滑动窗口协议、流量控制和拥塞控制机制。设计中,未对 TCP 有限状态简化,这样有利于协议栈的扩展。系统同样实现了 TCP 定时重传的机制,但如

果应用系统只用于与标准的 TCP/IP 系统通信,这一功能可以不实现,因为通信对方会实现超时重传。设计的 TCP 层进行数据传输时,每次只接收和发送一个数据包。接收数据时,IP 层将 TCP 报文段交给 TCP_Input() 函数处理,该函数主要实现 TCP 连接判断和状态转移。如果 TCP 报文为网络数据报,函数 TCP_Receive() 将会被调用,它将数据传给应用程序。应用程序发送数据时,调用函数 TCP_Send(), 其对数据进行处理后,将数据交给函数 TCP_Output(), 该函数将数据组装成可以发送 TCP 报文段后,交给 IP 层。

2.4 UDP 协议

UDP 虽然和 TCP 共用网络层,但 UDP 并不向应用层提供可靠性服务。由于在某一段时间内,UDP 会话不止一个,所以设计时,为固定时间段内的每个会话都准备了一个输入/输出队列,这个输入/输出队列其实是一个链表。当接收到 UDP 数据报时,该数据报在输入处理模块中被处理。根据 IP 地址和端口号,将 UDP 数据报放到对应的输入队列中并等待应用程序的处理,如果没有,根据 IP 地址和端口号建立一个新的输入队列,然后等待应用程序处理。同理,应用程序发送 UDP 数据报时,UDP 模块会根据 IP 地址和端口号找到对应的输出队列,如果没有,根据 IP 地址和端口号建立一个新的输出队列。输出处理模块从输出队列中取出 UDP 数据,处理后将其输出。整个 UDP 模块设计图如图 4 所示。

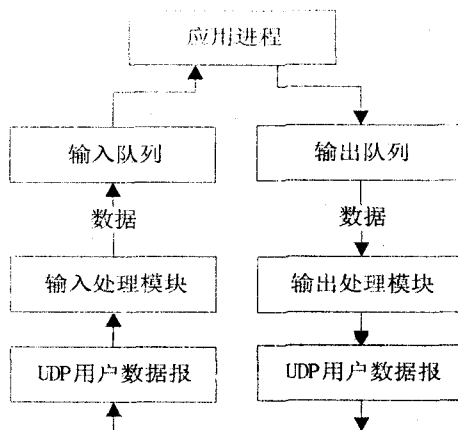


图4 UDP模块设计图

3 远程控制应用

为了验证设计的正确性,将其应用到远程 LED 警示灯控制系统中。为了满足远程控制应用的实时性,传输层采用面向数据报的不提供可靠性的 UDP 协议。应用系统未采用提供可靠连接的 TCP 协议,一是因为 TCP 连接建立与终止过程会降低系统通信的实时性;二是由于高效的 TCP 协议实现会占用大量存储空间,

降低系统性能。至于系统对通信质量的要求,可交由应用层来完成。

该远程控制系统同以太网接口共用一块控制芯片,实现 LED 警示灯的远程控制。系统中,PC 机为控制端,被控端为嵌入本以太网接入模块的应用系统。本设计采用类似 TFTP 机制实现控制端与被控端的通信连接。建立一个通信连接时,被控端一直监听某一固定端口,当监听到来自该端口 UDP 连接请求时,主动打开连接,然后腾出其监听的端口供其它连接使用,这一过程同 TFTP 的连接过程无异。在建立连接后,开始用户认证过程,该过程采用私有的通信机制。认证通过后,控制端才能对被控制端进行控制和状态监控。远程控制系统通信流程图如图 5 所示。

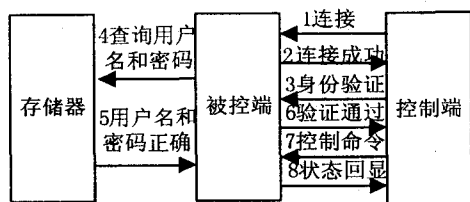


图 5 远程控制系统通信流程图

4 结束语

在单片机内实现 TCP/IP 协议时,应从四个方面

(上接第 136 页)

法,为分布式异构信息源的透明访问提供了统一标准,为信息的动态集成奠定了基础;

(2)整个框架基于 XML 技术,XML 是文本形式而非二进制形式,从而提供了跨应用平台的能力;

(3)消息传递通过 SOAP 实现,SOAP 是一种基于 XML 的轻量级对象访问协议,它使用 HTTP、SMTP 等作为传输协议,从而可以跨越防火墙,使跨系统的信息集成为可能;

(4)Web Services 提供完整的封装性,可以保留遗产系统,实现渐进式开发,从而降低实施跨企业信息集成的风险和成本;

(5)Web Services 提供统一的界面,可以在第三方机构注册,可以被潜在的商业伙伴发现^[5]。在任何地点,使用任何设备,通过任何方式都可以访问 Web 服务提供的服务,从而提高了跨企业集成的效用,实现“即插即用”的要求。

3 结束语

文中在分析了标准的信息集成协议栈的基础上,结合本体技术和 Web Services 技术提出了一个自底向

考虑其是否合理:是否提供易用的底层硬件 API,即与硬件平台的无关性;占用的系统资源是否在可接受范围内;对于应用系统的支持程度;是否有裁减优化的空间。

文中以上述要求为标准,结合系统的硬件特点,设计实现的嵌入式 Internet 系统,成本低,易于应用。设计实现的精简 TCP/IP 协议栈简单,适用于无操作系统支持的嵌入式设备,并且易于扩充。该系统经过测试验证,设计正确,工作正常,为今后更进一步的应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 肖洪详,邵彭飞,才娟.基于 CP2200 的嵌入式以太网接口设计[J].微计算机信息,2007(17):33-35.
- [2] Silicon Laboratories Inc. CP2200/1 Complete Datasheet[M]. USA: Silicon Laboratories Inc,2006.
- [3] 王晓菊,潘琢金,杜睿.嵌入式网络接口模块设计及协议实现[J].沈阳航空工业学院学报,2007(1):49-52.
- [4] 刘伟,崔永峰,吴相林. TCP/IP 协议在远程单片机控制系统的设计[J].微计算机信息,2007(3):93-95.
- [5] Forouzan B A, Fegan S C. TCP/IP 协议族[M]. 谢希仁,等译.北京:清华大学出版社,2006.

上的信息集成框架。文中结合信息集成协议栈分析了框架的体系结构,详细阐述了框架的层次结构、模块功能。该框架解决了传统信息集成不能解决的语义异构问题,实现了信息的透明访问和原有系统上的信息集成,满足信息集成对动态性、平台无关性和可扩展性的要求,为进一步研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] Burg B. Agents in the world of active Web - services[EB/OL]. 2001-11. www. hpl. hp. com /org/ stl/ maas/docs/ HPL-2001-295. pdf.
- [2] 顾宁,刘家茂,柴晓路. Web Services 原理与研发实践[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [3] Wache H, Ogele V, Visser T, et al. Ontology - based integration of information - a survey of existing approaches[C]//IJ-CAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing. [s.l.]:[s.n.], 2001:108-117.
- [4] Huang Ning, Diao ShiHan. Ontology - based enterprise knowledge integration[J]. Robotics and Computer - Integrated Manufacturing, 2008, 24(4):562-571.
- [5] 周航滨,夏安邦,张长昊. 基于 Web 服务的跨企业信息集成框架[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(1):1-5.