

# 嵌入式系统中 TCP/IP 协议的精简与实现

Reducing and realizing TCP/IP protocol on embedded system

(台州学院)雷必成

Lei, Bicheng

**摘要:** 通过对 TCP/IP 协议的分析, 结合嵌入式系统的特点, 挑选出一套精简、实用的 TCP/IP 协议子集, 并详细介绍各协议层的实现过程。为嵌入式网络系统的开发提供一个较为简单且可行的思路。

**关键词:** 嵌入式系统, 以太网, TCP/IP 协议, UDP, ARP

**中图分类号:** TP393.04

**文献标识码:** A

**abstract:** Through analyzing TCP/IP protocol and character of embedded system, it screens out a set of reduced and practical protocols, and introduces the process of realizing for each protocol-layer. It provides a feasible and simple method for exploitation of embedded network system.

**keyword:** embedded system, ethernet, TCP/IP protocols, UDP, ARP

## 1 引言

嵌入式网络系统就是在嵌入式设备上实现了网络互联功能的系统, 一般要求嵌入式设备在软件上支持 TCP/IP 协议栈, 实现有关的以太网通信协议。如何实现 TCP/IP 协议是嵌入式网络系统的关键技术之一, 在嵌入式系统中应用 TCP/IP 协议的关键是, 如何设计出精简、高效的 TCP/IP 协议子集, 以此来减少对系统资源的占用。

目前使用广泛的 TCP/IP 协议栈有 LWIP(Light Weight)、uIP、Linux IP 等, 这些协议栈具有一定的通用性, 包含的协议内容比较全, 同时也比较复杂。具体在移植到应用系统的时候要考虑的问题较多, 各个库文件和全局变量相互交叉引用, 若要针对特定系统进行精简, 则牵一发而动全身, 尤其是存储器的管理及上层协议与底层网络驱动的接口是两个最大的移植难题。

为了能对 TCP/IP 协议有较深的了解, 又利于后期进行深入研究, 我们在实现一具体的 Internet 网络报警系统时, 进行自主的嵌入式 TCP/IP 协议开发。下文所介绍的 TCP/IP 协议系统由于精简而利于实现, 且无需进行内存管理, 适合传送数据量不大的嵌入式系统。在实现时, 只要根据相应的数据帧格式, 在各层完成相应的功能即可。非常适合研究学习之用, 为嵌入式网络系统的开发提供一个较为可行且简单的思路。

## 2 协议的分析与选择

众所周知, TCP/IP 是一个协议族, 是几百种网络协议的集合。通用计算机系统有足够的资源支持通信协议在内核实现, 但是嵌入式系统则不同, 因为其 CPU 处理能力和系统存储能力都受到成本限制, 充分利用资源、提高系统性价比是开发嵌入式应用的根本特点。所以要对 TCP/IP 协议进行精简以适应嵌入式系统。

下面我们以实际的 Internet 网络报警系统为例, 设计一个较为精简的 TCP/IP 协议子系统。此系统采用 32 位 ARM 结构的三星 S3C440BX 处理器, 加 SMSC 公司的以太网控制芯片 LAN91C113, 以及另外一些外围芯片组成。此系统要求经 Internet 传送一些现场采集的报警数据到远程站点, 要求实时性好、传输速度快, 但每次传输的数据量很少, 只是简单的报警信息。根据这些要求, 再经详细分析 TCP/IP 各协议层实现的功能, 精简出的协议子集如图 1:

层次	需要实现的协议
应用层	无
传输层	UDP
网络层	IP、ICMP 中的 Ping 响应协议
链路层	ARP 应答协议

图 1 精简的 TCP/IP 协议子集

首先在链路层上, 由于采用以太网的接入方式, 系统必须要实现 IEEE802.3 所规定的 CDMA/CD 协议。CDMA/CD 协议不需用户实现, 此协议只要采用通用的以太网接口芯片就可支持。其次, 为了保证系统

雷必成: 讲师 硕士

基金项目: 浙江省基金项目(X104003)

在以太网中的通信,系统还需实现 ARP 应答协议,该协议用于将 IP 地址映射成以太网 MAC 地址。ARP 的执行依靠维持一张表来完成 IP 地址和 MAC 的地址的映射。

在网络层,由于系统要求能够在 Internet 进行通信,因此系统要实现 IP 协议。IP 层的代码有两个功能:验证到来的 IP 报文报头的正确性,并且对 TCP 和 ICMP 报文实行分流。因为不考虑 IP 的分片和重组,所以 IP 层的代码非常的精简。为了能够测试系统与网络的连接,系统需要实现 ICMP 协议中的 Ping 应答协议,Ping 应答协议主要是检查网络是否连通

在传输层, TCP 为两台主机提供面向连接的、可靠的、无重复的双向数据流传输服务,TCP 协议设计了严格的 3 次建立连接握手过程、4 次关闭连接握手过程,这些过程的实现对系统资源的耗费非常大。而 UDP 的实现比较简单,它在某些嵌入式 Internet 的应用场合可以很好地应用。考虑到系统的简化及速度的要求,采用了 UDP 协议,为了确保 UDP 数据的到达,在应用程序中采用了重复发送、回复确认的方式来保证数据的正确性。

由于本嵌入式系统无 HTTP、FTP 等应用,所以应用层中的协议无需实现。

### 3 协议的实现

本系统由于协议比较精简,只保留了必须使用的一些协议,所以实现过程相对简单。实现过程中的一个总目标是系统开销要少,每一层之间要相互独立,内存操作简单。为了实现每一层的独立,实现上下层之间的数据透明传输。每层之间应通过一系列的函数进行数据传递,同时为了减少由于数据拷贝引入的系统开销,系统应通过指针操作,而不是数据拷贝方式,将缓冲区中的数据沿协议栈向上传递。

由于 TCP/IP 的各层协议的各种数据格式,在各种资料中都有详细说明,这里就不再一一介绍。只详细介绍总的结构、各层的功能及实现过程,为了便于调试,系统在实现时肯定是从底层开始,一层一层往上实现。

1) 首先公共数据结构的定义:如 MAC 地址格式、IP 地址格式、系统的地址配置、缓冲区格式及大小。

其中 MAC、IP 地址格式都是固定的,系统的配置用于确定系统的 IP 地址及端口以及 MAC 地址值。在本系统中由于传送的数据有限,只定义了 4 个用于传送和接收数据的缓冲区每个长度为 150 字节。

2) 网络驱动接口:由于网络驱动也是我们自己编制的,所以与上层结合起来很顺利,接收时采用中断机制,当收到网络中断就读取数据,根据包的种类分别传给 ARP 或 IP 协议,由每一层自行处理数据。发送时采用查询方式,应用层准备好数据,一层层封装并向下传递,最后经由网络驱动程序发送。

#### 3) 链路层 ARP 协议的实现:

首先定义 ARP 数据帧头结构及 ARP 高速缓冲表,数据帧必须根据标准定义,高速缓冲表至少要含有 IP 地址及相对应的 MAC 地址两项。由于嵌入式系统所连接的对象数目较少且都比较固定,所以就去掉了缓冲表的定时刷新程序,这样可以大大减少系统的刷新开销。

这一部分的主要工作是:

a 根据上层数据包中的 IP 地址,在高速缓冲表中查出对应的 MAC 地址并填入包中相应位置。若表中没有相应 MAC 地址,则按照格式组装一个 ARP 请求包并发送,以得到对方 MAC 地址。

b、若收到 ARP 应答包,则更新 ARP 缓存表。

主要函数有:

struct pbuf \* arp\_packet (struct arpdata \*q)// 把要发送的 ARP 数据打包成网络格式字节流;

struct mac \*arp\_lookup (struct ip \*p) // 根据 IP 地址在 ARP 缓存表中查找 MAC 地址,若找不到则自动向网络广播 ARP 请求;

void arp\_input (struct pbuf \*p)// 从驱动程序传入 ARP 帧数据,如果是 ARP 请求则发送一个 ARP 应答包,如果是 ARP 应答则更新 ARP 缓存表;

#### 4) 网络层 IP 协议及 Ping 应答的实现:

首先定义数据结构 IP 及 ICMP 数据帧格式,这两者都要根据标准来定义。这一部分的主要工作有:

a 对上一层传下来的数据包,加上 IP 首部和 IP 校验和,发往下一层。以及对下一层传上来的数据包,进行校验和检查,若正确去掉 IP 首部,送往上一层。

b、为了便于测试要响应主机的 PING 程序,即如收到 ICMP 的回显请求包,则按照格式组装一个 ICMP 的回显应答包并发送。

主要函数有:

int ip\_input (struct pbuf\* p);//输入下一层的数据包,去掉 IP 首部传给上一层;

int ip\_send\_data (struct pbuf \*p,int len,int type, struct ip dst\_ip);//将上一层的数据加上 IP 首部,并向下一层发送;

void ip\_packet (struct pbuf \*p,struct IP\_data \*q,int len);//IP 首部和数据打包;

U16 ip\_chksum(U8 \*p,int len);//IP 检验和计算;

void icmp\_input(struct pbuf \*p) 如果 ICMP 的回显请求,则发一个应答包;

#### 5) 传输层 UDP 协议的实现:

根据标准定义 UDP 数据帧格式。这一部分的主要工作有:对应用层传下来的数据包,加上 UDP 首部和 UDP 校验和,发往下一层。以及对下一层传上来的数据包,进行校验和检查,若正确去掉 UDP 首部,提出数据送给应用层。需注意的是,要产生一个伪首部用于

UDP数据检验和计算。

主要函数有:

```
void udp_input (struct pbuf *p); //从下一层输入
UDP 数据
```

```
void udp_output (U8 *str, struct ip dst_ip, U16
dst_port); //向下一层发送 UDP 数据
```

```
void makeup_pheader (struct ip *p, U16 len ,U8
*q); //产生伪首部用于 UDP 检验和计算
```

```
U16 udp_chksum(U8 *p,int len,U8 *p1,int len1); //
计算 UDP 检验和
```

6) 执行过程:

当本地系统有数据要发送时,首先在传输层将数据加上 UDP 首部,再到网络层加 IP 首部,然后到链路层从 ARP 表中查询相应的 MAC 地址,填入相应位置,并发给网络驱动程序传到以太网上。

图 2 是用 SPYNET 软件截取的本系统启动后第一次发送一串字符的整个网络协议应答过程,由于是第一次发送,ARP 表为空。所以当发送 UDP 数据时找不到目的 IP 地址对应的 MAC 地址,系统先发 ARP 请求,对方回一个 ARP 应答,得到对方 MAC 地址,然后再发 UDP 数据包。

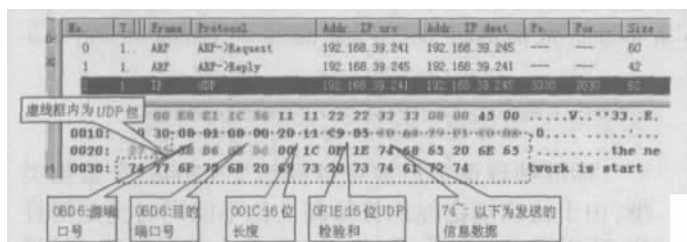


图 2 一个实际 UDP 数据包发送全过程

## 4 结束语

由于嵌入式系统发展及互联网的普及、远程控制和信息家电的兴起,嵌入式系统与互联网的逐渐成为一种新的技术发展方向,嵌入式 TCP/IP 协议的选择与实现是这一技术必须要面对的。很多时候在涉及 TCP/IP 协议时,都容易被其复杂的体系结构所迷惑,而不敢轻易动手,本文提出的这种嵌入式 TCP/IP 协议的选择思路及给出的一套精简 TCP/IP 协议子集的实现过程,对于这一方面的研究很具有参考价值。

参考文献

- [1] 李国厚, 赵明富. 嵌入式系统的网络通信技术[J]. 微计算机信息, 2005, 7-2: 54-55
- [2] (美) W. Richard Stevens 著, 范建华等译 (2000). TCP/IP 详解 卷 1 协议. 机械工业出版社。

作者简介: 雷必成, 1974.9, 浙江临海市台州学院电子与信息工程学院, 讲师, 计算机应用技术硕士, 从事嵌入式系统研究, Email: leibc@tzc.edu.cn .

Author brief introduction: Lei Bicheng, 1974.9, College of Information and Electronic Engineering, TAIZHOU

University, Linhai Zhejiang 317000, china. Instructor, Master of computer application technology, occupied in embedded system studying

(317000 浙江临海 台州学院信息与电子工程学院) 雷必成

(College of Information and Electronic Engineering, TAIZHOU University, Linhai Zhejiang 317000) Lei, Bicheng

通讯地址: (317000 浙江临海市台州学院电子与信息工程学院) 雷必成

(投稿日期: 2005.11.2) (修稿日期: 2005.12.10)

(接 51 页)

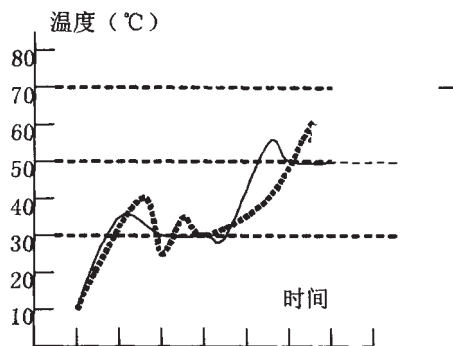


图 7 模糊控制与开关控制效果比较

## 4 结论

为检验该基于单片机的模糊控制与常规的开关控制对水温调节的效果, 将开关控制与该模糊控制的控制效果进行了实验比较, 结果示意图如图 7 所示。第一次设定温度为 30, 第二次设定为 50, 实线为模糊控制, 虚线为开关控制。可见模糊控制, 无论是在响应速度还是在超调量上的效果都较优。

本文创新点: 对模糊控制算法进行了改进及简化, 以偏差与偏差的改变量之和为模糊控制器的输入量, 使模糊控制规则在用 8 位单片机中实现。

参考文献:

- [1] 宋威, 李捷. 基于 C8051F 的 SMBus 实现智能测温系统[J]. 微计算机信息, 2005.5: 50-52.
- [2] 张友德. << 单片微型机原理、应用与实验 >>. 复旦大学出版社, 1992 年
- [3] ATMEL 公司产品资料. <http://www.Atmel.com>
- [4] 秦曾煌. << 电工学 >> 下册. 高等教育出版社, 1999 年
- [5] 袁振中. 模糊逻辑控制技术及其应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995

作者简介: 雷建龙, 男 (1965-), 汉族, 副教授, 硕士学位, 无线电专业, 现从事智能仪器仪表及其教学。

Author brief introduction: Lei Jian-long, man (1965-), the Han nationality, associate professor, master of radio engineering, is working on the intellectual meter/device and its teaching.

(430050 武汉船舶职业技术学院电子系) 雷建龙

(投稿日期: 2005.11.2) (修稿日期: 2005.12.10)