

单片机嵌入式 Internet 技术研究及系统开发^①

高小能 龚益波 (浙江万里学院 电子信息学院 浙江 宁波 315100)

摘要: 实现 MCS-51 单片机嵌入式接入 Internet 技术。单片机通过 ATL8019AS 以太网控制器实现与 Internet 的交互。利用开源代码的 TCP/IP 协议栈 uIP 实现对底层设备的驱动, 同时通过 uIP 协议的应用程序接口实现各种应用服务。给出了硬件设计图, 编写了单片机主程序。应用此技术实现了一个城市中心停车监测系统。

关键词: 嵌入式 Internet; uIP 协议栈; 底层设备驱动; 应用程序接口; 主程序

Research and System Development of Embedded Internet Connecting Technology Based on a Microcontroller

GAO Xiao-Neng, GONG Yi-Bo

(Faculty of Electronics and Information, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

Abstract: This paper implements MCS-51 microcontroller embedded Internet connecting technology. The microcontroller communicates with Internet through Ethernet network interface card ATL8019AS. The reduced TCP/IP protocol stack--uIP protocol suit, which is open source code program, drives the bottom network devices. Some application services are realized based on API of uIP. Finally, the thesis provides the electronic circuit and main program of MCU. A monitoring system for parking is realized with the application of MCU embedded Internet.

Keywords: embedded Internet; uIP protocol suits; dedvices driver; application programming interface(API); main program

近年来以单片机(Micro Computer Unit, MCU)为代表的嵌入式系统在工业探测系统、智能仪器、安防系统、智能家电和信息家电领域得到了广泛应用。如果嵌入式系统能够连接到 Internet 上, 则用户可以方便、快捷、低廉地通过网络进行远程控制、监测和信息传送。Internet 技术和嵌入式技术的相互融合, 不仅为嵌入式系统的设计和开发带来了前所未有的发展空间和机遇, 也使得 Internet 应用进入了嵌入式 Internet 时代。据专家预测, 未来在 Internet 上的新增业务和应用中, 将有 45% 的增长来自于小型嵌入式系统。因此, 嵌入式系统的 Internet 接入技术, 将会有极其广阔的应用前景。如何利用单片机接入

Internet 网络成为未来最热门的技术之一。

1 单片机嵌入式 Internet 接入技术

Internet 网络通信中, TCP/IP 协议簇非常庞大, 需要占用大量的系统资源^[1]。单片机的缺点是资源有限, 无法容纳下 Internet 的 TCP/IP 协议簇。因此单片机实现嵌入式接入 Internet 技术的关键是如何在单片机等嵌入式设备的有限资源上实现 Internet 的网络通信协议栈。其难点在于: 如何利用单片机自身有限的资源对信息进行 TCP/IP 协议处理, 使之变成可以在 Internet 上传输的 IP 数据包。目前许多研究机构都在积极探讨利用 MCU 实现接入 Internet 技术, 出现

^① 基金项目:宁波市科技局科技攻关项目(B10003)

收稿时间:2009-10-22;收到修改稿时间:2009-12-14

了多种单片机嵌入式 Internet 技术方案, 这些技术实现方案可以归为以下几类。

(1) 使用专用的嵌入式芯片。专用嵌入式芯片是一种内置了通信和控制功能的单片机, 可以实现实时多任务操作。比传统的单片机硬件提供更强的系统设计灵活性。这样的芯片有 Ubicom 公司的 IP2022 芯片, MOXA 公司的 Nport Express 芯片等。这类芯片功能强, 能够实现多种网络协议, 一般提供有相应的 TCP/IP 网络协议栈。但是这种芯片价格偏高, 用户需要支付软硬件费用, 不易于实现市场的广泛应用。

(2) 嵌入式系统组成专用网通过 PC 网关接入 Internet。小型嵌入式系统通过总线技术组成专用网络, 采用一个 PC 机作为网关, 该 PC 将专用网发送来的信息通过专用软件转换为 TCP/IP 协议数据包, 然后发到 Internet 上以实现远程通信。该方案是早期采用得较多的技术。但是这种方案的缺点是要使用一台专用的 PC 机, 显然它只适用于某些工业数据采集系统, 不易于向信息家电和网络化智能仪器仪表等领域推广。

(3) 使用普通单片机和网络控制芯片。这种方法实现起来比较简单, 而且可根据实际需要进行功能扩展, 但是需要在单片机上实现嵌入式 TCP/IP 网络协议, 软件编程的工作量比较大。由于采用普通单片机, 所以其优点是成本低, 单片机体积小, 易于以极高的性价比向诸多需要实现嵌入式接入 Internet 的场合推广。本文设计的系统就是采用这种技术方案, 下面将重点分析其硬件和软件设计。

2 单片机与网卡的接口电路

2.1 系统总体设计

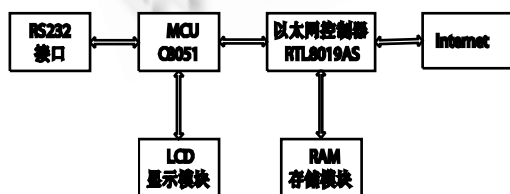


图1 系统总体设计

系统选用最常用的 MCS 8051 系列单片机, 此类型单片机价格低廉且应用广泛。网卡选用台湾 Realtek 公司生产的 RTL8019AS 以太网控制器芯片。由于

Internet 网络协议的程序代码量较大, 所以系统除了单片机和网卡外, 还增加了一些外围电路。包括用作数据缓存的 RAM 存储器和 RS232 接口, 前者用作数据缓存器, 后者作为单片机与现场设备进行数据交互的接口。系统总体功能设计如图 1 所示^[2]。

在上述系统设计中, 单片机主要完成 Internet 数据的解包和串口 RS232 数据的封包。远程 PC 机传输来数据包经过 Internet 物理媒介到达以太网控制芯片 RTL8019AS 内, RTL8019AS 执行地址解析协议, 然后交给 C8051 单片机, 单片机执行 TCP/IP 协议模块, 去掉 TCP/IP 报头后将数据通过 RS232 串行口交给数据采集系统的现场设备。反之, 如果是现场设备发送数据到单片机, 那么单片机将数据按照 TCP/IP 协议格式封包后送入 RTL8019AS, 由网卡芯片传输到 Internet 中。通过上述方式, 单片机完成与 Internet 的交互, 从而实现数据采集系统的互联网远程控制。

2.2 单片机与网卡的接口电路

单片机是本系统的核心, 因此单片机与网卡的接口电路非常关键。本系统选用 8051 系列单片机, 是因为 8051 单片机是最常用的单片机, 其价格低廉且应用广泛, 在工业设备应用中易于降低系统成本。同时 8051 编写程序简练, 程序调试方便。8051 单片机与以太网控制器芯片的连接电路如图 2 所示^[3]。

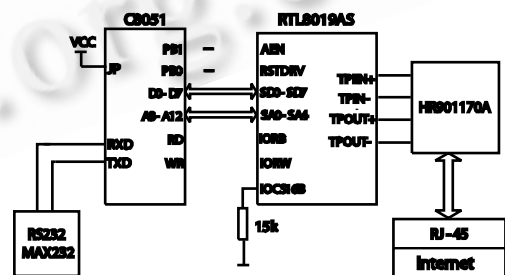


图2 单片机与以太网控制芯片连接图

8051 单片机 P0 口的 8 位数据总线 D0-D7、P2 口的 5 根地址线 A8-A12、读信号线 RD、写信号线 WR、2 个定时器控制端 T0、T1 分别与 Realtek 8019AS 的各信号线对应连接。Realtek 8019AS 芯片工作在 8 位总线方式。8051 单片机驱动网络控制芯片 RTL8019AS, 经网络隔离滤波器 HR901170A 后实现 Internet 接入。

3 TCP/IP协议栈在单片机上的实现

3.1 嵌入式 TCP/IP 协议栈

TCP/IP 协议是 Internet 的核心协议。单片机实现嵌入式接入 Internet 必须要在单片机上实现 TCP/IP 协议。由于 TCP/IP 协议簇异常庞大，而单片机片内资源有限，所以要在单片机上完整实现 TCP/IP 协议是不可能的。目前许多公司根据不同的嵌入式设备开发了面向商用的嵌入式 TCP/IP 协议栈，这些协议栈缺点是面向特定公司生产的芯片，且需支付昂贵的软件使用费。如果采用这类协议栈则使得设计的单片机嵌入式 Internet 系统不具有性价比上的优势。经过对比，最后在本系统中选用开放源代码的 TCP/IP 协议栈 uIP0.9 作为设计核心^[4]。uIP0.9 是一个适用于 8/16 位单片机上的小型嵌入式 TCP/IP 协议栈，感兴趣的用户可以免费在网络上下载其源代码并对其进行修改，以适应不同的应用需要。uIP0.9 协议栈采用模块化设计，保留网络通信所必要的协议机制，大大减少了协议代码量(代码量在几千字节左右)，只需要几百字节的内存就可以顺利运行，降低了协议对系统资源的要求。uIP0.9 完全适应当前的单片机嵌入式系统。

3.2 uIP 的体系结构

uIP 协议根据嵌入式系统的需要，去掉了 TCP/IP 协议中许多不常用的功能，保留网络通信中所需要的 ARP(可选)、IP、ICMP、TCP、UDP(可选)等最核心的部分。协议全部用 C 语言编写，其代码占用量极少，对 RAM 资源要求也极低。例如 IP/ICMP/TCP 核心模块代码大小为 3304 字节，使用的 RAM 只需要 360 字节^[4]。其应用层接口和设备驱动层接口非常简单。uIP 协议将设计重点放在 IP、ICMP 和 TCP 协议的实现上，而将 UDP 和 ARP 协议实现作为可选模块。uIP 协议的体系结构如图 3 所示。

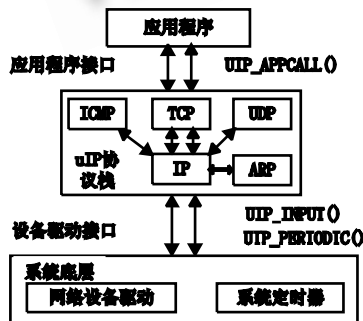


图 3 uIP 协议栈结构图

3.3 uIP 的底层设备驱动接口和应用程序接口

uIP 是一个仅包含三层网络层核心协议的协议栈，uIP 自身不包含任何类型的底层网络驱动和上层应用程序，它只提供接口函数供用户开发使用。因此为了完成与网络设备的交互，用户必须根据网络设备的类型，在 uIP 中自行实现对底层网络设备的驱动。对本例来说，网络设备是 RTL8019AS 网卡，因此需要在 uIP 中实现对 RTL8019AS 网卡的驱动。如果用户需要在 Internet 上通过 http 协议浏览和获取现场数据，还必须在 uIP 上实现基于 HTTP 协议的 WEB 应用服务。

RTL8019AS 网卡驱动首先是对网卡芯片的上电初始化，通过函数 init_8019as()进行，用于设定网卡物理地址，设定收发缓冲区位置和大小等。其次是发送数据函数 eth_send()和接收数据函数 eth_rcv()。而 uIP 协议栈则通过内核中的 uip_input()函数实现对底层网络设备的驱动，该函数是 uIP 协议的底层设备入口。它包含两个全局变量 uip_buf、uip_len。前者用于存放接收到的数据包，后者表示接收发送缓冲区里的数据长度。uip_input()函数处理从网络设备驱动发送来的 IP 包。处理结束后返回变量 uip_len，如果 uip_len 是 0，则没有数据要发送。不为 0 则调用网络设备驱动程序 eth_send()函数来将 uip_buf 里的 uip_len 长度的数据发送到以太网上。eth_rcv()函数将接收到的数据存到缓存 uip_buf 指定的缓冲区中，系统调用 uip_input()函数，并在需要时调用应用程序。

uip_periodic()可以理解为是一个周期时钟函数，通常每一秒执行一次，单片机用它周期性地轮询各连接。因为 uIP 协议要处理许多定时事件，例如包重发、ARP 表项更新。当周期计时激发，每一个 TCP 连接调用 uip_periodic()，其 TCP 连接编号作为参数传递给 uip_periodic()函数。uip_periodic()函数检查参数指定的连接的状态。当 uip_periodic()函数返回后，会检查 uip_len 的值，若不为 0 则将 uip_buf 缓冲区中的数据发送到网络上。

uIP 协议的应用程序接口用于实现 web 之类的应用服务。uIP 定义了一个宏 UIP_APPCALL()作为该接口，供用户使用。当用户要编程实现某应用服务时，只需要将宏 UIP_APPCALL()定义成实际的应用程序函数名。uIP 在接收到底层传来的数据包后，若需要送

上层应用程序处理,它就调用 `UIP_APPCALL()`。不同的连接则通过判断当前连接的端口号来确定。同时 `uIP` 还提供一些应用程序接口函数供用户编程时使用。常用的 `uIP` 应用程序接口函数有: 关闭连接接口函数 `uip_close()`; 轮询接口函数 `uip_poll()`; 打开连接接口函数 `uip_connect()`等。通过调用不同的应用程序接口函数,用户可以实现相应的功能。

4 单片机主程序的设计

完成了底层设备驱动模块和应用服务程序模块的添加以及对 `uIP` 进行了正确配置之后,软件编写的主体部分是单片机主程序函数。主程序视用户需要达到何种功能而定。对于本例通过以太网卡接入到 `Internet` 实现 `WEB` 应用服务来说,单片机主程序首先启动初始化工作,包括定时器初始化、网卡芯片初始化、`UIP` 协议栈初始化、用户应用程序初始化等等^[5]。在完成初始化之后,主程序将不停的进行查询,如果网卡上有新的 `IP` 数据包到达则送 `uip_input()`函数处理;如果没有新数据包到达则由 `uip_prionic()`函数处理定时事件。由于 `uIP` 协议栈采用 `C` 语言编写,所以为了方便单片机主程序与 `uIP` 协议交互,单片机主程序也采用 `C` 语言作为开发语言。下面是单片机主程序的部分设计代码。

```
void main(void)
{init_timer ();          /*定时器初始化,需用户定义*/
init_serial ();          /*串口初始化,需用户定义*/
init_8019as();          /*网卡初始化,需用户定义*/
init_httpd ();          /*web应用初始化*/
uip_init();             /*uIP协议初始化*/
uip_arp_init();
while(1)
    {uip_len=eth_reve;
    if(uip_len==0) /*无数据接收,开始定时轮询*/
        {for(i=0;i<UIP_CONNS;i++)
            {uip_periodic(i);
            if(uip_len>0)
                {uip_arp_out();
                eth_send();
                }
            }
        }
    }
```

```
}
else if(uip_len>0) /*接收到数据并处理*/
    {uip_arp_ipin();
    uip_len=sizeof(struct uip_eth_hdr);
    uip_input();
    if(uip_len>0)
        {uip_arp_out();
        eth_send();
        }
    }
}
```

`TCP/IP` 协议栈的链路层部分由网络控制器 `RTL8019AS` 完成,网络层和传输层由单片机来处理。应用层则根据需要可以在单片机内完成,也可以由单片机转给用户或终端设备完成。除了 `WEB` 服务之外,其它应用层服务像 `SMTP` 协议支持功能也可以根据需要编写相应的代码。

5 系统测试

在完成上述工作的基础上,我们为市区中心停车场设计了一个停车监测管理系统。由于市区中心停车场业务量非常繁忙,车位经常饱和,不仅管理人员而且客户经常需要实时掌握该停车场的停车位空闲信息。数据采集系统的前端通过传感器监测各停车位的空闲状态。并及时将信息反馈到单片机,反馈的信息包括停车位空闲状态,停车起始时间和时长等。据此监测系统计算整个停车场空闲停车位的个数,并将信息返回到客户端,同时以公告信息形式显示在停车场出入口的 `LED` 显示屏上。方便客户作出决策。根据停车时长计算的计费信息也可以显示在客户端上。结合上述要求,我们在单片机上实现了一个嵌入式 `Web` 服务器。`Http` 网页能够完成接收数据、发送网页数据、关闭连接等应用,并且能够动态实时地进行数据更新。客户端使用最常用的 `Windows` 操作系统和 `Internet Explorer` 浏览器,客户端不需要安装其它特殊的服务程序。系统仅设置为最多 4 个并发客户端访问单片机 `Web` 服务器。图 4 是访问单片机 `Web` 服务器的结果。

(下转第 113 页)



图 4 客户端访问单片机 Web 服务器

6 结语

嵌入式网络通信是近几年来嵌入式工业的新兴应用领域。由于 MCS-51 系列单片机具有悠久的历史 and 广泛的应用，其低廉的价格，以及 uIP 协议栈可以免费使用，所以采用本设计方案的产品具有成本低，附属硬件少，使得终端价格不会因嵌入式接入 Internet 而增加太多。具有极高的性价比，易于推向市场。目

前根据此技术开发的系统已在市区繁忙的停车场监测系统得到成功应用。只须稍加改进即可应用于基于 51 内核的其它单片机系统。本系统能够有助于智能信息家电、生产设备监测监控等的工业应用以较好的性价比实现嵌入式 Internet。

参考文献

- 1 Comer DE. 用 TCP/IP 进行网际互连(第一卷).第五版.北京:电子工业出版社, 2007. 127-159.
- 2 郑灵翔. 嵌入式系统设计与应用开发.北京:北京航空航天大学出版社, 2006. 274-287.
- 3 RTL8019AS Datasheets. [2009-1-24]. [http:// www.realtek.com](http://www.realtek.com)
- 4 uIP 协议栈研究网. [2009-4-15]. http://www.sics.se/~adam/uip/index.php/Main_Page
- 5 赵方鹏,杨建华,等.基于嵌入式 Linux 的视频监控系统.测控技术, 2007,5(26):55-57.