

# 嵌入式互联网络接口的设计与开发

李 明 山东大学计算机系(250061)

## Abstract

With the latest research and development in embedded-net technology, here discussed the architecture of embedded device net connection and protocol hierarchy. Also in this paper, analyzed in details the net interface technology of embedded device, and gave the hardware and software implementation of 80C196KC and RTL8019AS.

**Keywords:** embedded device, net interface, internet

## 摘 要

本文根据对嵌入式网络技术的最新研究与开发,探讨了嵌入式设备网络连接的结构体系和协议层次。对嵌入式设备的网络化的网络接口技术,做了详细分析,并以 80C196KC 和 RTL8019AS 为例给出了网络接口的硬件和软件实现。

**关键词:** 嵌入式设备, 网络接口, 因特网

嵌入式系统以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应了各种应用系统中对功能、可靠性、成本、体积、功耗等的严格要求,因此它赢得了巨大的市场,在应用数量上远远超过了各种通用计算机。嵌入式 Internet 是近几年随着计算机网络技术的普及和发展而发展起来的一项新兴概念和技术,它通过为现有嵌入式系统增加因特网接入能力来扩展其功能,一般指设备通过嵌入式模块而非 PC 系统直接接入 Internet,以 Internet 为介质实现信息交互的过程,通常又称为非 PC Internet 接入。

## 1 概述

嵌入式系统包括硬件和软件两部分。硬件包括处理器/微处理器、存储器及外设器件和 I/O 端口、图形控制器等。软件部分包括操作系统软件(要求实时和多任务操作)和应用程序编程。嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。嵌入式互联的目标是嵌入式设备工作在以网络为中心的环境中,把“孤立的目标系统”相互连

接起来。为适应嵌入式分布处理结构和应用上网需求,嵌入式系统必需配有一种或多种网络通信接口,使嵌入式微控制器不仅能执行传统的控制功能,而且还能执行与连接因特网相关的功能,从而把标准网络技术(TCP/IP)一直扩展到嵌入设备,由嵌入式系统自身实现 Web 服务器功能,这是解决嵌入式 Internet 问题的最佳方案。

嵌入式设备接入 Intranet/Internet 网原则上讲,只要实现 TCP/IP 网络协议就可以。针对嵌入式设备连接涉及的两个关键问题即传送信息的媒质和采用的协议。最常用的联接模式是以太网通信介质的有线连接与 TCP/IP 协议。其网络体系结构与协议分层如图 1 所示。利用网络接口控制器(NIC—Network Interface Controller)来实现物理层和链路层协议,同时微处理器运行嵌入式 TCP/IP 协议通信模块来实现与 Intranet/Internet 网的连接。一旦这个目标得以实现,就能在网络环境下在任何时间从任何地点对位于任何

为提高系统的可靠性,除了在硬件上采取抗干扰措施外,在软件上也采取了相应的措施。对 A/D 转换数据采用数字滤波;对程序死循环和程序飞掉设置时间监视器。

定时发出信号,信号一旦中断就表示程序的运行超出了正常允许的时间,使“看门狗”溢出,迫使单片机复位;在非程序区设置拦截措施,使程序进入陷阱,强迫程序进入初始化状态,具体方法是在非程序区中反复用“LJMP 0000H”指令,该指令机器码为 02H00H00H,占 3 个字节,由于 00H 为空指令 NOP

机器码,所以一旦程序进入非程序区,最多执行 2 条 NOP 指令,最终执行“LJMP 0000H”指令进入初始化状态。

## 参考文献

- 1 倪远平.计算机控制技术,重庆大学出版社
- 2 TI 模数/数模转换器数据手册(第一册).力源电子有限公司
- 3 涂植英.过程控制系统.机械工业出版社

[收稿日期:2001.12.9]

其它地方的系统中的微控制器进行监控,利用传统的 Web 和因特网机制远程监视数据和运行情况控制,而且还能在合适的条件下对系统进行调试、升级和维护。



图 1 网络协议分层示意图

其中最关键的部件是 NIC (网络接口控制器),它处于物理层和链路层上,实现了网络控制逻辑和与处理器的接口逻辑。台湾 Realtek 公司生产的 RTL8019AS 以太网控制器,由于其较高的性价比,是最常采用的硬件通信设备芯片。它符合 IEEE802.3 标准,其主要功能:逻辑链路控制子层(LLC)向高层提供逻辑接口,具有帧发送和接收功能。发送时把要发送的数据加上地址和 CRC 校验构成帧;接收时把帧拆开、执行地址识别和 CRC 校验,并具有帧顺序控制、差错控制和流控制等功能。介质访问控制子层(MAC)管理链路层上的通信和各节点之间通信如何控制,IEEE802.3 采用载波监听多路访问/冲突检测 CSMA/CD 来处理信道上的冲突问题。在物理层,根据标准规定的信号编码和介质,建立物理连接,包括位流的传输和接收、同步字符的产生与删除等。

其功能模块包括:接收解串功能模块、CRC 产生校验功能模块、发送串行化功能模块。地址识别功能模块、FIFO 和 FIFO 控制逻辑、协议逻辑阵列、DMA 和缓冲控制逻辑等。

IEEE802.3 MAC 帧的结构和帧的发送的先后次序如图 2 所示。由以下几个部分组成:前导码、帧起始定界符、目的地址、源地址、类型/数据字段长度、数据、帧校验序列。前导码、帧起始定界符和帧校验序列仅供 NIC 使用。嵌入式微处理器读到的接收的数据帧的依次包括:帧接收状态信息(1Byte)、下一帧的页地址指针(1Byte)、该帧的帧长度(2Byte)、目的地址(6Byte)、源地址(6Byte)、类型/数据字段长度(2Byte)、有效数据(46~1500Byte)。其中类型/数据字段长度的值小于或等于 1500Byte 时,表示该帧的长度,包括目的地址、源地址、数据长度、数据和校验码;反之,表示数据帧的类型。如值依次为 0x08,0x00,表示数据域内为 IP 包;值依次为 0x08,0x06,表示数据域内为 ARP 包。

## 2 接口硬件设计

本文采用 Intel 公司的 16 位单片机 80C196KC 和台湾 Realtek 公司生产的以太网控制器芯片

RTL8019AS 的硬件连接如图 3 所示。

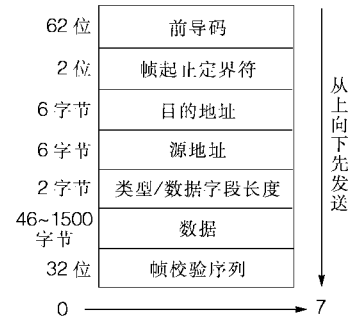


图 2 帧格式示意图

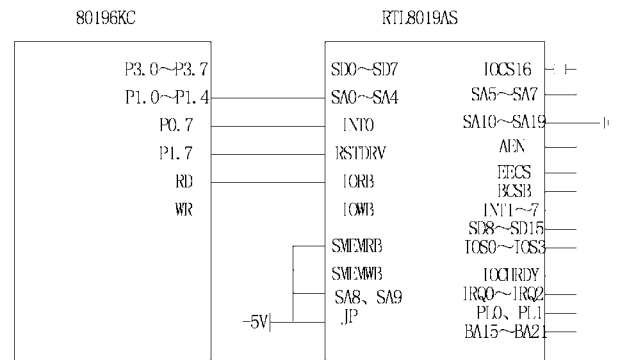


图 3 硬件电路简图

通讯接口部分采用的由台湾 Realtek 公司生产的网络接口驱动芯片 RTL8019AS,此芯片支持 Ethernet II、IEEE802.3、10Base5、10Base2、10BaseT 等;支持 8 位/16 位数据总线模式;支持跳线/无跳线模式;全双工,收发可同时达到 10Mbps 的速率;支持 UTP、AUI&BNC 自动探测模式、具有睡眠模式,以降低功耗;内置 16K Byte 的 SRAM 用于收发缓冲,降低对主处理器的速度要求。

此设计方案中,主要设计如下:

在嵌入式应用的场合,为了降低成本,同时又减少连线,芯片 JP 引脚接高电平,RTL8019AS 采用跳线方式,不使用 93c46。IOCS16 引脚用电阻下拉为低电平时,RTL8019AS 将选择 8 位数据总线模式,只需 8 根数据线 SD0~7。

基地址选择引脚 IOS3,2,1,0 空接时为低电平,此时 I/O 基地址 300H,即 0011 0000 0000,所以地址线 SA9,SA8 接 +5 伏,因为寄存器地址偏移量为 00H——1FH 共 32 个(对应于 300H——31FH),所以只需将地址线 SA0~4 接 ADO~4,其余地址线接地即可。

芯片 IORB、IOWB 引脚为读写信号线,接 80C196KC 的读写信号线。

芯片的中断线由以下引脚 IRQS2..IRQS0 决定,全部空接时中断线为 INT0 接 P1.0,其余中断线空接。

AUI 引脚决定使用 AUI 还是 BNC 接口,采用悬

空时为低电平,使用 BNC 接口,支持双绞线或同轴电缆。最常见的是采用双绞线为通信介质。所使用的引脚有:TPIN+、TPIN-、TPOUT+、TPOUT-,联入耦合隔离变压器 FC22,利用 RJ45 插头实现与网络的连接。

SMEMRB 引脚和 SMEMWB 引脚均需接+5 伏,关闭其 MEMORY 方式。可以外接 4 种 LED 来指示联网的不同工作状态。

PL0,PL1 引脚决定网络接口类型 10BaseT,10Base2 或 10Base5,采用悬空方式时为低电平,即为自动选择方式。X1/OSCI 和 X2/OSCO 引脚接 20MHz 晶振。

### 3 初始化过程

网络接口控制芯片 RTL8019AS 有两种复位方法,可通过将其复位引脚 RSTDRV 置高电平进行冷复位;也可通过读写其复位端口 RSTPORT 来进行热复位。NIC 的复位状态指它加电后所处的状态,在该状态下,中断状态寄存器的 RST 标志位为 1,表示处于复位状态,此时处于离线工作状态,即不能发送或接收数据帧。为了使网络接口控制芯片启动并处于准备接收或发送数据的状态,必须对之进行一系列初始化工作。例如中断状态寄存器是 0 值有效,在加电后,中断状态寄存器的每位必须写入 1 来清除,以完成初始化;中断屏蔽寄存器的所有位在加电后被初始化为 0,为禁止中断。

主要复位后的初始化流程如下:

检测复位正常

设置命令寄存器 CR,NIC 处于离线工作状态,设置寄存器 0 页为当前页

初始化数据配置寄存器 DCR,设置数据访问方式为 8 位或 16 位

初始化远程字节计数寄存器 RBCR0,1 初值为 0

初始化发送寄存器 TPSR

复位中断状态寄存器 ISR 为 0xFF

初始化中断屏蔽寄存器 IMR

初始化接收配置寄存器 RCR

初始化传送配置寄存器 TCR 为环路测试模式

初始化接收缓冲环。设置页起始寄存器 PSTART、页终止寄存器 PSTOP、边界寄存器 BNRY

设置命令寄存器 CR,设置寄存器 1 页为当前页

初始化当前页寄存器 CURR

初始化物理地址寄存器 PAR0~PAR5,设定网卡地址

初始化多址寄存器 MAR0~MAR7

设置寄存器 CR,NIC 处于开始工作模式 设置寄存器 0 页为当前页,本地 DMA 未被激活

设置传送配置寄存器 TCR 为正常操作模式

### 4 接收过程

NIC 提供了本地 DMA 通道和远程 DMA 通道。本地 DMA 通道负责本地缓冲区和 FIFO 之间的数据传输;一方面实现两者之间在发送和接收帧时的以字节或字方式的数据传输;另一方面在发生发送帧碰撞时,可在处理器不介入的情况下自动重发。远程 DMA 通道负责本地缓冲区和处理器内存之间的以字或字节方式下的数据传输。

本地 DMA 通道使用的接收缓冲区提供对接收的帧进行缓存,采取分页管理,每页 256 字节长,这一系列的页缓冲区构成的缓冲环结构。RTL8019AS 内置的存储空间的一部分指定为缓冲环的地址空间,由 PSTART 寄存器指定它的页起始地址,PSTOP 寄存器来指定它的页终止地址。逻辑上认为页起始地址与页终止地址相邻,构成循环队列式的缓冲环结构。

CURR 寄存器指向新接收到的帧要存放的起始页,作为本地 DMA 的写指针;BNRY 寄存器指向还未读的帧的起始页,作为远程 DMA 的读指针。当 CURR 寄存器追上 BNRY 寄存器,表示接收缓冲环已满,后续接收到的帧将被丢弃;当 BNRY 寄存器追上 CURR 寄存器,表示接收缓冲环已空。

接收帧时,NIC 将网络上的数据帧接收,通过本地 DMA 通道将接收到的数据帧缓存于接收缓冲环中,再通过远程 DMA 通道由嵌入式微处理器将接收缓冲环的数据帧由数据总线读入存储单元以被程序使用。在接收帧时,本地 DMA 通道将接收到的帧从 CURR 寄存器加 4 的位置开始存放。当接收到的帧完全存入接收缓冲环后,在先前空出的 4 个字节空间中,依次存入帧接收状态信息(1Byte)、下一帧的页地址指针(1Byte)、该帧的帧长度(2Byte)。所以,接收程序在读入帧时,先预读 4 个字节的数据,取得该数据帧长度后,就可把完整的帧读入。

对数据帧的接收可采用中断或查询方式进行。当 NIC 无错误接收到一帧数据后,中断状态寄存器 ISR 中的 PRX 标志位置 0,当中断屏蔽寄存器 IMR 的 PRXE 标志位置 0 时,禁止中断;置 1 时,当接收到帧后,允许产生中断信号。

CR 寄存器中的 RD2,RD1,RD0 这 3 个位组合起来设定 DMA 的有关操作。=001 启动远程读操作;=010 启动远程写操作;=011 发送网卡数据包;=1 \* \* 终止或结束 DMA 的读写操作。

当远程 DMA 读操作完成后,NIC 将中断状态寄存器 ISR 中的 RDC 位置 0,通过此标志位的状态可判别远程 DMA 读操作是否结束。采用查询式接收帧的程序流程如图 4 所示。

### 5 发送过程

发送指发送方将待发送的数据按帧格式要求封装成帧,再通过处理器的 I/O 通道和 NIC 的远程 DMA 通道将数据写入本地发送缓冲,然后将帧发送到网络的传输线上,由接收方接收。

将目的 MAC 地址 (6Byte)、源 MAC 地址 (6Byte)、类型/数据长度字段 (2Byte)、待发送的数据依次装配成一帧数据。但要注意帧封装时的长度要求。其中数据可以包含 46~1500 字节的数据,少于 46 字节时,需要填充一些无用数据;超过 1500 字节时,需要拆成多个帧传送。

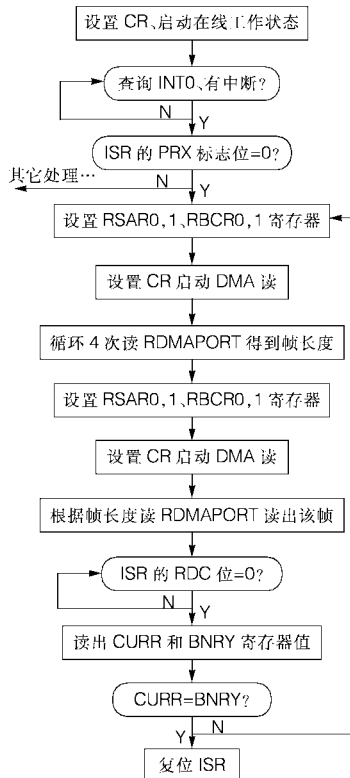


图 4 接收帧流程简图

首先进行远程 DMA 写操作,要初始化有关的寄存器。RSAR0 和 RSAR1 寄存器用来指定远程 DMA 写操作时数据存放的缓冲区首地址。远程字节计数寄存器 RBCR0 和 RBCR1 用来指明本次远程 DMA 操作时传输数据的字节数。

当远程 DMA 写操作完成后,NIC 将中断状态寄存器 ISR 中的 RDC 位置 0,通过此标志位的状态可判别远程 DMA 写操作是否结束。

在发送前,也要初始化有关的寄存器。发送寄存器 TPSR 用来指定待发送帧的起始地址。发送配置寄存器 TCR 用来确定 NIC 在发送帧时的行为方式,如是否在发送的帧后添加 CRC 校验码等。传输字节计数寄存器 TBCR0 和 TBCR1 用来指明待发送帧的长度。帧长度以字节数表示,是目的地址、源地址、类型/数据长度字段和数据域的长度之和。

同接收过程一样,通过设置 CR 寄存器中的 RD2,RD1,RD0 这 3 个位来启动远程写操作和发送数据帧的操作。在发送完毕,测试发送状态寄存器 TSR 中的各标志位来检验是否数据帧已无错发送完成。发送流程如图 5 所示。

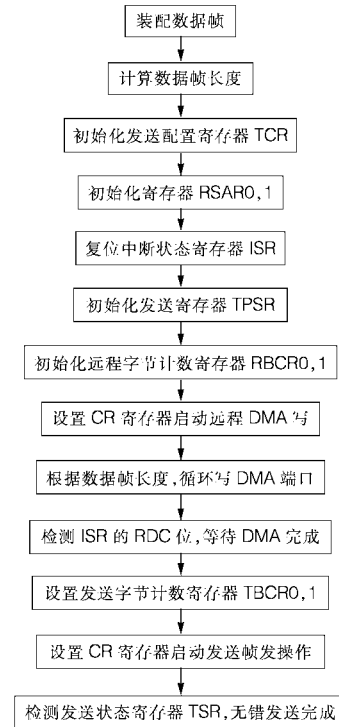


图 5 发送帧流程简图

## 6 结束语

嵌入式系统利用网络接口控制芯片实现与网络的通信功能,成本低,控制方便可靠,满足系统对通信的要求。考虑到本身的特点,在大量工业领域中应用嵌入式设备功能比较单一,在上述网络接口控制芯片接口程序的基础上只需要开发简化的嵌入式协议栈,就可满足许多情况下的应用需求。目前,许多公司和组织致力于将以太网与现场总线实现无缝连接,使以太网越来越向底层延伸。以太网在现场设备中的应用研究和基于以太网的智能芯片的开发等也日益成为研究的热点。总之嵌入式 Internet 适应了 Internet 发展的趋势,可以预言,嵌入式设备与 Internet 的结合代表着嵌入式系统和网络技术的真正未来。

## 参考文献

- 1 80C19KC USER'S GUIDE <http://www.intel.com>
- 2 RTL8019AS datasheet <http://www.realtek.com.cn>
- 3 刘彦明,李鹏. 实用网络编程技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1998
- 4 万静华,丁亚军. 以太网控制器的嵌入式设备网络互连[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2001(12)

[收稿日期:2002.3.6]