

# 基于 LAN9211 的嵌入式高性能以太网接入设计<sup>①</sup>

## Embedded High Speed Ethernet Connection Based on LAN9211

袁 峰 彭楚武 段战钦 (湖南大学 电气与信息工程学院 湖南 长沙 410082)

**摘 要:** 以太网不仅广泛应用于办公室领域,而且一步步向生产和过程自动化迈进,研究和实现嵌入式系统的以太网接入具有深远的意义和良好的应用前景。文章简要介绍了 SMSC 公司生产的嵌入式以太网控制器 LAN9211 的主要特点及工作原理,并介绍基于 S3C2410 的嵌入式系统与 LAN9211 型自适应 10Mb/s/100Mb/s 嵌入式以太网芯片 LAN9211 的软硬件设计方法。

**关键词:** LAN9211 S3C2410 TCP/IP 协议栈 Linux 嵌入式系统

当前已经进入嵌入式系统全面应用时代,目前广泛使用的以太网成为事实上最常用的网络标准之一,而当前基于 TCP/IP 协议的嵌入式以太网方案多数是基于单片机的,它们的一个缺点是速度慢,在实时性要求较高的场合不能达到要求,而基于 ARM 处理器和嵌入式 Linux 的嵌入式系统以其设计灵活、软硬件可裁剪、性能优越、成本低等特点和优势,倍受设计者和使用者青睐,在低功耗、低成本应用领域确立了其市场领导地位。本文介绍了基于 S3C2410 的嵌入式 ARM 处理器与具有 Auto-MDIX 的 10Mb/s/100Mb/s 高性能以太网控制芯片 LAN9211 的接口电路的实现方法。

### 1 LAN9211 以太网控制器简介

LAN9211<sup>[1]</sup>是美国 SMSC 公司生产的专用于嵌入式产品的 10M/100M 快速以太网控制器,该器件具有 HP Auto-MDIX 和 Auto-negotiation 功能,超小尺寸的 56 脚 QFN 封装。该芯片集成了遵循基于载波侦听多路访问和冲突检测(CSMA/CD)技术的 MAC 和 PHY,完全符合 IEEE 802.3/802.3u 标准,是设计嵌入式以太网网络接口的完美选择。

#### 1.1 LAN9211 的主要特性

● 3.3V 电源供应,并自带 1.8V 电源产生器可供

外部使用;

● 自动协商(Auto-negotiation): 10M/100M, 全双工和半双工收发方式;

● HP Auto-MDIX 功能: 自动配置以太网线的收发脚的功能,即支持直连与交叉网线;

● 集成校验和卸载引擎,有助于降低 CPU 的负荷;

● 56 引脚和小体型包装可应用于小型系统的设计;

● 支持音视频流:1 - 2 个高清晰度(HD) MPEG2 流;

● 类 SRAM 的 16 位接口使 LAN9211 很容易与大多数嵌入式 CPU 或 SoC 相连;

● 非 PCI 以太网控制器可在各嵌入式处理器上广泛应用;

● 混合的大小端(endian)选择功能;

● 集成 10/100Mb/s 以太网 MAC 与 10/100Mb/s 以太网 PHY;

● 支持 10BASE-T 与 100BASE-TX;

● 全双工流量控制与带回环压力的半双工流量控制;

● 灵活的地址过滤模式,包括 48 位完美地址过滤,64 位哈希过滤的组播地址模式,混杂模式,以及

<sup>①</sup> 基金项目:湖南省 2006 年度重点科技攻关项目(06SK2014)

收稿时间:2008-09-02

反向过滤模式等;

### 1.2 工作原理简介

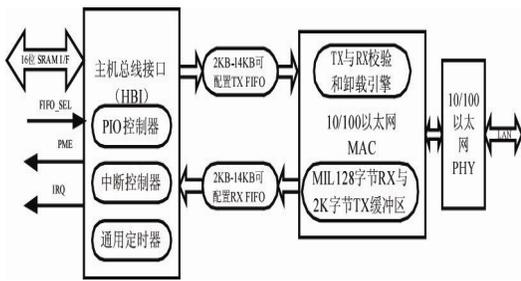


图 1 LAN9211 内部结构图

LAN9211 的系统结构图如图 1 所示。结构图中，LAN9211 的 14K FIFO 为数据及状态包的传输提供缓冲，其中发送与接收路径是分开的，而发送和接收的数据与状态 FIFO 也是分开的，这样保证了在全双工模式下的高性能通信性。媒介存储控制(Media Access Control, 简称 MAC) 中的 MAC 接口层(MAC Interface Layer, 简称 MIL) 包含 2K 字节的发送 FIFO 与 128 字节的接收 FIFO，它区别与主机总线接口(Host Bus Interface, 简称 HBI) 与 MAC 之间的 TX 与 RX FIFO，MAC 中的 FIFO 不能够由主机接口直接访问，其中的数据必需先移到 RX FIFO 之后才能被主机访问，而对 PHY 的访问只能通过 MAC 的介质无关接口(Media Independent Interface, 简称 MII) 来访问。

图 1 中的 PHY 主要包括，编码解码器(4B/5B Encoder)，扰频器(Scrambler and PISO)，NRZI Converter，MTL-3 Converter，100/10Base 发送器与接收器。

对于 100Mbps 来说，发送数据时，经过 MCU 处理并包装好的 IP 数据包传到 TX 数据 FIFO 中排队，然后通过 MAC 将数据从 FIFO 搬运至 MII 并送至 4B/5B 编码器进行编码，并经过扰频器处理和并行输入串行输出(PISO)转换后，进一步将数据进行 NRZI 转换，转换后的数据包变成一串 125MHz 的 NRZI 数据流，并经过 MTL-3 的编码，最后送至 100M 发送器中进行网络发送。接收数据时，从网络传输来的 MIL-3 信号数据进入 PHY，并经过 1:1 比例的转换，ADC 模块以 125M/S 的速率采样输入信号，经过 ADC 采样的 6 位数据被送到 DSP 模块，经过 DSP 的 Equalizer, Wander Correction 与时钟与数据恢复(Clock and Data Recovery)处理后的数据包再经过

MTL-3 与 NRZI 转换，扰频器处理，4B/5B 解码，最后通过 MII 接口送至 MII 块，并最终搬运至 RX 数据 FIFO 中。

10MBase 传输与 100M 的类似，不同的是采用 Manchester 编码与解码。

## 2 系统硬件设计

32 位系统采用三星公司的 S3C2410[2] 芯片，内核为基于 ARM9 的精简指令集(RISC)的通用 32 位高速微处理器。其内置的 PLL 锁相环可将 12MHz 输入的频率倍频到 200MHz。网卡芯片 LAN9211 的输入频率为 25MHz。通过设置 S3C2410 的总线宽度控制寄存器 SCON 和块(bank)控制寄存器 BANKCON1(LAN9211 片选到 S3C2410 的 nGCS1)，就可以使双方的通信达到时序的要求。本系统硬件设计图如图 2 所示。

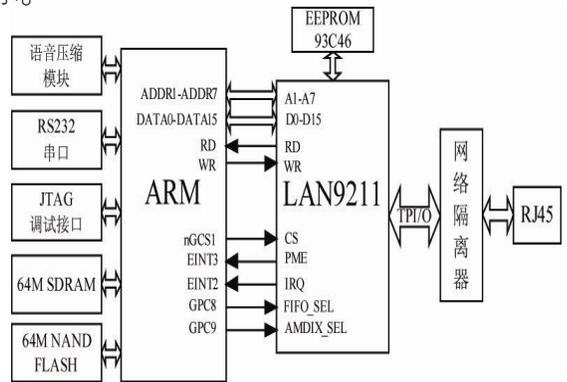


图 2 系统硬件原理图

图 2 中，网络芯片 LAN9211 通过片选映射到 S3C2410 的存储空间 bank1 区(0x18000000)，中断脚(IRQ)与唤醒脚(PME)分别接至 S3C2410 的外部中断 2 与 3 脚，FIFO\_SEL 是用来配合 endian 混合模式的来对数据传输进行大小端选择。JTAG 用于系统引导程序的装入，图中 SDRAM 采用的是 Hynix 半导体公司的 64M 16 位 HY57V561620CT-6 芯片(2 片)，64M NAND FLASH 芯片采用三星公司的 16 位 K9F1208U08 芯片，采用此配置的内存及 flash 芯片，完全可达到语音数据的实时通讯要求。

LAN9211 集成了一个串行 EEPROM 接口，所有内部寄存器的初始值可先放在 EEPROM 中，自举时通过 EEPROM 接口从 EEPROM 芯片输入到网络芯片中，从而实现自动初始化。

### 3 软件设计

本设计利用了当前广为流行的 TCP/IP 协议栈,通过配置对相应功能进行适当裁减,并对协议的相应功能进行增强,以达到设计目的。

#### 3.1 Linux 操作系统的移植

Linux 是一种开源的实时性强、可移植、可裁减的多任务操作系统,它负责管理系统的进程和进程调度、CPU、内存、设备驱动程序、文件、I/O 处理等,决定着系统的性能与稳定。由于内核版本变化日新月异,功能不断加强,性能日益稳定,因此采用了最新稳定版本 linux-2.6.22.3。

根据目标板系统资源,我们必需对内核进行裁减,把需要的系统功能直接编译进内核,而不使用内核模块模式,根据此系统配置我们将 CPU、内存管理、system V 支持、闪存 MTD 驱动、CRAMFS 及 YAFF2 文件系统支持、串口支持、TCP/IP 支持等编译进内核,并且要将编写的网络驱动及语音驱动程序等静态编译进内核,这样编译出来的内核只有 1.4M 多。

#### 3.2 Linux 下网络驱动程序设计

在 Linux 中所有网络设备都抽象为一个接口,这个接口提供了对所有网络设备的操作集合。由数据结构 struct net\_device<sup>[3]</sup>来表示网络设备在内核中的运行情况,即网络设备接口。它既包括纯软件网络设备接口,如环路(loopback),也包括硬件网络设备接口,如以太网卡。而由以 dev\_base 为头指针的设备链表来集体管理所有网络设备,该设备链表中的每个元素代表一个网络设备接口。数据结构 net\_device 中有很多供系统访问和协议层调用的设备方法,包括初始化,打开和关闭网络设备的 open 和 stop 函数,处理数据包发送的 hard\_start\_xmit 函数,以及中断处理函数等。在系统和驱动程序之间定义有专门的数据结构(sk\_buff)进行数据的传递。

由于运行在 linux 操作系统下驱动程序内容比较多,下面着重从 LAN9211 的初始化、发送数据、接收数据三个主要方面做简单介绍。

##### 3.2.1 网络设备的初始化与注册

①获取平台资源,申请 IRQ 中断,申请内存;②检测 endian(字节存放顺序)大小端是否正确,检测芯片是否存在;③软件复位;④填充设备结构体 struct net\_device,其中 ether\_setup 函数完成了大部分设备结构体的工作;⑤最后检测 PHY,通过调用

register\_netdev 函数完成设备的注册。

##### 3.2.2 发送数据流程

①为发送数据包申请内存空间;②发送 LAN9211 命令 A,命令 A 包括了要发送数据的缓冲区尾部对齐字节与数据长度等;③发送 LAN9211 命令 B,命令 B 包括数据包长度和 tag(标识此包的唯一标志)等信息;④发送数据直至全部完成;⑤更新状态标志,释放空间。

##### 3.2.3 接收数据流程

对于数据的接收可以采用 NAPI 或中断方式,NAPI 是一种轮询方式,它的特点是可以对于有大量数据需要处理的时候变得很有效,但我们要处理的是对实时性要求比较高的语音数据,语音数据的处理必须实时同步,否则会出现语音失真,因此需采用中断方式。

LAN9211 采用了接收数据 FIFO 空间与状态 FIFO 空间分开的机制,因此通过适当配置系统控制寄存器中接收阈值中断寄存器,在中断数据到达的时候,只要达到相应的设置值,则会产生相应的中断。

接收数据的具体流程是,①首先开启接收中断;②中断后,用 dev\_alloc\_skb 分配接收缓冲区,并利用 skb\_reserve(skb,2)来在数据包之前保留 2 个字节;③更新结构体 sk\_buff 中的 tail 和 len 变量:skb\_put(skb,len-4);④配置接收配置寄存器,使在数据包之前加入两字节偏移并使数据为四字节对齐方式,开始接收数据,最后通过设置 skb->protocol = eth\_type\_trans(skb,dev) 来确定协议号,调用 netif\_rx(dev)将整个数据包向上层协议传送;⑤最后释放内存空间并清除中断状态位。(上述函数中参数分别为 struct sk\_buff skb,struct net\_device dev,参数 len 为从 LAN9211 芯片接收到的状态寄存器中的数据长度位)。

##### 3.2.4 对介质无关接口的支持

由于 LAN9211 具有 Auto-negotiation 自动协商功能,它可以自动协商来解决相互通信的问题。因此本设计的网络设备是不用来修改协商,不过自动协商也不是万能的,有时也会出现错误,比如丢包率比较高,因此为了保证系统的可靠性,在驱动程序中实现对 MII 的控制,MIII 是用来指定网卡的协商方式的。介质无关接口 MII 是一个 IEEE802.3 标准,它描述了以太网收发器是如何与网络控制器连接的。

##### 3.2.5 对 Netpoll 的支持

主要是让内核在网络和 I/O 子系统尚不能完整可

用时，仍然能发送和接收数据包。主要函数实现如下：

```

void      smsc9211_poll_controller(struct
net_device *dev)
{
    disable_irq(dev->irq);          //禁止中断
    smsc9211_interrupt(dev->irq, dev); //中断
处理函数
    enable_irq(dev->irq);          //恢复中断
}

```

同时在初始化函数中实现 struct net\_device 结构体中 poll\_controller 的引用：

```

dev->poll_controller=smsc9211_poll_controller;

```

### 3.3 TCP/IP 协议栈的实现

国际标准化组织对网络间的通讯机制制定了一套标准：七层结构的开放式系统(OSI)模型，而在 linux 操作系统中，我们真正涉及到的只有其中五层：物理层、链路层、网络层、传输层、应用层。

#### 3.3.1 TCP/IP 协议的简化

TCP/IP 协议<sup>[4]</sup>是 Internet 协议族，包含上百个各种功能的协议，其中 TCP 协议保证数据传输的质量，IP 协议保证数据的传输，本设计的嵌入式系统是面向语音传输而设计的专用系统，嵌入式系统的硬件和软件必需是高效率的设计，为此必需对协议量体裁衣，去除冗余，通过配置内核而精简的 TCP/IP 协议集合如图 3 所示。

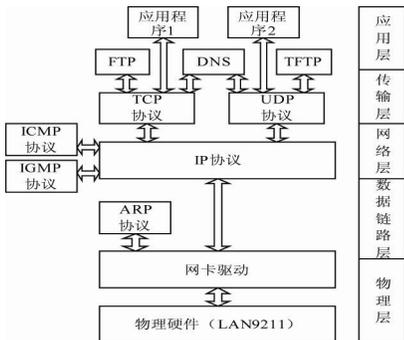


图 3 简化的 TCP/IP 协议结构图

主要协议有：①ARP：地址解析协议，它为 IP 地址到对应的硬件地址之间提供动态映射。②IP：Internet 协议，它是 TCP/IP 协议中最核心的协议，提供无连接的数据报传送服务，所有上层协议都要以 IP 数据报的格式传输。③ICMP：Internet 控制报文协议，它是 IP 层的一个组成部分，是在 IP 数据报内部被传输的，用来传递差错报文以及其他需要注意的信

息，比如端口不可达差错等。④IGMP：Internet 组管理协议，和 ICMP 协议一样，是 IP 层的一部分，它主要用于多播通信，提供网络间多点传送功能。⑤TCP：传输控制协议，它是传输层的协议，提供一种面向连接的可靠的字节流服务。⑥UDP：用户数据协议，它和 TCP 一样是传输层的协议，它是面向无连接的不可靠的协议。

#### 3.3.2 编写应用层软件

实现了基本的 TCP/IP 协议后，可以进行应用层的开发。图 4 为在本终端设备上利用 tftp 来上传 init.ini、conf.ini、sample.txt 3 个文件到 PC 服务器的截图，其中 PC 服务器上利用 tcpdump 工具来检测网络通讯，运行命令为 tcpdump -t dup port 69 and src host 200.200.200.125 (其中 PC 服务器 IP 地址：200.200.200.89，终端设备 IP 地址：200.200.200.125)。

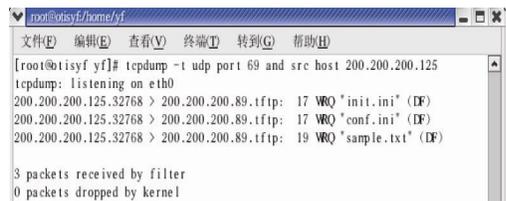


图 4 网络传输截图

## 4 结束语

本方案中采用了高性能 10M/100M 以太网芯片 LAN9211 及 ARM 芯片 S3C2410，极大提高了系统网络处理能力，并可以兼容 10M 低速设备，该设计使网络的高速及可靠性能的优势得到实现，具有极高的性价比，在数字媒介客户/服务器，家庭网关及高端语音视频分布式系统中有着广阔的应用前景。

### 参考文献

- 1 High-Performance Small Form Factor Single - Chip Ethernet Controller with HP Auto-MDIX. America: SMSC Inc, 2007.
- 2 S3C2410X 32-Bit RISC Microprocessor User's manual. Korea: SAMSUNG Inc, 2004.
- 3 Corbet J, Rubini A, Kroah-hartman G Linux Device Drivers. 3rd ed.魏永明,耿岳,钟书毅,译.北京:中国电力出版社, 2006.
- 4 Stevens WR. TCP/IP Illustrated Volume 1: The Protocols.范建华,胥光辉,张涛,等译.北京:机械工业出版社, 2004.