

龙芯 3A 体系架构下 WiFi 模块的设计与实现

张 鹏

(江苏自动化研究所, 连云港 222061)

摘要: 为提高军用国产计算机的移动计算能力, 提出一种在龙芯 3A 体系架构下 WiFi 模块的软硬件设计方法; 在硬件设计部分, 该 WiFi 模块围绕 AR9285 芯片展开设计, 通过 PCI-E 总线与北桥进行连接; 在软件设计部分, 通过在 PMON 中添加 WiFi 模块驱动, 实现初始化、数据发送和接收等功能; 验证结果表明, 移动计算机能够通过 WiFi 模块远程加载操作系统内核, 无线网络数据响应时间约为 1.5 ms。

关键词: 移动计算; 龙芯 3A; WiFi; 802.11; PMON

Design and Realization of WiFi Module on Loongson-3A Architecture

Zhang Peng

(Jiangsu Automation Research Institute, Lianyungang 222006, China)

Abstract: To improve the mobile computing ability of military computer, a new hardware and software design method of WiFi module on Loongson-3A architecture is proposed. The hardware design of WiFi module is based on AR8285 chip. The software design is based on WiFi driver in PMON, include the function of initialization, send and receive data. The result proves the wifi module can work stably, can effectively improve the mobile computing ability.

Keywords: mobile computing; Loongson-3A; WiFi; 802.11; PMON

0 引言

随着计算机技术的高速发展和信息战的愈演愈烈, 移动计算性逐渐成为计算系统研究的关键问题。组建无线局域网是移动计算终端进行数据交互的主要方式。无线局域网是指以无线信道作传输媒介的计算机局域网^[1]。无线局域网的特点是不再使用通信电缆而是利用电磁波在空气中发送和接收数据, 能够有效支持终端移动性。

文章基于 802.11b 协议^[2] 规范开展 WiFi 模块的相关软硬件设计。首先对龙芯 3A 体系架构进行分析, 研究南北桥的接口扩展能力, 并开展 WiFi 模块的硬件原理设计; 在硬件电路实现的基础上, 分析龙芯 3A 平台上 PMON 的原理架构, 介绍了在 PMON 中添加网络驱动的具体流程, 实现了 WiFi 模块的基本功能, 并在实际使用中进行验证。

1 WiFi 简介

WiFi (Wireless Fidelity) 是具有完全兼容性的 IEEE 802.11 标准子集。因此关于 WiFi 的研究与应用都是建立在 IEEE 802.11 系列标准上的。WiFi 具有信号覆盖范围广、传输速度快、通用性高等优点, 是目前最流行的组建无线局域网的方式。IEEE 802.11b 诞生之后, 在原有的 IEEE 802.11 的基础上增加了 5.5 Mb/s 和 11 Mb/s 两种更高的通信速率, WiFi 也就成了 802.11b 协议的代名词。随着 IEEE 802.11b 技术的逐渐普及, 用户可以得到与以太网相当的网络性能、速率和可用性, 管理员也可以无缝地将多种 LAN 技术集成起来。作为全球公认的局域网权威, IEEE 发布了一系列后续版本的 802.11x 协议, 其中 802.11a、802.11b、802.11g、802.11n 应

用最为广泛, WiFi 的涵义也在不断延伸^[3]。

表 1 IEEE 802.11 主要协议规定的参数

协议标准	射频频段(GHz)	最高传输率(物理层)
IEEE 802.11	红外或 2.4	802.11; 2Mbps
IEEE 802.11a	5	802.11a; 54Mbps
IEEE 802.11b	2.4~2.485	802.11b; 11Mbps
IEEE 802.11g	2.4~2.485	802.11g; 54Mbps
IEEE 802.11n	2.4 或 5	802.11n; 300Mbps

IEEE 802.11b 以及后续标准协议的基本结构、特性和服务仍然由最初的 IEEE 802.11 标准定义。IEEE 802.11 系列规范的修改更新仅作用在物理层, 目的是在保证兼容性的情况下提供更高的数据传输速率和更牢固的连接性。IEEE 802.11 协议体系结构如图 1 所示。

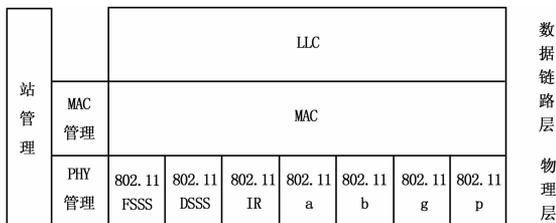


图 1 IEEE 802.11 协议体系结构

2 硬件设计与实现

在硬件设计部分, 从分析龙芯 3A 体系架构出发, 研究龙芯 3A 处理器内部的两层互连结构及 MIPS 指令集, 在此基础上围绕 AR9285 芯片设计 WiFi 模块的硬件框图, 并针对每个单元进行功能介绍。

收稿日期: 2014-02-15; 修回日期: 2014-03-17。

作者简介: 张 鹏(1983-), 男, 江苏连云港人, 工程师, 工学硕士, 主要从事计算机系统技术应用方向的研究。

2.1 龙芯 3A 处理器

龙芯 3A 是龙芯 3 号多核处理器系列的第一款产品^[4]，采用 65 nm 工艺制造，最高工作主频为 1 GHz。在单个芯片内集成了 4 个 64 位的四发射超标量 GS464 高性能处理器核、2 个 64 位 400 MHz 的 DDR2/3 控制器、2 个 16 位 800 MHz 的 HyperTransport 总线控制器、32 位 33 MHz PCI/ PCIX 控制器、以及 1 路 LPC、2 路 UART、1 路 SPI、16 路 GPIO 接口。龙芯 3A 处理器芯片结构如图 2。

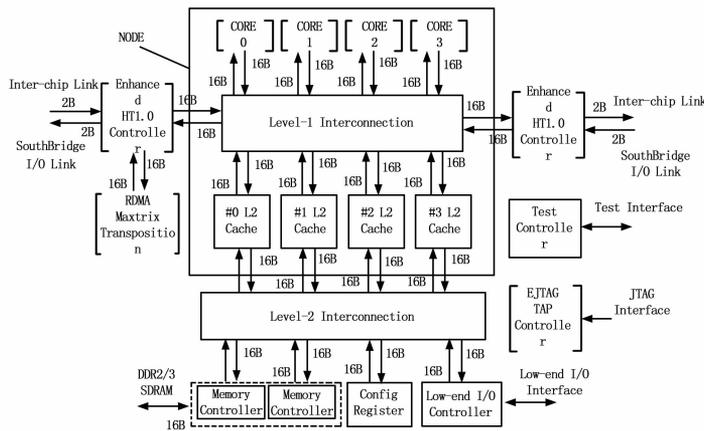


图 2 龙芯 3A 芯片结构

第一层互连采用 6x6 的交叉开关，用于连接 4 个 CPU（作为主设备）、4 个二级 Cache 模块（作为从设备）、以及两个 IO 端口（每个端口使用一个 Master 和一个 Slave）。一级互连开关连接的每个 IO 端口连接一个 16 位的 HT 控制器，每个 16 位的 HT 端口还可以作为两个 8 位的 HT 端口使用。HT 控制器通过一个 DMA 控制器和一级互连开关相连，DMA 控制器负责 IO 的 DMA 控制并负责片间一致性的维护。龙芯 3 号的 DMA 控制器还可以通过配置实现预取和矩阵转置。

第二级互连采用 5x4 的交叉开关，连接 4 个 2 级 Cache 模块（作为主设备），两个 DDR2 内存控制器、低速高速 I/O（包括 PCI、LPC、SPI 等）以及芯片内部的控制寄存器模块。

上述两级互连开关都采用读写分离的数据通道，数据通道宽度为 128 bit，工作在与处理器核相同的频率，用以提供高速的片上数据传输。

龙芯 3A 指令集兼容 MIPS32 和 MIPS64 的处理器核。

2.2 硬件平台架构

龙芯 3A 处理器的外围电路采用南北桥芯片体系架构。CPU 与北桥通过高速 HT 总线互连，HT 总线的发送端和接收端分别包含 16 对差分数据命令总线、2 对差分控制信号和 2 对差分时钟信号，能够实现 CPU 与北桥之间的高速率数据传输。北桥与南桥通过 A-LINK 总线互连，A-LINK 总线包含 4 对差分数据发送信号、4 对差分数据接收信号、1 对差分时钟信号和 1 对差分控制信号。WiFi 模块通过 PCI-E 总线与北桥连接。移动计算机还集成了 PCI 桥、显示、网络、IDE 控制器、SATA 控制器、USB 控制器等接口功能，图 3 描述了硬件平台总图框图。

2.3 WiFi 模块硬件设计

2.3.1 WiFi 模块原理

本设计中 WiFi 模块采用 Atheros 公司的 AR9285 芯

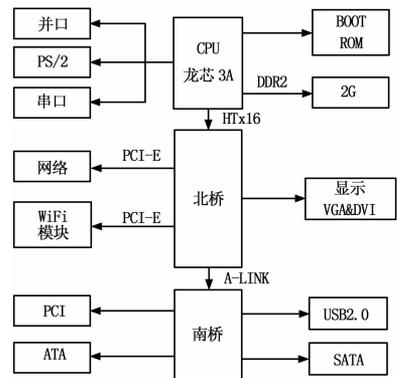


图 3 硬件平台总体框图

片，采用 40 MHz 的时钟信号，3.3 V 供电设计，使用频带为 2.4 GHz 的射频信号，支持 802.11b、802.11g 和 802.11n 协议。WiFi 模块中包含数据发送器、数据接收器、射频转换电路、AD/DA 转换电路、MAC 解释器、接口控制器等主要功能部件。在数据发送端，CPU 需要发送的数据通过北桥的 PCI-E 总线传输至 WiFi 模块，接口控制器通过总线转换电路将数据发至 MAC 解释器，数据通过 DA 转换将数字信号转换为模拟信号传输至数据发送器，最后由射频转换电路将模拟信号转换为 2.4 GHz 射频信号向外发射。在数据接收端，与发送端相反，2.4 GHz 射频信号经射频转换、模拟信号接收、AD 转换、MAC 协议解释、接口总线转换，最终通过 PCI-E 总线将数据通过北桥传输至 CPU。WiFi 模块内部原理见图 4。

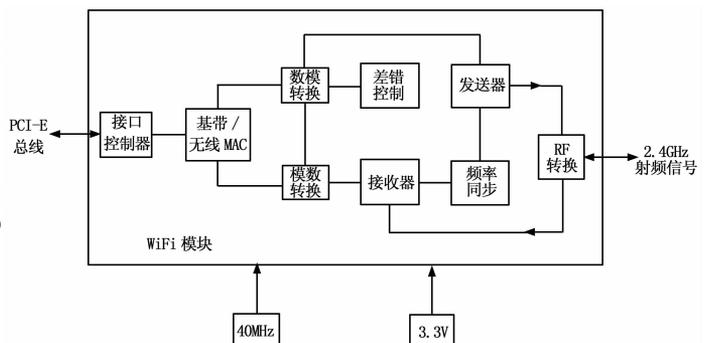


图 4 WiFi 模块内部原理

PCI-E 总线接口控制器实现了中断控制、I/O 数据读写、寄存器读写等多功能的复杂时序处理能力。基带/无线 MAC 单元主要实现了 MAC 解释器功能，对硬件交换数据帧和管理帧进行译码。数模转换器、模数转换器实现数字信号与模拟信号的相互转换。差错控制单元通过反馈纠错机制来降低误码率，有效提高信道传输质量^[5]。发送引擎和接收引擎完成 MAC 与物理层的数据交互，是 MAC 与物理层的接口模块。RF 转换器内部集成了调制解调器、压控振荡器以及频率合成器，实现电信号与射频信号之间的转换。频率同步单元主要实现发送信号与接收信号之间的频率同步。上述功能单元完成了 WiFi 模块硬件机制的构建。

2.3.2 PCB 设计

良好的 PCB 设计能够有效保证信号完整性。影响信号完整性的主要因素有元器件及 PCB 参数、PCB 布局布线、电源

和地的完整性等,在该模块的 PCB 设计中通过以下设计来实现信号完整性^[6]。

在总体布局方面,该模块的关键元器件主要有数据发送器、数据接收器、射频转换电路、AD/DA 转换电路、MAC 解释器、接口控制器,数据信号通过 PCI-E 总线接口控制器与北桥进行交互。元器件布局以关键信号优先设计为原则,统筹考虑各芯片之间的信号流向关系,均匀分布。

在叠层设计方面,考虑到叠层数量及方式将直接影响 PCB 的布线和阻抗,因此通过合理的叠层设计来避免电磁干扰,提高系统可靠性。高速信号不宜采用分割的电源层作为参考平面,兼顾 PCB 制作工艺水平,叠层设计以基板为中心采用对称形式,两个电源平面位于叠层中间。印制板采用 6 层叠层设计,为避免相邻信号层的信号产生层间串扰,设计时每个信号层都与地平面相邻,为其设置独立的参考平面层,提供单独的信号回路。叠层参数如表 2 所示。

表 2 印制板叠层参数设置

Conductive Layer Number	Layer Type	Thickness (th)	Resistivity (OhmMeters)	Dielectric Constant	Description
	Dielectric	3		1	Solder_Mask
1	Signal	.7	1.67E-008		Microstrip
	Dielectric	20		4.7	Core/Pre-preg
2	Signal	1.4	1.67E-008		Stripline
	Dielectric	6		4.4	Core/Pre-preg
3	Signal	1.4	1.67E-008		Stripline
	Dielectric	6		4.4	Core/Pre-preg
4	Signal	1.4	1.67E-008		Stripline
	Dielectric	6		4.4	Core/Pre-preg
5	Signal	1.4	1.67E-008		Stripline
	Dielectric	6		4.4	Core/Pre-preg
6	Signal	.7	1.67E-008		Microstrip
	Dielectric	3		1	Solder_Mask

在布线设计方面,WiFi 模块印制板遵循以下布线原则:

(1)所有高速差分信号均采用带状传输线,重要信号线避免布在顶层和底层,缩短走线距离,减少过孔数量,减少电磁辐射干扰;

(2)采用紧耦合方式,差分信号对的两条传输线尽量等长,布线时严格保持平行走线方式,且每对差分信号线的线宽和间距遵守紧耦合原则,从而确保两条差分信号线产生的磁场相互抵消;

(3)每条链路中同传输方向的差分信号对在同一平面内走线,且使差分信号层夹在两个地参考平面之间,以确保为差分信号传输提供良好的参考平;

(4)在设计目标阻抗时,尽量使导体靠近地平面,使传输线与地平面进行紧密耦合,减少对邻近信号线的干扰,同时尽量减小邻近信号间平行走线的长度,如果相邻层的传输线存在较为严重的耦合效应,布线时应彼此正交。

3 软件设计与实现

在软件设计部分,从分析 PMON 的实现架构出发,研究 PMON 的主要代码结构、初始化流程及启动方式。通过在设备初始化阶段对 WiFi 设备进行初始化配置的方式实现 WiFi 模块的驱动,并对关键实现函数进行描述。

3.1 PMON 组织架构

PMON 是基于 MIPS 架构的龙芯 CPU 使用的基本输入输出系统(BIOS)^[7]。PMON 是一个兼有 BIOS 和 boot loader 部分功能^[8]的开源软件,多用于嵌入式系统。基于龙芯的系统采用 PMON 作为类 BIOS 兼 boot loader,并在其基础上做了很多完善工作,支持 BIOS 启动配置,内核加载,程序调试,内存寄存器显示、设置以及内存反汇编等等。仅需 512 kB ROM,128 kB RAM 就能实现 PMON 的全部特性。

PMON 有如下主要特点:

- (1)支持 ext2、fat32、RAMDISK 文件系统;
- (2)支持网络引导(tftp),磁盘引导,flash 引导;
- (3)内建调试功能;
- (4)支持 USB2.0 Mass Storage;
- (5)支持 MIPS、龙芯、ARM、PowerPC 平台。

3.1.1 PMON 架构分析

PMON 除了具有基本的 I/O 功能外,还包括 CPU 初始化、板级外设初始化与检测、操作系统引导和调试等功能,并且 PMON 支持从 Flash、IDE、TFTP 以及 USB 来启动操作系统。PMON 的内部架构如图 5 所示。

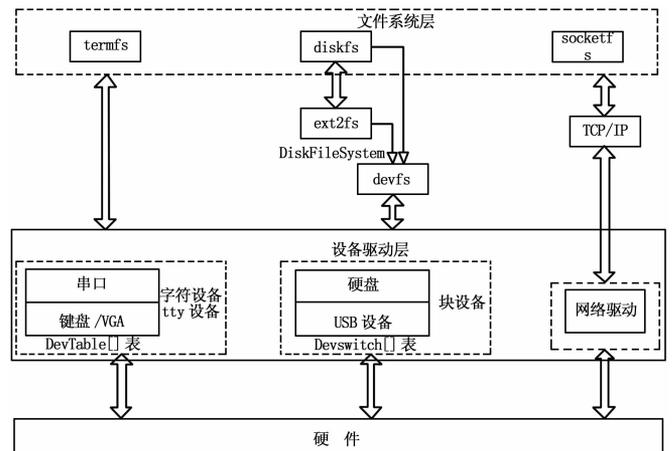


图 5 PMON 架构分析

3.1.2 PMON 初始化流程

由于在 ROM Flash 运行的速度比较慢,并且空间有限,不能随时更改 ROM 中的内容,就需要把引导程序搬到内存里运行^[9]。因此,PMON 的运行过程分为两个阶段:第一阶段是在 ROM Flash 中运行,主要进行基本硬件初始化,如:北桥、南桥、内存控制器、缓存和串口初始化等;第二阶段在内存中执行,主要完成环境变量和基本数据结构的初始化、PCI 总线扫描和设备初始化,显卡初始化、网络协议和设备初始化,并对搜索到的 PCI 总线上的设备进行驱动程序的加载与配置等,最后加载操作系统内核,具体初始化流程如图 6 所示。

3.1.3 PMON 启动方式

系统上电后,根据 ShowBootMenu 环境变量的设置情况,PMON 启动流程稍有不同。若 ShowBootMenu 的值为 yes,则默认首先从硬盘上搜索/boot.cfg 或者/boot/ boot.cfg;若存在则读取内容后显示相应的菜单等待用户交互后来选择要启动的内核,如果不存在,则从 al 设置的指示来启动内核;若 al 环境变量未正确设置,则进入 PMON console 界面。在读取 boot.cfg 之前可以按 Del 来中断直接进入 PMON console 界面。

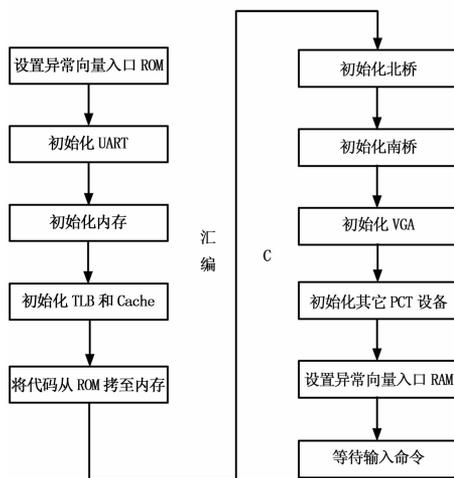


图 6 PMON 初始化流程

3.2 WiFi 设备驱动设计

WiFi 设备驱动主要实现设备初始化、数据发送、数据接收三部分功能。

初始化部分主要完成 Tx、Rx 描述符的建立与初始化、内存分配等。首先通过 PMON 的功能调用查找设备，其次是对 WiFi 设备配置空间进行读写，并为其分配地址空间，通过配置空间数据，可以得到 WiFi 设备的 I/O 口的基地址。计算机在初始化时会读取 WiFi 设备的配置空间值。

数据发送模块通过协议栈请求传输数据包，调用驱动程序的发送函数，将发送的数据拷贝到发送 DMA 缓冲区，然后将缓冲区的物理地址传递给网卡，启动网卡传输，网卡就用 DMA 方式把数据发送出去。

数据接收模块采用轮询方式检测中断寄存器 RxOK 是否置位，如果 RxOK 位置位说明有数据到达网卡，并且已经通过 DMA 将数据传输到主设备的存储器中，这时数据接收模块将通知网络协议接口层有数据到达，由接口层负责数据接收，并将接收描述符的状态复位。

在 PMON 中添加 WiFi 设备驱动，首先要在 /pmon/loongson3/dev/pcie 配置文件^[10]中添加以下部分：

```
device wem:ether,ifnet,ifmedia,mii
attach wem at pcie
file /dev/pcie/wlan/net_wem.c wem
```

以上语句定义了设备挂载的总线，以及描述了待编译设备驱动的源代码文件位置，在重新编译 PMON 时需要执行 make cfg 命令，执行成功后会读取配置文件，从而生成一个名为 cfdata 的数组，在 PMON 的启动过程中会通过 configure 函数去配置已知的各个设备，并通过扫描有哪些设备挂在了总线上，PMON 根据 cfdata 数组^[11]依次扫描设备。模块设备驱动调用的主要函数如表 3 所示。

通过以上函数可以完成网络初始化以及网络数据的发送和接收工作。编译成功后，会在目录下生成一个 gzrom.bin 文件，将其烧入 boot rom 的 0xbfc00000 地址处即可^[12]。

4 WiFi 设备功能验证

对完成编译的 PMON 进行功能性能测试，重点验证无线网络数据收发能力以及系统加载功能。

表 3 设备驱动主要功能函数列表

函数名称	函数说明
dbginit	调用函数 init_net 进行网络初始化
init_net	网络初始化关键函数，路径 sys\kern\init_main.c 中可查看源代码；init_net 函数设置了调试 LOG 输出的内容。根据不同的调试参数可以对输出 LOG 的级别进行配置，例如最高级别为设置所有 LOG 输出
paraminit	设置全局参数，例如时间片的大小、进程的个数等
vminit	设置内存分配的起始地址
kmeminit	设置内核内存的分配链表结构，设置内存分配的起始地址和大小。其实就是指向上一个函数里分配的内存位置
callout	创建调用队列
startrtclock	保存时钟计数和时间
mbinit	初始化网络使用的 MBUF 缓冲区
ifinit	初始化网络设备及相关协议
init_proc	初始化所有进程表，并把当前进程列为第一个进程
enablertclock	设置软件时钟中断
INET_get	从 Flash 里读取 IP 地址，并在网卡中进行设置

将移动计算机与用于无线网络测试的主机放置在同一房间内，开启主机的无线路由功能，并配置 IP，分别从主机和移动计算机 PING 对方，无线网络功能正常，数据响应时间约为 1.5 ms。

主机端开启 tftp 软件，移动计算机在 PMON 下通过 tftp 加载 vxworks 内核，结果如下所示。

```
PMON> load tftp://192.168.1.100/vxworks
Loading file:tftp://192.168.1.100/vxworks(elf)
0x80200000/2366976+0x80480000/236536+0x804b9bf8/237032(z)+
0x804f3a00/4224(z)+
7183syms cannot read sym table
Entry address is 80200000
```

由此可见，该 PMON 能够正常连接到 tftp 服务，并且正常加载系统内核。

5 结束语

5.1 本文工作总结

本文从介绍 802.11b 无线网络协议出发，研究了龙芯 3A 体系架构，在分析龙芯 3A 处理器内部的两层互连结构及 MIPS 指令集的基础上，提出一种 WiFi 模块的硬件设计方案，并详细介绍了模块中各硬件单元的功能。该模块数字端通过 PCI-E 总线与北桥相连，实现与处理器的数据交互；模拟端通过 RF 收发器实现 2.4 GHz 射频信号的发送与接收。在 PCB 布线过程中，充分考虑信号完整性以及关键信号的处理规则，实现 PCB 信号布局及叠层的合理设计。

在 WiFi 模块驱动设计方面，首先研究 PMON 的实现架构，在分析了 PMON 的启动及初始化流程的基础上进行 WiFi 模块的设备驱动设计，详细介绍了驱动程序中各关键函数的具体作用，实现了模块的初始化、数据发送及数据接收功能。通过编译生成 gzrom.bin 文件烧入 boot rom，并在计算机实际使用环境中进行功能测试，证明 WiFi 模块能够通过无线网络从服务器上加载 vxworks 操作系统内核并运行，实现了龙芯 3A 体系架构下 WiFi 模块的设计。

(下转第 2276 页)

4 R-U 公式拟合与温度解算

采集得到的热敏电阻的分压值，经过线性插值拟合 R-U 公式计算出热敏电阻的阻值，并通过 T-R 计算得到热敏电阻温度值。

当前转换的 AD 电压测量值 U_x ，根据 R-U 公式计算得到的电阻值 R_x ，再根据 T-R 公式计算出温度测量值 t_x 。R-U 公式根据实际测量结果对比进行了多项式多阶拟合，实现测试中表明，5 阶多项式拟合精度最高，误差最小。

R-U 公式：

$$R_x = a_0 * U_x^5 + a_1 * U_x^4 + a_2 * U_x^3 + a_4 * U_x^2 + a_5 * U_x + a_6$$

式中， $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ 根据每路在热敏电阻的不同温度点对应的电压值，用五次多项式拟合出的系数，拟合曲线误差见图 4。根据热敏电阻的阻值与温度之间的 T-R 公式最终计算出温度：

T-R 公式：

$$t = \frac{2c}{-b + \sqrt{b^2 - 4c(a - \ln R)}} - 273.15 \quad (6)$$

式中， t 为温度 (°C)； R 为电阻 (Ω)； a, b, c 为热敏电阻系数

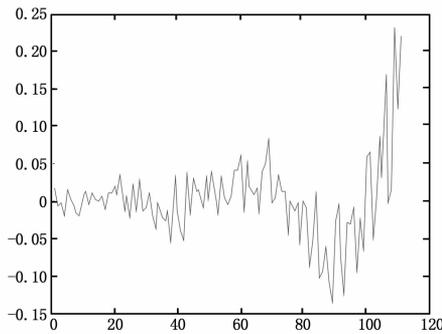
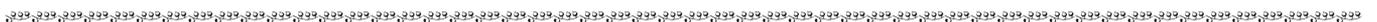


图 4 R-U 五次多项式拟合曲线误差



(上接第 2269 页)

5.2 下一步研究方向

可从两方面继续开展研究：(1) 在现有平台下实现 IEEE 802.11g/n 协议标准^[13]，实现更高移动计算能力；(2) 在中标麒麟等 Linux 版本的内核中完善相应驱动及上层应用，进一步推动移动计算领域关键技术的自主能力。

参考文献：

[1] 刘乃安. 无线局域网 (WLAN) 原理、技术与应用 [M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2004.

[2] 金 纯，陈林星，杨吉云. IEEE 802.11 无线局域网 [M]. 北京：电子工业出版社，2004.

[3] IEEE P802.11n, part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Enhancements for Higher ThroughPut [Z], Feb, 2007.

[4] 中国科学院计算机技术研究所. Loongson3A 用户手册 (V1. 7) [Z]. 北京：中国科学院计算机技术研究所，2011.

[5] 苏培培，李士刚. 基于龙芯 2F 的便携机主板设计技术研究及实现

5 积分分离式 PID 控制

相机温度控制算法采用积分分离式 PID 控制。设定一个积分阈值 ϵ ，当温度偏差的绝对值在 ϵ 范围外时，屏蔽积分作用，采用 PD 控制；当温度偏差的绝对值在范围 ϵ 内时，开启积分作用，采用 PID 控制。分环节消除了系统静差，提高控制精度，微分环节可以对系统的偏差的变化趋势作出预测，加快改善系统品质，系统对测量的温度信号进行了 64 次均值滤波和滞后滤波，提高信噪比。对加热片的加热功率控制采用 PWM 技术，由上述控制算法得到的位置式 PID 算式控制量作为输出，直接改变加热片通断占空比，从而可实现对温度的闭环连续控制。使 PID 算式输出控制量与电热管通电时间成正比，即可实现加热功率的连续调节。采用 DSP TMS320F240 输出 PWM 波，PWM 波的载波由 DSP 的定时器触发，载波周期为控温步长，每次定时时间，CPU 都进入中断服务子程序，在中端服务子程序中 CPU 计算出每个控温回路 PWM 脉冲需要的占空比，生成了连续的 PWM 波对加热片进行控制。

6 结束语

分布式测温装置具有集成度高、精度高、功耗低等优点。本文采用 DSP 作为温度测量与控制器的核心，同时采用 ADC128S102 作为温度转换器件，系统集成度显著提高，大量减少元器件，抗干扰能力增强，可靠性得到很大改善。数字化、模块化的设计使得系统的适用性更好，相关的控制算法更易实现，非常适合于应用于轻小型星载相机控温的实现。

参考文献：

[1] 李国强，姚根和. 中国星载 CCD 相机控温仪性能比较 [J]. 航天返回与遥感，2006，27 (4)：45-48.

[2] 陈世平. 空间相机设计与试验 [M]. 北京：宇航出版社，2003.

[3] 李 娟，梁夫彧，栗 欣. 浅谈地球同步卫星温控系统的管理 [J]. 中国航天，2006，(1)：23-25.

[4] 闵桂荣，郭舜著. 航天器热控制 [M]. 北京：科学出版社，1998.

[J]. 计算机测量与控制，2012，(2)：435-437.

[6] 蔡兴建. 基于 IBIS 模型的高速电路信号完整性研究 [D]. 上海：上海交通大学，2000.

[7] 江苏中科龙梦科技有限公司. PMON 手册. Revision 0.1 [Z]. 南京：江苏中科龙梦科技有限公司，2009.

[8] 韩山秀，樊晓樾，张盛兵等. BIOS 的设计与实现 [J]. 微电子学与计算机，2005，22 (11)，113-115.

[9] 张菊莉，张君毅，孟小锁. 基于龙芯 2F 架构的 PMON 分析与优化 [J]. 现代电子技术，2011，(34)，19-21.

[10] 徐恒阳. 龙芯多核平台上性能分析工具的设计与实现 [D]. 合肥：中国科学技术大学，2011.

[11] 郭利财，刘燕君. 龙芯 3A 处理器上 FFT 的高效实现 [J]. 小型微型计算机系统，2012，(3)，594-597.

[12] 王 雷，樊晓樾，王党辉. 龙芯 3A 平台 Vxworks 移植的研究和实现 [J]. 微电子学与计算机，2012，(2)，86-90.

[13] 牛 伟，郭世泽，吴志军. 无线局域网 [M]. 北京：人民邮电出版社，2003.