



ColdFire Embedded System Design

ColdFire嵌入式 系统设计

申忠如 陶慧斌 曹建安 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

ColdFire 嵌入式系统设计

申忠如 陶慧斌 曹建安 编著

西安电子科技大学出版社

2006

内 容 简 介

本书以性价比较高的适合于工业用途的 ColdFire 系列 MCF5307 CPU 为核心,全面地讲述了 32 位嵌入式系统的设计方法,内容包括嵌入式系统的基本概念以及 ColdFire 开发板的硬件设计、软件编程和工程项目实例。本书通过对 ColdFire 开发板的全面剖析,培养读者设计完整系统的能力,并辅以实际的工程项目,教导读者如何完成实际的嵌入式系统开发。

本书可作为电气工程、电子信息、能源化工、机械制造、环化、生物医电等领域研究生和高年级本科生的教学用书,也可供相关工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

ColdFire 嵌入式系统设计 / 申忠如等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2006.2

ISBN 7-5606-1638-0

I. C… II. 申… III. 微处理器, ColdFire—系统设计 IV. TP322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 000109 号

责任编辑 龙 晖 云立实 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 17.5

字 数 412 千字

印 数 1~4000 册

定 价 27.00 元

ISBN 7-5606-1638-0/TP·0392

XDUP 1930001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

随着后 PC 机时代的到来,嵌入式系统在软硬件技术上得到了很大提升。在硬件上以高性能、低功耗处理器为核心,在软件上以操作系统为基础的嵌入式系统应用十分广泛,从家电到工业控制,从计算机中的硬盘、光驱和 ADSL 网卡到国防工业,例子不胜枚举。

目前嵌入式处理器常见的有 ARM、PowerPC、MIPS、ColdFire(冷火)等,比较流行的有 Freescale 的 ColdFire 和 ARM。Freescale 是嵌入式处理器领域的领导者,它生产的 68 K 及 ColdFire 系列处理器在工业控制中占有绝对地位;而 ARM 处理器是当今最流行的嵌入式处理器内核,它在家电和通信行业中应用十分广泛。二者在原理上没有什么本质区别,掌握任何一种嵌入式系统的设计,均可方便地转入其它型号的嵌入式系统的设计。

以嵌入式系统设计应用为平台,可促进多学科的知识融合,可进行片上系统(SOC)设计、高速实时信号处理、基于 FPGA 的系统设计、多约定条件下的软件编程和实时操作系统的研究等。

在西安交通大学研究生电气技术创新实验室已研制的、具有自主知识产权的嵌入式开发平台上,学生可针对特定环节进行专项研究,通过自主创新设计使该环节的性能得以改善。

本书是按照西安交通大学研究生公共基础课程教学大纲编写的,目的是通过本课程的学习使学生在掌握必要的理论和实验技能的基础上,通过自主设计进一步完善并扩充知识量,实现专业融合,拓宽视野,在设计过程中培养创新意识。

本书初稿于 2003 年由西安交通大学研究生电气技术创新实验室编写完成,并在本校研究生教学中试用。第二稿于 2004 年春完成,并正式成为研究生选修课程的教材,首次选修人数已逾百人,覆盖电气、电信、能动、生物医电和机械等五个学院。第三稿(即本书)于 2005 年 11 月完成。

本书共分六章。

第 1 章介绍了嵌入式系统的基础概念,包括嵌入式系统与 PC 机和 MCS-51

系统的区别，嵌入式系统的基本组成，选择嵌入式系统的基本原则，并介绍了工具链的选择和 32 位 CPU 的调试技术。

第 2 章以 ColdFire MCF5307 处理器为核心，介绍其结构框图、核心模块和接口。

第 3 章介绍了 MCF5307 的指令系统，并且通过程序演示和源程序分析来加强对指令系统的理解。

第 4 章介绍嵌入式系统的硬件设计，重点是接口时序和外围器件，包括对小规模逻辑芯片的选取。本章给出了常用的最小系统接口设计实例，并通过分析 ColdFire 开发板的设计，进一步使学生学会对实用系统的组建和调试。

第 5 章介绍操作系统的基本概念，在此基础上配合实验使学生掌握对操作系统的选取、移植以及如何编写应用程序。

第 6 章介绍了本电气技术创新实验室研制的嵌入式多功能电量测试仪，进一步使学生学会如何组织项目开发，达到学以致用目的。

附录中给出了主流 CPU 列表、小规模逻辑芯片选型、开发环境的建立、基础实验导引、项目管理和常用网站，供读者参考。

为了降低成本，本书未配光盘，相关的配套资料放置于西安交通大学研究生电气技术创新实验室网站上，网址为 <http://getilab.xjtu.edu.cn/>，欢迎读者访问。网站上提供了与本书配套的自主设计实验和提高实验的相关资料，同时开设 BBS 讨论区，以便和读者交换意见，共同探讨，相互学习，求得共同进步。

本书由申忠如教授担任主编，陶慧斌博士、曹建安博士担任副主编，王建校高工和研究生杨敏、康勇参与全书的校稿和附录的编写，研究生姚顺提供第 6 章的原始素材。参加讨论的研究生还有师哲峰、王瑞杰、邓凤军、杜金周等。

作者在编写本书的过程中参阅了不少参考书和资料，学习和吸取了不少经验，同时得到了西安交通大学研究生院、电气工程学院的领导和有关教授的具体帮助和指导，也得到了西安电子科技大学出版社的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

限于水平和经验，本书难免存在不足和错误之处，敬请读者批评指正。

作 者

2005 年 11 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统的基本概念	1
1.1 什么是嵌入式系统.....	1
1.2 嵌入式系统与普通 PC 系统.....	1
1.3 嵌入式系统与 MCS-51 系统.....	2
1.4 设计嵌入式系统应掌握的知识.....	3
1.5 如何选用嵌入式系统.....	4
1.6 嵌入式系统的基本组成.....	4
1.6.1 嵌入式系统的硬件构成.....	5
1.6.2 嵌入式系统软件.....	8
1.7 工具链的选择.....	10
1.8 32 位 CPU 调试技术.....	12
第 2 章 ColdFire MCF5307 处理器	13
2.1 ColdFire 系列概述.....	13
2.2 MCF5307 处理器概述及其引脚.....	14
2.3 MCF5307 CPU 结构介绍.....	16
2.3.1 MCF5307 CPU 的核心模块.....	17
2.3.2 SIM 模块.....	21
2.3.3 外部总线接口.....	49
2.3.4 其它通用接口模块.....	52
2.4 MCF5307 结构中的基本寄存器集.....	73
第 3 章 ColdFire MCF5307 CPU 指令系统	75
3.1 编程模型.....	75
3.1.1 整数运算单元用户编程模型.....	75
3.1.2 乘加运算 MAC 单元用户编程模型.....	76
3.1.3 增强型乘加 EMAC 单元用户编程模型.....	77
3.1.4 管理员编程模型.....	78
3.1.5 整数数据格式.....	81
3.1.6 乘加单元数据格式.....	81
3.2 寻址方式.....	82
3.2.1 汇编指令的格式.....	82
3.2.2 指令格式.....	83
3.2.3 寻址方式.....	83

3.2.4 堆栈.....	88
3.3 指令汇总.....	89
3.3.1 运算符号.....	89
3.3.2 数据移位指令.....	91
3.3.3 整数算术运算指令.....	94
3.3.4 逻辑指令.....	95
3.3.5 移位指令.....	96
3.3.6 位操作指令.....	96
3.3.7 程序控制指令.....	97
3.3.8 系统控制指令.....	99
3.3.9 高速缓存维持指令.....	101
3.4 程序演示.....	101
3.5 演示程序源程序分析.....	103
第 4 章 嵌入式系统的硬件设计.....	114
4.1 CPU 的选取.....	114
4.2 外围器件的选取.....	115
4.3 MCF5307 总线接口时序.....	115
4.4 外设与 MCF5307 接口的注意事项.....	117
4.5 设计实例.....	118
4.5.1 MCF5307 与 ADS7864 的接口设计.....	119
4.5.2 MCF5307 与 DAC0832 的接口设计.....	121
4.5.3 MCF5307 与键盘 W83977TF 的接口设计.....	122
4.5.4 MCF5307 与静态存储器的接口设计.....	122
4.5.5 MCF5307 与 LCD 的接口设计.....	123
4.6 中断的正确使用.....	124
4.7 小规模逻辑芯片的选取.....	124
4.7.1 BIAS V_{CC} 偏置电源.....	125
4.7.2 其它注意事项.....	125
4.8 ColdFire 开发板设计.....	127
4.8.1 ColdFire 开发板的体系结构.....	127
4.8.2 开发板的硬件设计.....	127
4.8.3 ColdFire 开发板介绍.....	142
第 5 章 32 位操作系统的使用.....	147
5.1 操作系统的基本概念.....	147
5.1.1 操作系统的概念与功能.....	147
5.1.2 嵌入式操作系统的要求.....	147
5.1.3 实时操作系统概述.....	147

5.2	Nucleus 的使用	148
5.2.1	Nucleus 的基本组成	148
5.2.2	常用 API	149
5.2.3	一个简单的实例	152
5.2.4	硬盘驱动的定制	155
5.2.5	Nucleus File 的 IDE 驱动定制	157
5.2.6	网卡驱动的定制	163
5.2.7	Nucleus Net 硬件相关部分	165
5.3	μ Clinux 的使用	166
5.3.1	μ Clinux 的基本概念	166
5.3.2	μ Clinux 的定制	167
5.3.3	用户平台的定制	170
5.3.4	驱动程序的编写	171
5.3.5	应用程序的编写	172
5.3.6	硬盘驱动的定制	173
5.3.7	网卡驱动的定制	173
5.3.8	USB 驱动的定制	174
第 6 章	嵌入式多功能电量测试仪的设计	178
6.1	基本理论与算法分析	178
6.1.1	基本电气参量测量原理	178
6.1.2	窗函数插值 FFT 算法	180
6.1.3	算法仿真与准确度分析	183
6.2	硬件设计	185
6.2.1	主系统板	186
6.2.2	信号调理模块	189
6.2.3	数据采集模块	191
6.3	软件设计	194
6.3.1	嵌入式操作系统的移植	194
6.3.2	应用程序设计	198
6.4	抗干扰设计	204
6.4.1	干扰的抑制	204
6.4.2	电源干扰的抑制	208
6.4.3	PCB 抗干扰设计	209
6.4.4	软件抗干扰措施	209
6.5	功能测试	209
6.5.1	准确度测试	210
6.5.2	误差分析	213

附录 1 主流 CPU.....	214
附录 2 小规模逻辑芯片.....	216
附录 3 开发环境的建立.....	218
附录 4 基础实验导引.....	242
附录 5 项目管理.....	256
附录 6 常用网址.....	270
参考文献.....	271

第 1 章

嵌入式系统的基本概念

本章要点:

1. 什么是嵌入式系统? 学习嵌入式系统应熟悉哪些基础知识?
2. 嵌入式系统的硬件组成。如何选择 CPU 及其接口芯片?
3. 嵌入式操作系统及工具链的选择。
4. 32 位 CPU 的调试技术, 熟悉 JTAG 和 BDM 的应用场合。

1.1 什么是嵌入式系统

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物, 这就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

嵌入式系统的应用越来越广泛, 它已经渗透到我們生活中的各个方面。在电视机、DVD 播放机、电梯以及洗衣机等电器中都有一个 MCU 接受遥控指令并执行相应功能; 目前 ARM 处理器在手机中的应用已成为该公司的最大市场之一; 计算机中的硬盘、光驱、光电式鼠标和 ADSL 网卡等都是用嵌入式微处理器控制的; 嵌入式系统在工业控制和便携式仪器中的应用更是不胜枚举。

嵌入式系统的应用如此广泛, 以至于很难确切地给它下定义, 但我们可以把它理解为: 以应用系统为中心, 以计算机技术为基础, 软硬件可裁剪, 并对功能、可靠性、成本、体积和功耗有严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序四个部分组成, 用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

1.2 嵌入式系统与普通 PC 系统

ARC Cores (www.arc.com) 公司负责市场开拓的 Jim Turley 曾讲过: “提到 CPU, 我们自然而然地会联想到 PC, 但事实上 CPU 的应用领域、范围以及采用的数量都远远超过了 PC 的范畴。以数量来看, x86 的 CPU, 包括 Intel 及 AMD 公司所生产的, 总量加起来也抵不过其他种类 CPU 总消耗量的 0.1%, 其中应用数量最大的是嵌入式系统。数量之大说明了嵌入式系统应用的范围之广, 这也意味着没有什么所谓典型的嵌入式系统应用。嵌入式 CPU

还包括微控制器(Micro Controller)及数字信号处理器(Digital Signal Processor)等。”嵌入式系统与普通 PC 系统的主要区别在于:

(1) 具有特定功能。与 PC 系统不同,嵌入式系统设计一般都针对某些特定的应用场合;为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中,因此它的硬件和软件系统的可扩展性都相当有限。

(2) 体积小。体积小是嵌入式系统的特点之一,人们几乎感觉不到它在系统中的存在。这一点是和微电子技术以及相关的 SOC(System On Chip)技术的快速发展分不开的。传统的设计要单独购买外设芯片和 CPU 进行接口,而 SOC 技术可以把外设包括模拟电路和 CPU 集成在一个芯片上。

(3) 可靠性要求高。在日常工作中,我们能够容忍 PC 机一天死一次机,可是工业生产线上的实时控制设备必须保证长期可靠运行,即使一次出错也有可能造成严重的后果。因此,嵌入式系统一般都要进行专门的可靠性设计,以保证其在长期工作中稳定运行并能承受各种意外,如电源干扰、机械振动和突发的数据流量等的冲击。

随着 CPU 处理能力的日渐强大和半导体器件体积的缩小,嵌入式系统与 PC 系统的界限将越来越模糊。

1.3 嵌入式系统与 MCS-51 系统

嵌入式系统可以是一个简单的以继电器方式工作的温控系统,也可以复杂到类似于标准 PC 系统,包括存储系统、显示系统、人工交互设备和操作系统平台。一个简单的 8031 系统与复杂 32 位的嵌入式系统在本质上没有差别,但要注意以下三点。

(1) CPU 的处理能力。32 位的嵌入式系统一般都有较强的 CPU。尽管用 MIPS (Million Instructions Per Second)来衡量一个 CPU 是很不全面的,但它也可以起到参考的作用。表 1-1 中列出了一些常用的 CPU 在 Linux 下的 BogoMips(特定时间内可以执行多少条等效指令的数目),可以大致看出各种 CPU 的性能。

表 1-1 常用 CPU 在 Linux 下的 BogoMips 数目

CPU	字长	厂家	主频	BogoMips
8031	8	Atmel	24 MHz	≈2
CS89712	32	Cirrus Logic	75 MHz	36.76
StrongARM-1110	32	Intel	206 MHz	137.21
MX1	32	Freescale	200 MHz	182.27
SH7727	32	HITACHI	133.33 MHz	66.56
R3000A	32	MIPS	20 MHz	19.79
R4000	32	MIPS	100 MHz	48.30
R5000	32	MIPS	150 MHz	154.83
68EZ328	32	Freescale	16.58 MHz	1.66
MCF5272	32	Freescale	66 MHz	43.62
MCF5307	32	Freescale	90 MHz	59.80

续表

CPU	字长	厂 家	主 频	BogoMips
i8086	16	Intel	4.77 MHz	0.5
i386DX	32	Intel	40 MHz	8.06
i486DX4	32	Intel	100 MHz	50.08
Pentium MMX	32	Intel	200 MHz	398.13
Pentium III/1000	32	Intel	1.0 GHz	1992.29
Pentium 4	32	Intel	1.7 GHz	3407.87

从表 1-1 中可以看出, 一个 32 位 MCF5307-90 CPU 的综合性能大概是 8031 的两个数量级以上。如果不考虑浮点性能, 则相当于 Intel 的 i486DX4-100。

较强的处理能力意味着可以运行功能强大的操作系统和处理更为复杂的协议。以使用以太网协议为例, 在 8031 平台上, 由于存储器容量和处理能力有限, 因而实现并发的 TCP/IP 连接相当困难, 持续数据传输速率也仅能维持在几十 kb/s 的水平; 而使用 MCF5307 CPU 可以轻松地实现数十个并发连接, 总的吞吐率可以达到 1 Mb/s, 同时还可以实现 HTTP、FTP 和 SNMP 等多种协议。如果采用 Linux 操作平台, 则几乎所有的协议都可以在网上获得。

(2) 嵌入式系统需要操作系统的支持。在单片机系统中, 大多数程序采用前后台式的结构, 即主程序是一个大循环, 中断产生时, 跳转到中断服务程序, 中断处理完毕后返回主程序。但绝大多数 32 位嵌入式系统使用多任务的操作系统, 例如 VxWorks、Nucleus、Windows CE 和 Linux 等。

使用操作系统的好处是可以使用多种现成的协议栈(包括商用和免费的), 例如 TCP/IP 和文件系统等。基于操作系统的应用程序设计也可以借鉴或采用前人已有的成果。

通常在硬件设计无误的情况下, 一个典型的嵌入式系统的开发在软件编写、调试和修改上所花的时间占整个项目时间的 70%以上, 软件成为制约项目成败的关键因素。

(3) 嵌入式系统必须以工程项目操作的方式开发。一个较为复杂的 32 位嵌入式系统会涉及到硬件和软件多方面的知识。特别在软件规模比较大的情况下, 项目开发应将需求分析、方案设计、具体实现、测试与验证等步骤体现于设计文档之中。

1.4 设计嵌入式系统应掌握的知识

从单片机的开发转换到 32 位嵌入式系统的设计应该充实以下知识:

- 基本外设器件和接口: SDRAM、FLASH、IDE 和 USB 等接口设计;
- 大规模 CPLD/FPGA 设计;
- 混合电压系统设计: 在同一系统中解决 1.8 V/2.5 V/3.3 V/5 V 电压的协同工作;
- 高速 PCB 设计: 解决信号在传输过程中发生畸变的问题;
- 电磁兼容性设计: 产品应能顺利通过电磁兼容试验;
- 高密度电子装连: 选择高质量的接插件并可靠焊接;
- 操作系统基本知识: 掌握 PC 机操作系统的相关知识;

- 实时操作系统：应用于实时控制中；
- Linux 内核：其内核能在目前大多数 32 位 CPU 上运行；
- 驱动程序编写：在嵌入式操作系统下设备驱动如何与内核交互；
- C/C++编程：多数代码采用 C 语言编写并运用面向对象编程技术；
- 嵌入式软件测试技术：程序较长时，如何测试是非常重要的；
- 软件项目规划：定义，分解，安排执行；
- 软件成熟度分析：代码的可测试性和可继承性等。

全面地掌握以上知识是比较困难的，但作为项目的负责人，只有对以上知识有基本的认识，才能对整个项目的实施进行有效的监控。

1.5 如何选用嵌入式系统

尽管有千余种 32 位嵌入式 CPU 可供选用，但是 4 位机和 8 位机的种类远比这个数目要多。

如果要做简单的控制装置，四位机就绰绰有余。但是要实现一个复杂的控制系统，就必须选用 32 位高速处理器。

如果要大规模生产该产品，在满足性能的前提下，价格就是第一位的。

如果为了与工业控制设备配套，那么可靠性和性能就是第一位的。

通常生产厂家给出的性能指标是在理想情况下测出来的，实际的性能指标(尤其是在 CPU 负荷较重的情况下)要打相当的折扣。在正式选用嵌入式 CPU 前，应先用评估板(大多数可以免费使用)对这种 CPU 进行评估，以免因 CPU 性能下降而使自己的设计不能满足指标要求。

1.6 嵌入式系统的基本组成

嵌入式系统是软硬件的有机结合体，其基本组成如图 1-1 所示，从图中可明显看出软件占绝大多数。

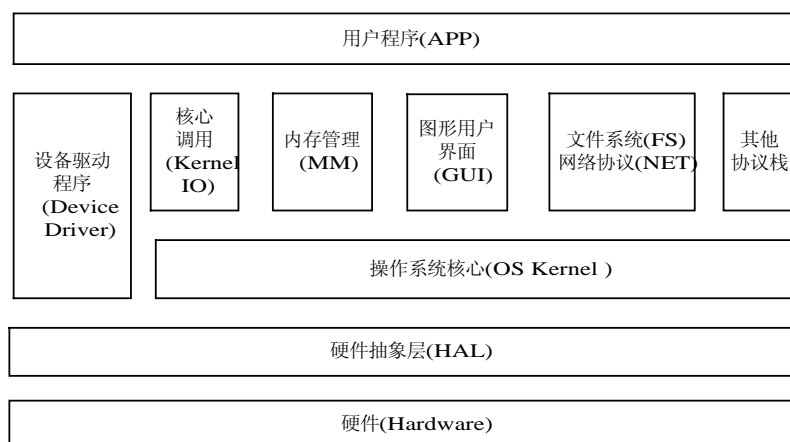


图 1-1 嵌入式系统的基本组成

一般来讲,在进行 32 位系统软件设计时,所有在 PC 机上设计软件的原则(包括代码的可读性、可移植性及模块化设计等)都是适用的。

1.6.1 嵌入式系统的硬件构成

嵌入式系统的硬件构成在原则上与 8 位的 CPU 系统是相同的,但引入了很多新型器件。

1. CPU

目前在嵌入式系统中使用的 CPU 主要有: ARM(Advanced RISC Machine)、x86、PPC(PowerPC)、68K、ColdFire(68K no MMU)和 MIPS 等。在 Linux 的源代码/Linux/arch 目录中包含了几乎所有的主流嵌入式 CPU。

目前 32 位的 CPU 型号很多,主要有以下产品。

1) ARM(www.arm.com)

ARM 实际上是一系列 RISC 内核,在消费领域内得到了最为广泛的使用。目前很多芯片生产厂家得到了 ARM 的授权,加上自己富有特色的外设部件,推出了各种各样的 CPU。就连 Freescale 这样的生产嵌入式系统的大公司,为了争夺手机、PDA 的市场份额而推出的 DragonBall MX1 也采用了 ARM9 内核,可见其影响力之大。

目前获得广泛应用的 ARM 内核有: ARM720T、ARM7TDMI、ARM920T、StrongARM、XScale 等。ARM 芯片的主要市场在消费领域内,例如:掌上电脑、手机、机顶盒、xDSL 和小型交换器等。其主要特点为耗电省,高性能。ARM 获得了几乎所有操作系统的支持,例如 Linux、Windows CE、VxWorks、QNX 等。

2) x86

x86 属于 CISC 系列。x86 芯片的嵌入式版本相对较少,主要生产家有 Intel、NS、AMD 等。x86 的嵌入式芯片主要使用在工业场合和部分民用市场(例如机顶盒等),相对来讲耗电大。如果考虑用电池供电,采用 x86 系列是不太可能的。开发 x86 芯片一般在 BIOS 基础上进行。各大操作系统都能很好地支持 x86 系列芯片。

3) PPC

PPC 系列 CPU 的应用场合比较专业,基本都集中在通信领域。1991 年,Apple、IBM 和 Freescale 组成了团队,开始联合开发 PPC 系列 CPU,并或多或少借鉴了 Freescale 的 68000 的成功经验。IBM 生产的 PPC 芯片目前在 Apple 的 Mac 台式机、笔记本中得到了广泛使用,Freescale 的 PPC 则在嵌入式市场特别是通信领域中大显身手。

4) 68K & ColdFire 系列

68K 无疑是工业控制设备中的巨头,至今仍在不断发展。ColdFire 继承了 68K 的优点,增加了 MAC 单元,改进了调试方式。

5) MIPS

与 ARM 类似,MIPS 也采取授权给第三方使用的形式来生产 CPU。MIPS 的芯片在国内应用相对较少。

各种主流 CPU 的性能对比参见附录 1。

2. 存储器

在嵌入式系统中,常用的存储器有 SDRAM、NOR FLASH Memory 和 NAND FLASH

Memory，它们分别适用于不同的场合。

1) SDRAM

SDRAM 又称为同步 DRAM，即所有的信号都与时钟同步产生。SDRAM 广泛应用于 32 位嵌入式 CPU 的主存。它具有速度快、容量大和耗电省的优点，缺点是接口电路比较复杂，但目前几乎所有的 32 位嵌入式 CPU 都能与 SDRAM 无缝接口。

SDRAM 的特点：

(1) 所有的控制信号和数据输入输出都与时钟信号同步，上升沿有效。

(2) 操作命令是控制信号的逻辑组合。典型的命令有：激活(Active)、读(Read)、写(Write)和预充电(Precharge)等。

(3) 用模式寄存器控制 SDRAM 的 CAS 延迟(Cas Latency,CL)和突发长度(Burst Length)等工作参数。模式寄存器的设定是通过在某个特定的时刻给出特定的控制命令来实现的。

CAS 延迟是指从读命令输入到数据输出的延迟时间，它是以时钟周期为单位的，因此对于某块 SDRAM 芯片它的实际延时时间是一定的。

突发长度决定了一次突发数据读/写的长度。SDRAM 的工作原理与 EDO、DRAM 存储器类似，但是引入了 Pipeline(流水线)，使得它在突发工作状态下每个时钟周期都能有效地进行数据传送，因此数据传输率能够高达 166 MHz。

2) NOR FLASH Memory

NOR FLASH Memory 也称为线性 FLASH，它源于传统的 EEPROM 器件，与 FLASH Memory 技术相比，具有高可靠性和随机读取速度快等特点，常使用在擦除和编程操作较少而直接执行代码的场合，尤其在纯代码存储的应用中使用广泛，如 PC 的 BIOS(基本输入输出系统)固件、移动电话和硬盘驱动器的控制存储器等。

NOR FLASH Memory 具有以下特点：

(1) 程序和数据可存放在同一芯片上，拥有独立的数据总线和地址总线，能快速随机读取，允许系统直接从 FLASH 中读取代码并执行，而无需先将代码下载至 RAM 中。

(2) 可以单字节或单字编程，但不能单字节擦除，必须以块为单位或对整片进行擦除操作。在对存储器进行重新编程之前需要对块或整片进行预编程和擦除操作。由于 NOR FLASH Memory 的擦除和编程速度较慢，而块尺寸又较大，因而擦除和编程操作所花费的时间很长。在纯数据存储和文件存储的应用中，NOR FLASH Memory 技术显得力不从心。

目前使用最为广泛的 NOR FLASH Memory 有 Intel 的 28F 系列和 AMD 的 29LV 系列，封装为 TSSOP48 形式，单片容量最大为 128 Mb，数据宽度一般为 16 位。

NOR FLASH Memory 一般分为两种形式，即 Boot Sector 和 Uniform Sector。Boot Sector 型厂家已在地址高端或低端特别设计了一些较小的块以方便使用，而 Uniform Sector 的所有块大小都是一样的。

NOR FLASH Memory 可以随机读取，但在写入时需要在一些特定的地址写入特定的指令。

3) NAND FLASH Memory

SAMSUNG、TOSHIBA 和 FUJISTU 公司的产品支持 NAND FLASH Memory。这种结构的闪速存储器适合于纯数据存储和文件存储，主要作为 SmartMedia 卡、CompactFlash 卡、PCMCIA ATA 卡和固态盘的存储介质，并正在成为闪速磁盘技术的核心。

NAND FLASH Memory 具有以下特点:

(1) 能以页为单位进行读和编程操作(1 页为 256 字节或 512 字节), 也能以块为单位进行擦除操作(1 块为 4 KB、8 KB 或 16 KB), 具有块编程和块擦除的功能。其块擦除时间是 2 ms, 而 NOR FLASH Memory 技术的块擦除时间高达几百 ms。

(2) 数据和地址采用同一总线, 实现串行读取。随机读取速度慢且不能按字节随机编程。

(3) 芯片尺寸小, 引脚少, 是位成本最低的固态存储器。

(4) 芯片包含有失效块, 其数目最大可达到 3~35 块(取决于存储器密度)。失效块不会影响有效块的性能, 但设计者需要将失效块在地址映射表中屏蔽起来。由于 NAND FLASH Memory 有可能出现坏块, 因而必须建立扇区的管理机制才能保证数据的完整性。

目前广泛使用的 NAND FLASH Memory 有 SAMSUNG K9F 系列, 封装为 TSSOP48 形式, 单片容量最大为 1 GB, 数据宽度有 8 位和 16 位供选择。

4) 海量存储器

在某些应用场合中, 需要存储几十兆以上的大容量数据, 一般的存储器难以满足此项要求, 因此要用到海量存储设备。在嵌入式系统中常用到的海量存储设备有 2.5 inch 笔记本硬盘、CompactFlash 和 microdrive, 它们都支持 PIO 的 ATA 接口方式。由于该方式非常容易实现, 故获得了广泛使用。

CompactFlash 和 microdrive 海量存储器如图 1-2 所示。



图 1-2 CompactFlash 和 microdrive 海量存储器

3. 接口器件

目前, 逻辑设计中所使用器件的电源电压多为 3.3 V 或更低。在新的设计中, 应尽量全部采用低电压设计, 其优点是器件货源充足, 功耗低, 可改善 EMC(电磁兼容)性能。

应优先选用电压为 2.5 V/3.3 V 的接口设计, 这是因为大多数芯片都符合这两种接口电压规范。

在实际设计过程中, 推荐使用 74LCX/74LVC 系列芯片作为配套逻辑电路, 因为这个系列芯片的延时和驱动能力都比较适合在 2.5 V/3.3 V 电压下工作。

如果遇到 2.5 V/3.3 V/5 V 的混合系统, 则要很好地分析电压是否满足器件要求, 有很多 3.3 V 芯片不能接受 5 V 的电压输入。

4. 时钟和复位电路

时钟和复位电路的设计与 51 系列单片机基本类似, 只不过电源电压基本上是 3.3 V。比较高档的 CPU 在外部使用较低频率的晶体, 通过内部 PLL(锁相环)倍频, 这样可以降低

电磁辐射。另外，也可以根据 CPU 负荷不同而动态调整核心频率以达到省电的效果。

1.6.2 嵌入式系统软件

嵌入式系统软件包括嵌入式操作系统和嵌入式应用软件。嵌入式系统软件具有以下特点：嵌入式软件开发与硬件紧密相关；软件一般固化在 FLASH 或 ROM 中，以提高代码的执行速度；软件代码要求具有高效率和高可靠性。

1. 使用操作系统的必要性

谈到 32 位嵌入式系统都要提到操作系统(OS)。事实上，在任务比较简单的情况下，完全可以采用前后台程序模式。例如，一个简单的温控系统要求根据检测温度传感器的输出决定是否打开加热器开关，假设 2 s 检测一次温度，同时接受外部的串行端口命令，将温度值送到 PC 机。为了控制 2 s 的检查间隔，需要一个定时器，这个定时器每 2 s 产生一个中断。我们可以在中断中设置一个标志 TimeUp，主程序不停地检查 TimeUp 标志，如果有效，那么将启动 A/D 转换，将温度读入寄存器 Temperature，再根据温度值决定是否打开加热器开关。为了及时向 PC 机报告当前的温度值，串口通信可能会中断当前的程序，等中断处理完毕，返回原被中断的程序继续执行。这是一个典型的前后台程序模式。

这个例子用一个 AT89C1051@12 MHz 足以完成，而且也不需要操作系统。

同样是上面的系统，如果要求每 2 s 将温度存储到本地硬盘中，同时还要求具备网络接口，能够以实时网页的形式将温度在网上发布。显然，这些功能选用前后台工作模式是难以完成的，因为从头编写文件系统和 TCP/IP 协议栈的工作量太大。

当一个典型的 32 位嵌入式系统要求支持文件系统、网络和 USB/Firewire1394，甚至于有相当复杂的 GUI(图形用户界面)时，就必须有操作系统的支持才能完成。

2. 操作系统的功能

操作系统搭起了整个软件系统的平台，使开发者可以更专注于应用程序的实现本身而不是重复劳动。操作系统完成了以下工作：

(1) 任务的调度。例如，同时进行磁盘文件读/写、网络协议的解析和动态刷新 GUI 等任务操作。目前绝大多数操作系统都支持多任务。

(2) 系统资源的管理。系统资源的管理包括内存、I/O 端口、DMA 和中断等的管理。

在嵌入式系统中，内存的分配是十分重要的问题。为了避免内存频繁分配和释放所产生的碎片，嵌入式操作系统必须对内存进行严格的管理。而对于 I/O 端口、DMA 和中断等资源的管理，一般在系统设计之初就已经确定，因此比较容易处理。

(3) 协议栈的处理。协议栈的处理通常包括对文件系统、网络和 GUI 等协议的处理。

除了极少数特殊的应用需要用户自定制协议栈外，绝大多数成熟的协议栈都是基于某种操作系统开发出来的，也就是说必须和操作系统配套使用。

(4) 任务之间的通信机制。任务之间的通信机制包括多个任务之间如何传递信息、如何实现同步以及对于互斥对象如何使用，等等。

(5) 提供规范的系统接口。大多数嵌入式操作系统遵从 POSIX 的编程标准，也就是说系统调用的格式基本类似。因此，在操作系统下编写的应用程序的可读性强，同时也易于转换操作平台。