

嵌入式技术实用丛书

# 基于ARM的 嵌入式 系统设计与开发

◆ 吴学智 戚玉华  
林海涛 刘波 编著

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

第 1 章 绪论

# 基于 ARM 的 嵌入式

## 系统设计与开发

◎ 清华大学出版社  
北京 100084

清华大学出版社  
北京 100084

嵌入式技术实用丛书

# 基于 ARM 的嵌入式系统设计与开发

吴学智 戚玉华 林海涛 刘 波 编著

人民邮电出版社

北 京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

基于 ARM 的嵌入式系统设计与开发 / 吴学智等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007.9  
(嵌入式技术实用丛书)

ISBN 978-7-115-16270-0

I. 基... II. 吴... III. ① 微处理器, ARM—系统设计 ② 微处理器, ARM—系统开发  
IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 073045 号

### 内 容 提 要

本书以嵌入式系统的基本开发技术为主线, 以基于 ARM 架构的嵌入式处理器及 Hm701ESP (处理器采用 S3C44B0X) 嵌入式平台为硬件平台, 系统讲述了嵌入式系统开发的基本知识、基本流程、基本方法和以 ARM 处理器为核心的嵌入式系统软、硬件开发设计过程。

本书共分 8 章, 第 1~2 章介绍了嵌入式系统开发的基本概念及嵌入式系统设计的一般方法; 第 3 章讲述了 ARM 处理器的体系结构、种类和编程模型; 第 4 章从编程的角度介绍了 ARM 指令集; 第 5 章介绍了基于 ARM 的嵌入式系统程序设计和 ADS 1.2 开发环境的使用; 第 6 章介绍了 Hm701ESP 嵌入式平台及其主要器件 (S3C44B0X、各类存储器、USB 控制器和以太网控制器接口) 的开发与应用; 第 7~8 章介绍了两种典型的操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 、eCos 及其应用开发。

本书可作为高校计算机、通信、电子和信息类专业高年级本科生和研究生的教材, 也可供从事基于 ARM 进行嵌入式系统设计开发的工程技术人员参考。

嵌入式技术实用丛书

### 基于 ARM 的嵌入式系统设计与开发

- 
- ◆ 编 著 吴学智 戚玉华 林海涛 刘 波  
责任编辑 刘 洋
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京铭成印刷有限公司印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 29.75  
字数: 727 千字  
印数: 1-4 000 册
- 2007 年 9 月第 1 版  
2007 年 9 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-16270-0/TN

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

# 前 言

嵌入式系统是继 IT、网络技术之后,又一个新的技术发展方向。所谓嵌入式系统,是指以应用为核心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应应用系统,对功能、可靠性、成本、体积和功耗严格要求的专用计算机系统。由于嵌入式系统具有体积小、性能强、功耗低、可靠性高以及面向行业应用等突出特点,目前已经广泛应用于军事国防、消费电子、网络通信、工业控制等各个领域。

随着嵌入式设备与 Internet 的广泛结合,手机、PDA、路由器和调制解调器等复杂高端应用对嵌入式处理器的性能提出了更高的要求。虽然以 8bit 单片机为核心的嵌入式技术不断发展,性能也不断提高,但由于其性能的局限性,已无法满足未来高性能嵌入式技术的发展需求。自 20 世纪 70 年代初出现嵌入式系统概念以来,嵌入式系统迅猛发展。但当时的嵌入式系统很多都不采用操作系统,它们只是为了实现某个控制功能,使用简单的循环来对外界的控制请求进行处理。随着嵌入式系统的发展,当应用系统越来越复杂、使用范围越来越广泛时,每增加一项新的应用功能,都可能需要从头开始设计系统软件,没有操作系统已成为其最大的缺陷。但目前在 8bit 单片机上运行嵌入式操作系统尚有一定困难。因此,以 32bit 处理器作为高性能嵌入式系统开发的核心已是嵌入式技术发展的必然趋势。

20 世纪 90 年代后,嵌入式系统设计从以嵌入式微处理器/DSP 为核心的“集成电路”级设计,逐渐转向“集成系统”级设计,提出了片上系统(System on Chip, SoC)的基本概念。目前,嵌入式系统已进入以 SoC 为核心的设计阶段,并逐步开始实用化和规范化。SoC 为高性能嵌入式系统开发提供了功能丰富的硬件平台,同时也为实时操作系统的广泛使用提供了硬件基础。从 20 世纪 80 年代开始,陆续出现了一些嵌入式操作系统,比较著名的有 VxWorks、Windows CE、Palm、 $\mu$ CLinux、 $\mu$ C/OS-II、pSOS 和 eCos 等。这些嵌入式操作系统大部分价格昂贵,而源代码开放的  $\mu$ C/OS-II 和 eCos 被普遍看好,也适合于教学。

目前比较有影响的 32bit 嵌入式处理器有 ARM 公司的 ARM、Compaq 公司的 Alpha、HP 公司的 PA-RISC、IBM 公司的 PowerPC 等。而 ARM 处理器具有高性能、低功耗和低成本等显著优点,已成为高性能、低功耗嵌入式微处理器的代名词,是目前 32bit 嵌入式处理器中应用最为广泛的一个系列。

ARM 公司自 20 世纪 90 年代初正式成立以来,在 32bit RISC (Reduced Instruction Set Computer) CPU 开发领域不断取得突破,其结构已经从 V3 发展到 V6。由于 ARM 公司自成立以来,一直以 IP (Intelligence Property) 提供者的身份向各大半导体制造商出售知识产权,而自己从不介入芯片的生产销售,加上其设计的芯核具有的优点,因此获得了众多的半导体厂商和整机厂商的大力支持,在 32bit 嵌入式应用领域获得了巨大的成功,目前已经占有 75% 以上的 32bit RISC 嵌入式产品市场。在低功耗、低成本的嵌入式应用领域确立了领导地位。现在,设计、生产 ARM 芯片的国际大公司已经超过 50 多家,国内多家大公司也已经购买了 ARM 公司的芯核用于通信专用芯片的设计。由于目前 ARM 微处理器在国内的逐步推广应用,已有相当部分的理工科大学开设了基于 ARM 的 32bit 微处理器的相关课程。

本书以嵌入式系统的基本开发技术为主线，以基于 ARM 架构的嵌入式处理器及海军工程大学开发的基于 S3C44B0X 的 Hm701ESP 硬件平台，系统讲述了嵌入式系统开发的基本知识、基本流程、基本方法和以 ARM 处理器为核心的嵌入式系统软、硬件开发设计过程。

全书共分 8 章，第 1 章和第 2 章由吴学智编写，第 3 章、第 4 章和第 5 章由林海涛编写，第 6 章和第 7 章由戚玉华编写，第 8 章由刘波编写。全书由戚玉华统稿。在本书的编写过程中，得到了林怀清、何如龙、李忱、王斌、沈钊、杨强、沈斌、金芳、杨斌等同志的大力支持与帮助，在此对他们表示衷心的感谢！

由于时间仓促及众多客观条件的制约，书中难免存在不足之处，敬请读者谅解，并真诚地欢迎读者提出宝贵的意见和建议。编辑信箱：liuyang@ptpress.com.cn。

作 者

2007 年 4 月

# 目 录

<b>第 1 章 嵌入式系统基本概述</b> .....	1
1.1 嵌入式系统的概念 .....	1
1.2 嵌入式系统的组成 .....	1
1.2.1 嵌入式处理器 .....	1
1.2.2 外围设备 .....	2
1.2.3 嵌入式操作系统 .....	2
1.2.4 应用软件 .....	2
1.3 嵌入式处理器 .....	3
1.3.1 嵌入式处理器的分类 .....	3
1.3.2 嵌入式微处理器 .....	4
1.3.3 微控制器 .....	4
1.3.4 DSP 处理器 .....	5
1.3.5 片上系统 .....	6
1.3.6 典型的嵌入式处理器 .....	6
1.4 嵌入式操作系统 .....	8
1.4.1 操作系统的概念和分类 .....	8
1.4.2 实时操作系统 .....	12
1.4.3 常见的嵌入式操作系统 .....	14
1.5 嵌入式系统的应用 .....	18
1.6 嵌入式系统的发展趋势 .....	18
1.6.1 嵌入式应用软件的开发需要强大的开发工具和操作系统的支持 .....	19
1.6.2 联网成为必然趋势 .....	19
1.6.3 支持小型电子设备, 实现小尺寸、低功耗和低成本 .....	19
1.6.4 提供精巧的多媒体人机界面 .....	19
<b>第 2 章 嵌入式系统开发基础</b> .....	20
2.1 嵌入式系统的组成结构 .....	20
2.1.1 硬件层 .....	21
2.1.2 中间层 .....	21
2.1.3 软件层 .....	22
2.1.4 功能层 .....	23
2.2 嵌入式系统的选型 .....	23
2.2.1 嵌入式处理器 .....	23

2.2.2	嵌入式实时操作系统	24
2.2.3	仿真器和调试器	25
2.3	嵌入式软件开发的特点	26
2.4	嵌入式软件的开发流程	28
2.4.1	需求分析阶段	28
2.4.2	设计阶段	28
2.4.3	生成代码阶段	30
2.4.4	固化阶段	32
2.4.5	嵌入式软件开发的要点	32
2.5	嵌入式系统初始化	33
2.5.1	目标机系统工具和映像传输	34
2.5.2	目标机自举案况	36
2.5.3	目标机系统软件初始化顺序	42
<b>第 3 章</b>	<b>ARM 处理器基础</b>	<b>46</b>
3.1	ARM 体系结构概述	46
3.1.1	ARM 介绍	46
3.1.2	CISC 的体系结构	47
3.1.3	RISC 的体系结构	48
3.1.4	ARM 体系结构的技术特征	51
3.1.5	ARM 体系结构的特点	52
3.2	ARM 体系结构的版本及命名方法	55
3.2.1	ARM 体系结构的版本	55
3.2.2	ARM 体系的变种	57
3.2.3	ARM/Thumb 体系版本的命名方法	59
3.3	ARM 处理器结构	59
3.3.1	ARM 体系结构	59
3.3.2	ARM 的流水线结构	60
3.3.3	ARM 存储器结构	64
3.3.4	ARM I/O 结构	64
3.3.5	ARM 协处理器接口	65
3.3.6	ARM AMBA 接口	66
3.3.7	ARM JTAG 调试接口	67
3.4	ARM 处理器系列	69
3.4.1	ARM7 系列处理器核介绍	70
3.4.2	ARM9 系列处理器核介绍	77
3.4.3	ARM10E 系列处理器核介绍	81
3.4.4	ARM11 系列处理器核介绍	84
3.4.5	SecurCore 系列处理器核介绍	85



3.4.6	基于 ARM 的 Intel 微处理器介绍	85
3.4.7	基于 ARM 核的芯片选择	86
3.5	ARM 编程模型	89
3.5.1	数据类型	89
3.5.2	处理器模式	90
3.5.3	处理器工作状态	91
3.5.4	寄存器组织	91
3.5.5	异常中断	97
3.5.6	存储器和存储器映射 I/O	101
3.6	基于 JTAG 的 ARM 系统调试	103
3.6.1	ARM 开发工具综述	103
3.6.2	Multi-ICE 的 JTAG 调试机理	104
<b>第 4 章</b>	<b>ARM 指令集</b>	<b>107</b>
4.1	ARM 指令集概述	107
4.1.1	ARM 指令集编码	107
4.1.2	条件执行	107
4.1.3	指令分类及指令格式	109
4.2	ARM 寻址方式	110
4.2.1	立即寻址	110
4.2.2	寄存器寻址	110
4.2.3	寄存器间接寻址	112
4.2.4	基址加偏址寻址	112
4.2.5	堆栈寻址	114
4.2.6	块拷贝寻址	114
4.2.7	相对寻址	116
4.3	ARM 指令详细介绍	117
4.3.1	数据处理指令	117
4.3.2	Load/Store 指令	123
4.3.3	状态寄存器与通用寄存器之间的传送指令	131
4.3.4	转移指令	134
4.3.5	异常中断产生指令	137
4.3.6	协处理器指令	140
4.3.7	未使用的指令空间	143
<b>第 5 章</b>	<b>基于 ARM 的嵌入式程序设计</b>	<b>146</b>
5.1	ARM 汇编语言程序设计	146
5.1.1	ARM 汇编语言的伪操作、宏指令与伪指令	146
5.1.2	ADS 编译环境下的 ARM 伪操作和宏指令	146

5.1.3	ARM 汇编语言的伪指令	166
5.1.4	ARM 汇编语言程序设计	169
5.2	嵌入式 C 语言程序设计	183
5.2.1	C 语言的“预处理伪指令”在嵌入式程序设计中的应用	184
5.2.2	嵌入式程序设计中的函数	188
5.2.3	嵌入式程序设计中常用的 C 语言语句	190
5.2.4	嵌入式程序设计中 C 语言的变量、数组、结构和联合	194
5.2.5	嵌入式 C 语言程序设计实例	199
5.2.6	嵌入式 C 语言程序设计技巧	203
5.3	C 语言与汇编语言混合编程	206
5.3.1	ATPCS 简介	206
5.3.2	内嵌汇编	210
5.3.3	C 语言和 ARM 汇编程序间相互调用	210
5.4	基于 ADS 集成开发环境的软件开发	212
5.4.1	ADS 集成开发环境组成简介	212
5.4.2	使用 ADS 创建工程	217
5.4.3	用 AXD 进行代码调试	223
<b>第 6 章</b>	<b>基于 S3C44B0X 的硬件开发与应用</b>	<b>226</b>
6.1	基于 S3C44B0X 的 Hm701ESP 嵌入式平台介绍	226
6.1.1	Hm701ESP 基本功能介绍	226
6.1.2	Hm701ESP 的基本组成结构	226
6.1.3	Hm701ESP 的启动程序和地址空间分配	227
6.2	S3C44B0X 处理器简介	229
6.2.1	S3C44B0X 简介	229
6.2.2	S3C44B0X 存储控制器功能	237
6.2.3	S3C44B0X 通用 I/O 端口功能	242
6.2.4	S3C44B0X 的 DMA 功能	250
6.2.5	S3C44B0X UART 接口功能	260
6.2.6	S3C44B0X 中断控制功能	269
6.2.7	S3C44B0X 时钟电源管理器功能	278
6.2.8	S3C44B0X PWM 定时器功能	284
6.2.9	S3C44B0X LCD 控制器功能	291
6.2.10	S3C44B0X A/D 转换器功能	301
6.2.11	S3C44B0X RTC 功能	305
6.2.12	S3C44B0X 看门狗定时器功能	312
6.2.13	S3C44B0X I <sup>2</sup> C 总线接口功能	315
6.2.14	S3C44B0X IIS 总线接口功能	321
6.2.15	S3C44B0X SIO 功能	327

6.3	存储器接口	331
6.3.1	Flash ROM 器件	331
6.3.2	Nand-Flash 存储器器件	335
6.3.3	SDRAM 器件	347
6.4	USB 设备接口	355
6.4.1	USB 接口工作原理概述	356
6.4.2	USB 接口控制器 PDIUSB12	357
6.4.3	固件程序的开发	357
6.4.4	参考例程	359
6.5	以太网控制器接口	360
6.5.1	以太网基础知识	360
6.5.2	以太网控制器 RTL 8019	362
6.5.3	网卡的物理地址	365
6.5.4	参考例程	366
<b>第 7 章</b>	<b><math>\mu</math>C/OS-II 及应用开发</b>	<b>370</b>
7.1	$\mu$ C/OS-II 操作系统	370
7.1.1	$\mu$ C/OS-II 简介	370
7.1.2	$\mu$ C/OS-II 的特点	371
7.1.3	$\mu$ C/OS-II 的内核结构	373
7.2	$\mu$ C/OS-II 的内核	377
7.2.1	任务调度	378
7.2.2	任务间的通信与同步	378
7.2.3	任务管理	381
7.2.4	时间管理	382
7.2.5	内存管理	383
7.2.6	$\mu$ C/OS-II 的文件体系	384
7.3	$\mu$ C/OS-II 应用程序开发	385
7.3.1	变量类型	385
7.3.2	应用程序基本结构	385
7.3.3	$\mu$ C/OS-II API 介绍	386
7.3.4	$\mu$ C/OS-II 多任务实现机制	387
7.3.5	基于 $\mu$ C/OS-II 建立完整的嵌入式实时系统	388
7.4	$\mu$ C/OS-II 在 Hm701ESP 上的移植	388
7.4.1	移植条件	388
7.4.2	移植步骤	389
<b>第 8 章</b>	<b>eCos 及应用开发</b>	<b>395</b>
8.1	eCos 操作系统概述	395

8.1.1	eCos 概述 .....	395
8.1.2	eCos 的可配置性 .....	400
8.1.3	eCos 的组织结构 .....	402
8.1.4	eCos 的安装 .....	406
8.1.5	eCos 的配置工具 .....	407
8.1.6	eCos 应用程序开发 .....	411
8.1.7	RedBoot 命令 .....	418
8.2	eCos 的系统内核 .....	422
8.2.1	系统内核 .....	422
8.2.2	内核调度机制 .....	423
8.2.3	内存分配 .....	426
8.2.4	中断处理 .....	431
8.2.5	例外处理 .....	435
8.2.6	计数器与时钟 .....	437
8.2.7	应用程序入口 .....	441
8.3	线程与同步 .....	444
8.3.1	线程的创建 .....	445
8.3.2	线程信息的获取 .....	447
8.3.3	同步原语 .....	448
8.4	eCos 设备驱动程序 .....	449
8.4.1	eCos 设备驱动程序体系结构 .....	449
8.4.2	eCos 设备驱动程序的编写 .....	450
8.4.3	设备驱动的工作原理 .....	453
8.5	eCos 在 Hm701ESP 上的移植 .....	454
8.5.1	硬件抽象层的移植 .....	454
8.5.2	平台抽象层的移植 .....	455
8.5.3	驱动程序设计 .....	462

# 第 1 章 嵌入式系统基本概述

## 1.1 嵌入式系统的概念

世界上第一台计算机诞生于 1946 年,在其后漫长的历史进程中,计算机始终是供养在特殊的机房中,实现数值计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代,随着微处理器的出现,计算机才出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其体积小、价格低、可靠性高特点,迅速走出机房。基于高速数值计算能力的微型机,表现出的智能化水平引起了控制专业人士的兴趣,要求将微型机嵌入到一个对象体系中,实现对象体系的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,然后安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的功能。为了区别于原有的通用计算机系统,人们把嵌入到对象体系中,实现对象体系智能化控制的计算机称作嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代,嵌入式系统的嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去,这些是理解嵌入式系统的基本出发点。

因此,嵌入式系统应定义为:“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的 3 个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

根据 IEEE 的定义,嵌入式系统是用来控制或监视机器、装置或工厂等大规模系统的设备。可以看出,此定义是从应用方面考虑的。嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还可以涵盖机电等附属装置。

国内一般定义为:是以应用为中心,以计算机技术为基础,软、硬件可裁剪,从而能够适应实际应用中对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。

## 1.2 嵌入式系统的组成

嵌入式系统通常由嵌入式处理器、外围设备、嵌入式操作系统和应用软件等几大部分组成。

### 1.2.1 嵌入式处理器

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心部件。嵌入式处理器与通用处理器的最大不同点在于

其大多工作在为特定用户群设计的系统中。它通常把通用计算机中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部,从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化,并具有高效率、高可靠性等特征。

大的硬件厂商都推出了自己的嵌入式处理器,现今市面上有一千多种嵌入式处理器芯片,其中使用最为广泛的有 ARM、MIPS、PowerPC、MC68000 等。

### 1.2.2 外围设备

外围设备是指在一个嵌入式系统中,除了嵌入式处理器以外,用于完成存储、通信、调试、显示等辅助功能的其他部件。根据其功能,外围设备可分为以下 3 类。

存储器:包括静态易失性存储器(SRAM)、动态存储器(SDRAM)和非易失性存储器(Flash、EEPROM)。其中,Flash 以可擦写次数多、存储速度快、容量大及价格低等优点在嵌入式领域得到了广泛的应用。

接口:应用最为广泛的包括并口、RS-232 串口、IrDA 红外接口、SPI 总线接口、I<sup>2</sup>C 总线接口、USB 通用串行总线接口、Ethernet 网口等。

人机交互:包括 LCD、键盘和触摸屏等人机交互设备。

### 1.2.3 嵌入式操作系统

在大型嵌入式应用系统中,为了使系统开发更方便、快捷,需要具备一种稳定、安全的软件模块集合,用以完成任务调度、任务间通信与同步、任务管理、时间管理、内存管理等,也就是需要嵌入式操作系统。嵌入式操作系统的引入大大提高了嵌入式系统的功能,方便了应用软件的设计,但同时也占用了宝贵的嵌入式系统资源。一般在比较大型或需要多任务的应用场合才考虑使用嵌入式操作系统。

嵌入式操作系统常常有实时要求,所以嵌入式操作系统往往又是“实时操作系统”。由于早期的嵌入式系统几乎都用于控制目的,因而或多或少都有些实时要求,所以以前的“嵌入式操作系统”实际上是“实时操作系统”的代名词。近年来,由于手持式计算机和掌上电脑等设备的出现,也出现了许多不带实时要求的嵌入式系统。另一方面,由于 CPU 速度的提高,一些原先认为是“实时”的反应速度现在已经很普遍了。这样,一些原先需要在“实时”操作系统上才能实现的应用,现在已可以在常规的操作系统上实现了。在这样的背景下,“嵌入式操作系统”和“实时操作系统”就成了不同的概念和名词。

### 1.2.4 应用软件

嵌入式系统的应用软件是针对特定的实际专业领域,基于相应的嵌入式硬件平台,并能完成用户预期任务的计算机软件。用户的任务可能有时间和精度的要求。有些应用软件需要嵌入式操作系统的支持,但在简单的应用场合下可以不需要专门的操作系统。

由于嵌入式应用对成本十分敏感,因此,为减少系统成本,除了精简每个硬件单元的成本外,应尽可能地减少应用软件的资源消耗,尽可能地优化资源配置。

应用软件是实现嵌入式系统功能的关键,其对嵌入式系统软件以及人们对应用软件的要

求也与通用计算机有所不同。嵌入式应用软件的特点如下。

### 1. 软件要求固态化存储

为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式系统中的应用软件一般都固化在存储器中，在当前的应用中，一般存储在 Flash 或 EEPROM 中。

### 2. 软件代码要求高质量、高可靠性

半导体技术的发展使处理器速度不断提高，也使存储器容量不断增加。但在大多数应用中，存储空间仍然是宝贵的，并存在实时性的要求。为此，程序编写和编译工具的质量要高，以减少程序二进制代码的长度，提高执行速度。

### 3. 系统软件的高实时性是基本要求

在多任务嵌入式系统中，对重要性各不相同的任务进行统筹兼顾的合理调度是保证每个任务及时执行的关键，单纯通过提高处理器速度是低效和无法完成的。这种任务调度只能由优化编写的系统软件来完成，因此，系统软件的高实时性是基本要求。

### 4. 多任务实时操作系统成为嵌入式应用软件的必需

随着嵌入式应用的深入和普及，实际应用环境越来越复杂，嵌入式软件也越来越复杂。支持多任务的实时操作系统已成为嵌入式应用软件必需的系统软件。

典型嵌入式系统的硬件和软件基本组成如图 1-1 和图 1-2 所示。

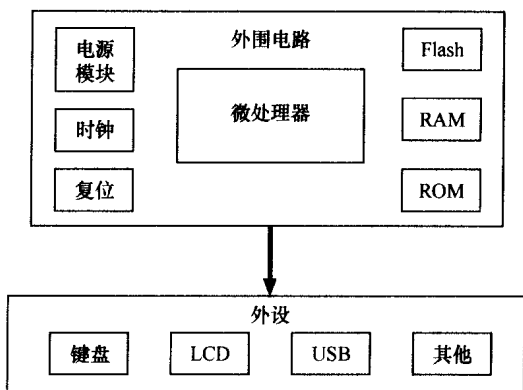


图 1-1 典型嵌入式系统基本组成——硬件

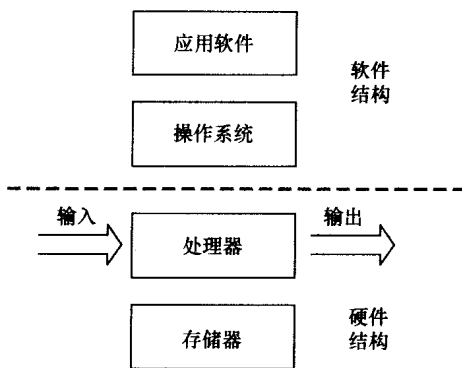


图 1-2 典型嵌入式系统基本组成——软件

## 1.3 嵌入式处理器

### 1.3.1 嵌入式处理器的分类

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心，是控制、辅助系统运行的硬件单元。硬件方面，目前世界上具有嵌入式功能特点的处理器已经超过 1 000 种，流行的体系结构包括 MCU、MPU

等 30 多个系列，速度越来越快，性能越来越强，价格也越来越低。

嵌入式处理器可分为以下几类。

- (1) 低端的微控制器 (MicroController Unit, MCU);
- (2) 中、高端的嵌入式微处理器 (Embedded Micro Processor Unit, EMPU);
- (3) 通信领域的数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP);
- (4) 高度集成的片上系统 (System on Chip, SoC)。

### 1.3.2 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器 (Embedded Micro Processor Unit, EMPU) 是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。与计算机处理器不同的是，在实际嵌入式应用中，只保留与嵌入式应用紧密相关的功能硬件，去除其他冗余功能部分，配上必要的扩展外围电路，如存储器的扩展电路、I/O 的扩展电路和一些专用的接口电路等，这样就可以最低功耗和资源满足嵌入式应用的特殊要求。嵌入式微处理器虽然在功能上与标准微处理器基本相同，但一般在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面都进行了各种增强。与工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高等优点。目前主要的嵌入式微处理器类型有 ARM、MIPS、Am186/88、386EX、PowerPC、MC68000 系列等。

嵌入式微处理器一般具有以下特点。

(1) 嵌入式微处理器在设计中考虑低功耗。许多嵌入式处理器都提供了几种工作模式，如正常工作模式、备用模式、省电模式等。这就使嵌入式系统具备了灵活性，满足了嵌入式系统对低功耗的要求。便携式和无线应用中，靠电池工作的嵌入式微处理器设计的最重要的指标是功耗而不是性能。现在已经到了不用主频率兆赫兹比较处理器而用功耗毫瓦或微瓦比较处理器的时代了。

(2) 采用可扩展的处理器结构。一般在处理器内部都留有很多扩展接口，以方便对应用的扩展。

(3) 具有功能很强的存储区保护功能。这是由于嵌入式系统的软件结构已模块化，而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用，需要设计强大的存储区保护功能，同时也有利于软件诊断。

(4) 提供丰富的调试功能。嵌入式系统的开发很多都是在交叉调试中进行的，丰富的调试接口会更便于对嵌入式系统的开发。

(5) 对实时多任务具有很强的支持能力。处理器内部具有精确的振荡电路、丰富的定时器资源，从而有较强的实时处理能力。

### 1.3.3 微控制器

微控制器 (Micro Controller Unit, MCU) 俗称单片机，它将整个计算机系统集成到一块芯片中。微控制器一般以某一种微处理器内核为核心，芯片内部集成 Flash、RAM、总线逻辑、定时器/计数器、看门狗 (WatchDog)、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A 等各种必要的功能模块和外围部件。



最早的单片机是 Intel 公司的 8048, 它出现在 1976 年。此后, Motorola 公司推出了 68HC05, Zilog 公司推出了 Z80。这些早期的单片机均含有 256 字节的 RAM、4KB 的 ROM、4 个 8bit 并口、1 个全双工串行口、2 个 16bit 定时器。在 20 世纪 80 年代初, Intel 公司又进一步完善了 8048, 在它的基础上研制成功了 8051。20 世纪 80 年代中期, Intel 公司将 8051 内核使用权以专利互换或出售形式转让给世界许多著名 IC 制造厂商, 这样 8051 就变成了有众多制造厂商支持的、已发展出上百个品种的大家族。8051 也是单片机教学的首选机型, 在 8bit 处理领域占绝大部分的份额。

为适应不同的应用需求, 一般一个系列的单片机具有多种衍生产品。每种衍生产品的处理器内核都是相同的, 不同的是存储器、外设的配置及封装, 这样可以使不同的单片机适合不同的应用。与嵌入式微处理器相比, 微控制器的最大特点是单片化、体积小, 从而使功耗和成本下降, 可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业中的主流产品。微控制器的片内资源一般比较丰富, 适合用于控制。

与微处理器相比, 微控制器的一个显而易见的优势是成本低。微控制器将一些接口电路和功能模块集成在 CPU 芯片上, 价格虽然比相应的微处理器高, 但如果算上本来就需要的 I/O 接口芯片和一些独立的功能模块芯片, 相比而言就显得比较实惠。当然实际的好处远不止于此。

首先, 采用微控制器可以最大限度地缩短产品的设计、开发以及调试时间, 从而节约用于这些方面的开支。

其次, 由于系统中芯片的数量减少了, 整个系统的故障率就会降低。有关研究和统计表明, 单个芯片的故障率与其集成规模和复杂性的关系并不很大, 而整个系统的可靠率为所有元器件的可靠率的乘积。因此, 如果系统中芯片的数量减少了, 系统发生故障的概率就会降低, 而且系统的体积也可以缩小。这对于需要嵌入在其他设备或装置中的系统往往有重要的意义。

另外, 由于一些接口电路和功能模块与 CPU 集成在同一块芯片上, 这些电路之间连接的导线长度就降到最小。对于一些高速系统, 即时钟频率很高的系统, 这也是一个很重要的优点。对于频率较高的交变电信号, 导线所呈现的电感和电容对电路的负载能力以及信号延迟等的影响都不容忽视。许多高速的应用只能通过更大规模的集成才能实现。

微控制器在品种数量上远远超过微处理器, 而能够生产微控制器的厂商数量也远远超过微处理器生产厂商的数量。比较有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS-96/196/296、PIC、AVR、C166/167、MC68HC05/11/12/16 等。另外, 还有许多半通用系列, 如支持 USB 接口的 MCU 8XC930/931、C540、C541, 支持 I<sup>2</sup>C、CAN\_Bus、LCD 等接口的专用 MCU 系列。目前, MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

但有时嵌入式微处理器和微控制器的概念区分并不那么严格, 比如近年来提供 x86 微处理器的著名厂商 AMD 公司, 就将 Am186 等嵌入式处理器称为微控制器, Motorola 公司则把以 PowerPC 为基础的 PPC505 和 PPC555 列入微控制器行列, TI 公司也将其 TMS320C2xxx 系列的 DSP 作为微控制器进行推广。

### 1.3.4 DSP 处理器

DSP (Digital Signal Processor) 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计, 使其适合执行 DSP 算法, 编译效率和指令执行速度都较高。在数字滤波、FFT 频谱分析等方面, DSP