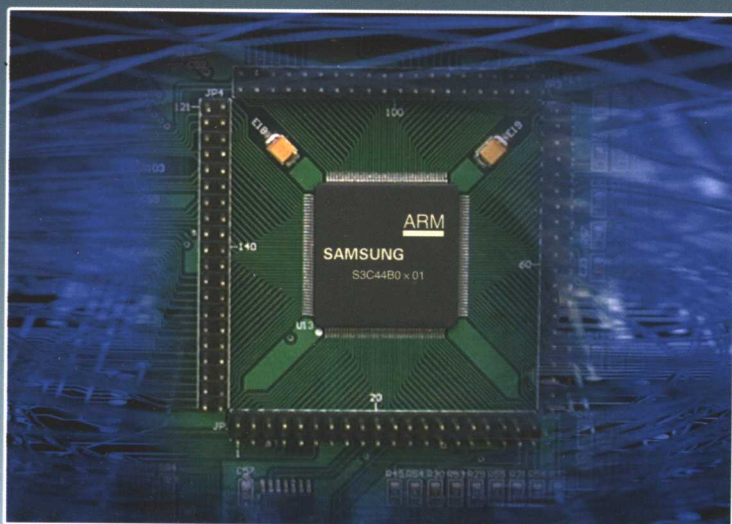


嵌入式系统教学系列丛书

嵌入式系统原理 与接口技术

贾智平 张瑞华 主编



清华大学出版社

嵌入式系统原理与接口技术

贾智平 张瑞华 主编



清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以目前流行的 ARM 嵌入式微处理器、嵌入式 Linux 作为主要内容,从嵌入式系统基本原理、系统设计,到研究嵌入式系统的技术途径进行了较深入的阐述。其内容包括了嵌入式处理器原理、汇编语言、系统设计与软件开发、计算机接口技术与应用等方面的知识,并通过实例讲解嵌入式系统设计的过程和原理。书中的很多内容是实际教学经验的总结,适合在国内高校中推广使用。

本书可以作为高等院校计算机、软件工程专业的硕士生、本科生教材,又可以作为电子工程、工业自动化、仪器仪表与机电工程等专业大三、大四学生的基础平台课的教材。主要特色是通过先理解硬件结构、软件编程基础知识,掌握如何设计一个完整的系统,提高创建复杂系统的抽象能力。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理与接口技术/贾智平,张瑞华主编. —北京:清华大学出版社,2005.7

ISBN 7-302-11198-7

I. 嵌… II. ①贾… ②张… III. ①微型计算机-系统设计-高等学校-教材 ②微型计算机-接口-高等学校-教材 IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 061893 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:钟志芳

文稿编辑:刘 丽

封面设计:姜凌娜

版式设计:冯彩茹

印 刷 者:北京中科印刷有限公司

装 订 者:北京国马印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:18.75 字数:412 千字

版 次:2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-11198-7/TP·7393

印 数:1~5000

定 价:26.00 元

前 言

嵌入式系统融合了计算机软/硬件技术、通信技术和半导体微电子技术,在工业、民用和商业领域中,各种嵌入式产品的应用日益广泛。随着网络与通信技术的发展,正涌现出大量新的嵌入式系统。

在众多嵌入式系统厂家参与下,基于 ARM 系列处理器的应用技术,已在众多领域取得突破性进展。Intel 公司将 ARM 系列向更高端的嵌入式系统发展,而 Philips 公司则在向高端嵌入式系统发展的同时,并向低端的 8 位和 16 位机的高端应用延伸,他们都体现了各自的特点,并充分发挥了各自的优势。笔者结合几年来在嵌入式系统领域教学与开发的经验和特点,以 ARM 嵌入式微处理器、嵌入式 Linux 作为主要内容,从嵌入式处理器原理、汇编语言、系统设计与开发、计算机接口技术与应用等方面的知识,到嵌入式系统设计过程进行了较深入的阐述。力求将嵌入式系统开发与应用技术全面地介绍给读者,提高设计一个完整嵌入式系统的能力。

本书共分 7 章,各章内容介绍如下:

第 1 章主要介绍嵌入式系统开发的基础知识。内容包括嵌入式系统的基本概念、组成结构、系统分类、信息表示、基本运算、性能评价指标、应用和发展趋势。

第 2 章主要介绍 ARM 处理器技术。包括 ARM 的体系结构、处理器分类、流水线技术、存储体系结构和总线操作。

第 3 章主要介绍 ARM 处理器编程模型、寻址方式、ARM 指令集和 Thumb 指令集。

第 4 章介绍 ARM 汇编程序设计技术。首先给出汇编语言程序的结构与组成,以及上机编程步骤等嵌入式汇编语言程序设计基础知识;然后讲述 ARM 汇编语言程序设计,以及实际例程中用到的与 C 语言混合的编程技术,嵌入式 Linux 下的 ARM 汇编;最后介绍程序优化和测试技术。本章密切结合嵌入式系统开发的实例,使读者掌握嵌入式程序设计的基本知识、基本方法和基本流程。

第 5 章以 ARM7 架构芯片 Samsung 公司的 S3C44B0X 为例,主要介绍实用的外围接口设计与开发技术。内容有键盘接口、LED 显示器接口、LCD 显示器接口、触摸屏原理与接口设计、异步串行通信接口、USB 接口、以太网接口、IIC 和 CAN 总线接口、中断原理与接口、A/D 和 D/A 转换原理,以及可直接控制 ARM 的内部总线、I/O 口等信息,从而达到调试的目的——JTAG 接口。

第 6 章首先从嵌入式系统设计所具有的自身特点说起,分别从系统应用的特点、交叉开发环境、程序的固化、软件开发设计的难度等几个方面简单地介绍了嵌入式系统设计与传统系统设计之间的不同;然后详细介绍了嵌入式系统的设计流程和一般的设计方法,依

次从需求分析、规格说明、体系结构设计、硬件构件和软件构件设计、系统的集成和测试这 5 个阶段加以具体的说明和解释,在每个阶段的介绍中,给出了设计的一般方法和一些需要注意的问题;最后介绍了统一建模语言(UML)的一些基本知识,并给出了一个 UML 在车载 GPS 终端系统的设计实例,描述了 UML 应用于嵌入式系统设计的设计过程。

第 7 章主要介绍基于 Samsung 公司的 S3C44B0X 的嵌入式实验开发系统。在介绍 Samsung 公司的 S3C44B0X 特性的基础上,给出 UP-NETARM3000 教学实验平台开发设计。UP-NETARM3000 采用了目前市场主流的 S3C44B0X 以及 μ C/OS-II 和 μ CLinux 双操作系统,对嵌入式系统应用设计具有较好的代表性。

本书由贾智平编写第 2、3、4、6 章,张瑞华编写第 1、5 章,朱惠明编写第 7 章,宋静静、于志强、王渭中、吴佳明也参与了本书编写的部分工作。2004 年春季及秋季本讲稿已分别在山东大学齐鲁软件学院和计算机学院研究生中试用。

在本书的编写过程中,得到了北京航空航天大学王田苗教授的关心和指导,清华大学出版社和北京航空航天大学魏洪兴博士也给予了大量的支持和帮助。

由于编者水平和经验所限,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请读者谅解,并真诚欢迎读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

2005 年 3 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统的发展	1
1.1.1 嵌入式系统的概念	1
1.1.2 嵌入式系统的发展史	2
1.1.3 嵌入式系统的特点	2
1.2 嵌入式系统的分类	3
1.3 嵌入式处理器	4
1.4 嵌入式系统的组成	6
1.5 嵌入式系统中信息表示与运算基础	8
1.5.1 进位计数制与转换	8
1.5.2 计算机中数的表示	9
1.5.3 非数值数据编码	9
1.5.4 差错控制编码	12
1.6 评估嵌入式系统处理器的主要指标	18
1.7 嵌入式系统的应用	19
思考题	20
第 2 章 ARM 微处理器硬件结构	22
2.1 计算机体系结构分类	22
2.2 ARM 的版本及系列	23
2.2.1 ARM 体系结构版本	23
2.2.2 ARM 处理器系列	25
2.3 ARM 处理器结构	28
2.3.1 ARM 和 Thumb 状态	28
2.3.2 RISC 技术	29
2.3.3 流水线技术	30
2.3.4 超标量执行	33
2.4 存储系统机制	35
2.4.1 存储体系结构	41
2.4.2 总线操作	44
2.4.3 ARM 存储系统	48
思考题	62

第 3 章 ARM 寻址方式与指令系统	64
3.1 ARM 编程模型.....	64
3.1.1 处理器模式.....	64
3.1.2 处理器工作状态.....	65
3.1.3 寄存器组织.....	65
3.1.4 异常中断.....	67
3.2 ARM 指令格式及其寻址方式.....	70
3.2.1 ARM 指令的一般格式.....	70
3.2.2 条件域<cond>.....	71
3.2.3 寻址方式.....	72
3.3 ARM 指令集.....	76
3.3.1 数据处理指令.....	76
3.3.2 跳转指令.....	80
3.3.3 Load/Store 指令.....	82
3.3.4 程序状态寄存器指令.....	86
3.3.5 协处理器指令.....	87
3.3.6 异常中断指令.....	88
3.4 Thumb 指令集.....	89
3.4.1 数据处理指令.....	89
3.4.2 跳转指令.....	91
3.4.3 Load/Store 指令.....	91
3.4.4 软件中断指令.....	92
思考题.....	92
第 4 章 汇编语言程序设计	93
4.1 汇编语言源程序格式.....	93
4.1.1 汇编语言程序的结构.....	93
4.1.2 汇编语言的行构成.....	95
4.1.3 伪操作.....	99
4.2 汇编语言上机过程.....	112
4.2.1 编辑汇编语言源程序.....	114
4.2.2 编译汇编语言源程序.....	116
4.2.3 连接装配汇编程序.....	118
4.2.4 汇编程序的运行.....	122
4.2.5 汇编程序的调试.....	123
4.3 汇编语言与 C 语言混合编程技术.....	125
4.3.1 汇编程序中访问 C 程序变量.....	125
4.3.2 C 程序中内嵌汇编指令.....	126

4.3.3 C 程序调用汇编程序	129
4.4 Linux 下的 ARM 汇编	130
4.4.1 汇编程序中的标号、分段名、宏定义和常数	131
4.4.2 Linux 下 ARM 汇编的常用伪操作	134
4.4.3 程序示例	139
4.5 程序优化	139
4.6 性能测试	146
思考题	147
第 5 章 ARM 接口设计技术	149
5.1 键盘接口	149
5.1.1 键盘概述	149
5.1.2 用 ARM 芯片实现键盘接口	150
5.1.3 行扫描法获取键值的程序	151
5.2 LED 显示器接口	154
5.2.1 概述	154
5.2.2 用 ARM 芯片 S3C44B0X 实现 LED 显示接口	156
5.3 LCD 显示器接口	159
5.3.1 概述	159
5.3.2 S3C44B0X 的内部 LCD 控制器	160
5.3.3 LCD 应用实例	168
5.4 触摸屏	170
5.4.1 触摸屏的工作原理	170
5.4.2 触摸屏的驱动芯片 ADS7843	171
5.4.3 触摸屏的接口	172
5.5 通信接口	174
5.5.1 UART 异步串行接口	174
5.5.2 USB 接口	188
5.5.3 以太网接口	192
5.5.4 IIC 总线接口	204
5.5.5 CAN 总线接口	205
5.6 中断接口	208
5.6.1 概述	208
5.6.2 控制中断的寄存器	212
5.6.3 外部中断的应用	218
5.7 A/D 和 D/A 转换	220
5.7.1 A/D (模/数) 转换器	220
5.7.2 D/A (数/模) 转换器	227

5.8 ARM 的 JTAG 接口	229
5.8.1 JTAG 的基本知识	229
5.8.2 ARM 的 JTAG 调试结构	230
5.8.3 ARM7TDMI 内核的 JTAG 扫描链结构	231
5.8.4 ARM7TDMI 中通过 JTAG 对外设的访问	232
思考题	233
第 6 章 嵌入式系统设计技术	234
6.1 嵌入式系统设计的特点	234
6.2 嵌入式系统的组成	236
6.3 嵌入式系统的设计流程	239
6.3.1 需求分析阶段	239
6.3.2 规格说明阶段	241
6.3.3 体系结构设计	242
6.3.4 设计硬件构件和软件构件	246
6.3.5 系统集成和测试	246
6.4 设计示例：车载 GPS 终端系统的设计	247
6.4.1 统一建模语言 UML 及其特点和组成	248
6.4.2 UML 在车载 GPS 终端设计中的应用	257
思考题	261
第 7 章 嵌入式实验平台	262
7.1 Samsung S3C44B0X 微处理器	262
7.1.1 Samsung S3C44B0X 简介	262
7.1.2 Samsung S3C44B0X 特性	263
7.1.3 Samsung S3C44B0X 引脚分布及引脚定义	266
7.1.4 基于 Samsung S3C44B0X 嵌入式结构	269
7.2 UP-NETARM3000 嵌入式平台	270
7.2.1 系统组成	270
7.2.2 硬件资源	271
7.2.3 系统安装	272
7.3 基于 UP-NETARM3000 平台的实验实例	274
7.3.1 开发环境与基础编程	274
7.3.2 键盘与 LED 驱动实验	277
7.3.3 电机控制实验	279
7.3.4 LCD 实验	281
附录 S3C44B0X 端口引脚定义	283
参考文献	287

第1章 嵌入式系统概述

本章介绍嵌入式系统的一些基本知识,包括嵌入式系统的概念、发展、特点、组成、分类、嵌入式微处理器系列和嵌入式系统中信息表示与运算基础等。通过本章的学习,读者将建立起对嵌入式系统的初步的宏观认识,为今后的深入学习和研究打下基础。

1.1 嵌入式系统的发展

1.1.1 嵌入式系统的概念

什么是嵌入式系统?随着嵌入式系统在人们实际生活中的应用越来越广泛,这个基本问题的确切定义引发了许多争论。

嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义。人们很少会意识到他们往往随身携带了好几个嵌入式系统——MP3、手机或者智能卡,而且他们在与汽车、电梯、厨房设备、电视、录像机以及娱乐系统的嵌入式系统交互时也往往对此毫无察觉。嵌入式系统早期主要应用于军事和航空、航天等领域,以后逐步广泛地应用于工业控制、仪器仪表、汽车电子、通信和家用消费类等领域。正是“看不见”这一特性将嵌入式计算机与通用 PC 计算机区分开来。

目前存在多种嵌入式系统的定义,有的是从嵌入式系统的应用定义的,有的是从嵌入式系统的组成定义的,也有的是从其他方面进行定义的,下面给出两种比较常见的定义。

第一种,根据 IEEE (国际电气和电子工程师协会) 的定义:嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”(原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。

可以看出此定义是从应用上考虑的,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。

第二种定义:嵌入式系统是以应用为中心、以计算机技术为基础、软/硬件可裁剪,功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。广而言之,可以认为凡是带有微处理器的专用软硬件系统都可以称为嵌入式系统。嵌入式系统采用“量体裁衣”的方式把所需的功能嵌入到各种应用系统中,它融合了计算机软/硬件技术、通信技术和半导体微电子技术,是信息技术 IT (Information Technology) 的最终产品。

1.1.2 嵌入式系统的发展史

嵌入式系统从出现至今已历经 30 多年的时间,发展历史悠久。早在电子数字计算机出现之前就有了把计算装置嵌入在系统和设备之中的嵌入式系统,如把计算机嵌入到导弹等武器和航天器中。但是直到 20 世纪 60 年代末(集成电路化的第三代计算机时期),随着微电子技术的发展,嵌入式计算机才逐步兴起。近几年来,随着计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显,嵌入式技术已成为一个研究热点。纵观嵌入式技术的发展过程,大致经历 4 个阶段。

第一阶段是以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统,具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这类系统大部分应用于一些专业性强的工业控制系统中,一般没有操作系统的支持,通过汇编语言编程对系统进行直接控制。这一阶段系统的主要特点是:系统结构和功能相对单一,处理效率较低,存储容量较小,几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简单、价格低,以前在国内工业领域应用较为普遍,但是已经远远不能适应高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

第二阶段是以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。主要特点是:CPU 种类繁多,通用性比较弱;系统开销小,效率高;操作系统达到一定的兼容性和扩展性;应用软件较专业化,用户界面不够友好。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。主要特点是:嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上,兼容性好;操作系统内核小、效率高,并且具有高度的模块化和扩展性;具有文件和目录管理、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能;具有大量的应用程序接口 API,开发应用程序较简单;嵌入式应用软件丰富。

第四阶段是以 Internet 为标志的嵌入式系统。这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于 Internet 之外,但随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术结合日益密切,嵌入式设备与 Internet 的结合将代表嵌入式系统的未来。

综上所述,嵌入式系统技术日益完善,32 位微处理器在该系统中占主导地位,嵌入式操作系统已经从简单走向成熟,它与网络、Internet 结合日益密切,因而,嵌入式系统应用将日益广泛。

1.1.3 嵌入式系统的特点

与通用型计算机系统相比,嵌入式计算机系统具有以下特点:

1. 嵌入式系统通常是面向特定应用的。嵌入式 CPU 与通用型的最大不同之处就是嵌入式 CPU 大多工作在为特定用户群设计的系统中,它通常都具有低功耗、体积小、集成度高等特点,能够把通用 CPU 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, 移动能力大大增强, 与网络的耦合也越来越紧密。

2. 嵌入式系统是将计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物, 是一门综合技术学科。由于空间和各种资源相对不足, 嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计, 量体裁衣、去除冗余, 力争在同样的硅片面积上实现更高的性能, 这样才能在具体应用中对处理器的选择更具有竞争力。

3. 嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起, 它的升级换代也是和具体产品同步进行的, 因此嵌入式系统产品一旦进入市场, 就具有较长的生命周期。

4. 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, 而不是存储于磁盘等载体中。

5. 嵌入式系统本身不具备自举开发能力, 即使设计完成以后用户通常也不能对其中的程序功能进行修改, 必须有一套开发工具和环境才能进行开发。

1.2 嵌入式系统的分类

根据不同的分类标准, 嵌入式系统有不同的分类方法。这里根据嵌入式系统的复杂程度, 可以将嵌入式系统分为以下4类。

1. 单个微处理器

这类系统一般由单片嵌入式处理器组成, 嵌入式处理器上集成了存储器 I/O 设备、接口设备(如 A/D 转换器)等, 嵌入式处理器加上简单的元件如电源、时钟元件等就可以工作。单个微处理器这类系统可以在小型设备中(如温度传感器、烟雾和气体探测器及断路器)找到。这类设备是供应商根据设备的用途来设计的。

常用的嵌入式处理器如 Philips 公司的 89LPCxxx 公司系列, Motorola 公司的 MC68HC05、08 系列等。

2. 嵌入式处理器可扩展的系统

这类嵌入式系统使用的处理器根据需要, 可以扩展存储器, 也可以使用片上的存储器, 处理器一般容量在 64KB 左右, 字长为 8 位或 16 位。在处理器上扩充少量的存储器和外部接口, 以构成嵌入式系统。这类系统可在过程控制、信号放大器、位置传感器及阀门传动器等中找到。

3. 复杂的嵌入式系统

组成这样的嵌入式系统的嵌入式处理器一般是 16 位、32 位等, 用于大规模的应用, 由于软件量大, 因此需要扩展存储器。扩展存储器一般在 1MB 以上, 外部设备接口一般仍然集成在处理器上, 常用的嵌入式处理器有 ARM 系列、Motorola 公司的 PowerPC 系列、Coldfire 系列等。

这类系统可见于开关装置、控制器、电话交换机、电梯、数据采集系统、医药监视系统、诊断及实时控制系统等。它们是一个大系统的局部组件，由它们的传感器收集数据并传递给该系统。这种组件可同计算机一起操作，并可包括某种数据库（如事件数据库）。

4. 在制造或过程控制中使用的计算机系统

对于这类系统，计算机与仪器、机械及设备相连来控制这些装置的工作。这类系统包括自动仓储系统和自动发货系统。在这些系统中，计算机用于总体控制和监视，而不是对单个设备直接控制。过程控制系统可与业务系统连接（如根据销售额和库存量来决定订单或产品量）。在许多种情况下，两个功能独立的子系统可在一个主系统操作下一同运行。如控制系统和安全系统：控制子系统控制处理过程，以使系统中的不同设备能正确地操作和相互作用于生产产品；而安全子系统则用来降低那些会影响人身安全或危害环境的误操作风险。

1.3 嵌入式处理器

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心。

目前据不完全统计，全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1000 种，流行体系结构有 30 几个系列，其中 8051 体系的占有多半。生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个，超过了 350 种衍生产品，仅 Philips 就有近 100 种。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器，越来越多的公司有自己的处理器设计部门。嵌入式处理器的寻址空间一般为 64KB~16MB，处理速度为 0.1 MIPS~2000 MIPS，常用封装为 8~144 个引脚。根据其现状，嵌入式处理器可以分成嵌入式微控制器（EMCU）、嵌入式 DSP 处理器（EDSP）、嵌入式微处理器（EMPU）、嵌入式片上系统（ESoC）4 类（如图 1-1 所示）。

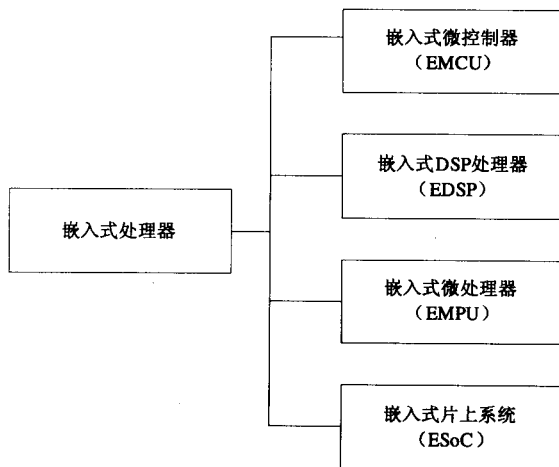


图 1-1 嵌入式处理器分类

1. 嵌入式微处理器 (Embedded Microprocessor Unit, EMPU)

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中, 将微处理器装配在专门设计的电路板上, 只保留和嵌入式应用有关的母板功能, 这样可以大幅度地减小系统体积和功耗。为了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和标准微处理器基本是一样的, 但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强。

和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、可靠性高的优点, 但是在电路板上必须包括 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件, 从而降低了系统的可靠性, 技术保密性也较差。嵌入式微处理器及其存储器、总线、外设等安装在一块电路板上, 称为单板计算机, 如 STD-BUS、PC104 等。近年来, 德国、日本的一些公司又开发出了类似“火柴盒”式名片大小的嵌入式计算机系列 OEM 产品。

嵌入式处理器目前主要有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。

2. 嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller Unit, EMCU)

嵌入式微控制器又称单片机, 顾名思义, 就是将整个计算机系统集成到一块芯片中。嵌入式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 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要的功能和外设。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一样的, 不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配, 功能不多不少, 从而减少功耗和成本。

和嵌入式微处理器相比, 微控制器的最大特点是单片化, 体积大大减小, 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的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富, 适合于控制, 因此称微控制器。

嵌入式微控制器目前的品种和数量最多, 比较有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 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 IIC、CAN-Bus、LCD 及众多专用 MCU 和兼容系列。目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

特别值得注意的是近年来提供 X86 微处理器的著名厂商 AMD 公司, 将 Am186CC/CH/CU 等嵌入式处理器称之为 Microcontroller, Motorola 公司把以 Power PC 为基础的 PPC505 和 PPC555 亦列入单片机行列。TI 公司亦将其 TMS320C2XXX 系列 DSP 作为 MCU 进行推广。

3. 嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计, 使其适合于执行 DSP 算法, 编译效率较高, 指令执行速度也较高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面 DSP 算法正在大量进入嵌入式领域, DSP 应用正从在通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能, 过渡到采用嵌入式

DSP 处理器。嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源：一是 DSP 处理器经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器，TI 的 TMS320C2000 /C5000 等属于此范畴；二是在通用单片机或 SOC 中增加 DSP 协处理器，例如 Intel 的 MCS-296 和 Infineon(Siemens) 的 TriCore。

推动嵌入式 DSP 处理器发展的另一个因素是嵌入式系统的智能化，例如各种带有智能逻辑的消费类产品，生物信息识别终端，带有加解密算法的键盘，ADSL 接入、实时语音解压系统，虚拟现实显示等。这类智能化算法一般都是运算量较大，特别是向量运算、指针线性寻址等较多，而这些正是 DSP 处理器的长处所在。

嵌入式 DSP 处理器比较有代表性的产品是 Texas Instruments 的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列。TMS320 系列处理器包括用于控制的 C2000 系列，移动通信的 C5000 系列，以及性能更高的 C6000 和 C8000 系列。DSP56000 目前已经发展成为 DSP56000，DSP56100，DSP56200 和 DSP56300 等几个不同系列的处理器。另外 Philips 公司今年也推出了基于可重置嵌入式 DSP 结构低成本、低功耗技术上制造的 R. E. A. L DSP 处理器，特点是具备双 Harvard 结构和双乘/累加单元，应用目标是大批量消费类产品。

4. 嵌入式片上系统 (Embedded System on Chip, ESoC)

随着 EDI 的推广和 VLSI 设计的普及化，以及半导体工艺的迅速发展，在一个硅片上实现一个更为复杂的系统的时代已来临，这就是 SoC。各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准库，和许多其他嵌入式系统外设一样，成为 VLSI 设计中一种标准的器件，用标准的 VHDL 等语言描述，存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统，仿真通过后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。这样除个别无法集成的器件以外，整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去，应用系统电路板将变得很简洁，对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。

SoC 可以分为通用和专用两类。通用系列包括 Infineon 的 TriCore, Motorola 的 M-Core, 某些 ARM 系列器件, Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SoC 一般专用于某个或某类系统中，不为一般用户所知。一个有代表性的产品是 Philips 的 Smart XA，它将 XA 单片机内核和支持超过 2048 位复杂 RSA 算法的 CCU 单元制作在一块硅片上，形成一个可加载 Java 或 C 语言的专用的 SoC，可用于公众互联网，如 Internet 安全方面。

1.4 嵌入式系统的组成

在 1.1.3 小节中介绍过，嵌入式系统是面向特定应用的。实际应用中，绝大多数嵌入式系统是用用户针对特定任务定制的，但就其组成而言，它们一般都是由嵌入式系统的硬件、嵌入式系统的软件，开发工具和开发系统这 3 部分组成的。

1. 嵌入式系统的硬件

嵌入式系统的硬件主要包括以下几个模块，如图 1-2 所示。

- ✧ 嵌入式核心芯片，嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式数字信号处理器、嵌入式片上系统。
- ✧ 用以保存固件的 ROM（非挥发性只读存储器）。
- ✧ 用以保存程序数据的 RAM（挥发性的随机访问存储器）。
- ✧ 连接微控制器和开关、按钮、传感器、模/数转换器、控制器、LED（发光二极管）和显示器的 I/O 端口。

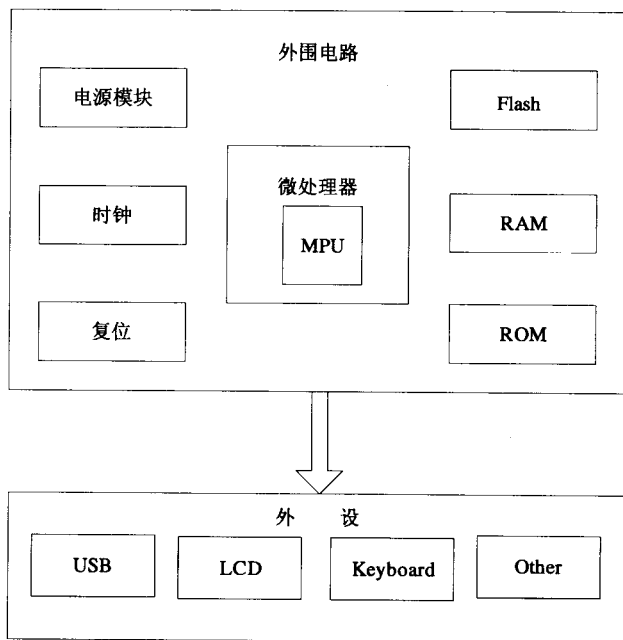


图 1-2 嵌入式系统的硬件组成

2. 嵌入式系统的软件

嵌入式系统软件由嵌入式操作系统和相应的各种应用程序构成。有时设计人员把这两种软件组合在一起。应用程序控制着系统的运作和行为；而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。

嵌入式操作系统是一种支持嵌入式系统应用的操作系统软件，它是嵌入式系统（包括硬、软件系统）极为重要的组成部分，通常包括与硬件相关的底层驱动软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面、标准化浏览器等。嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本特点，如能够有效地管理越来越复杂的系统资源；能够把硬件虚拟化，使得开发人员从繁忙的驱动程序移植和维护中解脱出来；能够提供库函数、驱动程序、工具集以及应用程序。此外，与通用操作系统相比较，嵌入式操作系统还具有以下特点。

- ✧ 编码体积小：适合在嵌入式系统的有限存储空间中运行。

- ✧ 面向应用，可裁剪和移植：系统功能可根据需求裁剪、调整和生成，以满足最终产品的设计需求，可进一步缩小编码体积，有效地运行。
- ✧ 实时性强：软件要求固态存储，以提高速度。软件代码要求高质量、高可靠性和实时性。
- ✧ 可靠性高：嵌入式系统可无须人工干预独立运行，并处理各类事件和故障。
- ✧ 专用性强，嵌入式操作系统和硬件的结合非常紧密，一般要针对硬件进行系统的移植。

3. 嵌入式系统的开发工具和开发系统

嵌入式系统的硬件和软件位于嵌入式系统产品本身，开发工具则独立于嵌入式系统产品之外。开发工具一般用于开发主机，包括语言编译器、连接定位器、调试器等，这些工具一起构成了嵌入式系统的开发系统和开发工具。

1.5 嵌入式系统中信息表示与运算基础

1.5.1 进位计数制与转换

人们常用的是十进制数制，但计算机中为便于存储及物理实现，采用了二进制数制。二进制数的基数为 2，只有 0 和 1 两个数码。为了书写和阅读的方便，一般使用十六进制数来表示二进制数，十六进制数的基数为 16，数码有：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E 和 F。本书中，通常用数字后面跟一个英文字母来表示该数的数制。十进制数用 D (Decimal) 或省略，二进制数用 B (Binary)，十六进制数用 H (Hexadecimal) 来表示。二进制数、十进制数、十六进制数之间的数码转换如表 1-1 所示。

表 1-1 二进制数、十进制数、十六进制数之间的数码转换表

二进制数	十进制数	十六进制数
0000	0	0
0001	1	1
0010	2	2
0011	3	3
0100	4	4
0101	5	5
0110	6	6
0111	7	7
1000	8	8
1001	9	9