



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

嵌入式系统

张大波 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>



清华大学出版社 Tsinghua University Press

嵌入式系统

第2版

清华大学出版社

清华大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

嵌入式系统

张大波 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共分9章。第1章讲述嵌入式系统的基本知识,以及产品开发流程和调试方法。第2章介绍嵌入式系统的硬件(重点是嵌入式处理器子系统)设计方法,并给出基于微控制器和微处理器的嵌入式系统设计例子。第3章介绍嵌入式存储器子系统,包括随机存储器、只读存储器、混合存储器的特点和使用,并着重介绍存储器的测试方法。第4章介绍基于裸机系统的软件结构设计方法。第5章介绍嵌入式操作系统的原理和基于多任务操作系统的软件开发,并简介常用的嵌入式操作系统的特点。第6章介绍嵌入式系统的软件组件化概念。第7章主要从软、硬件两个方面讨论嵌入式系统的低功耗设计技术问题。第8章从电路设计上讨论嵌入式系统的电磁兼容性问题。第9章是案例分析。

本书适合作为电气和电子信息类专业(电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等专业)本科高年级学生和研究生教材,也可以作为相关科技人员的指导用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统 / 张大波编著. —北京: 电子工业出版社, 2008.6
电子信息与电气学科规划教材. 电子信息科学与工程类专业
ISBN 978-7-121-06602-3

I. 嵌… II. 张… III. 微型计算机—系统开发—高等学校—教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 061588 号

责任编辑: 冉 哲

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.75 字数: 480 千字

印 次: 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

今天，几乎所有的电子设备都属于嵌入式系统。嵌入式系统应用在多个领域，如工业控制、家用电器、通信、医疗、农业等，军事与航天更是离不开嵌入式系统技术。我们日常所见的电子装置如移动电话、MP3、MP4、电视机、DVD、数码相机等都属于嵌入式系统产品。即使在 PC 机里，除了主板以外，也有许多嵌入式系统，如硬盘驱动器、光驱等，外部设备如打印机、扫描仪等。在未来社会中，我们走路时可能会被嵌入式系统装置绊倒，可以说，嵌入式系统无处不在。

嵌入式系统是随着后 PC 时代的到来而出现和发展起来的。为了适应信息技术的发展以及市场对于嵌入式系统人才不断增长的需求，目前国内外的许多高校开出了嵌入式系统方面的课程，从多个方面讲授嵌入式系统的相关知识，如从单片机方面、嵌入式操作系统方面。而且目前嵌入式系统方面的教材很少，大多数的相关书籍讲述特定的嵌入式处理器、单片机、微控制器的原理和应用，特定的嵌入式操作系统的应用开发等内容。它们的共同特点是专讲特定的处理器或操作系统/开发工具的使用，并且讲解得比较详细，适用于软、硬件平台已经确定的产品开发。

由于嵌入式系统软、硬件种类非常多，对于学生和开发者来说，不仅要见树木，更要见森林。

在本书中，作者对多年来从事嵌入式系统的开发方面的经验进行总结，着重介绍嵌入式系统、嵌入式处理器和嵌入式操作系统的一般原理，嵌入式系统的开发方法、开发原则和方法论，以及嵌入式系统的软、硬件的共性及其结合面。

本书根据学科的发展，参照了国内外最新的专著、教材和文献资料，以作者为学生开设嵌入式相关课程的讲稿和经验为基础而编写。

本书共分 9 章。第 1 章讲述嵌入式系统的基本知识，以及产品开发流程和调试方法。第 2 章介绍嵌入式系统的硬件（重点是嵌入式处理器子系统）设计方法，并给出基于微控制器和微处理器的嵌入式系统设计例子。第 3 章介绍嵌入式存储器子系统，包括随机存储器、只读存储器、混合存储器的特点和使用，并着重讲述了存储器的测试方法。第 4 章介绍基于裸机系统的软件结构设计方法。第 5 章介绍嵌入式操作系统的原理和基于多任务操作系统的软件开发，并简介了常用的嵌入式操作系统的特点。第 6 章介绍嵌入式系统的软件组件化概念，使用组件思想和良好的组件设计，可以大大提高嵌入式系统的开发效率和软件的复用性。第 7 章主要从软、硬件两个方面讨论嵌入式系统的低功耗设计技术问题。第 8 章从电路设计上讨论嵌入式系统的电磁兼容性问题。第 9 章为案例分析。

本书适合作为电气和电子信息类专业（电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等专业）本科高年级学生和

研究生教材，也可以作为相关科技人员的指导用书。

全书由张大波编著。巴魏、才莉、麻广林、高晶、张志敏进行了详尽的文字和文法校对、绘图工作，在此表示感谢，也感谢诸多为此书而默默工作的人们。

由于编者水平有限，难免有错误之处，欢迎读者批评指正。

编者

于大连理工大学

2008年3月

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	1
1.1 嵌入式系统的概念	1
1.2 嵌入式系统和嵌入式处理器的发展	2
1.2.1 嵌入式系统的发展	2
1.2.2 嵌入式处理器的发展	2
1.3 嵌入式系统的特点	4
1.4 嵌入式系统的组成	6
1.5 嵌入式系统的种类	6
1.6 嵌入式产品开发流程	7
1.6.1 需求分析阶段	7
1.6.2 方案设计阶段	8
1.6.3 科研开发阶段	9
1.6.4 系统测试阶段	9
1.7 嵌入式系统的调试方法	11
1.7.1 基于主机的调试	11
1.7.2 远程调试器与调试代理	11
1.7.3 ROM 仿真器	12
1.7.4 在线仿真	14
1.7.5 BDM	14
1.7.6 JTAG	16
1.7.7 软件仿真器	18
1.8 嵌入式系统的应用	20
1.9 嵌入式系统的发展趋势	22
1.9.1 硬件的发展	22
1.9.2 软件的发展	23
1.9.3 系统的发展	24
本章小结	25
思考题	25
第 2 章 嵌入式处理器	27
2.1 概述	27
2.2 嵌入式系统硬件子系统组成	27
2.2.1 嵌入式系统的嵌入形式	27

2.2.2	硬件子系统总体组成	29
2.2.3	嵌入式处理器子系统	30
2.2.4	嵌入式存储器子系统	32
2.2.5	附属电路和 I/O 子系统	32
2.2.6	调试子系统	32
2.3	嵌入式处理器的技术指标	33
2.4	典型的嵌入式处理器简介	35
2.4.1	Microchip 系列嵌入式控制器	35
2.4.2	Philips LPC 嵌入式控制器系列	35
2.4.3	Freescale 微控制器 MC68HC08 系列	35
2.4.4	MCS-51 系列嵌入式控制器/处理器	36
2.4.5	Atmel 公司的 AVR 系列微控制器	36
2.4.6	80C186 系列 16 位嵌入式处理器	37
2.4.7	MC68HC12 系列处理器	37
2.4.8	PowerPC 系列 32 位嵌入式处理器	37
2.4.9	ColdFire 系列 32 位嵌入式处理器	37
2.4.10	ARM 系列	38
2.5	如何选择嵌入式处理器	43
2.5.1	选择处理器的原则	44
2.5.2	选择嵌入式处理器的具体方法	44
2.6	嵌入式处理器子系统的设计方法	45
2.6.1	设计原则	45
2.6.2	基于微控制器的设计	46
2.6.3	基于微处理器的最小系统设计	46
	本章小结	52
	思考题	52
第 3 章	嵌入式系统的存储器	53
3.1	概述	53
3.2	嵌入式系统存储器的结构和组织	53
3.2.1	存储器的结构	53
3.2.2	嵌入式系统存储器子系统的结构	53
3.3	存储器的性能指标	54
3.4	存储器的分类	56
3.5	随机存储器 RAM	57
3.5.1	静态 RAM	57
3.5.2	动态 RAM	59
3.5.3	双端口 RAM 简介	62
3.5.4	选择 RAM	63

3.6	只读存储器 ROM	64
3.6.1	掩模 ROM	64
3.6.2	PROM	65
3.6.3	EPROM	65
3.6.4	EEPROM	68
3.6.5	Flash 存储器	70
3.6.6	只读存储器的编程	76
3.7	混合类型存储器	78
3.8	存储器的测试	79
3.8.1	存储器件本身的问题	79
3.8.2	电子线路的问题	79
3.8.3	接触不良	80
3.8.4	芯片的不正确安装	80
3.8.5	制定测试算法	80
3.9	验证只读存储器的内容	86
3.9.1	校验和	86
3.9.2	循环冗余码	86
3.10	系统配置数据存储	87
	本章小结	88
	思考题	88
第 4 章	裸机系统的软件开发	90
4.1	概述	90
4.2	嵌入式软件结构和组成	90
4.2.1	软件组成	91
4.2.2	初始化引导代码	91
4.2.3	用户应用程序	92
4.2.4	库函数模块	96
4.2.5	中断服务程序与子程序	97
4.3	监控程序	97
4.4	软件模块化与移植	97
4.4.1	移植的必要性	97
4.4.2	裸机系统的软件移植	98
4.4.3	可移植应用软件的设计原则	100
	本章小结	103
	思考题	103
第 5 章	嵌入式操作系统内核与软件开发	104
5.1	概述	104

10	5.2 操作系统简介	105
10	5.2.1 操作系统定义	105
20	5.2.2 操作系统分类	106
20	5.2.3 操作系统的功能组成	107
20	5.3 嵌入式 RTOS 的基本概念	109
05	5.4 RTOS 基本术语	110
05	5.5 RTOS 的关键技术指标	111
85	5.6 利用嵌入式操作系统开发应用	112
05	5.6.1 多任务系统软件模板	119
05	5.6.2 任务控制	122
05	5.6.3 任务之间的通信	123
08	5.6.4 任务之间的同步	126
08	5.6.5 定时器	132
08	5.6.6 存储器管理	134
08	5.6.7 分区存储器管理	138
08	5.7 常用的嵌入式操作系统简介	140
08	5.7.1 Nucleus Plus	140
78	5.7.2 VxWorks	140
88	5.7.3 $\mu\text{C}/\text{OS II}$	142
88	5.7.4 嵌入式 Linux	143
00	5.7.5 Windows CE	144
00	5.7.6 Hopen	147
00	5.8 如何选择嵌入式操作系统	148
00	5.8.1 概述	148
10	5.8.2 选择实时操作系统的依据	149
10	本章小结	153
50	思考题	154
	第 6 章 嵌入式软件组件	156
70	6.1 概述	156
70	6.2 嵌入式系统模型	156
70	6.3 键盘	157
80	6.3.1 模型	157
001	6.3.2 矩阵键盘扫描算法	158
001	6.3.3 接口函数	158
001	6.4 LED 显示器	160
001	6.4.1 模型	160
001	6.4.2 接口函数定义与使用	162
001	6.4.3 内部结构实现	164

6.5	LCD 显示器	166
6.5.1	模型	166
6.5.2	接口函数	166
6.5.3	模块实现	171
6.6	日历时钟	173
6.6.1	模型	173
6.6.2	接口函数	173
6.6.3	模块实现	177
6.7	模拟量输入	177
6.7.1	模型	177
6.7.2	接口函数	178
6.7.3	读取模数转换的方法	179
6.7.4	模块组件的可移植性考虑	182
6.8	模拟量输出	182
6.8.1	模型	182
6.8.2	接口函数	182
6.8.3	模块实现	183
6.9	数字量/开关量输入/输出	183
6.9.1	模型	183
6.9.2	接口函数	184
6.10	异步串行通信 UART	186
6.10.1	模型	186
6.10.2	模块实现	187
6.10.3	接口函数	190
6.11	其他组件模块	194
	本章小结	194
	思考题	194
第 7 章	低功耗系统设计	196
7.1	概述	196
7.2	低功耗的优点	196
7.3	降低功耗的措施综述	197
7.3.1	功耗产生的原因	197
7.3.2	与系统功耗有关的因素	198
7.3.3	降低功耗的措施	199
7.4	元件工艺的低功耗	201
7.5	硬件系统的低功耗设计	202
7.5.1	选择低功耗的器件	203
7.5.2	选用低功耗电路	204
7.5.3	单电源、低电压供电	205

7.5.4	分区供电降低功耗	205
7.5.5	利用 I/O 引脚为外围器件供电	205
7.5.6	电源管理单元的设计	206
7.5.7	采用智能电源	207
7.5.8	片选信号的处理	207
7.5.9	有效利用 I/O 器件的待机方式	207
7.5.10	降低处理器的时钟频率	208
7.5.11	动态改变处理器的时钟	208
7.5.12	降低持续工作电流	208
7.6	软件系统的低功耗设计	209
7.7	关于电池供电系统	211
	本章小结	212
	思考题	212
第 8 章	电磁兼容性问题	213
8.1	概述	213
8.1.1	电磁兼容的基本概念	213
8.1.2	电磁兼容的基本术语	213
8.2	电磁兼容的基本原理	214
8.2.1	常见的电磁兼容性问题	214
8.2.2	电磁环境特性	216
8.2.3	噪声耦合路径	217
8.2.4	PCB 走线的天线效应	218
8.2.5	系统内部电磁干扰产生的原因	219
8.3	基本元件的高频特性和模型	219
8.4	提高电磁兼容性的措施	228
8.4.1	消除地电位不均匀	228
8.4.2	时钟源的电源滤波方法	229
8.4.3	集成电路的辐射考虑	230
8.4.4	电路的布局与布线	231
8.5	旁路和去耦	232
8.5.1	概述	232
8.5.2	电源层和接地层的分布电容考虑	232
8.5.3	并联电容器	232
8.5.4	去耦电容参数的计算	233
8.5.5	安装	234
8.5.6	大电容的使用和选择	235
8.5.7	组件内电容的概述	236
8.6	信号完整性与串扰	236
8.6.1	信号完整性要求	236

8.6.2	反射和衰减振荡	237
8.6.3	计算电长走线	239
8.6.4	串扰	240
8.7	PCB 走线终端	242
8.7.1	传输线效应	242
8.7.2	终端匹配方法	242
8.8	接地	248
8.8.1	概述	248
8.8.2	接地模型	248
8.8.3	接地方法	248
8.8.4	消除接地环路	251
8.8.5	消除多点接地系统中的谐振现象	253
8.9	考虑电磁兼容性的其他措施	254
8.10	控制噪声的经验小结	255
8.10.1	控制噪声源	255
8.10.2	从传输路径减小噪声的耦合	256
8.10.3	在信号接收端减小噪声的接收	256
	本章小结	257
	思考题	257
第 9 章	案例分析	258
9.1	概述	258
9.2	PDA	258
9.2.1	PDA 概述	258
9.2.2	PDA 的硬件设计	260
9.2.3	PDA 的软件设计	269
9.3	水表智能抄表系统	270
9.3.1	水表智能抄表系统简介	270
9.3.2	基于 32 位机 S3C44B0X 的抄表手机的设计	271
9.4	AT91EB40A 评估开发板	273
9.5	信息家电	278
9.5.1	信息家电概述	278
9.5.2	信息家电的主要功能和特点	279
9.5.3	信息家电的分类	279
9.5.4	信息家电的硬件平台	281
9.5.5	信息家电的结构	282
9.5.6	嵌入式 Linux 在信息家电上的优势	282
	本章小结	283
	思考题	284
	参考文献	285

第1章 嵌入式系统概述

计算机包括处理器、控制器、存储系统、输入/输出系统等。从应用方面来看,计算机分为通用计算机(如微型计算机、大型计算机等)和专用计算机(即嵌入式系统)。嵌入式系统是一种专用计算机,不具有通用性,而是具有某一种特定应用的电子装置。随着后PC时代的到来,嵌入式系统已应用于人们工作、生活的各个方面,也就是说,嵌入式系统无处不在。

1.1 嵌入式系统的概念

嵌入式系统综合了计算机技术、微处理器技术、电子技术、通信技术、集成电路技术等多个学科技术。嵌入式系统已成为计算机技术和计算机应用领域的一个重要组成部分。国外的机构称嵌入式系统技术为嵌入式计算机技术。

概念上,嵌入式系统有以下两种定义方法。

第一种方法是从嵌入式系统的内涵上定义——嵌入式系统是以应用为中心、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、功耗严格要求的专用计算机系统。

第二种方法是从嵌入式系统的外延上定义——把数字计算机系统分成通用计算机和嵌入式系统两大类,通用计算机是指如微型计算机(PC)、大型计算机、服务器等,除此之外的计算机称为嵌入式系统。

嵌入式系统产品是专用硬件和软件的集合体。硬件包括可编程的数字处理器件,如嵌入式处理器、微控制器(Micro Control Unit, MCU)、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、可编程器件(如CPLD、FPGA)等,以及它们的组合体,存储器、输入/输出(I/O)端口、图形控制器等。软件部分包括嵌入式操作系统和应用软件。应用软件的功能取决于系统的应用环境,如手机应用软件不同于工业控制装置。嵌入式系统有时还嵌入到非电类装置如机械设备中,形成机电一体化装置、微机电系统等。这种机电一体化设备是为了完成某种特定的功能而设计的,有时也称其为嵌入式设备,如打印机、扫描仪、数控机床等。

嵌入式系统几乎可见于所有电气设备中,如个人数字助理(PDA)、手机、机顶盒、汽车控制系统、微波炉控制器、电梯控制器、安全系统、自动售货机控制器、医疗仪器、立体音响、自动取款机等。即使是一台通用的计算机,也包括多个嵌入式系统装置,它的外部设备,如硬盘驱动器、光盘驱动器、显示器、键盘、鼠标、声卡、网卡及打印机等,都是由嵌入式处理器控制的。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向行业应用的。因此,大多数嵌入式系统的开发者不仅是计算机专业的人才,而且还是各个行业的技术人员,例如,开发数字医疗设备,往往是生物医学工程技术人员和计算机专业的技术人员一起参与完成的。

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器，嵌入式微处理器的技术指标，如功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等，均受到应用要求的制约，这些也是各个半导体厂商之间竞争的热点。嵌入式微处理器与通用计算机不同，嵌入式系统的技术指标往往用具体的应用指标来衡量，如智能洗衣机用洗净度、耗电量、耗水量、洗衣速度等来衡量，而不是以控制它的处理器的速度、存储容量等来衡量。

嵌入式系统的软件是实现嵌入式系统功能的关键，软件代码要求高质量、高效率、高可靠性。软、硬件的可靠性最终体现在产品的可靠性和质量上。

1.2 嵌入式系统和嵌入式处理器的发展

1.2.1 嵌入式系统的发展

在计算机的发展历史中，最早出现的计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 专用于计算和控制导弹系统。20 世纪 50 年代前后 (1946—1957 年)，第一代电子数字计算机问世，这类计算机主要由电子管、晶体管、磁芯等器件组成，但其体积庞大，价格昂贵，因此阻碍了嵌入式系统的发展。

20 世纪 60 年代末为集成电路化计算机时期，技术发展表现在大规模集成电路技术、并行技术、先行控制、流水线、单总线结构、高速通用寄存器、强有力的中断系统、交叉存取、操作系统等方面。

嵌入式系统的快速发展和大规模应用是在微处理器问世之后，许多微处理器的生产厂家陆续推出了自己的处理器产品，如 Intel, Motorola, Zilog 等公司。以这些微处理器为核心构成的微型计算机——OEM 嵌入式计算机 (有时称为单板机)，被广泛用于制造仪器仪表、医疗设备、机器人、家用电器等，这个时代的嵌入式系统以单板机的形式存在。嵌入式系统以提供插件板的形式提供，如 CPU 板、存储器板和各式 I/O 插件板等。用户购买插件板构成专用的嵌入式系统，并嵌入到自己的设备中，成为面向应用的嵌入式系统。与此同时，军方根据自己的需求，由工业部门研制生产了包括 CPU 板、存储器板、接口板、总线板、电源板、数模变换板等 OEM 产品的抗恶劣环境的计算机系统，形成了完整系列的军用嵌入式系统。这一时代的嵌入式系统的核心是基于通用处理器的单板机。

20 世纪 80 年代，随着集成电路工艺的发展，集成电路制造商开始把微处理器、I/O 端口、A/D 转换、D/A 转换、串行接口及 RAM、ROM 均集成到一个 VLSI (Very Large Scale Integration, 超大规模集成电路) 中，制造出面向应用设计的嵌入式微控制器，有时称为单片机。之后发展的 DSP 产品更是提升了嵌入式系统的数据处理能力，成为嵌入式系统中异军突起的一支新秀，迅速渗入到消费电子、医用电子、智能控制、通信电子、仪器仪表、交通运输等领域。

1.2.2 嵌入式处理器的发展

嵌入式系统的发展经历了从系统、单板机到单片机三个时代。但就嵌入式处理器而言，经历了以下 4 个发展阶段。

1. 第一代嵌入式处理器

1971 年 11 月，Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起，推出了世

世界上第一片嵌入式微处理器 Intel 4004, 用于计算器。其后, 各厂家又推出了 8 位、16 位的微处理器。20 世纪 70 年代后期, 4 位逻辑控制器件发展到 8 位, 以 Motorola 公司推出的 8 位处理器 MC6801 为代表, 它以当时流行的微处理器 MC6800 为 CPU, 使用 NMOS 工艺将并行口、定时器和 128B RAM 集成在一个芯片内。Intel 同期的代表产品是 8048, 可称之为第一代微处理器。

2. 第二代嵌入式处理器

最早采用 CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体) 工艺的微处理器是 Motorola 公司的 MC146805, 出现在 20 世纪 80 年代。1982 年以后, CMOS 工艺逐渐被高速、低功耗的 HCMOS 工艺代替 (HCMOS 是高速互补型金属氧化膜半导体的英文缩写)。MC68HC05 最早出现于 1982 年, 20 多年来, 其产品种类已由当时的一种发展到如今的数百种。最早进入中国市场的是 Intel 8051 系列微处理器, 过渡到 CMOS 工艺的 80C51 相对晚些。近年来, Philips 等公司开始生产与 8051 兼容的微处理器, 并扩展了其功能。以早期的 MC146805 与 Intel 8051 为代表的微处理器可称为第二代微处理器。

3. 第三代嵌入式处理器

近 10 年来, 微处理器的发展出现了许多新特点, 可称之为第三代微处理器。在技术上, 由可扩展总线型向纯单片型发展, 即只能工作于单片方式。内存容量已做得相当大, I/O 功能已足够丰富, 不需要外加扩展芯片。这样既降低了整机成本, 又可以防止伪造。掩模产品数量可接受的起点降至 2000~3000 片。

微处理器的扩展方式从并行总线型发展到多种串行总线型, 并被工业界接受, 形成一些工业标准, 如 I²C 总线、SPI 总线, 甚至将网络协议的低两层或低三层协议都集成进去, 如 CAN 总线。

将多个 CPU 集成到 1 个微处理器中已很普遍, 例如, MC143120/MC143150 中集成有 3 个 CPU, 一个用于 I/O 控制, 另一个用于类似以太网协议的通信, 还有一个用于总体协调。随着超大规模集成电路技术的发展, 将数字信号处理器、精简指令流型微处理器等集成到微处理器中的产品 (有时称为 SoC, System on Chip, 片上系统) 已经出现。

4. 第四代嵌入式处理器

Flash 的使用使微处理器技术进入了第四代。

在降低功耗、提高可靠性方面, 微处理器工作电压已降至 3.3V。工作电压为 2.7V、1.8V 的微处理器也已经出现, 有的微处理器的工作电压可降至 0.9V。在抗噪声、抗干扰方面也不断出现一些新技术。

一些小公司也在不断推出它们的微处理器产品, 这些微处理器中有许多是为它们本公司的电气产品设计的。由于用户的介入, 微处理器的控制功能得到了飞速的发展。这些功能的发展, 远远超出了计算机科学的领域, 其应用领域之广几乎是无限的, 小到信用卡、玩具, 大到航天器、机器人。实现数据采集、过程控制、模糊控制、娱乐等功能的各种智能系统, 都离不开嵌入式系统。

1.3 嵌入式系统的特点

1. 嵌入式系统与通用计算机系统的不同

嵌入式系统与通用计算机系统相比，具有以下6个主要的不同点。

① 嵌入式系统通常是面向特定应用的，因此嵌入式CPU与通用CPU的最大不同就是嵌入式CPU大多工作在为特定用户群设计的系统中，例如，ARM系列多用于手机中，Motorola的龙珠系列用于中档PDA中，PowerPC系列用于网络设备中等。一般，决定嵌入式处理器应用环境的主要因素是集成的外部接口的功能和处理速度。它通常都具有低功耗、体积小、多功能等特点，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，并提高可靠性。

② 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。这一特点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、不断创新的知识集成系统。因此，嵌入式系统的开发和应用不容易在市场上形成垄断。

③ 嵌入式系统的硬件和软件都必须进行高效率的设计，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和功能。

④ 嵌入式系统的应用软件取决于行业应用的不同，是实现嵌入式系统功能的关键，它与通用计算机的软件相比，具有以下不同点：

- 大多数应用的软件要求固件化，即固化在只读存储器中；
- 要求高质量、高可靠性的软件代码；
- 许多应用要求系统软件具有实时处理能力。

⑤ 嵌入式系统与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。

⑥ 大多数嵌入式系统本身不具备自开发能力，即使设计完成以后，用户通常也不能对其中的软件功能进行修改，必须借助于开发系统或交叉开发装置进行软件开发和升级。

2. 嵌入式微处理器的特点

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器，嵌入式微处理器一般具备以下4个特点：

① 对实时多任务有很强的支持能力，能完成多任务并且有较短的中断响应时间，从而使内部的代码和实时内核的执行时间缩短到最低限度。

② 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。

③ 可扩展的处理器结构，例如，ARM7 TDMI内核的处理器通过扩充外部接口，形成网络控制器、多媒体应用、移动电话应用等。

④ 嵌入式微处理器功耗很低，尤其用于便携式无线及移动计算和通信设备中，靠电池供电的嵌入式系统更是如此，需要功耗只有毫瓦级甚至微瓦级。

3. 嵌入式操作系统（EOS）

一般地，嵌入式系统的应用软件运行于嵌入式操作系统（Embedded Operating System，