

“十一五”高等院校规划教材

主 编 文全刚
副主编 陈 远 纪 绪 朱天元

嵌入式系统 接口原理与应用



北京航空航天大学出版社

“十一五”高等院校规划教材

嵌入式系统 接口原理与应用

主 编 文全刚

副主编 陈 远 纪 绪 朱天元

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要内容分成3个部分:第一部分介绍以ARM为内核的嵌入式微处理器基本知识、嵌入式开发环境,包括第1、2章。第二部分介绍存储器接口、基本输入/输出接口、外部总线接口、网络接口、嵌入式系统软件设计等知识,包括第3~7章。第三部分是实验内容,包括第8章。本书含光盘1张,内含相关实验的源代码和相应视频,读者可根据实际情况选做其中的实验。

本书可作为高等院校计算机、电子及相关专业的教材或参考书,也适合工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统接口原理与应用/文全刚主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2009.10

ISBN 978-7-81124-929-3

I. 嵌… II. 文… III. 微型计算机—接口—系统设计
IV. TP364.721

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第178828号

© 2009,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制本书及所附光盘内容。
侵权必究。

嵌入式系统接口原理与应用

主 编 文全刚

副主编 陈 远 纪 绪 朱天元

责任编辑 董立娟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

www.buaapress.com.cn E-mail:emsbook@gmail.com

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:23.75 字数:532千字

2009年10月第1版 2009年10月第1次印刷 印数:4 000册

ISBN 978-7-81124-929-3 定价:42.00元(含光盘)

前言

目前,嵌入式产品已经无处不在:通信、信息、数字家庭、工业控制等领域,随处都能见到嵌入式产品;国内也掀起了学习嵌入式知识的热潮。嵌入式知识的学习范围很广,不仅要学习软件知识还要学习硬件知识。学习嵌入式要以应用为导向,因此,建议学习者首先选择一款主流芯片,以点带面、循序渐进地进行。目前,以 ARM 为核心的嵌入式技术逐渐成为我国嵌入式教学的主流。

结合多年的教学实践,我们编写了嵌入式系列教材,《嵌入式系统接口原理与应用》是软硬件结合最紧密的知识模块。目前,嵌入式设计中大多数是结合某种开发板做二次开发,因此,硬件的比重只占到 20%,而软件的比重却占到 80%。本书按照“接口原理→典型电路→接口编程”这种模式对常用接口进行了介绍,重点是接口驱动程序的编写。本书的接口驱动程序不是基于某种操作系统,而是用 C 语言编写从而直接控制接口控制器。通过 ADS 集成开发调试环境,读者可以很清楚地看到软件对硬件的控制过程。这个理解过程对于读者编写基于某种操作系统下的接口驱动程序有很大的帮助。本书的前导课程是《计算机组成原理》、《C 语言程序设计》、《汇编语言程序设计——基于 ARM 体系结构》,后续课程是《嵌入式 Linux 操作系统原理与应用》、《嵌入式系统原理与应用》。

本书主要内容分成 3 个部分:第一部分介绍以 ARM 为内核的嵌入式微处理器基本知识、嵌入式开发环境,包括第 1、2 章。第二部分介绍存储器接口、基本输入/输出接口、外部总线接口、网络接口、嵌入式系统软件设计等知识,包括第 3~7 章。第三部分是实验内容,包括第 8 章。具体章节安排如下:

第 1 章 嵌入式微处理器:首先介绍嵌入式系统的基本组成结构,然后介绍微处理器的基本知识以及常用的嵌入式微处理器,最后重点介绍国内几种以 ARM 为内核的嵌入式微处理器以及 ARM 芯片的选型。

第 2 章 嵌入式开发环境:介绍接口硬件开发的基本知识、基于开发板的二次开发、最小硬件系统模块、电源复位电路、时钟电路、JTAG 接口等知识,结合实例重点介绍本书接口软件开发所用的开发工具——ADS 平台。

第 3 章 嵌入式系统的存储器:结合半导体存储器件的发展过程分别介绍 ROM、



EPROM、Flash ROM 等器件的原理和基本结构,重点介绍国内用得比较多的两种 Nand Flash 芯片和 NOR Flash 芯片。最后介绍常用的外部存储器,如硬盘、光盘、U 盘等。

第 4 章 基本输入/输出接口:结合国内常用的 ARM 芯片 S3C2410,介绍常用的输入/输出接口,如 GPIO、键盘与鼠标接口、数/模转换、触摸屏、显示器接口、音频接口等,并结合电路介绍如何对基本的输入/输出接口进行软件编程。

第 5 章 外部总线接口:结合国内常用的 ARM 芯片 S3C2410,介绍常用的外部总线接口,如 RS-232 接口、PCI 接口、SPI 接口、I²C 接口、USB 接口、PCMCIA 接口等,并结合电路介绍如何对外部总线进行接口编程。

第 6 章 网络接口:主要介绍以太网网络、CAN 总线、GPRS 接口、ZigBee 技术、GPS 接口技术。

第 7 章 嵌入式系统软件设计:首先介绍通用操作系统和嵌入式操作系统的基本联系和区别,然后重点介绍 μ C/OS-II 操作系统的基本结构及其在 ARM 内核 CPU 中的移植,最后结合实例介绍 μ C/OS-II 下应用程序的编写。

第 8 章 常用接口实验:首先介绍嵌入式接口开发环境,然后对常用的接口实验进行介绍,其中,基本实验主要包括存储器实验、矩阵键盘实验、A/D 转换实验、触摸屏实验、LCD 实验、串口实验、SPI 总线接口、 μ C/OS-II 实验;扩展实验包括 I²C 实验、CAN 总线接口、GPRS 实验。基本实验都有相应的视频作参考,读者可根据实际情况选做其中的实验。

本书有如下几个特点:

① 本书是学习 ARM 架构嵌入式知识中接口知识模块的课程,适用于嵌入式方向应用型本科教学,也适合读者自学。

② 本书编写中融入了作者多年的项目经验,编写时注重实践操作部分,尽量避免繁琐、高深的理论介绍,强调培养学生的动手能力。

③ 配套的实验教学视频,结合国内常用的 UP-NETARM2410S 实验平台,本书 90% 以上的程序都可以在 ADS 开发环境中进行在线调试。针对这些实验我们做了 19 个视频供学习者参考,真正做到了手把手教学。

④ 配套光盘,本书中用到的学习资料和所有的源程序都在光盘中,利于教学与自学。

⑤ 配套的网络资源,读者可以登录 <http://jsjpg.jluzh.com/>,找到嵌入式系统实验室教学网,里面提供了一些免费的教学资源。

本书在编写过程中得到了北京航空航天大学何立民教授、北京航空航天大学出版社马广云博士的很多帮助和鼓励,在此表示衷心的感谢。参与本书编写工作的人员如下:吉林大学珠海学院陈远、朱天元、罗建、纪绪、苗雨、孙奇、陈卓、张荣高、乔瑞芳、孙永

坚等,湖南铁道职业技术学院刘志成副教授,一并表示感谢。同时,感谢康学林副院长、教学工作部杨文彦主任、王元良教授、庞振平教授、陈守孔教授、姜云飞教授、司玉娟教授、张立教授、闫维和教授、刘亚松高级工程师等,以及家人的大力支持。

由于时间仓促,加之作者水平有限,错误和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

有兴趣的读者,可以发送电子邮件到:wen_sir_125@163.com,与作者进一步交流;也可以发送电子邮件到:xdhydc5@sina.com,与本书的策划编辑进行交流。

作 者

2009年6月于珠海

目 录

第 1 章 嵌入式微处理器

1.1 概 述	1
1.1.1 嵌入式系统的组成	1
1.1.2 嵌入式处理器的分类	2
1.1.3 嵌入式处理器的评估指标	5
1.2 嵌入式微处理器基础	6
1.2.1 微处理器设计中的基本概念	6
1.2.2 体系结构	9
1.2.3 CISC 和 RISC 技术	10
1.2.4 流水线技术	11
1.2.5 多核技术	15
1.2.6 嵌入式处理器发展趋势	17
1.3 总线概述	19
1.3.1 基本概念	19
1.3.2 片内总线	21
1.3.3 芯片总线	22
1.3.4 系统内总线	22
1.3.5 外部总线	24
1.4 常见的嵌入式微处理器	25
1.4.1 PowerPC 处理器	25
1.4.2 68K/ColdFire 处理器	28
1.4.3 MIPS 处理器	28
1.4.4 SPARC 处理器	29
1.4.5 ARM 处理器	30
1.5 ARM 处理器	35



1.5.1	ARM 内核	35
1.5.2	ARM 寄存器	37
1.5.3	信息存储的字节顺序	42
1.5.4	ARM 指令系统	44
1.5.5	ARM 处理器的中断和异常	48
1.6	ARM 内核	52
1.6.1	ARM7 系列	52
1.6.2	ARM9 系列	53
1.6.3	ARM10 系列	55
1.6.4	ARM11 系列	57
1.6.5	SecurCore 微处理器系列	58
1.6.6	StrongARM 和 XScale 系列	58
1.6.7	ARM Cortex 处理器系列	60
1.7	基于 ARM 核的芯片选择	61
1.7.1	ARM 内核的选择	61
1.7.2	接口控制器的选择	62
1.7.3	多核的选择	64
1.7.4	国内常用 ARM 芯片	65
1.7.5	选择方案举例	68
	习 题	69

第2章 嵌入式开发环境

2.1	硬件设计基础	70
2.1.1	电路设计基本流程	70
2.1.2	常用的电路设计工具	71
2.1.3	接口的作用	72
2.1.4	接口设计	75
2.2	基于开发板的二次开发	77
2.2.1	基于开发板的二次开发概述	77
2.2.2	嵌入式最小系统的硬件模块	78
2.2.3	嵌入式系统的启动架构	81
2.3	电源和复位接口	82
2.3.1	电源接口概述	82
2.3.2	低功耗设计和电源管理	83

2.3.3 电源接口电路	86
2.3.4 RST 电路	86
2.4 调试接口	88
2.4.1 嵌入式系统的调试方法	88
2.4.2 JTAG 调试接口	88
2.5 ADS1.2 集成开发环境	90
2.5.1 Code Warrior IDE	90
2.5.2 AXD 调试器	92
2.5.3 使用 ADS 开发软件过程	92
2.5.4 汇编语言和 C 语言交互编程	95
习 题	98

第 3 章 嵌入式系统的存储器

3.1 存储系统概述	99
3.1.1 存储器的分类	99
3.1.2 存储系统的层次结构	101
3.1.3 半导体存储器的主要性能指标	102
3.1.4 嵌入式系统存储设备	103
3.2 随机存储器 RAM	103
3.2.1 概 述	103
3.2.2 静态随机存储器 SRAM	104
3.2.3 动态随机存储器 DRAM	107
3.2.4 同步动态随机存储器 SDRAM	110
3.2.5 双倍速率随机存储器 DDRAM	111
3.2.6 存储器接口	111
3.2.7 存储器接口编程	113
3.3 只读存储器 ROM	116
3.3.1 掩膜 ROM	116
3.3.2 可编程 ROM	117
3.3.3 可擦除可编程 ROM	117
3.3.4 电可擦除可编程 ROM	118
3.3.5 Flash 存储器	119
3.4 Nor Flash 芯片介绍	123
3.4.1 SST39VF160	123



3.4.2	SST39VF160 的操作命令	124
3.4.3	Nor Flash 接口电路	128
3.4.4	Nor Flash 接口编程	129
3.5	Nand Flash 存储器	134
3.5.1	K9F1208UOB 概述	134
3.5.2	K9F1208UOB 的操作命令	137
3.5.3	Nand Flash 控制器	140
3.5.4	Nand Flash 接口电路	142
3.5.5	Nand Flash 接口编程	143
3.6	外部存储器	148
3.6.1	硬 盘	148
3.6.2	光盘存储器	150
3.6.3	Flash 卡	151
	习 题	154

第4章 基本输入/输出接口

4.1	输入/输出接口概述	155
4.1.1	GPIO 的结构与原理	155
4.1.2	S3C2410 中的 GPIO	157
4.2	键盘和鼠标接口	160
4.2.1	键盘接口	160
4.2.2	键盘接口编程	162
4.2.3	PS/2 接口	164
4.3	A/D 转换器	167
4.3.1	A/D 转换器概述	167
4.3.2	A/D 转换的原理	168
4.3.3	D/A 转换的方法	173
4.3.4	A/D 转换电路	175
4.3.5	A/D 转换接口编程	177
4.4	触摸屏接口	179
4.4.1	触摸屏的工作原理	179
4.4.2	S3C2410 触摸屏控制器	182
4.4.3	S3C2410 触摸屏接口编程	185
4.5	显示器接口	188

4.5.1 CRT 显示器	189
4.5.2 LED 显示器	192
4.5.3 液晶显示器	196
4.6 LCD 控制器接口与编程	199
4.6.1 LCD 控制器概述	199
4.6.2 控制流程	200
4.6.3 LCD 接口编程	203
4.7 音频接口	206
4.7.1 I ² S 总线概述	206
4.7.2 基于 I ² S 接口的硬件设计	209
4.7.3 基于 I ² S 接口的软件设计	211
习 题	212

第 5 章 外部总线接口

5.1 串行与并行接口	213
5.1.1 概 述	213
5.1.2 RS-232-C 串行接口	216
5.1.3 UART 控制器	218
5.1.4 串行接口编程	222
5.1.5 并行接口	224
5.2 USB 接口	227
5.2.1 概 述	227
5.2.2 USB 通信原理	231
5.2.3 S3C2410 的 USB 接口	233
5.2.4 USB 接口软件设计	235
5.3 IEEE1394 接口	236
5.3.1 概 述	236
5.3.2 IEEE1394 协议结构	238
5.4 SPI 接口	239
5.4.1 概 述	239
5.4.2 S3C2410 中的 SPI 接口	241
5.4.3 SPI 接口编程	243
5.5 I ² C 总线接口	244
5.5.1 概 述	244



5.5.2 I ² C 总线工作原理	245
5.5.3 I ² C 总线接口电路	247
5.5.4 I ² C 总线接口编程	248
5.6 PCMCIA 接口和 PCI 总线	250
5.6.1 PCMCIA 接口	250
5.6.2 PCI 总线	251
习 题	253

第 6 章 网络接口

6.1 以太网接口	254
6.1.1 概 述	254
6.1.2 以太网接口工作原理	258
6.1.3 以太网接口软件设计	258
6.2 CAN 总线接口	260
6.2.1 概 述	260
6.2.2 CAN 总线工作原理	261
6.2.3 CAN 总线接口	262
6.2.4 CAN 总线接口编程	264
6.3 常用无线接入技术	267
6.3.1 概 述	267
6.3.2 红外技术	267
6.3.3 HomeRF 技术	268
6.3.4 GPRS/CDMA 接入技术	269
6.3.5 WLAN 技术	270
6.4 蓝牙接口	271
6.4.1 概 述	271
6.4.2 蓝牙的基本原理	273
6.4.3 蓝牙接口	276
6.5 GPRS 接口	279
6.5.1 概 述	279
6.5.2 GPRS 的基本原理	280
6.5.3 GPRS 接口	282
6.5.4 GPRS 接口编程	285
6.6 ZigBee 技术	286

6.6.1 概 述	286
6.6.2 ZigBee 技术的基本原理	288
6.6.3 ZigBee 接口	290
6.7 GPS 接口	292
6.7.1 概 述	292
6.7.2 GPS 的基本原理	293
6.7.3 GPS 接口	295
6.7.4 GPS 接口编程	296
习 题	297

第 7 章 嵌入式系统软件设计

7.1 嵌入式系统软件结构	298
7.1.1 嵌入式软件体系结构	298
7.1.2 设备驱动层	299
7.1.3 实时操作系统	300
7.1.4 中间件层	301
7.1.5 应用程序	302
7.2 嵌入式操作系统	302
7.2.1 操作系统的基本功能	302
7.2.2 嵌入式操作系统	303
7.2.3 嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 概述	305
7.3 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的内核结构	305
7.3.1 多任务	305
7.3.2 任务调度	308
7.3.3 中断与时间管理	309
7.3.4 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的初始化	311
7.3.5 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的任务通信和同步	312
7.4 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的原理与移植	314
7.4.1 移植 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 基本要求	314
7.4.2 主体移植过程	315
7.5 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的应用程序设计	318
7.5.1 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 扩展的 RTOS 体系结构	318
7.5.2 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的应用程序	319
7.5.3 基于绘图 API 的应用程序	320



习 题	323
第 8 章 常用接口实验	
8.1 嵌入式系统开发环境	324
8.2 存储器实验	326
8.3 矩阵键盘实验	333
8.4 A/D 转换实验	336
8.5 触摸屏实验	338
8.6 LCD 实验	342
8.7 串口实验	343
8.8 SPI 实验	347
8.9 I ² C 接口实验	349
8.10 CAN 总线实验	353
8.11 GPRS 总线实验	355
8.12 μ C/OS-II 实验	359
参考文献	363

第 1 章

嵌入式微处理器

嵌入式产品的设计是以处理器为核心的系统设计,以 ARM 为内核的嵌入式处理器得到了广泛的应用。本章首先介绍嵌入式系统的基本组成结构,然后介绍微处理器的基本知识以及常用的嵌入式微处理器,最后重点介绍国内几种以 ARM 为内核的嵌入式微处理器以及 ARM 芯片的选型方法。

1.1 概 述

1.1.1 嵌入式系统的组成

嵌入式系统是软/硬件结合紧密的系统。一般而言,嵌入式系统由嵌入式硬件平台、嵌入式软件组成。其中,嵌入式系统硬件平台包括各种嵌入式器件,图 1-1 下半部分是一个以 ARM 嵌入式处理器为中心,由存储器、I/O 设备、通信模块以及电源等必要辅助接口组成的嵌入式系统。嵌入式系统的硬件核心是嵌入式微处理器,有时为了提高系统的信息处理能力,常外接 DSP 和 DSP 协处理器(也可内部集成),以完成高性能信号处理。

嵌入式系统不同于普通计算机,它是为产品量身定做的专用计算机应用系统。在实际应用中的嵌入式系统硬件配置非常精简,除了微处理器和基本的外围电路以外,其余的电路都可以根据需求和成本进行裁减、定制,非常经济、可靠。随着计算机技术、微电子技术、应用技术的不断发展及纳米芯片加工工艺技术的发展,以微处理器为核心,集成多功能的 SOC 系统芯片已成为嵌入式系统的核心。在嵌入式系统设计中,要尽可能地选择满足系统功能接口的 SOC 芯片,这些 SOC 集成了大量的外围 USB、UART、以太网、ADC/DAC 等功能模块。

可编程片上系统 SOPC(System On Programmable Chip)结合了 SOC 和 PLD、FPGA 各自的技术特点,使得系统具有可编程的功能,是可编程逻辑器件在嵌入式应用中的完美体现,极大地提高了系统在线升级、换代的能力。以 SOC/SOPC 为核心,用最少的外围部件和连接部件构成一个应用系统,满足系统的功能需求,这是嵌入式系统发展的一个方向。

嵌入式系统软件一般包含 4 个方面:设备驱动层、实时操作系统(RTOS)、中间件层、实际应用程序层,如图 1-1 上半部分所示。

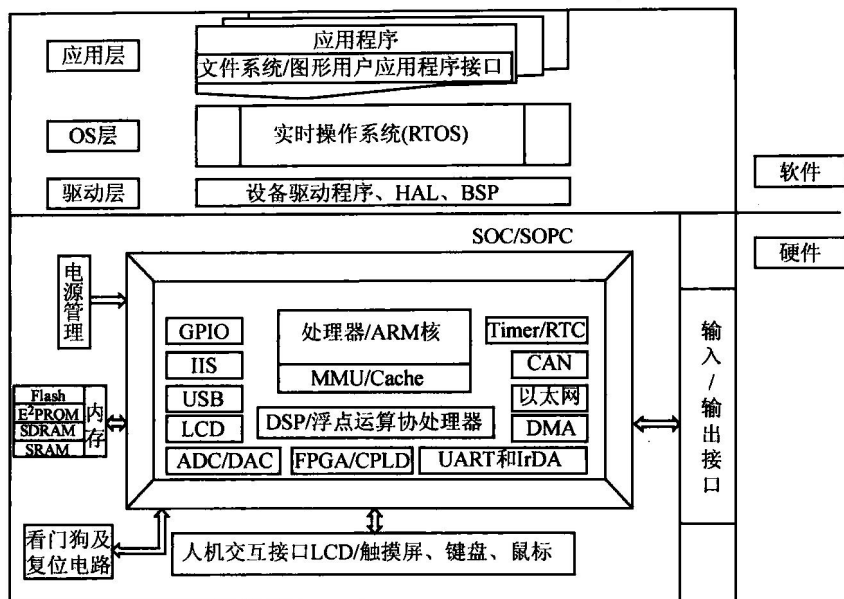


图 1-1 典型的嵌入式系统组成

1.1.2 嵌入式处理器的分类

嵌入式系统的硬件是以嵌入式处理器为核心,配置必要的外围接口部件。在嵌入式系统设计中,应尽可能选择适于系统功能接口的 SOC/SOPC 芯片,以最少的外围部件构成一个应用系统,满足嵌入式系统的特殊需求。

嵌入式处理器可分为 4 类:嵌入式微处理器(MPU, Micro Processor Unit)、嵌入式微控制器(MCU, Microcontroller Unit)、嵌入式 DSP(EDSP, Embedded Digital Signal Processor)、嵌入式片上系统(System On Chip)。随着嵌入式系统复杂性的提高,控制算法更加复杂。嵌入式 Internet 的广泛应用、嵌入式操作系统的引入以及触摸屏等复杂人机接口的使用,使 32 位处理器核的应用也日趋广泛。

1. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器(MPU, Micro Processor Unit)就是与通用计算机的微处理器对应的 CPU。在应用中它的特征是具有 32 位以上的处理器,具有较高的性能,当然其价格也相应较高。但与计算机处理器不同的是,在实际嵌入式应用中只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件,去除其他的冗余功能部分,这样就以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。和工业控制计算机相比,嵌入式微处理器具有体积小、质量小、成本低、可靠性高的优点。早期的嵌入式系统是将微处理器装配在专门设计的电路板上,并在电路板上设计了与嵌入式系统相

关的功能模块,这样可以满足嵌入式系统体积小和功耗低的要求。目前,嵌入式处理器主要包括 Am186/88、386EX、PowerPC、Motorola68000、ARM/StrongARM、MIPS 等系列。其中,ARM/StrongARM 是专为手持设备开发的嵌入式微处理器,属于中档价位。

2. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器(MCU, Microcontroller Unit)将 CPU、存储器(少量的 RAM、ROM 或两者都有)和其他外设封装在同一片集成电路里。嵌入式微控制器的典型代表是单片机,从 20 世纪 70 年代末单片机出现到今天,虽然已经经过了近 30 年的发展,但这种 8 位电子器件目前在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。单片机芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、E²PROM 等各种必要的功能和外设。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,从而降低功耗和成本、提高可靠性。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,因此称为微控制器。

由于 MCU 具有低廉的价格、优良的性能等优势,所以拥有的品种和数量最多,其中比较有代表性的有 8051、MCS-251、MCS-96/196/296、P51XA、C166/167、68K 系列以及 MCU 8XC930/931、C540、C541。另外,还有许多半通用系列,如支持 USB 接口的 MCU8XC930/931、C540、C541;支持 I²C、CAN(控制器局域网)、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。

3. 嵌入式 DSP 处理器

嵌入式 DSP 专门用来对离散时间信号进行极快地处理计算,提高了编译效率和执行速度。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 的理论算法在 20 世纪 70 年代就已经出现,但是由于专门的 DSP 处理器还未出现,所以这种理论算法只能通过 MPU 等分立元件实现。MPU 较低的处理速度无法满足 DSP 的算法要求,其应用领域仅仅局限于一些尖端的高科技领域。随着大规模集成电路技术发展,1982 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片,其运算速度比 MPU 快了几十倍,在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。至 20 世纪 80 年代中期,随着 CMOS 技术的进步与发展,第二代基于 CMOS 工艺的 DSP 芯片应运而生,其存储容量和运算速度都得到成倍提高,成为语音处理、图像硬件处理技术的基础。到 20 世纪 80 年代后期,DSP 的运算速度进一步提高,应用领域也从上述范围扩大到了通信和计算机方面。20 世纪 90 年代后,DSP 发展到了第五代产品,集成度更高,使用范围也更加广阔。

DSP 应用正在从通用微处理器中以普通指令实现 DSP 功能过渡到采用嵌入式 DSP 处理器实现 DSP 功能。嵌入式 DSP 处理器有两个发展方向:一是嵌入式 DSP 处理器和嵌入式处