

基于 ARM 嵌入式系统接口技术

李 岩 韩劲松 孟晓英 王宏欣 等编著

于德水 审

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍嵌入式系统设计方法、ARM 处理器体系结构及汇编语言编程、ARM 芯片硬件结构及时序等,以实际的开发板为线索,详细论述了嵌入式存储器接口、中断接口、DMA 接口、IIC 总线接口、通用 I/O 接口、定时器接口、串行接口、高级音频接口和网络接口等各种外围接口电路原理和设计,并给出了调试通过的接口程序。特别是对高级音频接口和网络接口电路设计和编程的详细介绍,在网络信息技术和消费类电子应用技术飞速发展的今天,具有重要的意义。

本书结构参照了早期周明德教授和王长胤教授编写的 8 位 Z80 微机接口技术书籍的结构,也参照了后期编写的 16 位 8086 微机接口技术书籍的结构,既继承了经过几十年形成的微机接口技术的基本原理和基本方法,去掉了目前很少使用的处理器接口芯片(如 8255、8259、8251、8279、8253 等),又融入了 32 位 ARM 嵌入式新技术新接口,比较适合当今计算机应用的需要,便于广大读者或教师完成由 8/16 位微处理器接口向 32 位微处理器接口的过渡。

本书内容丰富,辅以图表,使讲解更为清楚直观,易于理解,并且配有齐全的实例程序和完备的程序注释,具有较强的实践性和应用性。本书配套资源丰富,建有精品课程网站(<http://www1.hrbust.edu.cn/xueyuan/com/embedded/>),可作为有关嵌入式教学的本科生或研究生的教材使用,也可供嵌入式爱好者、从业人员和高等院校师生开发使用。对于网络软件开发人员理解底层网络通信机理,开发出更好的软件也有很大的帮助。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基于 ARM 嵌入式系统接口技术/李岩,韩劲松,孟晓英,王宏欣等编著.

—北京:清华大学出版社,2009.1

ISBN 978-7-302-18808-7

I. 基… II. ①李… ②韩… ③孟… ④王… III. 微处理器, ARM-接口 IV. TP332.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 166942 号

责任编辑:钟志芳 朱 俊

封面设计:刘 超

版式设计:赵丽娜

责任校对:王 云

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25.75 字 数:610 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版 印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:39.80 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:030850-01

前 言

嵌入式系统无疑是当前最热门、最有发展前途的 IT 应用领域之一。未来的几年内，随着信息化、智能化、网络化的发展，嵌入式系统技术也将获得广阔的发展空间。面对巨大的机遇和挑战，嵌入式系统异军突起，作为信息时代的产业技术，肩负重大的历史使命，成为当今信息发展的主流技术。

随着半导体技术的发展，具有高性价比的 ARM 处理器必将取代 8051 单片机，成为应用领域主流处理器。而且国内高校“微机接口技术课程”内容由 16 位 8086 处理器转变为 32 位的嵌入式处理器已成为必然趋势，现有的如 8255、8253、8250、8237 等过时接口芯片必将被嵌入式的通用 I/O 接口、存储器 FLASH 及 SDRAM 接口、定时器接口、串行接口、高级音频接口和网络接口等所取代，特别是在网络信息技术和消费类电子应用技术飞速发展的今天，高级音频接口和网络接口是必不可少的。本书以当前最廉价、接口最丰富、采用占有率最高（80%以上）的 ARM 内核处理器芯片为基础，必将产生较好的社会价值和应用价值。

国外原版英文图书，对于国内嵌入式开发者来说，对英文阅读理解有一定困难。而且，国外图书价格昂贵，不适合国内情况。但国外图书背景知识交代清楚详细，实例实验丰富，值得借鉴。国内嵌入式开发方面的图书也很多，但主要注重软件技术开发方面，嵌入式接口技术方面的书几乎没有，即使有，也缺少必要的知识铺垫，对原理、背景知识交待较少，其内容很难懂，不易理解，不适于国内嵌入式开发者。

本书的特点

- ◇ 本书既继承了经过几十年形成的微机接口技术的基本原理和基本方法，又融入了 32 位 ARM 嵌入式新技术，比较适合当今计算机应用的需要。
- ◇ 本书吸收了国外图书背景知识讲述清楚详细的特点，通过实例和实验深入浅出地阐述基本原理，有利于读者掌握基本方法，理解基本技术，学会实际应用。
- ◇ 本书既注意科学性、学术性，又重视可读性，有利于读者自学和课外预习和复习。
- ◇ 本书配套资源丰富。课题组完成了“嵌入式接口技术”课程教学大纲、教学 CAI 课件、教学录像和电子教案等；建立了嵌入式微机接口技术精品课程网站（<http://www1.hrbust.edu.cn/xueyuan/com/embedded/>），网站包括嵌入式微机接口技术论坛、在线答疑及作业提交功能、在线考试系统、习题库、试题库及答案；课题组还编写了该教材的配套实验指导书。

本书的读者对象

本书主要从嵌入式原理和应用实践的角度展现嵌入式系统接口技术的基本理论、主要内容和实际开发应用方法。特别注重理论和实践相结合，既具有面向教学，又具有面向开

发和应用的特点，可作为有关嵌入式教学的本科生或研究生的教材使用，也可供嵌入式爱好者、从业人员和高等院校师生开发使用。对于网络软件开发人员理解底层网络通信机理，开发出更好的软件也有很大的帮助。

本书的内容结构

本书各章内容安排如下：

第 1 章介绍了嵌入式系统概念、特点、主流的微处理器、常用的操作系统和嵌入式的设计过程。

第 2 章主要介绍了 ARM 微处理器的体系结构和指令系统。

第 3 章首先介绍了 ARM7 芯片特点、体系结构、引脚功能、时钟及功耗管理、各寄存器定义及各种存储器读/写时序图。然后介绍了 EV44B0II 开发板功能模块、存储地址空间分配、I/O 口配置、电源、时钟及复位电路。

第 4 章主要介绍了存储系统原理和编程应用。首先介绍存储器系统层次结构、半导体主存储器的分类及工作原理，并详细介绍了典型 SRAM、DRAM、SDRAM、EPROM 和 FLASH 芯片的内部结构、引脚、电路设计及编程方法。然后介绍了 ARM 芯片的存储系统接口电路设计及编程实例。

第 5 章主要介绍了中断原理和编程应用。首先介绍了中断的原理、中断源的识别，然后介绍了 ARM 芯片的中断源、中断优先级、向量中断和非向量中断。接着介绍了硬件设定的固有中断向量和软件设定的中断向量的建立方法。最后给出了外部中断服务程序的编写方法和编程实例。

第 6 章介绍了采用 ARM 芯片的通用 I/O 端口，设计简单人机接口（LED 和键盘）电路的方法及编程实例。

第 7 章主要介绍了 DMA 与主存交换数据采用的 3 种方式，即 CPU 停止访问、主存周期挪用和 DMA 与 CPU 交替访问，并且详细阐述了 DMA 控制器的功能和组成。然后以 ARM 芯片 DMA 控制器为实例来具体介绍其内部结构、外部 DMA 请求/应答协议及 DMA 3 种传输模式。最后阐述了 ARM 芯片的 DMA 编写方法及编程实例。

第 8 章主要介绍了 ARM 芯片的 PWM 定时器、看门狗定时器和日历时钟。详细阐述了各种定时器的结构、控制寄存器定义、基本定时器操作和电路设计及编程。

第 9 章主要介绍了 LCD 触摸屏接口和编程。首先介绍了 ARM 芯片中用于显示控制的 LCD 控制器的工作原理、操作、LCD 专用寄存器定义、接口电路和编程控制，并给出了设计程序。然后介绍了触摸屏的原理、电路控制和编程。

第 10 章主要介绍了串行接口及编程应用。介绍了串行通信的基本概念，RS-232C 和 RS-485 两种串行通信标准的电气特性、传输连接等，并阐述了 ARM 芯片的异步串行接口工作原理，UART 寄存器定义、UART 的操作和收发字符的程序，最后还介绍了同步串行接口 SIO 的操作模式和寄存器定义。

第 11 章主要介绍了几种常用 A/D 和 D/A 转换器的电路结构、工作原理及其应用，其中着重讲解了 ADC0809 和 DAC0832 两种转换器的工作原理以及与 ARM 的连接方式。最后通过 ADC0809/DAC0832 转换器的时序图及相关实例，让读者更深刻地了解 A/D 和 D/A

转换器的具体应用，提高读者的动手操作水平。

第 12 章主要介绍了 IIC 总线接口的数据传送格式，发送和接收数据的过程，并以 EEPROM 为例，介绍了 IIC 总线的读写原理和应用编程。

第 13 章主要介绍了 ARM 芯片的音频接口 IIS、音频编解码芯片 UDA1341TS 工作原理和录放声音程序实例。

第 14 章主要介绍了网络芯片 LAN91C111。包括网络芯片 LAN91C111 的主要功能、缓冲存储器中的帧格式、MAC 与 PHY 常用寄存器、发送数据包与接收数据包流程及基于此网络芯片的设计及编程等。

感谢

本书第 1 章、第 6 章、第 11 章、第 12 章和附录由李岩编写，并完成课件制作，第 2 章由韩劲松编写，第 14 章由孟晓英编写，第 3 章由王宏欣编写，第 4 章由王爽编写，第 5 章由李志强编写，第 9 章由王姚编写，第 10 章和第 13 章由钟玉峰编写，第 7 章由洪国铭编写，第 8 章由沈泓编写。全书由于德水主审，李岩负责全书统稿工作。崔晓英、郝建青、贾小梨、王显山、王文良、张学勇、张小生、刘为伟、张俊义、张超、路传博和戴瑞起等同学完成程序验证和录入工作。感谢计算机系老师给予的大力帮助和指导。

由于涉及内容广泛，加之时间仓促，书中难免存在错误或疏漏之处，敬请专家和读者予以斧正。

编 者
2008 年 9 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统导论	1
1.1 概述	1
1.1.1 什么是嵌入式系统	1
1.1.2 嵌入式系统的特点及分类	2
1.2 嵌入式微处理器和嵌入式操作系统	4
1.2.1 嵌入式微处理器	4
1.2.2 嵌入式操作系统	6
1.3 嵌入式系统设计过程	9
1.3.1 需求分析	10
1.3.2 规格说明	14
1.3.3 体系结构设计	14
1.3.4 设计硬件构件和软件构件	16
1.3.5 系统集成	16
1.3.6 系统测试	16
1.4 小结	17
1.5 习题	17
第 2 章 ARM/Thumb 微处理器结构及指令系统	18
2.1 ARM 微处理器概述	18
2.1.1 ARM 处理器系列	19
2.1.2 RISC 体系结构	22
2.1.3 ARM 和 Thumb 状态	22
2.1.4 寄存器	23
2.1.5 ARM 指令集概述	23
2.1.6 Thumb 指令集概述	23
2.2 ARM 微处理器体系结构	24
2.2.1 数据类型	24
2.2.2 ARM 微处理器的工作状态	24
2.2.3 ARM 体系结构的存储器格式	24
2.2.4 ARM 微处理器模式	25
2.2.5 寄存器组织	26
2.2.6 异常	31

2.3	ARM/Thumb 指令系统	36
2.3.1	ARM 处理器寻址方式	36
2.3.2	ARM 指令集介绍	39
2.3.3	Thumb 指令集介绍	58
2.4	GNU GCC 简介	59
2.4.1	GNU 组成	59
2.4.2	GCC 编译程序的基本过程	60
2.5	汇编语言编程	61
2.5.1	汇编语言	61
2.5.2	宏语句与条件汇编	66
2.5.3	模块化程序设计	68
2.5.4	内存模式	69
2.5.5	StrongARM & ARM7	69
2.5.6	汇编语言简单程序设计	71
2.6	小结	75
2.7	习题	75
第 3 章	ARM 芯片 CPU 管理及附加电路	77
3.1	S3C44B0X 简介	77
3.2	系统时钟及电源管理	85
3.2.1	概述	85
3.2.2	寄存器定义	87
3.2.3	时钟与电源管理编程	89
3.3	CPU Wrapper 及总线优先级管理	90
3.3.1	概述	90
3.3.2	内部 SRAM	90
3.3.3	总线优先级	91
3.3.4	写缓冲区操作	92
3.3.5	特殊寄存器	92
3.4	存储器管理及时序	94
3.4.1	S3C44B0X 存储系统的特征	94
3.4.2	存储时序图	99
3.5	MICETEK EV44B0II 开发板简介	103
3.5.1	存储地址空间分配	103
3.5.2	I/O 端口配置	105
3.5.3	电源、时钟及复位电路	107
3.5.4	MBL 介绍	110
3.6	小结	111

3.7 习题.....	111
第 4 章 存储器接口电路设计及编程.....	112
4.1 存储器概述.....	112
4.1.1 存储器分类.....	112
4.1.2 存储器的层次结构.....	113
4.2 半导体存储器.....	114
4.2.1 半导体存储器分类及评价指标.....	114
4.2.2 半导体存储芯片结构.....	115
4.2.3 静态随机存取存储器 (SRAM).....	116
4.2.4 动态随机存取存储器 (DRAM).....	119
4.2.5 只读存储器 ROM.....	127
4.2.6 FLASH 存储器接口.....	129
4.2.7 存储器与 CPU 的连接.....	132
4.3 S3C44B0X 存储系统实例.....	134
4.3.1 SDRAM 存储器接口及编程.....	134
4.3.2 FLASH 存储器接口及编程.....	135
4.4 小结.....	137
4.5 习题.....	138
第 5 章 中断系统结构及编程.....	139
5.1 中断方式原理.....	139
5.1.1 中断操作.....	139
5.1.2 中断源及其识别方法.....	140
5.1.3 中断优先级仲裁方式.....	141
5.2 S3C44B0X 中断系统.....	143
5.2.1 S3C44B0X 中断概述.....	143
5.2.2 中断源及中断模式.....	144
5.2.3 中断请求及允许.....	145
5.2.4 中断判优.....	146
5.2.5 IRQ 中断响应模式.....	147
5.2.6 中断及异常响应处理过程.....	152
5.2.7 中断特殊寄存器.....	156
5.2.8 中断程序应用编程.....	164
5.3 小结.....	167
5.4 习题.....	167

第 6 章 通用 I/O 接口电路设计及编程	168
6.1 概述.....	168
6.2 端口控制寄存器.....	171
6.3 LED 接口电路设计及编程.....	173
6.3.1 LED 接口电路原理.....	173
6.3.2 I/O 端口与数码管编程.....	175
6.4 键盘接口电路设计及编程.....	175
6.4.1 按键识别方法.....	176
6.4.2 抖动和重键问题.....	178
6.4.3 键盘电路设计及编程.....	178
6.5 小结.....	181
6.6 习题.....	181
第 7 章 DMA 接口电路原理及编程	182
7.1 DMA 接口电路原理.....	182
7.1.1 DMA 方式的特点.....	182
7.1.2 DMA 控制器的功能和组成.....	184
7.2 S3C44B0X DMA 控制器.....	187
7.2.1 S3C44B0X DMA 控制器结构.....	187
7.2.2 外部 DMA 请求/应答协议.....	189
7.2.3 DMA 传输模式.....	191
7.2.4 DMA 请求源的选择.....	192
7.2.5 DMA 自动重装模式.....	193
7.2.6 S3C44B0X 芯片的 DMA 寄存器.....	193
7.3 S3C44B0X DMA 编程.....	198
7.4 小结.....	200
7.5 习题.....	201
第 8 章 定时接口电路及编程	202
8.1 PWM 定时器.....	202
8.1.1 概述.....	202
8.1.2 PWM 定时器操作.....	202
8.1.3 PWM 定时器控制寄存器.....	208
8.1.4 PWM 定时器编程.....	210
8.2 看门狗定时器 WDT.....	212
8.2.1 概述.....	212
8.2.2 WDT 定时器控制寄存器.....	212

8.2.3	WDT 定时器编程.....	213
8.3	日历时钟.....	214
8.3.1	概述.....	214
8.3.2	RTC 时钟.....	214
8.3.3	实时时钟寄存器定义.....	216
8.3.4	RTC 时钟电路及编程.....	218
8.4	小结.....	220
8.5	习题.....	221
第 9 章	LCD/触摸屏接口电路设计及编程.....	222
9.1	LCD 控制器.....	222
9.1.1	LCD 工作原理.....	222
9.1.2	内部 LCD 控制器.....	224
9.1.3	LCD 控制器的操作.....	225
9.1.4	LCD 控制器专用寄存器.....	228
9.1.5	LCD 接口电路设计及编程.....	234
9.2	触摸屏电路设计及编程.....	238
9.2.1	触摸屏概述.....	238
9.2.2	电阻触摸屏原理.....	239
9.2.3	触摸屏电路控制.....	240
9.2.4	触摸屏编程.....	243
9.2.5	触摸屏与显示器的配合.....	245
9.3	小结.....	245
9.4	习题.....	246
第 10 章	串行通信接口.....	247
10.1	概述.....	247
10.2	RS-232C 接口.....	250
10.3	RS-485 接口.....	253
10.4	S3C44B0X 异步串行接口.....	255
10.5	异步串行接口编程.....	263
10.6	同步串行接口 SIO.....	264
10.7	小结.....	269
10.8	习题.....	269
第 11 章	A/D 和 D/A 接口电路设计及编程.....	270
11.1	A/D 转换器.....	270
11.1.1	A/D 转换器基础.....	270

11.1.2	A/D 转换器的主要技术指标	270
11.2	A/D 转换器类型	271
11.3	ADC0809 介绍	275
11.4	ARM 自带 A/D 转换器	278
11.5	A/D 转换器电路设计及编程	280
11.6	D/A 转换器	281
11.6.1	D/A 转换器工作原理	281
11.6.2	常用集成 DAC 转换器简介	283
11.7	小结	285
11.8	习题	286
第 12 章	IIC 总线接口电路设计及编程	287
12.1	S3C44B0X 的 IIC 接口概述	287
12.2	IIC 总线接口专用寄存器	295
12.3	IIC 接口电路设计及编程	297
12.3.1	AT24Cxx 系列 EEPROM 芯片介绍	297
12.3.2	EEPROM 读/写操作	298
12.3.3	初始化	301
12.4	小结	304
12.5	习题	304
第 13 章	IIS 音频接口电路设计及编程	305
13.1	音频系统简介	305
13.2	IIS 音频接口	306
13.2.1	IIS 总线概述	306
13.2.2	传输方式	307
13.2.3	声音串口格式	308
13.2.4	采样频率和主时钟	309
13.2.5	IIS 操作	310
13.2.6	IIS 总线接口寄存器	310
13.3	UDA1341TS 芯片	312
13.3.1	UDA1341TS 的电路	312
13.3.2	UDA1341 内部的寄存器	314
13.4	IIS 接口及编程	318
13.5	小结	324
13.6	习题	324

第 14 章 网络接口电路设计及编程.....	325
14.1 IEEE 802.3 介绍.....	325
14.1.1 TCP/IP 协议层次结构.....	325
14.1.2 IEEE 802.3 协议简介.....	326
14.2 LAN91C111 芯片简介.....	328
14.2.1 芯片功能概述.....	328
14.2.2 芯片功能框图.....	328
14.2.3 芯片引脚功能介绍.....	330
14.3 缓冲存储器中的帧格式.....	332
14.4 接收帧状态字.....	334
14.5 LAN91C111 芯片 MAC 常用寄存器.....	334
14.5.1 MAC 常用寄存器.....	334
14.5.2 PHY MII 常用寄存器.....	344
14.6 发送和接收过程介绍.....	352
14.6.1 发送数据包.....	352
14.6.2 接收数据包.....	354
14.7 网络接口电路及编程.....	354
14.8 小结.....	373
14.9 习题.....	374
附录 A S3C44B0X 特殊功能寄存器地址对应表.....	375
附录 B 系统的启动.....	382
参考文献.....	395

第 1 章 嵌入式系统导论

随着社会信息化的日益加强，计算机和网络已经全面渗透到日常生活的每一个角落。对于每个人来说，需要的已经不仅仅是那种放在桌面上处理文档、进行工作管理和生产控制的计算机“机器”。任何一个普通人都可能拥有大小不一的、形状各异的、使用嵌入式技术的电子产品，小到 MP3、PDA 等微型数字化产品，大到网络家电、智能家电、车载电子设备等。

目前，各种各样的新型嵌入式系统设备在应用数量上已经远远超过了通用计算机。在工业和服务领域中，使用嵌入式技术的数字机床、智能工具、工业机器人和服务机器人正在逐渐改变着传统的工业生产和服务方式。

本章主要内容：

- ◇ 嵌入式系统的概念。
- ◇ 嵌入式系统的特点、分类及应用领域。
- ◇ 主流嵌入式微处理器和嵌入式操作系统。
- ◇ 嵌入式系统设计方法。

1.1 概述

1.1.1 什么是嵌入式系统

1. 嵌入式系统的定义

借用英国的电气工程师学会（IEE）的一个定义（<http://www.iee.org/policy/areas/y2k/w43.cfm>）：嵌入式系统是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”。

2. 嵌入式系统的特性

嵌入式系统具备下列特性：

- (1) 通常只执行特定功能，这一点与一般桌上型办公设备或数据库系统有很大区别。
- (2) 以微型计算机与周边器件构成核心，其规模可在大范围内变化，如从 8051 芯片到 x86 芯片。
- (3) 要求严格的时序和稳定性，这是因为在机器控制的大型系统中，程序运行稍有差错则可能使得整个系统失去控制，甚至造成灾害。
- (4) 全自动操作循环。

嵌入式系统是计算机软件与硬件的综合体，它以应用为中心，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、体积和功耗等严格要求的专用计算机系统。嵌入式计算机在应用数量上远远超过了各种通用计算机。一台通用计算机的外部设备中就包含了 5~10 个嵌入式微处理器，键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、调制解调器、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机和 USB 集线器等均是由嵌入式处理器进行控制的。

1.1.2 嵌入式系统的特点及分类

1. 嵌入式系统的特点

(1) 系统内核小。由于嵌入式系统一般是应用于小型电子装置的，系统资源相对有限，所以内核较传统的操作系统要小得多。如 ENEA 公司的 OSE 分布式系统，内核只有 5KB，而 Windows 的内核则要大得多。

(2) 专用性强。嵌入式系统的个性化很强，其中的软件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，即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化和增减不断进行修改。同时，针对不同的任务，往往需要对系统进行较大修改。程序的编译下载要和系统相结合，这种修改和通用软件的“升级”是完全不同的两个概念。

(3) 系统精简。嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分，不要求其功能的设计及实现过于复杂，这样一方面有利于控制系统成本，同时也有利于实现系统安全。

(4) 高实时性的操作系统软件是嵌入式软件的基本要求，而且软件要求固化存储，以提高速度。软件代码要求具有高质量和高可靠性。

(5) 嵌入式软件开发要想走向标准化，就必须使用多任务的操作系统。嵌入式系统的应用程序可以没有操作系统而直接在芯片上运行；但是为了合理地调度多任务，利用系统资源、系统函数以及专家库函数接口，用户必须自行选配 RTOS (Real Time Operating System) 开发平台，这样才能保证程序执行的实时性、可靠性，并减少开发时间，保障软件质量。

(6) 嵌入式系统开发需要专门的开发工具和环境。由于嵌入式系统本身不具备自主开发能力，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，因此必须有一套开发工具和环境才能进行开发，这些工具和环境一般基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。开发时往往有主机和目标机的概念，主机用于程序的开发，目标机作为最后的执行机，开发时需要两者交替结合进行。

2. 嵌入式系统的分类

由于嵌入式系统由硬件和软件两大部分组成，所以其分类也可以从硬件和软件进行划分。

(1) 嵌入式系统硬件。从硬件方面来讲，嵌入式系统的核心部件是嵌入式处理器。据不完全统计，全世界嵌入式处理器的品种数量已经超过 1000 多种，流行体系结构有 30 多个，其中 8051 体系占大多数。生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个，共 350 多种衍生产品，仅 PHILIPS 公司就有近 100 种。目前嵌入式处理器的寻址空间为 64~256MB，处理

速度为 0.1~2000MIPS。

近年来嵌入式微处理器的主要发展方向是小体积、高性能、低功耗。专业分工也越来越明显，出现了专业的 IP 核（Intellectual Property Core，知识产权核）供应商，如 ARM 和 MIPS 等，它们提供优质、高性能的嵌入式微处理器内核，由各个半导体厂商生产面向各个应用领域的芯片。

一般可以将嵌入式处理器分成 4 类，即嵌入式微处理器（Micro Processor Unit, MPU）、嵌入式微控制器（Micro Controller Unit, MCU）、嵌入式 DSP 处理器（Digital Signal Processor, DSP）和嵌入式片上系统（System On Chip, SOC），如图 1-1 所示。

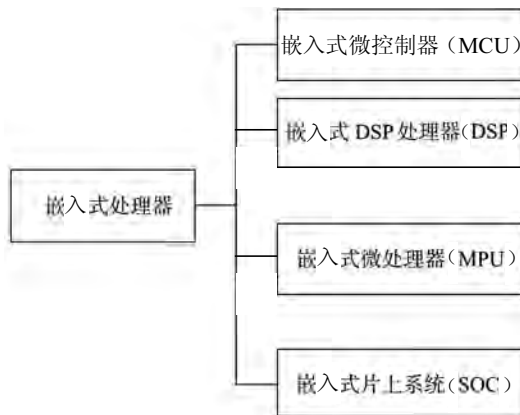


图 1-1 嵌入式硬件系统分类

(2) 嵌入式系统软件。嵌入式系统软件一般由嵌入式操作系统和应用软件组成。操作系统是连接计算机硬件与应用程序的系统程序。操作系统有两个基本功能：一是使计算机硬件便于使用，二是高效组织和正确地使用计算机的资源。操作系统有 4 个主要任务：进程管理、进程间通信与同步、内存管理和 I/O 资源管理。

目前，嵌入式系统软件主要有两大类，即实时系统和分时系统，如图 1-2 所示。



图 1-2 嵌入式软件系统分类

实时操作系统是指具有实时性，能支持实时控制系统工作的操作系统。实时操作系统的首要任务是调度一切可利用的资源完成实时控制任务，其次才是着眼于提高计算机系统的使用效率，其重要特点是通过任务调度来使重要事件在规定的时间内作出正确的响应。实时操作系统与分时操作系统有着明显的区别。具体地说，对于分时操作系统，软件的执行在时间上的要求并不严格，时间上的延误或者时序上的错误，一般不会造成灾难性的后

果。而对于实时操作系统，主要任务是对事件进行实时的处理，虽然事件可能在无法预知的时刻到达，但是软件必须在事件随机发生时，在严格的时限内作出响应（系统的响应时间）。即使是系统处在尖峰负荷下也应如此，系统时间响应的超时就意味着致命的失败。另外，实时操作系统的重要特点是具有系统的可确定性，即系统能对运行的最好和最坏情况作出精确的估计。

Stankovic 给出了实时系统的定义，“实时系统是这样一种系统，即系统执行的正确性不仅取决于计算的逻辑结果，而且还取决于结果的产生时间。”

实时系统又可以分为硬实时系统和软实时系统。硬实时和软实时的区别在于对外界的事件作出反应的时间。硬实时系统必须对事件作出及时的反应，绝对不能错过事件处理的时限。在硬实时系统中如果出现了没有及时反应的情况就意味着巨大的损失和灾难。比如说航天飞机的控制系统如果出现故障，后果将不堪想象。

软实时系统是指如果在系统负荷较重时，允许发生错过时限而且不会造成太大的危害的情况。如液晶屏刷新允许有短暂的延迟。

硬实时系统和软实时系统实现的区别主要是在选择调度算法上。对于软实时系统，选择基于优先级调度的算法足以满足软实时系统的需求，而且可以提供高速的响应和大的系统吞吐量；而对硬实时系统来说，需要使用的算法就应该是调度方式简单，反应速度快的实时调度算法。

3. 嵌入式系统的应用

嵌入式系统主要应用于以下几个大的方面：

- (1) 国防武器装备。如导弹瞄准、雷达识别和电子对抗设备等。
- (2) 通信信息设备。如路由器、程控交换机、移动电话和调制解调器等。
- (3) 过程控制。即对生产过程中各种动作流程的控制，这种控制是在对被控对象和环境进行不断观测的基础上作出及时反应的，如流水线控制和金属加工控制等。
- (4) 智能仪器。如网络分析仪、示波器和医疗仪器等。
- (5) 消费产品。各式各样的信息家电产品，如数字电视和微波炉等。
- (6) 生物微电子技术。这是当今嵌入式技术的前沿应用，有着广阔的市场空间。

1.2 嵌入式微处理器和嵌入式操作系统

1.2.1 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器有许多种流行的处理器核，芯片生产厂家一般都基于这些处理器核生产不同型号的芯片。本节将主要介绍以下几种嵌入式处理器的架构以及典型芯片制造商生产的芯片型号。