



高等院校精品课程系列教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材

JINGPIN
KECHENG

单片机与嵌入式 系统原理及应用

赵德安 主编



附赠电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等院校精品课程系列教材

“十二五”江苏省高等学校重点教材 (编号: 2014-1-067)

单片机与嵌入式系统 原理及应用

赵德安 主编

孙运全 盛占石 副主编

I. ①单... II. ①赵... III. ①单... IV. ①TP368.1
教材 - 高等学校 - 教材

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第 103290 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑: 时 蕾
责任印制: 常天瀑 责任校对: 李 蔚
北京京丰印刷厂印刷
2014年7月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·22.75印张·252千字

机械工业出版社

本书全面系统地讲述了 MCS-51 系列单片机的基本结构和工作原理、基本系统、指令系统、汇编语言程序设计、并行和串行扩展方法、人机接口、SPI 和 I²C 等串行数据总线接口,以及 C 语言程序开发、Proteus 下单片机仿真等单片机应用方面的内容。针对嵌入式系统的发展趋势,介绍了 ARM 嵌入式处理器,通过 μ C/OS-II 介绍了嵌入式操作系统及软件开发,以 STM32F103xx 系列微控制器为例,说明了基于 ARM 内核的嵌入式微控制器的应用。每章都附有习题,以供课后练习。附录中还列出了单片机应用资料的网上查询方法等内容。

全书内容自成体系,语言通俗流畅,结构合理紧凑,既可作为高等院校单片机与嵌入式系统课程的教材,也可作为相关电子技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机与嵌入式系统原理及应用/赵德安主编. —北京:
机械工业出版社, 2016. 6
高等院校精品课程系列教材
ISBN 978-7-111-53791-5

I. ①单… II. ①赵… III. ①单片微型计算机-系统设计-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 103790 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 时 静 责任编辑: 时 静
责任印制: 常天培 责任校对: 李锦莉 刘秀丽
北京京丰印刷厂印刷
2016 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm × 260mm · 22.75 印张 · 552 千字
0 001—3 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-53791-5
定价: 55.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

服务咨询热线: 010-88379833 机工官网: www.cmpbook.com
读者购书热线: 010-88379649 机工官博: weibo.com/cmp1952
教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版 金书网: www.golden-book.com

前 言

单片微型计算机简称单片机，是典型的嵌入式微控制器。单片机具有集成度高，功能强，结构简单，易于掌握，应用灵活，可靠性高，价格低廉等优点，在工业控制、机电一体化、通信终端、智能仪表和家用电器等诸多领域中得到了广泛应用，已成为传统机电设备进化为智能化机电设备的重要手段。ARM 和开源嵌入式软件使得开发周期更短、开发资金更低、开发效率更高，为单片机和嵌入式系统的发展起到了重要作用。众多的厂家在加快推出基于 ARM 核的单片机，并逐渐形成了 ARM7—ARM9—ARM10—ARM11—Cortex 的产品格局。因此高等理工院校师生和工程技术人员了解和掌握单片机与 ARM 嵌入式系统的原理和应用技术是十分必要的。

按照循序渐进的原则，本书先以单片机经典体系结构的 MSC-51 系列为背景机，较系统地介绍了单片机的发展概况和基本结构、工作原理、基本系统、指令系统、汇编语言程序设计、并行扩展和串行扩展方法、人机接口以及单片机的开发应用等方面的内容，同时结合单片机网络化、多功能化的发展趋势，补充了 SPI 和 I²C 等串行数据总线接口、单片机的 C 语言程序开发、Proteus 下单片机仿真等内容。随后介绍了 ARM 嵌入式处理器，通过 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 介绍了嵌入式操作系统及软件开发，以 STM32F103xx 系列微控制器为例，说明了基于 ARM 内核的嵌入式微控制器的应用。

为便于自学，本书配套了电子课件，每章都附有习题，以供课后练习。附录中还列出了单片机应用资料的网上查询方法等内容。

本书由赵德安担任主编，孙运全、盛占石担任副主编。其中，第 1、2、7 章由盛占石编写，第 3、6 章由赵德安编写，第 5 章由周重益编写，第 8 章由张建生编写，第 10、11、12 章由孙运全编写，第 4 章由周重益、赵文祥共同编写，第 9 章由赵德安、潘天红、孙月平、王伟共同编写。李金伴教授认真审阅了部分书稿，并提出了指导性的建议和中肯的意见。

在编写过程中，我们参考了有关书刊，资料，在此对有关作者一并表示感谢。

由于水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	1	3.1.2 常用的缩写符号	27
第1章 绪论	1	3.1.3 伪指令	28
1.1 单片机与嵌入式系统发展概况	1	3.2 寻址方式	30
1.1.1 单片机的发展历史	1	3.2.1 寄存器寻址	30
1.1.2 嵌入式系统的产生和发展	1	3.2.2 立即寻址	31
1.1.3 嵌入式系统的特点	2	3.2.3 直接寻址	31
1.1.4 典型的嵌入式单片机产品	4	3.2.4 寄存器间接寻址	31
1.2 单片机的嵌入式应用领域和应用方式	7	3.2.5 基寄存器加变址寄存器间接寻址	32
1.3 习题	8	3.2.6 相对寻址	32
第2章 单片机的基本结构与工作原理	9	3.2.7 位寻址	33
2.1 MCS-51 系列单片机总体结构	9	3.3 指令的类型、字节和周期	34
2.1.1 MCS-51 单片机的引脚描述	9	3.3.1 指令系统的结构及分类	34
2.1.2 MCS-51 单片机的硬件资源	11	3.3.2 指令的字节和周期	34
2.1.3 MCS-51 单片机的片外总线结构	12	3.4 数据传送指令	35
2.2 MCS-51 单片机的时钟电路及 CPU 的工作时序	13	3.4.1 一般传送指令	35
2.2.1 时钟电路	13	3.4.2 累加器专用数据交换指令	40
2.2.2 CPU 的工作时序	14	3.5 算术运算指令	41
2.3 MCS-51 单片机存储器分类及配置	16	3.5.1 加减指令	41
2.3.1 程序存储器	17	3.5.2 乘法和除法指令	45
2.3.2 数据存储器	17	3.6 逻辑运算指令	46
2.4 CHMOS 型单片机的低功耗工作方式	21	3.6.1 累加器 A 的逻辑运算指令	46
2.4.1 空闲方式	22	3.6.2 两个操作数的逻辑运算指令	47
2.4.2 掉电方式	22	3.6.3 单位变量逻辑运算指令	48
2.4.3 节电方式的应用	22	3.6.4 双位变量逻辑运算指令	48
2.5 习题	24	3.7 控制转移指令	49
第3章 单片机的指令系统	25	3.7.1 无条件转移指令	49
3.1 指令格式	25	3.7.2 条件转移指令	50
3.1.1 汇编指令	25	3.7.3 子程序调用和返回指令	52
3.1.2		3.8 习题	54
3.1.3		第4章 单片机的其他片内功能部件	56
3.2		4.1 并行 I/O 口	56
3.2.1		4.1.1 P1 口	56
3.2.2		4.1.2 P2 口	57
3.2.3		4.1.3 P0 口	59
3.2.4			
3.2.5			
3.2.6			
3.2.7			
3.3			
3.3.1			
3.3.2			
3.4			
3.4.1			
3.4.2			
3.5			
3.5.1			
3.5.2			
3.6			
3.6.1			
3.6.2			
3.6.3			
3.6.4			
3.7			
3.7.1			
3.7.2			
3.7.3			
3.8			

4.1.4 P3 口	60	6.1.2 地址译码方法	127
4.2 定时器/计数器	61	6.2 程序存储器扩展	130
4.2.1 定时器的一般结构和工作原理	61	6.2.1 常用 EPROM 存储器电路	130
4.2.2 定时器/计数器 T0 和 T1	62	6.2.2 程序存储器扩展方法	131
4.2.3 定时器/计数器的初始化	66	6.3 数据存储器扩展	132
4.2.4 8052 等单片机的定时器/计数器 T2	67	6.3.1 常用的数据存储器	132
4.3 串行通信接口	70	6.3.2 数据存储器扩展方法	133
4.3.1 串行通信及基础知识	70	6.4 并行接口的扩展	134
4.3.2 串行接口的组成和特性	71	6.4.1 用 74 系列器件扩展并行 I/O 口	135
4.3.3 串行接口的工作方式	72	6.4.2 可编程并行 I/O 扩展接口 8255A	136
4.3.4 波特率设计	75	6.4.3 带 RAM 和计数器的可编程并行 I/O 扩展接口 8155	143
4.3.5 单片机双机通信和多机通信	78	6.5 D-A 接口的扩展	147
4.4 中断系统	81	6.5.1 梯形电阻式 D-A 转换原理	147
4.4.1 中断系统概述	81	6.5.2 DAC0832	148
4.4.2 中断处理过程	86	6.6 A-D 接口的扩展	151
4.4.3 中断系统的应用	88	6.6.1 MC14433	151
4.5 习题	94	6.6.2 ADC0809	154
第 5 章 汇编语言程序设计	95	6.7 习题	158
5.1 汇编语言概述	95	第 7 章 单片机系统的串行扩展	160
5.1.1 汇编语言的优点	95	7.1 MCS-51 系统的串行扩展原理	160
5.1.2 汇编语言程序设计的步骤	95	7.1.1 SPI 三线总线	160
5.1.3 评价程序质量的标准	95	7.1.2 I ² C 公用双总线	161
5.2 简单程序设计	96	7.2 单片机的外部串行扩展	161
5.3 分支程序	99	7.2.1 串行扩展 E ² PROM	161
5.3.1 简单分支程序	99	7.2.2 串行扩展 I/O 接口	164
5.3.2 多重分支程序	100	7.2.3 串行扩展 A-D 转换器	165
5.3.3 N 路分支程序	102	7.3 习题	170
5.4 循环程序	105	第 8 章 单片机的人机接口	172
5.4.1 循环程序的导出	105	8.1 键盘接口	172
5.4.2 多重循环	108	8.1.1 键盘的工作原理和扫描方式	172
5.5 查表程序	112	8.1.2 键盘的接口电路	173
5.6 子程序的设计及调用	116	8.1.3 键盘输入程序设计方法	175
5.6.1 子程序的概念	116	8.2 LED 显示器接口	176
5.6.2 调用子程序的要点	116	8.2.1 LED 显示器的工作原理	176
5.6.3 子程序的调用及嵌套	120	8.2.2 LED 显示器的工作方式和显示程序设计	178
5.7 习题	123		
第 6 章 单片机系统的并行扩展	125		
6.1 MCS-51 系统的并行扩展原理	125		
6.1.1 MCS-51 并行扩展总线	125		

8.3	LCD 显示器接口	179
8.3.1	LCD 显示器的工作原理	179
8.3.2	LCD 显示器的接口电路和显示程序 设计	180
8.4	8279 专用键盘显示器	185
8.4.1	8279 的内部原理	185
8.4.2	8279 的引脚分析	186
8.4.3	8279 的键盘显示器电路	187
8.4.4	8279 的设置	188
8.4.5	8279 的应用程序介绍	190
8.5	习题	191
第 9 章 MCS-51 单片机系统的开发与应用		
9.1	单片机应用系统的研制过程	193
9.1.1	总体设计	194
9.1.2	硬件设计	194
9.1.3	可靠性设计	196
9.1.4	软件设计	196
9.1.5	系统调试	198
9.2	磁电机性能智能测试台的研制	200
9.2.1	系统概述	200
9.2.2	测试系统硬件设计	200
9.2.3	测控算法	202
9.2.4	程序设计	205
9.2.5	实验结果	206
9.3	水产养殖水体多参数测控仪	207
9.3.1	系统概述	207
9.3.2	水体多参数测控仪的基本组成 及工作原理	207
9.3.3	硬件设计	208
9.3.4	软件设计	213
9.3.5	可靠性措施	214
9.3.6	运行效果	214
9.4	课程设计: 单片机温度控制实验 装置的研制	215
9.4.1	系统的组成及控制原理	215
9.4.2	控制系统软件编制	216
9.4.3	课程设计的安排	216
9.4.4	教学效果	217
9.5	单片机的 C 语言程序开发	217
9.5.1	Keil IDE μ Vision2 集成开发 环境	218

9.5.2	WAVE6000 IDE 集成开发 环境	229
9.5.3	常用的 C 语言程序模块和主程序 结构	236
9.6	Proteus ISIS 软件简介	244
9.6.1	Proteus ISIS 软件的工作界面	244
9.6.2	Proteus ISIS 环境下的电路图 设计	248
9.6.3	Proteus 下单片机仿真	253
9.7	习题	261
第 10 章 嵌入式系统及 ARM 处理器		
10.1	嵌入式系统的概念	262
10.2	嵌入式系统的组成	263
10.2.1	嵌入式处理器	263
10.2.2	外围设备	263
10.2.3	嵌入式操作系统	264
10.2.4	应用软件	264
10.3	嵌入式系统的分类	265
10.4	嵌入式处理器的分类	267
10.4.1	嵌入式微处理器	267
10.4.2	嵌入式微控制器	268
10.4.3	嵌入式 DSP 处理器	268
10.4.4	嵌入式片上系统	268
10.5	嵌入式处理器的技术指标	269
10.6	如何选择嵌入式处理器	271
10.6.1	选择处理器的总原则	271
10.6.2	选择嵌入式处理器的具体 方法	272
10.7	ARM 处理器基础	273
10.7.1	ARM 处理器系列	274
10.7.2	ARM 处理器体系结构	277
10.7.3	ARM 处理器应用选型	283
10.8	ARM 处理器的工作状态和工作 模式	283
10.8.1	ARM 处理器的工作状态	283
10.8.2	ARM 处理器的工作模式	284
10.9	ARM 处理器的寄存器组织	285
10.9.1	ARM 状态下的寄存器组织	285
10.9.2	Thumb 状态下的寄存器组织	287
10.9.3	程序状态寄存器	288
10.10	ARM 处理器的存储器组织	290

10.11	ARM 体系结构所支持的异常	291			
10.12	习题	295			
第 11 章 嵌入式操作系统及软件					
	开发	296			
11.1	嵌入式操作系统的概述	296			
11.1.1	嵌入式操作系统的特点	296			
11.1.2	嵌入式操作系统的分类	298			
11.1.3	使用嵌入式操作系统的 必要性	300			
11.1.4	常见的嵌入式操作系统	301			
11.2	嵌入式操作系统内核基础	305			
11.2.1	多进程和多线程	306			
11.2.2	任务	306			
11.2.3	任务切换	306			
11.2.4	内核	307			
11.2.5	任务调度	308			
11.2.6	任务间的通信与同步	309			
11.3	嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 简介	311			
11.3.1	嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 概述	311			
11.3.2	嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的 软件体系结构	312			
11.4	嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 ARM 上的移植	313			
11.4.1	移植条件	313			
11.4.2	移植步骤	314			
11.4.3	测试移植代码	318			
11.5	嵌入式系统软件开发	318			
11.5.1	嵌入式软件结构和组成	319			
11.5.2	嵌入式操作系统运行的 必要条件	321			
11.5.3	嵌入式系统软件运行 流程	322			
11.5.4	无操作系统的嵌入式系统 软件设计	322			
11.5.5	有操作系统的嵌入式系统 软件设计	326			
11.6	习题	327			
第 12 章 基于 ARM 内核的 STM32 系列嵌入式微控制器及应用					
12.1	Cortex-M3 简介	328			
12.2	STM32 的发展	329			
12.3	STM32F103xx 系列微控制器 简介	332			
12.3.1	STM32F103xx 系列微控制器的 主要特性	332			
12.3.2	STM32F103xx 系列微控制器的 内部结构	333			
12.4	STM32 的 A-D 转换器及应用	334			
12.4.1	ADC 硬件结构及功能	334			
12.4.2	ADC 工作模式	336			
12.4.3	ADC 数据对齐和中断	339			
12.4.4	ADC 控制寄存器	340			
12.5	ADC 程序设计	344			
12.6	习题	347			
附录					
	附录 A 单片机应用资料的网上查询	348			
	附录 B MCS-51 单片机的指令表	348			
参考文献					
		353			

第 1 章 绪 论

1.1 单片机与嵌入式系统发展概况

1946 年第一台电子计算机的诞生，引发了一场数字化的技术革命。如果说当初计算机的出现纯粹是为了解决日益复杂的计算问题，那么现在计算机已无处不在。随着大规模集成电路技术的不断进步，一方面微处理器由 8 位向 16 位、32 位甚至 64 位发展，再配以存储器和外围设备后构成微型计算机（也称个人计算机，Personal Computer），在办公自动化方面得到广泛应用；另一方面将微处理器、存储器和外围设备集成到一块芯片形成单片机（Single-chip Microcomputer），在控制领域大显身手；这种单片机嵌入到各种智能化产品之中，所以又称为嵌入式微控制器（Embedded Microcontroller）。

1.1.1 单片机的发展历史

单片机的发展可以分为三个阶段：

20 世纪 70 年代为单片机发展的初级阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机为典型代表，在一块芯片内含有 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 存储器，这是一款真正的单片机。这个阶段的单片机因受集成电路技术的限制，单片机的 CPU 指令系统功能相对较弱、存储器容量小、I/O 部件种类和数量少，只能用在比较简单的场合，而且价格相对较高，单片机的应用未引起足够的重视。

20 世纪 80 年代为高性能单片机的发展阶段。以 Intel 公司的 MCS-51、MCS-96 系列单片机为典型代表。出现了不少 8 位或 16 位的单片机，这些单片机的 CPU 和指令系统功能加强了，存储器容量显著增加，外围 I/O 部件品种多、数量大，有的包含了 A-D 之类的特殊功能部件。单片机应用得到了推广，典型单片机开始应用到各个领域。

20 世纪 90 年代至今为单片机的高速发展阶段。世界上著名的半导体厂商都重视新型单片机的研制、生产和推广。单片机性能不断完善，性能价格比显著提高，种类和型号快速增加。从性能和用途上看，单片机正朝着面向多层次用户的多品种多规格方向发展，哪一个应用领域前景广阔，就有这个领域的特殊单片机出现，既有特别高档的单片机，用于高级家用电器、掌上电脑、复杂的实时控制系统等领域，又有特别廉价、超小型、低功耗的单片机，应用于智能玩具等消费类应用领域。对单片机应用的技术人员来说，选择单片机有了更大的自由度。

1.1.2 嵌入式系统的产生和发展

嵌入式系统起源于微型计算机时代。20 世纪 70 年代，微处理器的出现使得计算机发生了历史性的变化，以微处理器为核心的微型计算机走出机房，深入千家万户。这一时期人们称之为 PC 时代。

随着微型机不断强大的计算能力所表现出来的智能化水平，人们首先想到的就是将其用

于自动控制领域中，例如将微机配置相应的外围接口电路后实现对电厂发电机的状态监测与工况控制。然而更多的场合要求将计算机嵌入到对象体系中，实现对象体系的智能化控制，例如飞机、舰船的自动驾驶，洗衣过程的自动化，汽车的自动点火、自动刹车等。在如此众多的应用背景下，这类计算机便逐渐失去了原来的形态和通用的计算功能，从而成为一种嵌入到对象体系中，实现对象体系智能化控制的计算机，我们称之为嵌入式计算机系统，简称嵌入式系统。

从嵌入式计算机系统的产生背景分析，可以发现它与通用计算机系统有着完全不同的技术要求和技术发展方向。通用计算机系统要求的是高速、海量的数值运算，在技术发展方向上追求总线速度不断提升、存储容量不断扩大。而嵌入式计算机系统要求的是对象体系的智能化控制能力，在技术发展方向上追求针对特定对象系统的嵌入性、专用性和智能化。这种技术发展的分歧导致 20 世纪末计算机进入了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支并行发展的时期，人们称之为后 PC 时代。

嵌入式系统的发展方向主要是根据应用的需求，一方面提升 CPU 的性能，如提高微处理器的运行速度、降低芯片的功耗等，另一方面扩充各种功能，把各种不同的外围设备集成在芯片内部，衍生出面向不同应用的各种型号单片机。

20 世纪 80 年代后，嵌入式系统的另一个发展来源得益于软件技术的进步，一方面体现在编程语言上，另一方面体现在实时操作系统的使用上。在微处理器出现的初期，为了保障嵌入式软件的空间和时间效率，只能使用汇编语言进行编程。随着微电子技术的进步，系统对软件时空效率的要求不再十分苛刻，从而使得嵌入式软件可以使用 PL/M、C 等高级语言。高级编程语言的使用提高了软件的生产效率，保障了软件的可重用性，缩短了软件的开发周期。另外，嵌入式系统大多是实时系统，对于复杂的嵌入式系统而言，除了需要高级语言开发工具外，还需要嵌入式实时操作系统的支持。一些软件公司先后推出了嵌入式实时操作系统，比如 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 、eCOS、 μClinux 、Vxwork、VRTX、RTXC、Nucleus、QNX 和 WinCE 等。嵌入式软件工程师开始使用操作系统来开发自己的软件。嵌入式操作系统的出现和推广带来的最大好处就是可以使嵌入式产业走向协同开发和规模化发展的道路，从而促使嵌入式应用拓展到更加广阔的领域。

嵌入式系统在软、硬件技术方面的迅速发展，首先是面向不同应用领域、功能更加强大、集成度更高、种类繁多、价格低廉、低功耗的 32 位微处理器逐渐占领统治地位，DSP 器件向高速、高精度、低功耗发展，而且可以和其他的嵌入式微处理器相集成；其次，随着微处理器性能的提高，嵌入式软件的规模也呈指数型增长，所体现出的嵌入式应用具备了更加复杂和高度智能的功能，软件在系统中体现出来的重要程度越来越大，嵌入式操作系统在嵌入式软件中的使用越来越多，同时，嵌入式操作系统的功能不断丰富；最后，嵌入式开发工具更加丰富，已经覆盖了嵌入式系统开发过程的各个阶段，现在主要向着集成开发环境和友好人机界面等方向发展。

1.1.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统与通用计算机系统相比具有以下几个特点：

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，如 ARM 系列多用于手机中，Mo-

torola 的龙珠系列用于中档 PDA 中, PowerPC 用于网络设备中。一般地, 决定嵌入式处理器应用环境的因素主要是集成外部接口的功能和处理速度。它通常都具有功耗低、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, 提高可靠性, 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。这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、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, 这样才能在处理器的具体应用中更具有竞争力。

4) 嵌入式处理器的应用软件是实现嵌入式系统功能的关键, 对嵌入式处理器系统软件和应用软件的要求也和通用计算机有以下不同点:

①软件要求固件化, 大多数嵌入式系统的软件固化在只读存储器中。

②要求高质量、高可靠性的软件代码。

③许多应用中要求系统软件具有实时处理能力。

5) 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。

6) 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。

由于嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器, 因此有必要了解嵌入式微处理器的特点。嵌入式微处理器一般具备以下几个特点:

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, 从而使内部代码和实时内核的执行时间减少到最低限度。

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, 能迅速地扩展出满足应用的最高性能的嵌入式微处理器, 例如 ARM7 的 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的计算和通信设备中靠电池供电的嵌入式系统更是如此, 如功耗只有毫瓦甚至微瓦级。

一般地, 嵌入式系统的软件需要嵌入式操作系统 (Embedded Operating System, EOS) 开发平台。一般对于小规模嵌入式系统, 应用程序可以没有操作系统直接在芯片上运行; 而对于大系统来说, 为了合理地调度多任务, 管理和利用系统资源、系统函数, 以及利用库函数接口, 用户必须自行选配 EOS 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。

一个优秀的 EOS 是嵌入式系统成功的关键。EOS 是相对于一般操作系统而言的, 它具备了一般操作系统最基本的功能, 如任务调度、同步机制、中断处理、文件功能等。但嵌入式操作系统仅具有这些功能是不够的。为了适应不断发展的嵌入式产品的要求, EOS 还需要

具有以下特点:

- 1) 更好的硬件适应性,也就是良好的移植性,支持尽量多的硬件平台。
- 2) 占有更少的硬件资源,例如占用存储器几千到几万字节。
- 3) 高可靠性。
- 4) 提供强大的网络功能,支持 TCP/IP 协议及其他协议,协议栈可裁剪。
- 5) 友好高效的 GUI (图形用户接口)。
- 6) 实时性能(有些应用要求)。
- 7) 可裁剪性,例如设计成微内核结构和模块化结构。

嵌入式系统的多样性和不同的复杂程度可能使人困惑,但是,嵌入式系统也具有很多共性。为了充分地考虑嵌入式软件开发的各种可能方法,需要掌握这些共性以便可以着手开发工作,而不必担心欠缺某个特殊领域的知识。一些重要的共性如下所列:

1) 虽然嵌入式处理器的种类已达几百种,指令系统、集成的部件不同,但是具有处理器的共同点,如总线结构、中断能力等。

2) 嵌入式处理器由通用处理器内核加上外部设备组成,同一类外部设备完成的功能相似,虽然它们的组成细节不同。不同种类的嵌入式处理器由通用处理器内核加上不同种类的外部设备构成。

3) 嵌入式软件开发人员需要关心硬件的细节,例如在完成像串行通信这样的接口软件时,需要掌握到位一级的细节。桌面应用软件开发人员不必考虑位的操作,因为桌面操作系统已经为用户完成了设备驱动程序。

4) 掌握 TCP/IP 协议栈的实现细节具有额外的优势,因为在未来,嵌入式系统的网络功能将成为一种共性。

5) 软件开发的内核层编程,需要了解操作系统的调用细节。虽然目前嵌入式操作系统种类繁多,但是它们均是类似的,掌握一种操作系统的用法就可以触类旁通,能很快地使用其他的操作系统。

6) 嵌入式系统的开发人员,特别是系统设计师,必须掌握硬件和软件的综合知识,进行硬件系统和软件系统的综合设计。

7) 嵌入式系统的软件开发人员需要掌握多种嵌入式操作系统的用法,不像桌面系统的开发,只掌握一种系统如 Windows 就可以了。

8) 操作系统、编程语言和开发工具的多样性是一个有利条件,开发人员可以为具体应用选择合适的平台,这种有利条件为开发人员掌握有关每种平台特性和附带工具的实际应用知识提供了机会。

9) 对于嵌入式系统的设计师来说,根据应用选平台是至关重要的。这里的平台包括硬件平台(嵌入式处理器)和软件平台(嵌入式操作系统、开发工具等)。

10) 嵌入式系统的开发往往需要行业人员和计算机专业人员协作完成,例如开发数字医疗设备,需要医学人才、生物医学工程领域的人才和计算机方面的人才的协作。

1.1.4 典型的嵌入式单片机产品

本节将介绍世界上一些著名的半导体厂商典型的单片机产品,以使读者对目前的单片机产品有个大概的了解,在开发单片机应用系统时,为读者选择单片机提供参考。

1. Intel 公司的单片机

Intel 公司是最早推出单片机的大公司之一，其产品有 MCS-48、MCS-51 和 MCS-96 三大系列几十个型号的单片机。目前 Intel 公司已不再推出新品种的单片机，但 Intel 公司 MCS-51 系列单片机的结构为其他一些大公司所采纳，它们推出了许多适用于不同场合的新型 51 系列单片机，使这个系列的单片机仍被广泛应用。

2. ATMEL 公司的单片机

ATMEL 公司生产的具有 8051 结构的 Flash 型和 E²PROM 型单片机（尤其是 89C51 和 89C52），由于和 Intel 的 MCS-51 系列单片机中典型产品完全兼容、开发和使用简便，在我国得到了广泛的应用。1997 年，ATMEL 公司推出了全新配置的精简指令集（RISC）的 AVR 单片机，由于 AVR 单片机优良的性能，在越来越多的领域得到应用。

3. Freescale 公司的单片机

Freescale（飞思卡尔）是全球十大半导体厂商之一，也是最大的汽车和通信产业嵌入芯片制造商。2004 年，飞思卡尔从摩托罗拉公司剥离了出来。飞思卡尔的 8 位单片机系列主要包括 RS08、HC08 和 HCS08 系列。飞思卡尔的 16 位单片机系列主要包括 S12、S12C、S12HZ、S12R、S12X、S12XB、S12XD、S12XE、S12XF、S12XH、S12XS、S12Q 和 56F8000 系列。飞思卡尔的 32 位处理器主要包括 Power Architecture、68K/ColdFire、ARM[®]和 MCORE 处理器。

4. NXP 公司的单片机

NXP（恩智浦）是全球十大半导体公司之一，创立于 2006 年，先前由飞利浦于 1960 年创立。NXP 公司的 8 位单片机 51LPC 是基于 80C51 内核的单片机，嵌入了掉电检测、模拟以及片内 RC 振荡器等功能。NXP 公司的 32 位 LPC 系列单片机是基于 ARM 内核的单片机。恩智浦单片机在汽车、医疗、工业、个人消费电子等领域被广泛应用。

5. Microchip 公司的单片机

Microchip 公司有 12 位程序存储器的低档单片机、14 位程序存储器的中档单片机、16 位程序存储器的高档单片机和新推出的 PIC32MX 系列高性能 32 位单片机。Microchip 公司的 PIC 单片机品种丰富，在各类电子产品中被广泛应用。

6. TOSHIBA 公司的单片机

TOSHIBA 公司有 TLCS-470 系列 4 位单片机，TLCS870、TLCS870/X、TLCS870/C、TLCS-90 系列 8 位单片机和 TLCS-900 系列 16/32 位单片机。这些单片机不但 CPU 和指令系统的功能强，而且片内外围部件丰富，提供汇编语言和 C-Like 语言的软件开发手段。随着 TOSHIBA 单片机开发工具的国产化和开发成本的降低，TOSHIBA 单片机在我国有很大的应用前景。目前已提供 TLCS-870 系列国产的单片机开发工具——STF870A，可开发该系列的多种型号的产品。TOSHIBA 公司的单片机可广泛应用于工业控制、家用电路、仪器仪表等领域。

7. Renesas 公司的单片机

Renesas（瑞萨）电子由 NEC 电子、日立制作所、三菱电机的半导体部门合并而成，瑞萨的 4 位单片机系列主要包括 H4、720 系列。瑞萨的 8 位单片机系列主要包括 H8、78K0、740 系列。瑞萨的 16 位单片机系列主要包括 H8S、RL78、R8C、M16C 系列。瑞萨的 32 位单片机系列主要包括 H8SX、SH2、M32、RX21A 系列。瑞萨是 MCU 市场占有率位居全球第一的企

业, 业务范围更是涵盖了“移动通信”“数码家电”和“汽车电子”三大领域。

8. Infineon 公司的单片机

Infineon (英飞凌) 公司于 1999 年 4 月 1 日在德国慕尼黑正式成立, 是全球领先的半导体公司之一。其前身是西门子集团的半导体部门, 2002 年后更名为英飞凌科技。英飞凌单片机从 8 位 XC800 系列、16 位 XC166 系列, 到 32 位 TriCore™ 系列都集成了专为不同类型电机控制设计的高性能硬件单元, 可以很好地解决从低端到高端的需要。

9. NS 公司的单片机

NS (美国国家半导体公司) 有 COP4 系列 4 位单片机、COP8 系列 8 位单片机和 HPC 系列 16 位单片机, 其中 COP8 系列是 NS 公司的主要产品。COP8 是面向控制的 8 位单片机, 该系列品种齐全, 应用范围广, 根据应用对象的不同可以分为特色型、基本型和新型三大种类。

10. 三星电子的单片机

三星电子成立于 1938 年 3 月, 三星单片机有 KS51 和 KS57 系列 4 位单片机、KS86 和 KS88 系列 8 位单片机、KS17 系列 16 位单片机和 KS32 系列 32 位单片机。三星电子在 4 位机上采用 NEC 的技术, 8 位机上引进 Zilog 公司 Z8 的技术, 在 32 位机上购买了 ARM7 内核, 还有 DEC、东芝技术等。其单片机裸片的价格相当有竞争力。

11. TI 公司的单片机

德州仪器 (Texas Instruments, TI), 是全球领先的半导体公司, TI 公司有 TMS370 的 8 位单片机; MSP430 系列的 16 位单片机, 以及 2000、5000、6000 系列的 DSP (数字信号处理器); 最近 TI 公司采用 ARM 内核, 推出了 OMAP 等系列处理器, 不同系列的微控制器有不同的适用场合。

12. Fujitsu 公司的单片机

Fujitsu (富士通) 成立于 1935 年, 富士通 8 位单片机有 8L 和 8FX 两个系列, 主要应用于空调、洗衣机、冰箱、电表、小家电及汽车电子等领域; 16 位主流单片机有 MB90F387、MB90F462、MB90F548、MB90F428 等, 适用于电梯、汽车电子车身控制及工业控制等领域; 32 位单片机采用 RISC 结构, 主要产品有 MB91101A、MB91F362GA 和 MB91F364GA, 适用于 POS 机、银行税控打印机、电力及工业控制等场合。

13. ARM 系列单片机

ARM (Advanced RISC Machines) 是微处理器行业的一家知名企业, 设计了大量高性能、廉价、耗能低的 RISC (精简指令集计算机) 处理器、相关技术及软件。ARM 架构是面向低预算市场设计的第一款 RISC 微处理器, 基本是 32 位单片机的行业标准。ARM 公司本身不直接从事芯片生产, 作为知识产权供应商, 靠转让设计许可, 由合作公司生产各具特色的芯片。目前, 全世界有几十家大的半导体公司从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核, 根据各自不同的应用领域, 加入适当的外围电路, 从而生产出具有自己特色的 ARM 单片机。

ARM 系列单片机与普通单片机的主要区别体现在以下几个方面:

(1) ARM 单片机速度快
ARM 单片机主频一般较高, 执行一条指令所用时间较短; ARM 具有指令流水线, 可以多条指令并行执行; ARM 的 32 位运算单元, 做与普通单片机相同的运算, 所用的指令数目

少。以上的几个因素都使得 ARM 单片机比普通单片机快得多。

(2) ARM 单片机存储器容量大

ARM 单片机采用 32 位总线，最多可配置 4G 容量的存储器。ARM 单片机的大容量存储器可以存放大量的数据和程序，特别适合具有复杂功能的嵌入式系统。

(3) ARM 单片机外部通信接口丰富

ARM 单片机的通信接口要比普通单片机丰富得多，有 UART、USB、Ethernet、CAN、SPI 和 I²C 等通信接口，可以满足嵌入式系统通信多样化的要求。

(4) ARM 单片机有许多第三方的软件支持

随着 ARM 单片机在越来越多的嵌入式系统中得到应用，许多软件公司纷纷推出基于 ARM 单片机的操作系统，如 Windows CE、Linux、VxWorks、 μ COS-II 等都有了基于 ARM 的版本。操作系统的使用，大大减少了 ARM 嵌入式系统的软件开发成本，加快了产品的开发周期，降低了产品成本，提高了产品性能，使产品更具有竞争力。

目前比较流行的 ARM 核有 ARM7 TDMI、StrongARM、ARM720T、ARM9 TDMI、ARM922T、ARM940T、RM946T、ARM966T、ARM10 TDMI 等。在中国，PHILIPS、ATMEL、Samsung 等公司做了大量的 ARM 单片机的技术推广工作，有较强的技术支持机构，因而这几家公司的 ARM 单片机产品也得到了比较多的应用。

14. DSP 系列单片机

DSP (Digital Signal Processor) 是数字信号处理器的简称。DSP 的起源是在 20 世纪 60 ~ 70 年代，DSP 微处理器当时主要应用于雷达、原油探勘、太空探索和医学影像等领域。现在来看 DSP 微处理器也是一种单片机，是一种运行速度高，擅长于数字信号处理的单片机。随着微电子技术的发展，DSP 微处理器的外设功能不断增加；DSP 处理器在电机控制、通信等越来越多的领域发挥作用。

DSP 系列单片机与普通单片机的主要区别体现在以下几个方面：

(1) DSP 单片机速度快

DSP 单片机主频一般较高，执行一条指令所用时间较短；DSP 具有指令流水线，可以多条指令并行执行；许多 DSP 单片机采用 32 位运算单元，做与普通单片机相同的运算，所用的指令数目少。以上的几个因素都使得 DSP 单片机比普通单片机快得多。

(2) DSP 单片机具有适合数字信号处理的特殊指令

数字信号处理时，DSP 单片机需要做大量的乘法和累加运算；DSP 单片机专门的乘累加指令，使乘法和累加运算可以在一条指令中完成，大大提高了数字信号处理的效率。

(3) DSP 单片机具有独特的寻址方式

数字信号处理中，需要对采集来的数据进行重新排序，DSP 单片机的“反比特”寻址方式使排序很容易实现，从而有很高的排序效率。

15. 其他公司的单片机

除以上介绍的单片机外，尚有许多单片机未能列入，有兴趣读者可查阅有关资料。

1.2 单片机的嵌入式应用领域和应用方式

由于单片机具有体积小、重量轻、价格便宜、功耗低、控制功能强及运算速度快等特

点,在国民经济建设、军事及家用电器等各个领域均得到了广泛的应用,对各个行业的技术改造和产品的更新换代起着重要的推动作用。

1. 单片机在智能仪表中的应用

单片机广泛地应用于实验室、交通运输工具、计量等各种仪器仪表中,使仪器仪表智能化,提高它们的测量精度,加强其功能,简化仪器仪表的结构,使其便于使用、维护和改进。例如,电度表校验仪,电阻、电容、电感测量仪,船舶航行状态记录仪,烟叶水分测试器,智能超声波测厚仪等。

2. 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体,具有智能化特征的机电产品。例如,微机控制的铣床、车床、钻床、磨床等。单片微型机的出现促进了机电一体化,它作为机电产品中的控制器,能充分发挥它的体积小、可靠性高、功能强、安装方便等优点,大大强化了机器的功能,提高了机器的自动化、智能化程度。

3. 单片机在实时控制中的应用

单片机也广泛地用于各种实时控制系统中,如对工业上各种窑炉的温度、酸度、化学成分的测量和控制。将测量技术、自动控制技术和单片机技术相结合,充分发挥数据处理和实时控制功能,使系统工作于最佳状态,提高系统的生产效率和产品的质量。在航空航天、通信、遥控、遥测等各种实时控制系统中都可以用单片机作为控制器。

4. 单片机在分布式多机系统中应用

分布式多机系统具有功能强、可靠性高的特点。在比较复杂的系统中,都采用分布式多机系统。系统中有若干台功能各异的计算机,各自完成特定的任务,它们又通过通信相互联系、协调工作。单片机在这种多机系统中,往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时的测量和控制。高档的单片机多机通信(并行或串行)功能很强,它们在分布式多机系统中将发挥很大作用。

5. 单片机在家用电器等消费类领域中的应用

家用电器等消费类领域的产品特点量多面广,市场前景看好。单片机应用到消费类产品中,能大大提高它们的性能价格比,因而受到用户的青睐,提高产品在市场上的竞争力。目前家用电器几乎都是单片机控制的电脑产品,例如,空调、冰箱、洗衣机、微波炉、彩电、音响、家庭报警器、电子宠物、移动电话等。

1.3 习题

1. 单片机内部至少应包含哪些部件?
2. 研制微机应用系统时,如何选择单片机的型号?
3. 嵌入式系统有哪些特点?

第 2 章 单片机的基本结构与工作原理

2.1 MCS-51 系列单片机总体结构

20 世纪 80 年代初 Intel 公司推出 MCS-51 系列单片机以后，世界上许多著名的半导体厂商相继生产和这个系列兼容的单片机，使产品型号不断增加、品种不断丰富、功能不断增强。从系统结构上看，所有的 51 系列单片机都是以 Intel 公司最早的典型产品 8051 为核心，增加了一定的功能部件后构成的。下面以 8051 为主，阐述 MCS-51 系列单片机的系统结构、工作原理和应用中的一些技术性问题，使读者对 MCS-51 单片机有一个大概的了解。

2.1.1 MCS-51 单片机的引脚描述

HMOS 制造工艺的 8051 是 MCS-51 系列单片机的典型产品，其采用 40 引脚的双列直插封装（DIP 方式），图 2-1 是它的引脚图。按引脚功能，这些引脚可分为四类：

1. 电源引脚 V_{CC} 和 V_{SS} （共 2 根）

V_{CC} （40 脚）：接 +5V 电压。

V_{SS} （20 脚）：接地。

2. 外接晶振引脚 XTAL1 和 XTAL2（共 2 根）

XTAL1（19 脚）和 XTAL2（18 脚）引脚接外部振荡器的信号，即把外部振荡器的信号直接连到内部时钟发生器的输入端。

3. 控制和复位引脚 ALE、PSEN、EA 和 RST（共 4 根）

ALE（30 脚）：当访问外部存储器时，ALE（允许地址锁存）的输出用于锁存地址的低位字节。即使不访问外部存储器，ALE 端仍以不变的频率周期性地出现正脉冲信号，此频率为振荡器频率的 1/6。它可用作对外输出的时钟，或用于定时。需要注意的是，每当访问外部数据存储器时，将跳过一个 ALE 脉冲。ALE 端可以驱动（吸收或输出电流）8 个 TTL 门电路。

PSEN（29 脚）：此引脚的输出是外部程序存储器的读选通信号。在从外部程序存储器取指令（或常数）期间，每个机器周期两次 PSEN 有效。但在此期间，每当访问外部数据存储器时，这两次有效的 PSEN 信号将不出现。PSEN 同样可以驱动 8 个 TTL 门电路。

EA（31 脚）：当 EA 端保持高电平时，访问内部程序存储器，但在 PC（程序计数器）值超过片内程序存储器容量（8051 为 4KB）时，将自动转向执行外部程序存储器。当 EA 保持低电平时，则只访问外部程序存储器，不管是否有内部程序存储器。对于常用的 8031 来

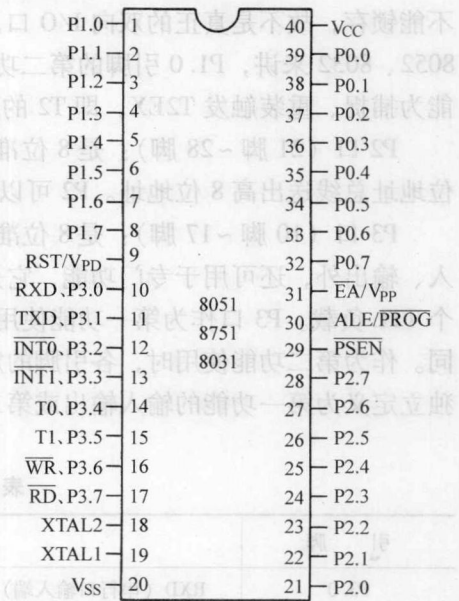


图 2-1 MCS-51 单片机引脚图