

高等学校计算机硬件技术课程系列教材

单片机(微控制器) 原理及应用

张迎新 等编著



高等教育出版社
Higher Education Press

高等学校计算机硬件技术课程系列教材

单片机（微控制器）原理及应用

张迎新 等编著

高等教育出版社

内容简介

本书对嵌入式系统的发展、定义及特点等作了介绍，并以嵌入式系统中的 89 系列单片机为例介绍了单片机（微控制器）的硬件结构、工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、接口技术、中断系统及单片机应用等内容。本书在保持原 8 位单片机（MCU）教材结构特点的基础上，删去了其中较陈旧的内容，增加了介绍新技术的内容，并增加了 C51 语言的内容，同时在内容编排和顺序上也作了改进。

本书各章中的关键性内容都结合实例予以说明，同时还安排了大量思考题和习题，以利于读者对所述内容的理解、掌握、巩固和应用。

本书的特点是深入浅出、阐述清晰、编排合理、例题丰富，适于自学和入门。本书既可作为高等院校单片机课程教材，也可作为科技人员学习单片机的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

单片机（微控制器）原理及应用 / 张迎新等编著. —北京：高等教育出版社，2009.6

ISBN 978-7-04-026472-2

I. 单… II. 张… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 056598 号

策划编辑 张 龙 责任编辑 唐笑慧 封面设计 于文燕 责任绘图 尹 莉
版式设计 陆瑞红 责任校对 王 雨 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市京南印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19.5
字 数 470 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 [http:// www.hep.edu.cn](http://www.hep.edu.cn)
[http:// www.hep.com.cn](http://www.hep.com.cn)
网上订购 [http:// www.landaco.com](http://www.landaco.com)
[http:// www.landaco.com.cn](http://www.landaco.com.cn)
畅想教育 [http:// www.widedu.com](http://www.widedu.com)

版 次 2009 年 6 月第 1 版
印 次 2009 年 6 月第 1 次印刷
定 价 26.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26472-00

前言

2000年前,单片机教学内容基本是清一色的MCS-51系列单片机,而2000年后,单片机的种类已经极大丰富,且各具特色,但这在目前多数单片机教材中没有体现出来。

从20世纪80年代末开始至今,编者从事单片机的教学、开发和科研工作已经有20多年,在多年科研和教学实践的基础上,1993年出版了《单片微型计算机原理、应用及接口技术》一书,此书当时曾受到广大读者的认可,被多次重印,并于2004年出版了修订版。后来编者又陆续出版了几本关于单片机方面的书籍,其中《单片机初级教程》获第5届全国高校优秀畅销书一等奖。但由于编者水平有限和工作忙碌,这些书都没有精雕细琢。此次编写,编者认真回顾和总结以前的教材,同时加入单片机技术的最新进展,使该教材在内容上更加先进、合理和完善。

“单片机(MCU)原理和应用”是一门偏重工程应用的课程,很多高等学校并没有把它列入必修课,并且为本课程安排的学时数很少。要想在这样的情况下取得较好的教学效果,对于教材编写者来说就要想办法尽可能让教材适于自学。

嵌入式系统现在已经是大家耳熟能详的名词了,嵌入式技术已经逐步渗入日常工作和生活的各个方面。目前所出的嵌入式系统教材,基本是建立在读者已经掌握8位单片机知识的基础上,直接介绍32位处理器,读者学习起来有一定难度。虽然8位、16位和32位单片机之间有差别,并且32位单片机的功能和性能要强大得多,但8位和32位单片机之间仍有很多基本概念和工作原理是相同的,因而在掌握了8位单片机的原理和应用之后,再学习32位单片机就比较容易了,这就是磨刀不误砍柴工。所以学习8位单片机也是学习嵌入式系统的入门基础和第1个台阶,更何况在大多数应用场合使用8位单片机(MCU)就可以圆满解决问题。目前8位单片机产品市场占有率仍大于60%,这也是一个不容忽视的事实。在嵌入式应用领域,8位单片机和32位单片机将会继续并驾齐驱,各领风骚,这也是本书安排学习8位单片机的原因。

本书主要是面对工科院校的本科生。先修课程要求有电子技术、C语言程序设计和微机原理及应用。而在学习32位嵌入式系统时,还要掌握计算机网络技术、通信技术、操作系统等专业基础课。因为不同学校的课程安排顺序不同,读者在第1次接触单片机时,由于基础知识不同,接受程度就会有较大差别。本书内容的选择和编排力求能够适应学校的这种实际情况,使本书能有较宽的适用面。

本书在介绍单片机时,是以80C51系列(简称为51系列)为例进行讲述的,而在介绍具体型号时选用了美国ATMEL公司的AT89系列产品。由于AT89系列单片机的显著特点,使得它很快在单片机市场脱颖而出,并在市场上占有较大的份额。AT89

系列单片机的成功使得几个著名的半导体厂家也相继生产了类似的产品,例如,PHILIPS公司的P89系列、美国SST公司的SST89系列等,后来人们就简称这一类产品为89系列单片机,它实际上还是属于80C51系列。89系列单片机虽然并不是功能最强、最先进的单片机,但它源于经典的MCS-51系列,其应用广泛,已经成为事实上的主流机型。考虑到教学的连续性及89系列单片机和所用开发装置的普及性,因而本书的单片机芯片实例采用ATMEL公司的AT89S51/52单片机,它是AT89C51/52单片机的替代产品,不过PHILIPS等其他公司仍然有89C51/52的兼容产品,在作一般共性介绍时还是用80C51符号代表,此时它代表的是80C51系列单片机。

本书共有11章,第1章为概述,介绍嵌入式系统和计算机的基础知识等内容;第2章介绍单片机的结构及工作原理;第3章介绍指令系统;第4章介绍汇编语言程序设计;第5章介绍定时/计数器,增加了定时器2的内容;第6章介绍80C51的串行口(串行接口);第7章介绍中断系统,在定时器和串行口之后介绍中断系统,一方面可以突出中断概念的重要性、独立性,同时通过中断在定时器、串行口中的应用加深对中断作用的理解;第8章介绍单片机的系统扩展,增加了串行口的扩展方法和应用实例,并把A/D转换器和D/A转换器的扩展纳入这一章;第9章介绍C51语言程序设计;第10章介绍接口技术,除了介绍常规的键盘和显示器(包含液晶显示器)接口外,还增加了功率开关器件接口和打印机接口的介绍,本章的部分程序实例采用汇编语言和C51语言对比介绍的方法;第11章介绍嵌入式应用系统的设计与开发。

本书是编者多年教学和科研的积累,同时为了使本书的内容更加丰富和完整,书中也引用了部分国内外的文献资料、书籍以及杂志,在此表示衷心的感谢。

本书由张迎新担任主编,王盛军编写了第9章的9.3节、第10章的10.2节和第11章的11.5节,雷道振编写了第1章的1.3节和1.4节,姚静波编写了第8章的8.5节和8.6节,迟明华编写了第10章的10.1节,樊桂花编写了第11章的11.3节,陈胜编写了第11章的11.4节,其余章节由张迎新编写。

清华大学陆延丰教授审阅了本书,并提出了很好的建议,在此表示感谢。在本书的编写过程中,北京航空航天大学邢春香和浙江万里学院的万光毅等都提出了很好的建议,并提供了部分章节的素材;邢春香和雷文帮助审查了部分章节,迟明华绘制了部分插图原稿,在此一并表示衷心感谢。最后还要特别感谢高等教育出版社对本书出版的策划和支持。

由于编者水平有限,书中的错误与不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2008年12月

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 概述	1	2.2 80C51 的存储器	27
1.1 计算机的发展	1	2.2.1 存储器概述	27
1.1.1 计算机发展简史	1	2.2.2 存储器结构和地址 空间	29
1.1.2 微型计算机的发展及两 大分支	2	2.2.3 程序存储器	30
1.2 嵌入式系统概述	3	2.2.4 数据存储器	31
1.2.1 嵌入式系统的定义 与特点	3	2.3 特殊功能寄存器 (SFR)	34
1.2.2 嵌入式系统的组成	4	2.3.1 80C51 系列单片机的 SFR	34
1.2.3 嵌入式系统的高、低端	6	2.3.2 AT89S51/52 单片机的 SFR 地址分布及寻址	35
1.3 单片机 (MCU) 概述	6	2.3.3 SFR 的功能及应用	37
1.3.1 单片机 (MCU) 的历史 及发展	7	2.4 单片机的工作原理	40
1.3.2 8 位与 32 位单片机的 主要异同点	8	2.4.1 指令与程序概述	40
1.3.3 8 位单片机的组成	9	2.4.2 CPU 的工作原理	40
1.3.4 80C51 系列单片机	10	2.4.3 单片机执行程序的 过程	42
1.3.5 其他常用单片机系列 综述	12	2.5 输入/输出口	44
1.4 计算机基础知识	13	2.5.1 P0 口	44
1.4.1 数制与编码	13	2.5.2 P1 口	47
1.4.2 计算机的基本组成电路	17	2.5.3 P2 口	48
思考与练习	21	2.5.4 P3 口	49
		2.5.5 4 个 I/O 口的主要异 同点	50
第 2 章 单片机的结构及工作 原理	22	2.6 时序及时钟电路	51
2.1 单片机的结构	22	2.6.1 时序及有关概念	51
2.1.1 标准型单片机的组成 及结构	23	2.6.2 振荡器和时钟电路	52
2.1.2 引脚定义及功能	24	2.6.3 时钟电路接法	53
		2.7 复位和复位电路	54
		2.7.1 内部复位信号的产生	54

2.7.2 复位状态	54	4.5 查表程序设计	101
2.7.3 复位方式与外部复位电路	55	4.5.1 查表程序综述	102
2.8 80C51 系列单片机的低功耗方式	56	4.5.2 规则变量的查表程序设计	102
2.8.1 电源控制寄存器 PCON	57	4.5.3 非规则变量的查表程序设计	104
2.8.2 待机方式	57	思考与练习	105
2.8.3 掉电方式	58		
思考与练习	58		
第 3 章 指令系统	60	第 5 章 定时/计数器	107
3.1 指令系统简介	60	5.1 定时/计数器 T0、T1 概述	107
3.2 寻址方式	61	5.1.1 定时/计数器 T0、T1 的结构	107
3.2.1 符号注释	61	5.1.2 定时/计数器的原理	108
3.2.2 寻址方式说明	63	5.2 定时/计数器 T0、T1 的控制方法	109
3.3 指令系统分类介绍	66	5.2.1 定时/计数器 T0、T1 的寄存器	109
3.3.1 数据传送类指令	67	5.2.2 定时/计数器 T0、T1 的初始化与启动	110
3.3.2 算术运算类指令	72	5.2.3 定时/计数器 T0、T1 初值的确定方法	111
3.3.3 逻辑操作类指令	76	5.3 定时/计数器 T0、T1 的工作方式	112
3.3.4 控制转移类指令	78	5.3.1 方式 0	112
3.3.5 位操作类指令	81	5.3.2 方式 1	112
思考与练习	83	5.3.3 方式 2	113
		5.3.4 方式 3	114
第 4 章 汇编语言程序设计	87	5.4 定时/计数器 T0、T1 应用举例	115
4.1 概述	87	5.4.1 方式 1 应用举例	115
4.1.1 程序设计语言	87	5.4.2 方式 2 应用举例	116
4.1.2 汇编语言源程序的格式	88	5.4.3 方式 3 应用举例	117
4.1.3 汇编语言伪指令	89	5.4.4 门控位应用举例	118
4.1.4 汇编语言程序设计步骤	91	5.5 定时/计数器 T2	120
4.2 顺序与循环程序设计	91	5.5.1 T2 的寄存器	120
4.2.1 顺序程序设计	91	5.5.2 T2 的工作方式	121
4.2.2 循环程序设计	93	5.5.3 应用例题	126
4.3 分支程序设计	94	5.6 监视定时器 WDT	127
4.3.1 分支程序设计综述	95	5.6.1 WDT 的功能及应用特点	127
4.3.2 无条件/条件转移程序	95	5.6.2 辅助寄存器 AUXR	128
4.3.3 散转程序设计	96	5.6.3 WDT 应用举例	129
4.4 子程序设计	98	思考与练习	129
4.4.1 子程序结构与设计注意事项	98		
4.4.2 子程序的调用与返回	99		
4.4.3 子程序设计举例	99		

第 6 章 80C51 的串行口	130		
6.1 串行通信概述	130		
6.1.1 同步通信和异步通信方式	130		
6.1.2 串行通信数据传输速率	132		
6.1.3 串行通信的方式	132		
6.1.4 通信协议	133		
6.2 80C51 的串行口简介	133		
6.2.1 串行口的结构与工作原理	133		
6.2.2 串行口控制寄存器 SCON	134		
6.2.3 80C51 的帧格式	135		
6.2.4 波特率的设置	136		
6.3 串行通信工作方式	137		
6.3.1 方式 0	138		
6.3.2 方式 1	138		
6.3.3 方式 2 和方式 3	138		
6.3.4 多机通信	139		
6.4 串行口应用举例	140		
6.4.1 用串行口扩展 I/O 口	140		
6.4.2 用串行口进行异步通信	142		
思考与练习	146		
第 7 章 中断系统	147		
7.1 概述	147		
7.1.1 中断的概念	147		
7.1.2 引进中断技术的优点	147		
7.1.3 中断源	148		
7.1.4 中断系统的功能	148		
7.2 AT89S51 单片机的中断系统	149		
7.2.1 中断系统的结构	150		
7.2.2 中断源及中断入口	150		
7.2.3 与中断有关的寄存器	152		
7.3 中断处理过程	155		
7.3.1 中断响应	155		
7.3.2 中断处理	156		
7.3.3 中断返回	157		
7.3.4 中断请求的撤除	157		
7.3.5 中断响应时间	158		
		7.3.6 扩充外中断源	158
		7.4 中断程序的设计与应用	159
		7.4.1 中断程序的一般设计方法	159
		7.4.2 中断程序应用举例	161
		思考与练习	166
第 8 章 单片机的系统扩展	167		
8.1 并行扩展概述	167		
8.1.1 外部并行扩展总线	167		
8.1.2 并行扩展的寻址方法	168		
8.2 存储器的并行扩展	169		
8.2.1 数据存储器扩展概述	169		
8.2.2 访问片外 RAM 的操作时序	170		
8.2.3 数据存储器扩展举例	171		
8.3 扩展并行 I/O 口	172		
8.3.1 简单的并行 I/O 扩展	172		
8.3.2 扩展可编程 I/O 接口芯片	174		
8.4 串行扩展概述	177		
8.4.1 常用串行总线与串行口简介	177		
8.4.2 单片机串行扩展的模拟技术	180		
8.5 I ² C 总线	180		
8.5.1 I ² C 总线的特点	181		
8.5.2 I ² C 总线的组成及基本工作原理	181		
8.5.3 I ² C 总线的传输时序	181		
8.5.4 I ² C 总线的通用模拟软件包	182		
8.5.5 I ² C 总线应用举例	185		
8.6 SPI 串行口	190		
8.6.1 SPI 串行口的特点	190		
8.6.2 SPI 系统的组成及基本原理	190		
8.6.3 SPI 串行口的传输时序	190		
8.6.4 SPI 串行口的通用软件包	191		
8.6.5 SPI 串行口应用举例	192		
8.7 扩展数模转换器	196		
8.7.1 DAC 电路原理	196		
8.7.2 D/A 转换器的主要技术指标	197		
8.7.3 扩展 D/A 转换器实例	197		

8.8 扩展模数转换器	201	10.2.6 字符型液晶显示模块 LCM 的组成及原理	247
8.8.1 逐次逼近式 A/D 转换原理	201	10.2.7 LCM 的指令	249
8.8.2 A/D 转换器的主要技术指标	202	10.2.8 LCM 的复位及初始化	252
8.8.3 扩展 A/D 转换器实例	203	10.2.9 LCM 应用举例	252
思考与练习	205	10.3 功率开关器件接口	256
第 9 章 C51 语言程序设计	207	10.3.1 输出接口的隔离技术	256
9.1 单片机的 C51 语言概述	207	10.3.2 直流负载驱动电路	256
9.1.1 C51 语言的主要优点	207	10.3.3 晶闸管驱动的负载电路	257
9.1.2 C51 语言的运算符及表达式	208	10.3.4 电磁继电器接口电路	258
9.1.3 C51 语言的程序结构	209	10.3.5 固态继电器接口电路	259
9.1.4 C51 语言的流程控制语句	210	10.4 打印机接口	260
9.2 C51 语言对通用 C 语言的 扩展	212	10.4.1 TPμP-40A 微型打印机的 主要技术性能及接口要求	260
9.2.1 数据的存储类型	212	10.4.2 字符代码及打印命令	261
9.2.2 数据类型	214	10.4.3 TPμP-40A/16A 微型打印 机与单片机的接口	262
9.2.3 指针	216	思考与练习	264
9.2.4 函数	217	第 11 章 嵌入式应用系统的设计 与开发	265
9.2.5 C51 语言对单片机硬件的 访问	218	11.1 应用系统设计过程	265
9.3 C51 语言编程举例	220	11.1.1 总体方案设计	265
9.4 C51 语言与汇编语言的混 合编程	224	11.1.2 硬件设计	266
9.4.1 函数名的转换规则	224	11.1.3 软件设计	268
9.4.2 函数调用	224	11.1.4 嵌入式系统的低功耗设计	269
9.4.3 混合编程举例	225	11.2 开发工具和开发方法	271
思考与练习	227	11.2.1 开发工具	271
第 10 章 接口技术	228	11.2.2 单片机的开发方法	272
10.1 键盘接口	228	11.3 Keil C51 集成开发环境的 使用	273
10.1.1 键盘工作原理	228	11.3.1 软件开发流程	274
10.1.2 独立式按键	229	11.3.2 项目的建立与设置	276
10.1.3 行列式键盘	231	11.3.3 运行调试	278
10.2 显示器接口	238	11.4 水位控制系统	279
10.2.1 LED 显示器的结构与原理	239	11.4.1 题目分析	279
10.2.2 LED 静态显示方式	240	11.4.2 硬件设计	280
10.2.3 LED 动态显示方式	242	11.4.3 软件设计	281
10.2.4 液晶显示器概述	245		
10.2.5 液晶显示模块的引脚及 说明	246		

11.5 恒温箱温度测控报警系统	282	附录 B ASCII 码 (美国标准信息	
11.5.1 题目分析	282	交换码) 符号对照表	294
11.5.2 TLC549 芯片介绍	283	附录 C 常用芯片引脚图	295
11.5.3 硬件设计	284	附录 D 常用逻辑符号对照表	297
11.5.4 软件设计	284	参考文献	298
思考与练习	288		
附录 A 80C51 指令表	289		

1.1 计算机的发展

近年来, 由于 32 位嵌入式系统的出现和成功应用于当今社会各个领域, 一时间涉及“嵌入式系统”的名词和书籍铺天盖地, 好像这是一个刚出现的新名词、新技术, 特别是有些教材名称是嵌入式系统教程, 但实际介绍的是 32 位微处理器, 使人们误以为嵌入式系统是 32 位微处理器的代名词。其实早在 30 多年前, 嵌入式系统就已经投入使用了, 但在嵌入式系统应用领域中, 不少人对什么是嵌入式系统不甚了解, 因而有必要从现代计算机的发展历史来了解嵌入式系统的由来, 从学科建设的角度来探讨嵌入式系统较为准确的定义。

嵌入式系统的核心部分与计算机的中央处理器 (CPU) 类似, 它的发展与计算机技术的发展密切相关, 要想深入全面地了解嵌入式系统, 首先要了解计算机的发展史。

1.1.1 计算机发展简史

计算机从诞生至今已超过 60 年, 在历史的长河中不过是一瞬间, 但就在这一瞬间, 由于计算机的出现使人类社会产生了翻天覆地的变化, 它使人类在科技、国防、工业、农业及日常生活的各个领域产生了一个飞跃。它使人类进入一个新的科学技术和工业革命时代, 是发展新技术、改造老技术的强有力的武器。计算机的生产、推广和应用已成为各国现代化的战略产业。

世界上公认的第 1 台电子计算机是 1946 年由美国宾夕法尼亚大学研制出来的, 这台计算机运算速度为 5 000 次/s, 重量达 30 000 kg, 耗电 140 kW, 当时造价为 100 多万美元。在今天看来, 这台计算机既昂贵又笨重, 功能也很低, 但它却是引起 20 世纪工业革命的先驱。此后的 60 多年, 计算机的发展日新月异, 至今已经历了电子管计算机、晶体管计算机、大规模集成电路计算机和超大规模集成电路计算机 4 代的发展。

由于计算机所显示出的功能和作用越来越大, 各行业对它的需求也越来越大, 这促使计算机也在不断革新和发展。目前, 在世界各行业中, 发展速度最快的要首推计算机行业, 这和社会对它的需求是分不开的。

由于社会的需求和发展,在 20 世纪 70 至 80 年代,派生出大小不一、花样繁多的各种类型的计算机。人们按计算机的规模、性能、用途和价格等特征来分类,把计算机分为巨、大、中、小、微型计算机。20 世纪 90 年代后,计算机的发展趋势是:一方面向着高速、大容量、智能化的超级巨型机的方向发展;另一方面向着微型机的方向发展。

巨型计算机主要用于大型科学研究和实验以及超高速、大容量的数学计算。它的研制水平标志着一个国家的科学技术和工业发展的程度,象征一个国家的实力。

微型计算机(Microcomputer)简称微机,即大家所熟知的个人计算机——PC 机,也称为通用计算机,主要用于一般的计算、管理和办公,还可用于工业控制等领域。微型计算机的中央处理器(Central Processing Unit, CPU)集成在一个小硅片上,而巨型计算机的 CPU 则是由多处理器并行处理电路组成的。为了与巨型计算机的 CPU 相区别,微型机的 CPU 又称为微处理器(Micro Processing Unit, MPU 或 Microprocessor)。除此之外,因为微型机充分利用了大规模和超大规模集成电路工艺,所以体积小、成本低、容易掌握,加之其适用面广,因此,自 20 世纪 70 年代微型计算机诞生之后,就把计算机的应用推向了社会的各行业,使计算机进入到现代计算机发展阶段。

1.1.2 微型计算机的发展及两大分支

为适应社会发展的需要,30 多年来,微型机不断地更新换代,新产品层出不穷。在 20 世纪 70 年代,控制专业工程师为满足大型机电设备的智能化要求,将微型机嵌入到该类设备中,实现对该类设备的智能化控制。由此,计算机便改变了原来的形态与通用计算机的功能。为了与原有的通用计算机系统区别,把嵌入到对象体系中、实现对对象体系智能化控制的计算机称为嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代。

然而,众多体积小的对象,如家用电器、仪器仪表、手机等,无法嵌入通用计算机系统,为适应嵌入式应用的需要,单片机(后来简称微控制器 MCU)应运而生,发展极为迅速。从 1976 年开始至今 30 多年的时间里,单片机(MCU)已发展成为一个品种齐全、功能丰富的庞大家族。

如果说微型机的出现,使计算机进入到现代计算机发展阶段,那么嵌入式计算机的诞生,则标志微型计算机进入了通用计算机与嵌入式计算机两大分支并行发展的时代,推动了计算机产业革命的高速发展。通用计算机为满足高速、海量的数值计算,技术发展方向是不断提高运行速度,不断扩大存储容量,通用微处理器迅速从 286、386、486 发展到奔腾系列,操作系统则迅速提高高速处理海量数据文件的能力和多媒体等多功能应用能力,使通用计算机日趋完美。而嵌入式计算机要嵌入到对象体系中,因而向着单芯片化道路的方向发展,技术要求则是对象的智能化控制能力,发展方向是不断提高嵌入性能、控制能力与可靠性,它的技术要求与发展方向与通用计算机完全不同。传统电子系统领域的厂家与专家,承担起发展与普及嵌入式系统的历史任务,迅速地将传统的电子系统发展到智能化、网络化的现代电子系统时代。通用计算机与嵌入式计算机的专业化分工发展,使 20 世纪末、21 世纪初计算机技术获得飞速发展。

因此,微型计算机技术发展的两大分支的意义在于:它不仅形成了计算机发展的专业化分工,而且将计算机技术扩展到各个领域,使人类迅速进入全球化的网络、通信、虚拟世界和数字化生活的新时代。

1.2 嵌入式系统概述

嵌入式系统现在已经是大家耳熟能详的名词了，嵌入式技术已经逐步渗入人们工作和生活的各个方面，成为人们生活环境中不可或缺的一环，成为人类社会进入全面智能化时代的有力工具，但是至今还有很多人并不知道到底什么是嵌入式系统。

1.2.1 嵌入式系统的定义与特点

1. 嵌入式系统的定义

所谓嵌入式系统 (Embedded Sytem)，实际上是“嵌入式计算机系统”的简称，它是相对于通用计算机而言的。嵌入式系统是将计算机技术、半导体工艺和电子技术等先进技术与各个行业的具体应用相结合的产物。它是面向产品、面向实际应用的系统，应用范围遍及各个领域，通常要求它具有很高的可靠性和稳定性。

根据嵌入式系统的作用和特点，可以把嵌入式系统定义为：“嵌入到对象系统（可以是一种装置、仪表或设备等）中的专用计算机系统”。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的3个基本要素，它的用途是实现对该对象的智能控制、监视或辅助工作。

按照上述嵌入式系统的定义，只要满足定义中三要素的计算机系统，都可称为嵌入式系统。显然，单片机 (MCU) 就是一个典型的嵌入式系统的核心。

嵌入式计算机按形态可分为设备级（工控机）、板级（单板、模块）、芯片级（微处理器、单片机等）。因为工控机和单板机都无法满足小体积、高可靠性和低价位等要求，近年来，其形态基本都变成芯片级了。

2. 嵌入式系统的特点

嵌入式系统的主要特点如下：

- ① 功能专一 只针对某个对象的要求而设计。
- ② 抗干扰能力强、可靠性高 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，因而可靠性要求可达到工业级或者军品级以上。
- ③ 自动化程度高 对于所有的被控对象，包括工业产品、航天产品，均可实现一旦启动即自动循环操作，不需要人工干预。
- ④ 体积小 因为嵌入式系统通常是安装在为特定应用而设计的对象中，而对象形态和大小五花八门，为尽可能不影响对象的外形与体积，要求嵌入式系统的体积越小越好。
- ⑤ 功耗低 因为有很多对象是便携式产品，低功耗将延长它的使用时间，一般产品均可达到毫瓦级，有的已可达到微瓦级。
- ⑥ 性能价格比高 现在的嵌入式系统市场可以说是令人眼花缭乱，目不暇接，新产品层出不穷。在这个市场，开发工程师既可以根据实际应用对象“量身定做”，也可以“量身选衣”。所谓“量身定做”，即根据应用对象的实际要求，请厂家专门定制内存、I/O 口、外设等符合要求的芯片；所谓“量身选衣”，即根据它在软件和硬件上的可选择性，选择最适合对象要求的芯片，这样可实现产品的最佳性能价格比。

显然，正是由于上述特点才使嵌入式系统迅速推广到各个行业。

1.2.2 嵌入式系统的组成

嵌入式系统是由嵌入式计算机（也有书直接称为嵌入式处理器）、外围设备（简称外设）、嵌入式操作系统和应用软件等组成，下面分别予以简介。

1. 嵌入式计算机

嵌入式计算机是嵌入式系统的核心，它是一种软、硬件高度专业化的特定计算机，它的核心部件是嵌入式处理器，根据目前发展现状，嵌入式处理器可以分成如下几类：

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

微处理器实际是计算机或单片机的 CPU，即它们的中央处理器。嵌入式微处理器在功能上与通用计算机中的标准微处理器基本相同，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。

目前采用的嵌入式微处理器主要是 32 位的，常用的型号有 ARM、MIPS、AM186/88、68000 等，其中广为流行的微处理器是 32 位的 ARM，ARM 是 Advanced RISC（Reduced Instruction Set Computer）Machines 的缩写，是设计 ARM 处理器技术的公司（英国）简称，同时可以认为它是一种技术的名称，它几乎变成 32 位微处理器的代名词，目前全世界较大的半导体厂家都在利用 ARM 技术。基于 ARM 技术的处理器约占据了 32 位微处理器 75% 以上的市场。

（2）微控制器（Micro Controller Unit, MCU）

微控制器又称单片机。芯片内部集成 ROM、RAM、定时/计数器、EEPROM 等各种计算机必要的功能模块和 I/O 口。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，所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，从而减少功耗和成本，提高可靠性。

目前在世界范围内，虽然 16 位、32 位的单片机（MCU）已经占据了部分市场，但 8 位单片机（MCU）仍占据 60% 以上的市场，并且这个局面还将持续，因而本书重点介绍 8 位单片机。

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

为满足数字滤波、FFT、谱分析等运算量大的智能系统的要求，DSP 算法已经大量进入嵌入式领域，为适于执行 DSP 算法，DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计，使其编译效率较高，指令执行速度也较快，能满足高速算法的要求。实际上现在已经出现了很多 DSP 单片机，它把单片机中的 CPU 改为 DSP 内核，其他基本不变。

DSP 处理器的典型产品是 TI 公司的 TMS320 系列、Motorola 公司的 DSP56800 系列等。

（4）嵌入式片上系统（System on Chip, SoC）

随着电子技术、半导体技术的迅速发展，已经实现了把嵌入式系统的大部分部件集成到一块芯片上，这就是片上系统（SoC），在这上面除了具有计算机的主要部件之外，还增加了 A/D 转换、D/A 转换及通信单元等用户需要的各种功能模块。这使应用系统电路板变得更简洁，体积更小，功耗更低，可靠性更高。

各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准库器件，和许多嵌入式系统外设一样，成为 VLSI（超大规模集成电路）设计中一种标准的器件，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，这种做法就是“量身定做”。

(5) 片上可编程系统 (System on Programmable Chip, SoPC)

随着 FPGA (Field Programmable Gate Array) 技术的发展, 出现了一种新的嵌入式系统, 即片上可编程系统 (SoPC), 它通过 FPGA 与 SoC 技术结合进行软件和硬件设计, 将处理器、片上存储器、I/O 口、内部外设及自定义逻辑集成到一片 FPGA 上, 并且软、硬件均可剪裁、升级、修改, 从而使处理器构成的单芯片应用系统既稳定可靠, 又灵活多样, 性能价格比也高, 这也是现代嵌入式系统设计的一种发展趋势。

2. 外围设备

外围设备是指除了嵌入式计算机以外的用于通信、存储、调试及显示等功能的其他部件。按照外设的功能可将其分为如下 3 类:

(1) 存储器

根据存储功能的不同要求, 存储器可以分为易失性存储器和非易失性存储器, 容量可根据实际应用要求选择。对于无存储器的处理器, 这是必须配备的部件。

(2) 接口

包括并行接口 (简称并行口) 和串行接口 (简称串行口), 串行口又包括 SPI、I²C、USB 及 CAN 等。

(3) 人机交互

包括显示器、键盘和触摸屏等人机交互设备。

3. 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统是一种实时的、支持嵌入式系统应用的操作系统软件, 是嵌入式应用软件的开发平台, 通常包括与硬件相关的底层驱动软件、操作系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面、标准化浏览器 Browser 和网络协议等。它使嵌入式系统的开发更方便、快捷, 但它同时也占据了宝贵的嵌入式系统资源, 因而一般是在采用 32 位处理器用于比较复杂、大型和多任务的场合时使用嵌入式操作系统, 像用于比较简单控制的 8 位单片机 (MCU) 通常是不采用嵌入式操作系统的。

目前, 嵌入式操作系统的品种较多, 其中较为流行的主要有: Windows CE、 μ C/OS-II、Linux、VxWorks、pSOS、PowerTV 以及 Microware 公司的 OS-9 等。这些嵌入式操作系统从功能到性能各具特色, 为各种硬件环境及应用提供了相应的支持和服务。与通用操作系统相比, 嵌入式操作系统在系统实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固态化以及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。

Linux 操作系统是 20 世纪 90 年代以来逐渐成熟的一个开放源代码的操作系统。其系统内核小、效率高、内核网络结构完整, 可提供系统源码层次上的支持。目前各种嵌入式 Linux 操作系统正迅速发展, 已经形成了能与其他嵌入式操作系统进行有力竞争的局面, 因而目前应用非常广泛。

4. 应用软件

应用软件是针对被控制对象的实际要求而设计的软件, 是嵌入式系统的核心。除了玩具类市场, 在绝大部分领域都要求它有极高的可靠性和极高的品质。因而在设计好应用软件并经过反复多次测试通过后, 最后要固化在存储器中, 以确保软件的可靠性。

嵌入式系统本身不具备自举开发能力，必须有一套开发工具和集成开发环境才能进行应用程序的调试、开发，这些工具和环境包括通用计算机上的软、硬件设备以及各种调试器、仿真器和监视器等。

嵌入式系统一旦启动就执行某一特定的应用软件，中间无需人工干预，直到关机为止。它通常具有实时响应能力，一般不要求复杂的用户界面，在有些应用场合甚至不要求支持键盘、显示器、串行口等外设接口，不需要用户进行二次开发。

1.2.3 嵌入式系统的高、低端

由于嵌入式系统有过很长的一段单片机的独立发展道路，因此它大多是基于8位单片机的，实现最底层的嵌入式系统应用。大多数从事单片机应用的开发人员，都是对象系统领域中的电子工程师，单片机的出现，脱离了计算机专业领域，以“智能化”器件身份进入电子系统领域，没有带入“嵌入式系统”概念。因此，不少从事单片机应用的人，不了解单片机与嵌入式系统的关系，在谈到“嵌入式系统”领域时，往往理解成计算机专业领域的基于32位的嵌入式处理器，应用于网络、通信、多媒体等。这样，“单片机”与“嵌入式系统”形成了嵌入式系统中常见的两个独立的名词。但按照嵌入式系统的定义，应该把单片机划入“嵌入式系统”中，即8位单片机应用属于嵌入式系统的低端应用。

嵌入式系统的高端产品是在低端产品的基础上发展起来的，是为了满足复杂图像处理、手机、互联网、机器人及无线数据传输等方面的需求而产生的。由于32位高端产品的极高性能，使嵌入式系统的应用面更广更深，把嵌入式系统提高到一个新的水平。随后各大单片机厂商都推出了自己的32位单片机，对嵌入式系统市场产生了巨大的冲击力，一时间好像人们都忽略和淡忘了曾对嵌入式系统应用做出巨大贡献的8位单片机，认为学习嵌入式系统就是学习高端的32位嵌入式系统，显然这是片面的。因为在嵌入式应用时还要考虑低成本、高可靠性、低功耗等因素，所以在大多数场合使用低端产品——8位单片机（MCU）就可以圆满解决问题，使得嵌入式系统现在和将来都不可能、也没有必要全部采用32位嵌入式系统。

不同的应用对嵌入式系统的功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等方面的要求也不同，这些也是各个半导体厂商之间竞争的热点。为了使产品达到最佳性能价格比，嵌入式系统的硬件和软件在设计时都要做到“量身定做”或“量身选衣”，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更具有竞争力。

要普及嵌入式系统的应用，高端、低端产品都不能忽略，在不同的应用对象中，它们将各显神通，这样才能推动嵌入式系统应用的全面普及和提高。

1.3 单片机（MCU）概述

单片机（MCU）属于嵌入式计算机，由于它具有性能价格比高、体积小、可靠性高、控制功能强、功耗低等许多优点，其应用已深入到工业、农业、国防、科研以及日常生活等各个领域，在各行业的技术改造、自动化进程、提高生产率等方面起到了极其重要的推动作用。

嵌入式计算机种类较多，限于篇幅和时间，在本书中重点介绍较易理解和接受的8位单片