

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

MCS-51单片机 原理及应用技术教程

MCS-51 Foundation and Applied Technique
of Microcontroller

高洪志 主编 孙平 关晓冬 孟祥莲 副主编

- 以“通俗易懂”“学以致用”为指导思想
- 工程与开发相统一，重在实践，意在工程
- C语言与汇编语言结合提高开发设计能力



高校系列

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

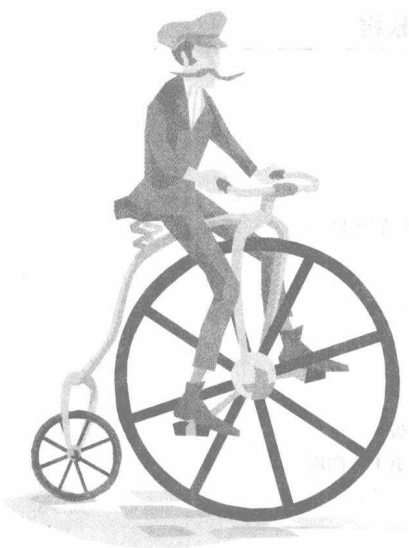
21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

MCS-51单片机 原理及应用技术教程

MCS-51 Foundation and Applied Technique
of Microcontroller

高洪志 主编 孙平 关晓冬 孟祥莲 副主编



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

MCS-51单片机原理及应用技术教程 / 高洪志主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009.4
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-19626-2

I. M… II. 高… 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009683号

内 容 提 要

本书以 MCS-51 单片机为学习平台, 从应用角度出发, 系统地讲解了单片机的组成原理、各功能模块的使用方法 & 扩展方法。

全书共 10 章。内容包括单片机的种类、功能及用途; MCS-51 单片机的组成; MCS-51 单片机指令系统和汇编语言程序设计; 单片机内部各种硬件资源的组成、工作原理及编程使用方法; C 语言在单片机编程中的使用方法; 单片机扩展和接口技术, 包括 I/O 扩展、存储器扩展、人机接口扩展以及模拟接口扩展; 串行通信技术, 并给出了案例; 系统设计开发方法、调试方法和抗干扰技术以及用 C51 语言编写了单片机课程的部分实训案例。

书中第 4~9 章的例题均用 C51 语言进行了编译, 源程序请登录人民邮电出版社教学服务与资源网 (<http://www.ptpedu.com.cn>) 免费下载。

本书可作为高等院校本科相关专业教材, 也可供高职、高专相关专业学生使用。

21 世纪高等学校计算机规划教材

MCS-51 单片机原理及应用技术教程

- ◆ 主 编 高洪志
副 主 编 孙 平 关晓冬 孟祥莲
责任编辑 滑 玉
执行编辑 武恩玉
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.75
字数: 571 千字
印数: 1—3 000 册
- 2009 年 4 月第 1 版
2009 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19626-2/TP

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

前 言

随着电子技术与信息技术的发展,单片机应用的领域越来越广泛,几乎是无处不在。目前高等院校很多专业设置了单片机相关课程,但所开课程更多注重于单片机原理的讲解,对其本身的应用性和实践性介绍较少。

本书编者结合多年的教学实践及工程开发的经验,精心编排内容,对传统介绍原理及知识的体系做了适当调整,并增加了实践案例教学。

全书共 10 章。第 1 章介绍了单片机的种类、功能、用途;第 2 章主要介绍 MCS-51 单片机的组成,重点是它的 MPU 和存储器;第 3 章把汇编语言程序设计和 MCS-51 单片机指令系统放在同一章,便于大家对指令的理解和应用;第 4 章是单片机内部各种硬件资源的组成,工作原理及编程使用方法;第 5 章讲解了 C 语言在单片机编程中的使用方法;第 6 章、第 7 章介绍了单片机扩展和接口技术,包括 I/O 扩展,存储器扩展、人机接口扩展以及模拟接口扩展;第 8 章介绍串行通信技术,给出了案例,以供参考;第 9 章介绍了系统设计开发、调试方法和抗干扰技术;第 10 章用 C51 语言编写了单片机课程的部分培训案例。

本书特点

(1) 工程性强

全书以“学以致用”为指导思想,重在实践,将工程与开发相统一。另外,本书通过介绍大量的应用实例,使读者具有初步开发、设计单片机的能力。

(2) C 语言与汇编语言相结合

本书介绍了两种编程语言,即汇编语言和 C 语言。

汇编语言:任何一个硬件电路都可用汇编语言描述,具有直观性。

C 语言:可读性好,用户可以不了解硬件资源分配情况,只要掌握一两个编程实例,读者据此就可仿效。

(3) 方便教学

本书适合作为多个专业的单片机课程教材。其中,第 1~4 章是必修内容,教师可根据专业、学时不同,自行选取、增删其他章节内容,学生可结合自身专业方向,自行选择学习。

(4) 实践性强

本书安排了两个实训。一是汇编语言的实训部分,由于章节所限,此部分程序可在人民邮电出版社教学服务与资源网(<http://www.ptpedu.com.cn>)免费下载;二是第 10 章的 C 语言实训,该章主要介绍如何用 C51 编程,以提高学生的动手能力。

本书可作为高等院校单片机课程的教材,也可作为从事单片机控制工程技术人员的参考资料。全书由高洪志主编,由哈尔滨工业大学王文仲教授主审,参加编写的人员有孙平、关晓冬、孟祥莲、刘洋、王振力、路媛媛、朱国晗、张晓明、钱庆文、钱鑫、梁衍龙。在本书编写过程中参阅借鉴了一些相关教材和文献,在此向其编著者表示谢意。由于编者水平有限,书中错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 单片机概论1	3.2 寻址方式28
1.1 单片机概述.....1	3.2.1 立即寻址.....28
1.2 单片机的历史与发展.....3	3.2.2 寄存器寻址.....28
1.2.1 单片机的发展概况.....3	3.2.3 RAM 寻址.....28
1.2.2 单片机的发展趋势.....4	3.2.4 程序存储器中数据的寻址.....29
1.3 常用单片机简介.....5	3.2.5 I/O 端口中数据的寻址.....30
1.3.1 MCS-51 系列单片机.....5	3.2.6 程序的寻址.....30
1.3.2 AT89 系列单片机.....7	3.2.7 位寻址.....31
1.4 单片机的应用领域.....8	3.3 指令系统31
1.5 单片机中使用的数制及常用的语言.....9	3.3.1 数据传送类指令.....32
习题.....12	3.3.2 算术运算类指令.....36
第 2 章 MCS-51 单片机的硬件	3.3.3 逻辑操作类指令.....42
结构13	3.3.4 位操作类指令.....45
2.1 MCS-51 单片机的硬件组成.....13	3.4 汇编语言程序设计基础46
2.1.1 MCS-51 单片机硬件结构图.....13	3.4.1 顺序程序设计.....46
2.1.2 MCS-51 单片机的引脚信号.....14	3.4.2 循环程序设计.....48
2.2 MCS-51 单片机的微处理器.....16	3.4.3 分支程序设计.....54
2.2.1 运算器.....16	3.4.4 子程序及其调用.....61
2.2.2 控制器.....17	习题.....65
2.2.3 CPU 时序.....17	第 4 章 MCS-51 单片机片内
2.3 MCS-51 单片机存储器.....18	功能模块的使用67
2.3.1 片内 RAM 结构及其地址空间分布.....18	4.1 并行 I/O 接口的输入与输出.....67
2.3.2 片外 RAM 的扩展.....22	4.1.1 在 MOV 指令下可直接输入/ 输出的 P1 口.....68
2.3.3 程序存储器.....22	4.1.2 在 MOVX 指令下由系统总线 进行输入/输出的 P0 和 P2 口.....70
2.4 时钟电路和复位电路.....23	4.1.3 具有特殊功能的 P3 口.....72
2.4.1 时钟电路.....23	4.2 数据输入/输出的控制方式73
2.4.2 复位电路.....24	4.2.1 查询传送方式.....73
习题.....25	4.2.2 中断传送方式.....75
第 3 章 MCS-51 单片机指令	4.3 中断系统76
系统与程序设计26	4.3.1 中断系统的结构.....77
3.1 概述.....26	4.3.2 中断源和中断请求标志.....77
3.1.1 机器码指令.....26	4.3.3 系统对中断的管理.....79
3.1.2 汇编语言指令.....27	4.3.4 中断的响应过程.....82

4.3.5 中断程序的编程方法	83
4.4 片内定时器/计数器	85
4.4.1 定时器/计数器的内部结构及 工作原理	85
4.4.2 定时器/计数器的工作方式	88
4.4.3 定时器/计数器的应用设计	91
4.5 串行接口	98
4.5.1 串行口的内部结构	98
4.5.2 串行口的工作方式	100
4.5.3 串行口的波特率	102
4.5.4 SMOD 位对波特率的影响	103
4.5.5 MCS-51 单片机串口通信应用	104
习题	111
第 5 章 单片机的 C 语言编程	112
5.1 C 及 C51 语言概述	112
5.1.1 C 及 C51 语言的特点	112
5.1.2 C51 的数据类型	112
5.1.3 C51 对内部资源的定义	115
5.1.4 常量与变量	116
5.1.5 C51 绝对地址访问	118
5.2 运算符和表达式	118
5.2.1 关系运算符与关系表达式	118
5.2.2 逻辑运算符与逻辑表达式	119
5.2.3 算术运算符与算术表达式	119
5.2.4 位运算符和复合赋值运算符	120
5.2.5 条件运算符和指针运算符	121
5.2.6 强制类型转换运算符	122
5.2.7 表达式语句	122
5.3 分支程序设计	123
5.3.1 if 语句	123
5.3.2 switch 语句	123
5.4 循环程序设计	124
5.4.1 while 语句	124
5.4.2 do-while 语句	125
5.4.3 for 语句	126
5.4.4 break 与 continue 语句	127
5.5 函数	127
5.5.1 函数的定义	127
5.5.2 函数的调用	128

5.5.3 中断函数	129
5.6 数组及指针的使用	130
5.6.1 数组的使用	130
5.6.2 指针的使用	132
5.7 C51 的编程规范与技巧	134
5.7.1 编程规范	134
5.7.2 C51 的开发技巧	134
习题	135

第 6 章 MCS-51 单片机系统

扩展

6.1 MCS-51 单片机的扩展总线	137
6.1.1 MCS-51 单片机的最小应用系统	137
6.1.2 MCS-51 单片机的系统总线	137
6.1.3 外扩芯片的片选和地址分配	139
6.2 程序存储器扩展	141
6.2.1 EPROM 扩展	141
6.2.2 E ² PROM 扩展	145
6.3 数据存储器扩展	147
6.3.1 常用的数据存储器芯片	147
6.3.2 访问外部数据存储器的读/ 写操作时序	148
6.3.3 常用的扩展数据存储器的 接口电路	150
6.4 Flash 存储器的扩展	151
6.4.1 Flash 存储器的分类	152
6.4.2 常用的 Flash 存储器芯片	152
6.4.3 常用的 Flash 存储器扩展电路	153
6.5 并行 I/O 接口的扩展	155
6.5.1 简单 I/O 接口扩展	155
6.5.2 可编程 8255A 扩展 I/O 接口	156
6.5.3 可编程 8155 扩展 I/O 接口	162
习题	168

第 7 章 MCS-51 单片机接口技术

应用

7.1 键盘接口电路	169
7.1.1 键盘的工作原理	169
7.1.2 独立式键盘	171
7.1.3 矩阵式键盘	172

7.1.4 键盘的编码	175	8.1.1 串行通信分类	223
7.2 可编程 8279 接口芯片及应用	179	8.1.2 串行通信的制式	225
7.2.1 8279 的内部结构及基本 工作原理	180	8.1.3 接收/发送时钟	226
7.2.2 8279 的引脚功能	181	8.1.4 信号的调制与解调	228
7.2.3 8279 的工作方式	182	8.1.5 通信数据的检测和校正	229
7.2.4 8279 的命令字	183	8.1.6 串行通信接口电路 UART、 USRT 和 USART	230
7.2.5 MCS-51 单片机和 8279 的 接口设计	186	8.2 计算机与单片机之间数据通信	233
7.2.6 8279 应用举例	187	8.2.1 异步通信适配器	233
7.3 LED 显示接口电路	189	8.2.2 计算机与单片机之间的通信 技术	233
7.3.1 LED 显示器和显示器接口	189	8.3 串行通信总线标准	236
7.3.2 LED 显示器接口技术	190	8.3.1 RS-232C 总线标准与应用	237
7.4 LCD 显示接口电路	193	8.3.2 RS-449、RS-422A 及 RS-423A 接口总线标准与应用	243
7.4.1 概述	194	8.3.3 RS-485 标准总线接口	246
7.4.2 组成结构图	194	8.3.4 20mA 电流环路串行接口	248
7.4.3 模块接口说明	195	8.3.5 I ² C 总线接口	248
7.4.4 模块的主要硬件构成	196	8.3.6 DS18B20 单线数字温度传感器	258
7.4.5 指令说明	197	习题	265
7.4.6 读写时序图	199	第 9 章 单片机应用系统设计与 调试	266
7.4.7 应用举例	201	9.1 单片机应用系统设计	266
7.5 D/A 转换接口电路	205	9.1.1 单片机应用系统设计步骤	266
7.5.1 D/A 转换接口电路的基本原理	206	9.1.2 单片机应用系统硬件设计	268
7.5.2 D/A 转换器的主要特点与 技术指标	207	9.1.3 单片机应用系统软件设计	268
7.5.3 DAC 0832 芯片	208	9.2 单片机应用系统的开发与调试	269
7.5.4 DAC 0832 与 MCS-51 的 接口设计	209	9.2.1 单片机应用系统的开发	269
7.5.5 DAC 0832 应用电路	210	9.2.2 单片机应用系统的调试	271
7.6 A/D 转换接口电路	212	9.3 单片机应用系统的抗干扰技术	273
7.6.1 A/D 转换接口电路的基本原理	212	9.3.1 干扰源概述	273
7.6.2 A/D 转换器的主要技术指标	215	9.3.2 硬件抗干扰技术	276
7.6.3 ADC 0809 芯片	215	9.3.3 软件抗干扰技术	281
7.6.4 ADC 0809 与 MCS-51 单片机的 接口设计	217	9.4 单片机在线编程技术	287
习题	221	9.4.1 单片机在线编程概述	287
第 8 章 MCS-51 单片机的串行 通信技术	223	9.4.2 ISP 技术	287
8.1 串行通信基础	223	9.4.3 AT89S51 单片机在线编程的 实现	288
		习题	292

第 10 章 C51 应用实训	293	实训 11 串口实验	316
实训 1 初识 C51	293	思考题	317
实训 2 单色灯闪烁	294	实训 12 单片机扩展实验	318
思考题	297	实训 13 人机接口实验	320
实训 3 走马灯	298	思考题	323
思考题	303	思考题	324
实训 4 流水灯	303	实训 14 A/D、D/A 转换实验	324
思考题	304	思考题	326
实训 5 外部中断	305	思考题	327
思考题	306	附录 A MCS-51 系列单片机	
实训 6 定时器	307	指令表	328
思考题	308	附录 B ASCII 码表	332
实训 7 双芯灯实验	308	附录 C C51 库函数	333
思考题	310	参考文献	339
思考题	312		
实训 8 P1 口输入/输出实验	312		
实训 9 直流电机实验	313		
思考题	314		
实训 10 步进电机实验	314		
思考题	316		

第 1 章

单片机概论

1.1 单片机概述

单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 简称单片机, 其以体积小、重量轻、抗干扰能力强、对应用环境要求不高、价格低廉、维护简单、使用方便、稳定可靠、灵活性好、二次开发容易, 以及较高的性能价格比, 受到社会的重视和青睐。目前, 单片机应用领域从航空、航天、仪器、仪表、家用电器已经普及到国计民生的各个领域。单片机的应用标志着人类社会向自动控制领域前进了一大步。

1. 什么是单片机

单片机是在一个硅片上集成了中央处理器 (CPU)、只读存储器 (ROM)、随机存储器 (RAM) 和各种输入/输出接口、定时器/计数器、串行通信口以及中断系统等多种资源, 这样的—个集成电路就构成了一个完整的微型计算机。因为它的结构及功能是按照工业过程控制设计的, 所以单片机也被称为微控制器 (Microcontroller)。

在单片机的结构设计上, 它的硬、软件系统及 I/O 接口控制能力等方面都有独到之处, 具有很强的有效功能。从其组成、逻辑功能上来看, 单片机具备微型机系统的基本部件。但需要指出的是, 单片机毕竟只是一个芯片, 只有在配置了应用系统所需的接口芯片、输入/输出设备后, 才能构成实用的单片机应用系统。

由于大规模与超大规模集成电路技术的快速发展, 微型计算机技术形成了两大分支: 微处理器 (Micro Processor Unit, MPU) 和微控制器 (Micro Controller Unit, MCU)。

MPU 是微型计算机的核心部件, 它的性质决定了微型计算机的性能。通用的计算机已从早期的数值计算、数据处理发展到今天的人工智能阶段, 它不仅可以处理文字、字符、图形、图像等信息, 还可以处理语音、视频等信息, 并向多媒体、人工智能、虚拟现实、网络通信等方向发展。它的存储容量和运算速度正在以惊人的速度发展, 高性能的 32 位、64 位微型计算机系统正在向大、中型计算机发出了挑战。

MCU 主要用于控制领域, 由它构成的检测控制系统具有实时、快速的外部响应功能, 能快速地采集大量数据, 在作出正确的逻辑推理和判断后实现对被控对象参数的调整与控制。

单片机的发展直接利用了 MPU 的成果, 也发展了 16 位、32 位、64 位的机型。但它的发展方向是高性能、高可靠性、低功耗、低电压、低噪声和低成本。目前, 单片机仍然处于以 8 位机为主, 16 位、32 位、64 位机并行发展的格局。单片机的发展主要表现在其接口和性能不断满足

多种被控对象的要求上,尤其在控制功能上,它可以构成各种专用的控制器和多机控制系统。

2. 单片机与嵌入式系统

面向检测控制对象,嵌入到应用系统中的计算机系统称为**嵌入式系统**。实时性是嵌入式系统的主要特征。此外,嵌入式系统对系统的物理尺寸、可靠性、重启动和故障恢复方面也有特殊的要求。由于被嵌入对象的系统结构、应用环境等的要求,嵌入式系统比通用的计算机系统设计更为复杂,涉及面也更为广泛。从形式上可将嵌入式系统分为系统级、板级和芯片级。

系统级嵌入式系统为各种类型的工控机(包括用于进行机械加固和电气加固的通用计算机系统及各种以总线方式工作的工控机和由各种模块组成的工控机)。它们都有通用计算机组成的软件及周边外设的支持,具有很强的数据处理能力,应用软件的开发也很方便。但由于其体积庞大,一般适用于具有较大空间的嵌入式应用环境,如大型实验装置和船舶、分布式测控系统等。

板级嵌入式系统则是由带有 CPU 的主板及原始制造商(Original Equipment Manufacturer, OEM)的产品组成的系统。与系统级嵌入式系统相比,板级嵌入式系统体积较小,可以满足较小空间的嵌入式应用环境。

芯片级嵌入式系统是以单片机嵌入到对象的环境、结构体系中,作为一个智能化控制单元,是最典型的嵌入式计算机系统。它有唯一的专门为嵌入式应用而设计的体系结构和指令系统,加上它芯片级的体积和现场运行环境下的高可靠性,最能满足各种中、小型对象的嵌入式应用要求。但是一般的单片机目前还没有通用的系统管理软件或监控程序,只能放置用户调试好的应用程序。它本身不具备开发能力,需要专门的开发工具。

3. 单片机的特点

单片机与一般的微型计算机相比,由于其独特的结构决定了它具有如下特点。

(1) 集成度高,体积小

在一块芯片上集成了构成一台微型计算机所需的 CPU、ROM、RAM、I/O 接口以及定时器/计数器等部件,能满足很多应用领域对硬件的功能要求,因此由单片机组成的应用系统结构简单,体积特别小。

(2) 面向控制,功能强

单片机面向控制,它的实时控制功能特别强大, CPU 可以直接对 I/O 接口进行各种操作,能有针对性地解决从简单到复杂的各种控制任务。

(3) 抗干扰能力强

单片机内 CPU 访问存储器、I/O 接口的信息传输线(即总线)大多数在芯片内部,因此不易受外界的干扰。另一方面,由于单片机体积小,适应温度范围宽,在应用环境比较差的状况下,容易采取对系统进行电磁屏蔽等措施,在各种恶劣的环境下都能可靠地工作,所以单片机应用系统的可靠性比一般微型计算机系统高得多。

(4) 功耗低

为了满足广泛使用于便携式系统的要求,许多单片机内的工作电压仅为 1.8~3.6V,而工作电流仅为数百微安。

(5) 使用方便

因为单片机功能强,系统扩展方便,所以应用系统的硬件设计非常简单,又因为有多种多样的单片机开发工具,具有很强的软硬件调试功能和辅助设计的手段,使单片机的应用极为方便,缩短了系统研制的周期。另外,单片机还能方便地实现多机和分布式控制,使整个控制系统的效率和可靠性大为提高。

(6) 性能价格比高

由于单片机价格便宜, 其应用系统的印制电路板小, 接插件少, 安装调试简单, 这一系列原因使得单片机应用系统的性能价格比高于一般的微型计算机系统。为了提高单片机的速度和运行效率, 很多厂商已开始使用精简指令集计算机 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 流水线和数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 等技术。由于单片机应用广泛且市场竞争激烈, 使其价格十分低廉, 性能价格比极高。

(7) 容易产品化

单片机以上的特性缩短了由单片机应用系统样机至正式产品的过渡过程, 能够使科研成果迅速转化为生产力。

1.2 单片机的历史与发展

单片机自 20 世纪 70 年代诞生以来, 发展十分迅速。从各种新型单片机的性能上看, 单片机正朝着面向多层次用户的多品种、多规格方向发展。

1.2.1 单片机的发展概况

单片机的产生与发展和微处理器的产生与发展大体上同步, 也经历了 4 个阶段。

第 1 阶段 (1974 年~1976 年): 单片机初级阶段。1974 年, 美国 Fairchild (仙童) 公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8, 深受家用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视, 从此拉开了研制单片机的序幕。这个时期生产的单片机特点是制造工艺落后, 集成度低, 而且采用双片结构。

第 2 阶段 (1976 年~1978 年): 低性能单片机阶段。这一时期的单片机虽然已经能在单块芯片内集成 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等功能芯片, 但 CPU 功能还不太强, I/O 的种类和数量少, 存储容量小, 只能应用于比较简单的场合。例如, MCS-48 单片机是 Intel 公司的第一代 8 位单片机系列产品, 集成了 8 位的 CPU、并行 I/O 接口、8 位定时器/计数器, 寻址范围不大于 4KB, 无串行接口。此阶段的很多产品 (包括基本型 8048、8748 和 8035, 强化型 8049、8039 和 8050、8040, 简化型 8020、8021、8022, 专用型 UPI-8041、8741 等) 目前已被高档 8 位单片机所取代。

第 3 阶段 (1978 年~1983 年): 高性能单片机阶段。这一阶段的单片机普遍带有串行接口, 有多级中断处理系统和 16 位定时器/计数器, 片内 RAM、ROM 容量加大, 且寻址范围可达 64KB, 有的片内还带有 A/D 转换接口。这类单片机有 Intel 公司的 MCS-51 以及 Motorola 公司的 M6805 和 Zilog 公司的 Z8 等。由于其应用领域极其广泛, 各公司正在不断地改进其结构与性能, 所以, 这个系列的各类产品仍是目前国内外同类产品的主流。其中, MCS-51 系列产品最为明显。

第 4 阶段 (1983 年至今): 16 位以上的单片机和超 8 位单片机并行发展阶段。这一阶段的单片机的主要特征是, 一方面发展 16 位及以上单片机和专用单片机; 另一方面不断完善高档 8 位单片机, 改善其结构, 以满足不同用户的需要。自 1982 年 16 位单片机诞生以来, 现在已有 Intel 公司的 MCS-96、Mostek 公司的 MK68200、NS 公司的 HPC16040、NEC 公司的 783xx 和 TI 公司的 TMS9940 及 9995 系列等。16 位单片机的特点是 CPU 是 16 位的, 运算速度普遍高于 8 位机, 有的单片机寻址可达 1MB, 片内含有 A/D 和 D/A 转换电路, 支持高级语言。16 位单片机主要用于过程控制、智能仪表、家用电器及计算机外部设备的控制器等。

32 位单片机的字长为 32 位, 具有极高的运算速度。近年来, 随着家用电子系统、多媒体技术和 Internet 技术的发展, 32 位甚至 64 位单片机的生产前景看好, 其典型产品有 Motorola 公司的 M68300 和 Hitachi 公司的 SH 系列等。第 4 阶段单片机的一个重要标志是, 超 8 位单片机的各档机型都增加了直接存储器存取 (DMA) 通道、特殊串行接口等。这些 8 位单片机主要有 Intel 公司的 8044、87C252、80C252、UPI-452、Zilog 公司的 Super8 和 Motorola 公司的 68HC11 等。

单片机从操作处理的数据位数来看, 有 4 位、8 位、16 位、32 位甚至 64 位单片机。从技术上看, 8 位、16 位、32 位及 64 位单片机将会越来越受到人们的重视, 今后其应用会越来越多。但是衡量单片机, 不仅要看其性能指标, 还要考虑价格和开发周期等综合效益。在许多场合, 4 位和 8 位单片机已经可以满足要求, 如果使用高档的 16 位及 32 位甚至 64 位单片机, 可能会延长开发周期, 增加开发费用。因此, 在今后相当长的一段时间, 16 位、32 位及 64 位单片机只能不断扩大其应用范围, 并不能完全代替 8 位机。另外, 因为 8 位单片机在性能价格比上占有优势, 而且 8 位增强型单片机在速度和功能上可向现在的 16 位单片机挑战, 所以, 8 位单片机仍将在今后的一段时间里占主流地位。

尽管目前单片机品种繁多, 但其中最为典型、销量最多的仍当属 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机, 它的功能强大, 兼容性强, 软硬件资料丰富。近年来, Intel 公司及其他公司在提高该系列产品的性能方面做了很多工作, 如低功耗控制、高级语言编程, 同时将 MCS-96 系列中的一些高速输出、脉冲宽度调制 (PWM)、捕捉定时器/计数器功能移植进来了。直到现在, MCS-51 仍不失为单片机中的主流机型, 因此, 本书主要介绍 MCS-51 系列单片机。

1.2.2 单片机的发展趋势

近年来单片机的发展趋势正朝着大容量高性能化、小容量低价格比、外围电路内装化、多品种化以及 I/O 接口功能的增强、功耗降低等方向发展。

(1) CPU 的发展

单片机内部 CPU 功能的增强集中体现在数据处理速度和精度的提高以及 I/O 处理能力的提高。通过其他 CPU 改进技术, 如采用双 CPU 结构、增加数据总线宽度、采用流水线结构, 来加快运算速度, 提高处理能力等。

(2) 单片机大容量化

现在单片机片内存储器容量日益扩大。早期单片机片内 ROM 为 1~8KB, 片内 RAM 为 64~256B, 现在片内 ROM 可达 64KB, 片内 RAM 可达 4KB, 并具有掉电保护功能, I/O 接口也无需外加扩展芯片。许多高性能的单片机不但扩大了内部存储器容量, 而且扩大了 CPU 的寻址范围, 提高了系统的扩展功能。随着单片机程序空间的扩大, 单片机的空余空间可以嵌入实时操作系统 RTOS 等软件。这些将大大提高产品的开发效率和单片机的性能。

(3) 单片机内部的资源增多

现在很多单片机内部集成了一些常用的 I/O 接口电路 (包括并行接口和串行接口、多路 A/D 转换器、定时器/计数器、定时输出和捕捉输入、系统故障监视器、DMA 通道、PWM、LED 和 LCD 驱动器, 以及 D/A 输出电路等), 大大减少了单片机的外接电路, 从而减小了控制系统的体积, 提高了工作的可靠性。

(4) 引脚的多功能化、发展串行总线

随着单片机内部资源的增多, 所需的引脚也相应增加, 为了减少引脚数量, 单片机中普遍使用多功能引脚, 即一个引脚具有几种功能供用户选择。单片机的扩展方式从并行总线发展出各种串行总线,

并被工业界接受,形成一些工业标准,如 I²C (Inter Integrated Circuit) 总线、CAN (Controller Area Network) 总线、USB (Universal Serial Bus) 总线接口等。它们采用 3 条数据总线代替现行的 8 位数据总线,从而减少了单片机的引脚总数,降低了成本。

(5) 单片机低廉化、超微型化

为了适应各个领域的应用需要,单片机正在向多层次、多品种的纵深方向发展。价格低廉的 4 位、8 位机也是单片机的发展方向之一,其用途是把以往用数字逻辑电路组成的控制电路单片化。同时,专用型的单片机将得到大力发展,专业单片机能最大限度地简化系统结构,提高可靠性,提高资源利用率,大批量使用,最能体现经济效益。

单片机的内部一般采用模块式结构,在内核 CPU 不变的情况下,根据应用目标的不同,增减一定的模块和引脚就可以得到一个新的产品,于是便出现了一种超微型化的单片机。这类单片机的体积小,价格低廉,特别适用于家用电器、玩具等领域的应用。

(6) 低功耗

目前单片机普遍采用 CMOS 制造工艺,非 CMOS 工艺的单片机逐步被淘汰,同时增加了软件激发的空闲(等待)方式和掉电(停机)方式,极大地降低了单片机的功耗。低功耗的单片机能用电池供电,对于野外作业等领域的应用具有特殊意义。低功耗的技术措施可提高可靠性,降低工作电压,使抗噪声和抗干扰等各种性能全面提高。

(7) 单片机开发方式大为进步

现在单片机应用系统的开发方式走出了以功能实现为目标的初级阶段,进入全面解决系统可靠性的综合开发阶段,即从器件选择、硬件结构设计、电路板图设计、软件设计等各方面综合解决系统的可靠性。

另外,由于单片机片内 Flash ROM 的使用,替代了过去的片内掩膜 ROM,使得开发单片机应用不再需要仿真器。如今单片机的片内 Flash ROM 都可以在线编程,即在线写入、擦除、下载程序。Flash ROM 的写入、擦除次数可达 10 万次以上,故开发过程中可不必顾及寿命问题。在目标板的单片机中直接运行应用程序,是在真实的硬件环境下运行,比在使用仿真器的单片机上运行效果要真实得多。

(8) 多机与网络系统的支持技术日益成熟

近年来推出的网络系统总线体现了单片机现场控制网络总线的特点,它与芯片间串行总线相配合,能灵活方便地构成各种规模的多机系统和网络系统。

1.3 常用单片机简介

目前主要的单片机供应商有美国的 Intel、Motorola (Freescale)、Zilog、NS、Microchip、Atmel 和 TI,荷兰的 Philip,德国的 Siemens,日本的 NEC、Hitachi、Toshiba 和 Fujitsu,韩国的 LG 以及中国台湾地区的凌阳等公司。对于 8 位、16 位和 32 位单片机,各大公司有很多不同的系列,每个系列又有繁多的品种。随着技术的发展,单片机可实现的功能会越来越多,也会不断地有新的单片机产品问世。下面对部分常用的单片机系列产品加以介绍。

1.3.1 MCS-51 系列单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在总结 MCS-48 系列单片机的基础上于 20 世纪 80 年代初推

出的高性能 8 位单片机。表 1-1 所示为 MCS-51 系列单片机的特性。

表 1-1

MCS51 系列单片机常用产品特性一览表

型号	片内存储器		I/O 接口线	定时器/ 计数器	中断源	串行接口	A/D 转换器	PWM
	程序存储器	数据存储器						
8031		128B	32	2 × 16 位	5	UART		
8051	4KB ROM	128B	32	2 × 16 位	5	UART		
8751	4KB EPROM	128B	32	2 × 16 位	5	UART		
80C31		128B	32	2 × 16 位	5	UART		
80C51	4KB ROM	128B	32	2 × 16 位	5	UART		
87C51	4KB EPROM	128B	32	2 × 16 位	5	UART		
8032		256B	32	2 × 16 位	6	UART		
8052	8KB ROM	256B	32	3 × 16 位	6	UART		
8752	8KB EPROM	256B	32	3 × 16 位	6	UART		
80C232		256B	32	3 × 16 位	7	UART		
80C252	8KB ROM	256B	32	3 × 16 位	7	UART		
87C252	8KB EPROM	256B	32	3 × 16 位	7	UART		
80C552		256B	40	3 × 16+WDT	15	UART, I ² C	8 × 10 位	2 × 8 位
83C552	8KB ROM	256B	40	3 × 16+WDT	15	UART, I ² C	8 × 10 位	2 × 8 位
87C552	8KB EPROM	256B	40	3 × 16+WDT	15	UART, I ² C	8 × 10 位	2 × 8 位
80C592		512B	40	3 × 16+WDT	15	UART, CAN	8 × 10 位	2 × 8 位
83C592	16KB ROM	512B	40	3 × 16+WDT	15	UART, CAN	8 × 10 位	2 × 8 位
87C592	16KB EPROM	512B	40	3 × 16+WDT	15	UART, CAN	8 × 10 位	2 × 8 位

MCS-51 系列单片机按片内有无程序存储器，分为 3 种基本品种：8051、8751 和 8031。这 3 种基本产品采用 HMOS 工艺，即高速度、高密度、短沟道 MOS 工艺。8051 单片机片内含有 4KB 的 ROM，ROM 中的程序是由单片机芯片生产厂家固化的，适合于大批量的产品。8751 单片机片内含有 4KB 的 EPROM，单片机应用开发人员可以把编好的程序用开发机和编程器写入其中，需要修改时，可以先用紫外线擦除器擦除，然后再写入新的程序。8031 单片机片内没有程序存储器，当在单片机芯片外扩展 EPROM 后，就相当于一片 8751，此种应用方式方便、灵活。这 3 种芯片只是在程序存储器的形式上不同，在结构和功能上都一样。

采用 CMOS 工艺的 8XC51 系列单片机的基本结构和功能与基本型相同。87C51 和 8xC252 还具有两级程序保密系统，可以禁止外部对片内 ROM 中的程序进行读取，为用户提供了一种保护软件不被窃取的有效手段，由于采用 CMOS 工艺，功耗极低。

强化型 8052 与基本型 8051 不同的之处是片内 ROM 增加到 8KB，RAM 增加到 256KB，16 位的定时器/计数器增加到 3 个，串行接口的通信速率提高到 6 倍。

超级型 8xC252 系列是超 8 位单片机。它们的结构、引脚和指令与 MCS-51 系列完全相同，但又具有 MCS-96 系列高速输入/输出功能和脉冲宽度调制输出。8xC252 采用了高可靠性 CHMOS 工艺，增加了 128B 的片内 RAM，一个可作为加减计数的定时器，另一个可作为编程计数器阵列以及用于串行接口的错误检测和自动地址识别等。

8xC51 系列单片机是 MCS-51 中的一个子系列，是一组高性能兼容型单片机。其中，x 规定为程序存储器的配置：0 表示无片内 ROM，3 表示片内为掩膜 ROM，7 表示片内为 EPROM/OTP ROM，9 表示片内为 Flash ROM。自从 Intel 公司对 MCS-51 系列单片机实行技术开放政策后，许多公司如（Philips、Siemens、Atmel 和 Fujitsu 等）都在 80C51 的基础上推出了与 80C51 兼容的新型单片机，通称为 80C51 系列。因此现在的 80C51 系列已不局限于 Intel 公司一家。其中，Philips 公司的 80C51 系列单片机性能卓著，产品齐全，最具有代表性。此系列的典型产品还有 80C552，它与 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机完全兼容，具有相同的指令系统、地址空间和寻址方式，采用模块化的系统结构。

8xC592 与 8xC552 的主要区别是：8xC592 的 ROM 为 16KB，8xC552 为 8KB；8xC592 增加了 256B 的 RAM；8xC592 采用 CAN 总线接口，8xC552 采用 I²C 总线接口。这些系列中许多新的高性能单片机都是以 80C51 为内核增加一些功能部件构成的。这些新增功能部件（电路）有 A/D 转换器、捕捉输入/定时输出、PWM、I²C 总线接口、CAN 总线接口、视频显示控制器、WDT、E²PROM 等。

1.3.2 AT89 系列单片机

AT89 系列单片机是美国 Atmel 公司的 8 位 Flash ROM 单片机产品，它以 MCS-51 为内核，与 MCS-51 系列单片机软硬件兼容。AT89 系列单片机为很多嵌入式控制系统提供了一种灵活性高且价格低廉的方案。表 1-2 所示为 AT89 系列单片机的产品特性表。

表 1-2 AT89 系列单片机常用产品特性一览表

型号	片内存储器		I/O 接口线	定时器/计数器	中断源	模拟 比较器	串行接口
	程序存储器	数据存储器					
89C1051	1KB Flash ROM	64B	15	1×16 位	3	1	
89C2051	2KB Flash ROM	128B	15	2×16 位	5 个 2 级	1	UART
89C51	4KB Flash ROM	128B	32	2×16 位	6 个 2 级		UART
89C52	8KB Flash ROM	256B	32	3×16 位	6 个 2 级		UART
89C55	20KB Flash ROM	256B	32	3×16 位	8 个 2 级		UART
89S51	4KB Flash ROM	128B	32	2×16+WDT	6 个 2 级		UART
89S52	8KB Flash ROM	256B	32	3×16+WDT	6 个 2 级		UART

89C51 是一个低功耗高性能 CMOS 8 位单片机，有 40 个引脚，片内含 4KB Flash ROM 和 128B RAM，器件采用 Atmel 公司的高密度、非易失性存储技术生产，有 32 个外部双向输入/输出（I/O）接口，同时内含 2 个外部中断接口、2 个 16 位可编程定时器/计数器和 2 个全双工串行通信口。AT89C51 可以按照常规方法进行编程，也可以在线编程，支持两种软件可选的掉电模式：在闲置模式下，CPU 停止工作，但 RAM、定时器/计数器、串行接口和中断系统仍在工作；在掉电模式下，保存 RAM 的内容并且冻结振荡器，禁止所有其他芯片功能，直到下一个硬件复位为止。它将通用的微处理器和 Flash ROM 结合在一起，特别是可反复擦写的 Flash ROM，能有效地降低开发成本。

Atmel 公司的 MCS-51 系列还有 89C2501、89C1051 等品种，这些芯片是在 89C51 的基础上将一些功能精简后形成的精简版。89C2051 去掉了 P0 口和 P2 口，内部的 Flash ROM 减小到 2KB，封装形式由 MCS-51 的 40 引脚改为 20 引脚，相应的价格也低廉一些，特别适合在一些智能玩

具、手持式仪器等程序不大的电路环境下运行；89C1051 在 89C2051 的基础上再次精简了串行接口功能等，程序存储器减小到 1KB，价格也更低。对于 89C1051 来说，虽然减少了一些资源，但它们片内都继承了一个精密比较器，为测量一些模拟信号提供了极大的方便，在外加几个电阻和电容的情况下，就可以测量电压、温度等日常需要的量，这些对于很多家用电器的设计来说是很宝贵的。

89C51 的不足在于不支持在线更新程序（In System Programmable, ISP）功能，89S51 就是在这样的背景下于 2003 年诞生的新型品种，现在，89S51 已经成为实际应用市场上新的热点。89S51 在工艺上进行了改进，采用 0.35mm 的新工艺，成本降低了，而且功能大大提升，增加了竞争力。89Sxx 可以向下兼容 89Cxx 等 MCS-51 系列芯片，新增加了很多功能，性能有了较大的提升，价格却基本不变，甚至比 89C51 更低。

89S51 相对于 89C51 增加的功能包括：

- 在线编程功能，在改写单片机存储器内的程序时不需要把芯片从工作环境中剥离。
- 工作频率为 33MHz（89C51 的工作频率为 24MHz），说明 89S51 具有更高的工作频率，从而具有更快的计算速度。

- 具有双工 UART 串行通道。
- 具有内部集成 WDT。
- 具有双数据指示器。
- 具有电源关闭标识。
- 具有全新的加密算法，加强了程序的保密性；可以有效地保护知识产权不被侵犯。

AT89 系列中有 20 个引脚封装的产品，体积的减小使其应用更加灵活，时钟频率的提高可使运算速度加快，片内含有 Flash ROM，使开发调试更加方便。AT89 系列单片机广泛应用于计算机外部设备、通信设备、自动化控制、仪器仪表和各类消费类产品。

1.4 单片机的应用领域

单片机的应用十分广泛，具体包括以下领域。

（1）自动化过程控制

由于单片机的 I/O 接口线多，位操作指令丰富，逻辑操作功能强，所以特别适用于工业自动化过程控制，可构成各种工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等。单片机既可以作为主机控制，也可以作为分布式控制系统的前端。在作为主机使用的系统中，单片机作为核心控制部件，用来完成模拟量和开关量的采集、处理和计算（包括逻辑运算），然后输出控制信号。另外，因为单片机有丰富的逻辑判断和位操作指令，所以广泛应用于开关量控制、顺序控制以及逻辑控制系统，如锅炉控制、电机控制、机器人控制、交通信号灯控制、浓度控制、数控机床控制及汽车点火、变速、防滑制动、引擎控制等系统。

（2）智能化仪器仪表

单片机的广泛应用使仪器仪表智能化，提高了测量速度和测量精度，加强了控制功能，简化了仪器仪表的硬件结构，便于使用、维修和改进，促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。例如温度、压力、流量、浓度显示、控制仪表等系统中，通常采用单片机软件编程技术，使长期以来测量仪表中的误差修正、非线性化处理等难题迎刃而解。单片机在仪器仪

表中的应用非常广泛,例如数字温度控制仪、智能流量计、红外线气体分析仪、激光测距仪、数字万能表、智能电表以及各种医疗器械、电子秤等。同时在许多传感器中也安装了单片机,即智能传感器,对各种被测参数进行现场处理。

(3) 机电一体化产品

单片机使传统的机械产品结构简化,控制智能化,构成新一代的机电一体化产品(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,是机械工业发展的方向)。单片机作为机电产品中的控制器,能充分发挥其体积小、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。例如,在电传打字机的设计中,由于采用了单片机,取代了近千个机械部件;在数控机床的简易控制机中,采用单片机可提高可靠性及增强功能,降低控制机的成本。

(4) 家用电器设备

由于单片机的价格低廉,体积小,逻辑判断、控制功能强,并且内部具有定时器/计数器,所以广泛用于家电设备,例如空调器、电冰箱、电视机、音响设备、VCD/DVD机、微波炉、高级智能玩具、IC卡、手机、电子门锁、防盗报警器等。由于家用电器涉及千家万户,生产规模大,配上单片机后深受用户的欢迎,因此它的应用前途十分广阔。

(5) 智能化接口

现在通用计算机外部设备上已实现了单片机的键盘管理、打印机、绘图仪控制、磁盘驱动器控制等,并实现了图形终端和智能终端。还有许多用于外部通信、数据采集、多路分配管理、驱动控制等的接口,如果这些外部设备和接口全部由主机管理,会造成主机负担过重,运行速度降低,影响各种接口的功能。采用单片机专用接口设备进行控制和管理,使主机和单片机能并行工作,不仅大大提高了系统的运算速度,而且通过单片机还可以对接口信息进行预处理,如数字滤波、线性化处理、误差修正等,减少主机和接口界面的通信密度,极大地提高了接口控制功能。例如,在通信接口中采用单片机可以对数据进行编码/译码、分配管理、接收/发送控制等处理。

(6) 军用单片机

一般微处理器和有关元器件分为军用和民用两级,民用产品主要用于办公室及机房环境,工作温度在 $0^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$;军用产品要求在恶劣环境条件下稳定工作,工作温度在 $-65^{\circ}\text{C}\sim +125^{\circ}\text{C}$,主要用于雷达、火炮、控制、航天导航系统和鱼雷制导系统通信、穿载机、弹道飞行控制等。

1.5 单片机中使用的数制及常用的语言

1. 单片机中使用的数制

计算机数据信息通常是以数字、字符、符号、表达式等方式出现的。1940年,现代著名数学家、控制学者罗伯特·维纳(Norbert.Wiener,美国,1894年~1964年)首先倡导使用二进制编码形式,解决了数据在计算机中的表示,保证了计算机的可靠性、稳定性和高速性。单片机中常用的数制还有八进制和十六进制等。

二进制(Binary)数是用“0”和“1”两个数字及其组合来表示任何数,其进位规则是“逢2进1”。它简单方便,易于电子方式实现,例如,用高电平表示“1”,用低电平表示“0”。计算机中全部采用的是二进制数。