



普通高等教育应用型规划教材·电子信息类

单片机原理与应用

王耀琦 ■ 编著



- 讲授技术，传授技能，求职就业的帮手
- 双语编程，一书多用，教学改革的助手
- 前沿技术，注重实践，创新创业的强手



科学出版社

普通高等教育应用型规划教材·电子信息类

单片机原理与应用

王耀琦 编著

科学出版社

北京

类景前千中·林爆限限选用型育慈等商上管

内 容 简 介

本书系统地介绍了 MCS-51 系列单片机的内部结构、指令系统、C51 语言程序设计方法、与各种常用硬件的接口设计。本书分为 12 章，主要内容包括单片机的基础知识、MCS-51 系列单片机的内部结构、汇编语言指令与程序设计、C51 语言程序设计、中断系统、定时器/计数器、串口通信、系统扩展、人机接口技术、单片机与 A/D 及 D/A 转换器的接口技术、单片机的总线接口技术与开发实例、单片机应用系统的可靠性技术等。每章都附有习题，便于学生巩固所学知识。书中教学难点配有微课，扫描书中二维码即可在线学习。

本书选取的内容具有实用性、典型性和新颖性，书中的实例大多来自作者多年的科研工作和教学实践总结。本书可作为普通高等院校及培训机构单片机类课程理论教学和实践教学的教材，也可作为电子工程师和自动化技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用/王耀琦编著. —北京：科学出版社，2018.6

ISBN 978-7-03-056000-1

I. ①单… II. ①王… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 315070 号

责任编辑：孙露露 常晓敏 赵玉琢 / 责任校对：陶丽荣
责任印制：吕春珉 / 封面设计：曹 来

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 6 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2018 年 6 月第一次印刷 印张：17 3/4

字数：401 000

定价：45.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈新科〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62138978-2010

版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303

前言

党的十九大报告指出,要推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合。也就是说,互联网等相关技术将通过向各个产业的渗透,推进实体经济持续转型升级,为经济的持续增长打下良好的基础。在“互联网+”的新经济时代,单片机作为廉价且功能强大的微处理器,应用会更加广泛。

MCS-51 单片机是学习单片机技术较好的系统平台,也是应用最为广泛的单片微型计算机。本书将以 MCS-51 单片机为例介绍单片机的工作原理与应用技术。

本书是作者多年单片机教学和科研工作的总结,具有以下 6 个特点。

1. 双语编程。在讲述 MCS-51 单片机的基础内容时,同一实例采用汇编语言和 C51 语言来实现,重在帮助学生理解单片机的内部结构,引导学生采用 C 语言进行单片机系统开发。考虑到通过前面基础内容的学习,学生已经掌握了单片机的内部结构,限于篇幅,后面的高级接口技术部分仅采用 C51 语言来实现。

2. 定位明确,知识结构完整,适合于单片机初学者。本书适合于作为高等院校电子信息类、自动化类、计算机类等专业的“单片机原理与应用”的课程教材,内容安排遵循由简到繁、循序渐进的原则,重点讲述单片机的基础知识,培养学生单片机应用的基本方法和基本能力。

3. 教学资源丰富。为方便教师教学和学生学学习,书中教学难点配有微课,扫描书中二维码即可在线学习;另外,本书还配有教学课件、教学大纲、课后习题、单元测验题、模拟自测题、自学指导书,以及创新实验和开放性实验的设计方案、电路图和源代码,需要者可发邮件至 wangyaoqi@mail.lzjtu.edu.cn,或直接与科学出版社联系(360603935@qq.com)。

4. 一书多用。为了节省篇幅,Keil μ Vision4 和 Proteus 软件的使用介绍将作为教学资源提供,需要者同样可发邮件索取;另外,书中配套的例题和练习题除可方便学生理解和加深所学知识外,也可作为实验内容,因此本书还可作为高等院校学生课程设计、毕业设计以及电子设计竞赛的辅导书。

5. 实用性强。书中大部分实例是从实际科研项目中精选出来的,具有很强的实用性。例题、习题紧密结合学生生活实际和生产应用实际,既能体现单片机的基本工作原理,又能体现单片机应用系统的设计方法。

6. 前沿应用。书中引入一些信息技术发展的最新综合性实例,将单片机应用与新技术联系在一起,可以提高学生学习的兴趣。

全书共分为 12 章:第 1 章主要介绍单片机的基础知识;第 2 章介绍 MCS-51 系列单片机的内部结构;第 3 章介绍 MCS-51 汇编语言指令与程序设计;第 4 章介绍 C51 语言程序设计;第 5 章介绍 MCS-51 单片机的中断系统;第 6 章介绍 MCS-51 单片机的定时器/计数器;第 7 章介绍 MCS-51 单片机的串口通信;第 8 章介绍 MCS-51 单片机的系统扩展;第 9~11 章介绍单片机的接口技术,主要包括单片机与键盘和显示器的接口技术、单片机与 A/D、D/A 转换器的接口技术、1-Wire 总线接口技术、现场总线技术、以太网接口技术、SPI 总线接口技术、I²C 总线接口技术和应用实例;第 12 章介绍单片机应用系统的可靠性技术。附录提供了 C51 的部分库函数和 ASCII 码表。

本书由王耀琦和伍忠东共同编写，王耀琦负责全书的规划、定稿和修改，编写了第2~10章，并负责微课的制作，伍忠东编写了第1、11、12章和附录。本书的出版得到了兰州交通大学百名青年优秀人才项目资助，感谢兰州交通大学教务处、国家级电工电子实验教学示范中心、国家级计算机实验教学示范中心、创新创业学院和电子与信息工程学院的部分老师对本书的支持和帮助。同时，感谢参考文献中提到的作者，本书借鉴了他们的部分成果。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请广大读者批评指正，以便再版时修正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 控制系统组成方案	1
1.2 计算机概述	1
1.3 单片机的发展简史	4
1.4 单片机产品发展近况	5
1.5 单片机的发展趋势	8
1.6 ARM 内核单片机	9
1.6.1 ARM 内核简介	9
1.6.2 STM32 单片机	11
1.6.3 Atmel 公司的 ARM 内核单片机	11
1.7 单片机的应用领域	12
习题	12
第2章 MCS-51 系列单片机的内部结构	13
2.1 MCS-51 系列单片机简介	13
2.2 MCS-51 系列单片机的硬件结构	14
2.3 MCS-51 系列单片机的外部引脚及片外总线	16
2.4 MCS-51 系列单片机的存储器结构	18
2.5 MCS-51 系列单片机的 I/O 结构	24
2.6 MCS-51 系列单片机的时钟电路及时序	28
2.6.1 时钟电路	29
2.6.2 MCS-51 系列单片机的时序	29
2.6.3 MCS-51 系列单片机的指令时序	30
2.7 MCS-51 系列单片机的工作方式	31
2.7.1 复位方式	32
2.7.2 单步执行方式	33
习题	33
第3章 MCS-51 汇编语言指令与程序设计	35
3.1 MCS-51 指令系统概述	35
3.2 MCS-51 指令系统的寻址方式	35
3.3 MCS-51 指令系统的指令	38
3.3.1 数据传送指令	39
3.3.2 算术运算指令	42
3.3.3 位运算指令	44
3.3.4 控制转移指令	45
3.3.5 位操作指令	47

3.4	伪指令	48
3.5	汇编语言程序设计举例	50
3.5.1	码制转换	50
3.5.2	拆字与拼字	50
3.5.3	运算程序	51
	习题	52
第4章	C51 语言程序设计	54
4.1	编程语言概述	54
4.2	C51 语言的基本语法	55
4.2.1	C51 语言的基本数据类型	55
4.2.2	C51 语言的运算	58
4.2.3	运算符与表达式	63
4.2.4	C51 语言程序的基本结构	68
4.2.5	C51 语言程序的转移语句	70
4.3	函数	71
4.3.1	函数的定义	71
4.3.2	函数的声明	73
4.3.3	函数的调用	73
4.4	C51 语言的组合数据类型	73
4.4.1	指针	73
4.4.2	结构体	74
4.4.3	联合体	75
4.4.4	枚举	76
	习题	77
第5章	MCS-51 单片机的中断系统	79
5.1	中断概述	79
5.2	中断系统	80
5.2.1	中断源请求	81
5.2.2	中断控制	82
5.3	中断处理	84
5.3.1	中断响应	84
5.3.2	中断返回与撤销	85
5.4	中断程序的编写与外部中断的扩充	86
	习题	89
第6章	MCS-51 单片机的定时器/计数器	91
6.1	定时器/计数器概述	91
6.2	定时器/计数器 T0、T1 的寄存器	93
6.3	定时器/计数器 T0、T1 的工作方式	95
6.4	定时器/计数器的初始化编程及应用	97
	习题	104

第 7 章 MCS-51 单片机的串口通信	105
7.1 串行通信基础知识	105
7.1.1 并行通信与串行通信	105
7.1.2 串行通信的制式	105
7.1.3 异步通信与同步通信	106
7.1.4 比特率	106
7.2 MCS-51 的串行口及控制寄存器	107
7.2.1 串行口的结构	107
7.2.2 串行口控制寄存器	108
7.3 串行口工作方式	109
7.3.1 方式 0	109
7.3.2 方式 1	110
7.3.3 方式 2 和方式 3	112
7.4 串行口的初始化与应用	113
7.4.1 串行口初始化	113
7.4.2 串行口的应用	114
7.5 单片机与 PC 的通信	121
7.5.1 RS-232 串行总线通信	122
7.5.2 RS-485 串行总线通信	126
7.5.3 USB 串行总线通信的基本原理	131
习题	134
第 8 章 MCS-51 单片机的系统扩展	136
8.1 MCS-51 单片机的最小系统	136
8.2 系统扩展的方法	137
8.3 存储器扩展	139
8.3.1 程序存储器的扩展	140
8.3.2 数据存储器的扩展	143
8.4 I ² C 总线 E ² PROM 芯片 AT24C××	146
8.4.1 I ² C 总线协议	146
8.4.2 虚拟 I ² C 总线软件包	149
8.4.3 单片机与 AT24C×× 的接口	153
8.5 I/O 口的扩展	156
8.5.1 I/O 口概述	156
8.5.2 I ² C 总线 I/O 扩展芯片 PCF8574	158
习题	161
第 9 章 人机接口技术	162
9.1 键盘及其接口	162
9.1.1 按键电路与抖动的消除	162
9.1.2 独立式键盘	163
9.1.3 行列式键盘	165

9.2	LED 显示器及其接口	167
9.2.1	LED 显示器的结构与原理	167
9.2.2	LED 的显示方式	169
9.2.3	LED 的译码与驱动	170
9.3	LCD 显示器及其接口	173
9.3.1	字符点阵式液晶显示模块 RT1602C	173
9.3.2	图形点阵式液晶显示模块 12864	180
9.4	数字量 I/O 口	187
9.4.1	光耦合器	188
9.4.2	电磁式继电器	188
9.4.3	拨码开关	189
9.4.4	蜂鸣器	189
	习题	190
第 10 章	单片机与 A/D、D/A 转换器的接口技术	191
10.1	A/D 转换器及其与单片机的接口电路	191
10.1.1	A/D 转换器概述	191
10.1.2	并行 A/D 转换器及其软硬件设计	194
10.1.3	SPI 串行口 A/D 转换器 TLC1543	200
10.1.4	SPI 串行口 A/D 转换器 TLC2543	206
10.2	D/A 转换器及其与单片机的接口电路	209
10.2.1	D/A 转换器概述	209
10.2.2	DAC0832 与单片机的接口电路	210
10.2.3	串行口 D/A 转换器 TLC5615	214
10.3	I ² C 总线 A/D、D/A 转换芯片	218
	习题	225
第 11 章	单片机的总线接口技术与开发实例	226
11.1	1-Wire 单总线接口技术	226
11.1.1	1-Wire 单总线的硬件结构	226
11.1.2	1-Wire 单总线的时序	227
11.1.3	1-Wire 单总线的 ROM 名代码	228
11.1.4	1-Wire 单总线的命令	228
11.1.5	1-Wire 单总线应用实例——DS18B20	229
11.2	现场总线技术	236
11.2.1	常用现场总线技术	236
11.2.2	CAN 总线技术	239
11.2.3	CAN 总线应用实例——SJA1000	243
11.3	以太网接口技术	247
11.3.1	以太网技术	247
11.3.2	以太网接口芯片 RTL8019AS 及应用	249
	习题	261

第1章 绪 论

教学目的和要求

本章主要介绍单片机的概念、简史、特点、产品发展近况及应用领域。要求熟练掌握单片机的发展简史、特点、产品发展近况及应用领域。

1.1 控制系统组成方案

控制领域常见的控制方案有 PC (personal computer, 个人计算机) + Windows 系统、MCU (multipoint control unit, 多点控制单元) 系统、MCU + 嵌入式操作系统和 PLC (programmable logic controller, 可编程逻辑控制器) 系统等。之前一般的看法是专用的、功能不太复杂的场合使用 MCU 系统, 而通用性的、功能复杂、要求人机界面友好的场合使用 PC + Windows 系统。但是, 随着单片机系统资源的逐渐丰富, 以及嵌入式操作系统的不断发展, 更重要的是出于对可靠性的追求, 人们更多地倾向于使用单片机系统来取代 PC + Windows 系统的工控系统结构。而在一些必须使用图形界面、大容量存储等需要大量资源的系统中, 采用 MCU + 嵌入式操作系统的结构逐渐成为趋势。PLC 可以看作“封装”好的单片机, 相当于一种控制设备, 单片机可以构成各种各样的应用系统, 而 PLC 是单片机系统的一个特例。

1.2 计算机概述

1. 计算机的诞生

1946 年, 全自动电子数字计算机“埃尼阿克”(ENIAC, 即 electronic numerical integrator and calculator, 电子数字积分计算机) 在美国宾夕法尼亚大学莫尔学院研制成功。它是美国奥伯丁武器试验场为了满足计算弹道需要而研制成的, 主要发明人是电气工程师普雷斯波·埃克特 (Prespen Eckert) 和物理学家约翰·莫奇利 (John Mauchly) 博士。这台计算机于 1946 年 2 月交付使用, 共服役 9 年。ENIAC 采用电子管作为基本元件, 使用了 17 468 只电子管, 10 000 只电容, 70 000 只电阻, 占地面积约 170m², 重约 30t, 耗电 140~150kW·h, 每秒可进行 5000 次加法运算。

2. 计算机的组成

从结构上看, 计算机采用冯·诺依曼结构, 由 5 部分组成: 运算器、控制器、存储器、

输入设备和输出设备。目前,大部分计算机将运算器与控制器集成在一起,称为中央处理器(central processing unit, CPU),也有计算机将存储器和 CPU 集成在一起。微处理器、存储器和 I/O 口电路组成微型计算机,各部分通过地址总线(address bus, AB)、数据总线(data bus, DB)和控制总线(control bus, CB)相连,如图 1.1 所示。

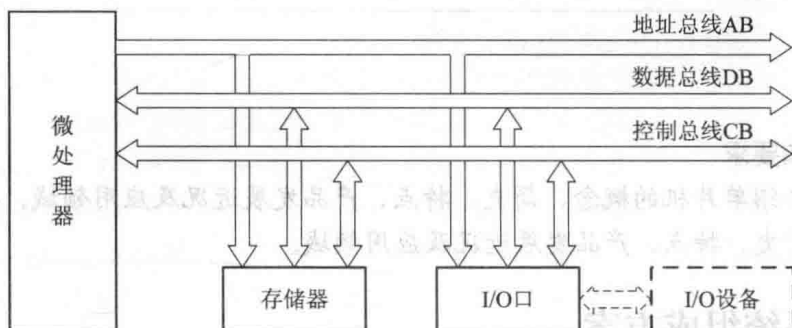


图 1.1 计算机的组成

3. 计算机的发展

ENIAC 的问世具有划时代的意义,它表明了计算机时代的到来。在 ENIAC 问世后的 40 多年中,计算机技术发展异常迅速,按照组成计算机的元器件的技术发展水平划分,计算机的发展已经走过了 4 代。

1) 第一代(1946~1957 年)为电子管数字计算机。在这一时期,计算机的逻辑元件采用电子管,主存储器采用汞延迟线、磁鼓、磁心,外存储器采用磁带,软件主要采用机器语言、汇编语言,应用以科学计算为主。其特点是体积大、耗电大、可靠性差、价格昂贵、维修复杂,但它奠定了计算机技术的基础。

2) 第二代(1958~1964 年)为晶体管数字计算机。晶体管的发明推动了计算机的发展,采用晶体管作为逻辑元件后,计算机的体积大大缩小、耗电量减少、可靠性提高,性能比第一代计算机有了很大的提高。在这一时期,主存储器采用磁心,外存储器已开始使用更先进的磁盘,软件有了很大发展,出现了各种各样的高级语言及其编译程序,还出现了以批处理为主的操作系统,应用以科学计算和各种事务处理为主,并开始用于工业控制。

3) 第三代(1965~1970 年)为集成电路数字计算机。20 世纪 60 年代,计算机的逻辑元件采用小规模集成(small scale integration, SSI)电路和中规模集成(middle scale integration, MSI)电路,计算机的体积更小型化、耗电量更少、可靠性更高。这一时期主存储器仍采用磁心,软件逐渐完善,分时操作系统和会话式语言等多种高级语言都有新的发展。

4) 第四代(1971 年至今)为大规模集成电路数字计算机。在这一时期,计算机的逻辑元件和主存储器都采用了大规模集成(large scale integration, LSI)电路。大规模集成电路是指在单片硅片上集成 1000 个以上晶体管的集成电路,其集成度比中、小规模集成电路提高了至少 1 个数量级。这时计算机发展到了微型化、耗电量极少、可靠性很高的阶段。随着大规模集成电路技术的迅速发展,计算机除了向巨型机方向发展,还朝着超小型机和微型机方向飞越前进。1971 年,世界上第一台微处理器和微型计算机在美国旧金山南部的硅谷应运而生,它开创了微型计算机的新时代。此后各种各样的微处理器和微型计算机如雨后春笋般地被研制出来,潮水般地涌向市场,成为当时首屈一指的畅销品。这种势头直

至今天仍然方兴未艾。

计算机的未来充满变数,但其性能的大幅度提高是不容置疑的,而且实现其性能的飞跃有多种途径。当前科研人员正在加紧研制一些新的计算机,这些计算机包括量子计算机、神经网络计算机、化学计算机、生物计算机和光计算机等。

1) 量子计算机。量子计算机是一类遵循量子力学规律进行高速数学和逻辑运算、存储及处理量子信息的量子物理设备。若某个设备是由量子元件组装的,其处理和计算的是量子信息,运行的是量子算法,则它就是量子计算机。

2) 神经网络计算机。人脑总体运行速度相当于 1000 万亿次每秒的计算机的运行速度,可以将生物大脑神经网络看作一个大规模并行处理的、紧密耦合的、能自行重组的计算网络。从大脑工作的模型中抽取计算机设计模型,用许多处理机模仿人脑的神经元机构,将信息存储在神经元之间的联络中,并采用大量的并行分布式网络即可构成神经网络计算机。

3) 化学计算机、生物计算机。在运行机理上,化学计算机以化学制品中的微观碳分子作为信息载体来实现信息的传输与存储。DNA 分子在酶的作用下可以从某基因代码通过生物化学反应转变为另一种基因代码,转变前的基因代码可以作为输入数据,反应后的基因代码可以作为运算结果,利用这一过程可以制成新型的生物计算机。生物计算机最大的优点是生物芯片的蛋白质具有生物活性,能够跟人体的组织结合在一起,特别是可以和人的大脑与神经系统有机连接,使人机接口自然吻合,免除了烦琐的人机对话,这样生物计算机就可以听人指挥,成为人脑的外延或扩充部分,还能够从人体的细胞中吸收营养来补充能量,而不需要任何外界的能源。由于生物计算机的蛋白质分子具有自我组合的能力,从而使生物计算机具有自调节能力、自修复能力和自再生能力,更易于模拟人类大脑的功能。现今科学家已研制出生物计算机的主要部件——生物芯片。

4) 光计算机。光计算机是用光子代替半导体芯片中的电子,以光互连来代替导线制成数字计算机。与电的特性相比,光具有电无法比拟的各种优点:光计算机是“光”导计算机,光在光介质中以多种波长不同或波长相同而振动方向不同的光波传输,不存在寄生电阻、电容、电感和电子相互作用问题;光器件无电位差,因此光计算机的信息在传输中畸变或失真小,可在同一条狭窄的通道中传输数量大得难以置信的数据。

4. 计算机的分类

计算机按用途的不同,又可分为专用计算机和通用计算机。专用计算机针对某类问题能显示出最有效、最快速和最经济的特性,但它的通用性较差,不适于其他方面的应用。通用计算机按其规模、速度和功能等的不同,又可分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机及单片机。

5. 微型计算机的应用形态

从应用形态上划分,微型计算机可以分成 3 种。

1) 多板微型计算机(简称多板机)。将 CPU、存储器、I/O 口电路和总线接口等装配在一块主机板上就构成了多板机。各种适配板卡插在主机板的扩展槽上并与电源、硬盘驱动器及光盘驱动器等装在同一机箱内,再配上系统软件,就构成了一台完整的微型计算机系统,简称系统机。工业 PC 属于多板机。

2) 单板微型计算机(简称单板机)。将 CPU 芯片、存储器芯片、I/O 口芯片和简单的

I/O 设备等装配在一块印制电路板 (printed-circuit board, PCB) 上, 再配生监控程序, 就构成了一台单板机。单板机的 I/O 设备简单, 软件资源少, 使用不方便, 早期主要用于微型计算机原理的教学及简单的测控系统, 现在已很少使用。

3) 单片微型计算机 (简称单片机)。单片机是指在一块芯片上集成了 CPU、随机存储器 (random access memory, RAM)、只读存储器 (read-only memory, ROM) 或电擦除可编程只读存储器 (electrically-erasable programmable read-only memory, E²PROM)、定时器/计数器、中断控制器及串行口、并行 I/O 口等部件, 构成的一个完整的微型计算机系统, 简称为 MCU 或 SCM (single chip microcomputer, 单片微型计算机)。

系统机属于通用计算机, 主要应用于数据处理、办公自动化及辅助设计。单片机属于专用计算机, 主要应用于智能仪表、智能传感器、智能家电、智能办公设备、汽车电子设备等应用系统。

1.3 单片机的发展简史

单片机诞生于 20 世纪 70 年代, 美国 Intel 公司在 1971 年推出了 4 位单片机 Intel 4004, 在 1974 年推出了 8 位雏形单片机 Intel 8008, 在 1976 年推出了 MCS-48 单片机。此后, 单片机的发展及其相关的技术经历了数次的更新换代。其发展速度为每三四年更新一代、集成度增加一倍、功能翻一番。单片机的发展大致可分为下列 5 个阶段。

1. 单片机发展的初级阶段

20 世纪 70 年代初期, 微电子技术正处于发展阶段, 集成电路属于中规模发展时期, 各种新材料新工艺尚未成熟, 单片机仍处在初级的发展阶段, 元件集成规模还比较小, 功能比较简单, 一般把 CPU 和 RAM (有的还包括一些简单的 I/O 口) 集成到芯片上, 还需配上外围的其他处理电路才能构成完整的计算系统。这一时期的产品主要有 Intel 公司的 Intel 4004 和 Intel 8080、Zilog 公司的 Z80 等。Intel 4004 微处理器是世界上第一款商用计算机微处理器, 它片内集成了 2250 个晶体管, 晶体管之间的距离是 10 μ m, 能够处理 4bit 的数据, 每秒运算 6 万次, 主频为 0.74MHz, 运行的频率为 108kHz。

2. 低性能单片机阶段

1976 年, Intel 公司推出了 MCS-48 单片机。MCS-48 才是真正的 8 位单片机。它以体积小、功能全、价格低而赢得了广泛的应用, 为单片机的发展奠定了基础, 成为单片机发展史上重要的里程碑。这个系列的单片机内集成有 8 位 CPU、1KB ROM、64B RAM、27 根 I/O 线和 1 个 8 位定时器/计数器, 寻址范围不大于 4KB, 具备简单的中断功能, 无串行口。

3. 高性能单片机阶段

20 世纪 80 年代初, 单片机发展到了高性能阶段, 如 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 6801 和 6802 系列、Rokwell 公司的 6501 和 6502 系列等, 此外 NEC 公司和 HITACHI 公司都相继开发了具有自己特色的专用单片机。这个阶段的单片机普遍带有串行 I/O 口、多级中断系统、16 位定时器/计数器, 片内 ROM 和片内 RAM 容量加大, 且寻址范围可达

64KB, 有的片内还带有 A/D 转换器 (analog-to-digital converter, ADC)。

1980 年, Intel 公司推出的 MCS-51 系列单片机内部集成了 8 位 CPU、4KB ROM、128B RAM、4 个 8 位并行口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器/计数器, 寻址范围 64KB, 并有控制功能较强的布尔处理器。这一系列的单片机结构体系完善, 性能已大大提高, 面向控制的特点得到了进一步突出。现在 MCS-51 已成为公认的单片经典机种。

4. 16 位单片机阶段

1982 年, 16 位单片机问世, 其代表产品是 Intel 公司的 MCS-96 系列。与 8 位单片机相比, 16 位单片机数据总线增加了 1 倍, 实时处理能力更强, 主频更高, 其芯片内集成 16 位 CPU、8KB ROM、232B RAM、5 个 8 位并行口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器/计数器, 寻址范围 64KB, 片上还有 8 路 10 位 A/D 转换器、1 路 PWM (pulse width modulation, 脉冲宽度调制) 输出及高速 I/O 部件等。片内面向测控系统的外围电路增强, 使单片机可以方便灵活地用于复杂的自动测控系统及设备。

5. 新一代单片机

20 世纪 90 年代是单片机制造业大发展的时期, 这个时期的 Motorola、Intel、Atmel (2016 年被 Microchip 公司收购)、德州仪器 (Texas Instruments, TI)、三菱集团、HITACHI、Philips 和 LG 等公司开发了一大批性能优越的单片机, 极大地推动了单片机的应用。美国 Microchip 公司发布了一种完全不兼容 MCS-51 的新一代 PIC (peripheral interface controller, 外围设备控制器) 系列单片机, 引起了业界的广泛关注, 特别是它的产品只有 33 条精简指令集, 吸引了不少用户, 使人们从 Intel 公司的 111 条复杂指令集中走出来。因此, PIC 单片机获得了快速的发展, 在业界占有一席之地。随后更多类型的单片机蜂拥而至, Motorola 公司发布了 MC68HC 系列单片机, NEC 公司发布了 UCOM87 系列单片机, 其代表作 UPC7811 是一种性能相当优异的单片机。

1990 年, Intel 公司推出了 80960 超级 32 位单片机, 引起了计算机界的轰动, 成为单片机发展史上又一个重要的里程碑。

1.4 单片机产品发展近况

目前全球许多半导体公司已开发生产了多种具有各自特色的单片机系列, 如 MCS-51 系列、PIC 系列、MSP430 系列、AVR 系列等。据不完全统计, 到 2017 年全球单片机品种总量已经超过 2000 种, 流行体系结构有 30 多个系列, 其中 MCS-51 系列占了多半。

Intel 公司于 1980 年推出 8 位的高性能 MCS-51 单片机, 之后不久就将其核心技术授权给了很多公司, 各公司以 MCS-51 的内核为基础, 推出了各种与 MCS-51 相兼容的各具特色、性能优越的单片机衍生产品, 统称为 51 系列单片机或 51 核单片机。其中, Philips 公司着力发展了单片机的控制功能和外围单元; Atmel 公司在单片机内部植入了 Flash ROM, 使得单片机应用变得更灵活; ADI (Analog Devices Inc.) 公司推出的 AD μ C8 $\times\times$ 系列单片机, 在单片机向 SoC (system on chip, 片上系统) 发展的模/数混合集成电路发展过程中扮演了很重要的角色; Cygnal 公司采用一种全新的流水线设计思路, 使单片机的运算速度得

到了极大的提高,在向 SoC 发展的过程中迈出了一大步。

目前 MCS-51 系列单片机产品繁多,主流地位已经形成,主要产品有 Atmel 公司融入 Flash 存储器技术的 AT89 系列,Philips 公司的 80C51、80C552 系列,Winbond 公司的 W78C51、W77C51 高速低价系列,ADI 公司的 AD μ C8 $\times\times$ 高精度 ADC 系列,LG 公司的 GMS90/97 低压高速系列,Maxim 公司的 DS89C420 高速(50MIPS)系列,Cygnal 公司(2005 年被 Silicon Labs 公司收购)的 C8051F 系列高速 SoC 单片机,宏晶公司的 STC 系列单片机等。

在很多公司改造 MCS-51 系列单片机的同时,世界上一些有影响力的大公司也在开发自己的单片机,不断推出非 MCS-51 结构的单片机新品,给用户提供了更为广泛的选择空间。近年来推出的非 MCS-51 系列的主要产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列 16 位单片机、Microchip 公司的 PIC 系列单片机、TI 公司的 MSP430F 系列 16 位低功耗单片机、凌阳科技股份有限公司(简称凌阳科技公司)的 μ nSP 系列 16 位单片机等。

1. Motorola 公司的单片机

Motorola 公司是世界上著名的单片机开发厂商,现在已经拥有 8 位、16 位和 32 位十几个系列的单片机。其中,8 位单片机主要有 68HC05、68HC08 和 68HC11 等系列,16 位单片机主要有 HCS12、68HC12、DSP56800 和 68HC16 等系列,32 位单片机主要有 Coldfire 的 MC683 $\times\times$ 、MCORE、MPC500 和 MCF5 $\times\times\times$ 等系列。Motorola 单片机的功能一般很强,进入我国的时间也很早,在单片机应用领域有很高的威望,但其开发工具价格较高,影响了产品的普及率。

2. Microchip 公司的 PIC 单片机

Microchip 公司生产的 PIC 单片机在我国有比较多的用户,近几年随着 Microchip 公司不断推出颇具特色的各型单片机,它已越来越受到业界的广泛关注。目前,市面上比较常见的单片机主要有 PIC12C5 $\times\times\times$ 系列和 PIC16C5 $\times$ 系列,这两个系列的单片机是 PIC 单片机中的低端产品,其中 PIC16C5 $\times$ 系列是最早在市场上得到发展的系列,因其价格较低,且有较完善的开发手段,因此在国内应用最为广泛;而 PIC12C5 $\times\times$ 是世界上第一个 8 脚低价位单片机,可用于一些对单片机体积要求较高的简单智能控制领域,前景十分广阔。PIC12C6 $\times\times$ 和 PIC16C $\times\times\times$ 系列是 PIC 单片机中的中档产品,是 Microchip 公司近年来重点发展的系列产品,品种最为丰富,其性能比低档产品有所提高,指令周期可达到 200ns,增加了中断功能,带 A/D、内部 E²PROM 数据存储器、双时钟工作、比较输出、捕捉输入、PWM 输出、I²C (inter-integrated circuit) 总线和串行外设接口(serial peripheral interface, SPI)、异步串行通信、模拟电压比较器及 LCD 驱动等,其封装从 8 引脚到 68 引脚,可用于高、中、低档的电子产品设计中,适合于高级复杂系统的开发,其性能在中档位单片机的基础上增加了硬件乘法器,指令周期可达成 160ns,它是目前世界上 8 位单片机中性价比比较高的机种之一,可用于高、中档产品的开发,如电动机控制、音调合成。

2016 年 4 月, Microchip 公司完成了对 Atmel 公司的并购,由于双方原本的产品线就有相当大的互补性,双方原有的主力产品线都原封不动,持续投资 Microchip PIC32 与 Atmel SAM 32 位系列产品,也将继续为 8 位 PIC 与 AVR MCU 产品家族提供投资。Atmel 成为 Microchip 公司旗下的一家子公司,Atmel 公司生产的具有 Flash ROM 的增强型 51 系列单

片机目前在市场上十分流行,其中 AT89S 系列应用较广泛。AVR 单片机是 Atmel 公司在 20 世纪 90 年代推出的精简指令集计算机 (reduced instruction set computer, RISC) 的单片机,与 PIC 类似,使用哈佛结构,是增强型的 RISC 内载 Flash 单片机。AVR 单片机取消了机器周期,以时钟周期为指令周期,实行流水作业,指令以字为单位,且大部分指令为单周期指令,通常时钟频率为 4~8MHz,故其指令执行时间为 250~125ns。

3. TI 公司的 MSP430 单片机

TI 公司是全球闻名的数字信号处理器 (digital signal processing, DSP) 制造商,其推出的 MSP430 系列 16 位单片机同样在业界掀起不小的波澜。MSP430 系列单片机最突出的特点是低电压供电和超低功耗,非常适合应用于长时间采用电池工作的场合。电压范围为 1.8~3.6V,在 1MHz 2.2V 下,活动模式电流为 225 μ A,待机模式电流为 0.8 μ A,断电模式电流为 0.1 μ A。在这个系列中有很多个型号,它们是由一些基本功能模块按照不同的应用目标组合而成的。MSP430 系列单片机的 CPU 采用 16 位 RISC (精简指令集 CPU),集成有 16 位寄存器和常数发生器,发挥了最高代码效率。它采用数字控制振荡器 (digitally controlled oscillator, DCO),使得从低功耗模式到唤醒模式的转换时间小于 6 μ s;内部集成了 A/D 转换器,工业应用方便。其中 MSP430 $\times$ 41 $\times$ 系列设计有一个 16 位定时器、一个比较器、96 段 LCD 液晶驱动器和 48 个通用 I/O 口。

4. 凌阳科技公司的单片机

台湾凌阳科技公司致力于开发高品质的集成电路芯片,在单片机的核心技术上,发展了从 8 位系列微控制器到 μ nSP (microcontroller and signal processor) 系列 16 位微控制器、32 位微控制器的核心技术。该公司的 16 位单片机的 CPU 内核采用其自身具有自主知识产权的 μ nSP 16 位微处理器。而围绕 μ nSP 所形成的 16 位 μ nSP 系列单片机采用的是模块化集成结构,即以 μ nSP 内核为中心,集成不同规模的 ROM、RAM 和功能丰富的各种外设接口部件,将单片机应用引领到片上系统领域。凌阳科技公司的 μ nSP 系列 16 位单片机主要产品有带语音功能的 SPCE 通用单片机系列,工业级控制型的 SPMC 通用单片机系列,应用于视频游戏类产品的 SPG 系列单片机,带有 LCD 显示驱动的 SPL16 系列单片机,专用于通信产品的 SPT 系列单片机,应用于高档电子乐器、和弦发声的 SPF 系列单片机等。凌阳科技公司新近又推出了以 μ nSP 为内核的 SPMC75F 系列单片机,用于变频电动机驱动控制,广泛应用于变频家电、工业变频器、工业控制等领域。

5. STC 单片机

STC (system chip, 系统芯片) 单片机是宏晶科技有限公司生产的 MCS-51 系列单片机,该系列的单片机在中国 51 单片机市场占有较大的比例。该产品功耗低,具有在系统可编程 (in system programming, ISP) 和在线应用可编程 (in application programming, IAP) 功能,且具有强抗干扰能力和降低电磁干扰 (electro magnetic interference, EMI) 的功能,价格便宜,在高校单片机教学实验系统中应用较为广泛。其产品包括 STC89/90 系列、STC10/11 系列、STC12 系列和 STC15 系列,全部采用 Flash 技术,对传统 8051 进行了全面提速,大幅度提高了集成度,如集成了 A/D 转换器、CCP/PCA/PWM, SPI、“看门狗”、内部时钟、内部复位电路、SRAM (static random access memory, 静态随机存取存储器)、E²PROM、