

高等学校电子信息类系列教材

单片机原理 与应用

(第二版)

◆ 主 编 倪云峰
副主编 何 蓉 詹训进

- 有利自主学习
- 注重工程应用
- 结合仿真实例
- 重视实践练习



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类系列教材

单片机原理与应用

(第二版)

主 编 倪云峰

副主编 何 蓉 詹训进

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍 MCS-51 单片机的基本原理和应用技术,是按照教育部关于电子、电气类专业应用型人才培养计划课程的基本要求,并结合当前的发展状况而编写的。本书内容包括 MCS-51 单片机的结构、汇编指令、中断、定时/计数器、串行接口、单片机系统扩展、串行总线设计等。本书最后一章以常见的典型消费类产品和工业产品的设计为例详细介绍了一般系统的开发步骤和过程,并提供了部分源代码。

本书内容翔实,浅显易懂,图文并茂,将理论教学与实例讲解相结合,将重点放在基础知识的学习和基本应用技能的培养上。除第 7 章外,每章后面均配有习题,以便于学生练习。

本书可作为高等学校、各类技术院校通信专业、自动化专业、计算机专业在校学生的教材,也可作为自学者和从事单片机研发工作的工程技术人员的参考用书。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用 / 倪云峰主编. —2 版. —西安:西安电子科技大学出版社, 2020. 5

ISBN 978 - 7 - 5606 - 5554 - 3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 017155 号

策划编辑 戚文艳

责任编辑 张晓燕

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2020 年 5 月第 2 版 2020 年 5 月第 8 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 20.5

字 数 487 千字

印 数 10 661~13 660 册

定 价 46.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 5554 - 3 / TP

XDUP 5856002-8

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

随着微电子技术的高速发展，单片机以体积小、功能全、性价比高等诸多优点，在工业控制、家用电器、通信设备、信息处理、军事武器等各种领域得到了广泛的应用。目前，单片机开发技术已成为电子信息、电气、通信、自动化、机电一体化等专业的学生以及相关专业技术人员必须掌握的技术之一。

本书以培养能力、突出实用为基本出发点，重点讲解基本概念、基本知识点，以够用、必需为宗旨，结合不同的实例，以实用技术为主线，详细介绍了单片机的原理和应用。

本书共分为7章，分三个方面介绍了MCS-51单片机的原理及应用：首先介绍单片机的基本结构和操作指令；其次介绍单片机中的特殊功能器件、中断、定时/计数器和串行口以及系统扩展的基本用法；最后以家用电器、工业控制单元和网络控制器为例介绍了单片机应用的开发过程，并给出了各典型案例的设计步骤及主要程序源代码。

倪云峰担任本书主编，何蓉和詹训进担任副主编。倪云峰负责编写第3、5、6、7章，以及全书的统稿工作；何蓉负责编写第4章和所有习题及附录；詹训进负责第1、2章的内容。

本书在编写过程中得到了西安理工大学张毅坤教授，西安科技大学郝迎吉教授、吴延海教授，广东松山职业技术学院杨宇副教授等老师的指导和审阅，在此表示衷心的感谢！

由于计算机技术发展迅速，多媒体应用软件日益更新，加上作者水平有限，且时间仓促，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2019年11月

目 录

第 1 章 绪论.....	1	2.4.5 P3 口.....	27
1.1 概述.....	1	2.5 I/O 接口电路的作用.....	28
1.1.1 单片机的产生与发展.....	2	2.5.1 接口与端口.....	29
1.1.2 单片机的发展趋势.....	3	2.5.2 I/O 接口的编址方式.....	30
1.1.3 单片机的应用.....	4	2.6 输入/输出传送方式.....	30
1.2 单片机系列介绍.....	5	2.6.1 无条件传送方式.....	30
1.2.1 单片机的主要生产制造商及其特点.....	5	2.6.2 查询传送方式.....	31
1.2.2 单片机的四个主要系列.....	6	2.6.3 中断传送方式.....	31
本章小结.....	10	2.7 CPU 时序与复位.....	32
习题.....	10	2.7.1 基本概念.....	32
		2.7.2 CPU 的时序.....	33
第 2 章 MCS-51 系列单片机的		2.7.3 复位电路与复位状态.....	34
基本结构.....	11	2.7.4 掉电与节电方式.....	34
2.1 单片机的基本结构.....	11	本章小结.....	35
2.1.1 单片机的内部结构及功能部件.....	12	习题.....	36
2.1.2 单片机的外部引脚说明.....	13		
2.2 中央处理器 CPU.....	15	第 3 章 指令系统及汇编语言程序设计 ...	37
2.2.1 运算部件.....	15	3.1 MCS-51 单片机汇编语言与指令格式.....	37
2.2.2 控制部件及振荡器.....	16	3.1.1 单片机的汇编语言.....	37
2.2.3 布尔(位)处理器.....	17	3.1.2 指令格式.....	38
2.3 存储器.....	17	3.1.3 指令中的常用符号.....	39
2.3.1 单片机存储器的分类及		3.2 寻址方式.....	39
存储空间的配置.....	17	3.2.1 寄存器寻址.....	39
2.3.2 内部数据存储器.....	18	3.2.2 立即寻址.....	40
2.3.3 外部数据存储器.....	22	3.2.3 寄存器间接寻址.....	41
2.3.4 程序存储器.....	22	3.2.4 直接寻址.....	41
2.3.5 Flash 闪速存储器的编程.....	24	3.2.5 变址寻址.....	42
2.4 并行输入/输出接口.....	25	3.2.6 相对寻址.....	42
2.4.1 I/O 接口电路概述.....	25	3.2.7 位寻址.....	43
2.4.2 P0 口.....	25	3.3 MCS-51 单片机指令系统.....	43
2.4.3 P1 口.....	26	3.3.1 数据传送类指令.....	44
2.4.4 P2 口.....	27	3.3.2 算术运算类指令.....	50

3.3.3 逻辑运算及移位类指令	56	5.2 系统总线扩展	114
3.3.4 控制转移类指令	59	5.2.1 并行总线扩展	115
3.3.5 位操作指令	67	5.2.2 串行总线扩展	116
3.4 汇编语言及汇编语言程序设计	70	5.2.3 编址技术	116
3.4.1 机器语言、汇编语言和高级语言	70	5.3 存储器的扩展	118
3.4.2 汇编程序与伪指令	71	5.3.1 存储器扩展概述	118
3.5 基本程序设计方法	75	5.3.2 程序存储器的扩展	118
3.5.1 程序的基本结构	75	5.3.3 数据存储器的扩展	120
3.5.2 顺序结构程序设计	76	5.3.4 全地址范围的存储器最大 扩展系统	122
3.5.3 分支(选择)结构程序设计	76	5.4 I/O 的扩展与应用	123
3.5.4 循环结构程序设计	78	5.4.1 用 TTL 芯片扩展 I/O 口	123
3.5.5 子程序结构程序设计	79	5.4.2 用可编程芯片扩展 I/O 口	126
本章小结	81	5.5 LED 数码显示器	133
习题	81	5.5.1 LED 的结构与显示编码方式	133
第 4 章 中断、定时/计数器与串行口	84	5.5.2 LED 数码显示器的接口方法与 显示电路	135
4.1 中断	84	5.5.3 LED 数码显示器应用举例	137
4.1.1 中断的概念	84	5.6 键盘接口	139
4.1.2 MCS-51 单片机的中断系统	85	5.6.1 键盘接口的工作原理	140
4.1.3 中断源及优先级	86	5.6.2 键盘接口电路	142
4.1.4 中断响应的条件、过程和时间	89	5.6.3 键盘扫描程序	142
4.1.5 外部中断的请求与撤除	91	5.6.4 键盘接口实例	143
4.1.6 中断程序举例	92	5.7 A/D 转换器	146
4.2 定时/计数器	93	5.7.1 A/D 转换器概述	147
4.2.1 定时/计数器的结构及工作原理	94	5.7.2 典型 A/D 转换器芯片—— ADC0809	147
4.2.2 定时/计数器的控制与实现	95	5.7.3 MCS-51 单片机与 ADC0809 接口 ..	148
4.2.3 定时/计数器的工作方式	96	5.7.4 A/D 转换器应用举例	151
4.2.4 定时/计数器的应用举例	98	5.7.5 串行 A/D 转换接口芯片 TLC1543 ..	152
4.3 串行接口	100	5.8 D/A 转换器	158
4.3.1 串行通信的基本知识	101	5.8.1 D/A 转换器的技术性能指标	158
4.3.2 MCS-51 串行接口及其控制	102	5.8.2 典型 D/A 转换器芯片—— DAC0832	159
4.3.3 串行口的工作方式	105	5.8.3 MCS-51 单片机与 DAC0832 接口	160
4.3.4 多处理机通信方式	107	5.8.4 串行 D/A 转换接口芯片 TLC5615	162
4.3.5 串行口的应用举例	108	本章小结	166
本章小结	113		
习题	113		
第 5 章 单片机系统的扩展	114		
5.1 概述	114		

习题	166	7.2.4 控制过程的软件程序实现	207
第 6 章 基于 MCS-51 的典型串行总线设计	170	7.2.5 实例小结	210
6.1 概述	170	7.3 工业应用实例——配电站综合 自动化系统遥测终端单元	211
6.2 SPI 总线	170	7.3.1 配电站综合自动化简介	211
6.2.1 SPI 总线的工作原理	171	7.3.2 综合自动化遥测单元功能需求	211
6.2.2 SPI 总线的通信时序	171	7.3.3 硬件原理设计	213
6.2.3 硬件电路设计	172	7.3.4 程序的设计与组织	219
6.2.4 软件设计	174	7.3.5 程序的优化设计	221
6.2.5 小结	175	7.3.6 各功能模块实现的程序源代码	225
6.3 RS-485 总线	175	7.3.7 实例小结	235
6.3.1 RS-485 总线的工作原理	176	7.4 网络应用典型实例——单片机 实现以太网接口	236
6.3.2 RS-485 总线的通信协议	177	7.4.1 设计分析	236
6.3.3 硬件电路设计	178	7.4.2 以太网协议	236
6.3.4 软件设计	180	7.4.3 以太网协议控制芯片	237
6.3.5 小结	187	7.4.4 硬件电路设计	238
6.4 I ² C 总线	188	7.4.5 电路原理图及说明	241
6.4.1 I ² C 总线的工作原理	188	7.4.6 软件设计	243
6.4.2 I ² C 总线的通信时序	189	7.4.7 实例小结	261
6.4.3 硬件电路设计	190	附录	262
6.4.4 软件设计	191	附录一 汇编指令集	262
6.4.5 小结	196	附录二 实验指导	267
本章小结	196	实验一 数据块搬移	267
习题	196	实验二 数制转换	268
第 7 章 应用系统设计与应用实例	197	实验三 无符号双字节快速乘法子程序	269
7.1 应用系统设计流程	197	实验四 P1 口操作实验	271
7.1.1 总体设计	198	实验五 工业顺序控制	272
7.1.2 硬件原理设计	198	实验六 数字电压表	276
7.1.3 印制电路板设计	199	实验七 数字秒表/定时器	280
7.1.4 软件设计	199	实验八 急救车与交通灯	288
7.1.5 调试、运行与维护	200	实验九 双机通信	292
7.1.6 C 语言与 WAVE 开发环境	201	附录三 共阳极显示七段码表	303
7.2 家用电器典型实例——全自动洗衣机	203	附录四 常用芯片引脚图	304
7.2.1 洗衣机的工作原理及设计需求分析	204	附录五 基于 CAN 总线的 RTU 通信协议	307
7.2.2 方案设计	204	参考文献	320
7.2.3 硬件原理图及分析	204		

第 1 章 绪 论

教学提示：单片机是在一块芯片上集成了中央处理单元(CPU)、只读存储器(ROM)、随机存储器(RAM)和各种输入/输出(I/O)接口(定时/计数器、并行 I/O 接口或串行 I/O 接口以及 A/D 转换接口等)的微型计算机。一块单片机芯片就相当于一台微型计算机。它具有集成度高、体积小、功能强、使用灵活、价格低廉、稳定可靠等优点，在家用电器、智能化仪器、通信、智能机器人、工业控制以及航空航天等领域广泛应用并发挥着十分重要的作用。

教学目标：本章主要介绍单片机的概念、发展概况、应用领域，并对常用单片机系列进行简单介绍。

1.1 概 述

在 20 世纪 60 年代末和 70 年代初，袖珍型计算器得到了普遍应用。作为研制计算器芯片的成果，1971 年 11 月，美国 Intel 公司首先推出了 4 位微处理器 Intel 4004，将 4 位并行运算的运算器和控制器的所有元件全部集成在一片 MOS 电路芯片上，这是第一片微处理器。从此以后，微处理器开始迅速发展。在微处理器的发展过程中，人们不断在高度集成的微处理器芯片中增加存储器、I/O 接口电路、定时/计数器、串行通信接口、中断控制、系统时钟及系统总线，甚至 A/D、D/A 转换器等，以提高其功能，并赋予其专门的用途，比如数据采集、信号转换和通信控制等。由此产生了各种不同功能的微处理器，称为微控制器(Microcontroller)，亦称为单片机。

单片机不是仅完成某一个逻辑功能的芯片，而是把一个计算机系统集成到一个芯片上。单片机的产生是近代计算机技术发展史上的一个重要里程碑，它的诞生标志着计算机正式形成了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支。以单片机为核心的智能化产品将计算机技术、信息处理技术和电子测量与控制技术结合在一起，把智能赋予各种机械装置，对传统的产品结构和应用方式产生了根本性的变革。单片机微小的体积和低成本使其可广泛地嵌入到玩具、家用电器、机器人、仪器仪表、汽车电子系统、工业控制单元、办公自动化设备、金融电子系统、舰船、个人信息终端及通信产品中，成为现代电子系统中最重要的智能化工具。所以，了解单片机并掌握单片机技术在电子系统设计方面的应用具有非常重要的意义。

1.1.1 单片机的产生与发展

单片机一词最初源于“Single Chip Microcomputer”，简称 SCM。在单片机诞生时，SCM 是一个准确、流行的称谓，“单片机”一词准确地表达了这一概念。随着 SCM 在技术上、体系结构上，以及控制功能上的不断扩展和完善，单片机已不能用“单片微型计算机”来准确表达其内涵了。国际上逐渐采用“MCU”(MicroController Unit)来代替之，并形成了单片机界公认的、最终统一的名词。国内因为“单片机”一词已约定俗成，故而继续沿用至今。

单片机的发展大体可分为 4 位机、8 位机、16 位机和 32 位机。1980 年 Intel 公司推出其高性能的 8 位单片机 8051，并且公布其内核技术后，引来许多世界著名的 IC 生产厂商纷纷加入单片机的研究队列并推出自己的单片机产品，如 AMD 公司、Atmel 公司、Winbond 公司、Philips 公司、Motorola 公司、Zilog 公司、LG 公司、NEC 公司、西门子公司等。广泛的应用领域和巨大的市场空间使兼容系列的单片机已达数百种之多。虽然品种如此之多，但是这些产品都是和 8051 相兼容的。也就是说，MCS-51 内核实际上已经成为一个 8 位单片机的标准。因此下面以 Intel 公司的 8 位机为例来介绍单片机的发展状况。

1. 第一阶段(1976—1978)

第一阶段是单片机发展的初期阶段。该阶段的任务是探索计算机的单芯片集成。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表，其 CPU、存储器、定时/计数器、中断系统、I/O 端口、时钟以及指令系统都是按嵌入式系统要求专门设计的。除了 Intel 公司的 MCS-48 外，同时参与这一探索工作的公司还有 Motorola、Zilog 等，他们的研究都取得了令人满意的成果。

2. 第二阶段(1978—1982)

第二阶段是单片机的完善阶段。计算机的单芯片集成探索取得成功，随后的任务就是要完善单片机的体系结构。这一阶段的典型代表是 Intel 公司的 MCS-51。MCS-51 是 Intel 公司在 MCS-48 的基础上推出的完善的、典型的单片机系列，奠定了单片机的基本体系结构。MCS-51 的特点主要体现在以下几个方面：

- (1) 具有完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构，包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。
- (2) CPU 外围功能单元采用集中管理模式。
- (3) 设置面向工控的位地址空间和位操作方式。
- (4) 指令系统趋于丰富和完善，并且增加了许多突出控制功能的指令。

3. 第三阶段(1982—1990)

第三阶段是微控制器的形成阶段。在该阶段，8 位单片机得到巩固与发展，16 位单片机逐渐推出。这一阶段是单片机向微控制器发展的重要阶段，单片机的主要技术发展是增强满足测控对象要求的外围电路，如 A/D 转换、D/A 转换、高速 I/O 口、WDT(WatchDog Timer, 程序监视定时器)、DMA(高速数据传输)等，强化了智能控制的特征。在此阶段，Intel 公司推出了 MCS-96 系列单片机，将一些用于测控系统的模/数转换器(ADC)、程序运行监视器、脉宽调制器(Pulse Width Modulator, PWM)等纳入片中，体现了单片机的微控制器特征。随着 MCS-51 系列的广泛应用，许多电气厂商竞相使用 80C51 作为内核，将许多测控

系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件以及可靠性技术等应用到单片机中, 增强了外围电路功能, 强化了智能控制的特征。

4. 第四阶段(1990 至今)

第四阶段是微控制器的全面发展阶段, 其显著特点是百家争鸣、百花齐放、技术创新。单片机正在满足各个方面的需求, 随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用, 出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机, 以及一些小型、廉价的专用型单片机。

1.1.2 单片机的发展趋势

近十年来, 单片机的发展出现了许多新的特点, 单片机正朝多功能、多选择、高速度、低功耗、低价格、扩大存储容量和加强 I/O 功能及结构兼容等方向发展。单片机的主要发展趋势如下所述。

1. 多功能

在单片机中尽可能多地把应用系统中所需要的存储器、各种功能的 I/O 口都集成在一块芯片内, 即外围器件内装化, 如把 LED、LCD 或 VFD 显示驱动器集成在 8 位单片机中, 把 ADC、DAC 乃至多路模拟开关和采样/保持器也集成在单片机芯片中, 从而成为名副其实的单片微机。

2. 高性能

为了提高速度和执行效率, 在单片机中开始使用 RISC 体系结构、并行流水线操作和 DSP 等, 使单片机的指令运行速度得到大大提高, 其电磁兼容等性能明显优于同类型的微处理器。

3. 低电压和低功耗

单片机的应用场合多为便携式设备、嵌入式设备等小型系统, 要求体积尽可能小, 且具有低电压工作性能和极小的功耗, 因此目前单片机制造普遍采用具有高速度、高密度等特点的 CHMOS 工艺(互补金属氧化物的 HMOS 工艺)。CHMOS 工艺除具有 HMOS 的优点外, 还具有 CMOS 工艺低功耗的特点。例如, 采用 HMOS 工艺的 8051 的功耗为 630mW(相对较高的功耗使得该产品已被市场淘汰), 而 Philips 公司的 80C51、Atmel 公司的 AT89C51/S51 采用 CHMOS 工艺, 其功耗仅为 120mW。

4. 串行扩展总线

串行扩展总线可以显著减少引脚数量, 简化系统结构。随着外围器件串行接口的发展, 单片机串行接口的普遍化、高速化使得并行扩展接口技术日渐衰退。目前推出了删去并行总线的非总线单片微机, 需要外扩器件(存储器、I/O 等)时, 仅采用串行扩展总线, 甚至使用软件虚拟串行总线。

由于集成度的进一步提高, 单片机的寻址能力已突破 64KB 的限制, 某些 8 位、16 位单片机其寻址能力已达到 1MB 和 16MB, 片内 ROM 的容量可达 64KB, RAM 的容量可达 2KB。

综上所述, 51 系列单片机及其兼容机具有发展历史长、产品成熟、功能性较强、市场

供应量充足、价格低廉等特点。虽然市场上目前已经推出了 32 位单片机，但 8 位机由于其具有结构简单、价格低廉，一直占有重要的市场份额，随着近年来功能更强的新产品不断推出，这种情况还将继续下去。另外，8 位机的参考资料丰富，且目前的编译系统支持 C 语言作为系统的开发语言，便于初学者掌握，这也是“单片机原理与应用”这门课程一直选用 MCS-51 单片机作为教学内容的主要原因。

1.1.3 单片机的应用

单片机体积小，成本低，运用灵活，易于产品化，可以方便地组成各种智能化的控制设备和仪表等，从而广泛地应用于民用家电、智能仪表、工业控制、航空航天、医用设备、计算机网络和通信等领域。但是单片机的应用意义远不限于它的应用范畴以及由此带来的经济效益，更重要的是它从根本上改变了传统的电子设计方法和控制策略，使先前无法实现的理论技术得以实现并转化为现实的生产力，推动了社会进步，改善了人类生活，是技术发展史的一次革命，也是科技发展史上的一座里程碑。

单片机的应用非常广泛，下面列举一些典型的应用领域。

1. 家用电器

观察我们的家庭生活，可以说现在的家用电器基本上都采用了单片机控制，例如洗衣机、微波炉、电冰箱、空调、电视机、音响设备、电子秤、跑步机、电子收款台和银行 POS 机等。

2. 智能仪表

单片机可用于数字示波器，它可以存储数据并通过 USB 接口和计算机进行连接，直接将数据传输至计算机。此外，单片机还可用于各种液体、气体分析仪器仪表以及医疗器械(例如心电监护仪、自动血压仪等)产品。

3. 工业控制

在工业控制领域，单片机广泛应用于工业机器人，电机电气控制，数控机床，可编程序控制器，温度、压力、流量和位移等智能型传感器，以及相应的过程控制。

4. 航空航天

单片机在航空航天领域的应用有航天导航系统、智能武器装置、导弹控制和雷达导航装置等。

5. 计算机网络和通信

目前，所有单片机的处理速度都在不断提高，例如 32 位单片机的时钟速率可以达到 300 MHz，其性能直追 20 世纪 90 年代中期的专用处理器。所有的单片机都具有通信接口，可以方便地与计算机进行数据通信，为计算机和网络中的通信设备之间的数据交换提供了基础，为实现智能通信终端设备提供了保证。从小型程控交换机、楼宇通信对讲系统、列车无线通信到日常工作中随处可见的手机、电话、无线对讲电话等，都是采用单片机来实现和控制的。

此外，单片机在工商、金融、科研、教育等行业也有着十分广泛的用途。

1.2 单片机系列介绍

Intel 公司推出 MCS-48 系列单片机(8 位), 形成真正意义上的单片微机(它包括计算机的三个基本单元), 为单片机的发展奠定了坚实的基础, 多年来已经形成了以它为代表的多制造厂商、多系列、多型号“百家争鸣”的格局。

1.2.1 单片机的主要生产制造商及其特点

MCS-51 是由美国 Intel 公司生产的系列单片机的总称, 这一系列单片机虽然包括了很多品种, 但其中的 8051 是最早、最典型的产品, 而该系列其他类别的单片机都是在 8051 的基础上进行功能的增、减改变而来的, 故人们习惯用 8051 来称呼 MCS-51 系列单片机。

在 Intel 公司开放了 8051 单片机的技术之后, 世界上许多半导体厂商加入了开发和改造 8051 单片机的行列中, 这些著名的半导体公司在兼容 MCS-51 系列功能的基础上相继研制和发展了自己的单片机, 并增添了各自特有的功能, 为单片机的发展作出了不可磨灭的贡献。其中, 贡献最大的有 Philips、Atmel 等几家公司, 下面分别对其作简要介绍。

1. Philips 公司

Philips 公司致力发展单片机的控制功能和外围单元, 其 80C51 系列作为高性能兼容性单片机是最具有代表性的, 该系列品种齐全, 采用 CHMOS 工艺制造技术, 具有高密度、高速度、低功耗等特点。例如, 其典型产品 80C52 与 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机完全兼容, 同时又增加了 1 个定时/计数器和 WDT, 增加了 I²C 串行接口, 带有 A/D 转换器及 2 路 PWM 等。

2. Atmel 公司

Atmel 公司在单片机内部植入了 Flash ROM, 使得单片机应用变得更加灵活, 在中国拥有大量的用户。其单片机分为 AT89、AT90、AT91 和智能 IC 卡四个系列。其中, AT89 系列与 Intel 的 MCS-51 系列兼容, 是 8 位机, 有 AT89C51/52、AT89LV51/52、AT89S51/52(带 ISP 功能)等产品。另外, 该公司的 AT90 系列是增强型 RISC(精简指令集)内载 Flash 的 8 位单片机, 通称为 AVR 单片机。AVR 具有各种增加了不同外围设备的机型, 与 MCS-51 不兼容, 属于高性能的单片机。

3. ADI 公司

ADI 公司推出的 ADIC8xx 系列单片机在单片机向 SOC 发展的模/数混合集成电路中扮演了很重要的角色。

4. Cygnal 公司

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。

各单片机生产厂商的主流产品尽管各具特色, 名称各异, 但其原理大同小异, 同样的一段程序, 在各厂家的硬件上运行的结果均是相同的。

1.2.2 单片机的四个主要系列

1. MCS-48 系列单片机

MCS-48 是 Intel 公司于 1976 年推出的第一代 8 位单片机系列产品。它大致分为四种类型,分别为基本型、强化型、简化型和专用型。

(1) 基本型:片内集成有 8 位 CPU, $1\text{K} \times 8$ 位的程序存储器(ROM), 64×8 位的数据存储器(RAM), 27 条 I/O 接口线, 1 个 8 位的定时/计数器, 2 个中断源。基本型中的三种产品 8048/8748/8035 的差异仅在于片内程序存储器的区别:8048 内有 1 KB 的 ROM; 8748 内有 1 KB 的 EPROM; 8035 内无程序存储器,开发产品必须外部扩展 EPROM。

(2) 强化型:它的基本结构与基本型完全相同,指令系统也是相同的。它与基本型的主要区别在于片内的程序存储器和数据存储器都不同程度地增大,处理速度加快。

(3) 简化型:它的指令只是基本型的一个子集,速度较慢,但是片内集成了 2 个通道的 8 位 A/D 转换器。

(4) 专用型:通常用于外设接口芯片,内部结构和指令与基本型完全一致,只是对外应答方式上有差异,通信中只能处于从机地位。

由于 MCS-48 单片机在市场上已经很少应用,在此不再赘述。

2. MCS-51 系列单片机

MCS-51 是指 Intel 公司于 1980 年推出的新一代 8 位单片机系列产品(8051)。从严格意义上讲,其他所有具有 8051 指令系统的单片机都不应直接称为 MCS-51 系列单片机, MCS 只是 Intel 公司专用的单片机系列符号。但是为了叙述方便,本书将不进行严格区分。

MCS-51 系列单片机及其兼容产品通常分成以下几类:

(1) 基本型:典型产品有 8031/8051/8751。基本型采用 HMOS 工艺,片内集成有 8 位 CPU,片内集成了 $4\text{K} \times 8$ 位的 ROM(8031 片内无), 128 B 的数据存储器(RAM)以及 21 个特殊功能寄存器, 32 条 I/O 接口线, 1 个全双工的串行 I/O 口(UART), 2 个 16 位的定时/计数器, 5 个中断源和 2 级中断。数据存储器 and 程序存储器的寻址能力为 64 KB, 指令系统除加、减、乘、除运算外,还提供了查表和位操作指令,主时钟频率为 12 MHz,运算速度增强。

(2) 增强型:典型产品有 8032/8052/8752。与基本型的差异在于内部 RAM 增到 256 B, 8052、8752 的内部程序存储器扩展到 8 KB, 16 位定时/计数器增至 3 个。

(3) 低功耗型:典型产品有 80C31/87C51/80C51。其基本结构和功能与基本型相同。由于采用 CMOS 工艺,因此适于电池供电或其他要求低功耗的场合。

(4) 专用型:典型产品有 8044/8744。在基本型的基础上用一个 HDLC/SDLC 通信控制器取代了基本型的 UART,适用于总线分布式多机测控系统。

(5) 超 8 位型:典型产品有 Philips 公司的 80C552/87C552/83C552 系列单片机。其基本结构和功能与 MCS-51 系列完全相同,但又将 MCS-96 系列(16 位单片机)I/O 部件如高速输入/输出(HSI/HSO)、A/D 转换器、脉冲宽度调制(PWM)、看门狗定时器(WDT)等移植进来构成新一代 MCS-51 产品。这类产品的功能介于 MCS-51 和 MCS-96 之间,目前已得到了较广泛的使用。

(6) 片内闪速存储器型:典型产品有 Atmel 公司的 AT89C52 单片机。其内部含有 Flash 存储器,使得存储和程序改写更加方便,从而受到了应用设计者的欢迎。

MCS-51 系列以及 80C51 系列单片机有多种类型,但掌握好 MCS-51 的基本型是十分必要的。它们是具有 MCS-51 内核的各种型号单片机的基础,也是各种增强型、扩展型等衍生品种的核心。

3. MCS-96 系列单片机

1983 年 Intel 公司推出了 MCS-96 系列单片机。它的问世标志着单片机系列产品又进入了新的阶段。与以往的 MCS-51 相比, MCS-96 不但字长增加了一倍,而且具有 4 路或 8 路的 10 位 A/D、PWM 输出等功能。其典型产品为 8098,是一种准 16 位的单片机。

与 8 位单片机相比, MCS-96 主要有如下特点:

(1) 集成度高。其内部除了常规 I/O 接口、定时/计数器、全双工的串行口外,还有高速 I/O 部件(如高速输入口(HSI)、高速输出口(HSO))、多路 A/D 转换器、PWM 输出口以及看门狗定时器等。

(2) 处理速度快。MCS-96 指令系统比 MCS-51 更加丰富,寻址方式更加灵活,还具有带符号运算等功能,使得运算速度大大提高。MCS-96 可以灵活地选择对字或字节操作,还可以进行带或不带符号的乘除运算。

4. MCS-196 系列单片机

MCS-196 系列单片机是 Intel 公司继 8X9X 之后推出的 16 位嵌入式微控制器。MCS-196 除了保留 8X9X 的全部功能外,在功能部件和指令支持上又有很大改进,性能上也有了显著提高,适用于更复杂的实时控制场合。MCS-196 单片机有多种型号,不同型号配置有不同的功能部件,且具有不同的存储器空间和寻址能力,可满足不同场合的要求。该系列单片机产品有 80196KB、80196KC、80196MD 等,它们的功能比 8098 更加强大,但由于性价比不理想,因此并未得到很广泛的应用。

MCS-196 系列单片机与 96 系列单片机相比较具有下列特点:

(1) 有 1 个基于寄存器到寄存器结构的内核。这种结构消除了累加器的瓶颈现象,加快了数据传输的速度。

(2) 多种功能部件。这些功能部件除包括在 8X9X 中就有的 I/O 口、10 位 A/D 转换器、PWM、全双工串行 I/O 口、中断源、看门狗定时器、16 位定时/计数器、HSI/HSO(高速输入/输出口)等以外,还包括在 MCS-196 中出现的 PTS(外围事务服务器)、EPA(事件处理器阵列)、WG(波形发生器)等。与其他系列(如 MCS-51 系列、PIC 系列等)单片机相比,HSI/HSO、PTS、EPA、WG 是 MCS-196 最具特色之处。

(3) 具有可编程的等待状态发生器。MCS-196 单片机总线控制器还具有可编程的等待状态发生器,可方便地与慢速外设接口。在运行中可动态选择 8 位或者 16 位的总线宽度,并能通过 HOLD/HLDA 协议方便地实现多处理器通信。

目前, MCS-196 系列主要有以下 3 种。

(1) HSI/HSO 系列。本系列主要芯片有 8XC196KB、8XC196KC、8XC196KD,产品分类如表 1.1 所示。

8XC196KB 是 MCS-196 系列的第 1 个成员,片内含 8 KB 程序空间,232 B 的寄存器 RAM,4 个高速输入口 HSI,6 个高速输出口 HSO,2 个 16 位的定时/计数器,这两个定时/计数器均可用作时基发生器。另外,片内资源还有 1 路 PWM,1 个全双工串行通信口,1 个看门狗定时器,1 个 8 通道 10 位 A/D 转换器,48 条输入/输出口(与部件复用)。

表 1.1 HSI/HSO 系列一览表

特征 型号	ROM/KB	RAM/B	HSI/HSO	WDT	PWM	A/D 通道	UART	I/O	PTS
8XC196KB	8	232	4/6	1	1	8	1	48	无
8XC196KC	16	488	4/6	1	3	8/10	1	48	有
8XC196KD	32	1000	4/6	1	3	8/10	1	48	有

8XC196KC 的性能比 8XC196KB 有进一步增强。它的片内有 16 KB 的程序空间, 488 B 的寄存器 RAM, 最高工作频率可达 20 MHz。除了具有 8XC196KB 的全部特点外, 8XC196KC 还具有如下特点: 有 3 路 PWM 发生器, A/D 转换器具有 8 位和 10 位两种方式, 可对采样率和转换时间编程。此外, 8XC196KC 在片内还加入外围事务服务器 PTS, 可大大减轻 CPU 在中断处理上的负担。

8XC196KD 除具有 8XC196KC 所具有的全部特点以外, 它的片内还具有 32 KB 的程序空间, 1000 B 的寄存器 RAM。由于片内存储空间增大, 因此更适合于使用高级语言编程。表 1.1 列出了 Intel MCS-196 HSI/HSO 系列不同型号产品的功能和特点。

(2) EPA 系列。EPA 系列芯片主要包括 8XC196KR、8XC196KT、8XC196NT、8XC196NP、8XL196NP、80C196NU、80C196EA、87C196CA、87C196CB 等, 产品分类如表 1.2 所示。

表 1.2 EPA 系列一览表

特征 型号	最高 频率 /MHz	程序 空间 /KB	寄存器 RAM/B	内部 RAM /B	I/O 引脚	I/O 类型	A/D 通道	寻址 空间/B	定时/ 计数器	串行口	封装 形式	温度
8XC196KR	16	16	488	256	56	10EPA	8	64K	2	2	N-68	未查实
8XC196KT	16	32	1000	512	56	10EPA	8	64K	2	2	N-68	未查实
8XC196NP	25	4	1000	无	32	4EPA	0	1M	2	1	S-100, SB-100	C
8XL196NP	13	4	1000	无	32	4EPA	0	1M	2	1	S-100, SB-100	C
8XC196NT	20	32	1000	512	56	10EPA	4	1M	2	2	N-68	C, E
80C196NU	40/50	0	1000	无	33, 32	4EPA	0	1M	2	2	S-100, SB-100	C
80C196EA	40	0	1K	4K	83	17EPA	3	2M	4	3	S-160	C
87C196CA	16	32	1000	256	44	6EPA	6	64K	2	2	N-68	E
87C196CB	16	56	1.5K	512	56	10EPA	8	1M	2	2	N-84	E

8XC196KR 是 MCS-196 系列中集成度较高、较复杂的一员。8XC196KR 有 16 KB 的程序空间, 488 B 寄存器 RAM, 256 B 的内部 RAM。内部 RAM 既用来存储程序, 也可用来存储数据。它使用 EPA 部件对事件进行监测与控制。当工作于 16 MHz 时, EPA 有 250 ns 的分辨能力, 包括 10 个捕捉/比较模块和 2 个仅用于比较的模块。EPA 在使用时非常灵活, 可用来产生 PWM 输出。

8XC196KR 片内还有 1 个从机口, 便于与其他系统总线相连。这种特性可将 8XC196KR

本身作为一个灵活的、可编程的外设与 PC 总线相连。在 8XC196KR 中有 2 个串行口：一个是标准的串行口 SIO，另一个是同步串行口 SSIO，可进行全双工同步通信。2 个串行口的波特率可独立编程。片内的 A/D 转换器继承于 8XC196KC，又增加了可编程的阈值检测和偏差校正功能。

8XC196KT 是 8XC196KR 的增强型，其程序空间为 32 KB，有 1000 B 的寄存器 RAM 和 512 B 的片内 RAM。它的总线控制器在支持存取低速存储器时具有新的工作模式。

8XC196NP 提供了可动态选择的多路复用总线。其他特点为：片内有片选单元，1 MB 的寻址能力，3 路 PWM 输出，5 V 供电时最高工作频率可达 25 MHz。

8XL196NP 类似于 8XC196NP，但可工作于低功耗工作方式(3 V 时，13 MHz)。

8XC196NT 和 8XC196KT 类似，但它有 1 MB 外部寻址能力。A/D 的 4 路输入可由扩展地址口(the Extended address PORT, EPORT)代替。4 个 EPORT 口既可作为标准口，也能作为高 4 位地址线(A16~A19)。8XC196NT 的工作频率可达 20 MHz。

80C196NU 可工作于 50 MHz(5 V 时)，使得它的性能比 NP 系列增强了 1 倍。片内运算器采用 32 位，使乘除指令执行更快。NU 系列的引脚和 NP 系列是兼容的，可方便地对 NP 系列进行升级。其他特点为：1 MB 寻址能力，3 路 PWM 输出，片内选择单元等。

80C196EA 是 MCS-196 系列中第 1 片用于电力机车控制的芯片。与其他型号相比，其性能有显著提高，包括：40 MHz 的工作频率，2 MB 的寻址能力，4 KB 的片内 RAM，3 条片选线的片内片选单元，每条片选线可动态分时实现地址/数据复用，每条片选线的等待状态可编程，17 个高速捕捉/比较模块，8 个高速比较输出模块，4 个灵活的 16 位定时/计数器，8 路 PWM 输出，2 个全双工串行口，1 个全双工同步串行口，堆栈溢出自动检查，16 通道自动巡回 A/D 转换，串行调试接口等。

在 87C196CA 和 87C196CB 中集成了符合 CAN2.0 规范的 CAN 总线控制器 82527，使它们更适合于需要实时事件控制的场合。例如，可应用于防抱死刹车系统、四缸发动机控制系统中。

(3) Motor Control 系列。Motor Control 系列芯片主要包括 8XC196MC、8XC196MD、8XC196MH。表 1.3 列出了 Motor Control 系列不同型号产品的功能和特点，此处不再赘述。

表 1.3 Motor Control 系列一览表

型号	特征	最高频率 /MHz	程序空间 /KB	寄存器 RAM/B	内部 RAM /B	I/O 引脚	I/O 类型	A/D 通道	寻址空间/B	定时/计数器	串行口	封装形式	温度
8XC196MC		16	16	488	无	53	8EPA	13	64	2	1	N-84, S-80, U-64	E
8XC196MD		20	16	488	无	64	12EPA	14	64	2	1	N-84, S-80	E
8XC196MH		16	32	744	无	52	6EPA	8	64	2	1	N-84, S-80, U-64	E

注：① 封装形式 N：PLCCS、QFPSP、SQFPU、窄 DIP；② 温度 C 表示 0~70℃，E 表示 -40℃~85℃；③ 以上含义表 1.2 和表 1.3 同。

