

HZ BOOKS
华章教育

21世纪高等院校电子信息类本科规划教材

单片微机原理 及应用

周伟 刘易 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

21世纪高等院校电子信息类

单片机原理 及应用

周伟 刘易 周建斌 任家富 丁卫撑 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用 / 周伟等编著. —北京: 机械工业出版社, 2014.4
(21 世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-46020-6

I. 单… II. 周… 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 (2014) 第 037906 号

本书详尽地介绍了 MCS-51 系列 8 位单片机的硬件结构、指令系统、汇编语言程序设计、C51 程序设计、系统功能扩展、单片机系统设计方法及应用实例, 最后介绍了国内几款高性能的单片机。本书共分 10 章, 内容由浅入深, 叙述循序渐进。同时书中各章节均配备了习题, 以巩固学生所学的知识。

本书可用作高等院校电子信息类专业《单片机原理及应用》课程的教材, 也可供从事单片机开发应用的技术人员阅读、参考。



出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版次: 2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 16.25

书号: ISBN 978-7-111-46020-6

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

教学建议

1. 教学目的

通过本课程的学习,使学生了解单片机的基本结构、主要特性与工作原理,掌握 MCS-51 单片机的指令系统、编程技术、内部资源 (ROM、RAM、定时器/计数器、中断、SIO、PIO)、接口扩展等知识,并初步掌握小型应用系统设计的综合技能。为本专业的学生从事电子技术、自动化工程、测控技术、电子信息工程、通信工程技术应用、开发、研究、设计等工作奠定基础。

2. 教学安排与基本要求

教学内容	学习重点	教学要求	课时
第 1 章 单片机基础	MCS-51 单片机基本特征; MCS-51 单片机 I/O 口结构与功能; 单片机存储器的配置与特殊功能寄存器	了解单片机的称谓、应用领域与内部结构; 单片机与计算机之异同; 掌握 MCS-51 单片机基本特征与重要引脚 (RST、EA、ALE、XTAL1、XTAL2) 的功能与用法; P0、P1、P2、P3 等 I/O 口的异同; 重要的存储器概念: 程序存储器 (ROM)、数据存储器 (RAM)、工作寄存器区、位寻址区、堆栈、特殊功能寄存器 (SFR) 等	4 学时
第 2 章 MCS-51 系列 单片机指令系统	指令格式与语法规则; MCS-51 指令集; 伪指令	了解 MCS-51 指令的格式与寻址方式; 初步掌握汇编语言的语法规则和常用伪指令	4 学时
第 3 章 汇编语言程序设计	汇编语言程序设计; 顺序、分支、循环三种基本结构的程序	进一步掌握汇编语言的语法规则和常用伪指令; 掌握用数据传送类指令编写结构简单的程序	2 学时
第 4 章 输入/输出、中断、 定时器/计数器 与串行通信	中断系统工作原理; 中断源、中断矢量、中断标志、中断优先级、中断允许/禁止、中断响应、中断服务等概念; 定时器/计数器工作原理与方式; 串行通信工作方式; 中断、定时与串行通信应用举例	明确该章的各个基本概念; 了解并初步掌握对中断、定时与串行通信的编程应用	8 学时
第 5 章 单片机系统扩展	接口定义与功能; I/O 编址、译码、寻址方式; ROM、RAM 与简单 I/O 扩展	掌握各种接口扩展的工作原理; 掌握各种接口扩展设计方法	4~6 学时
第 6 章 接口芯片与 接口技术	LED 数码管动态/静态显示扩展、行扫描法矩阵式键盘扩展、DAC0832 扩展、ADC0809 扩展、I ² C 总线芯片 24C02 存储器扩展等应用实例详细讲解又是重点中的重点	掌握各种接口扩展的工作原理; 掌握各种接口扩展设计方法。对于上述教学难点所对应的实例分析与讲解能正确理解, 在理解的基础上能模仿编程和初步移植应用。通过实验课教学应当能加深知识的消化理解与应用, 并能将部分实验中的汇编语言程序模块移植成 C51 的程序	10~12 学时

(续)

教学内容	学习重点	教学要求	课时
第7章 单片机应用系统设计 与开发	单片机应用系统的设计思想与设计原则；三至五个综合性应用实例的硬件、软件介绍与分析(选择的实例应当在规模大小与技术难易程度上适当,并尽量多地涉及所学单片机的资源与扩展技术);系统抗干扰设计;当前各种有代表性的单片机简介	掌握单片机应用系统的设计思想与设计原则;理解讲解的设计实例;了解当今单片机发展的动态	2~4学时
第8章 Keil C51 程序设计	C51 语言基本语法和基本语句;函数、数组、指针;混合编程方法; μ Vision 集成开发环境的使用	掌握 C51 语言基本语法;初步具备 C51 语言程序设计的能力;灵活运用 μ Vision 集成开发环境的使用	4~6学时
第9章 几种典型的单片机	4种典型单片机的基本特征、片内资源、应用注意事项	了解单片机技术的发展趋势;掌握4种典型单片机基本特征、片内资源;具备一定应用能力	1~2学时
第10章 实时操作系统的 原理及应用	RTOS 系统基本特征、原理及应用; μ C/OS- II 系统原理及移植	了解 RTOS 系统的特征及原理,掌握任务的创建、切换、中断等 RTOS 应用技术;了解 μ C/OS- II 系统的基本原理,掌握 μ C/OS- II 系统的任务管理、时钟控制、移植方法	2~4学时

3. 说明

本书总学时为64学时,其中,理论授课40学时、实验教学24学时,并配以3周的课程设计。但是对于不同的专业和课程设置,教师可根据实际情况对内容进行适当的调整,以利于学生学习理解。

前 言

单片微机的全称是单片微型计算机，简称单片机，也称为微控制器（MCU）。

随着电子技术的飞速发展和社会需求的不断增长，单片机在更加广泛的领域内得到了应用，并且有着稳定增长的市场。而且可以看到，Flash 技术、在线可编程、高速度、低功耗、低价格、大规模集成是单片机的发展方向。目前，在众多单片机生产厂家推出的产品系列中已经出现了 16 位和 32 位的高端单片机，但是 8 位单片机仍然是嵌入式应用领域的主流机型。

Atmel 公司是全球著名的半导体公司之一。20 世纪 90 年代初，Atmel 率先将 MCS-51 内核与 Flash 技术相结合，推出了片内带有程序存储器的 AT89 系列单片机，成为单片机发展历程中重要的里程碑之一。21 世纪初，Atmel 又推出了具备在系统编程（In-System Programmable, ISP）功能的 AT89S 系列单片机。目前，Atmel 推出的单片机产品系列中既包括基于 MCS-51 内核的单片机，也包括全新配置的精简指令集（RISC）单片机，简称 AVR 系列单片机（Advanced RISC）。鉴于此，本书以 Atmel 公司的 AT89 系列 8 位单片机作为教学对象，既方便了课堂教学，也注重了实际应用。

随着仪器智能化程度的提高和单片机技术自身的进步，可以看到，单片机技术必将在更广泛的领域内得到应用。掌握单片机系统设计的软硬件技术对于从事电子系统设计和仪器仪表研发等工作的专业技术人员是必不可少的。本书以 MCS-51 系列 8 位单片机为架构，详细介绍了单片机的硬件结构、指令系统、汇编语言程序设计、C51 程序设计以及二者混合编程、系统功能扩展、单片机系统设计方法及应用实例，最后介绍了国内几款高性能的单片机。

本书具有以下特点：

1) 针对嵌入式应用领域的主流机型，以 MCS-51 系列的 8 位单片机作为内容介绍的基础。它是初学者新接触单片机的基础以及后续学习其他类型单片机的铺垫，也是众多单片机应用领域的首选机型。

2) 按照“硬件结构→软件系统→接口设计”纲领，内容由浅入深，叙述循序渐进。在“硬件结构”上，着墨较多，明确单片机硬件框架重要性，是后续内容的骨架；在“软件系统”上，虽然介绍了汇编语言程序，但做到“点到为止”，授课中以 C51 语言程序为主；在“接口设计”上，既介绍传统接口扩展的设计，也选取新器件、新技术和新成果等知识，例如，介绍电压 DAC 器件的应用和 Cortex M3 系列单片机知识。

3) 各章节均附有讲授重点和习题，适宜自学和教学。

本书共分 10 章。第 1 章介绍 MCS-51 系列单片机的硬件结构。第 2 章介绍 MCS-51 系列单片机的寻址方式、指令系统和伪指令。第 3 章讲述汇编语言程序设计。第 4 章介绍单片机内部功能部件的应用知识。第 5 章介绍单片机系统的 I/O 扩展和存储器扩展。第 6 章介绍显示器接口、键盘接口、D/A 和 A/D 转换接口等硬件电路和软件设计。第 7 章讲述单片机应用系统设计与开发。第 8 章介绍单片机 C 语言基础和 C51 语言与汇编语言混合编程的方法。第 9 章介绍几种典型的单片机。第 10 章介绍 SMALL RTOS51 原理及应用。

本书第 1 章、第 2 章、7.1~7.3 节和 9.2 节由周伟编写；第 3 章、7.4 节和第 10 章由任家

富编写；第4章、第5章、9.4节由刘易编写；第8章由周建斌编写；第6章由周伟和丁卫撑共同完成；9.1节和9.3节由丁卫撑编写。全书由周伟、刘易统稿。

本书第1版于2007年7月出版。七年来，经过教学和科研上的实践检验，同时也在四川省“单片微机原理及应用”精品课程建设中，本书新版得以完善和提高。继承第1版在基础知识上阐述详细和易学易懂的优势，针对近年来单片机应用的新技术、新器件和新成果，本书新版重点对接口技术扩展内容进行了调整，增加了电压输出型D/A转换器和积分A/D转换器的应用等内容，删除了并口扩展芯片8255A和键盘接口芯片8279等内容。同时，本书新版也对第1版中的文字编排错误一并进行了修订。因成书时间仓促，加之水平有限，错误之处在所难免，诚请广大读者指正，以便再版时予以修订。

最后，本书编写过程中得到了成都理工大学核技术与自动化工程学院的领导和老师，以及机械工业出版社王颖和谢晓芳的支持与帮助，在此表示衷心感谢！

目 录

教学建议

前言

第 1 章 单片机基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 单片机的产生和发展	1
1.1.2 单片机的应用	2
1.2 MCS-51 单片机基本结构	3
1.2.1 MCS-51 单片机系列	3
1.2.2 MCS-51 系列单片机内部结构	3
1.2.3 MCS-51 系列单片机外部引脚	5
1.3 中央处理器 CPU	6
1.3.1 运算部件	6
1.3.2 控制部件	7
1.3.3 CPU 时序	8
1.3.4 CPU 复位	10
1.3.5 布尔处理器	11
1.4 MCS-51 单片机存储器结构	11
1.4.1 MCS-51 单片机存储器分类及配置	11
1.4.2 程序存储器	11
1.4.3 内部数据存储器	12
1.4.4 外部数据存储器	15
1.5 MCS-51 单片机输入/输出端口	15
1.5.1 P0 口	16
1.5.2 P1 口	17
1.5.3 P2 口	18
1.5.4 P3 口	18
习题	19
第 2 章 MCS-51 系列单片机指令系统	20
2.1 MCS-51 单片机汇编语言与指令格式	20
2.1.1 单片机的汇编语言	20
2.1.2 指令格式	20
2.1.3 指令中的常用符号	21

2.2 寻址方式	21
2.2.1 立即寻址	21
2.2.2 直接寻址	22
2.2.3 寄存器寻址	22
2.2.4 寄存器间接寻址	22
2.2.5 变址寻址	23
2.2.6 相对寻址	23
2.2.7 位寻址	23
2.3 MCS-51 单片机指令系统	24
2.3.1 数据传送类指令	24
2.3.2 算术运算类指令	29
2.3.3 逻辑运算及循环移位类指令	32
2.3.4 控制转移类指令	34
2.3.5 位操作类指令	38
2.4 伪指令	40
习题	41
第 3 章 汇编语言程序设计	44
3.1 概述	44
3.1.1 机器语言	44
3.1.2 汇编语言	44
3.1.3 高级语言	45
3.2 汇编程序基本结构	45
3.2.1 顺序结构程序设计	45
3.2.2 分支(选择)结构程序设计	47
3.2.3 循环结构程序设计	49
3.3 子程序结构程序设计	50
3.3.1 子程序及其调用	50
3.3.2 代码转换程序设计	51
3.3.3 运算程序设计	52
3.3.4 查表子程序设计	55
3.3.5 散转(多分支)程序设计	58
习题	59
第 4 章 输入/输出、中断、定时器/计数器与串行通信	61
4.1 I/O 概述	61
4.1.1 I/O 接口电路的作用	61

4.1.2 接口与端口	61	6.2.4 液晶显示器及显示器接口	104
4.1.3 I/O 端口的编址方式	62	6.3 键盘接口	110
4.2 输入/输出传送方式	62	6.3.1 键盘的分类及实现	110
4.2.1 无条件传送方式	62	6.3.2 键盘接口电路的工作原理	110
4.2.2 查询传送方式	63	6.3.3 键盘扫描程序	113
4.2.3 中断传送方式	63	6.3.4 键盘接口的抗干扰	117
4.3 MCS-51 单片机的中断系统	63	6.4 D/A 转换器接口	119
4.3.1 中断的基本知识	63	6.4.1 D/A 转换器工作原理	119
4.3.2 MCS-51 单片机的中断系统	67	6.4.2 D/A 转换器的性能指标	120
4.3.3 中断程序举例	67	6.4.3 DAC0832 基本特征	121
4.4 MCS-51 单片机的定时器/计数器	68	6.4.4 DAC0832 与 MCS-51 单片机 接口实现	122
4.4.1 MCS-51 定时器/计数器的功能	68	6.4.5 DAC0832 应用举例	124
4.4.2 定时器/计数器的结构及工作 原理	69	6.4.6 电压输出型 D/A 转换器 应用——TLC5620	126
4.4.3 定时器/计数器的工作方式和 控制寄存器	69	6.5 A/D 转换器接口	127
4.4.4 定时器/计数器的工作方式	69	6.5.1 A/D 转换器分类及工作原理	127
4.4.5 定时器/计数器应用举例	72	6.5.2 A/D 转换器的性能指标	128
4.5 串行通信接口	75	6.5.3 ADC0809 基本特征	129
4.5.1 MCS-51 单片机的串行口	75	6.5.4 ADC0809 与 MCS-51 单片机 接口实现	131
4.5.2 串行口举例	78	6.5.5 ADC0809 应用举例	132
习题	80	6.5.6 双积分 A/D 转换器应用—— ICL7135	133
第 5 章 单片机系统扩展	81	6.6 I ² C 总线应用	136
5.1 系统扩展概述	81	6.6.1 I ² C 总线介绍	136
5.1.1 单片机最小应用系统	81	6.6.2 AT24C 系列 E ² PROM 应用 举例	138
5.1.2 系统扩展的内容及方法	82	习题	142
5.2 存储器扩展	83	第 7 章 单片机应用系统设计 与开发	144
5.2.1 程序存储器扩展	84	7.1 单片机应用系统开发概述	144
5.2.2 数据存储器扩展	87	7.1.1 单片机应用系统开发的 基本原则	144
5.2.3 Flash 存储器扩展	90	7.1.2 单片机应用系统开发的 设计方法	145
5.3 I/O 驱动及扩展	93	7.1.3 单片机应用系统开发的 基本过程	146
5.3.1 I/O 总线驱动	93	7.1.4 单片机仿真开发系统介绍	148
5.3.2 I/O 口扩展	95	7.2 单片机应用系统的调试	149
习题	97		
第 6 章 接口芯片与接口技术	98		
6.1 概述	98		
6.2 显示器接口	98		
6.2.1 LED 数码显示器的基本结构	98		
6.2.2 LED 数码显示器的接口电路 及驱动方法	99		
6.2.3 LED 数码显示器的应用举例	102		

7.2.1 单片机应用系统的调试工具	149	第9章 几种典型的单片机	218
7.2.2 单片机应用系统的一般调试方法	150	9.1 AT89C2051 单片机	218
7.3 单片机应用系统的可靠性设计	152	9.1.1 AT89C2051 主要性能	218
7.3.1 干扰的来源	152	9.1.2 AT89C2051 引脚配置	219
7.3.2 抗干扰措施	153	9.1.3 AT89C2051 SFR	220
7.4 单片机应用系统应用举例	155	9.1.4 某些指令的条件约束	220
7.4.1 氦气采样自动控制器实例	155	9.1.5 程序存储器的加密	221
7.4.2 单片机系统板及功能的设计实例	158	9.1.6 低功耗工作方式	221
习题	166	9.2 ATmega8 单片机	222
第8章 Keil C51 程序设计	167	9.2.1 ATmega8 的主要特点与结构	222
8.1 概述	167	9.2.2 ATmega8 的封装与引脚配置	222
8.2 程序设计基础	168	9.3 C8051Fxxx 系列单片机	224
8.2.1 标识符与关键字	168	9.3.1 CIP-51 CPU 内核	225
8.2.2 C51 程序的基本语法	170	9.3.2 增加的功能	226
8.2.3 C51 程序的基本语句	179	9.3.3 可编程数字 I/O 和交叉开关	226
8.3 函数	182	9.3.4 其他内部资源	227
8.3.1 函数的定义	182	9.4 Cortex M3 系列单片机	227
8.3.2 函数的调用	182	9.4.1 Cortex M3 处理器的特点	227
8.3.3 中断服务程序	184	9.4.2 Cortex M3 处理器的基本架构	227
8.3.4 程序预处理	186	9.4.3 Cortex M3 内核	228
8.4 数组与指针	189	9.4.4 经典 Cortex M3 内核处理器	230
8.4.1 数组的定义与引用	189	第10章 实时操作系统的原理及应用	231
8.4.2 指针变量的定义与引用	189	10.1 RTOS 系统概述	231
8.5 混合编程	194	10.2 Small RTOS51 原理及应用	232
8.6 μ Vision2 集成开发环境	196	10.2.1 Small RTOS51 原理	233
8.6.1 μ Vision2 的使用	196	10.2.2 基于 Small RTOS51 的编程实例	237
8.6.2 μ Vision2 中的程序调试	201	10.3 μ C/OS- II 系统原理及应用	238
8.6.3 μ Vision2 的函数	210	10.3.1 μ C/OS- II 原理	239
8.7 程序应用举例	212	10.3.2 μ C/OS- II 系统的移植	244
习题	217	10.3.3 基于 μ C/OS- II 的应用实例	246

第 1 章 单片机基础

【本章要点】

- 单片机定义。
- MCS-51 系列单片机基本配置、内部结构、引脚定义与 I/O 引脚结构。
- MCS-51 系列单片机存储器结构。

1.1 概述

20 世纪 80 年代, Intel 公司首先推出了 8051 单片机, 至今已有 20 多年的历史。目前, 单片机以其体积小, 质量轻, 抗干扰能力强, 对环境要求低, 高性价比和可靠性, 易于开发等优点, 广泛应用于工业控制、数据采集、自动检测、智能仪器仪表、家用电器、军工产品、电力电子、机电一体化设备等领域。并且可以看到, 随着电子技术的发展和市场对产品功能和性能要求的不断提高, Flash 技术、在线可编程、高速度、低功耗、低价格、大规模集成是单片机的发展方向。

单片微机的全称是单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer), 简称单片机, 也称为微控制器 (Micro-Controller Unit, MCU)。它在一块半导体芯片上集成了中央处理器 CPU、存储器 (RAM、ROM 和 EPROM)、各种 I/O 接口电路 (并行接口和串行接口)、定时器/计数器和中断控制器等功能部件。

1.1.1 单片机的产生和发展

单片机出现的历史不算短, 但是近十年的发展十分迅速。它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体同步, 自 1971 年美国 Intel 公司首先推出 4 位微处理器以来, 它的发展到目前为止大致可分为 5 个阶段。

第 1 阶段 (1971 ~ 1976 年): 单片机发展的初级阶段。1971 年 11 月, Intel 公司首先设计出单芯片内集成 2000 只晶体管的 4 位微处理器 Intel 4004, 并配有 RAM、ROM 和移位寄存器, 构成了第一台 MCS-4 微处理器, 而后又推出了 8 位微处理器 Intel 8008, 以及其他公司相继推出的 8 位微处理器。它们虽说还不是单片机, 但从此拉开了研制单片机的序幕。

第 2 阶段 (1976 ~ 1980 年): 低性能单片机阶段。以 1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 系列为代表, 采用将 8 位 CPU、8 位并行 I/O 接口、8 位定时器/计数器、RAM 和 ROM 等集成于一块半导体芯片上的单片结构, 虽然其寻址范围有限 (不大于 4KB), 也没有串行口, RAM 和 ROM 容量小, 中断系统也较简单, 但功能可满足一般工业控制和智能化仪器仪表等的要求。这种采用将 CPU 与计算机外围电路集成到一块芯片上的技术, 标志着单片机与通用 CPU 发展方向的分离, 在构成新型工业微控制器方面取得了成功, 为进一步发展单片机开辟了成功之路。

第 3 阶段 (1980 ~ 1983 年): 高性能单片机阶段。这一阶段推出的高性能 8 位单片机普遍带有串行口, 有多级中断处理系统, 多个 16 位定时器/计数器。片内 RAM 和 ROM 的容量加大, 且寻址范围可达 64KB, 个别片内还带有 A/D 转换接口。其典型产品为 1980 年 Intel 公司推出的 MCS-51 系列单片机, 其他代表产品有 Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。这类

单片机拓宽了单片机的应用范围,使之能用于智能终端、局部网络的接口等方面。因而,它是目前国内外产品的主流,各生产厂家仍在不断地改进和发展它。

第4阶段(1983~20世纪80年代末):16位单片机阶段。1983年,Intel公司又推出了高性能的16位单片机MCS-96系列,其采用了最新的制造工艺,使芯片集成度高达12万只晶体管/片。CPU为16位,支持16位算术逻辑运算,并具有32位除16位的除法能力;片内RAM和ROM容量更进一步增大;除两个16位定时器/计数器外,还可设定4个软件定时器;具有8个中断源;片内带有多通道高精度A/D转换和高速输入/输出部件(HSIO);运算速度和控制功能也大幅度提高,具有很强的实时处理能力。

第5阶段(20世纪90年代~至今):单片机在集成度、功能、速度、可靠性、应用领域等全方位向更高水平发展。例如,CPU的位数有8位、16位、32位,而结构上更进一步采用双CPU结构或内部流水线结构,以提高处理能力和运算速度;时钟频率高达20MHz,使指令执行速度相对加快;提供新型的串行总线结构,为系统的扩展与配置打下良好的基础;新增的特殊功能部件(如PWM输出、看门狗定时器WDT、可编程序计数器阵列PCA、DMA传输、调制解调器、通信控制器、浮点运算元等);半导体制造工艺的不断改进,使芯片向高集成化、低功耗方向发展等。以上这些方面的发展,使单片机在数据的实时处理、高级通信系统、数字信号处理、复杂工业过程控制、高级机器人以及局域控制网络等领域得到大量应用。

1.1.2 单片机的应用

由于单片机具有体积小、质量轻、价格便宜、功耗低、易扩展、可靠性高、控制功能强以及运算速度快等特点,因而在国民经济建设、军事产品以及家用电器等各个领域均得到了广泛的应用。

1. 工业自动化

在自动化技术中,无论是过程控制技术、数据采集还是测控技术,都离不开单片机。在工业自动化领域中,机电一体化技术将发挥愈来愈重要的作用,在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术(如机器人技术)中,单片机发挥着非常重要的作用。

2. 智能仪器仪表

目前对仪器仪表的自动化和智能化要求越来越高。在智能仪器仪表中,单片机应用十分普及。单片机的使用有助于提高仪器仪表的精度和准确度,简化结构,减小体积而易于携带和使用,加速仪器仪表向数字化、智能化、多功能化方向发展。

3. 消费类电子产品

单片机在消费类电子产品的应用主要集中在家电领域。目前家电产品的一个重要发展趋势是不断提高其智能化程度。例如,在洗衣机、电冰箱、空调机、电视机、微波炉、手机、IC卡、汽车电子设备等设备中使用了单片机后,其产品功能得到增强,性能得到提高,并实现了智能化、最优化控制。

4. 通信方面

在调制解调器、程控交换技术以及各种通信设备中,单片机均得到了广泛的应用,并收到了良好的效果。

5. 军事产品

在现代化的军事产品中,如飞机、军舰、坦克、导弹、鱼雷制导、智能武器装备、航空航天导航系统,都有单片机的应用深入其中。

6. 终端及外部设备控制

在计算机网络终端设备,如银行终端以及计算机外部设备、打印机、硬盘驱动器、绘图仪、传真机、复印机等都使用了单片机。

7. 多机分布式系统

可用多片单片机构成分布式测控系统,它使单片机的应用进入一个新的水平。

综上所述,目前单片机已用于工业控制、机电一体化设备、智能仪器仪表、信号处理、现代军事产品、交通能源、商用设备、医疗设备及家用电器等各个领域。随着单片机性能的不断提高,它的应用将会更加广泛。

1.2 MCS-51 单片机基本结构

1.2.1 MCS-51 单片机系列

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号,如 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列单片机。目前, MCS-51 系列单片机已有 10 多种产品,可分为两个子系列: C51 子系列和 C52 子系列。C51 子系列中主要有 8031、8051、8751 3 种类型。而 C52 子系列中也有 3 种类型 8032、8052、8752。表 1-1 中列出了 MCS-51 系列单片机的 2 个子系列,在 4 个性能方面的差异。

表 1-1 MCS-51 单片机系列单片机配置一览表

系列	片内存储器 (字节)			片内 RAM	定时器/ 计数器	并行 I/O	串行 I/O	中断源	制造 工艺
	片内 ROM								
	无 ROM	片内 ROM	片内 EPROM						
C51 子系列	8031	8051 4KB	8751 4KB	128B	2 × 16	4 × 8 位	1	5	HMOS
	80C31	80C51 4KB	87C51 4KB	128B	2 × 16	4 × 8 位	1	5	CHMOS
C52 子系列	8032	8052 8KB	8752 8KB	256B	3 × 16	4 × 8 位	1	6	HMOS
	80C32	80C52 8KB	87C52 8KB	256B	3 × 16	4 × 8 位	1	7	CHMOS

从表 1-1 中可以看出,在相同子系列内,各类芯片的主要区别在于有无 ROM 或 EPROM; C51 与 C52 子系列所不同的是片内程序存储器 ROM 从 4KB 增至 8KB; 片内数据存储器由 128 字节增至 256 字节; 定时器/计数器增加了 1 个; 中断源增加了 1~2 个。另外,制造工艺为 CHMOS 的单片机采用, CMOS 技术制造,因此具有低功耗的特点,如 8051 功耗约为 630mW,而 80C51 的功耗只有 120mW。

1.2.2 MCS-51 系列单片机内部结构

MCS-51 系列单片机的内部结构框图如图 1-1 所示。

MCS-51 系列单片机内部结构按其功能部件可以分为八大部分。

1. 中央处理器 (CPU)

MCS-51 系列单片机有 1 个 8 位的 CPU,由运算部件、控制部件构成,其中包括振荡电路

和时钟电路，主要完成单片机运算和控制功能。它是单片机的核心部件，决定了单片机的主要功能特性。MCS-51 单片机的 CPU 不仅可以处理字节数据，还可以处理位变量。

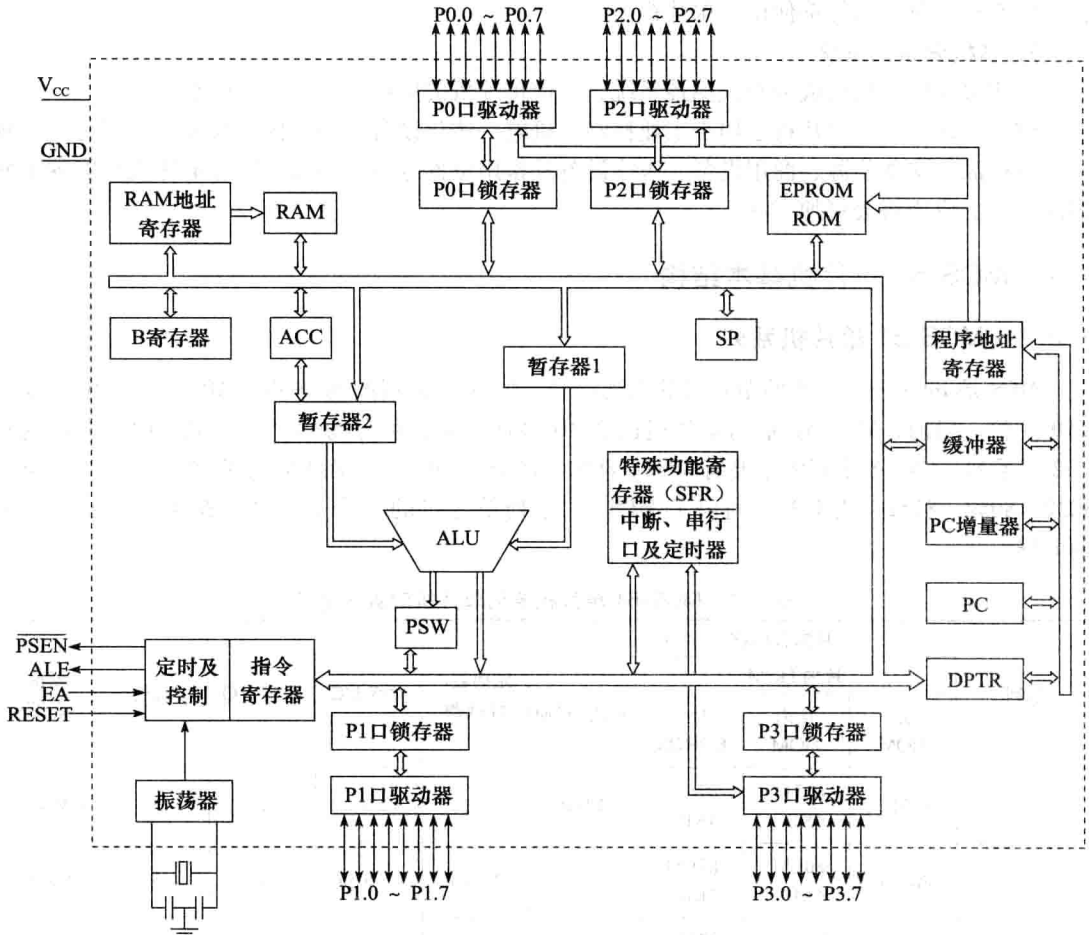


图 1-1 MCS-51 系列单片机内部结构框图

2. 片内数据存储器 (RAM)

片内带有 128 字节 (C52 子系列为 256 字节) 的数据存储器 RAM。其片外数据存储器的寻址范围为 64KB。数据存储器用于存储单片机运行过程中的工作变量、中间结果和最终结果等。

3. 片内程序存储器 (ROM/EPROM)

片内带有 4KB (C52 子系列为 8KB) 程序存储器 ROM，其片外可寻址范围为 64KB。8031 (或 8032) 单片机内部无 ROM。程序存储器既可以存放已编制的程序，也可以存放一些原始数据和表格。

4. 特殊功能寄存器 (SFR)

片内有 21 个 (C52 子系列为 26 个) 特殊功能寄存器 (SFR)，用于控制和管理内部算术逻辑部件、并行 I/O 口、串行 I/O 口、定时器/计数器、中断系统等功能模块的工作。

5. 并行口

4 个 8 位的并行 I/O 分别为 P0、P1、P2、P3。

6. 串行口

1 个全双工的串行口，可以实现单片机与外设之间数据的逐位传送。

7. 定时器/计数器

片内有两个（C52子系列有3个）16位的定时器/计数器，可以设置为定时方式或计数方式。

8. 中断系统

具有5个中断源，可编程为两个优先级的中断系统。

串行口、定时器/计数器和中断系统的应用知识将在第4章中详细介绍。

1.2.3 MCS-51系列单片机外部引脚

MCS-51系列单片机中各种型号芯片的引脚是互相兼容的。制造工艺为HMOS的芯片采用双列直插（DIP）封装，其引脚数为40。而CMOS工艺制造的芯片也有采用方形（PLCC）封装的，其引脚数为44（其中有4个未连接引脚）。图1-2是双列直插封装MCS-51系列单片机的引脚分配图。

MCS-51系列单片机的40个引脚中有两个电源引脚，两个时钟引脚，4个控制引脚，以及32条输入输出I/O引脚。下面介绍各类引脚的功能。

1. 电源引脚 V_{CC} 和 GND

V_{CC} （引脚40）：接+5V电源。

GND（引脚20）：接地。

2. 时钟引脚 XTAL1 和 XTAL2

XTAL1（引脚19）：接外部晶体的一端。在单片机内部，它是一个反相放大器的输入端，这个放大器构成片内振荡器。当采用外部时钟时，对于HMOS单片机，该引脚接地；对CHMOS单片机，该引脚作为外部振荡信号的输入端。

XTAL2（引脚18）：接外部晶体的另一端。在单片机内部，接至片内振荡器的反相放大器的输出端。当采用外部时钟时，对于HMOS单片机，该引脚作为外部振荡信号的输入端；对于CHMOS单片机，该引脚悬空不接。

3. 控制引脚

此类引脚提供控制信号，有的引脚还具有复用功能。

1) RST/ V_{PD} （引脚9）：RST（RESET）是复位信号输入端，高电平有效。 V_{PD} 为备用电源。当单片机运行时，只要在该引脚上出现持续时间大于两个机器周期的高电平，就可完成复位操作，使单片机恢复到初始状态。

当 V_{CC} 发生故障、降低到低电平规定值或掉电时，可以将+5V电源接入 V_{PD} 引脚，为内部RAM供电，以保证RAM中的数据不会丢失。

2) ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ （引脚30）：ALE引脚输出地址锁存允许信号。当访问外部存储器时，ALE以每个机器周期两次的信号输出，用于锁存出现在P0口的低8位地址。在不访问外部存储器时，ALE端仍以上述不变的频率（振荡器频率的1/6），周期性地出现正脉冲信号，可作为对外输出的时钟脉冲或用于定时。但要注意，在访问片外数据存储器期间，ALE脉冲只会出现1次，此时作为时钟输出是不妥当的。

对于片内含有EPROM的单片机，在对EPROM编程期间， $\overline{\text{PROG}}$ 引脚作为编程脉冲的输入端。

3) $\overline{\text{PSEN}}$ （引脚29）：片外程序存储器读选通信号输出端，低电平有效。当从外部程序存储器读取指令或常数期间，每个机器周期内 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号两次有效，以通过数据总线读回指令或常数。当访问外部数据存储器期间， $\overline{\text{PSEN}}$ 信号将不会出现。

4) $\overline{\text{EA}}/V_{PP}$ （引脚31）： $\overline{\text{EA}}$ 为访问外部程序存储器控制信号，低电平有效。当 $\overline{\text{EA}}$ 端保持高

电平时，单片机访问片内程序存储器。超出该范围时，自动转去执行外部程序存储器的程序。当EA端保持低电平时，无论片内有无程序存储器，均只访问外部程序存储器。

对于片内含有 EPROM 的单片机，在 EPROM 编程期间， V_{PP} 引脚用于 12V 编程电源。

4. 输入/输出 (I/O) 引脚 P0、P1、P2 及 P3 口

1) P0 口 (引脚 32 ~ 引脚 39): P0.0 ~ P0.7 统称为 P0 口。当不接外部存储器或不扩展 I/O 接口时，它可作为准双向口 8 位输入/输出接口。当接有外部存储器或扩展 I/O 接口时，P0 口为低 8 位地址/数据分时复用口，分时候作低 8 位地址总线和 8 位双向数据总线。

2) P1 口 (引脚 1 ~ 引脚 8): P1.0 ~ P1.7 统称为 P1 口，作为准双向 I/O 口使用。

对于 C52 子系列单片机，P1.0 与 P1.1 还有第 2 功能：P1.0 可用作定时器/计数器 2 的计数脉冲输入端 T2；P1.1 用作定时器/计数器 2 的外部控制端 T2EX。

3) P2 口 (引脚 21 ~ 引脚 28): P2.0 ~ P2.7 统称为 P2 口，可作为准双向 I/O 接口使用。当接有外部存储器或扩展 I/O 接口且寻址范围超过 256 字节时，P2 口用于高 8 位地址总线送出高 8 位地址。

4) P3 口 (引脚 10 ~ 引脚 17): P3.0 ~ P3.7 统称为 P3 口，是双功能口。它可以作为一般的准双向 I/O 接口，也可以将每根口线用于第 2 功能。P3 口的第 2 功能见表 1-2。

表 1-2 P3 口第 2 功能

引脚	第 2 功能	引脚	第 2 功能
P3.0	RXD: 串行口接收数据输入端	P3.4	T0: 外部计数脉冲输入端 0
P3.1	TXD: 串行口发送数据输出端	P3.5	T1: 外部计数脉冲输入端 1
P3.2	INT0: 外部中断申请输入端 0	P3.6	WR: 写外设控制信号输出端
P3.3	INT1: 外部中断申请输入端 1	P3.7	RD: 读外设控制信号输出端

综上所述，MCS-51 单片机的 40 根引脚由 4 组 8 位的 I/O 口线和 8 根其他控制功能的引脚组成。了解单片机的引脚特征是掌握单片机整体结构特征以及单片机应用系统设计的重要基础之一。双列直插封装 MCS-51 单片机的引脚分配如图 1-2 所示。

1.3 中央处理器 CPU

中央处理器 CPU 是单片机内部的核心部件，它决定了单片机的主要功能特性。它由运算部件和控制部件两部分组成。

1.3.1 运算部件

运算部件以算术逻辑单元 (ALU) 为核心，加上累加器 (ACC)、寄存器 B、暂存器 TMP1 和 TMP2、程序状态字 PSW 以及专门用于位操作的布尔处理器组合而成，它能实现数据的算术、逻辑运算和位操作。

1. 算术逻辑单元

算术逻辑单元 (Arithmetic Logic Unit, ALU) 不仅能完成二进制数的加、减、乘、

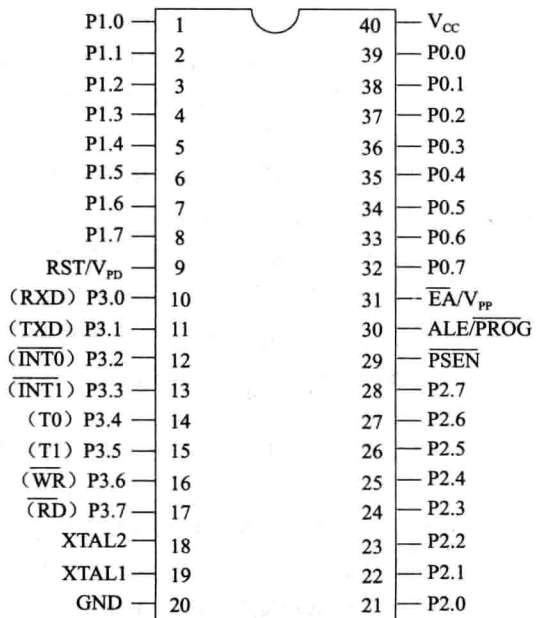


图 1-2 双列直插封装 MCS-51 系列单片机的引脚分配

除、加1、减1等算术运算，还能对8位变量进行逻辑“与”、“或”、“异或”、求补、清零和循环移位等逻辑运算。

2. 累加器和寄存器 B

累加器 (Accumulator, ACC) 是一个8位的寄存器，是CPU中使用最频繁的寄存器，简称累加器 A。进入 ALU 的操作数多来源于累加器 A，运算结果也常送回累加器 A 中保存。寄存器 B 是为 ALU 进行乘除法运算设置的。在执行乘法运算指令时，寄存器 B 用于存放一个乘数和乘积的高8位数。执行除法指令时，寄存器 B 中存放除数和余数。不做乘、除运算时，可作为通用寄存器使用。

3. 程序状态字

程序状态字 (Program Status Word, PSW) 是一个8位的标志寄存器，位于单片机内部 RAM 存储器的特殊功能寄存器区。它保存指令执行结果的特征信息，供程序查询和判别。程序状态字 PSW 的格式及含义如下：

PSW. 7						PSW. 0	
CY	AC	FO	RS1	RS0	OV	—	P

1) CY (PSW. 7)：进位/借位标志位。由硬件或软件置位和清零。它表示累加器 ACC 中的运算结果是否有进位 (或借位)。如果运算结果在最高位有进位输出 (加法时) 或有借位输入 (减法时)，则 $CY = 1$ ；否则， $CY = 0$ 。

2) AC (PSW. 6)：辅助进位/借位标志位，或称半进位/借位标志位。它表示在运算过程中，累加器 ACC 中低4位有无进位 (或借位) 的情况发生。当低4位相加 (或相减) 时，若 D3 位向 D4 位有进位 (或借位)，则 $AC = 1$ ；否则， $AC = 0$ 。在 BCD 码运算的十进制调整中自动判别该标志。

3) FO (PSW. 5)：可由用户定义的标志位。用户在软件设计过程中可以对 FO 赋以一定的含义，并根据 $FO = 1$ 或 0 来决定程序的执行方式。

4) RS1 (PSW. 4)、RS0 (PSW. 3)：工作寄存器组选择位。可用软件置位或清零，用以选择4组工作寄存器中的哪一组为当前使用的工作寄存器组 (4组工作寄存器位于单片机内部的 RAM 存储器中，详见 1.4.3 节)。RS1、RS0 与4组工作寄存器组的关系如表 1-3 所示。

表 1-3 工作寄存器组选择表

RS1	RS0	所选的4组工作寄存器
0	0	0组 (内部 RAM 区地址 00H ~ 07H)
0	1	1组 (内部 RAM 区地址 08H ~ 0FH)
1	0	2组 (内部 RAM 区地址 10H ~ 17H)
1	1	3组 (内部 RAM 区地址 18H ~ 1FH)

5) OV (PSW. 2)：溢出标志位。由硬件置位或清零。它表示运算结果是否溢出，溢出时， $OV = 1$ ；否则， $OV = 0$ 。溢出是指有符号数运算时，运算结果超出了累加器 ACC 以补

码所能表示一个有符号数的范围 ($-128 \sim +127$)。一旦出现溢出现象，运算结果就不正确。

6) PSW. 1：未定义。

7) P (PSW. 0)：奇偶标志位。在执行指令后，CPU 根据累加器 ACC 中1个数的奇偶自动将该标志置位或清零。当 ACC 中1的个数为奇数时， $P = 1$ ；否则， $P = 0$ 。此标志位对串行通信中的数据传输有重要意义。在串行通信中，常用奇偶校验法来检验数据传输的可靠性。

1.3.2 控制部件

控制部件是单片机的指挥核心，它包括程序计数器 (PC)、指令寄存器 (IR)、指令译码器 (ID)、条件转移逻辑电路以及时序控制逻辑电路等部件。在单片机执行指令过程中，控制