



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十三五”规划教材

Application Technology of
Single-chip Microcomputer

单片机 应用技术

◎ 高 成 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

单片机

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十三五”规划教材

单片机应用技术

主 编 高 成

副主编 李桂君 张冬梅

参 编 马 航 马智慧



机械工业出版社

本书介绍了 MCS-51 单片机的原理与应用,对单片机的基本结构、中断系统、定时器、串行口等功能部件的工作原理进行了完整介绍。从应用的角度出发,改变了原有教学顺序,采取模块化结构编排教学内容,打破了传统的单一教学模式,章节编排更加合理,通用性、系统性和实用性更好。本书充分体现了本课程的实践技术性教学特色,注重对常用单片机应用系统的介绍,并给出了实例,所介绍的各种设计方案均为常用、典型的方案,实例均用 Keil、Proteus 软件进行了仿真,使读者能很快地掌握典型的 MCS-51 单片机应用系统的设计,提高学生的学习兴趣,激发学生的创新思维。

本书可作为高等学校电气类、自动化类、电子信息类、机械类等相关专业单片机课程的教学用书,也可供广大从事单片机应用系统开发的工程技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机应用技术/高成主编. —北京:机械工业出版社,2017.11
普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-58425-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 270853 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王 康 责任编辑:王 康 王小东

责任校对:杜雨霏 封面设计:张 静

责任印制:李 昂

河北鹏盛贤印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·339 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58425-4

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前言

单片机应用技术课程是一门技术性和实践性很强的专业课，其理论与实践是高等院校，特别是应用型教学院校学生不可缺少的知识和技能。本书在编写过程中，精选了单片机原理及接口技术的基本知识，并注意反映当代单片机技术发展的趋势，较好地体现了培养应用型人才的特色。

1. 体系清晰

摒弃传统工科教材知识点设置按部就班、理论讲解枯燥无味的弊端；学习和借鉴优秀教材的写作思路、写作方法，以及人文学科教材的写作模式，风格清新活泼，抓住学生的兴趣点，让教材为学生所用，而不让学生对教材产生畏惧情绪；将新知识点与以前学过的内容相融合，注重讲述知识点的综合运用；以学生为本，考虑就业市场的发展变化并反映到教材中，编写贴合学生实际的教材；强化案例式教学，编写过程中有机融入最新的实例以及操作性较强的案例。

2. 内容典型

近年来单片机产品市场百花齐放，功能各异的单片机系列产品不断推出。但是，许多单片机新品仍以 MCS-51 单片机为内核。本书以 MCS-51 单片机为讲解对象，不但可以学习 MCS-51 单片机相关内容，还可以在此基础上，更加容易地学习和应用其他种类的单片机。与市场上同类教材相比，本书目标明确，重点突出，内容编写有利于教师教学和学生自学。

3. 注重应用

本书以 MCS-51 和汇编语言等经典内容为主，较好地处理了经典内容与现代内容的关系，针对单片机课程教学实践性强的特点，从应用型人才培养的要求出发，充分体现本课程的实践技术型教学特色，注重对常用单片机应用系统的介绍，并给出实例，所介绍的各种设计方案均为常用、典型的方案，使读者能很快地掌握典型的 MCS-51 单片机应用系统的设计，提高学生的学习兴趣，激发学生的创新思维。

4. 方便教学

从应用的角度出发，改变了原有教学顺序，采取模块化结构编排单片机教学内容，打破传统的单一教学模式，章节编排更加合理，通用性、系统性和实用性更好。

单片机理论内容繁多，本书注重归纳共性和总结规律，结构采用以人的认识规律为导向的模块化结构，以便学生能够轻松地理解和掌握技术原理；本书结构紧凑，知识面广；在叙述上重点突出，条理清晰，语言精练流畅、通俗易懂，便于知识点的理解和进一步掌握。

编写力求简而精，突出重点，既保持了知识的系统性，又注重以浅显易懂的方式切入主题透析难点，使学生花较少的时间就能对单片机的相关知识有一个较全面的了解，适应快节奏学习的需要。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 MCS-51 单片机及硬件结构 1

1.1 MCS-51 单片机基础 1

1.1.1 单片机的发展历程 1

1.1.2 单片机的应用 2

1.1.3 单片机的发展趋势 3

1.1.4 单片机的分类 3

1.1.5 MCS-51 系列单片机 4

1.2 单片机内部结构和工作原理 6

1.2.1 单片机的内部结构 6

1.2.2 单片机的存储器结构 10

1.2.3 单片机的引脚功能 14

1.2.4 时钟电路与时序 16

1.2.5 复位及复位电路 19

本章总结 20

习题 20

第 2 章 MCS-51 单片机指令系统与

程序设计 22

2.1 Keil C51 的使用方法 22

2.2 单片机指令系统概述 31

2.2.1 指令与指令系统的概念 31

2.2.2 指令格式 32

2.2.3 指令系统说明 33

2.2.4 寻址方式 33

2.3 数据传送指令 36

2.3.1 片内数据传送指令 36

2.3.2 片外 RAM 数据传送指令 40

2.3.3 片外 ROM 数据传送指令 42

2.4 算术运算和逻辑运算指令 43

2.4.1 算术运算指令 43

2.4.2 逻辑运算指令 47

2.5 控制转移类指令 49

2.5.1 无条件转移指令 49

2.5.2 条件转移指令 51

2.5.3 子程序调用及返回指令 53

2.5.4 空操作指令 55

2.6 位操作指令 55

2.6.1 位传送指令 55

2.6.2 位置 1、位清 0 指令 55

2.6.3 位逻辑运算指令 56

2.6.4 位控制转移指令 56

2.7 汇编语言程序设计 57

2.7.1 汇编语言设计概述 57

2.7.2 程序设计流程图 60

2.7.3 程序结构 61

本章总结 68

习题 70

第 3 章 并行 I/O 口结构及应用 73

3.1 并行 I/O 端口 73

3.1.1 P0 口结构、功能及操作 73

3.1.2 P1 口结构、功能及操作 75

3.1.3 P2 口结构、功能及操作 76

3.1.4 P3 口结构、功能及操作 76

3.2 并行 I/O 口应用设计 77

3.2.1 设计要求 77

3.2.2 系统分析 77

3.2.3 Proteus 7.8 硬件设计 77

3.2.4 Keil C51 软件设计 83

3.2.5 在 Keil 和 Proteus 联调 83

3.2.6 系统仿真测试 84

3.2.7 实物制作 84

本章总结 84

习题 85

第 4 章 定时器/计数器的结构及

应用 86

4.1 定时器/计数器的结构及功能 87

4.2 定时器/计数器的控制 88

4.3 定时器/计数器的工作方式 89

4.4 定时器应用设计 91

本章总结 96

习题 96

第 5 章 中断系统及应用 97

5.1 中断系统 97

5.1.1 中断的概念 97

5.1.2 中断源	97	本章总结	175
5.1.3 中断系统控制	99	习题	175
5.1.4 中断处理过程	101	第9章 单片机C语言开发基础	177
5.2 MCS-51 单片机外部中断源的扩展	104	9.1 C语言源程序的结构特点	177
5.3 中断应用设计	106	9.2 标识符和关键字	178
本章总结	113	9.2.1 标识符	178
习题	114	9.2.2 关键字	178
第6章 MCS-51 单片机的显示器与		9.3 常量	180
键盘接口技术	115	9.3.1 整型常量	180
6.1 显示器接口	115	9.3.2 实型常量	180
6.1.1 LED 显示器与接口	115	9.3.3 字符型常量	181
6.1.2 LED 显示应用设计	117	9.4 数据类型	181
6.1.3 液晶显示技术	122	9.4.1 基本数据类型	181
6.1.4 液晶应用设计	126	9.4.2 新增数据类型	182
6.2 键盘接口	132	9.5 存储区域与存储模式	189
6.2.1 键盘的工作原理	133	9.5.1 存储区域	190
6.2.2 独立式键盘	133	9.5.2 存储模式	191
6.2.3 独立键盘应用设计	134	9.6 运算符与表达式	192
6.2.4 矩阵式键盘	136	9.6.1 算术运算符与算术表达式	193
6.2.5 矩阵式键盘应用设计	137	9.6.2 赋值运算符与赋值表达式	194
本章总结	140	9.6.3 关系运算符、逻辑运算符及	
习题	140	其表达式	197
第7章 MCS-51 单片机串行通信	142	9.6.4 条件运算符与条件表达式	198
7.1 MCS-51 单片机串行接口	142	9.6.5 逗号运算符与逗号表达式	199
7.1.1 MCS-51 单片机串行接口的		9.7 指针与绝对地址访问	200
结构	143	9.7.1 指针	201
7.1.2 串行接口的控制寄存器	143	9.7.2 绝对地址访问	203
7.1.3 串行接口的工作方式	145	9.8 C语言程序应用设计	204
7.2 单片机串行接口应用	149	9.8.1 直流电动机启动停止控制程序	
7.3 串行口应用设计	153	设计	204
本章总结	157	9.8.2 步进电动机转速控制程序设计	205
习题	158	本章总结	207
第8章 MCS-51 单片机测控接口	159	习题	208
8.1 D-A 转换器及应用	159	附录	209
8.1.1 D-A 转换器概述	160	附录 A MCS-51 系列单片机指令系统表	209
8.1.2 DAC0832 芯片及与单片机接口	161	附录 B ASCII (美国信息交换标	
8.1.3 D-A 转换应用设计	166	准码) 表	213
8.2 A-D 转换器及应用	168	附录 C Keil 和 Proteus 仿真调试步骤	
8.2.1 A-D 转换器概述	168	速查表	215
8.2.2 ADC0809 芯片及与单片机接口	169	参考文献	217
8.2.3 A-D 转换应用设计	172		

第1章

MCS-51单片机及硬件结构

本章学习任务:

- 了解单片机的分类和发展历史。
- 了解单片机的特点及应用。
- 了解 MCS-51 系列单片机的种类和特点。
- 掌握单片机内部结构。
- 掌握单片机引脚功能。
- 掌握单片机的存储器空间分配。
- 掌握单片机的复位电路、时钟电路及指令时序。

在一块硅片上集成了中央处理器 (CPU)、存储器 (ROM, RAM, EPROM)、I/O 接口、定时器/计数器、中断控制、系统时钟及总线等, 这样一块芯片具有一台计算机的功能, 因而被称为单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 或单片微控制器 (Microcontroller Unit), 简称单片机 (SCM 或 MCU)。单片机只需要与适当的软件及外部设备相结合, 便可成为一个单片机控制系统。

1.1 MCS-51 单片机基础

1.1.1 单片机的发展历程

1946 年世界上公认的第一台电子数字计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 在美国宾西法尼亚大学诞生起, 计算机在发展过程中主要是朝着大型化和快速发展。计算机功能大致演变过程为: 从数值计算的人力替代到近代计算机的海量数值计算到过程的模拟仿真、分析和决策。在此期间, 随着大规模集成电路技术的不断发展和人们需求的多样化, 微型计算机异军突起, 从而导致计算机向两个方向发展: 一个是向高速度、高性能的通用计算机方向发展; 另一个是向稳定可靠、小而廉的嵌入式计算机或专用计算机方向发展。

计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术, 不必兼顾嵌入式应用的要求, 通用微处理器迅速从 286、386、486、586 发展到奔腾系列, 操作系统则迅速升级到高速海量的数据文件处理水平, 使通用计算机进入了一个新的阶段。嵌入式计算机系统则走上了一条完全不同的道路, 这条独立发展的道路就是单片化道路, 将计算机做在一块芯片上, 从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

单片机是最典型的嵌入式系统,起源于微型计算机时代。单片机的出现实现了最底层的嵌入式系统应用,带有明显的电子系统设计模式的特点。大多数从事单片机应用开发的人员都是对象系统领域中的电子工程师,他们将单片机以智能化器件的身份用于电子系统,脱离了计算机专业领域,没有带入“嵌入式系统”的概念。但从学科的角度应该把它统一成“嵌入式系统”。单片机的产生与应用将发展计算机技术扩展到传统的电子系统领域,使计算机成为人类社会全面智能化的有力工具。

单片机的发展大致经历了4个阶段:

第一阶段(1970年—1974年),为4位单片机阶段;

第二阶段(1974年—1978年),为低中档8位单片机阶段;

第三阶段(1978年—1983年),为高档8位单片机阶段;

第四阶段(1983年至今),为8位单片机巩固发展阶段及16位、32位单片机推出阶段。

1.1.2 单片机的应用

1. 单片机的主要特点

(1) 小巧灵活、成本低、易于产品化。它能方便地组装成各种智能式测控设备及各种智能仪器仪表。

(2) 可靠性好,适应温度范围宽。单片机芯片本身是按工业测控环境要求设计的,能适应各种恶劣的环境,这是其它机种无法比拟的。

(3) 易扩展,很容易构成各种规模的应用系统,控制能力强。单片机的逻辑控制能力很强,指令系统有各种控制功能专用指令。

(4) 可以很方便地实现多机和分布式控制。

2. 单片机的主要用途

目前单片机已经渗透到我们生活的各个领域,几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。

(1) 智能仪器仪表上的应用 单片机广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化,且功能比起采用电子或数字电路更加强大。

(2) 工业控制中的应用 用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如构成流水线的智能化管理,电梯智能化控制、各种报警系统,与计算机联网构成二级控制系统等。

(3) 家用电器中的应用 现在的家用电器基本上都采用了单片机的控制,从电饭煲、洗衣机、空调机、彩电、其他音响视频器材,再到电子称量设备,单片机的控制方式五花八门,无所不在。

(4) 计算机网络和通信领域中的应用 现代的单片机普遍具备通信接口,可以很方便地与计算机进行数据通信,为其在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制,从电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信,再到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。

(5) 单片机在医用设备领域中的应用 单片机在医用设备中的用途也相当广泛,例如医用呼叫机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

此外,单片机在工商、金融、科研、教育、国防航空航天等领域也都有着十分广泛的用途。

1.1.3 单片机的发展趋势

1. 制作工艺 CMOS 化 (全盘 CMOS)

出于对低功耗的普遍要求,目前各大厂商推出的各类单片机产品都采用了 CHMOS 工艺。

80C51 系列单片机采用两种半导体工艺生产,一种是 HMOS 工艺,即高密度短沟道 MOS 工艺,另外一种 CHMOS 工艺,即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合,除保持了 HMOS 的高速度和高密度的特点之外,还具有 CMOS 低功耗的特点。例如 8051 的功耗为 630mW,而 80C51 的功耗只有 120mW。在便携式、手提式或野外作业仪器设备上低功耗是非常有意义的。因此,在这些产品中必须使用 CHMOS 的单片机芯片。

2. 尽量实现单片化

由于工艺和其他方面的原因,很多功能部件并未集成在单片机芯片内部,用户通常的做法是根据系统设计的需要在外围扩展功能芯片。随着集成电路技术的快速发展,很多单片机生产厂家充分考虑到用户的需求,将一些常用的功能部件,如 A-D、D-A、PWM 以及 LCD 驱动器等集成到芯片内部,尽量做到单片化;同时,用户可以提出要求,由厂家量身定做 (SoC 设计) 或自行设计。

3. 共性与个性共存

如今的市场上为我们提供了种类繁多的单片机产品。从宏观上讲,有 RISC 和 CISC 两大类型;从微观上说,有 Intel、Motorola、Philips、Microchip、EMC、NEC 等公司的相关产品。在未来相当长的时间内,都将维持这种群雄并起、共性与个性共存的局面。

1.1.4 单片机的分类

20 世纪 80 年代以来,单片机有了新的发展,各半导体器件厂商纷纷推出自己的产品系列。迄今为止,市销单片机产品已达 60 多个系列,600 多个品种。按照 CPU 对数据处理位数来分,单片机通常可以分为以下四类:

1. 4 位单片机

4 位单片机的控制功能较弱,CPU 一次只能处理 4 位二进制数。这类单片机常用于计算机、各种形态的智能单元以及作为家用电器中的控制器。

2. 8 位单片机

8 位单片机的控制功能较强,品种最为齐全。与 4 位单片机相比,它不仅具有较大的存储容量和寻址范围,而且中断源、并行 I/O 接口和定时器/计数器个数都有了不同程度的增加,并集成有全双工串行通信接口。在指令系统方面,普遍增设了乘除指令和比较指令。特别是 8 位机中的高性能增强型单片机,除片内增加了 A-D 和 D-A 转换器以外,还集成有定时器捕捉/比较寄存器、监视定时器、总线控制部件和晶体振荡电路等。这类单片机由于其

片内资源丰富且功能强大，主要在工业控制、智能仪表、家用电器和办公自动化系统中应用。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、荷兰 Philips 公司的 80C51 系列机（同 MCS-51 兼容）、Motorola 公司的 M6805 系列机、Microchip 公司的 PIC 系列机和 Atmel 公司的 AT89 系列机（同 MCS-51 兼容）等。

3. 16 位单片机

16 位单片机是在 1983 年以后发展起来的。这类单片机的特点是：CPU 是 16 位的，运算速度普遍高于 8 位机，有的单片机寻址能力高达 1MB，片内含有 A-D 和 D-A 转换电路，支持高级语言。这类单片机主要用于过程控制、智能仪表、家用电器以及作为计算机外部设备的控制器，典型产品有 Intel 公司的 MCS-96/98 系列机、Motorola 公司的 M68HC16 系列机、NS 公司的 HPC ×××× 系列机等。

4. 32 位单片机

32 位单片机的字长为 32 位，是单片机的顶级产品，具有极高的运算速度。近年来，随着家用电子系统的不断发展，32 位单片机的市场前景看好。这类单片机的代表产品有 Motorola 公司的 M68300 系列机、英国 Inmos 公司的 IM-ST414 和日立公司的 SH 系列机等。

1.1.5 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号，例如 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列单片机。MCS-51 系列单片机既包括三个基本型 8031、8051、8751，也包括对应的低功耗型 80C31、80C51、87C51，因而 MCS-51 系列特指 Intel 公司的这几种型号的单片机。

20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司以专利转让的形式把 8051 内核技术转让给了许多半导体芯片厂家，如 Atmel、Philips、Analog Devices、Dallas 公司等。这些厂家生产的芯片是 MCS-51 指令系统兼容的单片机。这些兼容机与 8051 的系统结构（主要是指令系统）相同，采用 CMOS 工艺，因而常用 80C51 系列来统称所有具有 8051 指令系统的单片机。它们对 8051 一般都做了一些扩充，更有特点，其功能和市场竞争力更强，不应该把它们直接称为 MCS-51 系列单片机，因为 MCS 只是 Intel 公司专用的单片机系列符号。

在 MCS-51 系列里，所有产品都是以 8051 为核心电路发展起来的，它们都具有 8051 的基本结构和软件特征。从制造工艺来看，MCS-51 系列中的器件基本上可分为 HMOS 和 CMOS 两类。MCS-51 系列芯片及制造工艺如表 1-1 所示。

表 1-1 MCS-51 系列芯片及制造工艺

ROM 型	无 ROM 型	EPROM 型	片内 ROM/KB	片内 RAM/B	16 位定时器	制造工艺
8051	8031	8751	4	128	2	HMOS
8051AH	8031AH	8751H	4	128	2	HMOS
8052AAH	8032AH	8752BH	8	256	3	HMOS
80C51BH	80C31BH	87C51	4	128	2	CHMOS

MCS-51 系列及 80C51 系列单片机有多个品种。它们的指令系统相互兼容，主要在内部硬件结构上有些区别。目前使用的 MCS-51 系列单片机及其兼容产品通常分为以下几类：

1. 基本型

典型产品：8031/8051/8751。

8031 内部包括 1 个 8 位 CPU、128B RAM, 21 个特殊功能寄存器 (SFR)、4 个 8 位并行。

I/O 口、1 个全双工串行口, 2 个 16 位定时器/计数器, 但片内无程序存储器, 需外扩 EPROM 芯片。

8051 是在 8031 的基础上, 片内又集成有 4KB ROM, 作为程序存储器, 是 1 个程序不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是公司制作芯片时, 代为用户烧制的, 出厂的 8051 都是含有特殊用途的单片机。所以 8051 应用的程序已定, 用于批量大的单片机产品中。

8751 是在 8031 基础上, 增加了 4KB 的 EPROM, 它构成了 1 个程序小于 4KB 的小系统, 用户可以将程序固化在 EPROM 中, 可以反复修改程序。但其价格相对于 8031 较贵。8031 外扩 1 片 4KB 的 EPROM 就相当于 8751。

2. 增强型

Intel 公司在 MCS-51 系列三种基本型产品基础上, 又推出增强型系列产品, 即 52 子系列, 典型产品: 8032/8052/8752。它们的内部 RAM 增加到 256B, 8052、8752 的内部程序存储器扩展到 8KB, 16 位定时器/计数器增至 3 个, 6 个中断源, 串行口通信速率提高 5 倍。

3. 低功耗型

代表性产品为: 80C31/87C51/80C51。均采用 CMOS 工艺, 功耗很低。例如, 8051 的功耗为 630mW, 而 80C51 的功耗只有 120mW, 它们用于低功耗的便携式产品或航天技术中。此类单片机有两种掉电工作方式: 一种掉电工作方式是 CPU 停止工作, 其它部分仍继续工作; 另一种掉电工作方式是, 除片内 RAM 继续保持数据外, 其它部分都停止工作。此类单片机的功耗低, 非常适于电池供电或其它要求低功耗的场合。

4. 专用型

如 Intel 公司的 8044/8744, 它们在 8051 的基础上, 又增加一个串行接口部件, 主要用于利用串行口进行通信的总线分布式多机测控系统。

再如美国 Cypress 公司最近推出的 EZU SR-2100 单片机, 它是在 8051 单片机内核的基础上, 又增加了 USB 接口电路, 可专门用于 USB 串行接口通信。

5. 超 8 位型

在 8052 的基础上, 采用 CHMOS 工艺, 并将 MCS-96 系列 (16 位单片机) 中的一些 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, 功能介于 MCS-51 和 MCS-96 之间。Philips (飞利浦) 公司生产的 80C552/87C552/83C552 系列单片机即为此类产品。目前此类单片机在我国已得到了较为广泛的应用。

6. 片内闪烁存储器型

随着半导体存储器制造技术和大规模集成电路制造技术的发展, 片内带有闪烁 (Flash) 存储器的单片机在我国已得到广泛应用。例如, 美国 Atmel 公司推出的 AT89C51 单片机。

在众多的 MCS-51 单片机及各种增强型、扩展型等衍生品种的兼容机中, Philips (飞利浦) 公司生产的 80C552/87C552/83C552 系列单片机和美国 Atmel 公司的 AT89C51 单片机在我国使用较多。尤其是美国 Atmel 公司推出的 AT89C51 单片机。它是 1 个低功耗、高性能的含有 4KB 闪烁存储器的 8 位 CMOS 单片机, 时钟频率高达 20MHz, 与 MCS-51 的指令系统和引脚完全兼容。闪烁存储器允许在线 (+5V) 电擦除、电写入或使用编程器对其重复编程。此外, 89C51 还支持由软件选择的两种掉电工作方式, 非常适于电池供电或

其他要求低功耗的场合。由于片内带 EPROM 的 87C51 价格偏高,而 89C51 芯片内的 4KB 闪烁存储器可在线编程或使用编程器重复编程,且价格较低,因此 89C51 受到了应用设计者的欢迎。

尽管 MCS-51 系列以及 80C51 系列单片机有多种类型,但是掌握好 MCS-51 的基本型(8031、8051、8751 或 80C31、80C51、87C51)是十分重要的,因为它们是具有 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。

本书常用 MCS-51 或 8031 这两个名称,MCS-51 是包括了 8031、8051 和 8751 三个基本产品的总称。后者,仅指特定的 8031。

1.2 单片机内部结构和工作原理

1.2.1 单片机的内部结构

8051 单片机内部包含了作为微型计算机所必需的基本功能部件,各功能部件相互独立集成在同一块芯片上。8051 单片机内部结构如图 1-1 所示,包含中央处理器(CPU)、存储器、定时器/计数器、I/O 接口器、中断控制系统等。

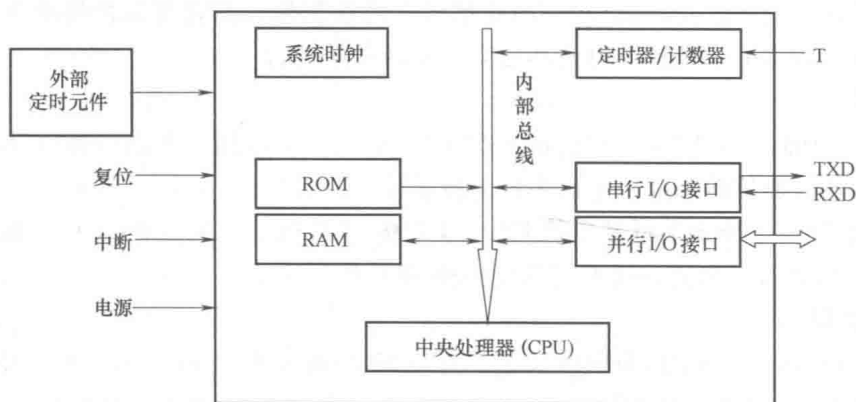


图 1-1 单片机内部结构

1. 存储器

在单片机内部,ROM 和 RAM 存储器是分开制造的。通常,ROM 存储器容量较大,RAM 存储器的容量较小。

(1) ROM (Read Only Memory) ROM 一般为 1~32KB,用于存放应用程序,故又称为程序存储器。正常工作时,只能读不能写,停电后再加电期间信息不丢失。为了提高系统的可靠性,应用程序通常固化在片内 ROM 中。根据片内 ROM 的结构,单片机又可分为无 ROM 型、ROM 型和可擦除可编程只读存储器 EPROM (Electrically Programmable Read-Only Memory) 型三类。

(2) RAM (Random Access Memory) 通常,单片机内 RAM 容量为 64~256B,最多可达到 48KB。RAM 主要用来存放实时数据或作为通用寄存器、数据堆栈和数据缓冲器之用。

正常工作时，既能读又不能写，停电后再加电期间信息会丢失。图 1-2 所示为 16×8RAM 的内部结构框图。

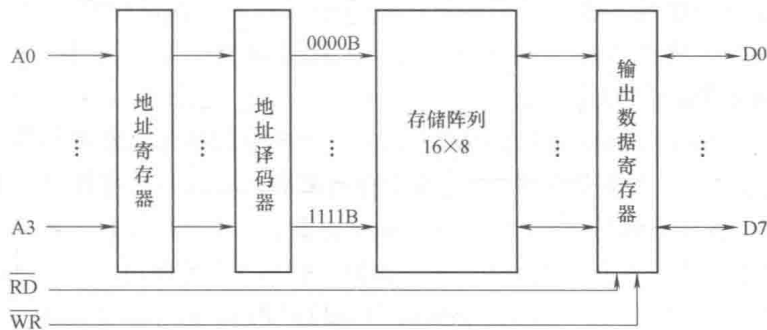


图 1-2 16×8RAM 的内部结构框图

2. 中央处理器（CPU）

中央处理器的内部结构如图 1-3 所示。

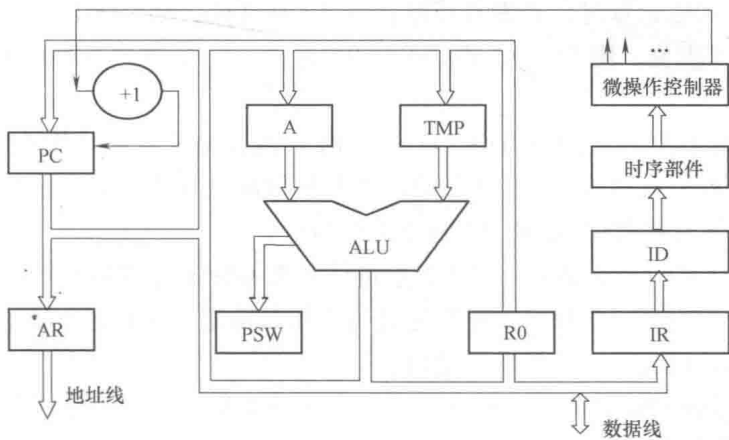


图 1-3 中央处理器的内部结构

8051 内部 CPU 由运算器（ALU）、控制器（定时控制部件等）和专用寄存器三部分构成。

(1) 算术逻辑部件 ALU（Arithmetic Logic Unit） 8051 的 ALU 是一个运算器，进行加、减、乘、除四则运算，进行与、或、非、异或等逻辑运算，还具有数据传送、移位、判断和程序转移等功能。

(2) 定时控制部件 定时控制部件起着控制器作用，由定时控制逻辑、指令寄存器 IR 和振荡器 OSC（Oscillator）等电路组成。指令寄存器 IR 用于存放从程序存储器中取出的指令码，定时控制逻辑用于对 IR 中指令码译码，并在 OSC 配合下产生指令的时序脉冲，以执行相应的指令。

OSC 是控制器的核心，能为控制器提供时钟脉冲。时钟频率越高，单片机控制器的控制节拍就越快，运算速度也就越快，其频率是单片机的重要性能指标之一。不同型号的单片机所需要的时钟频率不同。

定时与控制逻辑：时序部件（时钟系统和脉冲分配器构成）和微操作控制部件组成；发送控制信号，协调各部件工作。

(3) 专用寄存器组

累加器 A (Accumulator): 累加器 A 又记作 ACC, 是一个最常用的 8 位特殊功能寄存器, 它既可用于存放操作数, 也可用于存放运算的中间结果。在进行算术或逻辑运算时, 通常两个操作数中的一个放在 A 中, 运算完成后, 运算结果也存放在 A 中。指令系统中 A 表示累加器, ACC 表示累加器的符号地址。

通用寄存器 B (General Purpose Register): 它是一个 8 位的特殊功能寄存器, 主要用于乘法和除法运算。乘法运算时, A 中存放被乘数, B 中存放乘数, 完成乘法操作后, 乘积的高 8 位存于 B 中, 低 8 位存于 A 中; 除法运算时, A 中存放被除数, B 中存放除数, 完成除法操作后, 商存于 A 中, 余数存于 B 中。在其它指令中, B 可作为一般的寄存器使用, 用于暂存数据。

程序状态字寄存器 PSW (Program Status Word): PSW 是一个 8 位标志寄存器, 用来存放指令执行后的有关状态。

PSW7	PSW6	PSW5	PSW4	PSW3	PSW2	PSW1	PSW0
Cy	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

1) 进位标志位 Cy (Carry): 用于表示加减运算过程中最高位 A7 (累加器最高位) 有无进位或借位。在加法运算时, 若累加器最高位 A7 有进位, 则 Cy=1; 否则 Cy=0。在减法运算时, 若 A7 有了借位, 则 Cy=1; 否则 Cy=0, 此外, CPU 在进行移位操作时也会影响这个标志位。

2) 辅助进位标志位 AC (Auxiliary Carry): 用于表示加减运算时低 4 位 (即 A3) 有无向高 4 位 (即 A4 进位或借位)。若 AC=0, 则表示加减过程中 A3 没有向 A4 进位或借位; 若 AC=1, 则表示加减过程中 A3 向 A4 有进位或借位。

3) 用户标志位 F0 (Flag Zero): F0 标志位的状态通常不是机器在执行指令过程中自动形成的, 而是由用户根据程序执行的需要通过传送指令确定。该标志位状态一经设定, 便由用户程序直接检测, 以决定用户程序的流向。

4) 寄存器选择位 RS1 和 RS0: 8051 共有 8 个 8 位工作寄存器, 分别命名为 R0~R7。它在 RAM 中的实际物理地址是可以根据需要选定。RS1 和 RS0 就是为了这个目的提供给用户使用的, 用户通过改变 RS1 和 RS0 的状态可以方便地决定 R0~R7 的实际物理地址, 工作寄存器 R0~R7 的物理地址和 RS1、RS0 之间的关系如表 1-2 所示。

采用 8051 或 8031 做成的单片机控制系统, 开机后的 RS1 和 RS0 总是为零状态, 故 R0~R7 的物理地址为 00H~07H, 即 R0 的地址为 00H, R1 的地址为 01H, ……, R7 的地址为 07H。

但若机器执行如下指令:

MOV PSW, #08H;

即 RS1、RS0 为 01B, 则 R0~R7 的物理地址变为 08H~0FH。

表 1-2 RS1、RS0 对工作寄存器的选择

RS1、RS0	R0~R7 的组号	R0~R7 的物理地址
00	0	00H~07H
01	1	08H~0FH
10	2	10H~17H
11	3	18H~1FH

5) 溢出标志位 OV (Overflow): 可以指示运算过程中是否发生了溢出, 由机器执行指令过程中自动形成。若机器在执行运算指令过程中, 累加器 A 中运算结果超出了八位数能表示的范围, 则 OV 标志自动置 1; 否则 OV=0。因此, 人们根据执行运算指令后的 OV 状态就可判断累加器 A 中的结果是否正确。

6) 奇偶标志位 P (Parity): PSW1 为无定义位, 用户也可不使用。PSW0 为奇偶标志位 P 用于指示运算结果中“1”的个数的奇偶性。若 P=1, 则累加器 A 中“1”的个数为奇数; 若 P=0, 则累加器 A 中“1”的个数为偶数。

例 1-1 RS1RS0=00B, F0=0, A=85H, R0=20H, (20H)=AFH, 执行如下指令, PSW 中各位的状态是什么?

```
ADD  A, @R0
      1000 0101B
    +1010 1111B
    -----
      10011 0100B
```

在加法过程中, 低 4 位向高 4 位有进位, 所以 AC=1; 最高位有进位, 所以最高位进位 CP=1, 即 Cy=1; 次高位上无进位, 所以次高位进位 CS=0; 运算结果中 1 的个数为 3, 是奇数, 所以 P=1; OV 状态有如下关系确定:

$$OV = CP \oplus CS = 1 \oplus 0 = 1$$

所以 PSW=11000101B=C5H

程序计数器 PC (Program Counter): 程序计数器 PC 是一个二进制 16 位的程序地址寄存器。当 CPU 顺序执行指令时, 首先根据 PC 所指地址, 取出指令, 然后 PC 的内容自动加 1, 指向下一条指令的地址。只有在执行转移、子程序调用指令及中断响应时例外, 那时 PC 的内容不再加 1, 而是被自动置入新的地址。单片机上电复位或按键复位时, PC=0000H, CPU 就从 ROM 区 0000H 处开始执行程序。

堆栈指针 SP (Stack Pointer): SP 是一个 8 位寄存器, 能自动加 1 或减 1, 专门用来存放堆栈的栈顶地址。堆栈是一种能按“先进后出”或“后进先出”规律存取数据的内部 RAM 区域, 常称为堆栈区。8051 片内 RAM 共有 128 个字节, 地址范围为 00H~7FH, 故这个区域中的任何子域都可以用作堆栈区, 即作为堆栈来用。堆栈有栈顶和栈底之分, 栈底由栈底地址标识, 栈顶由栈顶地址指示。栈底地址是固定不变的, 它决定了堆栈在 RAM 中的物理位置; 栈顶地址始终在 SP 中, 即由 SP 指示, 是可以改变的, 它决定堆栈中是否存放有数据。因此, 当堆栈中空无数据时, 栈顶地址必定和栈底地址重合, 即 SP 中一定是栈底地址; 当堆栈中存放的数据越多, SP 中的栈顶地址比栈底地址越大。

数据指针 DPTR (Data Pointer): DPTR 是一个 16 位的寄存器, 由两个 8 位寄存器 DPH 和 DPL 拼装而成, 其中, DPH 为 DPTR 的高 8 位, DPL 为 DPTR 的低 8 位。DPTR 可以用来存放片内 ROM 的地址, 也可以用来存放片外 RAM 和片外 ROM 的地址。

3. I/O 端口

(1) 并行 I/O 端口 8051 有四个并行 I/O 端口, 分别命名为 P0、P1、P2 和 P3, 在这四个并行 I/O 端口中, 每个端口都有双向 I/O 功能。即 CPU 既可以从四个并行 I/O 端口中的任何一个输出数据, 又可以从它们那里输入数据。

P0 它的第一功能可以作为通用 I/O 口使用。它的第二功能和 P2 口引脚第二功能相配合, 用于输出片外存储器的低 8 位地址, 然后传送 CPU 对片外存储器的读写数据。

P1 口作通用 I/O 使用时, 用于传递用户的输入/输出数据。

P2 口的第一功能是作为通用 I/O 口使用。它的第二功能和 P0 口引脚第二功能相配合, 用于输出片外存储器的高 8 位地址。

P3 这组引脚的第一功能和其余三个端口的第一功能相同, 第二功能起控制作用, 如表 1-3 所示。

表 1-3 P3 口各位的第二功能

P3 口的位	第二功能	注释
P3.0	RXD	串行数据接收口
P3.1	TXD	串行数据发送口
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	外中断 0 输入
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	外中断 1 输入
P3.4	T0	计数器 0 计数输入
P3.5	T1	计数器 1 计数输入
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	外部 RAM 写选通信号
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	外部 RAM 读选通信号

(2) 串行 I/O 端口 一个全双工的可编程串行 I/O 端口。串行发送数据线 TXD, 串行数据接收线 RXD。在发送时, CPU 由一条写发送缓冲器的指令把数据写入串行口的发送缓冲器 SBUF 中, 然后从 TXD 端一位位地向外发送。与此同时, 接收端 RXD 也可一位位地接收数据, 直到收到一个完整的字符数据后通知 CPU, 再用一条指令把接收缓冲器中内容读入累加器。

4. 定时器/计数器

两个 16 位可编程序的定时器/计数器, 命名为 T0 和 T1, 具有四种工作方式。定时器/计数器 T0 由 TH0 和 TL0 构成, T1 由 TH1 和 TH1 构成。TMOD (定时器方式寄存器) 用于控制和确定各定时器/计数器的功能和工作模式。TCON 用于控制定时器/计数器 T0、T1 启动和停止计数, 同时包含定时器/计数器的状态。

5. 中断系统

中断是指计算机暂时停止源程序的执行转而为外部设备服务 (执行中断服务程序), 并在服务完成后自动返回源程序执行的过程。中断系统是指能够实现中断功能的硬件电路和软件程序。MCS-51 单片机中断系统有外部中断 0 ($\overline{\text{INT0}}$)、外部中断 1 ($\overline{\text{INT1}}$)、定时器 T0、T1 和串行口中断五个中断源, 中断源有高级和低级二级中断优先权。

1.2.2 单片机的存储器结构

8051 的存储器在物理结构上分为程序存储器 (ROM) 空间和数据存储器 (RAM) 空间, 共有四个存储器空间: 片内程序存储器和片外程序存储器空间以及片内数据存储器 and 片外数据存储器空间, 这种程序存储器和数据存储器分开的结构形式, 称为哈佛结构。

从用户使用角度, 8051 存储器地址空间分三类: 64KB 片内、片外统一编址的程序存储

器地址空间, 地址范围 0000H~FFFFH (用 16 位地址); 64KB 片外数据存储器地址空间, 地址范围 0000H~FFFFH (用 16 位地址); 基本型单片机, 如 8031/8051 有 128B 片内数据空间存储器地址空间, 地址范围 00H~7FH (用 8 位地址), 增强型单片机, 如 8052AH/8752H 有 256B 片内数据空间存储器地址空间, 地址范围 00H~FFH (用 8 位地址)。8051 单片机的存储器地址空间分配如图 1-4 所示。

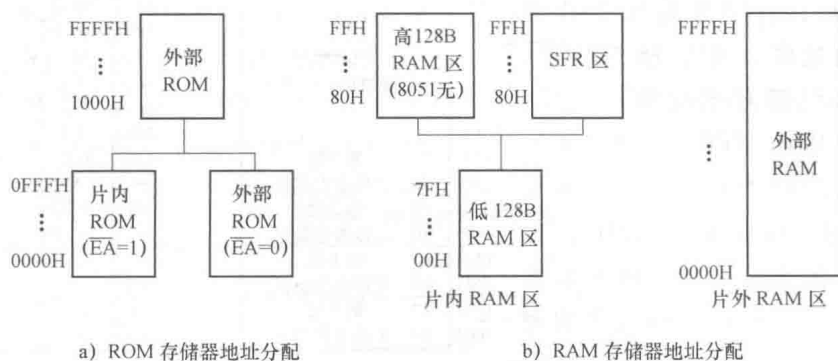


图 1-4 存储器空间分布图

上述三个存储空间的地址是重叠的, 如何区分这三个不同的逻辑空间呢? 8051 的指令系统设计了不同的数据传送指令符号: CPU 访问片内、片外 ROM 指令用 MOVC, 访问片外 RAM 指令 MOVX, 访问片内 RAM 指令用 MOV。

1. 程序存储器地址空间

程序存储器用于存放编好的程序和表格常数。程序存储器通过 16 位程序计数器寻址, 寻址能力为 64KB, 这使得指令能在 64KB 地址空间内任意跳转。8031 内部没有 ROM, 只有 8051 才有 4KB ROM, 地址范围为 0000H~0FFFH。无论 8031 还是 8051, 都可以外接 ROM, 但片内和片外之和不能超过 64KB。

当引脚 EA 接高电平时, 8051 的程序计数器 PC 在 0000H~FFFFH 范围内 (即前 4KB 地址) 执行片内 ROM 中的程序; 当指令地址超过 0FFFH 后, 就自动转向片外 ROM 中去取指令。

当引脚 EA 接低电平时 (接地), 8051 片内 ROM 不起作用, CPU 只能从片外 ROM/EPROM 中取指令, 地址可以从 0000H 开始编址。这种接法特别适用于采用 8031 单片机的场合。由于 8031 片内不带 ROM, 所以使用时必须使 $\overline{EA}=0$, 以便能够从片外扩展 EPROM (如 2764、2732) 中取指令。

2. 数据存储器地址空间

(1) 片内 RAM 片内数据存储器最大可寻址 256 个单元, 它们又分为两个部分, 低 128B (00H~7FH) 是真正的 RAM 区, 高 128B (80H~FFH) 为特殊功能寄存器 (SFR) 区, 如图 1-5 所示。

1) 工作寄存器区: 8051 的前 32 个单元 (地址 00H~1FH) 称为寄存器区。其中, 每 8 个寄存器形成一个寄存器组。通过对特殊功能寄存器 PSW 中 RS1、RS0 两位的编程设置, 可选择任一寄存器组为工作寄存器组, 方法如表 1-2 所示。

当某一组被设定成工作寄存器组后, 该组中的 8 个寄存器, 从低地址到高地址分别称为