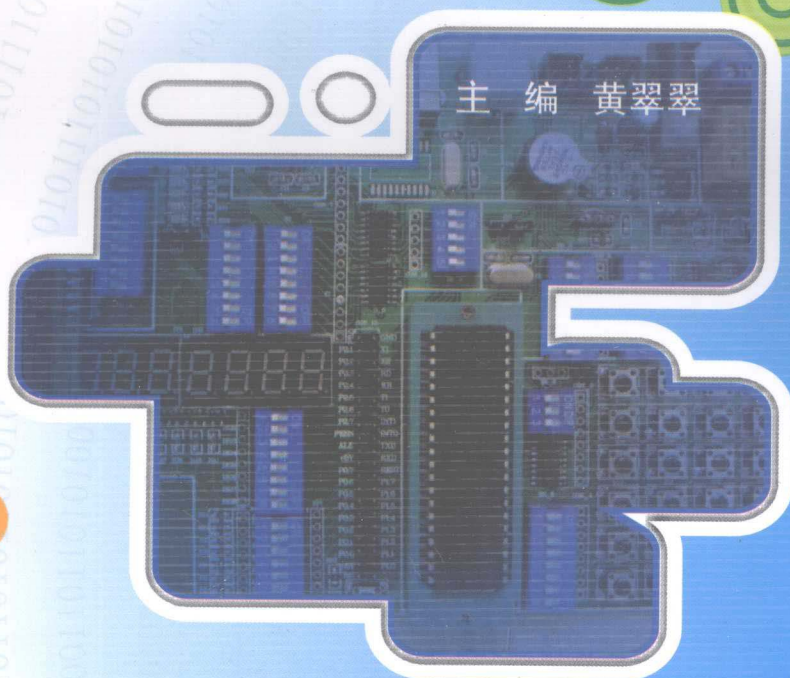




21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

MCS-51单片机原理及应用

主 编 黄翠翠



内容安排由浅入深、易学易懂
实例设置丰富多彩、活学活用
设计部分源于实践、自主开发



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

013068158

TP368. 1-43
280

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

MCS-51 单片机原理及应用

黄翠翠 主 编

余良俊 杜丽芳 王立谦 副主编



北航

C1675690



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TP368.1-43
280

内 容 简 介

本书主要介绍 MCS-51 系列单片机的组成结构、工作原理及应用实例。本书共分为 8 章, 分别介绍了 MCS-51 单片机的结构及原理、开发流程、C51 基础, 以及 MCS-51 单片机的中断系统、定时/计数器、串行通信接口的功能及应用, 另外还介绍了 MCS-51 单片机常用的输入输出设备, 常用外围设备芯片的功能、使用方法及与单片机的接口方式等。各章均附有习题, 第 4~8 章附有设计实例。

本书可作为高等院校自动化、计算机及电子类相关专业“单片机原理及应用”课程教材及相关课程设计的参考用书, 还可供相关专业工程技术工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

MCS-51 单片机原理及应用/黄翠翠主编. —北京: 北京大学出版社, 2013.8

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-22882-1

I. ①M… II. ①黄… 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(2013)第 164954 号

书 名: MCS-51 单片机原理及应用

著作责任者: 黄翠翠 主编

策划编辑: 郑 双

责任编辑: 郑 双

标准书号: ISBN 978-7-301-22882-1/TP · 1296

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 399 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

单片机从诞生至今已有 40 多年的历史。这 40 多年来,单片机对自动控制、电子信息及通信工程等学科领域中的信息传输与控制有着革命性的突破,同时随着现代超大规模集成电路的发展,单片机的功能与运行速度也不断与时俱进、不断创新,衍生出了许多新的技术分支,如嵌入式技术、SOPC 技术等。

一方面,单片机技术目前仍然被应用于各个控制领域,小到儿童玩具、家用电器,大到汽车、船舶、飞机等;另一方面,单片机中的许多技术知识,如定时器、中断控制、并口、串口、A/D 转换、D/A 转换等,是进一步深入学习嵌入式技术、SOPC 技术的基础。因此,“单片机原理及应用”这门课程是电子类专业学生必须学习和掌握的专业课程。

C 语言是当今各领域控制系统中被广泛使用的语言,不但用于一般计算机的编程,而且在各种单片机、嵌入式技术、SOPC 技术的使用上也必不可少。因此,本书以 C 语言为主线,对单片机各个模块和接口电路的软件程序开发做出了详细讲解。

编者在编写过程中,根据现代单片机技术的发展现状和研究成果,基于课堂教学和实践教学经验,汲取国内相关教材特色,秉承由易到难、深入浅出、突出重点的原则,对每个知识点均举例旁证,注意理论与实践相结合,并特别设置了“设计与提高”部分,结合实际应用列举不同的综合设计实例,详细分析设计过程并提出改进思考,重点培养学生的应用开发能力。

本书详细介绍了 MCS-51 单片机的组成结构及应用技术,共分为 8 章。第 1 章简单介绍 MCS-51 单片机的结构及原理,包括单片机的基本概念、发展历程、MCS-51 单片机的特点、基本组成部分、工作方式等;第 2 章主要介绍 Keil C51 软件平台及单片机程序开发流程,包括工程文件的建立、工程编译、软件调试、软件仿真及下载方式等;第 3 章主要介绍 C51 基础,包括 C51 的特点、优势、与 C 语言的区别、数据、运算符及基本结构等;第 4 章详细介绍 MCS-51 单片机的中断系统,包括中断响应过程、优先级排序、优先级控制、外部中断源功能及使用实例等;第 5 章详细介绍 MCS-51 单片机的定时/计数器,包括定时/计数器 0、1、2 的结构、工作原理、控制方式、工作方式等;第 6 章详细介绍 MCS-51 单片机的串行通信接口,包括串行通信接口标准、结构及功能等;第 7 章介绍 MCS-51 单片机常用的输入输出设备及接口,包括键盘、LED 数码管、LCD1602 与单片机的接口及工作方式等;第 8 章介绍 MCS-51 单片机常用的几种外围设备芯片,包括 A/D、D/A 转换芯片 DAC0832、ADC0809、串行日历时钟芯片 DS1302、数字温度传感器 DS18B20 芯片的功能、与单片机的接口方式及工作原理等。本书内容丰富,实例众多,每章后均附有习题。

本书由黄翠翠担任主编,负责全书统稿工作,由余良俊、杜丽芳、王立谦担任副主编。中国地质大学江城学院侯自良教授对全书进行了认真审阅,提出许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2013 年 3 月

目 录

第 1 章 MCS-51 单片机的结构及原理..... 1	
1.1 单片机基本知识..... 2	
1.1.1 单片机的基本概念 2	
1.1.2 单片机的发展历程 3	
1.1.3 单片机的实际应用 4	
1.1.4 信息在单片机中的表示 5	
1.2 MCS-51 单片机..... 6	
1.2.1 MCS-51 单片机的 51 子系列... 7	
1.2.2 MCS-52 子系列..... 7	
1.3 MCS-51 单片机的基本组成部分 8	
1.3.1 CPU 系统..... 8	
1.3.2 CPU 外围单元..... 12	
1.3.3 基本功能 19	
1.4 MCS-51 单片机的芯片封装及引脚	
功能 20	
1.4.1 MCS-51 单片机芯片封装..... 20	
1.4.2 MCS-51 单片机的芯片封装及	
引脚功能 21	
1.5 MCS-51 单片机的工作方式..... 22	
1.5.1 复位方式 22	
1.5.2 程序执行方式 23	
1.5.3 低功耗方式 23	
习题..... 24	
第 2 章 Keil C51 简介及单片机程序	
开发流程..... 26	
2.1 Keil C51 软件简介..... 27	
2.1.1 Keil μ Vision4 集成开发环境... 27	
2.1.2 建立工程文件 29	
2.1.3 工程项目的编译 32	
2.1.4 工程项目的调试 33	
2.2 单片机程序开发流程..... 34	
2.2.1 建立工程 34	
2.2.2 编译并生成可执行文件 36	
2.2.3 软件仿真 37	
2.2.4 程序下载 39	
习题 42	
第 3 章 C51 基础 43	
3.1 C 语言与 MCS-51 单片机..... 44	
3.1.1 C 语言的特点 44	
3.1.2 C51 编程语言的优势 45	
3.2 C51 的数据 46	
3.2.1 C51 的数据类型 46	
3.2.2 C51 数据的存储类型 50	
3.3 C51 的运算符及优先级 54	
3.3.1 C51 的运算符 54	
3.3.2 运算符的优先级 58	
3.4 C51 的基本结构与相关语句 59	
3.4.1 C51 的基本结构 59	
3.4.2 C51 的相关语句 60	
3.5 C51 的子函数的定义及调用 65	
3.5.1 子函数的定义 66	
3.5.2 子函数的调用 67	
习题 69	
第 4 章 MCS-51 单片机的中断系统..... 70	
4.1 中断的基本概念及主要功能 71	
4.1.1 中断的概念 71	
4.1.2 中断的主要功能 73	
4.2 MCS-51 单片机中断系统 73	
4.2.1 中断源 73	
4.2.2 中断允许控制 75	
4.2.3 中断优先级 75	
4.2.4 中断处理过程 77	
4.3 MCS-51 中断编程实例 79	
4.3.1 外部中断 0 与外部中断 1 79	
4.3.2 外部中断源的中断嵌套 84	
4.3.3 查询方式实现中断 86	
4.4 设计与提高 88	



4.4.1 水库水位监测器设计	88
4.4.2 8 位抢答器设计	90
习题	92
第 5 章 MCS-51 单片机的 定时/计数器	94
5.1 定时/计数器的结构及工作原理	95
5.1.1 定时/计数器的结构	95
5.1.2 定时/计数器的工作原理	96
5.2 定时/计数器的控制及方式寄存器	97
5.2.1 定时/计数器的控制寄存器	97
5.2.2 定时/计数器的方式寄存器	98
5.3 定时/计数器的工作方式	100
5.3.1 定时/计数器 0、1 的 工作方式	100
5.3.2 定时/计数器 2 的工作方式	103
5.4 定时/计数器编程实例	107
5.4.1 定时/计数器 0、1 编程实例	107
5.4.2 定时/计数器 2 编程实例	112
5.4.3 查询方式实现定时/计数器 中断	115
5.5 设计与提高	115
5.5.1 作息时间控制时钟设计	115
5.5.2 交通控制灯设计	120
习题	123
第 6 章 MCS-51 单片机的串行 通信接口	124
6.1 串行通信概述	125
6.1.1 串行通信的分类	126
6.1.2 串行通信的数据传输格式	126
6.1.3 波特率	127
6.2 串行通信接口标准	127
6.2.1 RS-232C 标准	128
6.2.2 串口通信连接方式	130
6.3 MCS-51 单片机串口结构与 工作方式	131

6.3.1 MCS-51 单片机的 串口结构	131
6.3.2 串口控制寄存器 SCON	131
6.3.3 串口工作方式	133
6.4 串口应用编程实例	136
6.4.1 串口方式 0 编程实例	136
6.4.2 串口方式 1 编程实例	140
6.4.3 串口方式 2 和方式 3 编程实例	143
6.5 设计与提高	152
习题	155
第 7 章 MCS-51 单片机常用 输入输出设备	156
7.1 输入设备	157
7.1.1 开关和按键	157
7.1.2 键盘	159
7.2 输出设备	165
7.2.1 LED	165
7.2.2 LED 数码管	165
7.2.3 LCD	172
7.3 输入输出控制	186
7.4 设计与提高	192
7.4.1 简易计算器设计	192
7.4.2 简易密码锁设计	198
习题	204

第 8 章 MCS-51 单片机常用外围 设备芯片与接口电路	205
8.1 D/A 转换芯片	206
8.1.1 D/A 转换器	206
8.1.2 D/A 转换芯片 DAC0832	208
8.1.3 DAC0832 与 MCS-51 单片机的接口电路	210
8.2 A/D 转换芯片	215
8.2.1 A/D 转换器	215
8.2.2 A/D 转换芯片 ADC0809	217
8.2.3 ADC0809 与 MCS-51 单片机的接口电路	219

8.5 设计与提高	243
8.5.1 测速器设计	243
8.5.2 多路数字电压表设计	247
8.5.3 电子日历设计	252
8.5.4 数字温度计设计	257
习题	262

参考文献.....264

第1章

MCS-51 单片机的结构及原理



学习目标

了解单片机的基本概念、发展历程及应用范围；

熟悉 MCS-51 单片机的特点；

熟悉 MCS-51 单片机的基本组成部分；

掌握 MCS-51 单片机的各引脚功能；

掌握 MCS-51 单片机的工作方式。



教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
单片机基本知识	(1) 熟悉单片机的发展历程 (2) 了解单片机的应用范围 (3) 掌握信息在单片机中的表示方法	单片机的概念； 单片机发展历史； 数据的原码、反码、补码的表示方式
MCS-51 单片机的特点	(1) 掌握 51 子系列单片机的特点 (2) 熟悉 52 子系列单片机的特点	CPU 的组成及功能； 存储器结构
MCS-51 单片机的结构	(1) 熟悉 MCS-51 单片机的各组成部分 (2) 熟悉 MCS-51 单片机的各功能模块	CPU、时钟系统、指令控制时序； ROM、RAM、I/O 口； 中断功能、定时/计数功能、串行通信功能
MCS-51 单片机的各引脚功能	(1) 掌握 MCS-51 单片机的芯片封装形式 (2) 掌握 MCS-51 单片机的各引脚功能	
MCS-51 单片机的工作方式及工作时序	(1) 掌握 MCS-51 单片机的复位方式 (2) 熟悉 MCS-51 单片机的程序执行方式 (3) 熟悉 MCS-51 单片机的低功耗方式	



单片机的诞生

在数字计算机诞生前,为了完成简单的计算和控制任务,人们发明了使用电子管、电容、电感线圈、电阻等基础电子元器件搭建而成的模拟计算机,采用电压连续变换的模拟信号为控制信号,而不是 1、0 这样的数字信号。虽然模拟计算机体积巨大,功能简单,操作复杂,但在计算机技术发展早期也取得了广泛的应用,同时也为计算机后期发展奠定了坚实的基础。例如,在 20 世纪 80 年代第 5 次中东战争时,一些国家使用的全自动自行防空炮就是采用模拟计算机来实现飞机轨迹的计算,并控制火炮射击目标。1937 年,第一台用继电器表示二进制的二进制电子计算机从 Bell 试验室产生之后,计算机技术飞速发展,特别是在集成电路出现之后,其高度的集成性,使计算机体积更小、速度更快、故障更少。人们开始制造革命性的微处理器并在此基础上开发出面向用户的个人计算机。计算机技术经过多年的积累,终于驶上了用硅铺就的高速公路。

虽然个人计算机功能强大,但当我们需要用一個装置实现某些特定的控制功能(如室内温度自动调节或洗衣机自动洗衣程序)时,个人计算机就显得笨重而昂贵了。在这种情况下,一种微型计算机应运而生,大的有几千平方厘米,小的比米粒还小,这就是“单片机”,全称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)。与 CPU 芯片不同的是,虽然单片机也是一个芯片,但其集成了包括 CPU、ROM、RAM、通用 I/O 口等基本单元,甚至还包括 A/D 转换电路、无线传输电路、视频解码电路等复杂功能模块,使得单片机功能变得非常强大,仅需简单外部电路即可实现复杂控制操作。

单片机是大规模集成技术发展的直接产物,在工业、民用家电、军事等方面有着极其广泛的应用。MCS-51 单片机是目前使用最为广泛、也是最具代表性的一种单片机。本章主要介绍 MCS-51 单片机的组成结构及工作原理。

1.1 单片机基本知识

1.1.1 单片机的基本概念

单片机应工业测控而诞生,其结构与指令功能主要是按照工业控制要求设计的,故又称单片微控制器(Single Chip Microcontroller, SCM),在工业控制及日常生活中占据了很重要的位置。

根据冯·诺依曼提出的计算机经典结构,计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成。当其工作时,CPU(运算器、控制器)按照严格的时序从存储器中取指、译码、执行指令,使得信号通过数据总线在 CPU 和存储器及 I/O 口之间传递。单片机实际上就是一块在硅片上集成了各种部件的微型计算机,这些部件包括 CPU、数据存储器 RAM,程序存储器 ROM,定时/计数器和多种接口电路。因此,只要单片机有了简单的供电、时钟信号输入,它即可以类似个人计算机一样运行起来,实现程序的执行。

单片机种类繁多,主要有以下几种分类方式。

(1) 按照其处理数据的位数来分,可以分为 4 位单片机、8 位单片机、16 位单片机、32 位单片机等。4 位单片机一次只能处理 4 位二进制数,能够实现一些简单的控制功能;8 位单片机是当前单片机的主流,具有较强的控制功能,在工业控制、智能仪表、家电、玩具等领域得到广泛应用;16 位单片机的运算速度高于 8 位单片机,通常内置 A/D、D/A



转换电路,有较强的寻址能力;32位单片机具有极高的运算速度,处理能力强大,目前应用广泛的嵌入式操作系统基本上就在32位单片机上实现。

(2) 按照使用范围可分为通用型单片机与专用型单片机。通用型单片机具有比较丰富的内部资源,性能全面且适应性强,可满足多种应用需求,它把可开发资源(如ROM、I/O口等)全部提供给使用者,并不是为某一种专门用途而设计的单片机。专用型单片机是针对某一类产品,甚至某个产品需要而设计、生产的单片机,针对性强且数量巨大。

(3) 按照对温度的适应能力,可以分为民用级或商业级、工业级及军用级单片机。民用级或商业级单片机适用于机房和一般办公环境,温度适应能力在 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ 之间;工业级单片机适用于工厂和工业控制中,温度适应能力在 $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ 之间;军用级单片机适用于环境条件苛刻、温度变化极大的野外作业,温度适应能力在 $-65\sim 125^{\circ}\text{C}$ 之间。

(4) 按照是否提供并行总线分为总线型与非总线型单片机。总线型单片机设置有DB(Data Bus)、AB(Address Bus)、CB(Control Bus)3种引脚,用于扩展并行外围器件;非总线型单片机的外围器件通过串行接口(以下简称“串口”)连接。

(5) 按照含有的ROM形式分为ROM(Mask ROM)型、EPROM(Erasable Programmable ROM)型或EEPROM(Electrical Erasable Programmable ROM)型、无ROM型、OTP(One Time Programmable)ROM型、Flash ROM(MTPROM)型单片机。ROM型单片机指内含厂家已用掩膜编好程序的ROM,其中的程序已在出厂前固化好,不可改变,属专用型单片机;EPROM型或EEPROM型单片机指可实现紫外线擦除或电擦除的可编程ROM,属通用型单片机,EPROM芯片带有透明窗口,可通过紫外线擦除存储器中的程序代码,用户可将自己的程序写入其中;无ROM型单片机需外接EPROM或EEPROM;OTPROM型单片机指用户可通过专用写入器将应用程序写入OTPROM中,但只允许写入一次;Flash ROM型指可由用户多次编程写入的程序存储器,与EPROM相比,不需紫外线擦除,成本低,开发调试十分方便,能满足一般应用系统要求。

尽管单片机的种类繁多,但目前我国使用最广泛的是Intel公司生产的MCS-51系列单片机,因此本书以介绍MCS-51为主。

1.1.2 单片机的发展历程

单片机虽然历史非常短暂,但发展十分迅猛。自1971年美国Intel公司首先研制出4位单片机4004以来,单片机的发展大致分为5个阶段。

第一阶段(1971—1976年):萌芽阶段,发展了各种4位单片机。其多用于家用电器、计算器、高级玩具等。

典型代表:美国Fairchild公司生产的F8 4位单片机。

第二阶段(1976—1980年):初级8位机阶段,发展了各种低档8位单片机。

典型代表:Intel公司的MCS-48系列单片机,此系列的单片机在片内集成了8位CPU、多个并行I/O口、一个8位定时/计数器、RAM等,无串行I/O口,寻址范围不大于4KB。其功能可以满足一般工业控制和智能化仪器仪表的需要,这时将单片机推向市场,促进了单片机的变革。

第三阶段(1980—1983年):高性能单片机阶段,发展了各种高性能8位单片机。



以 MCS-51 系列为代表, 这个系列的单片机均带有串行 I/O 口, 具有多级中断处理系统, 多个 16 位定时/计数器, 片内 RAM 和 ROM 容量相对增大, 且寻址范围可达 64KB。这一阶段进一步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, 并挤入个人计算机领域, 所以该类单片机的应用领域极其广泛, 又由于其优良的性价比, 特别适合我国的国情, 故在我国得到广泛的应用, 是目前应用数量较多的单片机。

第四阶段(1983—1986 年): 16 位微控制器阶段, 发展了 MCS-96 系列等 16 位单片机。

除了 CPU 为 16 位之外, 片内 RAM 和 ROM 容量进一步增大, 片内 RAM 增加为 232B, ROM 为 8KB, 且带有高速输入/输出部件、多通道 10 位 A/D 转换器, 具有 8 级中断等。其网络通信能力提高, 且可用于高速的控制系统。近年来, 16 位单片机已进入实用阶段。

第五阶段(1986 年至今): 32 位微控制器阶段。

1986 年, 英国 Inmos 公司推出 32 位 IMST414 单片机; 1990 年 2 月, 美国推出 i80860 32 位超级单片机, 轰动了整个计算机界, 它的运算速度为 1.2 亿次/秒, 可进行 32 位整数运算, 64 位浮点运算, 同时片内具有一个三维图形处理器, 可构成超级图形工作站, 随着半导体技术的发展, 巨型计算机单片化将成为现实, 但此类使用不多。

1.1.3 单片机的实际应用

由于单片机体积小, 稳定性好, 因此被应用在生产、生活等领域。

1. 智能仪器仪表

单片机用于各种仪器仪表, 一方面提高了仪器仪表的使用功能和精度, 使仪器仪表智能化, 同时还简化了仪器仪表的硬件结构, 从而可以方便地完成仪器仪表产品的升级换代, 如各种智能电气测量仪表、智能传感器(煤气检测仪)等。

2. 机电一体化产品

机电一体化产品是集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体, 具有智能化特征的各种机电产品。单片机在机电一体化产品的开发中可以发挥巨大的作用。典型产品有机器人、数控机床、自动包装机、点钞机、医疗设备、打印机、传真机、复印机等。

3. 实时工业控制

单片机还可以用于各种物理量的采集与控制。电流、电压、温度、液位、流量等物理参数的采集和控制均可以利用单片机方便地实现。在这类系统中, 利用单片机作为系统控制器, 可以根据被控对象的不同特征采用不同的智能算法, 实现期望的控制指标, 从而提高生产效率和产品质量。典型应用有电机转速控制(汽车)、温度控制、自动生产线等。

4. 家用电器

家用电器是单片机的又一重要应用领域, 前景十分广阔, 如空调器、电冰箱、洗衣机、电饭煲、高档洗浴设备、高档玩具等。

另外, 在交通领域中, 汽车、火车、飞机、航天器等均有单片机的广泛应用, 如汽车自动驾驶系统、航天测控系统、“黑匣子”等。



1.1.4 信息在单片机中的表示

1. 数在单片机中的表示

在计算机中,对于带符号数来说,一般由原码、反码和补码表示。

1) 原码

对于带符号数来说,用最高位表示数的正负,其余各位表示数的绝对值。这种表示方法为原码表示法。例如,56H 表示为“0 1010110”,-56H 表示为“1 1010110”。

原码表示简单易懂,但若计算两个数相减或者两个异号数相加,就相对麻烦,为了简化计算机结构,引入了反码和补码。

2) 反码

带符号数也可以用反码表示,反码与原码的关系是:正数的原码与反码相同,而负数的反码等于对应的正数按位取反。例如, $[56H]_{\text{反}} = [56]_{\text{原}} = 0\ 1010110$; $[-56H]_{\text{反}} = 1\ 0101001$ 。

3) 补码

补码的定义为:正数的补码与反码、原码相同;负数的补码等于它的反码加1。例如,求-23H 的补码过程如下:正数 23H 的原码为 0 0100011,按位取反后为 1 1011100,即-23H 的反码,反码加1后为 1 1011101,此即为-23H 的补码。8 位二进制的补码范围为-128~-+128,而 16 位二进制的补码范围为-32 768~+32 768。

计算机内带符号数不用原码表示的原因是:用原码表示时,0 的原码并不唯一:0 可以表示为 0 0000000(+0)和 1 0000000(-0),这会造成混乱;此外,用原码或反码表示时,减法不能转换为加法运算,而用补码可以将减法转化为加法运算。

【例 1.1】 $34-68=34+(-68)=-34$

$34=0010\ 0010B \quad 68=0100\ 0100B \quad [-68]_{\text{补}}=1011\ 1100B$	$0010\ 0010$
做减法: $\begin{array}{r} 0010\ 0010 \\ - 0100\ 0100 \\ \hline 11101\ 1110 \end{array}$	用补码做加法: $\begin{array}{r} 0010\ 0010 \\ + 1011\ 1100 \\ \hline 1101\ 1110 \end{array}$

注:8 位二进制不能存放第八位 1,从而最高位 1 自然丢失。

可见,在 8 位二进制中,22H-44H 的结果与 22H+BCH 相同,即引入补码后减法可以用加法来完成。

2. 字符在单片机中的表示

由于计算机只能处理二进制数,因此除了数值本身需要用二进制数形式表示外,字符(包括数码 0~9)、字母(包括 A~Z 和 a~z)及特殊符号(如%、!、+、-等)等也必须用二进制表示,即在计算机中将数码、字母、特殊符号等代码化以便计算机识别、存储和处理。

现在的计算机中字符数据的编码通常采用的是美国信息交换标准代码 ASCII 码(American Standard Code for Information Interchange)。基本 ASCII 码标准定义了 128 个字符,用 7 位二进制来编码,包括英文 26 个大写字母、26 个小写字母、10 个数字符号 0~9,还有一些专用符号(如“:”、“!”、“%”)及控制符号(如换行、换页、回车等)。常用字符的 ASCII 码如表 1-1 所示。



表 1-1 常用字符的 ASCII 码(用十六进制数表示)

字符	ASCII	字符	ASCII	字符	ASCII	字符	ASCII	字符	ASCII
NUL	00	.	2F	C	43	W	57	k	6B
BEL	07	0	30	D	44	X	58	l	6C
LF	0A	1	31	E	45	Y	59	m	6D
FF	0C	2	32	F	46	Z	5A	n	6E
CR	0D	3	33	G	47	[	5B	o	6F
SP	20	4	34	H	48	\	5C	p	70
!	21	5	35	I	49	]	5D	q	71
"	22	6	36	J	4A	↑	5E	r	72
#	23	7	37	K	4B	'	5F	s	73
\$	24	8	38	L	4C	←	60	t	74
%	25	9	39	M	4D	a	61	u	75
&	26	:	3A	N	4E	b	62	v	76
'	27	;	3B	O	4F	c	63	w	77
(	28	<	3C	P	50	d	64	x	78
)	29	=	3D	Q	51	e	65	y	79
*	2A	>	3E	R	52	f	66	z	7A
+	2B	?	3F	S	53	g	67	{	7B
,	2C	@	40	T	54	h	68		7C
-1	2D	A	41	U	55	i	69	}	7D
/	2E	B	42	V	56	j	6A	~	7E

计算机中一般以字节(B)为单位,而 8 位二进制表示一个字节,字符 ASCII 码通常放于低 7 位,高位一般补 0,在通信时,最高位常用做奇偶校验位。

1.2 MCS-51 单片机

常用的 8 位单片机有 3 个系列: AVR、PIC、51。其中应用最广泛的 8 位单片机首推 Intel 的 MCS-51 系列。这一系列单片机包含了很多种类,如 8031、8051、8751、8951、8032、8052、8752、8952 等,其技术参数如表 1-2 所示。其中名称中含有“C”符号的芯片指采用了 CHMOS 工艺,无“C”符号的芯片采用了 HMOS 工艺。

表 1-2 MCS-51 系列单片机技术参数

子系列	片内 ROM 形式				片内	片内	寻址	I/O 特性			中断源
	无	ROM	EPROM	Flash	ROM/KB	RAM/B	范围/KB	定时器	并口	串口	
51 子系列	8031	8051	8751	8951	4	128	2×64	2×16	4×8	1	5
	80C31	80C51	87C51	89C51	4	128	2×64	2×16	4×8	1	5

续表

子系列	片内 ROM 形式				片内 ROM/KB	片内 RAM/B	寻址 范围/KB	I/O 特性			中断源
	无	ROM	EPROM	Flash				定时器	并口	串口	
52 子系列	8032	8052	8752	8952	8	256	2×64	3×16	4×8	1	6
	80C32	80C52	87C52	89c52	8	256	2×64	3×16	4×8	1	6

一般将 MCS-51 系列单片机分为 51 子系列和 52 子系列, 51 系列是指标准型 51 单片机系列, 而 52 系列则是指增强型 51 单片机系列。通过表 1-2 可以看出, 52 子系列在 51 子系列增加或者增强了一些功能, 而且与 51 系列完全兼容。

MCS-51 系列单片机 8051 是最早、最典型的产品, 该系列其他单片机都是在 8051 的基础之上经过功能的增减或改进而来, 因此通常所说的 8051 或者 51 单片机是指一切以 8051 为内核的单片机, 而不仅仅指 Intel 的 8051 这一特定型号。

1.2.1 MCS-51 单片机的 51 子系列

MCS-51 单片机的 51 子系列具有以下特点: 8 位 CPU; 4KB 程序存储器(ROM); 128KB 的数据存储器(RAM); 1 个时钟电路; 32 条 I/O 口线; 2 个可编程 16 位定时/计数器; 5 个中断源, 2 个优先级; 一个全双工串行通信口; 单一+5V 电源供电。

51 子系列单片机的结构如图 1.1 所示, 其中 CPU 主要由运算器和控制器组成。程序存储器 ROM 用以存放程序、一些原始数据和表格。数据存储器 RAM 用以存放可以读写的数据, 如运算的中间结果、最终结果及欲显示的数据等。并行 I/O 口包括 4 组 8 位并行 I/O 口, 既可用做输入, 也可用做输出。定时/计数器既可以工作在定时模式实现定时功能, 也可以工作在记数模式实现计数功能。中断系统能够实现中断信号的检测及响应。一个全双工通用异步接收/发送装置(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART)的串行 I/O 口, 用于实现单片机之间或单片机与微机之间的串行通信。各组成部分通过内部单一总线相连。

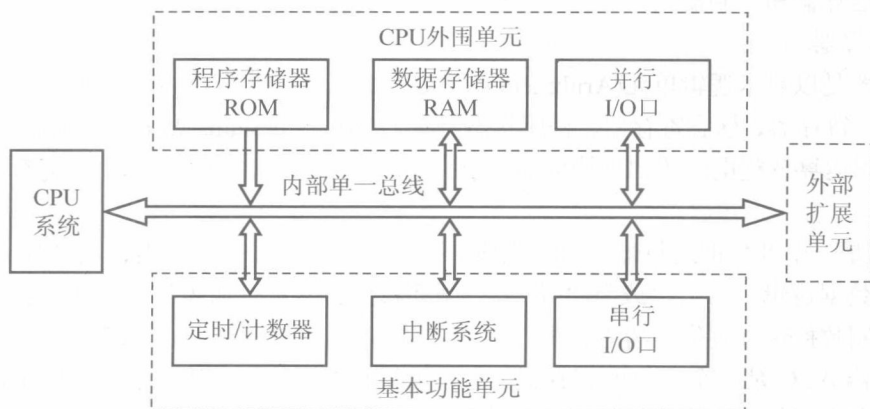


图 1.1 MCS-51 单片机的 51 子系列的结构

1.2.2 MCS-52 子系列

MCS-51 单片机的 52 子系列为 51 子系列的增强系列, 其与 51 子系列相比, 除以下几



点外,其他均与 51 子系列相同:8KB 程序存储器;256KB 的数据存储器(RAM);3 个可编程定时/计数器;6 个中断源。

由于这些不同特性,它在应用上与 51 子系列不同之处如下。

(1) 内部 ROM 增加了 4KB,总计 8KB,相应地,如果外扩程序存储器,则从 2000H 开始从外部取址。

(2) 增加了 128B 的内部 RAM,地址从 80H~FFH。使用时这 128B 地址因为与特殊功能寄存器地址重叠,所以只能采用间接寻址的方式读写。

(3) 增加了定时/计数器 2,而且该定时器也可用做波特率发生器,具备 16 位自动重装和捕获能力。

(4) 相应地增加了定时/计数器 2 中断。

(5) 增加了有关定时器 2 的特殊功能寄存器 T2MOD、T2CON、RCAP2L、RCAP2H、TH2、TL2 等,还有诸如 T2、ET2 等控制位。

1.3 MCS-51 单片机的基本组成部分

MCS-51 系列单片机主要由 CPU 系统、CPU 外围单元、基本功能单元组成。下面分别介绍其基本构成。

1.3.1 CPU 系统

MCS-51 单片机的 CPU 系统主要包括 CPU、时钟系统和指令控制时序。

1. CPU

CPU 是专门为面向测控对象、嵌入式应用特点而设计的,是有突出控制功能的指令系统,包含运算器和控制器。

1) 运算器

运算器是以算术逻辑单元(Arithmetic-Logic Unit, ALU)为核心,由累加器 ACC、通用寄存器 B、暂存器、标志寄存器、程序状态寄存器(Program Status Word, PSW)布尔处理器及 BCD 码运算调整电路等部件构成的,能够实现算术运算、逻辑运算、位运算、数据传输等处理。

ALU 是一个 8 位的运算器,可以完成 8 位二进制数据加、减、乘、除等算术运算,8 位二进制数据逻辑“与”、“或”、“异或”、循环移位、求补、清零等逻辑运算,还能够对一位二进制数据进行置位、清零、求反、测试转移及位逻辑“与”、“或”等处理。

累加器 ACC 是一个 8 位的寄存器,它通过暂存器和 ALU 相连,是 CPU 中最繁忙的寄存器。在进行算术、逻辑运算时,运算器的一个输入多为累加器 ACC 的输出,而运算结果又大多数送到累加器 ACC 中。在 MCS-51 指令系统中,绝大多数指令中都要求累加器 ACC 参与处理。

通用寄存器 B 称为辅助寄存器,是专门为乘法和除法设置的寄存器,也是一个二进制 8 位寄存器,由 8 个触发器组成,一般与累加器 ACC 联合使用。该寄存器在做乘法或



除法前, 用来存放乘数或除数, 在乘法和除法完成后用于存放乘积的高 8 位或除法的余数。例如, 除法指令中, 被除数取自累加器 ACC, 除数取自通用寄存器 B, 运算后商存放于 ACC 中, 余数存放于通用寄存器 B 中。

PSW 是一个 8 位的寄存器, 用于保存指令执行结果的状态, 以供程序查询和判别。其各位的定义如表 1-3 所示。

表 1-3 PSW 的格式

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
PSW	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

CY: 进位标志位。在执行算术运算和逻辑运算指令时, 用于记录最高位的进位或借位。例如, 对 8 位数据进行加法运算时, 若运算结果的最高位 D7 位有进位, 则 CY 置位, 否则 CY 清零; 进行减法运算时, 若被减数比减数小, 不够减, 需借位, 则 CY 置位, 否则 CY 清零。另外, 也可通过逻辑指令使 CY 置位或清零。

AC: 辅助进位标志位。它用于记录在进行加法和减法运算时, 低 4 位向高 4 位是否有进位或借位。当有进位或借位时, AC 置位, 否则 AC 清零。

F0: 用户标志位。它是系统预留给用户自己定义的标志位, 可以用软件使它置位或清零。在编程时, 也可以通过软件测试 F0 来控制程序的流向。

RS1、RS0: 寄存器组选择位。可用软件对其置位或清零, 用于从 4 组工作寄存器中选定当前的工作寄存器组, 选择情况如表 1-4 所示。

表 1-4 RS1 和 RS0 工作寄存器组的选择

RS1	RS0	工作寄存器组(地址)
0	0	0 组(00H~07H)
0	1	1 组(08H~0FH)
1	0	2 组(10H~17H)
1	1	3 组(18H~1FH)

OV: 溢出标志位。在加法或减法运算时, 若运算结果超出 8 位二进制数的范围, 则 OV 置 1, 标志溢出, 否则 OV 清零。一般而言, OV 与 CY 的值在进行无符号数运算时保持一致, 但进行有符号数运算时则不一定一致。例如, 计算有符号数 $(-1)+(-1)$, 结果为“-2”, 此时未发生溢出, 因此 OV 为 0, 但最高位 D7 有进位, 因此 CY 为 1。

P: 奇偶标志位。它用于记录指令执行后累加器 A 中 1 的个数的奇偶性。若累加器 A 中 1 的个数为奇数, 则 P 置位, 若累加器 A 中 1 的个数为偶数, 则 P 清零。

PSW 的次低位未定义, 可供用户使用。

2) 控制部件

控制部件是单片机的控制中心, 包括定时和控制电路、指令寄存器、指令译码器、程序计数器(Program Counter, PC)、堆栈指针(Stack Point, SP)、数据指针(Data Point Register, DPTR)及信息传送控制部件等。它先以振荡信号为基准产生 CPU 的时序, 从 ROM 中取出



指令到指令寄存器,然后在指令译码器中对指令进行译码,产生执行指令所需的各种控制信号,送到单片机内部的各功能部件中,指挥各功能部件产生相应的操作,完成对应的功能。

2. 时钟系统

时钟系统主要用于满足 CPU 及片内各单元电路对时钟的要求,对 80C51 单片机还要满足功耗管理对时钟系统电路的可控要求。

8051 时钟电路主要有两种设计方式:内部时钟方式及外部时钟方式。

内部时钟方式电路如图 1.2 所示,通过 8051 片内设的一个由反向放大器所构成的振荡电路和外接的定时元件,使内部振荡电路产生自激振荡,从而产生时钟信号。定时元件通常采用石英晶体和电容组成的并联谐振回路。晶振可以在 1.2~12MHz 之间选择,电容值在 5~30pF 之间选择,电容的大小可起频率微调作用。

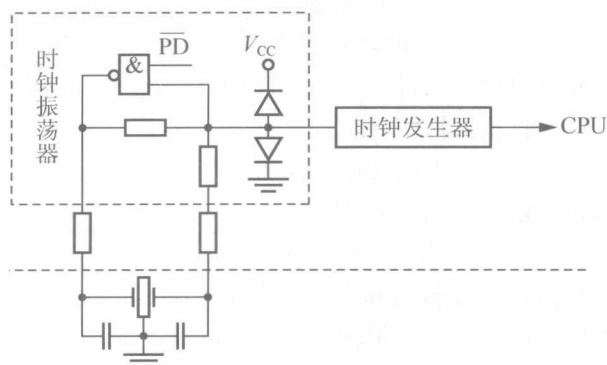


图 1.2 内部时钟方式

外部时钟方式的时钟很少用,若要用时,只要将外部振荡信号通过单片机的两个时钟信号输入引脚 XTAL1 或 XTAL2 输入单片机即可。对外部振荡信号无特殊要求,只要保证脉冲宽度,一般采用频率低于 12MHz 的方波信号。

时钟发生器把振荡频率两分频,产生一个两相时钟信号 P1 和 P2 供单片机使用。P1 在每一个状态周期的前半部分有效,P2 在每个状态的后半部分有效。

3. 指令控制时序

时序就是在执行指令过程中,CPU 产生的各种控制信号在时间上的相互关系。每执行一条指令,CPU 的控制器都产生一系列特定的控制信号,不同的指令产生的控制信号不一样。

单片机的时序信号是以单片机内部时钟电路产生的时钟周期(振荡周期)或外部时钟电路送入的时钟周期(振荡周期)为基础形成的,在它的基础上形成机器周期、指令周期和各种时序信号。

机器周期:机器周期是单片机的基本操作周期,每个机器周期包含 S1、S2、...、S6 共 6 个状态,每个状态包含两拍 P1 和 P2,每一拍为一个时钟周期(振荡周期)。因此,一个机器周期包含 12 个时钟周期,依次可表示为 S1P1、S1P2、S2P1、S2P2、...、S6P1、S6P2,如图 1.3 所示。