



新世纪电气及自动化类规划系列教材

单片机技术与应用

DANPIANJIJISHU
YUYINGYONG

主 编 / 郭建江

副主编 / 高 峰 胡圣尧

参 编 / 李东侠



新世纪电气及自动化类规划系列教材

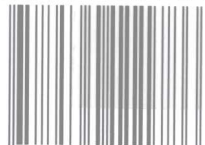
单片机技术与应用

责任编辑 朱 珉 施 恩
文字编辑 黄 惠
封面设计 余武莉

DANPIANJIJISHUYUYINGYON

- ◇ 电路基础
- ◇ 模拟电子技术
- ◇ 数字电子技术
- ◇ 传感器原理及应用
- ◇ 电力电子技术
- ◇ 电机与拖动
- ◇ 电力拖动控制系统
- ◇ 电力系统继电保护原理
- ◇ 可编程控制器及其应用
- ◆ 单片机技术与应用
- ◇ 自动控制原理
- ◇ 工厂供电（供用电技术）
- ◇ 楼宇智能化原理及工程应用
- ◇ 简明工程电路分析

ISBN 978-7-5641-1178-6



9 787564 111786 >

定价：30.00 元

TP368.1/436

2008

新世纪电气及自动化类规划系列教材

单片机技术与应用

主 编 郭建江
副主编 高 峰 胡圣尧
参 编 李东侠

东南大学出版社

内 容 简 介

当今单片机技术应用已经深入到现代经济的各个行业,学习和使用单片机技术的需求在不断增加,本书以目前常用的MCS-51系列单片机为中心,介绍单片机基本原理及其接口技术,包括51系列单片机的内部硬件结构、指令系统、单片机软件设计基础、单片机内部模块应用、单片机接口设计等内容,中间穿插电子CAD和程序调试工具Keil等应用。

本书具有较强的系统性、实用性和可操作性,内容讲解由浅入深,并配有习题。本书可作为高等院校电气工程、自动化、电子信息、机电一体化、计算机应用等专业的教材和工程技术人员的单片机应用技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机技术与应用/郭建江主编. —南京:东南大学出版社,2008.5

(新世纪电气及自动化类规划系列教材)

ISBN 978-7-5641-1178-6

I. 单… II. 郭… 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(2008)第043137号

单片机技术与应用

出版发行 东南大学出版社

出版人 江汉

社 址 南京市四牌楼2号

邮 编 210096

经 销 江苏省新华书店

印 刷 扬州鑫华印刷有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 17.5

字 数 426千字

版 次 2008年5月第1版

印 次 2008年5月第1次印刷

印 数 1—3000

书 号 ISBN 978-7-5641-1178-6/TP·190

定 价 30.00元

(凡因印装质量问题,请与我社读者服务部联系。电话:025-83792328)

新世纪电气及自动化类规划 系列教材编委会

主 任	三江学院	周泽存
副 主 任	苏州大学	张茂青
	江苏大学	赵德安
	扬州大学	陈 虹
	南京工业大学	马小军
	常州工学院	张立臣
	盐城工学院	陈 荣
	徐州师范大学	张彩荣
	泰州科技学院	陆汉栋
	成贤学院	计有为
	三江学院	王 尧

执行编委 施 恩 朱 珉
编 委(按姓氏笔画排列)

马小军	王 尧	王其生	计有为	许必熙
孙宇新	孙宪君	杜逸鸣	杨建宁	杨 栋
束长宝	张立臣	张茂青	张俊芳	张家海
张彩荣	张植保	陆汉栋	陈劲操	陈 荣
陈 虹	罗慧芳	周泽存	周淑阁	赵德安
胡国文	都洪基	钱显毅	郭建江	谢秉正

前 言

随着电子和计算机技术的高速发展,单片机作为嵌入式微控制器在工业测控系统、智能仪器和家用电器中得到广泛的应用。目前单片机的种类很多,虽然出现了很多高速、高集成化的单片机,但 MCS-51 系列单片机以其通用性强、价廉、设计灵活、参考资料丰富等优点仍不失为单片机中的主流机型,作为单片机入门学习尤为合适。本书以 MCS-51 系列单片机为主介绍单片机的原理与应用,内容系统全面,论述深入浅出、循序渐进,注重接口技术的实用性,尤其注重单片机的硬件和软件原理的实用操作性方面,使初学者通过学习能尽快入门。

本书融入了编者多年教学、科研的经验和应用实例,从应用的角度出发,对单片机的硬件结构、工作原理、指令系统进行了简明扼要的介绍,对程序设计方法、系统扩展、接口电路的设计、应用系统等进行了详细的阐述,硬件设计穿插了电子 EDA 的设计方法,软件设计将单片机汇编语言和 C 语言程序相结合对比介绍。最后通过多个设计实例,以强化单片机实用设计能力。

本书共分为九章,第 1、2 章主要介绍单片机硬件结构基本知识;第 3、4 章主要介绍单片机指令和单片机软件设计基础;第 5、6、7 章主要介绍单片机的基本应用知识;第 8 章是单片机系统综合应用设计介绍,其中郭建江负责编写第 4、7、8 章,高峰负责编写第 5、6 章,胡圣尧负责编写第 1、2、9 章和附录,李东侠负责编写第 3 章;全书由郭建江统稿,另外杨锦杰、王峰、许培杰、唐文进等在制图、校对和查阅资料中也付出了辛苦的劳动。

本书适用于高等学校电气工程、自动化、电子信息、机械电子等相关专业“单片机原理与应用”课程的教学用书,同时也可供从事单片机技术开发、应用的工程技术人员阅读、参考。

本书特色在于实用性、可操作性强,书中的电路图、程序代码、教学课件附在随书光盘中供教师和学生使用,还有大量的单片机设计实用资料提供参考。由于本书编写时间紧,错漏难免,欢迎专家和读者多提意见批评指正(本书配有电子课件,需者请联系:guojj@czu.cn)

编 者

2008 年 2 月

目 录

1	概述	(1)
1.1	单片机功能模块组成原理	(1)
1.1.1	单片机的内部结构	(1)
1.1.2	单片机的基本原理	(4)
1.2	数制及数的转换	(6)
1.2.1	计算机中的数制	(6)
1.2.2	计算机中数制间数的转换	(8)
1.3	单片机中数的表示方法	(9)
1.3.1	定点机中数的表示方法	(10)
1.3.2	浮点机中数的表示方法	(10)
1.3.3	二进制数的运算	(11)
1.4	单片机中数的表示形式	(14)
1.4.1	原码	(15)
1.4.2	反码	(15)
1.4.3	补码	(15)
1.5	单片机中数和字符的编码	(17)
1.5.1	BCD码和 ASCII 码	(17)
1.5.2	汉字的编码	(19)
1.5.3	校验码编码	(20)
1.6	单片机的分类及发展	(21)
1.6.1	单片机的分类	(21)
1.6.2	8位单片机的新发展	(22)
1.6.3	典型单片机性能概览	(22)
	习题 1	(26)
2	MCS-51 单片机的结构	(27)
2.1	MCS-51 单片机总体结构	(27)
2.1.1	MCS-51 单片机总体结构框图及功能	(27)
2.1.2	MCS-51 引脚功能	(31)
2.2	MCS-51 存储器结构及位操作	(34)
2.2.1	MCS-51 存储器的特点	(34)
2.2.2	程序存储器	(35)

2.2.3	数据存储器	(35)
2.2.4	专用寄存器区(SFR)	(38)
2.2.5	位操作和位处理	(40)
2.3	MCS-51 工作方式	(41)
2.3.1	复位方式	(41)
2.3.2	程序执行工作方式	(42)
2.3.3	节电工作方式	(42)
2.4	MCS-51 单片机的时序	(43)
2.4.1	时钟	(43)
2.4.2	CPU 时序	(44)
	习题 2	(47)
3	单片机指令系统	(48)
3.1	指令系统简介	(48)
3.1.1	指令格式	(48)
3.1.2	指令的分类	(48)
3.1.3	指令系统中所用符号的说明	(51)
3.2	寻址方式	(51)
3.2.1	寄存器寻址	(51)
3.2.2	立即寻址	(52)
3.2.3	直接寻址	(52)
3.2.4	寄存器间接寻址	(53)
3.2.5	变址寻址	(53)
3.2.6	相对寻址	(54)
3.2.7	位寻址	(55)
3.3	指令系统	(56)
3.3.1	数据传送类指令	(56)
3.3.2	算术与逻辑运算和移位指令	(62)
3.3.3	控制转移类指令	(72)
	习题 3	(84)
4	单片机技术及应用	(87)
4.1	MCS-51 单片机汇编语言简介	(87)
4.1.1	汇编语言格式	(87)
4.1.2	MCS-51 单片机汇编语言语句类型	(88)
4.1.3	汇编语言源程序的设计步骤和编译	(92)
4.2	简单顺序程序与分支程序设计	(93)
4.2.1	简单顺序程序设计	(93)
4.2.2	分支程序设计	(94)
4.3	循环与查表程序设计	(97)

4.3.1	循环程序设计	(97)
4.3.2	查表程序设计	(100)
4.4	子程序与运算程序设计	(103)
4.4.1	子程序设计	(103)
4.4.2	运算程序设计	(105)
4.5	单片机 C51 程序设计	(107)
4.5.1	C51 的程序结构	(107)
4.5.2	数据类型和长度	(109)
4.5.3	C51 语言的运算符	(111)
4.5.4	C51 程序流程控制语句	(112)
4.5.5	函数(FUNCTION)	(115)
4.5.6	宏定义 #define	(117)
4.5.7	条件编译	(117)
	习题 4	(119)
5	单片机内部功能模块设计	(121)
5.1	MCS-51 中断系统	(121)
5.1.1	单片机的输入/输出方式	(121)
5.1.2	中断概念和中断源	(122)
5.1.3	中断系统的结构和中断控制	(123)
5.1.4	中断系统应用举例	(129)
5.2	MCS-51 单片机定时器/计数器	(132)
5.2.1	定时器/计数器原理	(132)
5.2.2	定时器计数器控制字与工作模式	(133)
5.2.3	定时器/计数器综合应用举例	(142)
5.3	MCS-51 单片机串行通信	(145)
5.3.1	MCS-51 单片机串行通信接口	(146)
5.3.2	串行口工作方式及波特率设置	(149)
6	单片机系统扩展	(156)
6.1	MCS-51 单片机最小系统	(156)
6.2	MCS-51 单片机扩展总线与编址技术	(156)
6.2.1	片外三总线结构	(156)
6.2.2	编址技术	(158)
6.3	程序存储器的扩展	(158)
6.3.1	常用程序存储器介绍	(158)
6.3.2	常用程序存储器扩展方法	(160)
6.4	数据存储器的扩展	(162)
6.4.1	常用数据存储器介绍	(162)
6.4.2	常用数据存储器扩展方法	(163)

6.5	MCS-51 单片机并行 I/O 口应用及扩展	(166)
6.5.1	并行 I/O 口作用及操作	(166)
6.5.2	简单并行 I/O 口扩展	(167)
6.5.3	8155 可编程多功能接口扩展	(168)
6.6	单片机串行扩展	(174)
6.6.1	I ² C 总线	(174)
6.6.2	SPI 串行接口	(177)
7	单片机系统的接口设计	(179)
7.1	键盘及接口电路	(179)
7.1.1	MCS-51 对非编码键盘的接口	(179)
7.2	数码管 LED 显示及接口	(182)
7.2.1	LED 数码显示原理	(182)
7.2.2	八段 LED 数码管显示接口	(184)
7.2.3	键盘、显示器综合设计	(186)
7.4	液晶显示器(LCD)在单片机中的应用	(189)
7.5	A/D、D/A 转换器与单片机的接口	(195)
7.5.1	D/A 转换器	(195)
7.5.2	A/D 转换器	(200)
	习题 7	(208)
8	单片机应用系统开发与实例	(209)
8.1	单片机应用系统的开发步骤和过程	(209)
8.1.1	项目总体分析和论证	(209)
8.1.2	系统总体方案设计	(209)
8.1.3	硬件设计	(211)
8.1.4	软件设计	(211)
8.1.5	联机调试	(212)
8.1.6	脱机运行	(212)
8.2	单片机应用系统开发工具	(212)
8.2.1	单片机 EDA 设计工具	(212)
8.2.2	单片机程序开发工具-Keil 软件	(216)
8.3	单片机应用系统设计开发实践	(219)
8.4	单片机系统设计实例——基于单片机的高精度位置检测系统设计	(242)
	习题 8	(251)
9	新型单片机介绍及选购	(252)
9.1	80C51 系列单片机	(252)
9.2	89CXX 单片机	(253)
9.3	单片机的选购	(254)
9.4	优秀单片机产品推荐	(256)

9.4.1	MSN30 系列的 16 位单片机	(256)
9.4.2	高速 8051 片上系统单片机 C8051F300	(257)
9.4.3	ST 公司的 ST62 系列单片机	(258)
9.4.4	在系统可编程的 8 位低压微控制器 AT89S8252	(258)
9.4.5	ADI 公司的微转换器 AD μ C812	(259)
9.4.6	“嵌入式高速”可编程系统器件 μ PSD3000 系列	(259)
附录		(261)
附录 A	MSC - 51 指令表	(261)
附录 B	常用符号的含义	(266)
附录 C	助记符和英文全称对照表	(267)
附录 D	ASCII(美国标准信息交换码)码表	(268)
参考文献		(269)

1

概述

计算机的出现使人类的生活发生巨大的变化,它是人类历史上非常重要的发明。计算机是一种能对信息进行加工处理的机器,它具有记忆、判断和运算能力,能模仿人的思维活动,代替人的部分脑力劳动,并能对人类的生产过程实施控制。自从1946年,美国宾夕法尼亚大学研制成世界上第一台电子数字积分计算机(Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC)以来,电子计算机经历了电子管、晶体管、集成电路和大规模集成电路时代。就目前的电子计算机而言,按规模、性能和价格,可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五类。从系统结构和工作原理来说,微型计算机和其他几类计算机并无本质区别,只是在体积、性能和应用范围方面有所不同。目前,微型计算机在应用上可分成两类:一类类似于个人电脑,小型服务器等;另一类是单片微型计算机,即把CPU、存储器和输入输出接口等集成到一个芯片的计算机,因常用于控制领域,又称微控制器或单片机。

本章主要介绍单片机的功能组成原理以及单片机数据处理的基础知识,最后论述常用单片机的产生、发展和选用,以便为读者学习后续章节打下基础。

1.1 单片机功能模块组成原理

单片微型计算机是微型计算机的一个重要分支,它主要是面向工业控制和事务处理的一种嵌入式微机,故又称为微控制器(Microcontroller Unit, MCU)。

通常,单片机由单块集成电路芯片构成,内部包含有计算机的基本功能部件:中央处理器(Central Processing Unit, CPU)、存储器和I/O接口电路等。因此,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。

1.1.1 单片机的内部结构

与单片机相比,微型计算机是一种多片机系统。微型计算机是由中央处理器芯片、ROM芯片、RAM芯片和I/O接口芯片等通过印刷电路板上总线(地址总线AB、数据总线DB和控制总线CB)连成一体的完整计算机系统。其中,中央处理器的字长长,功能强大;ROM和RAM的容量很大;I/O接口的功能也大,这是单片机无法比拟的。因此,单片机在结构上与微型计算机十分相似,是一种集微型计算机主要功能部件于同一块芯片上的微型计算机,并由此而得名。单片机内部结构如图1.1所示。

由图可见,中央处理器是通过内部总线与ROM、RAM、I/O接口以及定时器/计数器相连的,这个结构并不复杂,但并不好理解。为此,在分析单片机工作原理前,先对图1.1中各部件作基本介绍是十分必要的。

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,

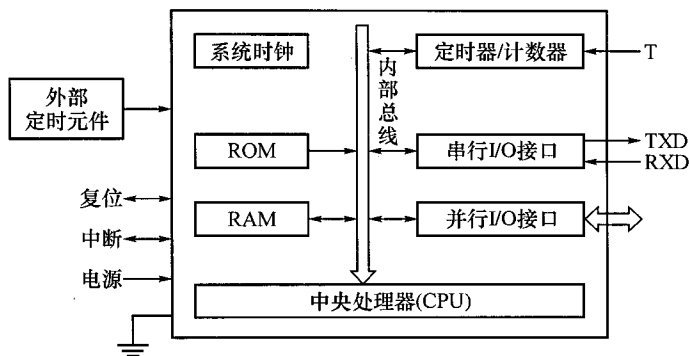


图 1.1 单片机内部结构

RAM 存储器的容量较小,这是单片机用于控制的一大特点。

(1) ROM 一般为 1~32 KB,用于存放应用程序,故又称为程序存储器。由于单片机主要在控制系统中使用,因此一旦该系统研制成功,其硬件和应用程序均已定型。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(Erasable Programmable Read Only Memory, EPROM)型三类。近年来,又出现了电擦除可编程只读存储器(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, E²PROM)和 Flash 型 ROM 存储器。

无 ROM 型单片机特点是片内不集成 ROM 存储器,故应用程序必须固化到外接的 ROM 存储器芯片中,才能构成有完整功能的单片机应用系统。ROM 型单片机内部,其程序存储器是采用掩膜工艺制成的,程序一旦固化进去便永远不能修改。EPRPM 型单片机内部的程序存储器是采用特殊 FAMOS 管构成的,程序一旦写入,也可通过特殊手段加以修改。因此,EPROM 型单片机是深受研制人员欢迎的。

(2) RAM 容量为 64~256 B,最多可达 48 KB。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用。

ROM 和 RAM 的内部结构大致相同,所不同的是存储每位二进制数码的基本电路不一样。UVEP ROM 的基本存储电路采用特殊的浮栅雪崩注入金属氧化物半导体(Floating gate Avalanche injection Metal-Oxide-Semiconductor, FAMOS)管,由 FAMOS 管浮栅内有电荷和无电荷表示存“0”还是存“1”;RAM 的基本存储电路是触发器,用触发器的两个暂稳状态来表示存“0”或存“1”。地址线条数和存储容量间的关系通常为:

$$\text{存储容量} = 2^n$$

其中: n 为地址线条数。数据线条数和每个地址单元中二进制位数一一对应,并应和所有地址单元中的基本存储电路(即触发器)相通。

对于一个有 16 条地址线和 8 条数据线的 ROM 存储器,如果它的 16 条地址线皆为高电平(即:地址为 FFFFH),则必定选中读出 FFFFH 号地址单元中内容,且读出数据是送到数据线上的;如果 16 条地址线上的地址码变为 0000H(即全为低电平),则必定选中 0000H 单元工作。因此,一个有 16 条地址线的存储器其存储容量的地址范围为 0000H~FFFFH,共 64 KB。

2) 中央处理器(CPU)

中央处理器主要由运算器和控制器组成。

(1) 运算器 运算器用于对二进制数进行算术运算和逻辑操作。其操作顺序在控制器控制下进行。运算器由算术逻辑单元 ALU、累加器 A、通用寄存器 R₀、暂存器 TMP 和状态寄存器 PSW 等五部分组成。

累加器 A(Accumulator)是一个具有输入/输出能力的移位寄存器,由 8 个触发器组成。累加器 A 在加法前用于存放一个操作数,加法操作后用于存放两数之和,以便再次累加,故由此得名。暂存器(Temporary Register, TMP),也是一个 8 位寄存器,用于暂存另一操作数。算术逻辑单元(Arithmetic and Logical Unit, ALU),主要由加法器、移位电路和判断电路等组成,用于对累加器 A 和暂存器 TMP 中两个操作数进行四则运算和逻辑操作。程序状态字(Program Status Word, PSW)也由 8 位触发器组成,用于存放 ALU 操作过程中形成的状态。例如累加器 A 中的运算结果是否为零,最高位是否有进位或借位,低 4 位向高 4 位是否有进位或借位等,都可以记录到 PSW 中去。R₀ 为通用寄存器(General-purpose Register, GR),用于存放操作数或运算结果。

(2) 控制器 控制器是发布操作命令的机构,是计算机的指挥中心,相当于人脑的神经中枢。控制器由指令部件、时序部件和微操作控制部件等三部分组成。

①指令部件:是一种能对指令进行分析、处理和产生控制信号的逻辑部件,也是控制器的核心。通常,指令部件由程序计数器(Program Counter, PC)、指令寄存器(Instruction Register, IR)和指令译码器(Instruction Decoder, ID)等三部分组成。

指令是一种能供机器执行的控制代码,有操作码和地址码两部分。指令不同,相应的代码长度也不一样。因此,指令可分为单字节、双字节和三字节指令等。指令的有序集合称为程序,程序必须预先放在存储器内,机器执行程序应从第一条指令开始逐条执行。这就需要有一个专门的寄存器用来存放当前要执行指令的内存地址,这个寄存器就是程序计数器 PC。当机器根据 PC 中的地址取出要执行指令的一个字节后,PC 就自动加 1,指向指令的下一字节,为机器下次取这个字节做好准备。在 8 位 CPU 中,程序计数器通常为 16 位。

指令寄存器 IR 有 8 位长,用于存放从存储器中取出的当前要执行指令的指令码。该指令码在 IR 中得到寄存和缓冲后被送到指令译码器 ID 中译码,指令操作码译码后就知道该指令进行哪种操作,并在时序部件帮助下去推动微操作控制部件完成指令的执行。

②时序部件:由时钟系统和脉冲分配器组成,用于产生微操作控制部件所需的定时脉冲信号。其中,时钟系统(Clock System)产生机器的时钟脉冲序列,脉冲分配器(Pulse Distributor)又称“节拍发生器”,用于产生节拍电位和节拍脉冲。

③微操作控制部件:可以为 ID 输出信号配上节拍电位和节拍脉冲,也可与外部进来的控制信号组合,共同形成相应的微操作控制序列,以完成规定的操作。

总之,CPU 是单片机的核心部件,它通常由上述的运算器、控制器和中断电路等组成。CPU 进行算术运算和逻辑操作的字长同样有 4 位、8 位、16 位和 32 位之分,字长越长运算速度越快,数据处理能力也就越强。

3) 内部总线

单片机内部总线是 CPU 连接片内各主要部件的纽带,是各类信息传送的公共通道。内

部总线主要由三种不同性质的连线组成,它们是地址线、数据线和控制/状态线。地址线主要用来传送存储器所需要的地址码或外部设备的设备号,通常由 CPU 发出并被存储器或 I/O 接口电路所接收。数据线用来传送 CPU 写入存储器或经 I/O 接口送到输出设备的数据,也可以传送从存储器或输入设备经 I/O 接口读入的数据。因此,数据线通常是双向信号线。控制/状态线有两类:一类是 CPU 发出的控制命令,如读命令、写命令、中断响应等;另一类是存储器或外设的状态信息,如外设的中断请求、存储器忙和系统复位信号等。

4) I/O 接口和特殊功能部件

I/O 接口电路有串行和并行两种。串行 I/O 用于串行通信,它可以把单片机内部的并行 8 位数据(8 位机)变成串行数据向外传送,也可以串行接收外部送来的数据并把它们变成并行数据送给 CPU 处理。并行 I/O 电路可以使单片机和存储器或外设之间并行地传送 8 位数据(8 位机)。

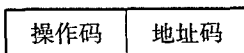
通常,特殊功能部件包括:定时器/计数器、A/D 和 D/A、直接(内)存储器存取(Direct Memory Access, DMA)通道和系统时钟等电路。定时器/计数器用于产生定时脉冲,以实现单片机的定时控制;A/D 和 D/A 转换器用于模拟量和数字量之间的相互转换,以完成实时数据的采集和控制;DMA 通道可以使单片机和外设之间实现数据的快速传送。总之,某一单片机内部究竟包括哪些特殊功能部件以及特殊功能部件的数量是和它的型号有关的。

1.1.2 单片机的基本原理

单片机是通过执行程序来工作的,机器执行不同程序就能完成不同的运算任务。因此,单片机执行程序的过程实际上也体现了单片机的基本工作原理。为此,先从指令程序谈起。

1) 单片机的指令系统和程序编制

前面已经介绍,指令是一种可以供机器执行的控制代码,故它又称为指令码(Instruction Code)。指令码由操作码(Operation Code)和地址码(Address Code)构成:操作码用于指示机器执行何种操作;地址码用于指示参加操作的数在哪里。其格式为:



指令码的二进制形式既不便于记忆,又不便于书写,故人们通常采用助记符形式来表示,如表 1.1 所列。

表 1.1 指令的三种形式

指令的二进制形式	指令的十六进制形式	指令的汇编形式
01110100 data1	74 data1	MOV A, # data1; A < -data1
00100100 data2	24 data2	ADD A, # data2; A < -data1 + data2
10000000 11111110	80 FE	SJMP \$; 停机

指令的集合或指令的全体称为“指令系统”(Instruction System)。微处理器类型不同,它的指令系统也不一样。例如,Z80 有 158 条,Intel 8085 有 78 条,MCS-51 系列单片机有 111 条指令,等等。所谓程序就是采用指令系统中的指令根据题目要求排列起来的有序指令的集合。

程序的编制称为“程序设计”。通常,设计人员采用指令的汇编符(即助记符)形式编程,这种程序设计称为“汇编语言程序设计”。显然,设计人员如果不熟悉机器的指令系统是无法编出优质高效的程序的。

2) 单片机执行程序的过程

为了弄清单片机的工作原理,现以如下的 $Y=5+10$ 求和程序来说明单片机的工作过程。

```
7405H    MOV A, #05H    ;A←05H
240AH    ADD A, #0AH    ;A←05+10
80FE     SJMP $        ;停机
```

该程序由三条指令组成,每条指令均为双字节指令(即第一字节为操作码,第二字节为地址码)。第一条指令的含义是把 05H 传送到累加器 A 中;第二条指令是加法指令,它把累加器 A 中的 5 和立即数 10 相加,结果保留到累加器 A 中;第三条是停机指令,机器执行后处于动态停机状态。为了说明程序的执行过程,现在假设上述程序的指令码已装入从 2000H 开始的存储器区域,共占用 6 个存储单元,程序计数器 PC 中也预先放入初值地址 2000H,以便机器可以根据 PC 中的地址从第一条指令处执行程序。

(1) 第一条指令的执行过程 第一条指令为双字节指令,第一字节为操作码 74H,它指示机器进行传送操作,操作数 05H 在指令的第二字节(即 2001H)内。执行步骤为:

①微操作控制器使程序计数器 PC 中初值地址 2000H 送入地址寄存器(Address Register, AR)后发出读命令,同时使程序计数器 PC 中内容自动加 1 而变成 2001H,以便为取指令的第二字节预先作准备。

②存储器根据地址寄存器中的地址 2001H,在读命令控制下完成读出操作码 74H 并送入数据寄存器(Data Register, DR)中的任务。

③微操作控制序列继续使 DR 中操作码 74H 经指令寄存器(Instruction Register, IR)缓冲后送入指令译码器(Instruction Decoder, ID)。

④指令译码器 ID 结合时序部件产生 74H 操作码的微操作序列,该微操作序列把程序计数器 PC 中的地址 2001H 送入 AR 后发出新的读命令,同时又使程序计数器 PC 自动加 1,从而变成 2002H,为取第二条指令操作码 24H 作准备。

⑤存储器在新的 AR 中地址 2001H 和 74H 微操作序列的共同作用下,把 2001H 单元中的 05H 送入数据寄存器 DR。

⑥74H 微操作控制序列使数据寄存器 DR 中的 05H 操作数送入累加器 A 中。

至此,第一条指令的执行宣告完成。

(2) 第二条指令的执行过程 第二条指令也是双字节指令,第一字节为操作码 24H,指示机器进行加法操作,两个操作数中一个在累加器 A 中,另一个在指令的第二字节。执行步骤为:

①第一条指令执行完后,程序计数器 PC 中的内容已变为 2002H,微操作控制器也使程序计数器 PC 中的 2002H 送入地址寄存器后向存储器发出读命令,同时又使 PC 中的内容加 1 从而变为 2003H,使 PC 指向第二条指令的第二字节。

②存储器在地址寄存器 AR 中的 2002H 和 CPU 送来的读命令作用下,读出操作码 24H 并送到数据寄存器 DR 中。

③微操作控制器发出的微操作控制序列使 DR 中的 24H 操作码送入指令寄存器 IR,并

通过它进入指令译码器 ID。

④指令译码器 ID 也结合时序部件使微操作控制器产生 24H 的微操作控制序列,该微操作控制序列又使程序计数器 PC 中的 2003H 送入 AR 和向存储器发出读命令,还使 PC 自动加 1 从而变为 2004H,使 PC 指向第三条指令的第一字节地址。

⑤24H 微操作控制序列把存储器读出的操作数 0AH 从 DR 送入 TMP,并会同累加器 A 中的另一操作数 05H,完成两数求和操作以及把操作结果 0FH 经过内部总线送入累加器 A,从而完成本条指令的执行。

(3) 第三条指令的执行过程

第三条指令的执行过程和第一、二条类似,所不同的是,第三条指令执行后 CPU 处于动态停机状态,在此不再赘述。

1.2 数制及数的转换

迄今为止,所有计算机都以二进制形式进行算术运算和逻辑操作,单片机也不例外。因此,我们必须了解数据间的进制转换。对于任何形式的数据,当在计算机上表达时,计算机必须将它们转换成二进制形式进行识别,运算和处理,然后再把运算结果还原成对应的数据显示出来。

1.2.1 计算机中的数制

所谓数制是指数的制式,是人们利用符号计数的一种科学方法。数制有很多种,微型计算机中常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制等。现对十进制、二进制和十六进制等三种数制进行讨论。

1) 十进制(Decimal)

十进制是大家熟悉的进位计数制,它共有 0,1,2,3,4,5,6,7,8 和 9 十个数字符号。这是个数字符号又称为“数码”,每个数码在数中最多可有两个值的概念。例如,十进制数 45 中的数码 4,其本身的值为 4,但实际上代表的值为 40。在数学上,数制中数码的个数定义为基数,故十进制的基数为 10。

十进制是一种科学的计数方法,它所能表示的数的范围很大,可以从无限小到无限大。十进制的主要特点是:

(1) 它有 0~9 十个不同的数码,这是构成所有十进制数的基本符号。

(2) 它是逢 10 进位的。十进制数在计数过程中,当它的某位计数满 10 时就要向它邻近的高位进一。

因此,任何一个十进制数不仅与构成它的每个数码本身的值有关,而其还与这些数码在数中的位置有关。这就是说,任何一个十进制数度可以展开成幂级数形式。例如:

$$123.45 = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

式中,指数 $10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}$ 和 10^{-2} 在数学上称为权,10 为它们的基数。任意一个十进制数 N 均可表示为:

$$N = \pm [a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \dots + a_{-m} \times 10^{-m}]$$