



932141

高等专科学校教材

微型计算机原理及应用

余雷声 主编

化学工业出版社

932141

TP36
8014

高等专科学校教材

TP36
8014

ISBN 7-122-01111-1
校

微型计算机原理及应用

余雷声 主编

化学工业出版社

(京)新登字039号

高等专科学校教材
微型计算机原理及应用
余雷声 主编

责任编辑: 徐世峰
封面设计: 任 辉

化学工业出版社出版
(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张21字数527千字
1991年11月第1版 1991年11月北京第1次印刷
印 数 1—3,320
ISBN 7-5025-0934-8/G·251
定 价5.45元

内 容 提 要

本书着重从应用的角度出发,以Z80、Intel 8088、MCS-51、MCS-96:8098等微处理器与微型计算机为例介绍了微型计算机原理及应用。全教材共分十一章:导论、微处理器结构与时序、Z80指令系统及汇编语言程序设计、半导体存储器、接口电路与接口技术、IBM-PC和STD工业标准微机系统、MCS-51单片机、MCS-96:8098单片机以及微机在工业控制中的应用。每章末附有思考题与习题。

本书适用于自动化专业及其它专业的专科教学需要,也可作为工程技术人员和本科院校师生的自学教材及参考书。

前 言

为了尽快解决专科层次教材的需要,全国高等专科类《工业自动化及装置》专业教学研究会在调查研究的基础上,经化工部教育司批准,教材编审组于1989年开始组织、编审和推荐一批自动化及仪表专业的教材,它包括有:《过程控制原理》、《过程控制工程》、《微型计算机原理及应用》、《过程测量仪表》、《模拟调节仪表》和《数字调节仪表》等。

本书是根据高等专科类《工业自动化及装置》专业教学研究会制订的《微型计算机原理及应用》课程的教材编写大纲,并听取了化工、石油、冶金和电子等方面院校的有关专业的意见而编写的。因此它不仅适用于自动化专业专科教学的需要,而且也适用于其它专业《微型计算机原理及应用》课程的专科教学的需要,同时对工程技术人员和本院校师生来说也是一本较好的自学教材和参考书。

近年来,由于微处理器和微型计算机发展日新月异,它已渗透到国民经济、国防和日常生活等各个方面,成为当今技术发展的火车头。因此学习微型计算机原理及应用,已是现代科技人员和高等院校各专业学生不可缺少的课程。本书内容比较丰富,它介绍Z80微处理器和微型计算机原理、汇编语言程序设计、半导体存储器、微机接口芯片和接口技术、IBM-PC微机系统、STD工业标准微机系统、八位高档单片机MCS-51、准十六位高性能单片机MCS-96:8098,最后还介绍了微机在工业控制中的应用。参考教学总时数为80~90学时。

本书编写的总目标是解决微型计算机的应用问题,培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。编者认为只有掌握一定的基本原理、基本方法并通过基本技能的训练和实例的引导才能真正培养应用能力,而不必化大量篇幅去汇集应用实例。

在编写上力求突出针对性、实用性和先进性。叙述方法由简到繁、深入浅出,主次分明、详略得当。尽可能体现出专科教材的特色。

本书由南京化工动力专科学校余雷声主编并编写第一、二、六、七、十章,上海化工专科学校谢佑坤编写第三、四、五章,上海石油化工专科学校徐飞虹编写第八、九、十一章。全稿由南京化工学院陈季琪主审,吉林电气化专科学校郭开华和上海仪表电子工业职工大学都志杰参加审阅,他们对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中如有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

1990年11月

目 录

第一章 导论	1
第一节 微处理器与微型计算机的基本概念.....	1
一、数字电子计算机的基本结构.....	1
二、微处理器与微型计算机的定义.....	2
三、微型计算机的类型.....	3
第二节 微处理器与微型计算机的发展简况.....	3
第三节 数制及其转换.....	5
一、进位计数制.....	5
二、数制之间的转换.....	6
第四节 二进制数的运算及带符号数的表示法.....	8
一、二进制数的运算.....	8
二、带符号数的表示法.....	9
第五节 二进制编码.....	12
一、8421 BCD码.....	14
二、ASCII码.....	14
第六节 模型机的组成及其指令的执行过程.....	14
一、微处理器的基本组成.....	14
二、微型计算机指令的执行过程.....	15
第二章 微处理器的结构与时序	21
第一节 有关微处理器性能的几个概念.....	21
一、位和字节.....	21
二、字和字长.....	21
三、指令数.....	21
四、时钟频率.....	21
五、访存空间.....	22
六、工艺形式.....	22
第二节 Z80微处理器的结构.....	22
一、寄存器组.....	23
二、算术逻辑运算部件ALU.....	25
三、指令译码控制部件.....	25
四、CPU内部总线及总线缓冲器.....	25
第三节 Z80CPU芯片.....	26
一、地址总线 $A_{15} \sim A_0$	26

二、数据总线 $D_7 \sim D_0$	26
三、控制总线.....	26
四、其它信号线.....	28
第四节 Z80 CPU时序.....	28
一、时序概述.....	28
二、基本时序.....	29
第三章 Z80 指令系统	38
第一节 指令及其表示方法.....	38
一、指令的内容与格式.....	38
二、指令的机器码表示法.....	39
三、指令的符号表示法.....	39
第二节 Z80指令的寻址方式.....	40
一、立即寻址.....	40
二、立即扩展寻址.....	40
三、寄存器寻址.....	41
四、扩展寻址.....	41
五、寄存器间接寻址.....	41
六、变址寻址.....	42
七、相对寻址.....	42
八、位寻址.....	43
九、隐含寻址.....	43
十、修改零页寻址.....	43
第三节 Z80指令系统.....	44
一、数据传送和互换指令.....	44
二、算术和逻辑运算指令.....	50
三、转移指令.....	56
四、数据块传送和检索指令.....	59
五、循环和移位指令.....	61
六、位操作指令.....	64
七、调用和返回指令.....	65
八、CPU控制指令.....	66
九、有关IX、IY寄存器的84条新指令.....	67
第四章 汇编语言程序设计	70
第一节 汇编语言的基本概念.....	70
一、程序设计语言简介.....	70
二、汇编语言的语句格式.....	71
三、汇编语言源程序的汇编.....	73
四、Z80汇编语言中常用的伪指令.....	73

第二节 汇编语言程序设计的基本方法76	
一、程序设计的一般过程.....76	
二、顺序程序结构.....77	
三、分支程序结构.....79	
四、循环程序结构.....83	
五、子程序调用结构.....87	
六、综合举例.....90	
第五章 半导体存储器97	
第一节 半导体存储器的分类和特性.....97	
一、半导体存储器的分类.....97	
二、半导体存储器的主要参数.....98	
第二节 读写存储器RAM.....99	
一、静态RAM.....99	
二、存储器与CPU的连接.....101	
三、动态RAM.....106	
第三节 只读存储器ROM.....109	
一、ROM基本存储电路及分类.....109	
二、紫外光擦除PROM.....110	
三、电擦除PROM.....112	
第六章 输入、输出与中断115	
第一节 概述.....115	
一、输入、输出的一般概念和输入/输出接口电路.....115	
二、输入/输出的寻址方式.....116	
三、Z80输入、输出指令.....117	
第二节 输入/输出的控制方式.....119	
一、程序控制方式.....119	
二、方式.....121	
三、DMA方式.....122	
第三节 微型计算机的中断.....123	
一、概述.....123	
二、外设中断与CPU的联系方式.....124	
三、中断的一般过程.....125	
第四节 Z80的中断方式.....126	
一、Z80的中断系统.....126	
二、非屏蔽中断.....127	
三、可屏蔽中断.....127	
四、中断顺序.....131	
第五节 中断优先级.....132	
一、用软件(查询)方法确定中断优先级.....132	
二、硬件优先级排队电路.....134	
第七章 接口电路芯片139	
第一节 可编程并行I/O接口芯片Z80-PPIO.....139	
一、主要功能和结构.....139	
二、PIO芯片引脚.....141	
三、PIO时序.....143	
四、PIO的编程.....145	
第二节 可编程计数器/定时器Z80-CTC.....152	
一、概述.....152	
二、CTC的结构和芯片引脚.....152	
三、CTC的工作方式.....154	
四、CTC的控制字和初始化流程图.....155	
五、应用举例.....157	
第三节 可编程串行接口芯片Intel 8251A.....162	
一、串行接口概述.....162	
二、Intel 8251A.....164	
第四节 数/模和模/数转换芯片.....174	
一、数/模转换的基本原理及芯片举例.....174	
二、模/数转换的基本原理及芯片举例.....179	
第八章 微型计算机接口技术186	
第一节 微机与LED显示器的接口.....186	
一、七段LED显示器.....186	
二、CPU与七段LED显示器接口.....187	
第二节 微机与键盘的接口.....189	
一、键盘接口电路的功能.....189	
二、非编码键盘接口.....190	
第三节 微机与打印机的接口.....194	
一、行式打印机原理.....194	
二、打印机接口电路.....194	
第九章 微型计算机系统198	
第一节 标准总线.....198	
一、STD总线.....198	
二、PC总线.....199	
三、RS-232C总线.....200	
第二节 Z80单板机结构及其监控程序.....201	
一、TP801单板计算机概述.....201	
二、TP801单板计算机电路原理.....202	
三、TP801存储器译码电路和存储空间地址分布.....203	

四、TP801 I/O译码电路及I/O地址分配	204	六、布尔(位)处理类指令	260
五、TP801功能键、TPBUG监控程序	206	第四节 MCS-51单片机的外部扩展及开发装置	261
第三节 IBM-PC微机系统	216	一、外部扩展	261
一、PC机系统硬件结构	216	二、单片机应用的开发装置	268
二、Intel 8088微处理器	218	第五节 MCS-96单片机简介	269
三、PC-DOS操作系统	233	一、8098的硬件介绍	270
第四节 STD工业标准微机系统	233	二、寻址方式与指令系统	277
一、TP-STD HD64180 CPU板	233	第十一章 微机在工业控制中的应用	285
二、STD-DOS系统	234	第一节 微计算机应用概述	285
第十章 单片微型计算机	237	一、微计算机工业控制系统的特点和组成	285
第一节 概述	237	二、微计算机工业控制系统的类型	287
一、单片微型计算机的特点和种类	237	三、微机应用系统的研制方法	287
二、单片机芯片性能的提高及应用范围	239	第二节 集散系统和可编程控制器	289
第二节 MCS-51单片机的结构	240	一、计算机集散控制系统(TDCS)	289
一、芯片引脚及其功能	240	二、可编程控制器(PC)	290
二、CPU及其时序	241	第三节 微机温度控制系统	295
三、并行I/O口	242	一、设计指标	295
四、串行接口	245	二、系统原理	295
五、定时器/计数器	246	三、硬件结构	296
六、中断	249	四、软件设计	299
七、复位与节电运行方式	251	第四节 微机数据采集系统	301
八、存储器结构	253	一、数据采集系统的硬件结构	302
第三节 MCS-51指令系统	254	二、数据采集系统的软件编制	303
一、概述	254	附录一 Z80指令系统	306
二、数据传送类指令	256	附录二 Z80指令机器码表	314
三、算术操作类指令	257	附录三 MCS-51指令系统	323
四、逻辑操作类指令	257	附录四 MCS-51指令矩阵	326
五、控制转移类指令	258		

第一章 导 论

1946年第一台数字电子计算机问世，它是二十世纪技术革命的重要标志。可以说这与十八世纪的蒸汽机、十九世纪的发电机以及原子能的出现具有同等重要的意义。特别在七十年代初，由于大规模集成电路技术的发展，微型计算机异军突起，从而为计算机的应用开辟了极其广阔的前景。

本章介绍微处理器和微型计算机的基本概念和发展简况，讨论微型计算机的基本结构和执行指令的过程，以及数制与码制的必要知识。

第一节 微处理器与微型计算机的基本概念

一、数字电子计算机的基本结构

电子计算机一般包括四个基本部分，如图1-1所示。

(一) 中央处理器 (CPU)

这是计算机的核心部分，它由算术逻辑单元、控制逻辑部件、寄存器组和内部总线（即信息通道）组成，它具有运算和控制两大功能，所以也可简单地认为CPU由运算器和控制器组成，用以实现信息的高速加工及处理。

运算器 (ALU) 对二进制数据进行各种算术和逻辑运算，对于微机来说主要是作加法和减法的运算。

控制器 (CU) 控制整个计算机有序地、连续地进行指令所规定的操作。通常，计算机将存储器中预先存放好的程序的一系列指令逐条取出并送入控制器，由其译码逻辑进行译码，译码的目的是按照每条指令的要求决定当前应该进行什么样的操作，然后由控制器按一定的时序发出相应的一系列控制信号去控制计算机来完成这项操作。

(二) 存储器 (M)

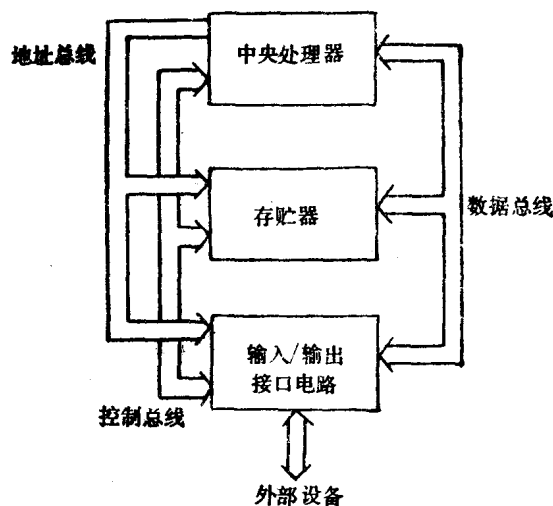


图 1-1 计算机的基本组成

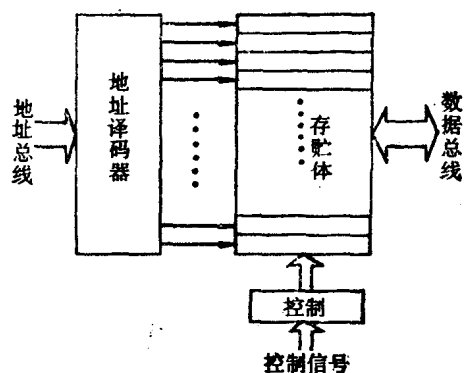


图 1-2 存储器

它用于存储数据和信息的二进制代码，CPU 能够按指令的要求把信息从存储器中读出（取出）或写入（存入）。存储器一般由存储体、地址译码器和存储器的控制逻辑所组成。如图1-2所示。存储体也称存储矩阵，由许多存储单元组成，每个存储单元中可存放若干位二进制数。在Z80微机中，每个存储单元可存放8位二进制数。

地址译码器的任务是接收从地址总线发来的地址代码，经译码后选中它所对应的唯一存储单元，以便对该单元进行读或写操作。

存储器的控制部件接收来自CPU的控制信号，然后进行相应的读或写等操作。例如它收到CPU来的读信号时，存储器控制部件便控制存储器对选定的单元进行读操作并将该单元内容送上数据总线。

根据存储器的读写方式可把存储器分成两大类、一类称为读/写存储器（RAM），也称随机存取（访问）存储器，“随机存取”是指它的信息“写入”或“读出”时间与存储单元的地址序号无关，这类存储器可由CPU按指令的要求任意进行读或写操作。另一类称为只读存储器（ROM），它只供将预先安排在里面的信息“读出”，而不能任意“写入”。

（三）输入/输出接口（I/O接口）

所谓接口是指两个不同系统的交接部分，例如航空港就可以理解成陆空交通的“接口”。同样I/O接口是指中央处理器与外部设备这两个不同的系统之间的数据通道，是计算机的重要组成部分。我们知道CPU有它自己的内部特性（如数据格式、信号逻辑电平、数据传送速度等），用户是不能更改的。而外部设备（输入/输出设备）例如电传打字机、键盘、盒式磁带机、软磁盘、打印机、显示器等也都有自己的特性，特别是它们的工作速度一般比CPU慢得多。因此要使二者能协调工作就需要有I/O接口。目前在微型计算机中已有不少接口逻辑电路采用大规模集成电路并系列化和标准化了，而且很多接口芯片具有可编程序的能力，有很好的灵活性。

（四）系统总线

总线是计算机中传送信息的一组公共信号线，是标准化的信息通路。微型机通过系统总线把中央处理器、存储器和输入/输出接口电路等连接起来。系统总线一般分为数据总线、地址总线和控制总线。

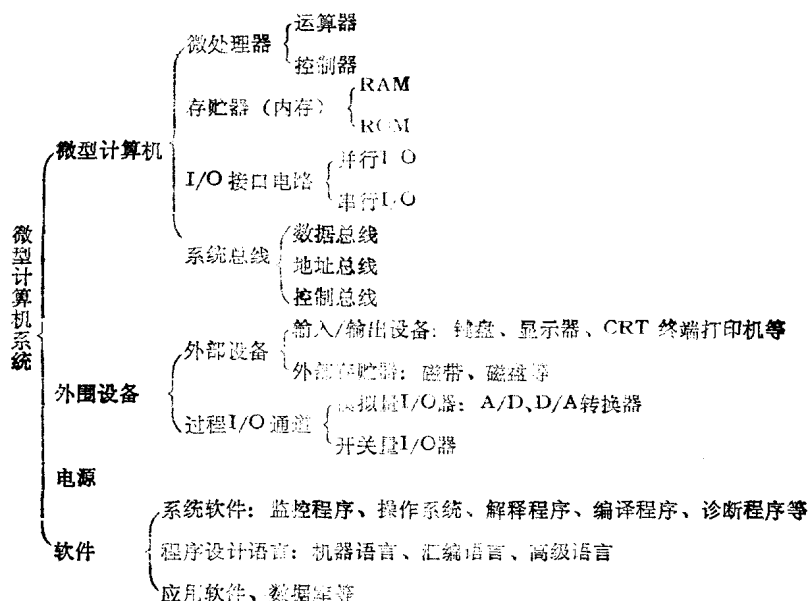
数据总线用于传输数据信息，一般是双向的，对于8位微处理器来讲，它有一条8位宽的双向数据总线。地址总线用于传输地址信息，地址线的条数决定了它所能直接寻址的内存单元数，例如8位微型计算机中有16条地址线，它们能直接寻址的内存单元为 2^{16} 即65536个（或可写成64K，1K=1024），控制总线用于传输CPU发出的各种控制信息以及其它部件向CPU提出要求的信号。

二、微处理器与微型计算机的定义

随着大规模集成电路技术的发展，可以把中央处理器制作在一块芯片上，这个“微缩”的中央处理器就称为微处理器（MPU），单一的微处理器并不是微型计算机。与一般的计算机的组成相同，还必须加上存储器、输入/输出接口电路，并用系统总线相连接才组成微型计算机。

微型计算机系统则是微型计算机与软件系统的结合体。所谓“硬件”系指构成计算机系统的物理部件，而“软件”是相对于硬件而言的，它包括为了运行、管理和维修计算机所编制的各种程序及其有关资料。任何计算机的使用都离不开软件，它能扩大计算机功能和提高计算机的效率。软件包括系统软件、应用软件和数据库等。

微处理器、微型计算机和微型计算机系统的关系如下：



三、微型计算机的类型

根据微型计算机组装形式或其利用形态可分成下述三种。

(一) 单片微型计算机

单片机把微处理器、若干K字节的ROM、一些字节的RAM、定时器、I/O接口和连接这些部件的总线都集成在一个芯片上。单片机又称微型控制器，它主要用于控制，常可作为一个电路元件放在仪器和控制设备中。

(二) 单板微型计算机

这是把微处理器、一定容量的ROM、RAM、I/O接口和总线组装在一块印刷电路板上的微型计算机。它还在印刷电路板上配有小型键盘和简单的显示装置甚至微型打印机。它比单片机有更大的存储容量，并且还具有较强的扩充能力和接口能力。

(三) 微型计算机装置

这是把单板机、各种I/O设备控制器、控制面板、电源等组装在一个机箱内的微型计算机系统。它常配有高速纸带输入机、标准键盘、CRT显示器、打印机、软磁盘或硬磁盘等多种外设，并具有足够的系统软件等。

第二节 微处理器与微型计算机的发展简况

1946年世界上第一台“ENIAC”数字电子计算机在美国宾夕法尼亚大学研制成功，虽然它使用了18800个电子管和2500个继电器及开关，而且它的体积为 85m^3 、重约30t、耗电约150kW，然而它却以每秒钟运算5000次加法的速度解决了氢弹和导弹研制中的科学计算，向人类显示出它巨大的威力。四十多年过去了，计算机的发展异常迅速，它已经历了四个不同的时代：第一代是1946年~1958年的电子管时代。使用的逻辑元件是电子管，主存储器是磁鼓，软件方面主要是使用机器语言和汇编语言；第二代是1958年~1964年的晶体管时代。晶体管已代替电子管，磁芯代替了磁鼓，并使用磁盘，软件采用高级语言和操作系统；第三

代是1964年~1971年的集成电路时代。这时开始采用中、小规模集成电路，机种多样化、系列化，外部设备品种繁多，高级语言发展也很快，应用领域不断扩大；第四代是从1971年开始的大规模、超大规模集成电路时代。这时已能在一个硅片上集成数千个晶体管，主存贮器则采用半导体存贮器，计算机的运算速度已达每秒数亿次。目前计算机正朝着两个方向发展，一个方向是向大型机、巨型机发展，其容量大、速度快、功能强；而另一个方向是向微型机发展，这种以微处理器为核心的微型计算机以体积小、功能全、价格低而引人注目。

微处理器和微型计算机的出现和发展并非偶然，它是集成电路工艺发展的必然结果。早在五十年代末出现了第一个集成电路样品，且研制成了硅平面工艺。随着硅平面工艺和晶体管逻辑电路的发展，1964年出现小规模集成电路（SSI），1968年中规模集成电路（MSI）问世，这时已可在芯片上制成一个完整的寄存器。六十年代后期，金属氧化物半导体管工艺又使集成度显著提高，在几个平方毫米的硅片上能制作几千个晶体管电路，于是就出现了大规模集成电路（LSI），1971年便出现了微处理器和微型计算机。微处理器的发展速度是异乎寻常的，若以CPU字长的位数及其功能来划分的话，它已经历了四代的变化。这里所谓的“字长”是指微处理器并行传送的二进制数据位的位数，即由它的数据总线宽度（也即数据总线的条数）确定。

第一代（1971年~1973年）是四位和低档八位微处理器。代表产品是1971年美国Intel公司设计的集成度高达1200个晶体管/片的4004微处理器，并组成了第一台MCS-4四位微型计算机。1972年又研制成功集成度为2000个晶体管/片的8008的八位微处理器，同年其它各公司的四位机也纷纷进入市场。这时期的微处理器主要采用PMOS工艺，芯片引脚数为16~24条，运算速度较低，基本指令执行时间为10~20微秒，功能也较差。

第二代（1973年~1978年）是八位微处理器和微型计算机，其中又以1976年为界，出现了高档八位微处理器及单片微型计算机。

1976年前的代表产品是Intel公司的8080微处理器、Motorola公司的MC6800等，这时期主要采用NMOS工艺的八位微处理器，芯片引脚数为40条，集成度提高1~2倍，运算速度提高一个数量级，基本指令执行时间为1~2 μ s。这时世界各主要工业国生产的微处理器如雨后春笋般地崛起。

1976年出现了集成度更高、性能更强的Zilog公司的Z80、Intel公司的8085、Motorola公司的MC6809等高档八位微处理器。到目前为止，八位微处理器及微型计算机仍是微机工业应用中的主流，在生产过程控制、智能终端和仪器仪表以及计算机教学和实验中得到广泛应用。在这一时期，八位单片微型计算机发展也很快，例如Intel公司MCS-48、Motorola公司6801和6802、Zilog公司Z8等单片机相继推出，它们作为微型计算机领域的一个重要分支而崭露头角。

第三代（1978年~1980年）是十六位微处理器。1977年超大规模集成电路工艺研制成功在一个硅片上可容纳一万个以上的晶体管。代表产品是Z8000、8086和MC68000等，这一类产品采用HMOS（或NMOS）工艺，基本指令执行时间约为0.5 μ s，它们组成的微型计算机已达到或超过中档小型机（如PDP11/45）的水平，在实时控制和实时数据处理方面已得到了广泛应用。近年来十六位微机的国产化工作也取得显著成就，例如长城0520机（CPU为8088）是IBM-PC系列机的兼容机，已广泛用于数据处理、管理系统以及组联局部网络等。

第四代（1981年开始）是三十二位微处理器。代表产品有Intel公司的80386、HP公司的 μ P32、IBM公司的16032等，其指令执行时间达0.1 μ s。从HP公司的32位微处理器来看其

集成度达到45万个晶体管/片,采用NMOSⅢ工艺。这一代微型计算机性能优异,有取代中、小型计算机的可能。

微型计算机在习惯上按微处理器的字长位数划分,分别称为4位、8位、16位和32位机等。4位微机只具有1位二进制数的操作能力和很小的内存容量,不容易扩展;8位微机有8位二进制数的处理能力,内存容量可达64K字节,具有扩展I/O能力和中断功能等,其扩展能力几乎不受限制,它还有丰富的软件,因此它不仅可用于生产过程控制,也可用作计算和管理。

16位微机和32位微机大多用于科学计算和大型管理系统。

随着微型机的发展,其应用范围也越来越广泛,它已深入到当今社会的各个方面,除了在国防和科研部门应用外,还用在工业生产的过程控制、数据检测、生产管理、产品辅助设计、网络通讯、数字处理、图象识别、人工智能、交通运输、医疗卫生、商业银行、农业生产、资料检索和日常生活等方面。

第三节 数制及其转换

一、进位计数制

按进位的方法进行计数,称为进位计数制。这里讨论的十进制、二进制和十六进制数都属于进位计数制。

考察一个数制的特征应从基数和计数规则入手。所谓“基数”是指该数制中用以代表数量的字符的数目,这是一个数制的最基本特征。在进位计数制中,每位累计到一定数量后,向高位进一,而本位又从零开始累计。因此在一个多位的数中,同一字符(数字)由于在不同位置上,它所表征的数值是不同的,或者说它的“权”值是不同的,该权由基数的某个乘方决定,例如十进制数76中字符“7”的值是 7×10^1 ,其中 10^1 称为该位(十位)的权,而字符“6”的值是 6×10^0 ,其中 10^0 称为该位(个位)的权,其规则是:某位数的值=该数字 $\times$ 该位权;而该位权由基数的 n 次幂确定。

(一) 十进制数

其主要特点是:

(1) 基数是“10”,有十个不同的字符(数字):0、1、2、3、4、5、6、7、8、9;

(2) 按“逢十进一”的规则计数。

对任一个十进制数都可按权展开式来表示(也称位置记数法),例如:

$$(463.87)_{10} = 4 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

任一个十进制数 D 均可表示为:

$$\begin{aligned} D &= D_{n-1} \times 10^{n-1} + D_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + D_1 \times 10^1 + \\ &\quad D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} + D_{-2} \times 10^{-2} + \dots + D_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 10^i \end{aligned}$$

式中 D_i ——系数,为十个数字中的一个,

i ——数位序数;

n ——小数点左边的位数;

m ——小数点右边的位数;

10^i ——十进制数的位权。

(二) 二进制数

其主要特点是：

(1) 基数是“2”，有二个不同的字符：0、1；

(2) 按“逢二进一”的规则计数。

例如二进制数1101.11可表示为：

$$(1101.11)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

若把上述等式右边按十进制法则进行计算，得到结果是13.75，即

$$(1101.11)_2 = (13.75)_{10}$$

这就是二进制数转换为十进制数的方法。

任一个二进制数 B 都可表示为：

$$\begin{aligned} B &= B_{n-1} \times 2^{n-1} + B_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + B_1 \times 2^1 + \\ &B_0 \times 2^0 + B_{-1} \times 2^{-1} + B_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + B_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} B_i \times 2^i \end{aligned}$$

(三) 十六进制数

其主要特点是：

(1) 基数是“16”，有十六个不同字符：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、

A、B、C、D、E、F；

(2) 按“逢十六进一”的规则计数。

对于十六进制数5E4.72可表示为：

$$(5E4.72)_{16} = 5 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 4 \times 16^0 + 7 \times 16^{-1} + 2 \times 16^{-2}$$

若把上述等式右边按十进制法则进行运算，得到结果是1508.4453125，即

$$(5E4.72)_{16} = (1508.4453125)_{10}$$

这就是十六进制数转换为十进制数的方法。

任一个十六进制数 H 都可表示为：

$$\begin{aligned} H &= H_{n-1} \times 16^{n-1} + H_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + H_1 \times 16^{-1} + \\ &H_0 \times 16^0 + H_{-1} \times 16^{-1} + H_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + H_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} H_i \times 16^i \end{aligned}$$

二、数制之间的转换

上面我们已经了解了二进制数和十六进制数转换为十进制数的方法，现在讨论十进制数转换为二进制数和十六进制数，以及二进制数与十六进制数的互相转换。

(一) 十进制数转换为二进制数

可将整数部分和小数部分分别转换，然后再相加即可。

1. 十进制——→二进制的整数转换

这种方法称“除2取余”法（也即“除基取余”法），是用基数2不断地去除要转换的十进制数，直至商为0，最后将所得各次余数依次排列，就成为转换后的二进制数。注意，最

后一次得到的余数是二进制数的最高位。

例：将 $(273)_{10}$ 转换为二进制数。

$$\begin{array}{rcl}
 2 & \overline{) 273} & \\
 2 & \overline{) 136} \cdots \cdots \text{余 } 1 & (\text{最低位}) \\
 2 & \overline{) 68} \cdots \cdots \text{余 } 0 & \\
 2 & \overline{) 34} \cdots \cdots \text{余 } 0 & \\
 2 & \overline{) 17} \cdots \cdots \text{余 } 0 & \\
 2 & \overline{) 8} \cdots \cdots \text{余 } 1 & \\
 2 & \overline{) 4} \cdots \cdots \text{余 } 0 & \\
 2 & \overline{) 2} \cdots \cdots \text{余 } 0 & \\
 2 & \overline{) 1} \cdots \cdots \text{余 } 0 & \\
 & 0 \cdots \cdots 1 & (\text{最高位})
 \end{array}$$

$$\therefore (273)_{10} = (100010001)_2$$

2. 十进制 $\rightarrow$ 二进制的小数转换

这种方法称“乘2取整”法（也即“乘基取整”法），用基数2去乘十进制小数，得到一整数（只能是0或1）和小数部分，这整数就是二进制小数的最高位，再用2去乘小数部分，这整数就是二进制小数的最高位，再用2去乘小数部分……如此反复直至小数部分为0（或到二进制的小数位已达到要求的精度），这些整数依次排列就是转换后的二进制小数。

例：将 $(0.8125)_{10}$ 转换为二进制小数。

$$\begin{array}{rcl}
 0.8125 & & \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 1.6250 & \text{取整数部分} \cdots \cdots 1 & (\text{最高位}) \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 1.2500 & \text{取整数部分} \cdots \cdots 1 & \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 .5000 & \text{取整数部分} \cdots \cdots 0 & \\
 \times 2 & & \\
 \hline
 1.0000 & \text{取整数部分} \cdots \cdots 1 & (\text{最低位})
 \end{array}$$

$$\therefore (0.8125)_{10} = (0.1101)_2$$

（二）十进制数转换为十六进制数

这里只介绍整数的转换。与十进制数 $\rightarrow$ 二进制数转换类似，只是应不断地除以基数16。

例：将 $(7248)_{10}$ 转换成十六进制数。

$$\begin{array}{rcl}
 16 & \overline{) 7248} & \\
 16 & \overline{) 453} \cdots \cdots \text{余 } 0 & (\text{最低位}) \\
 16 & \overline{) 28} \cdots \cdots \text{余 } 5 & \\
 16 & \overline{) 1} \cdots \cdots \text{余 } 12 & (\text{即十六进制数 C}) \\
 & 0 \cdots \cdots \text{余 } 1 & (\text{最高位})
 \end{array}$$

$$\therefore (7248)_{10} = (1C50)_{16}$$

（三）二进制数与十六进制数的互换

二进制数与十六进制数之间的转换是十分简捷的，因为一位十六进制数可以用四位二进制数表示，二者之间存在着直接的对应关系，如表1-1所示。

表 1-1 二进制、十进制、十六进制数码对照表

十 进 制	十六进制	二 进 制	十 进 制	十六进制	二 进 制
0	0	0000	9	9	1001
1	1	0001	10	A	1010
2	2	0010	11	B	1011
3	3	0011	12	C	1100
4	4	0100	13	D	1101
5	5	0101	14	E	1110
6	6	0110	15	F	1111
7	7	0111	16	10	10000
8	8	1000			

例：将 $(0110110)_2$ 转换成十六进制数

$$\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 1 \\ \hline & 3 & \end{array} \quad \begin{array}{ccc} 0 & 1 & 1 & 0 \\ \hline & 6 & \end{array}$$

$$\therefore (0110110)_2 = (36)_{16}$$

例 将 $(5A7B)_{16}$ 转换成二进制数

$$\begin{array}{cccc} 5 & A & 7 & B \\ \hline 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

$$\therefore (5A7B)_{16} = (101\ 1010\ 0111\ 1011)_2$$

第四节 二进制数的运算及带符号数的表示法

一、二进制数的运算

二进制数只有 0 和 1 两个数字，其算术运算规则要比十进制数运算规则简单得多。

(一) 加法运算

运算规则是：

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10 \text{ (进位 1)}$$

$$1 + 1 + 1 = 11 \text{ (进位 1)}$$

例：二进制数 $1011 + 1101$

$$\begin{array}{r} 1111 \text{ 进位} \\ 1011 \text{ 被加数} \\ + 1101 \text{ 加数} \\ \hline 11000 \text{ 和} \end{array}$$

$$\therefore 1011 + 1101 = 11000$$

(二) 减法运算

运算规则是：

$$0 - 0 = 0$$

$$0 - 1 = 1 \text{ (借位 1)}$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

例：二进制数 $1100 - 111$

$$\begin{array}{r}
 111 \quad \text{借位} \\
 1100 \quad \text{被减数} \\
 - 0111 \quad \text{减数} \\
 \hline
 101 \quad \text{差} \\
 \therefore 1100 - 111 = 101
 \end{array}$$

(三) 乘法运算

运算规则是：

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

例：二进制数 1111×1011

$$\begin{array}{r}
 1111 \quad \text{被乘数} \\
 \times 1011 \quad \text{乘数} \\
 \hline
 1111 \\
 + 1111 \quad \text{部分积} \\
 \hline
 101101 \\
 + 0000 \quad \text{部分积} \\
 \hline
 101101 \\
 + 1111 \\
 \hline
 10100101 \quad \text{积} \\
 \therefore 1111 \times 1011 = 10100101
 \end{array}$$

(四) 除法运算

二进制数的除法运算与十进制除法类似，且更为简便。

例： $100011 \div 101$

$$\begin{array}{r}
 000111 \\
 101 \overline{) 100011} \\
 \underline{101} \\
 111 \\
 \underline{101} \\
 101 \\
 \underline{101} \\
 \hline
 \therefore 100011 \div 101 = 111
 \end{array}$$

综上所述，二进制的四则运算实际上是加、减和移位三种操作。在微处理器中，为了简化电路，运算器只设置为加法器。这样，凡是减法运算就需要转化为加法运算，这就需要引入补码的概念。

二、带符号数的表示法

(一) 机器数与真值

前面提到的二进制数是没有考虑符号的无符号数。现在来考虑有符号数的表示。

直接用正号“+”和负号“-”来表示其正负的二进制数叫有符号数的真值。但在计算