

高等工科学学校机械电子工程专业系列教材

微型计算机原理与应用

大连理工大学 杨有君 主 编
张志弘 副主编
王 健

机械工业出版社



429351

高等工科学学校机械电子工程专业系列教材

微型计算机原理与应用

主 编 杨有君
副主编 张志弘 王 健
参 编 于随然 孟 松 王秀伦
王学俊 宋文阁 王永青
赵永成 王 红
主 审 赵长德



00429351



机械工业出版社

本书以 Intel 8086 CPU 为核心,介绍了 16 位微型计算机原理。全书共九章,包括微型计算机系统基础知识,微型计算机工作原理和 8086 微处理器,8086 指令系统和汇编语言与程序设计,存储器,输入输出和中断,8251A、8255A、8253、8237A、8259A 等可编程芯片,数/模、模/数转换,总线,80286、80386、80486 及 PENTIUM 微处理器概述及微机应用举例等。

本书可作为高等学校工科本科学生的教材,也可作为自学者和工程技术人员的参考书。

微型计算机原理与应用

大连理工大学 杨有君 主 编

张志弘

王 健 副主编

*

责任编辑:邓海平 孙祥根 版式设计:王 颖

封面设计:郭景云

责任校对:肖新民

责任印制:路 琳

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

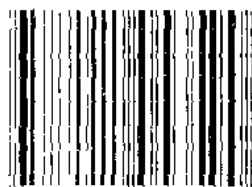
开本 787×1092^{1/8}·印张 20.75·字数 509 千字

1997 年 7 月第 1 版第 2 次印刷

印数 3 001—8 500 定价:24.00 元

*

ISBN 7-111-05359-1



9 787111 053590 >

ISBN 7-111-05359-1/TP·415 (课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换



序

随着微处理器和微型计算机的问世,电子计算机已深深介入机械制造的各个领域,诞生了一系列机、电、计算机一体化的新产品。为适应这个变化,迫切需要高等工科学校培养设计、制造、调试、使用、维修机电一体化产品的技术人才。有鉴于此,不少高等工科学校在多年探索机制专业改造并取得经验的基础上,正在创办机械电子工程专业,以满足社会的需要。但各校对新开专业缺乏经验、缺少教材和师资。在此形势下,1994年12月,机械工业部教材编辑室受机械工业部教育司委托,在沈阳召开了高等工科学校机械电子工程专业教学与教材研讨会,研讨了机械行业技术发展大趋势,认为办好机、电、计算机紧密结合的新机电工程,培养设计、制造、调试、使用、维修机电一体化的人材是非常必要的。为给机电一体化专业奠定物质基础,会议决定立即组织第一批急需的机械电子工程专业系列教材,初步确定了各教材的主编、协编和主审人员。历经一年半时间,这一套统编教材终于陆续交稿出版。

这批教材的出版是我们对机械电子工程专业教学的一种尝试,希望它能满足各校的教学所需。这套教材在组织编写过程中得到了众多学校和教师的热心帮助,在此一并表示衷心感谢。

机械工业部教材编辑室

1996年

前 言

本书是根据 1993 年 9 月国家教委工科计算机基础课程教学指导委员会确定的高等学校工科本科非计算机专业“微机原理与应用”课程教学基本要求而组织编写的。编写本书的目的是为机械电子工程及其它非计算机专业提供一本合适的教材。

本书主要介绍以 8086/8088 CPU 为核心的 16 位微型计算机系统。虽然目前高档计算机已很普及,但 8086CPU 作为某些计算机的基型,具有微型计算机的基本原理,用它介绍微型计算机原理仍有典型性。

本课程的目的是使学生从理论和实践上掌握微型计算机的基本组成、工作原理、接口电路硬件的连接及汇编语言程序设计方法,建立微机系统的整体概念,使学生具有微机应用系统软硬件开发的初步能力。在编写本书的过程中,注重理论分析,阐述原理性内容,注意理论与实践相结合。例如,本书的第二章第一节就是以计算机信息流的思想,讲述计算机工作的全过程,使他们了解计算机工作的基本原理。

本书各章的内容是:第一章微型计算机系统基础知识,第二章微型计算机的工作原理和 8086 微处理器,第三章 8086 的寻址方式和指令系统,第四章 8086 汇编语言程序设计,第五章存储器,第六章输入输出及中断,第七章可编程接口芯片,第八章数/模和模/数转换,第九章微型计算机的发展与应用。

本书由王健编写第一章,杨有君编写第二章及第七章的第三节、第四节,于随然编写第三章,孟松编写第四章,王秀伦编写第五章,王学俊编写第六章的第一至第四节,宋文阁编写第六章的第五节,王永青编写第七章的第一、第二节,赵永成编写第八章,张志弘、王红编写第九章。全书由杨有君任主编,张志弘、王健任副主编。由清华大学赵长德教授主审。

本书得到大连理工大学教材出版基金资助。

在教材编写的过程中,得到大连理工大学于泽源教授、唱江盛教授、仲崇权、李文刚副教授和卢杰持教授的热情支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

本书力求做到深入浅出,语言精炼,内容完整和教好的系统性。但由于编者水平有限,定会有不足之处,请读者提出宝贵意见。

编 者

一九九六年八月

目 录

序

前言

第一章 微型计算机系统基础知识 1

第一节 引言 1

第二节 微型计算机的应用领域 4

第三节 计算机中的数和编码 5

第四节 微型计算机硬件基础知识 18

思考题与习题 26

第二章 微型计算机的工作原理和

8086 微处理器 27

第一节 微型计算机的工作原理 27

第二节 8086CPU 的结构特点 36

第三节 8086/8088 的引脚功能 41

第四节 时钟发生器和总线管理芯片 44

第五节 8086/8088 最小模式系统 48

第六节 8086/8088 最大模式系统 52

第七节 总线占用与释放 58

思考题与习题 60

第三章 8086 的寻址方式和指令系

统 61

第一节 8086 寻址方式 61

第二节 8086 指令系统概况 65

第三节 8086 指令系统 68

思考题与习题 105

第四章 8086 汇编语言程序设计 106

第一节 汇编语言和汇编程序 106

第二节 汇编语言语句种类及格式 107

第三节 汇编语言数据 109

第四节 伪指令 113

第五节 8086 汇编语言程序设计基础 119

第六节 汇编语言程序的上机过程和

DOS 功能调用 121

第七节 8086 汇编语言程序设计 126

思考题与习题 140

第五章 存储器 141

第一节 存储器概述 141

第二节 半导体存储器 143

第三节 存储器的组成 155

第四节 存储器与 CPU 的连接 158

思考题与习题 167

第六章 输入输出及中断 168

第一节 输入输出的作用及接口技术 168

第二节 输入输出的寻址方式及指令 170

第三节 CPU 与外围设备数据传送方式 171

第四节 8086CPU 的中断方式 177

第五节 可编程中断控制器 8259A 183

思考题与习题 200

第七章 可编程接口芯片 201

第一节 可编程并行通信接口 8255A 201

第二节 可编程计数器/定时器 8253 210

第三节 串行通信和可编程串行通信

接口芯片 8251A 217

第四节 DMA 控制器 8237A 230

思考题与习题 242

第八章 数/模和模/数转换 243

第一节 概述 243

第二节 数/模 (D/A) 转换 243

第三节 模/数 (A/D) 转换 250

思考题与习题 258

第九章 微型计算机的发展与应用 259

第一节 微型计算机的发展 259

第二节 86 系列机性能的发展 259

第三节 微型计算机系统构成 273

第四节 总线 282

第五节 应用举例 287

思考题与习题 295

附录 A 8086/8088 指令编码格式 296

附录 B 8086/8088 指令编码一览表 307

附录 C 常用指令对标志寄存器标

志位的影响汇总表 318

附录 D MS-DOS 的功能调用表 319

参考文献 325

第一章 微型计算机系统基础知识

第一节 引言

世界上第一台由程序控制的计算机诞生于电子管时代,这就是1946年由美国宾夕法尼亚大学研制出来的电子数字计算机(Electronic Numerical Integrator And Computer),简称ENIAC电子计算机。这台计算机共用18800个电子管,1500个继电器,占地170m²,重达30t,耗电150kW,运算速度为每秒5000次加法运算。这个庞然大物与现今种类繁多、性能优异的计算机比起来已相形见绌了。但是它却奠定了电子计算机的技术基础,可以称得上是当今计算机的始祖。

与ENIAC计算机研制的同时,冯·诺依曼(Von Neumann)同莫尔小组合作研制出了EDVAC计算机,在这台计算机中确立了计算机的五个基本部件:输入部分、输出部分、运算器、存储器和控制器。这样的组成以及采用的二进制原则等延用至今,所以现代的一般计算机被称作冯·诺依曼结构计算机。

半个世纪以来,计算机的发展日新月异,令人瞩目。而带动计算机高速发展的一个极为重要的因素是计算机所采用的物理器件在不断进步,先后经历了电子管、晶体管、集成电路和大规模与超大规模集成电路四个时代。所以一般依此把电子计算机的发展也归结为四个时代,即电子管时代(约为1946年至1958年)、晶体管时代(约为1958年至1964年)、集成电路时代(约为1964年至1971年)和大规模与超大规模集成电路时代(自1971年至今)。

计算机通常按体积、性能和价格分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五种类型。微型计算机简称微型机或微机,是第四代计算机产品,具有体积小、质量轻、价格低、可靠性高、软件丰富等优点。这些特点正顺应了科学技术发展的新需求,所以微型机一经问世,便倍受人们青睐,以迅猛的势头,勃勃的生机不断改型换代,飞跃发展。如今微型机已无孔不入地渗透到人类工作和生活的方方面面。要想走在科技发展的前沿,当务之急是熟练掌握和应用微机技术。

一、微处理器

微处理器(Microprocessor)是微型计算机的核心,它是将微型机的运算器和控制器集成起来的芯片,通常也称它为中央处理单元CPU(Central Processing Unit)。CPU有单片的,也有性能较高的多片型CPU。

第一个微处理器是1971年美国Intel公司生产的4位芯片4004,由于在市场上受到了意外的欢迎,Intel公司很快在此基础上推出了4位的4040和8位的8080微处理器。这三种处理器即为第一代微处理器,它们的集成度约为2000个晶体管/片,时钟频率为1MHz,平均指令执行时间约为2μs。

1974~1978年,8位微处理器的性能得到完善。这期间,最具实力的微处理器生产厂家要属Intel公司、Motorola公司和Zilog公司。典型产品如Intel 8080/8085、MC6800、Z80等,集成度可达9000个晶体管/片,时钟频率为2~4MHz,平均指令执行时间为1~2μs,各项性

能指标都比第一代微处理器有较大改进，被称为第二代微处理器。

70 年代末到 80 年代初，以超大规模集成电路为基础的第三代微处理器产品更为引人注目，16 位微处理器得到推广和应用，性能进一步提高。Intel 8086 是最早开发成功的 16 位微处理器，集成度为 29000 个晶体管/片。为方便原来的 8 位机用户，Intel 公司又推出了准 16 位微处理器 8088。8088 的内部数据总线为 16 位，而外部与存储器及输入/输出接口相连的数据线则为 8 位。这是一种巧妙的过渡性安排。以 8088 为 CPU 的 IBM-PC、PC/XT 系列微机曾一度成为世界上微机的主流机型，主导市场多年。紧接着 80286 微处理器的面市，使 16 位微处理器有了更优越的性能。以 80286 为核心的 IBM-PC/AT 机成为当时的高档 16 位微机。

微处理器的前景看好，吸引着众多商家为之角逐。在激烈的市场竞争中，Intel 公司逐渐站稳脚跟，成为龙头老大。1985~1990 年，Intel 公司推出了第四代 32 位微处理器系列产品 80386、80486，处理器也由单处理器向多处理器的方向发展。1993 年 3 月，Intel 公司的微处理器 Pentium 的问世，拉开了第五代 64 位微处理器大发展的序幕。而后，芯片市场开始打破 Intel 公司一家独霸的格局，世界各大芯片制造厂商接二连三地推出新产品。1995 年底，Intel 推出的 Pentium Pro 有四个定点，两个浮点处理器，主频速度 133MHz。而 IBM、Apple 和 Motorola 合作生产的 PowerPC 604 及 Cyrix 公司、AMD 公司的 586 芯片也堪与之匹敌。微处理器市场可谓群星荟萃，色彩纷呈，产品性能不断提高，价格不断下降，将微处理器的发展推向了前所未有的高峰，由此带动着微型计算机技术的飞速发展。

表 1-1 是以 Intel 公司的产品为例，来说明微处理器在性能上的提高。

表 1-1 Intel 系列微处理器的发展

生产年代	型号	位数	集成度（晶体管/片）
1971	4040	4	2000
1974	8080	8	5000
1975	8085	8	9000
1978	8086	16	29000
1982	80286	16	100000
1985	80386	32	275000
1990	80486	32	1000090
1993	Pentium	64	3100000
1995	Pentium Pro	64	5500000

二、微型计算机

微型计算机（Microcomputer）是 CPU 通过总线与存储器和输入/输出接口电路相连构成的整体。有时也称微型计算机为主机，其基本结构见图 1-1 所示。

除了核心部件 CPU 外，微型计算机还必须有存储器和输入/输出接口（简称 I/O 接口）两大重要组成部分。

存储器好比一个大仓库，是微机用于存放程序和数据等信息的记忆部件，能够按指定位置取出（读出）或者存入（写入）信息。存储器有内存（主存）和外存（辅存）之分。内存包括只读（ROM）和读写（RAM）存储器，工作速度快，存储容量较小。内存可以通过总线和 CPU 直接相连，并与 CPU 交换信息。外存是内存的延伸，速度较慢，但容量大，掉电信

息不丢失,可以存放经常变动或暂时不用的信息,不能直接与CPU打交道。存储器容量的大小、速度的快慢是微机性能的重要指标。

输入/输出接口电路是主机与外部设备相连的关键环节。外部设备(简称外设)种类繁多,与CPU交换信息时往往出现速度不匹配、时序不匹配、信息格式不匹配、信息类型与电平不匹配等问题,这就通常要由I/O接口作为桥梁来协调解决。微机系统中除有标准的显示和键盘接口外,还提供两个串行口一个并行口连接一般外设。

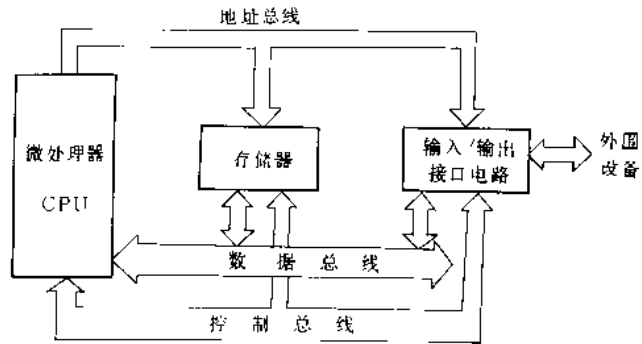


图 1-1 微型计算机的基本结构

有关存储器和I/O接口的详细内容将在后续章节加以介绍。

三、总线

总线(BUS)是微机用来传递信息的通信线,是计算机内部传递信息的主要通道。计算机内的主要部件,如CPU、存储器和I/O口等都是通过总线相互连接。为功能扩展方便,人们在微机内定义了多种总线标准,如ISA总线、VESA总线和PCI总线等。这些总线标准的确定,为微机系统功能扩展提供了可靠保证。一个部件只要符合某种总线标准,就可以连接到采用该总线标准的系统中。

各种总线标准尽管有所差异,但通常都包含三组功能不同的总线:地址总线AB(Address Bus)、数据总线DB(Data Bus)和控制总线CB(Control Bus)。

(一) 地址总线

地址总线是用来传送地址信息的总线。只能从CPU单方向输出地址线,以寻找内存单元或I/O口的地址。地址总线的位数决定了CPU可以直接寻址的内存空间。例如,16位微机的地址总线一般为20位,所以最大内存容量为 2^{20} 即1M字节。

(二) 数据总线

数据总线用来传输数据。所谓数据,在微机中是个广义概念,不同场合含义不同。它可能是真正要处理的数据,也可能是指令代码、状态量或控制量等信息。数据总线是双向的,因为数据既可以从CPU送到其它部件,又可以从其它部件送入CPU,这就要求挂接在数据线上的部件输出都为三态。我们通常所说的微处理器或微型计算机的位数,就是指数据总线的位数(或称为宽度)。例如,16位微机指的是该机的数据总线宽度为16位。

(三) 控制总线

控制总线用来传输各种控制信号。控制信号线各自独立起作用,有的从CPU送往其它部件,如读信号、写信号等为输出信号;有的从其它部件送入CPU,如中断请求信号、准备好信号等为输入信号。

四、微型计算机系统

微型计算机系统是以微型计算机(即主机)为中心,配上外部设备、电源和系统软件等,能够独立工作的完整计算机。微型计算机系统的硬件主要由主机和外设两部分组成。

外部设备(简称外设)用于使计算机实现各种信息的输入和输出。外设的种类很多。输

入设备是将数据、程序等信息转换成计算机能接受的信息形式，输入到计算机内部，如键盘、鼠标器等。输出设备是将计算机内部的二进制信息，转换成人或其它设备可以接受的信息形式输出，如显示器、打印机等。还有的外设既可以作为输入设备，也可以作为输出设备来使用，如硬盘、软盘等。

系统软件是用于使用和管理计算机的一系列软件，它包括操作系统和各种实用程序。

操作系统是系统软件的核心，它负责管理计算机的所有资源，协调计算机执行的各种操作。随着微机的不断发展，应用到微机上的操作系统也经历了由简单到复杂的过程。例如从 8 位操作系统发展到 32 位操作系统，从字符界面到图形界面，从单任务到多任务，从单用户到多用户，这都表明操作系统的功能正在不断完善。目前可供用户选择的操作系统很多，如各种版本的 DOS、WINDOWS、UNIX、OS/2 及 Macintosh 等等。

实用程序包括各种语言的汇编或解释、编译程序以及在此基础上编写的应用程序。应用程序包括编辑和排版软件、程序调试软件、网络及管理软件、计算机辅助设计/辅助制造/辅助教学和工具软件等。当今计算机软件极其丰富，拓宽了计算机的应用领域，计算机网络的普及和多媒体技术的发展使计算机从商用机发展为家用电脑。

可见，微机的硬件建立了微机应用的物质基础，而计算机软件则最有效地发挥了微机的功能，为用户使用微机提供了方便、快捷和可靠的手段。硬件与软件的结合才能构成完整的微型计算机系统。

五、微机中的信息单位

微机内的各种信息均以二进制代码表示。常用的信息单位有位、字节和字等。

(1) 位 位 (bit) 是计算机所能表示的最基本的数据单元。在计算机中，位就是一个二进制数位，每一位只能为“0”或“1”两种状态。由若干个二进制位按一定的规则，可以表示出各种数据、字符等信息。

(2) 字节 相邻的 8 位二进制数位称为一个字节 (Byte)。

所有的程序和数据都是在计算机的硬件设备上存储和运行的。而计算机并不是随意地存储各种长度的二进制数。在以 8086 为 CPU 的微机系统中，硬件的存储单元是一个字节。

(3) 字和字长 字 (Word) 是计算机内部进行数据处理的基本单位。计算机的每一个字所包含的二进制位数称为字长。计算机的字长一般指数据总线的宽度，通常所说的微机是 4 位、8 位、16 位、32 位或 64 位等，就是根据微机的字长来区分的。

在汇编语言表示中，常把两个字节，即 16 位二进制数规定为一个字；把 32 位二进制数，即两个字规定为一个双字 (Double Word)。

(4) 准 16 位机或准 32 位机 准 16 位 CPU 是指芯片内部数据总线宽度是 16 位，而片外数据总线宽度则为 8 位的 CPU。例如，Intel 8088 就是典型的准 16 位 CPU 芯片。

同样，芯片内部数据总线为 32 位，片外则为 16 位的 CPU 称为准 32 位 CPU。例如 386/SX 等都为这种结构的准 32 位 CPU。

由准 16 位 CPU 或准 32 位 CPU 所构成的微型计算机称作准 16 位机或准 32 位机。

第二节 微型计算机的应用领域

随着微处理器的飞速发展，微型计算机技术已经成为当今科学领域发展最快、应用范围

最广的前沿学科。世界上计算机生产行业竞争越来越激烈。如著名的微型机生产厂商 COM-PAQ 公司、IBM 公司、APPLE 公司、DELL 公司、DEC 公司等，他们在争夺市场上可谓群雄逐鹿，各显神通，促使微型机在性能成倍提高的同时，价格成倍下降。微型机的品种也愈加多样化，采用开放的硬件结构使配置更加方便、灵活，操作系统及各类应用软件越来越丰富，尤其是近来计算机网络的不断应用与普及，多媒体技术的广为流传，使得微型机的应用达到前所未有的高潮。概括起来，目前主要有以下几个方面的应用：

(1) 科学计算 科学计算自始至终是计算机的重要应用领域。当今的计算机具有更快和更强的数据运算能力，在航天、军工、气象等领域得到广泛的应用。而如今许多微型机系统具有较强的运算处理能力，由多个微处理器模块构成的系统，其功能可与大型机相匹敌，而成本却大大低于大型机，大有取代大型机，甚至巨型机的趋势。

(2) 信息处理及计算机网络 微型机配上数据库管理软件后，可以灵活地对各种信息按分类、检索、存储和打印等，尤其是运用于网络系统。计算机网络近几年发展迅速，除本单位、本部门的局域网络外，覆盖全国乃至世界的广域网络也相继建立起来。网络应用范围也在不断扩大。国内的“三金”工程的建立会加速社会信息化的进程。

(3) 生产过程自动化 过程控制是计算机应用较早的领域之一。计算机在工业领域的应用改变了传统的制造方式。近几年，计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM) 得到长足发展，生产过程自动化不但是生产装置的自动化，而且发展成为计算机集成制造系统 (CIMS)，大大地提高了生产效率。

(4) 智能化仪器及装置 微型机体积小、价格低、耗电少，这使得它在仪器、仪表中得到广泛应用。现在的仪器、仪表，大多采用微处理器来代替传统的机械部件或分立的电子部件，使产品在测量精度和性能上有很大提高。在人们日常使用的各种家用电器中，现在也更多地采用了微处理器进行控制，如全自动洗衣机、电视机、电冰箱、自动空调等。

(5) 家用电脑 计算机多媒体技术的应用和计算机通信功能的完善，计算机性能的提高和价格的降低，使计算机正快速地走向家庭。家用电脑的普及正在替代传统的家用电器，并将改变人们的生活方式。如家庭影院、家庭教育、家庭办公等正在成为现实。

第三节 计算机中的数和编码

一、数制

数制是利用符号来计数的科学方法。人类最初使用的数制是十进制，而且至今我们仍然最习惯采用十进制来计数。但十进制不是唯一的数制，在不同的场合，根据不同的需要，可以灵活地选用不同的数制。例如，二进制、十二进制、十六进制等计数方法，就是人们在长期的实践中探索出来的。

计算机是电子设备，它的电子器件只识别电压，特别是大部分微处理器的操作都取决于电压电平的高和低两种可靠状态，这比较符合二进制的特点。因此，目前计算机中的所有信息都以二进制的代码形式来表示。同时在计算机的设计和使用中，也常涉及十进制、八进制、十六进制等。

(一) 常用的数制简介

表示数制时，常用到基和权这两个概念。基是数制所使用的数码个数；权则表示数制每

一位所具有的值。

1. 十进制 (Decimal System)

一个任意的十进制数 D 可以表示为

$$D = D_{n-1}10^{n-1} + D_{n-2}10^{n-2} + \cdots + D_110^1 + D_010^0 + D_{-1}10^{-1} + D_{-2}10^{-2} + \cdots + D_{-m}10^{-m} =$$

$$\sum_{i=-m}^{n-1} D_i 10^i \quad (n \text{ 位整数, } m \text{ 位小数})$$

其中, D_i 是 0~9 十个数码中的一个。

例如, 十进制数 65498.13 可以展开为

$$6 \times 10^4 + 5 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$$

由此看出, 十进制的特点是

- 1) 基为 10, 即所用的数码为 0~9 共 10 个。
- 2) 各位的权是以 10 为底的幂次。
- 3) 逢 10 进位。

其它数制也具有类似的特点, 只是基和权有所不同。

2. 二进制 (Binary System)

二进制具有以下基本特点:

- 1) 基为 2, 即可用的数码为 0 和 1 两个。
- 2) 逢 2 进位。
- 3) 各位的权是 2 的幂次。

一个任意的二进制数可以表示为

$$B = B_{n-1}2^{n-1} + B_{n-2}2^{n-2} + \cdots + B_12^1 + B_02^0 + B_{-1}2^{-1} + B_{-2}2^{-2} + \cdots + B_{-m}2^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} B_i 2^i \quad (n \text{ 位整数, } m \text{ 位小数})$$

其中, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数; B_i 为 0 或 1。

例如, 二进制数 10101.01 可展开为

$$1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 21.25$$

3. 八进制 (Octave System)

八进制的特点是

- 1) 基为 8, 即可用 0~7 共 8 个数码。
- 2) 逢 8 进位。
- 3) 各位的权是 8 的幂次。

4. 十六进制 (Hexadecimal System)

十六进制具有以下基本特点:

- 1) 基为 16, 即可用 16 个数码, 包括 0~9 十个数字符, 另外用 A~F (或 a~f, 大、小写英文字母无区别) 表示 10~15。
- 2) 逢 16 进位。
- 3) 各位的权是 16 的幂次。

在汇编语言程序设计中或平时书写时, 可以将一个常数用任意的数制来表示, 只是需要在该数后面紧跟一个英文字母, 通常为所用进制的英文单词的第一个字母, 来表明采用何种

数制形式，这样，二进制数后应跟 B；八进制数后跟 O 或 Q；十进制数后跟 D，数字后不跟任何字母也表示十进制数；十六进制数后跟 H。

例如，2A3CH 表示 2A3C 是十六进制数。

(二) 数制之间的转换关系

各种数制之间都存在着一一定的转换关系，使用计算机时正确掌握和灵活运用这些关系是至关重要的。

1. 二进制与十进制的相互转换

(1) 二进制——十进制 将二进制数各位的数码乘以对应位的权，累加之和即是等值的十进制数。

【例 1-1】 求 10001101B 的十进制数。

其办法是

$$10001101B = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 141$$

因此，10001101B 的十进制数是 141。

二进制小数转换为十进制小数时，与上述方法类似，只不过二进制小数各位的权是 2^{-1} 、 2^{-2} 、 2^{-3} ...

以上把二进制数转换为十进制数的方法，实际上适合于把任意进制数转换成十进制数。即把任意进制数各位的权与该位上的数码相乘，然后求这些多项式之和就可以得到相应的十进制数。

【例 1-2】 把十六进制数 3AFBH 转换成十进制数。

$$3AFBH = 3 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 11 \times 16^0 = 15099$$

(2) 十进制——二进制 求一个十进制整数的二进制代码可以用“除基取余法”：

用 2 除该十进制数得到商和余数，则该余数为二进制代码的最低有效位 (LSB)。再用 2 除该商，又得到新的商和余数，则该余数为二进制代码的次低有效位。依此类推，直到商为 0，此时余数为二进制代码的最高有效位 (MSB)。将这些余数由高到低排列起来，就得到了该十进制数的二进制代码。

【例 1-3】 求 20 的二进制代码。

过程是：

2	20	余数
	2	10
		0 (LSB)
	2	5
		0
	2	2
		1
	2	1
		0
		0 1 (MSB)

由此得到 20 的二进制代码是 10100B。

上述方法适用于整数的转换。如果十进制小数要转换为二进制小数，则小数部分要进行乘 2 的过程，然后取整数部分作为小数点后的各二进制代码位。这种方法称为“乘基取整法”。

【例 1-4】 求 0.125 的二进制数。

其过程是

0.125	整数部分
$\times \quad 2$	
0.250	0 (小数点后的第1位)
0.25	
$\times \quad 2$	
0.50	0 (小数点后的第2位)
0.5	
$\times \quad 2$	
1.0	1 (小数点后的第3位)

小数位是 0.0 就不用继续乘 2 了, 就得到十进制数 0.125 的二进制数 0.001B。

一个十进制小数转换为二进制小数时, 可能因永远得不到 0.0 的乘积而无法得到准确的转换值, 这时可以用适当位数的近似值来表示。

一个既有整数又有小数部分的十进制数, 可分别按“除基取余”和“乘基取整”法, 对整数部分和小数部分加以转换, 然后将转换后的二进制数合在一起即为相应的二进制数。

【例 1-5】 求 20.125 的二进制代码。

由前面两例中对整数部分 20 和小数部分 0.125 的转换, 可以得到 20.125 的二进制代码为 10100.001B。

不难看出, 十进制数转换为其它进制数, 如八进制、十六进制数等, 也可按上述方法进行, 不同之处只是所用的“基”值要相应改变而已。

2. 二进制与八进制、十六进制的转换

二进制与八进制、十六进制数之间的转换十分方便, 因为每 3 个二进制位正好对应一个八进制位; 每 4 个二进制位对应一个十六进制位。

表 1-2 给出了一组基本的对应关系, 由此可见采用十六进制或八进制可以简化二进制代码的书写, 又易读且便于记忆。

表 1-2 几种进制数的对应关系

十 进 制 数	二 进 制 数	八 进 制 数	十 六 进 制 数
0	0000	00	0
1	0001	01	1
2	0010	02	2
3	0011	03	3
4	0100	04	4
5	0101	05	5
6	0110	06	6
7	0111	07	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

(1) 二进制数转换为八进制或十六进制数 将二进制数转换为对应的八进制或十六进制数时, 二进制数的整数部分由小数点向左, 每 3 位或 4 位一分, 最前面不足 3 位或 4 位的在前面补 0, 小数部分由小数点向右每 3 位或 4 位一分, 最后不足 3 位或 4 位的后面补 0, 然后把分好的每 3 位或 4 位二进制数用相应的八进制数或十六进制数代替即可。

【例 1-6】 将 11011010011.101100101B 转换为十六进制数。

转换过程为

0110, 1101, 0011.1011, 0010, 1000

6	D	3	B	2	8

因此, 上述二进制数对应的十六进制数是 6D3.B28H。

(2) 八进制或十六进制数转换为二进制数 只要把八进制数或十六进制数的每一位用相应的 3 位或 4 位二进制数代替, 即可以转换为二进制数。

【例 1-7】 将 9CE.1D5H 转换为二进制数。

9	C	E	1	D	5
1001	1100	1110	0001	1101	0101

所以, $9CE.1D5H = 100111001110.000111010101B$ 。

二、二进制数的运算

在计算机内, 一般都采用二进制来实现各种算术运算及逻辑运算。二进制数的运算规则比较简单, 也容易用电路实现。

(一) 算术运算

8086 指令系统中, 有支持加、减、乘、除运算的算术运算指令。下面介绍一下它们的运算规则。

1. 加法

两个二进制数相加时, 对应位相加。规则是

$0+0=0$
 $0+1=0$
 $1+0=1$
 $1+1=0$ 向高位产生进位

【例 1-8】 求 $1011B+1001B=?$

1011
+) 1001

10100

求得 $1011B+1001B=10100B$ 。

2. 减法

两个二进制数相减时, 对应位相减。规则是

$0-0=0$
 $0-1=0$ 向高位产生借位
 $1-0=1$

$$1-1=0$$

【例 1-9】 求 $1010\text{B}-101\text{B}=?$

$$\begin{array}{r} 1010 \\ -) 0101 \\ \hline 0101 \end{array}$$

求得 $1010\text{B}-101\text{B}=101\text{B}$ 。

3. 乘法

二进制乘法与十进制乘法类似，用部分积右移、相加等操作来完成。规则是

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

【例 1-10】 求 $1011\text{B} \times 1101\text{B}=?$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ \times) 1101 \\ \hline 1011 \\ 0000 \\ 1011 \\ 1011 \\ \hline 10001111 \end{array}$$

求得 $1011\text{B} \times 1101\text{B}=10001111\text{B}$ 。

4. 除法

二进制除法与十进制除法类似，用上商、相减等操作来完成。

【例 1-11】 求 $11100110\text{B} \div 1010\text{B}=?$

$$\begin{array}{r} 10111 \\ 1010 \overline{) 11100110} \\ \underline{1010} \\ 10001 \\ \underline{1010} \\ 1111 \\ \underline{1010} \\ 1010 \\ \underline{1010} \\ 0 \end{array}$$

求得商为 10111B 。

(二) 逻辑运算

二进制数同样适于逻辑运算。二进制数中的 0 和 1 两个数码，可代表逻辑代数中的真和伪。两个二进制数进行逻辑运算时，对应的二进制数位分别独立运算，而与相邻位的值无关，并且运算结果只能是 0 或 1 两种可能数值。

1. 或运算

“或”运算的运算符为“ $\vee$ ”。规则是

$$0 \vee 0 = 0$$

$$0 \vee 1 = 1$$

$$1 \vee 0 = 1$$

$$1 \vee 1 = 1$$

例如, 1001

$$\begin{array}{r} \vee) 1100 \\ \hline 1101 \end{array}$$

可见, 进行或运算, 两者有一个为真 (“1”), 则结果必为真; 两者都为伪 (“0”), 结果才为伪。此结论可推广至多变量的或运算, 即各变量有一个为真, 则结果必为真; 都为伪时结果才为伪。

2. 与运算

“与”运算的运算符为 “ $\wedge$ ”。规则是

$$0 \wedge 0 = 0$$

$$0 \wedge 1 = 0$$

$$1 \wedge 0 = 0$$

$$1 \wedge 1 = 1$$

例如, 1010

$$\begin{array}{r} \wedge) 1100 \\ \hline 1000 \end{array}$$

可见, 进行与运算, 两者均为真 (“1”), 则结果为真; 两者有一个为伪 (“0”), 结果必伪。此结论也可推广至多变量的与运算, 即各变量均为真, 则结果为真; 有一个为伪时结果必伪。

3. 非运算

“非”运算的运算符为 “ $\neg$ ”。规则是

$$\bar{0} = 1, \bar{1} = 0$$

逻辑非运算是实现单个逻辑值的处理, 又称之为逻辑“反”或者“取反”运算。

例如, 1011 的“非”是 0100。

4. 异或运算

运算符为 “ $\vee$ ”, 规则是

$$0 \vee 0 = 0$$

$$0 \vee 1 = 1$$

$$1 \vee 0 = 1$$

$$1 \vee 1 = 0$$

可见, 参与异或操作的两个逻辑值相同, 则结果为伪 (“0”); 不同则结果为真 (“1”。

例如, 1010

$$\begin{array}{r} \vee) 0110 \\ \hline 1100 \end{array}$$

利用逻辑运算可以分析和综合微机电路。以上逻辑运算的实现可参见本章第四节的有关内容。