



普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会推荐使用教材

高等学校教材

微型计算机原理

第二版

山东工业大学 张荣祥 主编



中国电力出版社

华北水利水电学院图书馆



208555703

TP36

Z150

普通高等学校电力工程类专业教学指导委员会推荐

高等学校教材

微型计算机原理

第二版

山东工业大学 张荣祥 主编



中国电力出版社

· 855570

内 容 简 介

本书以 Intel 公司的 8086 微处理器为例,对微型计算机的硬件、软件、系统设计等方面作了系统的阐述和分析,并扼要说明了 80X86 微处理器系列的性能特点,使读者能由此掌握微型计算机的一般原理和基本应用知识。

全书分八章,包括:概论、微处理器及存储器结构、8086 的寻址方式和指令系统、中断技术、8086 汇编语言及程序设计方法、输入/输出接口技术、系统的组成和设计、从 8086 到 80X86。各章都附有习题,书后的附录中列出了微处理器 8086 和 80486 指令系统表。

本书是全国高等院校电力工程类专业的统编教材,是 1992 年第一版的修订版,既适合高等院校有关专业及培训班的教材,亦可供计算机专业人员和从事微型计算机应用开发的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机原理/张荣祥主编. -北京:中国电力出版社, 1997

高等学校教材

ISBN 7-80125-339-6

I. 微… II. 张… III. 微型计算机-高等学校-教材
IV. TP36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 08420 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

实验小学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1992 年 6 月第一版

1997 年 11 月第二版 2001 年 7 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 469 千字

印数 7261—9260 册 定价: 20.10 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

再 版 前 言

随着微型计算机技术的飞速发展,电子计算机在各行各业的设计、制造、实验及生产过程中的各个方面,都得到了广泛的应用,其工作原理已经成为工程技术人员必须掌握的知识。高等院校亦越来越重视学生对微机原理的学习,以及培养他们应用微机解决各类专业的实际问题的能力,因此很多专业都开设了微机原理及其应用的课程。本书作为全国高等院校电力工程类专业的统编教材,由水利电力出版社1992年出版发行后,已在许多院校中使用,受到各方面的关心、重视和支持,许多专家和读者给予了较高的评价,同时也提出了一些建议和意见,这些都是对我们的莫大鞭策和帮助。

根据读者来信提出的建议,考虑到微机技术近几年的发展和跨世纪的需要,我们对本书第一版作了较大幅度的修订,但仍保持了以Intel 8086为CPU的微机系统原理及应用作为基本内容,在内容上力求贯彻“少而精”的原则,从应用的角度来取舍,论述微机的基本概念、基本功能原理及基本应用方法,并注意使学生兼有硬件和软件两方面的知识。此次修订,根据教学实践的要求,对原有的章节顺序和内容作了适当调整和修改,重编了第一章(概论)和第三章(8086的寻址方式和指令系统),增加了一章新的内容第八章(从8086到80X86),介绍了微机技术的新发展并较为侧重地介绍Intel 80486 CPU的主要技术特征,使学生在掌握16位微处理器的原理和应用的同时,对已成为90年代主流的32位微机也有所了解和掌握,为进一步学习和应用计算机打下较坚实的基础。

参加本书修订的同志有:山东工业大学张荣祥、赵建国、包成谋,其中第一、三、八章由赵建国编写。全书仍由张荣祥教授主编。浙江大学韩祯祥教授主审了本书,他还和高等学校电力工程专业教学委员会自动运动组的委员们一起对本书的修订提出了不少很好的建议和意见,谨在此一并表示衷心的感谢。最后,切望读者对修订后的本书继续给予批评和指正。

编 者

1997年9月

目 录

再版前言

第一章 概论	1
第一节 微型计算机的发展及应用概况	1
第二节 微型计算机系统的基本结构	3
第三节 计算机中的数和编码系统	5
第四节 机器字的概念和带符号数的表示法	11
习题	16
第二章 微处理器及存储器结构	17
第一节 概述	17
第二节 8086 CPU 结构	18
第三节 存储器结构	22
第四节 堆栈	26
第五节 输入和输出	26
第六节 8086 CPU 的引脚及其功能	27
第七节 8086 的最小模式和最大模式系统	35
习题	37
第三章 8086 的寻址方式和指令系统	39
第一节 计算机的指令系统和寻址方式	39
第二节 8086 的寻址方式	43
第三节 8086 的指令系统	47
习题	72
第四章 中断技术	75
第一节 中断的一般概念	75
第二节 中断类型和中断地址指针表	76
第三节 中断指令和中断的屏蔽	77
第四节 中断功能	79
第五节 8259A 可编程中断控制器	85
习题	95
第五章 8086 汇编语言及程序设计方法	96
第一节 8086 汇编语言简介	96
第二节 ASM-86 汇编语言程序	104
第三节 程序设计的基本方法	130
第四节 实用程序举例	147
习题	175

第六章 输入/输出接口技术	176
第一节 概述	176
第二节 I/O 地址空间和数据传送	177
第三节 输入/输出指令和总线周期	178
第四节 可编程并行 I/O 接口	180
第五节 存储器映象 I/O	189
第六节 8255A 与 A/D 和 D/A 转换器的连接	189
第七节 可编程串行 I/O 接口	193
习题	217
第七章 系统的组成和设计	219
第一节 地址锁存和 8282 锁存器的使用	219
第二节 数据功率放大和 8286 收发器的使用	222
第三节 8254 可编程定时器/计时器的使用	224
第四节 只读存储器和随机存取存储器与 CPU 的连接	229
第五节 直接存储器存取和 8257DMA 控制器的使用	234
第六节 多处理机系统的结构和协调	243
习题	263
第八章 从 8086 到 80X86	265
第一节 Intel 80X86 微处理器系列	265
第二节 16 位微处理器的发展	265
第三节 80386 微处理器	273
第四节 80486 微处理器	278
第五节 80X86 的指令系统	294
习题	298
附录	300
附录一 ASCII 码	300
附录二 8086 指令系统表	301
附录三 RS-232-C 连接器标准	316
附录四 浮点记数法	317
附录五 80486 指令系统表	318
参考文献	324

第一章 概 论

第一节 微型计算机的发展及应用概况

自从世界上第一台电子计算机诞生半个世纪以来,计算机技术不论在硬件还是软件方面,都取得了突飞猛进的发展,在国民经济和社会生活的各个方面获得了广泛的应用。它是本世纪人类在科学技术方面取得的最重要的成果之一。

作为电子计算机的一个重要分支,微型计算机(以下简称微机)是在1971年问世的,现已经历了20多年的发展。由于它价廉物美,小巧灵活,对运行环境的要求低而深受用户的欢迎,在计算机领域中越来越占有重要地位,并且对整个计算机行业产生了革命性的影响。它在系统结构和基本工作原理上与其它计算机基本相同,其核心部分采用大规模集成电路的微处理器或称微处理机(Microprocessor)做为中央处理单元(CPU——Central Processing Unit),并配以大规模集成电路制作的存储器、输入/输出接口电路及系统总线等。按照CPU的字长和功能来划分,微机已经经历了四代的发展演变。

第一代(1971~1972年)是4位微机。代表产品是美国Intel公司的4004微处理机和由它所组成的MCS-4微机。由于它们的功能有限且系统容量较小,目前一般只用于较为简单的专门用途,如计算器、电子玩具和家用电器等。

第二代(1972~1978年)是8位微机。代表产品有美国Intel公司的8080/8085、Motorola公司的MC6800以及Zilog公司的Z-80等。这些CPU在功能上比第一代微机有了较大提高,在世界上和我国国内都曾获得广泛的应用,但随着技术的发展进步,现在已经较少应用。

第三代(1978~1985年)是16位微机。Intel公司的8086、Motorola公司的MC68000和Zilog公司的Z-8000等为典型代表。这些16位CPU,在技术上较之于早期的CPU有了一些突破性的进展,在功能上已经达到或超过了早期小型计算机的水平。特别是美国IBM公司在它的IBM-PC个人计算机上采用了Intel的8088(8086的一种变形产品),更使得16位微机的应用得到了进一步的发展。现在16位微机仍然被广泛地应用于许多方面。

第四代(1985年以后)是32位微机。1985年10月,Intel公司宣布了它的高性能的32位微处理器80386,标志着32位微机时代的开始。随后又相继推出了高档32位微处理器80486和奔腾(Pentium即所谓586)以及1995年下半年推出的Pentium PRO(P6)和预计将于1998年推出的64位CPU Merced(P7),使微型计算机技术发展到一个大容量、多用户、多任务的全新的阶段。专家们认为,自90年代后期开始,将是32位和64位微机的时代。

纵观微处理器的发展历史,Intel公司的产品一直占据着主导地位,其生产的80X86

CPU 几乎成了微处理器的代名词。但其它半导体厂商也不甘示弱,纷纷推出其高性能低价格的产品与 Intel 公司竞争。比较具有代表性的有 AMD 公司的 AMD486、K5 (相当于 Pentium)、K6 (相当于 Pentium PRO) 和 Cyrix 公司的 5X86、6X86 等。另外,由 Apple、IBM 和 Motorola 等公司联合开发的基于 RISC (精简指令集计算机) 技术的微处理器 POWER PC,在 workstation 和小型机上也获得了较为广泛的应用,成为 Intel 公司在这一领域应用中强有力的竞争对手。这些产品或自称与 Intel 的相应产品完全兼容,但在价格上要低于 Intel (如 AMD 的 486、K5、K6 以及 Cyrix 的 5X86、6X86 等);或者自成体系,在功能上号称远远超过 Intel 相应档次的 CPU (如 POWER PC 等)。这些产品近年来在国内应用得也相当多。

在微机的发展过程中,还有一个需要特别说明的方面就是单片机 (Microcontroller) 技术。单片机是将 CPU、存储器、输入/输出接口等各种功能集成在同一片半导体芯片上,构成一个较小的微机系统,一般用于一些专用的控制场合。由于其体积小、价格低、使用简单方便,可广泛地用于各种较小的精密数字系统控制,象各种智能化仪器仪表等。8 位单片机的典型产品是 Intel 公司的 8048、8051 及其升级产品 8751、8951、80C552 和 Motorola 公司的 MC6801 以及 Zilog 公司的 Z-8 系列,它们都获得了较好的应用效果。1982 年 Intel 公司推出的 16 位单片机 8096 系列以及后来推出的 32 位单片机 80196 系列,也都在国内获得了较为广泛的应用。现在单片机产品的开发应用在上世界上仍方兴未艾,应用范围越来越广,包括 Intel 公司在内的许多公司都投入巨大的人力和财力,开发研制自己的单片机产品及其应用系统,产品不断推陈出新,性能不断提高,功能不断增强,形成了百花齐放、精彩纷呈的局面。除 Intel 公司的单片机产品之外,许多其它公司的产品在国内也获得了比较广泛的应用,如 Microchip 公司的 PIC16C5 系列、TI 公司的 DSP 芯片、TMS3202 系列以及 Motorola 公司的 68HC16 系列等。

随着半导体技术的进步,微处理器芯片的集成度也在不断提高,如早期的 8086 CPU 采用的是 $3\mu\text{m}$ 技术,其内部集成有 27000 个晶体管,工作频率为 10MHz,而 1996 年推出的 Pentium PRO 的技术指标为:晶体管 550 万个,工作频率为 200MHz,每秒执行百万条指令数 (MIPS) 为 400,线宽为 $0.35\mu\text{m}$ 。预计到微处理器诞生 40 周年时 (2011 年),它將具有以下技术指标:晶体管数将达到 10 亿个 (是最初 4004 微处理器的 435000 倍),工作频率达到 10GHz (目前微波炉频率的 4 倍),MIPS 可达 100000。集成度的大幅度提高,为微处理器功能的增强提供了强有力的技术支持,也为微型计算机技术的进一步发展带来了可能。

由于微型计算机具有体积小、功能强、使用和维护方便、可靠性高和价格低廉等优点,自问世以来很快就获得了广泛的应用,从航天工业、国防工业到一般工农业生产、交通运输、医药卫生、文化教育、文字处理和办公室自动化,以至家庭生活等各个领域都越来越多地使用了微型计算机,它已成为人类社会生活中一种必不可少的设备。尤其是近年来,随着多媒体技术 MMX (Multimedia Extension) 和国际互联网 Internet 的推广普及,使微机在处理图形、图像、声音和通信等应用方面,获得了更好的性能和更高的质量,包括在 Internet 上打电话、传送电子邮件、召开电视会议、共享应用软件、观看具有高保真音响效果的

电影等，使微机的输出变得更加声形并茂、绚丽多彩，进一步促进了世界各国的技术和文化交流，缩小了各国之间的空间距离。

电力工业是应用计算机较早且推广迅速的部门之一。微机在电力生产、基本建设和运行管理等各个方面都发挥了重要作用。现在工业发达国家中的绝大多数发电厂，已经实现了以计算机技术为基础的自动化过程控制。以微机为基础的分布式数据监控系统在我国火电厂的应用也增长很快，它除了可实现数据采集处理、安全和效率监视外，还包括实时运行控制和最佳运行指导等功能。在电力系统的运行调度方面，国内在近几年大力推广微机运动、数据采集与监控（SCADA—Supervisory Control And Data Acquisition）技术的基础上，已经开始实现了调度自动化和能量管理系统（EMS—Energy Management System）的应用。以微机为基础的变电站综合自动化系统则把继电保护、远方控制和实时监测以及二次信号系统综合在一起，简化了设计，降低了变电站的造价和运行管理费用，提高了变电站的运行管理水平。采用数字计算机技术的微机继电保护装置可靠性高、应用灵活、调试方便，并可以附加完成其它一些任务，如故障测距、故障录波、事件数据记录打印等等。另外在负荷控制、配电自动化以及各种运行管理方面，微机也得到了广泛的应用，受到了各级电业部门的高度重视。

微机技术还被广泛应用于电力系统安全稳定控制装置及水电厂的监控和综合自动化系统，并以微机为基础建立了水情测报和防洪调度自动化系统，其中包括微机励磁调节器、微机调速器、微机频率自动记录装置、系统失步解列装置、低频减负荷装置、事件顺序记录装置、事故录波装置、电量监测装置等等。

可以预见，随着微型计算机及其应用的发展，在技术上必将会有很多新的突破，要做出准确的预计是非常困难的，但可以肯定地说，微机对于国民经济和社会生活各方面，包括对电力工业发展的影响将会愈来愈大。

第二节 微型计算机系统的基本结构

电子计算机作为一种高度自动化的、能进行快速运算和逻辑判断、具有记忆功能的电子设备、主要由以下四个部分组成：运算器、控制器、存储器和输入输出设备。其基本结构框图如图 1-1 所示。

图中的运算器用来对各种数据进行加、减、乘、除等算术运算以及各种逻辑运算，控制器的任务则是控制计算机的各部分按照人们预先设定的计算步骤（即事先编好的程序）自动地进行操作，如控制运算器进行运算、控制运算器和存储器之间的信息交换、控制输入输出设备的工作等。在微机中，一般地把运算器和控制器两部分集成在一起，合称为中央处理单元（CPU）或称微处理器单元 MPU（Micro Processing Unit），它是微机系统的核心。

输入设备和输出设备是实现人和计算机之间联系的部件。通过输入设备可以把各种原始数据或控制命令以及计算机程序送入计算机的存储器中保存起来；而输出设备则是将计算结果或人们所需要的其它信息（包括数据、图形、图像、声音或者是各种控制信号等）送

出，供人们使用。输入/输出设备的种类很多，对于微型计算机系统来说，最常见的输入设备是键盘，最常见的输出设备是CRT（Cathode-Ray Tube）显示器和打印机。由于计算机内的所有信息都是以二进制代码的形式表示的，与人表达信息的习惯很不相同，因此在输入/输出的过程中一般需要进行数据信息的转换。

存储器具有记忆功能，用来存储数据信息或程序用。它分为外存储器（或称辅助存储器）和内存储器（或称主存储器）。存储器是由大量的存储单元组成的，每个单元可以存放一个字节的的数据信息，为了便于区分，为每个存储单元分配一个编号，称为该单元的地址。

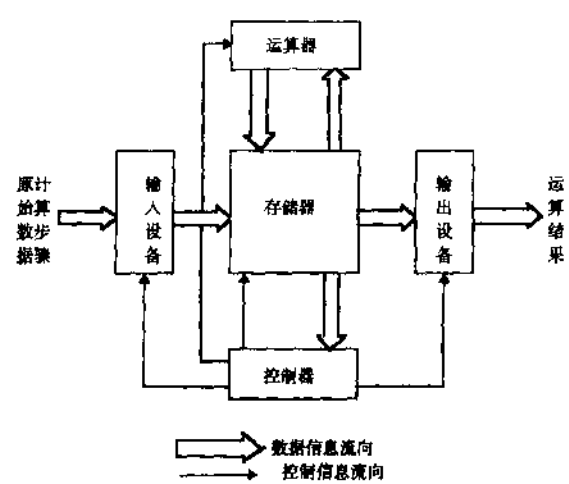


图 1-1 计算机系统的基本功能框图

存储器所包含存储单元的多少，称为计算机的存储容量，它是衡量计算机性能的一个重要指标。一般来讲，内存储器容量越大，计算机的性能就越好，处理问题的能力就越强，计算机的运行速度也就越快。存储器的另外一个性能指标是它的存取速度，速度越高越好。一般计算机系统中都是采用容量不太大，但速度较高的内存储器和容量很大而速度相对较低的外存储器配合工作。外存储器用于存放目前暂时不用的数据信息。现在的计算机系统中，外存储器一般是磁盘、磁带或光盘，是利用磁性媒体或

激光特性存储信息；而内存储器现在几乎毫无例外的都是采用半导体存储器，利用电子器件特性存储信息以达到高速存取的目的。内存储器分为只读存储器（ROM-Read Only Memory）和随机存取存储器（RAM-Random Access Memory）两类，前者用于存放需要长期保存不变的信息，如程序、固定参数等，后者用于保存经常需要改变的数据。它们的基本结构原理在电子技术基础（数字部分）中已经学过，这里就不再赘述。

以上各种器件构成的物理装置，称为计算机的硬件，是计算机系统的物质基础。但一个计算机系统只有硬件还不能工作，必须要有相应的软件支持才行，只有硬件软件同时具备，计算机系统才能自动、快速、连续地工作，这正是计算机系统区别于以往硬件布线逻辑式设备的重要特点。所谓软件就是在计算机硬件上记录和运行的各式各样的程序及其有关资料，分为系统软件和应用软件两大类。系统软件包括操作系统、编译程序、诊断程序以及各种程序设计语言等，而应用软件则是用户为解决具体的应用问题而编制的各种应用程序。

一般说来，计算机的硬件和软件在逻辑功能上是等效的，即由软件实现的操作在原理上是可以硬化成为硬件来实现；同样，由硬件实现的操作在原理上也是可以用软件的模拟来实现。例如，乘法操作可以通过子程序（软件）来实现，也可以直接利用硬件来完成。因此，具有相同功能的计算机系统，其软硬件功能的分配可以在一定范围内相互转化。一般地，加大硬件功能的比例可以提高解题速度、减少所需的存储器容量，但会提高硬件的成

本并降低硬件的利用率和计算机系统的灵活性与适应性；相反，加大软件功能的比例可以降低硬件的造价，提高灵活性和适应性，但解题速度要下降，软件设计费用和所需的存储器容量要增加。选择什么样的软硬件分配比例，主要取决于系统的应用要求和在现有的硬件条件下的性能价格比。

第三节 计算机中的数和编码系统

计算机的基本功能是进行数的计算和加工处理。由于计算机中的数据是以器件的物理状态表示的，为了使表示更为方便可靠，在计算机中所有的数据均以二进制数系统来表示，所有的字母、字符等也都是利用二进制数来表示的。关于这一点，在前期课程（如计算机算法语言或计算机操作基础等）中已经学过，在本书中只做简要回顾。

一、数和进位计数制

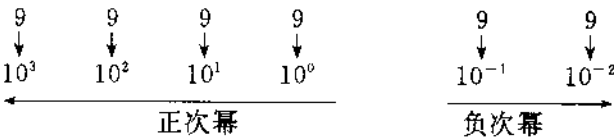
（一）十进制数

十进制数是人们非常熟悉的一种进位计数制，讨论它的目的是从中得出数码和进位计数制的规律，以便于对二进制数和十六进制数的讨论。

十进制数具有以下两个基本特点：

- （1）具有 10 个不同的数码符号，即：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9；
- （2）计数进位原则：逢十进一（指加法，减法为借一当十）。

由于是逢十进位，因此同一个数码在不同的数位，代表不同的数值大小。例如：



式中，每一个数位都有一个基值与之相对应，这个基值称为权。小数点左边各数位的权是 10 的正次幂，小数点右边各数位的权是 10 的负次幂。所以这个数可写成：

$$9999.99 = 9 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 9 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2}$$

每一数位上的值是该位的数码与权的乘积。于是，任意一个十进制数 D ，可以表示为：

$$D = D_{n-1} \times 10^{n-1} + D_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + D_0 \times 10^0 + D_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + D_{-m} \times 10^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} D_i \times 10^i$$

式中， n 为整数部分的位数， m 为小数部分的位数， D_i 的值为 0、1、……8、9 十个数码中的任一个，它取决于一个具体的数。

（二）二进制数

二进制数的两个基本特点：

- （1）具有两个不同的数码符号：0 和 1。
- （2）计数进位原则：逢二进一（减法为借一当二）。

与十进制数相似，同一个数码在不同的数位代表不同的数值，即每一个数位有一个权

与之对应。

一个二进制数的值也可以用它的按权展开式来表示，例如：

$$\begin{aligned}(11011.101)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &\quad + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (27.625)_{10}\end{aligned}$$

式中，小数点左边各位数的权是 2 的正次幂，小数点右边各位数的权是 2 的负次幂。于是，任意一个二进制数 B 可以表示为：

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

式中， n 为整数部分的位数， m 为小数部分的位数， B_i 值为 0 或 1，取决于一个具体的数。

(三) 十六进制数

十六进制数的两个基本特点：

(1) 具有 16 个不同的数码符号：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。

(2) 进位计数原则：逢十六进一（减法为借一当十六）。

同样，同一数码在不同的数位代表不同的值。例如：

$$\begin{aligned}(6C6.11)_{16} &= 6 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 6 \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2} \\ &= (1734.0664)_{10}\end{aligned}$$

任意一个十六进制数 H ，可表示为

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

式中， n 为整数部分的位数， m 为小数部分的位数， H_i 的值是 0~9 和 A~F 中任一个数码，取决于一个具体的数。

十进制数、二进制数和十六进制数之间的数值转换对照如表 1-1 所示。

二、不同进位制数之间的转换

十进制是人们在日常生活中比较熟悉的一种数制，而二进制数由于只有 0 和 1 两个数码，比较容易用物理器件的状态来表示，并且它的运算规律比较简单，所以在计算机中都采用二进制。但由于二进制数的位数比较多，人们在读写时非常不方便，因此为了方便读写，十六进制数也被广泛采用，就是用 1 位十六进制数来表示 4 位二进制数。

(一) 二进制数与十六进制数之间的转换

因为 $2^4=16$ ，故 1 位十六进制数相当于 4 位二进制数，其对应关系见表 1-1，只要熟记它们之间的对应关系，二进制数与十六进制数之间的相互转换是很简单的。

表 1-1

十进制数、二进制数和十六进制数对照表

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	6	0110	6	12	1100	C
1	0001	1	7	0111	7	13	1101	D
2	0010	2	8	1000	8	14	1110	E
3	0011	3	9	1001	9	15	1111	F
4	0100	4	10	1010	A	16	10000	10
5	0101	5	11	1011	B	17	10001	11

(1) 二进制数转换成十六进制数：以小数点为界，分别向左向右，每 4 位为一组，最后不足 4 位时，前面（或后面）补 0，每 4 位二进制数用 1 位十六进制数代替。

【例 1-1】

$$(101100.101)_2 = (? . ?)_{16}$$

解

$$\begin{array}{ccc} 0010 & 1100 & . & 1010 \\ 2 & C & . & A \end{array}$$

$$(101100.101)_2 = (2C.A)_{16}$$

(2) 十六进制数转换成二进制数：不论是整数部分还是小数部分，只要把每 1 位十六进制数用相应的 4 位二进制数来代替即可。

【例 1-2】

$$(4A.B3)_{16} = (? . ?)_2$$

解

$$\begin{array}{ccc} 4 & A & . & B & 3 \\ 0100 & 1010 & . & 1011 & 0011 \end{array}$$

$$(4A.B3)_{16} = (1001010.10110011)_2$$

一般在书写时，为了区分是哪一种进位计数制，可以采用后缀字母 B (Binary) 表示该数为二进制数；H (Hexadecimal) 表示该数为十六进制数；后缀 D (Decimal) 表示该数为十进制数，但一般书写十进制数不加后缀 D。

(二) 二进制数或十六进制数转换成十进制数

在进行这种转换时，只需要将相应的二进制数或十六进制数按权展开式相加，就可得到相应的十进制数。

在任意一个二进制数或十六进制数的按权展开式中，任一位数的数码只要不为 0，则该位的权为有效权值；否则，则该位的权为无效权值。所以，只要将二进制数或十六进制数的所有“有效权值”相加，即得对应的十进制数。

二进制数的各数位的权值如表 1-2 所示。

表 1-2

2 的正、负次幂

2 的正次幂				2 的负次幂	
$2^0=1$					
$2^1=2$	$2^5=32$	$2^9=512$	$2^{13}=8192$	$2^{-1}=0.5$	$2^{-5}=0.03125$
$2^2=4$	$2^6=64$	$2^{10}=1024$	$2^{14}=16384$	$2^{-2}=0.25$	$2^{-6}=0.015625$
$2^3=8$	$2^7=128$	$2^{11}=2048$	$2^{15}=32768$	$2^{-3}=0.125$	$2^{-7}=0.0078125$
$2^4=16$	$2^8=256$	$2^{12}=4096$	$2^{16}=65536$	$2^{-4}=0.0625$	$2^{-8}=0.00390625$

(三) 十进制数转换成二进制数

十进制数转换成二进制数时，应将十进制数的整数部分和小数部分分别采用不同的方法转换，转换后组合在一起，即得十进制数的二进制数编码。

(1) 十进制数的整数转换成二进制数的方法是：用 2 不断地去除要转换的十进制数，直至商为 0。每次的余数即为二进制数的相应位二进制编码，最初得到的为整数的最低有效数，最后得到的为最高位有效数。简称为除 2 取余法。

(2) 十进制小数转换成二进制小数的方法是：不断用 2 去乘要转换的十进制小数，每次所得的整数 (0 或 1) 即为二进制相应位小数的二进制编码，最初得到的为小数的最高位有效数，最后得到的为最低位有效数。简称为乘 2 取整法。

应当注意的是，并非所有的十进制小数都能以有限位的二进制小数精确表示的，在这种情况下，则可以根据精度要求，确定取几位小数，得到十进制小数的二进制近似表达式。例如十进制数的 0.1 在转换成二进制后则为一无限循环小数，只能以近似值的方法表示。

【例 1-3】 $(25.3125)_{10} = (? . ?)_2$

解 对于 $(25)_{10}$ ，采用竖式进行计算和转换如下：

	余数	(权)	
2 25	— 1	(2^0)	低位
2 12	— 0	(2^1)	
2 6	— 0	(2^2)	
2 3	— 1	(2^3)	
2 1	— 1	(2^4)	高位
0			

直至商为 0 为止。 $(25)_{10} = (11001)_2$

对于小数部分 $(0.3125)_{10}$ ，采用竖式进行计算和转换如下：

	(权)	0.3125
高位	(2^{-1}) —	$\times 2$
		0.6250
	(2^{-2}) —	$\times 2$
		1.250
	(2^{-3}) —	$\times 2$
		0.50
低位	(2^{-4}) —	$\times 2$
		1.0

$(0.3125)_{10} = (0.0101)_2$

所以，最后得出： $(25.3125)_{10} = (11001.0101)_2$

(四) 十进制数转换成十六进制数

可以先把十进制数转换成二进制数，然后再把相应的二进制数转换成十六进制数。也可以采用对整数部分除 16 取余，小数部分乘 16 取整的方法进行转换。

三、十进制数的二进制编码及 ASCII 码

(一) 十进制数的二进制编码

由于人们习惯于用十进制计数，计算问题的原始数据大多是十进制数。但是计算机是采用二进制进行计算和处理的，不能直接输入或输出十进制数。为解决这一问题，人们采用以二进制数对十进制数编码的方法，即用若干位二进制数来表示 1 位十进制数，这就是所谓的二-十进制编码或称 BCD 码 (Binary Coded Decimal)。可以有多种二-十进制编码方式，但目前用的最普遍的是 8421 码，这种编码的原则是：

(1) 每 1 位十进制数用 4 位二进制数来表示，4 位二进制数的权分别为 8、4、2、1。由于 4 位二进制数可以有 16 种编码方式，而在 BCD 码中，只需要 0~9 十个数码，因此在 4 位二进制数的 16 种编码方式当中，只有 0~9 为许用码，而 A~F 六种码为禁用码。

(2) 每位 BCD 码 (4 位二进制数) 之间的进位同十进制数一样，也是逢十进一。

【例 1-4】 试以 BCD 码表示十进制数 896。

解 十进制数 896 用 BCD 码表示为：

$$(896)_{10} = (1000 \ 1001 \ 0110)_{\text{BCD}}$$

注意 BCD 码同二进制数的区别。896 的二进制数为 $(896)_{10} = (1110000000)_2$

(二) BCD 码的二-十进制修正

BCD 码仅仅是在计算机中对十进制数的一种二进制编码表示方法，并不是说计算机可以直接识别或处理十进制数。不论以什么样的编码方式表示，在计算机内部，所有的运算都还是按二进制的运算规律进行的。这就带来一个问题：当两个 BCD 码进行加、减法运算时，其任一位置上的结果，可能是 0~9 或者是 10~18 (考虑到有进位或借位时应为 10~19) 中的任一值。如为 0~9 之间的一个值，这是正确的，但若是 10~19 之间的一个值，则对于 BCD 码来讲，是非法的 (出现了禁用码字)，这一结果就是不正确的，必须进行二-十进制修正 (或叫做二-十进制调整)。现以加法为例说明如下。

【例 1-5】 两个 2 位 BCD 码 $A=31\text{H}$, $B=56\text{H}$ ，求 $A+B=?$

解 按二进制加法规则运算如下：

	0011	0001		31
+	0101	0110	+	56
	1000	0111		87

BCD 码各位相加之和的值都在 0~9 之间，结果正确。

【例 1-6】 若两个 2 位 BCD 码 $A=58\text{H}$, $B=23\text{H}$ ，求 $A+B=?$

解

	0101	1000		58
+	0010	0011	+	23
	0111	1011		81

显然，按照二进制的运算规律所得的运算结果为 7BH，是不正确的。在其个位数上出现了禁用码字 1011，因为 $(1011)_2 = (11)_{10}$ ，根据逢十进一的规则，应该把 11 中的 10 向高位进位，而个位剩 1，为达此目的，可人为地加 6 修正如下：

$$\begin{array}{r} 0111 \ 1011 \\ + \quad 0000 \ 0110 \\ \hline 1000 \ 0001 \end{array}$$

结果 $(1000 \ 0001)_2 = 81$ ，正确。

【例 1-7】 两个 2 位 BCD 码 $A=0100 \ 1001B$ ， $B=0011 \ 1000B$ ，求： $A+B=?$

解 $\because A=49$ ， $B=38$

$\therefore A+B=87$

用二进制加法规则对两位 BCD 码相加时：

$$\begin{array}{r} 0100 \ 1001 \\ + \quad 0011 \ 1000 \\ \hline 1000 \ 0001 \\ \leftarrow \text{有进位} \end{array}$$

这一结果显然也是错误的，造成错误的原因是在本例中，BCD 码的个位相加之和为 17，按二进制运算规则第 3 位 (2^3) 向第 4 位 (2^4) 是逢十六进位，而 BCD 码个位向十位是逢十进位，这样在进位时就相差了 6。同样人为地加 6 修正如下：

$$\begin{array}{r} 1000 \ 0001 \\ + \quad 0000 \ 0110 \\ \hline 1000 \ 0111 \end{array}$$

$(1000 \ 0111)_{BCD} = 87$ ，结果正确。

从上述例题中我们可以得出 BCD 码的二-十进制修正的规律如下：

- (1) BCD 码的每位数相加之和是 0~9 之间的任一值，结果正确；
- (2) 若是 10~15 之间的任一值，为 BCD 码的禁用码字，需加 6 修正；
- (3) 若是 16~19 之间的任一值，因为在进位时多进了 6，需加 6 修正。

BCD 码的减法运算与加法运算类似，先按二进制减法规则进行运算，对中间结果进行判断是否需要减六修正。

这里需要说明的是，BCD 码的这种修正，是通过计算机的专用修正指令自动进行的，有关修正指令的内容将在指令系统（第三章）中介绍。

(三) 字母、数字等字符的编码——ASCII 码

为了在计算机中表示字母、数字等字符符号，人们按照一定的编码，以二进制代码的形式，来表示各种字母、数字符号。同样的，这种编码方式可以有多种，目前普遍应用的编码是 ASCII (American Standard Code for Information Interchange) 编码。ASCII 码是一种 7 位码，共有 128 种字符，包括数字、字母和控制符号等，见附录一。如采用字长为 8 位的二进制数来表示 ASCII 码，则可将最高位用做奇偶校验位。

第四节 机器字的概念和带符号数的表示法

一、三种数据基本类型表示方法

对于一台微机系统，一般有三种基本的数据类型：无符号二进制数、带符号二进制数和无符号十进制数（BCD 码）。

(1) 无符号二进制数的表示方法比较简单，各数据位根据位数的多少，从低到高依次排列。 n 位无符号二进制数的表示范围为 $0 \sim 2^n$ ，共有 $2^n - 1$ 种组合方式。8 位无符号数的表示范围为 $0 \sim 255$ ，16 位无符号数的表示范围为 $0 \sim 65535$ 。8 位无符号数的数据形式如下：

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
----	----	----	----	----	----	----	----

(2) 在计算机中，数据的符号也是以二进制代码的形式表示的，习惯上用 0 表示正，1 表示负。因此对于带符号二进制数来说，除了要用一定的位数表示二进制数的数值之外，还需要用 1 位（一般是用最高位）二进制数来做符号位。 n 位带符号二进制数的表示范围为 $-2^{n-1} \sim +2^{n-1} - 1$ 。8 位带符号数的表示范围是 $-128 \sim +127$ ；而 16 位带符号数的表示范围是 $-32768 \sim +32767$ 。8 位带符号数的数据形式如下，其中 S 是符号位：

S	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
---	----	----	----	----	----	----	----

(3) 无符号十进制数有两种形式。

1) 无符号压缩 (Packed) 十进制数的形式如下：

十 位				个 位			
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

由于每位 BCD 码需要 4 位二进制数表示，故压缩十进制数的存放方式是在一个字中，存放两位 BCD 码，低 4 位是个位，高 4 位是十位，其表示范围为十进制数的 $00 \sim 99$ 。

2) 无符号非压缩 (Unpacked) 十进制数的形式如下：

一 位							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

对非压缩的十进制数，一个字中只在低 4 位存放一位 BCD 码，高 4 位对于加减运算来说可以是任何数值，而对于乘除法运算时，则必须为 0，它的表示范围是 $0 \sim 9$ 。

二、计算机数据的基本单位

一般来讲计算机所能处理的最小数据单位是位 (Bit)，它可以用一位二进制数来进行描述；习惯上把 8 位二进制数称为一个字节 (Byte)，这是计算机数据的基本单位；计算机在一次操作中所能处理的最大数据单位称为字 (Word)，或称为机器字，每个字所包含的二进制数的位数，称为该计算机的字长。由于各种 CPU 的结构和处理能力不同，不同类型的计算机都给机器字规定了统一的位数。本教材中重点介绍的 Intel 8086 CPU 的字长为 16 位二进制数，因此我们把它称作 16 位微机。显然它的一个字包含了两个字节。