



中等职业教育国家规划教材（计算机及应用专业）
全国中等职业教育教材审定委员会审定

计算机原理

专业主编 王 森 主编 王书增
责任主审 宋方敏 审稿 张幸儿 钱树人



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业教育国家规划教材(计算机及应用专业)

计算机原理

专业主编 王 森 主编 王书增
责任主审 宋方敏 审稿 张幸儿 钱树人



A0998603

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为中等职业学校计算机技术类各专业国家规划教材,以教育部新颁布的《计算机原理》课程教学大纲为依据编写。本书以讲解冯·诺依曼结构为主线,以计算机基本原理为重点。主要内容是:数字设备中数与字符的表示方法、微型计算机的基本结构和工作原理、指令及 Intel 8088 指令系统、存储器组织、中断系统及输入/输出接口技术和常见外部设备。

本书是由长期从事一线教学的中职教师编写的,具有简单易懂、适应性强的特点,既可作为中职教材也可供初学者使用。

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。

图书在版编目(CIP)数据

计算机原理/王书增主编. —北京:电子工业出版社,2002.6

中等职业教育国家规划教材(计算机及应用专业)

ISBN 7-5053-7200-9

I.计… II.王… III.电子计算机—基础理论—专业学校—教材 IV.TP301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 038961 号

责任编辑:吕 迈 特约编辑:黄志瑜

印 刷:北京李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:11.75 字数:301 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版 2002 年 7 月第 3 次印刷

印 数:20 100 册 定价:15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

本课程是中等职业学校计算机及应用专业的一门主干专业基础课程。其任务是使学生掌握必要的计算机硬件和软件知识,掌握微型计算机组成结构和各部件的工作原理,了解指令系统,了解计算机系统常见的外围设备的功能和使用方法,为学生学习专业知识和提高技能,适应职业变化及继续学习打下基础。

在学习本课程前应当掌握一种面向用户的高级程序设计语言及学习过数字电路。

本课程的教学目标是使学生掌握计算机硬件和软件的基本知识,初步学会运用时序概念分析问题和解决问题的方法,理解计算机系统的工作过程,为本专业后续课程的学习打下基础。

为了适应当前中职教学所面临的实际状况,本教材十分重视内容的取舍。对于重点内容必须讲透,可讲可不讲的坚决舍弃。应该了解的内容,以讲清楚为度。

本教材可供 65~75 学时的课堂教学使用,有些章节的内容可根据不同的教学要求进行适当的取舍。

本书由天津电子信息职业技术学院王书增,珠海市工业学校王泰,北京市电子工业学校蒋从根和常州信息职业技术学院陶洪共同编写。王书增担任主编,并编写第 7、8 章,王泰编写第 1、2 章,陶洪编写第 3、4 章,蒋从根编写第 5、6 章。

本书在编写过程中得到了各参编院校的大力支持,并得到了电子工业出版社的指导和热情帮助,在此表示由衷的感谢。

由于编者水平所限,书中一定存在不少差错和疏漏,诚请广大读者和各位同仁批评指正。

编 者

天津电子信息职业技术学院

2002 年 1 月 10 日

目 录

第1章 数字设备中信息的表示方法	(1)
1.1 微型计算机概述	(1)
1.1.1 微型计算机的特点和发展	(1)
1.1.2 微型计算机的分类	(3)
1.1.3 微型计算机的应用	(3)
1.2 数和数制	(6)
1.2.1 各种数制及其表示法	(6)
1.2.2 各种数制间的相互转换	(8)
1.2.3 二进制数的运算	(11)
1.2.4 逻辑运算	(13)
1.3 有符号二进制数的表示方法及溢出问题	(14)
1.3.1 有符号二进制数的表示方法	(14)
1.3.2 有符号数运算时的溢出问题	(17)
1.4 定点数和浮点数	(18)
1.4.1 定点法	(19)
1.4.2 浮点法	(19)
1.5 二进制编码的十进制数	(20)
1.5.1 8421 BCD 码	(20)
1.5.2 BCD 码的运算	(21)
1.6 ASCII 字符代码	(23)
1.7 其他信息的编码举例	(23)
本章小结	(24)
习题1	(24)
第2章 计算机系统的组成	(25)
2.1 计算机系统的组成	(25)
2.1.1 计算机系统的组成	(25)
2.1.2 微型计算机的组成	(26)
2.2 微处理器 MPU	(28)
2.2.1 MPU 的结构	(28)
2.2.2 运算器	(28)
2.2.3 控制器	(29)
2.2.4 寄存器	(30)
2.2.5 指令系统	(30)
2.3 存储器	(35)
2.3.1 存储器的分类	(35)

2.3.2	存储器的地址信息	(35)
2.3.3	存储器的组织和管理	(36)
2.3.4	指令的寻址方式	(37)
2.3.5	操作数的寻址方式	(40)
2.4	常见 I/O 设备及 I/O 接口	(45)
	本章小结	(45)
	习题 2	(46)
第 3 章	中央处理器	(47)
3.1	中央处理器的功能及组成	(47)
3.1.1	什么是中央处理器	(47)
3.1.2	CPU 的功能	(47)
3.1.3	CPU 的组成	(47)
3.2	8088 微处理器	(49)
3.2.1	8088 的寄存器结构	(49)
3.2.2	8088 的功能结构	(52)
3.2.3	8088 的存储器组织	(53)
3.2.4	8088 CPU 引脚及其功能	(54)
3.2.5	8088 的典型时序	(59)
3.3	CPU 的常用技术	(62)
3.3.1	与指令集有关的技术	(62)
3.3.2	与并行处理相关的技术	(63)
3.3.3	未来的技术走向	(64)
	本章小结	(65)
	习题 3	(65)
第 4 章	存储系统	(66)
4.1	半导体存储器	(66)
4.1.1	半导体存储器的分类	(66)
4.1.2	半导体存储器的主要技术指标	(75)
4.2	存储器与 CPU 的连接	(76)
4.2.1	存储器与 CPU 连接时要考虑的问题	(77)
4.2.2	存储器中的片选译码	(77)
4.2.3	其他信号线的连接	(80)
4.3	8088 系统的存储器	(81)
4.3.1	8088 系统存储器的结构	(81)
4.3.2	8088 系统存储器的具体分配	(83)
4.4	存储器的扩展技术	(84)
4.4.1	高速缓冲存储器	(84)
4.4.2	虚拟存储器	(88)
	本章小结	(92)
	习题 4	(92)

第 5 章 总线系统	(93)
5.1 总线的基本概念	(93)
5.2 总线分类	(93)
5.3 信息传送方式	(94)
5.4 总线的仲裁	(95)
5.4.1 串行总线仲裁方式	(95)
5.4.2 并行总线仲裁方式	(95)
5.4.3 计数器仲裁方式	(96)
5.5 总线通信协议	(97)
5.5.1 读存储器总线周期	(97)
5.5.2 写存储器总线周期	(98)
5.5.3 读 I/O 口总线周期	(98)
5.5.4 写 I/O 口总线周期	(99)
5.6 总线标准化	(99)
5.7 常用的总线标准	(100)
5.7.1 ISA 总线	(100)
5.7.2 IEEE488 总线	(103)
5.7.3 EISA 总线	(104)
5.7.4 PCI 局部总线	(104)
5.7.5 MultiBus 总线	(105)
5.7.6 AGP 总线	(106)
本章小结	(107)
习题 5	(107)
第 6 章 输入输出系统	(108)
6.1 概述	(108)
6.1.1 接口的基本功能和结构	(109)
6.1.2 接口的地址及译码	(111)
6.2 I/O 控制方式	(114)
6.2.1 程序控制方式	(114)
6.2.2 中断控制方式	(116)
6.2.3 直接存储器存取方式	(123)
6.3 串行通信	(124)
6.3.1 串行通信基本概念	(124)
6.3.2 串行通信接口标准	(128)
6.3.3 串行通信接口与 MODEM 的连接	(131)
6.4 可编程串行通信接口电路	(133)
6.4.1 概述	(133)
6.4.2 8251A 可编程串行通信接口	(133)
6.5 并行通信	(142)
6.5.1 简单的并行输入与输出接口	(142)

6.5.2 并行通信接口 8255A	(143)
本章小结	(149)
习题6	(150)
第7章 外部设备	(152)
7.1 常用输入设备	(152)
7.1.1 键盘	(152)
7.1.2 鼠标	(159)
7.2 常用输出设备	(160)
7.2.1 显示设备	(160)
7.2.2 打印机	(166)
7.3 外部存储设备	(169)
7.3.1 磁表面存储原理	(169)
7.3.2 硬磁盘存储器	(171)
7.3.3 软磁盘存储器	(174)
7.3.4 光盘存储器	(175)
7.3.5 固态盘存储器	(176)
本章小结	(177)
习题7	(177)
附录 ASCII 字符集	(178)
参考文献	(179)

第1章 数字设备中信息的表示方法

本章要点:

- 计算机的发展与特点
- 计算机的分类
- 计算机的应用范围
- 计算机的码制和数制及运算

1.1 微型计算机概述

微型计算机是 20 世纪 70 年代初期发展起来的, 它的产生、发展和壮大及对国民经济的巨大作用引起了人们的高度重视, 它使人类社会发生了翻天覆地的变化。

随着微型计算机的高速发展, 单片微型计算机、单板微型计算机、微型计算机系统、微型计算机开发系统和计算机网络工作站等新机种不断涌现。为了学习掌握好微型计算机, 从概念上弄清微型计算机和这些新机种之间的异同是十分重要的, 读者应予以重视。

1.1.1 微型计算机的特点和发展

电子计算机通常按体积、性能和价格分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机 5 类。从系统结构和基本工作原理上说, 微型机和其他几类计算机并没有本质上的区别, 所不同的是微型机广泛采用了集成度相当高的器件和部件, 因此带来以下所述的一系列特点。

1. 体积小、重量轻

由于采用大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI), 使微型机所含的器件数目大为减少, 体积大为缩小。对于 20 世纪 50 年代的占地上百平方米, 耗电上百千瓦的电子计算机实现的功能, 当今, 内部只含几十片集成电路的微型机即已具备。

2. 价格低廉

如今的微型机价格不断下降, 而性能却迅速提高。在我国, 许多家庭已经或正在筹划购置微机。微型机进入家庭的时代已经到来。

3. 可靠性高、结构灵活

由于内部元器件数目少, 所以连线比较少, 这样, 使微型机的可靠性较高, 结构灵活方便。

4. 应用面广

现在, 微型机不仅占领了原来使用小型机的各个领域, 而且广泛应用于过程控制等新的场合。此外, 微型机还进入了过去电子计算机无法进入的领域, 如测量仪器、仪表、教学

部门、医疗设备及家用电器等。

由于微型机具有上面这些特点。所以它的发展速度大大超过了前几代计算机。自从 20 世纪 70 年代初第一个微处理器诞生以来,微处理器的性能和集成度几乎每两年提高一倍,而价格却降低一个数量级。

第一个微处理器是 1971 年美国 Intel 公司生产的 Intel 4004。它本来是为高级袖珍计算器设计的,但生产出来后,取得了意外的成功。于是,Intel 公司对它做了改进,正式生产了通用的 4 位微处理器 Intel 4040。Intel 4040 以它的体积小和价格低廉等特点引起了许多部门和机构的兴趣。1972 年,Intel 公司又生产了 8 位的微处理器 Intel 8008。通常,人们将 Intel 4004、4040、8008 称为第一代微处理器。这些微处理器的字长为 4 位或 8 位,集成度大约为 2000 管每片(指单个晶片上所含的半导体管数),时钟频率为 1MHz,平均指令执行时间约为 20 μ s。

以后,出现了许多生产微处理器的厂家。在 1973~1977 年期间,这些厂家生产了多种型号的微处理器,其中设计最成功、应用最广泛的是 Intel 公司的 8080/8085, Zilog 公司的 Z80, Motorola 公司的 6800/6802 及 Rockwell 公司的 6502。通常,人们把它们称为第二代微处理器。这些微处理器的时钟频率为 2~4 MHz,平均指令执行时间为 1~2 μ s,集成度超过 5000 管每片,其中,8085、Z80 和 6802 的集成度都高达 10000 管每片。在这个时期,微处理器的设计和生产技术已相当成熟,配套的各类器件也很齐全。后来,微处理器在以下几个方面得到很大发展:提高集成度,提高功能和速度及增加外围电路的功能和种类。

1977 年左右,超大规模集成电路工艺已经成熟,一个硅片上可以容纳几万管子。

1978~1979 年,一些厂家推出了性能可与过去中档小型计算机相比的 16 位微处理器。这中间,有代表性的 3 种芯片是 Intel 的 8086/8088, Zilog 的 Z8000,以及 Motorola 的 MC 68000。这些微处理器的时钟频率为 4~8 MHz,平均指令执行时间为 0.5 μ s,集成度为 20000~60000 管每片。人们将这些微处理器称为第一代超大规模集成电路的微处理器。

1980 年以后,半导体生产厂家继续在提高电路的集成度、速度和功能方面取得了很大进展,相继出现 Intel 80286、Motorola 68010 这样一些集成度高达 100000 管每片,时钟频率为 10 MHz 左右,平均指令执行时间约为 0.2 μ s 的 16 位高性能微处理器。1983 年以后,又生产出 Intel 80386 和 Motorola 68020。这两者都是 32 位的微处理器,时钟频率达 16~20 MHz,平均指令执行时间约为 0.1 μ s,集成度高达 150000~500000 管每片。

1993 年,Intel 推出 Pentium 微处理器,接着是 Pentium MMX(带多媒体指令的 Pentium 微处理器)、Pentium Pro、Pentium II 和 Pentium III 相继问世。Pentium III 的主频可达到 450 MHz 以上,增加了浮点运算、并行处理、图像处理和连接因特网的功能。最新推出的 Pentium IV 微处理器的主频已达到 1.7 GHz 以上。

由于微处理器价格低廉,用途广泛,现在它几乎已达到了“无处不在”的地步。许多家用电器,例如电冰箱和洗衣机中,也采用微处理器芯片进行控制。大量的系统软件和应用软件被开发出来,在功能越来越强大的同时,使用方法越来越简单。未来微处理器应用量最大的领域之一将是近几年来在国际、国内推广的 CPU 卡市场。CPU 卡是集成电路卡(IC 卡)中性能最先进,工作最可靠的卡,在名片大小的卡上嵌入了一块微处理器芯片。CPU 卡可用做识别身份的身份证、驾驶证和护照等;也可作为支付凭证和储蓄卡、信用卡、电子钱包以及电子病历等。在 21 世纪,CPU 卡将会成为微处理器发展最快的应用领域。随着网络应用的推广和因特网(Internet)的普及,微处理器与通信功能的结合是一个重要的发展趋势。

1.1.2 微型计算机的分类

人们可以从不同的角度对微型机进行分类。有人按机器组成来分,将微型机分为位片式、单片式和多片式;有人按制造工艺来分,将微型机分为 MOS 型和双极型。由于微型机性能的高低在很大程度上取决于核心部件微处理器,所以,最通常的做法是把微处理器的字长作为微型机的分类标准。

可以见到以下几类由微处理器构成的微型计算机。

1. 4 位微处理器

最初的 4 位微处理器就是 Intel 4004,后来改进为 4040。目前常见的是 4 位单片微型机,即在一个芯片内集中了 4 位的 CPU, RAM, ROM, I/O 接口和时钟发生器。这种单片机价格低廉,但运算能力弱,存储容量小,存储器中只存放固定程序。这些特点使它们广泛用于各类袖珍计算器,但只能进行简单的运算,或者用于家用电器和娱乐器件中进行简单的过程控制。

2. 8 位微处理器

8 位微处理器被推出时,微型机技术已经比较成熟。因此,在 8 位微处理器基础上构成的微型机系统,通用性较强,它们的寻址能力可以达到 64 KB 字节,有功能灵活的指令系统和较强的中断能力。另外,8 位微处理器有比较齐备的配套电路。这些因素使 8 位微型机的应用范围很宽,可广泛用于事务管理、工业控制、教育及通信等行业。8 位微处理器也常用来构成智能终端,而 8 位微型机则被许多家庭用做学习机和个人计算机。

常见的 8 位微处理器有 Zilog 的 Z80, Intel 的 8080/8085, Motorola 6800/6802 和 Rockwell 6502。由这些微处理器构成的微型计算机在国内占有相当数量。

3. 16 位微处理器

16 位微处理器不仅在集成度、处理速度和数据总线宽度等方面优于前几类微处理器,而且在功能和处理方法上也做了改进。在此基础上构成的微型计算机系统在性能方面已经和 20 世纪 70 年代的中档小型计算机相当。16 位微处理器中最有代表性的是 Intel 8086/8088 和 Motorola 68000。

4. 32 位微处理器

32 位微处理器典型产品为 Intel 80386, Motorola MC68020, 它们的主频率高达 20~40 MHz, 平均指令执行时间为 0.05 μ s。

除此以外,还有一类叫位片式处理器,利用这类微处理器,可以构成不同字长的微型计算机。位片机结构灵活,主要用于对中、小型计算机的仿真,或者用于高速实时控制专用系统中,也常用在分布式系统和高速智能外设中。

1.1.3 微型计算机的应用

由于微型机具有体积小、价格低、耗电少和可靠性高等优点,所以应用范围十分广阔。微型机不仅在科学计算、信息处理和控制等方面占重要地位,并且在日常生活中也发挥了不

可缺少的作用。归纳起来，目前有如下几个方面的应用。

1. 科学计算

科学计算一直是电子计算机的重要应用领域之一。例如，在天文学、量子化学、空气动力学及核物理学等领域中，都需要依靠计算机进行复杂的运算。在军事上，导弹的发射和飞行轨道的计算控制，以及先进防空系统等现代化军事设施，通常都是由计算机控制的大系统，其中包括雷达、地面设施和海上装备等也是如此。现代的航空、航天技术的发展，例如超音速飞行器的设计，人造卫星与运载火箭轨道计算更离不开计算机。

除了国防及尖端科学技术以外，计算机在其他学科和工程设计方面，诸如数学、力学、晶体结构分析、石油勘探、桥梁设计、建筑及土木工程设计等领域内也得到广泛的应用，促进了各门科学技术的发展。

有些系统，要求计算机处理所得的结果立即反过来作用或影响正在被处理的事物本身。例如，在控制导弹飞行的系统中，通过不断测量导弹飞行的参数（包括飞行环境），并及时做出反应，以不断地修正导弹飞行的姿态与轨道，这样的系统称为实时处理系统。

科学计算的特点是计算量大和数值变化范围大。

2. 信息处理和事务管理

在短时间内完成对大量信息的处理是进入信息时代的必然要求。微型计算机配上数据库管理软件以后，可以很灵活地对各种信息按不同的要求进行分类、检索、转换、存储和打印，加上一些专用部件（如传感器）以后，还可以处理光、热、力和声音等物理信号。

3. 过程控制

过程控制是微型机应用最多，也是最有效的方面之一。现在，制造工业和日用品生产厂家中都可见到微型机控制的自动化生产线。微型机在这些部门的应用为生产能力和产品质量的迅速提高开辟了广阔的前景。

4. 仪器、仪表控制

在许多仪器、仪表中，已经用微处理器代替传统的机械部件或分立的电子部件，这使产品降低了价格，而可靠性和功能却得到了提高。此外，微处理器的应用还导致了一些原来没有的新仪器的诞生。在实验室里，出现了用微处理器控制的示波器——逻辑分析仪，它使电子工程技术人员能够用以前不可能采用的办法同时观察许多信号的波形和相互之间的时序关系。在医学领域中，出现了用微处理器作为核心控制部件的CT扫描仪和超声波扫描仪，增加了疾病的诊断手段。

5. 家用电器和民用产品控制

由微处理器控制的洗衣机、电冰箱，现在已经是普通的民用电器了。此外，微处理器控制的自动报时、自动调温及自动报警系统也已经进入发达国家的家庭。还有，装有微处理器的娱乐产品往往将智能功能融于娱乐中；以微处理器为核心的盲人阅读器则能自动扫描文本，并读出文本的内容，从而为盲人带来福音。确切地讲，微处理器在人们日常生活中的应用所受到的主要限制不是技术问题，而是创造力和技巧上的问题。

当前,微型机技术正往两个方向发展:一个是高性能、高价格的方向,从这方面不断取得的成就可能使微型机代替价格昂贵、功能优越的巨型机;另一个是价格低廉、功能专一的方向,这方面的发展使微型机在生产领域、服务部门和日常生活中得到越来越广泛的应用。

6. 计算机辅助设计/计算机辅助制造 (CAD/CAM)

由于计算机有快速的数值计算、较强的数据处理以及模拟的能力,因而目前在飞机、船舶、光学仪器及超大规模集成电路(VLSI)等的设计制造过程中,CAD/CAM 占据着越来越重要的地位。

在超大规模集成电路的设计和生产过程中,要经过设计制图、照相制版、光刻、扩散和内部连接等多道复杂工序,是人工难以解决的。

使用已有的计算机,辅助设计新的计算机,达到设计自动化或半自动化程度,从而减轻人的劳动强度并提高设计质量,这也是计算机辅助设计的一项重要内容。

由于设计工作与图形制作密不可分,一般供辅助设计用的计算机都配备图形显示、绘图仪等设备以及图形库、图形制作软件等应用软件。设计人员可借助这些专用软件和输入/输出设备把设计要求或方案输入计算机,并通过相应的应用程序进行计算处理后把结果显示出来。设计人员可用光笔或鼠标器进行修改或选择,直到满意为止。

7. 人工智能

人类的许多脑力劳动,诸如证明数学定理,进行常识性推理,理解自然语言,诊断疾病,下棋游戏及破译密码等都需要“智能”。

人工智能学科研究的主要内容包括:知识表示,自动推理和搜索方法,机器学习和知识获取,知识处理系统,自然语言理解,计算机视觉及智能机器人等。

知识表示是人工智能的基本问题之一,其中的常识知识是研究的重点之一。常识是人们直觉的、日常使用的那些非专业性知识。自动推理与知识表示方法密切相关,是知识的使用过程。搜索是人工智能的一种问题求解方法。搜索策略决定着问题求解的一个推理步骤中知识被使用的优先关系。

机器学习是人工智能另一重要课题。机器学习是在一定的知识表示意义下获取新知识的过程。

知识处理系统主要由知识库和推理机组成。知识库存储系统所需要的知识,如果在知识库中存储的是某一领域(如医疗诊断)的专家知识,该知识系统被称为专家系统。推理机在问题求解时,规定使用知识的基本方法和策略,推理过程中为记录结果或通信需设数据库。

人与机器进行对话,利用能为计算机所接受的自然语言描述现实世界,一直是人工智能的研究目标之一。自然语言的理解过程包括语法分析和语义分析,已研制的一些自然语言理解系统都只能处理自然语言的子集。其中人机接口和机器翻译系统已有商品,但要让机器像人一样运用自然语言,还是长远而艰巨的任务。人机接口除了能自动识别自然语言(文字、语音)外,还应能识别图形、图像(计算机视觉)的能力。

制造具有某种智能的机器人是工业上和军事上的需要。机器人的研究涉及机械、电子、控制及计算机等方面,从人工智能角度研究机器人,主要涉及表示技术、感知技术、自动推理技术和规划方法等。

1.2 数和数制

迄今为止,所有计算机都是以二进制形式进行算术运算和逻辑操作的,微型计算机和其他数字设备也不例外。因此,用户在键盘上输入的十进制数字和符号命令,微型计算机都必须先把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十进制数字和符号在输出设备(如 CRT)上显示出来。

虽然上述过程十分繁琐,但都是由微型计算机自动完成的。为了使读者最终弄清机器的这一工作机理,这里先对微型计算机中常用的数制和数制间的转换进行讨论。

1.2.1 各种数制及其表示法

所谓数制是指数的制式,是人们利用符号记数的一种科学方法。数制是人类在长期的生存斗争和社会实践中逐步形成的。数制有很多种,微型计算机中常用的数制有十进制、二进制和十六进制 3 种。

1. 十进制 (Decimal)

十进制是大家很熟悉的进位记数制,它共有 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 和 9 这 10 个数字符号。这 10 个数字符号又称为数码,每个数码在数中可表示两种含义的值。例如:十进制数 45 中数码 4,其本身的值为 4,但它实际代表的值为 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记数方法,它所能表示的数的范围很大,可以从无限小到无限大。十进制数通常具有如下两个主要特点:

(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,当它的某位计满 10 时就要向它邻近高位进 1。

因此,任何一个十进制数不仅和构成它的每个数码本身的值有关,而且还和这些数码在数中的位置有关。这就是说,任何一个十进制数都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 为它的基数;整数部分中每位的幂是该位位数减 1;小数部分中每位的幂是该位小数的位数。

一般地说,任意一个十进制数 N 均可表示为:

$$\begin{aligned} N &= \pm [a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_0 \times 10^0 \\ &\quad + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m}] \\ &= \pm \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times 10^i \end{aligned}$$

式中: i 表示数中任一位,是一个变量; a_i 表示第 i 位的数码; n 为该数整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

2. 二进制 (Binary)

二进制比十进制更为简单,它是随着计算机的发展而兴旺起来的。二进制数也有如下

两个主要特点:

(1) 它共有 0 和 1 两个数码, 任何二进制数都是由这两个数码组成的。

(2) 二进制数的基数为 2, 它奉行逢 2 进 1 的进位计数原则。

因此, 二进制数同样也可以展开成幂级数形式, 不过内容有所不同罢了。例如:

$$\begin{aligned} 10110.11_{(2)} &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 22.75_{(10)} \end{aligned}$$

式中, 指数 $2^4, 2^3, 2^2, 2^1, 2^0, 2^{-1}$ 和 2^{-2} 为权, 2 为基数, 其余和十进制时相同。

为此, 任何二进制数 N 的公式为:

$$\begin{aligned} N &= \pm [a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_0 \times 2^0 \\ &\quad + a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m}] \\ &= \pm \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times 2^i \quad (a_i \text{ 为 } 0 \text{ 或 } 1) \end{aligned}$$

式中, a_i 为第 i 位数码, 可取 0 或 1; n 为该二进制数整数部分的位数; m 为小数部分位数。为了清晰起见, 可以采用下标 (2), (8), (10), (16) 等来表示相应的数制, 也可以采用附在数尾的 B, O, D, H 来表示。

3. 十六进制 (Hexadecimal)

十六进制是人们学习和研究计算机中二进制数的一种工具, 它是随着计算机的发展而广泛应用的。十六进制数也有两个主要特点:

(1) 它有 0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F 等 16 个数码, 任何一个十六进制数都是由其中的一些或全部数码构成的。

(2) 十六进制数的基数为 16, 进位计数为逢 16 进 1。

十六进制数也可展开成幂级数形式。例如:

$$70F.B1H = 7 \times 16^2 + F \times 16^1 + B \times 16^0 + 1 \times 16^{-2} = 1807.6914$$

其公式为:

$$\begin{aligned} N &= \pm [a_{n-1} \times 16^{n-1} + a_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + a_0 \times 16^0 \\ &\quad + a_{-1} \times 16^{-1} + a_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 16^{-m}] \\ &= \pm \sum_{i=n-1}^{-m} a_i \times 16^i \quad (a_i \text{ 为 } 0 \sim F) \end{aligned}$$

式中, a_i 为第 i 位数码, 取值为 0~F 中的一个; n 为该数整数部分位数; m 为小数部分位数。为方便起见, 现将部分十进制、二进制和十六进制数的对照表列于表 1.1 中。

表 1.1 部分十进制、二进制和十六进制数对照表

整 数			小 数		
十 进 制	二 进 制	十 六 进 制	十 进 制	二 进 制	十 六 进 制
0	0000	0	0	0	0
1	0001	1	0.5	0.1	0.8
2	0010	2	0.25	0.01	0.4
3	0011	3	0.125	0.001	0.2
4	0100	4	0.0625	0.0001	0.1
5	0101	5	0.03125	0.00001	0.08
6	0110	6	0.015625	0.000001	0.04

整 数			小 数		
十 进 制	二 进 制	十 六 进 制	十 进 制	二 进 制	十 六 进 制
7	0111	7			
8	1000	8			
9	1001	9			
10	1010	A			
11	1011	B			
12	1100	C			
13	1101	D			
14	1110	E			
15	1111	F			
16	10000	10			

在微型计算机内部, 数的表示形式是二进制的。这是因为二进制数只有 0 和 1 两个数码, 人们采用晶体管的导通和截止, 脉冲的高电平和低电平等很容易表示这两种值。此外, 二进制数运算简单, 便于用电子线路实现。

人们采用十六进制可以大大减轻阅读和书写二进制数时的负担。例如:

$$11011011\text{B}=0\text{DBH}$$

$$100100111110010\text{B}=93\text{F2H}$$

显然, 采用十六进制数描述一个二进制数特别简短, 尤其在被描述二进制数位数较长时更令计算机工作者感到方便。

在阅读和书写不同数制的数时, 如果不在每个数上外加一些辨认标记, 就会混淆而无法分清。通常, 标记方法有两种: 一种是把数加上方括号, 并在方括号右下角标注数制代号, 如 $[101]_{16}$ 、 $[101]_2$ 和 $[101]_{10}$ 分别表示十六进制、二进制和十进制; 另一种是用英文字母标记, 加在被标记数的后面, 分别用大写字母 B、D 和 H 表示二进制、十进制和十六进制数, 如 89H 为 16 进制数, 101B 为二进制数等, 其中, 十进制数中的 D 标记也可以省略。另外在书写十六进制数时, 若最高位是字母时必须在其前而加 0, 以免与英文单词混淆。例如: F9H 应写成 0F9H。

1.2.2 各种数制间的相互转换

微型计算机是采用二进制数操作的, 但人们习惯于使用十进制数, 这就要求机器能自动对不同数制的数进行转换。暂且不讨论微型计算机是如何进行这种转换的, 先来看看数学上是如何进行上述 3 种数制间数的转换的, 如图 1.1 所示。

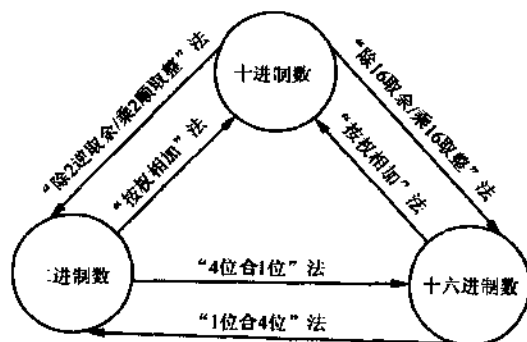


图 1.1 3 种数制间的转换方法示意图

1. 二进制和十进制数间的转换

(1) 二进制数转换成十进制数: 只要把欲转换数按权展开后相加即可, 也可以从小数点开始每 4 位 1 组按 16 进制的权展开并相加。例如:

$$11010.01\text{B} = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-2} = 26.25$$

$$\text{或者 } 11010.01\text{B} = 1\text{A.4H} = 1 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} = 26.25$$

(2) 十进制数转换成二进制数：本转换过程是上述转换过程的逆过程，但十进制整数和小数转换成二进制的整数和小数的方法是不相同的。下面分别进行介绍。

① 十进制整数转换成二进制整数的方法有很多种，但最常用的是“除2逆取余法”。

“除2逆取余法”法则是：用2连续去除要转换的十进制数，直到商小于2为止，然后把各次余数按最后得到的为最高位和最早得到的为最低位，依次排列起来所得到的数便是所求的二进制数。现举例加以说明。

例 1.1 试求出十进制数 215 的二进制数。

解：把 215 连续除以 2，直到商数小于 2，用下面表格表示为：

2	215		余1	最低位
2	107		余1	
2	53		余1	
2	26		余0	
2	13		余1	
2	6		余0	
2	3		余1	
	1		余1	最高位

把所得余数按箭头方向从高到低排列起来便可得到：

$$215 = 11010111\text{B}$$

十进制小数转换成二进制小数通常采用“乘2顺取整法”。

“乘2顺取整法”法则是：用2连续去乘要转换的十进制小数，直到所得积的小数部分为0或满足所需精度为止，然后把各次整数按最先得到的为最高位和最后得到的为最低位的顺序，依次排列起来所对应的数便是所求的二进制小数。现结合实例加以介绍。

例 1.2 试把十进制小数 0.6879 转换为二进制小数。

解：把 0.6879 不断地乘 2，取每次所得乘积的整数部分，直到乘积的小数部分满足所需精度为止。其相应的竖式是：

0.6879		
× 2		
1.3758	取得整数1	最高位
0.3758		
× 2		
0.7516	取得整数0	
× 2		
1.5032	取得整数1	
0.5032		
× 2		
1.0064	取得整数1	最低位

把所得整数按箭头方向从高到低排列后得到：

$$0.6879\text{D} \approx 0.1011\text{B}$$