

第 一 篇

微机系统基础知识

本篇内容提要

本篇主要介绍微机系统的基础知识，包括：

一、计算机的发展与应用

主要介绍计算机发展过程所经历的四个时代；计算机发展的趋势是向巨型化、微型化、网络化和智能化方向发展；计算机的主要特性和类型；计算机应用的主要领域。

二、数制、数的表示方法和运算方法以及编码方法

主要介绍数制及不同数制之间的转换方法；带符号数和无符号数的表示方法；基本的算术逻辑运算方法和常用的编码方法。

三、微机硬件系统和软件系统的基础知识

这部分主要介绍系统由硬件系统和软件系统构成，及它们的基本工作原理。

四、DOS 操作系统的功能和使用

主要介绍了 MS-DOS 和 CCDOS 系统的主要功能及主要命令的使用方法。

第 1 章 计算机的发展与应用

数字电子计算机的出现是近代重大科学成就之一。它的出现,有力地推动了其它科学技术的发展。它在科学研究、工农业生产、国防建设以及社会生活等方面,都得到越来越广泛的应用。70年代以后,由于采用大规模或超大规模集成电路,使得计算机的发展更加迅速。计算机科学技术不断取得新的进展,现已成为独立的学科,其应用范围已普及到各个领域。

本章对计算机的发展过程、计算机目前的发展趋势及其应用领域作一扼要介绍。

1.1 计算机发展过程

从1946年第一台电子数字计算机ENIAC(埃尼阿克)在美国诞生以来,它的发展经历了四代,目前正在向第五代过渡。虽然各代之间难以找到严格的时间界限,但总有一个大家公认的大致范围。

一般说来,从1946年到1959年为第一代。第一代计算机的主要特点是:计算机所使用的逻辑元件为电子管;主存储器采用延迟线或磁鼓;辅助存储器已开始使用磁带;软件主要使用机器语言,符号语言已开始使用;应用以科学计算为主,应用方式主要是成批处理。

用现在的眼光来看,那时的计算机相当落后,也很原始、体积庞大、运算速度很慢、内存储器容量很小、可靠性不高。例如,1946年出现第一台计算机,内存储器容量只有17K位,字长只有二进制的12位,加法运算速度为5000次/秒,使用了18800个电子管,重量为30t,耗电量为190KW,价值40万美元,占地面积为150m²。尽管如此,它却确立了计算机发展的技术基础,如数字编码,程序存储自动运算方式和程序设计思想等关键技术。

从1959年到1964年为第二代。这一代的主要特点是:逻辑元件采用晶体管;以磁芯存储器为主存储器,辅助存储器已开始使用磁盘;软件已开始使用操作系统及高级程序设计语言;应用已从以科学计算为主转为以数据处理为主,并开始用于生产过程控制。

第二代计算机在计算速度、存储器容量和可靠性等方面都比第一代计算机提高了一个数量级;在结构上已向通用型方向发展。

从1964年美国IBM公司的IBM 360系列计算机问世起到60年代末为第三代。其特点是:逻辑元件采用小规模集成电路;主存储器还是以磁芯存储器为主;机种多样化、系列化;外部设备不断增加,品种繁多,尤其是终端设备和远程终端设备发展迅速并与通信设备结合起来;操作系统进一步发展和普及,高级程序设计语言发展很快,出现了多种高级语言。

第三代计算机在主存储器容量、运算速度和可靠性等方面都比第二代又提高了一个数量级,系统结构方面有了很大改进;在应用方面已广布于科学计算、数据处理和生产过程控制等各个领域。

计算机的第四代系指全面采用大规模集成电路的时代。1970 年研制成功并于 1971 年正式投产的 IBM 370 系列机,首先使用了大规模集成电路做主存储器,由于逻辑电路还是采用小规模集成电路,所以有人称它为第三代半计算机。1975 年研制成功的 470 V/6 和 M-190 计算机,其主存储器和逻辑电路均采用大规模集成电路,可以作为第四代计算机的代表。其特征是:以大规模集成电路作为计算机的主要功能部件;用 16K 和 64K 或集成度更高的半导体存储器作为主存储器;计算速度可达每秒几百万次甚至上亿次;在系统结构方面发展了并行处理技术、分布式计算机系统和计算机网络等;在软件方面发展了分布式操作系统、数据库系统以及软件工程标准化等,并逐渐形成了软件产业;在应用方面,已进入以计算机网络为特征的时代。

第四代计算机的另一个重要分支是以大规模和超大规模集成电路为基础发展起来的微处理器和微型计算机得到了突飞猛进的发展。

1.2 计算机发展趋势

计算机目前已全面进入大规模和超大规模集成电路的第四代。第五代计算机的研制工作已经开始,并投入了大量人力和物力,人工智能计算机已开始出现。

当前,计算机的发展趋势是向巨型化、微型化、网络化和智能化方向发展。

1.2.1 巨型化

巨型化系指为了适应尖端科学技术的需要,发展高速度、大存储容量和强功能的超大型计算机。巨型计算机的运算速度,一般要在每秒五千万次以上,乃至十亿次甚至百亿次。主存储器容量要在 10M 字节甚至 100M 字节以上。

巨型计算机的发展集中体现了计算机科学技术的发展水平,推动了计算机系统结构、硬件和软件的理论和技术、计算数学以及计算机应用等多个科学分支的发展。

1.2.2 微型化

由于大规模和超大规模集成电路的飞速发展,使得计算机的微型化发展十分迅猛。

微型计算机是 1971 年出现的。它是大规模集成电路发展的产物,它的发展又促进了大规模和超大规模集成电路的发展。

微型计算机的发展是以微处理器的发展为表征的。所谓微处理器就是将传统的运算器和控制器集成在一块大规模或超大规模集成电路芯片上,作为中央处理单元,称之为微处理器或微处理机。以微处理器为核心,再加上存储器和接口等芯片,便构成了微型计算机。

以微处理器为核心的微型计算机属于计算机的第四代产品。微处理器自 1971 年诞生以来在短短的 20 多年里,微处理器芯片自身已发展了五代产品,几乎每隔二、三年就要更新换代。

1971 年至 1973 年为第一代。其典型产品为 INTEL 4004 和 INTEL 8008 微处理器,字长 4—8 位,集成度约在 2000 器件/片,时钟频率为 1MHz,指令周期为 20 μ s。

由第一代微处理器为核心构成的微型计算机称为第一代微型计算机。

1973 年至 1975 年为第二代。其典型产品为 INTEL 8080 和 M6800 微处理器,字长 8

位,集成度约在 5000 器件/片,时钟频率为 2MHz,指令周期在 $2\mu\text{s}$ 左右。可见,第二代产品比第一代其集成度提高了一倍,速度提高了十倍。

由第二代微处理器构成的微型计算机称为第二代微型计算机。

1975 至 1977 年为第三代。其典型微处理器产品为 INTEL 8085、M6802、Z80,字长 8 位,集成度约在 1 万个器件/片,时钟频率为 2.5MHz—5MHz,指令周期在 $1\mu\text{s}$ 。也就是说,集成度和速度均又提高了一倍。

由第三代微处理器为核心构成的微型计算机,称为第三代微型计算机。

1978 年至 1980 年微处理器进入了超大规模集成电路时代,通常称为微处理器的第四代。其典型产品为 INTEL 8086、M6809 和 Z8000,字长为 16 位,集成度约在 3 万个器件/片,时钟频率可达 5MHz 以上,指令周期小于 $0.5\mu\text{s}$ 。

由第四代微处理器为核心构成的微型计算机称为第四代微型计算机。

1981 年用超大规模集成电路构成 32 位字长的微处理器问世,标志着微处理器的第五代产品的诞生。其集成度在 10 万个器件/片以上,时钟频率可达 10MHz 以上,指令周期可在 100ns 以下。其典型产品如 iAPX43201 和 M68000。

1985 年公布的 M68020 微处理器芯片集成度为 20 万个器件/片,时钟频率为 16.67MHz。

1986 年推出 INTEL 80386 微处理器芯片有更高的集成度,时钟频率可达 40MHz 以上。

1989 年 INTEL 80486 微处理器芯片问世,把 32 位微处理器芯片的集成度和时钟频率提到了更高水平。

80386 和 80486 芯片不但性能进一步提高,而且在内部系统结构方面已采用了超级小型机乃至大型机所采用的先进技术。

以第五代微处理器构成的第五代高档微型计算机,已达到和超过了传统的超级小型机乃至大型机水平。

微型计算机的发展并未到此终止,由于它的高可靠性、高运算速度、大存储容量、低价格等特点,它将继续突飞猛进的发展。1993 年 INTEL 公司推出的 Pentium 微处理器芯片就是人们预料之中的 80586 微处理器芯片,从此 64 位或准 64 位高档微型计算机的激烈竞争又拉开了序幕。它的性能已超过了早期的巨型机水平。以 80586 微处理器芯片为核心构成高档微型计算机,是否可称为微型机的第六代产品,还在探讨之中。

1.2.3 网络化

计算机发展到今天,计算机网络,尤其是以微型计算机为主的计算机局域网络,发展迅猛,网络技术已成为计算机系统集成应用的支柱技术。

所谓计算机网络,就是按照约定的协议,将若干台独立的计算机通过通信线路相互连接起来,形成彼此能够相互通信的一组相关的或独立的计算机系统。

计算机网络具有数据传输功能,并且可以实现数据共享、软件和硬件资源共享以及均衡系统负荷。使用户可在同一时间、不同地点使用同一个计算机网络系统,从而大大提高了计算机系统的使用效率。

计算机网络的发展同任何技术的发展一样,它经历由简单到复杂、由低级到高级的发展过程。它的发展大体上经历了四个阶段:

1. 远程终端联机阶段

在这一阶段，主要是将计算机的远程终端通过通信线路与大型主机相连，构成联机系统。这就是网络的初级阶段。例如，1964 年美国 IBM 为美国航空公司建立的联机订票系统。它把 2000 个远程终端通过电话线路与大型主机相连构成联机订票系统，满足了美国全国联机订票的需要。

2. 计算机网络阶段

1968 年美国国防部高级研究局建造的 ARPA 网，是当今世界上最大最完善的计算机网络。它使用高速传输线路将不同地点的计算机系统连接起来，不但涉及美国国内，还把英国、挪威等其它国家的某些计算机系统连接到网内，通过通信卫星实现信息传送。

在这一阶段，网络技术发展非常迅速。局域网(LAN)、城域网(MAN)和广域网(WAN)均获得了迅速发展。

3. 网络互连阶段

局域网和城域网的飞速发展必然产生网络互连的要求。为适应网络互连的需要，1984 年国际标准化组织公布了开放系统互连参考模型，进一步促进了不同网络互连技术的发展。

4. 信息高速公路阶段

网络互连技术的发展和普及，以及光导纤维和卫星通信技术的飞速发展，促进了网络之间更大范围的互连(在一个国家内部乃至不同国家之间网络广泛的互连)。这种把大量计算机资源用高速通信线路互连起来实现信息高速传输的思想，就是所谓信息高速公路。

1993 年美国提出“国家信息基础”的 NII 计划(National Information Infrastructure)就是一个信息高速公路建设计划。我国的信息高速公路建设也已进入规划的日程。

总之，计算机网络是计算技术和通信技术相结合的产物。反过来，它又推动了计算技术和通信技术的发展。目前，计算机网络正在交通、企业管理、气象预报、航空航天系统和情报检索系统等多种领域得到极为广泛的应用。总之，90 年代是计算机网络迅速发展和广泛普及的年代。

1.2.4 智能化

智能化就是要求计算机具有人工智能。这是对计算机专家和控制论专家极富有吸引力的研究方向，也是第五代计算机要实现的目标。

当前，很多国家均在大力开展具有学习功能、自动进行逻辑判断功能的人工智能型计算机的研究。

人工智能的模拟是在计算技术和控制论研究的基础上发展起来的，是自动化发展的高级阶段。它可以让计算机能够进行图象识别、定理证明、研究学习、探索、联想、启发和理解人的语言等。

展望未来，计算机的发展必然要经历很多新的突破。从目前的发展趋势来看，未来的计算机将是微电子技术、光学技术、超导技术和电子仿生技术互相结合的产物。集成光路、超导器件及电子仿生技术将进入计算机。第一台超高速全光数字计算机，已由欧洲共同体的英国、比利时、德国、意大利和法国的 70 多名科学家和工程师合作研制成功，并称之为光脑，其算速度比电脑快 1000 倍。超导计算机和人工智能计算机等全新的计算机，在不久的将来，也会诞生。届时，计算机将发展到一个更高、更先进的水平。

1.3 计算机的特性和类型

1.3.1 计算机的主要特性

1. 计算机的定义

“什么是计算机?”——这是一个比较难于回答的问题。我们只能在学习的过程中,逐步对计算机建立起一个完整的概念。这里,我们只能根据它的主要共性给出一个比较全面的、确定的定义:计算机是一种能快速、准确、自动完成对各种数字化信息进行算术和逻辑运算的电子设备。

2. 计算机的特性

(1) 快速性:计算机之所以能高速处理信息,除了采用高速集成电路之外,还在于解决了信息处理过程自动化的问题。解决这后一问题的关键是采用了存储程序的方法,即把计算过程表示为许多条指令组成的程序,和数据一起预先存入计算机的存储器。只要启动这些程序,就可以完成预先设定的信息处理任务。这种高速集成电路与存储程序结构的结合,便产生了计算机的主要特征之一——快速性。

(2) 通用性:由于计算机可以把任何复杂的信息处理任务分解为大量的基本算术和逻辑操作,反映在计算机的指令操作中,按照执行的先后次序,把它们组织成各种程序存储在存储器中。在计算机的工作过程中,这种存储好的程序能很快地从存储器中调出来运行,实现计算机自动快速处理信息,并且十分灵活、易于变更,这就使计算机具有极大的通用性。当然,应当强调指出,决定计算机通用性的因素当中,除了这种程序控制方式外,还有程序的内容也起着重要作用。

(3) 准确性和逻辑性:计算机程序加工的对象不只是数值量,还包括形式和内容十分丰富多样的各种信息,例如语言、文字、图象、音乐等。表示这种普遍信息的最有效的方法是数字化信息编码。数字化编码技术不但保证了运算和控制的极高准确性,也是计算机赖以获得其逻辑判断和逻辑运算能力的基础。

可以这样说,程序存储、程序控制和数字化信息编码技术的结合,便产生了计算机的快速性、通用性、准确性和逻辑性。

1.3.2 计算机的类型

从总体上讲,电子计算机可分为模拟计算机和数字计算机两大类。数字计算机又可分为通用机和专用机两类。

一般所讲的计算机类型,系指通用机的类型。

我国计算机界根据计算机的性能指标,如机器规模的大小、运算速度的高低、主存储器容量的大小、指令系统性能的强弱以及机器的价格等,将计算机分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机和单片机六大类。

目前,国外还有一种比较流行的看法,根据计算机的性能指标以及厂家所生产计算机的主要面向的应用对象进行分类。把计算机分为巨型机、小巨型机、大型机、小型机、工作站和个人计算机六大类。

这里所说的巨型机和小巨型机主要面向尖端科学和国防技术的应用。

大型机主要面向大中型企业和计算中心。如美国 IBM 公司生产的 IBM 360、370、4300、3090 以及 9000 系列属于这类计算机。

小型机主要面向中小企业。如美国 DEC 公司的 VAX 系列和我国生产的太极系列计算机属于这一类。

工作站主要面向特殊的专业领域，如图象处理和计算机辅助设计等方面的应用。最有代表性的就美国 Sun 公司的 Sun 工作站。

事实上，计算机发展到今天，工作站和高档微机之间；高档工作站、小型机和大型机之间已经没有明显区别。

个人计算机(Personal Computer)，又称为微型计算机(Microcomputer)。这种计算机主要面向个人和家庭。

应当指出，随着计算技术和超大规模集成电路技术的飞速发展，不管哪种分类方法，都是相对而言。今天的巨型机可能就是明天的大型机；明天的微型机就可能代替今天的工作站。

1.4 计算机应用领域

由于计算机的快速性、通用性、准确性和逻辑性，使它不但具有高速运算能力，而且还具有逻辑分析和逻辑判断能力。这不仅可以大大提高工作效率，而且可以部分替代人的脑力劳动，所以其应用领域几乎包罗万象和无孔不入。据不完全统计，其应用场合已达千万种之多，从国防到民用，从工业到农业，几乎无所不包。例如，从导弹的弹道计算到导航；从工业生产的计划调度到生产的过程控制；从铁路运输的计划统计到机车运行的自动调度；从自动售货到银行存取自动化；从医学自动化分析到自动问诊、提出治疗方案、开据处方；从儿童玩具自动化到家庭生活计划管理和控制，等等，应用实例不胜枚举。要把计算机的应用场合一一列举，虽说不是不可能的，但也是相当繁琐的和没有必要的。我们只能根据其应用类型归纳为几类。

我们把计算机的应用领域，概括地分为以下五个方面：

1.4.1 应用于科学计算

在近代科学技术工作中，科学计算问题是大量的和复杂的。利用计算机的高速性、大存储容量和连续运算的能力，可实现人工无法实现的各种科学计算问题。

例如，高层建筑的结构力学分析，薄板理论计算、光路系统的数学分析等各种数学和物理问题的科学计算，都需要计算机来做得力助手。

由于计算机强大的解题能力，大大改变了工程设计和产品设计的面貌。很多设计，在过去由于计算工作量十分庞大而无法进行或只能采用粗略近似的算法。使用计算机后，由于运算速度可以提高成千上万倍，过去人工计算需要以年或十年为单位才能完成的，现在用几天，甚至几小时几分钟就可以得到十分满意的结果。从而也就可以采用更精确的算法，甚至可对不同计算方案进行比较，以获取最佳方案。

1.4.2 应用于数据处理和信息管理

所谓数据处理和信息管理,系指企业管理、会计、统计、生物化学分析、医学、资料管理和试验资料整理等计算方法比较简单,但数据处理量比较大的数据加工、合并、分类等方面的工作。

数据处理和信息管理是计算机应用十分重要的一个方面。据统计,用于数据处理和信息管理的计算机在所有应用方面是占比例最大的。

1.4.3 应用于自动控制

利用计算机实现单机或整个生产过程的控制,不仅可以大大提高自动化水平、减轻劳动强度,而且可以提高控制的准确性、提高产品质量和成品合格率。因此,在机械、冶金、石油化工、电力、建筑以及轻工业等各个部门均已得到十分广泛的应用,并且获得了非常好的效果。

例如,在机械工业方面,用计算机控制机床,控制整个生产线以至整个车间和整个工厂。不仅可以实现精度要求高、形状复杂的零件加工自动化,而且可以使整个生产线、整个车间甚至整个工厂实现全盘自动化。

又如,在石油化工工业方面,可对液面高度、温度、压力、流量和对液体、气体的化学成份等工艺参数进行过程控制,也可实现整个车间、整个工厂的生产过程控制,甚至可实现无人化的工厂。

1.4.4 应用于计算机辅助设计、辅助制造和辅助测试

所谓计算机辅助设计(CAD),就是用计算机来帮助设计人员进行设计。例如,在电子计算机的设计过程中,可以利用CAD技术进行体系模拟、逻辑模拟、插件划分、自动布线等,从而大大提高了设计工作的自动化程度。又如,在建筑设计过程中,可以使用CAD技术进行力学计算、结构设计、绘制建筑图纸等,这不但提高了设计速度,而且可以大大提高设计质量。

所谓计算机辅助制造(CAM),就是用计算机来进行生产设备的管理、控制和操作的过程。例如,在产品的制造过程中,用计算机控制机器的运行,处理生产过程中所需要的数据,控制和处理材料的流动以及对产品进行测试和检验等。在生产过程中,使用CAM技术能提高产品质量、降低成本、缩短生产周期、改善劳动条件。

所谓计算机辅助测试(CAT),就是利用计算机进行产品测试。例如,在生产大规模集成电路的过程中,由于逻辑电路复杂,用人工测试往往比较困难,不但效率低,而且容易损坏产品。而利用计算机进行测试,就可以自动测试集成电路的各种交、直流参数、逻辑关系,并且可以实现产品的分类和筛选。

1.4.5 应用于系统仿真

所谓系统仿真,就是利用模型来模仿真实系统的技术。

为实现系统仿真,首先要建立一个数学模型,再应用一些数值计算方法,把数学模型变换成可以直接在计算机中运行的仿真模型。通过对模型的仿真,便可以了解实际系统或

过程,在各种内、外因素变化的条件下,其性能的变化规律。例如,可以将反映自动控制系统的数学模型送入计算机,利用计算机来研究自动控制系统的运行规律。

总之,数字电子计算机和其它机械相比,其最大的不同之处在于,它能代替一部分特定的脑力劳动,从而大大提高了自动化程度。数字电子计算机所带来的影响,远远超过了蒸汽机和电的出现所带来的影响。如果说,第一次工业革命是以蒸汽机为代表的动力革命的话,那么,第二次工业革命就是以电子计算机为代表的信息革命。人类把更多的人脑的机械思维活动,交给了电子计算机去做,从而可集中更多的精力,从事更高级的创造性劳动。

电子计算机在实现四个现代化的进程中,将发挥出巨大的“光”和“热”,将为四化大业做出卓越的贡献。

习 题

1.1 世界上公认的第一台电子计算机为(1)于(2)年,在(3)诞生,它所使用的逻辑元件为(4)。

- | | |
|--------------|------------|
| (1) A. ENIAC | B. EDSAC |
| C. EDVAC | D. ABC |
| (2) A. 1943 | B. 1946 |
| C. 1936 | D. 1952 |
| (3) A. 加拿大 | B. 美国 |
| C. 英国 | D. 德国 |
| (4) A. 继电器 | B. 晶体管 |
| C. 电子管 | D. 小规模集成电路 |

1.2 计算机的第四代系指全面采用(1)的时代,在应用方面已进入以(2)为特征的时代。

- | | |
|---------------|------------|
| (1) A. 晶体管 | B. 小规模集成电路 |
| C. 大规模集成电路 | D. 中规模集成电路 |
| (2) A. 并行处理技术 | B. 分布式系统 |
| C. 微型计算机 | D. 计算机网络 |

1.3 计算机的势是向_____、_____、_____、_____方向发展。

1.4 微型计算机的发展是以(1)的发展为表征的。将运算器和控制器集成在一块大规模或超大规模集成电路芯片上,称之为(2)。

- | | |
|---------------|----------|
| (1) A. 主机 | B. 软件 |
| C. 微处理器 | D. 控制器 |
| (2) A. 运算处理单元 | B. 微型计算机 |
| C. 主机 | D. 微处理器 |

1.5 计算机网络的发展经历了四个阶段:_____阶段;_____阶段;_____阶段和_____阶段。

1.6 计算机的特性为：____、____、____和____。

1.7 我国计算机界将计算机分为六类：____、____、____、____、____、____。

1.8 当前国外一种比较流行的看法，是把计算机分为：____、____、____、____、____和____等六类。

1.9 计算机的应用领域包括：____、____、____、____、____。

1.10 从目前的发展趋势来看，未来的计算机将是____技术、____技术、____技术和____技术互相结合的产物。

第 2 章 计算机基础知识

2.1 数制及其相互转换

2.1.1 进位计数制

按进位的原则进行计数的方法,称为进位计数制。

例如,在十进位计数制中,是根据“逢十进一”的原则进行计数的。

一个十进制数,它的数值是由数码 0, 1, 2, …, 8, 9 表示的。数码所处的位置不同,代表数的大小也不同。从右面起的第一位是个位,第二位是十位,第三位是百位,第四位是千位,……。 “个、十、百、千、……”在数学上叫做“位权”或“权”。每一位的数码与该位“位权”的乘积表示了该位数值的大小。另外,十进位计数制中的(10),称为基数。在十进位计数制中,基数(10)为十,按“逢十进一”的原则进行计数。

“位权”和“基数”是进位计数制中的两个要素。

在微机中,常用的是二进制、八进制和十六进制,其中二进制用得最为广泛。

2.1.2 进位计数制的表示方法

在十进位计数制中,563.62 可表示为

$$563.62 = 5 \times (10)^2 + 6 \times (10)^1 + 3 \times (10)^0 + 6 \times (10)^{-1} + 2 \times (10)^{-2}$$

一般来说,任意一个十进制数 N 可表示为

$$\begin{aligned} N &= \pm [K_{n-1} \times (10)^{n-1} + K_{n-2} \times (10)^{n-2} + \cdots + K_1 \times (10)^1 + K_0 \times (10)^0 \\ &\quad + K_{-1} \times (10)^{-1} + K_{-2} \times (10)^{-2} + \cdots + K_{-m} \times (10)^{-m}] \\ &= \pm \sum_{i=-m}^{n-1} [K_i \times (10)^i] \end{aligned}$$

式中 m, n 均为正整数; K_i 可以是 0, 1, 2, …, 9 十个数字符号中的任何一个,它要由具体的数来决定;圆括号中的 10 是十进制数的基数,基数就是在该进位计数制中数字符号状态的个数,基数为“十”就是十进制数。

对于任意进位计数制,基数可用正整数 R 来表示。这时,数 N 可表示为

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i$$

式中 m, n 均为正整数; K_i 则是 0, 1, …, $(R-1)$ 中的任何一个, R 是基数,采用“逢 R 进一”的原则进行计数。

对于八进制, $R=8$, 此时有 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 八个数码状态,基数“8”在这里表示八。在八进制中,采用“逢八进一”的原则进行计数。例如, $(305)_8$ 则表示为

$$(305)_8 = 3 \times (8)^2 + 0 \times (8)^1 + 5 \times (8)^0$$

最简单的也是在计算机中用得最广泛的是二进制。这时 $R=2$, 只有 0, 1 两种数码状态,

采用“逢二进一”的原则进行计数。例如， $(1101)_2$ 可表示为

$$(1101)_2 = 1 \times (2)^3 + 1 \times (2)^2 + 0 \times (2)^1 + 1 \times (2)^0$$

我们把常用的几种进位计数制表示数的方法列于表 2.1。

表 2.1

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	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
16	10000	20	10

从表中可知，如十进制计数制中的 2，在二进制中用 $(10)_2$ 表示；同理，十进制中的 8，在八进制中用 $(10)_8$ 表示；十进制中的 16，在十六进制中用 $(10)_{16}$ 表示。其它数的表示方法，表中均一目了然。

2.1.3 不同进位计数制之间的转换

转换原则：不同进位计数制之间的转换是根据两个有理数如相等，则两数的整数部分和分数部分一定分别相等的原则进行的。也就是说，若转换前两数相等，转换后，仍必须相等。

1. 十进制数与二进制数之间的转换

(1) 十进制整数转换成二进制整数

十进制整数转换成二进制整数，通常采用除 2 取余法。所谓除 2 取余法，就是将已知十进制数反复除以 2，在每次相除之后，若余数为 1，则对应于二进制数的相应位为 1；若余数为 0，则相应位为 0。首次除法得到的余数是二进制数的最低位，最末一次除法得到的余数是二进制数的最高位。从低位到高位逐次进行，直到商是 0 为止。若第一次除法所得的余数为 k_0 ，最后一次为 k_{n-1} ，则 $k_{n-1}k_{n-2} \cdots k_1k_0$ 即为所求的二进制数。

例如,将 $(215)_{10}$ 转换成二进制数,其转换全过程可表示如下:

2	215		
2	107	 余数为 1,	$k_0 = 1$
2	53	 余数为 1,	$k_1 = 1$
2	26	 余数为 1,	$k_2 = 1$
2	13	 余数为 0,	$k_3 = 0$
2	6	 余数为 1,	$k_4 = 1$
2	3	 余数为 0,	$k_5 = 0$
2	1	 余数为 1,	$k_6 = 1$
	0	 余数为 1,	$k_7 = 1$

$$\therefore (215)_{10} = (k_7 k_6 k_5 k_4 k_3 k_2 k_1 k_0)_2 = (11010111)_2$$

(2) 十进制纯小数转换成二进制纯小数

十进制纯小数转换成二进制纯小数,通常采用乘 2 取整法。所谓乘 2 取整法,就是将已知十进制纯小数反复乘以 2,每次乘 2 之后,所得新数的整数部分若为 1,则二进制纯小数的相应位为 1;若整数部分为 0,则相应位为 0。从高位到低位逐次进行,直到满足精度要求或乘 2 后的小数部分是 0 为止。第一次乘 2 所得的整数部为 k_{-1} ,最后一次为 k_{-m} 。转换后所得的纯二进制小数为 $0.k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m}$ 。

例如,将 $(0.6531)_{10}$ 转换二进制纯小数,转换过程如下:

$$\begin{array}{r} 0.6531 \\ \times) \quad 2 \\ \hline 1.3062 \cdots \cdots \text{整数部分为 } 1, k_{-1} = 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.3062 \\ \times) \quad 2 \\ \hline 0.6124 \cdots \cdots \text{整数部分为 } 0, k_{-2} = 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.6124 \\ \times) \quad 2 \\ \hline 1.2248 \cdots \cdots \text{整数部分为 } 1, k_{-3} = 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.2248 \\ \times) \quad 2 \\ \hline 0.4496 \cdots \cdots \text{整数部分为 } 0, k_{-4} = 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.4496 \\ \times) \quad 2 \\ \hline 0.8992 \cdots \cdots \text{整数部分为 } 0, k_{-5} = 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0.8992 \\ \times) \quad 2 \\ \hline 1.7984 \cdots \cdots \text{整数部分为 } 1, k_{-6} = 1 \end{array}$$

如只取六位小数能满足精度要求,则得

$$\begin{aligned} (0.6531)_{10} &= (0.k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m})_2 \\ &\approx (0.k_{-1}k_{-2}k_{-3}k_{-4}k_{-5}k_{-6})_2 \\ &= (0.101001)_2 \end{aligned}$$

可见，十进制纯小数不一定都能转换成完全等值的二进制纯小数。凡遇到这种情况，均根据精度要求，取近似值。

(3) 十进制混合小数转换成二进制数

混合小数由整数和小数两部分组成，只要按上述方法分别进行转换，然后将转换结果组合起来即为所要求二进制混合小数。

例如，将 $(215.6531)_{10}$ 转换为二进制数，其中：

$$(215)_{10} = (11010111)_2$$

$$(0.6531)_{10} \approx (0.101001)_2$$

则 $(215.6531)_{10} \approx (11010111.101001)_2$

(4) 二进制数转换成十进制数

将二进制数转换成十进制数，只要将二进制数用计数制通用形式表示出来，计算出结果，便得到相应的十进制数。

例如：

$$\begin{aligned} (11001.1001)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &\quad + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} \\ &= 16 + 8 + 1 + 0.5 + 0.0625 \\ &= (25.5625)_{10} \end{aligned}$$

2. 二进制数转换成八进制数

(1) 二进制数转换成八进制数，对于整数，从低位到高位将二进制数的每三位分为一组，若不够三位时，在高位左面添 0，补足三位，然后将每三位二进制数用一位八进制数替换，即可完成转换。

例如，将二进制数 1101001 转换成八进制数，则

$$\begin{array}{ccccccc} (0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1)_2 \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & & & \\ (1 & & 5 & & 1) & & & & \\ \therefore (1101001)_2 & = & (151)_8 \end{array}$$

对于小数的转换，从高位到低位将二进制小数的每三位分为一组，若不足三位时，在低位的右边添 0，补足三位，然后将每三位二进制数用一位八进制数替换，即可完成转换。

例如，将二进制数小数 $(0.0100111)_2$ 转换成八进制小数，则

$$\begin{array}{ccccccc} (0. & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 &)_2 \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\ (0. & 2 & & 3 & & 4) & & & \\ \therefore (0.0100111)_2 & = & (0.234)_8 \end{array}$$

对于混合小数的转换，以小数点为界，整数部分与小数部分分别进行转换，便可写出相应的八进制数。

例如，把二进制数 $(1101001.0100111)_2$ 转换成八进制小数，则

$$\begin{array}{ccccccc}
 (0.01 & 101 & 001 & \cdot 010 & 011 & 100)_2 \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 (1 & 5 & 1 & \cdot 2 & 3 & 4)_8 \\
 \therefore (1101001.0100111)_2 = (151.234)_8
 \end{array}$$

(2) 八进制数转换成二进制数

八进制数转换成二进制数，只要将每位八进制数用相应的三位二进制数替换，即可完成转换。

例如，把八进制数 $(643.503)_8$ 转换成二进制数，则

$$\begin{array}{ccccccc}
 (6 & 4 & 3 & \cdot & 5 & 0 & 3)_8 \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 (110 & 100 & 011 & \cdot & 101 & 000 & 011)_2 \\
 \therefore (643.503)_8 = (110100011.101000011)_2
 \end{array}$$

3. 二进制与十六进制之间的转换

(1) 二进制数转换成十六进制数

由于 $2^4=16$ ，所以仿照二进制与八进制的转换方法，很容易得到二进制与十六进制之间的转换方法。

对于二进制整数，只要自右到左将每四位二进制数分为一组，不足四位时，在左边添0，补足四位；对于二进制小数，只要自左到右，将每四位二进制数分为一组，不足四位时，在右边添0，补足四位，然后将每组用相应的十六进制替换，即可完成转换。

对于混合小数，只要按上述规律，对整数和小数部分分别进行转换即可。

例如，把 $(101101101.0100101)_2$ 转换成十六进制数，则

$$\begin{array}{ccccccc}
 (0001 & 0110 & 1101 & \cdot & 0100 & 1010)_2 \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\
 (1 & 6 & D & \cdot & 4 & A)_{16} \\
 \therefore (101101101.0100101)_2 = (16D.4A)_{16}
 \end{array}$$

(2) 十六进制数转换成二进制数

如将十六进制数转换成二进制数，只要将每一位十六进制数用四位相应的二进制数表示，即可完成转换。

例如，将 $(163.5B)_{16}$ 转换成二进制数，则

$$\begin{array}{ccccccc}
 (1 & 6 & 3 & \cdot & 5 & B)_{16} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\
 (0001 & 0110 & 0011 & \cdot & 0101 & 1011)_2 \\
 \therefore (163.5B)_{16} = (101100011.01011011)_2
 \end{array}$$

2.2 计算机中数的表示方法

2.2.1 真值与机器数

设

$$N_1 = +1001010$$

$$N_2 = -1001010$$

N_1 和 N_2 在计算机中表示为

$$N_1: 01001010$$

$$N_2: 11001010$$

这就是说,数的符号在计算机中数码化了,正数的符号用 0 表示;负数的符号用 1 表示。

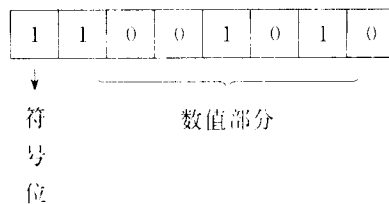
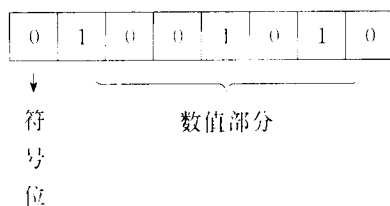
一个数在计算机中的表示形式,称为机器数;而把这个数本身,即用“+”、“-”号表示的数,称为真值。

上面提到的 $N_1 = +1001010$, $N_2 = -1001010$ 为真值,其在计算机中的表示形式 01001010 和 11001010 为机器数。

2.2.2 带符号数的表示方法

上面提到的机器数表示方法,用 0 表示正数的符号;用 1 表示负数的符号。这种表示数的方法,称为带符号数的表示方法。

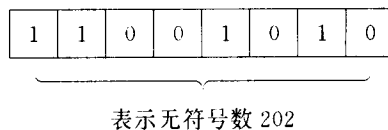
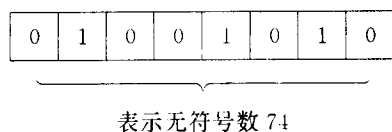
在机器中的表示形式分别为



前者表示正 74,后者表示负 74。

2.2.3 无符号数的表示方法

无符号数与带符号数表示方法的区别仅在于,此时无符号位,机器的全部有效位均用来表示数的大小。无符号数相当于数的绝对值的大小。上例机器数的表示方法,若看作是无符号数,则为



可见,此时八位全用来表示数值的大小,而没有符号位。