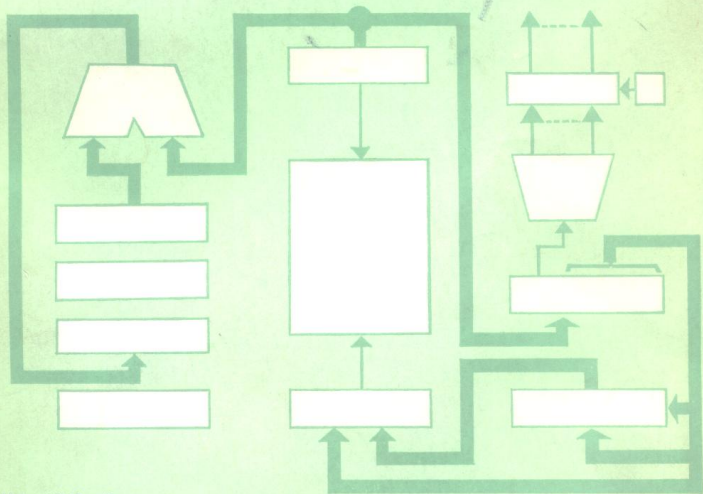


电子数字计算机原理

高等学校试用教材



许镇宇 王世媛 编

人民教育出版社

高等学校试用教材

电子数字计算机原理

许镇宇 王世媛 编

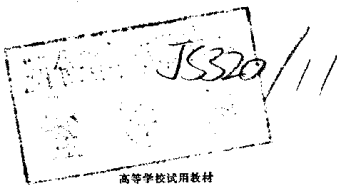
人民教育出版社

内 容 简 介

本书分两大部分,共十三章。前九章为硬件部分,介绍电子数字计算机的基本原理及其结构;第十章—第十三章为软件部分,结合 DJS-130 机介绍了汇编语言程序设计的方法,并介绍了 BASIC、FORTRAN、ALGOL 三种程序语言的基本知识。

本书可作为高等院校无线电技术类的试用教材,也可供电子技术工程人员参考。

本书责任编辑是姚玉洁。



高等学校试用教材

电子数字计算机原理

许镇宇 王世媛 编

人民邮电出版社出版
新华书店北京发行所发行
人民邮电出版社印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 27 字数 600,000

1979年12月第1版 1981年3月第2次印刷

印数: 30,501—61,500

书号 15012-0229 定价 2.20 元

前 言

编写本书的依据是1977年12月在合肥教材工作会议上通过的《电子数字计算机原理教材编写大纲》。1979年元月,在成都审稿会上对大纲又做了某些修改,内容也做了适当变动。最后由成都电讯工程学院审阅定稿。

编写本书的目的是为无线电技术类各专业和其他需要计算机知识较多的专业提供一本计算机原理的教材,包括硬件和软件。计算机的结构部分和程序部分是结合DJS-130机编写的。编者认为,计算机原理教材应反映计算机的普遍原理,而不应写成某一类型机器的技术说明书。为适合教学需要,同时为避免130机符号、缩写、器件、具体线路等的约束,在本书硬件部分中称它为假想机(JX机)。在基本结构上JX机即DJS-130机。

本书的逻辑图是按照规定的试用标准绘制的。文字符号则采用了国际上的惯用写法,以求与软件部分一致。个别少见的符号用原文的缩写。

语言部分编入了三种语言: BASIC、FORTRAN 和 ALGOL。授课人可根据各自的情况选择其中的一种或两种。

第一部分由许锁宇编写,第二部分由王世媛编写。由成都电讯工程学院102、104教研组主审。

目 录

第一部分 计算机结构

| | | | |
|-------------------------|----|--------------------|-----|
| 绪论 | 1 | 4.6 运算器举例 | 78 |
| 0.1 电子数字计算机的逻辑框图和主要组成部分 | 2 | 5 内存存储器 | 81 |
| 0.2 计算机的解题过程 | 6 | 5.1 计算机中的存储器 | 81 |
| 0.3 计算机的应用和发展趋势 | 7 | 5.2 磁心存储器 | 83 |
| 1 电子计算机中的数制和码制 | 9 | 5.3 半导体存储器 | 95 |
| 1.1 进位计数制 | 9 | 5.4 只读存储器 | 98 |
| 1.2 二进制数和十进制数的转换 | 11 | 6 控制键 | 101 |
| 1.3 码制 | 14 | 6.1 指令系统 | 102 |
| 1.4 小数点问题 | 21 | 6.2 工作周期、节拍和工作脉冲 | 107 |
| 1.5 小结 | 22 | 6.3 控制台 | 109 |
| 练习题 | 22 | 6.4 控制器举例——JX机的控制器 | 110 |
| 2 逻辑代数 | 23 | 6.5 微程序控制简介 | 130 |
| 2.1 逻辑代数的基本定义和定律 | 23 | 7 中断系统 | 136 |
| 2.2 逻辑代数的推演 | 26 | 7.1 中断概述 | 136 |
| 2.3 逻辑表达式及其化简 | 29 | 7.2 JX机的输入输出指令 | 139 |
| 练习题 | 35 | 7.3 中断系统 | 141 |
| 3 基本逻辑单元电路和逻辑部件 | 37 | 7.4 JX机的数据通道 | 150 |
| 3.1 门电路 | 37 | 7.5 I/O接口 | 155 |
| 3.2 逻辑表达式的电路实现法 | 42 | 8 磁表面存储器 | 160 |
| 3.3 触发器 | 44 | 8.1 工作原理 | 160 |
| 3.4 时序电路的分析 | 48 | 8.2 存储器的校验方法 | 163 |
| 3.5 逻辑部件 | 51 | 8.3 磁鼓简介 | 168 |
| 练习题 | 58 | 8.4 磁带机简介 | 171 |
| 4 运算方法和运算器 | 60 | 8.5 磁盘简介 | 174 |
| 4.1 加法电路 | 60 | 9 输入输出设备 | 177 |
| 4.2 定点加减运算 | 65 | 9.1 概述 | 177 |
| 4.3 定点乘除运算 | 68 | 9.2 纸带设备 | 180 |
| 4.4 浮点运算 | 73 | 9.3 行印机 | 190 |
| 4.5 逻辑运算 | 76 | 9.4 控制台打字机 | 193 |

第二部分 程序与语言

| | | | |
|---------------------|-----|-----------------|-----|
| 绪论 | 201 | 11.1 BASIC语言的词法 | 276 |
| 10 程序设计初步 | 203 | 11.2 BASIC语言的句法 | 280 |
| 10.1 DJS-130机指令系统 | 203 | 11.3 键盘操作 | 304 |
| 10.2 DJS-130机汇编语言介绍 | 213 | 11.4 上机操作过程 | 306 |
| 10.3 程序设计的基本方法 | 232 | 附录 | 308 |
| 练习题 | 274 | 练习题 | 308 |
| 11 BASIC语言 | 276 | 12 FORTRAN语言 | 310 |

| | | | |
|-------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 12.1 FORTRAN 程序的结构..... | 310 | 13 程序设计语言 ALGOL | 369 |
| 12.2 常数、变量和表达式..... | 313 | 13.1 基本概念..... | 369 |
| 12.3 基本的计算和控制语句..... | 321 | 13.2 一些基本的语句..... | 372 |
| 12.4 函数..... | 349 | 13.3 说明..... | 386 |
| 12.5 子例子程序..... | 353 | 13.4 分程序结构..... | 390 |
| 12.6 各程序段之间的联系..... | 358 | 13.5 过程说明和过程语句..... | 395 |
| 12.7 变量的初始赋值..... | 362 | 13.6 输入输出过程..... | 408 |
| 附录..... | 364 | 附录..... | 421 |
| 练习题..... | 366 | 练习题..... | 422 |

第一部分 计算机结构

绪 论

计数和计算是人类向自然做斗争的一项重要活动。我们的祖先在史前时期就知道用贝壳、石块计数。随着文化的发展,人类创造了简单的计算工具。我国在唐宋时期开始使用算盘,这种简单的计数工具至今还在使用。

从十七世纪开始,欧洲的资本主义生产方式促进了科学技术的发展,在计算技术方面也相继出现了计算尺、手摇计算机和电动计算机。这些工具的出现进一步提高了人们的计算能力,从而对科研和生产起到了促进作用。但是科学和生产总是在不断前进的,到二十世纪初,机械式和机电式的计算工具在解题能力方面已不能满足日益增长的计算工作量的需要,科学工作者迫切要求创造出新的计算工具以解决积留的和正在出现的大量计算问题。二十世纪的四十年代,电子技术进入了活跃时期,于是很自然地提出了这样一个任务,能不能应用电子技术创造出一种新的计算工具?经过多少科学工作者的努力,在1946年实现了这一愿望,创造出第一台电子数字计算机,从而在计算技术领域开辟了新天地。

所谓数字就是表示数的符号,如0、1、2、…、9是笔算时所用的符号,算盘珠是珠算时使用的符号,在电子计算机中则用电子信号作为数的符号,用信号的变化来实现计算,它摆脱了机电设备中固有的惯性,所以能够高速地工作,这是它的第一个特点。另一个特点,就是电子计算机能够自动地工作。用过去的计算工具解题,每当计算工具完成了一步计算(如做一次加法),必须由操作人员安排它的下一步计算,才能使计算往下进行。电子数字计算机也需要程序员给它安排计算步骤,不过安排好以后它自己能够按顺序执行,遇到计算分支,它自己能选择正确的支路,所以它的工作是自动的,可以不需要人工干预。这是电子数字计算机能获得高速度的另一个重要原因。

自从第一台电子数字计算机问世到现在三十多年的时间内,电子计算机的发展速度在科学史上是罕见的。计算机的数量和质量都经历了巨大的变化,各科学部门和工业企业由于引用了这个有力工具也改变了过去的面貌。从组成计算机所用的器件来看,三十年间经历了第一代的电子管计算机、第二代的晶体管计算机、第三代的集成电路计算机、第四代的大规模集成电路计算机,现在正向第五代的超大规模集成电路计算机发展。计算速度从最初的每秒钟几十次计算,发展到现在的每秒钟几亿次计算。计算机体积在不断缩小,可靠性在不断提高,价格也在不断下降。它的应用已普及到各个科学领域和生产部门,成为生产斗争、科学实验和国防建设中的一个不可缺少的工具。

0.1 电子数字计算机的逻辑框图和主要组成部分

0.1.1 计算机的基本框图

计算机实质上是对数字式信息进行加工的机器。计算机的输入可以是数、数据或是从被控制对象发出的信号,经过计算机的整理和加工,又以新的数、数据或控制信号向外界输出。既然信息是数字形式,不妨把它们看成是数。所以最简单的计算机框图如图 0.1.1 所示。



图 0.1.1 计算机最简单框图(I)

和笔算时一样,通常要有两个数才能进行四则运算和其他运算,这两个数叫做操作数,得出答案叫做结果。计算机也可以对一个数进行加工,例如把一个数的整数部分和小数部分分开。

一般的计算机可以进行几种到几十种不同方式的信息加工,统称为操作。在同一时间内一般只能进行一种操作,所以如果要连续做各种操作,就必须安排好顺序依次进行。

通知计算机进行什么操作的手段是指令。指令是一组数字形式的信号,它主要包括两个内容:1)告诉计算机进行什么操作;2)指出操作数。以后还会看出,指令还常包括其他内容。

要解一个数学题目,必须先要把指令按解题步骤排好。举个最简单的例,如求 $a(b+c)$ 的值就需要进行 $(b+c)$ 操作,然后进行 $a \times (b+c)$ 操作。这种按顺序编排好的、用指令表示出的计算步骤叫做程序。

程序和原始数据都存在计算机的一个记忆装置之内,需要时可以把它读出来,就如同笔算时把解题步骤和原始数据记录在纸上随时可以参考一样。这个记忆装置称为存储器。一台计算机可能有几个不同用途的存储器。机器本体内的存储器叫做内存,简称内存,也叫做主存储器。

这样,计算机本体就可分为两大部分,一部分是运算和控制线路,经常称为中央处理机,缩写为 CPU,另一部分是存储器(内存)。图 0.1.2 是它的框图。

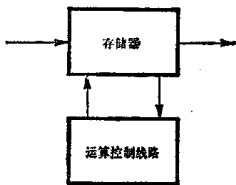


图 0.1.2 计算机框图(II)

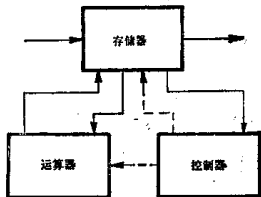


图 0.1.3 计算机框图(III)

入内存叫做写。

CPU 又可分为运算器和控制器两大部分,图 0.1.3 是它们的框图。运算器是直接负责数据加工的部件,控制器则对运算器和存储器(内存)发出控制信号,命令它们完成各种指定的操作。图中实线表示数据的传送,虚线表示控制信号。

最后计算机还必须具备把原始数据和指令输入内存的手段和计算结果输出的手段,这要靠输入输出设备,简称 I/O。输入设备把输入的信息变成电信号按序送入计算机并写入内存,而输出设备则把计算结果以文字形式打印出来或显示出来,或者用其他方式记录在某些记录装置上。输入和输出设备也由控制器控制。这些设备是装在计算机本体之外的,统称为外围设备。

于是我们得到图 0.1.4 所示的框图。在这图中,计算机分为四大部分:运算器、控制器、存储器(内存)和外围设备。这是计算机的基本框图。

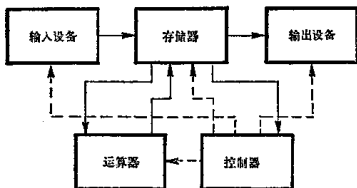


图 0.1.4 计算机基本框图

0.1.2 电子计算机的主要部分

下面对电子计算机的四个主要部分予以简短说明,以使读者对计算机的工作有个初步了解。

(1) 存储器——一个存储器包括很多个存储单元,被存储的信息分别存在这些存储单元之内。为了识别每一单元,必须对这些单元进行编号,单元的编号叫做地址。例如一个存储器有 128 个存储单元,地址编号可以从 0 到 127。每一个地址都规定了一个唯一的存储单元。要访问某一单元(读出或写入)应给出这个单元的地址。

内存单元中存放的信息叫做字,字基本上分两类,一类是指令,一类是数据。换句话说,计算所需要的一切信息都存在存储器之内。指令通知计算机进行何种操作以及到哪个地址去提取操作数(如果该指令需要操作数的话)。应注意:指令本身并不直接提供这个操作数,而是指出操作数的地址。这是近代计算机的一个非常重要的概念。因为指令并不直接提供操作数,所以在编程的时候并不需要知道中间结果,它的好处就如我们用符号列出计算公式一样,列式时并不需要写出具体的数。例如要做下列计算:

$$H = a \times b + c / d$$

可以把数 a 、 b 、 c 、 d 存入地址 A 、 B 、 C 、 D , 然后

- 第一步令 A 地址中的数与 B 地址中的数相乘;
- 第二步把乘积存入 E 地址;

- 第三步令 D 地址中的数除 C 地址中的数;
- 第四步把商加上 E 地址中的数而得到结果。

这样就不必事先知道中间的结果($a \times b$ 和 c/d)而可以编出计算程序。

图 0.1.5 是磁心存储器的框图,我们先不讨论它的物理结构,只简单指出它是如何工作的。存储器都包括一个存放地址的寄存器,叫做存储器地址寄存器(MAR)。要读出哪一单元的内容或把数据写入哪一单元,就把该单元的编号暂存在这个寄存器内,然后对存储器发出读命令或写命令。读写线路的功能是产生有关读写的各种控制信号,这些信号是读写过程所需要的。读出的信息暂放在一个寄存器内,在适当的时间由控制器把它取走。要写入的信息也先放在这个寄存器内,在适当的时候再写入磁芯体。这个寄存器叫做存储器缓冲寄存器(MBR)或读写寄存器,或叫做存储器数据寄存器(MDR)。

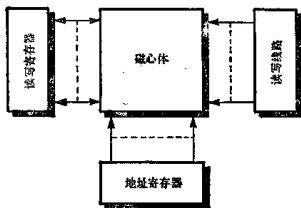


图 0.1.5 存储器框图

(2) 控制器——控制器的主要任务是指挥全机执行各种指令。它通常包括下列几部分:

1. 指令部件: 指令部件又包括指令寄存器(IR)、指令计数器(PC)和指令译码器(ID)三部分。

指令寄存器存放在正在执行着的这条指令。等这条指令执行完毕,再放入下一条指令。在指令寄存器中,指令按一定方式被译码。

什么叫译码? 计算机中的译码和自动电话交换台的译码是类似的。一个城市如有一万部电话机,给每部电话机指定一个号码,这叫做编码。当我们拨动电话机的号码盘时,只有所拨号码规定的那部电话机才接通响铃,这叫做译码。设某一计算机能进行 32 种操作,给每个操作编出一个号,这种编号叫做操作码。相应地,操作码的译码器应有 32 个输出端,每个输出端控制一种操作。把任何一个操作码送入这个译码器,在这 32 个输出端中只有该操作码所规定的那个输出端产生信号,其他端都没有信号。譬如把“加”运算的操作码送入译码器,就只有“加”运算那个输出端产生信号。控制线路就把它做为“加”运算的标志去进行有关“加”运算的一切动作。

指令计数器也叫做指令地址寄存器或程序计数器 PC。在正常情况下(没有计算分支时),指令是按照它在内存的地址顺序逐条执行的,例如执行完毕第 X 地址中的指令,下一次就执行 $X+1$ 地址中的指令,依此类推。指令计数器就是记录指令地址的部件,它指出要执行的指令在

内存中的地址。例如计算从 L 单元开始, 就应把 PC 先置成 L , 于是控制器就把 PC 的内容送到地址寄存器 MAR, 读出并执行 L 中的指令。每执行一条指令, PC 的内容自动加 1, 遇到计算分支, 控制器根据指令提供的数据自动改变 PC 的内容, 使 PC 指向新的地址, 所以 PC 始终保持着现行指令的地址。

2. 拍节发生器: 整个计算机的动作十分复杂, 为使各部分的动作协调一致, 每个动作都要严格地按照统一的时间标志进行, 这叫做同步操作。就如同在大合唱中必须有指挥打拍一样, 计算机中也有一个打拍的部件, 叫做时钟脉冲发生器。它以一定的重复频率发出方形波或窄的矩形脉冲波, 两个相邻脉冲间的时间间隔规定为计算机的一拍。在大多数计算机中仅仅规定了一拍的时间是不够的, 例如执行一条指令需要八拍, 那么每一拍中所进行的动作是不同的, 所以还需要一个部件能清楚地指出现在进行的是第几拍, 然后控制器才能根据这拍节进行该拍内的各有关动作。这部件叫做拍节发生器。图 0.1.6 是拍节发生器的简图。假设计算机的基本计算循环是八拍, 拍节发生器就按顺序发出八个持续一拍时间的电位信号 $W_0, W_1, W_2, \dots, W_7, W_0, \dots$, 周而复始。

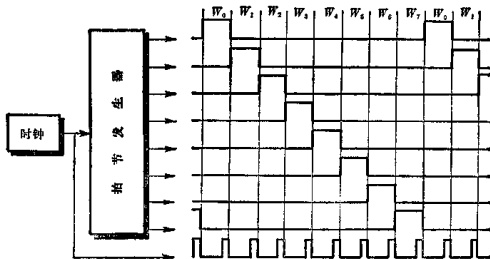


图 0.1.6 拍节发生器

3. 微操作信号发生器: 计算机中最简单、最初级不能再进一步分解的操作, 叫做微操作。复杂的操作(如加运算)是由很多简单的微操作组成的, 所以要控制复杂的操作必须按一定规律控制它的微操作。微操作信号发生器就是用来发出微操作控制信号以控制各种微操作的部件。

到此为止, 我们对控制器的工作可以获得一个初步的概念。首先由指令译码器解释出进行什么操作, 由拍节发生器指示现在进行的拍节, 根据这些信息, 微操作信号发生器发出各种微操作的控制信号, 指示各有关部分完成这条指令所规定的各项操作。图 0.1.7 是控制器的框图。

(3) 运算器——运算器是进行四则运算和逻辑运算的部件, 运算器的核心是加法电路。以加法电路为基础, 附加上一些辅助电路就可以进行其他四则运算。

图 0.1.8 是运算器的框图。 A 和 B 是两个操作数, R 是运算结果, $K_1 \sim K_n$ 是控制信号, 把 A, B 送入运算器, 对运算器发出不同的控制信号则得到不同的结果。根据指令要求, 可以把结果

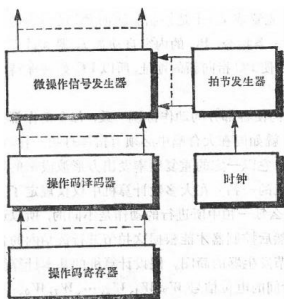


图 0.1.7 控制器框图

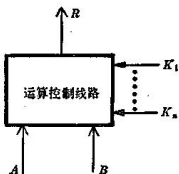


图 0.1.8 运算器框图



图 0.1.9 穿孔纸带

送往不同的地点。

(4) 输入输出设备——输入输出设备的功能是把原始数据送入计算机并把处理结果送到外界，首先是送给操作员。输入和输出数据都可以记录在某些媒体上以便保存，如图 0.1.9 所示的穿孔纸带就是以纸带为媒体，用孔来代表信息编码。当输入时，用纸带读出机把孔码变成电信号送入计算机。

常用的输入输出设备包括纸带机、卡片机、电传打字机、磁带机、磁盘机等。

0.2 计算机的解题过程

使用计算机解题，不论题目多么简单，都必须先编制出程序，送入存储器内，才能够开始进行。计算机的解题过程实际上就是逐条地执行程序中的指令的过程。要执行一条指令首先必须取出这条指令，所以这过程包括两步：1) 从内存取出一条指令；2) 执行这条指令。

图 0.2.1 示出了指令执行过程。图中用小圆标志了操作。

- 把指令计数器 PC 中的数送到内存的地址寄存器 MAR①；
- 对内存发出读命令，经过一段时间读出的指令稳定于缓冲寄存器 MBR 内；
- 把 MBR 中的指令送到指令寄存器 IR② 进行译码③，操作码信号与节拍结合发出各种控制信号④去控制各有关动作；
- 如果需要取第二个操作数（由操作性质决定），那就把指令中所指出的地址送到内存的地址寄存器 MAR⑤；
- 第二次对内存发出读命令，读出的数仍存于 MBR；
- 把 MBR 中的数送到运算器的某个寄存器，或直接送到运算器进行运算⑥；

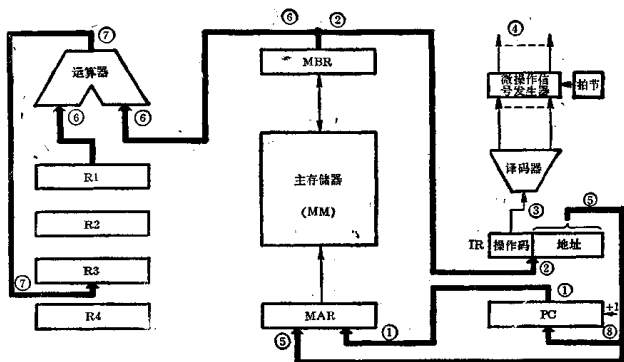


图 0.2.1 指令执行过程

- 在运算器中进行指令所指示的运算, 计算结果存于运算器的某一个寄存器内 ⑦;
- 指令计数器加 1 ⑧。

0.3 计算机的应用和发展趋势

0.3.1 计算机的应用

计算机已应用于各种行业,从衣服剪裁到战略运筹,从信件分检到卫星发射,从顶吹炼钢到珠穆朗玛峰测量数据的整理,不论是性质、规模和重要程度都极端不同的工作中都在使用计算机。

就主要方面来看,可以把计算机的应用概括为下列三类:

(1) 方程式的数值解——近代的科学技术工作中有大量而复杂的数值计算问题要依靠计算机来解决,早期的计算机几乎全是为此目的而研制的。

有些计算不但复杂而且有很强的时间性。如气象预报不超前一定时间发布就不成其为预报。用解气象方程式的方法预测气象变化准确性较高,但计算工作量大,如用电动计算机常需计算几个星期。所以只在高速电子计算机出现以后,这种方法才有实用意义。

电子计算机的强大解题能力改变了工程设计和产品设计的面貌。很多设计,由于计算工作量大,过去不能采用精确计算的方法,现在不但能够采用,而且还能在很短时间内对几种不同方案进行计算比较,从而得出最佳的方案。

(2) 过程控制——由于电子计算机既有高速计算能力又有逻辑判断能力,所以能用于生产过程和卫星、导弹、火炮等的发射过程的实时控制。被控制的对象可以是一台或一组机床、一台或一组发射武器、一个生产工段、一个车间或整个工厂。

在很多生产部门中都可以使用计算机来提高产品质量和劳动生产率，并能大大降低劳动强度和产品成本。例如用程控机床加工机械零件具有精确、灵活和可重复性等优点，不需要专用工卡具，不需要熟练技工，而可以制出各种形状复杂的精密产品。使用计算机控制导弹、卫星和其他武器的发射可以提高准确性。

(3) 数据处理——会计、统计、资料管理、企业管理、试验数据的整理等工作，需要运算和处理大量数据，这类性质的工作常叫做数据处理。数据处理是计算机应用的一个重要方面，在全世界范围内做这类用途的计算机占据着很大的比例。

例如在大企业中使用计算机，举凡工资计算、产量产值与定额成本计算、生产作业计划的编制、质量检查、产销分配等等，均交给计算机办理。通过计算机的处理，能够及时而准确地提供各项管理工作的评价并提供判断的依据。六十年代末期，电子计算机与现代通讯技术结合起来，产生了计算机网络管理系统。它打破了地区界限，使规模庞大的企业能通过计算机网络直接管理其所属企业和分支机构。

据国外统计，计算机应用已进入三千多个行业，所以难以用简短的篇幅概括其应用的各个方面。事实上可以这样说，哪里的工作有逻辑性，哪里就有使用计算机的条件。

0.3.2 计算机发展趋势

当前计算机的发展趋势是：微型化、巨型化、网络化和智能模拟。

集成电路技术的进展促进了计算机的微型化。按目前的技术水平，可以把小型计算机的运算控制部分(CPU)集成在一个硅片之内。微型化不但能降低产品成本而且扩大了计算机的应用范围。几年前问世的微处理机表现出强大的生命力，它已大量用在普通机器、仪器和生活用品中，大大增强了后者的功能。

军事和其他尖端科学的需要又促使计算机向巨型化发展。所谓巨型并不是专指体积，更主要的是指功能和速度而言。当前世界上最大的计算机ILLIAC IV用六十四台处理机联合组成，每秒计算1.5—2亿次。据报导每秒计算100亿次的计算机也在研制中。

为了充分发挥计算机的潜力，或者按计算机行业的术语来说，为了共享计算机的资源，国外的很多计算中心已用通信网络连接在一起，它的性质和电力网有些相似。网内的计算机由网络软件统一调度，根据任务性质指派某一个或某几个计算机承担某一任务。每一计算中心的硬件资源(机器和设备)和软件资源(如资料库)都可为网内用户所共享。用户和计算机网的联系点叫做终端。终端可设在远离计算机的地方，并通过通信线与网络进行联系。根据使用要求，终端可以是一台简单的输入输出装置如电传打字机或字符显示器，也可以是一台小型计算机。目前美国60%以上的大中型计算机已分别连入各种计算机网。

智能模拟就是用计算机模仿人类的智能，例如文字图象的识别、语音的识别、逻辑推理和定理证明等等。目前它是计算机科学中一个受到重视并且十分活跃的分支。随着这门学科的发展，具有人工智能的机器人将会在各种工矿企业中出现，它不但能够代替人进行某些脑力劳动，而且能在危险严酷的条件下进行细微的、繁重的体力劳动，从而把人类解放出来以便进行更高级的生产活动。从目前计算机的发展速度判断，这并不是十分遥远的事。

1 电子计算机中的数制和码制

1.1 进位计数制

同一个物理量用不同的单位计量则得到不同的结果,例如 2750 公尺可表示为 9020 英尺、2.75 公里、5.5 里、1.7 英里、1.49 哩等等。类似的,同一个数也可以用不同的计数制度来表示它的大小,虽然表示的形式不同,但表达的量可以是相等的。

电子计算机采用二进位计数制。这种计数制和常用的十进制有所区别,本章中要对它进行较详细的讨论。

用一串数字或一串符号表示某个信息时,这串数字或符号就是这信息的编码。电报码是我们经常见到的一种编码。数字是数的编码,当我们写 1456 这个数时,实际上是写一千四百五十六这个数的编码。要表达一个数,至少要指出它的量(也就是数的大小)和正负。表达这两个内容有不同的方法,叫做码制。为了特殊目的,例如为了校正错误、减少错误和便于运算,在电子计算机中常采用特殊的码制。码制的种类很多,本章将择其重要的几种加以说明。

计算机中采用的计算方法是和数制、码制密切联系着的。所以在讲计算方法以前先讲清楚各种编码。

1.1.1 十进位计数制

要分析二进位计数制最好先分析我们熟悉的十进位计数制,经过比较,就能明确它们的区别所在。什么是十进位计数制?概括说来就是:

(1) 用十个符号表示数。文字上通用的符号是阿拉伯字母 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。这些符号叫做数字;

(2) 每个单独的数字表示零到九中的一个量。但是在一串数字中间,每一个数字表示的量不仅决定于数字本身,还决定于它所在的位置。如 4046 中左起第一个 4 表示四千,第二个 4 表示四十。或者说从右起第一位是个位,第二位是十位,第三位是百位,第四位是千位。这“个、十、百、千、万…”在数学上叫做权。在一串数字中,每一单独数字表示的量是这个数字和权的乘积;

(3) 十进位数制的基数是 10。当计数时,每一位计到十就往上进一位,也就是逢十进一,或者说,上一位的权是下一位的十倍;

(4) 如果用 α 表示任何一个十进位数字,那么一个 n 位的整数 N 可写成下列形式

$$N = \alpha_{n-1} \times 10^{n-1} + \alpha_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + \alpha_1 \times 10^1 + \alpha_0 \times 10^0$$

对于 m 位的纯小数,它的表示式是

$$N = \alpha_{-1} \times 10^{-1} + \alpha_{-2} \times 10^{-2} + \dots + \alpha_{-(m-1)} \times 10^{-(m-1)} + \alpha_{-m} \times 10^{-m}$$

所以对于既包括整数又包括小数的十进制数,它的通用表示式是

$$N = \alpha_{n-1} \times 10^{n-1} + \alpha_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + \alpha_0 \times 10^0 + \alpha_{-1} \times 10^{-1} + \dots + \alpha_{-m} \times 10^{-m}$$

或者缩写成

$$N = \sum_{i=-m}^{n-1} \alpha_i \times 10^i$$

1.1.2 二进位计数制

以2为基数的数制叫做二进位计数制。它只用两个符号表示数，即0和1。在一串数字中，上一位的权是下一位的权的两倍。所以对于整数，从右往左各位的权是1、2、4、8、16、32…。对于小数，从左往右各位的权是1/2、1/4、1/8、1/16、1/32…。把十进制各表示式中的10都换以2，就得到二进制表示式。假设一个二进制数有n位整数和m位小数，则它的表示式是

$$N = \alpha_{n-1} \times 2^{n-1} + \alpha_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + \alpha_0 \times 2^0 + \alpha_{-1} \times 2^{-1} + \dots + \alpha_{-(m-1)} \times 2^{-(m-1)} + \alpha_{-m} \times 2^{-m}$$

或简写做

$$N = \sum_{i=-m}^{n-1} \alpha_i \times 2^i$$

例如10101101.1011这个数所表示的量是

$$\begin{aligned} & 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ & + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} \\ & = 128 + 32 + 8 + 4 + 1 + 0.5 + 0.125 + 0.0625 \\ & = 173.6875 \end{aligned}$$

1.1.3 电子计算机采用二进制的原因

在日常生活中我们习惯于十进位计数制，所以感到二进位计数制并不方便。那么电子计算机为什么采用这种计数制？主要因为：1) 计算机要用电信号表示数字，数字符号越少，信号就越简单越清楚，所以出错的可能性也就越少。在自然界中任何一个物理状态都有它的对立面，从原则上讲可以用任何两个对立的物理状态表示0和1，例如：用低电位表示0，高电位表示1；无脉冲表示0，有脉冲表示1；磁心的某方向磁化表示0，反方向磁化表示1；纸带上无孔表示0，有孔表示1；指示灯不亮表示0，指示灯亮表示1，等等。因为这两种状态是对立的，所以区别鲜明，识别容易。一般说来，这种区别是“质”的区别而不是“量”的区别，例如用灯亮表示数，则决定于亮和不亮并不决定于亮的程度。如果想用十种不同“亮度”识别十个数字，可以理解这是很难实现的；2) 二进制的算术运算特别简单，例如一位二进制数A和B的相加或相乘只有四种可能的组合，即：

| | | |
|----|-------|-------------|
| 加： | 0+0=0 | 0+1=1 |
| | 1+0=1 | 1+1=0 (有进位) |
| 乘： | 0×0=0 | 0×1=0 |
| | 1×0=0 | 1×1=1 |

而一位十进制数的相加或相乘，却各有一百种可能的组合，计算机要实现这种运算势必要用非常庞大的电路。

由此可见，用两个符号表示数的制度(包括下面要讲的二-十进制)对电子计算机是一种很方便的数制。回溯计算技术的发展历史，采用二进制是一项重大的技术改进，可以说没有二进制就没有现代的电子计算机。

1.1.4 二-八进制和二-十六进制

为了便于阅读,当书写一个较长的十进制数时,时常每四位或每三位联成一组,中间用空白或“,”号隔开,例如:

8164 3250 2000

8164, 3250, 2000

四位十进制数能表示一万个数,所以右起第二组实际上是“万”位,第三组是“亿”位。这样一划分,这个数的大小不但能一眼看出而且还可以顺口念出。例如上面的数是8164亿3250万2千。

二进制数经常是很长的,即使是小型计算机,其字长也很少小于16位。所以数的书写和口头读都不方便。时常采用和十进制中类似的方法把三位或四位二进制数字联成一组,每组中有八个或十六个数。如把三个二进制数联成一组,书写或口头读时可用这组的十进制数代替原来的二进制数。例如:

1, 011, 101, 010, 111, 100, 110

可写成或读成

1 3 5 2 7 4 6

这叫做二-八进制或二-八缩写。

如把四个二进制数联成一组,每组可表示十六个数。其中0—9可借用十进制的字母,9以上还需要六个符号来表示10—16这六个数。现在通用两种表示法,一种用字母ABCDEF,一种用 $\bar{0}\bar{1}\bar{2}\bar{3}\bar{4}\bar{5}$,见表1.1.1。如0101,1001,1011,1100,1030可写成59BC8或59 $\bar{1}\bar{2}\bar{3}$ 。

表 1.1.1 二-十六进制中大于9的数的表示法

| | | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 二进制数 | 10:0 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 |
| 十进制数 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 符 号 | A | B | C | D | E | F |
| | $\bar{0}$ | $\bar{1}$ | $\bar{2}$ | $\bar{3}$ | $\bar{4}$ | $\bar{5}$ |

1.2 二进制数和十进制数的转换

如上所述,在计算机中采用二进位计数制,而在其他科技范围却采用十进位计数制,所以要想用计算机去处理十进制数,应把它先转换成二进制数才能为计算机所接受。同样,计算得到的二进制结果也要转换成十进制数才能为解题人所接受。下面介绍转换的方法。实际上任何基数的两种数制都可以用相似的方法进行转换。

1.2.1 十-二转换

(1) 十进制整数转换成二进制整数——采用连续除以2而记录其余数的方法。设N是要转换的十进制整数,当它已经转换成n位二进制数时,可写出下列等式

$$N = \alpha_{n-1} \times 2^{n-1} + \alpha_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + \alpha_1 \times 2^1 + \alpha_0 \times 2^0$$

把等号两边都除以2,得到商和余数,商和余数都是整数,