

电子数字计算机原理

第一册

北京大学计算机科学技术系 编著

科学出版社

电子数字计算机原理

第一册

北京大学计算机科学技术系 编著

科学出版社

1982

内 容 简 介

《电子数字计算机原理》共分四册出版。第一册包括电子数字计算机逻辑设计的基础；第二册包括运算器、控制器；第三册包括存贮器；第四册包括通道和外围设备。

第一册共分六章，外加一篇绪论和一个附录。绪论介绍了电子数字计算机的框图与结构；第一、六两章分别讲述计算机中数的表示方法及其运算规则；第二、三两章分别讨论了基本逻辑电路与逻辑代数；第四、五两章分析了各种类型的触发器及计算机中的基本逻辑部件；附录对时序线路作了一些概要的介绍。

本书可作为计算机专业的教学参考书，也可供有关专业的技术人员自学参考。

电 子 数 字 计 算 机 原 理

第一册

北京大学计算机科学技术系 编著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1975 年 9 月 第 一 版 开本：850×1168 1/32

1982 年 1 月第四次印刷 印张：10 3/4

印数：162,051—174,150 字数：282,000

统一书号：15031·106

本社书号：546·15—8

定 价：0.90 元

编 者 的 话

电子数字计算机的出现到现在虽然只有三十多年的历史,但是它在工业、农业、军事、经济和社会生活各个方面得到日益广泛的应用,并且产生了深刻的影响。计算机的科学技术水平、生产规模和应用程度,已成为衡量一个国家现代化水平的重要标志之一。鉴于计算机在我国实现四个现代化过程中将发挥愈来愈重要的作用,我们编写了此书。

本书第一册编写于1972年,原为我校电子仪器厂计算机专业的教材。1973年修改定稿,1975年出版。应广大读者的要求,现将本书重印。前三次和这次重印,仅对书中若干地方作了一些勘误,由于时间、条件所限而未能对基本内容作进一步修改,希读者见谅。书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

本书为集体编写。执笔人:许卓群(绪论),俞瑞钊(第一、六章及附录),杨天锡(第二、四章),王攻本(第三章),任守奎(第五章)。

在本书编写过程中,校内外许多同志提供了宝贵意见。出版以来,收到了读者许多热情的来信和批评建议,在此一并感谢。

1981年4月

目 录

绪论	1
第一节 电子数字计算机的主要组成部分及其工作特点	1
第二节 计算程序简介	24
第一章 计算机中数的表示	41
第一节 进位计数制	41
第二节 进位制数之间的转换	47
第三节 数的定点与浮点表示	52
第四节 原码、补码与反码	57
第五节 一些简单的编码	74
习题	78
第二章 基本逻辑电路	82
第一节 逻辑代数简介	82
第二节 门电路	88
第三节 复合门电路	91
第四节 “与非”门的基本特性和应用	99
习题	104
第三章 逻辑代数的基本原理	107
第一节 逻辑代数的基本公式	107
第二节 逻辑表达式的化简	115
第三节 逻辑代数在设计中的应用	143
第四节 逻辑表达式化简中的几个问题	152
习题	178
第四章 触发器	187
第一节 $R-S$ 触发器	187
第二节 维持阻塞线路	195
第三节 维持阻塞触发器	214
第四节 $J-K$ 触发器	220

习题	225
第五章 基本逻辑部件	230
第一节 寄存器	230
第二节 计数器	232
第三节 快速计数器	241
第四节 译码器	246
第五节 节拍发生器和脉冲分配器	250
习 题	253
第六章 运算方法	256
第一节 加减法运算	256
第二节 乘法运算	268
第三节 除法运算	283
习 题	297
附录 时序线路	301
第一节 什么是时序线路	301
第二节 时序线路的分析	304
第三节 时序线路的综合	309
第四节 时序线路的综合举例	327

绪 论

为了使读者对电子数字计算机整个机器的结构及其工作过程有一个概括的了解，在绪论中将对电子数字计算机的主要组成部分，它们的工作特点以及用计算机解决各种计算问题的典型程序等作一扼要的介绍。

第一节 电子数字计算机的主要组成部分及其工作特点

电子数字计算机是一种能自动地进行高速运算的计算工具，它每秒钟能进行成千上万次各种不同的运算，有的可达每秒几百万至上千万次运算。一台电子数字计算机主要由以下几部分组成：

运算器——快速进行各种基本运算。

存贮器——存贮大量的数据、程序和资料。

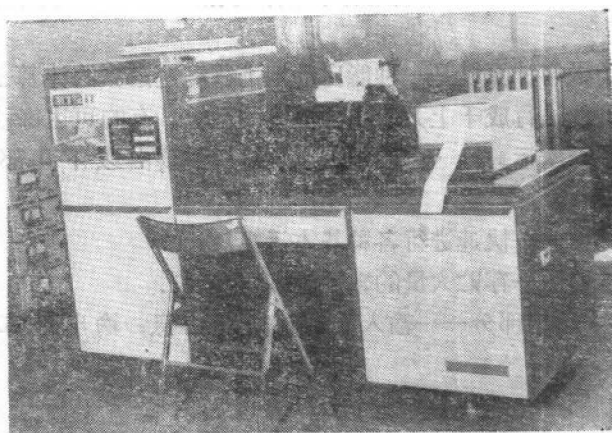
输入-输出部分——输入原始数据等信息，输出运算的结果。

控制器——统一指挥整个计算机的工作。

当人们使用计算机时，必须事先把求解的问题分解为计算机能执行的各种基本运算，即在上机之前，应当把求解的问题按照机器能识别的一定的格式编好整个计算步骤，习惯上把这一工作叫做编制计算程序，简称编程序。程序是由一条一条的基本指令组成的，每一条指令规定了计算机应进行什么操作（如加、减、乘、除等）及操作需要的有关数据。当编好的程序和它需要的原始数据送入计算机后，计算机就自动按程序编排的次序一步步地执行程序中的指令，直到计算出需要的结果。



(a)



(b)

图1 (a) 大型通用电子数字计算机
(b) 小型通用电子数字计算机

下面就来介绍一下计算机各个部分的主要功能及它们之间的相互联系。

一、电子数字计算机的简单框图

图2画出了计算机结构的简单框图。

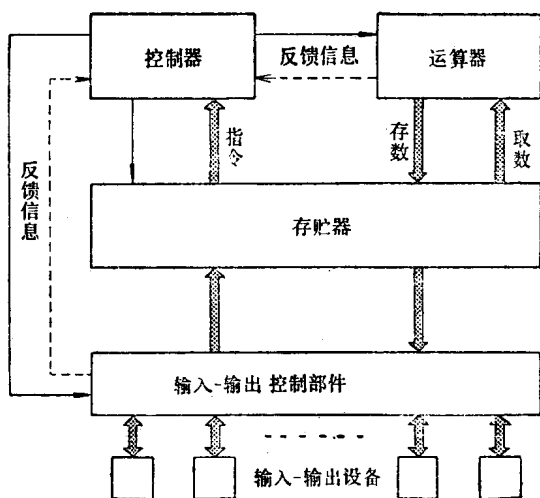


图 2 电子数字计算机的简单框图

运算器是对数据进行运算的部件,它能快速地进行加、减、乘、除等算术运算及其他一些常见的基本运算(如比较两数的大小等)。

在运算过程中,运算器不断地得到由存储器提供的数据,并能把求得的结果(包括中间结果)送回存储器暂时保存起来(少量可暂时存在运算器内部)。它的整个运算是在控制器统一指挥下,按程序中编排的先后次序有规律地进行的。

存储器的主要功能是保存大量信息,它的作用类似一台录音机,能把已记录的内容保存起来。在使用时,根据实际的需要可以把原来记录的内容抹去而重新记录新内容,或者把原记录的内容取出但不破坏原有的记录(类似录音机的录音和放录音)。在计算机的存储器内保存的信息,主要有数据及指令两种(表示数据和指令的二进制码统称代码)。在解题之初,程序和原始数据从计算机外送入存储器中保存起来,在计算过程中,存储器一方面不断地向运算器提供运算所需要的数据,另一方面还能保存从运算器送出的计算结果。此外,存储器中保存着的计算程序,则是用来

决定计算机的具体工作过程的：计算机从存储器不断地取出指令送往控制器，然后由控制器分析和解释指令的含意，并据此向运算器或其他部件发出相应的命令，指挥、控制各部件执行指令规定的操作。

控制器的主要作用，是使整个计算机能自动地执行程序。它从存储器顺序地取出指令，并向各部件发出相应的命令，使它们一步步地执行程序所规定的任务。因此，控制器是统一指挥和控制计算机各部件的中央机构，它一方面向各个部件发出执行任务的命令，另一方面又接受“执行部件”向控制器发回的有关任务执行情况的“反馈信息”，如运算器向控制器“报告”计算结果的大小是否超出预定界限等等。这种由运算器、存储器及输入-输出部件发回控制器的“反馈信息”，将对控制器下一步的工作状态产生重要的影响。控制器将把这些“反馈信息”作为下一步发出哪些命令的工作条件，根据各种工作条件的成立与否，来决定下一步相应地发出哪几种命令。

输入-输出部分是计算机和外界进行联系的桥梁和通道，它包括各种类型的输入-输出设备以及输入-输出的控制部件。当我们使用计算机解决问题时，首先接触到的就是各种输入-输出设备。在解题之前，我们要把准备好的数据及程序成批地通过输入设备送到计算机里去。在计算机计算完毕后，还要把计算的结果（需要时，也可以是中间结果）转换成便于人们使用和阅读的形式，并通过输出设备成批地送出来。计算机使用起来是否灵活方便，很重要的一点就是要看有没有性能优良、工作可靠的输入-输出设备。输入-输出设备一般工作速度要比计算机其他部件慢得多，所以它们怎样和计算机的快速计算相配合，也是一个很重要的问题。

以上简单地介绍了数字计算机四个主要部分的功能。概括起来说，控制器和存储器在各部件的相互联系中起着重要的作用：控制器是协调各部件的动作，不断向它们发出命令的中央机构；而存储器则是各部件信息联系的中心和仓库，各个部件所用的数据以及其他信息大部分都存放在存储器内，并通过它转送到其他部件

去。这些部件的主要性能、大致结构以及数字计算机的一些重要特点将在下文中进一步说明。

二、运 算 器

为了使运算器能进行加、减、乘、除等运算,有两个问题是必须考虑的,即参与运算的数据在计算机中应以什么方式来表示和保存,以及用什么方法对这些数据进行运算。

1. 数的表示方法

有两类不同的表示数量大小的方法。一类称为连续式(或称为模拟式)表示方法,日常所用的对数计算尺就是采用这种方式,此时数量的大小用计算尺的长度,按照一定的长短刻度连续地表示出来;另一类是数字式(又称离散式)表示方法,日常所见的算盘、齿轮式计算机都是采用这种表示法。

在连续式表示法中,数的精确程度和表示它的物理量(如计算尺的长度)的误差直接有关,而在数字式表示法中,比如算盘,算珠的上下位置的微小变化一般对所表示的数不会产生影响,只要分清它是“在上”或“在下”就行了。而且,根据不同的要求,可以用足够多的依次排列的数字来精确地表示一个数的大小,例如 $\pi = 3.14159\cdots$, 用六列并排的算珠可以把圆周率 π 精确地表示到六位。

在电子数字计算机中,数采用数字式表示方法。通常用电压的大小来表示数字,比如我们可以用十种不同的电压表示十个不同的数码,但实现起来是困难的。为了使计算机工作简单可靠,一般都采用二进制数字表示法,即是直接用电压的高低来表示两种不同的数码(即“0”和“1”)。比如说,一个从0伏到5伏变化的电压,可以规定低电压(设从0伏到2伏为低电压)代表“0”,而高电压(设从3伏到5伏为高电压)代表“1”。这种数字表示法的特点是:当表示的物理量(电压)在一定范围内作微小变化时,它所代表的数码不会发生变化,例如电压从0伏往上增大时,它所代表的数

码“0”保持不变。仅当这种变化超过了范围(上升到3伏以上),它所代表的数字才发生确定的变化,即“0”变为“1”。从2伏过渡到3伏有一个过渡范围,这也是为了使代表数码“0”,“1”的电压能明显的区分开。这种只用两种数码来表示数量的方法就称为二值表示法或二进制表示法。粗看起来,这种方法只有两种数码似乎很不精确。但是我们从上面算盘的例子已经知道,数字式表示方法可以同时用很多个相同的物理量来精确地代表一个数的大小。例如,可以同时用四条电压线的电压表示4个二进制数码,这4个数码可用来组成一个二进制的整数:

表 1

二 进 制 整 数				对应的十进制整数
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
...				⋮
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

在实际的计算机中,往往用几十个二进制数码来表示一个数据,它们能很精确地表示出一个数的大小。

由于参与二进制运算的数都只用两种不同的数码“0”和“1”所组成,因此运算规则比较简单;而且由于只有两种数码,只需要分清电压的“高”、“低”状态就可以了,不会受电压的微小变动而影响所代表的数码的正确性,因而可靠性也较高。

2. 运算器的结构

运算器主要由保存数据的“寄存器”和能够进行运算的“加法器”所组成(图3)。寄存器用来保存参与运算的数据或者保存运算

求得的结果。在图 3 中画出了这样的两个 (L_1 和 L_2) 寄存器。寄存器之间进行数据运算一般都通过加法器，它们和加法器之间用“传送门”相连，以便使数据能够可控制地从寄存器传送到加法器，或者把加法器的结果送到某一个寄存器。

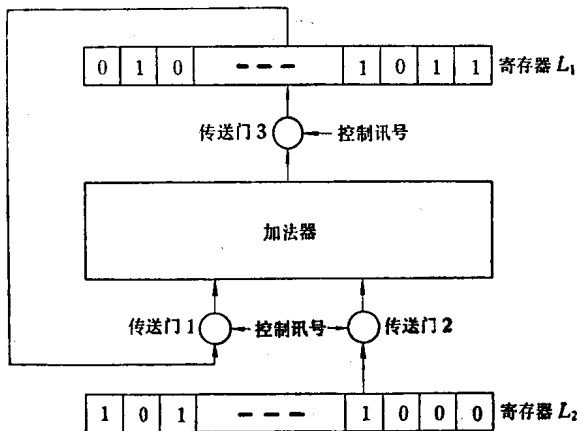


图 3 两个寄存器通过加法器进行运算

例如，当进行加法运算时，控制器首先向运算器发出命令，并使之打开“传送门”1和2（见图3），让 L_1 和 L_2 两个寄存器的数据通过传送门分别送到加法器的两边。控制器命令加法器对送来的这两个数进行加法运算，同时“传送门”3也被打开，加法求得的结果通过它送回寄存器 L_1 （ L_1 中原保存内容被挤掉），这个结果被保存起来以便参与下一步计算。因为寄存器 L_1 可用来保存运算结果并能参与下一步计算，所以常称为“累加寄存器”。在运算器内可以有好几个累加寄存器，作存放中间计算结果之用。

在运算器执行一个加法运算（整个机器执行指令也一样）时，实际上是把它分解成若干更基本的操作来实现的。例如打开“传送门”1和2（使数据送入加法器），命令加法器进行加法操作以及打开传送门3等等。这些基本的操作称为“微操作”，它是比“指令”更基本、更小的操作步骤。运算器执行减法、乘法或除法也是如此，

而且通常不需要增加专门的减法器或乘、除法部件,而是利用同一个加法器来完成减法、乘法和除法运算。例如乘法就可以分解成很多次加法来实现,具体方法可参看第六章。

三、存 贮 器

存贮器用来保存大量的二进制代码。初看起来,它的作用比较简单,只要保存好代码不要丢失就行。实际上,由于存贮器所保存的代码数量很大,而且经常要把保存的代码取出来运算或者把新的代码送进去存贮,因此存贮器必须把保存的代码有规则地组织起来,这样才便于以后快速地去“查找”和取出需要的代码。

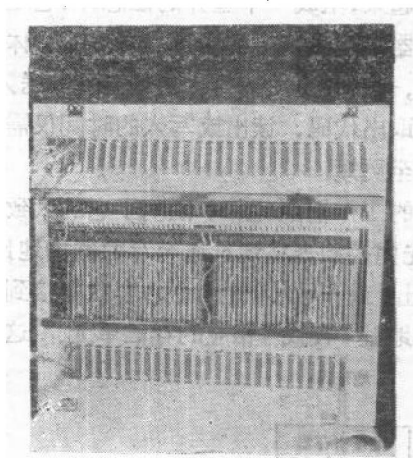
1. “按地址”存取

最常见的代码组织方式是“按地址”存取。具体地说,存贮器这时被分成成千上万个单元。好象由成千上万个房间组成的大楼,每个存贮单元(房间)可以存放一串二进制码(一串“0”或“1”),代表一个数据或一条指令。例如,某存贮器共有 4096 个单元,每个单元可存放 16 个二进制码。这时可以说,这个存贮器的“容量”为 4096 (单元),单元的“字长”为 16 (每个单元存放 16 位)。或者直接说,该存贮器容量为 4096×16 个二进制位。

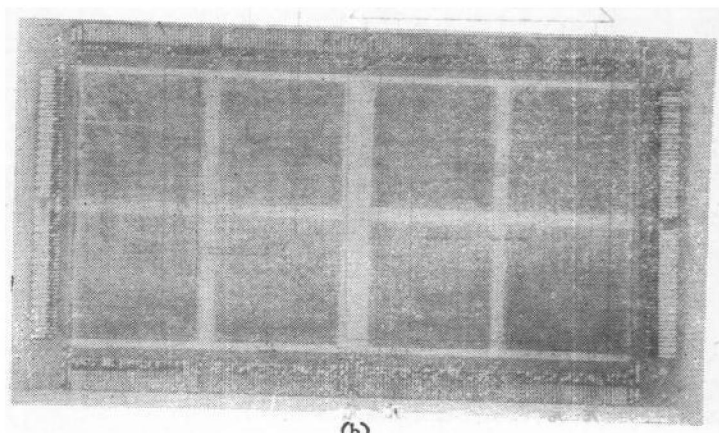
为了区分存贮器不同的单元,要把存贮器全部单元按照一定顺序编制“房间号码”,例如从 0000, 0001, ……4095 顺序编号。一般习惯把这种编号称为存贮单元的“地址”。不同的存贮单元对应的“地址”号码显然是不一样的。当我们要把一个代码送到某个存贮单元(简称写入)或从某个存贮单元取出(简称读出)时,首先要告诉机器相应的存贮单元的地址是什么,即先要把地址送往存贮器,然后由存贮器查找对应的存贮单元,“查到”以后才能把数据存放进去或取出来。在通常情况下,当存贮器从某个单元读出数据以后,这个单元保存的原内容应该仍保持不变,以便以后继续使用。反之,如果要向某单元写入新的数据时,那么原来的内容会被“挤掉”,这个单元保存的内容就变为新写入的数据。

2. 磁芯存储器

当前计算机的主存储器大多采用由磁芯组成的存储器，即利用直径不到 1 毫米的环形磁材料（简称磁芯）来存放二进制数码。磁芯有两种不同的磁化状态，就利用它们分别表示两个不同的数



(a)



(b)

图 4 (a) 磁芯体 (b) 组成磁芯体的磁芯板

码“1”和“0”(如顺时针方向的磁场表示“1”,逆时针方向则代表“0”)。把16颗这样的磁芯排列在一起组成一个存贮单元,可以存放一个16位字长的数据或指令。

例如某一个磁芯存贮器容量为4096字,字长为16位,那么它总共需用 $4096 \times 16 = 65436$ 颗磁芯。这些磁芯用漆包线按地址编排的规则穿织起来,组成一个整齐的磁芯体,它是磁芯存贮器的核心。磁芯存贮器写入或读出代码都是针对磁芯体进行的。它的工作速度比较快,一般利用快速变化的电流脉冲送入磁芯体,用以实现存入代码或取出代码,读出或写入的时间仅需几个微秒(百万分之一秒),甚至更短。

磁芯存贮器的工作框图(图5)说明了它的大致工作原理。存贮器工作时,首先由控制器将地址送至存贮器的地址寄存器,然后向存贮器发“读出”或“写入”的命令,存贮器接到命令后就按照地址寄存器中的地址“查找”相应的存贮单元。这个查找地址的

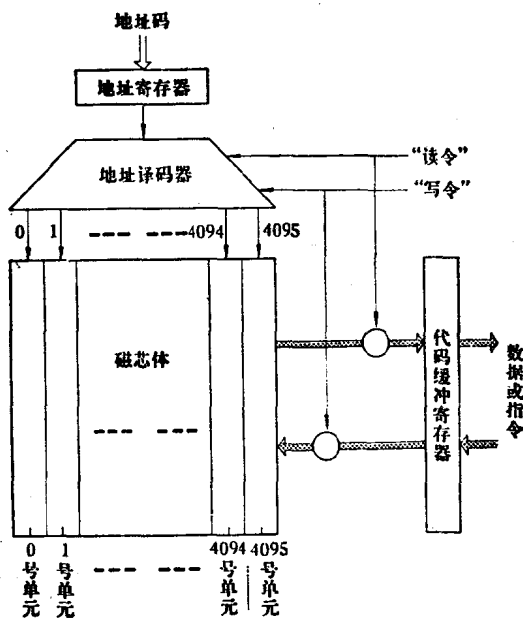


图5 磁芯存贮器框图

工作是由“地址译码器”实现的。译码器把地址码(房间号码)转换成磁芯体联线上的电流脉冲信号,使该存贮单元(即要查找的单元)的所有磁芯全都工作起来。具体的工作步骤要看是“读出”还是“写入”命令而有所不同。如果是读出命令,那么这些磁芯保存的代码被读出送往代码缓冲寄存器。此外,为了使这些磁芯仍然保持原有的代码,不致由于读出命令而遭到破坏,所以在代码读出以后,紧接着还要把这个代码重新写回原存贮单元(简称“重写”),即磁芯在读出时的工作分为读出-重写两步进行。如果是写入命令,则要向存贮器写入新的代码。为此,先要把这些磁芯原来保存的代码“清除”掉,然后再把要写入的新代码(预先已放在代码缓冲寄存器中)存入该存贮单元中,即磁芯在写入时的工作分为清除-写入两步。

除磁芯存贮器外,计算机还广泛使用其他种类的磁性存贮器,如磁带、磁鼓和磁盘等。它们的工作原理和磁芯存贮器不同,而和磁带录音机类似。例如磁带存贮器,它利用磁带(塑料带表面涂有磁性材料薄层)记录二进制代码。磁带绕在专用的磁带盘上,靠磁带盘的旋转带动磁带运动来实现读出或写入代码(和录音机的“放音”和“录音”相似)。这种磁带存贮器的工作速度比磁芯存贮器慢,如读出一个16位的代码约几十个微秒左右。但是它的存贮量大、可靠性较高,而且比磁芯存贮器价格便宜,因此使用很广泛。其他如磁鼓、磁盘等存贮器,工作原理和磁带类似,而工作速度比磁带可提高一些。特别是磁盘,除了有较高的速度外,还具有存贮容量大的优点,所以受到人们广泛重视。

存贮器的工作速度和存贮容量,是计算机的性能的两个重要指标。从工作速度来说,希望存贮器的工作速度能和运算器、控制器的工作速度相适应,甚至更快一些才好。另一方面存贮器的容量对计算机解决问题的能力影响也很大,它决定计算机能存放的数据和程序的数量,限制所能解决问题的规模。目前,从这两个性能来看,计算机所使用的存贮器一般可分为三级:

(1) 高速存贮器 目前常用半导体存贮器做高速存贮器,