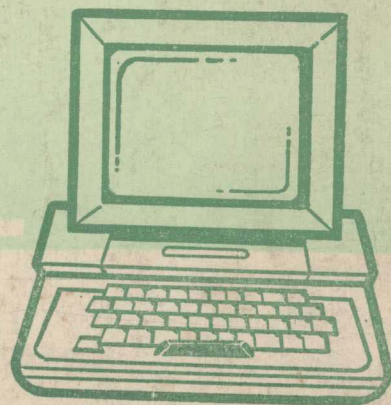


APPLE-II

微计算机讲义



中国人民解放军空军雷达学院

编写说明

近几年来,不少单位购置了APPLE—II微型计算机系统,虽然随机配发了一定的资料,但使用起来仍有诸多不便,特别是对初学者来说更是如此。为了配合计算机的推广普及,我们编写了这本讲义。它既可作为初学计算机人们的入门教材,又可作为APPLE—II微机系统用户的使用手册。

本书分为三篇二十章。第一篇十二章,除了概要介绍计算的基本知识外,主要是讲述APPLE SOFT BASIC语言。第二篇三章,内容包括APPLE—II微机系统的一般介绍和汇编语言程序设计。第二篇五章,介绍磁盘操作系统(DOS3.3)、汉卡和打印机的操作使用。对于APPLE—II微机系统的硬件部分,考虑到它所需的基础知识较多,专业性较强,故只在第十三章略作介绍,未作深入的叙述。

在内容安排上,本书尽量照顾到初学者的特点和不同类型人员的需要,第一篇特别是前九章是初学者必须掌握的内容。对于已经学过基本BASIC的读者可以重点阅读第一篇后面四章和其它内容。第三篇是针对APPLE—II微机系统的用户编写的。第二篇中的6502微处理机指令系统和汇编语言程序设计可供从事APPLE—II微机系统开发与应用的参考。若以本书作为教材,亦可根据教学对象和教学时数选用第一篇的部分内容,或选用第一篇的全部内容以及第三篇的部分内容。

本书在写法上力求通俗易懂,便于自学,书中附有大量的例题和习题,便于读者掌握编程的思路、技巧和使用APPLE—II微机系统的方法。

参加本书编写工作的有空军雷达学院计算机教研室江伟飞、芮学仁、刁乾定和黄德敏等四同志,其中二、三、四、五、六、七章由江伟飞编写,第八、九、十、十一、十二章由黄德敏编写,第一、十三、十四、十五章由芮学仁编写,第十六、十七、十八、十九、二十由刁乾定编写。本书主要是编者在我院APPLE—II微机集训班讲课的讲稿整理而成。在编写过程中亦参考了院内外的部分教材、资料,主要的有APPLE—II微机系统随机资料,清华大学谭浩强等同志编写的《BASIC语言》,我室李刚同志编写的《APPLE SOFT BASIC讲义》,杨和新同志编写的《磁盘操作系统DOS3.3的使用手册》等,并从中选取了部分材料和例题。本书由我院印刷厂印刷,插图由绘图室绘制,芮学仁同志负责全书的校对出版工作,编者均参加了校对,参加校对的还有马联宣,丁亚非,金素华等同志。封面设计为冀胜田同志。在此,一并表示诚挚的谢意。

由于我们的水平有限,加上时间仓促,急于排印出版,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指出。

编者

一九八四年十二月

目 录

第一篇 BASIC语言

第一章 计算机的基本知识.....	1
第一节 电子计算机的发展.....	1
第二节 计算机的组成及工作过程.....	2
第三节 计算机中数的表示方法.....	5
第四节 计算机的语言.....	15
第五节 计算机的硬件和软件.....	18
第六节 微处理机与微计算机.....	19
第二章 BASIC语言概述.....	21
第一节 BASIC语言的基本特点.....	21
第二节 BASIC语言的基本字符.....	22
第三节 BASIC程序的基本结构.....	22
第四节 BASIC语句的基本结构.....	24
第五节 BASIC程序的键入和修改:.....	29
习题.....	32
第三章 数据的输入和输出.....	33
第一节 打印语句 (PRINT语句).....	33
第二节 赋值语句 (LET语句).....	39
第三节 键盘输入语句 (INPUT语句).....	43
第四节 无条件转向语句 (GOTO语句).....	47
第五节 读数语句和置数语句 (READ/DATA语句).....	48
第六节 恢复数据区语句 (RESTORE语句).....	52
第七节 三种输入数据语句的简单比较.....	54
习题.....	55
第四章 分支.....	57
第一节 问题的提出.....	57
第二节 条件语句 (IF—THEN语句).....	57
第三节 开关分支语句 (ON—GOTO语句).....	73
第四节 注释语句 (REM语句).....	75
第五节 暂停语句 (STOP语句).....	76
习题.....	77

第五章 循环	79
第一节 循环和循环结构的概念	79
第二节 循环语句 (FOR—NEXT 语句)	80
第三节 单重循环的应用举例	84
第四节 多重循环	91
第五节 有关编写循环程序的几个问题	98
习题	100
第六章 函数	103
第一节 算术函数	103
第二节 打印格式函数	113
第三节 三角函数	118
第四节 自定义函数和自定义函数语句 (DEF语句)	119
习题	122
第七章 子程序	124
第一节 转子语句和返回语句 (GOSUB语句和RETURN语句)	124
第二节 调用子程序的规则	125
第三节 程序举例	128
习题	133
第八章 数组	135
第一节 数组及下标变量	135
第二节 数组说明语句 (DIM语句)	137
第三节 一维数组	141
第四节 二维数组	147
习题	158
第九章 字符串	160
第一节 字符串变量和字符串数组	160
第二节 字符串变量的赋值	161
第三节 字符串的处理	163
习题	170
第十章 扩展语句	172
第一节 系统操作语句	172
第二节 控制转向语句	179
第三节 荧光屏控制语句	182
第四节 程序和数据的保存	186
第十一章 图形	187
第一节 低分辨率图形	187
第二节 高分辨率图形	191
第三节 造型表	197
习题	205

第十二章 程序的调试、执行和保存	206
第一节 编辑命令与功能键	206
第二节 执行程序的命令	210
第三节 开关机	211
第四节 土机操作过程	213

第二篇 APPLE—II 机的汇编语言

第十三章 APPLE—II 微机系统介绍	215
第一节 APPLE—II 微型机的组成	215
第二节 APPLE—II 微机系统的结构	224
第三节 APPLE—II 机的开关机及使用注意事项	226
第四节 各种型号APPLE—II 机的异同点	227
第十四章 6502微处理器指令系统	229
第一节 概述	229
第二节 寻址方式	231
第三节 数据传送指令	234
第四节 数据操作指令	241
第五节 程序控制指令	251
第六节 微处理器控制指令	260
第十五章 APPLE—II 机汇编语言程序设计介绍	262
第一节 概述	262
第二节 直接程序	265
第三节 分支程序	268
第四节 循环程序	269
第五节 子程序	272
第六节 程序的运行	273
习题	279

第三篇 磁盘操作系统

(APPLE DOS 3.3) 及打印机、汉字

第十六章 磁盘操作系统概述	281
第一节 软磁盘	281
第二节 磁盘驱动器的联接和使用	283
第三节 DOS3.3装入内存的方法	284
第四节 DOS自举后内存的分配	285

第五节 使用注意事项	286
第十七章 DOS命令及使用方法	287
第一节 内务命令	287
第二节 访问命令	295
第三节 机器语言文件命令	298
第四节 顺序文本文件命令	300
第五节 随机存取文本文件命令	312
第十八章 文件的复制及系统主磁盘上几个文件的使用	318
第一节 文件的复制	318
第二节 FID文件的使用方法	320
第三节 MAKE TEXT程序和RETRIEVE TEXT 程序的使用方法	325
第十九章 8510A点阵击打式打印机使用方法	328
第二十章 C—PLUSII A 汉卡使用方法	331
习题参考答案	343
第二章 BASIC语言概述	343
第三章 数据的输入和输出	343
第四章 分支	347
第五章 循环	352
第六章 函数	356
第七章 子程序	359
第八章 数组	362
第九章 字符串	365
第十一章 图形	366
附录一 ASCII字符码	370
附录二 APPLE SOFT BASIC使用内存情况	371
附录三 APPLE—II 机内存分配情况	371
附录四 APPLE SOFT 零页地址的用途	372
附录五 有用的PEEK及POKE地址	373
附录六 固有的一些子程序	375
附录七 APPLE SOFT的导出函数	279
附录八 APPLE SOFT用的保留字	380
附录九 APPLE SOFT与INTEGER BASIC 的区别	381
附录十 APPLE SOFT BASIC出错信息及其代码	383
附录十一 6502指令系统一览表	385
附录十二 DOS的出错信息	395

第一篇 BASIC 语言

第一章 计算机的基本知识

电子计算机是一种能自动、高速进行大量计算的电子设备。电子计算机的出现和发展，是二十世纪科学技术的卓越成就之一。它本身是科学技术和生产发展的结果，反过来又大大促进了科学技术和生产的发展。现在，电子计算机的应用已深入到科学文化、工农业生产、国防建设甚至于家庭厨房，成为科学研究、工农业生产和社会生活所不可缺少的重要设备。电子计算机的应用程度成了衡量一个国家现代化的重要尺度。

目前，电子计算机可以分为三类：

1. 电子数字计算机。它是一种以二进制数字形式进行运算的电子计算机。
2. 电子模拟计算机。它是用连续变化的电压表示运算量的电子计算机。
3. 混合式电子计算机。它是把模拟技术和数字技术灵活结合的电子计算机。

现在人们通常所说的电子计算机是指电子数字计算机。

第一节 电子计算机的发展

自1946年世界上出现了第一台电子计算机以来的三十多年时间里，电子计算机的发展已经历了四代，大体上是按所使用的器件来分代的。

第一代，从1946年开始。这一代计算机的主要特点是使用电子管作为逻辑元件，用延迟线或磁鼓作为记忆部件，主要使用机器语言，并开始使用符号语言。运算速度为每秒几千次到几万次。这一代计算机体积庞大，耗电量大，维修复杂，可靠性差，但它却奠定了计算机的基本结构和工作方式的技术基础。例如1946年出现的第一台计算机ENIAC，使用了18000个电子管，占地150平方米，重30吨，耗电150瓩，价值40万美元，加法运算速度5000次/秒，与今天的计算机相比不可同日而语了。但是，它却奠定了电子计算机的技术基础，如采用二进制数进行运算和控制，建立了程序设计的概念等。

第二代，从1958年开始。这一代计算机的主要特点是用晶体管取代了电子管作为逻辑元件，用磁芯作记忆元件，出现了高级程序设计语言，如ALGOL、FORTRAN，还提出了操作系统。这一代计算机的可靠性和运算速度有了显著提高，运算速度为每秒几万次到几十万次。体积缩小，成本降低，并有较完善的输入输出设备。除了进行科学计算之外，在数据处理方面得到了广泛的应用，而且开始应用于过程控制。

第三代，从1965年开始。这一代计算机的主要特点是用中小规模集成电路取代了晶体管，仍采用磁芯作为记忆元件，操作系统得到了进一步发展与普及。计算机的可靠性和运算

速度有了进一步提高。运算速度为每秒几十万次到几百万次。体积进一步缩小，成本进一步降低。机种多样化。小型计算机和超小型计算机开始出现并迅速发展。应用方面也遍布科学计算、数据处理及工业控制多种领域。

第四代，从1972年开始。这一代计算机的主要特点是用大规模集成电路取代了中小规模集成电路作为逻辑部件，由大规模集成存贮芯片取代磁心作为记忆部件。这一代计算机的可靠性更为提高，体积更为缩小，成本更为降低。大型计算机的运算速度可达每秒几千万次，甚至亿次以上。同时，全套电路集中在一块硅片上的微型计算机开始出现，由若干台计算机组成的计算机网络开始实际应用。

据统计，大约每隔5到8年，计算机的运算速度提高10倍，体积缩小10倍，成本降低10倍。

可以预见，随着新器件、新技术、新工艺的出现和新的设计思想的采用，计算机的性能将更为完善，使用将更为方便。当前计算机正向四个方面发展。

1. 微型化 由于大规模集成电路技术的发展，现在已经能够在一块邮票大小的面积上集成一部计算机的主要部分（除输入、输出设备），即构成微型计算机。微型计算机的出现开创了计算机普及的新纪元。

2. 巨型机 当前计算机发展的另一个趋向是制造一些功能极强，运算速度特快的巨型计算机，以满足尖端科学技术发展的需要。如我国1983年12月通过鉴定的“银河”机每秒运算速度达1亿次。运算速度每秒十亿次甚至百亿次的计算机也在研制之中。

3. 组成计算机网络 计算机网络是计算机发展的又一个重要方面。它是在一个地区或几个地区之间，把各种型号的计算机用通讯线路互相联接起来，形成的网络。在计算机网络中联接许多终端设备，分装到各个用户。人们可以随时使用计算机，象打电话一样方便。随着计算机的微型化以及电视系统、激光技术和光导纤维等方面的发展，计算机网络会有更大的发展。

4. 智能机 智能机是在计算机与控制论等研究的基础上发展起来的一门新技术，它能模拟人的智能，如识别图形、语言和物体等。机器人就是智能机的一种，它已被用在生产线上取代了人们的一些劳动。

目前，计算机主要用于以下几个方面：（1）科学计算；（2）过程控制；（3）数据处理；（4）人工智能；（5）计算机辅助设计等等。

计算机的主要特点是：运算速度快（世界上已有每秒运算几亿次的计算机）、存贮数据多、精确度高、具有记忆和逻辑判断的能力，而且它的内部操作全部是自动控制进行的。它不仅大大节省人力，提高计算效率，而且有许多工作离开了计算机是简直无法完成的。

第二节 计算机的组成及工作过程

一、计算机的基本结构

电子数字计算机一开始是作为一种计算工具出现的。我们来看一下若要计算机能脱离人的直接干预，自动地完成计算，它应该具有哪些主要部分？

我们先从人是怎样用算盘算题谈起。例如要求用算盘计算下面的问题：

$$14 \times 8 + 114 \div 3 - 43 \times 3$$

首先我们需要有一个算盘作为运算工具，其次要有纸和笔，用来记录原始的数据，记录中间结果，以及最后的运算结果；而整个运算工作是在人的控制下进行的，人首先要把计算的问题和数据记录下来，然后按照运算规则与步骤进行运算，即第一步先算 14×8 ，把计算的中间结果112记在纸上，再计算 $114 + 3$ ，把这一次的中间结果38和上一次的中间结果112相加得150，再记在纸上，然后计算 43×8 得129，再把它从上一次的结果150中减去，就得到了最后的结果21。

若要用一台计算机来完成上述计算过程，显然，它首先要有能代替算盘进行运算的部件，称之为运算器。其次要有能起到纸和笔的作用的器件，它能记忆原始题目、原始数据和中间结果以及解题步骤（称为程序），这种器件就称为存贮器。再次要有能代替人的控制作用的控制器。但是光有这三部分还不够，原始的数据与称作程序的解题步骤要预先送入计算机，所以需要有输入设备；而计算的结果需要输出，就要有输出设备。这样的五个部分就是计算机的基本组成部分，如图1-1所示。实际上计算机还有电源、控制台等设备。

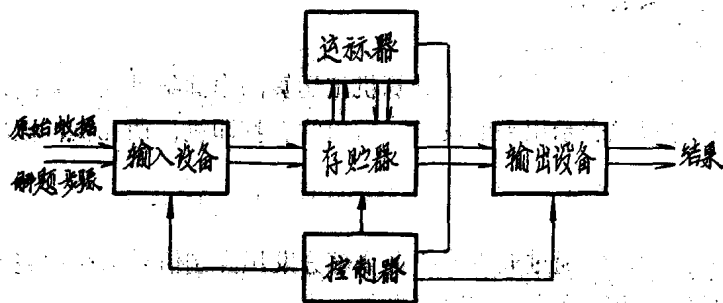


图1-1 计算机的组成框图

二、计算机各组成部分的作用

计算机的五个基本组成部分的作用分述如下：

（一）输入设备

是人与计算机进行交往的入口，是向计算机送入原始数据、程序及其它信息的设备。常用的输入设备有键盘、纸带输入机等。工作时，把所要送入计算机的信息转换成计算机所能接受的二进制数或代码，当前还不能直接用语言或图形的形式向计算机送入信息。

（二）存贮器

相当于计算机的信息仓库，用来存放输入设备送来的原始数据、程序以及运算器送来的运算结果等。

存贮器要存放大量的信息，因此它分成了许多小的单元，好象一座大旅馆有许多房间一样。存贮器内的小单元称为存贮单元。每个存贮单元有一个编号，好象旅馆中的每个房间均编有房间号码一样。存贮单元的编号称为地址。每个存贮单元通常可存放一个数据，一个操作命令（称为指令）等。

存贮器一般由记忆元件和电子线路构成。

存贮器接在机器中的作用可分为两类：一类称为内存贮器，简称内存，它与运算器、控制器配置在一起，如磁芯存贮器、半导体存贮器等；另一类称为外存贮器，简称外存，在结构上它远离运算器和控制器，如磁带机、磁鼓和磁盘等。

存贮器的主要性能，通常用存贮容量和存取周期来表示。

所谓存贮容量是指存贮器所能记存的信息(如数据、指令等)的多少，也就是存贮单元的多少。如存贮容量是256个单元，就只能存放256个信息。存贮容量越大，计算机的解题能力越强。为了书写和阅读的方便，常以 K 字或 K 字节作为存贮容量的单位。 $K = 1024$ 。“字”= 16位二进制数，“字节”= 8位二进制数。

所谓存取周期是指存一个数或取一个数所需要的时间。存取周期在很大程度上决定着计算机的计算速度，所以总是希望它越短越好。

(三) 运算器

是计算机对各种信息进行算术运算和逻辑运算的主要部件，由很多逻辑电路组成，包括寄存器、加法器、移位器和一些控制电路等。

运算器的主要技术指标是参加运算的数的位数和运算速度。参加运算的数的位数是指参加运算器运算的二进制数的最大位数；运算速度是指计算机进行加减乘除等运算的快慢，用每秒完成多少次运算来表示。

(四) 输出设备

是计算机与人交往的输出窗口，是计算机把运算的中间结果或最终结果以及其它信息以数字、字符、图形等形式表示出来的设备。常用的有打印机、凿孔机、数码管、显示器和绘图仪等。

(五) 控制器

是计算机的指挥部。它通过向机器的各个部分发出控制信号来指挥整台机器自动地、协调地进行工作。控制器由时序电路和逻辑电路组成。

人们把计算机这五个基本组成部分中的内存贮器、运算器和控制器合称为计算机的主机，又把其中的运算器和控制器称之为中央处理机(CPU)，而把输入设备和输出设备以及外存贮器合称为外部设备，简称外设。

三、计算机的概略工作过程

计算机算题的过程大致分为两步。

第一步，由输入设备将事先编好的算题程序和原始数据送入到计算机的内存存放起来。

第二步，启动计算机，在控制器的控制下，指挥计算机按计算步骤(程序)，依次从内存取出参加运算的有关数据到运算器进行规定的运算和有关操作(如把中间结送内存等)。并将运算的最后结果送内存存放或通过输出设备输出。

那么控制器到底凭什么指挥机器工作的呢？实际上，控制器是根据人事先编好的解题程序来进行工作(控制)的。计算机先做什么，后做什么，如何处理可能遇到的一切情况，都是由程序来决定的。人把事先考虑好的意图表达在程序中，程序是由一个一个人给机器的操作命令(指令)组成的，而控制器则按程序依次发出各种控制信号，指挥机器的各个部分自动地按程序规定进行操作，从而使计算过程一步步地自动进行。所以，可以说控制器是按照人的意图(由程序体现)来指挥机器工作的。计算机自动工作的过程，实质上就是自动执行程序中的指令的过程。

需要说明的是当把计算机用于控制时，输入输出还有各种现场信息和控制命令。

四、利用计算机解决实际问题的过程

在一般的科技计算中，首先要将需要计算的对象的物理过程或工作状态用数学公式表达

出来，即所谓建立数学模型。由于数学模型有时十分复杂，而计算机只能进行算术运算和逻辑运算，因此，常需对数学模型作一些简化，得出近似计算公式。然后再根据近似计算公式编制出计算机能接受的计算程序，送入计算机内。在计算机内按预定的程序进行运算后，得出计算结果，由输出设备输送出来。用计算机进行科技计算的工作流程见图1—2。



图1—2 进行科技计算的流程

对于一些复杂的问题，要找出近似的计算公式并不是一件很容易的事，这就是属于“计算方法”所要解决的问题。而程序工作者（软件人员）则是根据已知的数学模型和计算方法编制计算程序。

计算机用于进行数据处理或事务管理时，其步骤是：根据需要解决的实际问题，确定方案，然后编制程序，最后送入计算机运算，输出结果。

第三节 计算机中数的表示方法

计算机的最基本功能是进行数的计算和处理加工。数在计算机中是以器件的物理状态来表示的，为了使表示的数更为方便和可靠，在计算机中主要用二进制计数方法来表示数；还要用到八进制数和十六进制数。下面从人们熟悉的进位计数制的十进制谈起，介绍有关计算机中的数的表示方法。

一、进位计数制

(一) 十进制数

十进制数有两个主要特点：

1. 它由十个不同的数码0、1、2……8、9来表示数值。
2. 由低位向高位的进位规则是“逢十进一”。因此，同一个数码在数中处于不同的位置代表的意义是不同的。例如，在888.88这个数中，小数点左面第一位8代表“个”位，就是它本身的数值8；小数点左面第二位的8代表“十”位，它的值为 8×10^1 ；小数点左面第三位的8代表“百”位，它的值为 8×10^2 ；而小数点右面第一位的8处在“十分之一”位，故它的值为 8×10^{-1} ；小数点右面第二位的8则处在“百分之一”位，它的值为 8×10^{-2} 。因此，888.88这个数实际上是数中不同位置上的数码所代表的数值相加的结果。即

$$888.88 = 8 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

一般地说，任意一个十进制数可以表示为：

$$\begin{aligned}
 A &= A_{n-1} \cdot 10^{n-1} + A_{n-2} \cdot 10^{n-2} + \cdots + A_1 \cdot 10^1 + A_0 \cdot 10^0 \\
 &\quad + A_{-1} \cdot 10^{-1} + A_{-2} \cdot 10^{-2} + \cdots + A_{-m} \cdot 10^{-m} \\
 &= \sum_{i=n-1}^{-m} A_i \cdot 10^i
 \end{aligned}$$

其中 i 表示数的某一位; A_i 表示第 i 位的数码, 它可以是 $0 \sim 9$ 中的任一个, 由具体的数 A 确定; m 和 n 为正整数, n 为小数点左面的位数, m 为小数点右边的位数。式中“10”就称为计数制的底数 (或称为基数), 所以, 这是十进制数。

(二)二进制数

与十进制数相类似, 它也有两个主要特点:

1. 它的数值部分, 只需用两个数码 0 和 1 来表示。
2. 由低位向高位是“逢二进一”的。因此, 同一个数码在数中处于不同的位置代表的意义也是不同的。表 1—1 列出了数码 1 在二进制中处于不同位置时的意义 (所代表的十进制数的值)。数码 0 在任何位置都代表零。

表 1—1

整 数		小 数	
二进制数码在数中的位置	所代表的十进制数的值	二进制数码在数中的位置	所代表的十进制数的值
1	$1 \times 2^0 = 1$	0	0
10	$1 \times 2^1 = 2$	0.1	$1 \times 2^{-1} = \frac{1}{2} = 0.5$
100	$1 \times 2^2 = 4$	0.01	$1 \times 2^{-2} = \frac{1}{4} = 0.25$
1000	$1 \times 2^3 = 8$	0.001	$1 \times 2^{-3} = \frac{1}{8} = 0.125$
10000	$1 \times 2^4 = 16$	0.0001	$1 \times 2^{-4} = \frac{1}{16} = 0.0625$
100000	$1 \times 2^5 = 32$	0.00001	$1 \times 2^{-5} = \frac{1}{32} = 0.03125$
1000000	$1 \times 2^6 = 64$	0.000001	$1 \times 2^{-6} = \frac{1}{64} = 0.015625$
10000000	$1 \times 2^7 = 128$	0.0000001	$1 \times 2^{-7} = \frac{1}{128} = 0.0078125$
⋮	⋮	⋮	⋮
$\underbrace{\hspace{1cm}}_n$	1×2^n (n 是 1 后面 0 的个数)	$\underbrace{\hspace{1cm}}_n$	1×2^{-n} (n 是 1 前面 0 的个数)
10……00		0.0……0 1	

例 $(1001)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^0 = (8 + 1)_{10} = (9)_{10}$
 $(11011.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-3} = (27.625)_{10}$
 一般地说, 任意一个二进制数 B , 都可以表示为:

$$\begin{aligned}
 B &= B_{n-1} \cdot 2^{n-1} + B_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \cdots + B_1 \cdot 2^1 + B_0 \cdot 2^0 \\
 &\quad + B_{-1} \cdot 2^{-1} + B_{-2} \cdot 2^{-2} + \cdots + B_{-m} \cdot 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-n-1}^{-m} B_i 2^i
 \end{aligned}$$

其中 B_i 只能取 1 或 0, 由具体的数 B 确定。 n 、 m 为正整数, n 为小数点左面的位数, m 为小数点右面的位数。 “2” 是进位制的基数, 故称为二进制。

(三) 八进制数

类似地它也有两个主要特点:

1. 用八个不同的数码 0、1……6、7 来表示数值。
2. 由低位向高位的进位规则是“逢八进一”。因此, 在不同数位, 数码所代表的值是不同的。例如

$$(327)_8 = 3 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = (215)_{10}$$

$$(372.135)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 3 \times 8^{-2} + 5 \times 8^{-3} \\ = (250.181640625)_{10}$$

所以, 任意一个八进制数 C 可表示为:

$$C = C_{n-1} \cdot 8^{n-1} + C_{n-2} \cdot 8^{n-2} + \cdots + C_1 \cdot 8^1 + C_0 \cdot 8^0 \\ + C_{-1} \cdot 8^{-1} + \cdots + C_{-m} \cdot 8^{-m} \\ = \sum_{i=n-1}^{-m} C_i \cdot 8^i$$

其中 i 表示数的某一位, C_i 表示第 i 位的数码, 它可以是 0~7 中的任一个, 由具体的数 C 确定, n 、 m 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数, “8” 为基数, 故称为八进制。

(四) 十六进制数

十六进制数也有两个主要特点:

1. 用十六个不同的数码 0~9 以及 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 表示数值。
2. 由低位向高位的进位规则是“逢十六进一”。因此, 在不同数位, 数码所表示的值是不同的。例如

$$(327)_{16} = 3 \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 7 \times 16^0 = (807)_{10}$$

$$(3AB.11)_{16} = 3 \times 16^2 + A \times 16^1 + B \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2} \\ = (939.06640625)_{10}$$

所以, 一个任意的十六进制数 D , 可以表示为:

$$D = D_{n-1} \cdot 16^{n-1} + D_{n-2} \cdot 16^{n-2} + \cdots + D_1 \cdot 16^1 + D_0 \cdot 16^0 \\ + D_{-1} \cdot 16^{-1} + \cdots + D_{-m} \cdot 16^{-m} \\ = \sum_{i=n-1}^{-m} D_i \cdot 16^i$$

其中 i 表示数的某一位, D_i 表示第 i 位的数码, 可取 0~9、 $A \sim F$ 中的任一个, 取决于数 D , n 、 m 为正整数, n 为小数点左边的位数, m 为小数点右边的位数, “16” 为基数, 故称为十六进制。

表 1—2 列出了十六进制与十进制数和二进制数之间的关系。

表 1—2

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

综上所述几种计数制，可以把它们的特点概括为：

1. 每一种计数制都有一个固定的基数 J ，它的每一位可能取 J 个不同数码。
2. 低位向高位的进位规则为“逢 J 进一”。因此，它的每一个数位 i 对应一个固定的值 J^i ， J^i 就称为该位的“权”。小数点左面各位的权依次是基数 J 的正次幂，而小数点右面各位的权依次是基数 J 的负次幂。与此相关的，若小数点向左移动一位（或数向右移动一位），则等于把数减小 J 倍，若小数点向右移动一位（或数向左移动一位），则等于数增加 J 倍。

二、进位制数之间的转换

这里主要介绍二进制数与十进制数、八进制数与二进制数、十六进制数与二进制数之间的转换。

（一）二进制数与十进制数之间的转换

1. 二进制数转换成十进制数的方法

根据二进制数的定义，将它按权展开相加所得结果就是转换成的十进制数。

例1 $(11110)_2 = (?)_{10}$

$$\begin{aligned}
 \text{解: } (11110)_2 &= (10000 + 1000 + 100 + 10 + 0)_{10} \\
 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 \\
 &= 16 + 8 + 4 + 2 + 0 \\
 &= (30)_{10}
 \end{aligned}$$

例2 $(0.1011)_2 = (?)_{10}$

$$\begin{aligned}
 \text{解: } (0.1011)_2 &= (0.1 + 0.001 + 0.0001)_{10} \\
 &= 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} \\
 &= \frac{1}{2} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} \\
 &= 0.5 + 0.125 + 0.0625 \\
 &= (0.6875)_{10}
 \end{aligned}$$

将例1、例2的整数部分和小数部分合并，可得：

$$(11110.1011)_2 = (30.6875)_{10}$$

2. 十进制数转换成二进制数的方法

十进制数转换成二进制数，换算时，十进制的整数部分和小数部分分别换算成相应的二进制数的整数部分和小数部分，然后合在一起。

(1) 整数部分的转换

整数部分的转换采用：“用2除取余，逆序排列”，即将十进制数的整数部分除以2，得到一个商数和余数。再将商数除以2，又得到一个新的商数和余数。再将新商数除以2……如此连除，直到商数等于0时为止。再将逐次所得到的余数逆序排列成二进制整数，即该数的最高位为最后一次求商时得到的余数，最低位是第一次求商时得到的余数，如例3中箭头方向所示顺序。

例3 $(30)_{10} = (?)_2 =$
 解：

2		30
2		15
2		7
2		3
2		1
		0

余0
余1
余1
余1
余1

$\uparrow$

因此， $(30)_{10} = (11110)_2 =$

(2) 小数部分的转换

小数部分的转换采用：“用2乘取整，顺序排列”，即将十进制数的小数部分乘以2，得到一个乘积。再将乘积中的小数部分乘以2，又得到一个新的乘积。再将新乘积中的小数部分乘以2……如此连乘，直到乘积的小数部分为0，或达到所要求的精度时为止。再将逐次所得到的乘积中的整数部分顺序排到成二进制小数，即该数的最高位是最先一次乘积中的整数，最低位为最后一次乘积中的整数，如例4中的箭头方向所示顺序。

例4 $(0.6875)_{10} = (?)_2 =$

解：

0.6875	
×	2
1.3750……积的整数部分为1	
0.375	
×	2
0.750……积的整数部分为0	
×	2
1.500……积的整数部分为1	
0.5	
×	2
1.0……积的整数部分为1	

$\downarrow$

因此， $(0.6875)_{10} = (0.1011)_2 =$

将例3、例4的整数部分和小数部分合并，可得：

$(30.6875)_{10} = (11110.1011)_2 =$

归纳起来，十进制数转换为二进制数的过程可作如下描述。

十进制数 $\left\{ \begin{array}{l} \text{(整数部分)} + \text{“用2除取余，逆序排列” (整数部分)} = \\ \text{(小数部分)} + \text{“用2乘取整，顺序排列” (小数部分)} = \end{array} \right\} \text{二进制数}$

(二) 二进制数与八进制数之间的转换

1. 八进制数转换为二进制数的方法

八进制数转换为二进制数可采用：“一位拆三位”的方法，即每位八进制数，用三位二进制数来表示。

例5 $(563)_8$ ，分别把5、6、3用三位二进制数表示如下：

$$\begin{array}{ccc} 5 & 6 & 3 \\ \swarrow & | & \searrow \\ 101 & 110 & 011 \end{array}$$

即 $(563)_8 = (101110011)_2$

例6 $(0.764)_8$ ，每一位可分别用三位二进制数表示如下：

$$\begin{array}{ccc} 0.7 & 6 & 4 \\ \swarrow & | & \searrow \\ 111 & 110 & 100 \end{array}$$

即 $(0.764)_8 = (0.1111101)_2$

将例5、例6的整数部分和小数部分合并，可得：

$$(563.764)_8 = (101110011.1111101)_2$$

2. 二进制数转换为八进制数的方法

二进制整数转换为八进制数可采用“三位合一位”的方法，即在二进制数转换为八进制数时，可以从最低位(小数点左边第一位)开始，每三位分为一组，不够三位的用0补足三位，然后把每三位二进制数用相应的八进制数表示就行了。

例7 $(11101110011)_2$ 可转换如下：

$$\begin{array}{cccc} 011, 101, 110, 011 \\ | & | & | & | \\ 3 & 5 & 6 & 3 \end{array}$$

即 $(11101110011)_2 = (3563)_8$

二进制小数转换为八进制数时，从小数点右面第一位开始，每三位为一组，最后不足三位的用0补足三位，然后把每一组二进制数用相应的八进制数表示即可。

例8 $(0.1011000111)_2$ 可转换为下：

$$\begin{array}{cccc} 0.101, 100, 011, 100 \\ | & | & | & | \\ 5 & 4 & 3 & 4 \end{array}$$

即 $(0.1011000111)_2 = (0.5434)_8$

将例7、例8的整数部分和小数部分合并，可得：

$$(11101110011.1011000111)_2 = (3563.5434)_8$$

可见，八进制数与二进制数之间的转换是十分方便的。在计算机中，数是以二进制表示的，但二进制数书写起来太长，易错，故通常用八进制(或十六进制)来书写。另外，从十进制数转换为八进制数计算过程短、方便(请读者想一想这是为什么)，所以，在从十进制数转换为二进制数时，常是先转换为八进制数，然后再转换为二进制数。

(三) 二进制数与十六进制数之间的转换

因为 $16 = 2^4$ ，所以，十六进制与二进制之间也存在着类似于八进制与二进制之间的简单而又直接的关系：用四位二进制数表示一位十六进制数。只要熟悉这个关系，十六进制数与

二进制数之间的转换也是十分方便的。

1. 十六进制数转换为二进制数的方法

可采用“一位拆四位”的方法，实现十六进制数转换为二进制数，即不论是十六进制的整数或小数，只要把每一位十六进制的数用相应的四位二进制数代替，就实现了转换。

例9 $(3AB)_{16}$ 可转换为

$$\begin{array}{ccc} & 3 & A & B \\ & \swarrow & | & \swarrow \\ 0011 & & 1010 & 1011 \end{array}$$

即 $(3AB)_{16} = (1110101011)_2$

例10 $(0.7A53)_{16}$ 可转换为

$$\begin{array}{cccc} & 0.7 & A & 5 & 3 \\ & \swarrow & \swarrow & \swarrow & \swarrow \\ 0111 & 1010 & & 0101 & 0011 \end{array}$$

即 $(0.7A53)_{16} = (0.0111101001010011)_2$

2. 二进制数转换为十六进制数的方法

采用“四位合一位”的方法实现二进制数到十六进制数的转换，即二进制的整数部分由小数点向左，每四位分为一组，不足四位的前面补0；小数部分由小数点向右，每四位分为一组，不足四位的后面补0。然后把每四位二进制数用相应的一位十六进制数代替，即转换成了十六进制数。

例11 $(1101111100011.100101111)_2$ 可转换为

$$\begin{array}{ccccccc} 0001, 1011, 1110, 0011, 1001, 0111, 1000 \\ | & | & | & | & | & | & | \\ 1 & B & E & 3 & 9 & 7 & 8 \end{array}$$

即 $(1101111100011.100101111)_2 = (1BE3.978)_{16}$

三、二进制数的定点和浮点表示法

我们知道，在十进制数中，同一个数可以有多种表示法，例如：

$$123.45 = 10^3 \times 0.12345 = 10^{-2} \times 12345$$

同样，在二进制数中，同一个数也可以表示成不同的形式，例如：

$$101.01 = 2^{11} \times 0.10101 = 2^{-10} \times 10101$$

对于任意一个二进制数 N ，总可以写成：

$$N = 2^j \times S$$

其中： S 称为数 N 的尾数，它表示了数 N 的全部有效数字； j 称为数 N 的阶码，是一个二进制整数；2为阶码的底。

当把二进制数表示成上述形式时，如果阶码 j 是固定不变的，则称数的这种表示法为定点表示法，称这样的数为定点数。如果阶码 j 可以取不同的值，则称数的这种表示法为浮点表示法，这样的数为浮点数。

(一) 数的定点表示法

定点表示法，数的小数点的位置是固定的。在机器中，小数点有两种定位方法，一种是把小数点固定在尾数的最高位之前（ $j = 0$ ），这时表示的数都是小数，称为定点小数；一种是把小数点固定在尾数的最低位之后（ $j = \text{尾数的位数 } n$ ），所表示的数都是整数，称为定点整数。