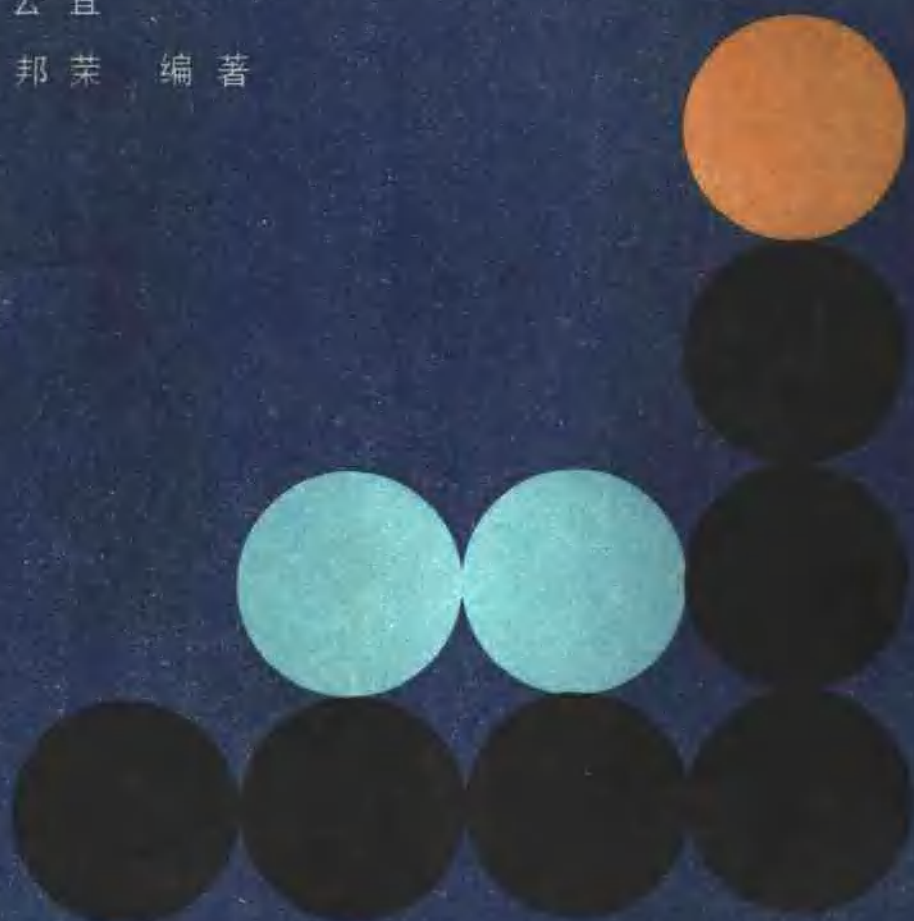


IBM-PC

微型机组成原理 及程序设计

王云宜

杨邦荣 编著



876
38-5

IBM-PC

微型机组成原理及程序设计

王云宣

杨邦荣 编著

中南工业大学出版社

内 容 简 介

本书以IBM-PC机为对象,采用硬件和软件并重的方法,较全面地叙述了微型机系统工作原理和应用程序设计技术。主要内容有微型机基本原理与组成,外围设备和接口,传感器和模拟数据的输入/输出,磁盘操作系统命令及使用,中文操作系统CC-DOS及汉字输入方法,8088宏汇编语言程序设计,汉字dBASEⅢ数据库管理系统等。

本书内容深入浅出,循序渐进,理论与实践相结合,各章均附有习题,适合用作高等学校理、工、管理等学科的本科生学习微型机的教材,对于中等技术学校计算机专业学生,各类计算机短训班以及需要学习微型机知识广大科技人员和管理干部,亦可用作课堂教材和自学用书。

IBM-PC微型机组成原理及程序设计

王云宜 杨邦荣 编著

责任编辑:吴秀清

*

中南工业大学出版社出版发行

湖南省地质测绘印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.375 字数: 366千字

1988年2月第1版 1988年2月第1次印刷

印数: 00001—11000

*

ISBN 7-81020-127-1/TP·005

定价: 2.40元

前 言

随着科学技术的进步,电子计算机正在飞速发展,其应用范围已从科学计算、实时控制扩展到非数值处理的各个领域。电子计算机技术已成为当代最重要的科学技术之一。一些工业发达国家已将电子计算机列为与能源、材料和太空技术等同的重点发展学科。

随着大规模、超大规模集成电路技术的发展而诞生的微型计算机正以其体积小、价格低、功能全面、适应性强、使用方便等特点,在数值计算、过程控制、情报检索、人工智能、计算机辅助设计、辅助制造、企业管理、办公室自动化、机器人以至家用电器等各方面已得到愈来愈广泛的应用,已成为工农业生产、国防、科研、管理中不可缺少的工具和手段。掌握计算机的基本工作原理、操作和软件开发应用,不仅是计算机专业工作者的任务,而且已成为各专业工程技术人员,生产管理人员的迫切要求。高等学校非计算机各专业都已陆续开设微型机原理及其应用的课程。为了适应微型机普及、发展的需要和使非计算机专业的人员更好地了解、掌握和应用微型计算机,我们参考了国内外有关资料并根据授课的经验编写了本书,作为非计算机专业学习微型机的通用教材。

为了加强理论与实践的结合,在全书中采用了目前使用较广的IBM-PC机为对象进行阐述。全书共七章。前三章着重介绍了微型计算机系统的基本组成,几种常用外部设备的基本结构以及在微型机过程控制中经常使用的传感器、A/D、D/A转换器的组成和工作原理,可使读者对微型计算机系统的概貌有较全面系统的了解,帮助读者合理地选择、使用微型计算机系统,充分发挥其应用效能。第四、五章叙述操作系统命令的使用和汉字的输入方法,着重于训练上机操作能力。第六、七章介绍了两种程序设计语言,适用于不同需要的读者。对系统程序设计和工业控制有兴趣的读者可以重点学习第六章汇编语言程序设计内容;对计算机管理有兴趣的读者可以学习第七章,学会使用汉字dBASEⅡ数据库管理系统编写应用程序。

为了适应不同层次人员的需要,本书采用深入浅出、循序渐进的方式进行编写,选材上注意了系统性、先进性和完整性。本书不仅可作为高等学校的教材,也适于各专业工程技术人员自学。

本书由王云宜主编。第一、二、三章由杨邦荣编写,第四、五、六、七章由王云宜编写。在编写过程中赵显富、刘炳南、刘昌麟等同志对文稿提出了许多宝贵意见,特此表示衷心的感谢。限于编者水平和时间仓促,书中存在的缺点和错误,诚恳希望广大读者给予批评指正。

编 者

1987年9月

目 录

第一章 微型机的基本原理与组成	(1)
§ 1.1 概 述.....	(1)
§ 1.2 微型机中的数制及运算.....	(6)
§ 1.3 微型机的基本结构与工作原理.....	(15)
§ 1.4 中央处理器——CPU.....	(17)
§ 1.5 半导体存储器.....	(25)
§ 1.6 输入/输出(I/O)接口.....	(30)
§ 1.7 微型机系统组成.....	(40)
§ 1.8 IBM-PC 微机系统单元.....	(42)
第二章 微型机的外围设备和接口	(52)
§ 2.1 键盘与接口.....	(52)
§ 2.2 显示器与接口.....	(55)
§ 2.3 外存储器与接口.....	(62)
§ 2.4 打印机与接口.....	(73)
第三章 传感器及模拟数据的输入/输出	(85)
§ 3.1 概 述.....	(85)
§ 3.2 传感器基础知识.....	(86)
§ 3.3 运算放大器.....	(93)
§ 3.4 数字/模拟转换器——DAC.....	(97)
§ 3.5 模拟/数字转换器——ADC.....	(103)
§ 3.6 采样和保持电路.....	(108)
§ 3.7 模拟多路转换器和多路信号分离器.....	(109)
第四章 微型机操作系统命令及使用	(111)
§ 4.1 操作系统概述及IBM-PC磁盘操作系统.....	(111)
§ 4.2 文件概念.....	(112)
§ 4.3 启动DOS和DOS 命令分类.....	(112)
§ 4.4 PC-DOS的常用内部命令.....	(114)
§ 4.5 文件的树型目录结构.....	(116)
§ 4.6 目录命令.....	(118)
§ 4.7 PC-DOS的常用外部命令.....	(119)
§ 4.8 行编辑程序 EDLIN.....	(121)
§ 4.9 CP/M操作系统简介.....	(125)
第五章 中文操作系统 CC-DOS	(128)
§ 5.1 CC-DOS的组成.....	(128)
§ 5.2 CC-DOS键盘输入、显示及打印方式.....	(129)
§ 5.3 紧缩拼音汉字输入法(Alt-F3).....	(131)

§ 5.4	区位码汉字输入法 (Alt-F1)	(132)
§ 5.5	首尾码汉字输入法 (Alt-F2) 和快速输入法 (Alt-F4)	(133)
§ 5.6	ASCII码输入 (Alt-F6)	(134)
§ 5.7	提高汉字输入速度的几种辅助操作——汉字重码输入法	(134)
§ 5.8	其他控制操作	(135)
第六章	8088宏汇编语言程序设计	(136)
§ 6.1	计算机软件概述	(136)
§ 6.2	8088微处理器中的寄存器和寻址方式	(139)
§ 6.3	8088指令系统及其汇编表示	(143)
§ 6.4	8088宏汇编	(154)
§ 6.5	宏指令语句	(164)
§ 6.6	输入、输出和中断程序设计	(166)
§ 6.7	程序设计举例	(169)
§ 6.8	汇编语言程序的编辑、汇编和连接	(172)
第七章	汉字dBASE III数据库管理系统	(174)
§ 7.1	数据库系统的基本概念	(174)
§ 7.2	汉字dBASE III的基本语法和规定	(175)
§ 7.3	dBASE III函数和文件	(181)
§ 7.4	数据库的基本操作	(185)
§ 7.5	dBASE III程序设计	(201)
§ 7.6	输入输出格式设计	(215)
附录及参考文献		(220)

第一章 微型机的基本原理与组成

§ 1.1 概 述

一、电子计算机

随着人类社会的进步,生产力和科学技术的发展,人们需要处理的数据信息越来越多,人类祖先和近世纪发明的计算工具,如算盘,计算尺,机械计算器等都不能满足生产和科学技术发展的需要。然而,人们为了寻求更快速度的计算工具,在1946年研制出了第一台电子计算机,尽管当时设计很不完善,但它能在一秒钟内完成五千次加法运算,使其它运算工具相形见绌,标志了计算机革命的开始。通过人们的不懈努力和科学技术的发展与促进,在这短短的四十多年里,计算机则从第一代发展到第四代;使它由原来的单一计算,发展到目前具有计算、管理、控制等多种功能,并渗透到各个领域之中。计算速度由原来每秒几千次发展到现在每秒数亿次。计算机发展如此迅速,计算又那么神速,与其它计算工具比较有如下特点:

1. 电子计算机是通过电子线路来实现数字运算的计算工具。它不象算盘,计算尺,计算器等,仅是用来帮助人们计算的辅助工具,电子计算机是具有“智能”的计算工具,通过人们的干预,它可以在很短的时间内完成大量的、繁杂的运算或逻辑分析的任务。如进行一些复杂的数学计算和定理证明,甚至可以完成人们难以完成的任务。

2. 电子计算机具有很高的运算速度。它可以在几秒钟内完成人们许多天才能完成的任务,甚至有些是人们难以想象的任务。如在大量复杂的科学技术问题中,过去由于计算工作量极大,而无法进行运算,或只能采取粗略的近似算法,而今用计算机则迎刃而解了。过去计算工作需用年,甚至十年为单位的计算问题,现在仅需几小时,几天就可完成。1867年法国一位天文学家达拉姆尼(Dalamny)为了用天体力学方法求解月球的运行轨迹,花了十年功夫去解一个振动级数展开式,又花了十年去验证,而后来人们用计算机进行计算,只花了二十多小时,还查出了他的三个错误。还有,如计算人造地球卫星的轨迹,和跟踪人造卫星,计算出它每时每刻的精确位置,这无论多少人,也是无法在一个极短的时间内完成的,采用电子计算机就可以完全做到,如此等等,这都是计算机的高速运算所带来的。

计算机的高速度不仅为科学计算提供了强有力的工具,加速了科学研究的进程,而且也促进了许多新的边缘科学的诞生和发展。如计算化学、计算光学、计算物理学的诞生等等。高速的运算还为人类赢得了时间,使许多工作可以走在时间的前面。例如,过去要精确计算天气预报数据是不可能的,往往等人工把结果计算出来时,天气预报已成了“马后炮”,现在利用电子计算机,仅需几分钟就可以计算出十天的天气预报数据。

3. 由于在电子计算机内采用二进制数进行运算,使得其计算精度可用增加表示数字的设备获得,再加上科学的计算技巧,使数值计算可根据需要获得千分之一到几百万分之一,甚至更高的精确度。

4. 计算机具有很强的“记忆”功能和逻辑判断功能。在计算机中,设有记忆功能的装置,通常称为存储器。存储器可记忆大量的数据,几千、几万以至亿。当计算机工作时,计算的数据,运算的中间结果及最终结果都可存入存储器中。更重要的是,可以帮人们为计

算机事先编好的计算步骤（即程序）也存储起来，这就是计算机能自动地进行工作的关键。

计算机的内部结构使计算机不仅能进行算术运算，还能进行逻辑运算。它可以处理文字、符号、进行大小、同异的比较和判断。在计算过程中，计算机能判断下一步该做什么；遇到分支，能选择走哪条路。这一功能不仅使自动计算成为可能，而且使计算机能进行诸如资料分类、情报检索、逻辑推理和定理证明等具有逻辑加工性质的工作，大大扩大了计算机的应用范围。

如果不借助先进的计算机技术，将无法应付当代“知识爆炸”的局面。据统计，每年国外公开发表的文献达560多万份，杂志几万种。要把数量庞大而且在不断增长的 知识 进行系统的加工，整理，使人们能方便准确地检索到所需要的信息，只有依靠具有信息存储能力并能进行逻辑思维的计算机才能得以实现。

5. 计算机具有自动连续地进行高速运算的功能。这是电子计算机的最突出的特点，也是它与其它计算工具的本质区别。

计算机之所以能实现自动连续地运算，是由于采用了“存储程序”的工作原理。这一原理是1946年由美籍匈牙利数学家冯·诺依曼（John Von Neumann）和他的同事们在一篇题为“初步探讨电子计算机装置的逻辑结构”论文中首先提出并论证的，为人们所熟悉的冯·诺依曼定理。这一原理确定了计算机的基本组成和工作方式。

“存储程序”原理使电子计算机具有通用性，只要在计算机的存储装置中存入不同的程序，计算机就可以完成不同的任务，这也就意味着计算机具有不同的功能。从这一点上说，电子计算机的功能可以无穷多，使得它的应用领域也就不断地开拓和延伸，渗透至各个领域之中。

二、微型计算机

微型计算机是在电子计算机的理论中发展起来的，可以说是电子计算机的冯·诺依曼定理与微电子技术（大规模集成电路）相结合的产物。由于采用了大规模集成电路，使得微型计算机具有体积小、功能强、价格低和使用方便、灵活性大等优点。在短短的十几年中发展十分迅猛，显示出强大的生命力，为计算机的推广和应用开辟了广阔的前景。

1. 微型机的诞生与发展。

世界上第一台微型机是1971年在美国的英特尔（Intel）公司诞生的，它采用了先进的集成技术把具有运算能力的逻辑电路中的许多元器件集成在一块芯片上，构成了微处理器——微计算机的核心部件。

由于微处理器采用了大规模、超大规模的集成技术，它的体积仅为其它类型计算机核心部件的千分之一或万分之一。这样就使得微型计算机具有体积小、功耗少、可靠性高、使用方便、价格低等许多明显的优点。这些特点使得微型计算机获得了广泛的应用和迅速的发展，它的发展又反过来大大促进了集成技术的飞速发展。因此，从1971年诞生到目前短短的十几年中，微型计算机技术的发展大体已经历了这五个阶段：

1971~1973年为第一阶段。它的典型代表为Intel公司的I4004和8008微处理器，字长为4~8位，芯片的集成度为2000晶体管/片，时钟频率为1MHz，指令周期为20 μ s。

1973~1975年为第二阶段。典型代表为Intel公司的8030，Motorola公司的M6800微处理器，字长8位，芯片集成度约为3000晶体管/片，时钟频率为2MHz，指令周期为2 μ s。

1975~1978年为第三阶段。它的典型代表有Intel公司的8085，Motorola公司的M6802，Zilog公司的Z80微处理器，字长8位，芯片集成度约10000晶体管/片，时钟频率为2.5~

5MHz, 指令周期1 μ s左右。在此同时, 十分引人注目的是在同一芯片上, 可同时包含有一定容量的存储器和部分接口电路的微处理器的诞生和发展。这种微处理器通常被人们称为“单片微型机”, 它们可以在不附加其它任何电路的情况下, 直接用于某些小型的专用控制或附加一些外围电路构成体积小的微型计算机, 或装入仪器仪表中使其智能化, 因而获得人们的广泛重视和应用。其典型产品有Intel8748和MCS-48系列, TMS-1000系列, PPS-4/1系列和Z8等。

1978~1981年为第四阶段超大规模集成电路(VLSI)的微型机发展阶段。其典型代表有Intel8086, Z8000和M68000等微处理器, 字长为16位, 芯片集成度约为3万晶体管/片, 时钟频率为5MHz以上, 指令周期小于0.5 μ s, 由这类微处理器组成的微型计算机已属高档机, 其功能已达到或接近中档小型计算机的水平。

1981年至现在, 已进入了第五阶段, 对微机提出的要求是力求微计算机的功能超过小型机, 逼近大、中型计算机的前期产品, 同时希望在运算速度和微处理器芯片的集成度有更高的突破。现典型产品有Intel公司的IAPX432系列, HP公司的HP32, Motorola公司的M68020等, 字长为32位, 芯片集成度已超过10万晶体管/片, 时钟频率为10MHz以上, 指令周期为100ns以下。

由于微型机的广泛应用, 促进了微计算机的迅速发展, 可以相信, 在八十年代末, 九十年代初, 不仅会出现以高档微处理器构成的更多更好的微型计算机, 而且在技术上也必定会逐步实现硬件和软件产品的标准化、系列化, 外部设备的多样化以及以微型机为主体的网络系统和多机系统。

2. 微型计算机的定义与分类

一个微型机系统是由微处理器(为核心), 各种接口电路、存储器、数字器部件等组成的微计算机和各种不同需要配置的外围设备、电源, 其它辅助电路、系统软件等构成。因此, 微处理器, 微计算机, 微计算机系统严格说, 它们之间是有区别的, 其关系见图1-1-1。

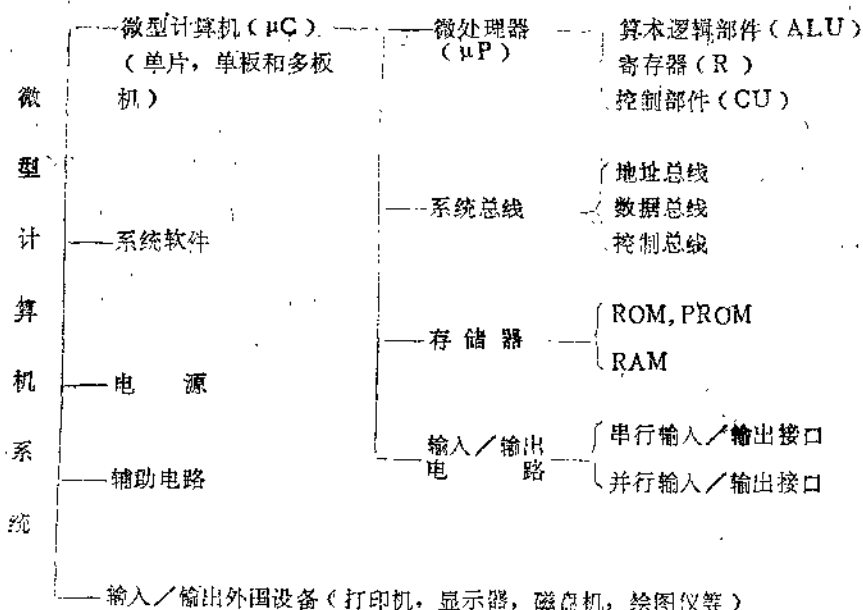


图1-1-1 微型计算机系统关系示意图

但是,有时人们又把微型计算机和微型计算机系统二者笼统简称为微型机。

微型计算机的种类很多,分类的方法也不一样。如有的按其大规模集成电路的制作工艺分类;有的是按是否采用微程序设计分类;但是,人们常习惯于用微处理器同时可处理数据的位数来分类,比如将根据它们的字长分为1位、4位、8位、12位、16位、32位、64位等。有时有的人又把这些计算机分为办公室和工业控制两大类,它们之间的不同点是,办公室用微型计算机注重于软件功能,有很丰富的软件,适应于文字、图形、表格等处理的需要;工业控制机则注重硬件的外部接口功能,适应于工业的多物理量的转换和输入与输出。

3. 微型计算机的发展

近年来,微型机的发展速度是很惊人的,特别是集成电路工艺的发展,如功耗小,抗干扰力强的CMOS等新工艺的出现和发展,将会进一步促进微型机朝着以下几个方面发展:

(1) 随着集成工艺的提高,将会从目前的单片CPU集成,逐步过渡到微计算机系统的集成。可以把微计算机中的中央处理器(CPU),存储器,接口电路和各种逻辑电路集成在几块片子中,甚至把操作系统,各种高级语言和一些标准的、常用的软件包进行固化,使得微型计算机体积更小,重量更轻,真正成为便携式的。而且它的工作性能高,操作简单,适应性强,使用户更为方便。

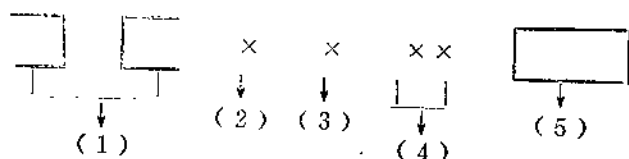
(2) 由于集成度,工作性能的提高,体积的缩小,必将会使得微型计算机的功能更强,速度更快,信息存储容量更大。随着32位、64位微型计算机的出现,计算机网络,通讯的不断发展,将会出现微型计算机逐步取代和逼近小型、中型、大型计算机,用于更为复杂的科学计算、工业控制等,这是微型机向上发展的趋势。另一方面则是向下发展的趋势,使微型机更小型化,功能单一化,用于某一仪表、仪器、家用电器以及各种工具,使它们智能化,遍及工业、农业、国防和人们生活中各个领域。它的发展对具有人工智能的各种机器人将是必不可少的。

(3) 由于微型计算机的功能不断加强,使得电路更为复杂,软件更为丰富,特别是在今后强功能的微型计算机系统网络,通讯网络化的情况下,对于维护和使用都会带来许多困难,因此,为了提高微型计算机的使用率和可靠性,则必须要使微型机具有自诊断、自处理的能力,使微计算机朝着人工智能化方向发展。

近年来,我国的微型计算机的发展,普及也是非常快的,各行各业都正在引进、研究、应用微型机,它将使我国的管理水平,生产水平得到不断的提高。特别是具有很强功能的汉字信息处理系统的发展,完善和推广,将会有力的推动我国计算机的普及应用。

(4) 微型机的命名规定

目前,我国不仅研制出各种具有世界先进水平的软件系统,而且微型计算机的制造业也在迅速发展,逐步将形成和完善我国计算机制造工业体系。为了适应形势的发展和统一管理,电子工业部计算机管理局,决定对国家优选系列和归口管理的计算机产品采用新的命名规定。新规定用四位数字代替原来的三位数字命名。其形式为:



其中(1), (2), (3), (4), (5)部分对应的具体含意是:

(1) 为企业代号或商标(如HN代表华南计算机公司,长城代表商标等)。

(2) 用数字表示的系列号:

- 0——表示微型机系列;
- 1——代表原100系列及其兼容系列机, 如NOVA及“日蚀”等机;
- 2——代表原180系列及其兼容系列机, 如PDP或VAX系列机;
- 3——代表Solar系列机;
- 4~7——暂空;
- 8——代表与IBM370, 4300系列相兼容的系列机等。

(3) 系列分类号, 以微型机系列分类说明:

- 1——表示一位机;
- 2——表示四位机;
- 3——表示CPU芯片为6502类;
- 4——表示CPU芯片为Z80/Z8000类;
- 5——表示CPU芯片为8080/8085/8088/8086类;
- 6——表示CPU芯片为6800/68000以及6809类。

(4) 代表系统类型:

- 0——表示单板机;
- 1——表示八位机;
- 2——表示准十六位机;
- 3——表示十六位机。

(5) 代表总线型式:

- 0——表示非总线结构;
- 1——表示100总线结构;
- 3——表示EXORCISER总线;
- 4——表示其它总线结构。

以上这些新规定不适用于模拟机, 非国家优选系列机, 台式机以及袖珍计算器, 这一规定于1983年8月开始执行。

以下为有关一些微型机新旧型号对照:

微型机新系列号	对应型号
(1) 0300系列计算机	
0310型计算机	APPLE-II
(2) 0400系列计算机	
0410型计算机	BCM-2
0410型计算机	BCM-3
0410型计算机	NJS-1
0410型计算机	北极星
0451型计算机	CROMEMCO
0451型计算机	YEE8100
(3) 0500系列计算机	
0510型计算机	DJS-051
0520型计算机	长城-100

微型机新系列号	对应型号
0551A 型计算机	DJS-052
0551B型计算机	DJS-054
0552型计算机	DLS-053
0572 A型计算机	86/330
0572 B型计算机	86/380
(4) 0600系列计算机	
0653型计算机	DJS-052
0661型计算机	S/09

§ 1.2 微型机中的数制及运算

数在人们的生活中是会经常遇到的，除了常用的十进制数外，还有八进制，十二进制，十六进制，六十进制等。但是，这些进制下的数都不能直接应用于计算机中，因为它们实现起来比较复杂。在计算机中，则采用二进制数。这是由于实现它比较容易，采用电路中的“断”、“闭”这两种物理状态就可以表示二进制的“0”或“1”状态。同时，二进制数不但运算简单、方便，而且容易与其它进制下的数进行相互转换。

一、数的位置表示法及各种进位制数

用一组数字（或字符）表示数时，如果每个数字表示的量不但决定于数字本身，而且还决定于它所在的位置，这就称为位置表示法。在位置表示法中，对每一个数位赋以一定的位值，则称为权。每个数位上的数字所表示的量是这个数字和权的乘积。相邻两位中高位的权与低位的权之比如果是常数，则此常数称为基数，若用 X 表示，则数 $a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_0, \dots, a_{-(m-1)}, a_{-m}$ 所表示的量为 N 为：

$$N = a_{n-1}X^{n-1} + a_{n-2}X^{n-2} + \dots + a_0X^0 + a_{-1}X^{-1} + \dots + a_{-(m-1)}X^{-(m-1)} + a_{-m}X^{-m}$$

式中从 a_0X^0 起向左是数的整数部分，向右是数的小数部分。 a 表示各数位上的数字，称为系数，它可以在 $0, 1, \dots, X-1$ 共 X 种数中任意取值。 m 和 n 为幂指数，均为正整数。正由于相邻高位的权与低位的权相比是个常数，因而在这种位置记数法中，基数（或称底数） X 的取值不同便得到不同进位制数的表达式。

1. 当 $X=10$ 时，得十进制数的表达式为：

$$(N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 10^i$$

其特点是：系数 a_i 只能在 $0 \sim 9$ 这十个数字中取值；每个数位上的权是10的某次幂；在加、减运算中，采用“逢十进一”和“借一当十”的规则。

例如 $(1257.86)_{10} = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$

2. 当 $X=2$ 时，得二进制数的表达式为：

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 2^i$$

其特点是：系数 a_i 只能在0和1这两个数字中取值；每个数位上的权是2的某次幂；在加、减法运算中，采用“逢二进一”和“借一当二”的规则。

$$\text{例如：}(11011.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

二进制数中，各数位上的系数只有0和1两种取值，用电路实现时最为方便，因而它是电子计算机内部采用的计数值，它除了物理实现方便外，而且运算也非常简单。

3. 当 $X=8$ 时，得八进制的表达式为：

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 8^i$$

它的特点是：系数 a_i 只能在0~7这8个数字中取值；每个数位上的权是8的某次幂；在加、减法运算中，采用“逢八进一”和“借一当八”的规则。

$$\text{例如：}(143.65)_8 = 1 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1} + 5 \times 8^{-2}$$

4. 当 $X=16$ 时，得十六进制数的表达式为：

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 16^i$$

它的特点是：系数 a_i 只能在0~15这16个数字中的值，其中0~9这十个数字借用十进制中的数码，10~15这六个数一般用字符A, B, C, D, E, F表示；每个数位上的权是16的某次幂；在加、减法运算中，采用“逢十六进一”和“借一当十六”的规则。

$$\text{例如：}(32CF.4B)_{16} = 3 \times 16^3 + 2 \times 16^2 + C \times 16^1 + F \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + B \times 16^{-2}$$

八进制计数制和十六进制计数制常常在人们书写计算机的程序时被采用。

为了便于对照，在表1.2.1中列出了四种不同进位制中数的表示方法，其中B是Binary的缩写，用来表示二进制数；Q用来表示八进制数（Octal的缩写应为字母“O”，为了区别数字“0”，则写为“Q”）；H是英语单词Hexadecimal的缩写，表示该数是十六进制数；在十进制数的后面一般都不加写任何字符。

二、进位制数之间的转换

1. 任意进位制数与十进制数之间的转换

(a) 任意进位制数转换成十进制数

最简单的方法是根据任意进位制数的表达式按权展开后相加即可。例如：

$$1011.110B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} = 11.75$$

表1.2.1 十进制 二进制 八进制
十六进制转换对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000B	0Q	0H
1	0001B	1Q	1H
2	0010B	2Q	2H
3	0011B	3Q	3H
4	0100B	4Q	4H
5	0101B	5Q	5H
6	0110B	6Q	6H
7	0111B	7Q	7H
8	1000B	10Q	8H
9	1001B	11Q	9H
10	1010B	12Q	AH
11	1011B	13Q	BH
12	1100B	14Q	CH
13	1101B	15Q	DH
14	1110B	16Q	EH
15	1111B	17Q	FH
16	10000B	20Q	10H

$$732.14Q = 7 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} = 474.1875$$

$$3ABF.E6H = 3 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 14 \times 16^{-1} + 6 \times 16^{-2} \\ = 15039.8984375$$

从上可见，只要掌握了转换的方法，将任意制数转换成十进制数是很容易的。

(b) 十进制整数转换成任意进制数

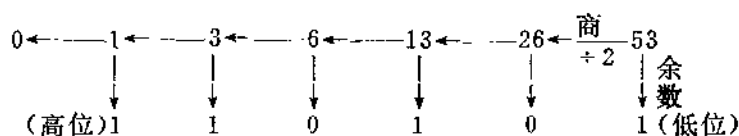
若把一个十进制数转换成一个任意进制数，它的转换方法比任意制数转换成十进制数要繁一些。假如我们现在把一个十进制整数换成一个二进制数，方法则是用二进制数的基数2不断地去除被转换的十进制数，每次相除所得余数，便是对应的二进制数的数位，第一次所除的余数为二进制整数的最低有效位 K_0 ，依次相除所得余数 $K_1, K_2, \dots$ 最后一次相除余数为二进制整数的最高有效位 K_n ，转换后的二进制整数应为 $n+1$ 位。

例：把十进制数(53)转换成二进制数

解：	十进制数	基数	商	余数	二进制数位
	53	$\div 2$	26 ...	1	$= K_0$ (最低位)
	26	$\div 2$	13 ...	0	$= K_1$
	13	$\div 2$	6 ...	1	$= K_2$
	6	$\div 2$	3 ...	0	$= K_3$
	3	$\div 2$	1 ...	1	$= K_4$
	1	$\div 2$	0 ...	1	$= K_5$ (最高位)

结果为：53 = 110101B

为了清楚和便于记忆，上述转换过程可用线图表示为：



如果要把一个十进制整数转换成其它进制的整数，同样也可用此方法，只是把二进制数的基数2换成其它进制数的基数（如八进制数的基数8或十六进制数的基数16等）辗转相除即可，在此不予详述。

(C) 十进制小数转换成任意制小数

把一个十进制小数转换成一个任意进制的小数，只要将十进制的小数不断的用所要转换的进制数的基数相乘，每次相乘后，所得乘积部分的整数部分则为相应进制数的小数位 K_i ，如果相乘后整数部分仍为0，则 K_i 取0。第一次相乘所取的乘积整数部分为小数的最高位，其次得次高位，最后一次为最低位。由于十进制小数并非都能用有限的任意制小数所表示，因此相乘次数可根据精度要求取数位，达到所取近似值的要求即可。假如我们把一个十进制的小数转换成一个二进制的小数，只要不断地用二进制数的基数2相乘，每次相乘后取其整数部分，如果整数部分为1，则相应的二进制小数的数位 K_{-i} 为1，若是0，则 K_{-i} 为0，我们可以把这一方法称为乘2取整法。

例：求0.623的二进制小数表示

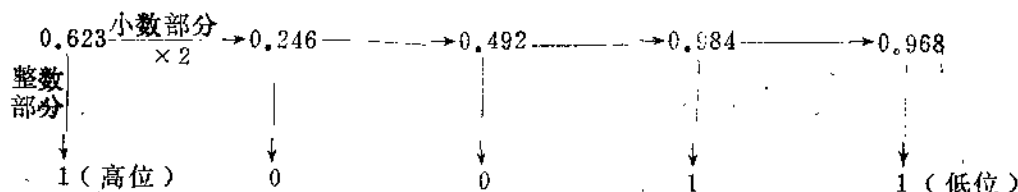
解：按乘2取整法进行

被乘数	乘数	乘积	整数位
0.623	$\times 2$	1.246 ...	$1 = K_{-1}$ (小数点后最高位)

被乘数	乘数	乘积	整数位
0.246	$\times 2$	$= 0.492$	$0 = K_{-2}$
0.492	$\times 2$	$= 0.984$	$0 = K_{-3}$
0.984	$\times 2$	$= 1.968$	$1 = K_{-4}$
0.968	$\times 2$	$= 1.936$	$1 = K_{-5}$

若取其精度为四位, 则 $0.623 \approx 0.1001B$

这一过程可用下列线图表示为:



同理, 可以把十进制数 0.623 乘其它进制的基数, 便可得其它进制的小数, 例如, 乘八进制的基数 8 , 或十六进制的基数 16 , 便可得八进制或十六进制的小数。对于十进制整数, 小数均有的数, 转换时只需将整数, 小数分别转换, 然后用小数点连接起来就行了。

此外, 还必须注意, 一个二进制小数能够完全准确地转换成十进制小数, 但是一个十进制小数则不一定能够完全准确地转换成一个二进制小数。例如, $0.1 = 0.000110011001100 \dots B$, 这就是说, 十进制小数 0.1 转换成二进制小数后成了一个无限循环的小数, 不能准确地表示出来。因此, 有时不能用有限位的二进制小数去表示一个有限位的十进制小数, 这是二进制数制的一个缺点。

2. 八进制与二进制数之间的转换

由于 $2^3 = 8$, 所以一位八进制数相当于三位二进制数, 它们是完全对应的。因此, 八进制与二进制之间的转换十分简单。

例: $(567)_Q$, 分别把 $5, 6, 7$ 用三位二进制数表示为:

$$\begin{array}{ccc} \underbrace{5}_{101} & \underbrace{6}_{110} & \underbrace{7}_{111} \end{array}$$

即: $567Q = 101110111B$

例: $(0.574)_Q$, 用三位二进制数表示为:

$$0.\underbrace{5}_{101} \underbrace{7}_{111} \underbrace{4}_{100}$$

即: $0.574Q = 0.101111100B = 0.1011111B$

假若将一个二进制整数转换成八进制整数, 则只要从最低位 (小数点左第一位) 开始, 每三位分为一组, 不够三位的用 0 补足三位, 然后把每组二进制数分别用相应的八进制数表示即可。

例: $(11101110101)_2$ 可转换为:

$$\underbrace{011}_3, \underbrace{101}_5, \underbrace{110}_6, \underbrace{101}_5$$

即: $11101110101B = 3565Q$

若将二进制小数转换成八进制数时, 则从小数点右面第一位开始, 每三位分一组, 最后

不足三位的用0补足三位，然后把一组二进制数用相应的八进制数表示即可。

例：(0.11011001011)₂可转换为：

$$\begin{array}{cccc} \underbrace{110}_6 & \underbrace{110}_6 & \underbrace{010}_2 & \underbrace{110}_6 \end{array}$$

即：0.11011001011₂ = 0.5526₈

可见，八进制与二进制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，通常用八进制（或十六进制）来书写。另外，从十进制转换为八进制计算过程短，方便。所以从十进制转换为二进制数时，常是先转换为八进制，然后再转换为二进制。

3. 十六进制数与二进制数之间的转换

由于 $16 = 2^4$ ，故一位十六进制数相当于四位二进制数，它的转换方法与八进制数的转换方法类似。

二进制的整数部分由小数点向左，每四位一组，最后不足四位的前面补0；小数部分由小数点向右，每四位一组，最后不足四位的后面补0。然后把每四位二进制数用相应的十六进制数代替即可。

例：(1101111100011.1101101111)₂可转换为：

$$\begin{array}{ccccccc} \underbrace{0001}_1 & \underbrace{1011}_B & \underbrace{1110}_E & \underbrace{0011}_3 & . & \underbrace{1101}_D & \underbrace{1011}_B & \underbrace{1100}_C \end{array}$$

即：1101111100011.1101101111₂ = 1BE3.DBCH

在计算机中，数是以二进制形式表示和运算的，但二进制数书写起来太长，易错，通常用八进制或十六进制数来书写。特别是在微计算机中，目前通用的字长为8位，它正好可用两位十六进制数表示，故十六进制计数在微型机中应用十分普遍。

三、二进制数的运算方法

二进制计数制除物理实现简便外，运算方法也较十进制数大为简单。在一种数字系统中，可进行两种基本的算术运算：加法和减法，利用加法和减法，就可以进行乘法，除法以及其它数值的运算。

1. 二进制加法

二进制的加法规则为：

$$\begin{aligned} 0+0 &= 0 \\ 0+1 &= 1+0 = 1 \\ 1+1 &= 0 \quad \text{进位1} \\ 1+1+1 &= 1 \quad \text{进位1} \end{aligned}$$

若有两数1101和1011相加，其运算过程为：

$$\begin{array}{r} \text{被加数} \quad 1101 \\ \text{加数} \quad 1011 \\ \text{进位} \quad + \quad 111 \\ \hline \text{和} \quad 11000 \end{array}$$

由此可见，两个二进制数相加时，每一位有三个数（本位被加数，加数和低位来的进位）相加，按二进制数的加法规则得到本位的和及向高位的进位。

2. 二进制减法

二进制的减法运算规则

$$0 - 0 = 0$$

$$1 - 1 = 0$$

$$1 - 0 = 1$$

$$0 - 1 = 1 \text{ 有借位}$$

例：11000011B - 00101101B，运算过程为：

被减数	11000011
减数	00101101
借位	-) 1111
差	10010110

与加法相类似，每一位有三个数（本位被减数，减数和从低位来的借位）参加运算，可按一位二进制数的减法运算规则得到本位的差及向高位的借位。

3. 二进制乘法

二进制的乘法规则：

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

从规则可见，只有当两个1相乘时，积才为1，否则为0。

两个二进制相乘与两个十进制数相乘类似，如1110B和1101相乘为：

被乘数	1110
乘数	× 1101

	1110
中间结果	0000
中间结果	1110
中间结果	+) 1110

积	10110110

每一次的中间结果取决于乘数，若乘数的某一位为1，中间结果便为被乘数；若某一位为0，其中间结果为0。此外，乘数有几位，就有几个中间结果相加，因此，当乘数超过2时，计算机实现起来便有困难。在实际中，计算机对两个二进制数相乘时，常常是采用边乘边移位边相加的办法，如上例可重作如下：

被乘数	1110
乘数	1101

初始部分积	0000
乘数最低位为1，加被乘数	+) 1110

部分积	1110
部分积右移一位	0111 0