

一位微型机与应用

江西省机械科学研究所自动化室编

一位微型机与应用

江西省机械科研所自动化室编

*

江西机械编辑部出版

南昌市安源路797号

江西印刷公司印刷

定价：2.90元

前 言

微处理机于七十年代初一问世，就受到各方面的重视，发展非常迅速，应用也越来越广泛。在多位机之后出现的一位微型计算机，由于它具有指令简单、操作方便、工作可靠、成本低廉等优点，特别适合工业控制中具有开关量逻辑运算、判断、计时、计数、程序转移、简单的算术运算和数值比较等功能的场合。因此，可广泛用于机械、电子、化工、轻纺、煤炭、文教、卫生、冶金、电力、建材、广播、交通等行业。同时也是计算机入门的好向导，是普及微型机基础知识的有力工具。

本书一般地介绍了微型机的发展及其结构。主要从一位微型机出发，力求以最基本的电路和最简单的指令系统来讲述微型机的工作原理，程序设计及其应用。

本书可供从事微型机生产和应用工作的有关技术人员、工人和大专院校的师生参考。

本书由万加之、严峻、王晓晖、陈湘、胡文彬等同志合编。

由于编写时间仓促，加之经验不足，文中不妥之处，望请批评指正。

编 者

一九八五年二月

目 录

第一章 电子计算机的发展概况

§1.1 电子计算机的发展	(1)
§1.2 微型计算机的发展	(2)
§1.3 微型计算机的应用	(3)

第二章 基础知识

§2.1 计算机中的数制	(5)
一、十进位计数制	(5)
二、二进位计数制	(5)
三、八进位计数制	(7)
四、十六进位计数制	(8)
§2.2 数制间的转换	(8)
一、十进制与二进制数的转换	(8)
二、二进制与八进制、十六进制数的转换	(11)
三、二进制数的四则运算	(12)
四、二进制数的符号	(13)
五、二进制编码的十进制数	(15)
§2.3 逻辑代数	(19)
一、逻辑代数的基本运算	(19)
二、逻辑代数的基本规律	(21)
三、逻辑代数式的简化	(25)
§2.4 MOS 单元器件	(27)
一、场效应晶体管的工作原理	(27)
二、绝缘栅场效应晶体管	(28)
三、CMOS 集成电路	(29)
§2.5 逻辑电路	(32)
一、与门	(32)
二、或门	(33)
三、非门	(34)
四、复合电路	(34)
五、加法器和减法器	(37)
六、触发器	(41)
七、寄存器	(46)
八、计数器	(49)
九、译码器与顺序脉冲分配器	(54)
§2.6 存贮器	(56)

一、半导体存储器结构·····	(56)
二、存储器工作原理·····	(59)
第三章 微型计算机及微处理器	
§3.1 电子计算机的基本组成·····	(64)
§3.2 微型计算机的主要部件及其特点·····	(66)
一、微处理器·····	(66)
二、存储器·····	(68)
三、输入/输出接口 ·····	(70)
四、微型计算机的优点·····	(72)
§3.3 微型计算机的程序、寻址及中断·····	(73)
一、指令和程序·····	(73)
二、简单程序举例·····	(73)
三、寻址方式·····	(74)
四、中断·····	(77)
§3.4 微处理器结构·····	(80)
一、微型计算机的工作过程·····	(80)
二、微处理器的结构·····	(81)
三、Z—80 微处理器·····	(88)
第四章 一位微型机的主要器件	
§4.1 一位微型机的数据流·····	(90)
§4.2 一位微处理器·····	(91)
一、功能和指令系统·····	(91)
二、逻辑框图和逻辑分析·····	(91)
§4.3 指令计数器·····	(105)
一、功能和波形图·····	(105)
二、逻辑图和逻辑分析·····	(105)
§4.4 八通道输入数据选择器·····	(108)
一、功能及逻辑图·····	(108)
二、逻辑分析·····	(109)
§4.5 八位可寻址输出数据锁存器·····	(110)
一、功能及逻辑图·····	(110)
二、逻辑分析·····	(111)
§4.6 程序存储器·····	(113)
第五章 一位微型机	
§5.1 一位微型机的组成和工作原理·····	(117)
一、示范系统的结构及电路·····	(117)
二、系统操作方法·····	(119)
三、接口电路·····	(120)

§5.2 一位微型机的指令系统及其时序	(122)
§5.3 一位微型机的扩充功能设计	(129)
一、输入、输出通道的扩充	(130)
二、定时、计数	(131)
三、暂存器	(134)
四、程序转移	(135)
五、子程序调用	(136)
六、ICU指令功能扩充	(140)
第六章 一位微型机的程序设计	
§6.1 机器语言编程	(141)
§6.2 程序的输入	(142)
一、开关编程	(142)
二、按键编程	(142)
§6.3 基础程序设计	(143)
一、逻辑运算程序	(143)
二、IEN指令的使用	(150)
三、模拟程序	(151)
§6.4 结构式程序	(160)
一、程序流程图	(161)
二、OEN指令的使用	(162)
三、基本结构式程序	(163)
§6.5 延时程序	(168)
一、模拟式定时控制	(168)
二、计数式定时控制	(169)
§6.6 分支程序	(171)
§6.7 循环程序	(174)
§6.8 子程序	(177)
第七章 一位微型机的应用系统	
§7.1 概述	(182)
一、工业控制系统的发展	(182)
二、一位微型机的特点	(183)
§7.2 一位微型机应用系统	(184)
一、一位微型机应用系统的建立	(184)
二、一位微型机应用系统的实现途径	(186)
三、一位微型机应用系统设计的特点	(187)
四、一位微型机应用系统的简易开发	(188)
§7.3 工业控制中的抗干扰问题	(189)
一、干扰的种类	(189)

二、干扰进入的途径·····	(191)
三、抗干扰措施·····	(192)
第八章 一位微型机应用实例	
§8.1 最简单的一位微型机应用于半自动液压仿型车床·····	(195)
一、设计要求·····	(195)
二、硬件设计·····	(195)
三、应用程序的设计·····	(197)
§8.2 单板一位微型机用于循环定时系统·····	(199)
一、设计要求·····	(199)
二、系统硬件组成·····	(199)
三、I/O 地址分配·····	(200)
四、应用程序的编制·····	(200)
§8.3 一位微型机在摩擦焊机上的应用·····	(202)
一、MCH 摩擦焊机对控制系统的要求·····	(202)
二、系统设计和硬件配置·····	(202)
三、程序设计·····	(204)
四、一位微型机与步进式逻辑控制器比较·····	(207)
§8.4 一位微型机在 A/D 转换技术中的应用·····	(207)
一、系统构成·····	(208)
二、工作原理·····	(208)
三、程序设计·····	(209)
§8.5 一位微型机在巡回检测中的应用·····	(211)
一、技术要求·····	(212)
二、硬件设计·····	(212)
三、软件设计·····	(213)
§8.6 一位微型机在自动注药控制血压上的应用·····	(217)
一、实验系统构成·····	(217)
二、控制方式·····	(218)
三、程序设计·····	(218)
§8.7 一位微型机在生产自动线上的应用·····	(221)
一、设计要求·····	(221)
二、选用KWM16/14500 功能板组成控制系统·····	(222)
三、程序设计·····	(223)
§8.8 一位微型机多级分布控制系统·····	(228)
一、选煤监控系统及其特点·····	(228)
二、微型机的配置·····	(229)
三、软件设计思想·····	(229)
四、实验系统·····	(230)

第一章 电子计算机的发展概况

近十几年来,电子计算机技术已取得惊人的迅速发展,使得计算机渗透到国防、工业、农业、企业管理、日常生活的各个领域,其作用和成就正日益卓著,成了工业发展水平的标志之一,是发展新技术,改造老技术的强有力的武器。计算机的生产、推广和应用已成为我国四个现代化的战略产业。

微型电子计算机是现代科学技术的一个突出的成就,它的出现标志着电子计算机的发展进入第四代。从此电子计算机将从昂贵的、难以推广的“珍品”变成一种价廉、轻巧、易推广应用的大众化产品了。这将无疑会给社会各个领域带来巨大的影响,引起正在兴起的第四次产业革命,从而将使人类从工业社会进入信息社会。

微型机的产生与计算机技术和半导体技术的发展密切相关。小型计算机在七十年代已发展成熟,这就在系统逻辑结构、软件、外部设备和应用技术上,为微型机的发展打下坚实的技术基础。另一方面,半导体技术已发展到大规模集成电路,在一块6平方毫米的硅片上,集成十几万只有源和无源器件,这就有可能把一台复杂的电子计算机做在几块硅片上或一块硅片上(单片机)。微型机是一种“麻雀虽小,肝胆齐全”新型的,有强大生命力的电子计算机。为了加深对微型机的认识,对电子计算机的发展作一简单的回顾,是很有必要的。

§1.1 电子计算机的发展

很久以来,人们在生产实践中创造了各种计算工具。早在1274年我国南宋时期就有了算盘。以后又出现了计算尺、手摇计算机、电动计算机等计算工具。随着工业和科学技术的发展,常常需要进行大量复杂的计算工作,使用上述简单的计算工具,仍然要人们付出巨大的重复性劳动,有时甚至还不能完成预期的任务。例如,为了准确预报24小时内的天气情况,需要经过大量精密的计算,用人工方法要两星期左右才能算好,显然对预报来说已经失去意义。因此,迫切需要操作速度快,计算准确的计算工具。

到了二十世纪四十年代。一方面由于导弹、火箭、原子能等近代科学技术的发展,需要及时解决一些极其复杂的数学问题;另一方面由于电子技术和自动控制技术的发展,终于在1946年成功地制造出世界上第一台电子计算机—FNIAC。虽然这台电子计算机用了18000多个电子管,耗电约100瓩,重30吨,仅机房面积就有170平方米,但它仍然是一台划时代的自动计算工具,使计算的速度有了惊人的提高,它能进行每秒5000次10位十进制数的加减法运算。计算的精度也大大地提高。三十多年来电子计算机获得了非常迅速的发展,它大体上经历了四个发展时期,如果主要从硬件的特征来考查的话,这四个时期的界限是很明显的。

第一个发展时期是1946年到1959年的开发时期,所用的器件是电子管,尽管这种计算机体积大、可靠性差、速度低(每秒1万次左右)、内存容量不大(一般为1024~2048字之间)、维修复杂、十分耗电,但它却为电子计算机的发展打下了很好的技术基础。

第二个发展时期是1959年到1965年的关键时期,所用的器件是晶体管,这样,晶体管计

算机比电子管计算机的速度提高了近 100 倍，而且它的功耗和体积反而下降了十几倍，可靠性和内存容量也提高了一个数量级以上，因而晶体管计算机取代了电子管计算机。

第三个发展时期是1965年到1969年的新发展时期，中小规模集成电路成了计算机的主要器件，但晶体管仍被大量采用，计算机的运算速度、可靠性和磁芯存贮器容量都有了很大的提高。计算机在系列化、积木化等方面也有了很大的发展。

第四个发展时期是1969年到现在的大发展时期。巨型机、大规模集成电路和微型计算机成了引人注目的新生事物，计算机的运算速度、可靠性又有了很大的提高。半导体存贮器将取代一直占统治地位的磁芯存贮器。当前，巨型机和微型机成了电子计算机中两个重要的发展方面，它们标志了一个国家电子计算机的发展水平。在这时期中，由于计算机网络把巨型机，以及大型、中型、小型、微型计算机联成一个整体，网中的各种类型的计算机互相配合、取长补短，各显神通，共享资源，充分发挥各种计算机的巨大潜力。与此同时把计算机科学提高到一个新的水平，使计算机的运用，既深入、又广泛，已渗透到人类社会生活的各个领域。

目前，人们预测，八十年代，将是信息处理时代，作为信息处理的中心——电子计算机，必将飞跃发展，从而使电子计算机进入第五个发展时期，即计算机的全盛时期。这种第五代计算机完全打破冯·诺依曼式计算机传统体系结构和过程型语言的框框，以崭新的理论和技术为基础。它是一种接近人脑功能的，既可以自动学习、联想、推理和解题，又“能听”、“会说”、“会看”的智能计算机。智能化、知识化是第五代计算机的主要标志。现在各先进工业国都在大力开发第五代计算机，为此投入了巨大的财力，以争夺优势。美日两国用于发展第五代计算机的预算在今后五年内为五亿到十亿美元。

§1.2 微型计算机的发展

随着大规模集成电路和计算机技术的发展，1971 年出现了第一台微型计算机——Intel 公司的 MCS—4。虽然这是一台以 Intel14004 为微处理器的极其简单的 4 位微型计算机，但它确是一台微型的内程序控制的电子计算机，从此，开始了微型计算机的发展历程。紧接着第二年，该公司又制出 8008 微处理器，并用它装成 MCS—8 微型计算机。这一发展时期的产品称为第一代微型计算机。它的基本特征是采用 PMOS 工艺大规模集成电路和 4~8 位并行处理的微处理器，插脚一般为 16~24 腿，基本指令执行时间在 4~10 微秒以上。

1973 年，Intel 公司又推出 8080 微处理器的微型机系列，这就开始了微型机飞跃发展的新时期，开始进入第二代。图 1.2.1 是美国 1973 年以来，微型机的产量与市场情况的变化。

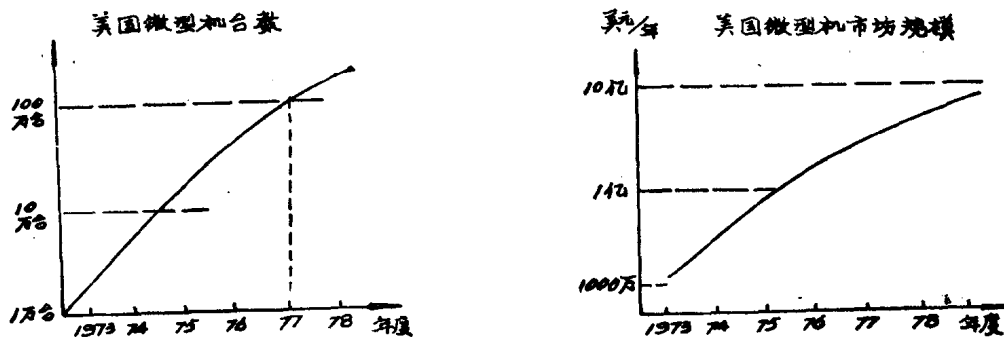


图1.2.1 美国微型机产量与市场情况

由此可知, 微型机的发展速度是很惊人的。第二代微型机的基本特征是采用 NMOS 或其它工艺制造的大规模集成电路, 插脚一般为 40~42 腿, 基本指令执行时间为 2 微秒左右, 具有寻址、多级中断等功能。

随着大规模集成电路技术的进一步发展, 在 1975~1976 年出现了集成度更高和性能更强的 Z-80, M6800 和 8085 等微处理器, 以及一系列单片微型计算机, 这就是第三代微型计算机。它的基本特征是采用 NMOS 工艺大规模集成电路和单一 5 伏电源供电, 插脚一般为 40 腿, 基本指令执行时间为 1~3 微秒。

1977 年左右, 超大规模集成电路工艺已经成功。此时, 一片硅片上可以集成 1 万个以上的晶体管, 16K 位和 64K 位存储器已生产出来。所以, 从 1978 年便开始生产了可与过去中档小型计算机相比拟的 16 位微处理器。如 Intel 公司的 8086, Zilog 公司的 Z-8000 和 Motorola 公司的 M68000。这些微型计算机被称为第一代超大规模集成电路微型计算机, 或称第四代微型机。1981 年揭开了 32 位微处理器的序幕, 在这一年, Intel 公司, HP 公司以及贝尔实验室等都宣布制成 32 位微处理器, 它们有相当高的处理能力, 可以构成与七十年代的大中型通用机处理能力相比的微型机系统。这是超大规模集成电路技术发展的必然结果。目前, 国外集成电路微细加工技术的线条宽度达到 1 微米, 集成度达 60 万元件/单片, 集成密度 7000~10000 万元件/毫米²。与五十年代初期相比, 现在计算机的性能价格比几乎提高了 10⁶ 倍。所以不少国家微型机年产量以 30% 左右的速度递增。这种发展速度在技术史和工业史上都是空前的。电子计算机正在进入一个指数发展的时代, 与之相应的经济和社会也必将引起巨大的变革。

§1.3 微型计算机的应用

由于微型计算机的迅速发展, 它正渗透到国民经济各部门, 并深入到家庭生活之中, 对社会生活产生巨大的影响。有人说, 美国现在拥有 2000 万台微型机, 加上其它类型的计算机, 其工作量相当于 4000 亿个劳动力。到 1979 年止, 全世界微型计算机已经达到五千多万台, 现在已远远超过一亿台, 其发展速度之迅猛, 超过了以往任何类型的计算机。微型机的应用与普及, 不仅促进了各行各业的自动化、现代化, 大大提高了工作效率和质量, 而且经济效益高, 促进了国民经济的发展。

在工业上, 微型机可用于数控机床, 过程自动控制以及生产的管理上。在这样的生产车间里空无一人, 只见各种机床在自动地不断加工各种机器零件或产品, 由机械手和自动传输线来协调各工序间的工作。日本采用微型机管理企业, 1965~1970 年劳动生产率平均提高了 14%, 同期在苏联提高了 5%。全世界各种微处理器 1980 年用于工业控制上销售额占整个微处理器的销售额的 29%。

微型机也用于农业的各个领域。如: 农业科研、农业教学、农机工厂、农药化肥生产、农业气象预报、农用能源、水利工程、农副产品加工、粮食管理、计划管理等等。

微型机已用于交通信号灯的管理, 并用来对汽车燃料、速度以及刹车进行最佳控制。目前已制造出能自动识别道路、能按交通规则行驶的无人驾驶智能汽车。

应用微型机可大大提高能效, 降低能耗, 例如, 用锅炉微电脑控制系统, 可使锅炉燃烧效率最佳, 节省燃料 3~10%。

在商业上，微型机已普遍用于自动售货机、自动加油和现金结算等方面。

微型机也渗入到教育领域，学生坐在荧光屏前，可以与“电脑老师”进行问答。还可根据不同学生的学习情况，安排和修改教学进程。

微型机还广泛用于服务。一台微型机可以将家里全部电器管理起来。英国几家银行正在试办家庭电脑服务，在家庭微型机的键盘上打入各种要求，即可吩咐银行付帐单，不需要开支票、写信，付款数目自动记在每月的结帐单上。

微型机在航天技术和军事技术中也得到了广泛的应用。哥伦比亚号航天飞机的主要控制部件就是微型机。

微型机也日益广泛用于医疗卫生方面，例如，用于病情的诊断。

现在微型机的应用，据不完全统计已有两千多种，而且还在不断地开拓和发展。

第二章 基础知识

§2.1 计算机中的数制

一、十进位计数制

人在日常生活中，要和数字打交道。通常就学会了用十进制计数。可能是由于人有十个指头的缘故，所以这种计数制的基数为10，其基本符号为0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。用这十个符号就可以表示任何数。加上这些符号的位置不同（个位、十位、百位、千位……），它所表示的数值就不同。每一位数位的值称为数位系数，在数学上叫做权。我们还可以用其它基数构成其它计数制。（如我国老的计量秤，十六两为一斤、十二支铅笔为一打等。）

我们先来分析一下熟悉的十进制数。例如 3057.46 可以写成

$$\begin{aligned} 3057.46 &= 3 \times 1000 + 0 \times 100 + 5 \times 10 + 7 \times 1 + 4 \times 0.1 + 6 \times 0.01 \\ &= 3 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

其中 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 为十进制数的“权”，而“10”为十进制数的基数（或底数），它说明“逢十进一”。

根据上述可推论出任意数的通用表达式为：

$$A_{10} = a_n a_{n-1} \cdots a_1 a_0 a_{-1} a_{-2} \cdots a_{-m}$$

（注： A_{10} 的角标10为十进制，通常省略为A）

也可用下列多项式表示为：

$$\begin{aligned} A &= a_n 10^n + a_{n-1} 10^{n-1} + \cdots + a_1 10^1 + a_0 10^0 + \cdots + a_{-m} 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n a_i (10)^i \end{aligned}$$

其中 m 、 n 为正整数， a_i ($i=n, n-1, \cdots, 1, 0, -1, -2, \cdots, -m$) 为10个不同字符（即0、1、2……9）

表2.1.1列出常用的几种数制。按习惯，对任一基数小于10的记数制，它的数字符号可以用十进制中相对的字符表示。如果基数大于10，则采用十进制字符再加上大写的英文字母（从字母首字A开始）作为它的基本数字符。

表2.1.1有三种有位值记数制，对研究计算机用电子线路的工作状态来表示任一数制的记数，技术上较易实现。即二进制、八进制和十六进制，在数字电路技术的处理是较为先进的。

二、二进位计数制

计算机可以以任何计数制为基础来设计大型的，中型的和微型的电子计算机。但所有现代数字计算机都是以二进制（基数为2）为基础。它是由“0”和“1”二个符号来表示，比设计一个能区别十种状态（十进制）的电路来得简便可靠。大多数物理量只具有二种稳定状

表2.1.1

记 数 制

基 数	数 制	字 符															
2	二 进 制	0	1														
3	三 进 制	0	1	2													
4	四 进 制	0	1	2	3												
5	五 进 制	0	1	2	3	4											
8	八 进 制	0	1	2	3	4	5	6	7								
10	十 进 制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
12	十二进制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B				
16	十六进制	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

态：电灯的通与断、电流的正或负、电压的高或低、晶体管的饱和与截止、纸带穿孔和没穿孔，物质的磁化或去磁等等，这些都在计算机的不同部位上被采用着。

二进制的基数是 2，可取的数字为 0 和 1，各相邻数位（自左至右）的权为：

$2^n 2^{n-1} \dots 2^3 2^2 2^1 2^0 \cdot 2^{-1} 2^{-2} \dots 2^{-m+1} 2^{-m}$

例如：二进制数(11011.1)可以写成

$11011.1 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$

其中 $2^4, 2^3, \dots, 2^{-1}$ 为二进制数的权，而2为二进制数的基数(或底数)它说明“逢二进一”。

二进制任意数的通用表达式为：

$$B_2 = b_n 2^n + b_{n-1} 2^{n-1} + \dots + b_1 2^1 + b_0 2^0 + b_{-1} 2^{-1} + \dots + b_{-m} 2^{-m}$$
$$= \sum_{i=-m}^n b_i 2^i$$

其中 m 和 n 均为正整数， $b_i = 0, 1, (i = -m, -m+1, \dots, n)$

2^i 是数位的权，而 2 是基数。

二进计数制是比较简单，但人们很不习惯。为了熟悉二进制数，下面给出常用的十进制数对应的二进制数表：

表2.1.2 部分整数对照

十 进 制	二 进 制
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

表2.1.3 部分小数对照

十 进 制	二 进 制
0.5	0.1
0.25	0.01
0.125	0.001
0.0625	0.0001
0.75	0.11
0.375	0.011

例如：一个二进制数1101.001转换成十进制数是多少？

解：根据整数部分对照表2.1.2： $(1101)_2 = 13$

根据小数部分对照表2.1.3： $(0.001)_2 = 0.125$

$\therefore (1101.001)_2 = 13.125$

二进制在计算机技术中，广泛使用一些专用名词，如“位”、“字节”、“字”。

位 二进制的—个数位通常称为“位”。例如1010这个数就称为4位二进制数，101称3位数、依次类推。数的左端，其权最大。称为最高有效位；相反，数的右端权最小，称最低有效位。

字节 计算机及数据设备的发展，使器件间的信息交换能以8位为单位，这个8位单位称为“字节”。

字 计算机有许多存储二进制信息的存储单元或寄存器，同一机器中，大部分寄存器的长度n都相同，每一寄存器都可存储n位二进制信息。存储在一个寄存器中的信息称为一个“字”。

图2.1.1表示一个由16位组成的二进制数，数左端的0称为最高有效位，数右端的1称为最低有效位。由两个字节01101110和01101101组成，总称为一个“字”（即表示一个16位计算机字）。

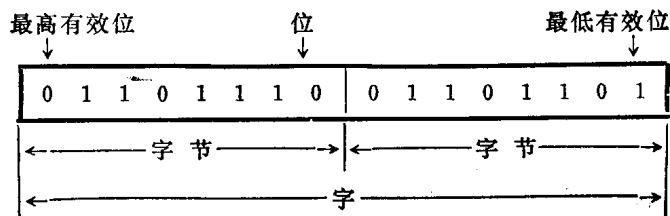


图2.1.1 位、字节、字

三、八进位计数制

采用八进制在书写方面和十进制差不多，克服了二进制基数小，进位快，数位长，不宜读写等缺点。因此在使用过程中，常采八进位计数制来书写数据和指令。

八进制采用0、1、2、3、4、5、6、7八个数码符号，逢八进一。八进位制的基数是八，而 $8=2^3$ ，所以一位八进位制数相当于三位二进位制数。

例如，二进制代码 011 010 111 可分成三组，

表2.1.4

二进位制	011	010	111
对应的八进位制	3	2	7

所以可将二进位制代码 011 010 111 书写为八进位制代码 3 2 7。这样，原来要书写九位，现在只要书写三位就可以了。另外，给机器输入代码也常用八进位制，它可以大大提高输入速度。

一般地, 任给一个八进制数 $(N)_8$, 它的八进制表示为:

$$(N)_8 = d_n d_{n-1} \cdots d_1 d_0 d_{-1} \cdots d_{-m}$$

按权展开式为:

$$\begin{aligned} N &= d_n \times 8^n + d_{n-1} \times 8^{n-1} + \cdots + d_1 \times 8^1 + d_0 \times 8^0 + \cdots + d_{-m} \times 8^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n d_i \times 8^i \quad (d_i = 0, 1, 2, \dots, 7) \end{aligned}$$

例如: 有一八进制数 $(N)_8 = 235.04$, 它是十进制数的多少?

将 $(N)_8$ 按权展开得:

$$(N)_8 = 2 \times 8^2 + 3 \times 8 + 5 \times 8^0 + 0 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} = 157.0625$$

四、十六进位计数制

十六进制的基数是16, 与八进制在使用中大致相同。一般在字长较长的大型机器中、读写数据和指令多采用十六进制; 在字长较短的小型机器中, 一般采用八进制。(八进制和十六进制的使用仅反映在机器外数据的读写方面, 而在机器内部采用的仍是二进制数。)

十六进制的基数大于10, 则采用十进制字符0、1、2……9再加上大写的英文字母A, B, C, D, E, F (从字首A开始) 做为它的数字符。A, B, C, D, E, F依次代表十六进制数中的10, 11, 12, 13, 14, 15。

在加减运算中是逢十六进一, 借一当十六。欲将十六进制数化成十进制数, 同样只需按权展开即可。

例如, 将十六进制数 $3A.8F$ 化成十进制数,

将 $(3A.8F)_{16}$ 按权展开得:

$$\begin{aligned} (3A.8F)_{16} &= 3 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + 15 \times 16^{-2} \\ &= 59.4375 \end{aligned}$$

通过以上四种进位制的讨论可以发现, 各种进位制都有一个固定的基数 G , 采用 G 个不同的数码符号; 逢 G 进一; 都能按权展开。若 G 进制的数 $(K)_G$, 且 $(K)_G = R_n R_{n-1} \cdots R_1 R_0 R_{-1} \cdots R_{-m}$, 其展开式为:

$$(K)_G = \sum_{i=-m}^n R_i G^{(i-1)}$$

当 $G=2$, 便是二进制; $G=8$ 便是八进制, $G=16$ 便是十六进制, 等等。

表2.1.5列出二、八、十六进制中的前32个数及其所对应的十进制数, 以便学习查对。

§2.2 数制间的转换

由于人们习惯采用十进制数, 而计算机却采用二进制数, 因此就需要在输入数据时进行从十进制转换为二进制数, 这样才能被机器所接受。而机器运算的结果, 在输出时又转换成人们所熟悉的十进制数。所以不同数制间的相互转换是很重要的。下面讨论其转换规律。

一、十进制与二进制数的转换

1. 二进制数转换成十进制数

表2.1.5 二、八和十六进位制中前32个数及其所对应的十进制数

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
17	10001	21	11
18	10010	22	12
19	10011	23	13
20	10100	24	14
21	10101	25	15
22	10110	26	16
23	10111	27	17
24	11000	30	18
25	11001	31	19
26	11010	32	1A
27	11011	33	1B
28	11100	34	1C
29	11101	35	1D
30	11110	36	1E
31	11111	37	1F

对于二进制数转换成十进制数可按“权位”展开相加即可。简称二换十（按权相加）。例如：将1011化成十进制数。

$$(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11$$

即二进制的1011写成2的乘方的多项式，“按权相加”，得到等值的十进制数为11，方法十分简单。

例： $(101.11101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} +$

$$0 \times 2^{-4} + 1 \times 2^{-5} \\ = (5.90625)_{10}$$

2. 十进制数转换成二进制数

如何把十进制数转换成二进制数呢？对于十进制整数，通过具体举例，不难理解它的换算规则。

例一、十进制数 7 表示为二进制的形式：

根据数学表达式可写成：

$$(7)_{10} = a_2 \times 2^2 + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 = (a_2 \times 2 + a_1)2 + a_0$$

式中 $a_2 a_1 a_0$ 分别是二进制位数的“0”或“1”，因为把 7 被 2 除后所得到的余数就是 a_0 ，然后将其商再连续除以 2 得余数 $a_1 a_2$ ，使最后的商等于零为止。这样 a_2 、 a_1 、 a_0 就是十进制 7 的二进制形式，即：

$$\begin{array}{rcll} 7 \div 2 = 3 & \text{余 } 1 & \uparrow & \text{最低位} \cdots \cdots a_0 \\ 3 \div 2 = 1 & \text{余 } 1 & & \cdots \cdots \cdots a_1 \\ 1 \div 2 = 0 & \text{余 } 1 & & \text{最高位} \cdots \cdots a_2 \end{array}$$

$$\therefore (7)_{10} = (111)_2 = (a_2 a_1 a_0)_2$$

例二、求 $(118)_{10}$ 的二进制数。

$$\begin{array}{rcll} 2 \overline{) 118} & \cdots \text{余 } 0 & \cdots a_0 & \uparrow \text{最低位} \\ 2 \overline{) 59} & \cdots \text{余 } 1 & \cdots a_1 & \\ 2 \overline{) 29} & \cdots \text{余 } 1 & \cdots a_2 & \\ 2 \overline{) 14} & \cdots \text{余 } 0 & \cdots a_3 & \\ 2 \overline{) 7} & \cdots \text{余 } 1 & \cdots a_4 & \\ 2 \overline{) 3} & \cdots \text{余 } 1 & \cdots a_5 & \\ 2 \overline{) 1} & \cdots \text{余 } 1 & \cdots a_6 & \text{最高位} \\ 0 & & & \end{array}$$

$$\therefore (118)_{10} = (1110110)_2 = (a_6 a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0)_2$$

总结上述过程：整数的十换二即除二取余法，直到商等于零为止。将所得各次余数，以最后余数为最高数字，依次排列，就是所求二进制的各数字。

对于小数的十换二，用乘二取整法：即用二乘十进制的纯小数，然后去掉乘积中的整数部分，再用 2 去乘剩下的纯小数部分，如此继续下去，直到满足所要求的精确度或直到纯小数部分等于零为止。把每次乘积的整数部分依次由上而下的排列，即得所求二进制纯小数的小数点后各位数字。

例三、求 $(0.4375)_{10}$ 的二进制数。

	乘 2	纯小数部分	整数部分
	$0.4375 \times 2 = 0.875$	0.875	0 最高位
	$0.875 \times 2 = 1.75$	0.75	1
“注意”	$\rightarrow 0.75 \times 2 = 1.5$	0.5	1
	$\rightarrow 0.5 \times 2 = 1.0$	0.0	1 最低位

$$\therefore (0.4375)_{10} = (0.0111)_2$$

如果一个包含整数与小数二个部分的十进制数，在求它的二进制数时，对整数部分采取