

职工高等工业专科学校

微型计算机原理及应用

王义方 主编

机械工业出版社

职工高等工业专科学校

微型计算机原理及应用

王义方 主编



机械工业出版社

微型计算机原理及应用

王义方 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张20 · 字数 490 千字

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数 00,001—26,300 · 定价4.15元

*

统一书号: 15033·6242

前 言

本书是职工高等工业专科学校工业电气自动化专业的试用教材,是根据教育部成人教育司、全国总工会和机械工业部教育局制订的“工业电气自动化专业”教学计划和“微型计算机原理及应用”教学大纲而组织编写的。

本书适用于职工大学和业余大学。中等专业学校及各种微机培训班也可以选用,并可供广大工程技术人员自学入门之用。书中带星号(*)的章节,可根据不同需要而灵活掌握,决定取舍。

本书主要介绍目前我国使用最广泛的Z80微处理器的原理及Z80单板机的应用。全书着眼于应用,力求简明扼要,通俗易懂。每章均附有较多数量的例题、思考题和习题,书末还附有应用实例,便于教学与自学,尤其适合于成人教学。

本书由苏州市职工业余大学王义方同志(第一、二、三、四、五、六章)及上海市卢湾区业余大学杨振英同志(第七、八、九章)编写,全书由王义方同志主编,由湖南大学杨润生副教授主审。

本书编写后经过试用,于1984年8月由湖南大学、交通大学、汽车制造工业学院和核工业部九院职工大学等十六所高校所组成的审稿会审定通过。参加审稿的有田端庭、莫松涛、白英彩、王志清、吴誉、邱振诒、姚国定、王旭、庄婉娜、李炳延、王华兴和温良玉等同志。

本书在编写过程中曾得到劳定圻、张崑藏、冯子纲、张柏雄、张端宁和丁建强等同志的热情帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中一定存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者 1984年10月

目 录

第一章 计算机的基础知识	1	三、存储器写周期	81
§ 1-1 概述	1	四、输入输出周期	81
§ 1-2 计算机的数制和码制	3	五、举例说明	82
一、二进制、十六进制和十进制之间的 互相转换	3	思考题与习题	83
二、二进制编码	7	第四章 Z80汇编语言程序设计	87
三、带符号数的定点表示法	11	§ 4-1 概述	87
§ 1-3 模型计算机	19	一、程序设计语言简介	87
一、数字电子计算机的基本组成及其工 作过程	19	二、汇编语言和高级语言的比较	88
二、微计算机的组成	20	§ 4-2 Z80汇编语言	88
三、微计算机的工作过程	24	一、语句结构	88
思考题与习题	28	二、伪指令	90
第二章 微处理器	30	§ 4-3 Z80汇编语言程序设计实例	92
§ 2-1 概述	30	一、简单程序	93
§ 2-2 Z80微处理器	30	二、分支程序	95
一、Z80微处理器的内部结构	31	三、循环程序	97
二、Z80 CPU的引脚及其功能	37	四、子程序	101
§ 2-3 其他微处理器简介	40	五、表格和清单	105
思考题与习题	44	六、代码转换	109
第三章 Z80指令系统	46	七、运算程序	111
§ 3-1 概述	46	思考题与习题	114
§ 3-2 Z80 CPU的指令格式和寻址 方式	46	第五章 半导体存储器	116
一、Z80 CPU的指令格式	46	§ 5-1 概述	116
二、Z80 CPU指令的寻址方式	46	§ 5-2 读写存储器 RAM	116
§ 3-3 Z80的指令系统	51	一、静态 MOS RAM	117
一、数据传送指令	52	二、动态 MOS RAM	119
二、交换指令组	57	§ 5-3 只读存储器 ROM	120
三、算术和逻辑指令	58	一、掩膜只读存储器	120
四、通用算术和 CPU 控制指令	63	二、可编程只读存储器 PROM	121
五、循环和移位指令	65	三、可抹可编程只读存储器 EPROM	122
六、位操作指令	67	§ 5-4 存储器与微处理器的连接	124
七、转移指令	68	一、存储器的寻址	124
八、调用和返回指令	71	二、举例	126
九、数据块传送与查找指令	73	思考题与习题	128
十、输入和输出指令	77	第六章 输入输出和中断	129
§ 3-4 Z80典型时序分析举例	79	§ 6-1 概述	129
一、取指令操作码周期	80	§ 6-2 输入输出传送方式	130
二、存储器读周期	80	一、无条件传送方式	130
		二、查询方式	131
		三、中断方式	133
		四、存储器直接存取 (DMA) 方式	134

§ 6-3 中断的基本概念	135	二、存储器	205
一、中断技术的必要性	135	三、接口电路和外围设备	207
二、中断系统的功能	136	§ 8-3 Z 80 单板机监控程序简介	209
三、中断处理过程	136	一、监控程序的主流程框图	210
§ 6-4 Z 80 CPU 中断系统	137	二、重新启动程序 RSTR	210
一、组成	137	三、显示程序 DISUP	214
二、中断方式	138	四、键盘操作程序 DECKY	215
三、中断的嵌套与优先排队	141	§ 8-4 EPROM 写入接口电路与程序	221
四、有关中断的一些指令与举例	143	一、2716 EPROM 芯片几种工作方式的 选择条件	221
思考题与习题	145	二、Z 80 单板机中 EPROM 写入接口 电路	221
第七章 接口技术	146	三、EPROM 写入操作程序	222
§ 7-1 概述	146	* § 8-5 盒式磁带机串行接口电路与程序	226
§ 7-2 I 8212 接口芯片	147	一、磁带记录标准	227
一、I 8212 的结构和功能	147	二、录带的接口电路	228
二、I 8212 应用举例	149	三、录带操作程序	229
§ 7-3 可编程序并行接口芯片 Z 80 PIO	151	四、读磁带的接口电路	238
一、PIO 的结构	151	五、读磁带操作程序	239
二、PIO 的硬件连接	154	思考题与习题	245
三、PIO 的程序设计	158	第九章 应用举例	246
四、PIO 程序设计举例	163	§ 9-1 概述	246
§ 7-4 计数/定时芯片 Z 80 CTC	166	§ 9-2 顺序控制系统	246
一、CTC 的结构	167	一、时间的顺序控制	246
二、CTC 的硬件连接	168	二、动作的顺序控制	259
三、CTC 的工作方式	170	§ 9-3 步进电机的控制	263
四、CTC 的程序设计	172	一、步进电机的工作方式和控制	264
五、CTC 程序设计举例	174	二、VOESA 打印机的控制	269
§ 7-5 LED 数字显示器接口电路	179	三、软件设计	270
一、LED 工作原理和接口电路	179	§ 9-4 温度控制系统	276
二、LED 显示器的七段码	180	一、温度的测量	276
三、多位 LED 显示器接口电路和显示 方法	180	二、温度的控制	278
§ 7-6 键盘接口设计	182	三、温度控制系统的软件设计	278
一、按键的识别	183	§ 9-5 微机在生产过程控制中的一个实例 ——保温瓶的自动检测	284
二、去抖动问题	186	一、保温瓶的质量指标和检测	284
§ 7-7 D/A 和 A/D 转换器接口设计	187	二、微机用于瓶胆自动检验的方案简介	284
一、D/A 转换器	187	附录	289
二、A/D 转换器	194	附录一 ASCII 表	289
思考题与习题	200	附录二 Z 80 指令系统表	290
第八章 Z 80 单板计算机	203	附录三 Z 80 指令的机器码表	301
§ 8-1 概述	203	附录四 部分专用符号的英汉对照表	312
§ 8-2 Z 80 单板机硬件结构	203	参考资料	314
一、微处理器 (CPU)	203		

第一章 计算机的基础知识

§ 1-1 概 述

本章主要介绍微处理器及微型计算机（简称微计算机或微机）的发展与应用概况，计算机的数制与码制以及初级微计算机的组成及其工作原理。要求能进行十进制、二进制和十六进制之间的转换，明确补码在微机中的应用，了解微机的基本结构和工作过程。

一、微处理器和微计算机的发展概况

随着计算机技术和大规模集成电路的发展，微计算机应运而生。自从1971年美国 INTEL 公司研制成功以 I 4004 微处理器为核心的四位微计算机以来，短短的十几年里得到了突飞猛进的发展，微处理器（CPU）的集成度差不多每两年翻一番，且性能增长一个数量级。因此，完全可以名符其实地讲，微处理器及微计算机的发展正是日新月异。纵观其发展，至今已经历了四代的演变：

第一代：（1971年至1972年）

美国 INTEL 公司首先研制成功 I 4004，它是四位的微处理器。以它为基础再配以相应的 RAM、ROM 和 I/O 接口芯片就构成了 MCS-4 微计算机。同年，该公司还研制出 I 8080，它是 8 位的微处理器。

第二代：（1973年至1975年）

代表产品是美国 INTEL 公司的 I 8080、MCS-80 和 MOTOROLA 公司的 6800，它们是八位机的中档机。

1976年至1977年，美国 ZILOG 公司研制的 Z 80 和 INTEL 公司研制的 I 8085，一般称之为第二代半的产品，它们是高性能的八位微处理器。

第三代：（1978年至1981年）

代表产品是美国 INTEL 公司的 I 8086，ZILOG 公司的 Z 8000 和 MOTOROLA 公司的 M68000，它们是16位微处理器，又称第一代超大规模集成电路的微处理器。

第四代：（1981年以后）

代表产品是美国 INTEL 公司的 IAPX432，BELL 研究所的 MAC-32，NS 公司的 NS16032，它们是32位微处理器，又称超级微处理器。

当前微处理器与微计算机正朝着以下几个方向发展：

1. 发展高性能的16位和32位微处理器。
2. 发展专用化的单片微计算机。
3. 发展带有软件固化的微计算机。
4. 发展多微处理机系统和局部网络。
5. 充实和发展外围接口电路。

我国是在1974年开始研制微计算机的，于1977年制出了第一台微计算机 DJS-050，同年决定研制 DJS-050 和 DJS-060 两个系列的微计算机，它们的中央处理单元，前者相当于

INTEL 公司的8080A微处理器系列,后者相当于MOTOROLA公司的M6800微处理器系列。1981年又正式确定以Z80 CPU为核心组建的微计算机系统为8位微计算机发展的系列之一,其型谱谱号定为DJS-040系列(注:现在已有新的命名法)。总之,随着形势的发展,我国微计算机的研制与生产发展很快,一位机、四位机以及16位机等相继涌现。目前已有一百多种型号的产品,主要有紫金II号微型机(与APPLE II兼容,其CPU为6502微处理器)、ZD-2000汉字终端(其CPU为Z80微处理器)、0520微型机(与IBM PC兼容,其CPU为8088微处理器)以及与TRS-80和CROMEMCO相当的八位微计算机。

二、微计算机的特点

微计算机和普通计算机没有本质上的差别,同样具有快速、精确、记忆、逻辑判断能力以及程序控制等特点。

此外,它还具有下列特点:

1. 价格低、体积小、重量轻、功耗低和可靠性高。

这个特点使得一些中、小型的或廉价的设备都能用上微处理器和微计算机,从而使它深入到过去计算机所无法深入的领域。

2. 方便灵活,通用性强。

由于微计算机的体系结构采用总线结构形式,因而它十分机动灵活,容易构成各种各样的系统。亦即能根据需要来选择总体布局,能大能小。小到将微机作为一个部件组装在应用设备中,使设备电脑化,大到与大型计算机和外部设备互连成一个网络,彼此进行通信并共享资源。总之,它能方便地进行扩展与集散,因此适应面广,可以面向各行各业。

另外,目前构成微计算机的基本部件大多数已经标准化,而且机器结构是大同小异的,所以它们特别适合用户的需要。

更重要的是微计算机的通用性和灵活性特点,当任务改变时,无需对硬件进行重新设计,只需通过重新编制程序就能执行不同的任务。

当然,微计算机也有其缺陷,主要是低档机的处理速度较低,存贮容量较小,指令系统比较简单,配套的外部设备的种类和数量较少,支持软件不够丰富等。但是,随着近年来性能更强的新一代微计算机的出现,上述缺陷将会逐步得到克服。

三、微型机的应用

微处理器与微计算机以其上述显著的特点,迅速地得到了极其广泛的应用,它正在渗透到各个部门,并深入到家庭日常生活之中。

目前,微机主要应用在过程的自动控制、机床的数值控制、智能终端、智能仪表以及过去计算机无法深入的其他领域如家用电器的控制和教育用装置等。

下面,分几个方面介绍微机的典型应用。

1. 微机促进和加速了产品的更新换代,使一大类产品朝着数字化,智能化,多功能和易使用的方向发展。

例如,各种仪器仪表由于装入了微机,使其结构和功能发生了根本性的变革,从而具有精度高、自动控制功能强、结构规范化和接口简单的特点。

又如在通讯设备中使用了微机技术后,将从原来的音频通讯转变为音频与数字之间的混频通讯,从而使通讯质量大大提高。

微机在消费类产品中的应用尤为引人注目,从照相机、录音机到缝纫机、电冰箱等正在

形成新一代的智能消费电子产品,与此同时,电子游戏机、语言学习机等新的消费产品也正在不断出现。

2. 微机在生产过程的控制、检测和监视中的应用。

目前正在从使用传统小型机为主的集中控制趋向使用多台微机的集中分散型控制。即将生产过程分段由微机进行监视和控制,而各微机之间又用小型机或高性能的微机来集中指挥,从而实现生产过程的自动控制,这样比集中系统具有更好的灵活性和可靠性。

3. 微机在企、事业事务管理中的应用。

在企、事业单位中,数据信息的收集、处理、存贮、综合和检索是管理工作中最基本的要求,而这些工作又最适合于计算机来完成,依靠计算机及时提供管理信息,以便提高决策过程中业务处理的正确性和迅速性,从而获取巨大的经济效益。目前使用微机来进行事务处理的内容大致有库存管理、销售管理、总帐会计和分析决策等。

4. 微机在教育部门和家庭中的应用。

教育部门利用微机可以来辅导解题、辅助教学、辅助实验模拟和辅助教学管理等,目前不仅是大学而且各级中、小学甚至幼儿园也竞相购买微机,用来改革教学方法,提高教育质量。

家用计算机除了供家庭文化娱乐(如电子游戏)外,还可辅导儿童学习,进行日常家庭财务管理等。

5. 微机在工程计算、产品设计和科学实验等方面的应用。

由于16位,16/32位及32位微计算机的研制成功和投入使用,微机在这些方面的应用也正在逐步得到推广。

我国微机的应用虽然时间不长,但是已经充分显示出它强大的生命力,应用的领域已涉及到工业、农业、商业、交通、运输、教育和邮电等部门,而且各方面都有很好的应用事例。特别是根据我国的国情,对汉字信息处理进行很多研究并取得了显著的成绩。今年,重点机已向用户提供汉字系统,有关部门还正在组织力量开发汉字应用软件包。

本书从应用的角度出发,主要介绍在我国使用最广泛的Z80微处理器的原理及应用。在叙述方法上注意到微机硬件和软件结合十分紧密的特点,从使用的角度去讲解必须掌握的硬件知识。课程的重点是汇编语言程序设计、接口电路及其编程,有关计算机的基础知识是围绕着这些重点而进行介绍的。

§ 1-2 计算机的数制和码制

本节主要介绍计算机中有关数值运算的基础知识,如进位计数制,不同进位计数制之间的转换,数与字符的编码方法以及数的符号与小数点的表示方法等。

一、二进制、十六进制和十进制之间的互相转换

在日常生活中,人们采用着各种进位计数制,如六十进制(一分钟等于六十秒,一小时等于六十分),十二进制(一英尺等于十二英寸,一年等于十二个月)和十六进制(一斤等于十六老两)等,但最为熟悉和常用的是十进制,然而在计算机中通常并不采用十进制,而是采用二进制。这是因为二进制数容易实现,可靠,而且运算简单。

考虑到这部分内容其中有些已在先修课中学过,因此,我们主要通过对比与举例的方法

来进行介绍。

(一) 二进制数

我们已经知道一个十进制数有两个主要特点：

1. 它有十个不同的数字符号，即 0, 1, 2, ……，9；
2. 低位向高位的进位是逢十进一。

因此，同一个数字符号在不同的位置（或叫数位）所代表的数值是不同的。如 353.3 其中三个 3 分别代表不同的数值 300、3 和 0.3，这个数可以写成：

$$353.3 = 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1}$$

通常称上式中的 10 为十进制的基数，即基数就是所用数字符号（或称数码）的个数，而称 10^2 , 10^1 , 10^0 , 10^{-1} , …… 等为各数位的位值（或权）。

二进制数与十进制数类似，它也有两个主要特点：

1. 它有且只有二个不同的数字符号，即 0 和 1；
2. 低位向高位的进位是逢二进一。

因此，同一个数字符号在不同的位置所代表的数值也是不同的。

例如： $101.1 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}$

$$= (4 + 1 + 0.5)_{10} = (5.5)_{10}$$

亦即二进制就是基数为 2 的进位记数法，其各数位上的位值（权）分别为 2^n , ……， 2^1 , 2^0 , ……， 2^{-n} 。

下表列出了一些十进制数与二进制数的对照关系：

表 1-1 十进制与二进制对照表

十进制数	二进制数	十进制数	二进制数	十进制数	二进制数
0	0	10	1010	16	10000 记为 2^4
1	1	11	1011	32	2^5
2	10	12	1100	64	2^6
3	11	13	1101	128	2^7
4	100	14	1110	256	2^8
5	101	15	1111	512	2^9
6	110	16	10000	1024 记为 1K	2^{10}
7	111	0.5	0.1	2K	2^{11}
8	1000	0.25	0.01	4K	2^{12}
9	1001	0.125	0.001	8K	2^{13}

一个十进制数要转换为二进制数，可以用两种方法。

第一种方法：利用上述对照表，先搞清已知的十进制数中包含那些二的方幂（数位的位值），出现的方幂所对应的二进制数的数位上取 1，不出现的方幂所对应的二进制数的数位上取 0。

例 1 $(133.75)_{10} = 128 + 4 + 1 + 0.5 + 0.25$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 \\
 &\quad + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\
 &= (10000101.11)_2
 \end{aligned}$$

第二种方法：将十进制整数部分和小数部分分别采用“除2取余法”及“乘2取整法”。即一个十进制整数要转换为二进制整数，只需将它除以2并且记下余数，把所得的商再除以2，并记下余数，然后再把所得的商再除以2并记下余数，如此不断继续下去，直到结果得0为止，然后收集余数，即为二进制整数，见例2。

例2 将25转换为二进制数

$25 \div 2 = 12$	余数 $1 = K_0$
$12 \div 2 = 6$	$0 = K_1$
$6 \div 2 = 3$	$0 = K_2$
$3 \div 2 = 1$	$1 = K_3$
$1 \div 2 = 0$	$1 = K_4$

$$\therefore (25)_{10} = K_4 K_3 K_2 K_1 K_0 = (11001)_2$$

一个十进制小数要转换为二进制小数，只需将它一次又一次地乘2，取其整数，即为二进制小数（这个过程重复继续，直到小数得0为止或转换到所要求的精度为止），见例3。

例3 将0.90625转换为二进制数

$0.90625 \times 2 = 1.8125$	整数 $1 = K_{-1}$
$0.81250 \times 2 = 1.6250$	$1 = K_{-2}$
$0.6250 \times 2 = 1.2500$	$1 = K_{-3}$
$0.2500 \times 2 = 0.5000$	$0 = K_{-4}$
$0.5000 \times 2 = 1.0000$	$1 = K_{-5}$

$$\therefore (0.90625)_{10} = 0.K_{-1}K_{-2}K_{-3}K_{-4}K_{-5} = (0.11101)_2$$

(二) 十六进制数

使用二进制数当数据较大时，书写与阅读很容易出错，记忆又困难。因此，通常使用八进制或十六进制来作为二进制的缩写。在微计算机中，目前通用的字长为8位，这恰巧可用2位十六进制表示，因此十六进制应用十分普遍，它已经成为微处理机工业的标准。

1. 十六进制数的表示

它也有两个主要特点：（1）它有16个不同的数字符号0~9以及A、B、C、D、E、F；（2）数位之间是逢十六进一。因此，在不同的数位，数码所表示的值是不同的。

例如： $(4AC.5E)_{16} = 4 \times 16^2 + A \times 16^1 + C \times 16^0 + 5 \times 16^{-1} + E \times 16^{-2} = (1197.1875)_{10}$

即十六进制就是基数为16的进位记数法，它的各数位上的位值（权）分别为 $16^n \dots 16^1 \dots 16^0 \dots 16^{-1} \dots 16^{-n}$ 。表1-2列出了部分十进制、十六进制和二进制的对照关系。

2. 十六进制与二进制之间的转换

由于四位二进制数恰好表示16个数的组合（ $2^4 = 16$ ），即一个十六进制数与四位二进制数是完全一一对应的，所以十六进制和二进制间的转换，是十分简单的。

（1）十六进制转换为二进制

只要将每一位十六进制数用相应的4位二进制数代替即可。

例4 将 $(5EA.7B4)_{16}$ 转换为二进制数

5	E	A	.	7	B	4
↓	↓	↓		↓	↓	↓
0101	1110	1010	.	0111	1011	0100

$$\therefore (5EA.7B4)_{16} = (101\ 1110\ 1010 \cdot 0111\ 1011\ 01)_2$$

表1-2 十进制、十六进制和二进制对照表

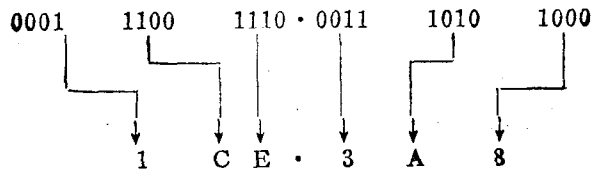
十进制数	十六进制数	二进制数	十进制数	十六进制数	二进制数
0	0	0	12	C	1100
1	1	1	13	D	1101
2	2	10	14	E	1110
3	3	11	15	F	1111
4	4	100	16	10	10000
5	5	101	17	11	10001
6	6	110	18	12	10010
7	7	111	19	13	10011
8	8	1000	20	14	10100
9	9	1001	21	15	10101
10	A	1010	0.0625	0.1	0.0001
11	B	1011	0.06640625	0.11	0.00010001

由于在二进制中，最高位的一个0和最低位的两个0无意义，所以最后从结果中将它们舍去不写。

(2) 二进制转换为十六进制

从小数点开始，分别向左和向右将每四位二进制数（不足四位时，添0补足之），用一位十六进制数表示即可。

例5 将 $(1\ 1100\ 1110 \cdot 0011\ 1010\ 1)_2$ 转换为16进制数



$$\therefore (1\ 1100\ 1110 \cdot 0011\ 1010\ 1)_2 = (1CE.3A8)_{16}$$

由此可见，十六进制在相当大的程度上简化了二进制的书写，因而给人们的学习和交流带来了方便。

3. 十进制转换为十六进制

一般有下列两种方法：

(1) 直接法：类似于十进制数转换为二进制数的方法，整数部分采用“除16取余法”以及小数部分采用“乘16取整法”。

例6 将 $(47632.136)_{10}$ 转换为16进制数

整数部分		小数部分
$47632 \div 16 = 2977$	余 0	$0.136 \times 16 = 2.176$ 整数 2
$2977 \div 16 = 186$	1	$0.176 \times 16 = 2.816$ 2
$186 \div 16 = 11$	10	$0.816 \times 16 = 13.056$ 13
$11 \div 16 = 0$	11	$0.056 \times 16 = 0.896$ 0
		$0.896 \times 16 = 14.336$ 14

$\therefore (47632 \cdot 136)_{10} \cong (BA10 \cdot 22D0E)_{16}$ 。

小数部分的转换总有误差，一般转换到所要求的精度为止。

(2) 间接法：先将十进制数转换为二进制数，再由二进制数转换为16进制数。

例7 将十进制数 $(543 \cdot 625)_{10}$ 转换为十六进制数

先采用“除2取余法”及“乘2取整法”将它转换为二进制数 $(1000011111 \cdot 101)_2$ ，然后将每4位二进制数用一位十六进制数代替，就可得到十六进制数 $(21F \cdot A)_{16}$ 。

两点说明：

1. 今后为了便于区别不同数制表示的数，规定在数字后面用一个H表示十六进制数，用Q表示八进制数（这在小型机中通常使用，其表示方法及有关转换都是与十六进制类似的），用B表示二进制数，用D（或不加标志）表示十进制数。如64H，754Q，1101B，369D分别表示十六进制、八进制、二进制和十进制数。另外，规定当十六进制数以字母开头时，为了避免与其他字符相混，在书写时前面加一个数0。如十六进制数B9H，应写成0B9H，（有时又为了避免数0与字母O相混，数0常用“ ϕ ”代替）。

2. 几个术语

(1) 字 在计算机术语中，一个字是一组二进制数，即作为一个单一的单元对待的一组二进制数，它是计算机中信息使用的基本单元。

(2) 字长 指字的二进制数的位长（即位的个数）。

(3) 字节 它是作为一个单位看待的8位二进制数。在8位微处理器中，每个字由一个字节组成；在16位微处理机中，每个字由2个字节组成，见图1-1所示。

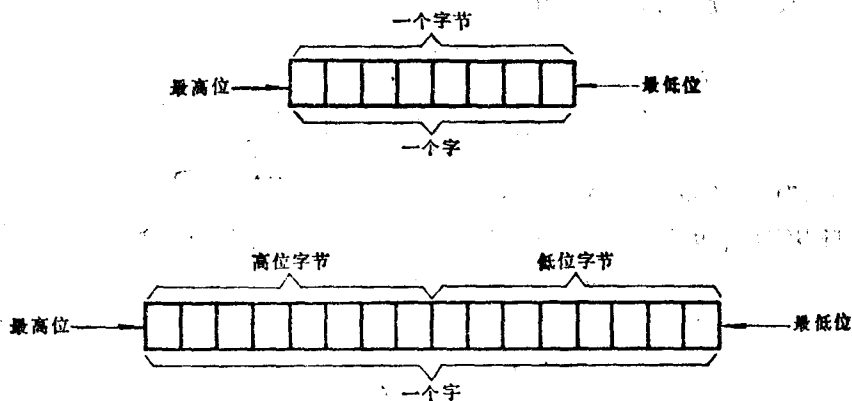


图1-1 字和字节

二、二进制编码

在计算应用中，除了经常使用阿拉伯数字0……9之外，尚需使用一些字母如A，B，……，Z，符号如+、-、*、/……以及一些控制信号等来跟计算机打交道。然而，在计算机内部所有信息都是采用二进制代码的，因而就存在着如何利用二进制代码来表示数、字母以及符号等，这就是所谓二进制编码。

(一) 二进制编码的十进制数（BCD码）

1. 8421 BCD码

在计算机中使用二进制代码工作，尽管有许多机器设备方面的优点，但是人们要认出和转换二进制的大小是颇花功夫的。因而提出了一个比较适合于十进制系统的二进制代码的特殊形式，即用四位二进制代码来表示一位十进制数，一般称之为十进制数的二进制代码表示法，简称BCD码。

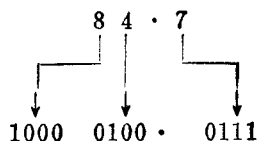
由于四位二进制数从0000到1111可以表示16个数，因此原则上可任意选择其中的十种来编码0到9十个数字，但通常采用与0~9各数字所对应的二进制数作为代码，这称为8421 BCD码，见表1-3。

表1-3 8421 BCD码

十进制数	8421 BCD码	十进制数	8421 BCD码
0	0000	9	1001
1	0001	10	0001 0000
2	0010	11	0001 0001
3	0011	12	0001 0010
4	0100	13	0001 0011
5	0101	14	0001 0100
6	0110	15	0001 0101
7	0111	16	0001 0110
8	1000	17	0001 0111

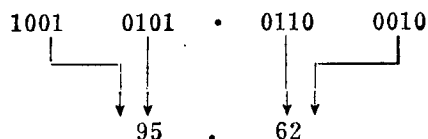
可见，这种BCD码与十进制数的关系相当直观，它们之间的转换也是十分简单和直截了当的，只需将十进制数的各位数字用与其对应的一组（四位）二进制数代替即可。

例8 将十进制数84.7转换为BCD码



$$\therefore (84.7)_{10} = (1000 \quad 0100 \quad \cdot \quad 0111)_{8421}$$

例9 将BCD码1001 0101 · 0110 0010转换为十进制数



$$\therefore (1001 \quad 0101 \quad \cdot \quad 0110 \quad 0010)_{8421} = (95.62)_{10}$$

要注意BCD码与真正的纯二进制是不同的，它貌似二进制，实为十进制。常用在电子计算机的输入输出设备中，作为计算机用的二进制与人们日常用的十进制之间的一种过渡性的编码，以简化人机联系。

2. 二——十进制调整

由于BCD码仅是将每个十进制数用4位二进制数来表示，而每组（4位二进制）之间仍然是逢十进一的。因此，若将这种BCD码直接交给计算机去运算，由于计算机总是将数作为二进制数来处理的，因而结果就可能出错。

例10 求BCD码的7 + 6

0111	7 的 BCD 码
+ 0110	6 的 BCD 码
1101	

1101 为非法的 BCD 码，因此结果出错，而 $7 + 6 = 13$ 的正确的 BCD 码应为 (0001 0011)_{BCD}。

例11 求 BCD 码的 $9 + 8$

1001	9 的 BCD 码
+ 1000	8 的 BCD 码
10001	

10001 是 11 的 BCD 码，结果同样出错，而 $9 + 8 = 17$ 的正确的 BCD 码应为 (0001 0111)_{BCD}。

例12 求 BCD 码的 $4 + 3$

0100	4 的 BCD 码
+ 0011	3 的 BCD 码
0111	7 的 BCD 码

结果正确。

为了得到正确的 BCD 码的运算结果，必须进行二——十进制调整，规则如下：

1. 4 位（二进制）一组，两个 BCD 数相加结果大于 9（即 1001）时，则需对该 4 位进行“加 6 修正”。
2. 4 位（二进制）一组，两个 BCD 数相加结果等于和大于 16（即 10000）时，则需对该 4 位进行“加 6 修正”。

下面通过具体例子来说明其正确性。

例13 用 BCD 码求 $9 + 4$ ，并进行调整

1001	9
+ 0100	4
1101	和大于 9
+ 0110	“加 6 修正”
10011	13

例14 用 BCD 码求 $38 + 46$ ，并进行调整

0011	1000	38
+ 0100	0110	46
0111	1110	低 4 位大于 9
+	0110	“加 6 修正”
1000	0100	84

例13、例14按规则 1 调整后，显然结果是正确的。因为 BCD 码相加，是四位（二进制）一组按十进制加法规则逢十进一。但是，对于二进制数来说第 4 位向高位（第 5 位）进位时必须满 16 才能进位，这样两个进位相差 6，因此，为了由 10 得到一个进位，需将 BCD 码

的和再加上一个 6，以帮助产生正确的进位，从而去跳过六个非法的 BCD 码 (1010~1111)。

例15 用 BCD 码求 $8 + 9$ ，并进行调整

1000	8
+ 1001	9
10001	和大于16
+ 0110	“加 6 修正”
10111	17

例16 用 BCD 码求 $84 + 85$ ，并进行调整

1000	0100	84
+ 1000	0101	85
10000	1001	高 4 位等于16
+ 0110		“加 6 修正”
10110	1001	169

例15、例16按规则 2 修正后，显然结果是正确的。因为当 BCD 码的和大于、等于16时，将产生一个进位，这个进位对二进制数来说，相当于16，但是，在我们这里是作为 BCD 码的进位，它只相当于10，这样一来，得到的 BCD 的和比真正的和数少了一个 6，所以必须加 6 修正。

例17 用 BCD 码求 $27 + 84$

0010	0111	27
+ 1000	0100	84
1010	1011	高低 4 位都大于 9
+ 0110	0110	同时“加 6 修正”
10001	0001	101

例18 用 BCD 码求 $99 + 3$

1001	1001	
+ 0011		
1001	1100	低 4 位大于 9
+ 0110		“加 6 修正”
1010	0010	高 4 位大于 9
+ 0110		“加 6 修正”
10000	0010	102

例19 用 BCD 码求 $78 + 28$

	0111	1000		78
+	0010	1000		28
	1010	0000	低 4 位等于16, 高 4 位大于 9	
+	0110	0110	同时“加 6 修正”	
	10000	0110		106

这里为了说明问题, 所以举了较多的加法例子, 实际在计算机中有一条十进制调整指令, 无论对于加法或减法, 机器能按照规则自动进行调整, (加法时, “加 6 修正”, 减法时, “减 6 修正”) 人们只管放心使用就是了。

另外, BCD 码除了采用上述方法调整以外, 也可以在交付计算机运算以前, 先将 BCD 码转换为二进制 (称为“十翻二”), 然后让计算机对二进制运算, 运算以后再将二进制转换为 BCD 码 (称为“二翻十”)。这种“十翻二”、“二翻十”的转换, 可以通过编制程序后交给计算机本身去完成 (详见第四章)。

总之, 采用了 BCD 码可简化人机联系, 而一些烦琐的调整或转换工作, 可由计算机自身去完成。

(二) 字符的 ASCII 码

在计算机应用中, 通常起码有下列字符需要用二进制代码来编码, 如 26 个英文字母 A、B……Z; 10 个阿拉伯数字 0、1……9; 运算符号 +、-、*、/……; 标点符号, 、, . ? ……以及一些数据控制的特殊字符, 如换行、换页、回车等。

若采用 6 位、7 位或 8 位二进制代码来表示, 那么可以分别编码 64、128 或 256 个不同的字符。

在微计算机系统中最常用的一种编码是 ASCII 码, ASCII 是美国信息交换标准代码的缩写, 它采用 7 位二进制代码来对字符进行编码 (第 8 位可用作奇偶校验位)。

见附录一。

表示数字、字母或控制功能的七位 ASCII 码是由 3 位和 4 位一组组成的, 其格式如下 (其中右边的 0 为最低位):

6 5 4	3 2 1 0
三位组	四位组

例如, 阿拉伯数字 0~9 的 ASCII 码分别为 30H~39H, 英文大写字母 A、B……Z 的 ASCII 码是从 41H 开始依次往下编排。

当使用 6 位 ASCII 代码时, 三位一组的减到二位一组, 它去掉了 26 个英文小写字母。

三、带符号数的定点表示法

实际的数值是带有符号的, 即可能是正数, 也可能是负数; 而数值本身可以包括整数也可包括小数。那么, 在计算机中是如何表示数的正负号以及确定小数点的位置呢?

(一) 数的定点表示法

在计算机中, 数有两种表示方法, 即定点表示和浮点表示。定点表示, 就是指小数点在数中的位置是固定不变的; 浮点表示, 就是指小数点在数中的位置不是固定的而是浮动的。在本书中, 我们只考虑数的定点表示法。

定点表示也有两种方法: