微型计算机简明教材

【日】青木由直　恩田邦夫　著

郑　重　　译

沈阳市机械工程学会
沈阳市机电局技术情报研究所
沈阳机电学院微型机应用技术研究所

前　言

“逝者如斯夫，不舍昼夜。”（《论语》子罕篇）用这句话形容计算机技术的进步是很恰当的吧！大家都知道，这种新技术的发展速度从未停顿过。讲授这种技术发展极为迅速的课程，确实感到负担很重。

所谓新技术，总是要由未来新的取代现在的，这种规律是显而易见的。作者（之一）在大学时代学的仅是真空管技术，但毕业后又用几年呢？只要想想这一点，就可清楚地知道一些新技术的更新之快。此后接踵而来的晶体管、集成电路、大规模集成电路和新发展起来的微电子技术，在其各个时期，尽管有些困难，我们总算跟着学过来了。

现在我们又转到了教学方面，讲授这门发展变化非常迅速的技术，确实感到不知如何安排最好。特别是我们过去由于科研的需要，只是钻进较窄的范围内学习，又常满足于做为科研人员的所谓独创性或者创新精神等等。对如何讲授这些基础知识，从教学角度看还探讨得很不够。

这只是一方面的情况，但从学生的立场考虑，总是迫切地希望得到一本内容精练、印刷工整的书。目前微型计算机或者个人用计算机在社会上已大量使用，有关这类书籍虽然是很多的，但初学总还必须选择一本能从基础开始学习的书吧！

本书就是为了这个目的，给大学本科学生做为教材编写的，同时照顾到社会上知识更新的需要，考虑了从学习计算机基本运算理论及其电路开始，到能实际应用微型机所需要的基础知识。但是要将从理论基础到实际应用的所有内容都写到一本教材中是很不容易的。可是，如果学的内容，在实际中不能应用，那么学习也就没有用了。所以本书是以现在应用最广的 Z—80CPU 做为

素材，对该CPU加以详述，但对具体应用实例，由于篇幅所限，不得不省略了。

虽然目前使用最多的是8位微处理机，但不会永远都是如此，实际微型机已经开始进入16位机的时代了。所以还必须继续讲授有关新微处理机的知识。还有，本书中没有包括高级语言的使用方法，这也是学习计算机不可缺少的内容，有关这方面的内容以及本书中不足之处，予定写在本书的续编中。

本书中的部分内容参考了北海道微型机研究会编著的《微型机的组装方法和使用方法》，故对该书的执笔者北海道大学讲师山本强，北海道工业大学讲师中川嘉宏，北海道电波监理局技官模幕俊田等各位先生致以谢意。特别是在时间非常紧张的情况下，给以大力协助、积极配合我们出版的昭晃堂小林孝雄和山田道夫先生，我们由衷地表示感谢。

没想到本书的前言是在中国沈阳写的。在沈阳市的大学讲授微型机技术课程时，我们感到这个国家的现代化若缺少微型机技术是不可想象的。然而在将知识做为书的形式出版时，不能不感到做为发明纸的伟大民族的国家，在出版上还跟不上需要。在这点上对于能大量出版书籍的我国，也可说是作者们的幸运了。在这种象洪流一般的计算机参考书籍中，又涌进了本书，如能对读者的学习有些益处，那就是我们的最大愿望了。

1983年8月于中国沈阳

青本由直

翻译本序言

“现代化”，为达到这个远大目标的伟大中国，将要采用人类过去从未有过的最小的微型计算机，给人留下极为深刻的对比印象。历史发展的潮流已经来到一个新的产业革命的入口，打开这个门的是以微型机为代表的微电子技术，这种认识是正确的。在各种领域中推广这种技术及其应用，将是中国现代化的当务之急吧！

但是，技术的进步及利用它来丰富人们的生活，都只有在更多的人受到教育时才有可能。若以应用微型机技术做为目标，那就需要很多的技术人员能够学到这种应用面很广的新技术。如果在生活中使用微型机，不仅一般的大人，就连小孩也能使用，这是很重要的。在日本这已是现实了。我想不久的将来中国也会有更多的人们与微型机有密切的关系吧！

在这种形势下，有关微型机的技术教育是很关键的，特别是对于大学生，必须进行从基础开始到实际应用的系统的微型机教育。中国工科大学的教师中有很多具有这种先见之明，沈阳机电学院的老师也不例外。

1983年5月～8月在沈阳机电学院担任过微型机的讲学。由于这个缘分，这次将我们出版的微型计算机教科书，在该学院的有关人员的努力下译成中文做为该院的教材，对此我们感到非常高兴。对促进这翻译工作的各位领导以及郑重、蒋道凯、范振铨等先生表示感谢。

在日本有关微型机的教科书、参考书充满了书店的书架，对想学习这种技术的人，要从这么多的书中选择一本适合自己情况的确实很费事。中国目前这方面的书籍我想还不太多。但愿本书对开始学习微型机的人，特别是年轻的学生们能有些用处。

“一衣带水”是中国表达日中两国友谊关系的常用语。对从事微型机技术的作者们想用下面的说法来表达：“日中两国比微型机的集成电路上的线间距离还近”。若仅仅是技术使两国人民亲近或者疏远，这确实是掌握在使用这种技术的人们手中，但我深感，应该不仅仅限于技术，而要超越到日中两国人民在各方面都能互相理解，这将是很宝贵的。最后所要补充的就是对这样的理解寄与着更多的期望。

于皑皑白雪的札幌市遥念春节时分沈阳市的冬日风光。

——1984年2月3日

青木由直

目　　录

第一章　计算机的数据表示方法和运算方法

1.1　数字电路和2值信号…… 1
1.2　2进制数及其转换…… 1
1.3　数值的表示方法…… 4
1.4　文字和符号的表示方法…… 7
1.5　2进制数的运算方法…… 9
1.6　中国剩余算法的运算方法……12
练习问题……15

第二章　逻辑电路和逻辑设计

2.1　逻辑电路和逻辑函数……17
2.2　逻辑式和逻辑代数……18
2.3　逻辑图和逻辑符号……21
2.4　多输入逻辑电路……25
2.5　逻辑电路的设计……26
2.6　利用图表简化逻辑式的方法（卡诺图法）……29
练习问题……31

第三章　数字集成电路（数字IC）

3.1　集成电路的分类和特点……33
3.2　基本逻辑元件的动作……35
3.3　数字集成电路的逻辑动作……39
3.4　扇出数……45
3.5　数字集成电路的信号电平……47

3.6 特殊的数字集成电路……49
练习问题……59

第四章 集成电路组成的功能电路

4.1 组合电路和时序电路……62
4.2 译码器和编码器……64
4.3 数据选择器……67
4.4 触发器和锁存器……69
4.5 计数器和寄存器……74
4.6 加减法电路……79
4.7 比较电路……82
4.8 脉冲电路……85
4.9 接口电路……89
练习问题……93

第五章 微型计算机的基础

5.1 微型计算机的基本结构……94
5.2 微型计算机的发展经过……95
5.3 微型计算机的分类及其应用方式……98
5.4 总线方式的微型计算机系统…… 100
练习问题…… 102

第六章 存 储 器

6.1 存储器的结构…… 103
6.2 半导体存储器及其分类…… 104
6.3 半导体存储器的构成…… 107
6.4 半导体存储器的动作和控制…… 109
6.5 队列和堆栈（队列寄存器和堆栈存储器）…… 113

6.6 外部存储器…… 115
练习问题…… 119

第七章 中央处理机

7.1 Z80CPU…… 120
7.2 运算部分和内部寄存器的功能…… 122
7.3 控制部分的功能…… 126
7.4 信号及其功能…… 128
7.5 CPU 的基本动作…… 132
7.6 中断处理及其动作…… 134
7.7 DMA 处理及其动作…… 139
练习问题…… 141

第八章 指 令 系 统

8.1 指令的形式…… 142
8.2 寻址方式…… 145
8.3 传送指令…… 147
8.4 算术、逻辑运算指令…… 150
8.5 循环移位和移位指令…… 151
8.6 转移（跳转）指令…… 152
8.7 调用子程序指令…… 155
8.8 输入输出指令…… 158
8.9 其它的指令…… 160
练习问题…… 161

第九章 输入输出部分

9.1 输入输出部分的构成…… 162
9.2 数据传送的控制方式…… 163

9.3 数据传送的形式…… 167
9.4 数据的信号电平…… 169
9.5 通用接口的集成电路…… 170
练习问题…… 189

第十章 微型机系统的实例

10.1 典型的微型机系统…… 191
10.2 CPU 的外围电路 …… 192
10.3 存储器的外围电路…… 199
10.4 输入输出的外围电路…… 199
10.5 调试工作的实例…… 201

第十一章 程序设计的基础

11.1 软件…… 209
11.2 程序语言…… 212
11.3 操作系统…… 215
11.4 汇编语言的程序例…… 216
附录…… 231
练习问题解答…… 261

第一章　计算机的数据表示方法和运算方法

1.1 数字电路和2值信号

微型计算机的基本电路是由数字电路构成的。数字是指由数和文字组合起来的符号表示数量或者数值的。和数字相对应的名词是模拟，这是表示将数量或者数值转换成和它相似的连续物理量，例如指针摆动的角度、电压值等等。

若从电路的角度观察，模拟电路是具有着电压、电流等的数值的意义。与此相对应，数字电路则是指与"某个规定的信号电压"的值相比，是高还是低，或者是有电流还是无电流。现在的数字电路就是利用这样的"2值信号"1和0或者H和L来表示这两种状态。如利用几个这种信号的组合状态，就能表示出数值、文字、符号等等。此外还可利用它表示具有两种状态意义的控制信号。例如"进行工作"和"不进行工作"等。

数字电路信号的优点是：只要能保持2值状态，即使信号有些畸变和衰减，也能得到正确的动作。又如后所述还可在数字电路中应用逻辑设计。

1.2 2 进制数及其转换

用2值信号所表示的数值称为2进制。我们通常使用的10进制数是用0到9中的数字排列而成，根据数字所占据的位置，对各数字给以10^0、10^1、$10^2\cdots10^n$等的"权"。同理，2进制数是只有0和1这两种数字的排列，对各位给以2^0、2^1、$2^2\cdots2^n$等的"权"。表示权的10^n或者2^n中的10或者2的数，称为权的基数。2进制数的个数单位称为位（即Binary digit的简称bit），它是数字电路中信息的最小单位。

某数值N以2进制数表示时，可写成如下的数字列：

$$N=a_n,a_{n-1}\cdots a_2,a_1,a_0,a_{-1},a_{-2}\cdots a_{-m+1}\ a_{-m} \qquad (1.1)$$

如$a_i(i=n,n-1,\cdots)$为0或者为1，a_{-1}到a_{-m}是小数点以后的数字列。这时N是表示这样的数值

$$N=\sum_{i=-m}^{n}a_i\cdot 2^i \qquad (1.2)$$

我们平时使用的数系是10进制的，该数值如用2值信号表示时，则需要由10进制转换成2进制；反之以2进制表示的数值也需要转换成我们习惯的、容易理解的10进制数值，即有2进制转换成10进制的必要。

如给出10进制的数值N，将其转换成2进制的步骤是：先将N分成整数部N_1和小数部N_2，然后将整数部以2除之，求出商q和余数r。即

$$N_1=a_n\cdot 2^n+a_{n-1}\cdot 2^{n-1}+\cdots\cdots+a_1\cdot 2+a_0 \qquad (1.3)$$

除2可得

$$q=a_n 2^{n-1}+a_{n-1}\cdot 2^{n-2}+\cdots\cdots+a_1 \qquad (1.4)$$

$$r=a_0 \qquad (1.5)$$

余数r为所求的整数部最低位的a_0值。再将q以2除之，可由余数求出a_1值，如此继续进行，则顺序求出直到a_n之值。

〔例题 1.1〕 将29转换成2进制数

```
  14      7      3      1      0
2)29   2)14   2) 7   2) 3   2) 1
  28     14      6      2      0
   1      0      1      1      1
   :      :      :      :      :
  a0     a1     a2     a3     a4
```

将各次除得的余数按反向顺序书写时，即$a_4a_3a_2a_1a_0$，则可求出$29=(11101)_2$。脚注的2是表示2进制数。以后除10进制外，都用脚注方式表示进制数。

由2进制数转换成10进制数，可由(1.3)式求出

$$1\cdot2^4+1\cdot2^3+1\cdot2^2+0\cdot2^1+1\cdot2^0=16+8+4+1=29$$

另一方面，对小数部分则与上边相反，进行乘2，即将

$$N_2=a_{-1}\cdot2^{-1}+a_{-2}\cdot2^{-2}+\cdots\cdots+a_{-m}\cdot2^{-m} \qquad (1.6)$$

(1.6)式乘2，则成为：

$$2N_2=a_{-1}+a_{-2}\cdot2^{-1}-a_{-3}\cdot a^{-2}+\cdots\cdots+a_{-m}\cdot2^{-m+1} \quad (1.7)$$

在1.7式的整数部分可得到小数第1位的值a_{-1}。继之将(1.7)式再乘以2，同样可求出a_{-2}，如此继续，可依次求出以后各值。

〔例题 1.2〕 将0.58转换成2进制数

0.58	0.16	0.32	0.64	0.28	0.56
× 2	× 2	× 2	× 2	× 2	× 2
1.16	0.32	0.64	1.28	0.56	1.12
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a_{-1}	a_{-2}	a_{-3}	a_{-4}	a_{-5}	a_{-6}

由此可求出$0.58=(0.100101\cdots)_2$。10进制数虽为有限小数，但转换成2进制数，有时不能成为有限小数。

如将此再转换成10进制数，由(1.6)式写成

$$1\cdot2^{-1}+0\cdot2^{-2}+0\cdot2^{-3}+1\cdot2^{-4}+0\cdot2^{-5}+1\cdot2^{-6}+\cdots\cdots$$

$$=0.5+0.0625+0.015625+\cdots\cdots$$

如小数后面的位数为无限时，则其结果将无限接近0.58

但在实际中位数是有限的，如例题1.2的小数点后面只取6位时则为：

$$(0.100101)_2=0.578125$$

在10进制数和2进制数之间产生了误差，对此称之为截尾误差。

以2进制数表示数值时，如例题结果所示，其位数变多了。于是为了减少位数、使用方便，还可用8进制和16进制来表示数值

的。

由2进制转换成8进制的方法是，以2进制数的小数点为界，每3位为一段，每段的3位2进制数用(1.3)式转换成由0到7的数字。

如：

$$29.58=(011\ 101.100\ 101)_2$$
$$=(3\quad 5\ .\ 4\quad 5)_8$$

由2进制向16进制的转换是以每4位2进制数为一段，将每段的4位2进制数转换成0到15的数字，10到15的数是2位组成的，使用不方便，因此采用A到F的英文字母表示之。

如：

$$29.58=(0001\ 1101.1001\ 0100)_2$$
$$=(1\quad D\ .\ 9\quad 4)_{16}$$

欲将8进制数、16进制数转换成10进制数时，可分别用8、16替换(1.2)式中的基数2，即如下所示：

$$(35.45)_8=3\times 8+5+4\times 8^{-1}+5\times 8^{-2}$$
$$=29.578125$$
$$(1D.94)_{16}=1\times 16+13+9\times 16^{-1}+4\times 16^{-2}$$
$$=29.578125$$

10进制数和2进制数、8进制数、16进制数的对应表如表1.1所示。

1.3 数值的表示方法

以上所处理的2进制数都是没有考虑符号的数值，称之为无符号2进制数。对正数和负数都能表示的方法有：

(1)用符号和绝对值的表示方法

(2)1的补数表示法

(3)2的补数表示法

表1.1　10进制数和2进制数，8进制数，16进制数的对应表

10进制数	2进制数	8进制数	16进制数	10进制表	2进制表	8进制表	16进制表
0	0	0	0	9	1001	11	9
1	1	1	1	10	1010	12	A
2	10	2	2	11	1011	13	B
3	11	3	3	12	1100	14	C
4	100	4	4	13	1101	15	D
5	101	5	5	14	1110	16	E
6	110	6	6	15	1111	17	F
7	111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8				

如用 n 位表示数值时

（1）的方法是，用最高的一位做为表示正负的符号位，规定0为正、1为负，其余的n-1位用以表示无符号的2进制数。表达数值的范围为 $+2^{n-1}-1$ 到 $-(2^{n-1}-1)$，以n＝3为例示于表1.2(a)

（2）的方法是，正数时用无符号2进制数表示；负数时是将正数各位的值反转即可得出。最前位起符号位作用，0为正，1为负。表达数值的范围和（1）的情况相同，例如表1.2(b)

上述两方法的缺点是都存在着负0，用这方法进行运算时，必须进行除掉负0的处理。

（3）的方法是，对于负数先求出1的补数后，再将其值加1使之不存在负0，如表1.2(C)所示之例，负数增加了一个，n位所表达的数值范围为 $+2^{n-1}-1$ 到 -2^{n-1}。用2的补数表示，如以后所述具有运算电路较为简单的优点，所以这种数值表示方法是最常使用的。

表1.2 含有负数数值的表示法（3位数的例子）

(a)符号和绝对值		(b)1的补数		(c)2的补数	
值	2进制数	值	2进制数	值	2进制数
3	011	3	011	3	011
2	010	2	010	2	010
1	001	1	001	1	001
0	000	0	000	0	000
-0	100	-0	111	-1	111
-1	101	-1	110	-2	110
-2	110	-2	101	-3	101
-3	111	-3	100	-4	100

此外还有用2—10进制（Binary Coded Decimal number: BCD)表示数值的方法。这是将10进制数的每位数用2进制数表示之。例如1234的表示如下：

$$1234=(0001\ 0010\ 0011\ 0100)_2$$

使用BCD码，将从键盘输入的数值取到计算机内部，或者将内部处理的结果送到显示器上显示，对于这些转换，都较为容易。运算装置中也有直接用BCD码进行加减运算这种功能的。BCD的缺点是，当10进制为m位的数值，若用2进制表示时需要$m\log_2 10\simeq 3.32m$位，而用BCD码则需要4·m位，使运算要稍稍慢一点。

以上所述之数值表示法，是将小数点固定在字的适当位置上的，称为固定小数点方式。如图1.1(a)所示，小数点跟在字的最低位（Least Significant Bit:LSB）的后边时，则该字处理的只是整数。又如图1.1(b)所示，小数点位于字的最高位(Most Significant Bit:MSB）之前时，则该字处理的只是小数以下的值。又如图1.1(c)所示，小数点位于字的中间适当位置时，则能

表示实数。

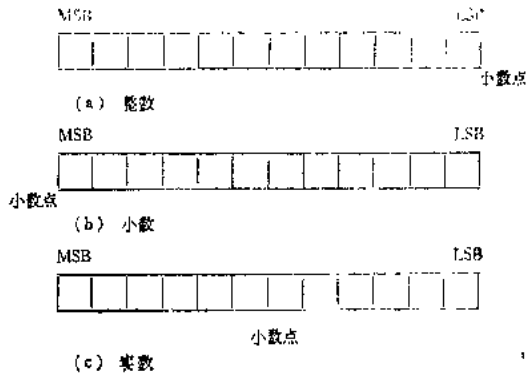

图 1.1 固定小数点方式的数值表示

此外数值还可以$a \cdot P^b$的形式表示，只有P值是予先规定的，如图1.2所示，将字分为尾数部a和指数（或阶数）部b的浮动小数点方式。若指数部的底P部为2，即P=2，当b=2时将小数点位置向右移动2位后的尾数部，即为$a \cdot P^b$的值，所以容易转换成图1.1(c)的数值表示形式。以这种方式表示数值，比固定小数点方式的优点是同样位数所能表达的数值范围大，有利于数值的计算。但运算变为复杂，计算时间也要增多。

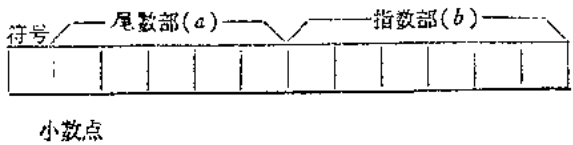

图 1.2 浮动小数点方式的数值表示法

1.4 文字和符号的表示方法

我们所使用的文字、数字和符号等等信息，在计算机中都是由0和1组合的代码表示的。为了便于在计算机之间进行这种信息的交换，因而必须使代码标准化，以国际标准化机构（ISO）

规定的8位代码做为基准，各国都进行了标准化工作，其中具有代表性的有：

（1）ASCII(阿斯克码：American Standard code for Information Interchange) 美国信息交换标准码

（2）JIS（吉斯：Japanese Industrial Standard）
日本工业标准

（3）EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code)　　扩充的二——十进制交换码

等等。

表 1.3　ASCII码表

b_6→				0	0	0	0	1	1	1	1
b_5→				0	0	1	1	0	0	1	1
b_4→				0	1	0	1	0	1	0	1
b_3↓	b_2↓	b_1↓	b_0↓	列↓ 行→ 0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	DEL	SP	0	@	P	`	p
0	0	0	1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	12	FF	FS	,	<	L	\	l	:
1	1	0	1	13	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0	14	SO	RS	.	>	N	↑	n	~
1	1	1	1	15	SI	US	/	?	O	-	o	DEL