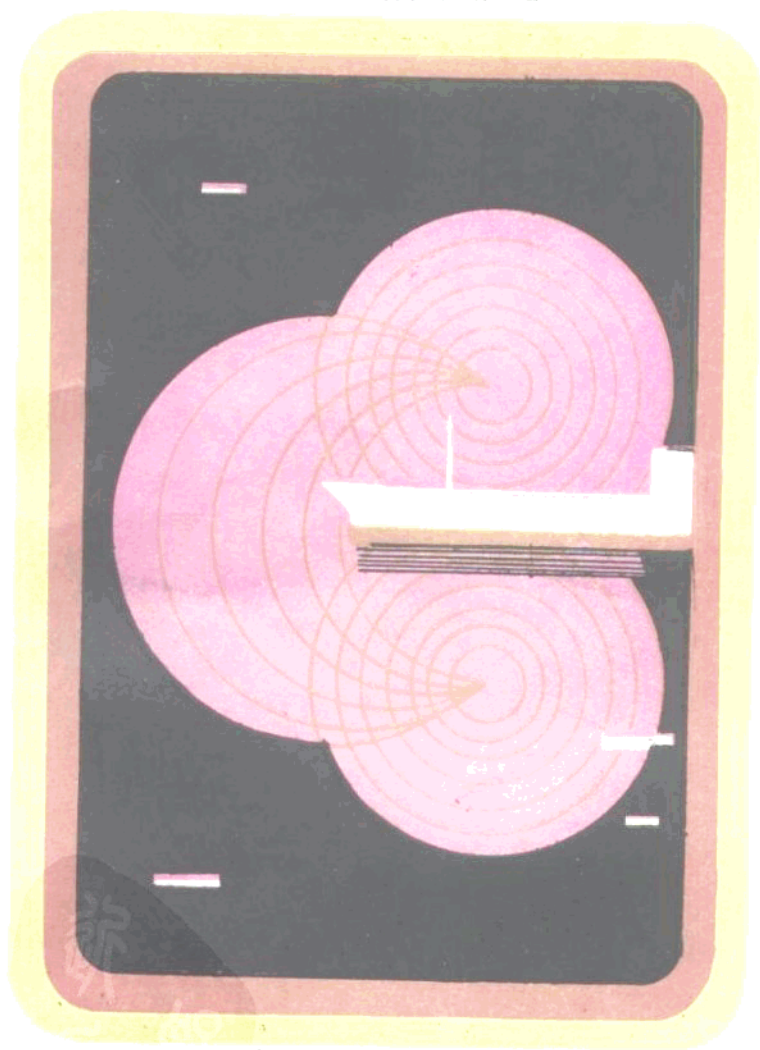


高等学校试用教材

造船数控设备

(造船工艺及设备专业用)

徐惠国 徐起超 吕新华 徐兆康 编



人民交通出版社

U66526

X75

264516

高等学校试用教材

造船数控设备

Zaochuan Shukong Shebei

(造船工艺及设备专业用)

徐惠国 涂起超 编
吕新华 徐兆康



人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分两篇。第一篇为数字电路基础，主要内容包括：数的表示方法，逻辑代数，基本单元电路（逻辑门和触发器），各种逻辑部件及脉冲的产生、整形、分频和同步等。第二篇为数字控制装置，其内容主要是在介绍数控装置的一般结构、分类和常用部件的基础上，分析“数控气刺机”和“数字—程序控制肋骨冷弯机”的逻辑线路和工作原理。

本书为高等学校造船工艺及设备专业的试用教材，亦可供中等专业学校师生和有关技术人员参考。

00182/03

高等学校试用教材

造船数控设备

（造船工艺及设备专业用）

徐惠国 涂起超 编
吕新华 徐兆康

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：22 字数：537 千

1986年6月 第1版

1986年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—800 册 定价：3.60元

编 者 的 话

《造船数控设备》经中国造船工业总公司船舶工程类教材编审组于1984年3月在武汉召开的会议评审，被定为全国高等学校船舶类专业试用教材。

本书主要介绍两方面的内容。一是数字电路基础知识：包括数的表示方法及运算，逻辑代数，基本单元电路（逻辑门和触发器），各种基本逻辑部件，脉冲的产生、整形、分频和同步。二是造船数控装置：在介绍数控装置的一般结构、分类和常用部件的基础上，重点剖析“数控气割机”和“数字—程序控制肋骨冷弯机”两个典型的造船数控设备。

全书紧紧围绕数控装置这个实体，系统地介绍数控基础知识，既有一定的理论深度，又能紧密结合实际。在内容上，以集成电路为主体，突出逻辑功能这个重点，并着力于逻辑设计和分析能力的培养。在文字上，力求做到思路清晰，概念清楚，语言精练，通俗易懂，便于自学。

本书不仅可作为船舶类专业教材使用，对其它专业学生学习数控技术也有参考价值，而且还可作为船厂有关专业技术人员的技术参考书。

本书由武汉水运工程学院船舶工程系造船工艺教研室徐惠国编写第一、二、三、四、五、六、七章，涂起超编写第八、九、十章，吕新华、徐兆康编写第十一章。编写中，郑绍春对本书的部分章节进行了校阅。本书由徐惠国负责主编，由镇江船舶学院颜本慈副教授负责主审，虞平良、黄联芳参加审稿。

由于我们水平有限，时间仓促，错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

第一篇 数字电路基础

第一章 数制和码制	1
第一节 进位计数制	1
第二节 二进制数的表示、运算及其特点	2
第三节 二进制数与十进制数的相互转换	4
一、二进制转换成十进制	4
二、十进制转换成二进制	4
第四节 原码、补码、反码及其加减法运算规则	7
一、机器数与真值	7
二、原码表示法	8
三、补码表示法	9
四、反码表示法	10
五、补码的求取和还原	11
六、补码的加减法运算	12
第五节 二—十进制编码	14
一、二—十进制编码	14
二、8421BCD码	14
三、余三代码	15
四、循环码	15
五、奇偶校验码	16
第二章 逻辑门电路	16
第一节 基本逻辑关系及逻辑门电路	16
一、逻辑关系及逻辑门电路	16
二、“逻辑与”和“与门电路”	17
三、“逻辑或”和“或门电路”	18
四、“逻辑非”和“非门电路”	20
五、射极跟随器	21
第二节 复合门电路	22
一、与非门电路	22
二、与或非门电路	23
第三节 集成门电路	23
一、TTL与非门电路	24
二、其它类型的TTL门电路	30
三、高阈值(HTL)门电路	34

第三章 逻辑代数	36
第一节 逻辑代数的基本公式	36
一、逻辑函数的“相等”	36
二、基本公式	37
三、逻辑代数运算的三个重要规则	38
四、一些基本公式的证明	40
第二节 逻辑表达式的代数法化简	42
一、各种类型的逻辑表达式	42
二、化简的原则和方法	43
三、一般表达式变换为与或表达式	43
四、化简与或表达式	44
五、最简与非—与非表达式	45
六、最简与或非表达式	46
七、最简或非—或非表达式	47
八、最简或与表达式	47
第三节 逻辑表达式的图解法——卡诺图法	48
一、逻辑函数的最小项表达式	48
二、卡诺图	50
三、用卡诺图化简逻辑表达式	52
四、各种类型化简式的读取	57
第四节 一些特殊逻辑函数的化简方法	58
一、多输入逻辑函数的化简——卡诺图边框的改进	58
二、多输出逻辑函数的化简——共用信号	59
三、反变量不存在时逻辑函数的化简——代替因子	62
四、具有约束的逻辑函数的化简——任意项的处理	66
第四章 组合逻辑电路和它组成的基本逻辑部件	68
第一节 组合逻辑电路	68
一、组合电路和时序电路	68
二、组合电路的设计	68
第二节 加法器	71
一、半加器 (HA)	72
二、全加器 (FA)	73
三、并行加法器	75
第三节 数字比较器	75
一、同比较器	75
二、大小比较器	76
三、中规模集成四位数码比较器	76
第四节 奇偶校验电路	79
第五节 译码电路	80
一、编码器	80

二、译码器	81
三、码制变换	84
第六节 控制门和选择器	85
一、基本逻辑门的控制作用	85
二、脉冲传送控制门	87
三、选择器	88
第七节 显示电路	89
一、辉光数码管显示	89
二、荧光数码管显示	93
第五章 触发器	96
第一节 基本 $R-S$ 触发器	96
一、组成	96
二、工作原理	96
三、逻辑功能	97
第二节 同步 $R-S$ 触发器	99
一、组成	99
二、工作原理和逻辑功能	99
三、空翻现象	100
第三节 D 触发器和维持—阻塞电路	101
一、 D 触发器的逻辑功能	101
二、维持—阻塞型 D 触发器	102
第四节 主从型 $J-K$ 触发器	103
一、主从型 $R-S$ 触发器	103
二、主从型 $J-K$ 触发器	104
第五节 T 、 T' 触发器	105
一、 T 触发器	105
二、 T' 触发器	106
第六节 不同类型触发器的相互转换	106
一、集成单元触发器	106
二、不同类型触发器的相互转换	107
第六章 时序电路和它组成的基本逻辑部件	109
第一节 寄存器	110
一、代码寄存器	110
二、移位寄存器	111
三、多功能寄存器	113
第二节 计数器	114
一、计数器的分类	114
二、二进制计数器	114
三、时序电路的基本概念	122
四、同步时序电路的设计方法	123

五、同步十进制计数器	127
六、异步时序电路的设计方法	136
七、异步十进制计数器	136
八、移位型计数器	141
第三节 时序脉冲发生器	143
第七章 脉冲波形的产生、整形、分频和同步	145
第一节 多谐振荡器	146
一、基本电路	146
二、RC 环形多谐振荡器	147
第二节 单稳态触发器	148
一、用 TTL 与非门组成的微分型单稳电路	148
二、单稳电路的主要参数	149
三、用 TTL 与非门组成的积分型单稳电路	151
第三节 施密特电路	152
一、基本电路及工作原理	152
二、电路的回差	153
三、带电平转移管的施密特电路	154
四、回差可以调节的施密特电路	154
第四节 分频电路	155
第五节 脉冲同步电路	156

第二篇 数字控制装置

第八章 数控装置的一般结构和分类	158
第一节 数控装置的特点和一般结构	158
一、什么是数控装置	158
二、数控装置的一般结构	159
第二节 数控装置的分类	160
一、按控制加工的轨迹分类	160
二、按控制方式分类	160
三、按插补方式分类	162
第九章 数控装置中的常用部件	164
第一节 纸带和读带机	168
一、纸带	168
二、读带机	169
第二节 常用伺服驱动元件	170
一、步进电机	170
二、电液脉冲马达	176
三、自整角机	177
第三节 常用检测元件	179
一、码盘	179

二、感应同步器	180
三、光栅检测元件	184
第四节 数—模及模—数转换电路	186
一、数—模(D/A)转换电路	187
二、模—数(A/D)转换电路	190
第十章 数控气割机	193
第一节 控制原理及程序编制	194
一、气割机的控制原理	194
二、程序格式	204
第二节 运算器	207
一、各种运算的实现	207
二、运算器的构成	213
第三节 控制器	219
一、主控制器	219
二、指令编码和控制信号	224
三、加工控制过程举例	229
四、走圆修改指令	231
第四节 输入装置	234
一、输入装置的作用和框图	234
二、纸带和编码规定	235
三、光电输入机	236
四、输入信号的处理	239
五、输入控制线路和输入过程	241
第五节 输入加工运算过程	247
第十一章 数字—程序控制肋骨冷弯机	255
第一节 船体肋骨成形加工的控制原理	255
一、弦线测量法肋骨成形原理	256
二、逐步逼近弯曲法处理回弹	257
三、补偿法消除加工积累误差	260
第二节 总体介绍	260
一、功能	260
二、机械部分简介	261
三、控制部分介绍	262
第三节 程序控制器	267
一、功能	267
二、程序控制流程框图	268
三、程序控制电平及程序的转换	268
第四节 运算器	274
一、运算内容和运算表	274
二、各种运算的具体实现	280

三、运算器的构成	282
第五节 运算控制器	292
一、运算控制器的功能	292
二、运算控制器的构成和框图	293
三、时钟脉冲源	293
四、时序脉冲产生器	294
五、运算的启、停控制	295
六、检测脉冲计数运算的分配和加減 1 控制	297
第六节 加工控制器	299
一、功能和组成	299
二、加工开关 K_{IG}	300
三、计时电路	301
四、加工控制信号	302
五、加工程序的转程(结束)信号	305
六、加工控制信号的输出及与执行机构的连接	305
第七节 偏差判别和精度控制	306
一、检零电路	306
二、精度控制和合格判别	308
三、过弯的处理	309
第八节 输入装置	312
一、纸带编码及指令格式	313
二、光电输入机	314
三、信息的读入	315
四、信息的处理	318
五、输入过程分析	322
第九节 位置检测装置	323
一、MCZ-1型光电脉冲发生器	323
二、光电编码器	326
第十节 控制面板	328
一、控制按钮及其功能	328
二、信号显示	330
三、总清与程清	330
第十一节 输入、运算和加工过程举例	331
一、加工前的准备 (P_0)	331
二、输入 (P_1)	331
三、相对进料长度 ΔL_1 的补偿运算 (P_2)	333
四、进料 (P_3)	333
五、水平弯曲控制参量 θ_1 的补偿运算 (P_4)	334
六、正位 (P_5)	334
七、夹紧 (P_6)	334

八、水平弯曲偏差值计算 (P_7)325

九、判别 (P_8')335

十、水平弯曲循环.....336

十一、垂向弯曲循环.....337

第一篇 数字电路基础

第一章 数制和码制

数控装置中, 选择什么样的数制表示数, 对机器的结构和性能有着很大的影响。数控装置中常用的数有二进制、八进制等。本章重点叙述二进制的表示、特点及二进制数与十进制数的换算; 机器中数码的实际表示法和运算规则; 二—十进制编码等。

第一节 进位计数制

远古时代, 人们计数采用的是无位权计数法。这种计数方法的特点是数码表示数的数值大小与数码所处的位置无关。在这种表示方法中, 多大数值的数就要用多少个数码, 显然是太麻烦了。

现代普遍采用的进位计数制则属于有位权计数法。以广泛使用的十进制为例, 它是用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个有限的数码组合起来表示一个数。它的特点是每个数码处在不同位置(个、十、百、千……等不同数位)时所代表的数值是不同的。

例如, 十进制数 465.78 代表着:

$$465.78 = 4 \times (10)^2 + 6 \times (10)^1 + 5 \times (10)^0 + 7 \times (10)^{-1} + 8 \times (10)^{-2}$$

这个式子称为十进制数的按权展开式。一个任意的十进制数 D 都可表示为:

$$\begin{aligned} D &= K_n \times (10)^n + K_{n-1} \times (10)^{n-1} + \dots + K_1 \times (10)^1 \\ &\quad + K_0 \times (10)^0 + K_{-1} \times (10)^{-1} + \dots + K_{-m} \times (10)^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n K_i \times (10)^i \end{aligned} \quad (1-1-1)$$

式中, K_i 可以是 0、1、2、……、9 十个数码中的任意一个, n 和 m 为正整数。括号内的 10 称为进位计数制的基数。

某种进位计数制的基数是它可能用的数码个数, 且每一数位计满到基数后就向高位进一。十进制数可以使用十种数码, 计数是‘逢十进一’, 故称十进制。

进位计数制中, 数码处在不同数位时所代表的数值大小不同。上式中, $(10)^n$ 、 $(10)^{n-1}$ 、……、 $(10)^1$ 、 $(10)^0$ 、…… $(10)^{-1}$ …… $(10)^{-m}$ 被称为十进制数中各位的“权”。

十进制不是唯一的进位计数制。计时和测角采用六十进制, 翔老秤计重采用十六进制。而数控装置中广泛采用的是二进制和八进制。

凡进位计数制数都可表示为按权展开式:

$$\begin{aligned} D &= K_n \times (J)^n + K_{n-1} \times (J)^{n-1} + \dots + K_1 \times (J)^1 \\ &\quad + K_0 \times (J)^0 + K_{-1} \times (J)^{-1} + \dots + K_{-m} \times (J)^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n K_i \times (J)^i \end{aligned} \quad (1-1-2)$$

式(1-1-2)和(1-1-1)不同的是, 基数 J 不一定是十, 它可以是等于或大于二的任意正整数。对于基数为 J 的进位计数制数, 其按权展开式中的 K_i 可以是 $0, 1, 2, \dots, (J-1)$ 中的任意一个数码, 它在计数进位时, “逢 J 进一”。

例如, 基数 $J=8$, 那就是八进制, 每位能取用的数码是 $0, 1, 2, \dots, 7$ 中的任意一个, 而且计数进位时是“逢八进一”。

由进位计数制数的按权展开式还可以发现一个普遍规律: 它们各数位的“权”值自右至左其相邻两位, 高位是低位的 J 倍。这一规律对进位计数制数的运算是很有用的。

第二节 二进制数的表示、运算及其特点

数控装置中, 广泛采用的是二进制数。二进制的基数是二, 它只能用“0”和“1”两个数码, 进位时“逢二进一”。

显然, 用一位二进制数只能表示“0”和“1”两个数值。用二进制数表示十进制的“2”, 就得用两位。即 $(2)_{10} = (10)_2$ (括号外右下角的注脚表示采用的进位计数制的基数)。这就是说, 二进制中的“10”已不是十进制的“十”, 而是“二”。

一个二进制数 $(K_n K_{n-1} \dots K_1 K_0 . K_{-1} \dots K_{-m})_2$ 的按权展开式为:

$$(K_n K_{n-1} \dots K_1 K_0 . K_{-1} \dots K_{-m})_2$$

$$= K_n \times (2)^n + K_{n-1} \times (2)^{n-1} + \dots + K_1 \times (2)^1 + K_0 \times (2)^0 + K_{-1} \times (2)^{-1} + \dots + K_{-m} \times (2)^{-m} \quad (1-2-1)$$

例如 $(101.1)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = (5.5)_{10}$

这就是说, 十进制数5.5在二进制中是用101.1表示的。

二进制数各位的“权”、除个位 2^0 仍代表本身数值外, 从个位向左的高位依次为 $2^1, 2^2, \dots, 2^n$; 而从个位向右的低位依次为 $2^{-1}, 2^{-2}, \dots, 2^{-m}$ 。即各数位的数值, 自右至左每位为其相邻低位的二倍。

在表1-1-1中, 对几个简单数字的十进制数和二进制数作了对照。

十进制数与二进制数对照表

表1-1-1

十 进 制		二 进 制	十 进 制		二 进 制	十 进 制		二 进 制
0		0	8	2^3	1000	16	2^4	10000
1	2^0	01	9		1001	32	2^5	100000
2	2^1	10	10		1010	64	2^6	1000000
3		11	11		1011	0.5	2^{-1}	0.1
4	2^2	100	12		1100	0.25	2^{-2}	0.01
5		101	13		1101	0.125	2^{-3}	0.001
6		110	14		1110	0.0625	2^{-4}	0.0001
7		111	15		1111			

由表可见, 在二进制中, 二位数只能表示 $0 \sim 3$ 四个数; 而三位数只能表示 $0 \sim 7$ 八个数。一般而言, 一个 K 位二进制数, 约等于 $\frac{K}{3}$ 位的十进制数 (粗略而言, 某数用二进制

表示所需位数约为用十进制表示所需位数的 3 倍。例如，一数 N ，可近似写成 2^n 和 10^m 。

即 $N = 2^n = 10^m$ ，则 $m = n \lg 2$ ，故 $\frac{n}{m} = \frac{1}{\lg 2} \doteq 3$ ，也即 $n \doteq 3m$ 。

既然一个数采用二进制表示需用位数比采用十进制时多，而且看起来也不习惯，那么数控装置为什么不采用已为人们熟悉的十进制，而要采用二进制呢？这是因为在数控装置中采用二进制有许多好处。

第一、运算操作简便

二进制数的运算法则最简单。

加法法则

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10$$

乘法法则

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

可见，二进制运算只需记住三个“和”与“积”的运算规律就可以了。但对于十进制运算则必须记住 $10 \times \frac{10+1}{2} = 55$ 个“和”与“积”的运算规律。由于二进制运算法则简单，采用二进制的机器，其结构和控制线路就可大为简化。

下面通过一实例来进一步熟悉多位二进制的运算。不过要注意：减法和除法分别是加法和乘法的逆运算。对加法 $1+1=10$ ，即“逢二进一”；对减法，当某位被减数小于减数时，要向相邻高位借 1，如 $10-1=1$ 即“借一当二”。

例如 加法

$$\begin{array}{r} 1110 \\ + 1011 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11001 \\ \hline \end{array}$$

乘法

$$\begin{array}{r} 1101 \\ \times 101 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ 0000 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ 0000 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ 0000 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ 0000 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ 0000 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ 0000 \\ \hline \end{array}$$

减法

$$\begin{array}{r} 1011 \\ - 101 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ - 101 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ - 101 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ - 101 \\ \hline \end{array}$$

除法

$$\begin{array}{r} 101 \text{ 一商} \\ 1001 \overline{) 110100} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1001 \\ 1001 \overline{) 110100} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1001 \\ 1001 \overline{) 110100} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1001 \\ 1001 \overline{) 110100} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1001 \\ 1001 \overline{) 110100} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1001 \\ 1001 \overline{) 110100} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1001 \\ 1001 \overline{) 110100} \\ \hline \end{array}$$

1.11 一余数

作为一个特例，正象十进制数中乘“十”只需在原数后面添一个“零”一样，对二进制数乘“二”也只需在原数后面添一个“零”。类似地，二进制数如乘以“ $2^2=4$ ”，只需在原数后面添两个“零”。

例如

$$(3)_2 = (11)_2$$

$$(3 \times 2)_2 = (110)_2$$

$$(3 \times 2^2)_2 = (1100)_2$$

第二、机器表示二进制数的物理方法容易实现

二进制数只用到两个不同的数码“0”和“1”。任何具有两个稳定状态的元件（简称双稳元件）都可用来表示二进制的一位数码。如氖灯的亮和灭、继电器的通和断、电平的高和低、晶体管的饱和和截止……均可用来表示二进制的两个不同数码。同时，采用二进制数，数的贮存和传送也可采用最简单、最可靠的方式来进行，抗干扰性能也较好。

第三、采用二进制可以节省设备

用十进制表示一个数虽然用的位数较少，但想找到一个具有十个稳态的元件来表示一位十进制数是不容易的。事实上，机器即使采用十进制，仍需使用双稳态元件。而要表示一位十进制数的十个数码，至少需用四个双稳态元件。这就是说，四个双稳态元件可以表达十进制的十个数，但是却可表达二进制的十六个数。从这个意义上讲，采用二进制比采用十进制节省设备。

第四、采用二进制还可以使用逻辑代数这一数学工具来分析、综合数控装置中的数字电路，这为设计和分析数控装置提供了方便。

正因为二进制具有这些优点，因而在数控装置中普遍使用的是二进制，而不是十进制。因为人们习惯的是十进制，二进制数毕竟太长，念起来不太方便。故一般输入机器的原始数据和输出显示的结果仍采用十进制。这样，机器工作时首先要把输入的十进制数“翻译”成二进制数（俗称“十翻二”）再进行运算；而运算完毕后又必须把它还原成十进制数（俗称“二翻十”）才能将它显示出来。这就存在一个二进制数和十进制数互相转换的问题。

第三节 二进制数与十进制数的相互转换

一、二进制转换成十进制

将一个二进制数写成按权展开式然后相加，即可得到相应的十进制数。这个过程叫二进制转换成十进制，简称“二翻十”。

$$\begin{aligned}\text{例1-3-1 } (1101.01)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 4 + 1 + 0.25 \\ &= (13.25)_{10}\end{aligned}$$

二、十进制转换成二进制

将十进制数转换成二进制数叫二进制转换，简称“十翻二”。要将十进制数转换成二进制数有多种方法。

1. 除2取余数法（乘2取整数法）

例1-3-2 将十进制数213换算为二进制数。

设 $(213)_{10} = (K_n K_{n-1} \dots K_1 K_0)_2$

为确定系数 $K_n, K_{n-1}, \dots, K_1, K_0$ ，可先将它展开为按权展开式：

$$\begin{aligned}(213)_{10} &= K_n \cdot 2^n + K_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + K_1 \cdot 2^1 + K_0 \cdot 2^0 \\ &= 2(K_n \cdot 2^{n-1} + K_{n-1} \cdot 2^{n-2} + \dots + K_1) + K_0\end{aligned}$$

将此式两边同除以2，可得

$$106 + \frac{1}{2} = K_n \cdot 2^{n-1} + K_{n-1} \cdot 2^{n-2} + \dots + K_1 + \frac{K_0}{2}$$

由于等式两边相等，其整数部分和分数部分必对应相等。故有

$$\frac{K_0}{2} = \frac{1}{2}, \quad \text{即 } K_0 = 1$$

也就是说, K_0 正好等于 213 被 2 除所得的余数。

同时还有: $106 = K_n \cdot 2^{n-1} + K_{n-1} \cdot 2^{n-2} + \dots + K_1$

对此式两边同时再除以 2, 又可得 106 的余数, 即 $K_1 = 0$ 。

用同样方法继续做下去可得 $K_2, K_3, \dots, K_n$ 各值。现将整个过程及计算结果列出:

2	213	余数 = 1 = K_0	低位
2	106	余数 = 0 = K_1	
2	53	余数 = 1 = K_2	
2	26	余数 = 0 = K_3	
2	13	余数 = 1 = K_4	
2	6	余数 = 0 = K_5	
2	3	余数 = 1 = K_6	
2	1	余数 = 1 = K_7	
	0		高位

故 $(213)_+ = (K_7 K_6 K_5 K_4 K_3 K_2 K_1 K_0)_- =$

$= (11010101)_- =$

例 1-3-3 将十进制小数 0.6875 换算为二进制小数。

设 $(0.6875)_+ = (0.K_{-1}K_{-2}\dots K_{-m})_-$

为确定 $K_{-1}, K_{-2}, \dots, K_{-m}$ 等系数的值, 可不断对等式两边同时乘 2。

由 $(0.6875)_+ = (K_{-1} \cdot 2^{-1} + K_{-2} \cdot 2^{-2} + \dots + K_{-m} \cdot 2^{-m})_-$

对等式两边同时乘 2 可得:

$$1.3750 = K_{-1} + K_{-2} \cdot 2^{-1} + K_{-3} \cdot 2^{-2} + \dots + K_{-m} \cdot 2^{-m+1}$$

则可得 $K_{-1} = 1$

和 $0.3750 = K_{-2} \cdot 2^{-1} + K_{-3} \cdot 2^{-2} + \dots + K_{-m} \cdot 2^{-m+1}$

再对上式两边同时乘 2 可得:

$$0.7500 = K_{-2} + K_{-3} \cdot 2^{-1} + K_{-4} \cdot 2^{-2} + \dots + K_{-m} \cdot 2^{-m+2}$$

则又可得 $K_{-2} = 0$

和 $0.7500 = K_{-3} \cdot 2^{-1} + K_{-4} \cdot 2^{-2} + \dots + K_{-m} \cdot 2^{-m+2}$

.....

继续按此法做下去, 可得 $K_{-1}, K_{-2}, \dots, K_{-m}$ 各系数的值, 其整个运算过程及运算结果如下:

0.6875	
× 2	
1.3750	整数部分 = 1 = K_{-1}
× 2	
0.7500	整数部分 = 0 = K_{-2}
× 2	
1.5000	整数部分 = 1 = K_{-3}
× 2	
1.0000	整数部分 = 1 = K_{-4}

高位

低位

故 $(0.6875)_{10} = (0.K_{-1}K_{-2}K_{-3}K_{-4})_2 = (0.1011)_2$

由上述二例可把用此法将十进制数换算为二进制数的步骤归纳如下:

1) 十进制整数转换为二进制整数

可不断用 2 除之, 直至所得的商是 0 为止。每次相除所得的余数, 依次为所求二进制数由低至高的各位数码。

2) 十进制小数转换为二进制小数

可对其小数部分不断乘 2, 直至所得之积的小数部分是 0 为止。每次相乘之积的整数部分, 依次为所求二进制数由高至低的各位数码。

但要注意, 乘 2 过程会出现不断乘下去, 无法使小数部分是零的情况。此时, 考虑到机器字长的限制, 可取适当位数的近似值作为换算的结果。

3) 如要转换的十进制数同时含有整数和小数两部分, 则可将它们分别转换, 然后相加。

例如 $(2.25)_{10} = (2)_{10} + (0.25)_{10} = (10)_2 + (0.01)_2 = (10.01)_2$

2. 比较扣除法

实际上, 如果能较熟练地记住二进制各位的权值, 则采用比较扣除法可以更简捷地将一个十进制数转换为二进制数。

所谓比较扣除法, 即把欲转换的十进制数与二进制的由高至低各位的“权值” $2^n, 2^{n-1}, \dots, 2^2, 2, 1, 2^{-1}, 2^{-2}, \dots$ 逐位进行比较加以扣除, 直至比较扣除到差值等于零为止, 然后将每次扣除的值相加, 即是其按权展开式, 由按权展开式就可较方便地得到欲转换的二进制数。

例 1-3-4 将十进制数 53 转换为二进制数。

比较 $64 > 53 > 32$

扣除 $-32 \rightarrow 2^5 \rightarrow K_5 = 1$

比较 $32 > 21 > 16$

扣除 $-16 \rightarrow 2^4 \rightarrow K_4 = 1$

比较 $8 > 5 > 4$

扣除 $-4 \rightarrow 2^2 \rightarrow K_2 = 1$

$K_3 = 0$