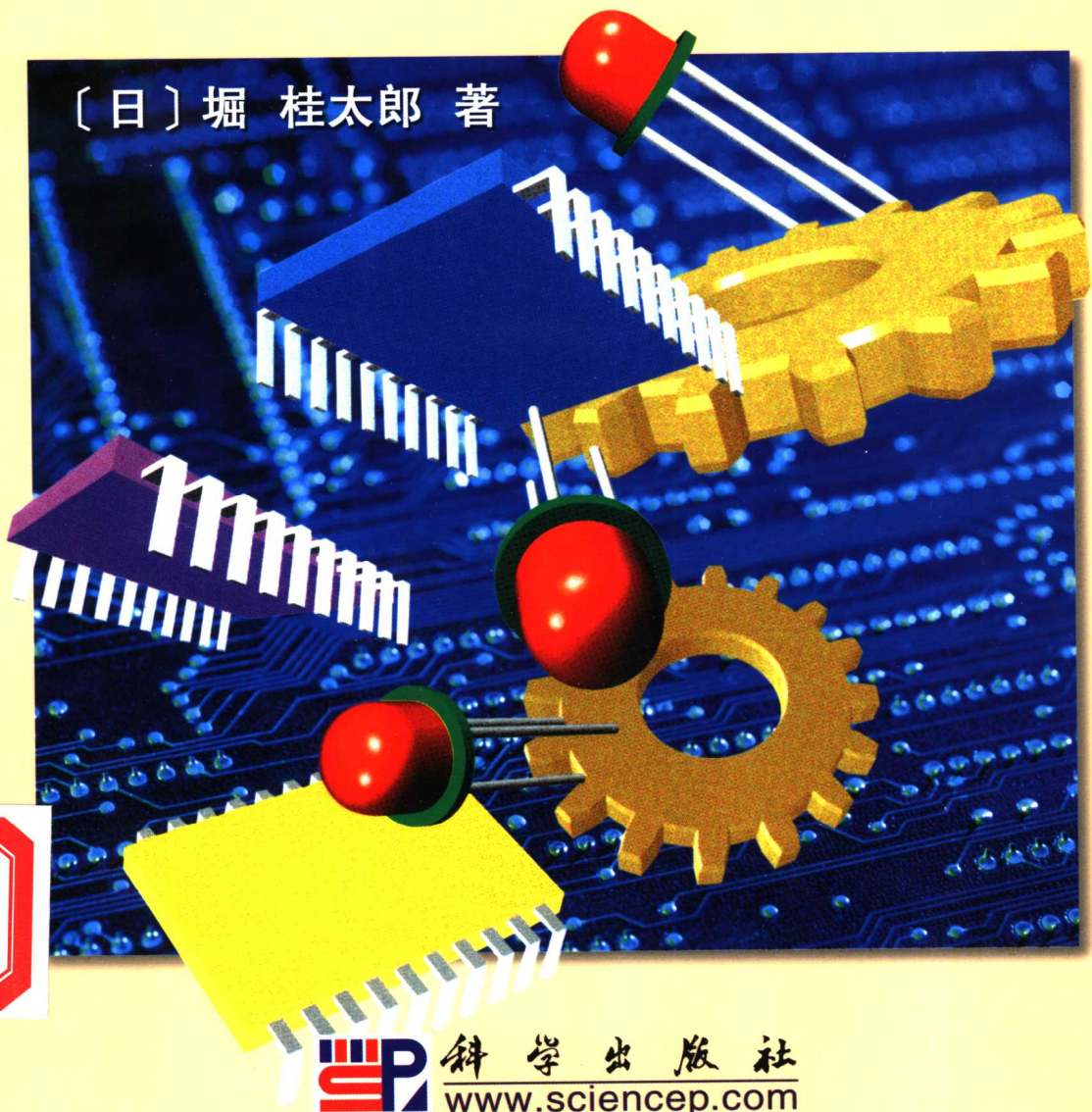


OHM 电子爱好者读物

数字电路入门

〔日〕堀 桂太郎 著



科学出版社

www.sciencep.com

OHM电子爱好者读物

数字电路入门

〔日〕堀 桂太郎 著
何希才 译

科学出版社
北京

图字：01-2003-0408 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Digital Kairo Nyumon Beginner
By Keitarou Hori
Copyright © 1998 by Keitarou Hori
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Under license from Ohmsha, Ltd.
Copyright © 2003
All rights reserved

初めて学ぶ
デジタル回路入門ビギナー教室
堀 桂太郎 オーム社 1998

图书在版编目(CIP)数据

数字电路入门/(日)堀 桂太郎著;何希才译. --北京:科学出版社,2003
(OHM 电子爱好者读物)

ISBN 7-03-011019-6

I. 数… II. ①堀…②何… III. 数字电路-基本知识 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 104935 号

责任编辑 崔炳哲 责任制作 魏 谨
责任印制 刘士平 封面设计 李 力

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003 年 5 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003 年 5 月第一次印刷 印张: 12 1/4

印数: 1—5 000 字数: 198 000

定 价: 20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

著者简介

堀 桂太郎

国立明石工业高等专科学校电气信息工学科副教授、工学博士

主要著作

《初めて学ぶ:C言語マスターブック》

《初めて学ぶ: Visual Basic 入門早わかり》

《初めて学ぶ: Java 入門早わかり》

以上由オーム社出版

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载,或用复印机进行复制或在其他场合引用,以及录入电子设备等行为,均属侵害著作权,构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时,必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编部

电话:010-64012994 传真:010-64019810

读者服务部:010-64017892 010-64000246

邮政编码:100717 地址:北京市东黄城根北街16号

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司

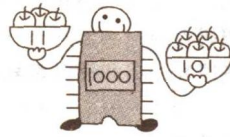
编辑部电话:010-82857401

促销部电话:010-82843276 转 219,220 传真:010-82842304

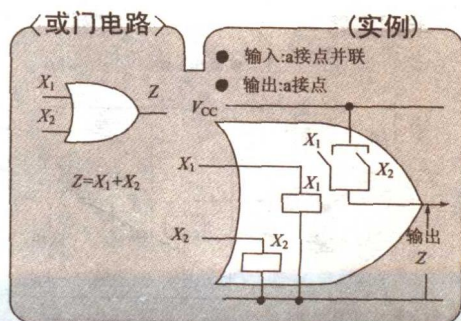
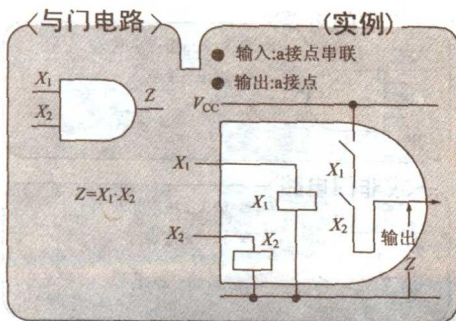
邮政编码:100029 地址:北京市朝阳区华严北里11号楼3层

<http://www.okbook.com.cn>

目 录



第 1 章	数字电路的基础理论	1
	1. 数字方式与模拟方式	2
	2. 二进制数	7
	3. 基本门电路(1)	13
	4. 基本门电路(2)	18
	5. 逻辑函数表达式	23
	6. 文氏(Venn)图	28
	7. 卡诺图	33
	8. 逻辑电路的设计	38
	9. 实 践	44
Q 挑战题	49	
第 2 章	数字集成电路	51
	1. TTL 与 C-MOS	52
	2. 使用集成电路注意事项(1)	57
	3. 使用集成电路注意事项(2)	62
	4. 接口功能	67
	5. 规格表的使用	72
	6. 实 践	77
Q 挑战题	82	



第3章 运算电路 83



1. 加法电路	84
2. 减法电路	89
3. 乘法和除法电路	94
4. 编码器与译码器	99
5. 多路复用器和反多路复用器	104
6. 实 践	109
Q 挑战题	115

第4章 脉冲电路 116



1. 多谐振荡器(1)	117
2. 多谐振荡器(2)	122
3. 施密特触发器	127
4. 实 践	132
Q 挑战题	137

第5章 存储器电路 138

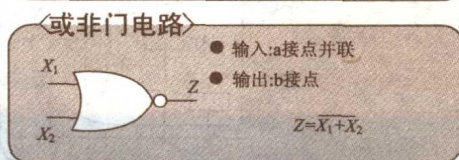
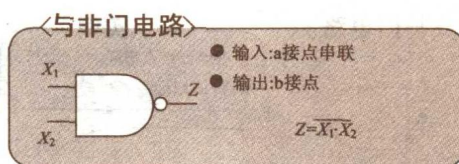
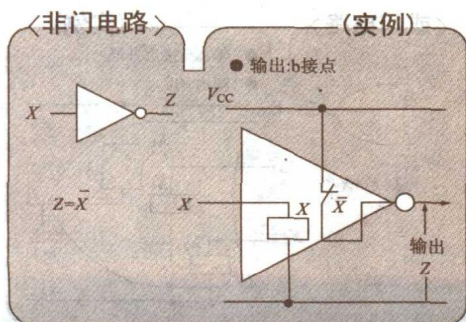


1. RS 触发器	139
2. 各种类型的触发器	144
3. 移位寄存器	149
4. 实 践	154
Q 挑战题	160

第6章 计数器电路 161



1. 计数器结构	162
2. 异步 n 进制计数器	167
3. 同步 n 进制计数器	172
4. 各种计数器	177
5. 实 践	182
Q 挑战题	187



数字电路的基础理论



博士



小明



小丽

本章学习目的

学习数字电路有应掌握的最基本的基础理论,若跳过它,从各种最基本的电路开始学习,这当然也是一种学习方法。然而,需要对书中提供的电路稍加修改,或者如果电路不按预定方式工作时,就要用到基础理论方面的知识。

对于功能相同的电路,可以考虑用几种方案来实现。这时,若有扎实的基础理论,就可以选用最简单并最经济的电路。

数字电路的基础理论乍看起来是那么复杂,若跳过它学习电路,开始虽能学到一些关于电路方面的知识,但终究还要回过头来学习基础理论。

学习数字电路的理论基础重要的是理解二进制数、真值表和逻辑函数表达式,还要搞清楚有关逻辑函数表达式的一些知识,如德·摩根定律和卡诺图等。

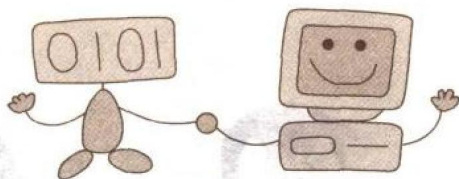
数字电路中有意思非常清楚的0或1,换句话说,若遵守一定规则,0或1都有明确的意思。

本章简单介绍学习数字电路必要的基础理论。学习理论与数学表达式是非常棘手的!但不用担心,小明和小丽会帮助你轻松上阵,一起开始学习吧。

1

数字方式与模拟方式

充分了解数字方式的优点

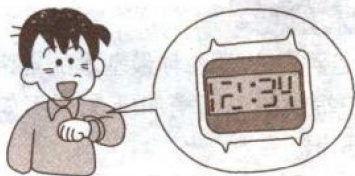


当今世界将进入数字时代

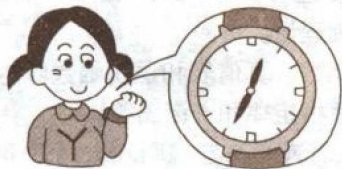
数字钟表与模拟钟表

博士 你的手表是数字式还是模拟式？

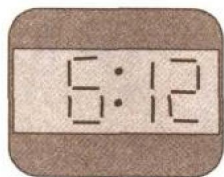
小明 我的手表是数字式。



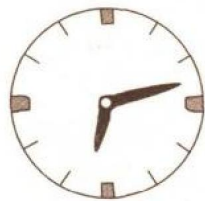
小丽 我的手表是模拟式。



博士 用数字直接显示时间的是数字式，而用指针指定时间的是模拟式。那么，若要知道现在的时间是几点几分，请看数字钟表和模拟钟表显示的状态。



数字钟表



模拟钟表

小明 我的数字表显示现在的时间是6点12分。

小丽 我的模拟表指示现在的时间是6点12分与13分之间。

博士 数字钟表先显示6点12分，后显示6点13分，没有中间状态。此例中，所谓数字式是断续跳跃式显示时间，而模拟式是连续指示时间。

盒式磁带和光盘

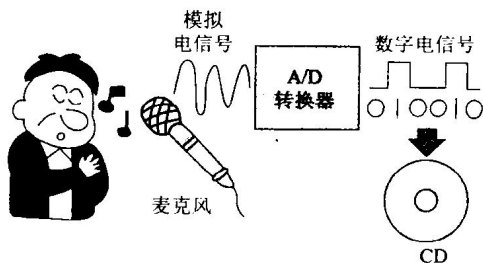
博士 现看一下在盒式磁带中录制的音乐。

歌手的歌声变成在空气中传播的模拟信号。该歌声通过麦克风变换为模拟电信号，再经过磁头录制到盒式磁带上。

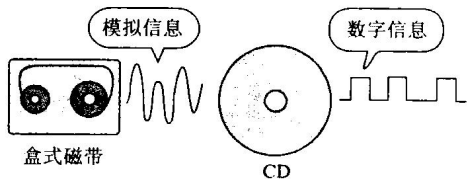


小明 也就是说，音乐以模拟的形式把信息记录在盒式磁带上。

博士 是的，昔日的录音机也是这样。现看一下光盘 CD 的情况，在歌手的歌声通过麦克风变换为模拟电信号之前的过程与上述一样，而 CD 是要将该模拟信号变换为数字信号（仅由 0 与 1 组成的信号）后再记录到 CD 上。



也就是说，音乐以数字形式的信息被记录在 CD 上。



所谓数字信号仅是由 0 与 1 两种数据组成的信号。

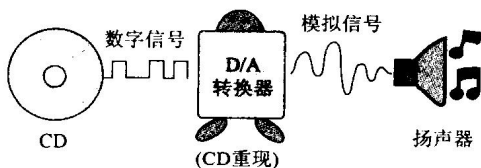
小丽 模拟信号能变换为数字信号吗？

博士 能，模拟信号变换为数

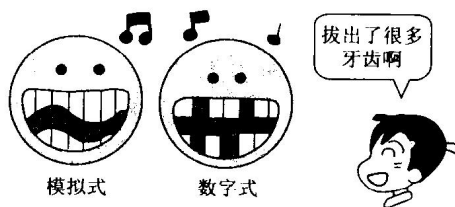
字信号的电路称为 A/D 转换器，而数字信号变换为模拟信号的电路称为 D/A 转换器，现有各式各样的电路方案。



音乐记录到 CD 上时，使用 A/D 转换器，反之，将记录在 CD 上的音乐重现时使用 D/A 转换器。



小明 歌手的歌声原来是连续的模拟信号，若将它变换为 0 与 1 组成的断续数字信号，能否将最初的平滑声音数据变换为完整的形式呢？

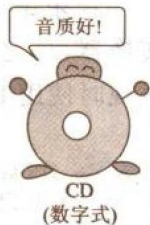


博士 这不用担心，模拟信号变换为数字信号，完全能重现原来的数据，这有理论根据，即采样定理。



小丽 数字方式与模拟方式有哪些不同呢？各有哪些优缺点呢？

博士 两种方式各有所长，例如，音乐以模拟信号记录在盒式磁带上，录音与放音的电路简单，但音质不如数字方式。



反之，音乐以数字信号记录在 CD 上，放音时需要 D/A 转换器等，电路复杂，但与模拟方式相比，可以欣赏到高品质的音乐。

小明 为什么数字方式的音质好呢？

博士 现说一下数字方式的优点。

经常听到噪声的术语，人们周围到处都有噪声。用麦克风将声音信号转换为模拟电信号时，周围有微弱的噪声，例如，身体动作的声音及空气流动的声音等，完全避开是不可能的。还有，麦克风本身以及放大电信号的晶体管内部都会产生噪声。



由于这些噪声的影响，原来的信号失去了本来面目。另外，信号在电路中传播时，导线的电阻减弱了传播的信号，这称之为损耗。尤其模拟信号容易受到噪声与损耗的影响。

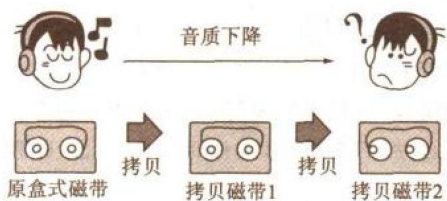


然而，对于 0 与 1 组成的数字信号，受噪声与损耗的影响，无非是 0 信号变为 1，或 1 信号变为 0，无关紧要，也就是说，与模拟信号相比，数字信号对噪声与损耗的影响有较强的承受能力。

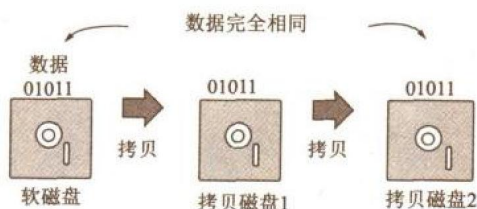


小丽 音乐盒式磁带若连续经过多次拷贝，音质逐渐下降，这就是噪声与损耗影响所致。

1 数字方式与模拟方式



小明 然而，数字方式的信息经过多次拷贝，也不会改变原来的音质。

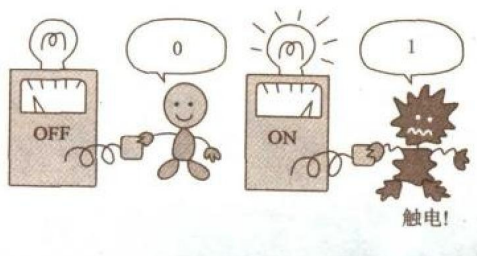


计算机与数字信号

博士 计算机进行信息处理时使用数字信号。数字信号领域中只有0与1两种形式的信号。



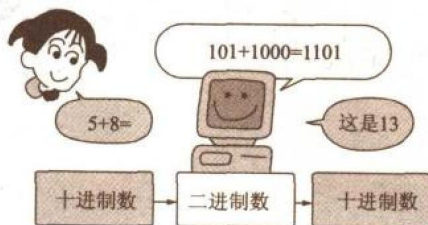
无电压的状态是0，有电压的状态是1，由此区分这两种状态。



人们日常生活中使用“0,1,2,3,4,5,6,7,8,9”十个数字，称为十进制数。而在数字领域，使用“0,1”两个数字，称为二进制数。计算机使用二进制数进行信息处理。

小丽 在只有0与1的数字领域里，为什么能进行普通的计算呢？例如， $5+8=13$ 。

博士 计算机只能进行二进制数的计算，因此，输入十进制的数要变换为二进制数，然后再进行计算，最后将计算结果变换为十进制数并输出。



小明 唉！真麻烦。

不能原样进行十进制的计算吗？

如果只是区别电压的有无状态，就是二进制，但若令无电压的状态为0，电压1V的状态为1，电压2V的状态为2，以下同样，电压9V的状态为9，以此也可构成十进制数。

0	0V	5	5V
1	1V	6	6V
2	2V	7	7V
3	3V	8	8V
4	4V	9	9V

用十进制数？

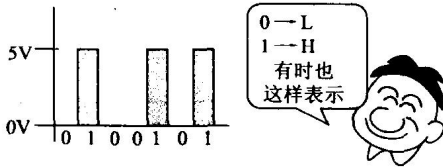


博士 想法不错。道理上讲小明的想法确是对的，但是，各状态只差

// 第1章 数字电路的基础理论

1V,由于噪声与损耗的影响,准确稳定地区分这十种状态是不可能的。因此,有人会提出将各状态的电压差值增大,不就可以对高电压进行处理了吗?但这样不能构成实用的电路。另外,区分十种状态的电路比区分两种状态的电路要复杂得多。

据此理由,在数字领域只能采用0与1的二进制数。在通常的电路中,电压0V的状态设为0(或低电平L),电压5V的状态设为1(或高电平H)。



练习题

问题1 数字信号与模拟信号有哪些不同?

问题2 计算机软盘上记录的数据经过多次拷贝,仍然不变质,忠实地保持原状态,原因何在?

解答

1. 数字信号是0与1的断续信号,而模拟信号是多值的连续信号。
2. 软盘上的数据是数字信号,抗噪声与损耗的能力强。

2 二进制数

要习惯0与1的领域



二进制数表示法

博士 若二进制数计作 0, 1, 加上 1 再进位就变成 10 的数法。这时, 10 不能读作“十”, 若读作“十”就是 10 进制数的十。二进制数应读作“一, 零”。

小明 只知道读法, 见到数字还不能区分是几进制数。

博士 为了知道是几进制数, 采用以下规则:

$(1011)_2$ ← 表示二进制数

$(127)_{16}$ ← 表示十六进制数

1011 ← 表示十进制数

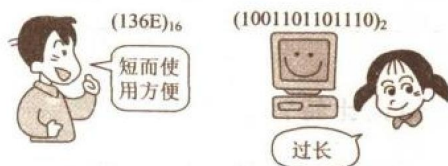
1011B ← 因为, 二进制数英文为 Binary, 所以, 数字后面加上首字母 B。

156H ← 表示十六进制数, 英文为 Hexadecimal, 所以, 数字后面加上首字母 H。

二进制数与十六进制数

博士 例如, 十进制数 138, 转换为二进制数时为 10001010。138 用二进制数表示就这么长, 所以, 对于更大的数只要用 0 与 1 排列起来即可。当然, 二进制数是数字电路中基本数制, 人们之间交换信息时, 若使用这么长的二进制数非常麻烦, 也是出错的主要原因。

另外, 用十六进制数可简单地表示长长的二进制数, 因此在计算机的电路中也经常采用十六进制数。



小明 二进制数使用 0 与 1 的数字, 而十进制数使用 0 到 9 的数字,

第1章 数字电路的基础理论

那么,十六进制数使用哪些数字呢?

博士 十六进制数需要从0开始,0,1,2,3,...等16种数字。然而,最高数字只到9,9以后的数字可用英文字母代替。

0 5 A
1 6 B
2 7 C
3 8 D
4 9 E

使用英文字母



小丽 也就是说,对于十六进制数,F的后面应是10,读作“一零”。

博士 是这样!各进制数的对照表如下所示:

十进制数	二进制数	十六进制数
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10
17	10001	11

何谓比特?

小明 比特是什么意思?

博士 比特就是位(bit)的意思。例如,1比特就是1位,因此,可看作是一个方形板。在二进制数字领域

只有0与1两个数字,因此,进入这方形板中的数字要么是0,要么是1,也就是说,用1比特可表示2种形式的信息。



小丽 若是2比特,可考虑方形板为2个,能表示4种形式的信息。

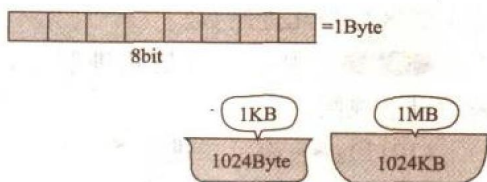
博士 某比特数可表示多少种形式的信息呢?通过下面的计算可知:

2^{比特}

(例)3 比特

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$$

另外,8比特称为1字节(Byte),1024字节称为1千字节(KB),1024千字节称为1兆字节(MB)。



二进制数的运算

博士 数的表示方法已非常清楚了,这里,练习二进制数的简单运算,先练习加法运算。

问题1

试做下列二进制数的加法运算:

$$1011 + 1110$$

解答

$$\begin{array}{r} 1011 \\ +) 1110 \\ \hline 11001 \end{array}$$

↑ 进位

小明 不习惯,1+1 习惯上应等于 2;若专心运算,也还算简单。

问题 2

试做下列二进制数的减法运算:

$$1110 - 1011$$

解答

$$\begin{array}{r} \overset{\text{借位}}{1}110 \\ -) 1011 \\ \hline 0011 \end{array}$$

问题 3

试做下列二进制数的乘法运算:

$$1110 \times 1011$$

解答

$$\begin{array}{r} 1110 \\ \times) 1011 \\ \hline 1110 \\ 1110 \\ 0000 \\ 1110 \\ \hline 10011010 \end{array}$$

小丽 二进制除法运算与十进制一样。但做加法运算时,要注意进位,否则会出错。

二进制数转换为十进制数

博士 现在学习二进制数转换为十进制数的方法。例如,十进制数 564 可分解为下列那样的表达式:

$$\begin{aligned} 564 &= 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 4 \times 10^0 \\ &= 500 + 60 + 4 \end{aligned}$$

小丽 这里,各位的数字等于 5,6,4 各乘以每位的权。

百位	十位	个位
5	6	4
5×100	6×10	4×1
↓	↓	↓
5×10^2	6×10^1	4×10^0
└──────────┘ 基数		

小明 每位的权是:个位…… 10^0 十位…… 10^1 百位…… 10^2

博士 是的,因为处理的是十进制数,所以,权的基数是 10。

二进制数转换为十进制数时,可以利用这些方法。

现看一下二进制数 1101 转换为十进制数的过程。

小丽 用现在的学习方法,(1101)₂ 可表示如下:

$$\begin{aligned} (1101)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \\ &\quad \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 8 + 4 + 0 + 1 = 13 \end{aligned}$$

即 $(1101)_2 = (13)_{10}$ 。

$$\begin{array}{cccc} 2^3 & 2^2 & 2^1 & 2^0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2^3 + 2^2 + 0 + 2^0 = 13 \end{array}$$

权的基数是 2



博士 就是这样,用这种方法将二进制数转换为十进制数。请注意权的基数是 2。

问题 4

试将下列二进制数转换为十进制数:

① 10110 ② 11011110

小明 5 位二进制数的各位权如下:

2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	← 权
1	0	1	1	0	
第4位	第3位	第2位	第1位	第0位	

不要忘记从0开始数



解答

$$\textcircled{1} 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 22$$

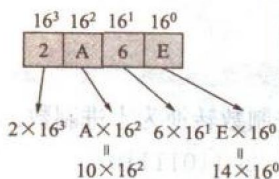
$$\begin{aligned} \textcircled{2} & 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 \\ & + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 \\ & = 128 + 64 + 16 + 8 + 4 + 2 \\ & = 222 \end{aligned}$$

十六进制数转换为十进制数

小丽 我已经掌握了二进制数转换为十进制数的方法,那么,十六进制数转换为十进制数也能用这种方法吗?

博士 可以这样做。将某数转换为十进制数也可采用同样的方案。只要根据数的不同改变基数即可。例如,将十六进制数 2A6E 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} (2A6E)_{16} &= 2 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 6 \\ &\quad \times 16^1 + 14 \times 16^0 \\ &= 4096 + 2560 + 96 + 14 \\ &= (6766)_{10} \end{aligned}$$



十进制数	十六进制数
10	A
11	B
12	C
13	D
14	E
15	F

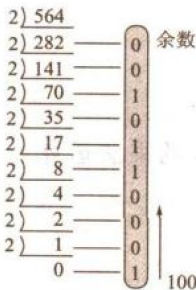


十进制数转换为二进制数

博士 现在学习十进制数转换为二进制数的方法。例如,将十进制数 564 转换为二进制数。

采用连除取余法,即用 2 逐次除 564 的商,直到商为 0。这时,余数是 0 或 1,从下向上取出余数并排列即为转换的二进制数。

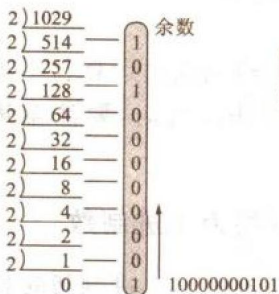
564 转换为二进制数为 $(1000110100)_2$ 。



从下向上取余数



小明 我也试试看,将十进制数 1029 转换为二进制数。



解答是用2除直到商为0



转换结果为 $(1000000101)_2$ 。

博士 那么,十进制数转换为十六进制数的方法你会吗?

小明 是的,用 16 除十进制数,直到商为 0,从下向上取出余数即

可。

小丽 试试看。将十进制数 564 转换为十六进制数。



转换为十六进制数时用16除



结果为 $(234)_{16}$ 。

反过来, 试将 $(234)_{16}$ 转换为十进制数:

$$2 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 4 \times 16^0 = 512 + 48 + 4 = 564.$$

二进制数 ↔ 十六进制数的转换

博士 现在学习二进制数 ↔ 十六进制数的转换。

二进制数能转换为十六进制数吗?

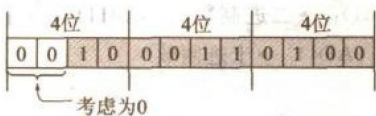
小明 能, 可以采用过渡方案, 先将二进制数转换为十进制数, 再将其转换为十六进制数即可。



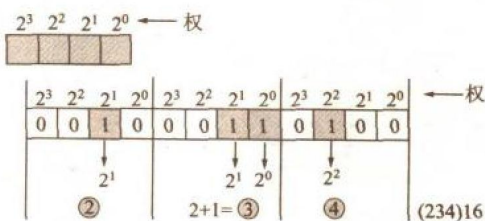
博士 这样做当然可以, 但不经过十进制数转换而采用直接转换的方法。例如, 二进制数 1000110100, 该二进制数共 10 位。最先权小的位 (右侧) 称为最低位 (LSB), 最先权大的位 (左侧) 称为最高位 (MSB)。



从最低位开始, 每 4 位分为一组。

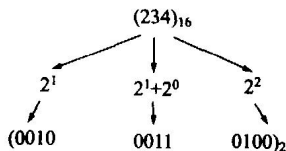


考虑每 4 位的权如下, 即可转换为十六进制数。

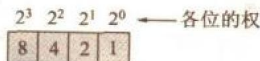


转换结束, 结果为 $(234)_{16}$ 。

反之, 若将十六进制数转换为二进制数, 则先要将十六进制数的各位变为 4 位的二进制数。



再将 4 位的权 8, 4, 2, 1 进行组合就构成二进制数。



博士 这样, 二进制数与十六进制数之间的转换就非常简单。