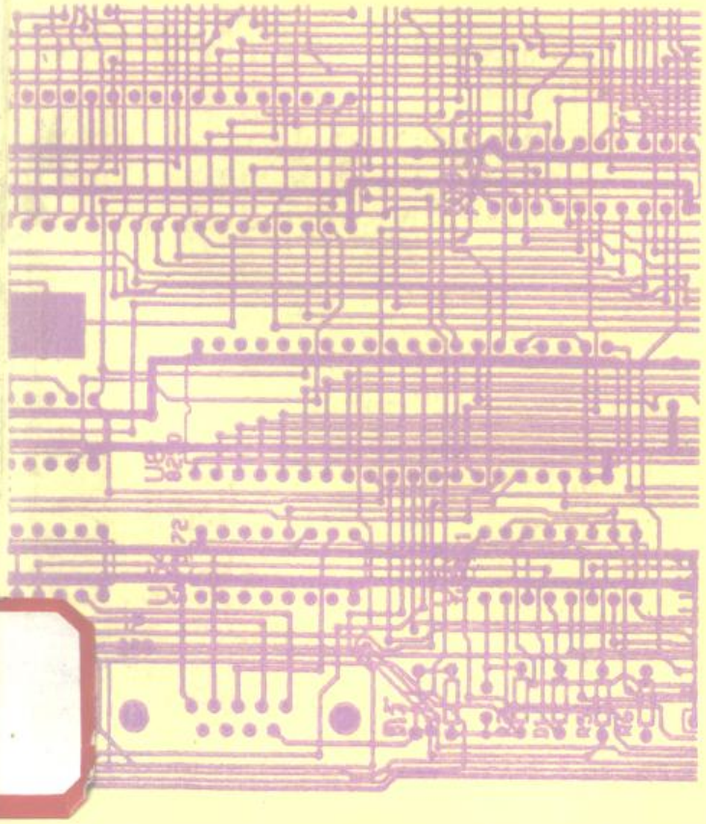
单片机

原理及接口技术

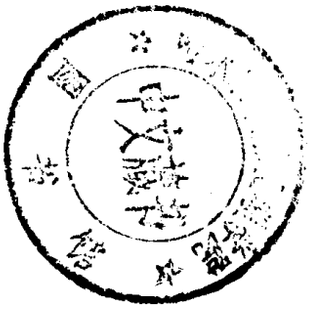


李朝青　编著

北京航空航天大学出版社

单片机原理及接口技术

李朝青　编著



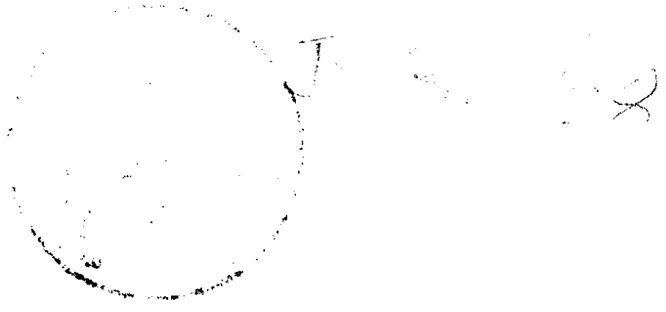
北京航空航天大学出版社

(京)新登字 166 号

内 容 简 介

本书深入浅出地介绍了 8051 单片机、80C552 单片微控制器的原理及应用技术。内容包括:数字逻辑电路和单片机常用外国芯片知识;计算机的数制和码制;微计算机的组成及工作过程;8051、80C552 的结构原理;指令系统及程序设计举例;系统扩展及接口技术;测控系统应用举例;串行通信、分布系统、光纤通信等方面的知识及实例。

本书由浅入深,自成系统,通俗、新颖、丰富、实用,适合自学,亦可作大专、中专教材和从事单片机开发与应用的工程技术人员阅读参考。



单片机原理及接口技术

DANPIANJI YUANLI JI JIEKOU JISHU

作者 李朝青

责任编辑 冯学民

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

通县觅子店印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张:27.25 字数:693 千字

1994 年 9 月第一版 1994 年 9 月第一次印刷 印数:10100 册

ISBN 7-81012-512-5/TP・127 定价: 27.00 元

前　言

单片机，亦称单片微控制器(single chip microcontroller)，它的诞生是计算机发展史上一个新的里程碑。单片机技术的应用，使许多领域的技术水平和自动化程度得以大大提高。当今世界也正面临着一场以单片机(微电脑)技术为标志的新技术革命，人们渴望迅速走进单片机应用与开发的大门。

计算机的发展有两个大的趋向：一是巨型机，即向超高速、大容量、实时和智能化方向发展；另一个是向微型化(单片微控制器)、低功耗、低价格方向发展。单片机即属于后者。

单片机集成度高、运算速度快、体积小、运行可靠、价格低廉，因此在过程控制、数据采集、机电一体化、智能化仪器仪表、家用电器以及网络技术等方面得到广泛应用。

本书旨在普及单片机的开发与应用技术。作者根据多年从事微机、单片机方面教学、科研、实验的体会，由浅入深地讲述 Intel 8051 单片机和 PHILIPS 新一代 80C51 系列中典型产品 80C552 单片微控制器的原理及应用技术。本书通俗、实用、选题新颖、内容丰富，使没有学过微机原理但具有高中以上文化程度的读者也能比较顺利地阅读此书，并很快达到单片机产品开发的水平。

本书由李朝青主编，第二、四、六、七章由李朝青编写，第三章由郝廷柱编写，第一章由李运编写。范剑敏、沈怡琳、张秋燕、王澍梅、许居衡、曹文嫣等人也参加编写了部分内容。杨秀昆在整理书稿、绘图方面做了大量的工作，在此一并表示感谢。

本书在编写过程中得到北航何立民教授多方面的指导和帮助，并亲自审阅了书稿，在此特别表示感谢。

限于水平，错误难免，敬请读者批评指正。

邮政编码：300191(理工学院电子系)

联系电话：(022)736.7312

编著者

于天津理工学院

1994 年 2 月

目　录

第一章　微型计算机基础知识

本章是学习和掌握单片机开发与应用技术的基础。首先讲述计算机数制与码制、逻辑代数、数字逻辑电路以及单片机应用系统中常用外围芯片等必备的基础知识；然后结合一个假想模型机讲述微机的结构特点与工作过程。这样，即使读者没有很多计算机理论基础和应用开发经验，也能很快地走入单片机开发与应用的大门。

第一节　计算机中数的表示方法及运算

我们在日常生活中最熟悉的数制是十进制，而在计算机中采用的是二进制。计算机最基本的特点是用电信号来表示二进制信息，这些二进制信息可能是数据、地址、控制命令等。整个计算机系统的工作就是对这些二进制信息进行存储、传送、运算和逻辑判断。但计算机的操作，如用键盘输入程序、数据，或用数码管、CRT 显示器显示信息以及用打印机打印数据等又多用十进制或十六进制数。

在这一节中将讨论数在机器中的表示和运算。关于数的表示法有下列几种：

按进制来分，有十进制数、二进制数、八进制数、十六进制数以及二十进制数；

按数的性质来分，有整数（无符号数、有符号数）和小数（定点数、浮点数）；

按符号来分，有无符号数和带符号数（正数和负数）；

按精度来分，有单精度二进制数和多精度二进制数。

一、进位计数制

（一）十进制数（用 D 表示，一般省略不写）

大约在公元 400 年左右，印度数学家首先发明了用十进制计数，这可能是由于人有十个手指和十个脚指的缘故吧。约在公元 800 年，阿拉伯人开始使用它，所以又称它为阿拉伯数制，以后传到了欧洲，才被命名为“十进制数制”。

十进制用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数字来表示数。十进位数制的基数是 10，当计数时，每一位计到十就往上进一位，也就是逢十进一；或者说，上一位的数是下一位的十倍。

如果用 α 表示任何一个十进位数字，那么一个含有 n 位整数、m 位小数的十进制数的通用表示式是：

$$N=\alpha_{n-1}\times10^{n-1}+\alpha_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots+\alpha_0\times10^0+\alpha_{-1}\times10^{-1}+\cdots+\alpha_{-m}\times10^{-m}$$

或写成：

$$N=\sum_{i=-m}^{n-1}\alpha_i\times 10^i$$

十进制是我们习惯的数制，但不是唯一的数制。比如，还有二进制、八进制、十二进制、十六进制和六十进制等。

（二）二进制数（用 B 表示）

以 2 为基数的数制叫二进位计数制，计算机中采用的是二进制数。它只包括两个符号，即 0 和 1。在一个二进制数中，前一位的权是后一位的两倍。对于整数，从右往左各位的权是 1，2，4，8，16，32，……；对于小数，从左往右各位的权是 $\frac{1}{2}$，$\frac{1}{4}$，$\frac{1}{8}$，$\frac{1}{16}$，$\frac{1}{32}$，……。把十进制表示式中的 10 都换为 2 就得到二进制的表示式：

$N=\alpha_{n-1}\times 2^{n-1}+\alpha_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+\alpha_0\times 2^0+\alpha_{-1}\times 2^{-1}+\cdots+\alpha_{-(m-1)}\times 2^{-(m-1)}+\alpha_{-m}\times 2^{-m}$

或简写成为：

$$N=\sum_{i=-m}^{n-1}\alpha_i\times 2^i$$

式中的 α_i 是 0 或 1，具体取值由 N 决定。

例如，二进制数 10101101.1011 B(BINARY)表示的十进制数值是：

$1\times 2^7+0\times 2^6+1\times 2^5+0\times 2^4+1\times 2^3+1\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0+1\times 2^{-1}+0\times 2^{-2}$

$+1\times 2^{-3}+1\times 2^{-4}=128+32+8+4+1+0.5+0.125+0.0625=173.6857$

日常生活中我们习惯于十进位计数制，所以感到二进位计数制很不方便，那么电子计算机为什么还采用二进位计数制呢？因为目前研究与应用最成熟的是具有两个稳定状态且具有记忆功能的电子电路，使用二进制能够很方便又直观地表示出机器中双稳态电路的两个稳定并可相互变换的物理状态；反过来，一个双稳态电路的 0 或 1 两个状态可以用来表示一位二进制的数，几个电子器件就可以代表一组多位二进制数。二进制数有以下三个特征：

1. 有两个数字符号，即 0 和 1；
2. 不同位置上的数码表示不同的权值；
3. 逢二进一。

（三）十六进制数（用 H 表示）

尽管用二进制数表示计算机中的信息很方便，但为了便于书写和阅读，我们经常采用十六进制，即在计数时，逢十六进一，这样，书写的长度非常短，且可很方便地将十六进制数转换为二进制或将二进制转换为十六进制。大部分计算机所处理的数据位长都是 4 的整数倍（如 4 位、8 位、16 位、32 位等），所以计算机经常采用十六进制。它有以下三个基本特征：

1. 具有十六个数字符号：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F；
2. 逢十六进位；
3. 一位十六进制数可用四位二进制数表示，它们之间存在直接而又唯一对应的关系。

例如：0011B－3H，1010－AH。这样，一个位数较多的二进制数可以用位数较少的十六进制数来书写，既简单又易于转换。再如：

$(0101101010110111)_2=(5AB7)_{16}=5AB7H$（H 表示十六进制数），

$(1011100100)_2=(2E4)_{16}=2E4H$。

若十六进制数最高位是 A～F 中的符号之一，应在前边加 0，说明是数字而不是文字，如十六进制数 A7CEH 应写成 0A7CEH。

（四）不同进制之间的转换

在使用计算机的过程中，经常需要在二进制、十进制和十六进制之间进行相互转换。

1. 二进制→十进制

把二进制数转换为相应的十进制数，只要将二进制中出现 1 的数位权相加即可，整数和小数的位权如图 1.1-1 所示。

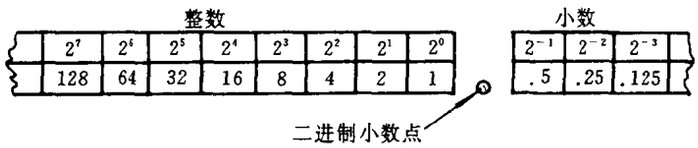


图 1.1-1　整数和小数的位权

例如，把二进制数 1010 转换成相应的十进制数。因为 1010 是整数，也就是说，小数点在该数的右边。最右边的一位称最低位(LSB)，它的位权最小，为 $2^0=1$。最左边的一位称为最高位(MSB)，因为在确定数值时，它表示的位权最大，在这个例子中，它的位权是 $2^3=8$。要得到总的数值，需把二进制出现 1 的位权值相加，即 2^3 与 2^1 相加，得到的十进数是 10。

二进制数	1　0　1　0
位权值	2^3　2^2　2^1　2^0
十进制数	$8+0+2+0=10_{10}$

为了进一步说明这个转换过程，我们再举一例，把二进制数 101101.11 转换成相应的十进数：

二进制数	1　0　1　1　0　1　1　1
位权值	2^5　2^4　2^3　2^2　2^1　2^0　2^{-1} 2^{-2}
十进制数	$32+0+8+4+0+1+0.5+0.25=45.75$

2. 十进制→二进制

把一个十进制的整数依次除以所需要的底数，就能够转换成不同底数的数。比如：为了把十进制的数转换成相应的二进制数，只要把十进制数依次除以 2 并记下每次所得的余数(余数总是 1 或 0)所得的余数即为相应的二进制数。这种方法称为除 2 取余法。

例如，把十进制数 25 转换成二进制数：

$25\div2=12$	余数	1←LSB
$12\div2=6$		0
$6\div2=3$		0
$3\div2=1$		1
$1\div2=0$		1←MSB

把十进制数除以 2 并记下余数，所得的商再除以 2，并记下余数，然后再把所得的商除以 2，并记下余数，如此不断继续下去，直到商得 0 为止。然后，收集余数，以余数的末位(MSB)开始，

直到余数的第一位(LSB)为止，所以 25＝11001B。注意：余数一定要按颠倒顺序收集，即：第一位余数是最低位，而末位余数是最高位。

要将一个十进制小数转换成不同底数或基数的数时，则应把所需的底数或基数连续不断地乘以该十进制小数，并且记录所得的溢出数(即整数部分)。例如，将十进制数 0.3125 转换成相应的二进制数，则用 2 重复乘：

0.3125×2＝0.625＝0.625	溢出	0←MSB
0.6250×2＝1.250＝0.250		1
0.2500×2＝0.500＝0.500		0
0.5000×2＝1.000＝0		1←LSB

这样乘的结果在个位上(即：小数点左边)将得到的 0 或 1，记录下来，就组成相应的二进制小数。这些个位数称作“溢出”。所以，当 0.3125 乘以 2 时，溢出为 0，这个 0 就是相应的二进 制小数的最高位；然后 0.625 再乘以 2，得到 1.25，溢出为 1，当记录数值时，乘积必须减去 1；而在下一步乘法过程中，仅是 0.25 乘以 2。用同样方法继续下去，直到乘积得 0 为止。但有时结果永不为 0，此时，只要转换到所要求的精度为止即可。将起始溢出位写在二进制小数点以后的第一位(即小数部分的最高位)，并继续写到最低位。从最高位到最低位与产生溢出的顺序是一致的。数 0.3125＝0.0101B。

如果十进制数包含整数和小数两部分，则必须将十进制小数点两边的整数和小数部分分开，分别完成相应的转换，然后，再把二进制整数和小数部分组合在一起。例如，将十进制数 14.375 转换成相应的二进制数：

14.375＝14＋0.375

14÷2＝7	余数	0←LSB	0.375×2＝0.75＝0.75	溢出	0←MSB
7÷2＝3		1	0.750×2＝1.50＝1.50		1
3÷2＝1		1	0.500×2＝1.00＝0		1←LSB
1÷2＝0		1←MSB			
14＝1110B			0.375＝.011B		

将整数与小数部分组合在一起为：

$$14.375=1110.011B$$

3. 十进制↔十六进制

十六进制是微处理器、单片机经常使用的另一种数制，如指令机器码都是用十六进制表示的。

表 1.1-1 列出了十进制和十六进制之间的整数关系。表 1.1-2 列出了十进制和十六进制之间的小数关系。

表 1.1-1　十进制、十六进制、二进制整数的关系

十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制
0	0	0	18	12	10010
1	1	1	19	13	10011
2	2	10	20	14	10100
3	3	11	21	15	10101
4	4	100	22	16	10110
5	5	101	23	17	10111
6	6	110	24	18	11000
7	7	111	25	19	11001
8	8	1000	26	1A	11010
9	9	1001	27	1B	11011
10	A	1010	28	1C	11100
11	B	1011	29	1D	11101
12	C	1100	30	1E	11110
13	D	1101	31	1F	11111
14	E	1110	32	20	100000
15	F	1111	33	21	100001
16	10	10000	34	22	100010
17	11	10001	35	23	100011

表 1.1-2　十进制、十六进制、二进制小数的关系

十进制	十六进制	二进制	十进制	十六进制	二进制
0.00390625	0.01	0.00000001	0.06640625	0.11	0.00010001
0.0078125	0.02	0.0000001	0.0703125	0.12	0.0001001
0.01171875	0.03	0.00000011	0.07421875	0.13	0.00010011
0.015625	0.04	0.000001	0.078125	0.14	0.000101
0.01953125	0.05	0.00000101	0.08203125	0.15	0.00010101
0.0234375	0.06	0.0000011	0.0859375	0.16	0.0001011
0.02734375	0.07	0.00000111	0.08984375	0.17	0.00010111
0.03125	0.08	0.00001	0.09375	0.18	0.00011
0.03515625	0.09	0.00001001	0.09765625	0.19	0.00011001
0.0390625	0.0A	0.0000101	0.1015625	0.1A	0.0001101
0.04296875	0.0B	0.00001011	0.10546875	0.1B	0.00011011
0.046875	0.0C	0.000011	0.109375	0.1C	0.000111
0.05078125	0.0D	0.00001101	0.11328125	0.1D	0.00011101
0.0546875	0.0E	0.0000111	0.1171875	0.1E	0.0001111
0.05859375	0.0F	0.00001111	0.12109375	0.1F	0.00011111
0.0625	0.1	0.0001	0.125	0.2	0.001

(1)　十进制→十六进制

十进制转换成十六进制的方法，象十进制与二进制间的转换方法一样，只是底数是 16。例如，将十进制数 156 转换成十六进制数：

156÷16＝9　　余数　12 ＝C←LSB

9÷16＝0　　9 ＝9←MSB

将十进制数除以 16，并记下余数，如果余数超过 9，必须把两位数转换成相应的十六进制数(本例中 12＝C)。然后商数再除以 16，并记下余数，不断除下去，直到商得 0 为止。将余数由 MSB 写到 LSB，则数 156＝9CH(字母 H 用来表示十六进制)。

(2)　十六进制→十进制

反过来，将十六进制数$(9C)_{16}$转换为十进制数的过程为：

十六进制数：　9　　C

位权值：　　16^1　　16^0

十进制数：　　$9\times16^1+12\times16^0=156$

4. 十六进制↔二进制

(1) 二进制→十六进制

十六进制的每一位都与四位二进制数相对应，要将二进制数转换为十六进制数，首先从低位开始，把数分成 4 位一组，然后将每 4 位一组转换成相应的十六进制数。

现将二进制数 10101101101 转换成十六进制数。

1010101101B

改写为

MSB　　LSB

0101 0110 1101

得到

56DH

二进制数由 LSB 开始分成 4 位一组，第三组只有 3 位，必须在 MSB 左边增加一个零，而它的二进制数值仍然不变；然后将每 4 位一组转换成相应的十六进制数。注意：给二进制整数加零时，零必须加在 MSB 的左边。

用同样的方法也能将二进制小数转换成十六进制小数，只是二进制各位必须从小数点右边 MSB 开始分成 4 位一组。例如，将二进制小数 0.01011011 转换成十六进制数。

0.01011011B

改写为

MSB　　LSB

0.0101　　1011

得到

0.5BH

再如，将二进制小数 0.1101001101 转换成相应的十六进制数：

0.1101001101B

改写为

MSB　　LSB

0.1101 0011 0100

得到

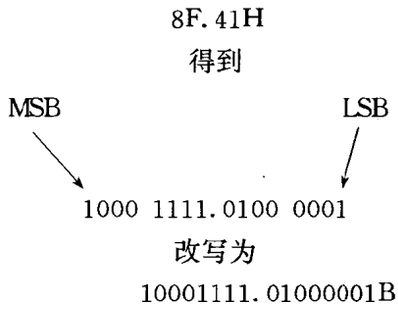
0.D34H

此例需在 LSB 的右边加两个零补足四位。

(2) 十六进制→二进制

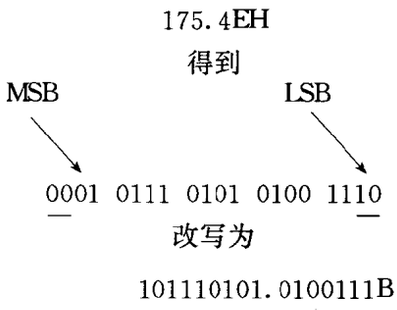
十六进制转换成二进制的过程，恰好是上述转换的逆过程，将每位十六进制数直接转换成

相应的 4 位二进制数。例如，将十六进制数 8F.41 转换成二进制数。



所以，8F.41H＝10001111.01000001B

再举一例，将十六进制数 175.4E 转换成二进制数：



此例中，MSB 前面的三个零和 LSB 后面的一个零是没有数值的，应在最后结果中舍去。

二、计算机中二进制数的运算

一种数制可进行两种基本运算：加法和减法，利用加法和减法就可以进行乘法、除法以及其它数值运算。

（一）二进制加法

二进制加法与十进制加法类似。比如，两个十进制数 56719 和 31863 相加，和为 88582，其相加过程为：

进位：　0 0 1 0 1
加数：　5 6 7 1 9
被加数：＋ 3 1 8 6 3
和：　8 8 5 8 2

将第一列的 9 和 3 相加，得到和为 12，表示成和为 2，进位为 1，然后进位被加到下一列；将第二列的 1 和 6 以及第一列的进位相加得到和 8，无进位；如此继续下去直到所有列（包括进位）都加完为止。最后得到和为 88582。

当两个二进制数相加时，运算方法是一样的，二进制相加的规则如下：

① 0＋0＝0

② 0＋1＝1

③ 1+1=0 进位1

④ 1+1+1=1 进位1

下面我们看一下二进制加法的过程，四位二进制数1101与1101相加

```
进位：        1 1 0 1
加数：          1 1 0 1
被加数：    +   1 1 0 1
和：          1 1 0 1 0
```

在第一列(最右列)，1加1等于0并向第二列进位1；第二列，0加0再加上第一列的进位1等于1，无进位；第三列，1加1等于0，进位1；第四列，1加1再加上第三列的进位1等于1，进位1，产生第五位1。这样就得到和为11010B。

让我们再看一下8位二进制的加法，10001111B与10110101B相加：

```
进位：        1 0 1 1 1 1 1 1
加数：          1 0 1 1 0 1 0 1
被加数：    +   1 0 0 0 1 1 1 1
和：          1 0 1 0 0 0 1 0 0
              有进位产生   有半进位产生
              (Cy)         (AC)
```

在单片机运算过程中，两个8位二进制数相加的和向高位有进位时，设标记为$C_y=1$；如无进位，标记为$C_y=0$。如果低四位向高位有进位，标记为AC=1；如无进位，标记为AC=0。

(二) 二进制减法

二进制减法与十进制减法类似，我们先看一下十进制减法，8303减去5486，差为2817：

```
借位以后的被减数：      7 12 9 13
被减数：                8 3 0 3
减数：              −   5 4 8 6
差：                    2 8 1 7
```

因为第一列的减数6大于被减数3，所以从被减数的高一位中借一个1，如果此数为0(如本例)，则再从高一位不为0的数中借1，该数减少1(本例中从3减至2)，被减数中跳过的0值位成为9，如本例，这等于从30中取走1，得结果为29。在十进制中，借位的数值为10，所以现在被减数的值是13，13减6等于7；第二列9减8等于1；第三列中，由于减数大于被减数，所以从高一位中借1，使被减数由2增加到12，12减4等于8；第四列，由于前面的借位，被减数由8减至7，7减5等于2。

当被减数的当前操作位值小于减数的对应位值时，总是从较高一位数中借1，该借位在数值上等于这种数制的基数。因此，在十进制数中借一位等于10，而在二进制数中借一位等于2。

二进制减法规则如下：

① 0−0=0

② 1−1=0

③ 1−0=1

④ 0−1=1 借位1