北京航空航天大學
BEIHANG UNIVERSITY

C语言程序设计

Programming in C

北京航空航天大学 程序设计课程组

软件学院 谭火彬

2023年春

单选题 1分

设置

此题未设置答案，请点击右侧设置按钮

已知有如下程序段：

```
char a, b;
scanf("%c %c", &a, &b)
```

如果用户在键盘上输入为：c d回车。则下列表达式为真的是：

A `a - 'a' == 0;`

B `a - 'c' == b - 'd';`

C `a == b;`

D `a == c;`

提交

北京航空航天大學
BEIHANG UNIVERSITY

第三讲 数据处理

Data Processing

- 二进制与整数编码
- 位运算
- 浮点数与数据精度

C语言中的4种基本类型

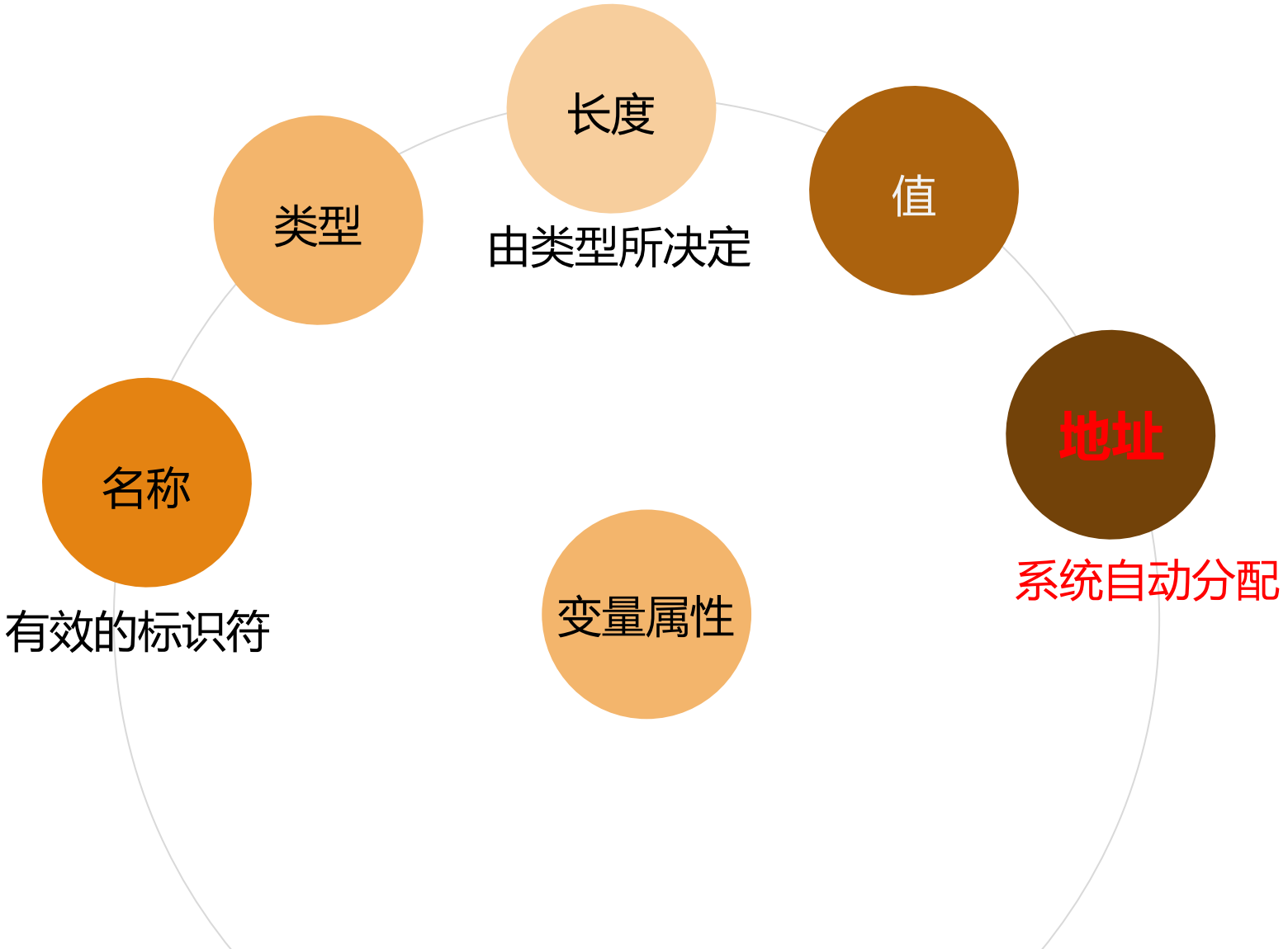
数据类型		长度（二进制位数）（32/64位操作系统）	长度（二进制位数）（16位操作系统）	格式控制符
int	整型	32	16	%d
char	字符型	8	8	%c
float	单精度浮点型	32	32	%f
double	双精度浮点型	64	64	%lf（输出仍采用%f）

- C语言所有的数据类型都是建立在这四种基本类型之上的
- 这四种类型如何在计算机中存储?
  - ✓存储的位置：地址
  - ✓存储的实现方式：二进制和编码

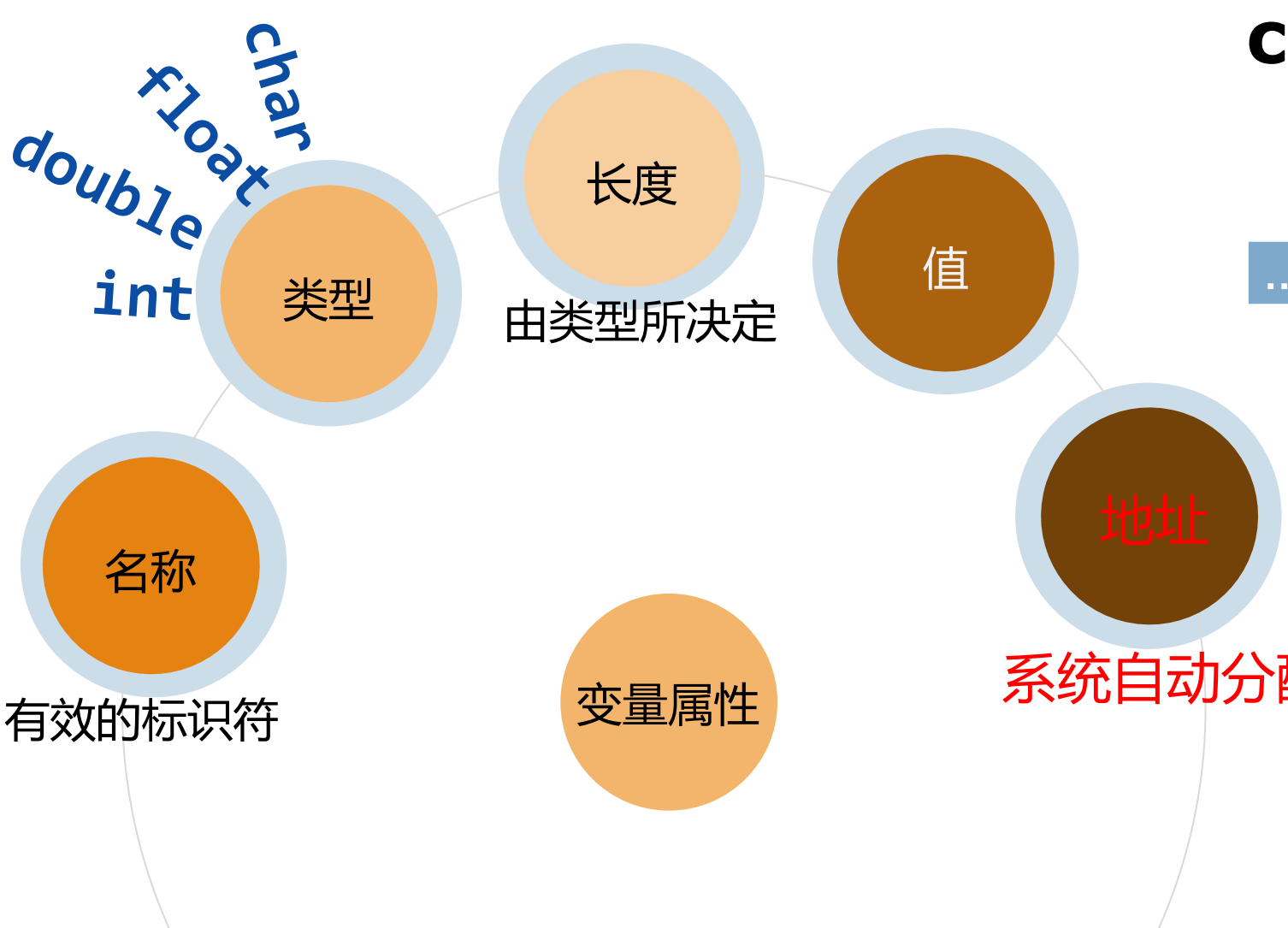
提纲：数据在计算机中的存储和计算

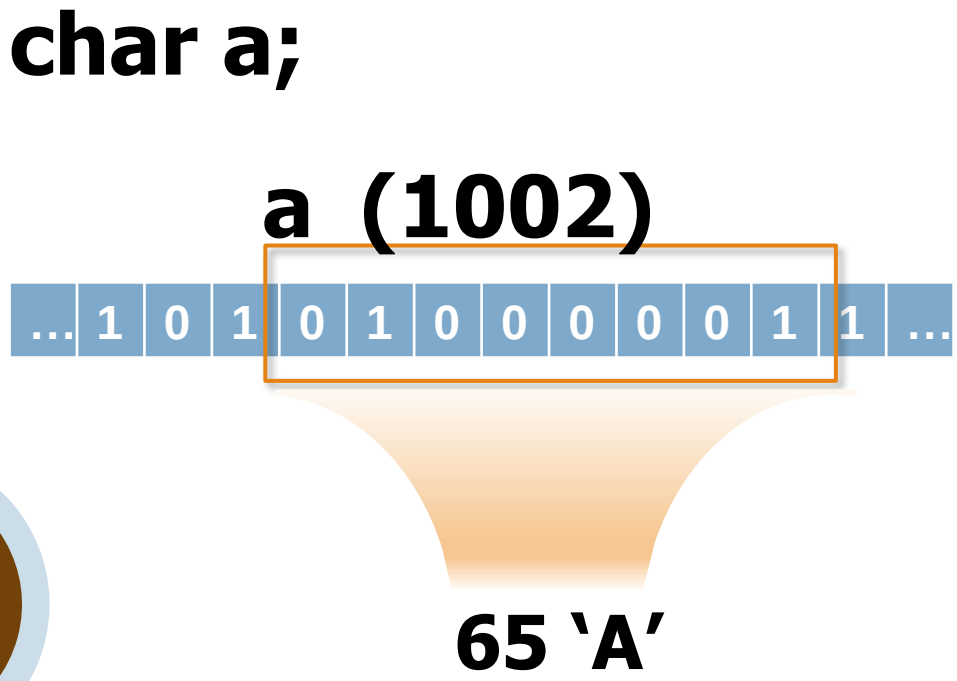
- 3.1 变量的地址
- 3.2 从二进制到**整数编码**
- 3.3 更多的进制：八进制和十六进制
- 3.4 基于二进制的**位运算**
- 3.5 **浮点数**的编码与**精度**问题
- 3.6 一维数组的存储和应用

回顾：简单变量的定义



3.1 简单变量在内存中的存储：地址和存储方式





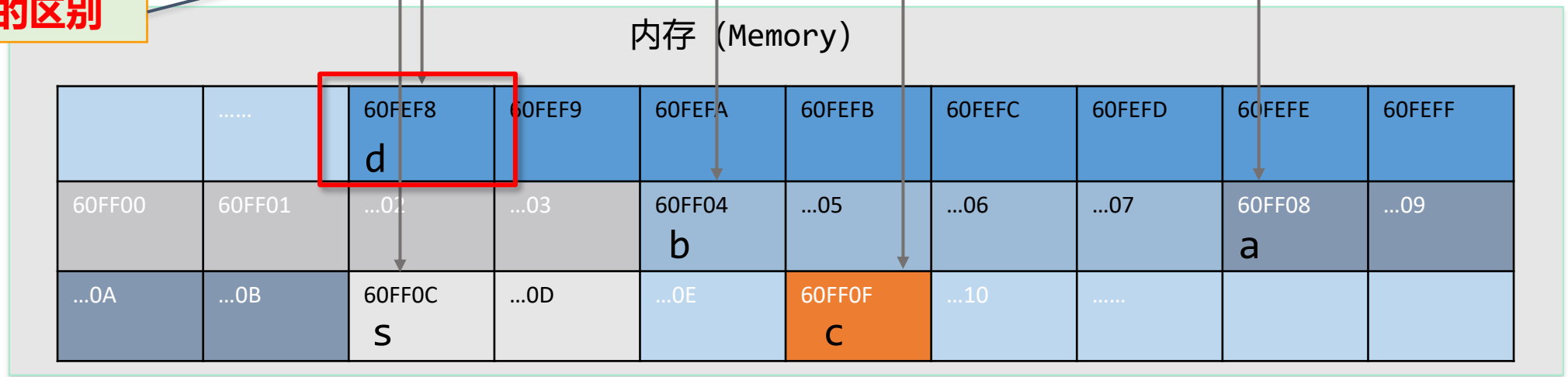
变量的地址：取地址运算&

```
char c;
short s = 0;
int a = 55, b = a, sum;
double d;
```

```
printf("%X\n", &c);
printf("%X\n", &s);
printf("%X\n", &a);
printf("%X\n", &b);
printf("%X\n", &d);
//注意，不是printf("%X\n", d);
```

60FF0F
60FF0C
60FF08
60FF04
60FEF8

注意有无&的区别



基本数据类型及其内存存储空间（32/64位系统）

类型	字节	位	有效数字	取值范围
char	■	8		-128 ~ 127
int	■■■■	32		-2147483648 ~ +2147483647
float	■■■■	32	6~7	-3.4×10^{-38} ~ $3.4\times10^{+38}$
double	■■■■■■■■	64	15~16	-1.7×10^{-308} ~ $1.7\times10^{+308}$
unsigned int	■■■■	32		0 ~ 4294967295
short int	■■	16		-32768 ~ 32767
long int	■■■■	32		-2147483648 ~ +2147483647
long long int	■■■■■■■■	64		-2^{63} ~ $+2^{63}-1$
long double	■■■■■■■■ ■■■■■■■■	128/ 96	18~19	-1.2×10^{-4932} ~ $1.2\times10^{+4932}$

两段有点“奇怪”的代码

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    int a, b;
    char sum = 0;
    scanf("%d%d", &a, &b);
    sum = a + b;
    printf("%d + %d = %d\n", a, b, sum);
    return 0;
}
```

```
100 100
100 + 100 = -56
```

怪象1：100+100 不等于 200?

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    int a = 625, b = 3;
    printf("%d, %d\n", (a==625), (b==3));
    float x = 0.625, y = 0.3;
    printf("%d, %d", (x==0.625), (y==0.3));
    return 0;
}
```

```
1, 1
1, 0
```

说明：这是dev c下编译运行的结果，其他环境下可能是 1, 1

怪象2：0.3 等于 0.3 不成立?

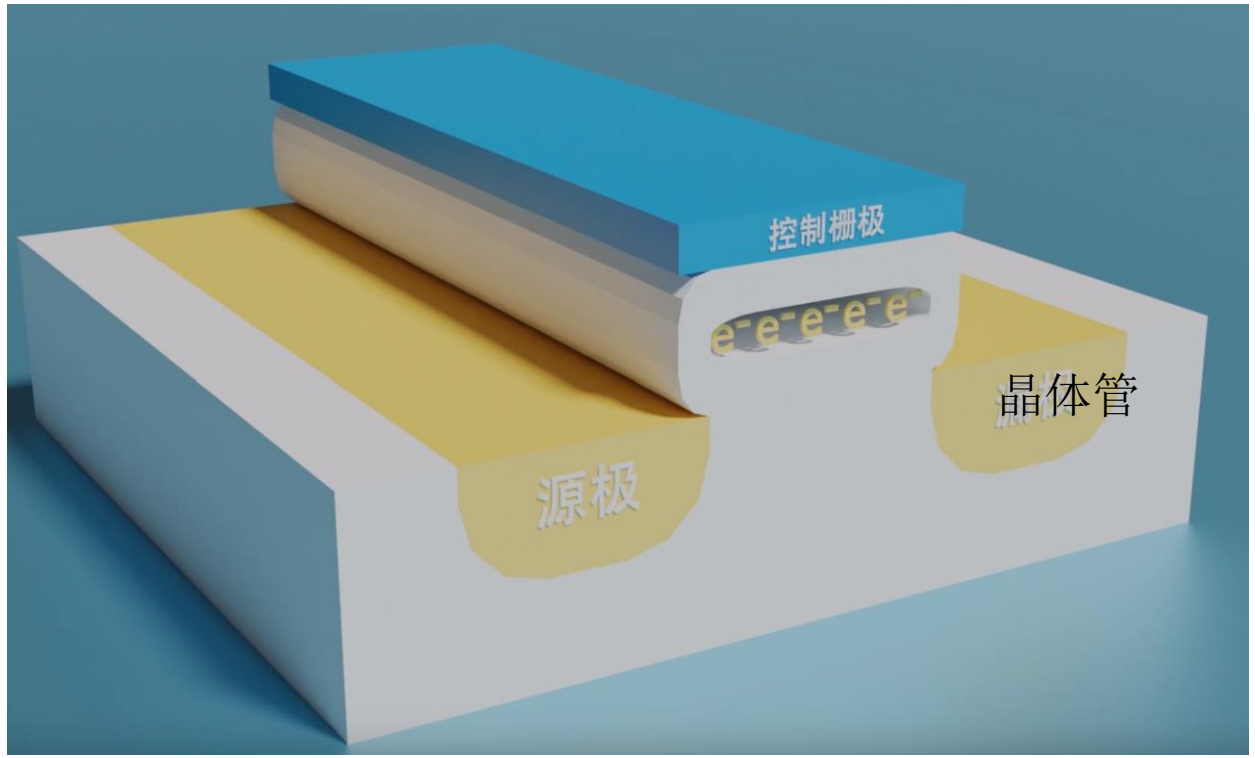
数据在计算机中如何存储和计算?

- ◆如何将日常的十进制数，存储在计算机**定长字节**中?
  - ✓计算机中使用二进制，所有的数都需要转成0、1的二进制表示
  - ✓每种数据类型的位数是固定的，如何用对应位数的二进制表示?
- ◆两种编码实现方式
  - ✓基于二进制的补码：整数类型编码
    - ➢int、char类型，及其相应的扩展类型
  - ✓IEEE754标准：浮点数类型编码
    - ➢float、double类型，及其相应的扩展类型

3.2 从二进制到整数编码

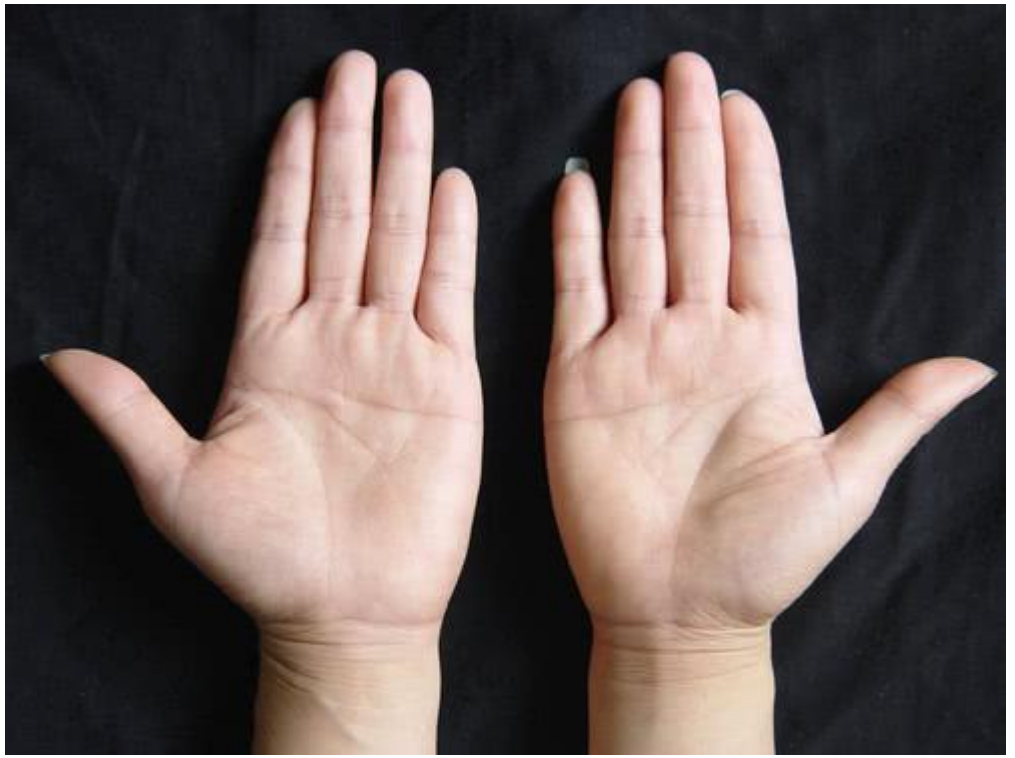
0, 1, 10, 11, 100, 101…

二进制：满2进1



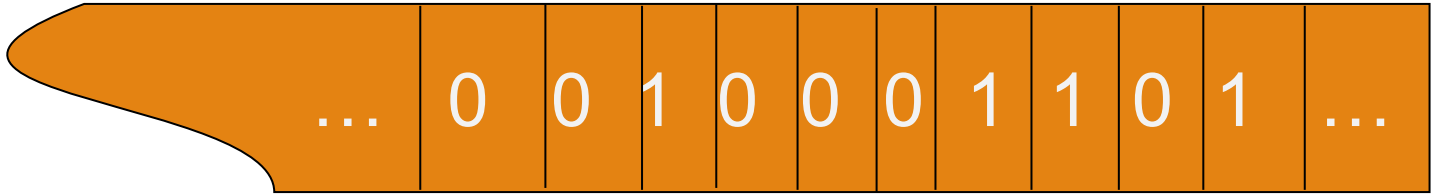
7, 8, 9, 10, 11, 12, 13…

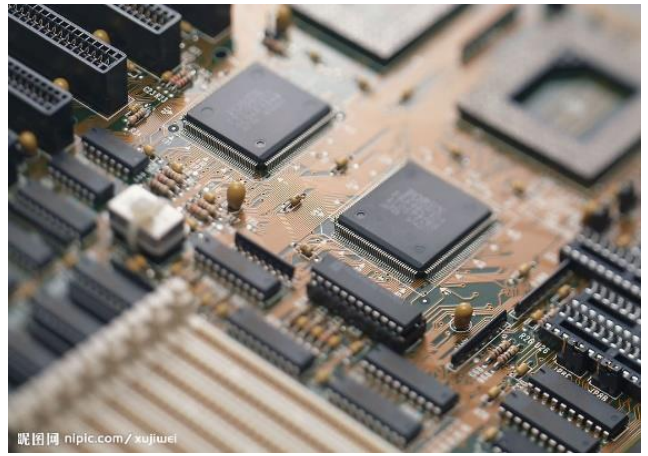
十进制：满10进1



二进制

- 二进制
  - ✓数据都是通过“0”和“1” 来表示，**逢二进一**
- 位(bit)：二进制中的位，是计算机能处理的最小单位





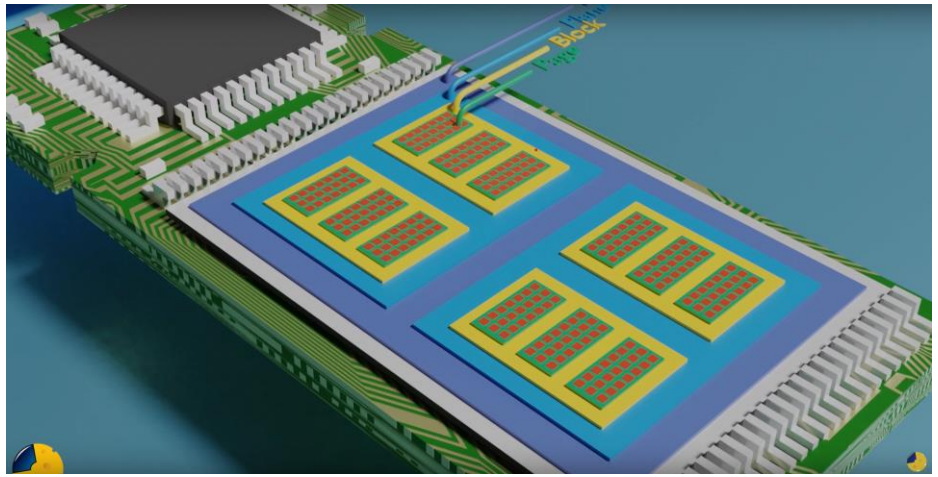
- 字节(Byte)：计算机处理的基本单位
  - ✓计算机的内存是按字节进行分配的
  - ✓一个字节由八位二进制数组成
  - ✓C/C++语言中数据类型都是以字节为基本单元

二进制的存储

地址	内存							
1000	0	0	1	0	0	1	1	1
1001	1	0	0	0	0	1	1	1
1002	0	0	0	0	0	0	1	1
1003	1	0	0	0	0	1	1	1
⋮	0	0	0	0	1	1	1	0
	1	0	1	0	0	0	1	1
	1	0	1	0	1	0	0	1
	1	0	0	0	0	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	0
	1	0	1	0	0	0	1	1
	1	0	1	0	1	0	0	1

⇦ 1个字节

⇦ 4个字节



字符型：1个字节　　整型：4个字节

单精度浮点型：4个字节　　双精度浮点型：8个字节

二进制：从十进制到二进制

◆例：如果已知十进制数 $(19)_{10}$，如何用二进制表示?

"十进制"整数转"二进制"数

		余数	
2	19 18	1	低位
2	9 8	1	
2	4 4	0	
2	2 2	0	
2	1 0	1	
	0		高位

$(19)_{10} = (10011)_2$

除以2取余，逆序排列

记不住顺序?

"十进制"整数转"十进制"数

		余数	
10	123 120	3	低位
10	12 10	2	
10	1 0	1	
	0		高位

除以10取余，逆序排列

二进制：从二进制到十进制

◆例：已知二进制数 $(00010011)_2$，如何用十进制表示?

进制	十进制	二进制
实例	19	00010011

"二进制"数转"十进制"整数

第4位

$(\mathbf{1\ 0\ 0\ 1\ 1})_2$

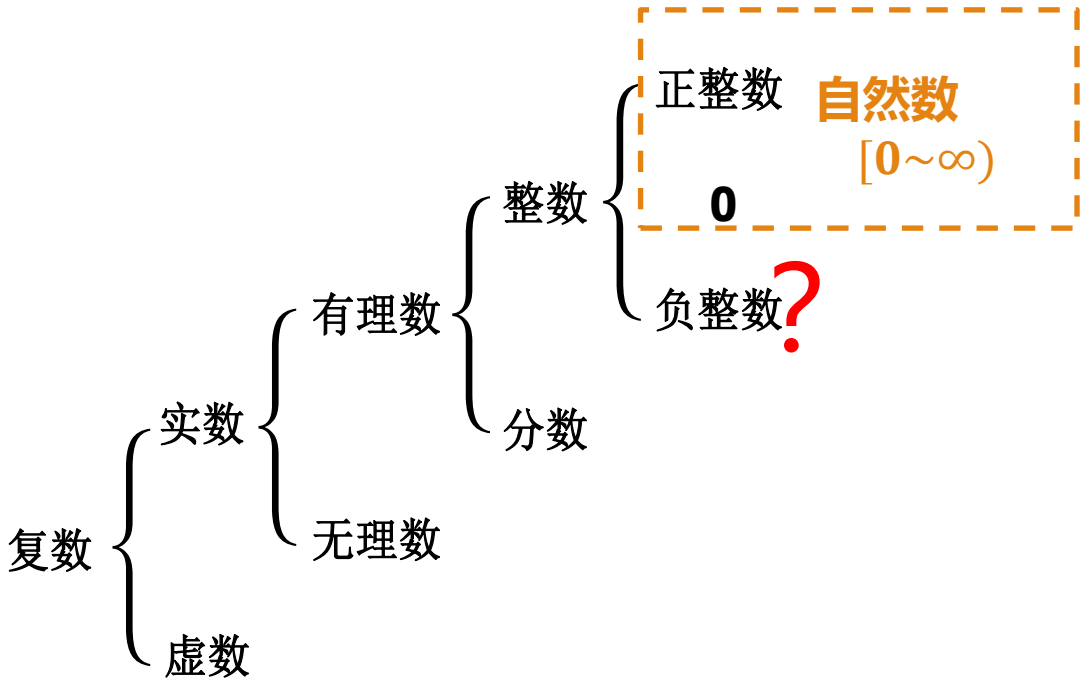
$= 1*2^4 + 1*2^1 + 1*2^0$

$= 16 + 2 + 1$

$= 19$

$$B2U_w(\vec{x}) = \sum_{i=0}^{w-1} x_i 2^i$$

$123=1*10^2+2*10^1+3*10^0$



二进制编码（含负数）：原码（以8位二进制为例！）

$7_{(10)}$ 转换成**8位**二进制数是 $(00000111)_2$ 那么-7呢?

+ 7	0	0	0	0	0	1	1	1
- 7	1	0	0	0	0	1	1	1

在原码中0有两种表示方式 +0和-0，第一位是符号位, 在计算的时候根据符号位, 选择对值区域加减， 对于计算机很难，需要设计包含了计算数值和识别符号位两种电路，但是这样的硬件设计成本太高。

原码

- 最高位作为符号位（以0代表正，1代表负）
- 其余各位代表数值本身的绝对值
- 表示范围：

  -127~127 $\Leftrightarrow$ $(-2^{8-1}+1 \sim 2^{8-1}-1)$

- 0 的表示不唯一

+0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0	1	0	0	0	0	0	0	0

- 加减运算需要识别符号位，不适合计算机的运算

二进制编码：反码

◆反码：

✓正数的反码与原码相同

✓若为负数，则对其绝对值的原码取反

+7 原码

0	0	0	0	0	1	1	1

+7 反码

0	0	0	0	0	1	1	1

-7 反码：**对7的原码取反**

1	1	1	1	1	0	0	0

+

1	1	1	1	1	1	1	1

=-0

反码：+0	0	0	0	0	0	0	0	0
原码： -0	1	0	0	0	0	0	0	0
反码： -0	1	1	1	1	1	1	1	1

◆同样，0 的表示不唯一，不适合计算机的运算

◆表示范围：-127~127 （+0，-0占用两种表示）

二进制编码：补码

◆补码

- ✓正数：原码、反码、补码相同
- ✓负数：对其绝对值的原码取反，再加 1 （若有进位，则进位被丢弃）（反码+1）

+7 原码	0	0	0	0	0	1	1	1
+7 反码	0	0	0	0	0	1	1	1
+7 补码	0	0	0	0	0	1	1	1

-7 补码：7的原码 → 取反 → +1

0	0	0	0	0	1	1	1

二进制编码：补码

◆补码

- ✓正数：原码、反码、补码相同
- ✓负数：对其绝对值的原码取反，再加 1 （若有进位，则进位被丢弃）（反码+1）

+7 原码	0	0	0	0	0	1	1	1
+7 反码	0	0	0	0	0	1	1	1
+7 补码	0	0	0	0	0	1	1	1

-7 补码：　7的原码 → 取反 → +1

1	1	1	1	1	0	0	0

二进制编码：补码

◆补码

- ✓正数：原码、反码、补码相同
- ✓负数：对其绝对值的原码取反，再加 1 （若有进位，则进位被丢弃）（反码+1）

+7 原码	0	0	0	0	0	1	1	1
+7 反码	0	0	0	0	0	1	1	1
+7 补码	0	0	0	0	0	1	1	1

-7 补码：　7的原码 → 取反 → +1

1	1	1	1	1	0	0	1

再说补码：补数

为了表示负数，我们在有限的计数系统中引入一个概念“补数”（即补码），先看时钟：

顺时针转9格和逆时针转3格是等价的。所以-3和9是关于12的补数。

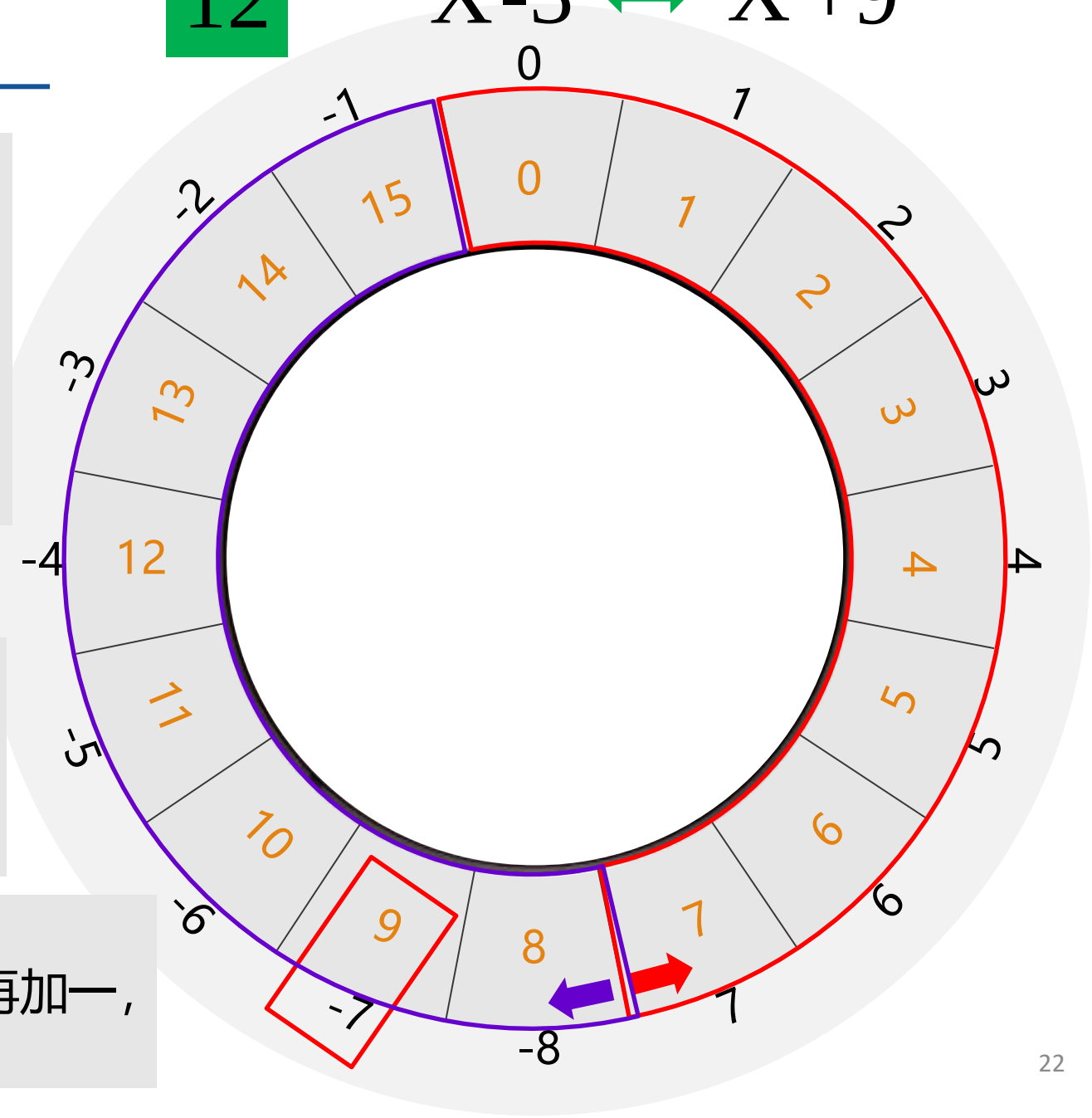
以4位二进制数为例，共可以表示16个数

正数补数即为本身，

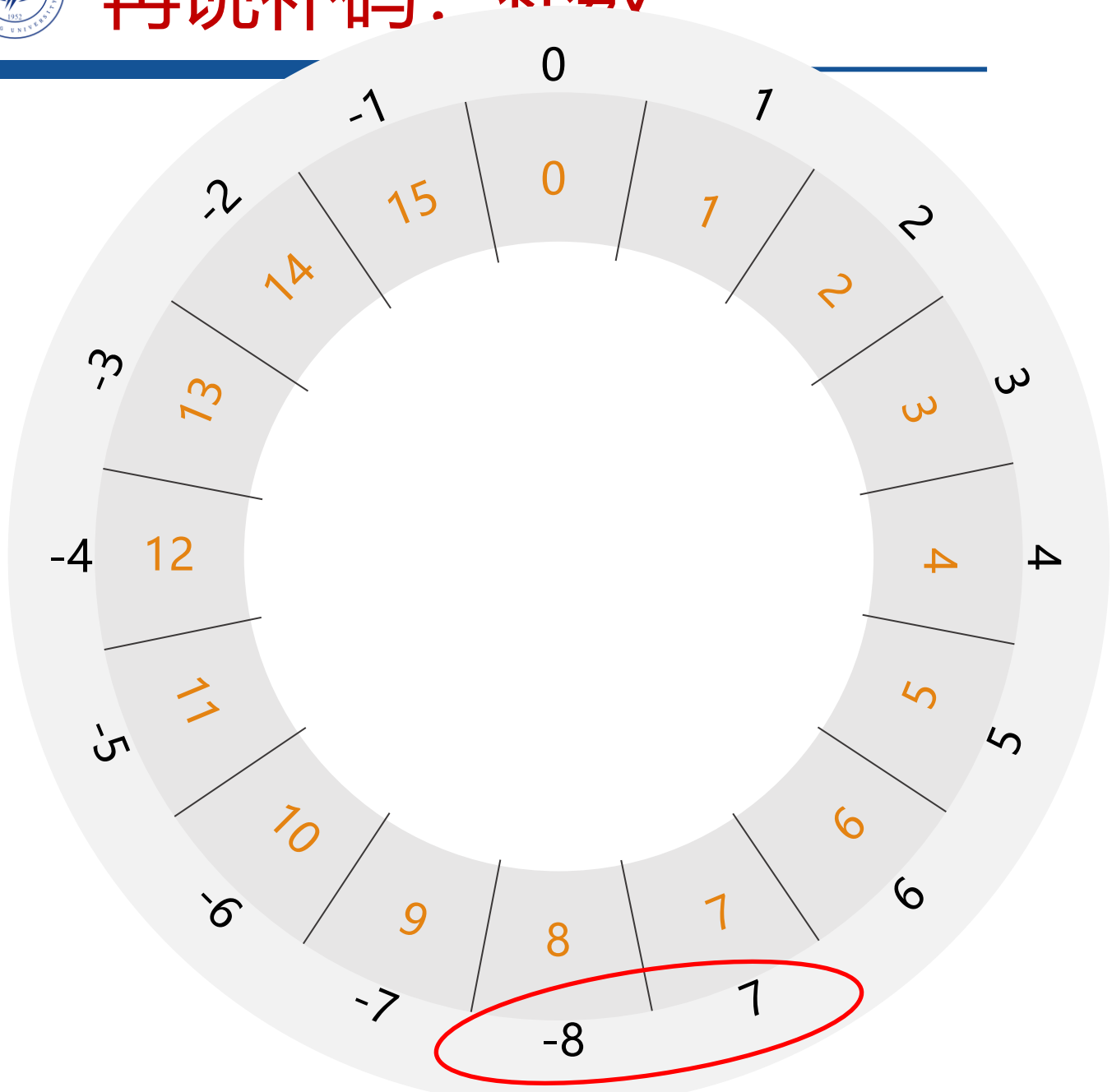
负数A的补数 = 模 – A的绝对值

如：-7的补数 = 16 – 7 = 9

-x是一个负数，其补数是16-x=**15-x**+1
15-x则相当于在4位二进制下对各位取反，再加一，即“取反加一”



再说补码：补数



还可看出：

✓ 有符号数（补码）表示的正数和负数的范围是不对称的

4位有符号数：

-8 ~ 7 $(-2^3 \sim 2^3 - 1)$

8位有符号数：

-128 ~ 127 $(-2^7 \sim 2^7 - 1)$

- **无符号数和有符号数的转换**

1. w位有符号数转换成无符号数 (int -> unsigned int)

$$\text{有符号数 } a \begin{cases} \geq 0 & a \\ < 0 & a + 2^w \end{cases}$$

2. w位无符号数转换成有符号数 (unsigned int -> int)

$$\text{无符号数 } a \begin{cases} < 2^{w-1} & a \\ \geq 2^{w-1} & a - 2^w \end{cases}$$

两个特殊的数字编码

以一个字节大小的整数补码表示为例

原码： -0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

反码： | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

+1

补码： 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

-127~127 :正数就是原码，负数就是绝对值的原码取反再加1

| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

?

~~**-128**~~ 符号位和其他正数不一致

-128 补数：256-128=128

二进制数学表示

数值	补码
-128	10000000
-127	10000001
…	…（往上不断减1）
-2	11111110
-1	11111111
0	00000000
1	00000001
2	00000010
…	…（往下不断加1）
126	01111110
127	01111111

✓ **0的表示方式唯一**

✓ **表示范围：-128~127**

基于补码的运算

◆用补码进行运算，减法可以用加法来实现

✓如： 7-6=1

+7 补码	0	0	0	0	0	1	1	1
	+							
-6 补码	1	1	1	1	1	0	1	0
	=							
1	0	0	0	0	0	0	0	1

人们想出一种方法使得符号位也参与运算。我们知道，根据运算法则减去一个正数等于加上一个负数，即：

1-1 = 1 + (-1) = 0，所以机器可以只有加法而没有减法，**这样计算机运算的设计就更简单了。**

对于CPU来说，这是补码最重要的贡献：只要做加法就可以了！

3.3 更多的进制：八进制和十六进制

八进制

0	1	2	3	4	5	6	7

十六进制

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

10 11 12 13 14 15

例： 15

二进制 0 0 0 0 1 1 1 1

$1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 8 + 4 + 2 + 1 = 15$

八进制 0 17

$1 * 8^1 + 7 * 8^0 = 15$

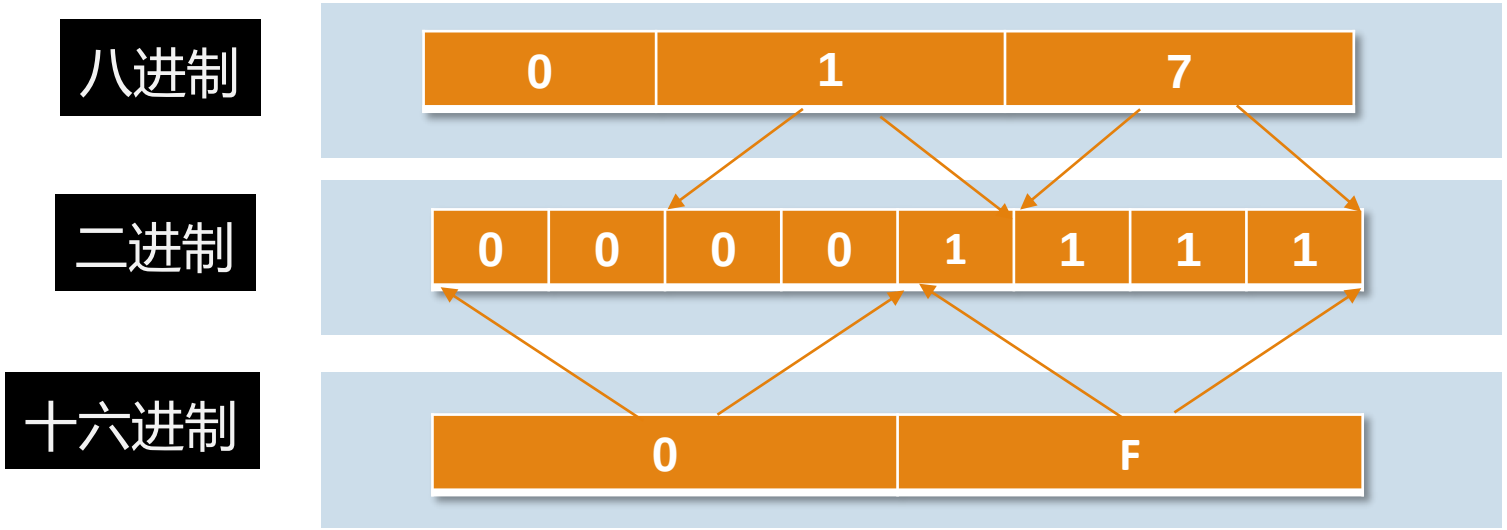
十六进制 0x F

15

进制	十进制Dec	二进制Bin	八进制Oct	十六进制Hex
基本数字	0 ~ 9	0，1	0 ~ 7	0 ~9，A~F (or a~f)
基数	10	2	8	16
规则	逢10进1	逢2进1	逢8进1	逢16进1
实例	19	00010011	023	0x13

八进制和十六进制

◆引入八进制或十六进制：二进制位太长，不易使用



每个八进制数字的一位对应

3位二进制位（$2^3 = 8$）

每个十六进制数字的一位对应

4位二进制位（$2^4 = 16$）

"二进制"转"八进制"

$(1\ 0\ 0\ 1\ 1)_2 = (0\quad\quad)_2$

$= (1 * 2^1 \quad 1 * 2^1 + 1 * 2^0)_8$

$= (\ 2\quad\quad 3\ )_8$

3位构成一组，高位不够补0

023

"二进制"转"十六进制"

$(1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1)_2 = (0\ 0\quad\quad)_2$

$= (1 * 2^1 \quad 1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0)_{16}$

$= (\ 2\quad\quad F\ )_{16}$

4位构成一组，高位不够补0

0x2F

注意不能写成15

更多的进制

- 十进制与二进制、八进制、十六进制

- 七进制
- 十二进制
- 二十四进制
- 四进制
- 三进制
- …

3.4 基于二进制的位运算

- 前面的所有表达式运算规则都是基于十进制位运算的
- 位运算：基于整数在计算机中存储的二进制位定义运算规则

运算符	含义
&	按位与
|	按位或
^	按位异或
~	取反
<<	左移
>>	右移

- 运算数只能是整型（或字符型）的数据，不能为实型数据
- 位运算符除 ~（取反）外均为二元运算符，~（取反）是一元运算符

位运算效率高、与计算机内部实现密切相关，是高手的秘密武器！

比如，在加密中应用广泛；很多黑客其实就是在经常玩位运算

按位与：&

◆运算规则：两个二进制位同时为1时为1，否则为0

A	B	A&B
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

例：3&5= 1

3	0	0	0	0	0	0	1	1
& 5	0	0	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	1

1 保留原来的数值

0 不管原来数值是多少，都置0

应用：可用于实现“清零”操作

运算规则可类比串联电路

按位与：&

把数 x 的特定位置为0，其他位保持不变：　　x = x & ？

上例中保留x的第1，2，4，6位，其他位置为零。更通用的实现方式：　　x & (1 | 1<<1 | 1 <<3 | 1<< 5)　　【稍后学习左移 <<】

按位与：&

◆简单应用：判断数字n的奇偶性

```
if ((a & 1) == 1) // if(a&1)
    printf("%d为奇数.\n", a);
else
    printf("%d为偶数.\n", a);
```

按位或：|

◆运算规则：两个二进制位同时为0时为0，否则为1

A	B	A&B
1	1	1
0	1	1
1	0	1
0	0	0

例：3 | 5=?

3	0	0	0	0	0	0	1	1
| 5	0	0	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	0	0	1	1	1

0 保留原来的数值

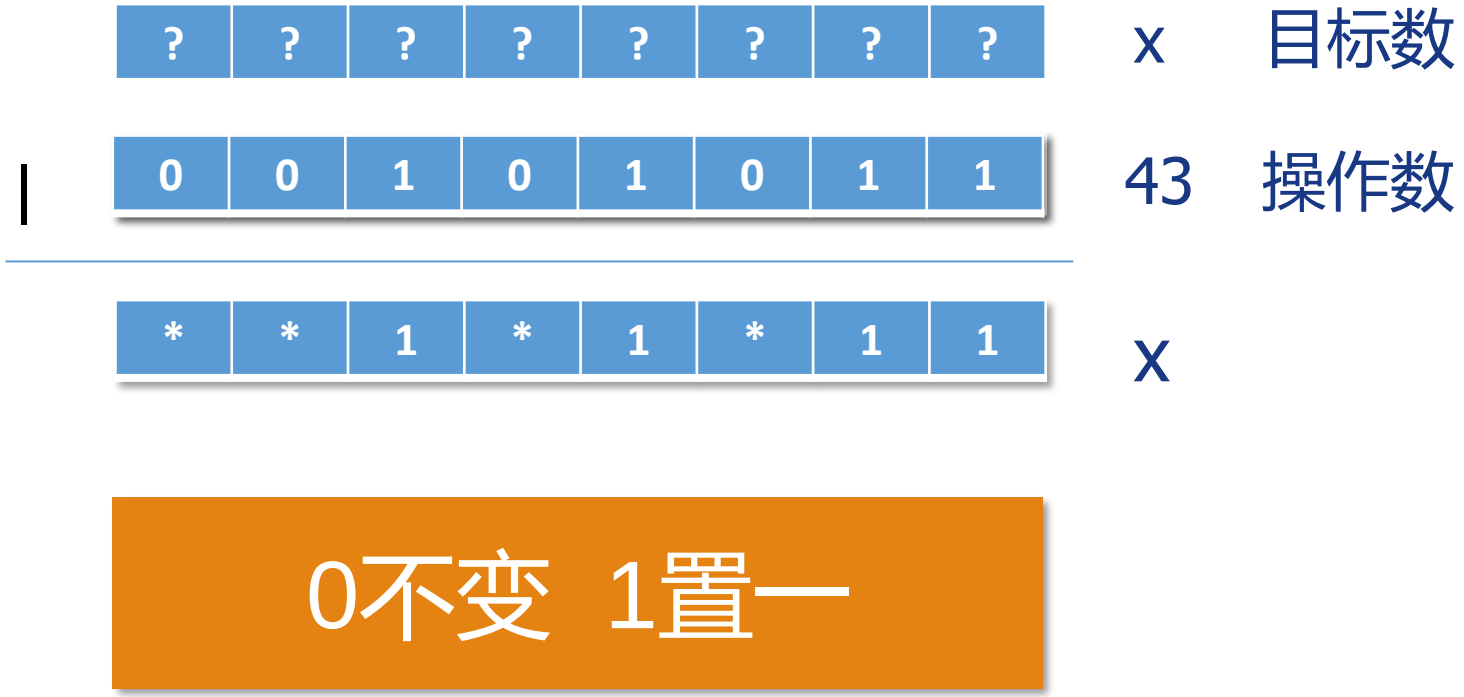
1 不管原来数值是多少，都置1

运算规则可类比并联电路

应用：可用于实现“置一”操作

按位或：|

把 x 的特定位置为1： x = x | ?



0不变 1置一

按位异或：^

◆运算规则：两个二进制位相同时为0，不相同时为1

A	B	A^B
1	1	0
0	1	1
1	0	1
0	0	0

例：3^5=?

3	0	0	0	0	0	0	1	1
^ 5	0	0	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	0	0	1	1	0

0 保留原来的数值

1 不管原来数值是多少，都翻转

运算规则：同相斥，异相吸

应用：可用于实现“翻转”操作

按位异或：^

把 x 的特定位翻转：x ^ *

0不变 1翻转

按位异或：^

利用异或交换两个变量的值

中间变量 temp

```
temp = a;
a = b;
b = temp;
```

```
a = a^b;
b = b^a;
a = a^b
```

按位取反：~

◆运算规则：一元运算符，0变1，1变0

例：~3=?

3	0	0	0	0	0	0	1	1
~3	1	1	1	1	1	1	0	0

例1：将一个数 a 的最低位置为 0，其他位不变

a	?	?	?	?	?	?	?	?
& ~1	1	1	1	1	1	1	1	0
	*	*	*	*	*	*	*	0

a = a & ~1

例2：对n取相反数 ~n+1

例3：
```
while(scanf(…)!=EOF){…}
while(~scanf(…)){…}
```

按位左移：<<

◆运算规则：将数的二进制位全部左移若干位，左边溢出的位舍弃，右边空位补 0

例：若 a = 15，将 a 的二进制数左移 2 位，a = a << 2

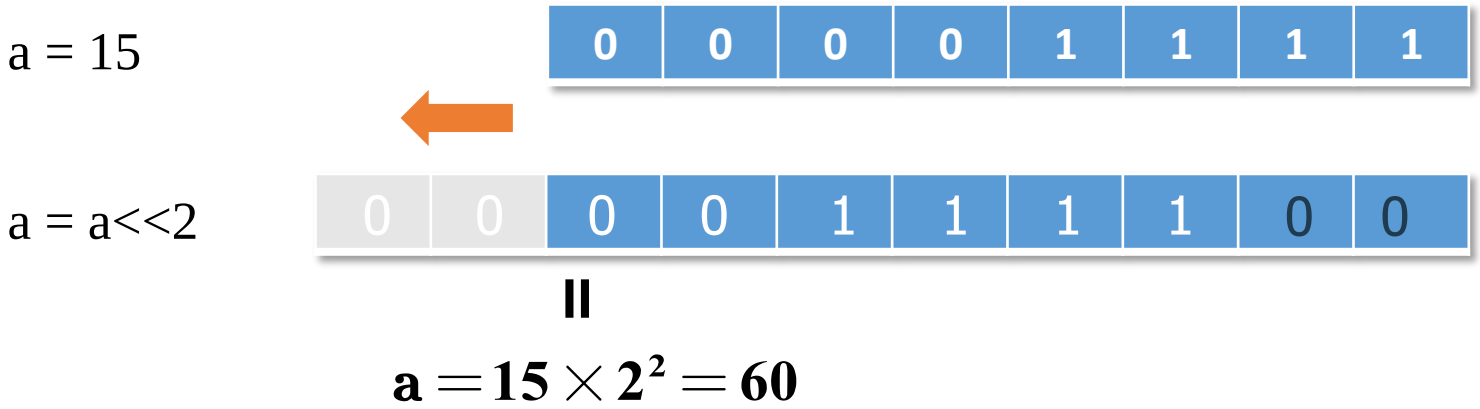
a = 15

a = a<<2 ?

按位左移：<<

◆运算规则：将数的二进制位全部左移若干位，左边溢出的位舍弃，右边空位补 0

例：若 a = 15，将 a 的二进制数左移 2 位，a = a << 2



$$a = 15 \times 2^2 = 60$$

- 高位左移后溢出，舍弃
- 左移一位相当于该数乘以2（超出数据类型表示范围后将造成错误结果）
- 左移比乘法运算快得多

按位右移：>>

◆运算规则：将数的二进制位整体右移若干位，右边移出的低位被舍弃，左边空出的高位，可补0（逻辑位移），可补1（算术位移）

✓无符号数，采用逻辑位移

✓有符号数，根据编译器的具体实现采用逻辑位移或算术位移

例：若 a = 15 ，将 a 的二进制数右移 2 位，a = a >> 2

a = 15

a = a>>2 ?

按位右移：>>

◆运算规则：将数的二进制位整体右移若干位，右边移出的低位被舍弃，左边空出的高位，可补0（逻辑位移），可补1（算术位移）

✓无符号数，采用逻辑位移

✓=有符号数，根据编译器的具体实现采用逻辑位移或算术位移

例：若 a = 15 ，将 a 的二进制数右移 2 位，a = a >> 2

a = 15

a = a>>2

$$a = 15/2^2 = 3$$

- **右移一位相当于除以2**

位运算的复合赋值运算符

- 二元位运算符也支持复合赋值形式
  - ✓a &= 5等价于 a = a & 5;

赋值运算符	示例表达式	等价含义
&=	c &= 1	c = c & 1
|=	d |= 2	d = d | 2
^=	e ^= 3	e = e ^ 3
<<=	f <<= 4	f = f << 4
>>=	g >>= 5	g = g >> 5

单选题 1分

设置

已知有如下变量声明：int a=4, b=2;，则下列表达式中，返回值最大的是：

A a||b

C a>>b

B a|b

D a/b

提交

C03-01：补码输出

- C03-01：给定一个整数n，输出该整数的二进制补码编码
- 问题分析：整数在计算机中存储的即为二进制补码形式，直接输出其二进制位即可
  - ✓如何获得数的二进制位
    - ➢最低位的二进制位：n & 1
    - ➢其他二进制位可以通过移位的方式移到个位
  - ✓如何存储二进制位
    - ➢C语言并没有提供二进制数据的表示法，可以用只取0、1两个取值的整数数组来一位位存储二进制位
    - ➢int bits[32];

C03-01：补码输出

```c
#include <stdio.h>
#define LEN 32
int main(){
    int n, i;
    int bits[LEN]; //以十进制0、1的形式存储二进制位
    scanf("%d", &n);
    for (i = 0; i < LEN; i++){
        bits[i] = n & 1; //获得n的二进制个位
        n >>= 1;         //右移，将二进制个位移出，二进制十位变个位...
    }
    for (i = LEN - 1; i >= 0; i--)
    { //逆序输出二进制位
        printf("%d", bits[i]);
    }
    return 0;
}
```

理解：如何获得整数各个位数的值！
（十进制、二进制...）
思考：如何输出原码？反码？

C03-02：特定位赋值

◆C03-02：用C语言给一个无符号整数 a 的bit7～bit17赋值937，同时给bit21～bit25赋值17（位数从0开始）

◆题目分析：如何设置指定的位?

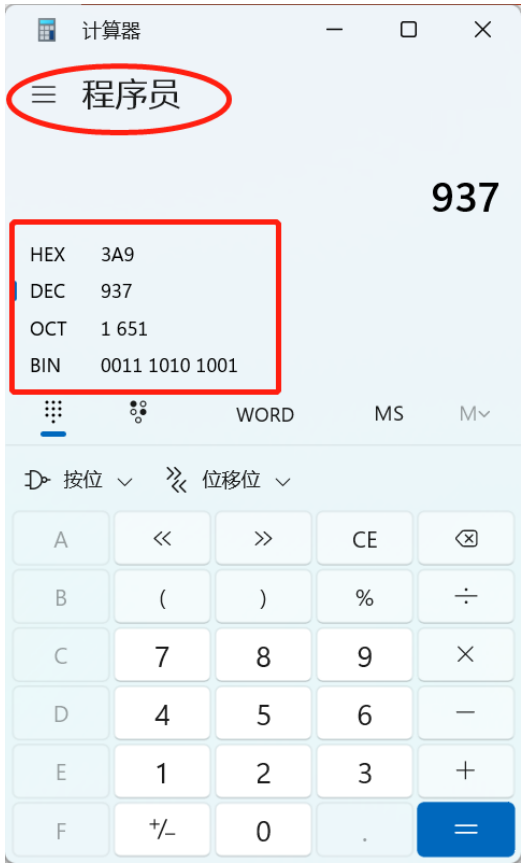
✓清0（按位与：&）：先把需要修改的位置清0

✓设置值（按位或：|）：把这些位置设置为指定的值

✓要点

➢937和17的二进制值

➢特定位置清0、设置特定值



C03-02：特定位赋值

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

1）7-17位设置为0：按位与&

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

16进制值：0xF　F　　F　　C　　0　　0　　7　　F

即：0xFFFC007F

2）7-17位设置为937：按位或|　937的二进制：　0011 1010 1001

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

16进制值：0x0　0　　0　　1　　D　　4　　8　　0

即：0x0001D480

同理可设置21-25位为17

C03-02：特定位赋值

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    unsigned int n;
    scanf(“%u”, &n);//读入无符号整数
    n &= 0xFFFC007F;//通过与操作将7-17位设为0
    n |= 0x0001D480;//通过或操作将7-17为设为937

    n &= 0xFC1FFFFF;//通过与操作将21-25位设为0
    n |= 0x02200000;//通过与操作将21-25为设为17

    printf("%u", n);//输出无符号整数
}
```

C03-02：换个思路实现

- 直接按照位数拼凑二进制位原理简单，但不直观、容易出错
- 可以借助移位操作来实现
  - ✓以**数字1**为起点，通过各种移位、取反、与/或、加/减等操作得到需要的数字
- 如何做?
  - ✓将7-17位置设为937的操作，其他位为0
    - ➢ 937 << 7;
  - ✓将7-17位设为1，其他位设为0的操作
    - ➢先得到从低位开始的11个1，然后移到7-17位

C03-02：特定位赋值（另一种实现）

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    unsigned int n;
    scanf("%u", &n);

    n &= ~( ((1<<11) - 1) << 7 );
    n |= 937<<7;
    n &= ~( ((1<<5) - 1) <<21);
    n |= 17<<21;

    printf("%u", n);
}
```

1. 0x7ff 为 0..0 0111 1111 1111，即，初始化低11（十一）位为1，((1<<11) -1)

2. ((1<<11) -1) << 7，得到 0011 1111 1111 1000 0000
把第1步的十一个1左移7位（这十一个1变成bit7 ~ bit17 ）

3. ~(((1<<11) -1) << 7)
bit7 ~ bit17的十一个1变成0，其他位的0变成1，即变为 1100 0000 0000 0111 1111

4. a &= ~(0x7ff << 7)，保留a的其他位，但把a的bit7 ~ bit17都置为0

5. a |= (937 << 7)，把a的bit7 ~ bit17置为937

6. bit21 ~ bit25赋值为17，原理同上

更多的位运算应用

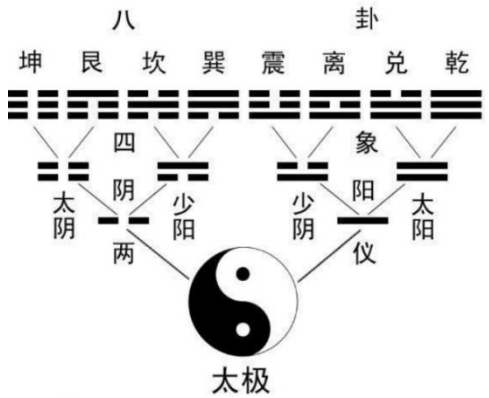
求两个数的平均值 `(x + y) >> 1`

计算2的n次方 `1 << n`

计算最大、最小值

最大值：`x ^ ((x ^ y) & -(x < y))`

最小值：`x ^ ((x ^ y) & -(x > y))`



一生万物

从 1 出发，进行位运算，搞定所有复杂应用！

更多位运算应用：http://graphics.stanford.edu/~seander/bithacks.html#BitReverseObvious

典型应用：从1开始的位运算

◆对于十进制整数num，对指定位的操作（最低位为第0位）

✓第 i 位置0：
```
num = num & (~(1 << i));
```

✓第 i 位置1：
```
num = num | (1 << i);
```

✓第 i 翻转：
```
num = num ^ (1 << i);
```

3.5 浮点数的编码与精度问题

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    int a = 625, b = 3;
    printf("%d, %d\n", (a==625), (b==3));
    float x = 0.625, y = 0.3;
    printf("%d, %d", (x==0.625), (y==0.3));
    return 0;
}
```

```
1, 1
1, 0
```

0.3不等于0.3！！！

说明：这是dev c下编译运行的结果，其他环境下可能相等！

小数的二进制

进制	十进制	数学意义的二进制表示
实例	19.625	**00010011 .101**

A. "十进制"**整数**转"二进制"数

除以2取余 逆序排列

		余数
2 | 19	18	1
2 | 9	8	1
2 | 4	4	0
2 | 2	2	0
2 | 1	0	1
0		

低位 ↑ 高位

(19)10 = (10011)2

B. "十进制"**小数**转"二进制"小数

乘以2取整 顺序排列

整数部分

0.625 x 2=1.25..... 1

0. 25 x 2=0.5 0

0. 5 x 2=1 1

高位 ↓ 低位

$(0.625)_{10} = (0.101)_2$

小数的二进制

进制	十进制	数学意义的二进制表示
实例	19.3	00010011.010011001……

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    int a = 625, b = 3;
    printf("%d, %d\n", (a==625), (b==3));
    float x = 0.625, y = 0.3;
    printf("%d, %d", (x==0.625), (y==0.3));
    return 0;
}
```

B. "十进制"**小数**转"二进制"小数

乘以2取整 顺序排列

$$0.3 \times 2 = 0.6 \cdots\cdots 0$$
$$0.6 \times 2 = 1.2 \cdots\cdots 1$$
$$0.2 \times 2 = 0.4 \cdots\cdots 0$$
$$0.4 \times 2 = 0.8 \cdots\cdots 0$$
$$0.8 \times 2 = 1.6 \cdots\cdots 1$$
$$0.6 \times 2 = 1.2 \cdots\cdots 1$$

…循环了！

$$(0.3)_{10} = (0.0\overline{1001}\ldots)_2$$

注意：浮点数表达不精确，用 == 判断相等时一定要小心！

小数的二进制

```
float b = 0.3;
if (((int)(b * 1000)) == 300)
{
    printf("b == 0.3\n");
    printf("点火\n");
}
else
{
    printf("b != 0.3\n");
    printf("不点火\n");
}
```

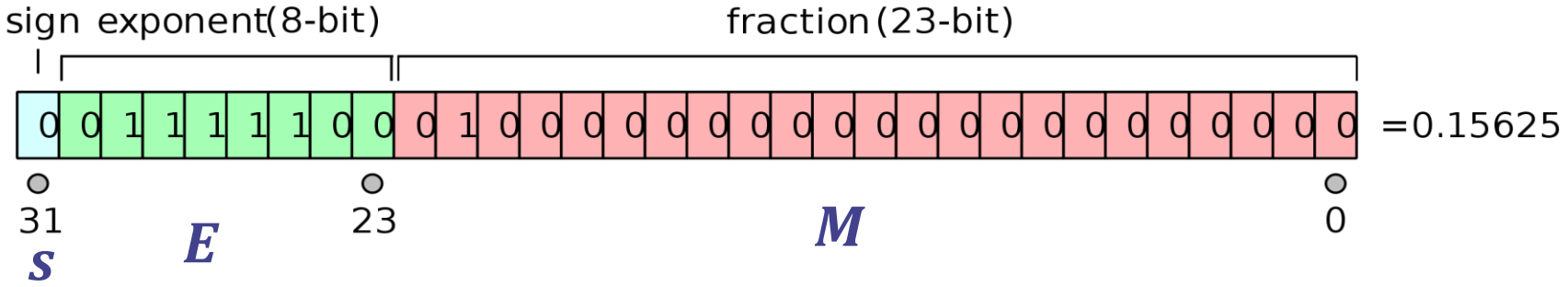
浮点数在关系运算中的思考：
数学问题?
计算机问题?
哲学问题?
工程问题?
安全问题?

b != 0.3
不点火

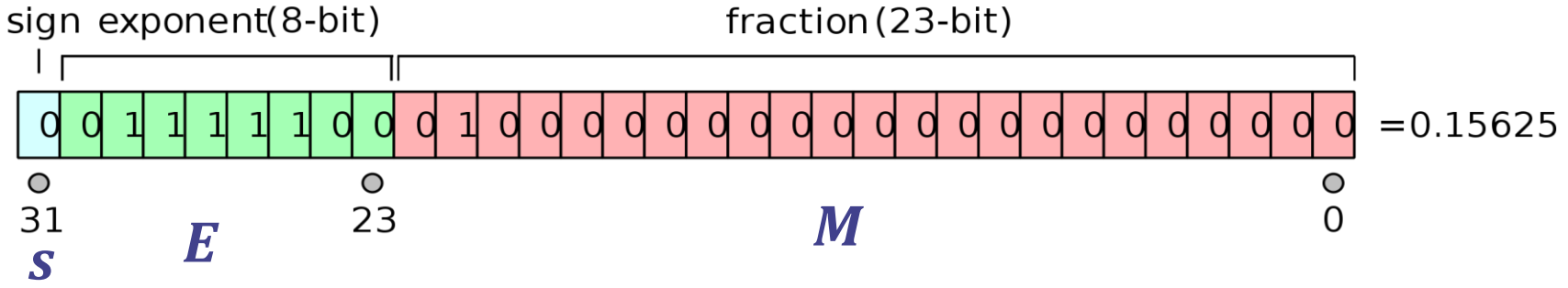
一行代码引发的惨剧
应该点火，却不点火

小数在计算机中的存储

- 数学表达不等于计算机表达！
  - ✓不同于整数，小数在计算机中并不是按照编码值直接存储的
- 使用标准数据格式 IEEE-754 存储和表示
  - ✓数值以规范化的二进制数指数形式存放在内存单元中
  - ✓存储时分成：符号（sign）、指数部分（exponent，E）和小数部分（fraction，M）分别存放
- 例：32位单精度浮点数（float）



浮点数的存储范围



$$x = (-1)^S \times (1.M) \times 2^{E-127} \quad (float)$$

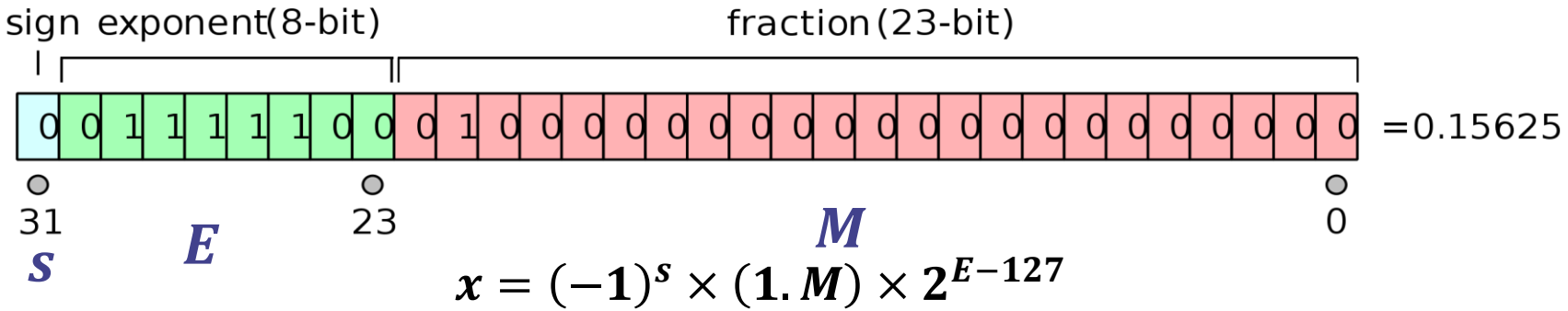
$$x = (-1)^S \times (1.M) \times 2^{E-1023} \quad (double)$$

浮点数类型	符号(+-)	指数	小数部分
float	1	8	23
double	1	11	52
long double	1	15	112

指数部分（E）决定范围，小数部分（M）决定精度！

浮点数的存储范围

IEEE-754 标准数据格式（单精度浮点型）



$$x = (-1)^s \times (1.M) \times 2^{E-127}$$

以 -3.75 为例

(1) 首先把实数转为二进制的指数形式

$$-3.75 = -\left(2 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4}\right) = -\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}\right) \times 2 = -(1.111)_2 \times 2^1$$

(2) 整理符号位并进行规范化：

$$-1.111 \times 2^1 = (-1)^1 \times (1 + 0.1110\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 000) \times 2^1$$

(3) 进行阶码的移码处理

$$(-1)^1 \times (1 + 0.1110\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 000) \times 2^1 = (-1)^1 \times (1 + 0.1110\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 000) \times 2^{128-127}$$

(4) $s = 1, M = 1110\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 000,\ E = (128)_{10} = (10000000)_2$

浮点数的精度

- 相对精度：机器ε（machine epsilon）；表示1与大于1的最小浮点数之差不同精度
- 定义的机器ε不同。以 double 双精度为例，数值 1 是：

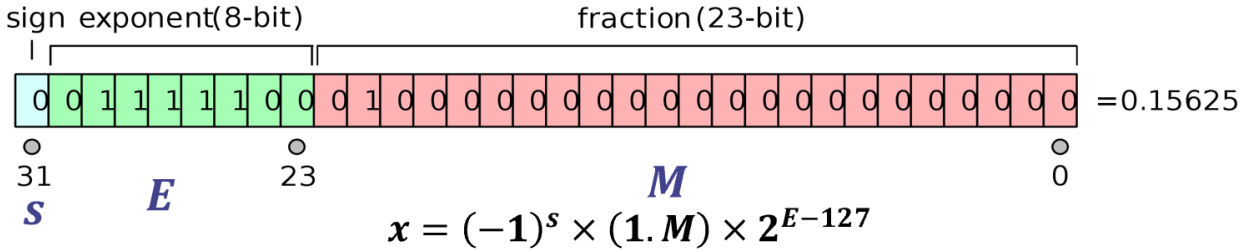
$$+1.\boxed{00000000000000000000000000000000000000000000000000} \times 2^0$$

  - 而比1大的最小双精度浮点数是：

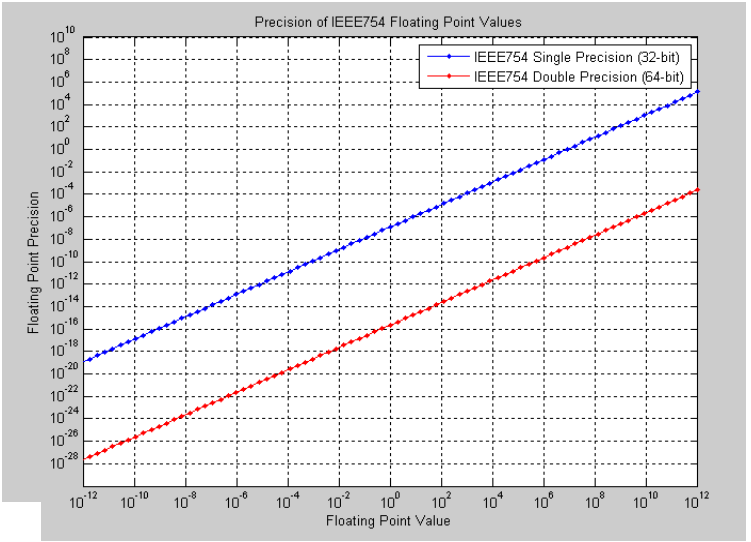
$$+1.\boxed{00000000000000000000000000000000000000000000000001} \times 2^0$$

  - 此之差为机器ε：$2^{-52} \approx 2.22044604925031308e-16$

- 绝对精度



float和double类型数据的绝对精度



C03-03：一元二次方程求根

◆输入a、b、c三个实数，求一元二次方程$ax^2+bx+c=0$的根

- ✓ 1. a=0, 方程不是二次方程
- ✓ 2. $b^2-4ac=0$, 有两个相等的实根
- ✓ 3. $b^2-4ac>0$, 有两个不相等的实根
- ✓ 4. $b^2-4ac<0$, 有两个共轭复根

C03-03：一元二次方程求根

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main(){
    double a, b, c, delta, r1, r2;
    scanf("%lf%lf%lf", &a, &b, &c);
    if (a==0) {//a为0，不是一元二次方程
        printf("Not a quadratic\n");
    }else{
        delta = b * b - 4 * a * c; //根据delta判断根的情况
        if(delta == 0){//两个相等的实根 ？？？
            printf("Two equal roots: %8.2f\n", -b/(2*a));
        }else if (delta > 0){//两个不相等的实根
            r1 = (-b + sqrt(delta)) / (2 * a);
            r2 = (-b - sqrt(delta)) / (2 * a);
            printf("Two roots: %8.2f,%8.2f", r1, r2);
        }else {//两个虚根
            printf("Two imaginary roots");
        }
    }
    return 0;
}
```

由于运算过程中的精度问题，delta实际值为0，但存储的不等于0（可能一个很小的数据）

C03-03：一元二次方程求根

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main(){
    double a, b, c, delta, r1, r2;
    double eps = 1e-9; //定义一个精度值，小于这个数的即为0
    scanf("%lf%lf%lf", &a, &b, &c);
    if(a==0){//a为0，不是一元二次方程？此处有精度问题吗？
        printf("Not a quadratic\n");
    }else{
        delta = b * b - 4 * a * c;
        if(fabs(delta) < eps){//两个相等的实根
            printf("Two equal roots: %8.2f\n", -b/(2*a));
        }else if (delta > 0){//两个不相等的实根
            r1 = (-b + sqrt(delta)) / (2 * a);
            r2 = (-b - sqrt(delta)) / (2 * a);
            printf("Two roots: %8.2f,%8.2f", r1, r2);
        }else {//两个虚根
            printf("Two imaginary roots");
        }       }
    return 0;
}
```

注意：1. eps的值可根据题目情况设置，如1e-6、1e-9、1e-12...

2. fabs：求double类型的绝对值

浮点数的要点小结

- 在C语言中，浮点数有范围，有精度限制。
- 浮点数使用标准数据格式（IEEE-754）：
  - ✓float的有效数字大约相当于十进制的7位，表示范围约 $-3.4*10^{38}$ ~ $3.4*10^{38}$ (2^{128})？能表示的绝对值最小数约为 1.175494351e-38f
  - ✓double能表示的范围和精度更大。
- 浮点数的表示是近似值
  - ✓如显示的是1.0，计算机中实际可能是0.99999999...，也可能是 1.0000001...
- 使用浮点数要特别注意范围和精度问题！

数的范围和精度

精度100%
但范围小
如：int, 2^{31}-1

鱼和熊掌
不可兼得

精度可能受损
但范围大
如：float, $3.4*10^{38}$

char, int, short, long, long long, unsigned …

float, double, …

C03-04：浮点数的精度

```
#include <stdio.h>
const double eps = 1e-9;
int main()
{
    int x, y;
    double f = 0.0006;
    x = (int)(f * 10000);
    printf("%d\n", x);

    y = (int)((f + eps) * 10000);
    printf("%d\n", y);
    return 0;
}
```

输出

```
5
6
```

思考：为什么输出该结果?

注意：精度问题不仅仅是小数部分！

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    double f = 12345678901234567890;
    printf("%.0f",f);
    return 0;
}
```

输出

```
12345678901234567800
```

思考：为什么整数部分也存在精度问题，IEEE-754?

3.6 一维数组的存储和应用

◆数组表示一组相同类型的数，由具有相同名称和相同类型的一组连续内存地址来表示

```
// 部分初始化，a的后6个元素自动初始化为0
int a[12] = {1, 3, 5, -2, -4, 6};
for (i=0; i<12; i++)
        printf("%d ", a[i]);
```

a[0]	a[1]	a[2]	a[3]	a[4]	a[5]	a[6]	a[7]	a[8]	a[9]	a[10]	a[11]
1	3	5	-2	-4	6	0	0	0	0	0	0

内存（Memory）

		60FEF8a	60FEF9	60FEFA	60FEFB	60FEFC	60FEFD	60FEFE	60FEFF
60FF00	60FF01	…02	…03					60FF23	…24
…26	…27	60FF28							

数组的类型与大小

- 定义数组时，尽量指定数组的长度
  - ✓C99支持不定长数组，但建议尽量使用定长数组
- sizeof运算符可以获得数据类型或变量的实际字节数

```
#define LENGTH 100
int a[LENGTH];
double b[LENGTH];
char c[LENGTH];
```

sizeof(para) 一元运算符，计算参数para所占的字节数，参数可以是变量、数组、类型等

```
int i;
double d;
char c;
float f[10];
printf("%d, %d\n", sizeof(i), sizeof(int));
printf("%d\n", sizeof(d));
printf("%d\n", sizeof(c));
printf("%d, %d\n", sizeof(f), sizeof(f[0]));
```

输出

```
4, 4
8
1
40, 4
```

有关数组大小的问题

- 实际处理的问题可能很大，如淘宝数据几亿个用户(M个)，几千万件商品(N件)，数组是否应定义为a[M][N]?
- 数组大小多大合适?
  - ✓取决于计算机的能力、程序算法的设计、实际问题的需要
- 通常，全局数组可以比较大（但也不宜上百MB），局部数组比较小（通常几十KB)

```
#include <stdio.h>
//main函数外面，全局数组，可以很大
int voiceData[1<<20];
int main()
{
    //main函数里面，局部数组，较小
    double stuScore[2000];
    …
}
```

提示：内存资源比较宝贵，根据问题要求定义合适的大小

C03-05：字符统计

◆给出标准输入字符序列，统计输入中的每个小写字母出现的次数、所有大写字母出现的总次数、字符总数

◆问题分析

✓统计大写字母的总次数

➢如何判断大写字母?

✓统计每个小写字母出现的次数

➢如何保存每个小写字母出现次数?

➢26个成员的数组，对应26个小写字母的次数

C03-05：字符统计

```c
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#define N 26
int main(){
    int i, c;
    int upper=0, total=0, lower[N]= {0};
    while((c=getchar()) != EOF ){//读入一个字符
        if(islower(c))  //函数：判断是小写字母
            lower[c-'a']++;//如果c是'a',存入lower[0]，如此类推
        else if(isupper(c))//函数：判断是大写字母
            upper++;
        total++;
    }
    for ( i=0; i<N; i++ ){
        if(lower[i] != 0)//把下标转换为对应的小写字母
            printf("%c: %d\n", i+'a', lower[i]);
    }
    printf("Upper: %d\nTotal: %d\n", upper, total);
    return 0;
}
```

这里用法很巧妙

数组元素的下标来表示字母

'a' - 'a' -> 0

'b' - 'a' -> 1, … ,

数组元素（整形）用于计数

lower[0]计'a'出现次数，

lower[1]计'b'出现次数，

…

lower[c- ‘a’]++; 等价于

if(c == 'a') lower[0]++; …

提示：学会使用ctype头文件中各类字符判断和转换函数！！

思考：如何将数组下标与字符对应！

数组的复制和比较

◆一维数组的元素a[i]可以当作普通变量进行相应操作，但数组名a代表整个数组，不能参与普通变量的运算

✓数组名实际上是地址，不允许对数组进行整体操作，不能整体输入和输出（除了字符串数组有特殊用法）

```
int a[12], b[12];
…
b = a;
if( b == a )
printf("%d", a);
  …
```

复制数组

比较数组

整体输出

正确的做法

```
for(i=0; i<12; i++)
    b[i] = a[i];
for(i=0; i<12; i++)
    if(a[i] == b[i])
for(i=0; i<12; i++)
    printf("%d", a[i]);
```

数组的赋值与比较

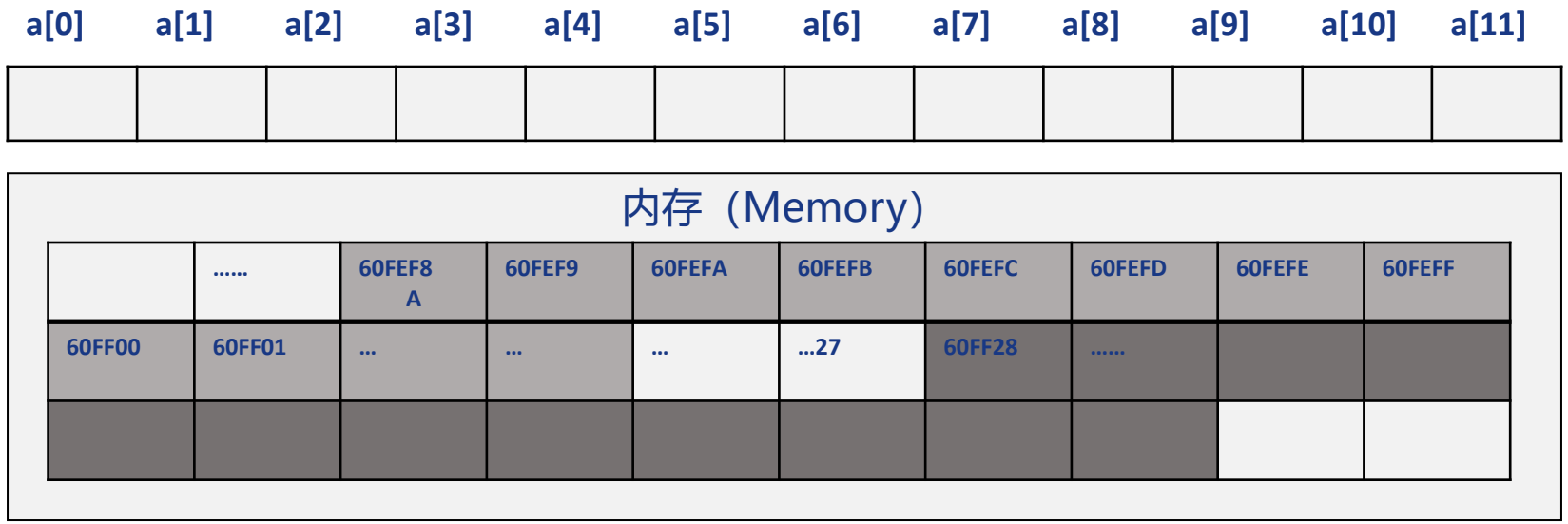
◆可使用标准库函数实现数组的整体赋值（头文件：string.h）

函数原型：

```
void *memcpy(void *dest, void *src, size_t count);
```

用法：

```
memcpy(b, a, sizeof(a)); //把数组a的内容复制给数组b
```



总结：数据处理

- 进制转换
  - ✓二进制与十进制
  - ✓二进制与八进制、十六进制
- 整数编码：原码、反码和补码
  - ✓补码编码规则、数据范围
- 位运算
  - ✓基本运算规则、含义和使用
- 浮点数编码：基本编码原理、精度问题
- 一维数组的存储和应用