

1. 深度剖析数据在内存中的存储

本章重点

1. 数据类型详细介绍
2. 整形在内存中的存储：原码、反码、补码
3. 大小端字节序介绍及判断
4. 浮点型在内存中的存储解析

正文开始

1. 数据类型介绍

前面我们已经学习了基本的内置类型：

```
char        //字符数据类型
short       //短整型
int         //整形
long        //长整型
long long   //更长的整形
float       //单精度浮点数
double      //双精度浮点数
//C语言有没有字符串类型？
```

以及他们所占存储空间的大小。

类型的意义：

1. 使用这个类型开辟内存空间的大小（大小决定了使用范围）。
2. 如何看待内存空间的视角。

1.1 类型的基本归类：

整形家族：

```
char
    unsigned char
    signed char
short
    unsigned short [int]
    signed short [int]
int
    unsigned int
    signed int
long
    unsigned long [int]
    signed long [int]
```

浮点数家族：

```
float  
double
```

构造类型：

- > 数组类型
- > 结构体类型 `struct`
- > 枚举类型 `enum`
- > 联合类型 `union`

指针类型

```
int *pi;  
char *pc;  
float* pf;  
void* pv;
```

空类型：

`void` 表示空类型（无类型）

通常应用于函数的返回类型、函数的参数、指针类型。

2. 整形在内存中的存储

我们之前讲过一个变量的创建是要在内存中开辟空间的。空间的大小是根据不同的类型而决定的。

那接下来我们谈谈数据在所开辟内存中到底是如何存储的？

比如：

```
int a = 20;  
int b = -10;
```

我们知道为 `a` 分配四个字节的空間。

那如何存储？

下来了解下面的概念：

2.1 原码、反码、补码

计算机中的整数有三种表示方法，即原码、反码和补码。

三种表示方法均有**符号位**和**数值位**两部分，符号位都是用0表示“正”，用1表示“负”，而数值位

负整数的三种表示方法各不相同。

原码

直接将二进制按照正负数的形式翻译成二进制就可以。

反码

将原码的符号位不变，其他位依次按位取反就可以得到了。

补码

正数的原、反、补码都相同。

对于整形来说：数据存放在内存中其实存放的是补码。

为什么呢？

在计算机系统中，数值一律用补码来表示和存储。原因在于，使用补码，可以将符号位和数值域统一处理；

同时，加法和减法也可以统一处理（CPU只有加法器）此外，补码与原码相互转换，其运算过程是相同的，不需要额外的硬件电路。

我们看看在内存中的存储：

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int a = 20;
    int b = -10;
    return 0;
}
```

内存 1

地址: 0x0021FA14

0x0021FA14	14 00 00 00
0x0021FA18	cc cc cc cc	????
0x0021FA1C	6c fa 21 00	1?!.
0x0021FA20	c8 19 c5 00	? .?
0x0021FA24	01 00 00 00
0x0021FA28	48 4d 10 00	HM..
0x0021FA2C	48 26 10 00	H&..

内存 2

地址: 0x0021FA08

0x0021FA08	f6 ff ff ff	?...
0x0021FA0C	cc cc cc cc	????
0x0021FA10	cc cc cc cc	????
0x0021FA14	14 00 00 00
0x0021FA18	cc cc cc cc	????
0x0021FA1C	6c fa 21 00	1?!.
0x0021FA20	c8 19 c5 00	? .?

我们可以看到对于a和b分别存储的是补码。但是我们发现顺序有点不对劲。这是又为什么？

2.2 大小端介绍

什么大端小端：

大端（存储）模式，是指数据的低位保存在内存的高地址中，而数据的高位，保存在内存的低地址中；

小端（存储）模式，是指数据的低位保存在内存的低地址中，而数据的高位，保存在内存的高地址中。

为什么有大端和小端：

为什么会有大小端模式之分呢？这是因为在计算机系统中，我们是以字节为单位的，每个地址单元都对应着一个字节，一个字节为8 bit。但是在C语言中除了8 bit的char之外，还有16 bit的short型，32 bit的long型（要看具体的编译器），另外，对于位数大于8位的处理器，例如16位或者32位的处理器，由于寄存器宽度大于一个字节，那么必然存在着一个如何将多个字节安排的

问题。因此就导致了大端存储模式和小端存储模式。

例如：一个16bit的short型x，在内存中的地址为0x0010，x的值为0x1122，那么0x11为高字节，0x22为低字节。对于大端模式，就将0x11放在低地址中，即0x0010中，0x22放在高地址中，即0x0011中。小端模式，刚好相反。我们常用的x86结构是小端模式，而KEIL C51则为大端模式。很多的ARM，DSP都为小端模式。有些ARM处理器还可以由硬件来选择是大端模式还是小端模式。

百度2015年系统工程师笔试题：

请简述大端字节序和小端字节序的概念，设计一个小程序来判断当前机器的字节序。（10分）

```
//代码1
#include <stdio.h>
int check_sys()
{
    int i = 1;
    return (*(char *)&i);
}
int main()
{
    int ret = check_sys();
    if(ret == 1)
    {
        printf("小端\n");
    }
    else
    {
        printf("大端\n");
    }
    return 0;
}

//代码2
int check_sys()
{
    union
    {
        int i;
        char c;
    }un;
    un.i = 1;
    return un.c;
}
```

2.3 练习

```
1.
//输出什么?
#include <stdio.h>
int main()
{
    char a= -1;
    signed char b=-1;
    unsigned char c=-1;
    printf("a=%d,b=%d,c=%d",a,b,c);
    return 0;
}
```

下面程序输出什么?

```
2.
#include <stdio.h>
int main()
{
    char a = -128;
    printf("%u\n",a);
    return 0;
}
```

```
3.
#include <stdio.h>
int main()
{
    char a = 128;
    printf("%u\n",a);
    return 0;
}
```

```
4.
int i= -20;
unsigned int j = 10;
printf("%d\n", i+j);
//按照补码的形式进行运算，最后格式化成为有符号整数
```

```
5.
unsigned int i;
for(i = 9; i >= 0; i--)
{
    printf("%u\n",i);
}
```

```

6.
int main()
{
    char a[1000];
    int i;
    for(i=0; i<1000; i++)
    {
        a[i] = -1-i;
    }
    printf("%d",strlen(a));
    return 0;
}

```

```

7.
#include <stdio.h>

unsigned char i = 0;
int main()
{
    for(i = 0; i<=255; i++)
    {
        printf("hello world\n");
    }
    return 0;
}

```

3. 浮点型在内存中的存储

常见的浮点数：

3.14159

1E10

浮点数家族包括：float、double、long double 类型。

浮点数表示的范围：float.h中定义

3.1 一个例子

浮点数存储的例子：

```

int main()
{
    int n = 9;
    float *pFloat = (float *)&n;
    printf("n的值为: %d\n", n);
    printf("*pFloat的值为: %f\n", *pFloat);

    *pFloat = 9.0;
    printf("num的值为: %d\n", n);
    printf("*pFloat的值为: %f\n", *pFloat);
    return 0;
}

```

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
n的值为：9
*pFloat的值为：0.000000
num的值为：1091567616
*pFloat的值为：9.000000
请按任意键继续. . .
```

3.2 浮点数存储规则

`num` 和 `*pFloat` 在内存中明明是同一个数，为什么浮点数和整数的解读结果会差别这么大？要理解这个结果，一定要搞懂浮点数在计算机内部的表示方法。

详细解读：

根据国际标准IEEE（电气和电子工程协会）754，任意一个二进制浮点数V可以表示成下面的形式：

- $(-1)^S * M * 2^E$
- $(-1)^S$ 表示符号位，当 $s=0$ ，V为正数；当 $s=1$ ，V为负数。
- M表示有效数字，大于等于1，小于2。
- 2^E 表示指数位。

举例来说：

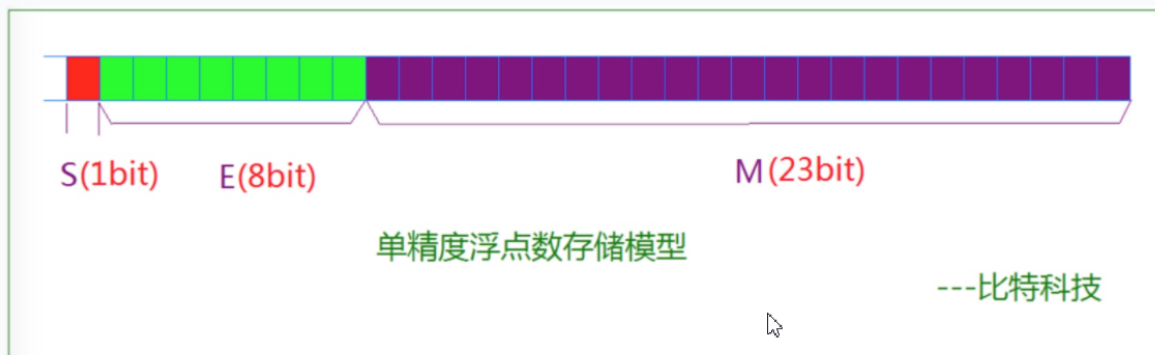
十进制的5.0，写成二进制是101.0，相当于 1.01×2^2 。

那么，按照上面V的格式，可以得出 $s=0$ ， $M=1.01$ ， $E=2$ 。

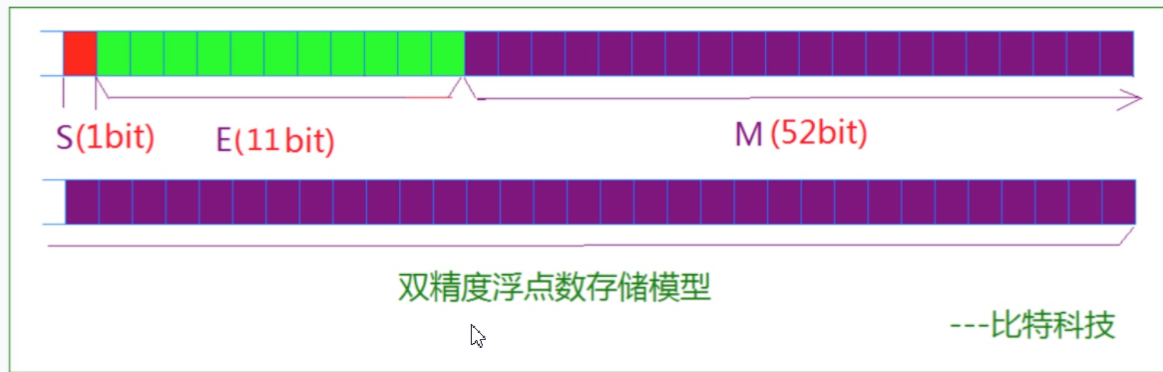
十进制的-5.0，写成二进制是-101.0，相当于 -1.01×2^2 。那么， $s=1$ ， $M=1.01$ ， $E=2$ 。

IEEE 754规定：

对于32位的浮点数，最高的1位是符号位s，接着的8位是指数E，剩下的23位为有效数字M。



对于64位的浮点数，最高的1位是符号位S，接着的11位是指数E，剩下的52位为有效数字M。



IEEE 754对有效数字M和指数E，还有一些特别规定。

前面说过， $1 \leq M < 2$ ，也就是说，M可以写成 $1.xxxxxx$ 的形式，其中xxxxxx表示小数部分。

IEEE 754规定，在计算机内部保存M时，默认这个数的第一位总是1，因此可以被舍去，只保存后面的xxxxxx部分。比如保存1.01的时候，只保存01，等到读取的时候，再把第一位的1加上去。这样做的目的，是节省1位有效数字。以32位浮点数为例，留给M只有23位，将第一位的1舍去以后，等于可以保存24位有效数字。

至于指数E，情况就比较复杂。

首先，E为一个无符号整数 (unsigned int)

这意味着，如果E为8位，它的取值范围为 $0 \sim 255$ ；如果E为11位，它的取值范围为 $0 \sim 2047$ 。但是，我们知道，科学计数法中的E是可以出现负数的，所以IEEE 754规定，存入内存时E的真实值必须再加上一个中间数，对于8位的E，这个中间数是127；对于11位的E，这个中间数是1023。比如， 2^{10} 的E是10，所以保存成32位浮点数时，必须保存成 $10+127=137$ ，即10001001。

然后，指数E从内存中取出还可以再分成三种情况：

E不全为0或不全为1

这时，浮点数就采用下面的规则表示，即指数E的计算值减去127（或1023），得到真实值，再将有效数字M前加上第一位的1。

比如：

0.5 ($1/2$) 的二进制形式为0.1，由于规定正数部分必须为1，即将小数点右移1位，则为 1.0×2^{-1} ，其阶码为 $-1+127=126$ ，表示为01111110，而尾数1.0去掉整数部分为0，补齐0到23位00000000000000000000000，则其二进制表示形式为：

```
0 01111110 000000000000000000000000
```

E全为0

这时，浮点数的指数E等于 $1-127$ （或者 $1-1023$ ）即为真实值，

有效数字M不再加上第一位的1，而是还原为 $0.xxxxxx$ 的小数。这样做是为了表示 ± 0 ，以及接近于0的很小的数字。

E全为1

这时，如果有效数字M全为0，表示 \pm 无穷大（正负取决于符号位s）；

好了，关于浮点数的表示规则，就说到这里。

解释前面的题目：

下面，让我们回到一开始的问题：为什么 0×00000009 还原成浮点数，就成了 0.000000 ？

首先，将 0×00000009 拆分，得到第一位符号位 $s=0$ ，后面8位的指数 $E=00000000$ ，最后23位的有效数字 $M=000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 1001$ 。

9 -> 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 1001

由于指数 E 全为0，所以符合上一节的第二种情况。因此，浮点数 V 就写成：

$$V = (-1)^s \times 0.000000000000000000000001001 \times 2^{(-126)} = 1.001 \times 2^{(-146)}$$

显然， V 是一个很小的接近于0的正数，所以用十进制小数表示就是 0.000000 。

再看例题的第二部分。

请问浮点数 9.0 ，如何用二进制表示？还原成十进制又是多少？

首先，浮点数 9.0 等于二进制的 1001.0 ，即 1.001×2^3 。

9.0 -> 1001.0 -> $(-1)^s 1.0012^3$ -> $s=0$, $M=1.001$, $E=3+127=130$

那么，第一位的符号位 $s=0$ ，有效数字 M 等于 001 后面再加20个0，凑满23位，指数 E 等于 $3+127=130$ ，即 10000010 。

所以，写成二进制形式，应该是 $s+E+M$ ，即

0 10000010 001 0000 0000 0000 0000 0000

这个32位的二进制数，还原成十进制，正是 1091567616 。

本章完。

