第19讲：数据在内存中的存储

目录

正文开始

1. 整数在内存中的存储

在讲解操作符的时候，我们就讲过了下面的内容：

整数的2进制表示方法有三种，即 **原码、反码和补码**

有符号的整数，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”，最高位的一位是被当做符号位，剩余的都是数值位。

正整数的原、反、补码都相同。

负整数的三种表示方法各不相同。

原码：直接将数值按照正负数的形式翻译成二进制得到的就是原码。

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反码。

补码：反码+1就得到补码。

对于整形来说：数据存放内存中其实存放的是二进制的补码。

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。

2. 大小端字节序和字节序判断

当我们了解了整数在内存中存储后，我们调试看一个细节：

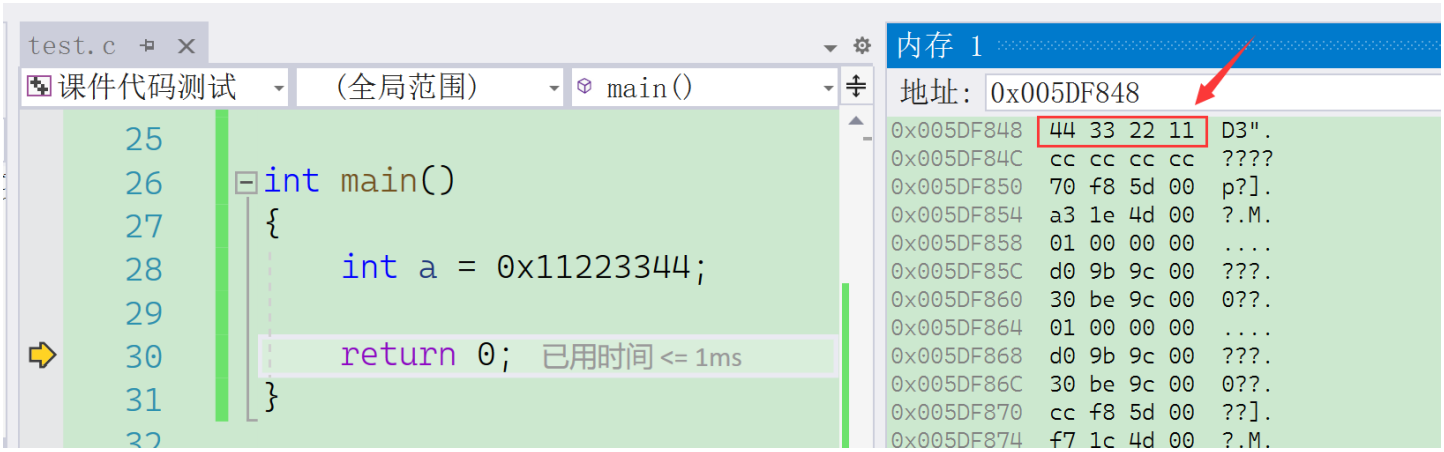
代码块

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int a = 0x11223344;

    return 0;
}
```

调试的时候，我们可以看到在a中的 `0x11223344` 这个数字是按照字节为单位，倒着存储的。这是为什么呢？



2.1 什么是大小端？

其实超过一个字节的数据在内存中存储的时候，就有存储顺序的问题，按照不同的存储顺序，我们分为大端字节序存储和小端字节序存储，下面是具体的概念：

大端（存储）模式：

> 是指数据的低位字节内容保存在内存的高地址处，而数据的高位字节内容，保存在内存的低地址处。

小端（存储）模式：

> 是指数据的低位字节内容保存在内存的低地址处，而数据的高位字节内容，保存在内存的高地址处。

上述概念需要记住，方便分辨大小端。

2.2 为什么有大小端?

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 位，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。

2.3 练习

2.3.1 练习1

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）- 百度笔试题

代码块

```c
//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;
}
```

```
22
23  //代码2
24  int check_sys()
25  {
26      union
27      {
28          int i;
29          char c;
30      }un;
31      un.i = 1;
32      return un.c;
33  }
```

2.3.2 练习2

代码块

```
1   #include <stdio.h>
2   int main()
3   {
4       char a = -1;
5       signed char b = -1;
6       unsigned char c = -1;
7       printf("a = %d, b = %d, c = %d", a, b, c);
8       return 0;
9   }
```

2.3.3 练习3

代码块

```
1   #include <stdio.h>
2   int main()
3   {
4       char a = -128;
5       printf("%u\n",a);
6       return 0;
7   }
```

代码块

```
1   #include <stdio.h>
2   int main()
3   {
4       char a = 128;
5       printf("%u\n",a);
6       return 0;
7   }
```

2.3.4 练习4

代码块

```c
#include <stdio.h>
#include <string.h>

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

2.3.5 练习5

代码块

```c
#include <stdio.h>

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

代码块

```c
#include <stdio.h>

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

2.3.6 练习6

代码块

```c
#include <stdio.h>
//X86环境 小端字节序
int main()
{
    int a[4] = { 1, 2, 3, 4 };
    int *ptr1 = (int *)(&a + 1);
    int *ptr2 = (int *)((int)a + 1);
    printf("%x, %x", ptr1[-1], *ptr2);
    return 0;
}
```

代码输出的结果是啥?

3. 浮点数在内存中的存储

常见的浮点数：3.14159、1E10等，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 练习

代码块

```
#include <stdio.h>

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

输出什么?

3.2 浮点数的存储

上面的代码中， `n` 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。

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：

> $V = (-1)^S * M * 2^E$
>
> - $(-1)^S$ 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，M是大于等于1，小于2的
> - 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 。

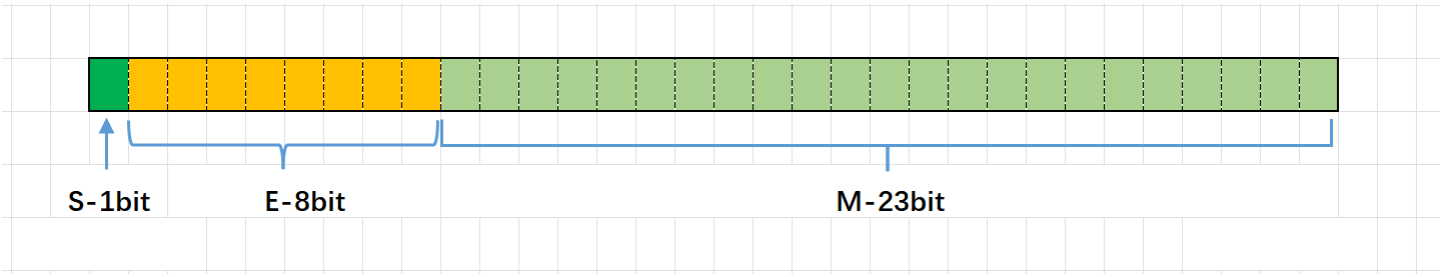
那么，按照上面 V 的格式，可以得出S=0，M=1.01，E=2。

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。

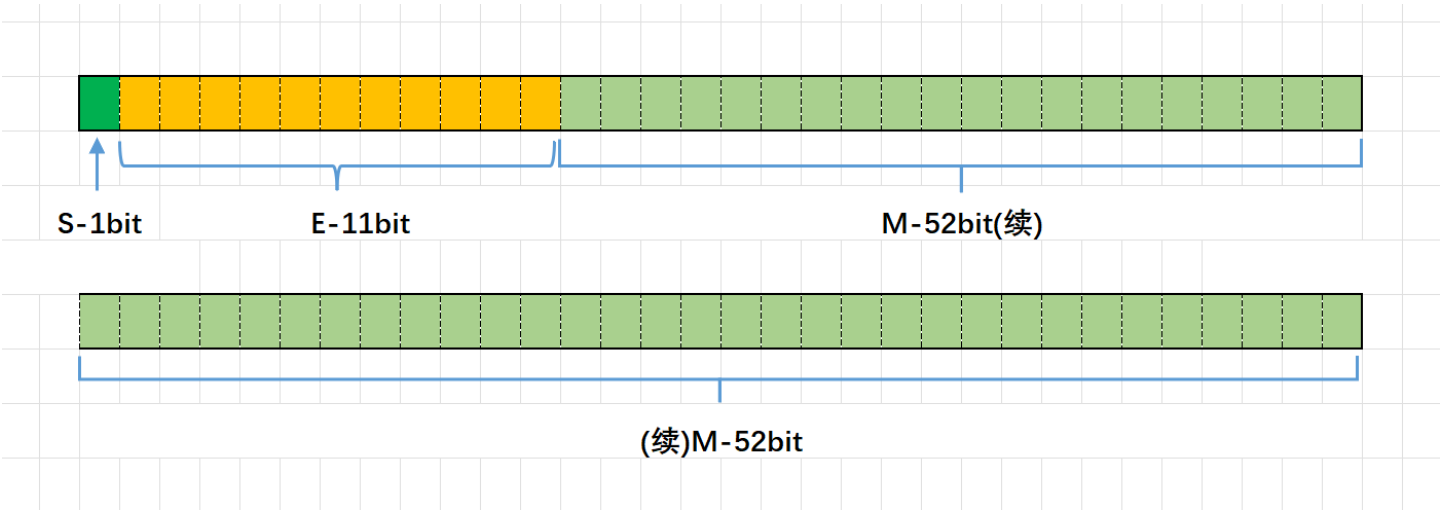
IEEE 754规定：

对于32位的浮点数(float)，最高的1位存储符号位S，接着的8位存储指数E，剩下的23位存储有效数字M

对于64位的浮点数(double)，最高的1位存储符号位S，接着的11位存储指数E，剩下的52位存储有效数字M



float类型浮点数内存分配



double类型浮点数内存分配

3.2.1 浮点数存的过程

IEEE 754 对有效数字M和指数E，还有一些特殊规定。

前面说过， `1 ≤ 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。

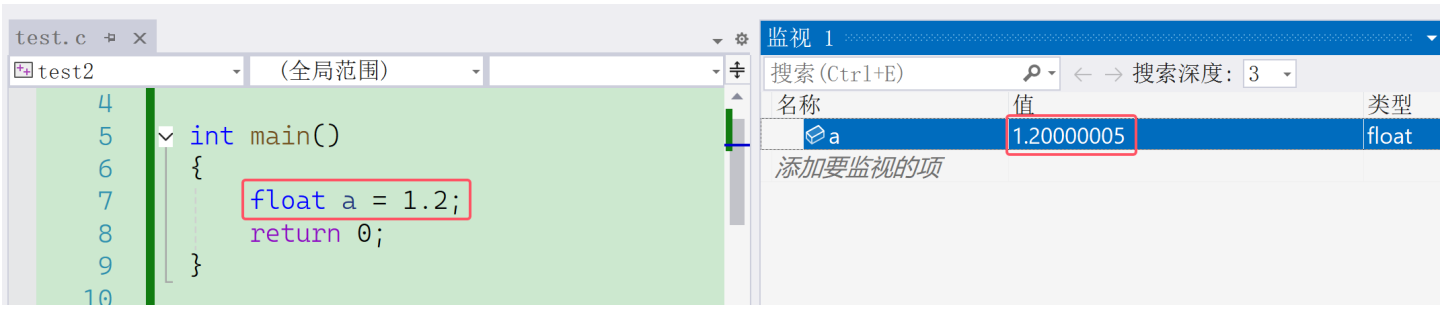
至于指数E，情况就比较复杂

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0~255；如果E为11位，它的取值范围为0~2047。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。

这样的浮点数存储方式很巧妙，但是我们也要注意到有的浮点数是有可能无法精确保存的。比如:1.2，我们可以在VS上调试看一下，我们发现会有些许误差。



3.2.2 浮点数取的过程

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（常规情况）

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 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(中间值) = 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:

代码块

```
0 01111110 00000000000000000000000
```

E全为0

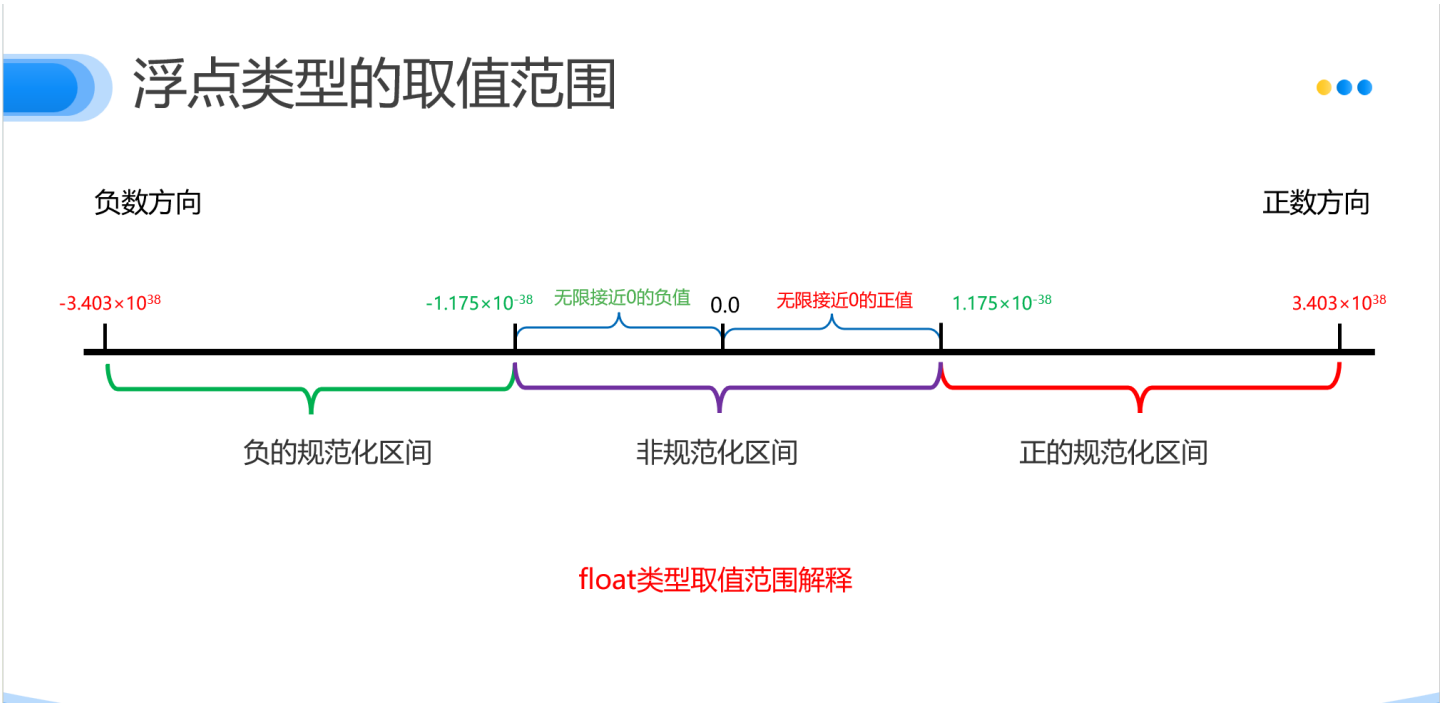
这时，浮点数的指数E等于1-127（或者1-1023）即为真实值，有效数字M不再加上第一位的1，而是还原为0.xxxxxx的小数。这样做是为了表示±0，以及接近于0的很小的数字。

```
代码块
1   0 00000000 00100000000000000000000
```

E全为1

这时，如果有效数字M全为0，表示±无穷大（正负取决于符号位s）；

```
代码块
1   0 11111111 00010000000000000000000
```



float类型取值范围解释

好了，关于浮点数的表示规则，就说到这里。

3.3 题目解析

下面，让我们回到一开始的练习

先看第1环节，为什么 `9` 还原成浮点数，就成了 `0.000000` ？

9以整型的形式存储在内存中，得到如下二进制序列：

```
代码块
1   0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 1001
```

首先，将`9`的二进制序列按照浮点数的形式拆分，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。

由于指数E全为0，所以符合E为全0的情况。因此，浮点数V就写成：

V=-1^0 × 0.00000000000000000001001× 2^{-126} =1.001× 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。

再看第2环节，浮点数9.0，为什么整数打印是`1091567616`

首先，浮点数9.0 等于二进制的1001.0，即换算成科学计数法是：1.001× 2^3

所以：$9.0 = (-1)^0 * (1.001) * 2^3$，

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

```
代码块
1   0 10000010 001 0000 0000 0000 0000 0000
```

这个32位的二进制数，被当做整数来解析的时候，就是整数在内存中的补码，原码正是`1091567616`。

完