

第20讲：自定义类型：结构体

目录：

1. 结构体类型的声明
2. 结构体变量的创建和初始化
3. 结构体内存对齐
4. 结构体传参
5. 结构体实现位段

正文开始

1. 结构体类型的声明

前面我们在学习操作符的时候，已经学习了结构体的知识，这里稍微复习一下。

1.1 结构体回顾

结构是一些值的集合，这些值称为成员变量。结构的每个成员可以是不同类型的变量。

1.1.1 结构的声明

代码块

```
1 struct tag
2 {
3     member-list;
4 }variable-list;
```

例如描述一个学生：

代码块

```
1 struct Stu
2 {
3     char name[20];//名字
4     int age;//年龄
5     char sex[5];//性别
```

```
6     char id[20];//学号
7 };//分号不能丢
```

1.1.2 结构体变量的创建和初始化

代码块

```
1 #include <stdio.h>
2 struct Stu
3 {
4     char name[20];//名字
5     int age;//年龄
6     char sex[5];//性别
7     char id[20];//学号
8 };
9
10 int main()
11 {
12     //按照结构体成员的顺序初始化
13     struct Stu s = { "张三", 20, "男", "20230818001" };
14     printf("name: %s\n", s.name);
15     printf("age : %d\n", s.age);
16     printf("sex : %s\n", s.sex);
17     printf("id  : %s\n", s.id);
18
19     //按照指定的顺序初始化
20     struct Stu s2 = { .age = 18, .name = "lisi", .id = "20230818002", .sex =
21     "女" };
22     printf("name: %s\n", s2.name);
23     printf("age : %d\n", s2.age);
24     printf("sex : %s\n", s2.sex);
25     printf("id  : %s\n", s2.id);
26 }
```

1.2 结构的特殊声明

在声明结构的时候，可以不完全的声明。

比如：

代码块

```
1 //匿名结构体类型
2 struct
3 {
4     int a;
```

```
5     char b;
6     float c;
7 }x;
8
9 struct
10 {
11     int a;
12     char b;
13     float c;
14 }a[20], *p;
```

上面的两个结构在声明的时候省略掉了结构体标签（tag）。

那么问题来了？

代码块

```
1 //在上面代码的基础上，下面的代码合法吗？
2 p = &x;
```

警告：

编译器会把上面的两个声明当成完全不同的两个类型，所以是非法的。

匿名的结构体类型，如果没有对结构体类型重命名的话，基本上只能使用一次。

1.3 结构的自引用

在结构中包含一个类型为该结构本身的成员是否可以呢？

比如，定义一个链表的节点：

代码块

```
1 struct Node
2 {
3     int data;
4     struct Node next;
5 };
```

上述代码正确吗？如果正确，那 `sizeof(struct Node)` 是多少？

仔细分析，其实是不行的，因为一个结构体中再包含一个同类型的结构体变量，这样结构体变量的大小就会无穷的大，是不合理的。

正确的自引用方式：

代码块

```
1 struct Node  
2 {  
3     int data;  
4     struct Node* next;  
5 };
```

在结构体自引用使用的过程中，夹杂了 `typedef` 对匿名结构体类型重命名，也容易引入问题，看看下面的代码，可行吗？

代码块

```
1 typedef struct  
2 {  
3     int data;  
4     Node* next;  
5 }Node;
```

答案是不行的，因为`Node`是对前面的匿名结构体类型的重命名产生的，但是在匿名结构体内部提前使用`Node`类型来创建成员变量，这是不行的。

解决方案如下：定义结构体不要使用匿名结构体了

代码块

```
1 typedef struct Node  
2 {  
3     int data;  
4     struct Node* next;  
5 }Node;
```

2. 结构体内存对齐

我们已经掌握了结构体的基本使用了。

现在我们深入讨论一个问题：计算结构体的大小。

这也是一个特别热门的考点：`结构体内存对齐`

2.1 对齐规则

首先得掌握结构体的对齐规则：

1. 结构体的第1个成员对齐到和结构体变量起始位置偏移量为0的地址处。

2. 从第2个成员变量开始，都要对齐到某个**对齐数**的整数倍的地址处。

对齐数 = 编译器默认的一个对齐数 与 该成员变量大小的较小值。

- VS 中默认的值为 8

- Linux中 gcc 没有默认对齐数，对齐数就是成员自身的大小

3. 结构体总大小为**最大对齐数**（结构体中每个成员变量都有一个对齐数，所有对齐数中最大的）的整数倍。

4. 如果嵌套了结构体的情况，嵌套的结构体成员对齐到自己的成员中最大对齐数的整数倍处，结构体的整体大小就是所有最大对齐数（含嵌套结构体中成员的对齐数）的整数倍。

代码块

```
1 //练习1
2 struct S1
3 {
4     char c1;
5     int i;
6     char c2;
7 };
8 printf("%zu\n", sizeof(struct S1));
9
10 //练习2
11 struct S2
12 {
13     char c1;
14     char c2;
15     int i;
16 };
17 printf("%zu\n", sizeof(struct S2));
18
19 //练习3
20 struct S3
21 {
22     double d;
23     char c;
24     int i;
25 };
26 printf("%zu\n", sizeof(struct S3));
27
28 //练习4-结构体嵌套问题
29 struct S4
30 {
```

```
31     char c1;
32     struct S3 s3;
33     double d;
34 };
35 printf("%zu\n", sizeof(struct S4));
```

2.2 为什么存在内存对齐?

大部分的参考资料都是这样说的：

1. 平台原因(移植原因)：

不是所有的硬件平台都能访问任意地址上的任意数据的；某些硬件平台只能在某些地址处取某些特定类型的数据，否则抛出硬件异常。

2. 性能原因：

数据结构(尤其是栈)应该尽可能地在自然边界上对齐。原因在于，为了访问未对齐的内存，处理器需要作两次内存访问；而对齐的内存访问仅需要一次访问。假设一个处理器总是从内存中取8个字节，则地址必须是8的倍数。如果我们能保证将所有的double类型的数据的地址都对齐成8的倍数，那么就可以用一个内存操作来读或者写值了。否则，我们可能需要执行两次内存访问，因为对象可能被分放在两个8字节内存块中。

总体来说：结构体的内存对齐是拿空间来换取时间的做法。

那在设计结构体的时候，我们既要满足对齐，又要节省空间，如何做到：

让占用空间小的成员尽量集中在一起

代码块

```
1 //例如:
2 struct S1
3 {
4     char c1;
5     int i;
6     char c2;
7 };
8
9 struct S2
10 {
11     char c1;
12     char c2;
13     int i;
```

```
14 };
```

`S1` 和 `S2` 类型的成员一模一样，但是 `S1` 和 `S2` 所占空间的大小有了一些区别。

2.3 修改默认对齐数

`#pragma` 这个预处理指令，可以改变编译器的默认对齐数。

代码块

```
1 #include <stdio.h>
2
3 #pragma pack(1)//设置默认对齐数为1
4 struct S
5 {
6     char c1;
7     int i;
8     char c2;
9 }
10 #pragma pack()//取消设置的对齐数，还原为默认
11
12 int main()
13 {
14     //输出的结果是什么？
15     printf("%d\n", sizeof(struct S));
16     return 0;
17 }
```

结构体在对齐方式不合适的时候，我们可以自己更改默认对齐数。

3. 结构体传参

代码块

```
1 struct S
2 {
3     int data[1000];
4     int num;
5 };
6
7 struct S s = {{1,2,3,4}, 1000};
8 //结构体传参
9 void print1(struct S s)
```

```
10  {
11      printf("%d\n", s.num);
12  }
13 //结构体地址传参
14 void print2(struct S* ps)
15 {
16     printf("%d\n", ps->num);
17 }
18
19 int main()
20 {
21     print1(s); //传结构体
22     print2(&s); //传地址
23     return 0;
24 }
```

上面的 `print1` 和 `print2` 函数哪个好些？

答案是：首选 `print2` 函数。

原因：

函数传参的时候，参数是需要压栈，会有时间和空间上的系统开销。

如果传递一个结构体对象的时候，结构体过大，参数压栈的系统开销比较大，所以会导致性能的下降。

结论：结构体传参的时候，要传结构体的地址。

4. 结构体实现位段

结构体讲完就得讲讲结构体实现 **位段** 的能力。

4.1 什么是位段

位段的声明和结构是类似的，有两个不同：

1. 位段的成员必须是 `int`、`unsigned int` 或 `signed int`，在C99中位段成员的类型也可以选择其他整型家族类型，比如：`char`。
2. 位段的成员名后边有一个冒号和一个数字。

比如：

代码块

```
1 struct A
2 {
3     int _a:2;
```

```
4     int _b:5;
5     int _c:10;
6     int _d:30;
7 };
```

A就是一个位段类型。

那位段A所占内存的大小是多少？

代码块

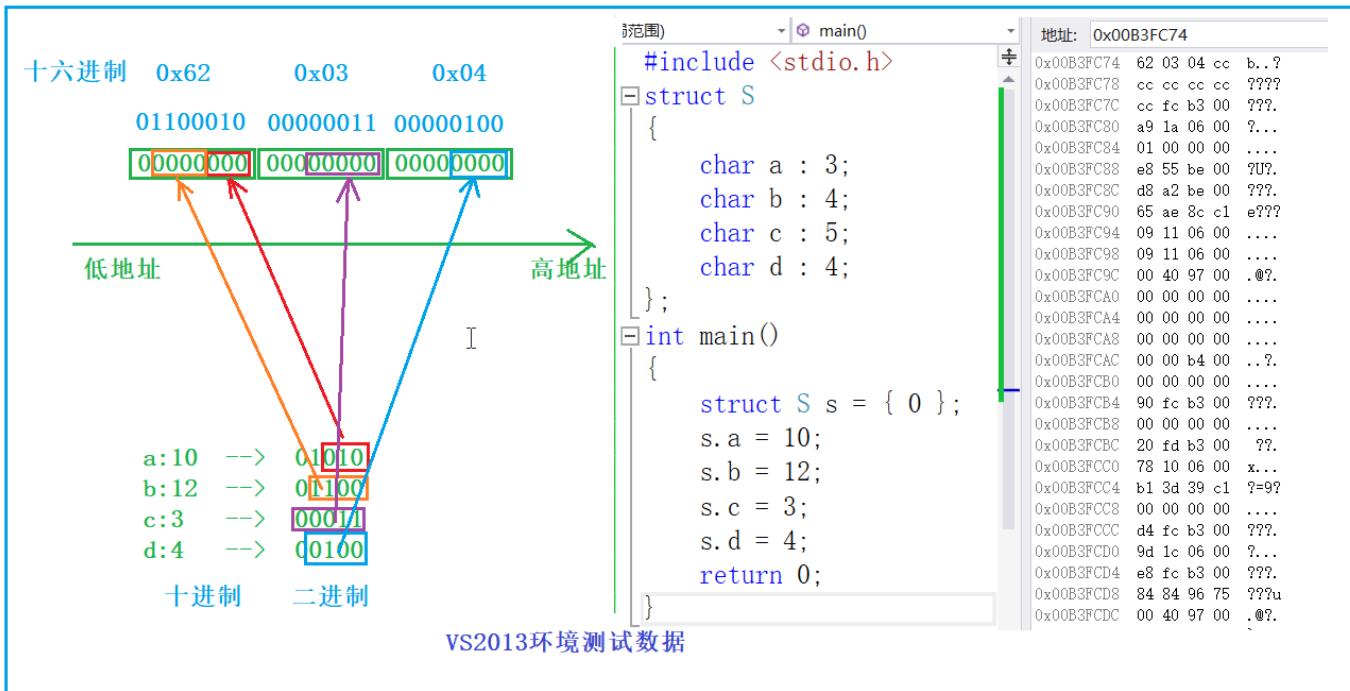
```
1 printf("%d\n", sizeof(struct A));
```

4.2 位段的内存分配

1. 位段的成员可以是 `int` `unsigned int` `signed int` 或者是 `char` 等类型
2. 位段的空间上是按照需要以4个字节（`int`）或者1个字节（`char`）的方式来开辟的。
3. 位段涉及很多不确定因素，位段是不跨平台的，注重可移植的程序应该避免使用位段。

代码块

```
1 //一个例子
2 struct S
3 {
4     char a:3;
5     char b:4;
6     char c:5;
7     char d:4;
8 };
9 struct S s = {0};
10 s.a = 10;
11 s.b = 12;
12 s.c = 3;
13 s.d = 4;
14
15 //空间是如何开辟的?
```



4.3 位段的跨平台问题

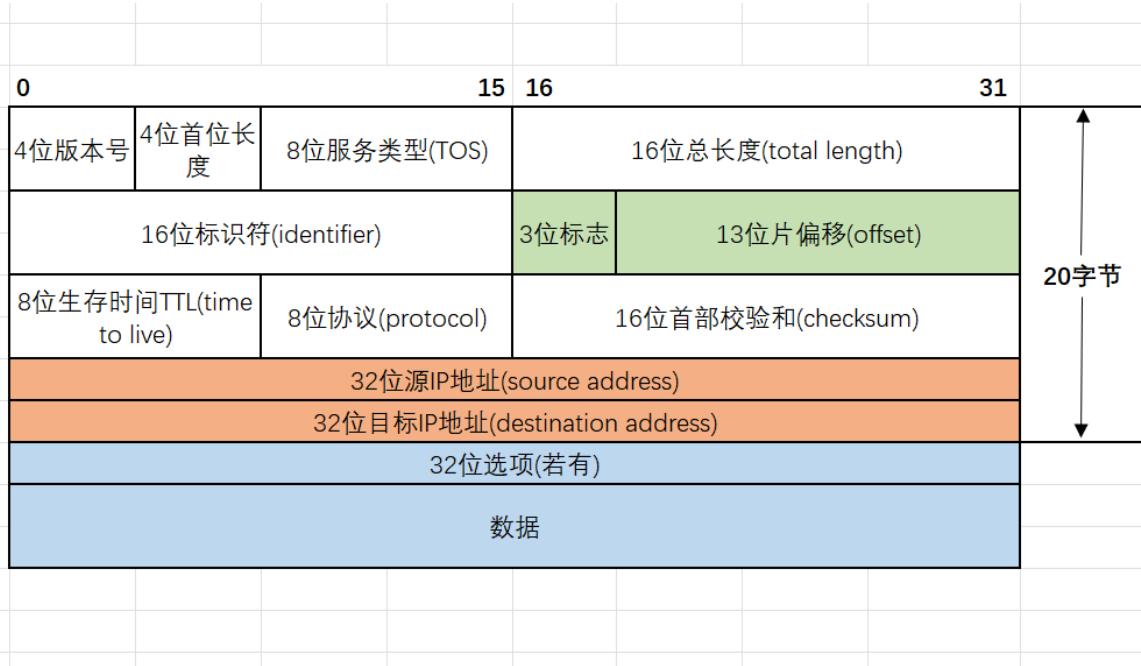
1. int 位段被当成有符号数还是无符号数是不确定的。
2. 位段中最大位的数目不能确定。 (16位机器最大16, 32位机器最大32, 写成27, 在16位机器会出问题。)
3. 位段中的成员在内存中从左向右分配, 还是从右向左分配, 标准尚未定义。
4. 当一个结构包含两个位段, 第二个位段成员比较大, 无法容纳于第一个位段剩余的位时, 是舍弃剩余的位还是利用, 这是不确定的。

总结:

跟结构相比, 位段可以达到同样的效果, 并且可以很好的节省空间, 但是有跨平台的问题存在。

4.4 位段的应用

下图是网络协议中, IP数据报的格式, 我们可以看到其中很多的属性只需要几个bit位就能描述, 这里使用位段, 能够实现想要的效果, 也节省了空间, 这样网络传输的数据报大小也会较小一些, 对网络的畅通是有帮助的。



4.5 位段使用的注意事项

位段的几个成员共有同一个字节，这样有些成员的起始位置并不是某个字节的起始位置，那么这些位置处是没有地址的。内存中每个字节分配一个地址，一个字节内部的bit位是没有地址的。

所以不能对位段的成员使用&操作符，这样就不能使用scanf直接给位段的成员输入值，只能是先输入放在一个变量中，然后赋值给位段的成员。

代码块

```

1 struct A
2 {
3     int _a : 2;
4     int _b : 5;
5     int _c : 10;
6     int _d : 30;
7 };
8
9 int main()
10 {
11     struct A sa = {0};
12     scanf("%d", &sa._b); //这是错误的
13
14     //正确的示范
15     int b = 0;
16     scanf("%d", &b);
17     sa._b = b;
18     return 0;
19 }
```

完