第21讲：动态内存管理

目录

正文开始

1. 为什么要有动态内存分配

我们已经掌握的内存开辟方式有：

```
1 int val = 20;//在栈空间上开辟四个字节
2 char arr[10] = {0};//在栈空间上开辟10个字节的连续空间
```

但是上述的开辟空间的方式有两个特点：

1. 空间开辟大小是固定的。
2. 数组在申明的时候，必须指定数组的长度，数组空间一旦确定了大小不能调整

但是对于空间的需求，不仅仅是上述的情况。有时候我们需要的空间大小在程序运行的时候才能知道，那数组的编译时开辟空间的方式就不能满足了。

C语言引入了动态内存开辟，让程序员自己可以申请和释放空间，就比较灵活了。

2. malloc和free

2.1 malloc

C语言提供了一个动态内存开辟的函数：

```
1 void* malloc (size_t size);
```

这个函数向内存申请一块**连续可用**的空间，并返回指向这块空间的指针。

- 如果开辟成功，则返回一个指向开辟好空间的指针。
- 如果开辟失败，则返回一个NULL指针，因此malloc的返回值一定要做检查。
- 返回值的类型是 `void*` ，所以malloc函数并不知道开辟空间的类型，具体在使用的时候使用者自己来决定。
- 如果参数 `size` 为0，malloc的行为是标准是未定义的，取决于编译器。

2.2 free

C语言提供了另外一个函数free，专门是用来做动态内存的释放和回收的，函数原型如下：

```
1 void free (void* ptr);
```

free函数用来释放动态开辟的内存。

- 如果参数 `ptr` 指向的空间不是动态开辟的，那free函数的行为是未定义的。
- 如果参数 `ptr` 是NULL指针，则函数什么事都不做。

malloc和free都声明在 `stdlib.h` 头文件中。

举个例子：

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  int main()
5  {
6      int num = 0;
7      scanf("%d", &num);
8      int arr[num] = {0};
9      int* ptr = NULL;
10     ptr = (int*)malloc(num*sizeof(int));
```

```
    if(NULL != ptr)//判断ptr指针是否为空
    {
        int i = 0;
        for(i=0; i<num; i++)
        {
            *(ptr+i) = 0;
        }
    }
    free(ptr);//释放ptr所指向的动态内存
    ptr = NULL;//是否有必要?
    return 0;
}
```

3. calloc和realloc

3.1 calloc

C语言还提供了一个函数叫 `calloc` ， `calloc` 函数也用来动态内存分配。原型如下：

```
void* calloc (size_t num, size_t size);
```

- 函数的功能是为 `num` 个大小为 `size` 的元素开辟一块空间，并且把空间的每个字节初始化为0。
- 与函数 `malloc` 的区别只在于 `calloc` 会在返回地址之前把申请的空间的每个字节初始化为全0。

举个例子：

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
    int *p = (int*)calloc(10, sizeof(int));
    if(NULL != p)
    {
        int i = 0;
        for(i=0; i<10; i++)
        {
            printf("%d ", *(p+i));
        }
    }
    free(p);
    p = NULL;
    return 0;
```

```
18 }
```

输出结果：

```
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

所以如果我们对申请的内存空间的内容要求初始化，那么可以很方便的使用calloc函数来完成任务。

3.2 realloc

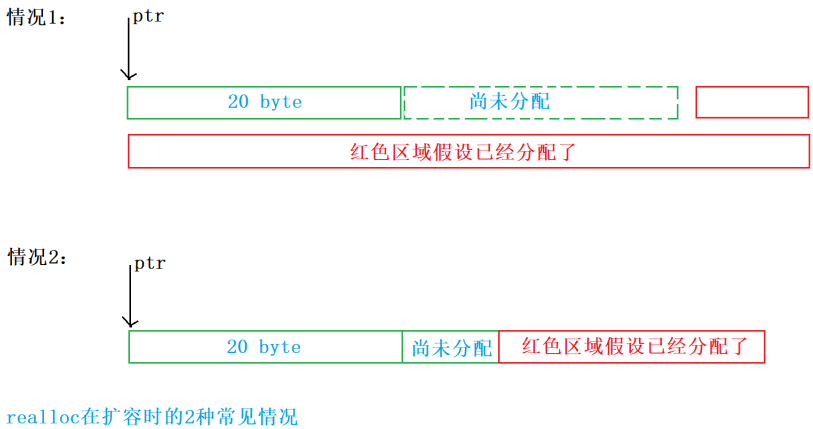
- realloc函数的出现让动态内存管理更加灵活。
- 有时会我们发现过去申请的空间太小了，有时候我们又会觉得申请的空间过大了，那为了合理的时候内存，我们一定会对内存的大小做灵活的调整。那 `realloc` 函数就可以做到对动态开辟内存大小的调整。

函数原型如下：

```
1 void* realloc (void* ptr, size_t size);
```

- `ptr` 是要调整的内存地址
- `size` 调整之后新大小
- 返回值为调整之后的内存起始位置。
- 这个函数调整原内存空间大小的基础上，还会将原来内存中的数据移动到 `新` 的空间。
- realloc在调整内存空间的是存在两种情况：
  - 情况1：原有空间之后有足够大的空间
  - 情况2：原有空间之后没有足够大的空间

```c
int main()
{
    int* ptr = (int*)malloc(20);
    //....
    if (ptr != NULL)
    {
        int* tmp = realloc(ptr, 40);
        //....
    }
    return 0;
}
```



realloc在扩容时的2种常见情况

情况1

当是情况1 的时候，要扩展内存就直接原有内存之后直接追加空间，原来空间的数据不发生变化。

情况2

当是情况2 的时候，原有空间之后没有足够多的空间时，扩展的方法是：在堆空间上另找一个合适大小的连续空间来使用。这样函数返回的是一个新的内存地址。

由于上述的两种情况，realloc函数的使用就要注意一些。

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

int main()
{
        int *ptr = (int*)malloc(100);
        if(ptr != NULL)
        {
            //业务处理
        }
        else
        {
            return 1;
        }
        //扩展容量

        //代码1 - 直接将realloc的返回值放到ptr中
        ptr = (int*)realloc(ptr, 1000);//这样可以吗？（如果申请失败会如何？）

        //代码2 - 先将realloc函数的返回值放在p中，不为NULL，在放ptr中
        int*p = NULL;
        p = realloc(ptr, 1000);
        if(p != NULL)
```

```
24          {
25                  ptr = p;
26          }
27          //业务处理
28          free(ptr);
29          return 0;
30  }
```

4.常见的动态内存的错误

4.1对NULL指针的解引用操作

```
1  void test()
2  {
3      int *p = (int *)malloc(INT_MAX/4);
4      *p = 20;//如果p的值是NULL，就会有问题
5      free(p);
6  }
```

4.2对动态开辟空间的越界访问

```
1  void test()
2  {
3      int i = 0;
4      int *p = (int *)malloc(10*sizeof(int));
5      if(NULL == p)
6      {
7          exit(EXIT_FAILURE);
8      }
9      for(i=0; i<=10; i++)
10     {
11         *(p+i) = i;//当i是10的时候越界访问
12     }
13     free(p);
14 }
```

4.3对非动态开辟内存使用free释放

```
1  void test()
```

```
{
    int a = 10;
    int *p = &a;
    free(p);//ok?
}
```

4.4使用free释放一块动态开辟内存的一部分

```
void test()
{
    int *p = (int *)malloc(100);
    p++;
    free(p);//p不再指向动态内存的起始位置
}
```

4.5对同一块动态内存多次释放

```
void test()
{
    int *p = (int *)malloc(100);
    free(p);
    free(p);//重复释放
}
```

4.6动态开辟内存忘记释放（内存泄漏）

```
void test()
{
    int *p = (int *)malloc(100);
    if(NULL != p)
    {
        *p = 20;
    }
}

int main()
{
    test();
    while(1);
}
```

忘记释放不再使用的动态开辟的空间会造成内存泄漏。

切记：动态开辟的空间一定要释放，并且正确释放。

5. 动态内存经典笔试题分析

5.1 题目1：

```
1  void GetMemory(char *p)
2  {
3      p = (char *)malloc(100);
4  }
5  void Test(void)
6  {
7      char *str = NULL;
8      GetMemory(str);
9      strcpy(str, "hello world");
10     printf(str);
11 }
```

请问运行Test 函数会有什么样的结果？

5.2 题目2：

```
1  char *GetMemory(void)
2  {
3      char p[] = "hello world";
4      return p;
5  }
6  void Test(void)
7  {
8      char *str = NULL;
9      str = GetMemory();
10     printf(str);
11 }
```

请问运行Test 函数会有什么样的结果？

5.3 题目3：

```
void GetMemory(char **p, int num)
{
    *p = (char *)malloc(num);
}
void Test(void)
{
    char *str = NULL;
    GetMemory(&str, 100);
    strcpy(str, "hello");
    printf(str);
}
```

请问运行Test 函数会有什么样的结果?

5.4 题目4：

```
void Test(void)
{
    char *str = (char *) malloc(100);
    strcpy(str, "hello");
    free(str);
    if(str != NULL)
    {
        strcpy(str, "world");
        printf(str);
    }
}
```

请问运行Test 函数会有什么样的结果?

6. 柔性数组

也许你从来没有听说过**柔性数组（flexible array）**这个概念，但是它确实是存在的。

C99 中，结构中的最后一个元素允许是未知大小的数组，这就叫做『柔性数组』成员。

例如：

```
typedef struct st_type
{
    int i;
```

```
    int a[0];//柔性数组成员
}type_a;
```

有些编译器会报错无法编译可以改成：

```
typedef struct st_type
{
    int i;
    int a[];//柔性数组成员
}type_a;
```

6.1 柔性数组的特点：

- 结构中的柔性数组成员前面必须至少一个其他成员。
- sizeof 返回的这种结构大小不包括柔性数组的内存。
- 包含柔性数组成员的结构用malloc ()函数进行内存的动态分配，并且分配的内存应该大于结构的大小，以适应柔性数组的预期大小。

例如：

```
typedef struct st_type
{
    int i;
    int a[0];//柔性数组成员
}type_a;
int main()
{
    printf("%d\n", sizeof(type_a));//输出的是4
    return 0;
}
```

6.2 柔性数组的使用

```
//代码1
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
```

```
    int i = 0;
    type_a *p = (type_a*)malloc(sizeof(type_a)+100*sizeof(int));
    //业务处理
    p->i = 100;
    for(i=0; i<100; i++)
    {
        p->a[i] = i;
    }
    free(p);
    return 0;
}
```

这样柔性数组成员a，相当于获得了100个整型元素的连续空间。

6.3 柔性数组的优势

上述的 `type_a` 结构也可以设计为下面的结构，也能完成同样的效果。

```
//代码2
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct st_type
{
    int i;
    int *p_a;
}type_a;

int main()
{
    type_a *p = (type_a *)malloc(sizeof(type_a));
    p->i = 100;
    p->p_a = (int *)malloc(p->i*sizeof(int));

    //业务处理
    for(i=0; i<100; i++)
    {
            p->p_a[i] = i;
    }

    //释放空间
    free(p->p_a);
    p->p_a = NULL;
    free(p);
```

```
27      p = NULL;
28      return 0;
29  }
```

上述 代码1 和 代码2 可以完成同样的功能，但是 方法1 的实现有两个好处：

第一个好处是：方便内存释放

> 如果我们的代码是在一个给别人用的函数中，你在里面做了二次内存分配，并把整个结构体返回给用户。用户调用free可以释放结构体，但是用户并不知道这个结构体内的成员也需要free，所以你不能指望用户来发现这个事。所以，如果我们把结构体的内存以及其成员要的内存一次性分配好了，并返回给用户一个结构体指针，用户做一次free就可以把所有的内存也给释放掉。

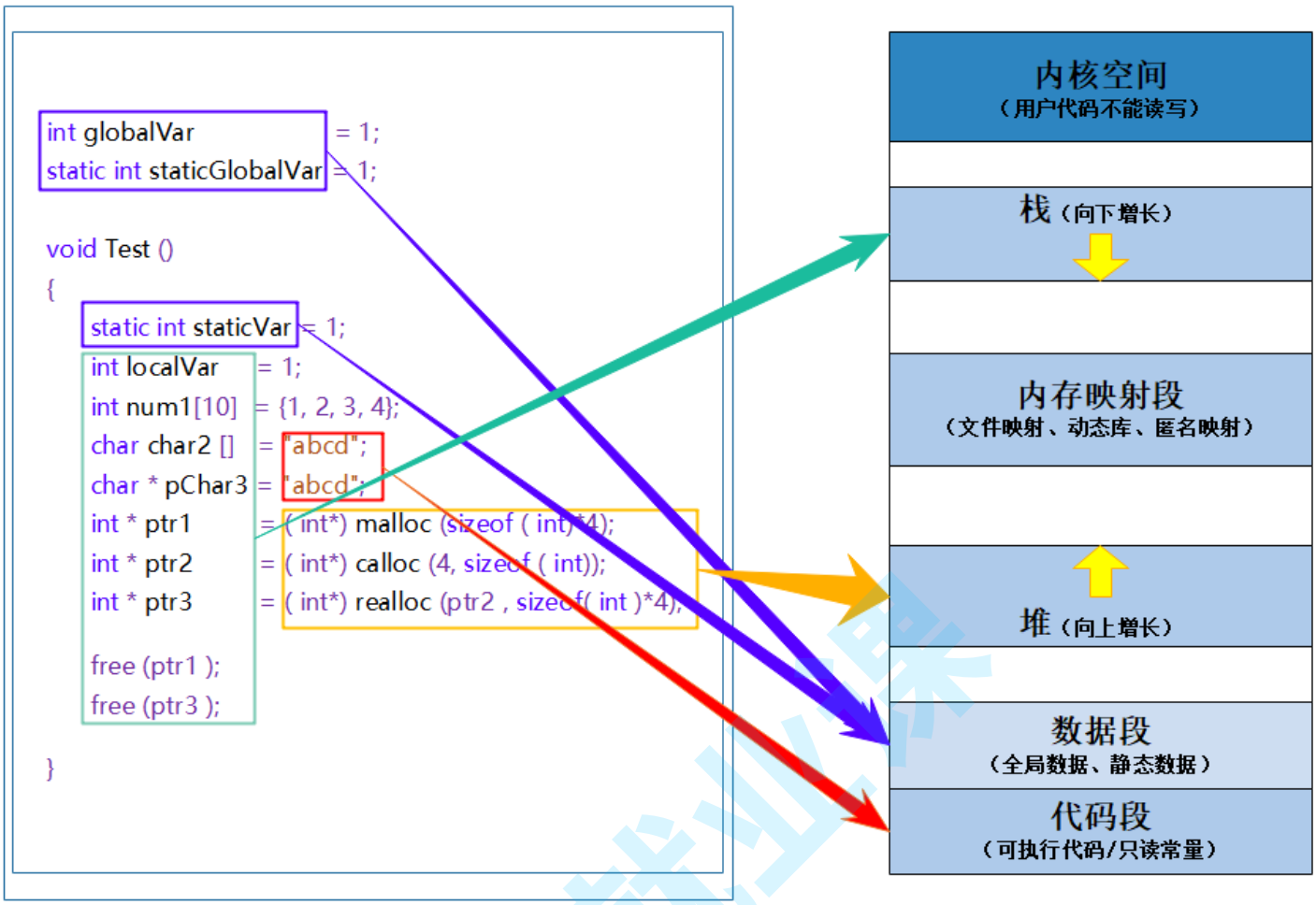
第二个好处是：这样有利于访问速度.

> 连续的内存有益于提高访问速度，也有益于减少内存碎片。（其实，我个人觉得也没多高了，反正你跑不了要用做偏移量的加法来寻址）

扩展阅读：

C语言结构体里的数组和指针

7. 总结C/C++中程序内存区域划分



C/C++程序内存分配的几个区域：

1. 栈区（stack）：在执行函数时，函数内局部变量的存储单元都可以在栈上创建，函数执行结束时这些存储单元自动被释放。栈内存分配运算内置于处理器的指令集中，效率很高，但是分配的内存容量有限。 栈区主要存放运行函数而分配的局部变量、函数参数、返回数据、返回地址等。
2. 堆区（heap）：一般由程序员分配释放， 若程序员不释放，程序结束时可能由OS回收 。分配方式类似于链表。
3. 数据段（静态区）（static）存放全局变量、静态数据。程序结束后由系统释放。
4. 代码段：存放函数体（类成员函数和全局函数）的二进制代码。

完