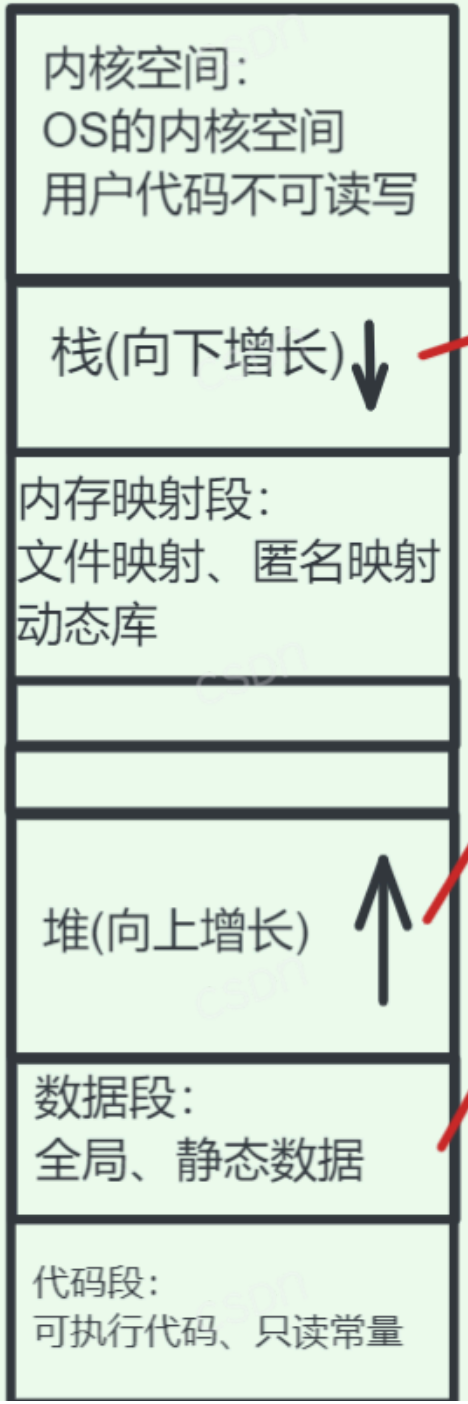
C++内存管理那些事

Vect. 于 2025-04-24 12:27:37 发布

一、C/C++内存分布

详细内存分布：



操作系统管理
局部变量、函数形参

程序员管理
动态开辟内存，手动释放内存
malloc、calloc、realloc、free

全局变量、静态变量

常量字符串、进制代码也存放在代码段

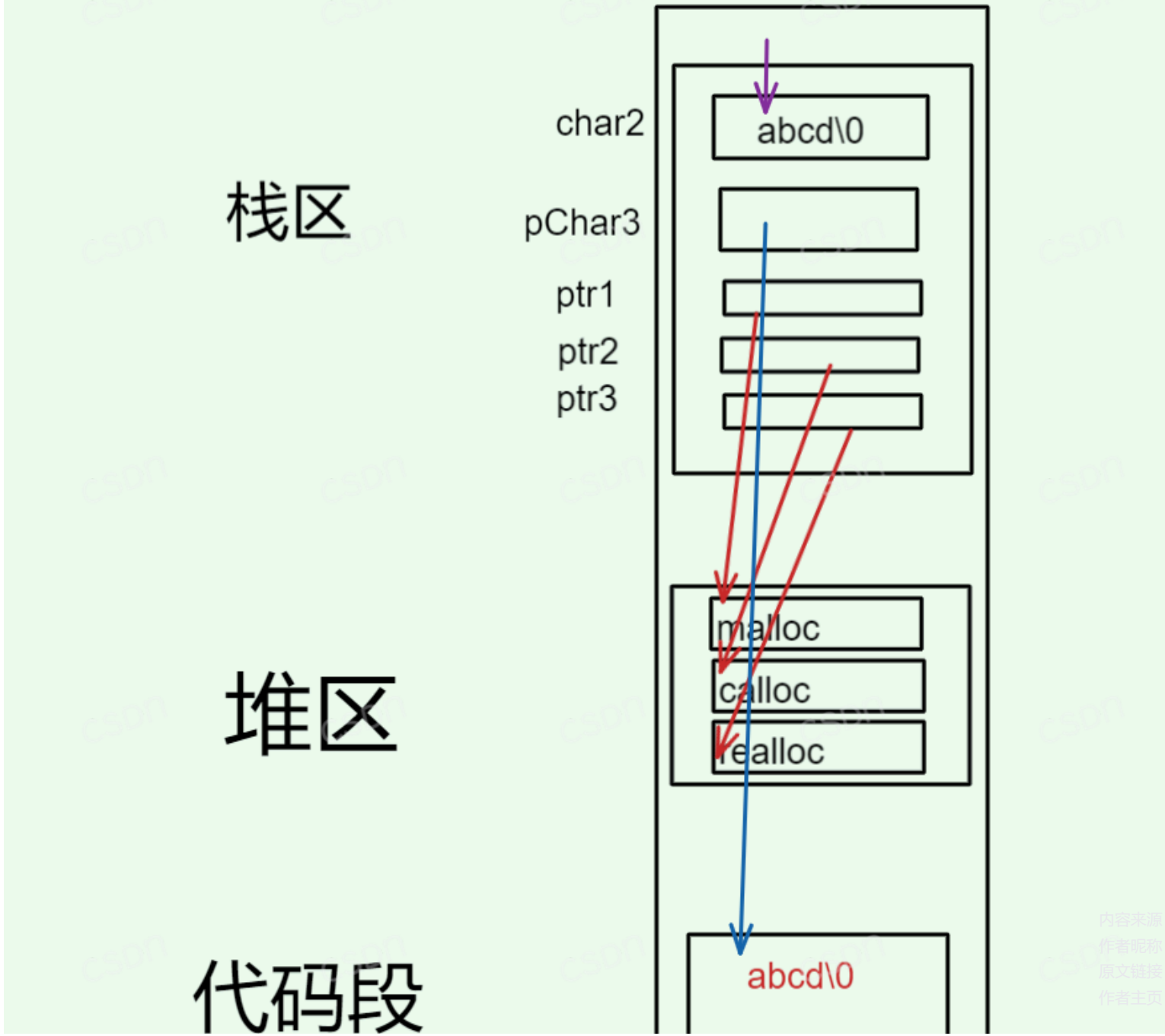
【说明】：

1. **栈**又叫堆栈，是非静态局部变量、函数参数、返回值存放的区域，**栈**向下增长
2. **内存映射段**是高效的IO映射方式，用于装载一个共享的动态内存库。用户可以使用系统接口创建共享内存，做进程间的通信
3. **堆**是程序运行时动态分配的内存，**堆**是向上增长的
4. **数据段**是存储全局数据和静态数据的，即是我们以前所说的静态区
5. **代码段**存储可执行的代码、只读常量
   我们看一段代码，回顾一下：

```
static int staticGlobalVar = 1;  // 数据段
void Test()
{
    static int staticVar = 1;   //数据段
    int localVar = 1;           // 栈区
    int num1[10] = { 1, 2, 3, 4 };// num1栈区
    char char2[] = "abcd";          // char2栈区  *char2存储{'a','b','c','d','\0'}这个数组的首地址 在栈区
    const char* pChar3 = "abcd";    // 栈区 *pChar3存储常量字符"abcd\0"的首地址 在代码区（常量区）
    int* ptr1 = (int*)malloc(sizeof(int) * 4);// ptr1栈区    *ptr1存储动态开辟的内存首地址 堆区
    int* ptr2 = (int*)calloc(4, sizeof(int)); // ptr2栈区     *ptr2存储动态开辟的内存首地址 堆区
    int* ptr3 = (int*)realloc(ptr2, sizeof(int) * 4);// ptr3 栈区     *ptr3存储动态开辟的内存首地址 堆区
    free(ptr1);
    free(ptr3);
}

```

AI写代码

再画一张图理解一下：



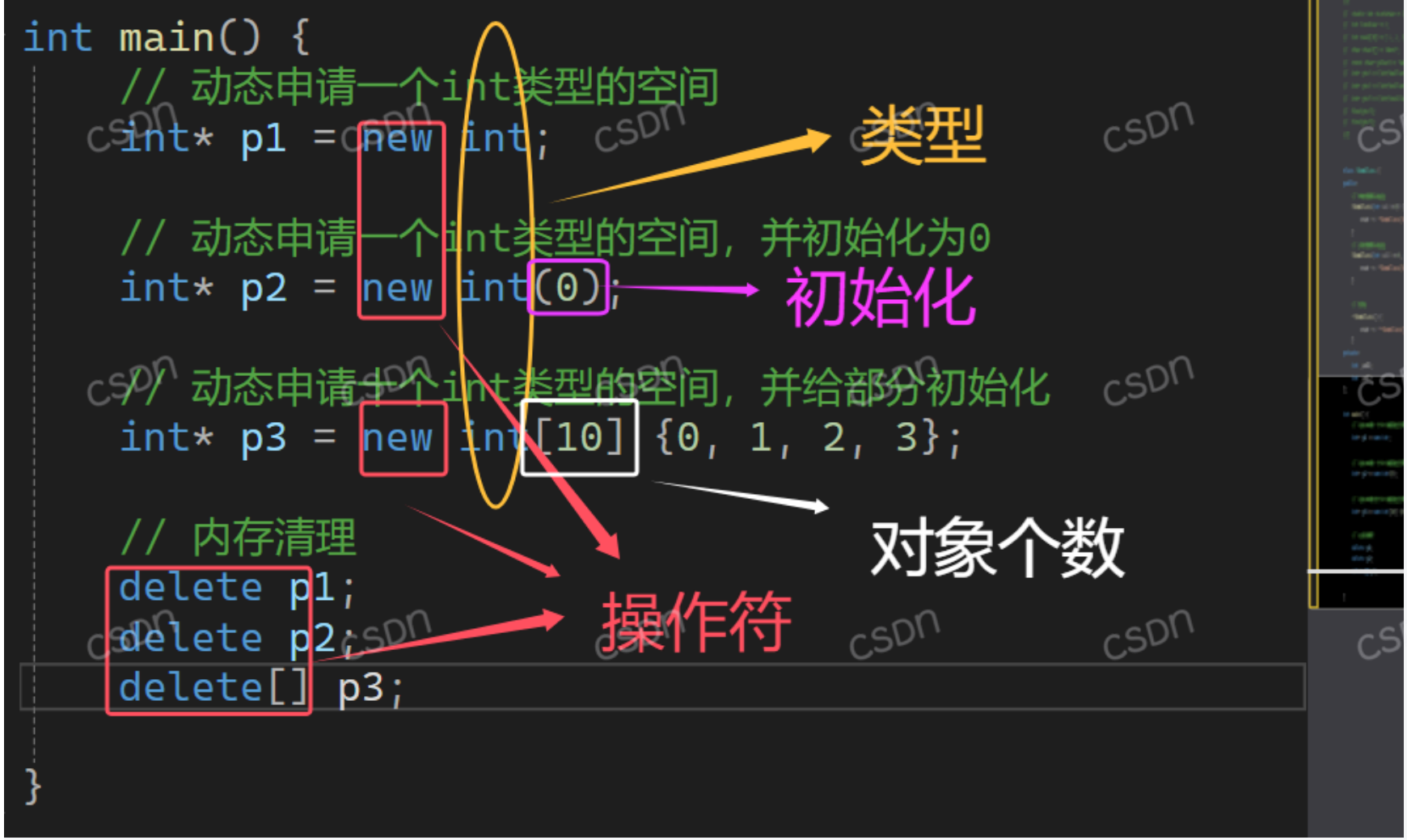
二、 C++ 内存管理方式

C++兼容C的内存管理方式，并且C++提出了新的内存管理方式： **new 和 delete 操作符进行动态内存管理**

1. new/delete 操作内置类型

```
int main() {
    // 动态申请一个int类型的空间
    int* p1 = new int;

    // 动态申请一个int类型的空间，并初始化为0
    int* p2 = new int(0);

    // 动态申请十个int类型的空间，并给部分初始化
    int* p3 = new int[10] {0, 1, 2, 3};

    // 内存清理
    delete p1;
    delete p2;
    delete[] p3;

}
```

AI写代码



注意：申请和释放单个元素的空间，使用new和delete操作符，申请和释放连续的空间，使用new[]和delete[]

2. new/delete 操作自定义类型

```
class ShowClass {
public:
    // 单参数默认构造
    ShowClass(int val = 0) {
        cout << "ShowClass(int val = 0)" << endl;
    }
```

```
     多参数默认构造
    //ShowClass(int val1 , int val2 ) {
    //  cout << "ShowClass(int val1 = 0, int val2 = 1)" << endl;
    //}

    // 析构
    ~ShowClass() {
        cout << "~ShowClass()" << endl;
    }
private:
    int _val;
};

int main() {
    // new/delete和malloc/free最大的区别就是前者会调用构造和析构，后者不会
    ShowClass* p1 = (ShowClass*)malloc(sizeof(ShowClass)); // 不能初始化
    ShowClass* p2 = new ShowClass(1);// int类型隐式转换成ShowClass类
    free(p1);
    delete p2;

    // 内置类型是几乎是一样的
    int* p3 = (int*)malloc(sizeof(int));
    int* p4 = new int;
    free(p3);
    delete p4;

    ShowClass* p5 = (ShowClass*)malloc(sizeof(ShowClass) * 10);
    ShowClass* p6 = new ShowClass[10];
    free(p5);
    delete[] p6;
    // 如果是多参数构造呢？
    ShowClass* p7 = new ShowClass[10]{ 1,2,3,{7,8} };

delete[] p7;

    return 0;
}
```

AI写代码

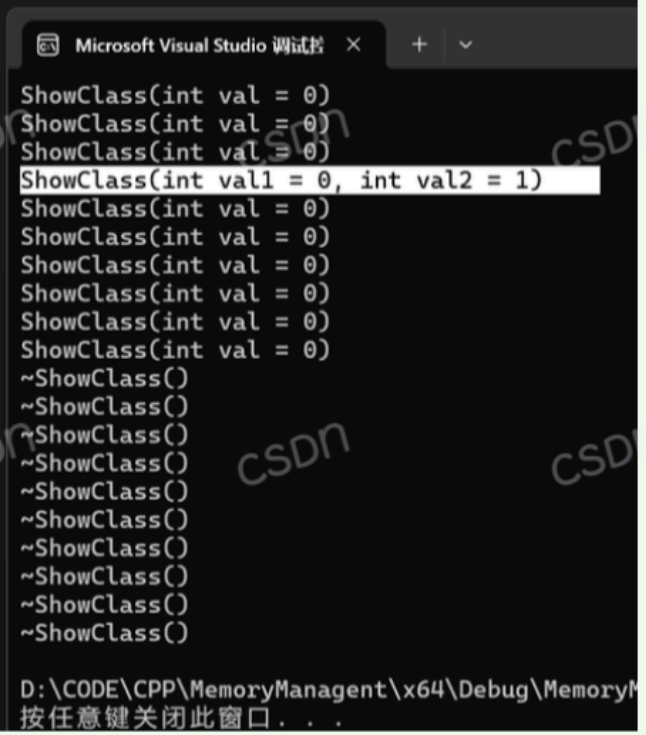
输出结果：

```
int main() {
    // new/delete和malloc/free最大的区别就是前者会调用构造和析构，后者不会
    ShowClass* p1 = (ShowClass*)malloc(sizeof(ShowClass)); // 不能初始化
    ShowClass* p2 = new ShowClass(1);// int类型隐式转换成ShowClass类
    free(p1);
    delete p2;

    // 内置类型是几乎是一样的
    int* p3 = (int*)malloc(sizeof(int));
    int* p4 = new int;
    free(p3);
    delete p4;

    ShowClass* p5 = (ShowClass*)malloc(sizeof(ShowClass) * 10);
    ShowClass* p6 = new ShowClass[10];
    free(p5);
    delete[] p6;

    return 0;
}

//int main() {
//  // 动态申请一个int类型的空间
```

```
Microsoft Visual Studio 调试控
ShowClass(int val = 0)
~ShowClass()
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
ShowClass(int val = 0)
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
~ShowClass()
```

```cpp
class ShowClass {
public:
    // 单参数默认构造
    ShowClass(int val = 0) {
        cout << "ShowClass(int val = 0)" << endl;
    }
    // 多参数默认构造
    ShowClass(int val1, int val2) {
        cout << "ShowClass(int val1 = 0, int val2 = 1)" << endl;
    }

    // 析构
    ~ShowClass() {
        cout << "~ShowClass()" << endl;
    }
private:
    int _val;
};
```

这里防止重载歧义，单参数给缺省值，多参数不给缺省值




```cpp
// 如果是多参数构造呢?
ShowClass* p7 = new ShowClass[10]{ 1,2,3,{7,8} };

delete[] p7;

return 0;
```

注意：在申请自定义类型的空间时，`new` 和 `delete` 会分别调用构造函数和析构函数，而 `malloc` 和 `free` 不会

3. operator new与operator delete函数

> `new` 和 `delete` 是用户进行动态内存申请和释放的操作符
> `operator new` 和 `operator delete` 是系统提供的全局函数

> **`new` 在底层调用 `operator new` 全局函数来申请空间**
> **`delete` 在底层通过 `operator delete` 全局函数来释放空间**

3.1. 核心职责

- **`operator new`**
  负责从堆中分配**原始内存块**（未初始化的连续字节）。
  - 类似 `malloc`，但更智能：失败时默认抛出 `std::bad_alloc` 异常（可通过 `nothrow` 禁用抛异常）
  - 示例：`void* p = operator new(100);` 分配 100 字节的原始内存
- **`operator delete`**
  负责释放内存，将其归还给堆管理器。
  - 类似 `free`，但专为 C++ 设计
  - 示例：`operator delete(p);` 释放 `p` 指向的内存

2. 与 `new`/`delete` 的关系

- **`new` 表达式的底层行为**

```
ShowClass* p = new ShowClass();
// 等价于:
void* raw = operator new(sizeof(ShowClass));  // 1. 分配内存
p = static_cast<ShowClass*>(raw);
p->ShowClass::ShowClass();                    // 2. 调用构造函数
```

AI写代码

- **`delete` 表达式的底层行为**

```
delete p;
// 等价于:
p->~ShowClass();        // 1. 调用析构函数
operator delete(p);     // 2. 释放内存
```

AI写代码

3. 关键区别

特性	`operator new/delete`	`new` / `delete`
内存管理	仅分配/释放原始内存	分配内存 + 构造（析构）对象
异常处理	可抛出 `bad_alloc`	自动处理构造/析构中的异常
重载用途	优化内存分配策略	通常不直接重载

总结：`operator new/delete` 是内存管理的“搬运工”，仅处理空间存取，而对象构造/析构由其他机制完成。

注意：

1. `malloc` `realloc` `calloc` 和 `free` 配套使用
2. `int* p4 = new int` 和 `delete p4` 配套使用
3. `ShowClass* p6 = new ShowClass[10]` 和 `delete[] p6` 配套使用

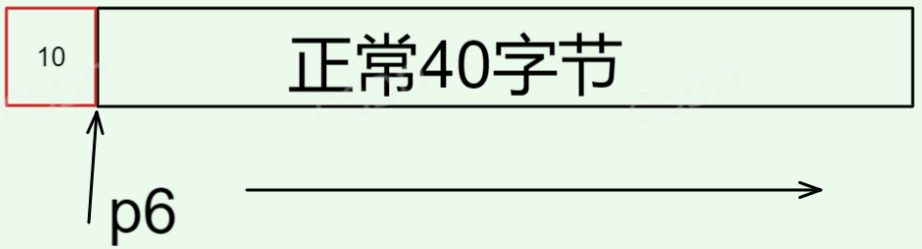
补充：

```
// 析构
~ShowClass() {
    cout << "~ShowClass()" << endl;
}
```

```
private:
    int _val;
```

```
ShowClass* p6 = new ShowClass[10];
free(p5);
delete[] p6;
```

若存在显式的析构函数，p6的大小为44字节，多出来的4字节内存是为了存储p6数组有效元素个数，使用delete[]时会先访问这个个数，之后就知道析构的次数了



若不存在显式的析构函数，p6的大小就为40字节

4. new和delete的实现原理

4.1. 内置类型

如果申请的是内置类型的空间， `new` 和 `malloc` ， `delete` 和 `free` 基本类似，不同的地方是： `new/delete` 申请和释放的是单个元素的空间， `new[]` 和 `delete[]` 申请的是连续空间，而且 `new` 在申请空间失败时会抛异常， `malloc` 会返回 `NULL` 。

4.2. 自定义类型

- **`new` 的原理**
  1. 调用 `operator new` 函数申请空间

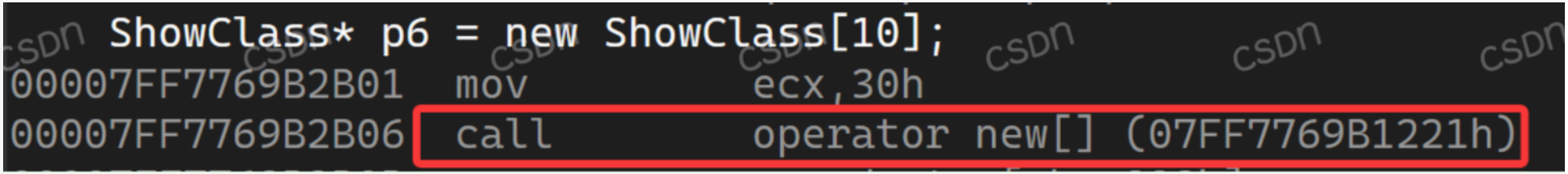
```
    ShowClass* p2 = new ShowClass(1);// int类型隐式转换成ShowClass类
00007FF67B267B35  mov         ecx,4
00007FF67B267B3A  call        operator new (07FF67B26104Bh)
```

  2. 在申请的空间上执行构造函数，完成对象的构造
- **`delete` 的原理**
  1. 在空间上执行析构函数，完成对象中资源的清理工作
  2. 调用 `operator delete` 函数释放对象的空间

```
    delete p4;
00007FF7769B2AA9  mov         rax,qword ptr [p4]
00007FF7769B2AAD  mov         qword ptr [rbp+2E8h],rax
00007FF7769B2AB4  mov         edx,4
00007FF7769B2AB9  mov         rcx,qword ptr [rbp+2E8h]
00007FF7769B2AC0  call        operator delete (07FF7769B141Ah)
```

- **`new T[N]` 的原理**

1. 调用 `operator new[]` 函数，在 `operator new[]` 中实际调用 `operator new` 函数完成N个对象空间的申请



2. 在申请的空间上执行N次构造函数

- **`delete[]` 的原理**
  1. 在释放的对象空间上执行N次析构函数，完成N个对象中资源的清理
  2. 调用 `operator delete[]` 释放空间，实际在 `operator delete[]` 中调用 `operator delete` 来释放空间

5.面试题：`malloc/free` 和 `new/delete` 的区别

`malloc/free` 和 `new/delete` 的共同点是：都是从堆上申请空间，并且需要用户手动释放。
不同的地方是：

- `malloc` 和 `free` 是函数， `new` 和 `delete` 是操作符
- `malloc` 申请的空间不会初始化， `new` 可以初始化
- `malloc` 申请空间时，需要手动计算空间大小并传递， `new` 只需在其后跟上空间的类型即可，如果是多个对象， `[]` 中指定对象个数即可
- `malloc` 的返回值为 `void*` , 在使用时必须强转， `new` 不需要，因为 `new` 后跟的是空间的类型
- `malloc` 申请空间失败时，返回的是 `NULL` ，因此使用时必须判空， `new` 不需要，但是new`需要捕获异常
- 申请自定义类型对象时， `malloc/free` 只会开辟空间，不会调用构造函数与析构函数，而 `new` 在申请空间后会调用构造函数完成对象的初始化， `delete` 在释放空间前会调用析构函数完成空间资源的清理释放