



下载APP



10 | 到底应不应该返回对象？

2019-12-18 吴咏炜

现代C++实战30讲

[进入课程 >](#)



讲述：吴咏炜

时长 10:25 大小 7.16M



你好，我是吴咏炜。

前几讲里我们已经约略地提到了返回对象的问题，本讲里我们进一步展开这个话题，把返回对象这个问题讲深讲透。

F.20

《C++ 核心指南》的 F.20 这一条款是这么说的 [1]：

| F.20: For “out” output values, prefer return values to output parameters

翻译一下：

在函数输出数值时，尽量使用返回值而非输出参数

这条可能会让一些 C++ 老手感到惊讶——在 C++11 之前的实践里，我们完全是采用相反的做法的啊！

在解释 F.20 之前，我们先来看看我们之前的做法。

调用者负责管理内存，接口负责生成

一种常见的做法是，接口的调用者负责分配一个对象所需的内存并负责其生命周期，接口负责生成或修改该对象。这种做法意味着对象可以默认构造（甚至只是一个结构），代码一般使用错误码而非异常。

示例代码如下：

 复制代码

```
1 MyObj obj;
2 ec = initialize(&obj);
3 ...
```

这种做法和 C 是兼容的，很多程序员出于惯性也沿用了 C 的这种做法。一种略为 C++ 点的做法是使用引用代替指针，这样在上面的示例中就不需要使用 & 运算符了；但这样只是语法略有区别，本质完全相同。如果对象有合理的析构函数的话，那这种做法的主要问题是啰嗦、难于组合。你需要写更多的代码行，使用更多的中间变量，也就更容易犯错误。

假如我们已有矩阵变量 **A**、**B** 和 **C**，要执行一个操作

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} \times \mathbf{B} + \mathbf{C}$$

那在这种做法下代码大概会写成：

[复制代码](#)

```
1 error_code_t add(
2     matrixx* result,
3     const matrix& lhs,
4     const matrix& rhs);
5 error_code_t multiply(
6     matrixx* result,
7     const matrix& lhs,
8     const matrix& rhs);
9 ...
10 error_code_t ec;
11 ...
12 matrix temp;
13 ec = multiply(&temp, a, b);
14 if (ec != SUCCESS) {
15     goto end;
16 }
17 matrix r;
18 ec = add(&r, temp, c);
19 if (ec != SUCCESS) {
20     goto end;
21 }
22 ...
23 end:
24 // 返回 ec 或类似错误处理
```

理论上该方法可以有一个变体，不使用返回值，而使用异常来表示错误。实践中，我从来没有在实际系统中看到过这样的代码。

接口负责对象的堆上生成和内存管理

另外一种可能的做法是接口提供生成和销毁对象的函数，对象在堆上维护。`fopen` 和 `fclose` 就是这样的接口的实例。注意使用这种方法一般不推荐由接口生成对象，然后由调用者通过调用 `delete` 来释放。在某些环境里，比如 Windows 上使用不同的运行时库时，这样做会引发问题。

同样以上面的矩阵运算为例，代码大概就会写成这个样子：

[复制代码](#)

```
1 matrixx* add(
2     const matrixx* lhs,
3     const matrixx* rhs,
4     error_code_t* ec);
```

```
5 matrix* multiply(
6     const matrix* lhs,
7     const matrix* rhs,
8     error_code_t* ec);
9 void deinitialize(matrix** mat);
10 ...
11     error_code_t ec;
12 ...
13     matrix* temp = nullptr;
14     matrix* r = nullptr;
15     temp = multiply(a, b, &ec);
16     if (!temp) {
17         goto end;
18     }
19     r = add(temp, c, &ec);
20     if (!r) {
21         goto end;
22     }
23 ...
24 end:
25     if (temp) {
26         deinitialize(&temp);
27     }
28 // 返回 ec 或类似错误处理
```

可以注意到，虽然代码看似稍微自然了一点，但啰嗦程度却增加了，原因是正确的处理需要考虑到各种不同错误路径下的资源释放问题。这儿也没有使用异常，因为异常在这种表达下会产生内存泄漏，除非用上一堆 `try` 和 `catch`，但那样异常在表达简洁性上的优势就没有了，没有实际的好处。

不过，如果我们同时使用智能指针和异常的话，就可以得到一个还不错的变体。如果接口接受和返回的都是 `shared_ptr<matrix>`，那调用代码就简单了：

 复制代码

```
1 shared_ptr<matrix> add(
2     const shared_ptr<matrix>& lhs,
3     const shared_ptr<matrix>& rhs);
4 shared_ptr<matrix> multiply(
5     const shared_ptr<matrix>& lhs,
6     const shared_ptr<matrix>& rhs);
7 ...
8 auto r = add(multiply(a, b), c);
```

调用这些接口必须要使用 `shared_ptr`, 这不能不说是一个限制。另外, 对象永远是在堆上分配的, 在很多场合, 也会有一定的性能影响。

接口直接返回对象

最直接了当的代码, 当然就是直接返回对象了。这回我们看实际可编译、运行的代码:

 复制代码

```
1 #include <armadillo>
2 #include <iostream>
3
4 using arma::imat22;
5 using std::cout;
6
7 int main()
8 {
9     imat22 a{{1, 1}, {2, 2}};
10    imat22 b{{1, 0}, {0, 1}};
11    imat22 c{{2, 2}, {1, 1}};
12    auto r = a * b + c;
13    cout << r;
14 }
```

这段代码使用了 Armadillo, 一个利用现代 C++ 特性的开源线性代数库 [2]。你可以看到代码非常简洁, 完全表意 (`imat22` 是元素类型为整数的大小固定为 2×2 的矩阵)。它有以下优点:

代码直观、容易理解。

乘法和加法可以组合在一行里写出来, 无需中间变量。

性能也没有问题。实际执行中, 没有复制发生, 计算结果直接存放到了变量 `r` 上。更妙的是, 因为矩阵大小是已知的, 这儿不需要任何动态内存, 所有对象及其数据全部存放在线上。

Armadillo 是个比较复杂的库, 我们就不以 Armadillo 的代码为例来进一步讲解了。我们可以用一个假想的 `matrix` 类来看看返回对象的代码是怎样编写的。

如何返回一个对象?

一个用来返回的对象，通常应当是可移动构造 / 赋值的，一般也同时是可拷贝构造 / 赋值的。如果这样一个对象同时又可以默认构造，我们就称其为一个半正则（semiregular）的对象。如果可能的话，我们应当尽量让我们的类满足半正则这个要求。

半正则意味着我们的 `matrix` 类提供下面的成员函数：

 复制代码

```
1 class matrix {
2 public:
3     // 普通构造
4     matrix(size_t rows, size_t cols);
5     // 半正则要求的构造
6     matrix();
7     matrix(const matrix&);
8     matrix(matrix&&);
9     // 半正则要求的赋值
10    matrix& operator=(const matrix&);
11    matrix& operator=(matrix&&);
12 }
```

我们先看一下在没有返回值优化的情况下 C++ 是怎样返回对象的。以矩阵乘法为例，代码应该像下面这样：

 复制代码

```
1 matrix operator*(const matrix& lhs,
2                     const matrix& rhs)
3 {
4     if (lhs.cols() != rhs.rows()) {
5         throw runtime_error(
6             "sizes mismatch");
7     }
8     matrix result(lhs.rows(),
9                   rhs.cols());
10    // 具体计算过程
11    return result;
12 }
```

注意对于一个本地变量，我们永远不应该返回其引用（或指针），不管是作为左值还是右值。从标准的角度，这会导致未定义行为（undefined behavior），从实际的角度，这样的对象一般放在栈上可以被调用者正常覆盖使用的部分，随便一个函数调用或变量定义就可

能覆盖这个对象占据的内存。这还是这个对象的析构不做事情的情况：如果析构函数会释放内存或破坏数据的话，那你访问到的对象即使内存没有被覆盖，也早就不是有合法数据的对象了……

回到正题。我们需要回想起，在 [\[第 3 讲\]](#) 里说过的，返回非引用类型的表达式结果是个纯右值（prvalue）。在执行 `auto r = ...` 的时候，编译器会认为我们实际是在构造 `matrix r(...)`，而 “`...`” 部分是一个纯右值。因此编译器会首先试图匹配 `matrix(matrix&&)`，在没有时则试图匹配 `matrix(const matrix&)`；也就是说，有移动支持时使用移动，没有移动支持时则拷贝。

返回值优化（拷贝消除）

我们再来看一个能显示生命期过程的对象的例子：

 复制代码

```
1 #include <iostream>
2
3 using namespace std;
4
5 // Can copy and move
6 class A {
7 public:
8     A() { cout << "Create A\n"; }
9     ~A() { cout << "Destroy A\n"; }
10    A(const A&) { cout << "Copy A\n"; }
11    A(A&&) { cout << "Move A\n"; }
12 };
13
14 A getA_unnamed()
15 {
16     return A();
17 }
18
19 int main()
20 {
21     auto a = getA_unnamed();
22 }
```

如果你认为执行结果里应当有一行 “Copy A” 或 “Move A”的话，你就忽视了返回值优化的威力了。即使完全关闭优化，三种主流编译器（GCC、Clang 和 MSVC）都只输出两行：

Create A

Destroy A

我们把代码稍稍改一下：

 复制代码

```
1 A getA_named()
2 {
3     A a;
4     return a;
5 }
6
7 int main()
8 {
9     auto a = getA_named();
10 }
```

这回结果有了一点点小变化。虽然 GCC 和 Clang 的结果完全不变，但 MSVC 在非优化编译的情况下产生了不同的输出（优化编译——使用命令行参数 /O1、/O2 或 /Ox——则不变）：

Create A

Move A

Destroy A

Destroy A

也就是说，返回内容被移动构造了。

我们继续变形一下：

 复制代码

```
1 #include <stdlib.h>
2
3 A getA_duang()
4 {
5     A a1;
6     A a2;
7     if (rand() > 42) {
8         return a1;
```

```
9 } else {
10     return a2;
11 }
12 }
13
14 int main()
15 {
16     auto a = getA_duang();
17 }
```

这回所有的编译器都被难倒了，输出是：

```
Create A
Create A
Move A
Destroy A
Destroy A
Destroy A
```

关于返回值优化的实验我们就做到这里。下一步，我们试验一下把移动构造函数删除：

```
1 A(A&&) = delete;
```

 复制代码

我们可以立即看到“Copy A”出现在了结果输出中，说明目前结果变成拷贝构造了。

如果再进一步，把拷贝构造函数也删除呢？是不是上面的 `getA_unnamed`、`getA_named` 和 `getA_duang` 都不能工作了？

在 C++14 及之前确实是这样的。但从 C++17 开始，对于类似于 `getA_unnamed` 这样的情况，即使对象不可拷贝、不可移动，这个对象仍然是可以被返回的！C++17 要求对于这种情况，对象必须被直接构造在目标位置上，不经过任何拷贝或移动的步骤 [3]。

回到 F.20

理解了 C++ 里的对返回值的处理和返回值优化之后，我们再回过头看一下 F.20 里陈述的理由的话，应该就显得很自然了：

A return value is self-documenting, whereas a & could be either in-out or out-only and is liable to be misused.

返回值是可以自我描述的；而 & 参数既可能是输入输出，也可能是仅输出，且很容易被误用。

我想我对返回对象的可读性，已经给出了充足的例子。对于其是否有性能影响这一问题，也给出了充分的说明。

我们最后看一下 F.20 里描述的例外情况：

“对于非值类型，比如返回值可能是子对象的情况，使用 `unique_ptr` 或 `shared_ptr` 来返回对象。”也就是面向对象、工厂方法这样的情况，像 [\[第 1 讲\]](#) 里给出的 `create_shape` 应该这样改造。

“对于移动代价很高的对象，考虑将其分配在堆上，然后返回一个句柄（如 `unique_ptr`），或传递一个非 `const` 的目标对象的引用来填充（用作输出参数）。”也就是说不方便移动的，那就只能使用一个 RAI 对象来管理生命周期，或者老办法输出参数了。

“要在一个内层循环里在多次函数调用中重用一个自带容量的对象：将其当作输入 / 输出参数并将其按引用传递。”这也是个需要继续使用老办法的情况。

内容小结

C++ 里已经对返回对象做了大量的优化，目前在函数里直接返回对象可以得到更可读、可组合的代码，同时在大部分情况下我们可以利用移动和返回值优化消除性能问题。

课后思考

请你考虑一下：

1. 你的项目使用了返回对象了吗？如果没有的话，本讲内容有没有说服你？

2. 这讲里我们没有深入讨论赋值；请你思考一下，如果例子里改成赋值，会有什么样的变化？

欢迎留言和我交流你的想法。

参考资料

- [1] Bjarne Stroustrup and Herb Sutter (editors), “C++ core guidelines”, item F.20.
🔗 <https://isocpp.github.io/CppCoreGuidelines/CppCoreGuidelines#Rf-out> (非官方中文版可参见 ↳ <https://github.com/lynnboy/CppCoreGuidelines-zh-CN>)
- [2] Conrad Sanderson and Ryan Curtin, Armadillo. ↳ <http://arma.sourceforge.net/>
- [3] cppreference.com, “Copy elision” .
🔗 https://en.cppreference.com/w/cpp/language/copy_elision
- [3a] cppreference.com, “复制消除” .
🔗 https://zh.cppreference.com/w/cpp/language/copy_elision

点击查看 ↗

打卡学习 C++ 拒绝从入门到放弃



PC 端用户扫码参与

新版升级：点击「 请朋友读」，20位好友免费读，邀请订阅更有**现金奖励**。

精选留言 (4)

 写留言



nelson

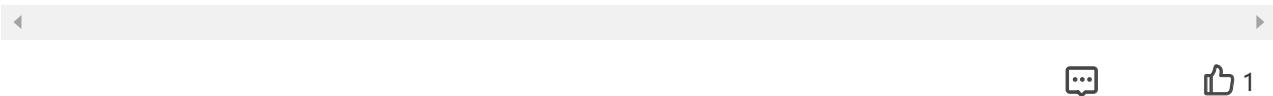
2019-12-19

文稿中的代码片段

```
ec = multiply(&temp, a, b);
if (result != SUCCESS)
{
    goto end; ...
```

展开 ▾

作者回复: 多谢。已修正。



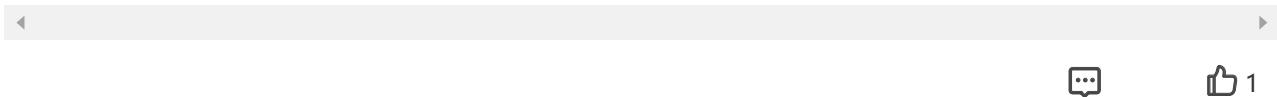
木瓜777

2019-12-18

项目中一直使用您说的老方法，目前看编译器有优化的话，后面会逐步考虑采用返回对象的方法！有个问题问下，如果要返回空对象，该如何做？是直接采用空的构造函数？

作者回复: 用默认构造函数代表空，或者用 optional<对象>（不构造）代表空，或者抛异常代表不正常（视是否不正常而定）。

optional 会在第 22 讲里讨论。



小一日一

2019-12-18

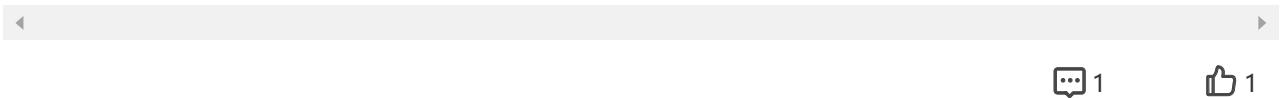
我认为老师应该讲一下NRVO/RVO与std::move()的区别，这个问题曾经困扰过我，从stack overflow的问题来看，学习c++11时大多数人都思考过这个问题：<https://stackoverflow.com/questions/4986673/c11-rvalues-and-move-semantics-confusion-return-statement>

展开 ▾

作者回复: 简单来说, 在对本地变量进行返回时, 不用 `std::move`。实际上, 我在第 3 讲就写了:

“有一种常见的 C++ 编程错误, 是在函数里返回一个本地对象的引用。由于在函数结束时本地对象即被销毁, 返回一个指向本地对象的引用属于未定义行为。理论上来说, 程序出任何奇怪的行为都是正常的。

“在 C++11 之前, 返回一个本地对象意味着这个对象会被拷贝, 除非编译器发现可以做返回值优化 (named return value optimization, 或 NRVO), 能把对象直接构造到调用者的栈上。从 C++11 开始, 返回值优化仍可以发生, 但在没有返回值优化的情况下, 编译器将试图把本地对象移动出去, 而不是拷贝出去。这一行为不需要程序员手工用 `std::move` 进行干预——使用`std::move` 对于移动行为没有帮助, 反而会影响返回值优化。”



hello world

2019-12-18

请问老师这个C++20什么时候发布编译器之类的啊? 还是说已经有了?

作者回复: 看这个页面吧:

https://en.cppreference.com/w/cpp/compiler_support

目前 GCC 领先一些 (可以用 `-std=c++2a` 启用 20 的功能) , 但还没有哪家完整支持 C++20。

