

CS100 Recitation 9

GKxx

Contents

- 拷贝控制：以 `Dynarray` 为例
- `static` 成员
- 初识类型推导： `auto`

拷贝控制：以 `Dynarray` 为例

设计

实现一个“动态数组”：

```
int n; std::cin >> n;
Dynarray arr(n); // arr has n value-initialized ints.
for (int i = 0; i != n; ++i)
    std::cin >> arr.at(i); // arr.at(i) is just like arr[i]
                           // 如何做到 arr[i]? 以后再说
for (std::size_t i = 0; i != arr.size(); ++i)
    arr.at(i) += arr.at(i - 1) * 2;
// ...
```

最后 `arr` 应当自己释放自己所占用的内存。

Dynarray: 成员

```
class Dynarray {  
    std::size_t m_size;  
    int *m_storage;  
public:  
    bool empty() const {  
        return m_size == 0u;  
    }  
    std::size_t size() const {  
        return m_size;  
    }  
};
```

Dynarray: 构造函数

构造函数定义的是初始化的方式。

```
Dynarray a;           // 对应默认构造函数 Dynarray()  
Dynarray b(n);        // 对应构造函数 Dynarray(std::size_t)  
Dynarray c(n, x);     // 对应构造函数 Dynarray(std::size_t, int)
```

```
class Dynarray {  
public:  
    Dynarray();  
    Dynarray(std::size_t);  
    Dynarray(std::size_t, int);  
};
```

Dynarray: 构造函数

假如我们需要一个默认构造函数，它应当具有什么行为？

- 初始化为 `0` 个元素的数组？
 - 这样的数组能使用吗？
- 初始化为 `DYNARRAY_DEFAULT_SIZE` 个元素的数组？

Dynarray: 构造函数

假如我们需要一个默认构造函数，它应当具有什么行为？

- 初始化为 `0` 个元素的数组？
 - 在不知道如何拷贝的情况下，我们似乎没有什么能改变数组大小的操作。
 - 如果不能改变大小，那“`0` 个元素的数组”有什么用？
- 初始化为 `DYNARRAY_DEFAULT_SIZE` 个元素的数组？
 - 也许在某些应用场景下，这是合理的。

默认构造函数 (default constructor): 复习

- 默认构造函数的“默认”体现在哪?
- 哪些使用方式依赖于默认构造函数?
- 如果没有自定义默认构造函数, 这个类会有默认构造函数吗?
 - 如果有, 其行为是什么?
- 默认构造函数 `= default` 意味着什么?

默认构造函数 (default constructor): 复习

- 默认构造函数的“默认”体现在哪? ——无参数
- 哪些使用方式依赖于默认构造函数? ——默认初始化和值初始化

- ```
Dynarray a, b{};
Dynarray *c = new Dynarray, *d = new Dynarray(), *e = new Dynarray{};
Dynarray f[1000]; std::array<Dynarray, 1000> g; // 这是啥?
```

- 如果没有自定义默认构造函数, 这个类会有默认构造函数吗?  
——如果有其它自定义的构造函数, 编译器就不会合成默认构造函数
- 默认构造函数 = default 意味着什么?

## 默认构造函数 (default constructor): 复习

如果没有其它自定义的构造函数, 或者我们显式地以 `= default` 要求编译器合成一个默认构造函数:

- 编译器会合成一个具有默认行为的默认构造函数。
- “默认行为”: 按照成员声明顺序逐个初始化它们
  - 对于有类内初始值的成员, 使用类内初始值
  - 对于其它成员, 进行**默认初始化**

## 析构函数 (destructor, dtor)

Dynarray 必须在自己不再被使用的时候释放所拥有的内存:

```
void fun() {
 Dynarray a(n);
 if (condition) {
 Dynarray b(m);
 // ...
 } // Now b should release the memory it allocated.
 // ...
} // Now a should release the memory it allocated.
```

## 析构函数 (destructor, dtor)

**析构函数**是在这个对象被销毁的时候自动调用的函数。

- 它通常用来完成一些最后的清理
- 特别地，那些**拥有一定资源**的类通常在析构函数里释放它们所拥有的资源

# 定义一个析构函数

```
class Student {
 std::string name;
 std::string id;
 int entranceYear;
public:
 ~Student() {
 std::cout << "dtor of "
 << name << "called.\n";
 }
};
```

```
{
 Student alice("Alice", "2020123123");
 if (condition) {
 Student bob("Bob", "2020123124");
 // ...
 } // Output "dtor of Bob called."
} // Output "dtor of Alice called."
```

- 析构函数的名字是 `~ClassName`
- 析构函数不接受参数，不声明返回值类型
- 一个类只能有一个析构函数 (until C++20)

# Dynarray: 析构函数

非常直接的实现

```
class Dynarray {
 std::size_t m_size;
 int *m_storage;
public:
 Dynarray(std::size_t n)
 : m_size(n), m_storage(new int[n]{{}}) {}
 ~Dynarray() {
 delete[] m_storage;
 }
};
```

## 析构函数的具体行为

考虑一个问题： `Student` 是否拥有什么资源？

```
class Student {
 std::string name;
 std::string id;
 int entranceYear;
 // ...
};
```



# 析构函数的具体行为

`Student` 本身不拥有什么资源，但是 `std::string` 有。

- `std::string` 当然会在它自己的析构函数里释放内存。

```
class Student {
 std::string name;
 std::string id;
 int entranceYear;
 // ...
};
```

在一个 `Student` 被销毁的时候：

- 它显然应该销毁它的所有成员
- 销毁一个成员，显然应该调用那个成员的析构函数。

## 析构函数的具体行为

**析构函数在执行完函数体之后，会自动销毁它的所有数据成员**

- 对于类类型成员，会调用它的析构函数来销毁它。
- 猜猜销毁成员的顺序？

## 析构函数的具体行为

析构函数在执行完函数体之后，会自动销毁它的所有数据成员

- 对于类类型成员，会调用它的析构函数来销毁它。
- 按照成员的声明顺序**倒序**销毁它们。

对比一下构造函数：

- 在执行函数体**之前**初始化所有成员。
- 对于类类型成员，调用它的构造函数进行初始化。
- 初始化的顺序是成员的声明顺序。

## 析构函数的具体行为

对于成员的销毁是不需要我们写的，会自动完成。

```
class Student {
 std::string name;
 std::string id;
 int entranceYear;
public:
 ~Student() {} // 编译器会在最后插入代码来调用 id 和 name 的析构函数。
};
```

`Student` 类的析构函数只需一个空函数体即可。

等价的写法: `~Student() = default;`

## 一个类不能没有析构函数，就像...

如果一个类的析构函数是不可调用的，就意味着它无法被销毁

- 就如同不可降解的塑料

因此 C++ 不允许定义这样的类的对象！

什么情况下析构函数不可调用？

## 一个类不能没有析构函数，就像...

如果一个类的析构函数是不可调用的，就意味着它无法被销毁

因此 C++ 不允许定义这样的类的对象！

什么情况下析构函数不可调用？

- 你可以显式地 `~ClassName() = delete;` 将析构函数定义为“删除的”。
- 如果析构函数是 `private` 的，它就不能在类外、`friend` 外被调用。

## new 和 delete

```
std::string *p = new std::string("Hello");
std::cout << *p << std::endl;
delete p;
p = new std::string; // 调用默认构造函数, *p 为空串 ""
std::cout << p->size() << std::endl;
delete p;
```

new 表达式会**先分配内存**，然后**构造对象**。

- 如果这是一个类类型，它必然会调用一个构造函数来构造对象。在没有指定如何构造的情况下，它会调用**默认构造函数**。
- 相比之下，来自 C 的 `malloc` 只会分配内存，不构造任何对象（不做任何初始化）。`calloc` 会将这个内存**清零**，而非调用默认构造函数。

## new 和 delete

```
std::string *p = new std::string("Hello");
std::cout << *p << std::endl;
delete p;
p = new std::string; // 调用了默认构造函数, *p 为空串 ""
std::cout << p->size() << std::endl;
delete p;
```

delete 表达式会**先销毁对象**，然后释放这片内存。

- 如果这是一个类类型，它必然会调用析构函数来销毁这个对象。
- 相比之下，free 只释放内存，不调用析构函数。



## Dynarray：元素访问

.at(i) 应该返回什么？

```
class Dynarray {
 std::size_t m_size;
 int *m_storage;
public:
 ??? at(std::size_t n) {
 return m_storage[n];
 }
};
```

## Dynarray：元素访问

```
arr.at(0) = 42;
std::cout << arr.at(1);
```

如果我们希望通过 `arr.at(i)` 来修改这个元素，那必然要返回引用。

```
class Dynarray {
 std::size_t m_size;
 int *m_storage;
public:
 int &at(std::size_t n) {
 return m_storage[n];
 }
};
```

这样可以吗？

## Dynarray：元素访问

试一试：

```
void print(const Dynarray &arr) {
 for (std::size_t i = 0; i != arr.size(); ++i)
 std::cout << arr.at(i) << ' '
}
```

无法编译：at 不是 const 成员函数，无法在 const Dynarray & 上调用！

## `const` 成员函数：复习

- `const` 写在哪儿？
- `const` 成员函数的 `const` 是作用于谁的？
- 在什么对象上能调用 `const` 成员函数？
- `const` 成员函数能做什么事？不能做什么事？

## const 成员函数：复习

- `const` 写在哪？——参数列表后，函数体之前
- `const` 成员函数的 `const` 是作用于谁的？
  - 加在隐式的 `this` 指针上的**底层** `const`
  - 表示当前对象是 `const`，其所有数据成员也都是 `const`
- 在什么对象上能调用 `const` 成员函数？
  - 什么对象上都可以，因为添加底层 `const` 永远没问题。
- `const` 成员函数能做什么事？不能做什么事？
  - 不能修改数据成员，不能调用数据成员的 `non-const` 成员函数
  - 不能调用自身的 `non-const` 成员函数

## Dynarray：元素访问

加个 `const` ？

```
class Dynarray {
 std::size_t m_size;
 int *m_storage;
public:
 int &at(std::size_t n) const {
 return m_storage[n];
 }
};
```

结果是在 `const Dynarray` 上，你可以得到其中元素的 `non-const` 引用，进而修改它！

## Dynarray：元素访问

正确的解决方案：`const` 和 `non-const` 的重载

```
class Dynarray {
 std::size_t m_size;
 int *m_storage;
public:
 const int &at(std::size_t n) const {
 return m_storage[n];
 }
 int &at(std::size_t n) {
 return m_storage[n];
 }
};
```

- 在 `const` 对象上，它只能调用 `const` 版本，得到 `reference-to-const`，无法修改
- 在非 `const` 对象上会调用哪个？

## Dynarray：元素访问

```
class Dynarray {
public:
 const int &at(std::size_t n) const {
 return m_storage[n];
 }
 int &at(std::size_t n) {
 return m_storage[n];
 }
};
arr.at(i) = 42;
```

```
// 左边的代码就如同：
const int &at(const Dynarray *this,
 std::size_t n) {
 return this->m_storage[n];
}
int &at(Dynarray *this, std::size_t n){
 return this->m_storage[n];
}
at(&arr, i) = 42;
```

- 在 `const` 对象上，它只能调用 `const` 版本，得到 reference-to-`const`，无法修改
- 在非 `const` 对象上：两个版本都可以调用，但是
  - 调用 non-`const` 版本是完美匹配，调用 `const` 版本是**添加底层** `const`，因此前者是更好的匹配。



## 在 `const` vs `non-const` 重载中避免重复

假如我们要模仿标准库的行为的话, `at` 函数应该提供边界检查...

```
class Dynarray {
public:
 const int &at(std::size_t n) const {
 if (n >= m_length) // 为什么不需要判断 n < 0?
 throw std::out_of_range{"Dynarray subscript out of range."};
 return m_storage[n];
 }
 int &at(std::size_t n) {
 if (n >= m_length)
 throw std::out_of_range{"Dynarray subscript out of range."};
 return m_storage[n];
 }
};
```

## 在 `const` vs `non-const` 重载中避免重复

假如我们还想在 `at` 访问中做一些其它的记录和检查...

```
class Dynarray {
public:
 const int &at(std::size_t n) const {
 if (n >= m_length)
 throw std::out_of_range{"Dynarray subscript out of range."};
 log_access();
 verify_integrity();
 return m_storage[n];
 }
 int &at(std::size_t n) {
 if (n >= m_length)
 throw std::out_of_range{"Dynarray subscript out of range."};
 log_access();
 verify_integrity();
 return m_storage[n];
 }
};
```

## 在 `const` vs `non-const` 重载中避免重复

将一模一样的代码编写两遍实在是太麻烦了... 有没有办法避免重复?

- C++23 `deducing-this` 能帮得上忙

假如没有额外的语法特性... 能不能让一个函数调用另一个?

- 让谁调用谁?

## 在 `const` vs non-`const` 重载中避免重复

将一模一样的代码编写两遍实在是太麻烦了... 有没有办法避免重复?

- C++23 `deducing-this` 能帮得上忙

假如没有额外的语法特性... 能不能让一个函数调用另一个?

假如我们让 non-`const` 版本的函数调用 `const` 版本的函数:

- 首先, 我们需要显式地为 `this` 添加底层 `const`。
- `const` 版本的函数返回的是 `const int &`, 我们得把它的底层 `const` 去除。

## 在 `const` vs `non-const` 重载中避免重复

- 先用 `static_cast<const Dynarray *>(this)` 为 `this` 添加底层 `const`
- 这时调用 `->at(n)` , 就会匹配 `const` 版本的 `at`
- 将返回的 `const int &` 的底层 `const` 用 `const_cast` 去除

```
class Dynarray {
public:
 const int &at(std::size_t n) const {
 if (n >= m_length)
 throw std::out_of_range{"Dynarray subscript out of range."};
 log_access();
 verify_integrity();
 return m_storage[n];
 }
 int &at(std::size_t n) {
 return const_cast<int &>(static_cast<const Dynarray *>(this)->at(n));
 }
};
```

## 在 `const` vs `non-const` 重载中避免重复

能不能反过来, 让 `const` 版本调用 `non-const` 版本?

```
class Dynarray {
public:
 int &at(std::size_t n) {
 if (n >= m_length)
 throw std::out_of_range{"Dynarray subscript out of range."};
 log_access();
 verify_integrity();
 return m_storage[n];
 }
 const int &at(std::size_t n) const {
 return const_cast<Dynarray *>(this)->at(n);
 }
};
```

## 在 `const` vs `non-const` 重载中避免重复

能不能反过来，让 `const` 版本调用 `non-const` 版本？

- **不能！** `const` 成员函数里一定不会修改对象的状态，但是 `non-const` 成员函数并没有这般承诺！
- 如果在 `non-const` 版本的实现里一不小心修改了对象的状态，让 `const` 版本调用它将导致灾难。

比较一下两种方法中对于“危险的” `const_cast` 的使用？

- “先添加，再去除”：OK
- “先去除，再添加”：危险

**static 成员**



## static 数据成员

假如我们想要为我们的类的每个对象都设置一个独一无二的编号

```
int cnt = 0;
class Dynarray {
 int *m_storage;
 std::size_t m_length;
 int m_id;
public:
 Dynarray(std::size_t n)
 : m_storage(new int[n]{}), m_length(n), m_id(cnt++) {}
 Dynarray() : m_storage(nullptr), m_length(0), m_id(cnt++) {}
 // ...
};
```

使用一个全局变量 `cnt` 作为“计数器”。这样做好吗？

## static 数据成员

假如有很多类都需要这样的编号怎么办？

```
int X_cnt = 0, Y_cnt = 0, Z_cnt = 0;
struct X {
 X() : m_id(X_cnt++) {}
};
struct Y {
 Y() : m_id(Y_cnt++) {}
};
struct Z {
 Z() : m_id(Z_cnt++) {}
};
```

- 散落满地的全局变量，乱！
- 而且毫无保护：假如用错了会怎样？

```
struct Y {
 Y() : m_id(X_cnt++) {}
};
```

- 错误会悄无声息地发生。

## static 数据成员

\* 将这个计数器限定在类的作用域内：将它定义为类的 `static` 成员。

```
class Dynarray {
 static int s_cnt; // !!!
 int *m_storage;
 std::size_t m_length;
 int m_id;
public:
 Dynarray(std::size_t n)
 : m_storage(new int[n]{}), m_length(n), m_id(s_cnt++) {}
 Dynarray() : m_storage(nullptr), m_length(0), m_id(s_cnt++) {}
 // ...
};
```

根据 C++ 的规则，你还需要在类外初始化一下它：

```
int Dynarray::s_cnt = 0;
```

## `static` 数据成员

`static` 数据成员：一个限定在类的作用域内的“全局变量”

- 限定在类的作用域内：受访问限制说明符的影响，如果是 `private`，那么外部代码不可访问。
- “全局变量”：每个程序只有一个 `s_cnt`，这个 `s_cnt` 不属于任何的对象，而是属于这个类。

**访问：** `A::s_cnt`，而非 `a.s_cnt`。

- 实际上 `a.s_cnt` 也可以，但是 `a.s_cnt` 和 `b.s_cnt` 访问的是同一个 `s_cnt`。

## static 数据成员

练习：为你的 `Dynarray` 添加 `find` 函数，模仿 `std::string` 的 `find`。如果所查找的元素不存在，模仿 `std::string::npos` 返回一个 `Dynarray::npos`。

```
class Dynarray {
public:
 static std::size_t npos;
 std::size_t find(int x) /* 它应该是 const 吗? */ {
 // 如果没找到 `x`, return npos;
 }
};

std::size_t Dynarray::npos = -1;
```

## static 成员函数

类似于 static 数据成员，我们可以定义一个**限定在类的作用域内，但不属于任何对象，而是属于这个类的函数**：

```
class A {
 int x;
 public:
 static int fun() {
 return 42;
 }
 static int foo() {
 return x; // 错误: foo 是 static 成员函数，它不属于任何对象，无法知道访问了谁的 x
 // static 成员函数不含有 this 指针
 }
};

std::cout << A::fun() << std::endl; // 42
```

## 单例 (singleton) 模式

假如我们定义了一个类 `Widget`。如果我们希望这个世界上只有一个 `Widget` 类型的对象，怎么办？

## 单例 (singleton) 模式

假如我们定义了一个类 `Widget`。如果我们希望这个世界上只有一个 `Widget` 类型的对象，怎么办？

- 只能我们自己创建这个对象：所有构造函数都是 `private` 的
- 禁止拷贝



## 单例 (singleton) 模式

```
class Widget {
 // 构造函数是 private 的
 Widget();
 // ...
public:
 Widget(const Widget &) = delete;
 Widget &operator=(const Widget &) = delete;
 // Magic happens here!!
 static Widget &get_instance() {
 static Widget w; // 这个 static 是什么意思?
 return w;
 }
};
```

外部代码获得这个对象的唯一方式是 `Widget::get_instance()`。

初识类型推导: `auto`

## 为何需要类型推导?

有些类型是很复杂的，它们具有很长的名字：

```
std::vector<int, std::pmr::polymorphic_allocator<int>>::const_reverse_iterator
```

哪怕是中等长度的 `std::vector<int>::iterator`，老这么写谁也受不了

还有一些东西的类型无法写出来，比方说 lambda 表达式

## auto 类型推导

```
auto i = 42; // `i` is int
auto j = i; // `j` is int
auto len = s.size(); // `len` is std::string::size_type,
 // which is std::size_t
auto x = len + i; // `x` is std::size_t
```

可以定义复合类型:

```
auto &ref = i; // `ref` is int&
std::vector<std::string> vs{"hello", "world"};
for (const auto &s : vs) // `s` is const std::string &
 std::cout << s << std::endl;
```

## auto 类型推导

C++14 起，还允许用 `auto` 推断返回值类型（在一定条件下）

```
auto add(int a, int b) {
 return a + b; // return type is int
}

class Dynarray {
 auto size() const {
 return m_length; // return type is std::size_t
 }
 auto &at(std::size_t n) {
 return m_storage[n]; // return type is int&
 }
 const auto &at(std::size_t n) const {
 return m_storage[n]; // return type is const int &
 }
};
```