

CS100 Recitation 13

GKxx

Contents

- 重载运算符：总结、补充
- STL

重载运算符 (Operator overloading)

总结：技术

运算符重载的方式是定义一个名为 `operator@` 的函数：

- 各个运算对象从左向右依次作为这个函数的参数。
- 如果是成员函数，则最左侧的运算对象绑定到 `*this`。

不能发明新的运算符。不能为内置类型定义运算符。

不能被重载：

- `?:` , `.` , `::` 等，具有特别意义的运算符

不建议被重载：（为什么？）

- `&&` , `||` , `,` , `&` (address-of)

总结：技术

运算符重载的方式是定义一个名为 `operator@` 的函数：

- 各个运算对象从左向右依次作为这个函数的参数。
- 如果是成员函数，则最左侧的运算对象绑定到 `*this`。

不能发明新的运算符。不能为内置类型定义运算符。

不能被重载：

- `?:`，`.`，`::` 等，具有特别意义的运算符
- `?:` 无法被重载，因为它有一个运算对象不被求值，这一点用函数传参不可能做到

不建议被重载：（为什么？）

- `&&`，`||`，`,`，`&` (一元取地址运算符)
- `&&` 和 `||` 的短路求值会失效。`,` 和 `&` 本来就有特殊含义

总结：技术

重载的行为需要和内置的行为保持某种程度上的一致，除非你有很好的理由不这么做

- `++i` 返回 `i` 的引用，`i++` 返回递增前的 `i` 的一份拷贝。
- 赋值、复合赋值都返回左侧运算对象的引用。
- 解引用 `*p` 通常返回左值引用
- 比较运算符需要符合逻辑：`a == b` 意味着 `b == a`，`a != b` 意味着 `!(a == b)`。

C++20 的比较运算符的相关规则发生了巨大的变化：

- 允许用 `=default` 让编译器合成
- 新增了 `operator<=>` 用来定义数学上对应的**序关系**（partial ordering, strong ordering, weak ordering）
- 定义了 `operator==` 和 `operator<=>` 后编译器会合成六个关系运算符。

总结：技术

通常是成员：`++`，`--`，`*` (解引用)，`->`，`=` (赋值，必须是成员)，各种复合赋值运算符 (`+=`，`-=`，...)

成员或非成员皆可：比较运算符 `<`，`<=`，`>`，`>=`，`==`，`!=`，算术运算符等

如果需要左侧运算对象也能隐式转换，则它不能是成员。

- `r == 1` 被视为 `r.operator==(1)`，即 `r.operator==(Rational(1))`
- 但 `1 == r` 无法被视为 `1.operator==(r)`。

不要漏 `const` ！

```
class Rational {  
    public:  
        bool operator==(const Rational &) const;  
};  
bool operator!=(const Rational &, const Rational &);
```

非成员有两个 `const` ，成员也必然有两个 `const` ，只是其中一个变成了这个成员函数的 `qualifier`。

特殊的运算符：后置递增 `i++`

```
class Rational {  
public:  
    Rational &operator++();  
    // 90% 的后置递增运算符都应该这样写  
    Rational operator++(int) {  
        auto tmp = *this; // 拷贝原来的对象  
        ++*this;           // 真正的“递增”由前置版本完成  
        return tmp;        // 返回递增前的拷贝  
    }  
};
```

- `int` 参数：仅仅是为了区分前置版本和后置版本，没有实际意义，也不需要用到，自然也就没有名字。
- `++i` 被视为 `i.operator++()`，`i++` 被视为 `i.operator++(0)`。

特殊的运算符：->

```
class SharedPtr {  
    public:  
        Object &operator*() const;  
        Object *operator->() const {  
            return std::addressof(this->operator*());  
        }  
};
```

- 为了让 `p->mem` 和 `(*p).mem` 等价，`operator->` 几乎总是应该这样定义。
- 注意在本例中 `operator*` 和 `operator->` 都是 `const`：它们都允许在 `const SharedPtr` 上调用。

避免重复：比较运算符

定义 `operator==` 和 `operator<`，让剩下四个依赖于它们。

```
bool operator!=(const Rational &lhs, const Rational &rhs) {  
    return !(lhs == rhs);  
}  
bool operator>(const Rational &lhs, const Rational &rhs) {  
    return rhs < lhs;  
}  
bool operator<=(const Rational &lhs, const Rational &rhs) {  
    return !(lhs > rhs); // 你只会 lhs < rhs || lhs == rhs ?  
}  
bool operator>=(const Rational &lhs, const Rational &rhs) {  
    return !(lhs < rhs);  
}
```

避免重复：算术运算符

定义一元负号 `-` 和 `+=`，那么 `+`，`-`，`-=` 都可以用它们实现。

```
class Rational {
public:
    Rational &operator-=(const Rational &rhs) {
        return *this += -rhs;
    }
};
Rational operator+(const Rational &lhs, const Rational &rhs) {
    return Rational(lhs) += rhs;
}
Rational operator-(const Rational &lhs, const Rational &rhs) {
    return Rational(lhs) -= rhs;
}
```

输入、输出运算符：`operator<<` 和 `operator>>`

首先搞清楚：输入流（例如 `std::cin`）的类型是 `std::istream`，输出流（例如 `std::cout`）的类型是 `std::ostream`。

这两个运算符应该是成员还是非成员？

输入、输出运算符

`operator<<` 和 `operator>>`

首先搞清楚：输入流（例如 `std::cin`）的类型是 `std::istream`，输出流（例如 `std::cout`）的类型是 `std::ostream`。

这两个运算符只能是非成员：你无法给 `std::istream` 和 `std::ostream` 添加成员。

`std::istream` 和 `std::ostream` 都不能拷贝，必须按引用传递，而且不能是常量引用。

```
std::istream &operator>>(std::istream &, Rational &r);  
std::ostream &operator<<(std::ostream &, const Rational &r);
```

- 为了支持连续的输入输出 `std::cin >> a >> b >> c`，这两个运算符需要把左侧运算对象返回出来。

输入、输出运算符

输入运算符需要考虑输入错误的情况：见客观题 18。

```
struct Vec3 {  
    double x_, y_, z_;  
    double l2_norm_;  
};  
std::istream &operator>>(std::istream &is, Vec3 &v) {  
    is >> v.x_ >> v.y_ >> v.z_;  
    if (!is) // 如果输入发生错误，要将对象置于有效的状态。  
        v.x_ = v.y_ = v.z_ = 0;  
    v.l2_norm_ = std::sqrt(v.x_ * v.x_ + v.y_ * v.y_ + v.z_ * v.z_);  
    return is;  
}
```

输入、输出运算符

不能直接将 `is`、`os` 替换为 `std::cin` 和 `std::cout`：除它们之外还有其它的流对象

```
std::ifstream file("infile.txt");  
int x, y, z;  
file >> x >> y >> z;
```

由于 `std::ifstream` 继承自 `std::istream`，它可以被 `std::istream &` 绑定

后面课程会讲

避免重载运算符的滥用

函数的名称可以透露很多信息，而运算符不行：

- `a * b` 和 `dot_product(a, b)`
- `a < b` 和 `compare_by_id(a, b)`
- `a + b` 和 `concat(a, b)`

避免滥用重载运算符：除非这个运算符有唯一明确合理的定义，否则不要定义它。

- 为什么 `std::string` 可以用 `+` 连接，而 `std::vector` 不行？
- MATLAB 的 `a * b` 和 `a .* b` 的区别

`operator+` 应该加而不是减，`operator<` 应该是“小于”而非“大于”。

函数调用运算符 `operator()`

这块内容我放在 STL 部分了，但仍然属于重载运算符的板块。

```
struct Adder {  
    int operator()(int a, int b) const {  
        return a + b;  
    }  
};  
std::cout << Adder{}(2, 3) << std::endl; // 5
```

- `Adder{}` 创建了一个 `Adder` 类型的对象
- `Adder{}(2, 3)` 相当于 `Adder{}.operator()(2, 3)`

一般地，`f(arg1, arg2, ...)` 被视为 `f.operator()(arg1, arg2, ...)`。

类型转换运算符

除了接受单个参数的构造函数，我们还有另一种方式自定义类型转换：

```
struct Rational {  
    int n, d;  
    operator double() const {  
        return static_cast<double>(n) / d;  
    }  
};
```

```
Rational r{3, 2};  
double d = r; // 1.5
```

类型转换运算符

```
struct Rational {  
    int n, d;  
    operator double() const {  
        return static_cast<double>(n) / d;  
    }  
};  
Rational r{3, 2};  
double d = r; // 1.5
```

- 函数名是 `operator Type`
- 不接受参数，不写返回值类型（因为返回值类型就是 `Type`）
- 通常是 `const`：类型转换不改变这个对象本身。但也可以禁止在 `const` 对象上发生这种类型转换。

类型转换运算符

`std::istream` 对象可以放在条件部分，来判断这个输入流正不正常：

```
std::cin >> a >> b;  
if (!std::cin)  
    handle_input_failure();
```

所以标准库定义了 `std::istream` 向 `bool` 的类型转换，对吗？

```
class istream {  
    bool fail, bad;  
public:  
    operator bool() const {  
        return !fail && !bad;  
    }  
};
```

类型转换运算符

标准库定义了 `std::istream` 向 `bool` 的类型转换，对吗？

```
class istream {  
    bool fail, bad;  
public:  
    operator bool() const { return !fail && !bad; }  
};  
istream cin;
```

下面的代码居然也乐呵呵地编译了！为什么？

```
int ival;  
cin << ival; // 写反了！
```

类型转换运算符

标准库定义了 `std::istream` 向 `bool` 的类型转换，对吗？

```
class istream {  
    bool fail, bad;  
public:  
    operator bool() const { return !fail && !bad; }  
};  
istream cin;
```

下面的代码居然也乐呵呵地编译了！为什么？

```
int ival;  
cin << ival; // cin 隐式转换成 bool 类型，又提升成 int  
             // 这个 << 其实是左移！
```

类型转换运算符

为了避免 `std::cin << ival` 通过编译，在 C++11 以前标准库定义的是向 `void *` 的类型转换：在输入流正常的时候返回一个非空指针，不正常的时候返回空指针。

(since C++11): `explicit` 类型转换运算符

```
struct Rational {  
    int n, d;  
    explicit operator double() const {  
        return static_cast<double>(n) / d;  
    }  
};  
Rational r{3, 2};  
double d = r; // 错误：隐式转换  
double d2 = static_cast<double>(r); // 正确
```


类型转换运算符

为了避免 `std::cin << ival` 通过编译，在 C++11 以前标准库定义的是向 `void *` 的类型转换：在输入流正常的时候返回一个非空指针，不正常的时候返回空指针。

(since C++11): `explicit` 类型转换运算符

```
class istream {  
    bool fail, bad;  
public:  
    explicit operator bool() const { return !fail && !bad; }  
};  
istream cin;
```

从 `istream` 向 `bool` 的类型转换必须显式发生。

那 `if (cin)` 还能用吗？

Contextual conversions

下列情况中，`e` 向 `bool` 的类型转换属于 contextual conversion，允许使用 `explicit` 类型转换运算符：

- `if (e)`, `while (e)`, `for (xxx; e; xxx)`
- `!e`, `e && e`, `e || e`, `e ? a : b`
- （你们没学过的）`static_assert(e)`, `noexcept(e)`, (since C++20) `explicit(e)`

因此 `if (cin)` 也就没问题了。

避免类型转换运算符的滥用

```
struct Rational {  
    int n, d;  
    operator double() const {  
        return static_cast<double>(n) / d;  
    }  
    operator std::string() const {  
        return std::to_string(n) + '/' + std::to_string(d);  
    }  
};
```

```
Rational r{3, 2};  
std::cout << r << std::endl; // 1.5 还是 3/2 ?
```

避免类型转换运算符的滥用

更好的设计：定义成普通的函数

```
struct Rational {  
    int n, d;  
    auto to_double() const {  
        return static_cast<double>(n) / d;  
    }  
    auto to_string() const {  
        return std::to_string(n) + '/' + std::to_string(d);  
    }  
};
```

一般来说，只为某些特殊的行为定义类型转换，尤其是不要輕易定义向内置类型的类型转换！

类型转换引发的二义性

```
struct A {  
    A(const B &);  
};  
struct B {  
    operator A() const;  
};
```

```
B b{};
```

```
A a = b; // 到底是调用了 `A::A(const B &)` 还是 `B::operator A() const` ?
```

类型转换引发的二义性

当类型转换遇上重载决议，情况就彻底乱套了...

```
struct Rational {  
    operator double() const;  
};  
struct X {  
    X(const Rational &);  
};  
void foo(int);  
void foo(X);  
Rational r{3, 2};  
foo(r); // 到底是先转成 double 然后转成 int 匹配 foo(int)  
        // 还是直接转成 X 匹配 foo(X) ?
```

避免这样的情况发生！不要滥用类型转换运算符。

自定义字面值后缀

拜托，C++ 这么机械朋克的语言超酷的好吗？

```
inline Expr operator""_ex(long double x) {  
    return {static_cast<double>(x)};  
}  
auto e = 3.0_ex + 2.0_ex; // 相当于 Expr(3.0) + Expr(2.0)  
inline std::size_t operator""_zu(long long unsigned x) {  
    return x;  
}  
for (auto i = 0_zu; i != v.size(); ++i) // 终于可以用 auto 定义 std::size_t 变量了  
    // ...
```

标准库定义的字面值后缀:

```
using namespace std::string_literals;  
auto s = "hello"s; // s 是一个 std::string 对象
```

STL

特别补充一个 `std::pair`

定义在 `<utility>` 中

一个快速、随意的数据结构

```
std::pair<T1, T2> p1{a, b}; // 用圆括号也可以  
auto p2 = std::make_pair(a, b); // 等价的写法  
std::pair p3{a, b}; // 编译器根据 a 和 b 的类型来推导模板参数  
// 这里用圆括号也可以，但 {} 更 modern
```

C++17 有了 CTAD，几乎不再需要 `std::make_pair` 了。

std::pair

返回两个值：装进 `pair` 里就行

```
std::pair<int, std::string> foo() {  
    // ...  
    return {42, "hello"};  
}
```

访问 `pair` 中的元素：`p.first`, `p.second`

```
auto p = foo();  
std::cout << p.first << ", " << p.second << std::endl;
```

`std::pair`

访问 `pair` 中的元素：`p.first`, `p.second`

```
auto p = foo();  
std::cout << p.first << ", " << p.second << std::endl;
```

C++17 structured binding (结构化绑定)：

```
auto [ival, sval] = foo();  
std::cout << ival << ", " << sval << std::endl;
```

非常像 Python

`std::pair`

`std::pair` 有比较运算符：按照 `.first` 为第一关键字、`.second` 为第二关键字比较。

不要滥用 `std::pair` ！不要用它来代替一些具有实际意义的类。

```
using Complex = std::pair<double, double>; // bad idea!  
using Student = std::pair<std::string, int>; // bad idea!
```