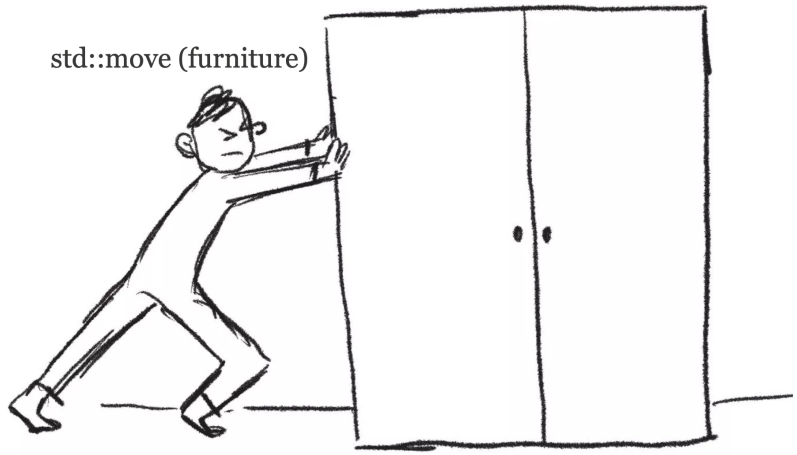
Проектирование больших систем на C++

Коноводов В. А.

кафедра математической кибернетики ВМК
vkonovodov@gmail.com

Лекция 5
05.09.2022

std::move




```
template< class T >
constexpr std::remove_reference_t<T>&& move( T&& t ) noexcept;
```

Возвращаемое значение:

```
static_cast<typename std::remove_reference<T>::type&&>(t)
```

std::move ничего не перемещает и не делает никаких действий в runtime.

Как работает std::forward

Шаблон с универсальной ссылкой

```
template <typename T>
void call(T&& obj);
```

- Если в качестве аргумента передается lvalue, то T выводится как lvalue-ссылка.
- Если в качестве аргумента передается rvalue, то T не является ссылкой.

```
int x;
call(x);  // T - int&
call(std::move(x));  // T - int
```

Перемещающие операции

Перемещающий конструктор и перемещающий оператор присваивания:

- генерируются только при необходимости;
- выполняют «почленное перемещение»;
- не генерируются при явном объявлении;
- не являются независимыми;
- не генерируются при явном объявлении копирующих операций или деструктора.

Перемещающие операции

Если все-таки нужно сгенерировать?

```
class A {
  public:
    A(A&&) = default;
    A& operator(A&&) = default;
    virtual ~A() { ...}
};
```

Некоторые выводы

- Перемещение — новая ключевая идея C++ — обычно используется для оптимизации копирования.
- std::move ничего не перемещает, std::forward ничего не передает.
- Не объявляйте объекты константными, если нужно выполнять перемещение из них.
- Применяйте std::move к rvalue-ссылкам, а std::forward к универсальным ссылкам.
- Перегрузка для универсальных ссылок может привести к неприятным эффектам (конструкторы с прямой передачей соответствуют неконстантным lvalue обычно лучше копирующих конструкторов)
- Большинство стандартных типов в C++11 перемещаемы, например, контейнеры STL.
- Некоторые типы только перемещаемы, например, объекты потоков, std::thread, std::unique_ptr.

Вопрос

Что напечатает программа?

```
#include <iostream>

void f(int&& x) {
    ++x;
}

int main() {
    int a = 0;
    f(std::move(a));
    std::cout << a << std::endl;
}
```

1

Вопрос

Что напечатает программа?

```
#include <iostream>

void f(int&) {
    std::cout << "A";
}

void f(int&&) {
    std::cout << "B";
}

int main() {
    int a, b;
    f(a);
    f(a + b);
    int&& c = a + b;
    f(c);
}
```

ABA

Операторы new и delete

Зачем они нужны?

```
#include <iostream>
class C {
 public:
  int arr[100];
  C(int a) { /*...*/}
};
int main() {
  C * c = new C(123);
  // ...
  delete c;
};
```

- Создание и удаление динамических объектов

Проблема: Временем жизни таких объектов приходится управлять вручную.

Проблемы new и delete

1. Можно забыть написать delete.
2. Можно написать лишний delete.
3. Утечки памяти при исключениях и т.п.
4. delete / delete[].

Как решать?

- Оставить delete умным указателям.
- Оставить new make-функциям.

Но всё-таки про new/delete

Оператор **new** состоит из двух частей:

1. Выделение сырой (свободный кусок динамической) памяти. Может возникнуть исключение.
2. Конструирование объекта в сырой памяти.

Оператор **new** гарантирует, что если в конструкторе произошло исключение, то выделенная динамическая память автоматически очистится.

Оператор **delete** делает все наоборот:

1. Вызывается деструктор.
2. Освобождается память.

Размещающий оператор new

Как было раньше:

```
int * p = (int*)(malloc(sizeof(int));
// ...
free(p);
```

Два способа нельзя смешивать (malloc + delete, new + free)

Способ с new предпочтительнее, и его реализацию можно перегружать:

```
void *p = malloc(sizeof(C));
C * c = new (p) C(123); // placement new;
// ...
c -> ~C();
free(p);
```

Размещающий оператор new

Как-то надо бороться с исключениями:

```
void * p = malloc(sizeof(C));
if (!p) return 1;
C * c;
try {
  c = new (p) C(123);
} catch (...) {
  free(p);
  throw;
}
try {
  // ...
} catch (...) {
  c -> ~C();
  free(p);
  throw;
}
c -> ~C();
free(p);
```

operator new, operator delete

```
//new C(x)
  void *p = operator new(sizeof(C));
  C * c;
  try {
    c = new(p) C(x);
  } catch (...) {
    operator delete(p);
    throw;
  }
//delete p
  if (p!=NULL) {
    p->~C();
    operator delete(p);
  }
```

Перегрузка

```
void * operator new (size_t sz) {
  std::cout << "operator new with " << sz << std::endl;
  void * p = malloc(sz);
  if (!p) throw std::bad_alloc();
  return p;
}

void operator delete(void * p) {
  std::cout << "operator delete" << std::endl;
  free(p);
}
```

Перегрузка

Можно перегрузить так:

```
void*operator new (size_t sz, double a, int x) {
    // ...
    return ::operator new(sz);
}
```

Но тогда нужно написать парный ему

```
void operator delete(void * p, double a, int x) {
    // ...
    ::operator delete(p);
}
```

Как тогда их вызвать?

```
C* p = new(1.23, 123) C(111);
delete p;
```

Перегрузка

Оператор new/delete внутри класса обязан быть статическим. static можно не писать.

```
class A {
    int param;
  public:
    A(int a): param(a) {
        cout << "A::A(" << a << ")" << std::endl;
    }
    virtual ~A() { cout  << "A::~A()" << std::endl; }
    static void* operator new(size_t sz) {
        cout << "A::operator new" << std::endl;
        return ::operator new(sz);
    }
    static void operator delete(void* ptr) {
        cout << "A::operator delete" << std::endl;
        ::operator delete(ptr);
    }
};
```

Указатели

Чем плохи обычные встроенные указатели?

Smart pointers

Чем плохи обычные встроенные указатели?

- Указывают на массив или на объект?
- Владеет ли указатель тем, на что указывает?
- Трудно обеспечить уничтожение ровно один раз.
- Обычно сложно определить, является ли указатель висячим.
- Нельзя предоставить информацию компилятору о том, могут ли два указателя указывать на одну область памяти.

«Умный» («интеллектуальный») указатель притворяется обычным указателем с дополнительными функциями.
Обертка над обычными указателями.

Smart pointers

Хочется что-то вроде такого

```
SmartPointer sp(new C);
```

и дальше пользоваться как обычным указателем, не задумываясь об удалении.
А что делать тут?

```
SmartPointer sp2 = sp;
```

Всегда можно обмануть умный указатель:

```
C * ptr = new C;
SmartPointer sp(ptr);
SmartPointer sp2(ptr);
```

Smart pointers: стратегии

- Запрет копирования и присваивания.
- Глубокое копирование.
- Подсчет ссылок в специальных счетчиках.
- Список ссылок.
- Передача владения.

Стратегия передачи владения

Если кто-то пытается скопировать указатель, то ему и передается владение, и исходный умный указатель не указывает больше на объект. Такой указатель не нужно класть в контейнер .

Умные указатели в C++ 11 / 14

```
std::auto_ptr<>  // deprecated
std::unique_ptr<>
std::shared_ptr<>
std::weak_ptr<>
```

std::unique_ptr

- Реализует семантику исключительного владения
- Перемещение передает владение от исходного указателя целевому, целевой при этом обнуляется.
- Копирование не разрешается.
- При деструкции освобождает ресурс, которым владеет.

Обычное использование – возвращаемый тип фабричных функций для объектов иерархии:

```
template <typename T>
std::unique_ptr<Base> makeObject(T&& params);
```

Некоторые методы std::unique_ptr

- `reset` — заменяет объект;
- `release` — освобождает владение;
- `get` — возвращает указатель на объект, которым владеет;

Запрещены неявные преобразования обычного указателя в умный:

```
std::unique_ptr<Base> p;
p = new A();
```

std::unique_ptr

Две разновидности для индивидуальных объектов и для массивов:

```
std::unique_ptr<T> //  *, ->
std::unique_ptr<T[]>  // []
```

`std::unique_ptr` можно присваивать в `std::shared_ptr` (можно не задумываться над тем, как будет использован возвращаемый указатель).

Как избавиться от new?

Написать обертку!

```
template <typename T, typename... Ts>
std::unique_ptr<T> make_unique(Ts&&... params) {
    return std::unique_ptr<T>(
        new T(std::forward<Ts>(params)...)
    )
}
```

Чего не хватает? Массивов, пользовательских удалителей.

Функция уже есть — `std::make_unique` в C++14.

```
std::unique_ptr<Base> p(new Base); // дважды пишем Base
auto p1(std::make_unique<Base>()); // make
```

Пользовательские удалители

```
auto Deleter = [](Base* p) {
    std::cout << "delete" << std::endl;
    delete p;
};

using TPtr = std::unique_ptr<Base, decltype(Deleter)>;

TPtr BuildObject(int param) {
    TPtr p(nullptr, Deleter);
    if (param == 1) {
        p.reset(new A());
    } else if (param == 2) {
        p.reset(new B());
    }
    return p;
}
```

Пользовательские удалители

- Тип удалителя является параметром шаблона
- Пользовательские удалители могут вообще говоря увеличить размер `std::unique_ptr`

std::shared_ptr

- Реализует семантику совместного владения.
- Использует метод подсчета ссылок. Счетчик ссылок хранится в динамически выделяемой памяти. Объект про счетчик ссылок ничего не знает.
- Тип удалителя не является частью типа указателя.
- Может работать только для указателей на объекты.

Что происходит здесь?

```
sp1 = sp2;
```

Некоторые методы std::shared_ptr

- `use_count` — количество shared ptr'ов, ссылающихся на этот же объект;
- `reset` — заменяет объект;
- `unique` — проверяет, что объект контролируется единственным указателем shared ptr;
- `get` — возвращает указатель на объект, которым владеет;

std::shared_ptr

- Перемещение быстрее копирования.
- Счетчик ссылок хранится в динамически выделяемой памяти.
- Пользовательский удалитель не является частью типа указателя.

Управляющий блок

- Функция `std::make_shared` всегда создает управляющий блок.
- Управляющий блок создается, когда указатель `std::shared_ptr` создается из указателя с исключительным владением
- Когда конструктор. `std::shared_ptr` вызывается с обычным указателем — он создает управляющий блок.

Типичная ошибка

```
A* p = new A;
std::shared_ptr<A> sptr1(p);
std::shared_ptr<A> sptr2(p);
```

Пользовательские удалители

```
auto d1 = [](A* p) {
    std::cout << "delete 1" << std::endl;
    delete p;
};
auto d2 = [](A* p) {
    std::cout << "delete 2" << std::endl;
    delete p;
};

int main() {
    std::shared_ptr<A> sptr1(new A, d1);
    std::shared_ptr<A> sptr2(new A, d2);
    sptr1 = sptr2;
    return 0;
}
```

- Тип удалителя не является частью типа указателя.
- Пользовательский удалитель не влияет на размер указателя.

std::weak_ptr

Дополнение функциональности std::shared_ptr.

- не участвует в совместном владении,
- позволяет понять, не является ли указатель висячим,
- нельзя ни разыменовать, ни проверить на nullptr.

```
auto sp = std::make_shared<A>();
std::weak_ptr<A> wp(sp);

// sp.use_count() == 1, wp.expired() == false;
// нельзя написать *wp, можно написать *sp

sp = nullptr;
// sp.use_count() == 0, wp.expired() == true;
```

std::weak_ptr

Разыменование происходит через преобразование к std::shared_ptr<>:

- Через функцию lock() – удаленный объект соответствует nullptr.
- Прямая конвертация – удаленный объект вызывает исключение.

```
auto sp2 = wp.lock();
// sp2 нулевой, если wp expired

std::shared_ptr<A> sp3(wp);
// exception std::bad_weak_ptr, если wp expired
```

std::weak_ptr: зачем?

Пусть есть фабрика объектов:

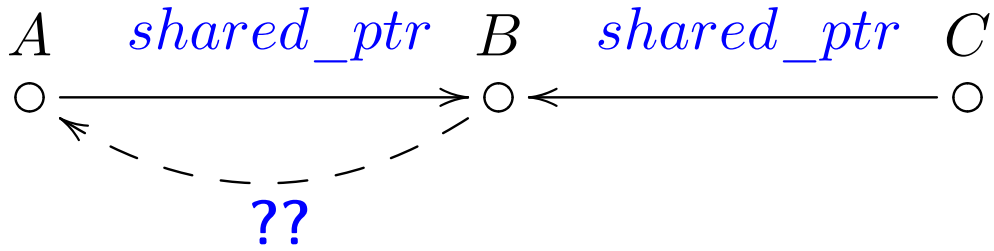
```
std::unique_ptr<const TObject> BuildObject(int param);
```

Кэш с удалением неиспользованных кэшированных значений.

```
std::shared_ptr<const TObject> FastBuildObject(int param) {
    static std::unordered_map<int,
                              std::weak_ptr<const TObject>>
                             cache;
    auto objPtr = cache[param].lock();
    if (!objPtr) {
        objPtr = BuildObject(param);
        cache[param] = objPtr;
    }
    return objPtr;
}
```

Предупреждение циклов std::shared_ptr

Рассмотрим такую структуру совместного владения:



Каким должен быть указатель?

- raw pointer
- shared_ptr
- weak_ptr

std::make_shared

Где тут потенциальная проблема?

```
Do(std::shared_ptr<A>(new A), getItem());
```

Исправляем:

```
Do(std::make_shared<A>(), getItem());
```

+ единовременное выделение памяти под объект и счетчик ссылок
Но в std::make_shared нельзя использовать custom-удалитель:

```
std::shared_ptr<A> sp(new A, customDeleter);
```

Как тогда исправить

```
Do(std::shared_ptr<A>(new A, customDeleter), getItem());
```

чтобы было безопасно?

```
std::shared_ptr<A> sp(new A, customDeleter);
Do(sp, getItem());
```

Чего не хватает теперь для оптимальности?

std::make_shared

Применение make-функций может быть плохой идеей для объектов типов с перегруженными `operator new` и `operator delete`.

Тут может помочь

`std::allocate_shared<>`

и собственный аллокатор.