Лекция 3. "Умные" указатели

ИУ8

September 18, 2018

Содержание

На текущей лекции рассмотрим:

- RAII
- "умные" указатели
- scoped_ptr
- unique_ptr
- shared_ptr

Мотивация

Вечный кошмар разработчика C++

```
1 int foo() {
2     Object obj = new Object();
3     // use obj
4     // ...
5     // but forget to free memory.
6 }
```

Только цифры

На сентябрь 2018 года в проекте Chromium

- ключевое слово delete встречается 14,056 раз
- unique_ptr - 65,331
- scoped_refptr (аналог shared_ptr) - 32,535

Ограниченное владение

```
1 class Soul;
2
3 class Paladin : public Unit {
4   scoped_ptr<Soul> paladin_soul_;
5   // ...
6 };
```

Единоличное владение

```
class Paladin : public Unit {
  scoped_ptr<Soul> paladin_soul_;
  unique_ptr<Weapon> weapon_;
 public:
  // set weapon, take up arm
  void equip(unique_ptr<Weapon> weapon);
  // ...
};
```

```
// a hammer is a weapon.
class Hammer : public Weapon {
// ...
};

unique_ptr<Hammer> make_hammer();
```

Пользовательский код

```
Paladin Uther;

// let's make a hammer in the smithy.
unique_ptr<Hammer> hammer = make_hammer();

// give the hammer to Uther.
Uther.equip(move(hammer));
```

Совместное владение

```
1  struct Bonfire;
2
3  struct Unit {
4    // every unit can get warm near a bonfire.
5    shared_ptr<Bonfire> bonfire_ = nullptr;
6    // ...
7  };
8
9
10 class Paladin : public Unit {
11   scoped_ptr<Soul> paladin_soul_;
12   unique_ptr<Weapon> weapon_;
13  public:
14   // ...
15   // make a bonfire.
16   void make_bonfire() {
17     bonfire_ = make_shared<Bonfire>();
18   }
19
20   // invite friends to get warm.
21   void invite_friend(Unit& friend) const {
22     friend.bonfire_ = this->bonfire_();
23   }
24 };
```

Пользовательский код

```
1 Wizard Jaina;
2 Paladin Uther;
3
4 Uther.make_bonfire();
5 Uther.invite_friend(Jaina);
6
7 Arthas.kill(Uther);
8
9 // Who should put out the fire?
```

"Собери 10 звездных подснежников и приходи ко мне за наградой"

Слабая связь

```
1  class NPC {
2    unique_ptr<Reward> reward_;
3    weak_ptr<NPC> as_weak();
4    void give_reward(Unit& character);
5   public:
6    void issue_task(Unit& character) {
7
8      auto delegate = bind(&NPC::give_reward, this->as_weak());
9
10     character.collect_star_snowdrops(10, delegate);
11   }
12 };
```

```cpp
class Unit {
 public:
  void collect_star_snowdrops(int num, Delegate action) {
    // find and collect |num| star snowdrops...
    // ...

    // when all star snowdrops were found, go for the reward
    // (if the NPC alive)
    action(*this);
  }
};
```

```
class Delegate {
 // ...
 weak_ptr npc;
 function<void(const NPC*, Unit&)> fulfill_promise;
 public:
  void operator()(Unit& character) const {
    if (npc_alive()) // npc.expired() == false {
      shared_ptr<NPC> alive_npc = npc.lock();

      fulfill_promise(alive_npc.get(), character);
    }

  }
};
```

Утечка ресурсов

```
1 try {
2   Image * img = new Image("~/Puss_in_Boots.png");
3   // ...
4   throw std::logic_error();
5   delete img;
6 }
7 catch(...) {
8 }
```

RAII

Идиома объектно-ориентированного программирования, смысл которой заключается в том, что получение некоторого ресурса неразрывно совмещается с инициализацией объекта, а освобождение — с уничтожением.

Использование RAII

```
1  template<class T>
2  struct ScopedPtr{
3     T * ptr;
4
5     ScopedPtr(T * p) {
6        ptr = p;
7     }
8
9     ~ScopedPtr() {
10       delete ptr;
11    }
12 };
13 //...
14 try {
15   ScopedPtr<Image> img(new Image("~/Puss_in_Boots.png"));
16   // ...
17   throw std::logic_error();
18 }
19 catch(...) {
20 }
```

Smart pointers

"Умные" указатели

"Умные" указатели - объект, работать с которым можно как с обычным указателем, но в отличие от последнего, он реализует идиому RAII и предоставляет некоторый дополнительный функционал.

В стандарте C++11 появились следующие "умные" указатели: **unique_ptr**, **shared_ptr** и **weak_ptr**. Все они объявлены в заголовочном файле <**memory**>.

Библиотека **boost** предоставляет дополнительные 4 клааса умных указателей – **boost::scoped_ptr**, **boost::scoped_array**, **boost::shared_array** и **boost::intrusive_ptr**.

auto_ptr

Еще один тип умного указателя, который достался в наследство от C++98, - это auto_ptr. Если вы разрабатываете на C++11, то никогда и нигде **не используйте** auto_ptr. На замену ему пришел более совершенный unique_ptr. В C++17 auto_ptr был удален из стандарта.

Smart pointers

boost::scoped_ptr

Пожалуй, самый простой среди "умных" указателей. Является некопируемым и неперемещаемым объектом.

Основные методы

- конструктор
- деструктор
- operator *
- operator ->
- get
- reset
- swap

Smart pointers

Пример

```
1 try {
2     boost::scoped_ptr<Image> img(new Image("~/Puss_in_Boots.png"));
3     // ...
4     throw std::logic_error();
5 }
6 catch(...) {
7 }
```

Smart pointers

std::unique_ptr

Использование unique_ptr позволяет не рассматривать вопросы освобождения ресурса, тем более не беспокоиться о том, что это уничтожение выполнялось в точности один раз.

Класс **std::unique_ptr** воплощает в себе семантику исключительного владения.

По умолчанию, std::unique_ptr имеет тот же размер, что и обычные указатели, и для большинства операций выполняются точно такие же команды. Это означает, что такие указатели можно использовать даже в ситуациях, когда важны расход памяти и времени.

std::unique_ptr всегда владеет тем, на что указывает. Перемещение std::unique_ptr передает владение от исходного объекта целевому. Копирование std::unique_ptr **запрещено**.

Smart pointers

Освобождение ресурса

При разрушении объекта ненулевой std::unique_ptr освобождает ресурс, которым владеет. По умолчанию освобождение ресурса выполняется через оператор delete. Но данное поведение можно настроить при создании std::unique_ptr.

Custom deleters

При конструировании std::unique_ptr можно указать произвольную функцию (или функциональный объект, он же функтор), которая будет вызываться для освобождения ресурса.

Все функции пользовательских удалителей принимают обычный указатель на удаляемый объект и затем выполняют все необходимые действия по его удалению.

Smart pointers

Пример 1

```
1 auto pImg = std::make_unique<Image>("~/Puss_in_Boots.png");
```

Пример 2

```
1 auto customDeleter = [](Image * p) {
2   std::cout << "debug mode";
3   delete p;
4 };
5 std::unique_ptr<Image, decltype(customDeleter)> img(nullptr,
      customDeleter);
6 pImg.reset(new Image("~/Puss_in_Boots.png"));
```

Smart pointers

Основные методы

- конструктор
- деструктор
- operator=
- operator *
- operator ->
- release
- reset
- swap
- get
- get_deleter
- operator bool

Smart pointers

std::shared_ptr

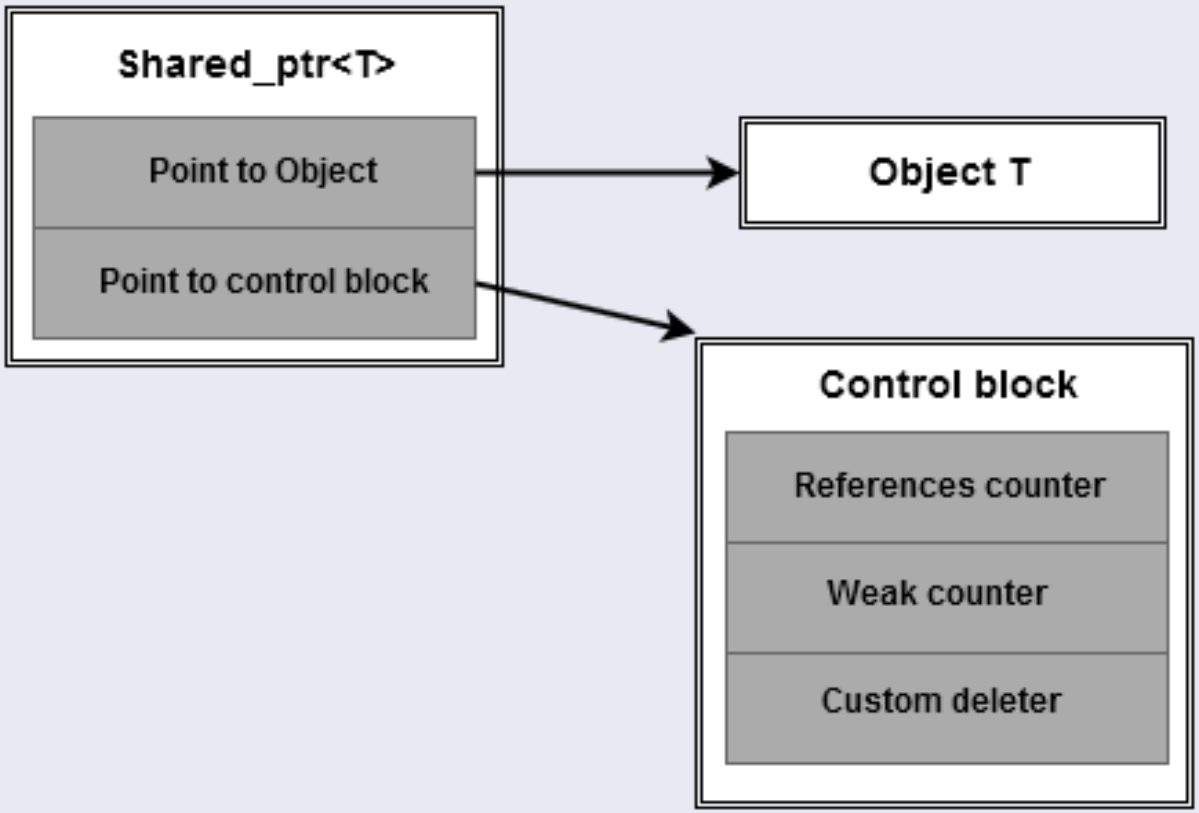
Указатель **std::shared_ptr** используется для управления ресурсами путем **совместноro** владения, т.е. объект, на который указывает shared_ptr, уничтожится только после того, как не останется ни одного shared_ptr, ссылающегося на него.

Никакой конкретный указатель std::shared_ptr не владеет объектом, на который указывает. Все указатели std::shared_ptr сотрудничают для гарантированного уничтожения целевого объекта только в той точке, где он станет более ненужным.

std::shared_ptr в два раза больше размера обычноro указателя.

Класс std::shared_ptr имеет API, предназначенное только для работы с указателями на единичные объекты. Не существует std::shared_ptr<T[]>.

Как работает shared_ptr



Управляющий блок имеется для каждого объекта, управляемого указателями std::shared_ptr.

Smart pointers

Счетчик ссылок

Указатель std::shared_ptr может сообщить, является ли он последним указывающим на ресурс указателем с помощью **счетчика ссылок**. Он имеет значение, связанное с ресурсом, и отслеживает, какое количество указателей std::shared_ptr указывает на него.

Память для счетчика ссылок должна выделяться динамически. Счетчик ссылок связан с объектом, на который указывает std::shared_ptr, однако сам целевой объект об этом счетчике ничего не знает.

Конструкторы std::shared_ptr увеличивают этот счетчик (в случае конструктора перемещения это не так)
Деструкторы std::shared_ptr уменьшают его
Операторы копирующего присваивания делают и то, и другое (у копируемого объекта счетчик увеличивается, у получателя уменьшается)

Производительность

Инкремент и декремент счетчика ссылок должны быть **атомарными**. Атомарные операции обычно медленнее неатомарных, так что несмотря на то, что обычно счетчики ссылок имеют размер в одно слово, следует рассматривать их чтение и запись как относительно дорогостоящие операции.

При передаче std::shared_ptr по значению происходит его копирование, и к его внутреннему счетчику прибавляется единица. Операция должна выполняться атомарно, что оказывает влияние на производительность. Передавайте std::shared_ptr по ссылке, где это возможно.

Custom deleter

Подобно std::unique_ptr, std::shared_ptr в качестве механизма удаления ресурса по умолчанию использует delete

Для std::shared_ptr тип удалителя НЕ является частью типа интеллектуального указателя. Это делает std::shared_ptr более гибким указателем. Например, можно добавить два std::shared_ptr с разными деаллокаторами в один вектор, или присвоить значение одного другому.

Другим отличием от std::unique_ptr является то, что указание пользовательского удалителя не влияет на размер объекта std::shared_ptr. Независимо от удалителя объект std::shared_ptr имеет размер, равный размеру двух указателей.

Избегайте создания указателей из обычный встроенных указателей

Создание более одного std::shared_ptr из единственного обычного указателя приведет к **неопределенному поведению**.

Пример

```
1 // BAD CASE
2 auto ptr = new Image("~/my_pic.png");
3
4 std::shared_ptr<Image> spw1(pw);
5
6 std::shared_ptr<Image> spw2(pw);
```

Объясните код.

Осторожно!

Если два объекста ссылаются друг на друга с помощью shared_ptr и вы хотите освобобить объекты и связзанные с ними ресурсы при условии, что на них больше никто не ссылается, указатель shared_ptr не освободит данные, потому что счетчик ссылок будет равен 1.

В общем случае отдавайте приоритет make-функции

- make-функции устраняют дублирование кода, повышают безопасность кода по отношению к исключениям и в случае функций std::make_shared генерируют меньший по размеру и более быстрый код;
- Ситуации, когда применение make-функций неприемлемо, включают необходимость указания пользовательских удалителей и необходимость передачи инициализаторов в фигурных скобках;
- Для указателей std::shared_ptr дополнительными ситуациями, в которых применение make-функций может быть неблагоразумным, являются классы с пользовательским управлением памятью, а также системы, в которых проблемы с объемом памяти накладываются на использование очень больших объектов и наличие указателей std::weak_ptr, время жизни которых существенно превышает время жизни указателей std::shared_ptr.

Резюме по shared_ptr

- − Требуется динамически выделенная память для хранения управляющего блока
- − Операции, требующие работы со счетчиком ссылок, из-за своей атомарности дороги
- \+ Разыменование std::shared_ptr не является более дорогостоящим, чем разыменование обычного указателя
- \+ Операции, требующие работы со счетчиком ссылок, потокобезопасные
- \+ Автоматическое управление временем жизни динамически выделяемых ресурсов с совместным владением

Резюме

Если вам достаточно исключительного владения, лучшим выбором является std::unique_ptr.

Его производительность близка к производительности обычных указателей, а преобразование в std::shared_ptr выполняется очень легко.

В большинстве случаев *применение std::shared_ptr* предпочтительнее, чем ручное управление временем жизни объекта с **совместным владением**.

Smart pointers

std::weak_ptr

Класс std::weak_ptr требует создания совместно используемого указателя. Как только последний совместно используемый указатель, владеющий объектом, потеряет владение, слабый указатель автоматически станет пустым.

Помимо конструктора по умолчанию и копирующего конструктора, класс std::weak_ptr содержит только конструктор, получающий аргумент типа std::shared_ptr.

Нельзя использовать операторы * и -> для доступа к объектам, на который ссылается указатель std::weak_ptr.

Чтобы получить доступ, следует создать соответствующий std::shared_ptr.

weak_ptr to shared_ptr

Существует два способа получить std::shared_ptr из std::weak_ptr

- Использовать функцию std::weak_ptr::lock, которая возвращает std::shared_ptr в случае, если std::weak_ptr не просрочен, иначе nullptr (в некоторых компиляторах будет сгенерировано исключение)
- Использовать конструктор std::shared_ptr, который принимает в качестве параметра std::weak_ptr. Если std::weak_ptr просрочен, генерируется исключение

weak_ptr::expired()

Если std::weak_ptr ссылается на уничтоженный объект (счетчик ссылок у shared_ptr равен 0), такой указатель называют висячим или просроченным

Чтобы узнать, является ли висячим объект std::weak_ptr, можно использовать функцию std::weak_ptr::expired().

```
1 using namespace std;
2 auto spw = make_shared<Widget>();
3 weak_ptr<Widget> wpw(spw);
4 cout << boolalpha << wpw.expired() << endl; // cout: false
5 cout << boolalpha << wpw.use_count() == 0 << endl; // cout: false
6 spw.reset();
7 cout << boolalpha << wpw.expired() << endl; // cout: true
8 cout << boolalpha << wpw.use_count() == 0 << endl; // cout: true
```

The end

Самостоятельное изучение

- nothrow
- enable_shared_from_this<T>

Список литературы

- Мейерс. Эффективный и современный C++. 42 рекомендации по использованию C++ 11 и C++ 14
- Джосаттис. Стандартная библиотека C++. Справочное руководство
- http://archive.kalnitsky.org/2011/11/02/smart-pointers-in-cpp11/
- https://herbsutter.com/2013/06/05/gotw-91-solution-smart-pointer-parameters/