

Лекция 7. Синхронизация параллельных операций

ИУ8

October 27, 2016

На текущей лекции рассмотрим:

- `std::async`
- `std::future`
- `std::promise`
- `std::packaged_task`
- `std::condition_variable`

Высокоуровневый интерфейс

Своеобразный "конкурент" классу `std::thread` составляют функция `async` и класс `future<T>`

Высокоуровневый интерфейс

Своеобразный "конкурент" классу `std::thread` составляют функция `async` и класс `future<T>`

Функция **`async`** обеспечивает интерфейс для вызываемого объекта.

Класс `future<T>` позволяет ожидать завершения потока и предоставляет доступ к его результату: возвращаемому значению или исключению.

Высокоуровневый интерфейс

Своеобразный "конкурент" классу `std::thread` составляют функция `async` и класс `future<T>`

Функция **`async`** обеспечивает интерфейс для вызываемого объекта.

Класс `future<T>` позволяет ожидать завершения потока и предоставляет доступ к его результату: возвращаемому значению или исключению.

Использование `async`

```
1 #include <future>
2 int doSomething();
3
4 future<int> f = std::async(std::launch::async,
5                           doSomething());
6 // ...
7 std::cout << f.get() << std::endl;
```

Стратегии запуска `std::async`

- `async`
- `deferred`
- `async|deferred` (по умолчанию)

Стратегии запуска `std::async`

- `async`
- `deferred`
- `async|deferred` (по умолчанию)

`async`

Создает новый поток, в котором выполняется функция, переданная вторым параметром в `std::async`

Стратегии запуска `std::async`

- `async`
- `deferred`
- `async|deferred` (по умолчанию)

`async`

Создает новый поток, в котором выполняется функция, переданная вторым параметров в `std::async`

`deferred`

Отложенный запуск функции, переданной вторым параметров в `std::async` *ленивое выполнение*. Функция выполняется при вызове методов `get` или `wait` соответствующий объектов `future`

Стратегии запуска `std::async`

- `async`
- `deferred`
- `async|deferred` (по умолчанию)

`async`

Создает новый поток, в котором выполняется функция, переданная вторым параметром в `std::async`

`deferred`

Отложенный запуск функции, переданной вторым параметром в `std::async` *ленивое выполнение*. Функция выполняется при вызове методов `get` или `wait` соответствующий объектов `future`

`async|deferred`

Значение по умолчанию. Как именно будет запущена задача зависит от компилятора.

Example launch::async

```
1 int getting_data() {
2     std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(10));
3     return 42;
4 }
5
6 // launch getting_data here
7 std::future<int> f = std::async(std::launch::async, getting_data);
8 std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(5));
9 std::cout << f.get() << std::endl;
10 // total time is about 10s
```

Example launch::deferred

```
1 int getting_data() {
2     std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(10));
3     return 42;
4 }
5
6 std::future<int> f = std::async(std::launch::deferred, getting_data);
7 std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(5));
8 std::cout << f.get() << std::endl; // actually function is launched here
9 // total time is about 15s
```

std::future::get

```
1 | auto f = std::async(getting_data);
```

При вызове функции `std::future::get()` могут произойти три события:

std::future::get

```
1 auto f = std::async(getting_data);
```

При вызове функции `std::future::get()` могут произойти три события:

- 1 Если выполнение функции `getting_data` было начато `async` в отдельном потоке и уже закончилось, то результат получится немедленно

std::future::get

```
1 | auto f = std::async(getting_data);
```

При вызове функции `std::future::get()` могут произойти три события:

- 1 Если выполнение функции `getting_data` было начато `async` в отдельном потоке и уже закончилось, то результат получится немедленно
- 2 Если выполнение функции `getting_data` было начато `async` в отдельном потоке, но еще не закончилось, то функция `get()` блокирует поток и ждет, пока выполнение функции `getting_data` будет закончено, чтобы получить результат

std::future::get

```
1 auto f = std::async(getting_data);
```

При вызове функции `std::future::get()` могут произойти три события:

- 1 Если выполнение функции `getting_data` было начато `async` в отдельном потоке и уже закончилось, то результат получится немедленно
- 2 Если выполнение функции `getting_data` было начато `async` в отдельном потоке, но еще не закончилось, то функция `get()` блокирует поток и ждет, пока выполнение функции `getting_data` будет закончено, чтобы получить результат
- 3 Если выполнение функции `getting_data` еще не начиналось, то она начнет выполняться как обычная синхронная функция.

see 03.cpp

Исключения в потоках

Если выполнение фоновой задачи было завершено из-за исключения, которое не было обработано в потоке, это исключение сгенерируется снова при попытке получить результат выполнения потока.

Исключения в потоках

Если выполнение фоновой задачи было завершено из-за исключения, которое не было обработано в потоке, это исключение сгенерируется снова при попытке получить результат выполнения потока.

```
1 auto f = std::async([]){  
2     throw 42;  
3 });  
4  
5 try{  
6     f.get();  
7 } catch(int i) {  
8     std::cout << i;  
9 }
```

see 04.cpp

`std::shared_future`

`std::future` позволяет обрабатывать будущий результат параллельных вычислений. Однако этот результат можно обрабатывать только один раз. Второй вызов функции `std::future::get` приводит к неопределенному поведению.

`std::shared_future`

`std::future` позволяет обрабатывать будущий результат параллельных вычислений. Однако этот результат можно обрабатывать только один раз. Второй вызов функции `std::future::get` приводит к неопределенному поведению.

Однако иногда приходится обрабатывать результат вычислений несколько раз, особенно если его обрабатывают несколько потоков. Для этой цели существует `std::shared_future`

`std::shared_future`

`std::future` позволяет обрабатывать будущий результат параллельных вычислений. Однако этот результат можно обрабатывать только один раз. Второй вызов функции `std::future::get` приводит к неопределенному поведению.

Однако иногда приходится обрабатывать результат вычислений несколько раз, особенно если его обрабатывают несколько потоков. Для этой цели существует `std::shared_future`

`std::shared_future` допускает несколько вызовов метода `get`, возвращает один и тот же результат или генерирует одно и то же исключение.

see 03a.cpp

`std::promise`

Рассмотрим, как можно передавать параметры и обработку исключений между потоками. Это позволит понять, как реализован высокоуровневый интерфейс.

`std::promise`

Рассмотрим, как можно передавать параметры и обработку исключений между потоками. Это позволит понять, как реализован высокоуровневый интерфейс.

Для передачи результатов и исключений в качестве результата выполнения потока можно использовать класс `std::promise`.

В то время как `std::future` позволяет извлечь данные, `std::promise` позволяет установить данные

std::promise

Рассмотрим, как можно передавать параметры и обработку исключений между потоками. Это позволит понять, как реализован высокоуровневый интерфейс.

Для передачи результатов и исключений в качестве результата выполнения потока можно использовать класс std::promise.

В то время как std::future позволяет извлечь данные, std::promise позволяет установить данные

```
1 void summ(int a, int b, std::promise<int>& accumulate_promise)
2 {
3     accumulate_promise.set_value(a + b);
4 }
5
6 std::promise<int> pr;
7 auto f = pr.get_future();
8 std::thread t1(summ, 10, 11, std::ref(pr));
```

see 05.cpp

`std::packaged_task`

Функция `async` предоставляет разработчику инструмент для работы с результатом выполнения задачи, которую он пытается запустить немедленно (или отложено, но синхронно) запустить в фоновом режиме. Но возникает необходимость обработать результат фоновой задачи, которую не обязательно запускать немедленно.

`std::packaged_task`

Функция `async` предоставляет разработчику инструмент для работы с результатом выполнения задачи, которую он пытается запустить немедленно (или отложено, но синхронно) запустить в фоновом режиме. Но возникает необходимость обработать результат фоновой задачи, которую не обязательно запускать немедленно.

Таким образом, как и когда запускать задачу, решает другой класс, например, пул потоков. Тем самым программист абстрагирует специфику задачи - а планировщик имеет дело только с экземплярами `std::packaged_task`

std::packaged_task

Функция `async` предоставляет разработчику инструмент для работы с результатом выполнения задачи, которую он пытается запустить немедленно (или отложено, но синхронно) запустить в фоновом режиме. Но возникает необходимость обработать результат фоновой задачи, которую не обязательно запускать немедленно.

Таким образом, как и когда запускать задачу, решает другой класс, например, пул потоков. Тем самым программист абстрагирует специфику задачи - а планировщик имеет дело только с экземплярами `std::packaged_task`

```
1 std::packaged_task<double(double)>
2   pt([](double d) -> double {
3       return d * d; });
4
5 auto f = pt.get_future();
6 std::thread(std::move(pt), 10.).detach();
7 std::cout << f.get() << std::endl;
```

see 08.cpp

`std::condition_variable`

Иногда задачи, выполняемые в разных потоках, должны ожидать друг друга.

`std::condition_variable`

Иногда задачи, выполняемые в разных потоках, должны ожидать друг друга.

Один из механизмов, который можно использовать для реализации такого поведения, - это `std::future` (see 06.cpp). Однако, `std::future` может передавать сигнал от потока другому только один раз.

`std::condition_variable`

Иногда задачи, выполняемые в разных потоках, должны ожидать друг друга.

Один из механизмов, который можно использовать для реализации такого поведения, - это `std::future` (see 06.cpp). Однако, `std::future` может передавать сигнал от потока другому только один раз.

Для синхронизации логических зависимостей, которыми можно многократно обмениваться между потоками, можно использовать **условные переменные** (`std::condition_variable`)

Условные переменные предоставляют самый простой механизм ожидания события, возникающего в другом потоке.

Стандартная библиотека C++ предлагает две реализации условный переменных `std::condition_variable` и `std::condition_variable_any`

Первый класс работает только с `std::mutex`, второй - с любым классом, который отвечает минимальным требованиям "мьютексоподобия". Т.к `std::condition_variable_any` более общий, то его использование обойдется дороже с точки зрения потребляемой памяти, производительности и ресурсов ОС.

Стандартная библиотека C++ предлагает две реализации условный переменных `std::condition_variable` и `std::condition_variable_any`

Первый класс работает только с `std::mutex`, второй - с любым классом, который отвечает минимальным требованиям "мьютексоподобия". Т.к `std::condition_variable_any` более общий, то его использование обойдется дороже с точки зрения потребляемой памяти, производительности и ресурсов ОС.

```
1 std::mutex m;  
2 std::string str;  
3 std::condition_variable cv;
```

```
1 void waiting_string() {  
2     std::unique_lock<std::mutex> lk  
3         (m);  
4     cv.wait(lk, [](){  
5         return !str.empty();  
6     });  
7     // use str  
}
```

```
1 void read_string() {  
2     std::lock_guard<std::mutex> lk(  
3         m);  
4     str = read_data();  
5     cv.notify_one(); // data is  
6         ready  
7 }
```

see 01.cpp, 02.cpp

Пояснения к примеру

В примере есть два потока: функция `waiting_string` ожидает пока будет получена строка, функция `read_string` заполняет строку и сообщает функции `waiting_string`, что строка готова для использования.

Пояснения к примеру

В примере есть два потока: функция `waiting_string` ожидает пока будет получена строка, функция `read_string` заполняет строку и сообщает функции `waiting_string`, что строка готова для использования.

Функция `read_string` захватывает мьютекс необходимый для защиты данных. Затем производит модификацию разделяемых данных. После извещает ожидающий поток, используя метод `notify_one`

Пояснения к примеру

В примере есть два потока: функция `waiting_string` ожидает пока будет получена строка, функция `read_string` заполняет строку и сообщает функции `waiting_string`, что строка готова для использования.

Функция `read_string` захватывает мьютекс необходимый для защиты данных. Затем производит модификацию разделяемых данных. После извещает ожидающий поток, используя метод `notify_one`

В `waiting_string` самым интересным является метод `wait`. Эта функция проверяет условие, вызывая второй аргумент.

- Если условие возвращает `true` - функция возвращает управление.
- Если же условие не выполнено, то `wait` освобождает мьютекс и переводит поток в состояние ожидания. Когда условная переменная получает уведомление, поток обработки пробудится, вновь захватит мьютекс и проверит условие. Если условие выполнено, то `wait` вернет управление, при чем мьютекс будет захвачен. Если условие не выполнено, то поток опять переходит в состояние ожидания.

Нюансы

Метод `wait` захватывает и освобождает мьютекс, поэтому требует для своей работы именно `unique_lock`, а не `lock_guard`.

Нюансы

Метод `wait` захватывает и освобождает мьютекс, поэтому требует для своей работы именно `unique_lock`, а не `lock_guard`.

Внутри `wait` условная переменная может проверять условие многократно, но каждый раз это делается после захвата мьютекса.

Нюансы

Метод `wait` захватывает и освобождает мьютекс, поэтому требует для своей работы именно `unique_lock`, а не `lock_guard`.

Внутри `wait` условная переменная может проверять условие многократно, но каждый раз это делается после захвата мьютекса.

Если функция проверки условия вернет `true`, то `wait` возвращает управление вызывающей программе.

Нюансы

Метод `wait` захватывает и освобождает мьютекс, поэтому требует для своей работы именно `unique_lock`, а не `lock_guard`.

Внутри `wait` условная переменная может проверять условие многократно, но каждый раз это делается после захвата мьютекса.

Если функция проверки условия вернет `true`, то `wait` возвращает управление вызывающей программе.

Ситуация, когда ожидающий поток проверяет условие не в ответ на извещение от другого потока, называется **ложным пробуждением**. Количество и частота ложных пробуждений недетерминированы.

В качестве заключения

Мы рассмотрели средства для синхронизации и параллельных операций. Эти строительные блоки можно и надо использовать для реализации своих многопоточных приложений. В современных системах ошибочно использовать всего один поток, одно ядро, один процессор для работы программного обеспечения.

Кроме этого с помощью этих блоков можно реализовывать еще более продвинутые системы: пул потоков, потоки с прерыванием выполнения. Эта тема будет рассмотрена на следующих лекциях.

Самостоятельное изучение

- `std::chrono`

Список литературы

- Джосаттис - Стандартная библиотека C++. 2-е издание
- Уильямс - Параллельное программирование на C++ в действии