Многопоточное программирование на C++

Многопоточность

- — свойство платформы или приложения, состоящее в том, что процесс, порождённый в операционной системе, может состоять из нескольких *потоков*, выполняющихся «параллельно», то есть без предписанного порядка во времени.

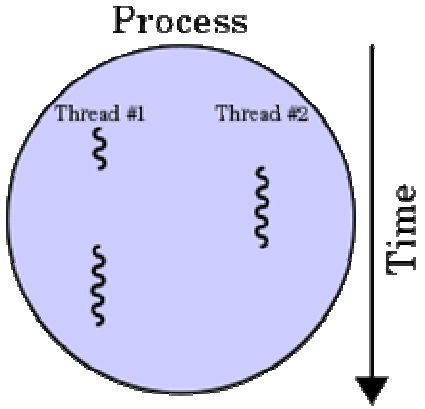
- Такие *потоки* называют также *потоками выполнения* (от англ. *thread of execution*); иногда называют «нитями» (букв. пер. англ. *thread*) или неформально «тредами».

Квазимногозадачность на уровне одного исполняемого процесса

- Все потоки процесса выполняются в адресном пространстве процесса.
- Все потоки процесса имеют общие дескрипторы файлов.
- Выполняющийся процесс имеет как минимум один (главный) поток.

На одном процессоре

- *многопоточность* обычно реализуется путём временного мультиплексирования: процессор переключается между разными потоками выполнения. Это переключение контекста обычно происходит достаточно часто, чтобы пользователь воспринимал выполнение потоков или задач как одновременное.



В многопроцессорных и многоядерных системах

- потоки или задачи могут реально выполняться одновременно, при этом каждый процессор или ядро обрабатывает отдельный поток или задачу.

- Стандарт C++ 1998-ого года не имел упоминаний о существовании потоков

Кроссплатформенные многопоточные библиотеки

- Набор библиотек Boost
- OpenMP
- OpenThreads
- POCO Thread (часть проекта POCO — http://pocoproject.org/poco/info/index.html)
- Zthread
- Pthreads (Ptreads-w32)
- Qt Threads
- Intel Threading Building Blocks
- Стандартная библиотека STL (C++11)

Многопоточное программирование в C++0x

C++0x определяет

- новую модель памяти
- библиотеку для разработки многопоточных приложений C++ threading library, включающую в себя
  - средства синхронизации,
  - создания потоков,
  - атомарные типы и операции

Класс std::thread

```
#include <iostream>
#include <thread>
#include <string>

void say_hello(const std::string& name) {
std::cout << "hello " << name << std::endl;
}

int main(int argc, char * argv[]) {
std::thread th(say_hello, "world");
th.join();
return 0;
}
```

Класс std::thread

- нельзя копировать,
- но его можно перемещать (std::move) и присваивать.
  - Присваивать можно только те объекты, которые не связаны ни с каким потоком, тогда объекту будет присвоено только состояние,
  - а при перемещении объекту передается состояние и право на управление потоком.

Идентификатор потока

- Каждый поток имеет свой идентификатор типа std::thread::id,
- который можно получить вызовом метода get_id
- или же вызовом статического метода std::thread::this_thread::get_id из функции самого потока

Идентификатор потока

```
void thread_func()
{
std::cout << std::this_thread::get_id() << std::endl;
}

int main(int argc, char * argv[])
{
std::thread th(thread_func);
std::thread::id th_id = th.get_id();

th.join();

std::cout << th_id << std::endl;

return 0;
}
```

Класс std::thread

- статический метод
- hardware_concurrency,
- который возвращает количество потоков, которые могут быть выполнены действительно параллельно,
- но стандарт разрешает функции возвращать 0, если на данной системе это значение нельзя подсчитать или оно не определено

Класс std::thread

- пара статических методов для усыпления потоков sleep_for и sleep_until
- функция yield для возможности передачи управления другим потокам

Мьютекс

- (англ. *mutex*, от *mutual exclusion* — «взаимное исключение») — служит для синхронизации одновременно выполняющихся потоков.

- Когда какой-либо поток, принадлежащий любому процессу, становится владельцем объекта mutex, последний переводится в неотмеченное состояние. Если задача освобождает мьютекс, его состояние становится отмеченным.

Мьютекс

- Мьютексы — это простейшие двоичные семафоры, которые могут находиться в одном из двух состояний — отмеченном или неотмеченном (открыт и закрыт соответственно).

- Мьютекс отличается от семафора общего вида тем, что только владеющий им поток может его освободить, т.е. перевести в отмеченное состояние.

Задача мьютекса

- — защита объекта от доступа к нему других потоков, отличных от того, который завладел мьютексом.

- В каждый конкретный момент только один поток может владеть объектом, защищённым мьютексом.
- Если другому потоку будет нужен доступ к переменной, защищённой мьютексом, то этот поток засыпает до тех пор, пока мьютекс не будет освобождён.

Цель использования мьютексов

- — защита данных от повреждения в результате асинхронных изменений (состояние гонки), однако могут порождаться другие проблемы — такие, как взаимная блокировка (клинч)

std::mutex

```
#include <vector>
#include <mutex>
#include <thread>

std::vector<int> x;
std::mutex mutex;

void thread_func1()  {
  mutex.lock();    x.push_back(0);    mutex.unlock();
}

void thread_func2()  {
  mutex.lock();    x.pop_back();    mutex.unlock();
}
```

std::mutex

```
int main()  {

   std::thread th1(thread_func1);
   std::thread th2(thread_func2);

   th1.join();
   th2.join();

   return 0;
}
```

Последний стандарт языка C++ (ISO/IEC 14882:2011)

определяет различные классы мьютексов:

- mutex — нет контроля повторного захвата тем же потоком;
- recursive_mutex — повторные захваты тем же потоком допустимы, ведётся счётчик таких захватов;
- timed_mutex — нет контроля повторного захвата тем же потоком, поддерживается захват мьютекса с тайм-аутом;
- recursive_timed_mutex — повторные захваты тем же потоком допустимы, ведётся счётчик таких захватов, поддерживается захват мьютекса с тайм-аутом.

Библиотека Boost

обеспечивает:

- реализацию мьютексов совместимых по интерфейсу со стандартом C++11 для компиляторов и платформ которые не поддерживают этот стандарт;
- реализацию дополнительных классов мьютексов: shared_mutex и др., которые позволяют захватывать мьютекс для совместного владения несколькими потоками только для чтения данных.

Проблема безопасности исключений в C++ threading library

- Тем не менее не рекомендуется использовать класс std::mutex напрямую,
- так как если между вызовами lock и unlock будет сгенерировано исключение - произойдет deadlock (т.е. заблокированный поток так и останется ждать).

Шаблонный класс std::lock_guard

- — обертка

- конструктор вызывает метод lock для заданного объекта, а деструктор вызывает unlock
- в конструктор класса std::lock_guard можно передать аргумент std::adopt_lock - индикатор, означающий, что mutex уже заблокирован и блокировать его заново не надо
- std::lock_guard не содержит никаких других методов, его нельзя копировать, переносить или присваивать

std::lock_guard

```
#include <vector>
#include <mutex>
#include <thread>

std::vector<int> x;
std::mutex mutex;

void thread_func1() {
  std::lock_guard<std::mutex> lock(mutex);
  x.push_back(0);
}

void thread_func2() {
  std::lock_guard<std::mutex> lock(mutex);
  x.pop_back();
}
```

std::lock_guard

```
int main() {

  std::thread th1(thread_func1);
  std::thread th2(thread_func2);

  th1.join();
  th2.join();
  return 0;
}
```

std::unique_lock

- еще один класс, контролирующий блокировки mutex-а
- предоставляет немного больше возможностей, чем std::lock_guard
- предоставляет возможность ручной блокировки и разблокировки контролируемого mutex-а с помощью методов lock и unlock соответственно

std::unique_lock

- std::unique_lock также можно перемещать с помощью вызова std::move
- объект класса std::unique_lock может не владеть правами на mutex, который он контролирует
- при создании объекта можно отложить блокирование mutex-а передачей аргумента std::defer_lock конструктору std::unique_lock и указать, что объект не владеет правами на mutex и вызывать unlock в деструкторе не надо
- права на mutex можно получить позже, вызвав метод lock для объекта
- функцией owns_lock можно проверить, владеет ли текущий объект правами на mutex

Deadlock возможен, если

- между вызовами lock и unlock будет сгенерировано исключение

- потоки блокируют более одного mutex-а:
  - два mutex-а A и B защищают два разных ресурса, и, двум потокам, одновременно необходим доступ к этим двум ресурсам.
  - Блокировка одного mutex-а - атомарна, но блокировка двух mutex-ов - это два отдельных действия, и, если первый поток заблокирует mutex A, в то время, как второй заблокирует mutex B, оба потока зависнут ожидая друг друга.

std::lock

- блокирует переданные ей mutex-ы без опасности deadlock-а. Функция принимает бесконечное количество шаблонных аргументов, которые должны иметь методы lock и unlock

std::lock

- std::unique_lock<std::mutex> la(mut_a, std::defer_lock);
- std::unique_lock<std::mutex> lb(mut_b, std::defer_lock);
- std::lock(la, lb);

std::call_once

- std::call_once создан для того, чтобы защищать общие данные во время инициализации
- это техника, позволяющая вызвать некий участок кода один раз, независимо от количества потоков, которые пытаются выполнить этот участок кода
- std::call_once - быстрый и удобный механизм для создания потокобезопасных singleton-ов

std::call_once

```
#include <mutex>
#include <thread>
#include <iostream>

struct x  {
    x() { std::cout << std::this_thread::get_id() << std::endl; }
};

x* instance;

void create_x() {
    instance = new x();
}
```

std::call_once

```
std::once_flag instance_flag;

void thread_func() {
    std::call_once(instance_flag, create_x);
}

int main() {
    std::thread th1(thread_func);
    std::thread th2(thread_func);

    th1.join();
    th2.join();

    return 0;
}
```

Поток ожидает наступления некого события

- Один из вариантов реализации - регулярно в цикле проверять условие наступления события,
- но это не эффективно, так как поток, вместо того, чтобы спать до наступления нужного момента, постоянно спрашивает о статусе, тем самым, мешая другим потокам.

std::condition_variable

это объект синхронизации, предназначенный для блокирования одного потока, пока он не будет оповещен о наступлении некоего события из другого.

std::condition_variable

```
#include <vector>
#include <mutex>
#include <thread>
#include <iostream>
#include <condition_variable>

std::vector<int> data;
std::condition_variable data_cond;
std::mutex m;
```

std::condition_variable

```
void thread_func1() {
    std::unique_lock<std::mutex> lock(m);
    data.push_back(10);
    data_cond.notify_one();
}

void thread_func2() {
    std::unique_lock<std::mutex> lock(m);
    data_cond.wait( lock, [] {  return !data.empty(); } );
    std::cout << data.back() << std::endl;
}
```

std::condition_variable

```
int main()  {

    std::thread th1(thread_func1);
    std::thread th2(thread_func2);

    th1.join();
    th2.join();

    return 0;
}
```

Отправка оповещения

- data_cond.notify_one();
- data_cond.notify_all ();

std::condition_variable_any

- std::condition_variable работает только с блокировками типа std::unique_lock
- std::condition_variable_any может работать с любыми блокировками, поддерживающими соответствующий интерфейс

Задача

- Необходимо вызвать функцию в отдельном потоке, которая, после долгих подсчетов, вернет значение.
- Можно создать новый поток с помощью std::thread, но, тогда придется заботиться о возвращении результата вызывающему потоку.
- std::thread не дает прямой возможности это сделать.

Решение

- Поток запускается вызовом функции std::async и передачей ей функции/функтора для вызова в потоке.
- std::async возвращает объект типа std::future<T>, где T - тип, возвращаемый переданной в std::async функцией

std::async и std::future

```
#include <iostream>
#include <future>
#include <thread>

int calculate() {
  return 2 * 2;
}

int main() {
  std::future<int> result = std::async(calculate);
  std::cout << result.get() << std::endl;
}
```

std::async и std::future

- функция calculate выполняется в отдельном потоке,
- при вызове метода get, текущий поток переходит в режим ожидания (если поток, выполняющий функцию, еще не завершил свою работу), и, возвращает результат только тогда, когда он готов.

- Если в функции calculate произошло исключение, то оно сохранится до вызова метода get и сгенерирует его заново.

```
#include <iostream>
#include <future>
#include <thread>

int calculate() {   throw std::runtime_error("fatal error"); }

int main() {
  std::future<int> result = std::async(calculate);
  try    {
    std::cout << result.get() << std::endl;
  }
  catch (const std::runtime_error& e)   {
    std::cout << e.what() << std::endl;
  }
}
```

std::promise

- позволяет передавать значение между потоками

- Каждый объект std::promise связан с объектом std::future.
- Это пара классов,
  - один из которых (std::promise) отвечает за установку значения,
  - а другой (std::future) - за его получение.

std::promise

- Первый поток может ожидать установки значения с помощью вызова метода
  - std::future::wait
  - или std::future::get,
- в то время, как второй поток
  - установит это значение с помощью вызова метода std::promise::set_value,
  - или передаст первому исключение вызовом метода std::promise::set_exception.

```
#include <iostream>
#include <future>
#include <thread>

std::promise<int> promise;

void thread_func1() {   promise.set_value(10); }

void thread_func2() {    std::cout << promise.get_future().get() << std::endl; }

int main() {
  std::thread th1(thread_func1);
  std::thread th2(thread_func2);

  th1.join();
  th2.join();
  return 0;
}
```

Для передачи исключения

- должен вызываться метод std::promise::set_exception, который принимает объект типа std::exception_ptr.

- Получить объект этого типа можно, либо вызвав std::current_exception() из блока catch, либо создать объект этого типа напрямую с помощью вызова функции std::make_exception.

```
#include <iostream>
#include <future>
#include <thread>

std::promise<int> promise;

void thread_func1() {
  promise.set_exception(std::make_exception(std::runtime_error("fatal
    error")));
}

void thread_func2() {
  try    {
    std::cout << promise.get_future().get() << std::endl;
  } catch (const std::exception& e)    {
    std::cout << e.what() << std::endl;
  }
}
```

```
int main() {
  std::thread th1(thread_func1);
  std::thread th2(thread_func2);

  th1.join();
  th2.join();
  return 0;
}
```