

Параллельное программирование



C++. Thread Support Library.
Atomic Operations Library.

Развитие параллельного программирования в C++

- Posix threads
 - pthread_create
- Windows Threads
 - CreateThread
- OpenMPI
 - omp parallel
- **C++ Thread Support & Atomic Operations Libraries**
 - Нужна минимум
 - VS2012 (лучше VS2015)
 - GCC 4.8.1
 - Или 100 евро, чтобы купить just::thread

std::thread

- **std::thread** – стандартный класс потока
 - это не конкурент Windows и/или POSIX потокам
 - это обертка, которая внутри использует либо Windows-потоки, либо POSIX-потоки в зависимости от компилятора и платформы

Простой пример для std::thread

```
#include <thread>
```

```
void ThreadProc()
```

```
{
```

```
    printf("Inside thread = %d", std::this_thread::get_id());
```

```
}
```

```
std::thread t(ThreadProc);
```

```
...
```

```
t.join();
```

Обработка исключений

- Любое исключение – вылет, падение
- Привет исключениям по любому поводу, Boost!

```
void ThreadProc()  
{  
    try  
    {  
        // вычисления  
    }  
    catch (...)  
    {  
        // обработка исключения  
    }  
}
```

Копирование потоков

`std::thread`

- Прямое копирование – ошибка КОМПИЛЯЦИИ

~~`std::thread t(ThreadFunc);`~~

~~`t2 = t;`~~

~~`std::thread t3(t);`~~

- `std::thread t2(std::move(t));` // `t` невалидно
- `std::thread& t3 = t2;` // валидно `t2` и `t3`, но
// это один и тот же //
объект

Всегда надо join до пропадания std::thread из области видимости

```
#include <thread>
```

```
void ThreadProc()  
{  
    printf("Inside thread = %d", std::this_thread::get_id());  
}
```

```
std::thread t(ThreadProc);
```

```
...
```

```
t.join();
```



Function objects

- Второй способ создания объектов `std::thread`

```
class FuncObject
```

```
{
```

```
public:
```

```
    void operator() (void)
```

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

```
};
```

```
FuncObject f;
```

```
std::thread t( f );
```


Лямбда-выражения

infer variable type

Closure semantics:

[]: none, [&]: by ref, [=]: by val, ...

lambda arguments == parameters

return type...

```
auto lambda = [&]() -> int  
{  
    int sum = 0;  
    for (int i=0; i<N; ++i)  
        sum += A[i];  
    return sum;  
};
```

lambda expression = code + data

Потоки через лямбда-функции + передача параметров в ПОТОКИ

```
for (int i=0; i<n; i++)  
    z[i] = a * x[i] + y[i];
```

```
auto code = [&](int start, int end) -> void  
{  
    for (int i = start; i < end; i++)  
        z[i] = a * x[i] + y[i];  
};
```

Parallel

```
thread t1(code, 0 /*start*/, N/2 /*end*/);  
thread t2(code, N/2 /*start*/, N /*end*/);
```

Лямбда-функции vs обычные функции vs Function objects

- Разница в читаемости – на любителя
- При использовании лямбда-функций есть накладные расходы на создание объекта
- При использовании function objects тоже есть накладные расходы на создание объекта

Методы `std::thread`

- **joinable** – можно ли ожидать завершения потока (находимся ли мы в параллельном относительно этого потоке)
- **get_id** – возвращает ID потока
- **native_handle** – возвращает хендл потока (зависит от работающей реализации потоков)
- **hardware_concurrency** – сколько потоков одновременно могут работать

Методы `std::thread`

- **join** – ожидать завершения потока
- **detach** – разрешить потоку работать вне зависимости от объекта `std::thread`
- **swap** – поменять два потока местами
- **`std::swap`** – работает с объектами типа `std::thread`

Методы `std::this_thread`

- **yield** – дать поработать другим потокам
- **get_id** – вернуть ID текущего потока
- **sleep_for** – «заснуть» на заданное время
- **sleep_until** – «заснуть» до заданного времени

```
std::chrono::milliseconds duration(2000);  
std::this_thread::sleep_for(duration);
```

Недостатки `std::thread`

- Нет thread affinity
- Нет размера стека
 - для MSVC 2010 и выше не актуально
- Нет завершения потока
 - в pthread есть вполне приемлимая реализация
- Нет статуса работы потока
- Нет кода выхода потоковой функции

Как на `std::thread` сделать пул потоков (задач) ?

std::future

- **Future** – это высокоуровневая абстракция
 - Вы начинаете асинхронную операцию
 - Вы возвращаете хендл, чтобы ожидать результат
 - Создание потоков, ожидание выполнения, исключения и пр – делаются автоматически

std::async + std::future

```
#include <future>
```

```
std::future<int> f = std::async( []() -> int  
{  
    int result = PerformLongRunningOperation();  
    return result;  
});  
.  
.
```

START

lambda return type...

```
try  
{  
    int x = f.get(); // wait if necessary, harvest result:  
    cout << x << endl;  
}  
catch(exception &e)  
{  
    cout << "***Exception: " << e.what() << endl;  
}
```

WAIT

Где работает асинхронная операция?

- «Ленивое» исполнение в главном потоке
 - `future<T> f1 =`
`std::async( std::launch::deferred, []() -> T {...} );`
- Выполнение в отдельном потоке
 - `future<T> f2 = std::async( std::launch::async, []()`
`-> T {...} );`
- Пусть система решит, *она умнее*
 - `future<T> f3 = std::async( []() -> T {...} );`



Wait For

- Аналог try-to-lock

```
std::future<int> f;
```

```
....
```

```
auto status =
```

```
    f.wait_for(std::chrono::milliseconds(10));
```

```
if (status == std::future_status::ready)
```

```
{
```

```
}
```

ready – результат готов

timeout – результат не готов

deferred – результат не

посчитан, поскольку

выбран «ленивый» подсчет

std::shared_future

- Аналог std::future, но позволяет копировать себя и позволяет ожидать себя несколькими потоками
- Например, чтобы можно было протащить future в несколько потоков и ждать его во всех них.
- Метод **share** объекта std::future возвращает эквивалентный std::shared_future

Методы `std::future` / `std::shared_future`

- **wait** – ждать результат
- **get** – получить результат
- **wait_for** – ожидать результат с таймаутом
- **wait_until** – ожидать результат максимум до заданного момента

std::packaged_task

```
std::packaged_task<int(int,int)> task([](int a, int b) { return  
    std::pow(a, b); });  
std::future<int> result = task.get_future();  
task(2, 9);
```

```
std::packaged_task<int(int,int)> task(f);  
std::future<int> result = task.get_future();  
task();
```

```
std::packaged_task<int()> task(std::bind(f, 2, 11));  
std::future<int> result = task.get_future();  
task();
```

Зачем нужен `std::packaged_task`?

- Реиспользование
- Разная реализация
- Запуск на разных данных

Методы `std::packaged_task`

- **valid** – возвращает, установлена ли функция
- **swap** – меняет два `packaged_task` местами
- **get_future** – возвращает объект `future`
- **operator ()** – запускает функцию
- **reset** – сбрасывает результаты вычислений
- **make_ready_at_thread_exit** – запускает функцию, однако результат не будет известен до окончания работы текущего

Promises

- `std::future` дает возможность вернуть значение из потока **после** завершения потоковой функции
- `std::promise` это объект, который можно протащить в потоковую функцию, чтобы вернуть значение из потока **до** завершения потоковой функции

std::promise

```
void ThreadProc(std::promise<int>& promise)
{
    ...
    promise.set_value(2));  //-- (3)
    ...
}
```

std::promise<int> promise; //-- (1)

std::thread thread(ThreadProc, **std::ref**(promise)); //-- (2)

std::future<int> result(promise.**get_future**()); //-- (4)

printf("thread returns value = %d", result.get()) //-- (5)

Методы `std::promise`

- **`operator ==`** - можно копировать
- **`swap`** – обменивать местами
- **`set_value`** – установить возвращаемое значение
- **`set_value_at_thread_exit`** – установить возвращаемое значение, но сделать его доступным только когда поток завершится
- **`set_exception`** – сохранить исключение, которое произошло
- **`set_exception_at_thread_exit`** – сохранить исключение, но сделать его доступным только после окончания работы потока

Locking

```
#include <mutex>

std::mutex m;
int sum = 0;
```

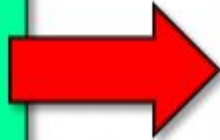
```
thread t1([&]()
{
    int r = compute();
    m.lock();
    sum = sum + r;
    m.unlock();
});
```

```
thread t2([&]()
{
    int s = compute();
    m.lock();
    sum = sum + s;
    m.unlock();
});
```

*critical
section*

“Smart” locking

```
thread t([&]())  
{  
    int r = compute();  
    m.lock();  
    sum += r;  
    m.unlock();  
});
```



should be written as...

```
thread t([&]())  
{  
    int r = compute();  
    {  
        lock_guard<mutex> lg(m);  
        sum += r;  
    }  
});
```

Locks m in constructor

Unlocks m in destructor

Методы `std::mutex`

- **lock** – захватить мьютекс
- **unlock** – освободить мьютекс
- **try_lock** – попробовать захватить мьютекс с таймаутом 0 секунд и вернуть, успешно или нет
- **native_handle** – хендл мьютекса (зависит от реализации)

Другие виды мьютексов

- **`std::timed_mutex`** – мьютекс, который можно попробовать захватить с ненулевым таймаутом
- **`std::recursive_mutex`** – мьютекс, который может быть многократно захвачен одним и тем же потоком
- **`std::recursive_timed_mutex`** – смесь *`std::timed_mutex`* и *`std::recursive_mutex`*

Методы для timed мьютексов

- **try_lock_for** – попытка захватить мьютекс с заданным таймаутом и возвратом успешности операции
- **try_lock_until** – попытка захватить мьютекс максимум до заданного времени и возвратом успешности операции

std::shared_timed_mutex (C++ 14)

- Объект, который позволяет эксклюзивно захватывать мьютекс и неэксклюзивно.
- Если мьютекс захвачен эксклюзивно, то неэксклюзивно захватить его нельзя (ожидание). Обратное верно.
- Неэксклюзивный захват может быть из нескольких потоков одновременно

std::shared_timed_mutex

- Зачем нужно?
 - На чтение защищенный ресурс можно открыть из нескольких потоков без возникновения проблем
 - На запись можно открыть только одному потоку, причем чтобы в этот момент никто не читал – чтобы проблем не было

std::shared_timed_mutex

- Эксклюзивный доступ
 - lock
 - try_lock
 - try_lock_for
 - try_lock_until
 - unlock

std::shared_timed_mutex

- Неэксклюзивный доступ
 - lock_shared
 - try_shared_lock
 - try_shared_lock_for
 - try_shared_lock_until
 - unlock_shared

Общие алгоритмы захвата

- `std::lock`

Deadlock avoidance algorithm
and exception handling

`std::lock(mutex1, mutex2, ..., mutexN);`

- `std::try_lock` – с нулевым таймаутом

`std::try_lock(mutex1, mutex2, ..., mutexN);`

std::call_once & std::once_flag

Запуск функции только 1 раз (на все потоки 1 раз). Уникальную функцию идентифицирует объект std::once_flag

```
std::once_flag flag;
```

```
void do_once()
```

```
{
```

```
    std::call_once(flag, []() { printf("called once"); });
```

```
}
```

```
std::thread t1(do_once);
```

```
std::thread t2(do_once);
```

```
t1.join(); t2.join();
```

Умные указатели для примитивов синхронизации

Для обоих нельзя копировать, можно переносить. Различия

- **`std::unique_lock`** – обертка для эксклюзивного доступа
- **`std::shared_lock`** (**C++ 14**) – обертка для неэксклюзивного доступа

Методы `std::shared_lock` / `std::unique_lock`

- **operator** = разблокирует текущий мьютекс и становится оберткой над **НОВЫМ**
- **lock**
- **try_lock**
- **try_lock_for**
- **try_lock_until**
- **unlock**

Методы `std::shared_lock` / `std::unique_lock`

- **swap** – обменивать примитив синхронизации с другим объектом `?_lock`
- **release** – отсоединить текущий примитив синхронизации без `unlock`
- **mutex** – возвращает ссылку на текущий примитив синхронизации
- **owns_lock** – возвращает `true`, если управляет примитивом синхронизации

Стратегии захвата примитива синхронизации в конструкторе

```
std::lock_guard<std::mutex> lock1(m1,  
    std::adopt_lock);
```

```
std::lock_guard<std::mutex> lock2(m2,  
    std::defer_lock);
```

- **`std::defer_lock`** – не захватывать мьютекс
- **`std::try_to_lock`** – попробовать захватить с нулевым таймаутом
- **`std::adopt_lock`** – считать, что текущий поток уже захватил мьютекс

Событие: `std::condition_variable`

- **`notify_one`** – уведомить о событии 1 поток
- **`notify_all`** – уведомить о событии все потоки
- **`wait`** – ждать события
- **`wait_for`** – ждать события с таймаутом
- **`wait_until`** – ждать события не дольше, чем до заданного времени
- **`native_handle`** – вернуть хендл события (зависит от реализации)

std::atomic



```
#include <atomic>
std::atomic<int> count(0);
```

```
thread t1([&]()
{
    count++;
});
```

```
thread t2([&]()
{
    count++;
});
```

```
thread t3([&]()
{
    count = count + 1;
});
```

not safe...

std::atomic<T>

- Шаблонный тип данных для цифровых переменных (char, short, int, int64, etc) и указателей
- Почти всегда lock-free, а если и не lock-free, то не требует написания lock-ов вами.
- Главное отличие – гонки данных исключены.
- Зато возможные операции крайне ограничены.

std::atomic

- **operator =** приравнивает один атомик другому
- **is_lock_free** – возвращает, является ли реализация для этого типа данных lock free
- **store** – загружает в атомик новое значение
- **load** – получает из атомика значение
- **exchange** – заменяет значение атомика и возвращает прошлое значение

std::atomic

- **fetch_add, fetch_sub, fetch_and, fetch_or, fetch_xor** – выполняет сложение, вычитание, логические И, ИЛИ, XOR и возвращает предыдущее значение
 - **operator++**
 - **operator++(int)**
 - **operator--**
 - **operator--(int)**
 - **operator+=**
 - **operator-=**
 - **operator&=**
 - **operator|=**
 - **operator^=**

std::atomic_flag

- **operator =** - присвоение
- **clear** – сброс флага в false
- **test_and_set** – устанавливает флаг в true и возвращает предыдущее значение

Что еще есть в C++ 11 Atomic Operations Library?

- Дублирование всех методов внешними операциями (.swap -> std::swap)
- Compare And Swap (CAS)
- И еще много всего

для тех, кто
слишком хорошо
понимает, что
делает



Общие впечатления

- Шаг вперед по адекватности и однообразию
- Местами шаг назад. Сравните `Sleep(100)` и `std::chrono::milliseconds duration(100);` `std::this_thread::sleep_for(duration);`

Общие впечатления

- Впервые потоки, примитивы синхронизации стандартизированы
- Некоторые устоявшиеся термины и подходы исключены (семафор; код, возвращаемый потоковой функцией; принудительное завершение потока; thread affinity; размер стека)
 - Некоторые совсем
 - Для некоторых непривычные аналоги

Общие впечатления

- В целом функциональности много, есть полезные нововведения, которые позволяют свести необходимость программировать синхронизацию к нулю.
- Однако, с другой стороны отсутствие определенной функциональности, мягко говоря, смущает.

Вопросы

