

# Введение, многопоточное программирование

Юрий Литвинов  
y.litvinov@spbu.ru

02.09.2025

# О чём этот курс

- ▶ Кратко про почти всё, что обязательно знать любому прикладному программисту
  - ▶ Многопоточное программирование
  - ▶ Сетевое программирование
  - ▶ Веб-программирование
  - ▶ Работа с базами данных
  - ▶ Рефлексия
- ▶ Язык программирования — C#

# Отчётность

- ▶ Домашка
- ▶ Три контрольные
  - ▶ Баллы за две лучшие идут в зачёт
  - ▶ Нельзя переписывать (только на зачёте/пересдаче/комиссии)
- ▶ Доклады (за дополнительные баллы)
- ▶ Курс на HwProj: <https://hwproj.ru/courses/50046>

# Критерии оценивания

- ▶ ECTS
- ▶ Баллы за домашние задачи, баллы за контрольные и даже небольшие баллы за работу в аудитории
- ▶ Общий балл за домашки:  $MAX(0, (n/N - 0.6)) * 2.5 * 100$
- ▶ Общий балл за контрольные:  $n/N * 100$
- ▶ Итоговая оценка: минимум из этих двух баллов
- ▶ Дедлайны по домашкам, -1 балл за каждую неделю после дедлайна
- ▶ Сгорает не более половины баллов
- ▶ Домашек будет меньше, но они будут больше

# Многопоточное программирование

Зачем это нужно:

- ▶ Оптимально использовать ресурсы процессора
  - ▶ Одноядерных процессоров практически не бывает
- ▶ Использовать асинхронные операции ввода-вывода
- ▶ Не “вешать” GUI

Потенциальные проблемы:

- ▶ Тысяча способов прострелить себе ногу
  - ▶ Ошибки могут воспроизводиться раз в тысячу лет и их невозможно обнаружить статически
- ▶ Не всегда многопоточная программа работает быстрее однопоточной

# Процессы и потоки

- ▶ Процесс — исполняющаяся программа
  - ▶ Загруженный в память .exe-шник со всеми его .dll-ками или аналогичные понятия
  - ▶ Имеет выделенные для него системные ресурсы:
    - ▶ Память
    - ▶ Открытые файлы
    - ▶ Открытые сетевые соединения
    - ▶ ...
- ▶ Поток — единица параллельной работы
  - ▶ Существует внутри процесса
  - ▶ Имеет свой стек и состояние регистров процессора
  - ▶ Все потоки внутри процесса разделяют общие ресурсы (например, память)

# Параллельное программирование

- ▶ Параллельная программа может быть:
  - ▶ Многопроцессной
    - ▶ Несколько процессов, возможно, несколько потоков в каждом
  - ▶ Многопоточной
- ▶ Многопроцессные программы:
  - ▶ Могут исполняться на разных компьютерах
  - ▶ Пример — веб-приложения
  - ▶ Сложное и медленное взаимодействие между процессами
- ▶ Многопоточные программы:
  - ▶ Могут исполняться только на одном компьютере (нужна общая память)
  - ▶ Быстрое общение между потоками через общую память
  - ▶ Потоки могут портить состояние друг другу

## Насколько вообще можно распараллелить

- ▶ Распараллеливание может дать неожиданно низкий прирост производительности
- ▶ Закон Амдала:

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}}$$

- ▶  $p$  — количество процессоров (абстрактных)
  - ▶  $\alpha$  — доля строго последовательных расчётов
  - ▶  $1 - \alpha$  — доля расчётов, которые можно идеально распараллелить
  - ▶  $S_p$  — ускорение
- ▶ Если у вас есть 9 задач на 1 минуту и 1 задача на 2 минуты, на 10 процессорах ускорение будет всего в 5.5 раз!
  - ▶ 11 единиц работы, 10 из которых идеально параллельны, одна нет
- ▶ Добавлять ядра с какого-то момента бессмысленно



# Внезапно, операционные системы

Функции операционной системы:

- ▶ Предоставлять упрощённый доступ к оборудованию
  - ▶ Файловая система
  - ▶ Драйвера
- ▶ Управлять ресурсами компьютера
  - ▶ Виртуальная память
  - ▶ Планировщик

# Планировщик

- ▶ Управляет распределением процессорного времени между процессами и потоками
- ▶ Каждому потоку выделяется квант времени, прерывание по таймеру
- ▶ Поток может отдать ядро процессора до истечения кванта
  - ▶ Сам
  - ▶ Блокирующая операция ввода-вывода
  - ▶ Подгрузка страницы памяти из свопа
  - ▶ Аппаратное прерывание
- ▶ Хитрые алгоритмы планирования
  - ▶ Обеспечение максимального быстродействия при справедливом планировании
  - ▶ Учитываются приоритеты потоков

# Планировщик в Windows

- ▶ Раз в квант времени (или чаще) выбирает поток для исполнения
  - ▶ Рассматриваются только потоки, не ждущие чего-либо
- ▶ НЕ реальное время
  - ▶ Нельзя делать предположения, когда потоку дадут поработать
- ▶ Из рассматриваемых потоков выбираются только те, у кого наибольший приоритет
  - ▶ Приоритеты потоков от 0 до 31, обычно 8
- ▶ Есть ещё приоритеты процессов: Idle, Below Normal, Normal, Above Normal, High и Realtime
- ▶ Относительные приоритеты потоков: Idle, Lowest, Below Normal, Normal, Above Normal, Highest и Time-Critical
  - ▶ Истинный приоритет получается из относительного приоритета и приоритета процесса

# Поток в Windows

- ▶ Thread Kernel Object (~1240 байт)
- ▶ Thread environment block (TEB) (4 Кб)
- ▶ User-mode stack (1 Мб)
- ▶ Kernel-mode stack (24 Кб)

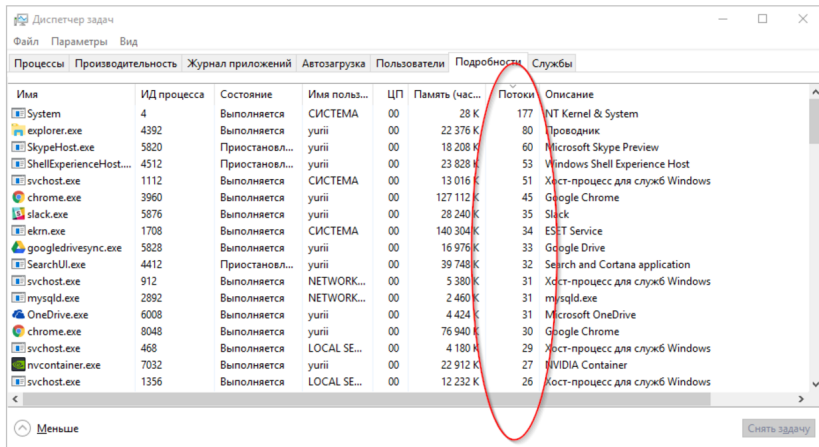
Ещё для каждой dll-ки, загруженной для процесса при старте или остановке потока, вызывается `DllMain` с параметрами `DLL_THREAD_ATTACH` и `DLL_THREAD_DETACH`

Квант времени — ~20-30 мс, после чего происходит *переключение контекстов*

## Две точки зрения на потоки

- ▶ Поток как абстракция параллельного вычисления — поток запускается, принимая функцию, которую он должен исполнять
  - ▶ Долгие вычисления, выполняющиеся независимо от остальных
  - ▶ Слежение за состоянием устройства
  - ▶ Индикация прогресса
- ▶ Поток как абстракция вычислителя — поток запускается и готов в бесконечном цикле принимать задачи
  - ▶ Куча коротких вычислений
    - ▶ Потому что запуск потока дорог
    - ▶ И нет смысла иметь активных потоков больше, чем ядер процессора
  - ▶ Реактивные системы, сетевые соединения и т.д.

# Как делать не надо



# System.Threading.Thread

```
namespace MultiThreadingDemo;
```

```
using System;
```

```
using System.Threading;
```

```
var otherThread = new Thread(() => {  
    while (true)  
    {  
        Console.WriteLine("Hello from other thread!");  
    }  
});
```

```
otherThread.Start();
```

```
while (true)  
{  
    Console.WriteLine("Hello from this thread!");  
}
```

# Параллельная обработка данных

```
using System;
using System.Threading;

var array = new int[] { 1, 5, 2, 4, 7, 2, 4, 9, 3, 6, 5 };
var threads = new Thread[3];
var chunkSize = array.Length / threads.Length + 1;
var results = new int[threads.Length];

for (var i = 0; i < threads.Length; ++i)
{
    var localI = i;
    threads[i] = new Thread(() => {
        for (var j = localI * chunkSize; j < (localI + 1) * chunkSize && j < array.Length; ++j)
            results[localI] += array[j];
    });
}

foreach (var thread in threads)
    thread.Start();
foreach (var thread in threads)
    thread.Join();

var result = 0;
foreach (var subResult in results)
    result += subResult;

Console.WriteLine($"Result = {result}");
```



# “Упрощённая” версия

```
using System;
using System.Threading;

var array = new int[] { 1, 5, 2, 4, 7, 2, 4, 9, 3, 6, 5 };
var threads = new Thread[3];
var chunkSize = array.Length / threads.Length + 1;
var result = 0;

for (var i = 0; i < threads.Length; ++i) {
    var localI = i;
    threads[i] = new Thread(() => {
        for (var j = localI * chunkSize; j < (localI + 1) * chunkSize && j < array.Length; ++j)
            result += array[j];
    });
}

foreach (var thread in threads)
    thread.Start();
foreach (var thread in threads)
    thread.Join();

Console.WriteLine($"Result = {result}");
```

# Немного увеличим размер задачи...

```
using System;
using System.Threading;

var array = new int[1000];
for (var i = 0; i < array.Length; ++i)
    array[i] = 1;

var threads = new Thread[8];
var chunkSize = array.Length / threads.Length + 1;
var result = 0;

for (var i = 0; i < threads.Length; ++i) {
    var localI = i;
    threads[i] = new Thread(() => {
        for (var j = localI * chunkSize; j < (localI + 1) * chunkSize && j < array.Length; ++j)
            result += array[j];
    });
}

foreach (var thread in threads)
    thread.Start();
foreach (var thread in threads)
    thread.Join();

Console.WriteLine($"Result = {result}");
```

# Почему так

result += array[j];



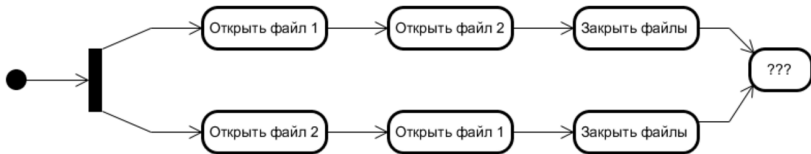
```
IL_0016: ldarg.0      // this
IL_0017: ldfld      class Program/"<>c__DisplayClass0_0' Program/"<>c__DisplayClass0_1'::'CS$<>8__locals1'
IL_001c: ldarg.0      // this
IL_001d: ldfld      class Program/"<>c__DisplayClass0_0' Program/"<>c__DisplayClass0_1'::'CS$<>8__locals1'
IL_0022: ldfld      int32 Program/"<>c__DisplayClass0_0'::result
IL_0027: ldarg.0      // this
IL_0028: ldfld      class Program/"<>c__DisplayClass0_0' Program/"<>c__DisplayClass0_1'::'CS$<>8__locals1'
IL_002d: ldfld      int32[] Program/"<>c__DisplayClass0_0'::'array'
IL_0032: ldloc.0      // j
IL_0033: ldelem.i4
IL_0034: add
IL_0035: stfld      int32 Program/"<>c__DisplayClass0_0'::result
```

Между **любыми** инструкциями поток может быть прерван

# Race condition



# Deadlock



## Условия взаимной блокировки

1. имеется разделяемый ресурс, к которому потоки хотят получить доступ, но пользоваться им может только один поток
2. таких ресурсов несколько, и поток, захватив один, хочет получить доступ к другим, которые в этот момент захвачены другими потоками
3. нельзя отнять захваченный ресурс у потока
4. потоки ждут друг друга «по кругу»

Блокировка возможна, только если выполнены сразу все эти условия.

## Какие ещё ловушки бывают

- ▶ Процессор может переставлять местами инструкции
  - ▶ Результат исполнения гарантируется таким же, как оригинальный, но промежуточные результаты другим ядрам могут быть видны странные
- ▶ У ядер процессора есть кеш (у каждого свой)
  - ▶ На самом деле, обычно три уровня кеша: L1 и L2 для каждого ядра свой, L3 общий для всех ядер
  - ▶ Кеши синхронизируются, но есть буферы чтения и записи, они нет