Введение, многопоточное программирование

Юрий Литвинов
yurii.litvinov@gmail.com

01.09.2020г

О чём этот курс

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

Отчётность

- Домашка
- Две контрольные
- Доклады (-1 домашка) (если успеем)
- Учебная практика

Критерии оценивания

- ECTS (шкала оценивания от A до F)
  - Не идёт в диплом
- Баллы за домашние задачи (для всех разные), баллы за контрольные и даже 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, -0.5 балла за каждую неделю после дедлайна
- -0.5 балла за каждую попытку сдачи начиная с 3-й
- Сгорает не более половины баллов
- Всё не так плохо, не надо набрать 100%

Учебная практика

- Отдельный зачёт
- Программная реализация достаточно большой и полезной задачи
- Пишется весь семестр
- В конце — защита с презентацией
- Может быть групповой
- Где брать темы
  - Продолжать начатое в летней школе
  - Студпроекты
  - Придумать самим
  - Взять что-нибудь у кого-нибудь поблизости
    - Робототехника
    - Формальные методы
    - Machine Learning
- Гуглогруппа: https://groups.google.com/forum/#!forum/spbsu-se-bachelors-2019-2023

Многопоточное программирование

Зачем это нужно:

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

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:

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

  - α — 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 раз!
  - 11 единиц работы, 10 из которых идеально пралаллельны, 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)

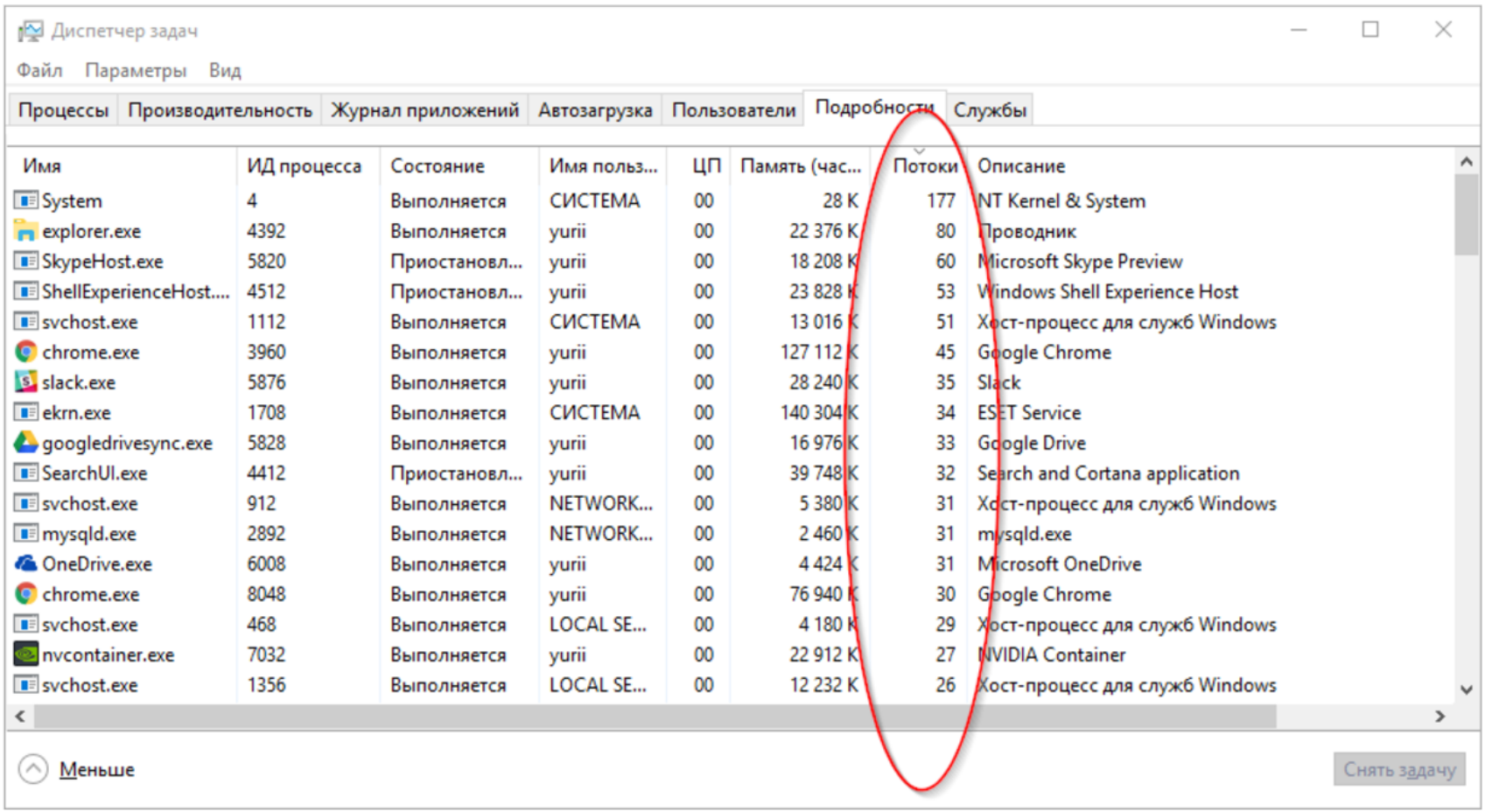
Ещё для каждой dll-ки, загруженной для процесса при старте или остановке потока, вызывается DllMain с параметрами DLL_THREAD_ATTACH и DLL_THREAD_DETACH

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

```
using System;
using System.Threading;

namespace MultiThreadingDemo {
   class Program {
      static void Main(string[] args) {
         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

```
static void Main(string[] args) {
   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

```
static void Main(string[] args) {
    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...

```
static void Main(string[] args) {
   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

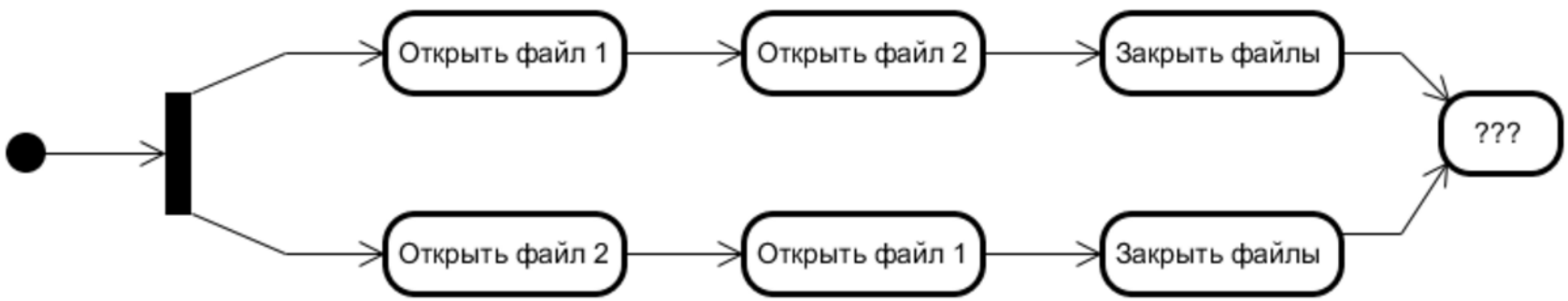
result += array[j];

```
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


Открыть файл 1
Открыть файл 2
Закрыть файлы
???
Открыть файл 2
Открыть файл 1
Закрыть файлы

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