Asynchronní programování, vlákna, atd.

Ing. Michal Radecký, Ph.D.

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

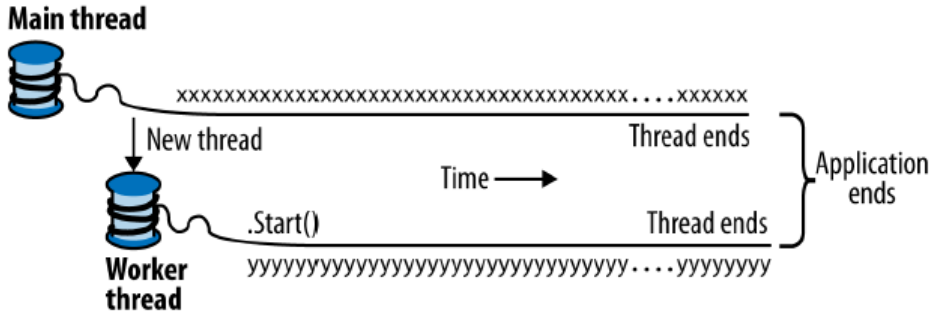
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Vlákna (Threads)

- Vlákno je část kódů (algoritmu), který může být vykonáván nezávisle na dalších.
- Každé vlákno je vykonáváno v rámci procesu aplikace, což definuje jeho běhové izolované prostředí.
  - Single-thread aplikace – v rámci procesu běží pouze jedno exkluzivní vlákno
  - Multi-thread aplikace – v rámci procesu běží více vláken, které si sdílí zdroje (především paměť – sdílená data (shared state data)
- Vlákna jsou vytvářena nepřímo (servisní činnosti – garbage collection, finalization) nebo přímo – programově.
- V případě, že procesor nepodporuje více vláken, nebo jich nepodporuje dostatečné množství, pracují tato vlákna „za sebou“ a v rámci procesu se přepíná jejich běh.
- **`System.Threading.Thread`**
  https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.threading.thread?view=net-5.0

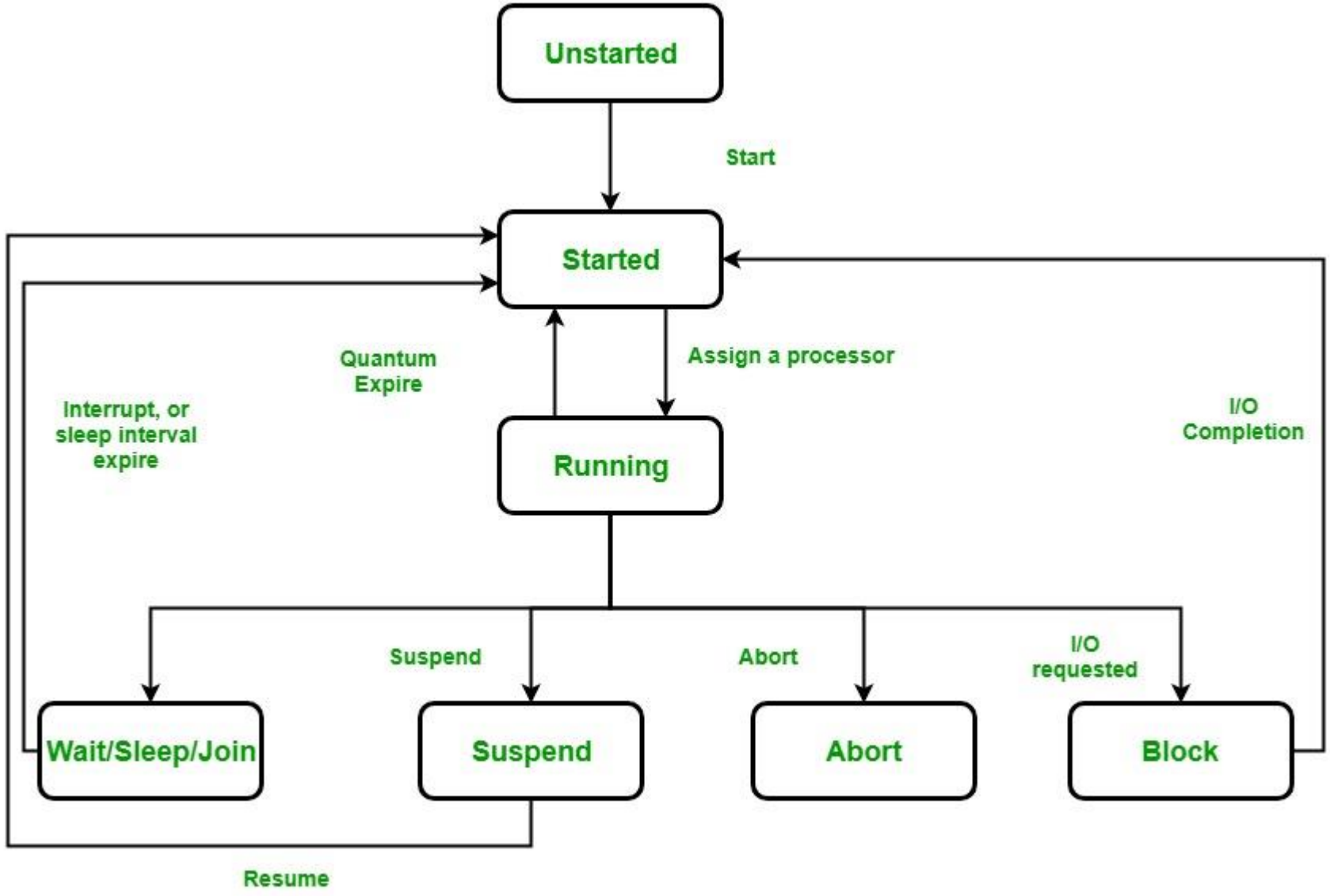
Vytvoření a spuštění vlákna

```
static void Main(string[] args)
        {
            Thread t = new Thread(WriteY);
            t.Start();

            new Thread(() =>
            {
                for (int i = 0; i < 1000; i++)
                {
                    Console.Write("z");
                }
            }).Start();


            //do in main thread
            for (int i = 0; i < 1000; i++)
            {
                Console.Write("x");
                Thread.Sleep(10);
            }
        }

        static void WriteY()
        {
            for (int i = 0; i < 1000; i++)
            {
                Console.Write("y");
                Thread.Sleep(100);
            }
        }
```



- Využívá se delegát, vždy metoda `void`, může/nemusí být static
- Delegát bez parametrů – `ThreadStart()`
- Delegát s parametry
  - `ParameterizedThreadStart(object o), Start(o)`
  - Násobné parametry s typy pomocí Lambda syntaxe
- Stavové informace o vlákně `Thread.CurrentThread`
- Delegíti nemají návratovou hodnotu, je třeba řešit pomocí callback metod (delegátů)

Stavy vláken



Zdroj: https://www.geeksforgeeks.org/lifecycle-and-states-of-a-thread-in-c-sharp/

Ovládání vláken

- `Thread.Sleep(100)` – „uspání“ aktuálního vlákna na definovanou dobu
- `t.Join()` – čeká v aktuálním vláknu na dokončení jiného konkrétního vlákna
- `t.Join(100)` – čeká na ukončení vlákna, nebo na timeout (vrací true pokud vlákno opravdu skončilo)
- `t.Interrupt()` – přerušení konkrétního vlákna, jen ve stavu nečinnosti (WaitSleepJoin), v kódu vlákna je vyvolána výjimka `ThreadInterruptedException`
- `t.spinWait(10)` – prázdná smyčka s definovaným počtem iterací, vhodné při čekání na zdroje, vlákno je pořád běžící
- `t.Abort()` – ukončení konkrétního vlákna, možné problémy s konzistencí běhu

Zachytávání výjimek

- Nemá smysl zachytávat výjimky způsobené během kódu vlákna vně vlákna
- Výjimky zachytávat v samotném kódu, které vlákno vykonává

```
public static void Main()
{
        new Thread(Go).Start();
}

static void Go()
{
        try
        {
            ...
            throw null; // NullReferenceException
            ...
        }
        catch (Exception ex)
        {
        }
}
```

Vlákna Foreground a Background

- Vytvářená vlákna jsou v základu vždy Foreground (na popředí)
- Dokud nějaké takové vlákno běží, proces/aplikace běží také
- Pokud běží pouze Background vlákna, je aplikace ukončena vč. vláken

```
Thread worker = new Thread(() => Console.ReadLine());

if (args.Length > 0) worker.IsBackground = true;
worker.Start();
```

- Možnost nastavování priorit konkrétního vlákna `t.Priority`

Práce s daty mezi vlákny

- Každé vlákno má vlastní „memory stack“, lokální proměnné jsou oddělené
- Sdílená data mohou být jako
  - atributy třídy metody vlákna (pak se sdílí data tohoto objektu)
  - static proměnné (sdíleno mezi všemi vlákny)
  - lokální proměnné využité v lambda výrazu/anonymní delegát (stejné sdílení jako atributy třídy)
- Problém: výstup může být neurčitý, ovlivněný postupem zpracování jednotlivých vláken, záleží na posloupnosti příkazů, apod.

Práce s daty mezi vlákny

```
class ThreadTest
{
      static bool _done; // Static fields are shared between all threads in the same
                         application domain.
      static void Main()
      {
            new Thread(Go).Start();
            Go();
      }
      static void Go()
      {
            if (!_done) { _done = true; Console.WriteLine("Done"); }
      }
}
```

Zamykání a Thread Safety

- V případě sdílení dat mezi vlákny může docházet k problémům
- Řešením jsou tzv. zámky, příkaz `lock`
- Zámek definuje část kódu, který může v jeden okamžik zpracovávat pouze jedno vlákno
- Pro zamykání se využívá sdílená proměnná – jakýkoliv referencovatelný objekt
- Kód, který díky zámkům eliminuje neurčitost výstupu/zpracování se označuje jako Thread Safe
- Nesprávné zamykání může vést k tzv. deadlocku

Zamykání a Thread Safety

```
static bool _done;
static readonly object _locker = new object();

static void Main()
         {
            new Thread(Go).Start();
            Go();
        }

        static void Go()
        {
            lock(_locker)
            {
                if (!_done) { Console.WriteLine("Done"); _done = true;}
             }
        }
```

- Obdobně je možné používat třídu `Monitor`
  https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.threading.monitor?view=net-5.0

Vlákna v UI aplikacích

- Aplikace s uživatelským rozhraním (UI) jsou citlivé na správné využívání vláken
- Pokud spouštíme např. časově a výkonově náročný výpočet, dojde k blokaci hlavního vlákna – to je ale zároveň zodpovědné za interakci v rámci UI (zpracování událostí)
- Řešením je spouštět takovéto části kódu v samostatném vlákně a následně aktualizovat UI
- Protože prvky UI „patří“ hlavnímu vláknu, nelze k nim přistupovat přímo, ale je třeba předat požadavek vláknu, které tyto prvky vytvořily, tzv. marshalling
- Přístupy se liší dle technologií
  - WPF – `BeginInvoke / Invoke` na objektu `Dispatcher`
  - UWA – `RunAsync / Invoke` na objektu `Dispatcher`
  - Windows Forms – `BeginInvoke / Invoke` na prvku UI

Vlákna v UI aplikacích

```
partial class MyWindow : Window
{
        public MyWindow()
        {
            InitializeComponent();
            new Thread(Work).Start();
        }
        void Work()
        {
            Thread.Sleep(5000); // Simulate time-consuming task
            UpdateMessage("The answer");
        }
        void UpdateMessage(string message)
        {
            Action action = () => txtMessage.Text = message;
            Dispatcher.BeginInvoke(action);
        }
}
```

ThreadPool

- Koncept spravovaný CLR (Common Language Runtime) umožňující efektivnější práci s vlákny – snížení režie, recyklace předpřipravených vláken
- Vhodné pro „paralelní“ zpracování jednoduchých krátkodobých úloh (do 100-200ms)
- Vlákna v ThreadPoolu jsou vždy typu Background
- Blokovaná vlákna snižují výkonnost ThreadPoolu
- ThreadPool implicitně využívají
  - WCF, Remoting, ASP.NET, ASMX Web Services application servers
  - System.Timers.Timer, System.Threading.Timer
  - paralelní LINQ/PLINQ, třída Parallel, concurrent collections, atd.
  - třída BackgroundWorker
  - asynchronní delegáti

- **`System.Threading.Tasks.Task`**
  https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.threading.tasks.task?view=net-5.0

Thread vs. Task

- **Thread** je low-level koncept pro realizaci „paralelního“ běhu části kódu
- Programátor má větší kontrolu nad samotným kódem, může explicitně ovlivňovat chování vláken
- Nelze jednoduše „počkat“ na výsledek a dále jej použít (sdílená proměnná, výjimky)
- Nelze jednoduše definovat „workflow“ na základě ukončení vláken

- **Task** je abstrakce běhu části kódu založená na konceptu „příslibu výsledku v budoucnu“
- Task nemusí nutně znamenat vytváření nových vláken, ale principiálně jde o uvolnění vlákna pro dělání něčeho jiného (např. čtení z disku) a návrat zpět (různé úlohy mohou běžet na jednom vlákně, např. WPF)
  – řízeno `SynchronizationContext`
- Součást Task Parallel Library
- Základ pro moderní asynchronní programování `Task<T>`
- Menší přímá kontrola nad vykonáváním kódu
- Efektivnější provádění kódu a asynchronního volání
- Vytváření vláken standardně v rámci konceptu ThreadPoolu
- Snadná implementace s využitím `Action` delegáta

```
Task.Run(() => Console.WriteLine("Ahoj"));
```

Práce s třídou Task

```
Task task = Task.Run(() =>
{
        Thread.Sleep(2000);
        Console.WriteLine("Foo");
});

Console.WriteLine(task.IsCompleted); // False
task.Wait(); // Blocks until task is complete

Task taskA = new Task( () => Console.WriteLine("Hello from taskA."));
taskA.Start();
```

- Metoda `Task.Run` vrací objekt `Task`, se kterým je možné dále pracovat – ovládat, sledovat stav, získat výsledek, zachytávat výjimky, atd.
- Je možné vytvářet a pracovat s nově a přímo vytvořeným objektem třídy `Task`
- Pokud je potřeba spustit více dlouhotrvajících úloh, není vhodné standardní vytvoření na ThreadPoolu, ale použít metodu `Task.Factory.StartNew` a parametr `TaskCreationOptions.LongRunning`. `Factory` slouží i pro vytváření úloh s výšší kontrolou programátora.

Práce s výsledkem

```
Task<int> primeNumberTask = Task.Run(() =>
              Enumerable.Range(2, 3000000).Count(n =>
              Enumerable.Range(2, (int)Math.Sqrt(n) - 1).All(i => n % i > 0)));

Console.WriteLine("Task running...");
Console.WriteLine("The answer is " + primeNumberTask.Result);
                                    //Wait after result is available
                                    //bad approach, problem with deadlock

Console.WriteLine("The answer is " + await primeNumberTask);
                                    //Asynchronous wait after result is available
```

Navazování úloh (continuations)

```
Task<int> primeNumberTask = Task.Run(() =>
                    Enumerable.Range(2, 3000000).Count(n =>
                    Enumerable.Range(2, (int)Math.Sqrt(n) - 1).All(i => n % i > 0)));

var awaiter = primeNumberTask.GetAwaiter();
awaiter.OnCompleted(() =>
          {
                    int result = awaiter.GetResult();
                    Console.WriteLine(result); // Writes result
          });


primeNumberTask.ContinueWith(antecedent =>
           {
               int result = antecedent.Result;
               Console.WriteLine(result);
           });
```

- Princip umožňující „když skončíš, pokračuj něčím dále“

Ovládání úloh Tasks

- `Task.Delay(100)` – pozastaví zpracování kódu úlohy – asynchronní analogie k `Thread.Sleep(100)`
- `t.Wait()` – „čeká“, až se daná úloh dokončí
- `Task.WaitAll(task,…)` – „čeká“, až se všechny specifikované úlohy dokončí
- `Task.WaitAny(task,…)` – „čeká“, až je alespoň jeden ze specifikovaných ploh dokončený
- `Task.WhenAll(task,…)` – vrací nový Task, který bude dokončen, když budou dokončeny všechny specifikované úlohy
- `Task.WhenAny(tast,…)` – vrací nový Task, který bude ukončen, když bude dokončen alespoň jedna specifikovaná úloha

Zachytávání výjimek

- Oproti vláknům se výjimky propagují mimo tělo „vlákna“
- Výjimka se propaguje na úroveň příkazu `Wait` nebo zpracování výsledku `Result`

```
Task task = Task.Run(() => { throw null; });
try
{
        task.Wait();
}
catch (AggregateException aex)
{
        if (aex.InnerException is NullReferenceException)
           Console.WriteLine("Null!");
        else
           throw;
}
```

Asynchronní programování

- Synchronní – kód je spuštěn před návratem na místo volání, blokující
- Asynchronní – kód je spuštěn po návratu na místo volání, neblokující
- Asynchronní programování se snaží implementovat déle trvající části kódu přímo asynchronně – vyšší efektivita, jednoduchost. Kdežto u synchronního programování se implementuje standardně a následně se využívají asynchronní principy běhu (Thread, Task).
- Typické asynchronní koncepty
  - `Thread.Start`
  - `Task.Run`
  - metody jakožto pokračování zpracování úloh
- Realizace pomocí `async` a `await` (od C# 5)

await

- Klíčové slovo (operátor) zjednodušující implementaci navazující úlohy (continuation)

```
var result = await expression;
statement(s);
```

```
var awaiter = expression.GetAwaiter();
awaiter.OnCompleted (() =>
{
        var result = awaiter.GetResult();
        statement(s);
});
```

- Co realizuje
  - Zajistí čekání na dokončení asynchronní operace – **asynchronní čekání**
  - Zajistí zpracování návratové hodnoty v rámci objektu `Task`
  - Pokud `Task` obsahuje výjimku, znovu ji vyhodí

async

- Klíčové slovo (deklarace metody), které překladači říká, že metoda obsahuje alespoň jedno asynchronní volání
- Může být aplikováno pouze na metody (lambda výrazy), které vrací `void` nebo `Task, Task<T>`
- Překladač zajistí zabalení výsledku a označení objektu `Task` jako dokončený až po ukončení dané metody
- Možnost čekat na výsledek dvěmi způsoby
  - asynchronně (`await`)
  - synchronně (`Task.GetResult()/Task.Result/Task.Wait()`) – problém s deadlockem (s ohledem na to, jaké vlákno se blokuje, např. WPF)

- V praxi by se neměl kombinovat asynchronní a synchronizační přístup (`Wait` – blokuje), s ohledem na provoz na stejných vláknech, apod.

Asynchronní programování - tutoriál

- How to use Async/Await/Task in C#
  https://youtu.be/3GhKdDCvtKE

- C# Async/Await/Task Explained (Deep Dive)
  https://youtu.be/il9gl8MH17s

Další zdroje

- https://profinit.eu/blog/ponorme-se-do-async-await-v-jazyce-c-1-cast/
- https://profinit.eu/blog/ponorme-se-do-async-await-v-jazyce-c-2-cast/
- https://profinit.eu/blog/ponorme-se-do-async-await-v-jazyce-c-3-cast/

Zdroje

- https://docs.microsoft.com/cs-cz/dotnet/
- https://devblogs.microsoft.com/
- https://www.codeguru.com/csharp/

- YAMIKANI FUKIZI, Kenneth, Jason DE OLIVEIRA a Michel BRUCHET. *Learn ASP.NET Core 3: Develop modern web applications*. Second edition. Packt Publishing, 2019. ISBN 978-1789610130.
- ALBAHARI, Joseph. *C# 10.0 in a Nutshell: The Definitive Reference*. O'Reilly Media; 1st edition, 2022. ISBN 978-1098121952.
- ALBAHARI, Joseph. *C# 10 and .NET 6 – Modern Cross-Platform Development: Build apps, websites, and services with ASP.NET Core 6, Blazor, and EF Core 6 using Visual Studio 2022 and Visual Studio Code*. 6th edition. Packt Publishing, 2021. ISBN 978-1801077361.