Vlákna v Jave

(základy paralelného programovania)

Róbert Novotný
robert.novotny@upjs.sk

Načo je dobré paralelné programovanie?

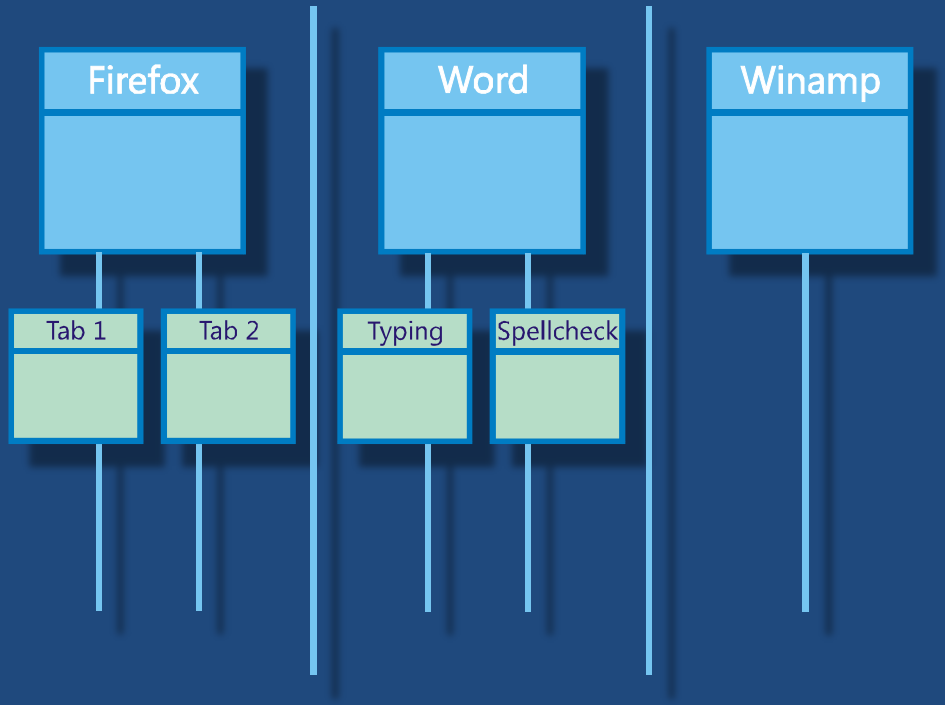
- algoritmus je definovaný ako postupnosť krokov, ktorá sa vykonáva postupne (sekvenčne, sériovo)
- softvér je implementáciou algoritmu, kde sa jednotlivé inštrukcie tiež vykonávajú sekvenčne

Čo keby sa niektoré inštrukcie dali vykonávať súčasne?

- *píšem text a zároveň kontrolujem pravopis*
- *prehliadam web a zároveň sa mi prehráva zvuk*

Paralelné vykonávanie inštrukcií

- v súčasných operačných systémoch sa to už deje
- máme totiž **procesy** – paralelne bežiace inštancie programov
  - koľko procesov beží vo vašich notebookoch?
- v rámci procesu môže paralelne bežať niekoľko vlákien (**threads**)



Každý proces pozostáva z minimálne jedného vlákna.

Java a vlákna

- práca s vláknami bola braná do úvahy už pri návrhu Java platformy
  - C: rozšírenie cez viacero knižníc; C#: na úrovni Javy; PHP a Python: neuvažuje sa
- základné veci zabudované priamo do jazyka
  - vlákna sú objekty
  - základné koncepty vo viacerých štandardných balíčkoch
- Thread synchronized lock mutex monitor Runnable queue wait-notify thread-safety critical section executor callable

Java a vlákna

- ako spustiť viacero paralelných úloh?
- viacerými spôsobmi (toť tradícia Javy)

1. vytvoriť **úlohu**, teda triedu implementujúcu java.lang.Runnable
2. do metódy run() uviesť kód, ktorý bude bežať paralelne
3. inštanciu spustiť **exekútorom**

Trieda implementujúca *Runnable*

```
public class NumberTask implements Runnable {
  private int number;

  public NumberTask(int number) {
    this.number = number;
  }

  public void run() {
    for(int i = 0; i < 3; i++) {
      System.out.println(number);
    }
  }
}
```

- trikrát vypíše na konzolu jedno číslo

Exekútor nevymáha majetok

- exekútor je „služba", ktorej vieme zaslať viacero úloh
- postará sa o ich paralelný beh
- zvyčajne každú úlohu spustí v samostatnom vlákne

Aký je rozdiel medzi vláknom a úlohou?

- **úloha** predstavuje kód (algoritmus), ktorý sa má vykonať paralelne
- **vlákna** predstavujú paralelné behy úloh

Paralelný beh úloh v Jave

```
public static void main(String[] args) {
  ExecutorService executor
    = Executors.newCachedThreadPool();
  NumberTask task1 = new NumberTask(24);
  NumberTask task2 = new NumberTask(12);
  System.out.println("Odosielam úlohu.");
  executor.submit(task1);
  System.out.println("Odosielam druhú úlohu.");
  executor.submit(task2);
  System.out.println("Úlohy odoslané.");
  executor.shutdown();
}
```

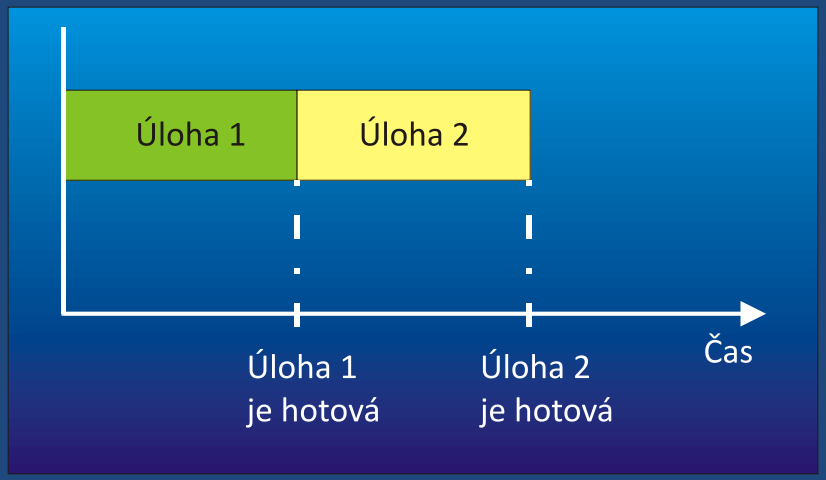
Paralelný beh úloh v Jave

- po odoslaní úlohy cez submit() sa úloha **ihneď** spustí paralelne v inom vlákne
- po vykonaní všetkých úloh treba exekútora zastaviť (metóda shutDown())
  - inak pobeží na pozadí jedno vlákno, ktoré spravuje úlohy a aplikácia neskončí

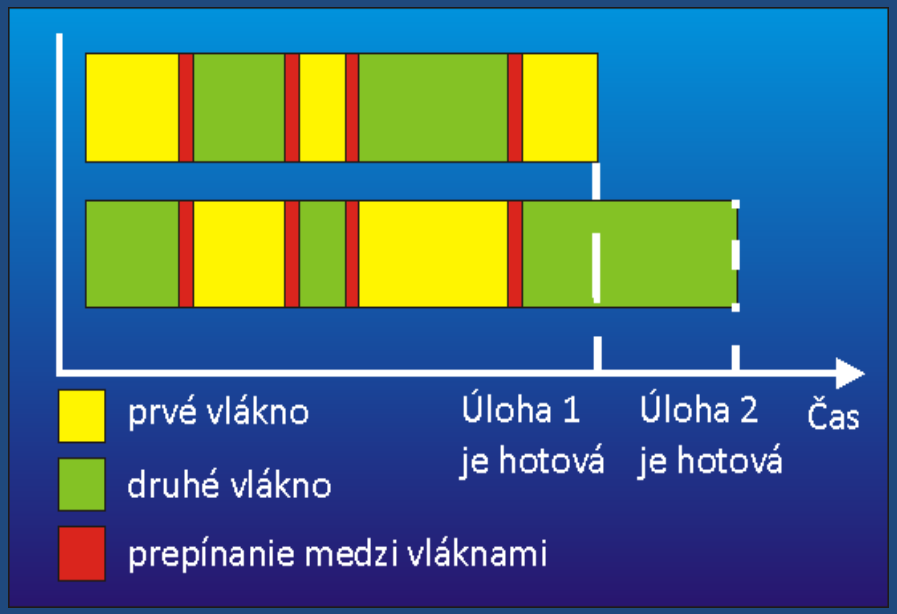
```
Odosielam úlohu.
24
24
Odosielam druhú úlohu.
12
Úlohy odoslané.
24
12
12
...
```

Procesy vs. vlákna

Bežný jednoúlohový systém



Geniálny viacúlohový systém

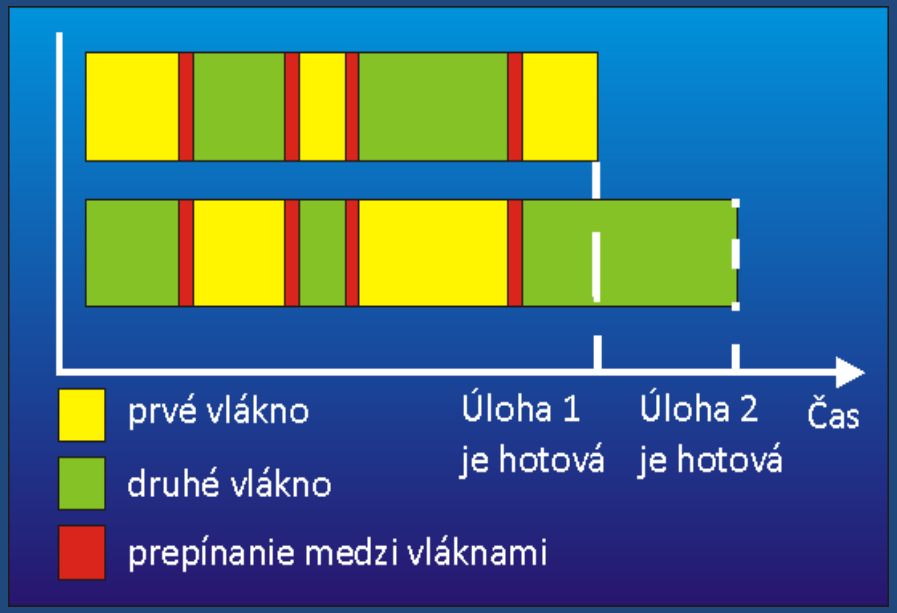


odkedy používam viacúlohový systém, moja bielizeň je voňavejšia!

Procesy vs. vlákna

- na jednom procesore môže bežať v skutočnosti paralelne len jedno vlákno
  - na dvoch dve atď
- procesor budí ilúziu paralelnosti tým, že prepína vlákna medzi sebou

Geniálny viacúlohový systém



- time-slicing – procesorový čas je rozdelený medzi jednotlivé vlákna

Paralelný beh úloh v Jave

- prepínanie medzi vláknami je nedeterministické = náhodné
- výpis čísel je pri každom spustení programu v inom poradí, môže sa prestriedavať...
- jedna z tragédií: nedá sa spoliehať na poradie!

```
Odosielam úlohu.
24
24
Odosielam druhú úlohu.
12
Úlohy odoslané.
24
12
12
...
```

```
Odosielam úlohu.
24
Odosielam druhú úlohu.
12
12
Úlohy odoslané.
24
12
24
24
...
```

Thread – klasická trieda pre vlákna

- exekútor je vysokoúrovňová možnosť paralelného spracovania úloh
- o úroveň nižšie existujú vlákna, t. j. inštancie typu Thread
- úloha (= inštancia *Runnable*) môže byť spustená priamo vo vlákne:

```
public static void main(String[] args) {
  Runnable úloha = new TicTacTask();
  Thread vlákno = new Thread(úloha);
  vlákno.start();

  //aby sme videli, že kód beží paralelne:
  while(true) {
    System.out.println("Hlavné vlákno beží");
  }
}
```

Procesy vs. vlákna

- ak to preženieme s vláknami, môže sa stať, že aplikácia strávi čas prepínaním medzi nimi a neostane čas na skutočnú prácu
- ak sa máte hrať s dvoma deťmi, je to (pomerne) ľahké
- ak sa máte hrať s celou materskou škôlkou, strávite veľa času manažovaním detí, aby nepadali z okien, nebili sa...

Pozastavenie vykonávania úlohy (*sleep*)

- čo ak chceme, aby sa úloha v istom momente na chvíľu pozastavila?
  - príklad: vypíš číslo, čakaj, vypíš ďalšie
- vlákno vykonávajúce úlohu môžeme uspať (*sleep*)

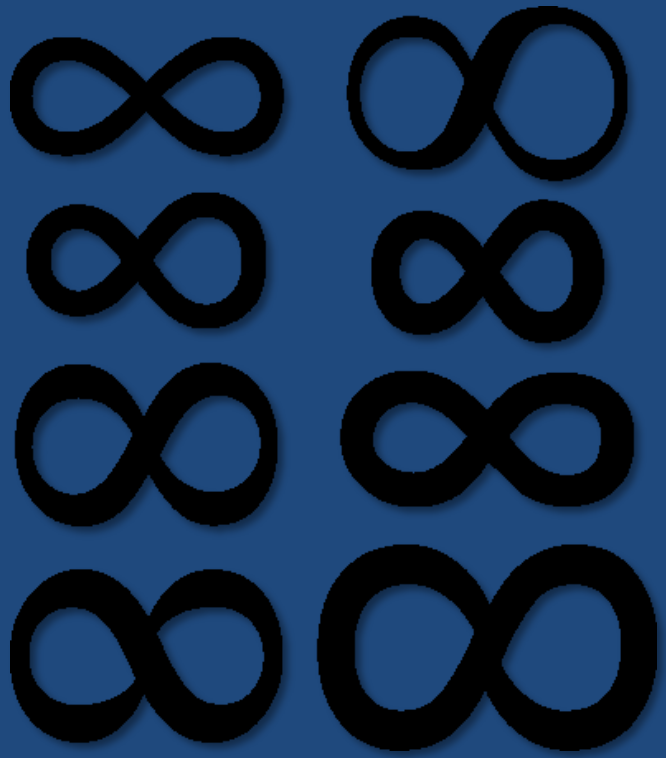
v metóde run() môžeme použiť

```
try {
    TimeUnit.SECONDS.sleep(1);
} catch (InterruptedException e) { }
```

- trieda *TimeUnit* má rôzne časové jednotky (*SECONDS*, *MILLISECONDS*...), v parametri `sleep()` uvedieme dĺžku spánku
- výnimku budeme zatiaľ ignorovať

Donekonečna bežiace vlákna

- naše vlákna bežali len krátku dobu
- zadali sme im úlohu, vykonali ju a skončili
- sú úlohy, ktoré bežia neustále:
  - kontrola pravopisu
  - prekresľovanie okna
- implementácia je jednoduchá:
  - kód v metóde `run()` pobeží v nekonečnom cykle
  - while(true) {...}



Ukážka kódu vlákna

```
public class TicTacTask implements Runnable {
    public void run() {
        boolean isTic = false;
        while(true) {
            String ticOrTac = isTic ? "tik" : "tak";
            System.out.println(ticOrTac);
            isTic = !isTic;

            try {
                TimeUnit.SECONDS.sleep(1);
            } catch (InterruptedException e) { }
        }
    }
}
```

Každú sekundu vypíše „tik“ alebo „tak“.

- cyklíme sa do nekonečna: zabezpečíme priebežný beh vlákna
- po vypísaní textu „zaspíme“ na sekundu
- výnimku (ne)odchytíme, niekto totiž môže spiace vlákno prebudiť skôr než vyprší limit

Paralelný beh úloh v Jave

```
public static void main(String[] args) {
  ExecutorService executor
    = Executors.newCachedThreadPool();
  TicTacTask task = new TicTacTask();
  System.out.println("Odosielam úlohu.");
  executor.submit(task);
  // ... tu sa deje milión vecí ...
  executor.shutdown();
}
```

- `shutdown()` uzatvorí exekútor po dobehnutí všetkých úloh
  - nové úlohy už nebudú prijímané
- lenže naša úloha nikdy nedobehne!
- táto aplikácia teda pobeží donekonečna

Ukončenie behu úlohy

- shutdown() uzatvorí exekútor po dobehnutí úloh
- shutdownNow() sa pokúsi prerušiť beh vlákien, v ktorých bežia úlohy

```
executor.shutdownNow();
```

- ak namiesto **shutdown()** vložíme do aplikácie **shutdownNow()**, nič sa nestane!

Vlákno v Jave sa nedá odstreliť!

Ukončenie behu úlohy

- vlákno bežiacej úlohy nie je možné odstreliť
  - viedlo by to k nekonzistentnému stavu objektov
- úlohe však možno navrhnúť, aby sa ukončila
- shutdownNow() navrhne všetkým odoslaným úlohám v exekútore ukončenie
  - ak úloha spí (*sleep*), vyvolá sa *InterruptedException*, ktorú odchytíme a ukončíme beh
  - ak úloha nikdy nezaspí, musí aktívne volať statickú metódu Thread.currentThread().isInterrupted(), ktorá zistí, či nastalo prerušenie

Ukončenie behu úlohy

- metóda *shutdownNow()* nastaví na vlákne úlohy príznak „mal by si sa ukončiť“
- statické volanie Thread.currentThread().isInterrupted() zistí hodnotu príznaku a vynuluje ho
- bežné volanie *isInterrupted()* len zistí hodnotu príznaku
- volanie *interrupted()* zistí hodnotu príznaku a vynuluje ju

Ukážka ukončenia behu úlohy

```
public class HeartBeatTask implements Runnable {
  public void run() {
    while(true) {
      System.out.println("Stále žijem.");
      if(Thread.interrupted()) {
        System.out.println("Koniec.");
        return;
      }
    }
  }
}
```

```
public static void main(String[] args)
  throws Exception {

  ExecutorService executor = ...
  HeartBeatTask task = new HeartBeatTask();
  executor.submit(task);

  TimeUnit.SECONDS.sleep(2);
  executor.shutdownNow();
}
```

spustíme "tlčúce" vlákno, uspíme hlavné vlákno na dve sekundy a potom tlčúce vlákno ukončíme

Odporúčanie pre písanie úloh

- každá nekonečne bežiaca úloha musí mať vo vnútri cyklu
  - buď kontrolu cez isInterrupted() / interrupted()
  - alebo mať možnosť sa uspať cez TimeUnit.XXX.sleep()
- v opačnom prípade je neodstreliteľná
- samozrejme, každé vlákno dobehne po (násilnom) ukončení aplikácie

Poznámky k *shutdown/shutdownNow*

- shutdown() ani shutdownNow() neblokujú beh hlavného vlákna
- po zavolaní týchto metód sa teda nečaká na ukončenie úloh
- ak chceme zastaviť exekútor a počkať na dobehnutie / odstrelenie úloh:

```
executor.shutdownNow();
executor.awaitTermination(1, TimeUnit.SECONDS)
```

- zavoláme **shutdown()** / **shutdownNow()**
- **awaitTermination()** počká daný čas
  - vráti **true**, ak sa exekútor zatvoril pred uplynutím lehoty

blokujeme hlavné vlákno 1 sekundu

Procesy vs. vlákna

- vieme, že každý proces pozostáva z minimálne jedného vlákna
- vlákna zdieľajú spoločnú haldu (miesto, kde nažívajú objekty), procesy túto možnosť nemajú
  - to je výhoda: pohodlná výmena dát
  - to je najväčšia kliatba: nesprávne použitie vedie k nesmierne ťažkému ladeniu
- ale každé vlákno má svoje vlastné lokálne premenné, do ktorých iné vlákna nevidia

Zdieľanie dát medzi vláknami

- vlákna si môžu zdieľať dáta (keďže majú spoločný prístup k halde)
- môže nastať viacero problémov:
  - *interferencia*: viacero vlákien pristupuje naraz k rovnakým dátam
  - *nekonzistencia*: jedno vlákno vidí dáta jedným spôsobom, iné vlákno vidí tie isté dáta inak
  - *uviaznutia*: vlákno pracuje nad zdieľaným dátami a tým zablokuje ostatné vlákna

Spolupráca medzi vláknami 2

nekonzistencia

livelock

deadlock

racing condition

interferencia

Niektoré problémy rieši synchronizácia!

Príklad, keď sa veci po..kazia

- Majme dvoch stravníkov (= dve vlákna) pristupujúcich k rovnakej jedálni
- Napriek zdanlivej paralelnosti sa v danej chvíli vykonáva len jediná inštrukcia (= riadok)

```
class Jedáleň {
  int početObedov;

  public obslúž(Stravník s) {
    if(početObedov > 0) {
       početObedov = početObedov--;
    }
  }
}
```

- Niektoré „jednoduché“ operácie môžu byť postupnosťou viacerých operácií, aj keď to nie je zjavné:

```
početObedov--  => získaj hodnotu, zníž o 1, ulož hodnotu
```

Príklad, keď sa veci po..kazia

- Majme na začiatku päť obedov:

Stravník Ignác	Stravník Gejza
jedáleň.obslúž()	
if(početObedov > 0)	
	jedáleň.obslúž()
	if(početObedov > 0)
získaj počet obedov (5)	
	získaj počet obedov (5)
	zníž počet o jedna (4)
zníž počet obedov (4)	
ulož novú hodnotu (4)	
	ulož novú hodnotu (4)

- Lenže na konci máme mať len tri obedy!

Príklad, keď sa veci po..kazia

- predošlý príklad ukázal 2 veci:
  - zmena dát jedným vláknom sa nemusí prejaviť v druhom vlákne (nekonzistencia)
    - ešte extrémnejšia situácia: každé vlákno beží na samostatnom jadre s nezávislými cache pamäťami. Zmena premennej sa nemusí prejaviť v pamäti RAM, ktorú vidia všetky vlákna.
  - operácie vykonávané vláknami sa môžu prekrývať (interferencia)
    - môžu (ale nemusia! a to je horor!) nastať konflikty, ktoré sú zdanlivo nevinné alebo neodladiteľné

Riešenie: kritická sekcia

- vlákno si môže zdieľané dáta uzamknúť pre seba, vykonať s nimi, čo treba a potom ich uvoľniť.
- ďalší negatívny príklad:

1. mám rezeň na tanieri
2. vezmem príbor
3. slintám
4. napichnem rezeň
5. žujem

po treťom kroku ma plánovač úloh vypne a spustí druhé vlákno

1. mám rezeň na tanieri
2. vezmem príbor
3. slintám
4. napichnem rezeň
5. žujem

- zrazu zistím, že v prvom vlákne nemám čo napichnúť!

Riešenie: kritická sekcia

1. vezmem rezeň
2. zamknem sa s ním do kuchyne
3. vezmem príbor
4. zjem
5. vyjdem z kuchyne

kritická sekcia

- kritická sekcia je úsek kódu, ku ktorému môže pristupovať najviac jedno vlákno
- celá filozofia sa nazýva monitor
- výlučný prístup jedným vláknom zabezpečíme zámkom na objekt, ktorý budeme modifikovať (tu: rezeň)
- mutex lock (mutual exclusion, vzájomné vylúčenie) – zámok vzájomného vylúčenia

Synchronizované metódy

- Metóda môže byť synchronizovaná
- Celá metóda je potom kritickou sekciou, kde sa uzamkne celá inštancia triedy.

```
class Jedáleň {
  int početObedov;

  public synchronized obslúž(Stravník s) {
    if(početObedov > 0) {
       početObedov = početObedov--;
    }
  }
}
```

- Synchronizovanú metódu na danej inštancii jedálne môže vykonávať najviac jedno vlákno.
- Ak chce iné vlákno vykonávať tú istú metódu, plánovač úloh ho zaradí do fronty.
- Analógia: horda ľudí pobehujúca pred kuchyňou a búchajúca na jej dvere.

Synchronizované sekcie kódu

- Kritická sekcia by mala byť čo najkratšia.
- Dlhé kritické sekcie = dlhšia doba vykonávania = dlhý pobyt v kuchyni = dlhé čakanie = nervóznejší ostatní ľudia.
- Okrem toho: niekedy chceme uzamknúť aj iný objekt než seba

- blok synchronized umožňuje určiť kritickú sekciu
- a umožňuje určiť objekt, ktorý sa uzamkne

```
class Jedáleň {
  int početObedov;

  public obslúž(Stravník s) {
    synchronized(this) {
      if(početObedov > 0) {
         početObedov = početObedov--;
      }
    }
  }
}
```

Synchronizované sekcie kódu

- Kedy synchronizovať?
- Ak pracujem s dátami v inštančných premenných
  - prístup k lokálnym premenným v metóde nemusí byť synchronizovaný
- Ak pracujem s objektami, ktoré môžu byť zdieľané.
- Synchronizovať môžeme
  - kritickou sekciou (**synchronize**)
  - explicitným uzamykaním (**Lock**)
  - volatile mechanizmom (v špecifických prípadoch)

Synchronizované sekcie kódu

- Trieda, ktorá sa správa korektne pri viacerých vláknach a kód, ktorý ju používa, nemusí túto korektnosť nijak špeciálne ošetrovať, sa nazýva thread-safe.
  - sú formálne splnené požiadavky, ktoré predchádzajú interferenciám, deadlockom,
  - zdieľané dáta sú synchronizované
- Ak správne používame thread-safe triedu, tiež sme thread-safe.
- Takto môžeme zdola vybudovať bezpečnú aplikáciu
- Náznak svetového trendu: inštančné premenné sú zlé ;-)
  - inštančné premenné sa majú nastaviť raz pri inicializácii triedy
  - metódy z nich len čítajú, meniteľné dáta putujú v parametroch

Ako viem, či je trieda *thread-safe*?

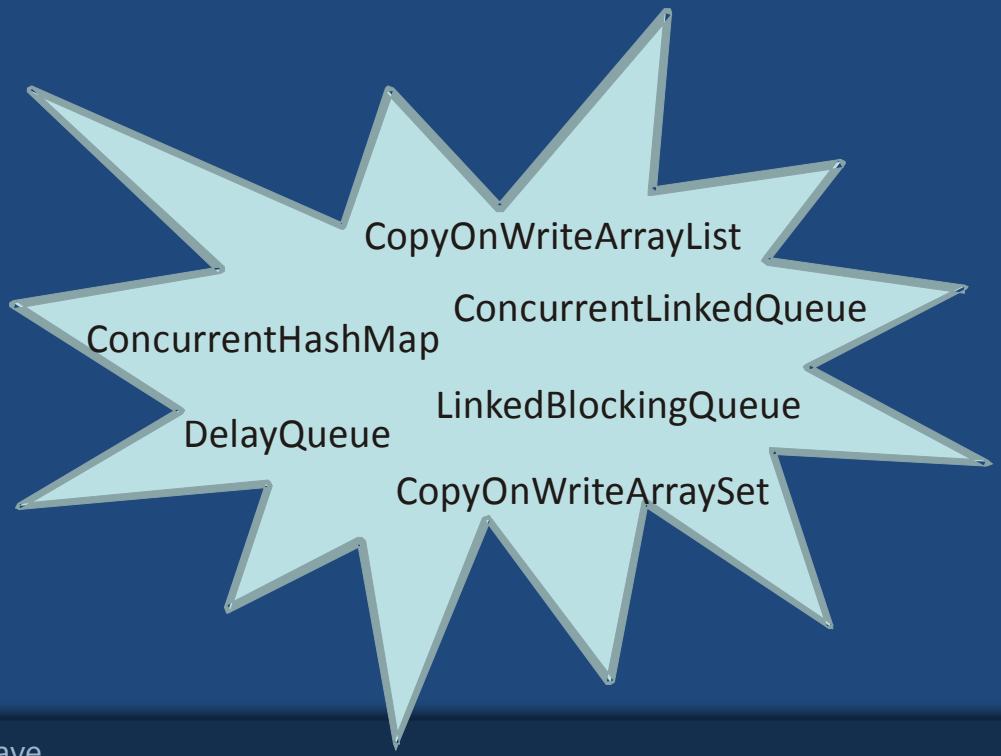
- Thread-safety treba dokumentovať!
- Ak to v dokumentácii nie je, predpokladám, že trieda **nie je thread-safe**
- Kategórie tried:
  - nemeniteľné triedy (**immutable**): sú automaticky thread-safe
    - keďže neposkytujú možnosť meniť dáta, nenastávajú problémy
  - **thread-safe**: garantujú TS, pretože sú tak napísané – používajú synchronizáciu, ...
  - **obmedzene thread-safe**: jednotlivé metódy sú TS, ale postupnosť volaní taká nie je (viď neskôr).
  - **kompatibilná s vláknami**: ak použijeme externú synchronizáciu (k inštancii pristupujeme cez kritické sekcie...), máme TS
  - **nekompatibilná**: ani pri použití synchronizácie nemáme TS

Kolekcie a thread-safety

- Častý príklad: kolekcie (zoznamy, množiny...)
  - štandardné implementácie nie sú bezpečné
    - niekto mi môže zmeniť zoznam, keď cez neho prechádzam
    - dve vlákna môžu vkladať do rovnakého poľa v útrobách ArrayListu – ten sa rozpadne
  - prístup k nim treba synchronizovať, ale jestvujú aj iné možnosti

Konkurentné kolekcie

- konkurentné kolekcie majú operácie implementované nad špeciálnymi algoritmami, ktoré podporujú paralelný prístup
- sú prirodzene a automaticky thread-safe



Najdôležitejšie konkurentné kolekcie

- zoznam: java.util.concurrent.CopyOnWriteArrayList
  - užitočný, ak zoznamom prechádzame oveľa častejšie než ho modifikujeme
  - pracuje nad poľom – zmeny vytvárajú na pozadí nové pole
  - iterovanie: na začiatku sa vytvorí kópia poľa, nad ktorou sa iteruje. Ak sa počas iterovania pole zmení, iteráciu to neovplyvní
- množina: java.util.concurrent.CopyOnWriteArraySet
  - analogický k zoznamu
- mapa: java.util.concurrent.ConcurrentHashMap
  - získavanie prvkov zvyčajne neblokuje
  - operácie získavania a modifikovania sa môžu prekrývať
  - získavanie zodpovedá stavu po poslednej ukončenej modifikácii
  - pracuje nad viacerými hašovacími tabuľkami, ktoré sú interne uzamykané jednotlivo

Viac o exekútoroch

- exekútor ExecutorService podporuje 2 typy úloh:
  - objekt typu Runnable (ak nepotrebujeme výsledok)
  - objekt typu Callable (metóda vracia výsledok)
- vykonávateľovi zašleme úlohu
  - metóda submit()
- úloha sa hneď začne vykonávať paralelne a niekedy v budúcnosti vráti výsledok
- submit() vracia inštanciu *budúceho výsledku* Future
- z inštancie *Future* vieme získať výsledok metódou get() Jej zavolanie počká na dobehnutie úlohy.

Paralelný beh úloh v Jave

- príklad: úloha vygeneruje päť náhodných čísiel, pred každým počká sekundu a vráti ich súčet.

```
public class Task implements Callable<Integer> {
  public Integer call() throws Exception {
    Random random = new Random();

    int sum = 0;
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
      System.out.println("Suma je zatiaľ " + sum);
      TimeUnit.SECONDS.sleep(1);
      sum = sum + random.nextInt(50);
    }

    return sum;
  }
}
```

Paralelný beh úloh v Jave

- Odošleme úlohu cez submit()
- Volanie get() na budúcom výsledku čaká na dobehnutie – blokuje hlavné vlákno, kým nie je k dispozícii výsledok

```
public static void main(String[] args) {
  try {
    ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(1);
    WaitTask task = new WaitTask();
    System.out.println("Odosielam úlohu.");
    Future<Integer> result = executor.submit(task);
    System.out.println("Úloha odoslaná.");
    System.out.println("Výsledok: " + result.get());
    executor.shutdown();
  } catch (ExecutionException e) {
    System.out.println("Chyba pri získavaní výsledku.");
  } catch (InterruptedException e) {
    System.out.println("Čakajúce vlákno bolo prerušené.");
  }
}
```

Rôzne druhy exekútorov

- exekútor oddeľuje úlohu od spôsobu jej vykonania
- typická implementácia: thread pool - zásoba vlákien

Príklad: zákazníci a pokladne v *[vložte obľúbený obchod]*

- *úloha*: zákazník, ktorý chce platiť (*task*)
- *odbavovateľ*: pokladňa (beží a odbavuje zákazníkov)
- máme zásobu otvorených pokladní (*thread pool*)
- niektoré sú voľné, niektoré nie
- ak je zákazníkov veľa, otvoria sa nové pokladne (ale nemáme ich neobmedzený počet)
- ak je zákazníkov málo, pokladne zívajú prázdnotou, prípadne sa zatvoria

Ako získať konkrétneho exekútora

- statické metódy na triede java.util.concurrent.Executors

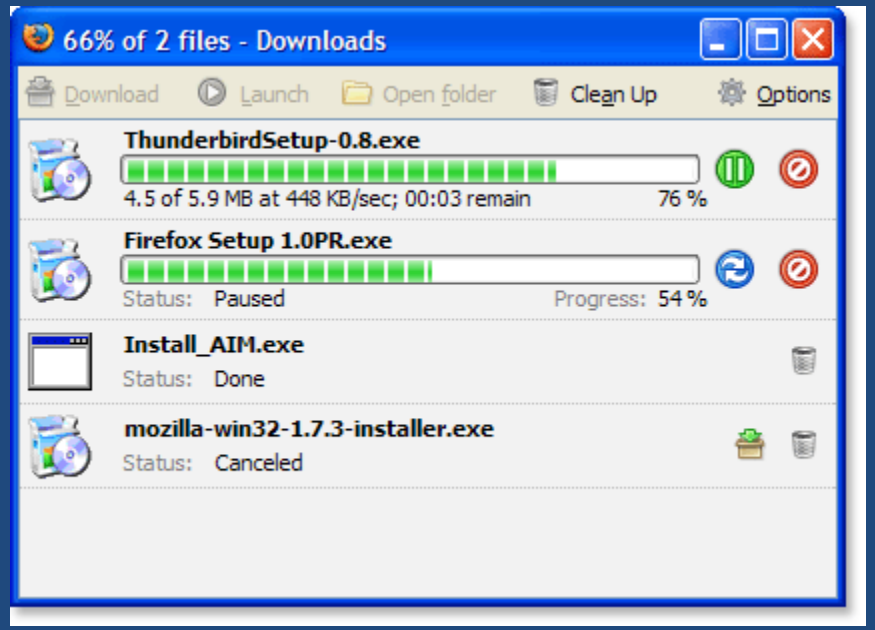
newFixedThreadPool(int X)	nový exekútor s pevným počtom vlákien *obchod s X pokladňami, ktoré sú vždy otvorené a nikdy sa nezatvoria*
newSingleThreadPool()	nový exekútor s jediným vláknom
newCachedThreadPool()	nové vlákna vytvára podľa potreby, vlákna ležiace ladom po istom čase zatvorí, recykluje odpočívajúce vlákna
newScheduledThreadPool()	pool, ktorý umožňuje plánované spúšťanie, opakované späšťanie, či odkladať spustenie o nejaký čas

- ďalšie užitočné metódy:

callable(Runnable r)	prevedie inštanciu Runnable na Callable, ktorá vracia null, keď dobehne
callable(Runnable r, V *result*)	to isté, po dobehnutí vráti *výsledok*

Ďalšie úlohy pre synchronizáciu vlákien

- chceme sťahovať veľa súborov z internetu paralelne
- po skončení sťahovania ukončiť aplikáciu
- Čiže:
  - z hlavného vlákna chceme naraz spustiť veľa vlákien
  - a po dobehnutí všetkých vlákien vykonať nejakú činnosť.



Blokovanie, kým nedobehnú úlohy

```
executor.invokeAll(Collection<Callable<T>> úlohy)
```

- exekútorovi podhodíme kolekciu úloh, ktoré vykoná
- metóda blokuje vlákno, ktoré ju zavolalo, kým nedobehnú všetky úlohy
  - úloha môže skončiť normálne
  - alebo hodiť výnimku
- po zavolaní **invokeAll()** teda čakáme, až kým neskončia všetky úlohy

Paralelný beh a ukončenie vlákien

```
// sťahujeme v piatich vláknach
Executor executor
   = Executors.newFixedThreadPool(5);
// pripravíme si zoznam úloh
Collection<Callable<Object>> tasks
   = new LinkedList<Callable<Object>>();
// stiahneme osem skladieb albumu
for(int i = 0; i < 8; i++) {
  Callable<Object> task
     = new Mp3Download("track" + i + ".mp3");
  tasks.add(task);
}
executor.invokeAll(tasks);
// výpis prebehne po dobehnutí všetkých sťahovaní
System.out.println("Album stiahnutý");
```

Prevod medzi *Runnable* a *Callable*

- *Runnable* nevracia výsledok, má metódu *run()*
- *Callable* vracia výsledok, má metódu *call()*
- ak má inštancia Runnable vrátiť po dobehnutí *null*

```
Runnable task = new VýpisSprávyTask();
Callable<Object> callableTask = Executors.callable(task)
```

- ak má vrátiť implicitnú hodnotu:

```
Callable<String> c = Executors.callable(task, "Hotovo");
// po dobehnutí vráti metóda get() reťazec Hotovo
```

Zhrnutie

- vláknové programovanie je na prvý pohľad hrozné
  - strašne zle sa ladí
  - treba myslieť súčasne na veľa vecí
  - treba pri ňom rozmýšľať – princíp "natrieskam-dajak bude" nefunguje, pretože aplikácia chvíľu beží a o chvíľu vytuhne
  - nástroje nám s ním neveľmi pomôžu
- na druhej strane sa mu nevyhneme
  - frekvencia jadier sa už zvyšovať nebude
  - budú sa len pridávať jadrá
- Java poskytuje množstvo vysokoúrovňových tried, ktoré prácu uľahčujú a abstrahujú od detailov