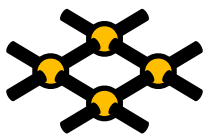
Vláknové programování
část II

Lukáš Hejmánek, Petr Holub

`{xhejtman,hopet}@ics.muni.cz`



Laboratoř pokročilých síťových technologií

PV192

2013–02–25

Přehled přednášky

Přehled přednášky

Vlákna v jazyce Java

- Mechanismy
  - potomek třídy Thread
  - Executory
  - objekt implementující úlohu pro Executor
    - objekt implementující interface Runnable (metoda `run()`)
    - objekt implementující interface Callable (metoda `call()`)
- Synchronizace a viditelnost operací
- Implementace monitorů pomocí `synchronized`
- Signalizace mezi objekty: `wait`, `notify`, `notifyAll`
- Knihovny `java.util.concurrent`

Třída Thread

- Základní třída pro vlákna
- Metoda `run()`
  - „vnitřnosti“ vlákna
  - přepisuje se vlastním kódem
- Metoda `start()`
  - startování vlákna
  - za normálních okolností nepřepisuje!
  - pokud už se přepisuje, je třeba volat `super.start()`

Třída Thread

```
1  public class PrikladVlakna {
2
3      static class MojeVlakno extends Thread {
4          MojeVlakno(String jmenoVlakna) {
5              super(jmenoVlakna);
6          }
7
8          public void run() {
9              for (int i = 0; i < 10; i++) {
10                 System.out.println(this.getName() +
11                         ": pocitam vzbuzeni - " + (i + 1));
12                 try {
13                     sleep(Math.round(Math.random()));
14                 } catch (InterruptedException e) {
15                     System.out.println(this.getName() +
16                             ": probudil jsem se nenadale! :-|");
17                 }
18             }
19         }
20     }
```

Třída Thread

```
    public static void main(String[] args) {
2       new MojeVlakno("vlakno1").start();
        new MojeVlakno("vlakno2").start();
4   }
}
```

Viditelnost a synchronizace operací

(nic) > `volatile` > `AtomicXXX` > `synchronized`, explicitní zámky

- problém viditelnosti změn
- problém atomicity operací
  - např. přiřazení do 64-bitového typu (`long`, `double`) není nutně atomický!
- problém synchronizace při změnách hodnot

Viditelnost a synchronizace operací

(nic) > `volatile` > `AtomicXXX` > `synchronized`, explicitní zámky

```
public class Nic {
    private static long cislo = 10000000L;
    private static boolean pripraven = false;

    public static class Vlakno extends Thread {
        public void run() {
            while (!pripraven) {
                Thread.yield();
            }
            System.out.println(cislo);
        }
    }

    public static void main(String[] args) {
        new Vlakno().start();
        cislo = 42L;
        pripraven = true;
    }
}
```

Viditelnost a synchronizace operací

(nic) > `volatile` > `AtomicXXX` > `synchronized`, explicitní zámky

- Jak to dopadne?
  - neatomičnost 64-bitového přiřazení
  - přeuspořádání přiřazení
  - kterákoli ze změn hodnot nemusí být viditelná
  - *jakkoli…*
    - 10.000.000 nebo 42 nebo něco jiného (neatomičnost – vlákno se může trefit mezi přiřazení horní a dolní poloviny 64 b operace)
    - ale také může navždy cyklit (Vlakno neuvidí nastavení `pripraven`)

pročež platí

1. Pokud více vláken čte jednu proměnnou, musí se řešit viditelnost.
2. Pokud více vláken zapisuje do jedné proměnné, musí se synchronizovat.

Viditelnost a synchronizace operací

(nic) > `volatile` > `AtomicXXX` > `synchronized`, explicitní zámky

- `volatile`
  - zajišťuje viditelnost změn mezi vlákny
  - překladač nesmí dělat presumpce/optimalizace, které by mohly ovlivnit viditelnost
  - u 64 b přiřazení zajišťuje atomičnost
  - nezajišťuje atomičnost operace načti–změň–zapiš!
    - nelze použít pro thread-safe `i++`
  - lze použít pokud jsou splněny obě následující podmínky
    1. nová hodnota proměnné nezávisí na její předchozí hodnotě
    2. proměnná se nevyskytuje v invariantech spolu s jinými proměnnými (např. `a<=b`)

    - např. příznak ukončení nebo jiné události, který nastavuje pouze jedno vlákno – pomohlo by v příkladě třídy Nic (slajd 9)
    - příklady použití: `http://www.ibm.com/developerworks/java/library/j-jtp06197.html`
  - pokud si nejsme jisti, použijeme raději silnější synchronizaci

Viditelnost a synchronizace operací

(nic) > `volatile` > `AtomicXXX` > `synchronized`, explicitní zámky

```
public class VolatileInvariant {
    private volatile int horniMez, dolniMez;

    public int getHorniMez() { return horniMez; }

    public void setHorniMez(int horniMez) {
        if (horniMez < this.dolniMez)
            throw new IllegalArgumentException("Horni < dolni!");
        else
            this.horniMez = horniMez;
    }

    public int getDolniMez() { return dolniMez; }

    public void setDolniMez(int dolniMez) {
        if (dolniMez > this.horniMez)
            throw new IllegalArgumentException("Dolni > horni!");
        else
            this.dolniMez = dolniMez;
    }
}
```

Viditelnost a synchronizace operací

(nic) > `volatile` > `AtomicXXX` > `synchronized`, explicitní zámky

- `AtomicXXX`
  - zajišťuje viditelnost
  - zajišťuje atomičnost operace načti–změň–zapiš nad objektem
    - potřebujeme-li udělat více takových operací synchronně, nelze použít
- `synchronized`, explicitní zámky
  - zajištění viditelnosti
  - zajištění vyloučení (a tedy i atomičnosti) v kritické sekci

Publikování a únik

- Publikování objektu
  - zveřejnění odkazu na objekt
  - thread-safe třídy nesmí publikovat objekty bez zajištěné synchronizace
  - nepřímé publikování
    - publikování jiného objektu, přes něhož je daný objekt *dosažitelný*
    - např. publikování kolekce obsahující objekt
    - např. instance vnitřní třídy obsahuje odkaz na vnější třídu
  - „vetřelecké“ (*alien*) metody
    - metody, jejichž chování není plně definováno samotnou třídou
    - všechny metody, které nejsou **`private`** nebo **`final`** – mohou být přepsány v potomkovi
    - předání objektu vetřelecké metodě = publikování objektu

Publikování a únik

- Únik stavu objektu
  - publikování reference na interní měnitelné (*mutable*) objekty
  - v níže uvedeném příkladě může klient měnit pole **`states`**
  - potřeba hlubokého kopírování (*deep copy*)

```
1  import java.util.Arrays;

3  public class UnikStavu {
       private String[] stavy = new String[]{"Stav1", "Stav2", "Stav3"};
5
       public String[] getStavySpatne() {
7          return stavy;
       }
9
       public String[] getStavySpravne() {
11         return Arrays.copyOf(stavy, stavy.length);
       }
13 }
```

Publikování a únik

- Únik z konstruktoru
  - až do návratu z konstruktoru je objekt v „rozpracovaném“ stavu
  - publikování objektu v tomto stavu je obzvláště nebezpečné
  - pozor na skryté publikování přes `this` v rámci instance vnitřní třídy
    - registrace listenerů na události

```
1  public class UnikZKonstruktoru {
       public UnikZKonstruktoru(EventSource zdroj) {
3          zdroj.registerListener(
                   new EventListener() {
5                      public void onEvent(Event e) {
                           zpracujUdalost(e);
7                      }
                   }
9          );
       }
11 }
```

Publikování a únik

- Únik z konstruktoru
  - když musíš, tak musíš… ale aspoň takto:
    1. vytvořit soukromý konstruktor
    2. vytvořit veřejnou factory

```
1  public class BezpecnyListener {
       private final EventListener listener;
3
       private BezpecnyListener() {
5          listener = new EventListener() {
               public void onEvent(Event e) {
7                  zpracujUdalost(e);
               }
9          };
       }
11
       public static BezpecnyListener novaInstance(EventSource zdroj) {
13         BezpecnyListener bl = new BezpecnyListener();
           zdroj.registerListener(bl.listener);
15         return bl;
       }
17 }
```

Thead-safe data

- *ad hoc*
  - zodpovědnost čistě ponechaná na implementaci
  - nepoužívá podporu jazyka
  - pokud možno nepoužívat

Thead-safe data

- data omezená na zásobník
  - data na zásobníku patří pouze danému vláknu
  - týká se lokálních proměnných
    - u primitivních lokálních proměnných nelze získat ukazatel a tudíž je nelze publikovat mimo vlákno
    - ukazatele na objekty je třeba hlídat (programátor), že se objekt nepublikuje a zůstává lokální
    - lze používat ne-thread-safe objekty, ale je rozumné to dokumentovat (pro následné udržovatele kódu)

```
1  import java.util.Collection;

3  public class PocitejKulicky {
       public class Kulicka {
5      }

7      public int pocetKulicek(Collection<Kulicka> kulicky) {
           int pocet = 0;
9          for (Kulicka kulicka : kulicky) {
               pocet++;
11         }
           return pocet;
13     }
   }
```

Thead-safe data

- **`ThreadLocal`**
  - data asociovaná s každým vláknem zvlášť, ukládá se do Thread
  - používá se často v kombinaci se Singletony a globálními proměnnými
  - JDBC spojení na databázi nemusí být thread-safe

```
import java.sql.Connection;
import java.sql.DriverManager;
import java.sql.SQLException;

public class PrikladTL {
    private static ThreadLocal<Connection> connectionHolder =
            new ThreadLocal<Connection>() {
                protected Connection initialValue() {
                    try {
                        return DriverManager.getConnection("DB_URL");
                    } catch (SQLException e) {
                        return null;
                    }
                }
            };

    public static Connection getConnection() {
        return connectionHolder.get();
    }
}
```

Thead-safe data

- Neměnné (*immutable*) objekty
  - neměnný objekt je takový
    - jehož stav se nemůže změnit, jakmile je zkonstruován
    - všechny jeho pole jsou **`final`**
    - je řádně zkonstruován (nedojde k úniku z konstruktoru)
  - neměnné objekty jsou automaticky thread-safe
  - pokud potřebujeme provést složenou akci atomicky, můžeme ji zabalit do vytvoření neměnného objektu na zásobníku a jeho publikaci pomocí **`volatile`** odkazu
    - nemůžeme předpokládat atomičnost načti–změň–zapiš (**`i++`** chování)
  - díky levné alokaci[1] nových objektů (JDK verze 5 a výš) se dají efektivně používat

[1] Do JDK 5.0 se používalo **`ThreadLocal`** pro recyklaci bufferů metody **`Integer.toString`**. Od verze 5.0 se vždy alokuje nový buffer, je to rychlejší.

Thead-safe data

- Neměnné (*immutable*) objekty

```
public class NemennaCache {
    private final String lastURL;
    private final String lastContent;

    public NemennaCache(String lastURL, String lastContent) {
        this.lastURL = lastURL;
        this.lastContent = lastContent;
    }

    public String vemZCache(String url) {
        if (lastURL == null || !lastURL.equals(url))
            return null;
        else
            return lastContent;
    }
}
```

Thead-safe data

- Neměnné (*immutable*) objekty

```
public class PouzitiCache {
    private volatile NemennaCache cache = new NemennaCache(null, null);

    public String nactiURL(String URL) {
        String obsah = cache.vemZCache(URL);
        if (obsah == null) {
            obsah = fetch(URL);
            cache = new NemennaCache(URL, obsah);
            return obsah;
        } else
            return obsah;
    }
}
```

Bezpečné publikování

Je následující třída v pořádku?

```
1  public class Trida {
       public class Pytlicek {
3          public int hodnota;

5          public Pytlicek(int hodnota) {
               this.hodnota = hodnota;
7          }
       }
9
       public Pytlicek pytlicek;
11
       public void incializujPytlicek(int i) {
13         pytlicek = new Pytlicek(i);
       }
15 }
```

Bezpečné publikování

- Nebezpečné publikování
  - publikování potenciálně nedokončeného měnitelného objektu
  - takto by šlo publikovat pouze neměnné objekty (lépe s použitím `volatile`)

```
1  public class NebezpecnePublikovani {
       public class Pytlicek {
3          public int hodnota;

5          public Pytlicek(int hodnota) {
               this.hodnota = hodnota;
7          }
       }
9
       public Pytlicek pytlicek;
11
       public void incializujPytlicek(int i) {
13         pytlicek = new Pytlicek(i);
       }
15 }
```

Bezpečné publikování

- Způsoby bezpečného publikování měnitelných objektů
  1. inicializace odkazu ze statického inicializátoru
  2. uložení odkazu do `volatile` nebo `AtomicReference` pole
  3. uložení odkazu do `final` pole (po návratu z konstruktoru! – obzvlášť opatrně)
  4. uložení odkazu do pole, které je chráněno zámky/monitorem
  5. uložení do thread-safe kolekce (`Hashtable`, `synchronizedMap`, `ConcurrentMap`, `Vector`, `CopyOnWriteArray{List,Set}`, `synchronized{List,Set}`, `BlockingQueue`, `ConcurrentLinkedQueue`)
     - objekt i odkaz musí být publikovány současně

Bezpečné publikování

- Efektivně neměnné objekty
  - pokud se k objektu chováme jako neměnnému
  - bezpečné publikování je dostatečné
- Měnitelné objetky
  - bezpečné publikování zajistí pouze viditelnost ve výchozím stavu
  - změny je třeba synchronizovat (zámky/monitory)

Bezpečné sdílení objektů

- Uzavřené ve vlákně
- Sdílené jen pro čtení
  - neměnné a efektivně neměnné objekty
- Thread-safe objekty
  - zajišťují si synchronizaci uvnitř samy
- Chráněné objekty
  - zabalené do thread-safe konstrukcí (thread-safe objektů, chráněny zámkem/monitorem)

Ukončování vláken

- Vlákna by se měla zásadně ukončovat dobrovolně a samostatně
  - metoda `Thread.stop()` je deprecated
  - násilné ukončení vlákna může nechat systém v nekonzistentním stavu
    - výjimka `ThreadDeath` tiše odemkne všechny monitory, které vlákno drželo
    - objekty, které byly monitory chráněny, mohou být v nekonzistentním stavu
  - `http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/guide/misc/threadPrimitiveDeprecation.html`
- Jak na to?
  - zavést si proměnnou, která bude signalizovat požadavek na ukončení nebo
  - využít příznak `isInterrupted()`
  - použití metody `interrupt()`
  - použití I/O blokujících omezenou dobu
- Vlákna lze násilně ukončovat ve speciálních případech
  - ExecutorService
  - Futures

Ukončování vláken

```
1  import static java.lang.Thread.sleep;

3  public class PrikladUkonceni {
       static class MojeVlakno extends Thread {
5          private volatile boolean ukonciSe = false;

7          public void run() {
               while (!ukonciSe) {
9                  try {
                       System.out.println("...chrnim...");
11                     sleep(1000);
                   } catch (InterruptedException e) {
13                     System.out.println("Vzbudil jsem se necekane!");
                   }
15             }
           }
17
           public void skonci() {
19             ukonciSe = true;
           }
21     }
```

Ukončování vláken

```
    public static void main(String[] args) {
24      try {
            MojeVlakno vlakno = new MojeVlakno();
26          vlakno.start();
            sleep(2000);
28          vlakno.skonci();
            vlakno.interrupt();
30          vlakno.join();
        } catch (InterruptedException e) {
32          e.printStackTrace();
        }
34  }
}
```

`synchronized` a monitory

- Monitory – Hoare, Dijkstra, Hansen, cca 1974
  - vynucuje serializovaný přístup k objektu
- `synchronized` – základní nástroj pro vyloučení v kritické sekci
  - v Javě se označuje jako monitor
  - synchronizuje se na explicitně uvedeném objektu (raději `final`) nebo (implicitně) na `this`
  - Javové monitory nezahrnují podmínky, jsou jednodušší než Hoareho

`synchronized` a monitory

```
1  import net.jcip.annotations.ThreadSafe;
   @ThreadSafe
3  public class PrikladSynchronized {
       Integer cislo;
5      public PrikladSynchronized() {
           this.cislo = 0;
7      }
       public PrikladSynchronized(Integer cislo) {
9          this.cislo = cislo;
       }
11     void pricti(int i) {
           synchronized (this) {
13             cislo += i;
           }
15     }
       synchronized int kolikJeCislo() {
17         return cislo;
       }
19 }
```

`synchronized` a monitory

- *Java monitor pattern*

```
1  import net.jcip.annotations.GuardedBy;
   // http://www.javaconcurrencyinpractice.com/jcip-annotations.jar
3
   public class MonitorPattern {
5      private final Object zamek = new Object();
       @GuardedBy("zamek") Object mujObject;
7
       void metoda() {
9          synchronized (zamek) {
               // manipulace s objektem mujObject;
11         }
       }
13 }
```

Sychronized Collections

- Přímo synchronizované kolekce:

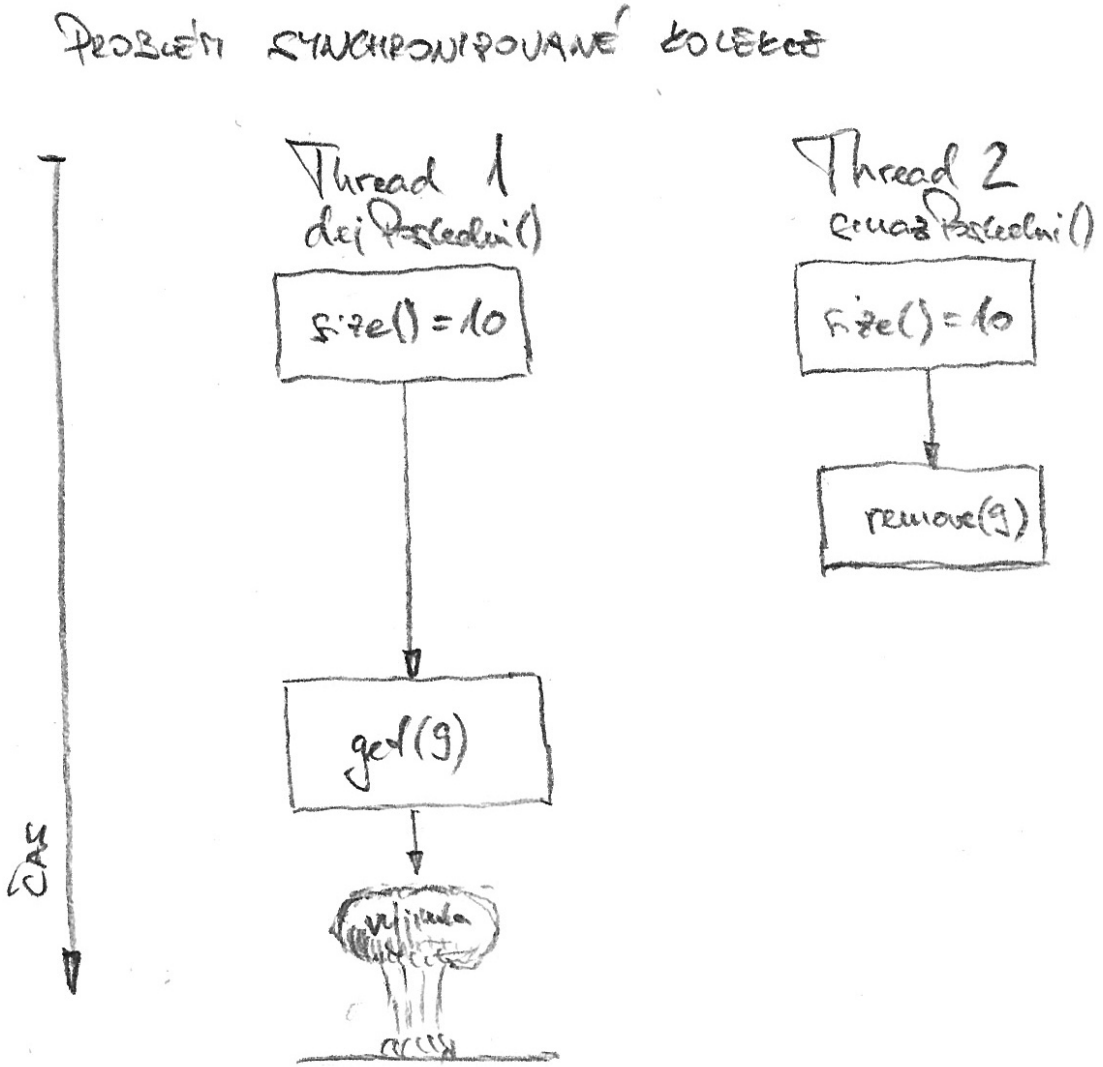
  `Vector`, `Hashtable`
- Synchronizované obaly:

  `Collection.synchronizedX`
  factory metody
- Tyto kolekce jsou thread-safe, ale poněkud zákeřné
  - může být potřeba chránit pomocí zámků složené akce
    - iterace
    - navigace (procházení prvků v nějakém pořadí)
    - podmíněné operace, např. vlož-pokud-chybí (put-if-absent)

Sychronized Collections

```
1  import java.util.Vector;
2
3  public class PodlaKolekce {
4      public static Object dejPosledni(Vector v) {
5          int posledni = v.size() - 1;
6          return v.get(posledni);
7      }
8
9      public static void smazPosledni(Vector v) {
10         int posledni = v.size() - 1;
11         v.remove(posledni);
12     }
13 }
```

Sychronized Collections



Sychronized Collections

- Výše uvedené chování nemůže poškodit `Vector v` $\Longrightarrow$ thread-safe
- Chování ale bude zmatečné
  - mezi získání indexu poslední položky a `get()` ev. `remove()` se může vloudit jiný `remove()` $\Longrightarrow$ vyhazování výjimky `ArrayOutOfBoundException`
- Lze ošetřit klientským zamykáním, pokud známe objekt, na němž se v sychronizované kolekci dělá monitor

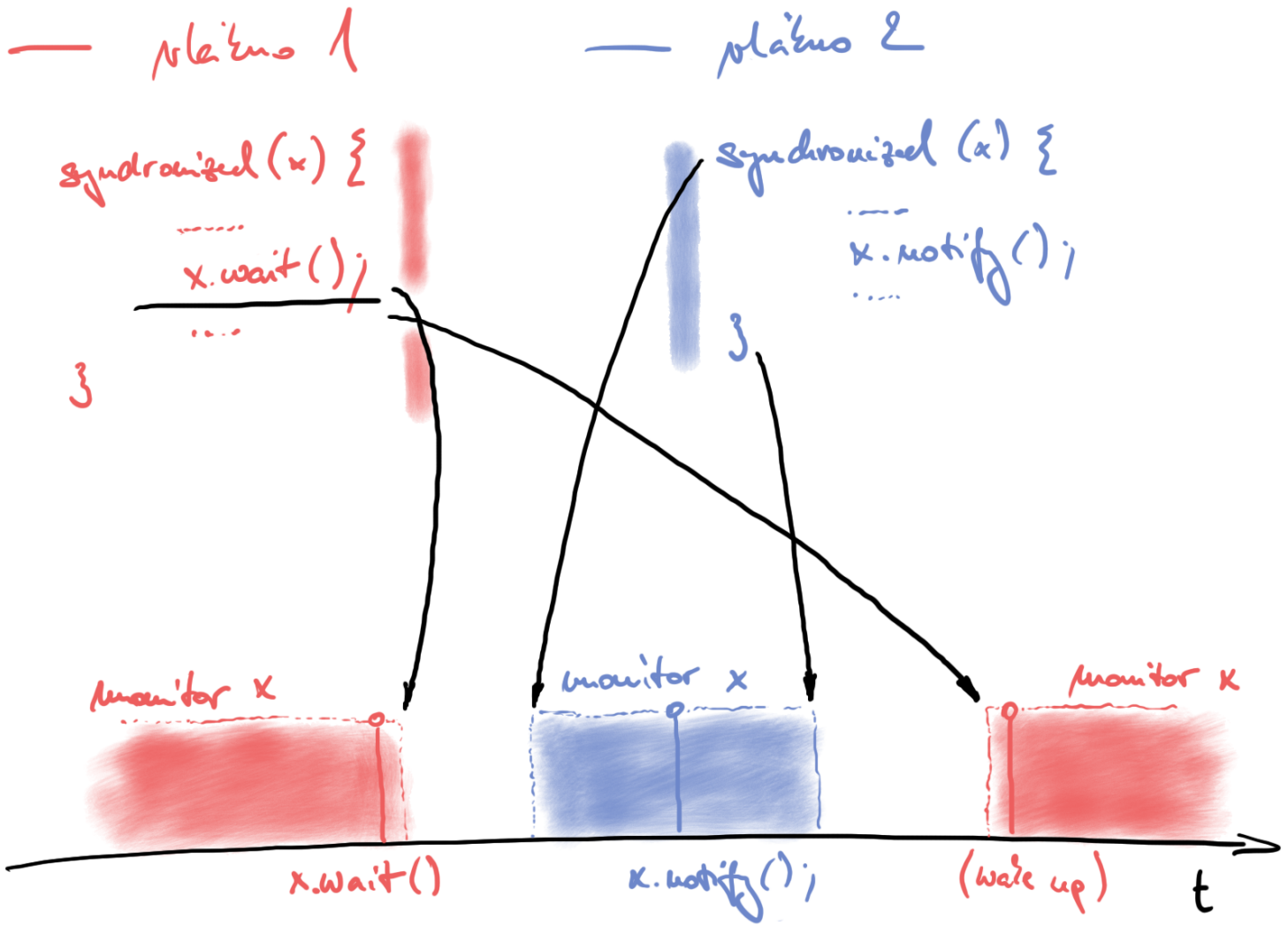
Sychronized Collections

```
1  import java.util.Vector;

3  public class RucneSyncnutaKolekce {
       public static Object dejPosledni(Vector v) {
5          synchronized (v) {
               int posledni = v.size() - 1;
7              return v.get(posledni);
           }
9      }

11     public static void smazPosledni(Vector v) {
           synchronized (v) {
13             int posledni = v.size() - 1;
               v.remove(posledni);
15         }
       }
17
   }
```

Signalizace mezi objekty

- Definováno pro každý Object
- Musí být vlastníkem monitoru pro daný Objekt
  - `synchronized` sekce
- Metoda `wait()`
  - usnutí do doby notifikace
  - při usnutí se vlákno vzdá monitoru
  - po probuzení čeká, než monitor může opět získat
- Metoda `notify()`
  - notifikace jednoho z čekajících
  - pokud je čekajících více, vybere se jeden (libovolně dle implementace)
  - vybuzené vlákno pokračuje až poté, co se notifikující vlákno vzdá monitoru
- Metoda `notifyAll()`
  - notifikace všech vláken čekajících na daném objektu

Signalizace mezi objekty



Suspendování vláken

- Metody `Thread.suspend()` a `Thread.resume` jsou inherentně nebezpečné – deadlocky
- Emulace pomocí `wait()` a `notify()`

Suspendování vláken

```
import static java.lang.Thread.sleep;

public class PrikladSuspendu {
    static class MojeVlakno extends Thread {
        private volatile boolean ukonciSe = false;
        private volatile boolean spi = false;

        public void run() {
            while (!ukonciSe) {
                System.out.println("...makam...");
                try {
                    sleep(500);
                    synchronized (this) {
                        while (spi) {
                            wait();
                        }
                    }
                } catch (InterruptedException e) {
                    System.out.println("Necekane probuzeni!");
                }
            }
            System.out.println("...domakal jsem...");
        }
```

Suspendování vláken

```
1         public void skonci() {
              ukonciSe = true;
3         }

5         public void usni() {
              spi = true;
7         }

9         public void vzbudSe() {
              spi = false;
11            synchronized (this) {
                  this.notify();
13            }
          }
15    }
```

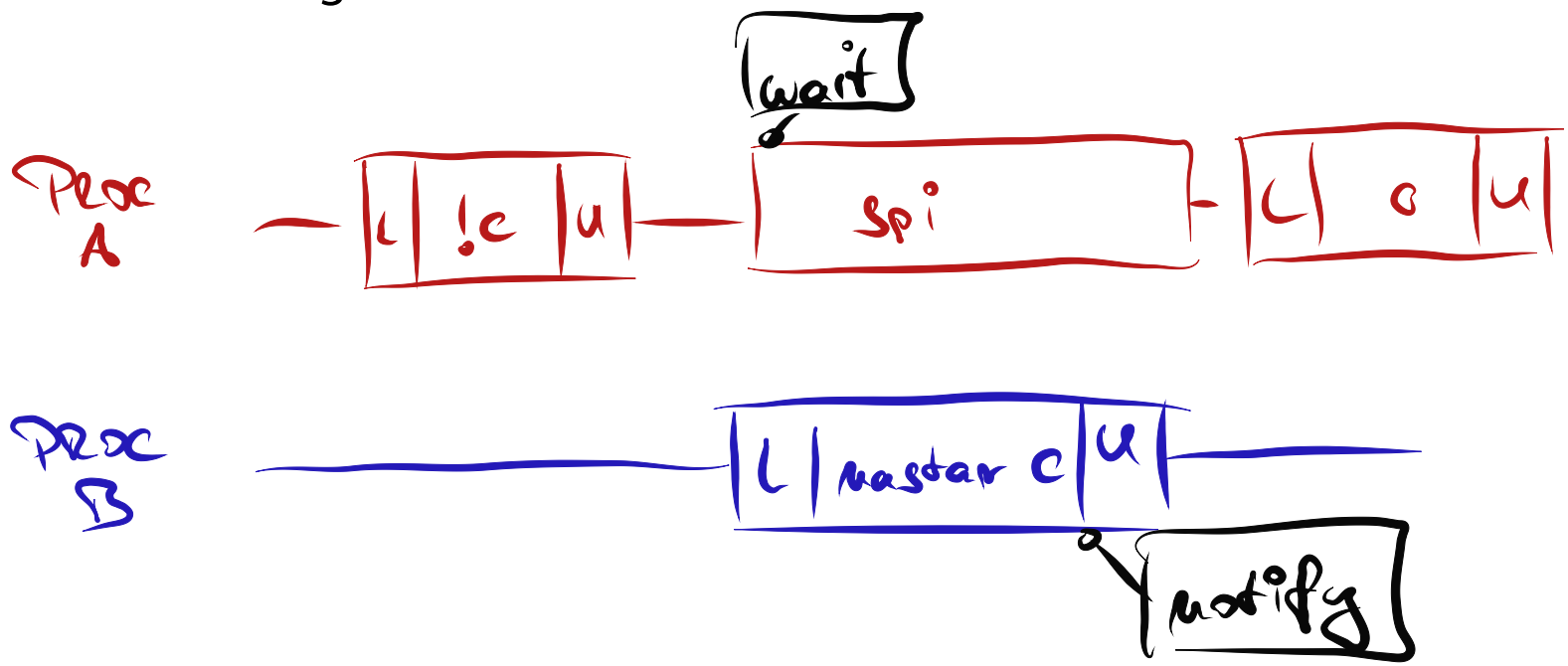
Suspendování vláken

- Ztracené zprávy
  - `o.wait()` a `o.notify()` resp. `o.notifyAll` nemají mechanismus zdržení notifikace
  - pokud vlákno usne na `o.wait()` později, než mělo být notifikováno přes `o.notify`, nikdy se nevzbudí

  $\Longrightarrow$ deadlock
- Problém při signalizaci s podmínkami
  - odpovídá Hoareho monitorům
  - vlákno usne do doby, než je splněna podmínka
  - v době vzbuzení je garantováno, že je podmínka pořád splněna
  - implementace Hoarových monitorů pro Javu:
    `http://www.engr.mun.ca/%7Etheo/Misc/monitors/monitors.html`
    `http://www.javaworld.com/javaworld/jw-10-2007/jw-10-monitors.html`

Suspendování vláken

- Podmíněná signalizace



Suspendování vláken

```
// podmineny predikat musi byt chraneny zamkem
synchronized (lock) {
    while (!conditionPredicate)
        lock.wait();
    // nyni je objekt v pozadovanem stavu
}
```

- Pravidla pro signalizaci s podmínkami
  1. zformulovat a ověřit podmínku před voláním `wait()`
  2. `wait()` bežet ve smyčce, kontrolovat po vzbuzení
     - probuzení z `wait()` mohlo nastat z jiného důvodu
  3. zajistit, aby proměnné v podmínce byly chráněny tím zámkem, který se používá v monitoru
  4. držet zámek v době volání `wait()`, `notify()`, `notifyAll()`
- Potřeba zajistit, aby při **změně** podmínky vždy někdo zasignalizoval
- Signál se může ztratit, pokud bychom se vzdali mezi dalším testem monitoru

Domácí úkol

- Pomocí mechanismu signalizace naimplementujte:
  - semafor,
  - bariéru.
- Termín: 16. 3. 2014