Seminář Java

Paralelismus

Radek Kočí

Fakulta informačních technologií VUT

Březen 2011

Obsah

- Vlákna
- Multithreading
- Sdílení prostředků
- Synchronizace

Pojmy

Proces

- spuštěný program s vlastním adresovým prostorem

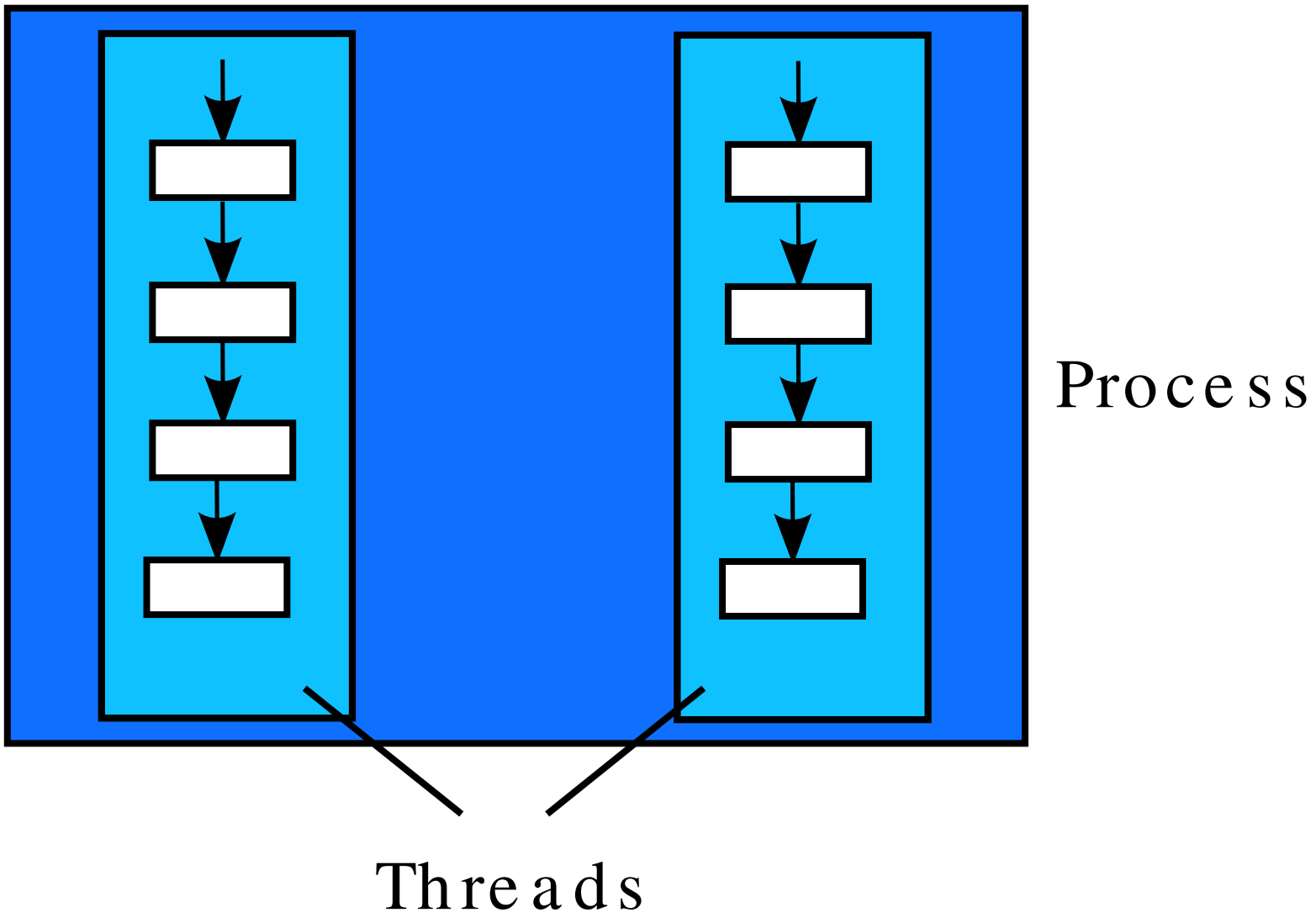
Vlákno (podproces)

- nezávislá vedlejší úloha
- spuštěná v kontextu procesu
- sdílí adresový prostor procesu

Multithreading

- technika rozdělění běhu programu na více podprocesů
- typicky pro oddělení částí programu, které jsou vázané na prostředky

Proces a vlákna



Vlákna

- vlákna jsou reprezentována objekty
- každé vlákno má svůj jedinečný identifikátor (přidělen při vytvoření)
- vlákno může mít svůj název

Práce s vlákny

Balík `java.lang`

- `Thread`
- `Runnable`

Reprezentace vlákna

- instance třídy `Thread` (ev. odvozených tříd)

Vytvoření objektu, který reprezentuje *běh* vlákna

- rozšířením (dědičnost) třídy `Thread`
- implementací rozhraní `Runnable`

Třída Thread

Metody

- `start()`
  - inicializace vlákna
  - volá metodu `run()`
  - odvozená třída *nepřekrývá* tuto metodu!
- `run()`
  - kód vlákna
  - odvozená třída *překrývá* tuto metodu
- `sleep(long millis)`
  - uspání vlákna na daný počet milisekund
  - výjimka *InterruptedException*

Ukázka SimpleThread

```
public class SimpleThread extends Thread {
  public SimpleThread(String str) {
    super(str);
  }
  public void run() {
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
      System.out.println(i + " " + getName());
        try {
          sleep((long)(Math.random() * 1000));
        } catch (InterruptedException e) {}
    }
    System.out.println("DONE! " + getName());
  }
}
```

Ukázka SimpleThread

```
public class TwoThreadsDemo {
    public static void main (String[] args) {
        new SimpleThread("Jamaica").start();
        new SimpleThread("Fiji").start();
    }
}
```

Rozhraní Runnable

Metody

- `run()`
  - kód vlákna
  - implementující třída musí implementovat tuto metodu

Implementující třída

- není vlákno
- informace, že instance třídy definuje chování vlákna
- pro spuštění vlákna potřebuje třídu `Thread`

Ukázka Clock

```
public class Clock extends Applet
                   implements Runnable {
  private Thread clockThread = null;
  public void start() {
    if (clockThread == null) {
      clockThread = new Thread(this, "Clock");
      clockThread.start();
    }
  }
  public void paint(Graphics g) {
    //get the time and convert it to a date
    ...
    g.drawString(dateFormatter.format(date), 5, 10)
  }
```

Ukázka Clock

```
  public void run() {
    Thread myThread = Thread.currentThread();
    while (clockThread == myThread) {
      repaint();
      try { Thread.sleep(1000); }
      catch (InterruptedException e) {
        //the VM doesn't want us to sleep anymore,
        //so get back to work
      }
    }
  }
  //overrides Applet's stop method, not Thread's
  public void stop() {
    clockThread = null;
  }
}
```

Třída Thread nebo rozhraní Runnable

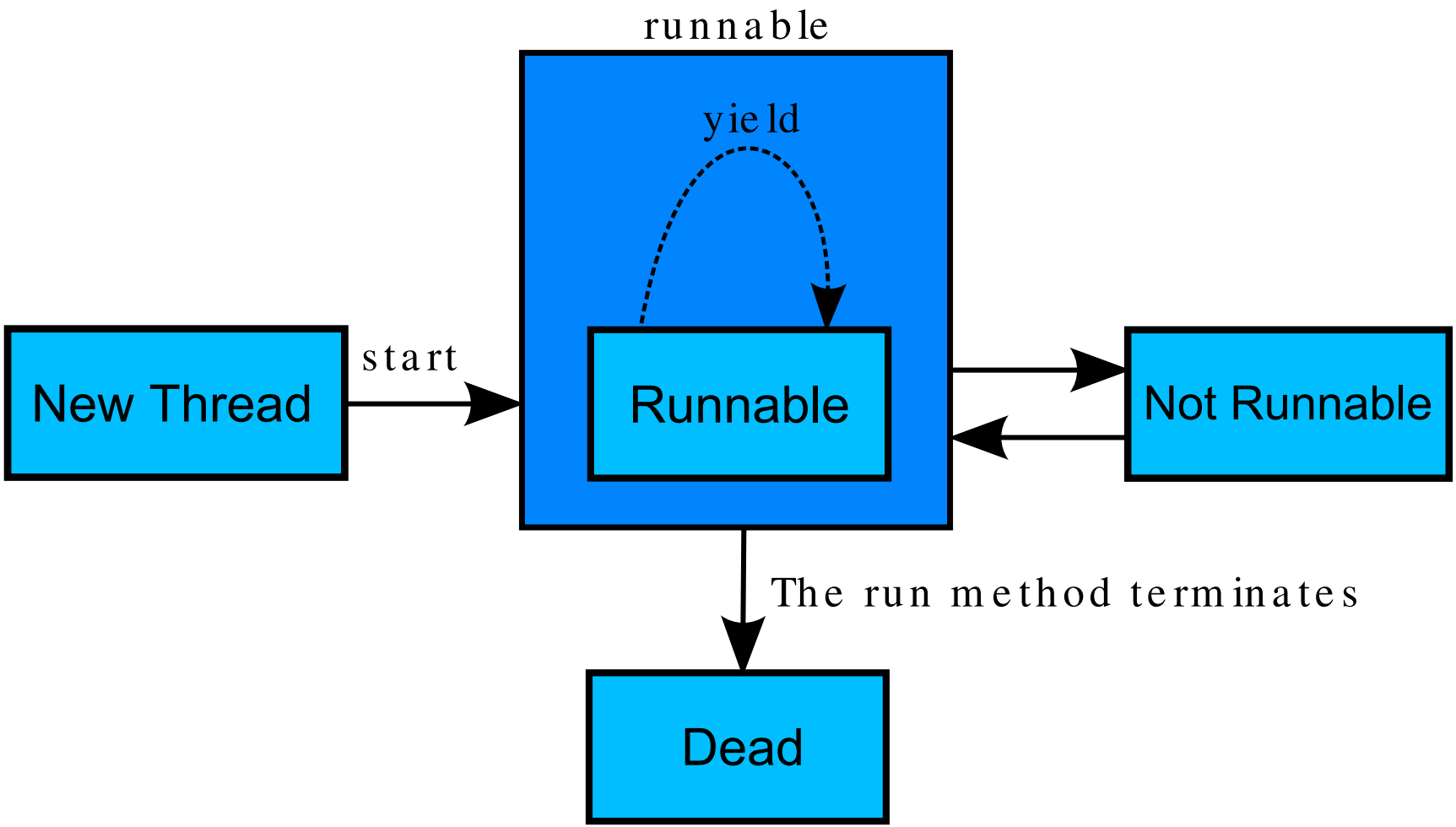
- hodně tříd *potřebuje* dědit (rozšiřovat) jinou třídu

```
public class Clock extends Applet
                    implements Runnable {
    ...
}
```

- Java neumožňuje vícenásobnou dědičnost
- $\Rightarrow$ rozhraní **Runnable**

```
clockThread = new Thread(this, "Clock");
clockThread.start();
```

Životní cyklus vlákna



Životní cyklus vlákna

Vytvoření

- `new Thread(this, "Clock")`

Spuštění

- `start()`
- kód vlákna v metodě `run()` (`Thread` nebo `Runnable`)

Ukončení

- přirozeným doběhnutím metody `run()`
- *existují i jiné metody, ty se ale nedoporučují (deprecated)*
  - `stop()`
  - `destroy()`
  - `suspend()`, `resume()`

Životní cyklus vlákna

Test stavu vlákna

- `isAlive()`
- ⇒ `true` pokud bylo vlákno spuštěno a nebylo ukončeno (není dead)
- ⇒ `false` pokud vlákno nebylo spuštěno, nebo bylo ukončeno (je dead)

Životní cyklus vlákna

Pozastavení (stav *not runnable*)

- `sleep(...)`
- `wait()`
- při i/o operaci

Uvolnění (stav *runnable*)

- uplynutí doby čekání (viz `sleep(...)`)
- `notify()`, `notifyAll()`
- dokončení při i/o operace

Vlákna

Chování vláken závisí na jejich interní reprezentaci.

Native threads

- vlákna operačního systému
- více procesorů
- preemtivní plánování

Green threads

- vlákna na úrovni JVM
- jeden procesor
- vlákno se musí přepnout samo
- již nejsou moc běžná

Plánování vláken

Jedna CPU

- provádění vláken se musí plánovat
- plánovač v Javě je *fixed-priority scheduling*
- plánuje vlákna na základě jejich priority relativně k ostatním vláknům

Priorita

- vlákno *dědí* prioritu vlákna, ve kterém bylo vytvořeno
- čtení/změna priority: `getPriority()`, `setPriority()`
- rozsah: `Thread.MIN_PRIORITY` – `Thread.MAX_PRIORITY`

Plánování vláken

Plánovač

- vybere vlákno (*runnable*) s nejvyšší prioritou
- pokud je jich více se stejnou prioritou, vybere náhodně/spravedlivě

Vlákno běží dokud se nestane:

- na systému s *time-slicing* uběhne přidělené časové kvantum
- jiné vlákno s vyšší prioritou přejde do stavu *runnable*
- skončí metoda `run()`
- vlákno se vzdá procesoru
- vlákno se dobrovolně vzdá procesoru – zpráva `yield()`
  $\Rightarrow$ šance pro ostatní vlákna na *stejné* prioritě

Thread

`Thread Thread.currentThread()`

- vrátí právě běžící vlákno (objekt)

`setName / getName`

- každé vlákno může mít své jméno

`long getId()`

- každé vlákno má svůj jedinečný identifikátor

`Thread.State getState()`

- vrací stav vlákna
- **`enum Thread.State`**

`enum Thread.State`

- NEW – vlákno pouze vytvořeno
- RUNNABLE – běžící vlákno
- BLOCKED – vlákno čeká na monitoru
- WAITING – vlákno čeká na jiné vlákno / operaci (časově neomezeno)
- TIMED_WAITING – vlákno čeká na jiné vlákno (časově omezeno)
- TERMINATED – vlákno bylo ukončeno

Thread – stavy vlákna

WAITING

- `Object.wait()`
- `Thread.join()`
- `LockSupport.park()`
- I/O operace

TIMED_WAITING

- `Object.wait(long)`
- `Thread.join(long)`
- `Thread.sleep(long)`
- `LockSupport.parkNanos(long)`
- `LockSupport.parkUntil(long)`

`java.util.concurrent.locks.LockSupport`

Skupina vláken

`java.lang.ThreadGroup`

- vlákno patří vždy k nějaké skupině
- existuje implicitní systémová skupina
- skupiny tvoří stromovou hierarchii
- příslušnost ke skupině je neměnná
- vlákno implicitně ”dědí” skupinu vytvářejícího vlákna
- **`Thread.currentThread().getThreadGroup()`**

Synchronizace vláken

Problém producent–konzument

- jedno vlákno (producent) zapisuje na sdílené místo data
- druhé vlákno (konzument) tato data čte
- operace zápis/čtení se musí střídat!

Ukázkový příklad

- třída **`Producer`** – producent
- třída **`Consumer`** – konzument
- třída **`CubbyHole`** – sdílený prostor (metody get a put)

Producent–konzument: Producent

```
public class Producer extends Thread {
  private CubbyHole cubbyhole;

  public Producer(CubbyHole c) {
    cubbyhole = c;
  }

  public void run() {
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
      cubbyhole.put(i);
      try {
        sleep((int)(Math.random() * 100));
      } catch (InterruptedException e) { }
    }
  }
}
```

Producent–konzument: Konzument

```
public class Consumer extends Thread {
    private CubbyHole cubbyhole;

    public Consumer(CubbyHole c) {
        cubbyhole = c;
    }

    public void run() {
        int value = 0;
        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            value = cubbyhole.get();
        }
    }
}
```

Producent–konzument: CubbyHole

```
public class CubbyHole {
    private int contents;

    public int get() {
        return contents;
    }

    public int put(int value) {
        contents = value;
    }
}
```

Producent–konzument: možné problémy

Producent je rychlejší

- konzument může ”propásnout” čísla

Konzumer je rychlejší

- konzument čte stejné číslo vícekrát

$\Rightarrow$ race condition

- dvě (příp. více) vlákna čtou/zapisují sdílená data; výsledek zavisí na časování (jak jsou vlákna plánována)

Producent–konzument: možné problémy

$\Rightarrow$ race condition

- dvě (příp. více) vlákna čtou/zapisují sdílená data; výsledek zavisí na časování (jak jsou vlákna plánována)

Nutná synchronizace:

- vlákna nesmí současně přistoupit ke sdílenému objektu
- producent musí indikovat, že hodnota je připravena; nezapisuje dokud si hodnotu nepřečte konzument
- konzument musí indikovat, že přečetl hodnotu; nečte dokud producent nezapíše novou hodnotu

Monitor

Monitor

- kritické sekce
- uzamčení objektu při přístupu ke kritické sekci
- pokud je objekt uzamčen, nikdo jiný nemůže přistupovat je kritickým sekcím objektu
- odemknutí objektu při výstupu z kritické sekce

Monitor v Javě (intrinsic lock)

- součástí každého objektu (třída `Object`)
- klíčové slovo `synchronized`

Kritická sekce v Javě

- metoda
- blok

Producent–konzument: CubbyHole

```
public class CubbyHole {
    private int contents;

    private boolean available = false;
    public synchronized int get() {
        //CubbyHole locked by the Producer
        ...
        // CubbyHole unlocked by the Producer
    }

    public synchronized int put(int value) {
        // CubbyHole locked by the Consumer
        ...
        // CubbyHole unlocked by the Consumer
    }
}
```

Zámek: reentrantní

```
public class Reentrant {
    public synchronized void a() {
        b();
        System.out.println("here I am, in a()");
    }

    public synchronized void b() {
        System.out.println("here I am, in b()");
    }
}
```

Producent–konzument: CubbyHole

```
public class CubbyHole {
    private int contents;
    private boolean available = false;
    public synchronized int get() {
        if (available == true) {
            available = false;
            return contents;
        }
    }
    public synchronized int put(int value) {
        if (available == false) {
            available = true;
            contents = value;
        }
    }
}
```

Producent–konzument: synchronizace

Nutná synchronizace:

- vlákna nesmí současně přistoupit ke sdílenému objektu
- producent musí indikovat, že hodnota je připravena
- konzument musí indikovat, že přečetl hodnotu

- *producent nezapisuje dokud si hodnotu nepřečte konzument*
- *konzument nečte dokud producent nezapíše novou hodnotu*

Producent–konzument: synchronizace

Nutná synchronizace:

- vlákna nesmí současně přistoupit ke sdílenému objektu
- producent musí indikovat, že hodnota je připravena
- konzument musí indikovat, že přečetl hodnotu

- *producent nezapisuje dokud si hodnotu nepřečte konzument*
- *konzument nečte dokud producent nezapíše novou hodnotu*

Synchronizace vláken (třída Object)

`wait()`

- aktuální vlákno bude čekat, dokud se nezavolá **`notify()`** (**`notifyAll()`**) nad objektem

`wait(long timeout)`

- . . . nebo neuplyne timeout

`notify()`

- vzbudí jedno vlákno čekající na monitoru objektu

`notifyAll()`

- vzbudí všechna vlákna čekající na monitoru objektu

Synchronizace vláken (třída Object)

`wait(), ...`

- před suspendováním vlákna se odemkne monitor
- pokud vlákno vlastní více monitorů, odemkne se pouze monitor daného objektu

`notify(), ...`

- řízení není okamžitě předáno vzbuzenému vláknu

Tyto metody může volat pouze to vlákno, které je vlastníkem monitoru

- vstoupení do kritické sekce (**`synchronized`**) – metoda, blok

Producent–konzument: CubbyHole

```
public synchronized int get() {
    while (available == false) {
        try {
            // wait for Producer to put value
            wait();
        } catch (InterruptedException e) { }
    }
    available = false;

    // notify Producer that value has been
    // retrieved
    notifyAll();

    return contents;
}
```

Producent–konzument: CubbyHole

```
public synchronized void put(int value) {
    while (available == true) {
        try {
            // wait for Consumer to get value
            wait();
        } catch (InterruptedException e) { }
    }
    contents = value;
    available = true;

    // notify Consumer that value has been set
    notifyAll();
}
```

Synchronizace vláken – efektivita

Při uzamčení objektu se zvýší náklady na režii

- uvážit změnu návrhu
- použít zámek (synchronized) na konkrétní objekt
- neodbýt souběžný přístup synchronizací všech metod

Blok jako kritická sekce

- stejný princip synchronizace
- metody se nemusí deklarovat jako synchronizované
- deklaruje se objekt, jehož monitor se použije při obsluze kritické sekce

---

```
synchronized(cybbyhole) {
    cybbyhole.put(i);
}
synchronized(cybbyhole) {
    value = cybbyhole.get();
}
```

Přerušení vlákna

Operace `interrupt()` (Thread)

- je nastaven příznak
- přerušitelné operace (`sleep()`, ...) testují tento příznak

Vlákno je běžící

- pouze se nastaví příznak
- lze otestovat (`isInterrupted()`)

Vlákno je čekající

- je nastaven příznak
- vlákno se rozběhne a vygeneruje se výjimka (`InterruptedException`)

Viditelnost proměnné

Viditelnost sdílené proměnné

- změna hodnoty se nemusí projevit okamžitě (optimalizace)
- $\Rightarrow$ klíčové slovo **`volatile`**

Proč nepoužívat stop() a suspend()?

stop()

- uvolní všechny monitory blokované vláknem
- nebezpečí přístupu k objektům v nekonzistentním stavu
- ⇒ přirozené ukončení metody **`run()`**

suspend()*, *resume()

- suspenduje/uvolní vlákno
- suspendované vlákno drží monitor (viz kritická sekce); vlákno, které ho má uvolnit (viz resume), musí vstoupit do této sekce ⇒ dead-lock
- ⇒ **`wait()`**, **`notify()`**

---

více na

`http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/misc/threadPrimitiveDeprecation.html`

Explicitní zámky

`java.util.concurrent.locks`

- rozhraní **`Lock`**, **`Condition`**, **`ReadWriteLock`**
- třídy **`ReentrantLock`**, **`ReentrantReadWriteLock`**
- třída **`ReentrantReadWriteLock.ReadLock`**
- třída **`ReentrantReadWriteLock.WriteLock`**

Lock

```
public interface Lock {
    void lock();
    void lockInterruptibly()
            throws InterruptedException;
    boolean tryLock();
    boolean tryLock(long timeout, TimeUnit unit)
            throws InterruptedException;
    void unlock();
    Condition newCondition();
}
```

ReentrantLock implements Lock

```
Lock lock = new ReentrantLock();

lock.lock();
try {
    ...
} finally {
    lock.unlock();
}
```

Lock a Condition

```
public interface Condition {
    void await() throws InterruptedException;
    boolean await(long time, TimeUnit unit)
            throws InterruptedException;
    long awaitNanos(long nanosTimeout)
            throws InterruptedException;
    void awaitUninterruptibly()
            throws InterruptedException;
    long awaitUntil(Date deadline)
            throws InterruptedException;
    void signal();
    void signalAll();
}
```

Vztah zámků a JVM

Intrinsic locks

- méně flexibilní
- JVM ví o vztahu vlákna a zámku

Explicit locks

- flexibilní
- JVM neví o vztahu vlákna a zámku

Synchronizované struktury

java.util.concurrent

- **BlockingQueue**
- **SynchronousQueue**
- **Semaphore**
- ...

```
private BlockingQueue cubbyhole;
cubbyhole.put(i);

...
```

Synchronizované kolekce

Statické metody třídy **`Collections`**

- **`XXX synchronizedXXX(XXX c);`**
- **`Collection synchronizedSet(Collection c);`**
- **`Map synchronizedMap(Map c);`**
- `...`

Synchronizované kolekce

```
public class SynchronDemo {
    public static void main(String[] args) {
        List seznam = new ArrayList();
        seznam.add(new Integer(20));
        ...
        Iterator i = seznam.iterator();

        // Simulace soubezne akce jineho vlakna!!
        seznam.remove(new Integer(20));
        // ...

        Integer c = (Integer) i.next();
    }
}
```

Vyjimka **ConcurrentModificationException**

Synchronization wrapper

```
public class SynchronDemo2 {
   public static void main(String[] args) {
      List seznam = Collections.
         synchronizedList(new ArrayList());

      seznam.add(new Integer(20));

      synchronized(seznam) {
         Iterator i = seznam.iterator();
         Integer c = (Integer) i.next();
      }
   }
}
```

SynchronizedCollection

```
static class SynchronizedCollection<E> ... {
    Collection<E> c;   // Backing Collection
    Object     mutex;  // Object on which to
                       // synchronize

    SynchronizedCollection(Collection<E> c) {
        this.c = c;
        mutex = this;
    }
    SynchronizedCollection(Collection<E> c,
                           Object mutex)
    {
        this.c = c;
        this.mutex = mutex;
    }
```

SynchronizedCollection

```
public boolean add(E o) {
    synchronized(mutex) {return c.add(o);}
}

public Iterator<E> iterator() {
    return c.iterator();
    // Must be manually synchronized by user!
}
```

Zdroje informací

http://download.oracle.com/javase/
tutorial/essential/

http://www.javaworld.com