Vlákna a konkurentné výpočty

(pokračovanie)

dnes bude:

- komunikácia cez rúry (pipes),
- synchronizácia a kritická sekcia (semafóry),
- deadlock

literatúra:

- Thinking in Java, 3rd Edition, 13.kapitola,
- Concurrency Lesson, resp. Lekcia Súbežnosť,
- Java Threads Tutorial,
- Introduction to Java threads

Cvičenia:

- Simulácie grafické, javafx (ak treba, použiť existujúci kód),
- napr. iné triedenie, iné guličky, plavecký bazén, lienky na priamke, ...

Pozastavenie/uspanie vlákna

- zaťaženie vlákna (nezmyselným výpočtom) vyčerpáva procesor, potrebujeme jemnejšiu techniku,
- nasledujúci príklad ukáže, ako uspíme vlákno bez toho aby sme zaťažovali procesor nepotrebným výpočtom,
- vlákno uspíme na čas v milisekundách metódou Thread.sleep(long millis) throws InterruptedException,
- spánok vlákna môže byť prerušený metódou Thread.interrupt(), preto pre sleep musíme ošetriť výnimku InterruptedException,
- ak chceme počkať, kým výpočeť vlákna prirodzene dobehne (umrie), použijeme metódu Thread.join()
- ak chceme testovať, či život vlákna bol prerušený, použijeme metódu boolean isInterrupted(), resp. Thread.interrupted().

Uspatie vlákna

```
public class SleepingThread extends Thread {
  private int countDown = 5;
  private static int threadCount = 0;
  public SleepingThread() { …  .start(); }
  public void run() {
    while(true) {
      System.out.println(this);
      if(--countDown == 0) return;
      try {
          sleep(100);                          // uspi na 0.1 sek.
      } catch (InterruptedException e) {    // výnimku musíme ochytiť
          throw new RuntimeException(e); // spánok bol prerušený
      }
    }
  }
  public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    for(int i = 0; i < 5; i++) {
      new SleepingThread().join();  // počkaj kým dobehne
      System.out.println("--");
  } }
}
```

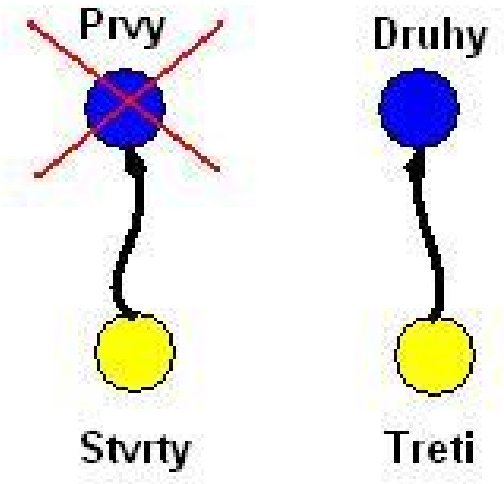
```
#1: 5
#1: 4
#1: 3
#1: 2
#1: 1
--
#2: 5
#2: 4
#2: 3
#2: 2
#2: 1
--
#3: 5
#3: 4
#3: 3
#3: 2
#3: 1
--
#4: 5
#4: 4
#4: 3
#4: 2
#4: 1
--
#5: 5
#5: 4
#5: 3
#5: 2
#5: 1
--
```

Súbor: SleepingThread.java

Čakanie na vlákno

- nasledujúci príklad vytvorí 4 vlákna,
- dva (Prvy, Druhy) triedy Sleeper, ktorý zaspia na 1.5 sek.
- ďalšie dva (Treti, Stvrty) triedy Joiner, ktoré sa metódou join() pripoja na sleeperov a čakajú, kým dobehnú,
- aby vedelo vlákno triedy Joiner, na koho má čakať, konštruktor triedy Joiner dostane odkaz na vlákno (sleepera), na ktorého má čakať,
- medzičasom, výpočet vlákna Prvy násilne zastavíme v hlavnom vlákne metódou interrupt().

```
// hlavný thread:
Sleeper prvy = new Sleeper("Prvy", 1500);
Sleeper druhy = new Sleeper("Druhy", 1500),
Joiner treti = new Joiner("Treti", druhy),
Joiner stvrty = new Joiner("Stvrty", prvy);
prvy.interrupt();
```



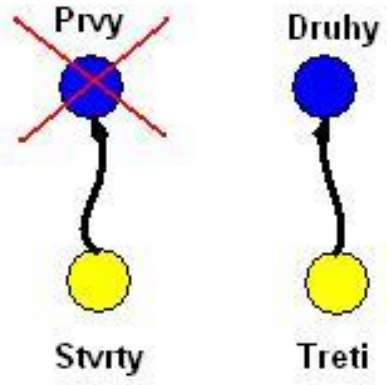
Súbor: SleeperJoiner.java

Čakanie na vlákno - Sleeper

```
class Sleeper extends Thread {
  private int duration;
  public Sleeper( String name,
                  int sleepTime) {
    super(name);
    duration = sleepTime;
    start();
  }
  public void run() {
    try {
        sleep(duration);
    } catch (InterruptedException e) {
        System.out.println(getName() + " preruseny");
      return;
    }
    System.out.println(getName() + " vyspaty");
  }
}
```

Súbor: Sleeper.java

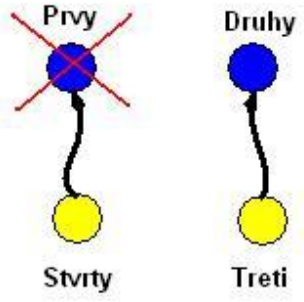
```
class Joiner extends Thread {
  private Sleeper sleeper;
  public Joiner(String name, Sleeper sleeper) {
    super(name);
    this.sleeper = sleeper;
    start();
  }
  public void run() {
   try {
     sleeper.join();
    } catch (InterruptedException e) {
     throw new RuntimeException(e);
    }
    System.out.println(getName() + "dobehol");
  }
}
```



Súbor: Sleeper.java

Ľ akanie na vlákno - Joiner

```
class Sleeper extends Thread {
  private int duration;
  public Sleeper(String name, int sleepTime) {
    super(name);
    duration = sleepTime;
    start();
  }
  public void run() {
    try {
      sleep(duration);
    } catch (InterruptedException e) {
      System.out.println(getName() + " preruseny");
      return;
    }
    System.out.println(getName() + " vyspaty");
  }
}
```




```
Prvy preruseny
Stvrty dobehol
Druhy vyspaty
Treti dobehol
```

Súbor: Joiner.java

```
class Joiner extends Thread {
  private Sleeper sleeper;
  public Joiner(String name,
    Sleeper sleeper) {
    super(name);
    this.sleeper = sleeper;
    start();
  }
  public void run() {
   try {
     sleeper.join();
    } catch (InterruptedException e) {
      throw new RuntimeException(e);
    }
    System.out.println(getName() + "
     dobehol");
  }
}
```

Súbor: Joiner.java

Komunikácia medzi vláknami

- doteraz sme mali príklady vlákien, ktoré medzi sebou (počas ich behu…) nekomunikovali (ak teda nerátame za komunikáciu, že sa zabíjali),
- ak chceme, aby si vlákna vymieňali dáta, vytvoríme medzi nimi rúru (pipe),
- rúra pozostáva z jednosmerne orientovaného streamu, ktorý sa na strane zapisovača (producenta, Sender) tvári ako PipedWriter, a na strane čítača (konzumenta, Reader) ako PipedReader,
- aby čítač čítal z rúry, ktorú zapisovač pre neho vytvoril, musíme mu poslať odkaz na vytvorenú rúru PipedWriter, inak máme dve rúry...
- do rúry možeme písať bajty, znaky, reťazce, objekty, v závislosti, ako si rúru *zabalíme* (viď techniky z I/O prednášky),
- vytvoríme objekt Sender (producent), ktorý do rúry zapíše znaky A, B, ..., z
- objekt Reader (konzument), ktorý číta znaky z rúry a vypíše A, B, ..., z

```
public class SenderReceiver {          // hlavný program
  public static void main(String[] args) throws Exception {
    Sender sender = new Sender();
    Receiver receiver = new Receiver(sender);
    sender.start(); receiver.start();
  }
}
```

Súbor: SenderReceiver.java

Výstupná rúra

```
class Sender extends Thread {
  private Random rand = new Random();

  private PipedWriter out =
    new PipedWriter();    // vytvor rúru na zápis, rúra je ukrytá, private

  public PipedWriter getPipedWriter() {
    return out;         // daj rúru, bude ju potrebovať Reader na nadviazanie spojenia
  }
  public void run() {
    while(true) {

      for(char c = 'A'; c <= 'z'; c++) {
        try {
          out.write(c);                          // vypíš znaky abecedy do rúry
          sleep(rand.nextInt(500));              // a za každým počkaj max.½ sek.
        } catch(Exception e) {
          throw new RuntimeException(e);
        }
      }
    }
```

Súbor: Sender.java

Vstupná rúra

```
class Receiver extends Thread {
  private PipedReader in;

  public Receiver(Sender sender) throws IOException {
    in = new PipedReader(sender.getPipedWriter());        // vytvor vstupnú
  }                                                       // rúru napojenú na výstupnú rúru Sendera
  public void run() {
    try {
      while(true)                                         // čítaj zo vstupnej rúry a píš na konzolu
        System.out.println("Read: " + (char)in.read());
    } catch(IOException e) {
      throw  new RuntimeException(e);
    }
  }
}
```

```
Read: A
Read: B
Read: C
Read: D
Read: E
Read: F
Read: G
Read: H
Read: I
Read: J
Read: K
Read: L
Read: M
Read: N
Read: O
Read: P
Read: Q
Read: R
```

Súbor: Receiver.java

Synchronizácia

- v prípade, ak dve vlákna zdieľajú nejaký zdroj, môže dôsť k nepredvídateľnej interakcii vlákien (napr. jeden číta, druhý píše),
- spôsob, akým sa riadi prístup k zdieľaným zdrojom (synchronizácia) sa volá:
  - kritická sekcia,
  - semafór, mutex, PV operácie,
  - java monitor.

- skúsime si sami naprogramovať semafór, aby sme pochopili, prečo táto vlastnosť musí byť súčasťou jazyka, a nie naprogramovaná v jazyku,

- semafór reprezentuje celočíselná premenná semaphore inicializovaná na 0,
- ak je zdieľaný zdroj voľný, semaphore == 0,
- záujem použiť zdroj vyjadrím pomocou aquire(),
- ak prestanem používať zdroj, uvoľním ho pomocou release().

- Najivná implementácia vedie k tomu, že dve vlákna sa v istom čase dozvedia, že zdroj je voľný, oba si ho zarezervujú, a dochádza ku kolízii

Semafór

prvý pokus

```
public class Semaphore {

// neoptimalizuj !
private volatile int semaphore = 0;

// môžem vojsť ?
public boolean available() {
    return semaphore == 0;
}

// idem dnu !
public void acquire() {
    ++semaphore; }

// odchádzam...
public void release() {
    --semaphore; }
}
```

```
public class SemaphoreTester
                                    extends Thread {
public void run() {
   while(true)   // stále chce dnu a von
    if(semaphore.available()) {
      yield();        // skôr to spadne ☺
      semaphore.acquire();
      yield();
      semaphore.release();
      yield();
    }
  }

public static void main(String[] args)
                                    throws Exception {
          // pustíme semafór a dva testery
   Semaphore sem=new Semaphore() .start();
   new SemaphoreTester(sem).start();
   new SemaphoreTester(sem) .start();
  }
}
```

Synchronizovaná metóda

Riešenie: Java ponúka konštrukciu synchronized:

- **synchronizovaná metóda** – nie je možné súčasne volať dve synchronizované metódy toho istého objektu (kým sa vykonáva jedna synchronizovaná, ostatné sú pozastavené do jej skončenia).

```
public class SynchronizedSemaphore extends Semaphore {
  private volatile int semaphore = 0;
  public synchronized boolean available() { return semaphore == 0;  }
  public synchronized void acquire() { ++semaphore; }
  public synchronized void release() { --semaphore;  }
```

... a teraz to už pojde ?

```
public void run() {
    while(true)
       if(semaphore.available()) {
          semaphore.acquire();
          semaphore.release();
    }
  }
```

Synchronizovaná (kritická) sekcia

Atomická operácia:

- sú operácie, ktoré sú nedeliteľné pre plánovač vlákien, napr. nie je možné, aby jedno vlákno zapísalo len spodné 2 bajty do premennej int,
- čítanie a zápis do premenných primitívnych typov a premenných deklarovaných ako volatile je atomická operácia.

ale

- operácie nad zložitejšími štruktúrami nemusia byť synchronizované (napr. ArrayList, HashMap, LinkedList, … (v dokumentácii nájdete Note that this implementation is not synchronized).

Riešenie:

synchronizovaná sekcia – správa sa podobne ako synchronizovaná metóda, ale musí špecifikovať objekt, na ktorý sa synchronizácia vzťahuje.

```
while(true)
 synchronized(this) {
    if(semaphore.available()) {
            semaphore.acquire();
            semaphore.release();
    }
```

Nesynchronizovaný prístup

Iný, praktickejší príklad dátovej štruktúry, ku ktorej nesynchronizovane pristupujú (modifikujú ju) dve vlákna:

```
public class ArrayListNotSynchronized extends Thread {

    ArrayList<Integer> al = new ArrayList<Integer>();          // štruktúra
    int counter = 0;                                           // počítadlo

    //not synchronized
    public void add() {
        System.out.println("add "+counter);
        al.add(counter); counter++;          // pridaj prvok do štruktúry
    }
    //not synchronized
    public void delete() {
        if (al.indexOf(counter-1) != -1) {      // nachádza sa v štruktúre
            System.out.println("delete "+(counter-1));
            al.remove(counter-1); counter--;      // vyhoď zo štruktúry
        }
    }
}
```

Súbor: ArrayListNotSynchronized .java

Pokračovanie – dve vlákna

Vlákno t1 pridáva prvky, vlákno t2 maže zo štruktúry

```
public class ArrayListTester extends Thread {
    boolean kind;
    static ArrayListNotSynchronized al = new ArrayListNotSynchronized();
    public ArrayListTester(boolean kind) { this.kind = kind; }

    public void run() {
      while (true) {
        if (kind)
          al.add();
        else
          al.delete();
        }
    }
    public static void main(String[] args) {
          new ArrayListTester(true).start();
          new ArrayListTester(false).start();
    }
}
```

… a dostaneme (keď zakomentujeme System.out.println):

```
Exception in thread "Thread-2" java.lang.IndexOutOfBoundsExcepti
Index: 17435, Size: 17432
at java.util.ArrayList.RangeCheck(Unknown Source)
at java.util.ArrayList.remove(Unknown Source)
at ArrayListNotSynchronized.delete(ArrayListNotSynchronized.java:
at ArrayListTester.run(ArrayListTester.java:12)
```

Súbor: ArrayListTester.java

Synchronizovaná metóda vs. štruktúra

```
public class ArrayListNotSynchronized extends Thread {
ArrayList<Integer> al = new ArrayList<Integer>();
int counter = 0;
    synchronized public void add() { al.add(counter); counter++; }
    synchronized public void delete() {
       if (al.indexOf(counter-1) != -1) { al.remove(counter-1); counter--; }
}

public class ArrayListSynchronized extends Thread {
    List al = Collections.synchronizedList(new ArrayList());
    int counter = 0;
    public void add() { al.add(counter); counter++; }
    public void delete() {
      if (al.indexOf(counter-1) != -1) { al.remove(counter-1); counter--; }
    }
}
```

Súbory: ArrayListNotSynchronized .java, ArrayListSynchronized .java

Monitor a ļ akacia listina

Každý objekt má monitor, ktorý obsahuje jediné vlákno v danom čase. Keď sa vstupuje do synchronizovanej sekcie/metódy viazanej na tento objekt, vlákno sa poznačí v monitore. Ak sa opäť pokúša vlákno dostať do synchronizovanej sekcie, monitor už obsahuje iné vlákno, preto je vstup do sekcie pozastavený, kým toto neopustí sekciu (a monitor sa uvoľní).

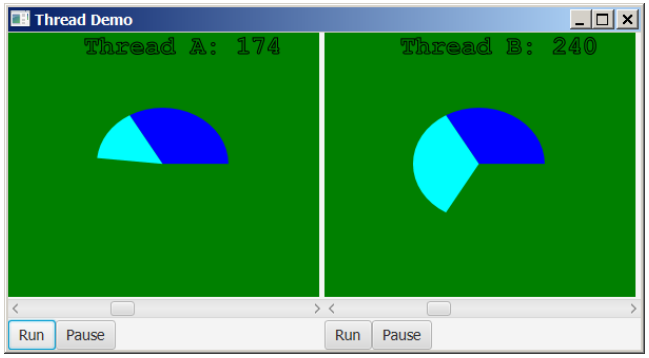
Každý objekt má čakaciu listinu – tá obsahuje vlákna uspané prostredníctvom volania objekt.wait(), ktoré čakajú, kým iné vlákno prebudí tento objekt prostredníctvom objekt.notify().

```
public class Semaphore {
  private int value;
  public Semaphore(int val) {
     value = val; }
public synchronized void release() {
    ++value;
    notify();          // this.notify();
  }
}
```

```
public synchronized void acquire() {
   while (value == 0)
     try {
           wait();              // this.wait();
     } catch (InterruptedException ie) { }
   value--;
}
```

java.util.concurrent.Semaphor

Thread demo



Simulujeme dve rovnako rýchlo beģiace vlákna

- s moģnosŠou pozastavenia a opätovného spustenia,
- slajder ukazuje veĎkosŠkritickej oblasti,

ale,

- **nesimulujeme ģiaden monitor nad kritickou oblasŠou, zatiaĎ**

Ġtruktúra:

- ThreadPane je BorderPane a obsahuje panely:
  - TOP: GraphicCanvas typu Canvas, kreslí modrý pizza diagram na základe troch uhlov,
  - CENTER: Slider typu ScrollBar na nastavovanie veĎkosti kritickej oblasti,
  - BOTTON: FlowPane obsahujúci gombíky Run a Pause

Ako pozastaviŠanimáciu:

- boolean suspended = false
- aktívne ļ akanie while (true) { é if (suspened) sleep(chvílo ļ ku); é }
- pasívne ļ akanie, pomocou wait & notify

Zdroj: pôvodná appletová verzia http://www.doc.ic.ac.uk/~jnm/book/book_applets/concurrency.html

Neaktívne ļ akanie

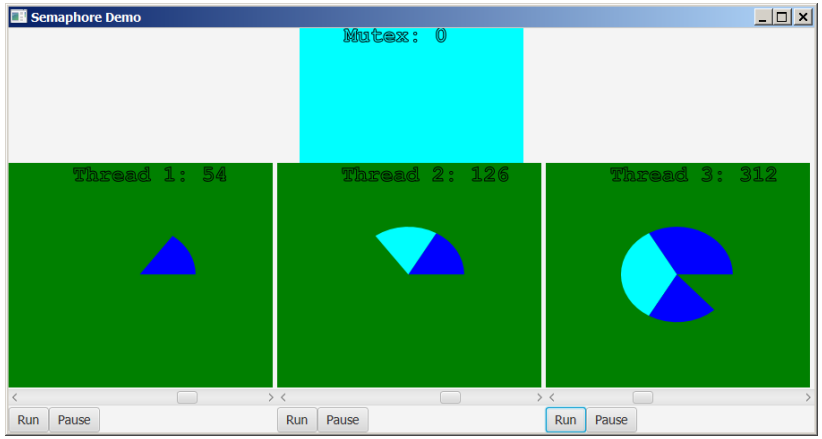
wait & notify

```
synchronized void waitIfSuspended() throws InterruptedException {
   while (suspended)     // ak je vlákno suspended, tak sa zablokuje vo wait
         wait();
}

void pauseThread() {     // reakcia na button Pause, treba suspendovať vlákno
   if (!suspended) {
         suspended = true;
         display.setColor(Color.RED); // reakcia do GUI, premaľuj na RED
   }
}

void restartThread() {   // reakcia na button Run, treba ODsuspendovať vlákno
   if (suspended) {
         suspended = false;
         display.setColor(Color.GREEN);// reakcia do GUI, premaľuj na GREEN
         synchronized (this) notify(); // tento notify odblokuje čakajúci wait
   }
}
```

Súbor: ThreadDemo, ThreadPanel.java

Semaphore

loop




```
class SemaphoreLoop implements Runnable {
    public void run() {
      try {
         while (true) {
           while (!ThreadPanel.rotate()) //false ak nie som v kritickej oblasti
                 ;                       // život mimo kritickej oblasti
           semaphore.aquire();           // vkroč do kritickej oblasti
           while (ThreadPanel.rotate())  // true ak som v kritickej oblasti
                 ;                       // som v kritickej oblasti
           semaphore.release();          // výstup z kritickej oblasti
         }
      } catch (InterruptedException e) { }
   }
}
```

Súbor: SemaphoreDemo.java

Zdroj: pôvodná appletová verzia http://www.doc.ic.ac.uk/~jnm/book/book_applets/concurrency.html

Semaphore
main stage

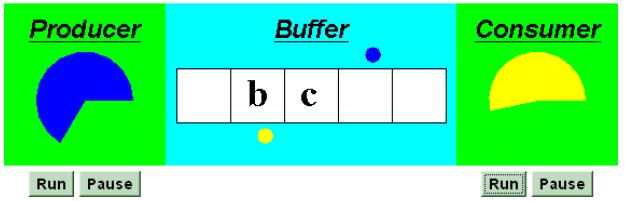
```
public void start(Stage stage) throws Exception {
    BorderPane bp = new BorderPane();
    semaDisplay = new NumberCanvas("Mutex");
    StackPane.setAlignment(semaDisplay, Pos.CENTER);
    StackPane topPane = new StackPane(semaDisplay);
    bp.setTop(topPane);
    FlowPane pane = new FlowPane();
    thread1 = new ThreadPanel("Thread 1", Color.BLUE, true);
    thread2 = new ThreadPanel("Thread 2", Color.BLUE, true);
    thread3 = new ThreadPanel("Thread 3", Color.BLUE, true);
    Semaphore mutex = new DisplaySemaphore(semaDisplay, 1); ??? 2 ???
    thread1.start(new SemaphoreLoop(mutex));
    thread2.start(new SemaphoreLoop(mutex));
    thread3.start(new SemaphoreLoop(mutex));
    pane.getChildren().addAll(thread1, thread2, thread3);
    bp.setBottom(pane);
    Scene scene = new Scene(bp, 900, 450, Color.GREY);
    stage.setScene(scene);
    stage.setTitle("Semaphore Demo");
    stage.show();
}
```

Súbor: SemaphoreDemo.java

Ohraničený buffer

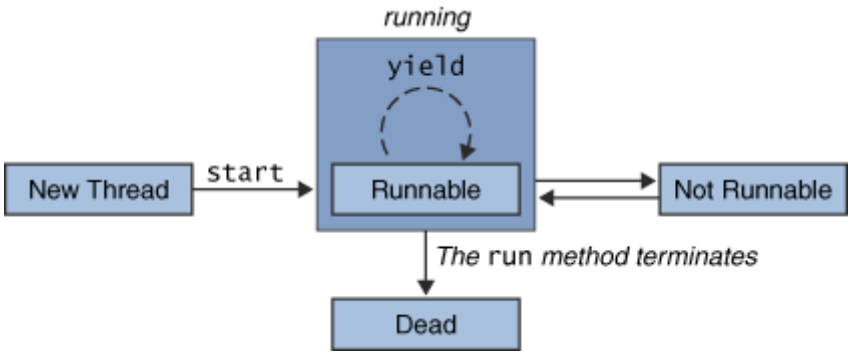
Príklad: producer-consumer:

```
// zapíš objekt do buffra
   public synchronized void put(Object o) throws InterruptedException {
       while (count==size) wait();     // kým je buffer plný, čakaj...
       buf[in] = o;
       ++count;
       in=(in+1) % size;
       notify();                       // keď si zapísal, informuj čakajúceho
    }
// vyber objekt do buffra
    public synchronized Object get() throws InterruptedException {
       while (count==0) wait();        // kým je buffer prázdny, čakaj...
       Object o =buf[out];
       buf[out]=null;
       --count;
       out=(out+1) % size;
       notify();                       // keď si vybral prvok, informuj ...
       return (o);
    }
```



Zdroj: http://www.doc.ic.ac.uk/~jnm/book/book_applets/concurrency.html

Stavy vlákna

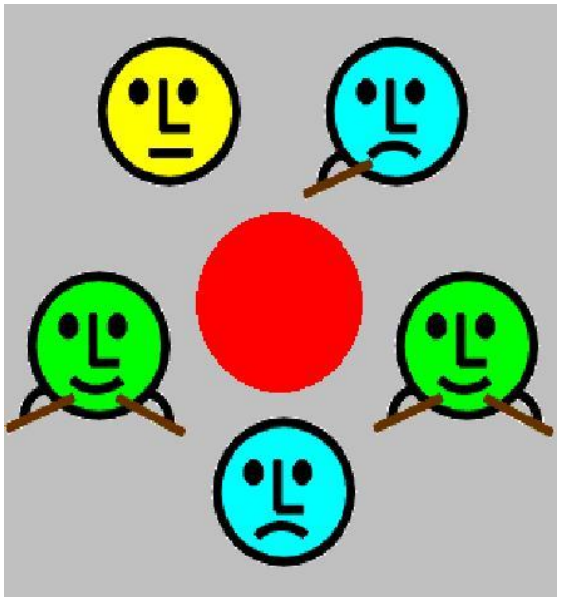


- new – nenaštartovaný ešte,
- runnable – môže bežať, keď mu bude pridelený CPU,
- dead – keď skončí metóda run(), resp. po stop(),
- blocked – niečo mu bráni, aby bežal:
  - **sleep**(miliseconds) – počká daný čas, ak nie je interrupted...
  - **wait**(), resp. **wait**(milisec) čaká na správu **notify**() resp. **notifyAll**() ,
  - čaká na I/O,
  - pokúša sa zavolať **synchronized** metódu.

sleep vs. wait

keď vlákno volá wait(), výpočet je pozastavený, ale iné synchronizované metódy (tohto objektu) môžu byt volané

Večerajúci filozofovia

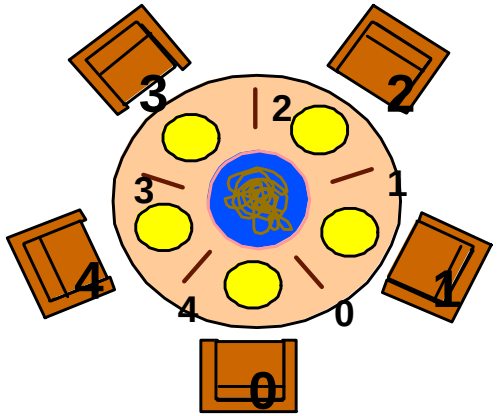


```
class Fork {
    private boolean taken=false;
    private PhilCanvas display;
    private int identity;

    Fork(PhilCanvas disp, int id) {
       display = disp; identity = id;}

  synchronized void put() {
      taken=false;
      display.setFork(identity,taken);
      notify();
  }

  synchronized void get() throws java.lang.InterruptedException {
      while (taken) wait();
      taken=true;
      display.setFork(identity,taken);
  }
}
```

Súbor: Fork.java

Zdroj: http://www.cse.psu.edu/~catuscia/teaching/cg428/Concurrency_applets/concurrency/diners/

Večerajúci filozofovia




```
class Philosopher extends Thread {
 private PhilCanvas view;
 . . . .
  public void run() {
    try {
      while (true) {                                  // thinking
        view.setPhil(identity,view.THINKING);
        sleep(controller.sleepTime());                // hungry
        view.setPhil(identity,view.HUNGRY);
        right.get();                                  // gotright chopstick
        view.setPhil(identity,view.GOTRIGHT);
        sleep(500);
        left.get();                                         // eating
        view.setPhil(identity,view.EATING);
        sleep(controller.eatTime());
        right.put();
        left.put();
      }
    } catch (java.lang.InterruptedException e){}
  }
}
```

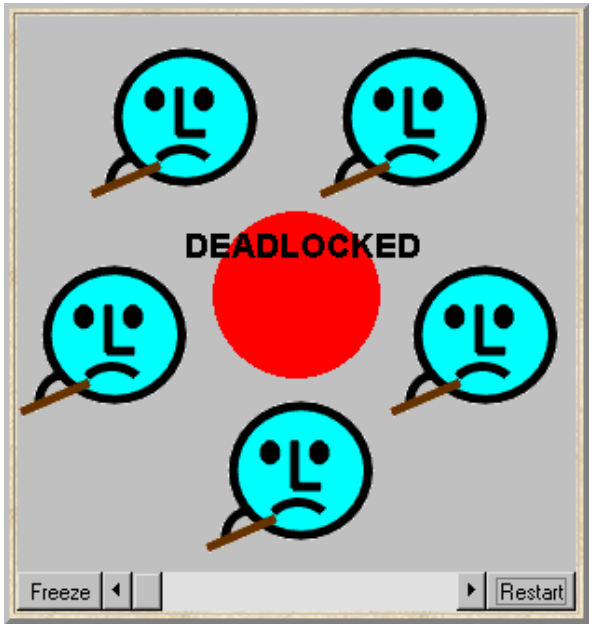
Súbor: Philosopher.java

Zdroj: http://www.cse.psu.edu/~catuscia/teaching/cg428/Concurrency_applets/concurrency/diners/

http://www.doc.ic.ac.uk/~jnm/book/book_applets/Diners.html

Večerajúci filozofovia

```
for (int i =0; i<N; ++i)
    fork[i] = new Fork(display,i);
for (int i =0; i<N; ++i){
    phil[i] = new Philosopher
          (this,i,fork[(i-1+N)%N],fork[i]);
  phil[i].start();
}
```




```
Phil 0 thinking
Phil 0 has Chopstick 0 Waiting for Chopstick 1
Phil 0 eating
Phil 0 thinking
Phil 0 has Chopstick 0 Waiting for Chopstick 1
Phil 0 eating
Phil 0 thinking
Phil 0 has Chopstick 0 Waiting for Chopstick 1
Phil 0 eating
Phil 0 thinking
Phil 0 has Chopstick 0 Waiting for Chopstick 1
Phil 0 eating
Phil 0 thinking
Phil 0 has Chopstick 0 Waiting for Chopstick 1
Phil 0 eating
Phil 0 thinking
Phil 0 has Chopstick 0 Waiting for Chopstick 1
Phil 1 thinking
Phil 2 thinking
Phil 3 thinking
Phil 4 thinking
Phil 1 has Chopstick 1 Waiting for Chopstick 2
Phil 2 has Chopstick 2 Waiting for Chopstick 3
Phil 3 has Chopstick 3 Waiting for Chopstick 4
Phil 4 has Chopstick 4 Waiting for Chopstick 0
```

Poučený večerajúci filozof

```
class Philosopher extends Thread {
 private PhilCanvas view;
 . . . .
  public void run() {
    try {
      while (true) {                                  // thinking
        view.setPhil(identity,view.THINKING);
        sleep(controller.sleepTime());                // hungry
        view.setPhil(identity,view.HUNGRY);
          if (identity%2 == 0) {
             left.get();                              // gotleft chopstick
              view.setPhil(identity,view.GOTLEFT);
          } else {
               right.get();                                   // gotright chopstick
               view.setPhil(identity,view.GOTRIGHT);
          }
          sleep(500);
          if (identity%2 == 0)
               right.get();                                   // eating
          else
              left.get();                                     // eating
           view.setPhil(identity,view.EATING);
        sleep(controller.eatTime());
        right.put();
        left.put();
      }
    } catch (java.lang.InterruptedException e){}
  }
}
```

Súbor: FixedPhilosopher.java

Zdroj: http://www.cse.psu.edu/~catuscia/teaching/cg428/Concurrency_applets/concurrency/diners/