

# Vícevláknové aplikace

Jiří Vokřínek

Katedra počítačů

Fakulta elektrotechnická

České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 7

**B6B36PJV – Programování v JAVA**

# Část 1 – Paralelní programování

Paralelismus a operační systém

Výpočetní proces a stavy procesu

Víceprocesorové systémy

Synchronizace výpočetních toků

## Část 2 – Vícevláknové aplikace

Vlákna - terminologie, použití

Vícevláknové aplikace v operačním systému

Vlákna v Javě

# Část I

## Část 1 – Paralelní programování

## Paralelní programování

Idea pochází z 60-tých let spolu s prvními multiprogramovými a pseudoparalelními systémy.

- Můžeme rozlišit dva případy paralelismu:
  - hardwarový,
  - softwarový - pseudoparalelismus.

I programy s paralelními konstrukcemi mohou běžet v pseudoparalelním prostředí a to i na víceprocesorovém výpočetním systému.

# Motivace

„Proč se vůbec paralelním programováním zabývat?“

- Navýšení výpočetního výkonu.  
*Paralelním výpočtem nalezneme řešení rychleji.*
- Efektivní využívání strojového času.  
*Program sice běží, ale čeká na data.*
- Zpracování více požadavků najednou.  
*Například obsluha více klientů v architektuře klient/server.*

*Základní výpočetní jednotkou je proces – „program“*

# Motivace

„Proč se vůbec paralelním programováním zabývat?“

- Navýšení výpočetního výkonu.  
*Paralelním výpočtem nalezneme řešení rychleji.*
- Efektivní využívání strojového času.  
*Program sice běží, ale čeká na data.*
- Zpracování více požadavků najednou.  
*Například obsluha více klientů v architektuře klient/server.*

*Základní výpočetní jednotkou je proces – „program“*

## Výpočetní proces

Proces je spuštěný program ve vyhrazeném prostoru paměti. Jedná se o entitu operačního systému, která je plánována pro nezávislé provádění.

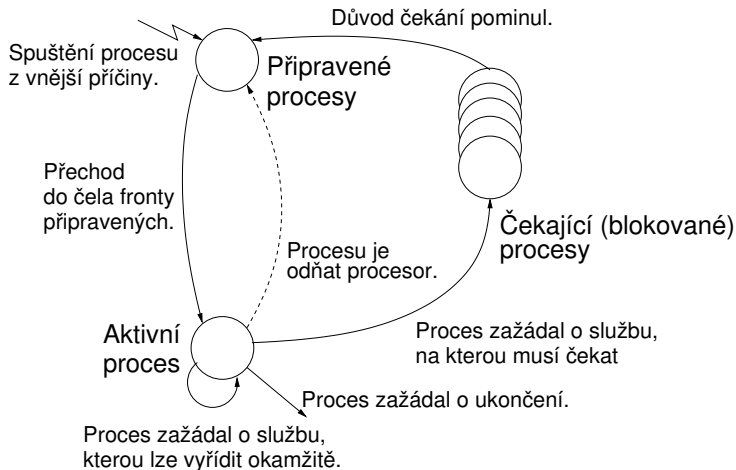
Stavy procesu:

- **Executing** - právě běžící na procesoru.
- **Blocked** - čekající na periferie.
- **Waiting** - čekající na procesor.

Proces je identifikován v systému identifikačním číslem PID. Plánovač procesů řídí efektivní přidělování procesoru procesům na základně jejich vnitřního stavu.



# Stavy procesu



## Příklad výpisu procesů

```

TOP
last pid: 1666; load averages: 2.34, 1.00, 0.56 up 0+00:21:21 20:37:22
87 processes: 1 running, 86 sleeping
CPU: 97.1% user, 1.4% nice, 1.0% system, 0.6% interrupt, 0.0% idle
Mem: 331M Active, 2720M Inact, 714M Wired, 28M Cache, 404M Buf, 23M Free
ARC: 25M Total, 33K MFU, 24M MRU, 48K Anon, 112K Header, 720K Other
Swap: 2048M Total, 2444K Used, 2045M Free

```

PID	USERNAME	THR	PRI	NICE	SIZE	RES	STATE	C	TIME	WCPU	COMMAND
1612	jf	16	52	0	1058M	21156K	uwait	1	2:03	184.42%	java
874	root	1	25	0	919M	45892K	select	1	0:16	7.96%	Xorg
1569	jf	5	52	5	315M	89640K	kqread	0	0:04	1.37%	gimp-2.8
1125	jf	4	20	0	216M	16104K	uwait	0	0:06	0.29%	mocp
1664	root	1	22	0	81508K	8684K	select	1	0:00	0.29%	xterm
1666	root	1	21	0	21924K	2584K	CPU1	1	0:00	0.29%	top
1023	jf	4	20	0	323M	41148K	select	0	0:25	0.20%	owncloud
997	jf	1	20	0	183M	29680K	select	1	0:01	0.10%	openbox
1095	jf	1	28	0	61508K	7512K	select	1	0:56	0.00%	mc
1088	jf	1	25	5	90424K	13896K	select	1	0:15	0.00%	xpdf
1014	jf	1	21	0	201M	33888K	select	1	0:06	0.00%	gkrellm
1081	jf	1	20	0	109M	19544K	select	0	0:02	0.00%	urxvt
1092	jf	1	20	0	23908K	2800K	select	1	0:02	0.00%	tmux
1572	jf	1	52	5	193M	33892K	select	1	0:01	0.00%	script-fu
1319	jf	2	22	0	58900K	11036K	select	0	0:01	0.00%	vim
867	root	1	20	0	110M	8312K	wait	0	0:01	0.00%	slim

*V současných operačních systémech typicky běží celá řada procesů v pseudoparalelní/paralelním režimu.*

## Víceprocesorové systémy

- Víceprocesorové (jádrové) systémy umožňují skutečný paralelismus.
- Musí být řešena synchronizace procesorů (výpočetních toků) a jejich vzájemná datová komunikace
  - Prostředky k **synchronizaci** aktivit procesorů.
  - Prostředky pro komunikaci mezi procesory.

# Architektury

Řízení vykonávání jednotlivých instrukcí.

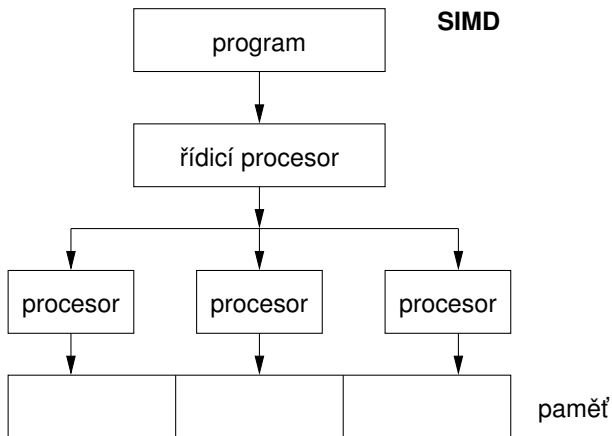
- SIMD (single-instruction, multiple-data) - stejné instrukce jsou vykonávány na více datech. Procesory jsou identické a pracují synchronně. *Příkladem může být vykonávání MMX, SSE, 3dnow! instrukcí, „vektorizace“.*
- MIMD (multiple-instruction, multiple-data) - procesory pracují nezávisle a asynchronně.

Řízení přístupu k paměti.

- Systémy se sdílenou pamětí - společná centrální paměť.
- Systémy s distribuovanou pamětí - každý procesor má svou paměť.

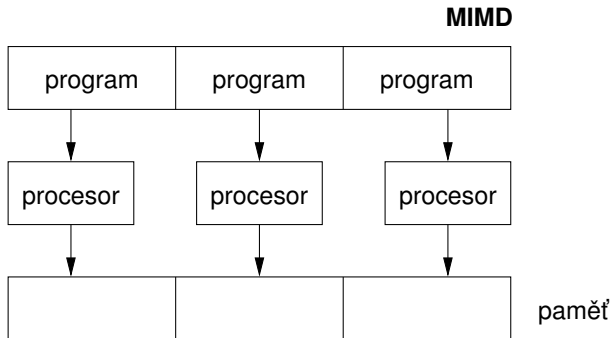
*Informativní*

# SIMD

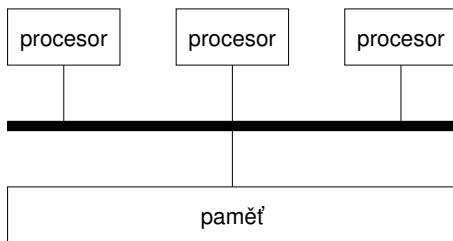


*Informativní*

## MIMD

*Informativní*

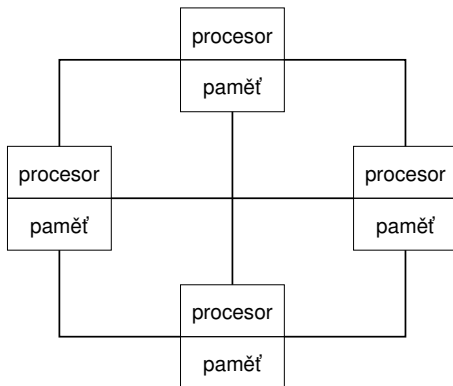
## Systémy se sdílenou pamětí



- Procesory komunikují prostřednictvím sdíleného paměťového prostoru.
- Mohou tak také synchronizovat své aktivity → problém exkluzivního přístupu do paměti.

*Informativní*

## Systemy s distribuovanou pamětí



Není problém s exkluzivitou přístupu do paměti, naopak je nutné řešit komunikační problém přímými komunikačními kanály mezi procesory.

*Informativní*



## Úloha operačního systému

- Operační systém integruje a synchronizuje práci procesorů, odděluje uživatele od fyzické architektury.
- Operační systém poskytuje:
  - Prostředky pro tvorbu a rušení procesů.
  - Prostředky pro správu více procesorů a procesů, rozvrhování procesů na procesory.
  - Systém sdílené paměti s mechanismem řízení.
  - Mechanismy mezi-procesní komunikace.
  - Mechanismy synchronizace procesů.
- V rámci spuštěného Java programu plní virtuální stroj **JVM** spolu se základními knihovnami JDK roli operačního systému
  - Zapouzdřuje přístup k hw (službám OS)*
- To co platí pro procesy na úrovni OS platí analogicky pro samostatné výpočetní toky v rámci **JVM**

*V Javě se jedná o vlákna*

## Úloha operačního systému

- Operační systém integruje a synchronizuje práci procesorů, odděluje uživatele od fyzické architektury.
- Operační systém poskytuje:
  - Prostředky pro tvorbu a rušení procesů.
  - Prostředky pro správu více procesorů a procesů, rozvrhování procesů na procesory.
  - Systém sdílené paměti s mechanismem řízení.
  - Mechanismy mezi-procesní komunikace.
  - Mechanismy synchronizace procesů.
- V rámci spuštěného Java programu plní virtuální stroj **JVM** spolu se základními knihovnamí JDK roli operačního systému
  - Zapouzdřuje přístup k hw (službám OS)*
- To co platí pro procesy na úrovni OS platí analogicky pro samostatné výpočetní toky v rámci **JVM**

*V Javě se jedná o vlákna*

## Úloha operačního systému

- Operační systém integruje a synchronizuje práci procesorů, odděluje uživatele od fyzické architektury.
- Operační systém poskytuje:
  - Prostředky pro tvorbu a rušení procesů.
  - Prostředky pro správu více procesorů a procesů, rozvrhování procesů na procesory.
  - Systém sdílené paměti s mechanismem řízení.
  - Mechanismy mezi-procesní komunikace.
  - Mechanismy synchronizace procesů.
- V rámci spuštěného Java programu plní virtuální stroj **JVM** spolu se základními knihovnami JDK roli operačního systému
  - Zapouzdřuje přístup k hw (službám OS)*
- To co platí pro procesy na úrovni OS platí analogicky pro samostatné výpočetní toky v rámci **JVM**

*V Javě se jedná o vlákna*

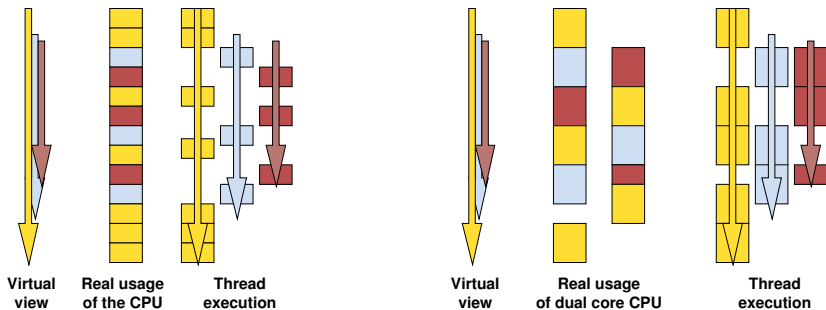
## Paralelní zpracování a programovací jazyky

- Z pohledu paralelního zpracování lze programovací jazyky rozdělit na dvě skupiny
  1. Jazyky bez explicitní podpory paralelismu
    - Paralelní zpracování ponechat na překladači a operačním systému  
*Např. automatická „vektorizace“*
    - Paralelní konstrukce explicitně označit pro kompilátor.  
*Např. OpenMP*
    - Využití služeb operačního systému pro paralelní zpracování.
  2. Jazyky s explicitní podporou paralelismu
    - Nabízejí výrazové prostředky pro vznik nového procesu (výpočetního toku)

Granularita procesů - od paralelismu na úrovni instrukcí až po paralelismus na úrovni programů.

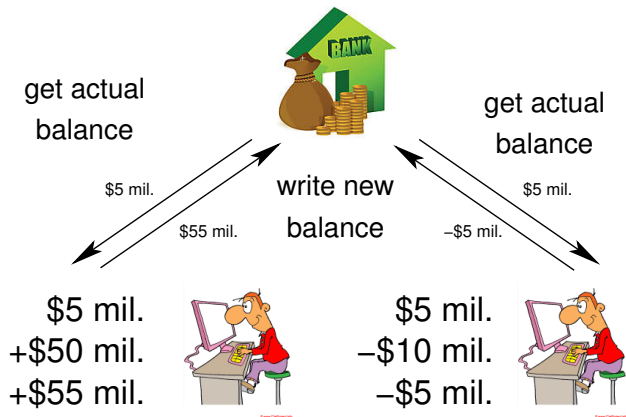
## Synchronizace výpočetních toků

- Klíčovým problémem paralelního programování je, jak zajisti efektivní sdílení prostředků a zabránit kolizím
- Je nutné řešení problémů vzniklých z možného paralelního běhu bez ohledu na to, zdali se jedná o skutečně paralelní nebo pseudoparalelní prostředí



## Problém souběhu – příklad

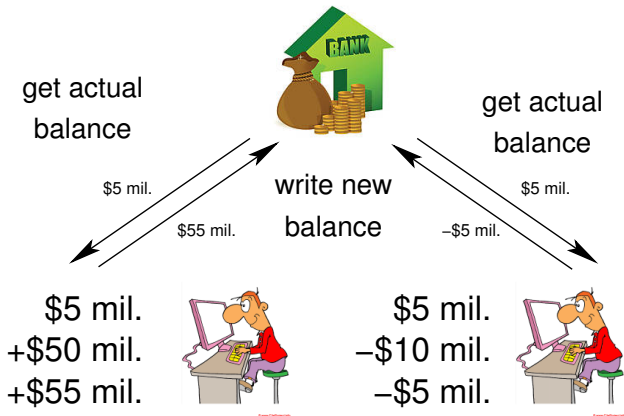
- Současná aktualizace zůstatku na účtě může vést bez exkluzivního přístupu k různým výsledkům



Je nutné zajistit alokování zdrojů a exkluzivní (synchronizovaný) přístup jednotlivých procesů ke sdílenému prostředku (bankovnímu účtu).

## Problém souběhu – příklad

- Současná aktualizace zůstatku na účtě může vést bez exkluzivního přístupu k různým výsledkům



Je nutné zajistit alokování zdrojů a exkluzivní (synchronizovaný) přístup jednotlivých procesů ke sdílenému prostředku (bankovnímu účtu).

# Semaforey

- Základním prostředkem pro synchronizaci v modelu se sdílenou pamětí je **Semafor** *E. W. Dijkstra*
- Semafor je proměnná typu integer, přístupná operacemi:
  - *InitSem* - inicializace.
  - *Wait* -  $\begin{cases} S > 0 - S = S - 1 \\ \text{jinak} - \text{pozastavuje činnost volajícího procesu.} \end{cases}$
  - *Signal* -  $\begin{cases} \text{probudí nějaký čekající proces pokud existuje} \\ \text{jinak} - S = S + 1. \end{cases}$
- Semaforey se používají pro přístup ke sdíleným zdrojům.
  - $S < 0$  - sdílený prostředek je používán. Proces žádá o přístup a čeká na uvolnění.
  - $S > 0$  - sdílený prostředek je volný. Proces uvolňuje prostředek.



## Implementace semaforů

- Práce se semaforem musí být atomická, procesor nemůže být přerušen.
- Strojová instrukce *TestAndSet* přečte a zapamatuje obsah adresované paměťové lokace a nastaví tuto lokaci na nenulovou hodnotu.
- Během provádění instrukce *TestAndSet* drží procesor sběrnici a přístup do paměti tak není povolen jinému procesoru.

*Informativní*

## Použití semaforů

- Ošetření kritické sekce, tj. části programu vyžadující výhradní přístup ke sdílené paměti (prostředku).

### Příklad ošetření kritické sekce semaforu

```
InitSem(S,1);  
Wait(S);  
/* Kód kritické sekce */  
Signal(S);
```

- Synchronizace procesů semaforu.

### Příklad synchronizace procesů

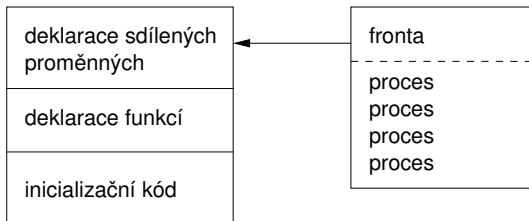
```
/* process p */  
...  
InitSem(S,0)  
Wait(S); ...  
exit();  
  
/* process q */  
Signal(S); exit();
```

Proces p čeká na ukončení procesu q.

*Informativní*

# Monitory

- Monitor - jazyková konstrukce zapouzdřující data a operace nad daty s exkluzivním přístupem.
- Přístup k funkcím v monitoru má v daném okamžiku pouze jediný proces.



- Přístup k monitoru je realizován podmínkovými proměnnými. Ke každé proměnné existuje fronta čekajících procesů.

V Javě je synchronizace řešena právě mechanismem monitorů – jako monitor může vystupovat libovolný objekt

# Část II

## Část 2 – Vícevláknové aplikace

## Co jsou vlákna?

- Vlákno - Thread.
- Vlákno je **samostatně** prováděný **výpočetní tok**.
- Vlákna běží v rámci procesu.
- Vlákna jednoho procesu běží v rámci stejného prostoru paměti.
- Každé vlákno má vyhrazený prostor pro specifické proměnné (*runtime prostředí*).

## Kdy vlákna použít?

„Vlákna jsou lehčí variantou procesů, navíc sdílejí paměťový prostor.”

- Efektivnější využití zdrojů.

### Příklad

Čeká-li proces na přístup ke zdroji, předává řízení jinému procesu.  
Čeká-li vlákno procesu na přístup ke zdroji, může jiné vlákno téhož procesu využít časového kvanta přidělené procesu.

- Reakce na asynchronní události.

### Příklad

Během čekání na externí událost (v blokováném režimu), může proces využít CPU v jiném vlákně.

## Příklady použití vláken

- Vstupně výstupní operace.

### Příklad

Vstupně výstupní operace mohou trvat relativně dlouhou dobu, která většinou znamená nějaký druh čekání. Během komunikace, lze využít přidělený procesor na výpočetně náročné operace.

- Interakce grafického rozhraní.

### Příklad

Grafické rozhraní vyžaduje okamžité reakce pro příjemnou interakci uživatele s naší aplikací. Interakce generují události, které ovlivňují běh aplikace. Výpočetně náročné úlohy, nesmí způsobit snížení interakce rozhraní s uživatelem.

## Příklady použití vláken

- **Vstupně výstupní operace.**

### Příklad

Vstupně výstupní operace mohou trvat relativně dlouhou dobu, která většinou znamená nějaký druh čekání. Během komunikace, lze využít přidělený procesor na výpočetně náročné operace.

- Interakce grafického rozhraní.

### Příklad

Grafické rozhraní vyžaduje okamžité reakce pro příjemnou interakci uživatele s naší aplikací. Interakce generují události, které ovlivňují běh aplikace. Výpočetně náročné úlohy, nesmí způsobit snížení interakce rozhraní s uživatelem.



## Příklady použití vláken

- Vstupně výstupní operace.

### Příklad

Vstupně výstupní operace mohou trvat relativně dlouhou dobu, která většinou znamená nějaký druh čekání. Během komunikace, lze využít přidělený procesor na výpočetně náročné operace.

- Interakce grafického rozhraní.

### Příklad

Grafické rozhraní vyžaduje okamžité reakce pro příjemnou interakci uživatele s naší aplikací. Interakce generují události, které ovlivňují běh aplikace. Výpočetně náročné úlohy, nesmí způsobit snížení interakce rozhraní s uživatelem.

# Vlákna a procesy

## Procesy

- Výpočetní tok.
- Běží ve vlastním paměťovém prostoru.
- Entita OS.
- Synchronizace entitami OS (IPC).
- Přidělení CPU, rozvrhovačem OS.
- Časová náročnost vytvoření procesu.

## Vlákna procesu

- Výpočetní tok.
- Běží ve společném paměťovém prostoru.
- Uživatelská nebo OS entita.
- Synchronizace exkluzivním přístupem k proměnným.
- Přidělení CPU, v rámci časového kvanta procesu.
- + Vytvoření vlákna je méně časově náročné.

## Vícevláknové a víceprocesové aplikace

Vícevláknová aplikace má oproti více procesové aplikaci výhody:

- Aplikace je mnohem interaktivnější.
- Snadnější a rychlejší komunikace mezi vlákny (stejný paměťový prostor).

Nevýhody:

- Distribuce výpočetních vláken na různé výpočetní systémy (počítače).

I na jednoprosesorových systémech vícevláknové aplikace lépe využívají CPU.

## Příklad výpisu procesů a jim příslušejících vláken

```
TOP
last pid: 1667; load averages: 2.52, 1.13, 0.62 up 0+00:21:43 20:37:44
135 processes: 5 running, 130 sleeping
CPU: 99.0% user, 0.2% nice, 0.6% system, 0.2% interrupt, 0.0% idle
Mem: 340M Active, 2720M Inact, 717M Wired, 12M Cache, 407M Buf, 27M Free
ARC: 25M Total, 33K MFU, 24M MRU, 48K Anon, 112K Header, 720K Other
Swap: 2048M Total, 2444K Used, 2045M Free

```

PID	USERNAME	PRI	NICE	SIZE	RES	STATE	C	TIME	WCPU	COMMAND
1612	jf	92	0	1058M	21156K	CPU0	0	0:55	71.29%	java{java}
1612	jf	92	0	1058M	21156K	RUN	1	0:55	62.60%	java{java}
1612	jf	91	0	1058M	21156K	RUN	1	0:55	62.06%	java{java}
1569	jf	27	5	323M	97100K	select	1	0:05	2.88%	gimp-2.8{gimp-
874	root	21	0	919M	45916K	select	0	0:17	1.95%	Xorg
1023	jf	21	0	323M	41204K	select	1	0:19	1.27%	owncloud{owncl
1125	jf	20	0	216M	16124K	uwait	0	0:05	0.29%	mocp{mocp}
1095	jf	28	0	61508K	7512K	select	1	0:56	0.00%	mc
1088	jf	25	5	90424K	13896K	select	0	0:15	0.00%	xpdf
1014	jf	20	0	201M	33888K	select	0	0:06	0.00%	gkrellm{gkrell
1081	jf	20	0	109M	19544K	select	1	0:02	0.00%	urxvt
1092	jf	20	0	23908K	2800K	select	0	0:02	0.00%	tmux
997	jf	20	0	183M	29684K	select	1	0:01	0.00%	openbox
1023	jf	20	0	323M	41204K	select	1	0:01	0.00%	owncloud{owncl
1023	jf	21	0	323M	41204K	kqread	0	0:01	0.00%	owncloud{owncl
1572	jf	52	5	193M	33892K	select	1	0:01	0.00%	script-fu

*Jeden proces může být rozdělen na více vláken, která jsou v tomto případě rozvrhována operačním systémem na dostupné procesory.*

## Vlákna v operačním systému

- Vlákna běží v rámci výpočetního toku procesu.
- S ohledem na realizaci se mohou nacházet:
  - V uživatelském prostoru procesu. Realizace vláken je na úrovni knihovních funkcí. Vlákna nevyžadují zvláštní podporu OS, jsou rozvrhována uživatelským knihovním rozvrhovačem. Nevyužívají více procesorů.
  - V prostoru jádra OS. Tvoří entitu OS a jsou také rozvrhována systémovým rozvrhovačem. Mohou paralelně běžet na více procesorech.

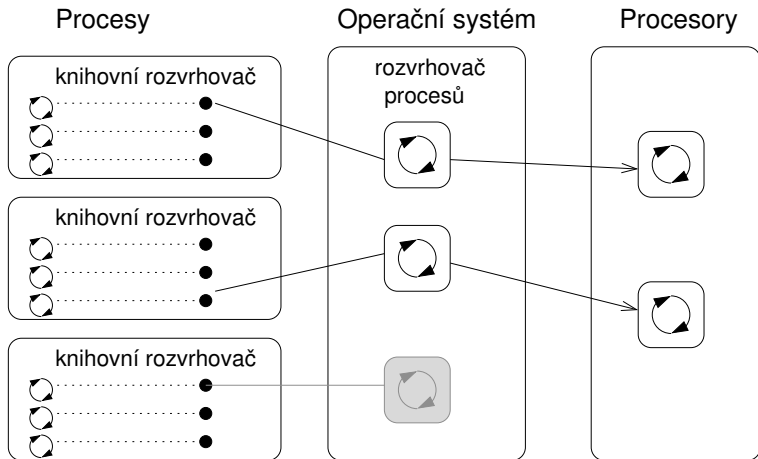
## Vlákna v operačním systému

- Vlákna běží v rámci výpočetního toku procesu.
- S ohledem na realizaci se mohou nacházet:
  - **V uživatelském prostoru procesu.** Realizace vláken je na úrovni knihovních funkcí. Vlákna nevyžadují zvláštní podporu OS, jsou rozvrhována uživatelským knihovním rozvrhovačem. Nevyužívají více procesorů.
  - V prostoru jádra OS. Tvoří entitu OS a jsou také rozvrhována systémovým rozvrhovačem. Mohou paralelně běžet na více procesorech.

## Vlákna v operačním systému

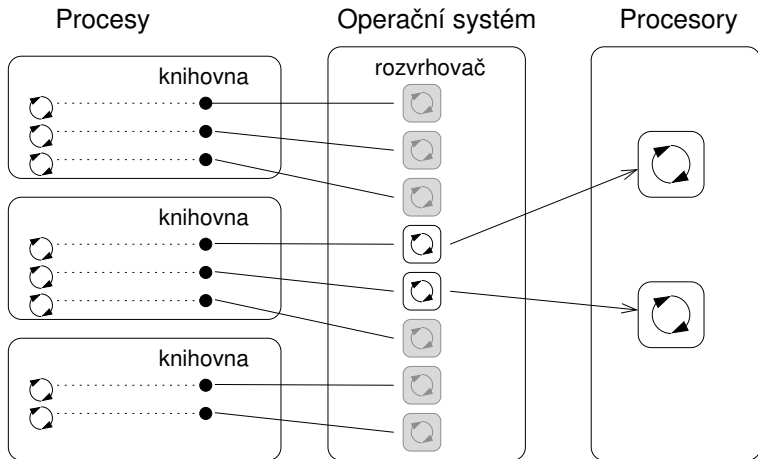
- Vlákna běží v rámci výpočetního toku procesu.
- S ohledem na realizaci se mohou nacházet:
  - V uživatelském prostoru procesu. Realizace vláken je na úrovni knihovních funkcí. Vlákna nevyžadují zvláštní podporu OS, jsou rozvrhována uživatelským knihovním rozvrhovačem. Nevyužívají více procesorů.
  - V prostoru jádra OS. Tvoří entitu OS a jsou také rozvrhována systémovým rozvrhovačem. Mohou paralelně běžet na více procesorech.

# Vlákna v uživatelském prostoru





# Vlákna v prostoru jádra operačního systému



## Uživatelský vs jaderný prostor vláken

### Uživatelský prostor

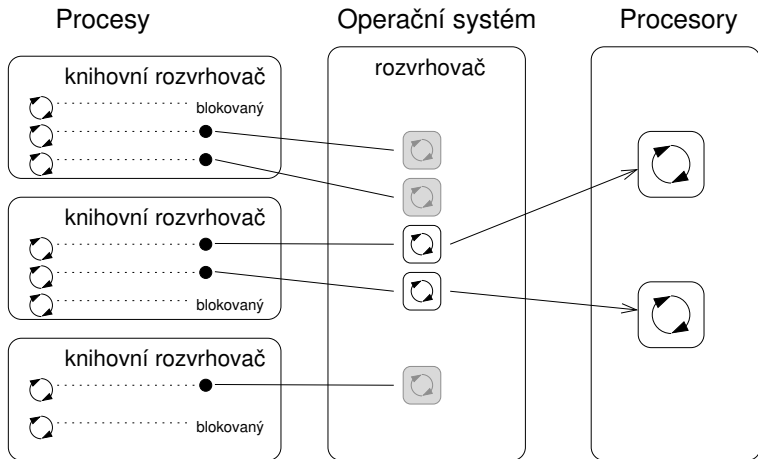
- + Není potřeba podpory OS.
- + Vytvoření nepotřebuje náročné systémové volání.
- Priority vláken se uplatňují pouze v rámci přiděleného časového kvanta procesu.
- Nemohou běžet paralelně.

Vyšší počet vláken, která jsou rozvrhována OS mohou zvyšovat režii.  
Moderní operační systémy implementují „*O(1) rozvrhovače*”.

### Prostor jádra

- + Vlákna jsou rozvrhována kompetitivně v rámci všech vláken v systému.
- + Vlákna mohou běžet paralelně.
- Vytvoření vláken je časově náročnější.

# Kombinace uživatelského a jaderného prostoru



## Vlákna v Javě

- Objekt třídy odvozené od třídy **Thread**
- Tělo nezávislého výpočetního toku vlákna definujeme v metodě **public void run()**

*Overriding*

- Metodu **run** nespouštíme přímo!
- Pro spuštění vlákna slouží metoda **start()**, která zajistí vytvoření vlákna a jeho rozvrhování
- Vlákno můžeme pojmenovat předáním jména nadřazené třídě v konstruktoru

<http://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/index.html>

## Příklad vlákna

```
public class Worker extends Thread {
    private final int numberOfJobs;

    public Worker(int id, int jobs) {
        super("Worker " + id);
        myID = id;
        numberOfJobs = jobs;
        stop = false;
        System.out.println("Worker id: " + id + " has
        been created threadID:" + getId());
    }

    public void run() {
        doWork();
    }
}
```

## Příklad vytvoření a spuštění vlákna

- Vlákno vytvoříme novou instancí třídy `Worker`
- Spuštění vlákna provedeme metodou `start()`

```
Worker thread = new Worker(1, 10);  
thread.start(); //new thread is created  
System.out.println("Program continues here");
```

- Po spuštění vlákna pokračuje program ve vykonávání další instrukce.
- Tělo metody `run()` objektu `thread` běží v samostatném vlákně.

## Vytvoření vlákna implementací rozhraní **Runnable** 1/2

- V případě, že nelze použít dědění od **Thread**, implementujeme rozhraní **Runnable** předepisující metodu **run()**

```
public class WorkerRunnable implements Runnable {
    private final int id;
    private final int numberOfJobs;

    public WorkerRunnable(int id, int jobs) {
        this.id = id;
        numberOfJobs = jobs;
    }

    public String getName() {
        return "WorkerRunnable " + id;
    }

    @Override
    public void run() { ... }
}
```

## Vytvoření vlákna implementací rozhraní **Runnable** 2/2

- Vytvoření vlákna a spuštění je přes instanci třídy **Thread**

```
WorkerRunnable worker = new WorkerRunnable(1, 10);  
Thread thread = new Thread(worker, worker.getName());  
thread.start();
```

- Aktuální výpočetní tok (vlákno) lze zjistit voláním **Thread.currentThread()**

```
public void run() {  
    Thread thread = Thread.currentThread();  
    for (int i = 0; i < numberOfJobs; ++i) {  
        System.out.println("Thread name: " + thread.  
            getName());  
    }  
}
```

lec07/WorkerRunnable



## Vlákna v Javě – metody třídy Thread

- **String getName()** – jméno vlákna
- **boolean isAlive()** – test zdali vlákno běží
- **void join()** – pozastaví volající vlákno dokud příslušné vlákno není ukončeno
- **static void sleep()** – pozastaví vlákno na určenou dobu
  
- **int getPriority()** – priorita vlákna
- **static void yield()** – vynutí předání řízení jinému vláknu

## Příklad čekání na ukončení činnosti vlákna – 1/2

- Vytvoříme třídu `DemoThreads`, která spustí „výpočet“ v `numberOfThreads` paralelně běžících vláknech

```
ArrayList<Worker> threads = new ArrayList();  
for (int i = 0; i < numberOfThreads; ++i) {  
    threads.add(new Worker(i, 10));  
}  
// start threads  
for (Thread thread : threads) {  
    thread.start();  
}
```

- Po skončení hlavního vlákna program (JVM) automaticky čeká až jsou ukončena všechna vlákna
- Tomu můžeme zabránit nastavením vlákna do tzv. `Daemon` režimu voláním `setDaemon(true)`

## Příklad čekání na ukončení činnosti vlákna – 2/2

- Nastavíme vlákna před spuštěním

```
for (Thread thread : threads) {  
    thread.setDaemon(true);  
    thread.start();  
}
```

*V tomto případě se aplikace ihned ukončí.*

- Pro čekání na ukončení vláken můžeme explicitně použít metodu `join()`

```
try {  
    for (Thread thread : threads) {  
        thread.join();  
    }  
} catch (InterruptedException e) {  
    System.out.println("Waiting for the thread ...");  
}
```

`lec07/DemoThreads`

## Příklad čekání na ukončení činnosti vlákna – 2/2

- Nastavíme vlákna před spuštěním

```
for (Thread thread : threads) {  
    thread.setDaemon(true);  
    thread.start();  
}
```

*V tomto případě se aplikace ihned ukončí.*

- Pro čekání na ukončení vláken můžeme explicitně použít metodu `join()`

```
try {  
    for (Thread thread : threads) {  
        thread.join();  
    }  
} catch (InterruptedException e) {  
    System.out.println("Waiting for the thread ...");  
}
```

`lec07/DemoThreads`

## Ukončení činnosti vlákna

- Činnost vlákna můžeme ukončit „zasláním (vlastní) zprávy” výpočetnímu toku s „žádostí” o přerušení činnosti

*V zásadě jediný korektní způsob!*

- Ve vlákně **musíme** implementovat mechanismus detekce žádosti o přerušení činnosti, např. nastavení příznakové proměnné `stop` a rozdělením výpočtu na menší části

```
public class Worker extends Thread {
    ...
    private boolean stop;

    public Worker(int id, int jobs) {
        ...
        stop = false;
    }

    public void run() {
        for (int i = 0; i < numberOfJobs; ++i) {
            if (stop) {
                break;
            }
            doWork();
        }
    }
}
```

## Přístup ke „sdílené proměnné“ z více vláken

- Žádost o ukončení implementujeme v metodě **shutdown**, kde nastavíme proměnnou **stop**

```
public void shutdown() {  
    stop = true;  
}
```

- Přístup k základní proměnné je atomický a souběh tak „netřeba“ řešit
- Překladač a virtuální stroj (JVM) musíme informovat, že se hodnota proměnné může nezávisle měnit ve více vláknech —použitím klíčového slova **volatile**

<http://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/atomic.html>

<http://www.root.cz/clanky/>

[pohled-pod-kapotu-jvm-zaklady-optimalizace-aplikaci-naprogramovanych-v-jave-4/](#)

- Například:

```
private volatile boolean stop;
```

## Příklad – Odložené ukončení vláken

- Příklad s vlákny `DemoThreads` rozšíříme o explicitní ukončení vláken po definované době
- Vytvoříme třídu `ThreadKiller`, která ukončí vlákna po `timeout` sekundách

```
public class ThreadKiller implements Runnable {
    ArrayList<Worker> threads;
    int timeout;
    public ThreadKiller(ArrayList<Worker> threads, int time) ...
    @Override
    public void run() {
        try {
            Thread.sleep(timeout * 1000);
            System.out.println("ThreadKiller ...");
            for (Worker thread : threads) {
                thread.shutdown();
            }
            for (Worker thread : threads) {
                thread.join();
            }
        } catch (InterruptedException e) { ... }
    }
}
```

lec07/ThreadKiller

## Synchronizace činnosti vláken – **monitor**

- V případě spolupracujících vláken je nutné řešit problém sdílení datového prostoru
  - Řešení problému souběhu – tj. problém současného přístupu na datové položky z různých vláken
- Řešením je využít kritické sekce – **monitor**
  - Objekt, který vláknu „zpřístupní“ sdílený zdroj

*Můžeme si představit jako zámek.*
  - V daném okamžiku aktivně umožní monitor používat jen jedno vlákno
  - Pro daný časový interval vlákno vlastní příslušný monitor – monitor smí „vlastnit“ vždy jen jedno vlákno
  - Vlákno běží, jen když vlastní příslušný monitor, jinak čeká
- V Javě mohou mít všechny objekty svůj monitor
- Libovolný objekt tak můžeme použít pro definici **kritické sekce**



## Kritická sekce – `synchronized`

- Kritickou sekci deklaruujeme příkazem `synchronized` s argumentem objektu (referenční proměnné) definující příslušným monitor

```
Object monitor = new Object();
synchronized(monitor) {
    //Critical section protected
    //by the monitor
}
```

- Vstup do kritické sekce je umožněn pouze jedinému vláknou
  - Vlákno, které první vstoupí do kritické sekce může používat zdroje „chráněné“ daným monitorem
  - Ostatní vlákna čekají, dokud aktivní vlákno neopustí kritickou sekci a tím uvolní zámek

*Případně zavolá `wait`*

## Synchronizované metody

- Metody třídy můžeme deklarovat jako synchronizované, např.

```
class MyObject {  
    public synchronized void useResources() {  
        ...  
    }  
}
```

- Přístup k nim je pak chráněn monitorem objektu příslušné instance třídy (**this**), což odpovídá definování kritické sekce

```
public void useResources() {  
    synchronized(this) {  
        ...  
    }  
}
```

*Deklarací metody jako synchronizované informujeme uživatele, že metoda je synchronizovaná bez nutnosti čtení zdrojového kódu.*

## Komunikace mezi vlákny

- Vlákna jsou objekty a mohou si zasílat zprávy (volání metod)
- Každý objekt (monitor) navíc implementuje metody pro explicitní ovládání a komunikaci mezi vlákny:
  - `wait` – dočasně pozastaví vlákno do doby než je probuzeno metodou `notify` nebo `notifyAll`, nebo po určené době  
*Uvolňuje příslušný zablokovaný monitor*
  - `notify` – probouzí pozastavené vlákno metodou `wait()`, čeká-li více vláken není určeno, které vlákno převezme monitor
  - `notifyAll` – probouzí všechna vlákna pozastavena metodou `wait()`  
*Monitoru se zmocní vlákno s nejvyšší prioritou*

## Priority vláken

- `setPriority` – nastavení priority
- `getPriority` – zjištění priority
- Hodnoty priority – `MAX_PRIORITY`, `MIN_PRIORITY`, `NORM_PRIORITY`
- Předání řízení lze vynutit voláním `yield()`

# Shrnutí přednášky

# Diskutovaná témata

- Paralelní programování
  - Procesy a role operačního systému
  - Vlákna v operačním systému
  - Problém souběhu, synchronizace vláken a monitor
- Vlákna v Javě
  - Vytvoření, synchronizace a komunikace mezi vlákny
- **Příště: Modely vícevláknových aplikací, příklady**