

Vícevláknové aplikace

Jiří Vokřínek

Katedra počítačů

Fakulta elektrotechnická

České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 7

B0B36PJV – 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

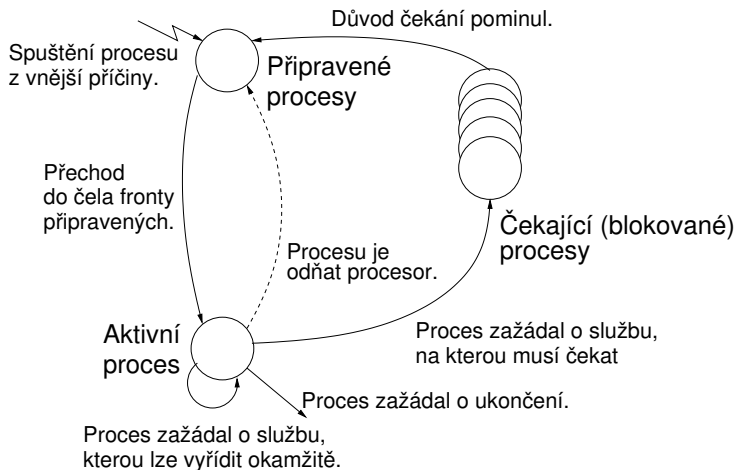
Proces je spuštěný program ve vyhrazeném prostoru paměti. Jedná se o entitu operačního systému, která je plánována pro nezávislé provádění.

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.

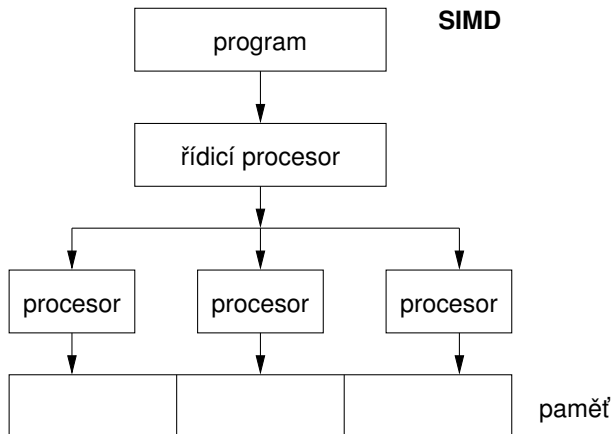
- SIMD (single-instruction, multiple-data) - stejné instrukce jsou vykonávány na více datech. Procesory jsou identické a pracují synchronně. *Příkladem může být vykonávání MMX, SSE, 3dnow! instrukcí, „vektorizace“.*
- MIMD (multiple-instruction, multiple-data) - procesory pracují nezávisle a asynchronně.

Řízení přístupu k paměti.

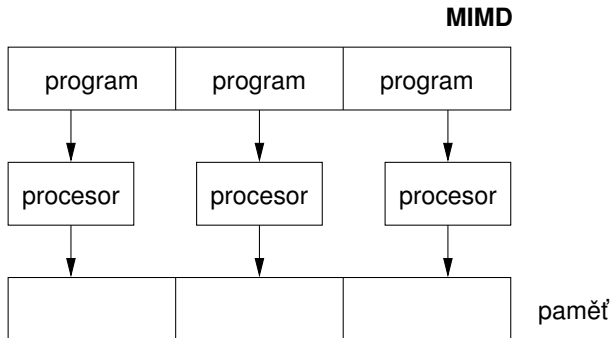
- Systémy se sdílenou pamětí - společná centrální paměť.
- Systémy s distribuovanou pamětí - každý procesor má svou paměť.

Informativní

SIMD

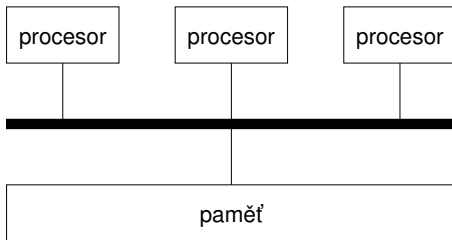
*Informativní*

MIMD



Informativní

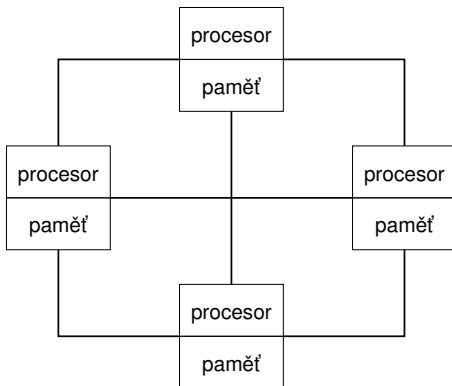
Systémy se sdílenou pamětí



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

Informativní

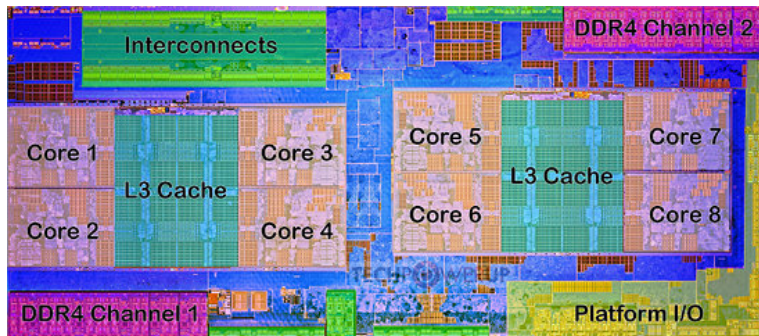
Systémy s distribuovanou pamětí



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

Informativní

Příklad procesoru



Sdílená operační paměť, L3, L2 a L1 cache sdílená i "distribuovaná" (spravovaná na HW úrovni).

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 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 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

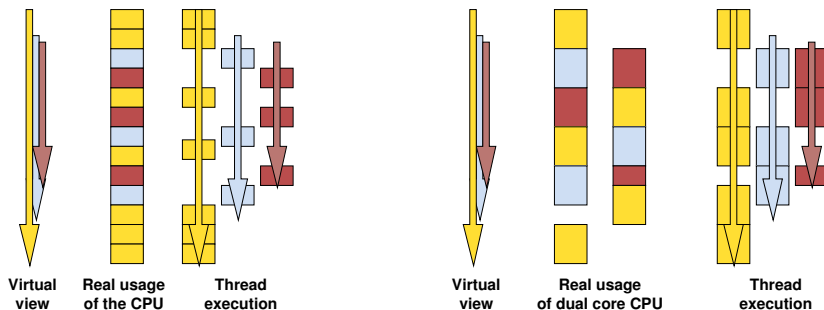
Paralelní zpracování a programovací jazyky

- 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 „vektizace“
 - 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)

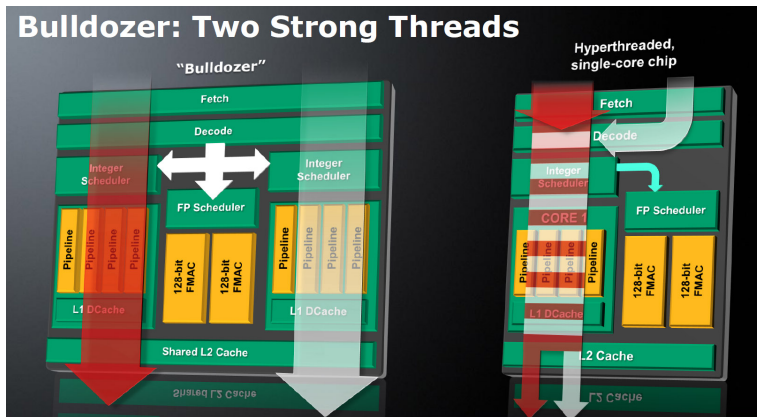
Granularita procesů - od paralelismu na úrovni instrukcí až po paralelismus na úrovni programů.

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



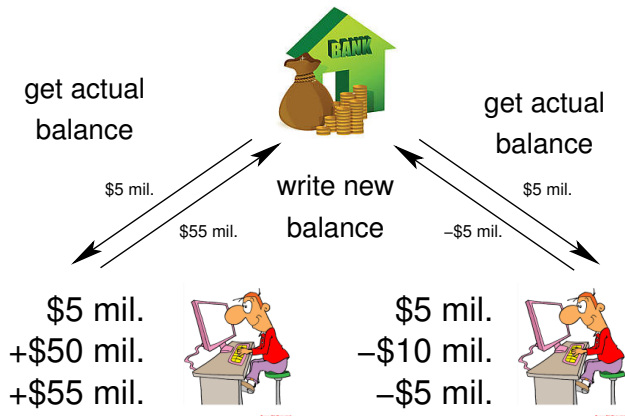
Příklad procesoru



Informativní

Problém souběhu – příklad

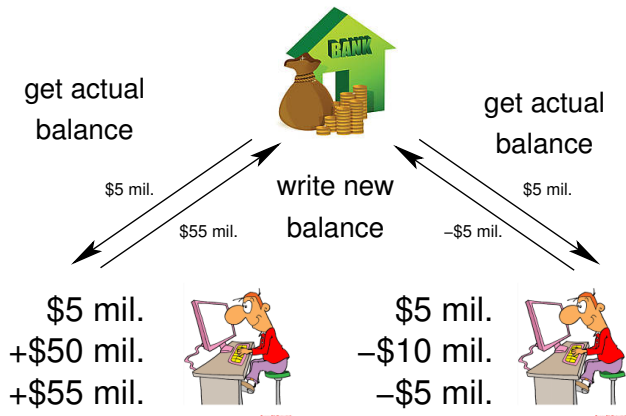
- Současná aktualizace zůstatku na účtě může vést bez exkluzivního přístupu k různým výsledkům



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();
```

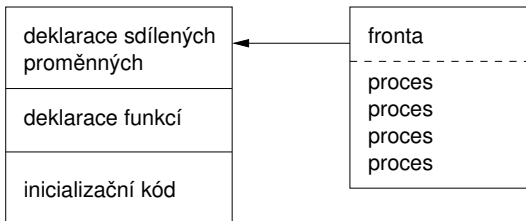
```
/* process q */  
...  
Signal(S); exit();
```

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 jednoprocessorových 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.

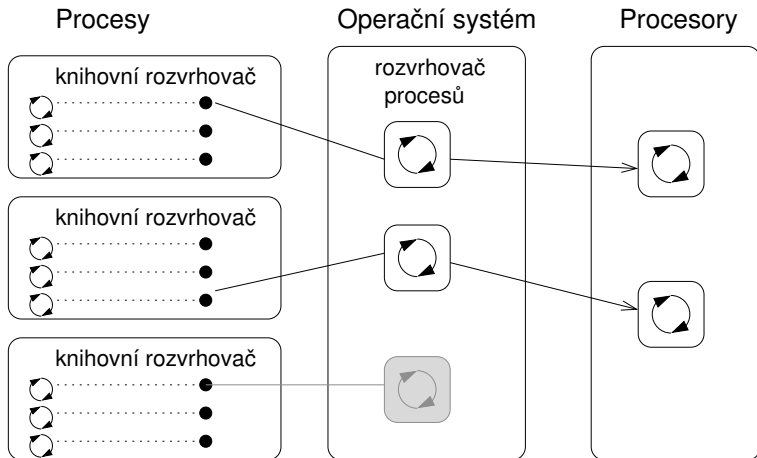
Vlákna v operačním systému

- 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.

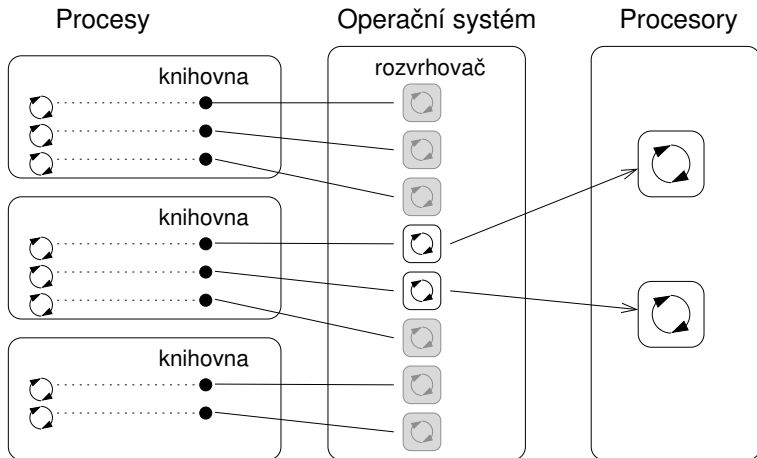
Vlákna v operačním systému

- 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

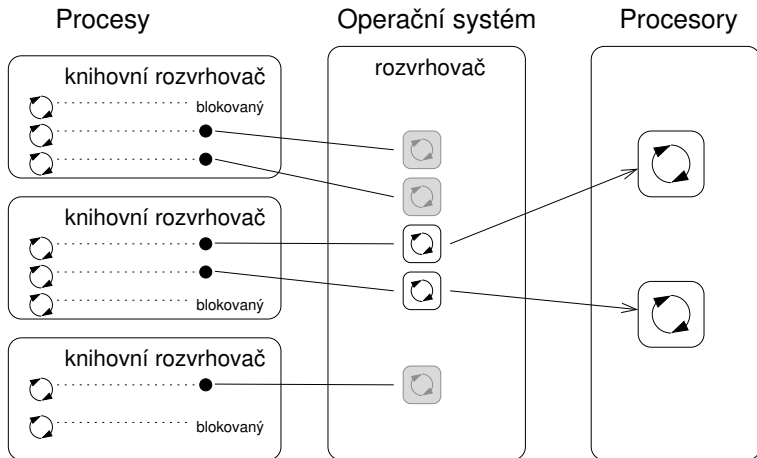
- + Není potřeba podpory OS.
- + Vytvoření nepotřebuje náročné systémové volání.
- Priority vláken se uplatňují pouze v rámci přiděleného časového kvanta procesu.
- Nemohou běžet paralelně.

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 vláknem —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 deklarujeme 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 vláknu
 - Vláknem, které první vstoupí do kritické sekce může používat zdroje „chráněné“ daným monitorem
 - Ostatní vlákna čekají, dokud aktivní vláknem 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()`

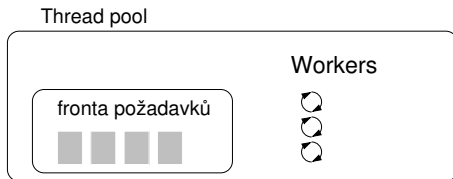
Monitoru se zmocní vlákno s nejvyšší prioritou

Priority vláken

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

Thread Pool

- Hlavní vlákno vytváří vlákna dynamicky podle příchozích požadavků.
- Režii vytváření lze snížit, vytvořením vláken dopředu (Thread Pool).
- Vytvořená vlákna čekají na přiřazení úkolu.



Thread Pool - vlastnosti

- Počet vytvořených vláken.
- Maximální počet požadavků ve frontě požadavků.
- Definice chování v případě plné fronty požadavků a žádného volného vlákna.

Například blokování příchozích požadavků.

Java Thread Pool - příklad

- `Executor` z balíku `java.util.concurrent` nabízí knihovni zprávu vláken
- Příklad – `ThreadPoolExecutor` nebo `ScheduledThreadPoolExecutor`
- Přijímá `Callable` objekty
 - Podobné `Runnable`
 - Mohou vracet nějakou hodnotu a vyhazovat výjimky
- Při vložení vrátí `Future` objekt obsahující stav a návratovou hodnotu
 - `isDone` testuje, zda je úloha již ukončena
 - `get` vrátí návratovou hodnotu
 - `cancel` pošle žádost o zrušení úlohy

`lec08/ThreadPoolExample`

Java Thread Pool - příklad

```
private class CallableImpl implements Callable<String> {  
    String name;  
  
    public CallableImpl(int number) {  
        name = "Callable " + number;  
    }  
  
    @Override  
    public String call() {  
        for (int i = 0; i < 5; i++) {  
            System.out.println(name + " is doing something")  
            ;  
            try {  
                Thread.sleep(200);  
            } catch (InterruptedException ex) {  
                System.out.println("Not sleeping ?? ...");  
            }  
        }  
        return name + " is done !";  
    }  
}
```

Java Thread Pool - příklad

```
public class ThreadPoolExample {  
    ExecutorService threadPool;  
  
    public void test(int numberOfThreads) {  
        threadPool = newFixedThreadPool(numberOfThreads);  
        List<Future> futures = new ArrayList<>();  
  
        for (int i = 1; i <= 10; i++) {  
            Callable<String> aCall = new CallableImpl(i);  
            Future<String> submit = threadPool.submit(aCall);  
            futures.add(submit);  
        }  
  
        try {  
            for (Future future : futures) {  
                System.out.println(future.get());  
            }  
        } catch (Exception ex) { ... }  
  
        threadPool.shutdown();  
    }  
}
```

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
 - Ukončení vláken
 - Thread Pool