Téma 3 – Procesy a vlákna

Obsah

Pojem „Výpočetní proces“

- Výpočetní proces (*job, task*) – aktivita provádění programu
- Proces je identifikovatelný a podléhá plánování
- Proces je vlastníkem zdrojů pro svoji realizaci
  - čas procesoru, úseky paměti ve FAP, soubory na disku, . . .
- Stav procesu lze v každém okamžiku jeho existence jednoznačně určit
  - přidělené zdroje; události, na něž proces čeká; prioritu; …
- Komponenty vytvářející proces
  - obsahy registrů procesoru (čítač instrukcí, ...)
  - zásobník
  - datová sekce
  - program, který proces řídí
- V systémech podporujících vlákna ➡ bývá proces chápán jako kontejner či hostitel svých vláken

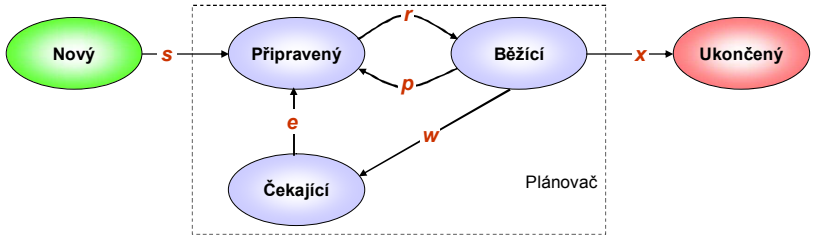
Požadavky na OS při práci s procesy

- Prokládat vykonávání jednotlivých procesů s cílem maximálního využití procesoru
- Minimalizovat dobu odpovědi procesu prokládáním běhů procesů
- Přidělovat procesům požadované systémové prostředky na základě vhodné politiky
  - priority, vzájemné vyloučení za současné zábrany uváznutí ➡, …
- Umožňovat procesům vytváření a spouštění dalších procesů
- Podporovat vzájemnou komunikaci mezi procesy
- Poskytovat aplikačním procesům funkčně bohaté, bezpečné a konzistentní rozhraní k systémovým službám
  - včetně uniformní prezentace systémových prostředků (např. souborů)

Stavy procesů

- Proces se za dobu své existence prochází více stavy a nachází se vždy v jednom z následujících stavů:
  - Nový (*new*) – proces je právě vytvářen
  - Připravený (*ready*) – proces čeká na přidělení procesoru
    - Má vše s výjimkou procesního prostředku
  - Běžící (*running*) – program řídící tento proces je právě vykonáván, tj. interpretován některým procesorem
  - Čekající (*waiting*, *blocked*) – proces čeká na jistou událost
    - Nemůže z nějakého důvodu pokračovat
  - Ukončený (*terminated*) – proces ukončil svoji činnost, avšak stále ještě vlastní některé systémové prostředky
    - JOS musí prostředky „uvolnit“, případně před tím dokončit operace na nich (vyprázdnit vyrovnávací paměti apod.)

Pětistavový diagram procesů

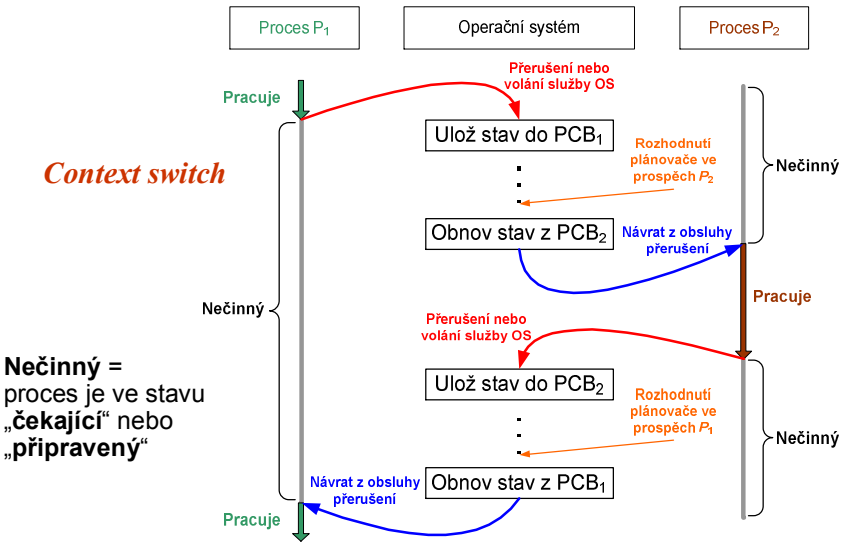


Přechody	Význam
s	Proces vzniká – *start*
r	Procesu je přidělen procesor (může pracovat) – *run*
w	Proces žádá o službu, na jejíž dokončení musí čekat – *wait*
e	Vznikla událost, která způsobila, že se proces „dočkal“ – *event*
x	Proces ukončil svoji existenci (sám nebo „násilně“) – *exit*
p	Procesu byl odňat procesor, přestože je proces dále schopen běhu, tzv. **preempce** (např. vyčerpání časového kvanta) – *preemption*.

Popis procesů

- Deskriptor procesu – *Process Control Block* (PCB)
  - Identifikátor procesu (pid)
  - Globální stav (*process state*)
  - Místo pro uložení čítače instrukcí (PC)
  - Místo pro uložení registrů procesoru
  - Informace potřebné pro plánování procesoru(ů)
    - Priorita, využití CPU, … ➡
  - Informace potřebné pro správu paměti
    - Odkazy do paměti (*memory pointers*), popř. registry MMU
  - „Profilovací“ informace (*profiling*)
  - Stavové informace o V/V (*I/O status*)
  - Kontextová data (*context data*)
    - Otevřené soubory
    - Proměnné prostředí (*environment variables*)
  - …
  - Spojka pro řazení PCB do front a seznamů

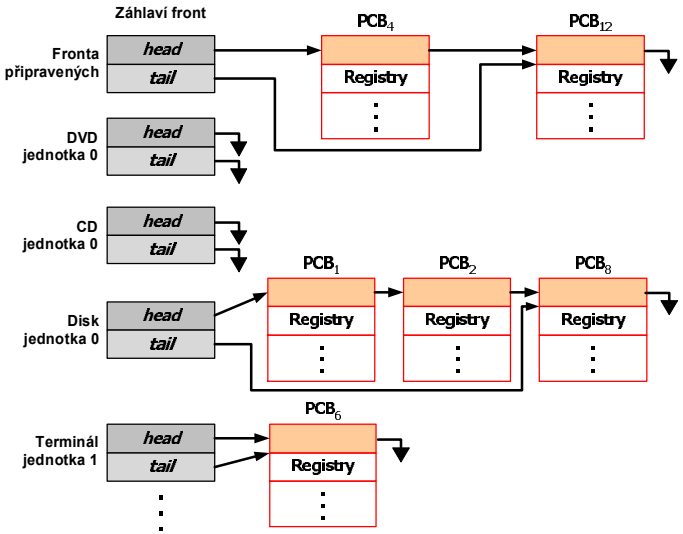
Přepínání mezi procesy



Fronty a seznamy procesů pro plánování

- Fronta připravených procesů
  - množina procesů připravených k běhu čekajících pouze na přidělení procesoru
- Fronta na dokončení I/O operace
  - samostatná fronta pro každé zařízení
- Seznam odložených procesů
  - množina procesů čekajících na přidělení místa v hlavní paměti, FAP
- Fronty související se „semafory“ ➡
  - množiny procesů čekajících synchronizační události
- Fronta na přidělení prostoru v paměti
  - množina procesů potřebujících zvětšit svůj adresní prostor
- …
- Procesy mezi různými frontami migrují

Fronty a seznamy procesů – příklad



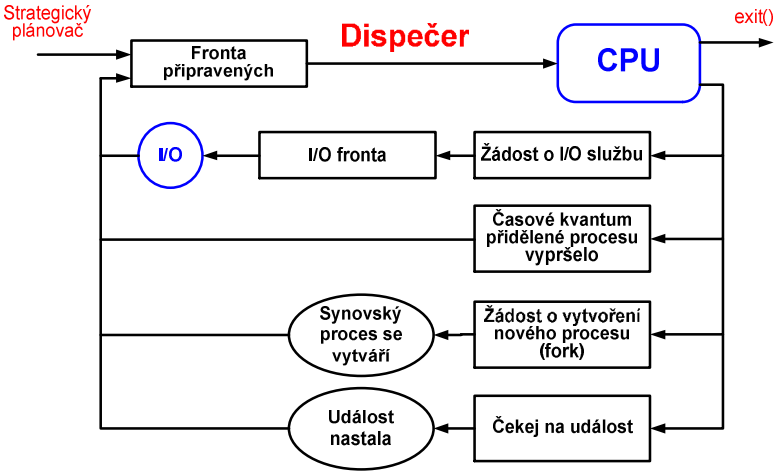
Plánovače v OS

- Dlouhodobý plánovač (strategický plánovač, *job scheduler*)
  - Vybírá, který požadavek na výpočet lze zařadit mezi procesy, a definuje tak stupeň multiprogramování
  - Je vyvoláván zřídka (sekundy až minuty), nemusí být rychlý
- Krátkodobý plánovač (operační plánovač, dispečer, *dispatcher*):
  - Základní správa procesoru/ů
  - Vybírá proces, který poběží na uvolněném procesoru přiděluje procesu procesor (CPU)
  - vyvoláván velmi často, musí být extrémně rychlý
- Střednědobý plánovač (taktický plánovač)
  - Logicky patří částečně do správy hlavní paměti
  - Taktika využívání omezené kapacity FAP při multitaskingu
  - Vybírá, který proces je možno zařadit mezi odložené procesy ➡ (uvolní tím prostor zabíraný procesem ve FAP)
  - Vybírá, kterému odloženému proces lze znovu přidělit prostor ve FAP

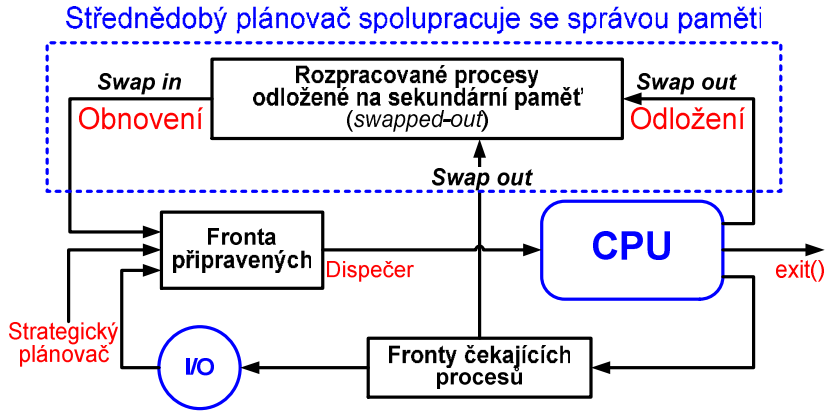
Cíle plánování a kriteria kvality plánů

- Využití CPU
  - *maximalizace* kontinuální užitečné činnosti CPU
- Propustnost
  - *maximalizace* počtu procesů, které dokončí svůj běh za jednotku času
- Doba obrátky
  - *minimalizace* doby potřebné pro provedení konkrétního procesu
- Doba čekání
  - *minimalizace* doby, po kterou proces čekal ve frontě připravených
- Doba odpovědi
  - minimalizace doby, která uplyne od okamžiku zadání požadavku na spuštění procesu do jeho první reakce, např. prvního výpisu na terminál,
    - Nikoli doba do poskytnutí úplného výstupu jakožto výsledku běhu celého procesu

Strategický plánovač a dispečer



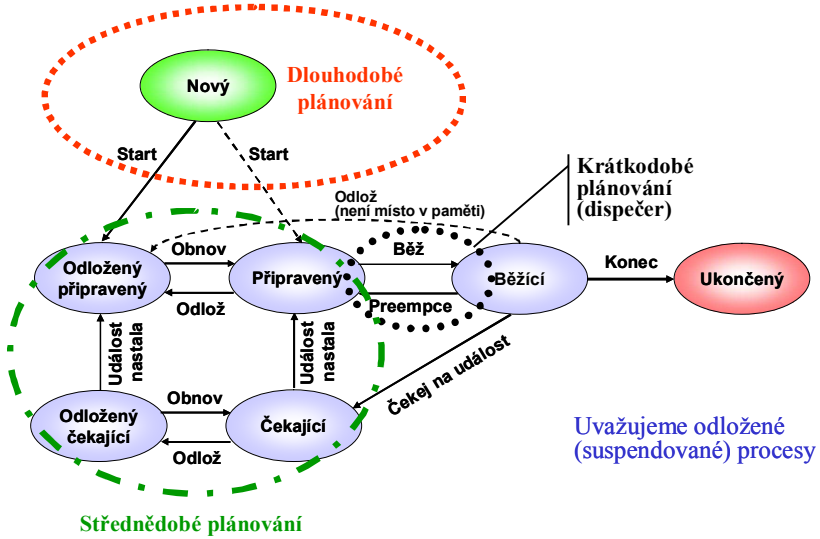
Odkládání a střednědobé plánování



Odkládání, *swapping*

- Běžící proces musí mít alespoň pro aktuální části svého LAP přidělen prostor ve FAP
  - jinak by nemohl pracovat
- I když se používá princip virtuální paměti
  - příliš mnoho procesů ve FAP (alespoň částečně) snižuje výkonnost systému
  - jednotlivé procesy obdrží malý prostor ve FAP a aktuální úsek LAP ve FAP se jim vyměňuje příliš často (problém „výprasku“ ➡)
- OS musí paměťový prostor některých procesů odložit
  - takové procesy nemohou běžet
  - odložení – *swap-out*, okopírování na disk
  - obnova – *swap-in*, zavedení do FAP
- Přibývají tak další dva stavy procesů
  - odložený čekající – čeká na nějakou událost a, i kdyby byl v paměti, stejně by nebyl schopen běhu
  - odložený připravený – nechybí mu nic kromě místa v paměti

Sedmistavový diagram procesů



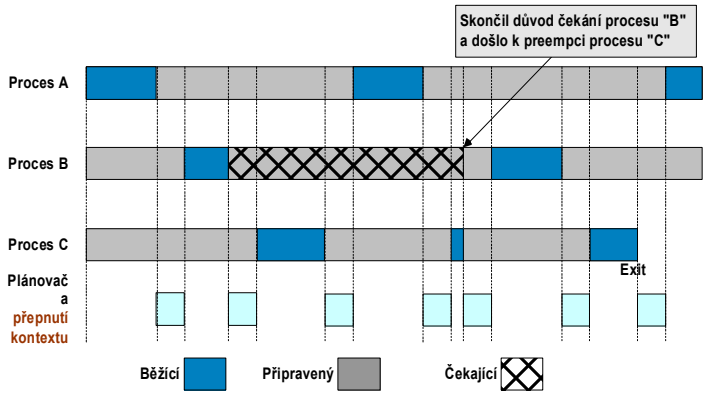
Plánovač CPU a typy plánování

- Plánovač CPU vybírá z procesů, které jsou v hlavní paměti, ty procesy, které jsou připravené (*ready*)
- Existují 2 typy plánování
  - nepreemptivní plánování (plánování bez předbíhání, někdy také kooperativní plánování), kdy procesu schopnému dalšího běhu procesor není „násilně“ odnímán
    - Používá se jen v „uzavřených systémech“, kde jsou předem známy všechny procesy a jejich vlastnosti. Navíc jsou naprogramovány tak, aby samy uvolňovaly procesor ve prospěch procesů ostatních
  - preemptivní plánování (plánování s předbíháním), kdy procesu schopnému dalšího běhu může být procesor odňat i „bez jeho souhlasu“ (tedy kdykoliv)
- Plánovač rozhoduje (vstupuje do hry) v okamžiku, kdy některý proces:
  1. přechází ze stavu běžící do stavu čekající
  2. končí
  3. přechází ze stavu čekající do stavu připravený
  4. přechází ze stavu běžící do stavu připravený
- První tři případy se vyskytují v obou typech plánování
- Poslední je charakteristický pro plánování preemptivní

Přepnutí kontextu procesu

- Přechod od procesu *A* k *B* zahrnuje tzv. přepnutí kontextu
  - Přepnutí od jednoho procesu k jinému nastává výhradně v důsledku nějakého přerušení (či výjimky)
  - Proces *A* → operační systém/přepnutí kontextu → proces *B*
  - Nejprve OS uchová (zapamatuje v PCB_A) stav původně běžícího procesu *A*
  - Provedou se potřebné akce v jádru OS a dojde k rozhodnutí ve prospěch procesu *B*
  - Obnoví se stav „nově rozbíhaného“ procesu *B* (z PCB_B)
- Přepnutí kontextu představuje režijní ztrátu (zátěž)
  - během přepínání systém nedělá nic efektivního
  - časově nejnáročnější je správa paměti dotčených procesů
- Doba přepnutí závisí na hardwarové podpoře v procesoru
  - minimální hardwarová podpora při přerušení:
    - uchování čítače instrukcí
    - naplnění čítače instrukcí hodnotou z vektoru přerušení
  - lepší podpora:
    - ukládání a obnova více registrů procesoru jedinou instrukcí

Stavy procesů v čase – preemptivní případ

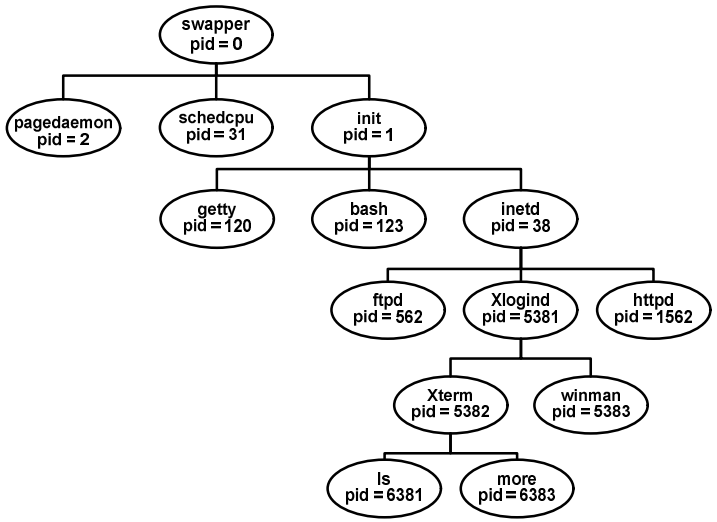


Doby běhu plánovače by měly být co nejkratší
(režijní ztráty systému)

Vznik procesu

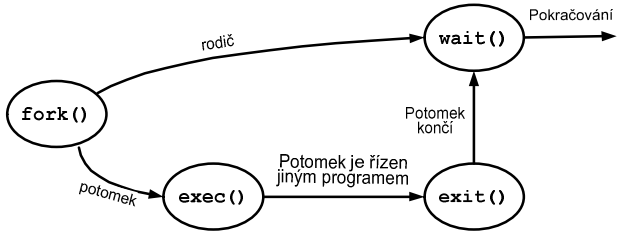
- Rodičovský proces vytváří procesy-potomky
  - pomocí služby OS. Potomci mohou vystupovat v roli rodičů a vytvářet další potomky, …
  - Vzniká tak strom procesů
- Sdílení zdrojů mezi rodiči a potomky:
  - rodič a potomek mohou sdílet všechny zdroje původně vlastněné rodičem (obvyklá situace v POSIXu)
  - potomek může sdílet s rodičem podmnožinu zdrojů rodičem k tomu účelu vyčleněnou
  - potomek a rodič jsou plně samostatné procesy, nesdílí žádný zdroj
- Souběh mezi rodiči a potomky:
  - Možnost 1: rodič čeká na dokončení potomka
  - Možnost 2: rodič a potomek mohou běžet souběžně
- V POSIXu je každý proces potomkem jiného procesu
  - Výjimka: proces *init* vytvořen při spuštění systému
    - Spustí řadu *sh* skriptů (rc), ty inicializují celý systém a vytvoří démony (procesy běžící na pozadí bez úplného kontextu) ~ *service* ve Win32
    - *init* spustí pro terminály proces *getty*, který čeká na uživatele => *login* => uživatelův *shell*

Příklad hierarchie procesů v UNIXu



Příklad vytvoření procesu (POSIX)

- Rodič vytváří nový proces – potomka voláním služby **`fork()`**
- Vznikne identická kopie rodičovského procesu
  - potomek je úplným duplikátem rodiče
  - každý z obou procesů se při vytváření procesu dozvídá, zda je rodičem nebo potomkem
  - do adresního prostoru potomka se automaticky zavádí program shodný rodičem
- Potomek použije volání služby **`exec`** pro náhradu programu ve svém adresním prostoru jiným programem
  - Pozn.: Program řídí vykonávání procesu ...



Ukončení procesu

- Proces provede poslední příkaz programu a žádá OS o ukončení voláním služby **`exit(status)`**
  - Stavová data procesu-potomka (status) se mohou předat procesu-rodiči, který čeká v provádění služby **`wait()`**
  - Zdroje končícího procesu jádro uvolní
- Proces může skončit také:
  - přílišným nárokem na paměť (tolik paměti není a nebude nikdy k dispozici)
  - narušením ochrany paměti („zběhnutí“ programu)
  - pokusem o provedení nedovolené (privilegované) operace (zakázaný přístup k systémovému prostředku, r/o soubor)
  - aritmetickou chybou (dělení nulou, arcsin(2), ...) či neopravitelnou chybou V/V
  - žádostí rodičovského procesu (v POSIXu signál)
  - zánikem rodiče
    - Může tak docházet ke kaskádnímu ukončování procesů
    - V POSIXu lze proces „odpojit“ od rodiče – démon

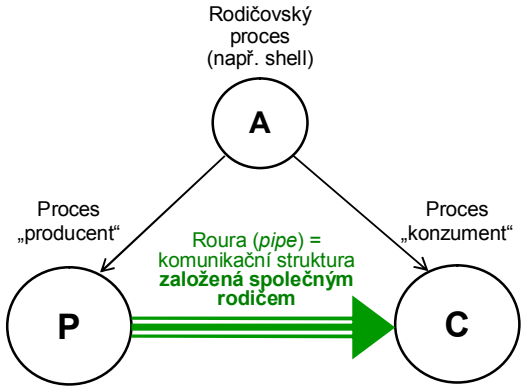
  a v mnoha dalších chybových situacích

Způsoby kooperace procesů

- Zcela nezávislé procesy
  - nemohou (a nesmějí) se vzájemně ovlivňovat
  - úplná izolace procesů
- Kooperující procesy
  - mohou vzájemně ovlivňovat svůj běh (synchronizace)
  - mohou si předávat data (komunikace)
- Přínosy kooperace procesů
  - sdílení informací
  - urychlení výpočtů – paralelizace řešení
  - modularita – snazší implementace metodou „rozděl a panuj”
  - pohodlí – každý z procesů je snáze přizpůsobitelný svému okolí
- Klasické formy kooperace
  - producent – konzument,
  - klient – server,
  - čtenáři – písaři, ...

Elementární meziprocesní komunikace

- Dva procesy propojené komunikačním kanálem typu „roura“
  - Nejjednodušší způsob komunikace v POSIX systémech
  - Příkaz: sh> **`producent | konzument`**



Program, proces a vlákno

- Program:
  - soubor přesně definovaného formátu obsahující
    - instrukce,
    - data
    - údaje potřebné k zavedení do paměti
- Proces:
  - systémový objekt – entita realizující výpočet podle programu charakterizovaná svým paměťovým prostorem a kontextem
  - prostor ve FAP se přiděluje procesům (nikoli programům)
  - patří mu obraz jeho adresního prostoru na vnější paměti
  - může vlastnit soubory, I/O zařízení
  - může vlastnit komunikační kanály k jiným procesům
  - přiděluje se mu čas procesoru
- Vlákno:
  - objekt vytvářený programem v rámci procesu

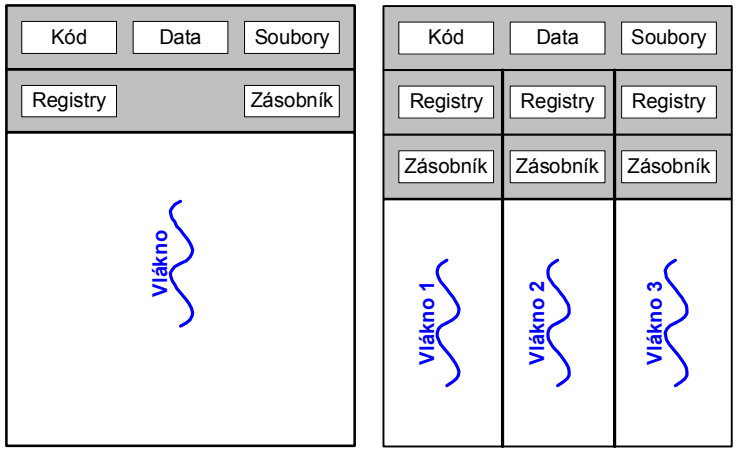
Vztah procesu a vlákna

- Vlákno (*thread*)
  - Objekt vytvářený v rámci procesu a viditelný uvnitř procesu
  - Tradiční proces je proces tvořený jediným vláknem
  - Vlákna podléhají plánování a přiděluje se jim strojový čas i procesory
  - Vlákno se nachází ve stavech: běží, připravené, čekající, …
    - Podobně jako při přidělování času procesům
  - Když vlákno neběží, je kontext vlákna uložený v TCB (*Thread Control Block*):
    - analogie PCB
    - prováděcí zásobník vlákna, obraz PC, obraz registrů, ...
  - Vlákno může přistupovat k LAP a k ostatním zdrojům svého procesu a ty jsou sdíleny všemi vlákny tohoto procesu
    - Změnu obsahu některé buňky LAP procesu vidí všechna ostatní vlákna téhož procesu
    - Soubor otevřený jedním vláknem je viditelný pro všechna ostatní vlákna téhož procesu
    - Vlákna patřící k jednomu procesu sdílí proměnné a systémové zdroje přidělené tomuto procesu

Proces a jeho vlákna

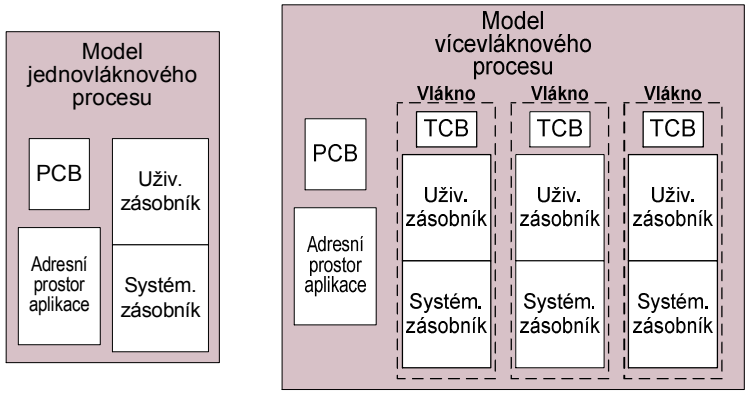
- Jednovláknové (tradiční) procesy
  - proces: jednotka plánování činnosti a jednotka vlastnící přidělené prostředky
  - každé vlákno je současně procesem s vlastním adresovým prostorem a s vlastními prostředky
  - tradiční UNIXy
    - moderní implementace UNIXů jsou již většinou vláknově orientované
- Procesy a vlákna (Windows, Solaris, …)
  - proces: jednotka vlastnící prostředky
  - vlákno: jednotka plánování činnosti systému
  - v rámci jednoho procesu lze vytvořit více vláken
  - proces definuje adresový prostor a dynamicky vlastní prostředky

Procesy a vlákna



Jednovláknový proces Vícevláknový proces

Procesy a vlákna – řídicí struktury



Procesy, vlákna a jejich komponenty

Co patří procesu a co vláknu?

kód programu:	proces
lokální a pracovní data:	vlákno
globální data:	proces
alokované systémové zdroje:	proces
zásobník:	vlákno
data pro správu paměti:	proces
čítač instrukcí:	vlákno
registry procesoru:	vlákno
plánovací stav:	vlákno
uživatelská práva a identifikace:	proces

Účel vláken

- Přednosti
  - Vlákno se vytvoří i ukončí rychleji než proces
  - Přepínání mezi vlákny je rychlejší než mezi procesy } Proč?
- Příklady
  - Souborový server v LAN
    - Musí vyřizovat během krátké doby několik požadavků na soubory
    - Pro vyřízení každého požadavku se zřídí samostatné vlákno
  - Symetrický multiprocesor
    - na různých procesorech mohou běžet vlákna souběžně
  - Menu vypisované souběžně se zpracováním prováděným jiným vláknem
  - Překreslování obrazovky souběžně se zpracováním dat
  - Paralelizace algoritmu v multiprocesoru
- Lepší a přehlednější strukturalizace programu

Problém konzistence sdílených dat

- Mějme aplikaci, která sestává z více nezávislých částí, z nichž každá je implementována jako samostatné vlákno
- Vlákna nemusí běžet v sekvenci
  - Když vlákno čeká na nějakou událost, může běžet jiné vlákno téhož procesu, aniž by se přepínalo mezi procesy
- Vlastnosti takové implementace
  - Vlákna jednoho procesu sdílí paměť, a tudíž mohou mezi sebou komunikovat, aniž by k tomu potřebovaly služby jádra
  - Vlákna jedné aplikace se proto musí mezi sebou synchronizovat, aby se zachovala konzistence zpracovávaných dat

Problém konzistence – příklad

- Scénář:
  - Proces vytvořil vlákna T_1 a T_2
  - T_1 počítá $C = A + B$,
  - T_2 používá hodnotu X: $A = A - X$; $B = B + X$;
  - T_1 a T_2 pracují souběžně a jejich běhy se tak mohou prokládat
- Úmysl programátora
  - Nechť $A = 2$, $B = 3$, $X = 10$
  - T_2 udělá $A = A - X$ a $B = B + X$ [$A = -8$, $B = 13$]
  - T_1 spočítá $C = A + B$, hodnota C nezávisí na X [$C = 5$]
- Možná realita
  - T_2 udělá $A = A - X$ a pak je mu odňat procesor [$A = -8$]
  - T_1 spočítá $C = A + B = A - X + B$ [$C = -5$]
  - T_2 udělá $B = B + X$ a to už hodnotu C neovlivní [$B = 13$]
  - Máme dva různé výsledky v proměnné C
- Poznámka
  - Kdyby nedošlo k preempci vlákna T_2, žádný problém by nenastal!

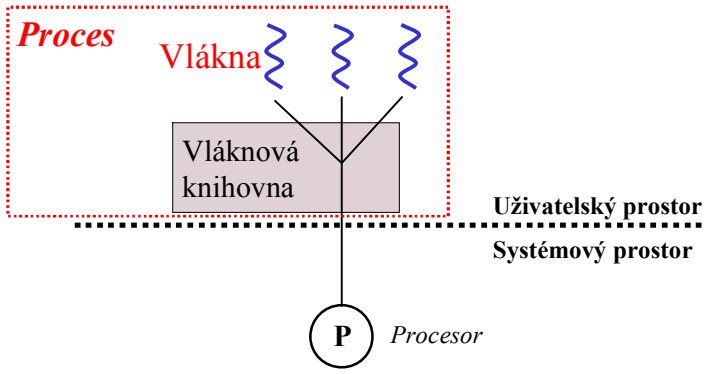
Stavy a odkládání vláken

- Vlákna podléhají plánování a mají své stavy podobně jako procesy
- Základní stavy
  - běžící
  - připravené
  - čekající
- Všechna vlákna jednoho procesu sdílejí společný adresní prostor
  - => vlákna se samostatně neodkládají, odkládá je jen proces
- Ukončení (havárie) procesu ukončuje všechna vlákna existující v tomto procesu

Vlákna na uživatelské úrovni, ULT (1)

- *User-Level Threads* (**ULT**)
- Vlastnosti
  - Správu vláken provádí tzv. vláknová knihovna (*thread library*) na úrovni aplikačního procesu, JOS o jejich existenci neví
  - Přepojování mezi vlákny nepožaduje provádění funkcí jádra
  - Nepřepíná se ani kontext procesu ani režim procesoru
  - Aplikace má možnost zvolit si nejvhodnější strategii a algoritmus pro plánování vláken
  - Lze používat i v OS, který neobsahuje žádnou podporu vláken v jádře, stačí speciální knihovna (model 1 : *M*)
- Vláknová knihovna obsahuje funkce pro
  - vytváření a rušení vláken
  - předávání zpráv a dat mezi vlákny
  - plánování běhů vláken
  - uchovávání a obnova kontextů vláken

Vlákna na uživatelské úrovni, ULT (2)



Vlákna na uživatelské úrovni, ULT (3)

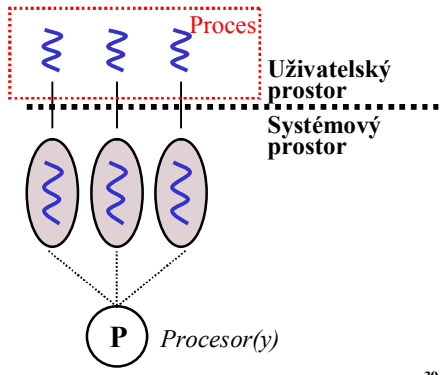
- Problém stavu vláken: Co když se proces nebo vlákno zablokuje?
  - Nechť proces *A* má dvě vlákna T_1 a T_2, přičemž T_1 právě běží
  - Mohou nastat následující situace:
    - T_1 požádá JOS o I/O operaci nebo jinou službu:
      - Jádro zablokuje proces *A* jako celek.
      - Celý proces čeká, přestože by mohlo běžet vlákno T_2.
    - Proces *A* vyčerpá časové kvantum:
      - JOS přeřadí proces *A* mezi připravené
      - TCB_1 však indikuje, že T_1 je stále ve stavu „běžící“ (ve skutečnosti *neběží*!)
    - T_1 potřebuje akci realizovanou vláknem T_2:
      - Vlákno T_1 se zablokuje. Vlákno T_2 se rozběhne
      - Proces *A* zůstane ve stavu „běžící“ (což je správně)
  - V ULT nelze stav vláken věrohodně sledovat

Výhody a nevýhody uživatelských vláken

- Výhody:
  - Rychlé přepínání mezi vlákny (bez účasti JOS)
  - Rychlá tvorba a zánik vláken
  - Uživatelský proces má plnou kontrolu nad vlákny (např. může zadávat priority či volit plánovací algoritmus)
- Nevýhody:
  - Volání systémové služby jedním vláknem zablokuje všechna vlákna procesu
  - Dodatečná práce programátora pro řízení vláken
    - Lze však ponechat knihovnou definovaný implicitní algoritmus plánování vláken
  - Jádro o vláknech „nic neví“, a tudíž přiděluje procesor pouze procesům, Dvě vlákna téhož procesu nemohou běžet současně, i když je k dispozici více procesorů

Vlákna na úrovni jádra, KLT

- *Kernel-Level Threads* (**KLT**)
- Veškerá správa vláken je realizována OS
- Každé vlákno v uživatelském prostoru je zobrazeno na vlákno v jádře (model 1:1)
- JOS vytváří, plánuje a ruší vlákna
- Jádro může plánovat vlákna na různé CPU
  - Skutečný multiprocessing
- Příklady
  - Windows NT/2000/XP
  - Linuxy
  - 4.4BSD UNIXy
  - Tru64 UNIX



Výhody a nevýhody KLT

- Výhody:
  - Volání systému neblokuje ostatní vlákna téhož procesu
  - **Jeden proces může využít více procesorů** (skutečný paralelismus uvnitř jednoho procesu – každé vlákno běží na jiném procesoru)
  - Tvorba, rušení a přepínání mezi vlákny je levnější než mezi procesy
  - I moduly jádra mohou mít vícevláknový charakter
- Nevýhody:
  - Systémová správa je režijně nákladnější než u čistě uživatelských vláken
  - Klasické plánování není spravedlivé: Dostává-li vlákno své časové kvantum(➡), pak procesy s více vlákny dostávají více času

Knihovna Pthreads

- Pthreads je POSIX-ový standard definující API pro vytváření a synchronizaci vláken a specifikace chování těchto vláken
- Knihovna Pthreads poskytuje unifikované API:
  - Nepodporuje-li JOS vlákna, knihovna Pthreads bude pracovat čistě s ULT
  - Implementuje-li příslušné jádro KLT, pak knihovna Pthreads toho bude využívat
  - Pthreads je tedy systémově závislá knihovna
- **Příklad:** Samostatné vlákno, které počítá součet prvních *n* celých čísel

Příklad volání API Pthreads

Příklad: Samostatné vlákno, které počítá součet prvních *n* celých čísel; *n* se zadává jako parametr programu na příkazové řádce

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>

int sum;                                          /* sdílená data */
void *runner(void *param);                        /* rutina realizující vlákno */

main(int argc, char *argv[]) {
    pthread_t tid;                                /* identifikátor vlákna*/
    pthread_attr_t attr;                          /* atributy vlákna */
    pthread_attr_init(&attr);                     /* inicializuj implicitní atributy */
    pthread_create(&tid, &attr, runner, argv[1]); /* vytvoř vlákno */
    pthread_join(tid,NULL);                       /* čekej až vlákno skončí */
    printf("sum = %d\n",sum);
}

void *runner(void *param) {
   int upper = atoi(param);  int i;  sum = 0;
   if (upper > 0) {
      for (i = 1; i <= upper; i++)
         sum += i;
   }
   pthread_exit(0);
}
```


Vlákna ve Windows XP/7

- Aplikace ve Windows běží jako proces tvořený jedním nebo více vlákny
- Windows implementují mapování 1:1
- Někteří autoři dokonce tvrdí, že *"Proces se nemůže vykonávat, neboť je jen kontejnerem pro vlákna a jen vlákna jsou schopná běhu"*
- Každému vláknu patří
  - identifikátor vlákna
  - sada registrů
  - samostatný uživatelský a systémový zásobník
  - privátní datovou oblast

Vlákna v Linuxu a Javě

- Vlákna Linux:
  - Linux nazývá vlákna *tasks*
  - Vytváření vláken je realizováno službou **`clone()`**
  - **`clone()`** umožňuje vláknu (task) sdílet adresní prostor s rodičem
    - **`fork()`** vytvoří zcela samostatný proces s kopií prostoru rodičovského procesu
    - **`clone()`** vytvoří vlákno, které dostane odkaz (pointer) na adresní prostor rodiče
- Vlákna v Javě:
  - Java má třídu „Thread" a instancí je vlákno
    - Samozřejmě lze ze třídy Thread odvodit podtřídu a některé metody přepsat
  - Vlákna jsou spravována přímo JVM
    - JVM spolu se základními Java třídami vlastně vytváří virtuální stroj obsahující jak „hardware" (vlastní JVM), tak i na něm běžící OS podporující vlákna

Dotazy