Procesy a vlákna

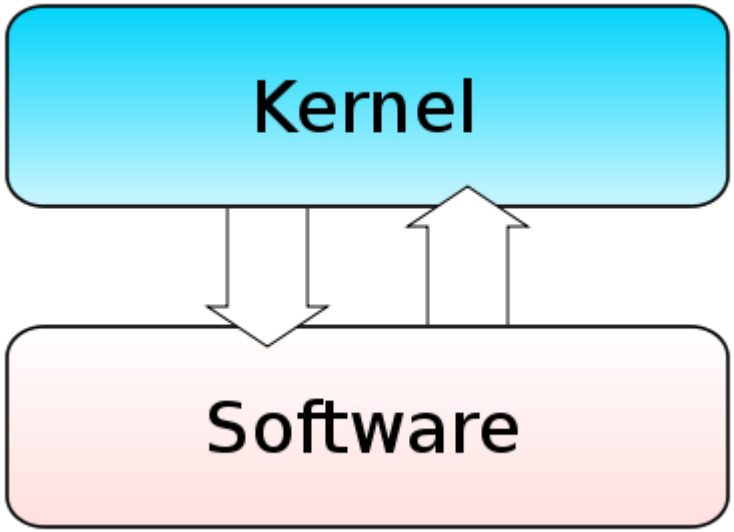
Jaromír Plhák
xplhak@fi.muni.cz

Vnitřní struktura OS

- Existuje řada přístupů a implementací
  - Jedno velké monolitické jádro
  - Modulární, hierarchický přístup
  - Malé jádro a samostatné procesy
- Struktura mnoha OS je poznamenána historií OS a původními záměry, které se mohou od současného stavu radikálně lišit

Monolitické jádro

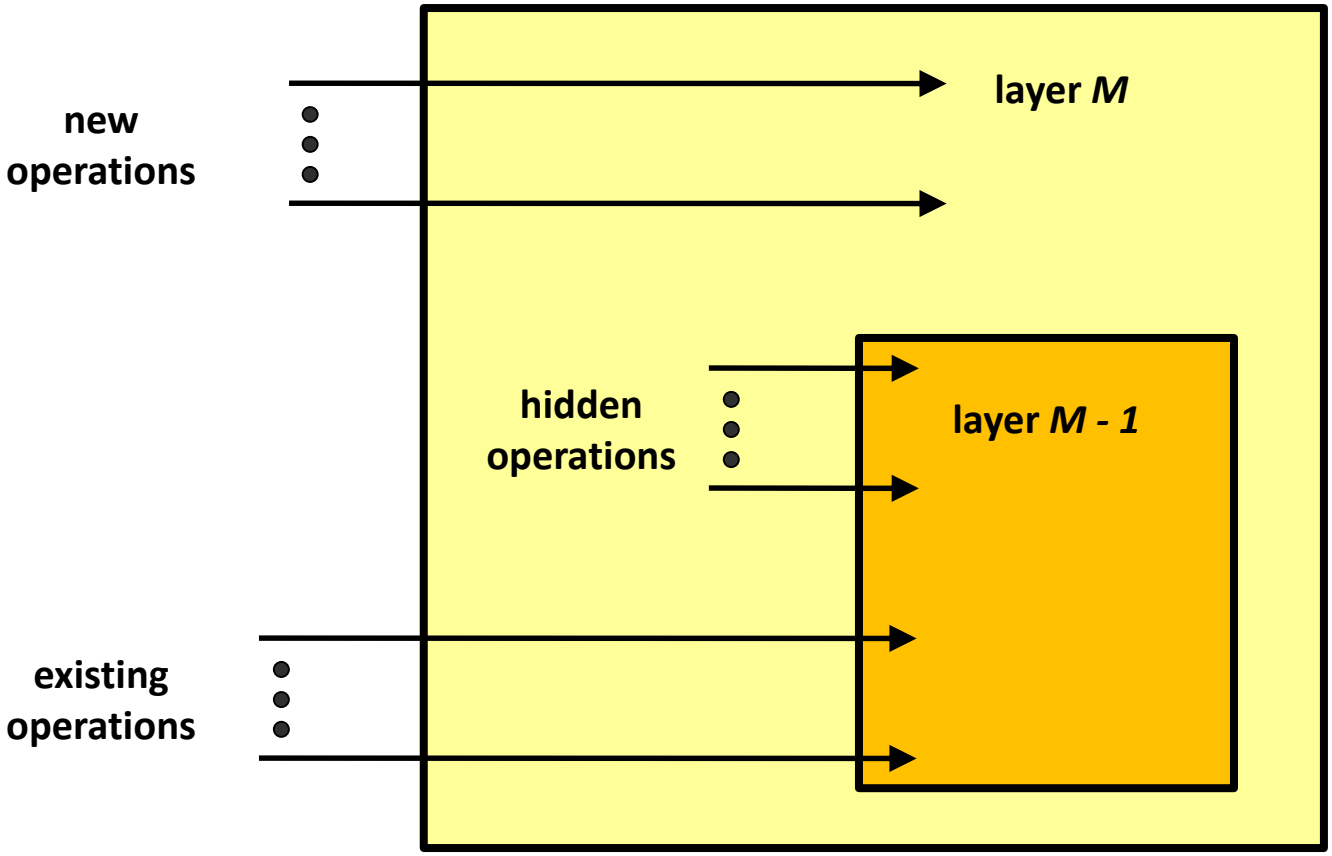
- OS běží kompletně v jaderném paměťovém prostoru (kernel space)
- Činnosti jednotlivých subsystémů jsou odděleny, ale velice silně provázány
  - Navíc sdílejí stejný paměťový prostor
- Například MS-DOS



Hierarchická vrstvová architektura (1)

- OS se dělí do jistého počtu vrstev (úrovní)
- Každá vrstva je budována na funkcionalitě nižších vrstev
- Nejnižší vrstva (0) je hardware
- Nejvyšší vrstva je uživatelské rozhraní
- Pomocí principu modulů jsou vrstvy vybírány tak, aby každá používala funkcí (operací) a služeb pouze vrstvy $n - 1$

Hierarchická vrstvová architektura (2)

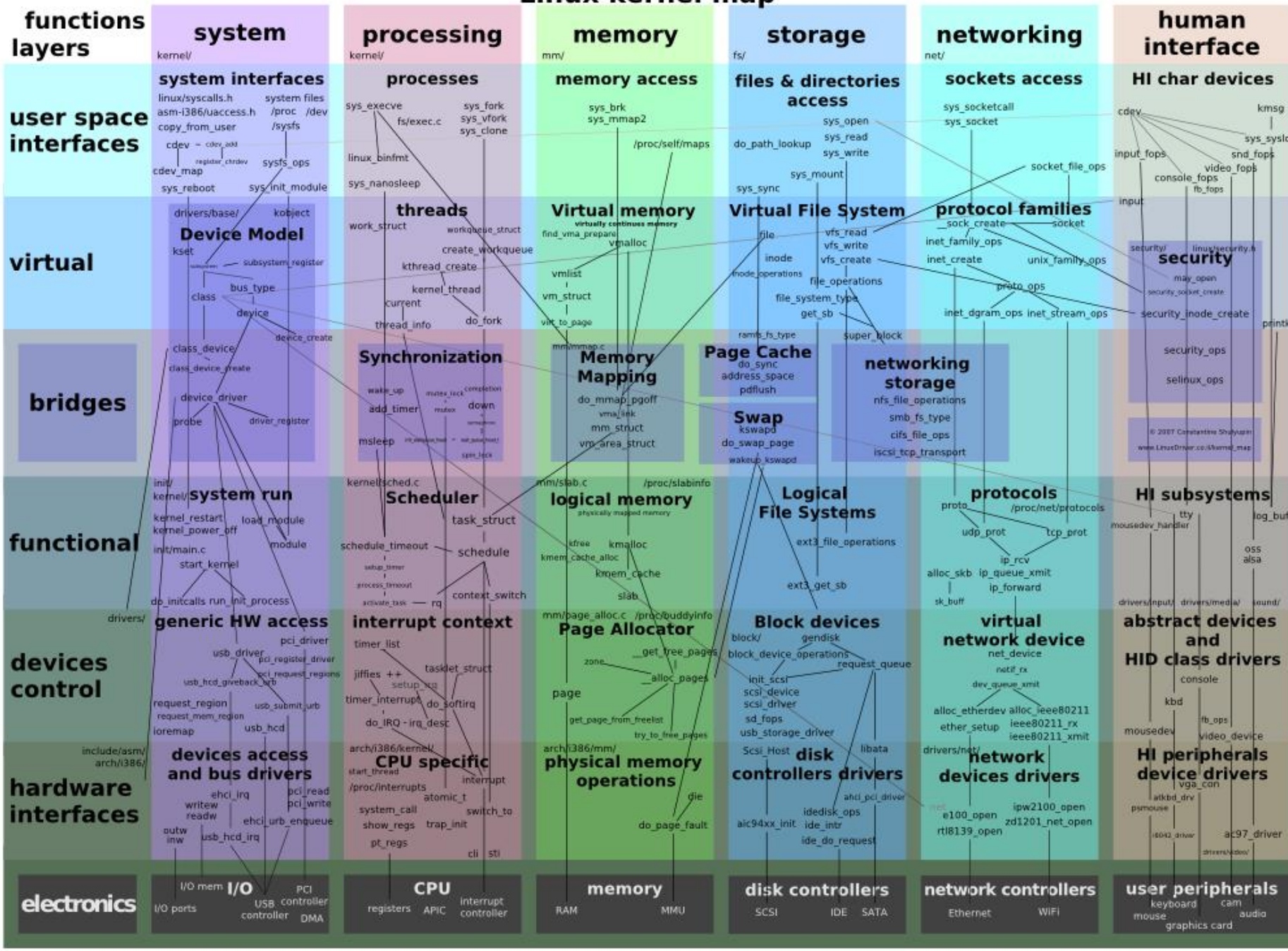


Hierarchická vrstvová architektura (3)

- Řeší problém přílišné složitosti velkého systému
  - Provádí se dekompozice velkého problému na několik menších zvládnutelných problémů
- Každá úroveň řeší konzistentní podmnožinu funkcí
- Nižší vrstva nabízí vyšší vrstvě „primitivní“ funkce (služby)
- Nižší vrstva nemůže požadovat provedení služeb vyšší vrstvy
- Používají se přesně definovaná rozhraní
  - Jednu vrstvu lze uvnitř modifikovat, aniž to ovlivní ostatní vrstvy – princip modularity

Hierarchická vrstvová architektura (4)

- Výhodou je modularita OS
- Nevýhodou je především vyšší režie a tím pomalejší vykonávání systémových volání
- Protože efektivita hraje v jádře OS významnou roli je třeba volit kompromis
  - Pouze omezený počet úrovní pokrývající vyšší funkcionalitu
  - Příkladem je první verze Windows NT
    - Měly hierarchickou strukturu s řadou vrstev, avšak pro zvýšení výkonu OS bylo ve verzi NT 4.0 rozhodnuto přesunout více funkcionality do jádra a sloučit některé vrstvy


Linux kernel map
functions
layers
system
kernel/
processing
kernel/
memory
mm/
storage
fs/
networking
net/
human interface
user space interfaces
virtual
bridges
functional
devices control
hardware interfaces
electronics
system interfaces
processes
memory access
files & directories access
sockets access
HI char devices
Device Model
threads
Virtual memory
Virtual File System
protocol families
security
Synchronization
Memory Mapping
Page Cache
networking storage
Swap
system run
Scheduler
logical memory
Logical File Systems
protocols
HI subsystems
generic HW access
interrupt context
Page Allocator
Block devices
virtual network device
abstract devices and HID class drivers
devices access and bus drivers
CPU specific
physical memory operations
disk controllers drivers
network devices drivers
HI peripherals device drivers
I/O
CPU
memory
disk controllers
network controllers
user peripherals

Struktura s mikrojádrem (1)

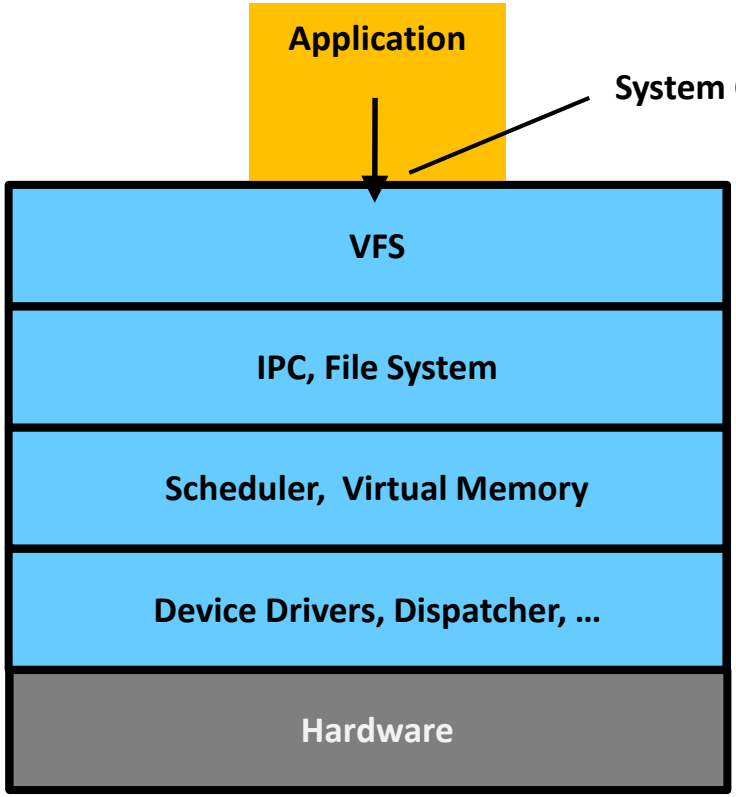
- Microkernel System Structure
- Malé jádro OS plnící pouze několik málo nezbytných funkcí
  - Primitivní správa paměti (adresový prostor)
  - Komunikace mezi procesy – Interprocess communication (IPC)
- Většina funkcí z jádra se přesouvá do „uživatelské“ oblasti
  - Ovladače HW zařízení, služby systému souborů, virtualizace paměti …
  - Mezi uživatelskými procesy se komunikuje předáváním zpráv

Struktura s mikrojádrem (2)

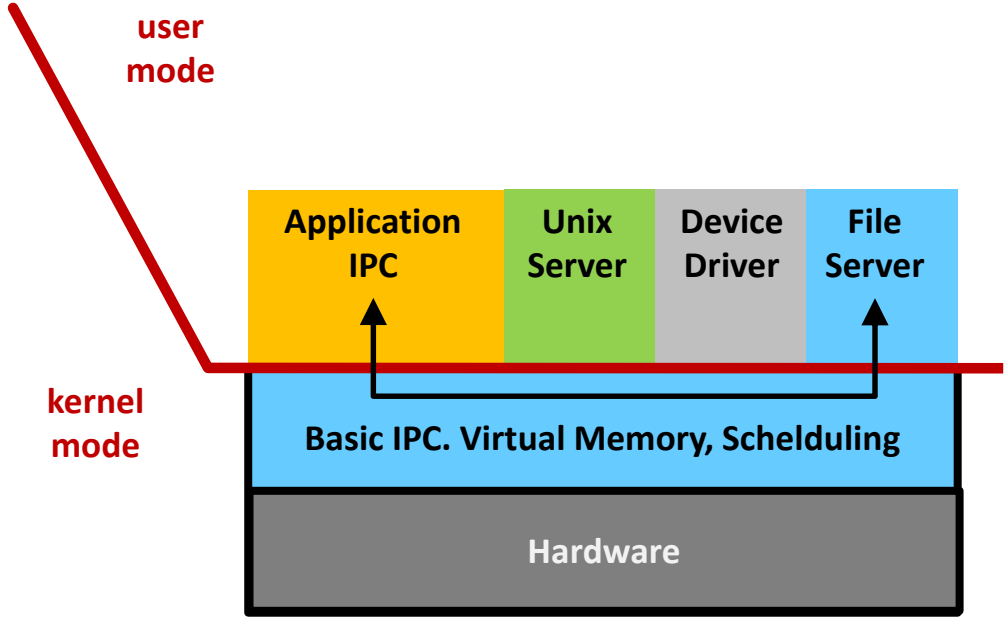
- Výhody mikrojádra
  - Snadná přenositelnost OS, jádro je malé
  - Vyšší spolehlivost (moduly mají jasné API a jsou snadněji testovatelné)
  - Vyšší bezpečnost (méně kódu OS běží v režimu jádra)
  - Flexibilita (jednodušší modifikace, přidání, odebrání modulů)
  - Všechny služby jsou poskytovány jednotně (výměnou zpráv)
- Nevýhoda mikrojádra
  - Zvýšená režie
  - Volání služeb je nahrazeno výměnou zpráv mezi procesy

Monolitické jádro a mikrojádro

Monolithic Kernel based Operating System



Microkernel based Operating System



Program a proces (1)

- Program
  - Soubor přesně definovaného formátu obsahující
    - Posloupnost instrukcí, případně sdílená více procesy
    - Data potřebná k provedení stanoveného úkolu
- Proces (Task)
  - Akt provádění programu, instance výpočtu podle programu
  - Proces je systémový objekt – jednotka aktivity charakterizovatelná prováděním posloupnosti instrukcí, okamžitým stavem a relevantní množinou systémových zdrojů

Program a proces (2)

- Proces (pokr.)
  - Je charakterizovaný svým kontextem
    - OS přiděluje prostor ve FAP procesům, ne programům, proces vlastní obraz virtuálního (logického) adresového prostoru uchovávaný na vnější paměti, proces může vlastnit soubory, I/O zařízení, okna na obrazovce, komunikační kanály k jiným procesům *(sockets),* ...
  - OS přiděluje procesu čas procesoru, proces drží procesor = **běží**

Co je to proces?

- Pro spuštěný program máme řadu pojmenování
  - Dávkové systémy – úlohy, dávky, jobs
  - Multitaskingové systémy – procesy, vlákna
- Společné pojmenování pro spuštěný program je **proces**
- Dále zavádíme pojem **vlákno** pro „dílčí“ proces v rámci procesu
  - Abstrakce jedné z možných sekvenčních činností procesu
  - Proces zahrnuje mimo prostředí běhu alespoň jedno vlákno
    - Může se realizovat pomocí několika vláken

Data nutná pro správu a řízení procesů (1)

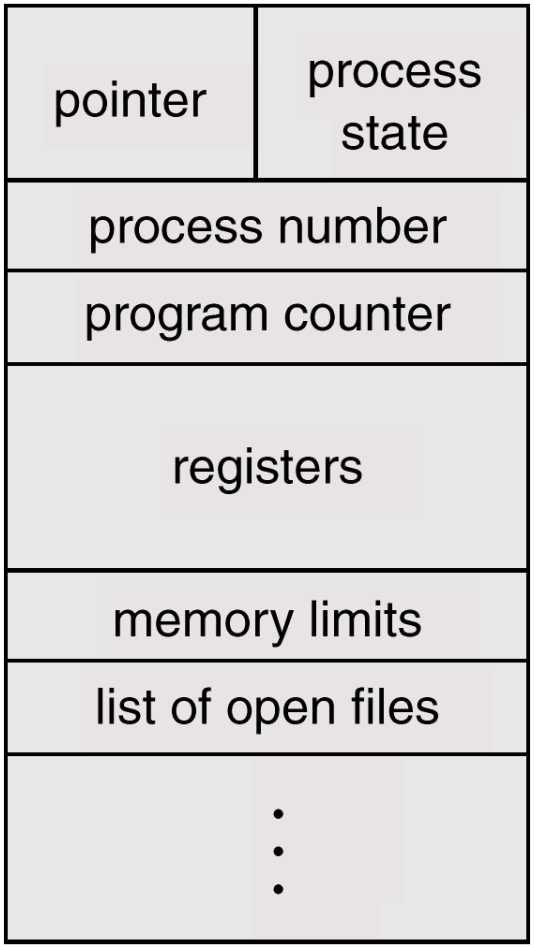
- Stavové informace
  - Registry procesoru
    - Obecné (střadače, ...), speciální
    - Stav procesoru, ukazatelé zásobníku, ukazatelé haldy, čítač instrukcí
    - Registr s návratovou adresou, ...
  - Běží, čeká na událost, je připravený běžet, …

Data nutná pro správu a řízení procesů (2)

- Informace nutné pro správu a řízení procesů
  - Priorita procesu, stav procesu
  - Informace o používání zdrojů systému procesem
    - Spotřebovaný čas procesoru, doba běhu
- PID (process identifier), účet vlastníka procesu, seznam I/O zařízení vlastněných procesem, seznam otevřených souborů, ukazatelé vyrovnávacích pamětí používaných pro otevřené soubory, ...
- Informace o používaných prostorech v operační paměti
  - Báze, délka oblasti / stránkovací tabulka při virtualizaci paměti
- ...

Informace OS o procesu

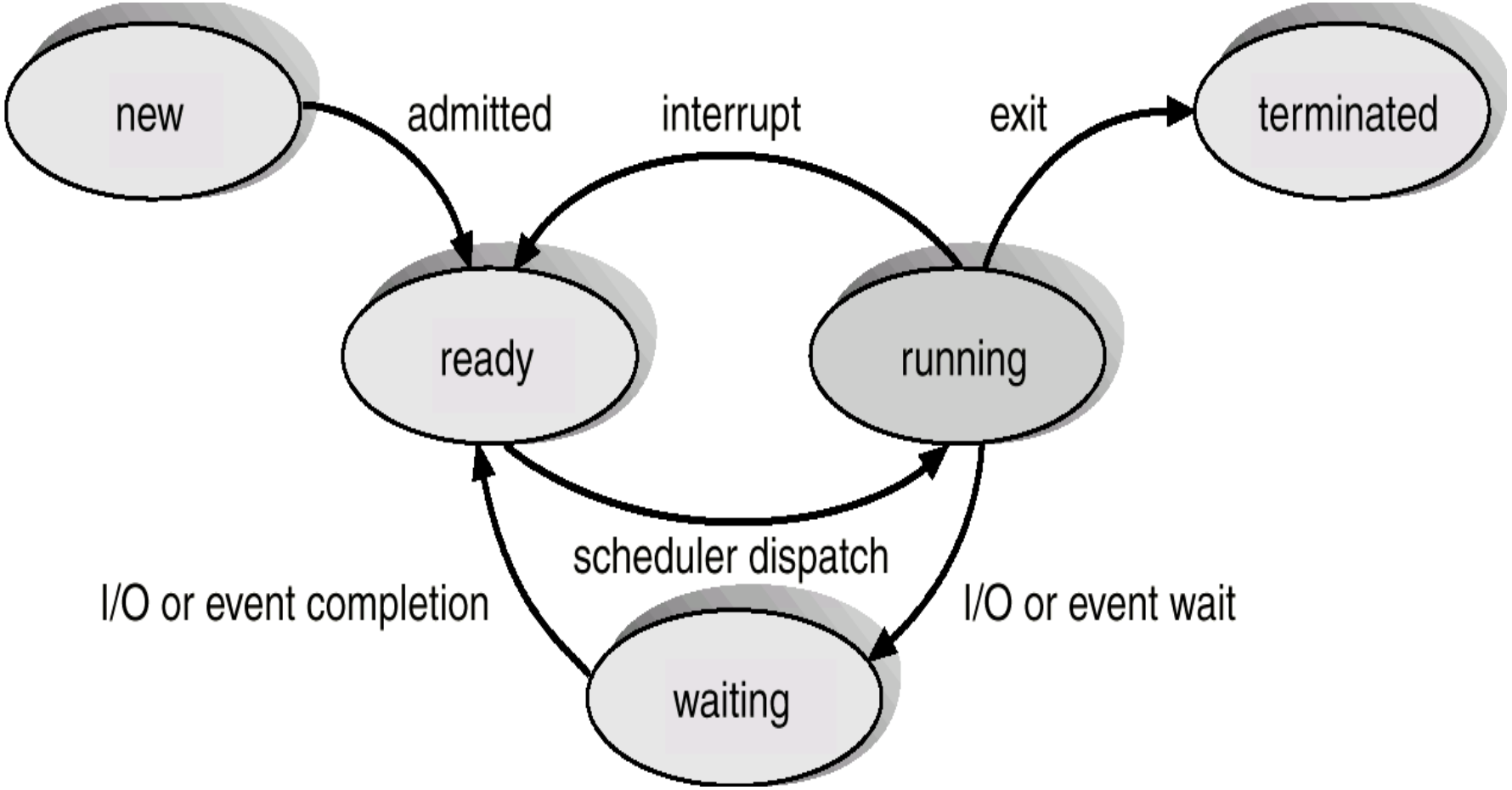
- Process Control Block – tabulka obsahující informace potřebné pro definici a správu procesu (udržovaná OS)
  - Id procesu a jeho priorita
  - Stav procesu (běžící, připravený, …)
  - Čítač instrukcí
  - Registry procesoru
  - Informace potřebné pro správu paměti
  - Informace potřebné pro správu I/O
  - Účtovací informace
  - …



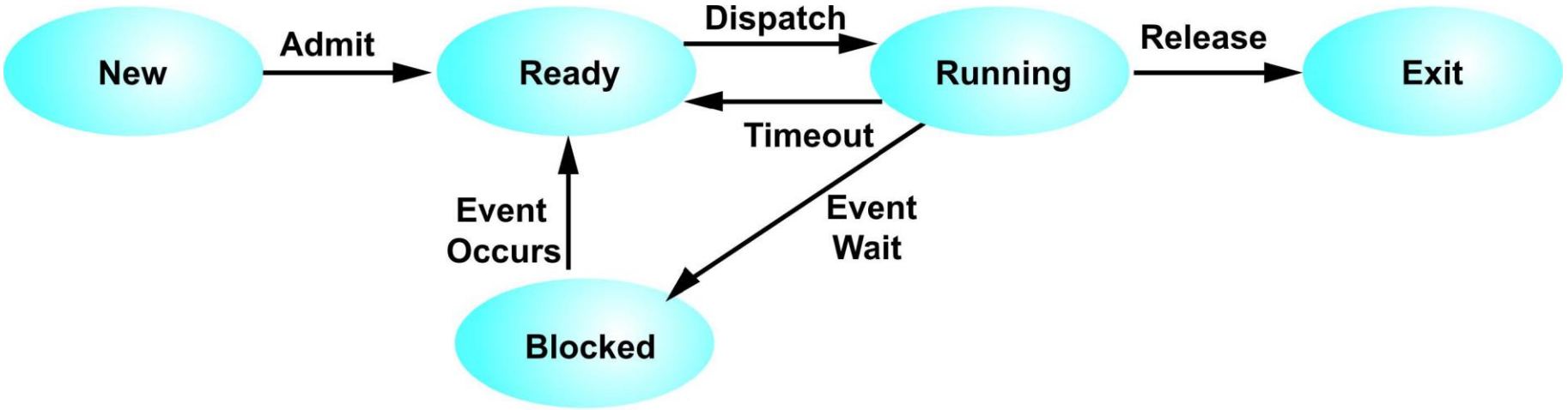
Stavy procesu (1)

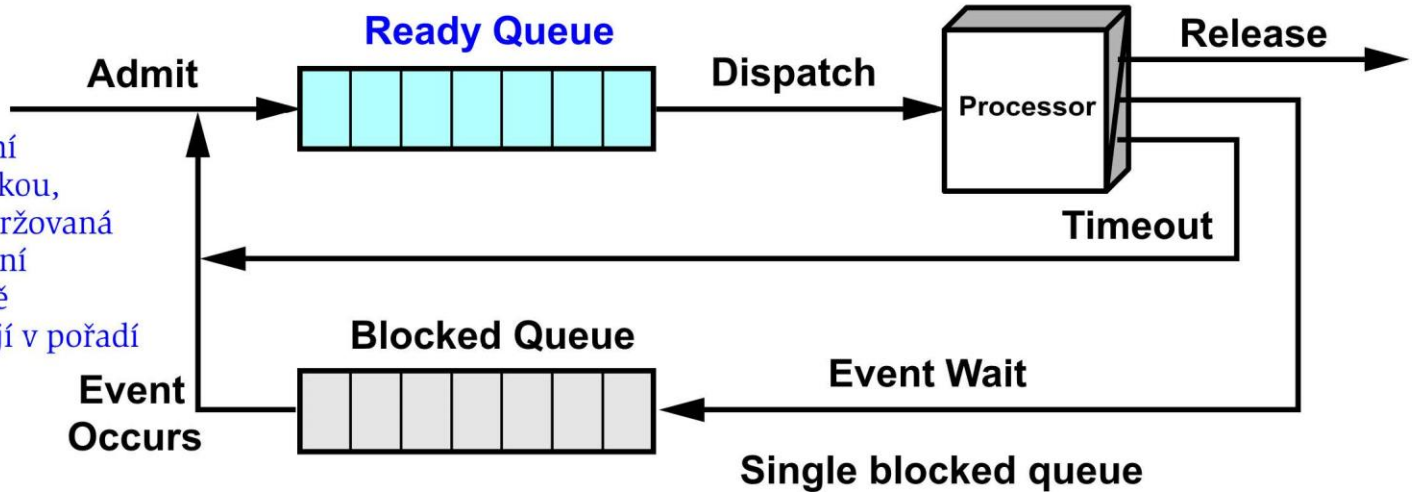
- Proces se může nacházet v jednom ze stavů
  - Nový (new) – právě vytvořený proces
  - Běžící (running) – některý procesor právě vykonává instrukce procesu
  - Čekající (waiting) – čeká na určitou událost
  - Připravený (ready) – čeká na přidělení času procesoru
  - Ukončený (terminated) – ukončil své provádění

Stavy procesu (2)



Stavy procesu (3)



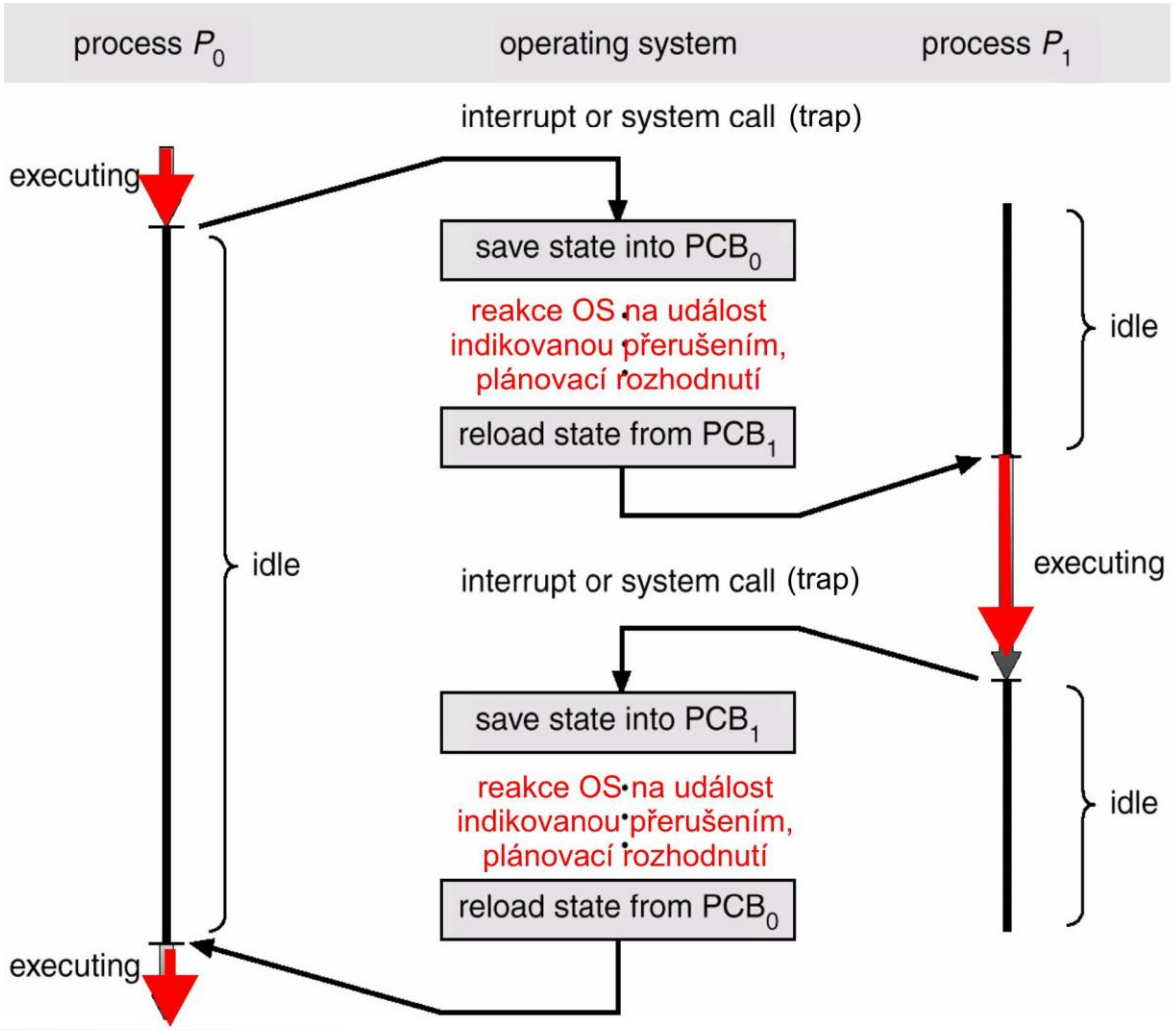


Pokud se plánování
řídí prioritní politikou,
je fronta Ready udržovaná
pro každou prioritní
úroveň samostatně
a fronty se bsluhují v pořadí
priorit

Vytvoření procesu, přepnutí z procesu na OS

- OS rozhodl, že vytvoří nový proces
  - Přidělí novému procesu jedinečný id
  - Vyhradí ve fyzickém adresovém prostoru místo pro každou potřebnou komponentu obrazu procesu
  - Inicializuje PCB
  - Proces zařadí do vhodné fronty (mezi připravené procesy)
  - Vytvoří nebo doplní potřebné datové struktury (účtovací soubor apod.)
- Příčiny přepnutí z procesu na OS
  - Přerušením – je nutná reakce OS na asynchronní událost, externí vůči běžícímu procesu (I/O, časovač, výpadek, ...)
  - Synchronním přerušením – je nutná reakce OS na událost související s prováděnou instrukcí (chyba, výjimka, volání služby OS)
  - OS obslouží příčinu přerušení a rozhodne o dalším postupu

Přepnutí procesu



doba pro přepnutí procesu je režijní ztráta, během přepínání systém nevykonává užitečnou práci

1. Elektronicky se uchová kontext CPU, především čítače instrukcí a předá se řízení na OS
2. OS uchová kontext CPU vč. čítače instrukcí a ost. registrů do PCB procesu ve stavu *běžící zkoriguje jeho obsah*
3. PCB běžícího procesu OS přepne do odpovídající fronty (připravené procesy, *ready*)
4. OS obslouží příčinu přerušení a vybere příští běžící proces
5. OS zkoriguje PCB vybraného procesu
6. OS zkoriguje kontext procesoru pro vybraný proces, vč. správy paměti
7. OS předá řízení vybranému procesu

Přepnutí kontextu (1)

- Vyžádá se služba, akceptuje se některé asynchronní přerušení, obslouží se a nově se vybere jiný běžící proces
- Když OS přepojuje CPU z procesu X na proces Y, musí
  - Uchovat (uložit v PCB procesu X) stav původně běžícího procesu
  - Zavést stav nově běžícího procesu (z PCB procesu Y)
- Přepnutí kontextu představuje režijní ztrátu (zátěž)
  - Během přepínání systém nedělá nic efektivního

Přepnutí kontextu (2)

- Doba přepnutí závisí na konkrétní HW platformě
  - Počet registrů procesoru, speciální instrukce pro uložení/načtení všech registrů procesoru apod.
- Při přerušení musí procesor
  - Uchovat čítač instrukcí
  - Zavést do čítače instrukcí hodnotou adresy vstupního bodu ovladače přerušení z vektoru přerušení

Vytvoření procesu

- Rodič vytváří potomky (další procesy)
- Potomci mohou vytvářet další potomky …
- Vzniká strom procesů
- Sdílení zdrojů – varianty při vytváření potomků
  - Rodič a potomek sdílejí zdroje původně vlastněné rodičem
  - Potomek sdílí rodičem vyčleněnou podmnožinu zdrojů s rodičem
  - Potomek a rodič jsou plně samostatné procesy, nesdílí žádný zdroj
- Běh
  - Rodič a potomek mohou běžet souběžně
  - Rodič čeká na ukončení potomka

Ukončení procesu

- Proces provede poslední příkaz a sám požádá OS o ukončení
  - Výstupní data procesu se předají rodiči (pokud o to má zájem – např. čeká na ukončení potomka voláním wait)
  - Zdroje končícího procesu se uvolňují operačním systémem
- O ukončení procesu žádá jeho rodič (nebo jiný proces s dostatečnými právy), protože např.
  - Potomek překročil stanovenou kvótu přidělených zdrojů
  - Úkol přidělený potomkovi rodič již dále nepotřebuje
  - Rodič končí svoji existenci a nebylo povoleno, aby potomek přežil svého rodiče
  - Může docházet ke kaskádnímu ukončování (ukončí se celá větev stromu procesů)

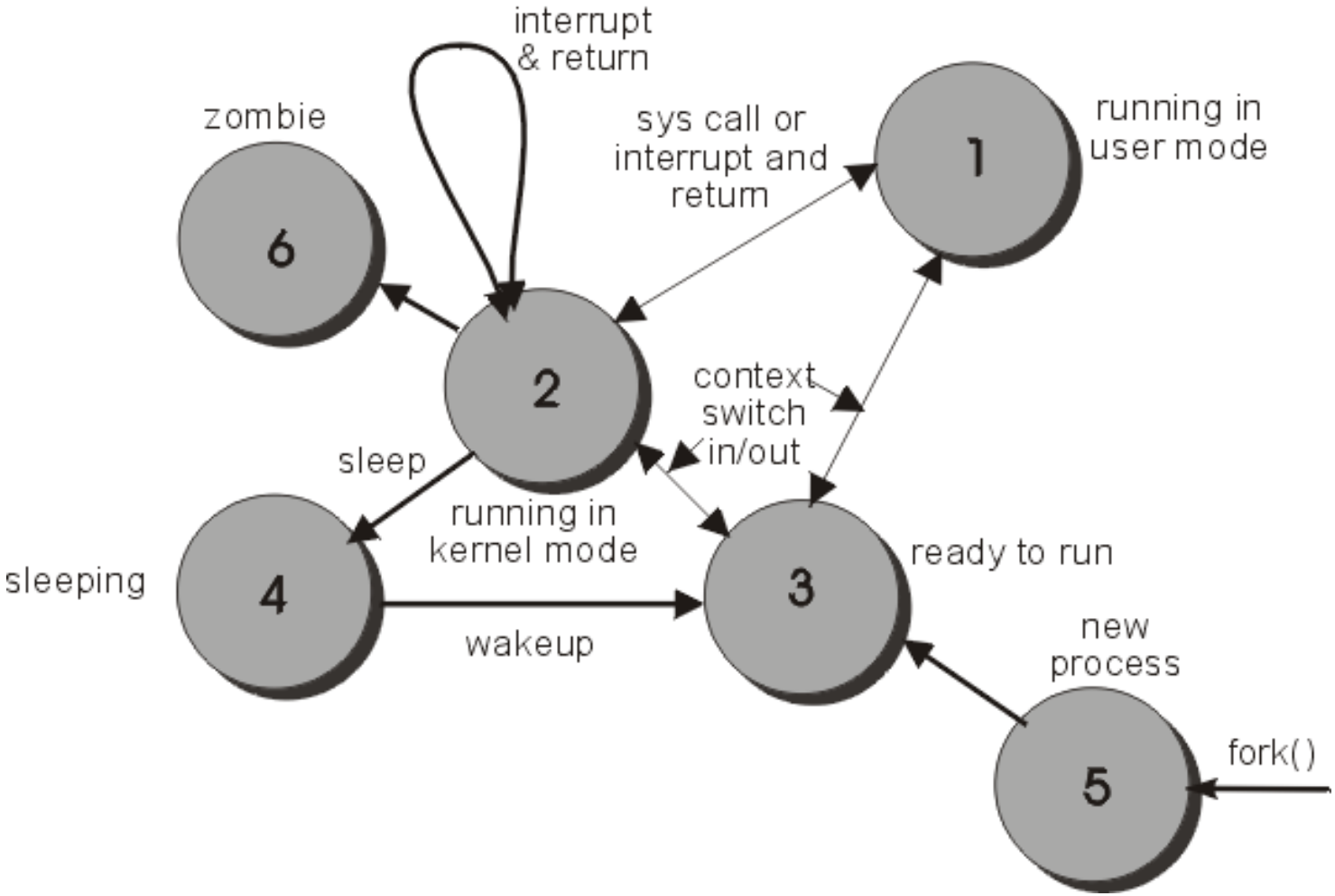
Příklad – Linux (1)

- volání fork() implementováno jako copy-on-write (tj. dokud paměť není měněna je sdílena a až při pokusu o modifikaci je vytvořena kopie)
- vfork – upravené fork, které nekopíruje stránky paměti rodičovského procesu
  - Rychlejší
  - Vhodné pro okamžité spuštění execve

Příklad – Linux (2)

- clone – upravené fork, které umožňuje sdílet některé zdroje (například paměť, deskriptory souborů, ovladače signálů) mezi rodičovským a nově vytvořeným procesem.
- Informace o procesu jsou uloženy ve struktuře task_struct (viz usr/include/sched.h)

Příklad – Linux (3)



Procesy a vlákna (1)

- Program
  - Soubor definovaného formátu obsahující instrukce, data a další informace potřebné k provedení daného úkolu
- Proces
  - Systémový objekt charakterizovaný svým paměťovým prostorem a kontextem (paměť i některé další zdroje jsou přidělovány procesům)
- Vlákno, také „sled“
  - Objekt, který vzniká v rámci procesu, je viditelný pouze uvnitř procesu a je charakterizován svým stavem (CPU se přidělují vláknům)

Procesy a vlákna (2)

- Model – jen procesy (ne vlákna)
  - Proces – jednotka plánování činnosti i jednotka vlastnící prostředky
- Model – procesy a vlákna
  - Proces – jednotka vlastnící zdroje
  - Vlákno – jednotka plánování činnosti

Procesy a vlákna (3)

- Každé vlákno si udržuje svůj vlastní
  - Zásobník
  - PC (Program Counter)
  - Registry
  - TCB (Thread Control Block)
- Vlákno může přistupovat k paměti a ostatním zdrojům svého procesu
  - Zdroje procesu sdílí všechna vlákna jednoho procesu
  - Jakmile jedno vlákno změní obsah (nelokální – mimo zásobník) buňky, všechna ostatní vlákna (téhož procesu) to vidí
  - Soubor otevřený jedním vláknem mají k dispozici všechna ostatní vlákna (téhož procesu)

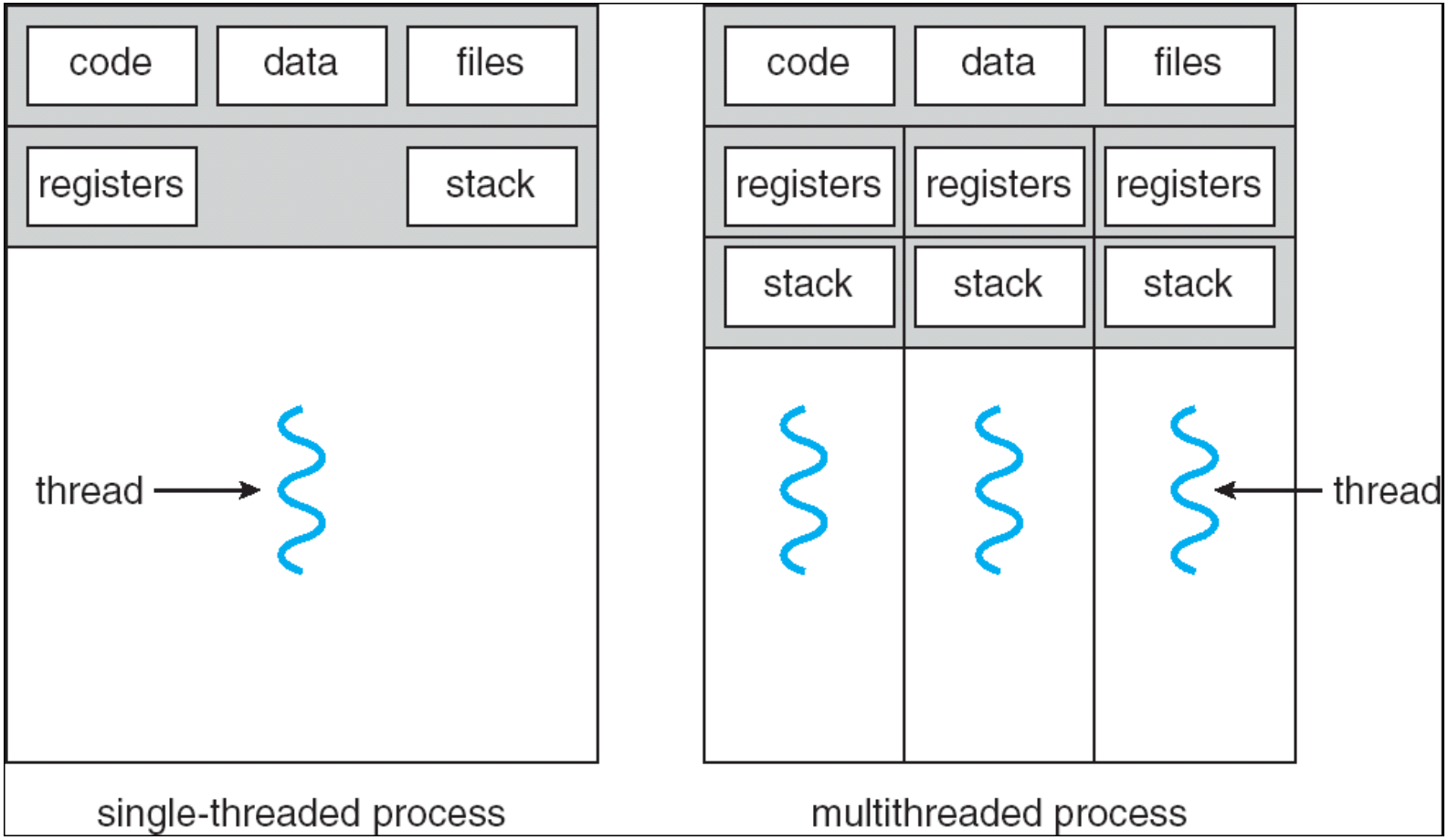
Procesy a vlákna (4)

- Proč využít vlákna
  - Využití multiprocesorových strojů (vlákna jednoho procesu mohou běžet na různých CPU)
  - Typický příklad
    - Jedno vlákno provádí uživatelem požadovaný úkol a druhé vlákno překresluje obrazovku

Procesy a vlákna (5)

- 1:1
  - UNIX Systém V, (MS-DOS)
    - Pojem vlákno neznámý, každé „vlákno“ je procesem s vlastním adresovým prostorem a s vlastními prostředky
- 1:M
  - OS/2, Windows XP, Mach, …
    - V rámci jednoho procesu lze vytvořit více vláken
    - Proces je vlastníkem zdrojů (vlákna sdílejí zdroje procesu)

Procesy a vlákna (6)



Výhody využití vláken

- Vlákno se vytvoří rychleji než proces
- Vlákno se ukončí rychleji než proces
- Mezi vlákny se rychleji přepíná než mezi procesy
- Jednodušší programování (jednodušší struktura programu)
- U multiprocesorových systémů může na různých procesorech běžet více vláken jednoho procesu současně

Příklady využití vláken

- Síťový souborový (nebo i jiný) server
  - Musí vyřizovat řadu požadavků klientů
  - Pro vyřízení každého požadavku vytváří samostatné vlákno (efektivnější než samostatný proces)
- Jedno vlákno zobrazuje menu a čte vstup od uživatele a současně druhé vlákno provádí příkazy uživatele
- Překreslování obrazovky souběžně se zpracováním dat

Problém konzistence

- Program se skládá z několika vláken které běží paralelně
- Výhody
  - Když vlákno čeká na ukončení I/O operace, může běžet jiné vlákno téhož procesu, aniž by se přepínalo mezi procesy (což je časově náročné)
  - Vlákna jednoho procesu sdílí paměť a deskriptory otevřených souborů a mohou mezi sebou komunikovat, aniž by k tomu potřebovala služby jádra (což by bylo pomalejší)
- Konzistence
  - Vlákna jedné aplikace se proto musí mezi sebou synchronizovat, aby se zachovala konzistentnost dat (musíme zabránit současné modifikace stejných dat dvěma vlákny apod.)

Problém konzistence – příklad

- Situace
  - 3 proměnné – A, B, C
  - 2 vlákna – T1, T2
  - Vlákno T1 počítá C = A+B
  - Vlákno T2 přesouvá hodnotu X z A do B (jakoby z účtu na účet)
- Představa o chování
  - T2 dělá A = A-X a B = B+X
  - T1 počítá konstantní C, tj. A + B se nezmění
- Ale jestliže
  - T1 spočítá A+B poté co T2 udělá A = A-X
  - Ale dříve než co T2 udělá B = B+X
  - Pak T1 nezíská správný výsledek C = A+B

Stavy vláken

- Tři klíčové stavy vláken
  - Běžící
  - Připravené
  - Čekající
- Vlákna se (samostatně) neodkládají
  - Všechna vlákna jednoho procesu sdílejí stejný adresový prostor
- Ukončení procesu ukončuje všechny vlákna existující v rámci tohoto procesu

Příklad – Win32 (1)

- Implementuje vlákna na úrovni jádra OS
  - Implementace je zdařilá, umožňuje mimo jiné paralelní běh vláken jednoho procesu na různých procesorech
- Služby OS
  - CreateThread
  - ExitThread
  - GetExitCodeThread
  - CreateRemoteThread (vytváří vlákno jiného procesu)
  - SuspendThread

Příklad – Win32 (2)

- Služby OS pokračování
  - ResumeThread
  - GetProcessAffinityMask (běh vlákna na procesorech)
  - SetProcessAffinityMask
  - SetThreadIdealProcessor
  - SwitchToThread (spusť jiný thread – je-li připraven)
  - TlsAlloc, TlsFree, TlsSetValue, TlsGetValue (thread local storage)