# Operační systémy a sítě

Petr Štěpán, K13133
KN-E-229
stepan@labe.felk.cvut.cz

## Téma 1. Úvod do problému

# Obsah

## Operační systémy – Lekce 1-8

- Silberschatz A., Galvin P. B., Gagne G.: Operating System Concepts
  http://codex.cs.yale.edu/avi/os-book/OS7/os7c/index.html
- Tanenbaum A. S.: Modern Operating Systems
  http://www.cs.vu.nl/~ast/books/mos2/
- YouTube lectures (anglicky):
  CS 162 – UC Berkeley
  OS-SP06 – Surendar Chandra – UC Berkeley
  MIT 6.004

## Sítě – Lekce 9-12/13

- Comer D. E.: Internetworking With TCP/IP Volume 1: Principles Protocols, and Architecture,
  http://www.cs.purdue.edu/homes/dec/vol1/vol1_presentation.pdf
- Jiří Peterka, přednášky na MFF UK, Počítačové sítě, Rodina protokolů TCP/IP
  http://www.earchiv.cz/i_prednmffuk.php3

# Organizace přednášky

- Souhrnná literatura v češtině není
- Tyto prezentace (stránka předmětu, postupně přidávány
  http://labe.felk.cvut.cz/vyuka/A4B33OSS/
  https://cw.felk.cvut.cz/wiki/courses/a4b33oss/prednasky
- Cvičení částečně seminární a samostatná práce
  - Odkaz na cvičení z uvedené stránky
  - Vedoucí cvičení: Ing Jan Chudoba
- Zkouška (jiné příklady než minulé roky):
  - Výsledky cvičení (až 10 b.)
  - Test u zkoušky (až 5 b., 3 b. minimum)
  - Zadané 2 příklady/úlohy (až 15 b.)
  - Hodnocení:
    - ≥ 27 & Minimálně 9 bodů ze cvičení → A (výborně)
    - 24 – 26,9 & Minimálně 7 bodů ze cvičení → B (velmi dobře)
    - 21 – 23,9 → C (dobře)
    - 18 – 20,9 → D (uspokojivě)
    - 15 – 17,9 → E (dostatečně)

# Proč studovat OS

- Pravděpodobně nikdo z nás nebude psát celý nový OS
- Proč tedy OS studovat?
  - Každý ho používá a jen málokdo ví jak pracuje
  - Jde o nejrozsáhlejší a nejsložitější IT systémy
  - Uplatňují se v nich mnohé různorodé oblasti
    - softwarové inženýrství,
    - netradiční struktury dat,
    - sítě, algoritmy, …
  - Čas od času je potřeba OS upravit
    - pak je potřeba operačním systémům rozumět
    - psaní ovladačů, …
  - Techniky užívané v OS lze uplatnit i v jiných oblastech
    - neobvyklé struktury dat, krizové rozhodování, problémy souběžnosti, správa zdrojů, ...
    - mnohdy aplikace technik z jiných disciplin (např. operační výzkum)
    - naopak techniky vyvinuté pro OS se uplatňují v jiných oblastech (např. při plánování aktivit v průmyslu)

# Cíle předmětu

- Poznat úkoly OS a principy práce OS
- Využívat OS efektivně a bezpečně
- Seznámit se principy počítačových sítí

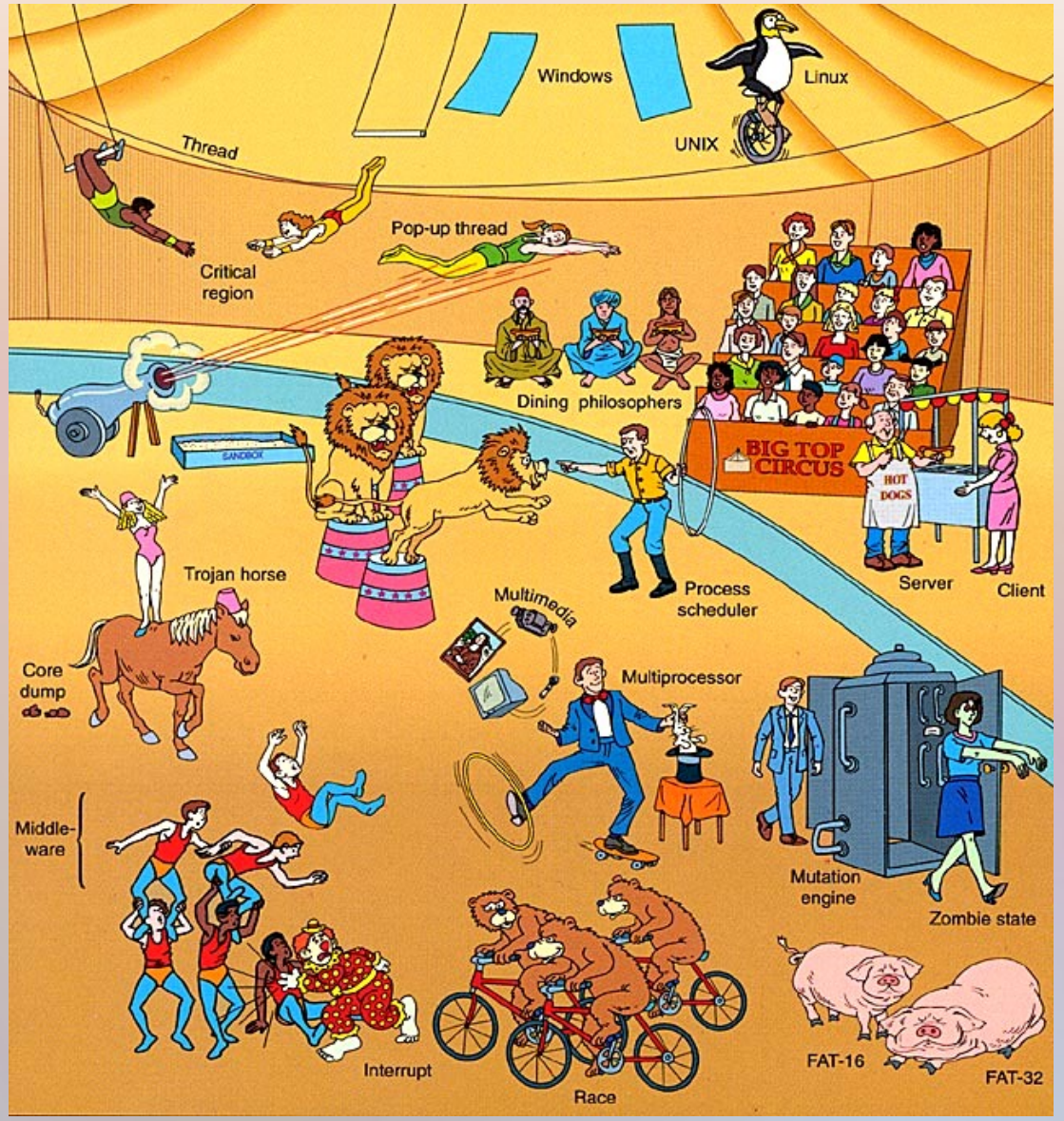
Co NENÍ cílem tohoto předmětu

- Naučit Vás jak napsat aplikaci pod (X)Windows
- Naučit triky pro konkrétní OS
- Vytvořit OS – na to je málo času

# Co je operační systém?

Úkoly OS:

- Spouštět a dohlížet uživatelské programy
- Efektivní využití HW
- Usnadnit řešení uživatelských problémů
- Učinit počítač (snáze) použitelný
  - Umíte použít počítač bez OS?



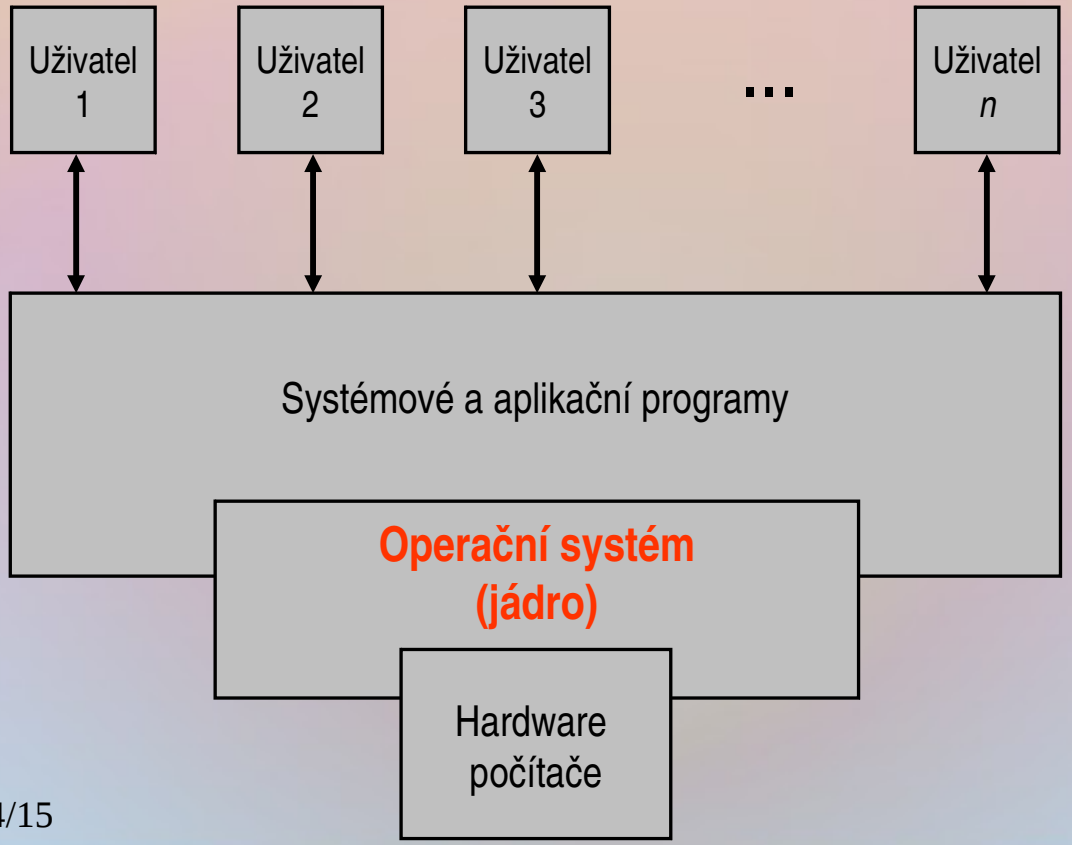
# Co je operační systém?

- Neexistuje žádná obecně platná definice
- Několik koncepcí pojmu OS
  - systémové (jen jádro a s ním související nadstavby)
  - „obchodní“ (to, co si koupíme pod označením OS)
  - organizační (včetně pravidel pro hladký chod systému)
- OS jako rozšíření počítače
  - Zakrývá komplikované detaily hardware
  - Poskytuje uživateli „virtuální stroj“, který má se snáze ovládá a programuje
- OS jako správce systémových prostředků
  - Každý program dostává prostředky v čase
  - Každý program dostává potřebný prostor na potřebných prostředcích

# Co je pro nás operační systém?

V této přednášce budeme brát operační systém jako jádro operačního systému

- ostatní (tzv. systémové) programy lze chápat jako nadstavbu jádra
- GUI – Windows je grafická nadstavba systémových programů



# Různorodost OS

- OS „střediskových“ (mainframe) počítačů – dnes již historický pojem
- OS superpočítačů (3,120,000 jader, 54,902TFlops, 17,8MW příkon)
- OS datových a síťových serverů
- OS osobních počítačů a pracovních stanic
- OS reálného času (Real-time OS – řízení letadel, vlaků, raket, družic, apod.)
- OS přenosných zařízení – telefony, tablety
- Vestavěné OS (tiskárna, pračka, telefon, ...)
- OS čipových karet (smart card OS)
- ... a mnoho dalších specializovaných systémů

# OS pro superpočítače

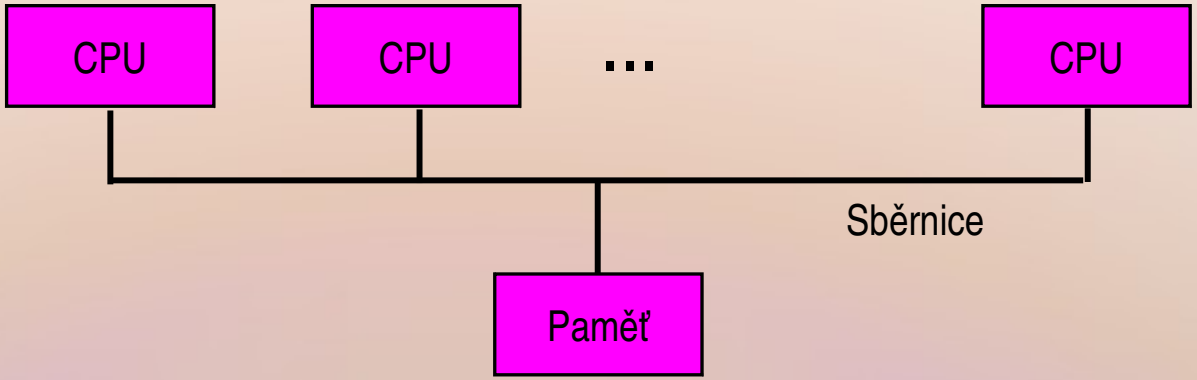
- Počítače pro výpočty velmi složitých simulací a náročných matematických výpočtů
- Zakázky (jobs) se seskupují do dávek (batch) pro nejlepší využití pronajatého strojového času
- Rezidentní program – monitor – předává řízení mezi zakázkami
- Skutečné paralelní spuštění až 3000000 paralelních programů, většinou nepoužívá simulaci paralelismu - multitasking by pouze zdržoval

# Osobní počítač – Personal Computer PC

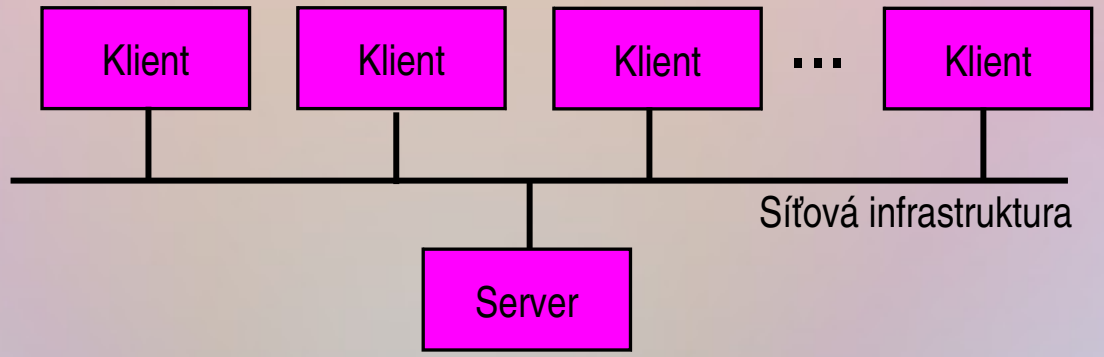
- Typicky orientované na jednoho uživatele
  - v současné době ale vesměs s multiprogramováním (multitaskingem)
- Typizované I/O vybavení
  - klávesnice, myš, obrazovka, disk, USB, malá tiskárna, komunikační rozhraní
- Upřednostňovaným cílem je uživatelovo pohodlí
  - minimum ochran – hlavní roli hraje odpovědnost uživatele
  - často se nevyužívají ochranné vlastnosti CPU
- OS PC často adoptují technologie vyvinuté pro OS větších počítačů
- Mnohdy lze provozovat různé typy operačních systémů
  - M$ Windows  , UNIXy   , Linux  , OS X, Android  apod.

# Paralelní a distribuované systémy

Těsně vázaný multiprocesorový systém




Distribuovaný systém typu klient-server



# Paralelní systémy

- Zvyšují propustnost a spolehlivost při rozumných nákladech na výpočetní systém
- Multiprocesorové systémy
  - většina současných PC s procesorem s více jádry
  - systémy s více procesory vzájemně komunikujícími vnitřními prostředky jednoho výpočetního systému (např. společnou sběrnicí)
- Symetrický multiprocesing (SMP)
  - podporován většinou soudobých OS
  - současně může běžet více procesů na různých CPU/jádrech
  - kterýkoliv proces (i jádro OS) může běžet na kterémkoliv procesoru
- Nesymetrický multiprocesing
  - každý procesor má přidělený specifický úkol
  - hlavní (master) procesor plánuje a přiděluje práci podřízeným (slave) procesorům

# Distribuované systémy

- Rozdělení výpočtů mezi více počítačů propojených sítí
  - lze sdílet zátěž (load-sharing), výpočty se tím zrychlují i za cenu vyšší režie spojené s komunikací
  - zvyšuje se spolehlivost a komunikační schopnosti
  - každý samostatný procesor má svoji vlastní lokální paměť
  - vzájemně se komunikuje pomocí přenosových spojů (sítě) mechanismem výměny zpráv
- Vynucují si použití vhodné síťové infrastruktury
  - LAN, Local Area Networks
  - WAN, Wide Area Networks
- Klasifikace
  - asymetrické distribuované systémy – klient-server
  - symetrické distribuované systémy – peer-to-peer
- OS:
  - Distribuovaný OS vs. síťový OS

# Více úloh současně - Multitasking

- Zdánlivé spuštění více procesů současně je nejčastěji implementováno metodou sdílení času tzv. Time-Sharing Systems (TSS)
- Multitasking vznikl jako nástroj pro efektivní řešení dávkového zpracování
- TSS rozšiřuje plánovací pravidla
  - o rychlé (spravedlivé, cyklické ) přepínání mezi procesy řešícími zakázky interaktivních uživatelů
- Podpora on-line komunikace mezi uživatelem a OS
  - původně v konfiguraci počítač – terminál
  - v současnosti v síťovém prostředí
- Systém je uživatelům dostupný on-line jak pro zpřístupňování dat tak i programů

# Systémy reálného času - RT

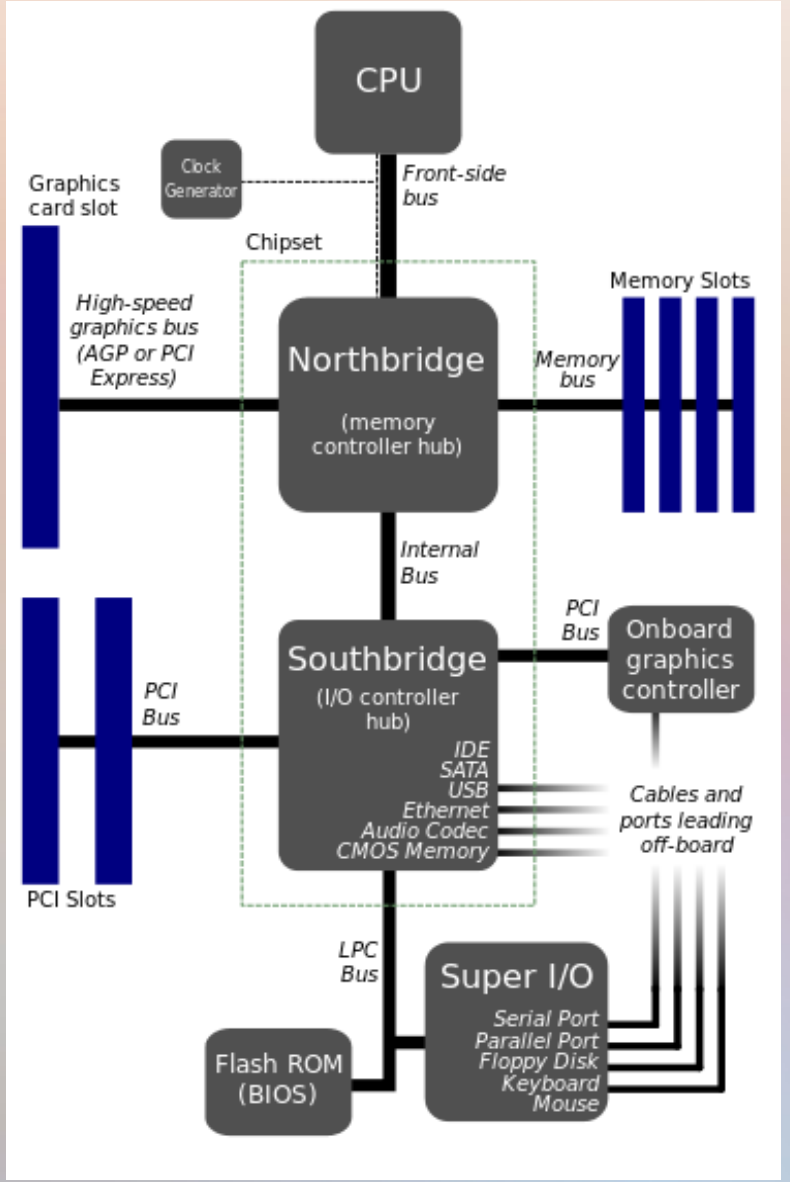
- Nejčastěji řídicí zařízení v dedikovaných (vestavěných) aplikacích:
  - vědecký přístroj, diagnostický zobrazovací systém, systém řízení průmyslového procesu, monitorovací systémy
  - obvykle dobře definované pevné časové limity
  - někdy také subsystém univerzálního OS
- Klasifikace:
  - striktní RT systémy – Hard real-time systems
    - omezená nebo žádná vnější paměť, data se pamatují krátkodobě v RAM paměti
    - protipól univerzálních OS nepodporují striktní RT systémy
    - plánování musí respektovat požadavek ukončení kritického úkolu v rámci požadovaného časového intervalu
  - tolerantní RT systémy – Soft real-time systems
    - použití např. v průmyslovém řízení, v robotice
    - použitelné v aplikacích požadujících dostupnost některých vlastností obecných OS (multimedia, virtual reality, video-on-demand)
    - kritické úkoly mají přednost „před méně šťastnými”

# Přenosné systémy

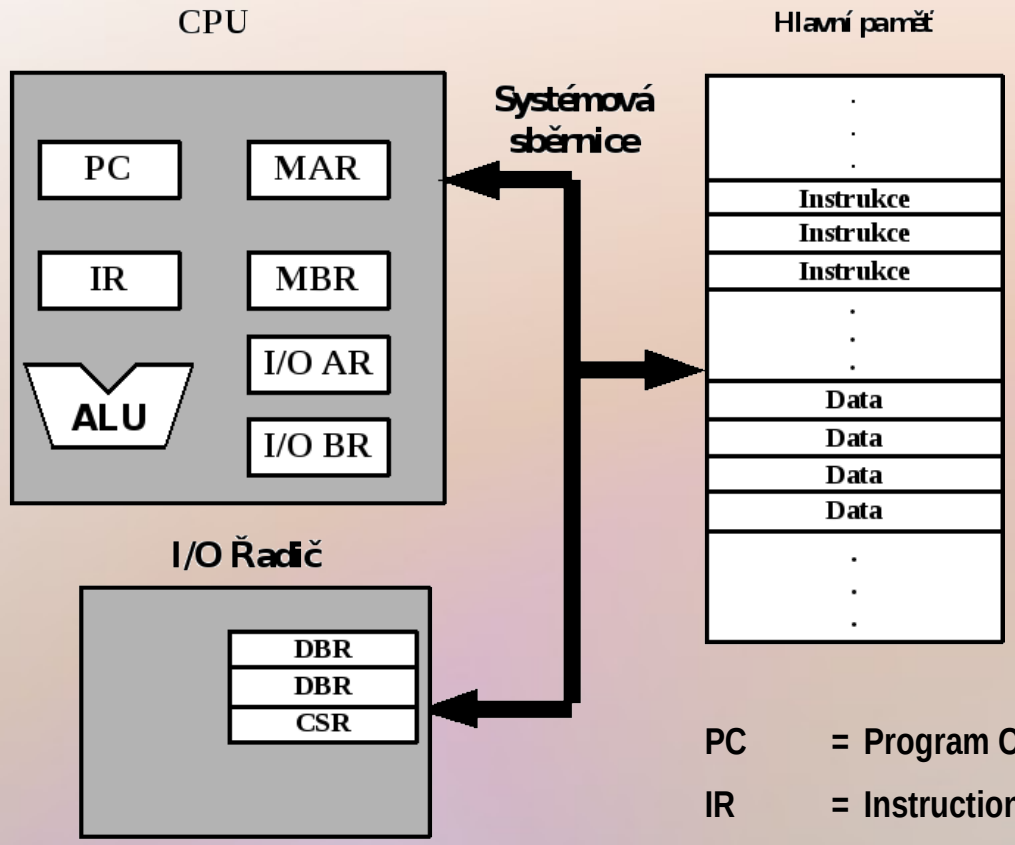
- Handheld Systems, mobilní telefony, tablety
- Charakteristiky:
  - požadavek energetické úspornosti => pomalé procesory
  - speciální obvody na rychlé a efektivní zpracování dat, např. dekódování videa
  - relativně omezená kapacita paměti
  - zpravidla menší display
  - potřeba multiprogramování, avšak obvykle bez sdílení času, výstup na obrazovku pouze jedné aplikace
- Mobilní telefony
  - Navíc podpora síťových komunikačních protokolů
  - Softwarové modemy pro datové přenosy

# OS osobního počítače

- Základem počítače je procesor – CPU
- Procesor je připojen sběrnicemi k ostatním periferiím počítače – paměti, grafickému výstupu, disku, klávesnici, myši, síťovému rozhraní, atd.
- Činnost sběrnice řídí arbiter sběrnice



# Procesor - CPU




Základní vlastnosti:

- šířka datové a adresové sběrnice
- počet vnitřních registrů
- rychlost řídicího signálu – hodiny
- instrukční sada

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| PC | = | Program Counter | = | Čítač instrukcí |
| IR | = | Instruction Register | = | Registr instrukcí |
| MAR | = | Memory Address Register | = | Adresní registr paměti |
| MBR | = | Memory Buffer Register | = | Datový vyrovnávací registr paměti |
| I/O AR | = | I/O Address Register | = | Adresní registr I/O |
| I/O BR | = | I/O Buffer Register | = | Datový vyrovnávací registr I/O |
| DBR | = | Data Buffer Register | = | Datový vyrovnávací registr řadiče |
| CSR | = | Control & Status Register | = | Řídicí a stavový registr na řadiči |

# Registry procesoru

## Řídicí a stavové registry

- PC – program counter – adresa zpracovávané instrukce
- IR – instruction registr – kód zpracovávané instrukce
- PSW – Program status word – stav procesoru povoleno/zakázáno přerušení, system/user mód, výsledek operace – přetečení, podtečení, rovnost 0, apod.

## Uživatelské registry

- programově dostupné registry pro ukládání hodnot programu
- obsahují data, adresy, podmínkové kódy
- SP – stack pointer - ukazatel zásobníku, pro ukládání lokálních proměnných a návratových adres funkcí

# Režimy práce procesoru

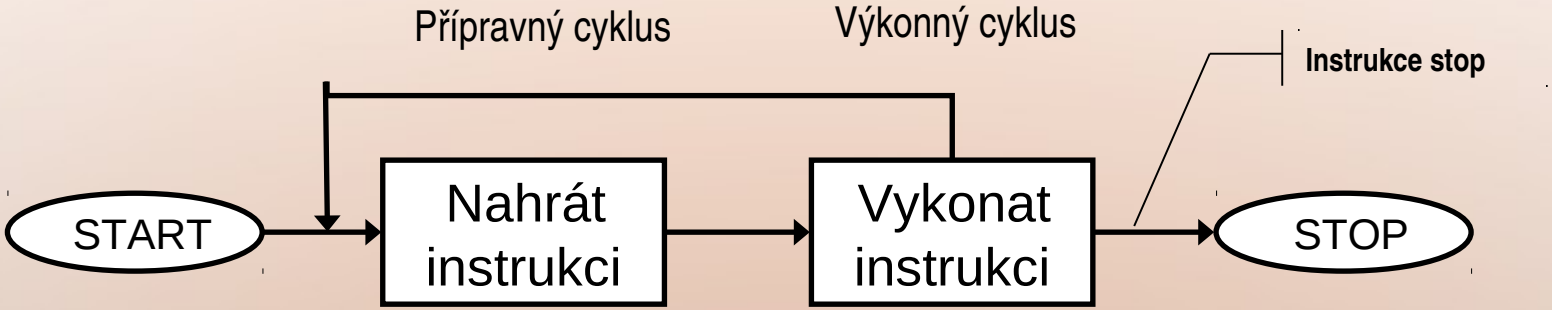
Dva režimy práce procesoru - základ hardwarových ochran

- Systémový = privilegovaný režim
  - procesor může vše, čeho je schopen
- Uživatelský = aplikační (ochranný) režim
  - privilegované operace  jsou zakázány
- Privilegované operace
  - ovlivnění stavu celého systému (halt, reset, Interrupt Enable/Disable, modifikace PSW, modifikace registrů MMU )
  - instrukce pro vstup/výstup (in, out)
- Okamžitě platný režim je zachycen v PSW (S-bit)

Přechody mezi režimy

- Po zapnutí stroje systémový režim
- Přechod do uživatelského – modifikace PSW
- Přechod do systémového – pouze přerušení vč. programového

# Pracovní krok procesoru




Procesor pracuje v krocích. Jeden krok obsahuje fáze:

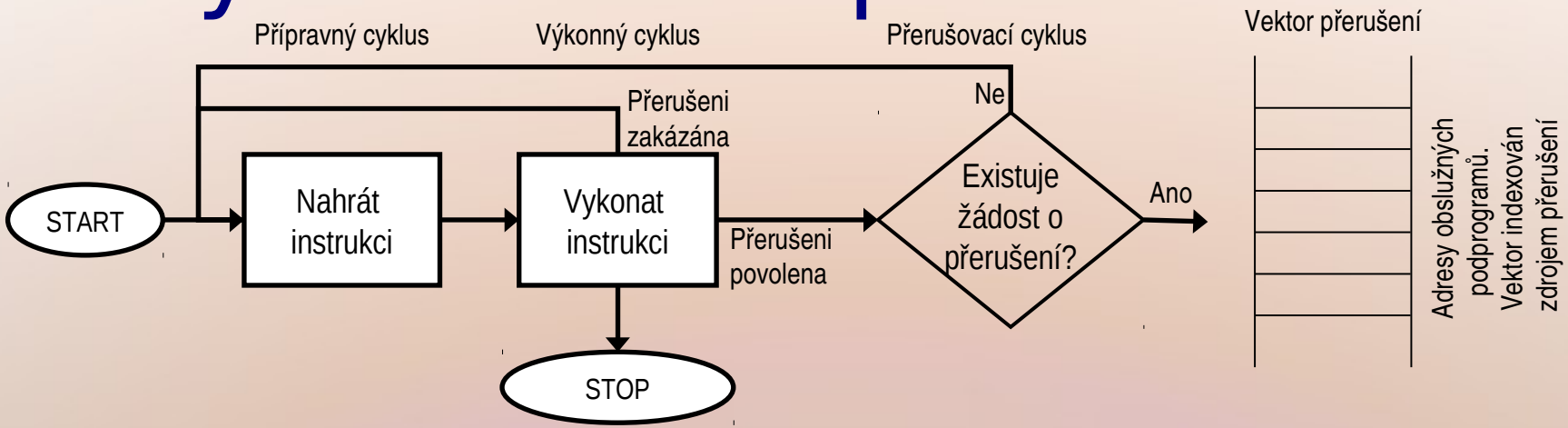
- Přípravná fáze (fetch cycle)
  - nahrává do procesoru instrukci podle PC a umístí její kód do IR
  - na jejím konci se (zpravidla) inkrementuje PC
- Výkonná fáze (execute cycle)
  - vlastní provedení instrukce
  - může se dále obracet (i několikrát) k paměti

```
loop: FETCH;   /* ((PC)) → IR */
      Increment(PC);
      EXECUTE;   /* provede operaci dle (IR) */
end loop
```

# Přerušení

- Přerušení normální posloupnosti provádění instrukcí
  - cílem je zlepšení účinnosti práce systému
  - je potřeba provést jinou posloupnost příkazů jako reakci na nějakou „neobvyklou” externí událost
  - přerušující událost způsobí, že se pozastaví běh procesu v CPU takovým způsobem, aby ho bylo možné později znovu obnovit, aniž by to přerušený proces „poznal“
- Souběh I/O operace
  - přerušení umožní, aby CPU prováděla jiné akce než instrukce programu čekajícího na konec I/O operace
  - činnost CPU se později přeruší iniciativou „I/O modulu”
  - CPU předá řízení na obslužnou rutinu přerušení (Interrupt Service Routine) – standardní součást OS
- CPU testuje nutnost věnovat se obsluze přerušení alespoň po dokončení každé instrukci
  - existují výjimky (např. „blokové instrukce“ Intel)

# Cyklus CPU s přerušením




```
INTF=False; /* je žádost o přerušení ? */
loop:  FETCH;
       Increment(PC);
       EXECUTE;
       if povoleno přerušení && INTF then
          Ulož PSW na zásobník;
          Ulož PC na zásobník;
          PSW nastav System mode a Interrupt disabled;
          PC = vektoru přerušení podle čísla přerušení
end loop
```

# Přerušení a jejich druhy

Přerušení je speciálním případem výjimečné situace.

Synchronní přerušení (s během programu)

- Programové (naprogramované) - speciální instrukce (INT, TRAP)
- Generované kontrolními obvody počítače:
  - dělení nulou, pokus o vykonání nelegální či neznámé instrukce
  - neoprávněný pokus o přístup k paměťové lokaci (narušení ochrany paměti, virtuální paměť)

Asynchronní (přicházející zvenčí – klasické přerušení)

- I/O, časovač, hardwarové problémy (např. výpadek napájení ...)

Kdy se na výjimečné situace reaguje?

- Standardní přerušení: po dokončení instrukce během níž vznikl požadavek
- Výjimka vysoké úrovně: během provádění instrukce (po dokončení některé fáze provádění instrukce) – instrukci nelze dokončit – neznámá instrukce, dělení nulou
- Kritická výjimka: nelze dokončit ani cyklus přenosu dat a je nutno reagovat okamžitě – narušení ochrany paměti

# Obsluha přerušení

Žádost se vyhodnotí na přípustnost (priority přerušení)

Procesor přejde do zvláštního cyklu

- PSW se uloží na zásobník (Výsledek aritmetických operací se mění témě každou instrukcí).
- Na zásobník se uloží i čítač instrukcí PC (návratová hodnota z přerušení).
- Do PSW se vygeneruje nové stavové slovo s nastaveným S-bitem. Nyní je CPU v privilegovaném režimu
- PC se nahradí hodnotou z vektoru přerušení - skok na obsluhu přerušení

Procesor přechází do normálního režimu práce a zpracovává obslužnou rutinu přerušení

- Obslužná rutina musí být transparentní, tj. programově se musí uložit všechny registry CPU, které obslužná rutina použije, a před návratem z přerušení se opět vše musí obnovit tak, aby přerušená posloupnost instrukcí nepoznala, že byla přerušena.
- Obslužnou rutinu končí instrukce „návrat z přerušení“ (IRET, RTE) mající opačný efekt: z vrcholu zásobníku vezme položky, které umístí zpět do PC a PSW

# Vícenásobná přerušení

Sekvenční zpracování

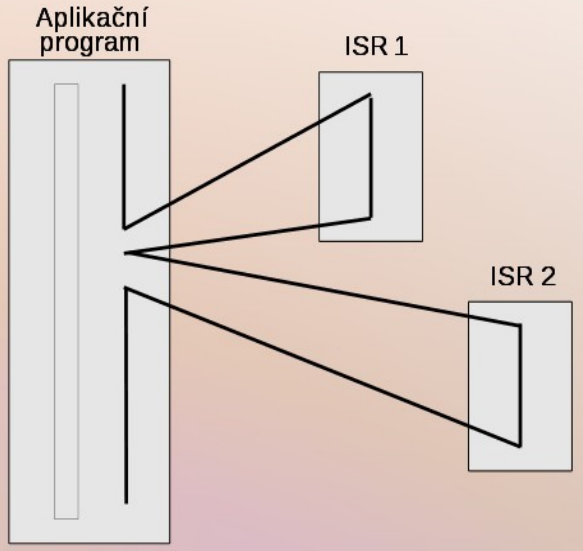
- během obsluhy jednoho přerušení se další požadavky nepřijímají (pozdržují se)
- jednoduché, ale nevhodné pro časově kritické akce

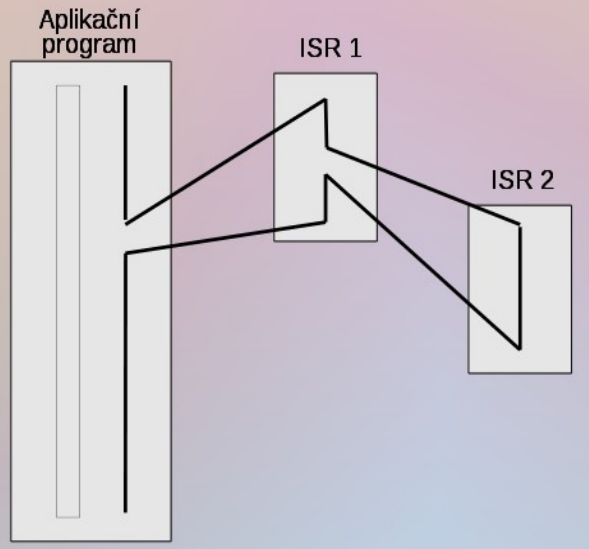
Vnořené zpracování

- prioritní mechanismus
- přijímají se přerušení s prioritou striktně vyšší, než je priorita obsluhovaného přerušení

Odložené zpracování

- V přerušení se provede pouze nejnutnější obsluha zařízení, zbytek se provede v rámci OS
- Neblokují se zbytečně další přerušení



# Obsluha I/O zařízení

I/O operace:

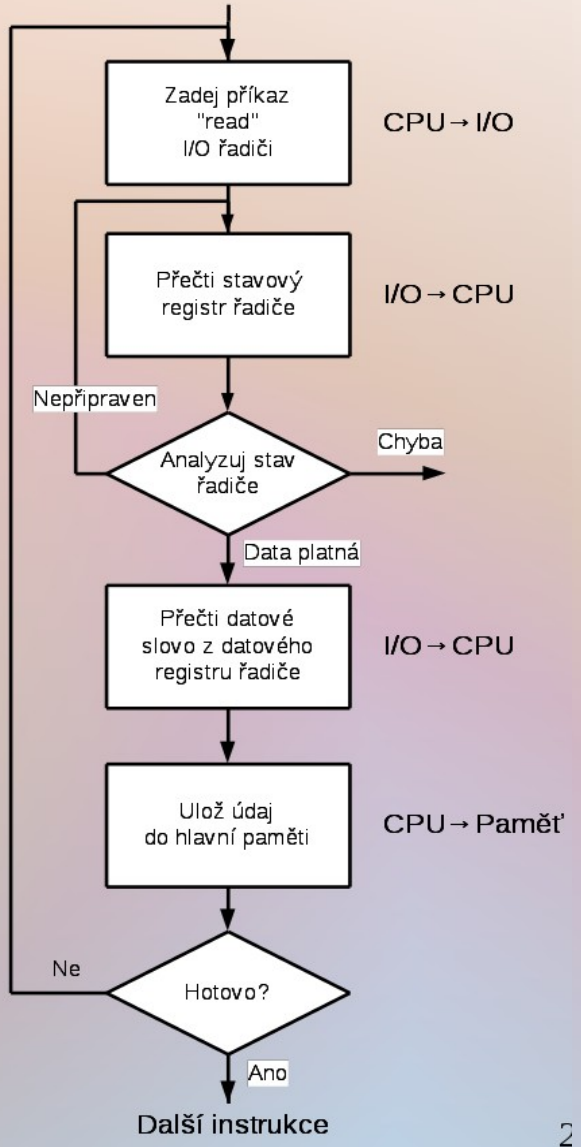
- Zpravidla přenos sekvence údajů přes sběrnici
- Přenos dat z I/O zařízení do CPU – vstup,
- Přenos dat z CPU do I/O – výstup

Dva způsoby obsluhy

- S aktivním čekáním (busy waiting)
  - v systémech bez řízení IO pomocí OS
  - žádné souběžné zpracovávání I/O, nedořešený zůstává nejvýše jeden I/O požadavek
  - program testuje konec IO operace opakovanými dotazy na příslušný stavový registr IO zařízení
- S přerušením a OS řízeným souběžným prováděním
  - v systémech s řízením IO pomocí OS
  - souběžné zpracovávání I/O paralelně s během programu(ů)
  - I/O operaci zahajuje OS na žádost z uživatelské ho procesu
  - uživatelský proces čeká na dokončení I/O operace – synchronní řešení
  - uživatelský proces nečeká na dokončení I/O operace – asynchronní řešení I/O, může běžet souběžně více I/O operací

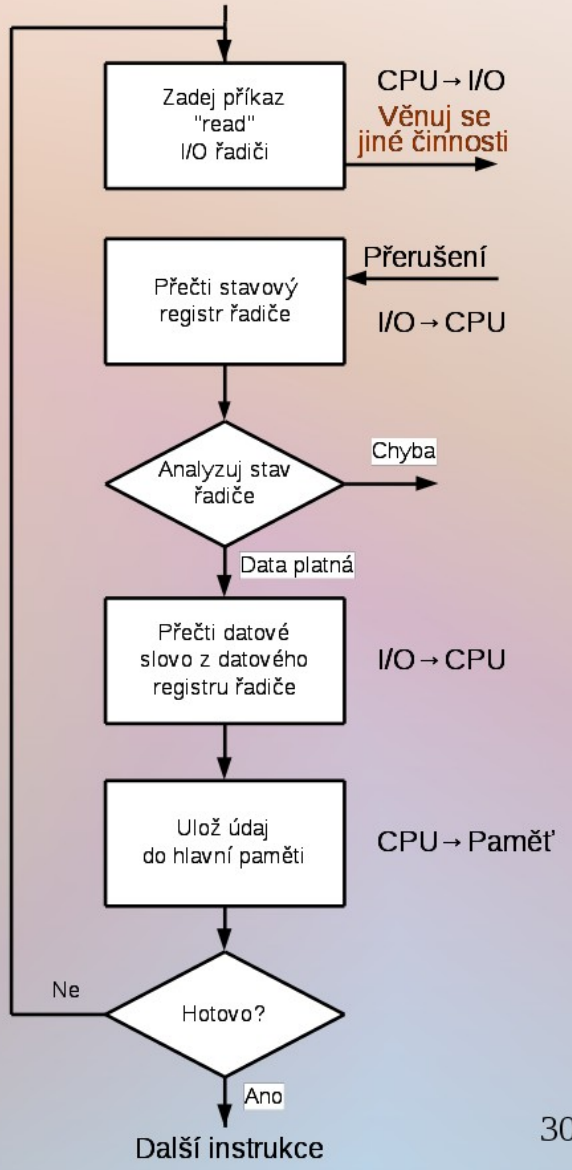
# I/O a aktivním čekáním

- CPU zahajuje elementární přenos údajů a v „dotazovací smyčce“ čeká na připravenost dat
- programově velmi jednoduché
- velmi neefektivní, ale velmi rychlá reakce
- až na zcela výjimečné případy
- použitelné jen v primitivních systémech bez multiprogramování, nebo jako první část obsluhy I/O zařízení



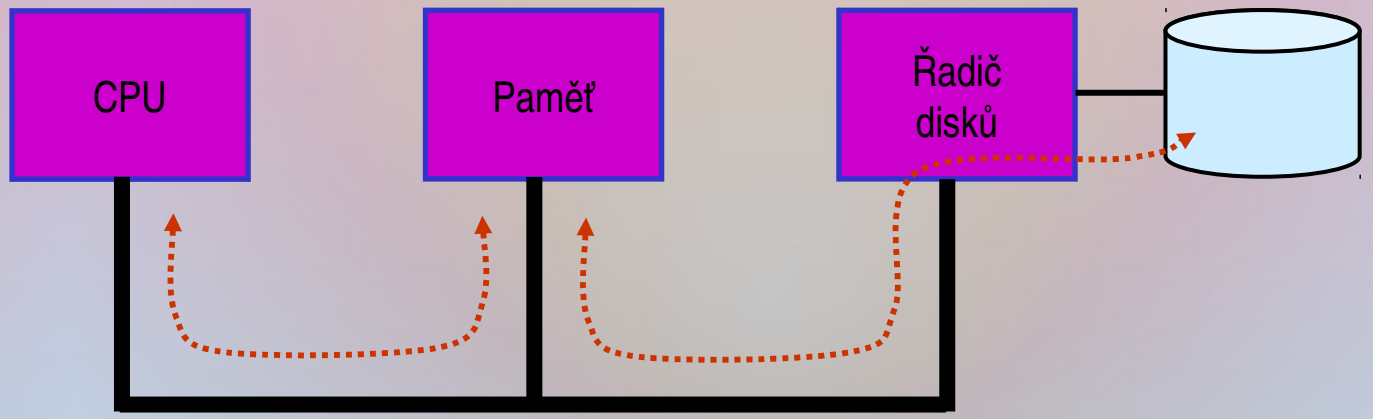
# I/O obsluha s přerušením

- CPU inicializuje elementární přenos a věnuje se jiné činnosti
- Když je údaj připraven, I/O zařízení vyvolá přerušení
- Obslužná rutina přenese data mezi zařízením a pamětí
- Pružné – data lze při přenosu upravovat
- Relativně pomalé, účast CPU, řízeno programem
- Jen pro zařízení schopná práce v režimu start-stop
  - Zařízení schopná ze své fyzikální podstaty pozastavit přenos dat kdykoliv a na libovolně dlouhou dobu beze ztrát



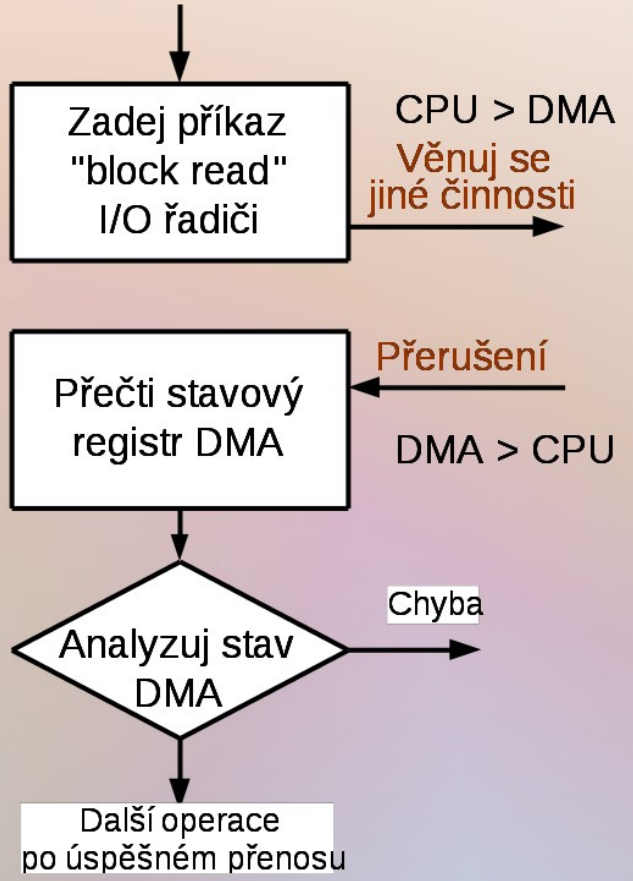
# Přímý přístup do paměti - DMA

- Určeno pro blokové přenosy dat vysokou rychlostí
- I/O přenosy se uskutečňují bez přímé účasti procesoru mezi periferním zařízením a pamětí
- Procesor dovolí I/O modulu přímo číst z nebo zapisovat do operační paměti – kradení cyklů (cycle stealing)
- Procesor zadá jen velikost a umístění bloku v paměti a směr přenosu
- Přerušení se generuje až po dokončení přenosu bloku dat



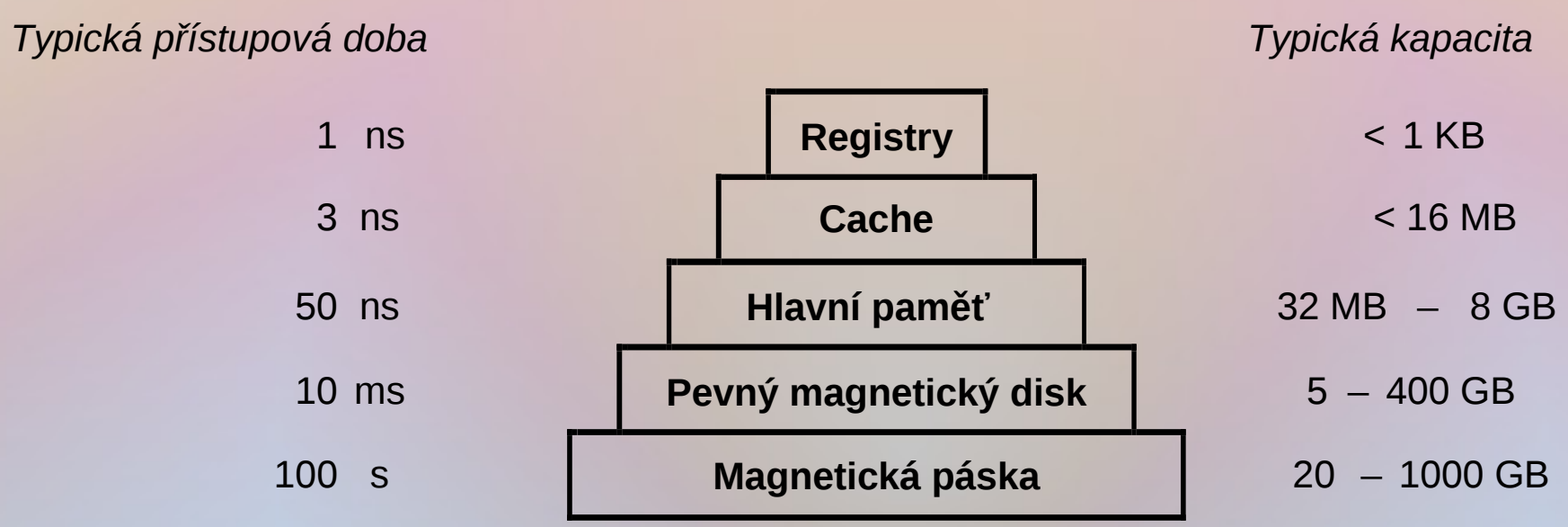
# I/O obsluha s DMA

- CPU zadá parametry přenosu DMA jednotce
- Přenos probíhá autonomně bez účasti CPU
- DMA vyvolá přerušení po ukončení přenosu bloku (nebo při chybě)
- Obslužná rutina pouze testuje úspěšnost přenosu a informuje OS, že přenos skončil



# Druhy pamětí

- Hierarchie pamětí z pohledu rychlosti a kapacity
  - uvedená čísla představují pouze hrubá přiblížení
  - směrem dolů klesá rychlost i „cena za 1 bit“
- Typy prvků používaných v hlavní paměti
  - RAM, ROM, EEPROM, CMOS-RAM



# Hierarchie pamětí

| Úroveň | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Označení | Registry CPU | cache | Hlavní paměť | disk |
| Typická velikost | ≤ 1KB | ≤ 16MB | ~ 16 GB | > 100 GB |
| Technologie | Uvnitř CPU (CMOS) | CMOS SRAM | CMOS SRAM | Magnetický disk / SSD |
| Přístupová doba | ~0,5ns | ~1-25ns | ~80-500ns | ~5ms |
| Správce | program | HW | operační systém | operační systém |
| Simuluje | hlavní paměť | hlavní paměť | disk | |

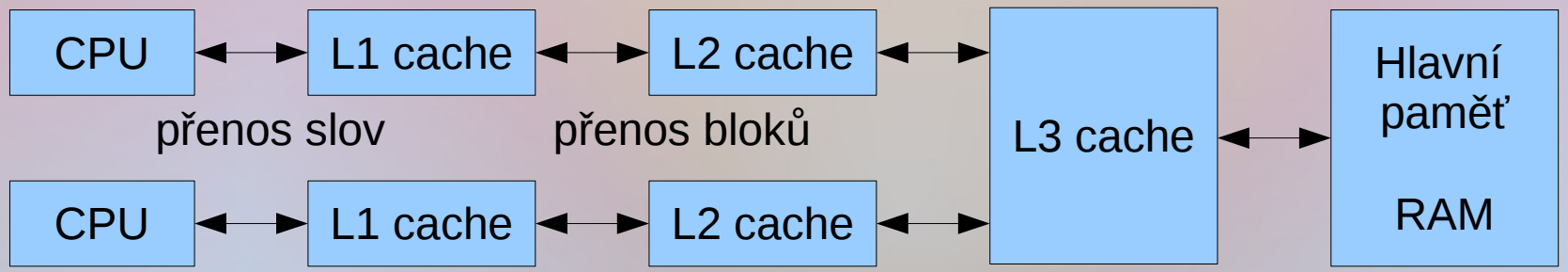
# Caching, cache paměti

Caching je princip používaný v OS velmi často

- části obsahu pomalejší paměti s vyšší kapacitou jsou podle potřeby dočasně kopírovány do paměti rychlejší

Mezipaměť ležící mezi CPU a hlavní pamětí

- Transparentní pro operační systém i pro programátora
- Je rychlejší než operační (hlavní) paměť
- Mikroprogramem řízené kopírování informací z hlavní paměti do cache paměti po blocích
- Princip časové a prostorové lokality běžných programů
- Problém udržení konzistence více kopií těchže dat v multiprocesorových systémech



# Cache

Velikost cache

- čím větší, tím častěji se najdou požadovaná data v cache, ale také roste cena

Velikost přenosového bloku – kompromis:

- velké bloky = dlouhé přenosy
- malé bloky = časté přenosy

Mapovací funkce

- kam přijde blok do cache

Nahrazovací algoritmus:

- určuje, který blok v cache bude nahrazen
- Least-Recently-Used (LRU) algoritmus

Analogie

- hardwarově realizované principy původně vyvinuté pro virtuální paměť

# Bezpečnostní mechanismy v OS

Základní opatření

- Dva režimy práce procesoru(ů)
- Vstup a výstup: Povinné a uživatelským režimem vynucené volání služeb OS - I/O instrukce jsou privilegované
- Uživatelský program nikdy nesmí získat možnost práce v privilegovaném režimu
  - Např. nesmí mít možnost zapsat do PSW a změnit tak režim práce CPU (S-bit v PSW) nebo modifikovat vektor přerušení

Ochrana dostupnosti CPU

- Prevence před převzetím vlády jednoho aplikačního programu nad CPU
- Řešení: časovač (timer)
  - V pravidelných (privilegovaně programovatelných) intervalech vyvolává přerušení, a tak je aktivováno jádro OS
  - Mnohdy realizován jako „periferní zařízení“
  - O přerušení od časovače se opírají mechanismy plánování procesoru(ů)

# Bezpečnostní mechanismy v OS

Funkcionalita pro správu paměti

- Systém musí být schopný přidělovat paměť různým zakázkám a ze zakázek odvozeným procesům dynamicky přidělovat paměť
- Dvojí pohled na paměť
  - z hlediska její fyzické konstrukce a šířky fyzických adresovacích sběrnic – fyzický adresní prostor, FAP
  - z hlediska konstrukce adresy ve strojovém jazyku – logický adresní prostor, LAP
- Ochrana oblastí paměti před neautorizovaným přístupem

# Bezpečnostní mechanismy v OS

Mechanismus přerušení

- předávání řízení mezi uživatelským programem a systémem → implementace reakcí na asynchronní události
- OS je systém řízený přerušeními

Plánování práce CPU

- reaguje se na generátor časových značek (timer) – po uplynutí daného intervalu generuje přerušení
- ochrana proti trvalému obsazení CPU uživatelským procesem (záměrně, chybou, ...)
- OS musí být schopen volit mezi různými výpočetními procesy připravenými k činnosti

# To je dnes vše.

Otázky?