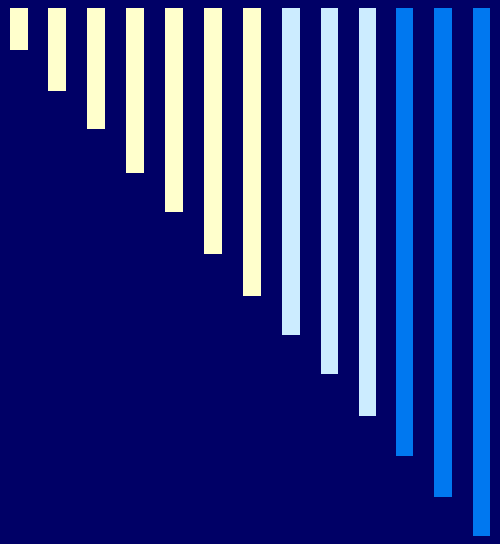
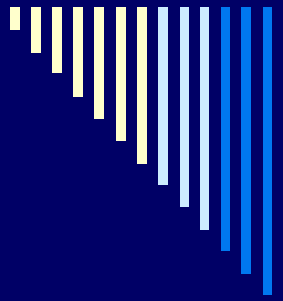


09. Memory management

ZOS 2012, L. Pešička

Administrativa

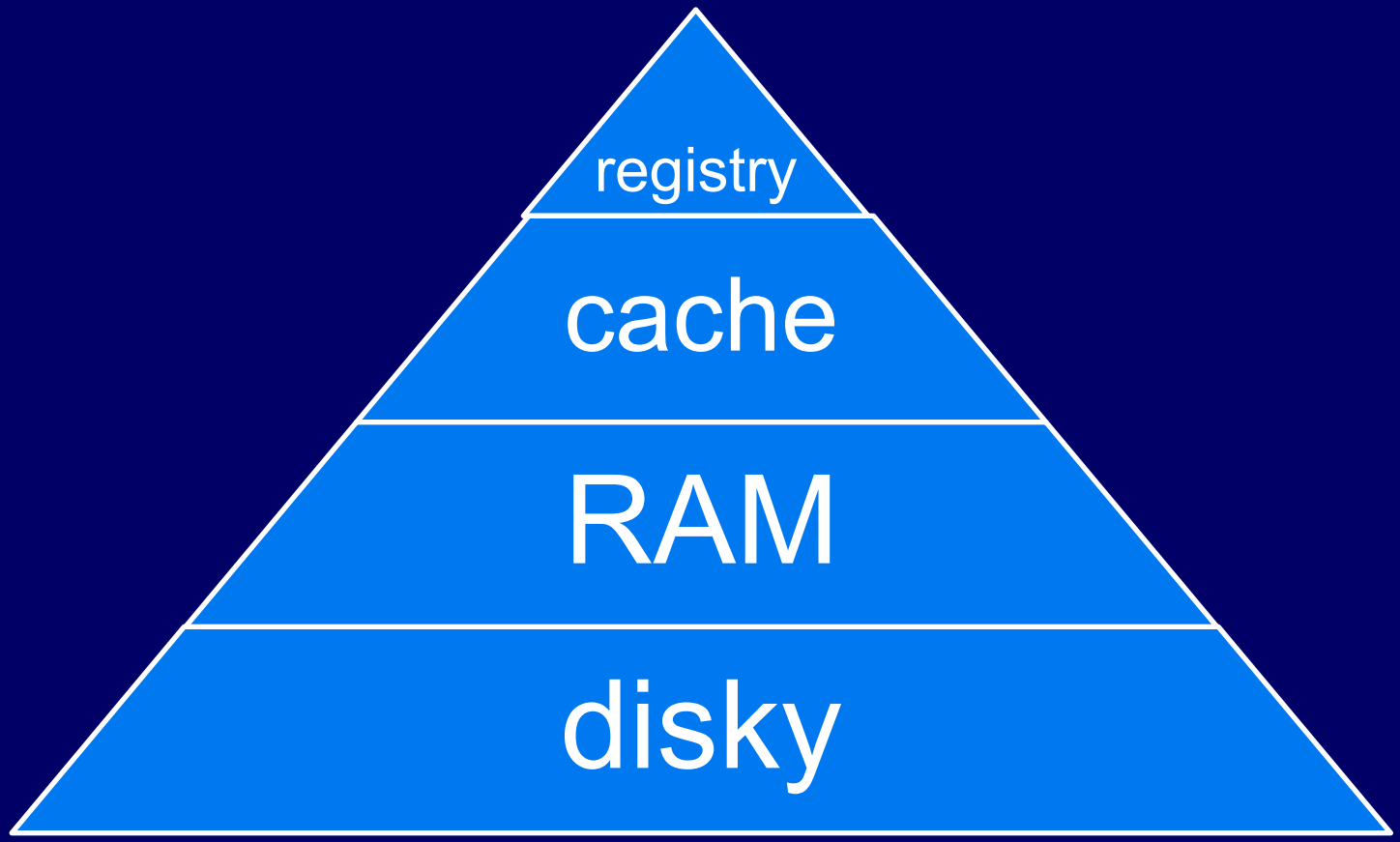
- 1. opravný test
  23. listopadu 2012, 9:30+, UL402
- 2. zápočtový test
  12. 12. 2012 od 18:30 v EP130



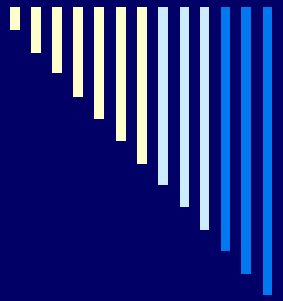
Správa paměti

- „paměťová pyramida“
- absolutní adresa
- relativní adresa
  - *počet bytů od absolutní adresy (nějakého počátku)*
- fyzický prostor adres
  - fyzicky k dispozici výpočetnímu systému
- logický adresní prostor
  - využívají procesy

drahé, rychlé, malá kapacita



levné, pomalé, velká kapacita



Modul pro správu paměti

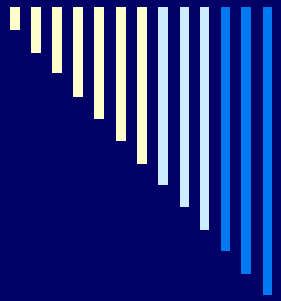
- informace o přidělení paměti
  - která část je volná
  - přidělená (a kterému procesu)
- přidělování paměti na žádost
- uvolnění paměti, zařazení k volné paměti
- odebírá paměť procesům
- ochrana paměti
  - přístup k paměti jiného procesu
  - přístup k paměti OS

Memory management

- Základní mechanismy
  - Bez odkládání a stránkování
  - Jednoprogramové systémy
  - Multiprogramování s pevným přidělením paměti
  - Multiprogramování s proměnnou velikostí oblasti
  - Správa paměti
    - Bitové mapy
    - Seznamy
    - First fit, best fit, next fit
    - Buddy system

Celý proces se musí vejít do paměti

Opakování z minulé přednášky



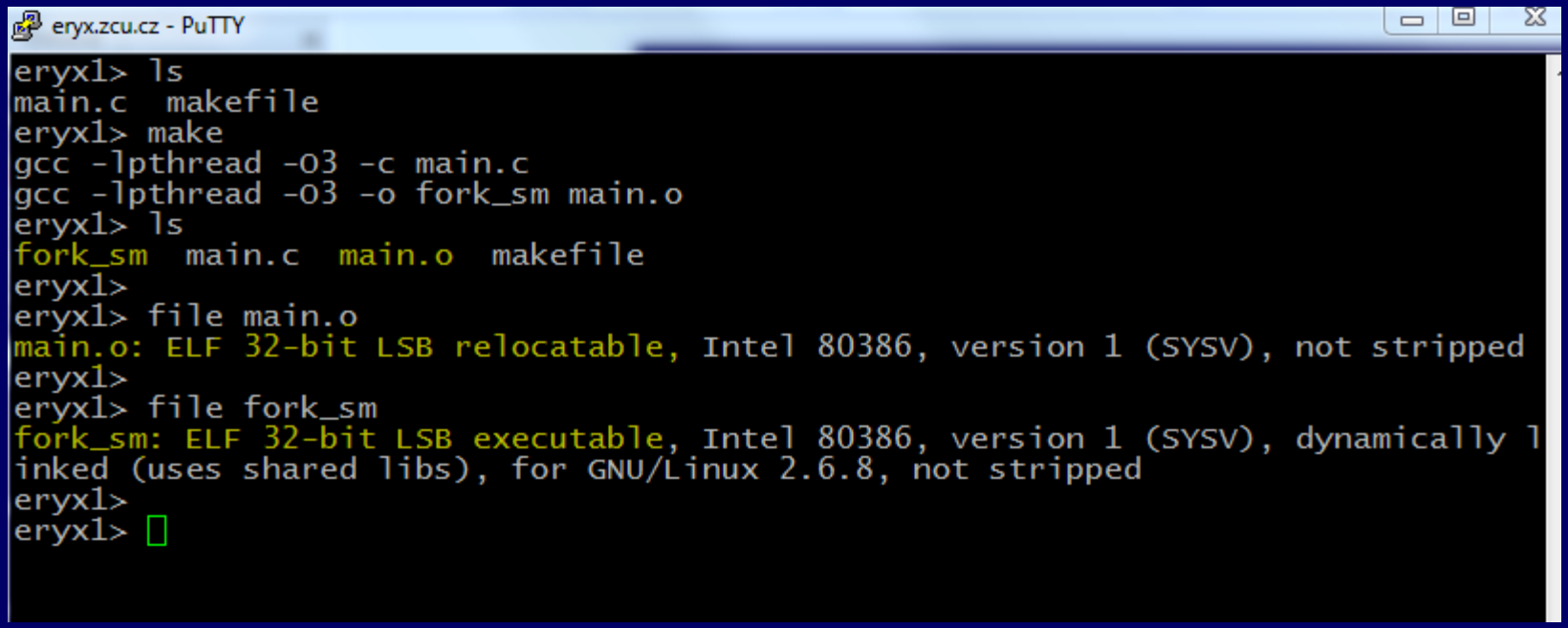
Statická a dynamická relokace

Relokace a ochrana

- Problémy při multiprogramování (víc programů současně v paměti):

- Relokace
  - Programy běží na různých (fyzických) adresách
  - jednou je ve fyzické paměti od adresy X, jindy od Y
- Ochrana
  - Paměť musí být chráněna před zasahováním jiných programů

ukázka překladu .c programu



zdrojový soubor	main.c
objektový modul	main.o
spustitelný soubor	fork_sm

Relokace při zavedení do paměti

jak je program vytvořen a spuštěn:

překladač + linker

- Překlad a sestavení programu
  - Aplikace ve vysokoúrovňovém jazyce
  - Větší SW – rozděleny do modulů – musejí být přeloženy a sestaveny do spustitelného programu
  - Objektové moduly
    - Výsledkem překladu
    - Příkazy ve zdrojovém textu – přeloženy do stroj. instrukcí
    - Zůstávají symbolické odkazy – adresy prom., procedur,fcí

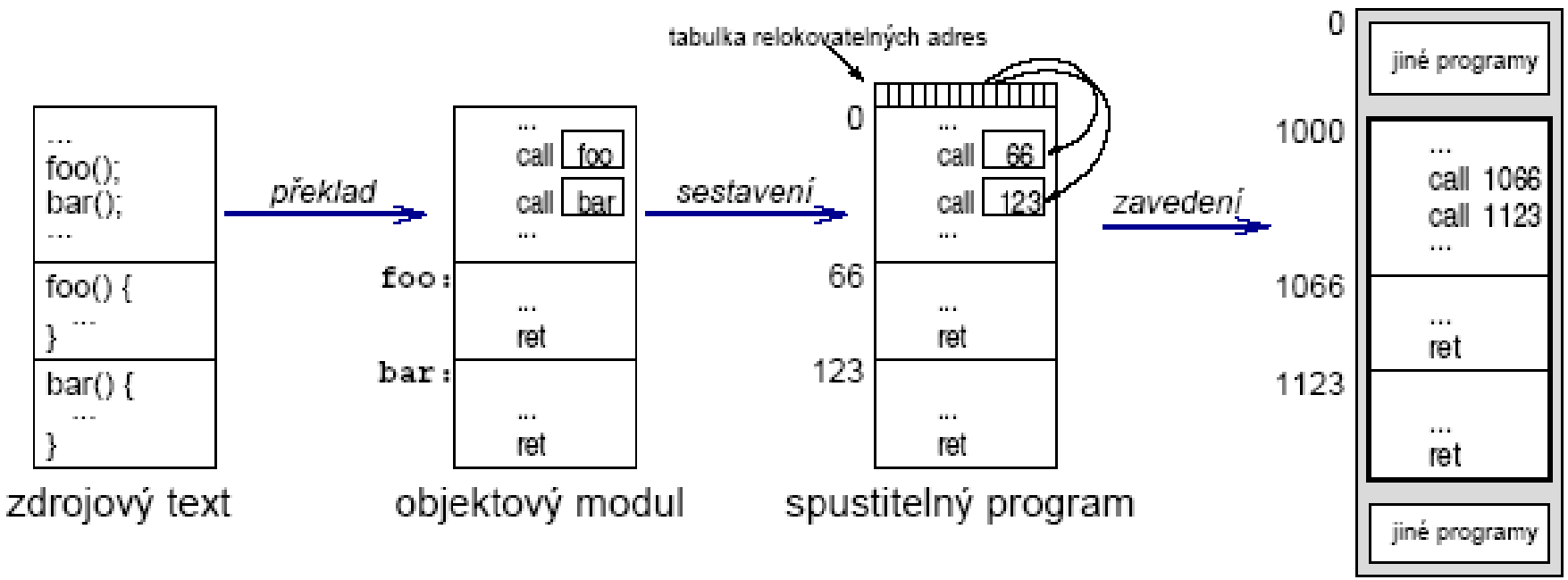
Relokace při zavedení do paměti 2

- Výsledný spustitelný program
  - Sestavení (linkování) modulů a knihoven
- Při sestavení se řeší hlavně externí reference
  - Všechna místa výskytů referencí – seznam
  - Když je adresa známa – vloží se všude, kde se používá
  - Symbolické odkazy se převedou na číselné hodnoty
  - Výsledek – spustitelný program

Relokace při zavedení do paměti 3

- Komplikace při více programech v paměti
  - Příklad
  - 1. instrukcí programu volání podprogramu *call 66*
  - Program v paměti od adresy *1000*, ve skutečnosti provede call *1066*
- Jedno z řešení – modifikovat instrukce programu při zavedení do paměti
  - Linker – do spustitelného programu přidá seznam nebo bitmapu označující místa v kodu obsahující adresu
  - Při zavádění programu do paměti se každé adrese přičte adresa začátku oblasti

Relokace při zavedení do paměti



Statická relokace

- Popsanému způsobu se říká statická relokace
- Adresy se natvrdo přepíší správnými
- Např. OS/MFT od IBM

dále budou popsány mechanismy ochrany paměti:
- mechanismus přístupového klíče
- mechanismus báze a limitu

Ochrana paměti při statické relokaci

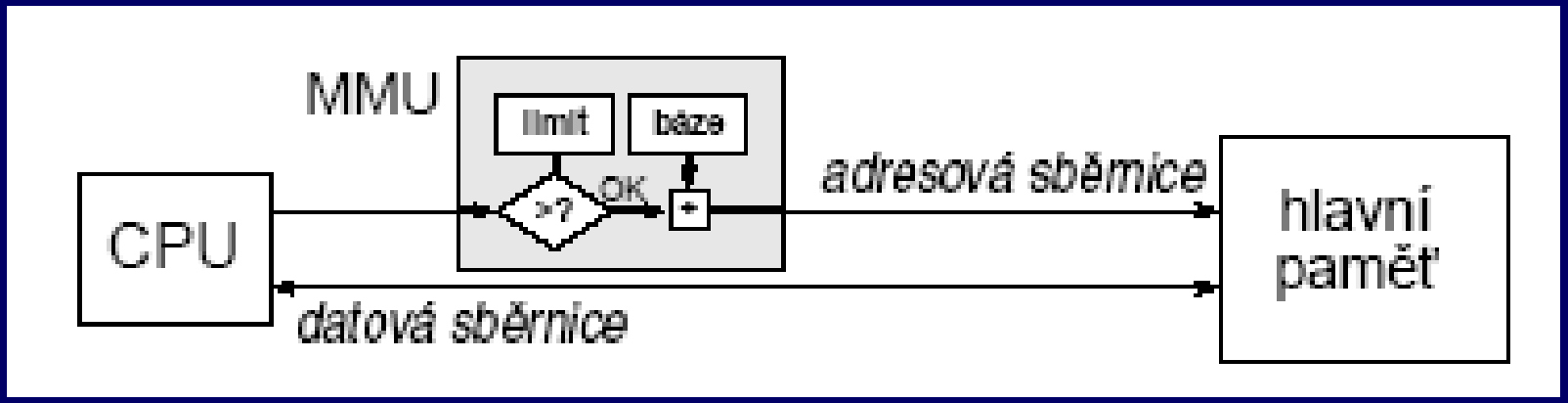
- Proces mohl zasahovat do paměti jiných procesů
- IBM 360 – **přístupový klíč**
  - Pamět rozdělena do bloků 2KB
  - Každý blok – sdružený hw 4 bitový kód ochrany
  - PSW procesoru obsahuje 4 bitový klíč
  - Při pokusu o přístup k paměti jejíž kód ochrany se liší od klíče PSW – výjimka
  - Kód ochrany a klíč může měnit jen OS (privilegované instrukce)
  - Výsledek – ochrana paměti

Klíč je spjatý s procesem

Možnou metodou ochrany paměti je ochrana přístupovým klíčem

Mechanismus báze a limitu

- Jednotka správy paměti MMU mezi CPU a paměť
- Dva registry – báze a limit
- Báze – počáteční adresa oblasti
- Limit – velikost oblasti



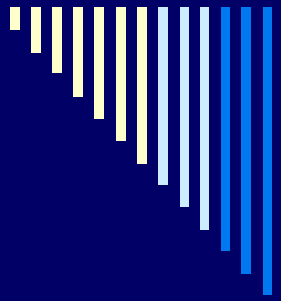
Mechanismus báze a limitu

- Funkce MMU
  - Dostává adresu od CPU, převádí na adresu do fyzické paměti
  - Nejprve zkontroluje, zda adresa není větší než limit
    - Ano – výjimka, Ne – k adrese přičte bázi
- Pokud báze 1000, limit 60
  - Přístup na adresu 55 – ok, výsledek 1055
  - Přístup na adresu 66 – není ok, výjimka

Dynamická relokace

- Výše uvedený mechanismus a podobné mechanismy
- Provádí se dynamicky za běhu
- Nastavení báze a limitu může měnit pouze OS (privilegované instrukce)

- Např. 8086 – slabší varianta (nemá limit, jen báze)
- Bázové registry = segmentové registry DS,SS,CS,ES

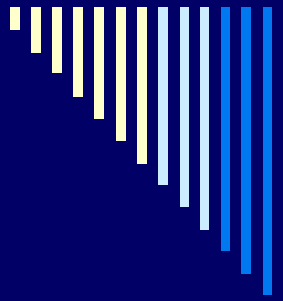


Správa paměti s odkládáním celých procesů

(Proces se vejde do fyzické paměti)

Správa paměti s odkládáním celých procesů

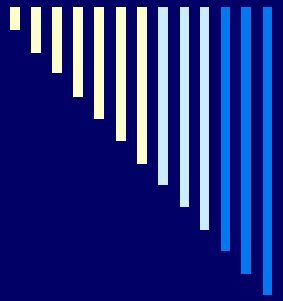
- Pro dávkové systémy – dosud uvedené mechanismy - přiměřené (jednoduchost, efektivita)
- Systémy se sdílením času – víc procesů, než se jich vejde do paměti současně
- 2 strategie
  - Odkládání celých procesů (swapping)
    - Nadbytečný proces se odloží na disk
    - Např. UNIX Version 7; co platí pro velikost procesu?
  - Virtuální paměť – v paměti nemusí být procesy celé
    - Překrývání (overlays), virtuální paměť



Odkládání celých procesů

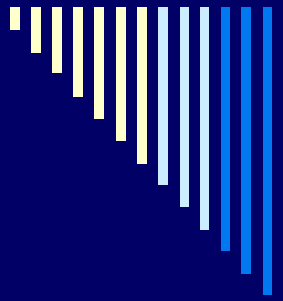
co víme o velikosti procesu?

- data procesu mohou růst
- pro proces alokováno o něco více paměti, než je třeba
- potřeba více paměti, než je alokováno:
  - přesunout proces do větší oblasti (díry)
  - překážející proces odložit – prostor pro růst procesu
  - odložit žadatele o paměť, dokud nebude prostor
  - proces zrušit (odkládací paměť je plná)



Odkládání celých procesů

- proces – dva rostoucí segmenty
  - data, zásobník (co se kde alokuje?)
  - možnost rozrůstání proti sobě
  - překročení velikosti – přesun, odložit, zrušit



Alokace odkládací oblasti

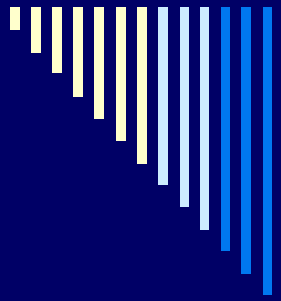
tj. jak vyhradit prostor pro proces na disku:

- na celou dobu běhu programu („pořád do stejného místa“)
- alokace při každém odložení

stejné algoritmy jako pro přidělení paměti

velikost oblasti na disku

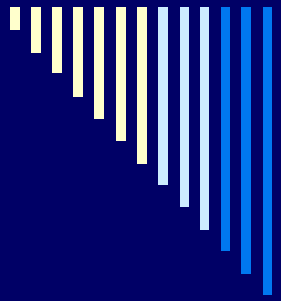
– násobek alokační jednotky disku



Virtuální paměť

Proces > dostupná fyzická paměť

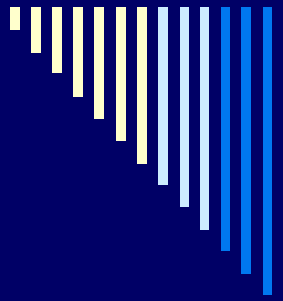
{ proces může být i větší
než dostupná fyzická paměť}



Virtuální paměť

- program větší než dostupná fyzická paměť
- mechanismus překrývání (overlays)
- virtuální paměť

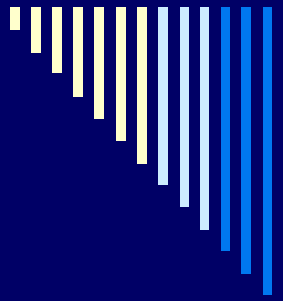
Virtuální paměť je to, co se dnes nejčastěji používá



Překrývání (overlays)

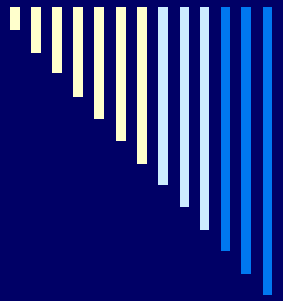
- program – rozdělen na moduly
- start – spuštěna část 0, při skončení zavede část 1 …
- časté zavádění některých modulů
  - více překryvných modulů + data v paměti současně
  - moduly zaváděny dle potřeby (nejen 0,1,2,..)
  - mechanismus odkládání (jako odkládání procesů)

- kdo zařizuje zavádění modulů?
- kdo navrhuje rozdělení dat na moduly?



Překrývání

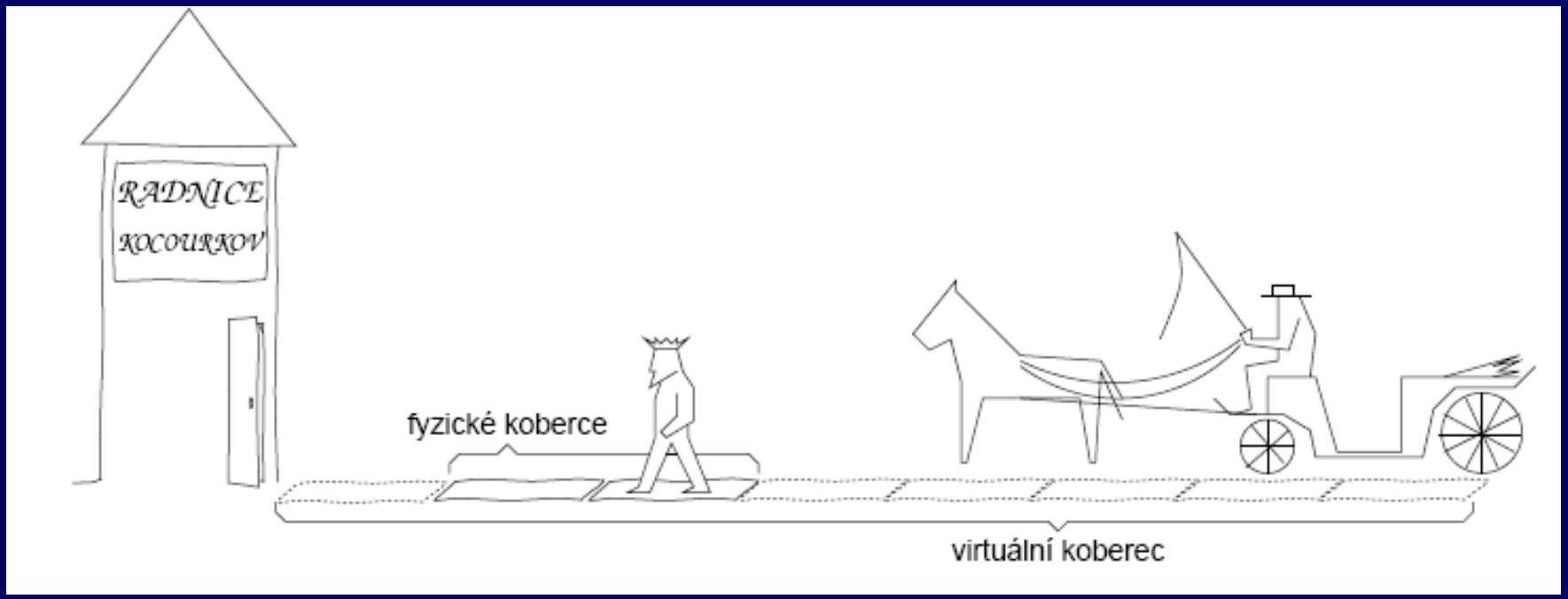
- zavádění modulů zařizuje OS
- rozdělení programů i dat na části – navrhuje programátor
  - vliv rozdělení na výkonnost, komplikované
  - pro každou úlohu nové rozdělení
- příklad – overlay.pas
- snaha, aby se o vše postaral OS



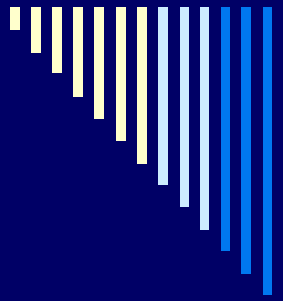
Virtuální paměť

- potřebujeme rozsáhlý adresový prostor
- ve skutečné paměti je pouze část adresového prostoru
  - jinak by to bylo příliš drahé
- zbytek může být odložen na disku
- kterou část mít ve fyzické paměti?
  - tu co právě potřebujeme ☺

Historie – královský koberec



Na pokrytí celé cesty stačí pouze dva fyzické koberce



Virtuální adresy

- fyzická paměť slouží jako cache virtuálního adresního prostoru procesů (!)

- procesor – používá virtuální adresy
- Pokud požadovaná část VAProstoru JE ve fyzické paměti
  - MMU převede VA=>FA, přístup k paměti
- požadovaná část NENÍ ve fyzické paměti
  - OS ji musí přečíst z disku
  - I/O operace – přidělení CPU jinému procesu
- většina systémů virtuální paměti používá stránkování

Mechanismus stránkování (paging)

- program používá virtuální adresy
- Musíme rychle zjistit, zda je požadovaná adresa v paměti
  - ANO – převod VA => FA

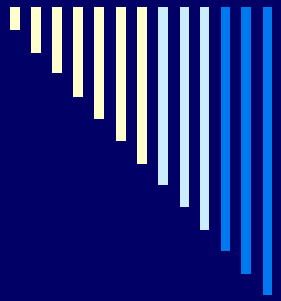
- co nejrychlejší – děje se při každém přístupu do paměti

Pojmy – důležité !!!

- VAP – stránky (pages) pevné délky
  - délka mocnina 2, nejčastěji 4KB, běžně 512B - 8KB
- fyzická paměť – rámce (page frames) stejné délky

- rámec může obsahovat PRÁVĚ JEDNU stránku
- na známém místě v paměti – tabulka stránek

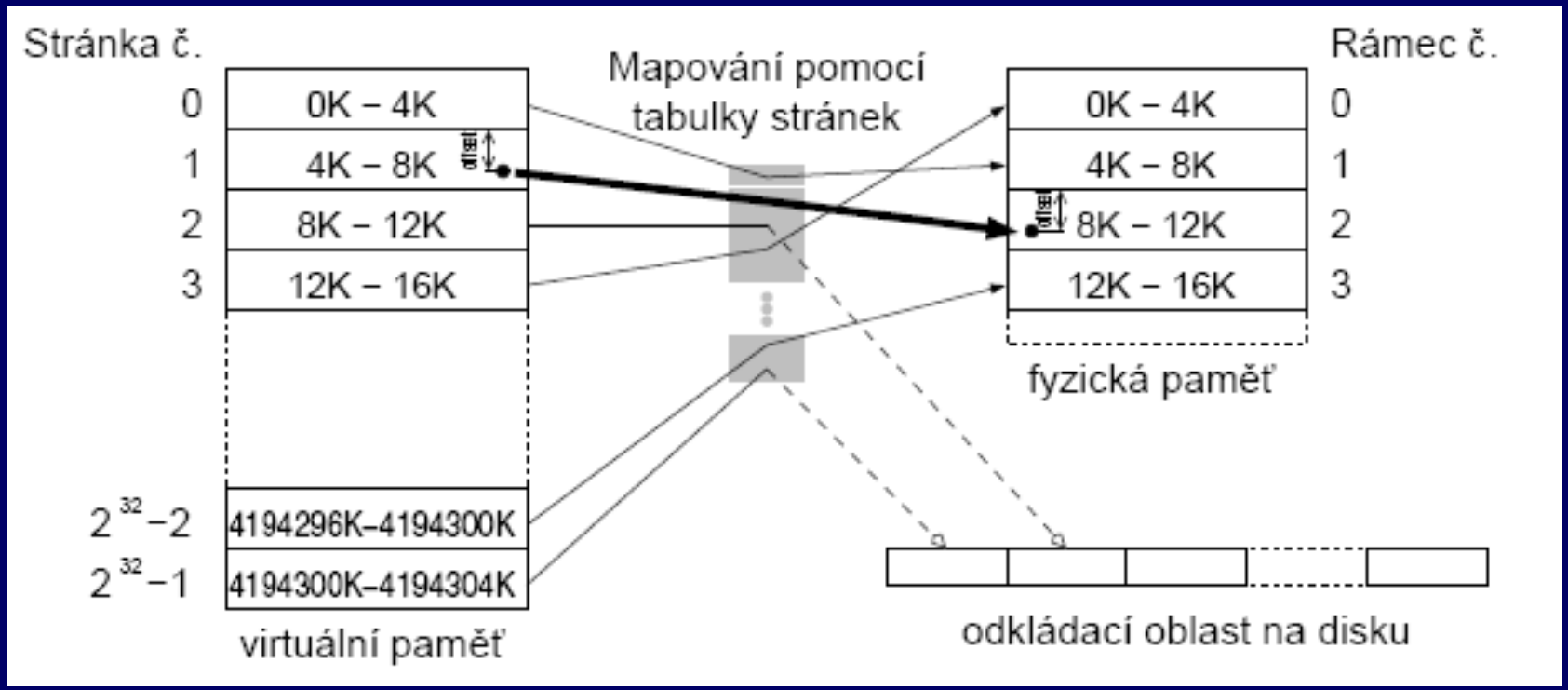
- tabulka stránek poskytuje mapování virtuálních stránek na rámce



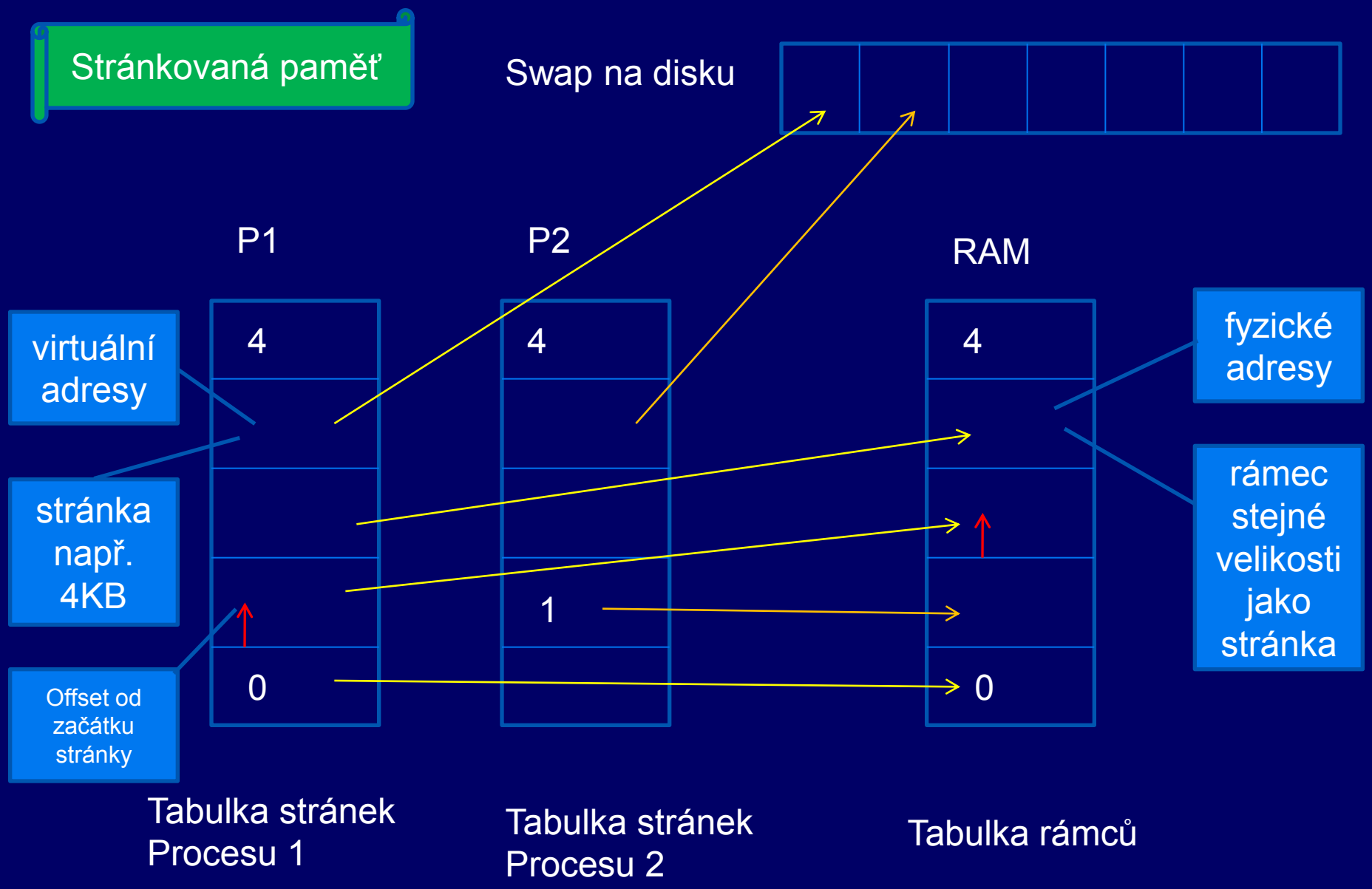
Opakování

- virtuální adresní prostor
- fyzický adresní prostor
- procesy používají VA nebo FA?
- co dělá MMU?
- k čemu slouží tabulka stránek?
- stránka
- rámec

Stránky jsou mapovány na rámce v RAM, nebo jsou uložené v odkládací paměti na disku



Stránkovaná paměť



Tabulka stránek procesu: 1
Velikost stránky: 4096 B

stránka	rámec	další atributy
0	0	
1	2	
2	3	
3	x	swap: 0
4		

Pokud bychom počítali fyzické adresy pro proces 2, používali bychom tabulku stránek procesu 2

Je dána VA 500, vypočítejte fyzickou adresu.
Je dána VA 12300, vypočítejte fyzickou adresu ☺

Je dána VA 4099:
4099 / 4096 = 1, offset 3
Tabulka_stranek_naseho_procesu [1] = 2 .. druhý rámec
FA = 2 * 4096 + 3 = 8195

Výpadek stránky:

Stránka není v operační paměti, ale ve swapu na disku

Tabulka stránek - podrobněji

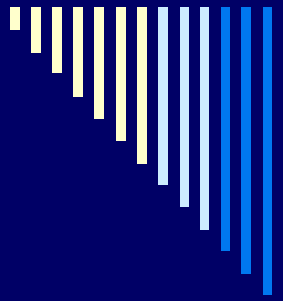
Číslo stránky	Číslo rámce	příznak platnosti	Příznaky ochrany	Bit modifikace (dirty)	Bit referenced	Adresa ve swapu
0	**3**	valid	rx	1	1	---
1	**4**	valid	rw	1	1	---
2	**---**	invalid	ro	0	0	4096

valid
invalid

rw, rx, ro,…

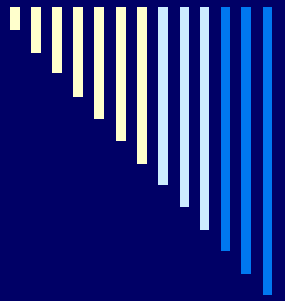
zda je třeba rámec uložit do swapu při odstranění z RAM

zda byla stránka přistupována (čtení či zápis) v poslední době



Tabulka stránek (TS) - podrobněji

- součástí PCB (tabulka procesů) – kde leží jeho TS
- velikost záznamu v TS .. 32 bitů
- číslo rámce .. 20 bitů



Výpočet adresy - stránkování

Pojmy:

VA	virtuální adresa
FA	fyzická adresa
str	číslo stránky
offset	offset
ramec	číslo rámce

Dále předpokládáme velikost stránky 4096B

Příklad s uvedením výpočtu

Je dána VA(p1) = 100. Určte FA.

Velikost stránky je 4096 bytů (4KB).

Tabulka stránek procesu p1 je následující:

Číslo stránky	rámec
0	1
1	2
2	---
3	0

Nezapomeň: máme-li více procesů, každý má svojí tabulku stránek.

Výpočet adresy – stránkování

1. Virtuální adresu rozdělíme na číslo stránky a offset
   - Str = VA div 4096 (dělení, 4096 je velikost stránky)
   - Offset = VA mod 4096 (zbytek po dělení)
2. Převod pomocí tabulky stránek
   převedeme číslo stránky na číslo rámce
   - **tab_str[0] = 1** (pro stránku 0 je číslo rámce 1)
   - tab_str[1] = 2
   - tab_str[2] = -- stránka není namapována
   - tab_str[3] = 0
   - Pro VA = 100 je stránka 0, offset 100 => tedy rámec 1

Výpočet adresy - stránkování

3. Z čísla rámce a offsetu sestavíme fyzickou adresu:

FA = ramec*4096 + offset

FA= 1*4096+ 100

FA= 4196 v daném případě

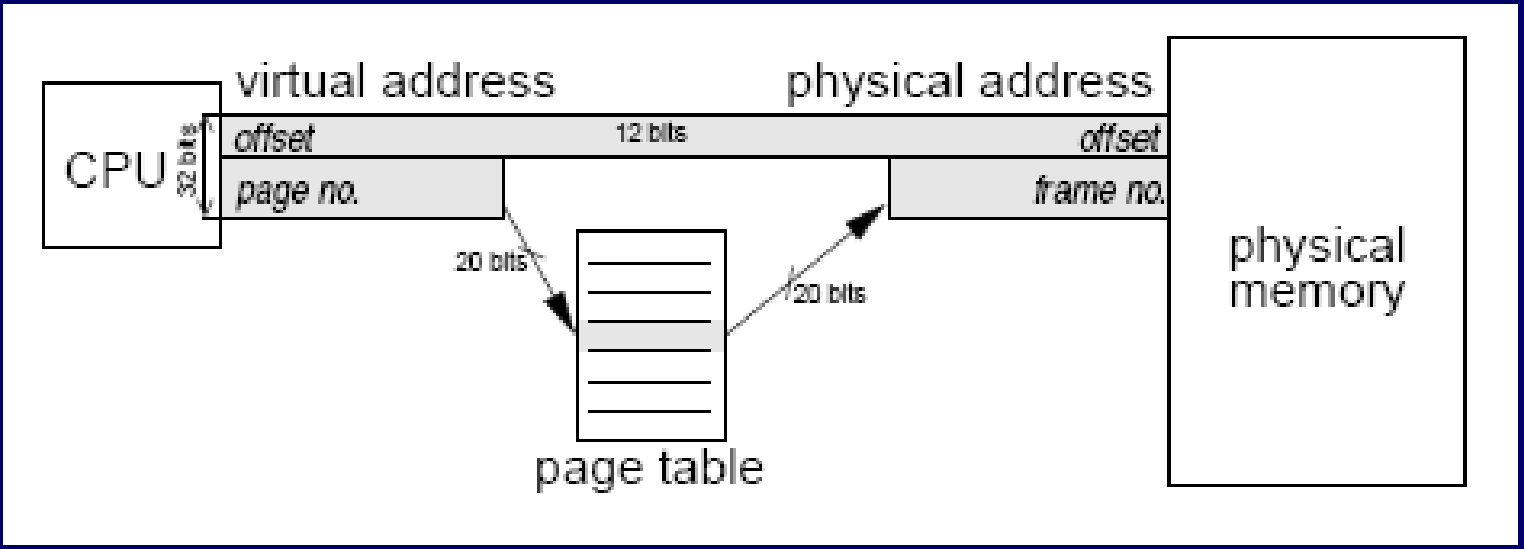
tedy žádné složité dělení není třeba, vezmou se nižší a vyšší bity tj. adresní vodíče

V reálném systému dělení znamená rozdělení na vyšší a nižší bity adresy (proto mocnina dvou velikost str.)

Nižší bity – offset

Vyšší bity – číslo stránky

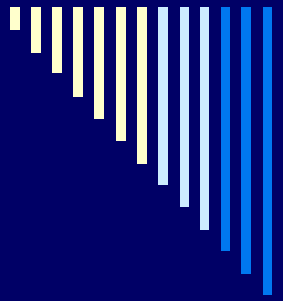
Stránkování



32 bit adresa – 20 bitů číslo stránky, 12 bitů offset
Offset zůstává beze změny

Výpadek stránky (!!!)

- viz příklad, pro adresu 8192 str 2, offset 0
- Výpadek stránky
  - Stránka není mapována
  - Výpadek stránky způsobí **výjimku**, zachycena OS (pomocí **přerušení**)
  - OS iniciuje zavádění stránky a přepne na jiný proces
  - Po zavedení stránky OS upraví mapování (tabulku stránek)
  - Proces může pokračovat
  - Vyřešit: KAM stránku zavést a ODKUD ?



Výpadek stránky

Pokud daná stránka procesu není namapována na určitý rámec ve fyzické paměti a chceme k ní přistoupit

dojde k výpadku stránky – vyvolání **přerušení** operačního systému.

Operační systém se postará o to, aby danou stránku zavedl do nějakého rámce ve fyzické paměti, nastavil mapování a poté může přístup proběhnout.

Náročnost

- Velký rozsah tabulky stránek
  - Např. 1 milion stránek, ne všechny obsazeny
- Rychlý přístup
  - Nemůžeme pokaždé přistupovat k tabulce stránek
  - Různá HW řešení, kopie části tabulky v MMU …

Tabulka stránek může být velmi rozsáhlá – pro urychlení např. kopie části tabulky stránky v MMU (memory management unit)

Vnější fragmentace

- Vnější / externí
  - Zůstávají nepřidělené (nepřidělitelné) úseky paměti
  - Např. dynamické přidělování – malé díry

Při stránkování vnější fragmentace nenastává, všechny stránky jsou přidělitelné (jsou stejně velké)

Vnitřní fragmentace

- Vnitřní fragmentace
  - Část přidělené oblasti je nevyužita (dostaneme přidělenou stránku, ale využijeme z ní jen část !)

Stránkování:

V průměru polovina poslední stránky procesu je prázdná

Čisté stránkování

Bez odkládací oblasti

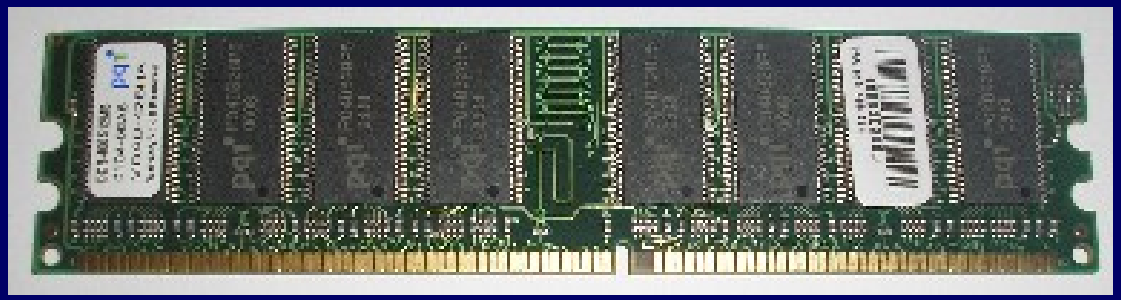
Souvislý logický adresní prostor procesu
mapován do
nesouvislých částí paměti

OS udržuje:

- 1 tabulka rámců
- Tabulku stránek pro každý proces

Tabulka rámců

- Pro správu FYZICKÉ paměti
- Je třeba informace, které rámce jsou volné vs. obsazené

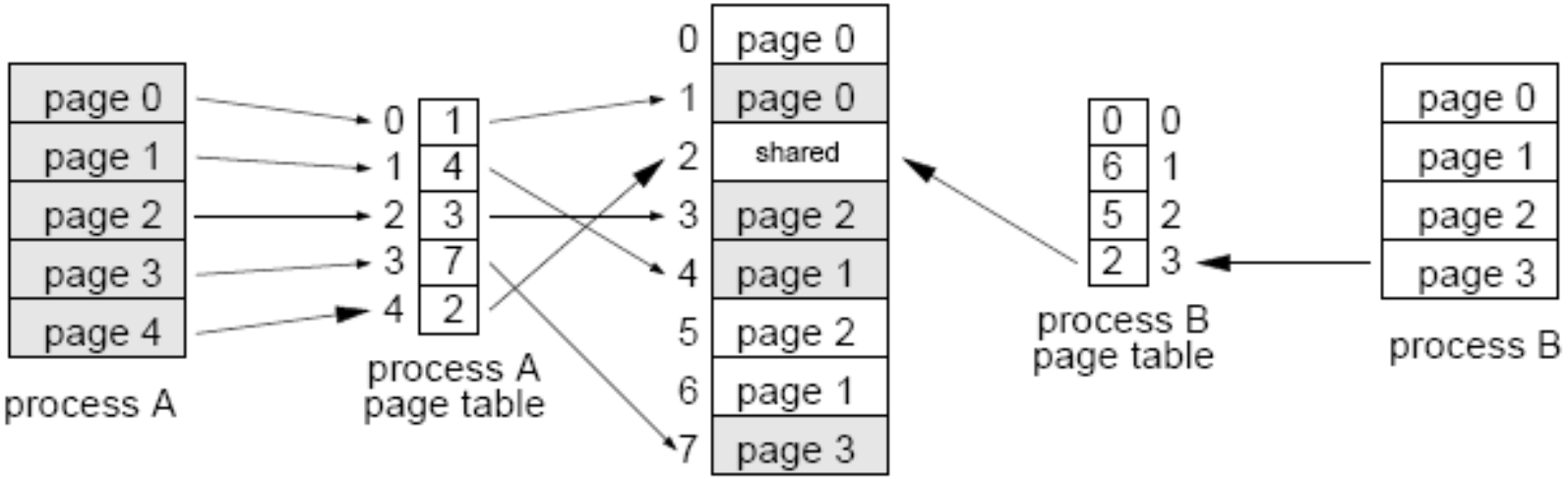


zdroj obrázku: http://www.lisak.cz/pocitac-jako-skladacka.html

Tabulka stránek procesu

- Mapuje číslo stránky na číslo fyzického rámce
- Další informace – např. příznaky ochrany
- Řeší problém relokace a ochrany
  - Relokace – mapování VA na FA
  - Ochrana – v tabulce stránek pouze stránky, ke kterým má proces přístup
- Přepnutí na jiný proces
  - MMU přepne na jinou tabulku stránek

Stránkování



Stránkování umožňuje i přístup do sdílené paměti, v každém procesu může být dokonce sdílená paměť mapována od jiné adresy

Problémy

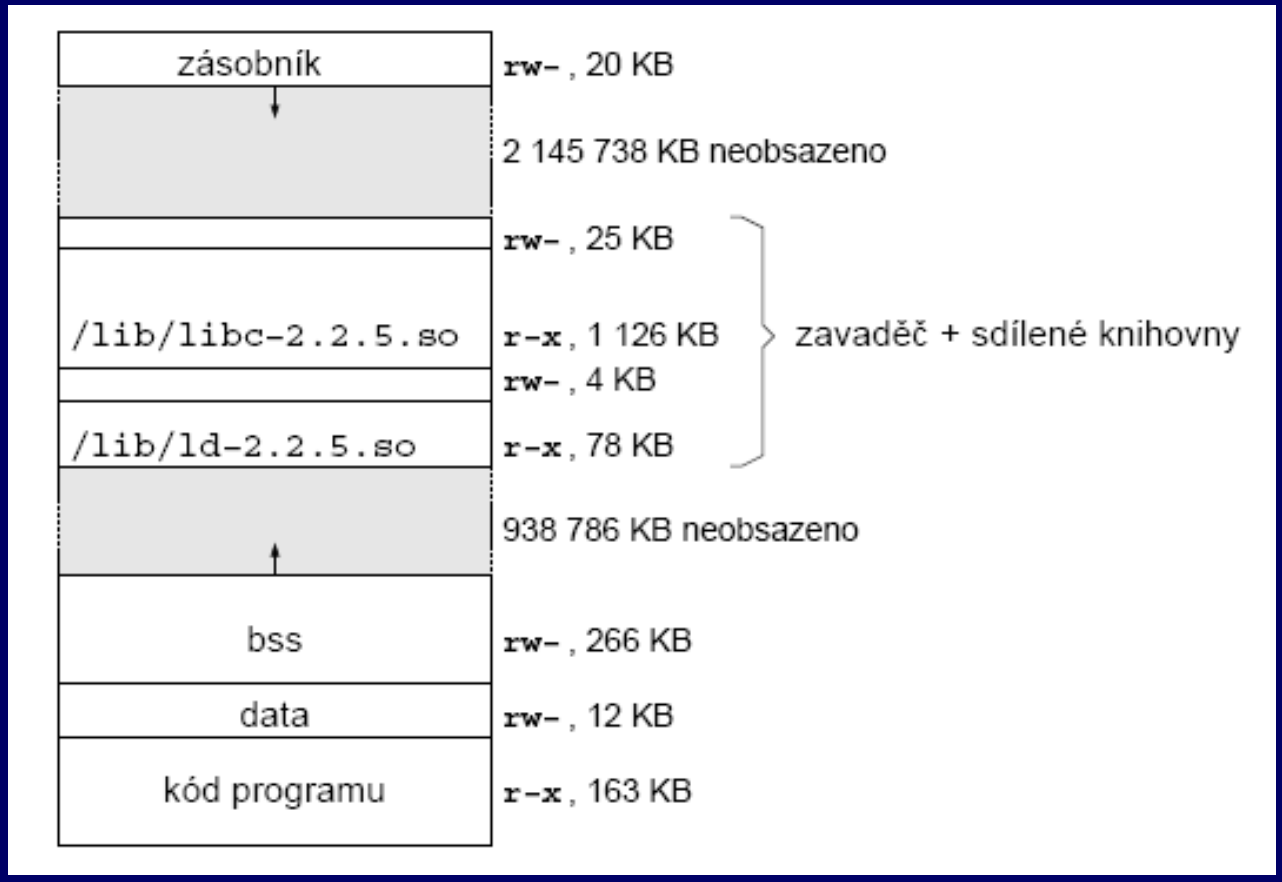
- Velikost tabulky stránek
  - Pomůže víceúrovňová struktura
- Rychlost převodu VA -> FA
  - TLB (Transaction Look-aside Buffer)

na dalších slidech budou tyto problémy dále rozebrány

Velikost tabulky stránek

- VA 32 bitů
  - stránka 4KB (12 bitů)
  - Stránek 2^20 (20 bitů)
    - Každá položka 4B .. 2^20*4 = 4MB celkem pro **každý** proces
- Proces využívá jen část VA
  - Kód
  - Data (inicializovaná, a neinicializovaná)
  - Sdílené knihovny a jejich data
  - Od nejvyšší adresy zásobník - roste dolů

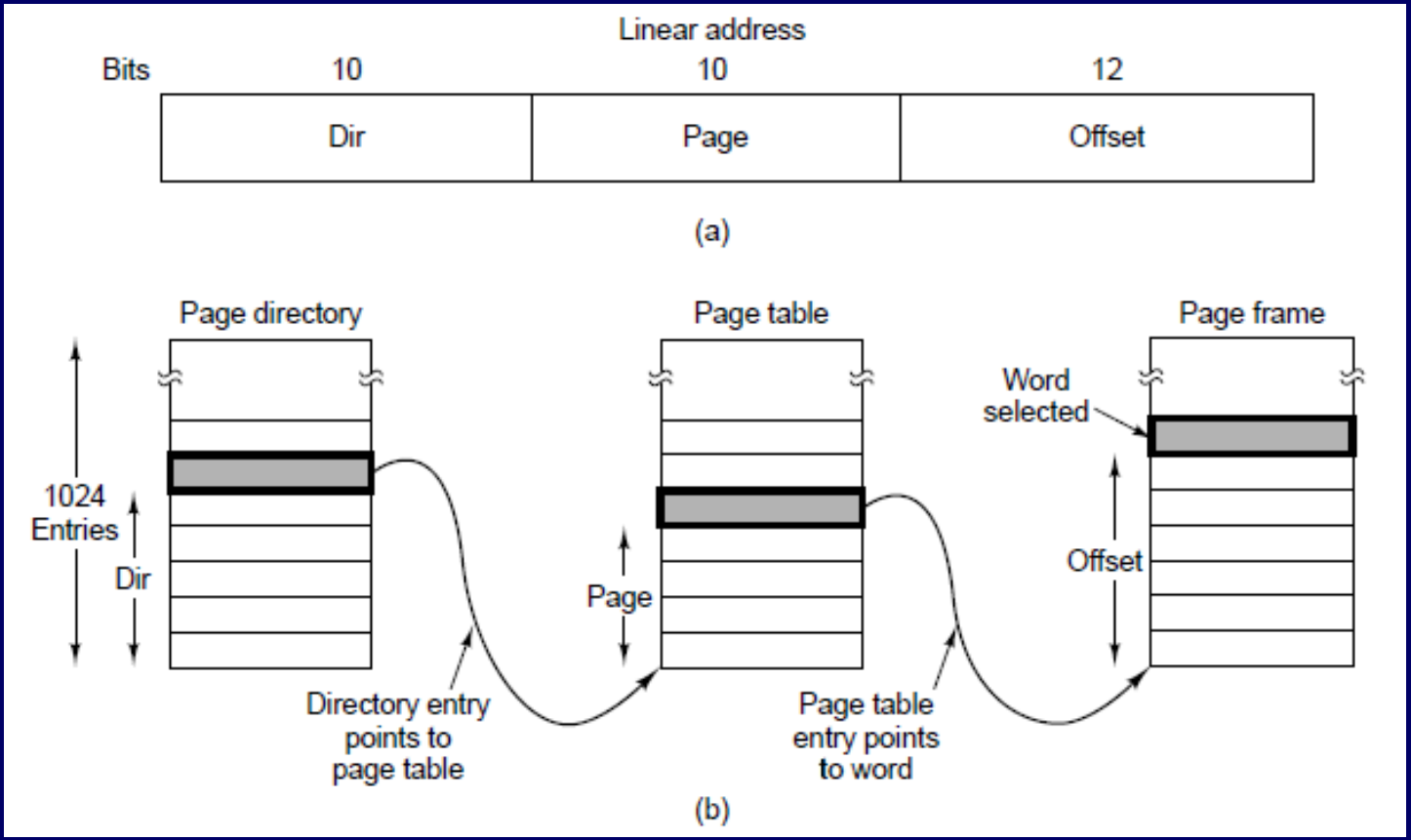
Rozdělení paměti pro proces

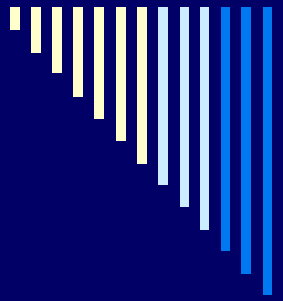


Velikost tabulky stránek

- Mít v tabulce stránek jen ty, představující existující paměť => víceúrovňová tabulka stránek
- VA 32 bitů
  - PT1 – 10 bitů , index do tab. stránek 1. úrovně
  - PT2 – 10 bitů, index do tab. stránek 2. úrovně
  - Offset – 12bitů
- PT1=0 (kód a data), PT1=1 (sdílené knihovny) PT=1023 (zásobník); ostatní nepřiřazeno!

Velikost tabulky stránek



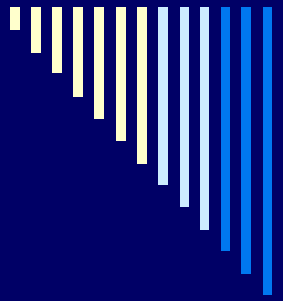


Rychlost převodu (!)

- Každý přístup – sáhne do tabulky stránek
  - 2x více paměťových přístupů
    - musíme sáhnout do tabulky stránek a pak do paměti kam chceme
- TLB (Transaction Look-aside Buffer) (!!!!)
  - HW cache
  - Dosáhneme zpomalení jen 5 až 10 %
  - Přepnutí kontextu na jiný proces
    - problém (vymazání cache,..)
    - než se TLB opět zaplní – pomalý přístup

Obsah položky v tabulce stránek (!!!)

- Číslo rámce
- Příznak platnosti (valid / invalid)
- Příznaky ochrany (rw, ro, ..)
- Bit modified (dirty)
  - zápis do stránky nastaví na 1
- Bit referenced
  - Přístup pro čtení / zápis nastaví na 1
- Další …



Invertovaná tabulka stránek

- VA 64bitů , stránka 4KB, 2^52 stránek – moc

Invertovaná tabulka stránek

- Položky pro každý fyzický rámec
  - Omezený počet – dán velikostí RAM
  - VA 64bitů, 4KB stránky, 256MB RAM – 65536 položek
- Forma položky: (id procesu, číslo stránky)

Invertovaná tabulka stránek - převod

- Pokud je položka v TLB
  – zařídí HW, jinak OS (SW)

SW:

- Prohledávání invertované tabulky stránek
- Položka nalezena – (číslo stránky, číslo rámce) do TLB
- Tabulka hashovaná podle virtuální adresy (pro optim.)

Stránkování na žádost (už odkládací prostor)

- Vytvoření procesu
  - Vytvoří prázdnou tabulku stránek
  - Alokace místa na disku pro odkládání stránek
  - Některé implementace – odkládací oblast inicializuje kódem programu a daty ze spustitelného souboru
- Při běhu
  - Žádná stránka v paměti,
  - 1. přístup – výpadek stránky (page fault)
  - OS zavede požadovanou stránku do paměti
  - Postupně v paměti tzv. pracovní množina stránek

Pracovní množina stránek

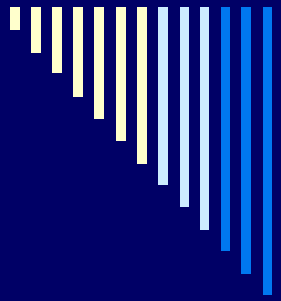
Má-li proces svou pracovní množinu stránek v paměti, může pracovat bez mnoha výpadků

dokud se pracovní množina stránek nezmění, např. další fáze výpočtu

Pracovní množina stránek daného procesu – kolik stránek musí mít ve fyzické paměti, aby mohl nějaký čas pracovat bez výpadků stránky

Ošetření výpadku stránky (důležité !)

1. Výpadek – mechanismem přerušení (!!) vyvolán OS
2. OS zjistí, pro kterou stránku nastal výpadek
3. OS určí umístění stránky na disku
   - Často tato informace přímo v tabulce stránek
4. Najde rámec, do kterého bude stránka zavedena
   - Co když jsou všechny rámce obsazené?
5. Načte požadovanou stránku do rámce
6. Nastaví danou položku v tabulce stránek
7. Návrat..
8. HW dokončí instrukce, která způsobila výpadek

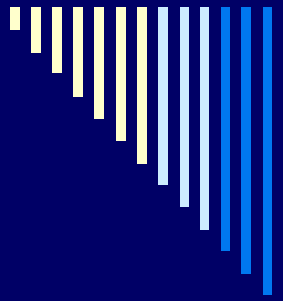


Problém

- Všechny rámce obsazené, kterou stránku vyhodit ??

Algoritmy nahrazování stránek

Všechny rámce v paměti RAM jsou plné. Přesto musíme nějaký z nich uvolnit (odložit na disk), abychom mohli do RAM dát ten, který potřebujeme. Jak rozhodnout, který rámec vyhodit?



Algoritmy nahrazování stránek

- Uvolnit rámec pro stránku, co s původní stránkou?
- Pokud byla stránka modifikována (dirty=1), uložit na disk
- Pokud oproti kopii na disku nebyla modifikována, pouze uvolněna

Algoritmy nahrazování stránek

- Kterou stránku vyhodit?

Takovou, která se dlouho nebude potřebovat..

Chtělo by křišťálovou kouli…

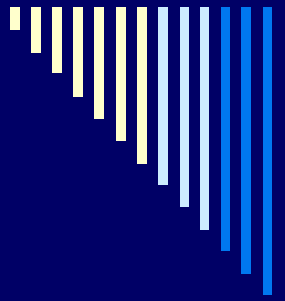
Algoritmus FIFO

- Udržovat seznam stránek v pořadí, ve kterém byly zavedeny
- Vyhazujeme nejstarší stránku (nejdéle zavedenou – první na seznamu)

Není nejvhodnější

Často používané stránky mohou být v paměti dlouho
(analogie s obchodem, nejdéle zavedený výrobek – chleba)

Trpí Beladyho anomálií



Beladyho anomálie

Předpokládáme:

Čím více bude rámců paměti, tím nastane méně výpadků.

Belady našel příklad pro algoritmus FIFO, kdy to neplatí.

* algoritmus FIFO, řetězec odkazů (referencí): 0 1 2 3 0 1 4 0 1 2 3 4

3 rámce:

ref.:	0	1	2	3	0	1	4	0	1	2	3	4
1	.	0	1	2	3	0	1	4	4	4	2	3	3
2	.	.	0	1	2	3	0	1	1	1	4	2	2
3	.	.	.	0	1	2	3	0	0	0	1	4	4
		P	P	P	P	P	P	P			P	P	= 9 výpadků

4 rámce:

ref.:	0	1	2	3	0	1	4	0	1	2	3	4
1	.	0	1	2	3	3	3	4	0	1	2	3	4
2	.	.	0	1	2	2	2	3	4	0	1	2	3
3	.	.	.	0	1	1	1	2	3	4	0	1	2
4	.	.	.	.	0	0	0	1	2	3	4	0	1
		P	P	P	P		P	P	P	P	P	P	= 10 výpadků

* tj. pro 3 rámce nastane 9 výpadků, pro 4 rámce 10 výpadků
* objev pana Beladyho způsobil vývoj teorie stránkovacích algoritmů a jejich vlastností