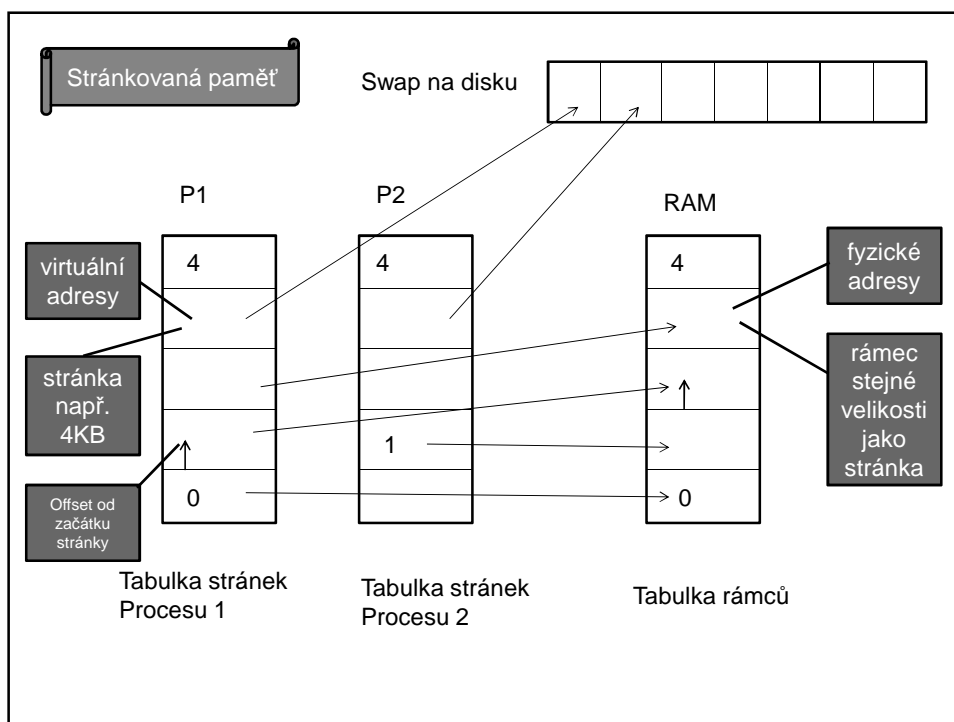


10.

Memory management II.

ZOS 2013, L. Pešička



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 přístupována (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

dvouúrovňová tabulka stránek

- 4KB, 4MB

čtyřúrovňová tabulka stránek x86-64

- stránky 4KB, 2MB, až 1GB

Obsah

- FIFO + Beladyho anom.
- MIN / OPT
- LRU
- NRU
- Second Chance, Clock
- Aging
-
- Segmentování
- I/O

Algoritmy nahrazování stránek paměti

Použijí se, pokud potřebujeme uvolnit místo v operační paměti pro další stránku:

nastal výpadek stránky, je třeba někam do RAM zavést stránku a RAM je plná..

nějakou stránku musíme z RAM odstranit, ale jakou?



Algoritmus MIN / OPT

- optimální – nejmenší možný výpadek stránek
- Vyhodíme zboží, které nejdelší dobu nikdo nebude požadovat.
- stránka označena počtem instrukcí, po který se k ní nebude přistupovat
- $p[0] = 5$, $p[1] = 20$, $p[3] = 100$
- výpadek stránky – vybere s nejvyšším označením
- vybere se stránka, která bude zapotřebí nejpozději v **budoucnosti**



MIN / OPT

- není realizovatelný (křišťálová koule)
 - jak bychom zjistili dopředu která stránka bude potřeba?
- algoritmus pouze pro srovnání s realizovatelnými
- Použití pro běh programu v simulátoru
 - uchovávají se odkazy na stránky
 - spočte se počet výpadků pro MIN/OPT
 - Srovnání s jiným algoritmem (o kolik je jiný horší)



Least Recently Used (LRU)

- nejdéle nepoužitá (pohled do minulosti)
 - princip lokality
 - stránky používané v posledních instrukcích se budou pravděpodobně používat i v následujících
 - pokud se stránka dlouho nepoužívala, pravděpodobně nebude brzy zapotřebí

 - Vyhazovat zboží, na kterém je v prodejně nejvíce prachu = nejdéle nebylo požadováno
-



LRU

- obtížná implementace

 - sw řešení (není použitelné)
 - seznam stránek v pořadí referencí
 - výpadek – vyhození stránky ze začátku seznamu
 - zpomalení cca 10x, nutná podpora hw
-



LRU – HW řešení - čítač

- HW řešení – čítač
 - MMU obsahuje čítač (64bit), při každém přístupu do paměti zvětšen
 - každá položka v tabulce stránek – pole pro uložení čítače
 - odkaz do paměti:
 - obsah čítače se zapíše do položky pro odkazovanou stránku
 - výpadek stránky:
 - vyhodí se stránka s nejnižším číslem



LRU – HW řešení - matice

- MMU udržuje matici $n * n$ bitů
 - n – počet rámců
- všechny prvky 0
- odkaz na stránku odpovídající k -tému rámcu
 - všechny bity k -tého řádku matice na 1
 - všechny bity k -tého sloupce matice na 0
- řádek s nejnižší binární hodnotou
 - nejdéle nepoužitá stránka

LRU – matice - příklad

reference v pořadí: 3 2 1 0

	0.1.2.3	0.1.2.3	0.1.2.3	0.1.2.3
0.	0 0 0 0	0. 0 0 0 0	0. 0 0 0 0	0. 0 1 1 1
1.	0 0 0 0	1. 0 0 0 0	1. 1 0 1 1	1. 0 0 1 1
2.	0 0 0 0	2. 1 1 0 1	2. 1 0 0 1	2. 0 0 0 1
3.	1 1 1 0	3. 1 1 0 0	3. 1 0 0 0	3. 0 0 0 0

LRU - vlastnosti

- výhody
 - z časově založených (realizovatelných) nejlepší
 - Beladyho anomálie nemůže nastat
- nevýhody
 - každý odkaz na stránku – aktualizace záznamu (zpomalení)
 - položka v tab. stránek
 - řádek a sloupec v matici
- LRU se pro stránkovanou virtuální paměť příliš nepoužívá
- LRU ale např. pro blokovou cache souborů



Not-Recently-Used (NRU)

- snaha vyházovat nepoužívané stránky
- HW podpora:
 - stavové bity Referenced (R) a Dirty (M = modified)
 - v tabulce stránek
- bity nastavované HW dle způsobu přístupu ke stránce
- bit R – nastaven na 1 při čtení nebo zápisu do stránky
- bit M – na 1 při zápisu do stránky
 - stránku je třeba při vyhození zapsat na disk
- bit zůstane na 1, dokud ho SW nenastaví zpět na 0



algoritmus NRU

- začátek – všechny stránky $R=0, M=0$
- bit R nastavován OS periodicky na 0 (přerušení čas.)
 - odliší stránky referencované **v poslední době !!**
- 4 kategorie stránek (R,M)
 - třída 0: $R = 0, M = 0$*
 - třída 1: $R = 0, M = 1$ -- z třídy 3 po nulování R*
 - třída 2: $R = 1, M = 0$*
 - třída 3: $R = 1, M = 1$*
- NRU vyhodí stránku z nejnižší neprázdné třídy
- výběr mezi stránkami ve stejné třídě je náhodný



NRU

- pro NRU platí – lepší je vyhodit modifikovanou stránku, která nebyla použita 1 tik, než nemodifikovanou stránku, která se právě používá
- výhody
 - jednoduchost, srozumitelnost
 - efektivně implementovaný
- nevýhody
 - výkonnost (jsou i lepší algoritmy)



Náhrada bitů R a M - úvaha

jak by šlo simulovat R,M bez HW podpory?

- start procesu – všechny stránky jako nepřítomné v paměti
- odkaz na stránku – výpadek
 - OS interně nastaví R=1
 - nastaví mapování stránky v READ ONLY režimu
- pokus o zápis do stránky – výjimka
 - OS zachytí a nastaví M=1,
 - změní přístup na READ WRITE



Algoritmy Second Chance a Clock

- vycházejí z FIFO
 - FIFO – obchod vyhazuje zboží zavedené před nejdelší dobou, ať už ho někdo chce nebo ne
 - Second Chance – evidovat, jestli zboží v poslední době někdo koupil (ano – prohlásíme za čerstvé zboží)
- modifikace FIFO – zabránit vyhození často používané

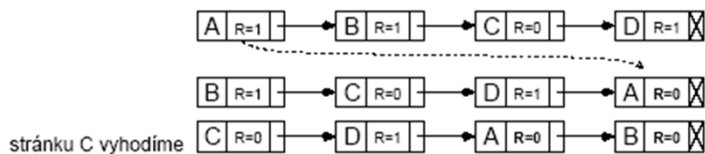


Second Chance

algoritmus Second Chance

- dle bitu R (referenced) nejstarší stránky
 - R = 0 ... stránka je nejstarší, nepoužívaná – vyhodíme
 - R = 1 ... nastavíme R=0, přesuneme na konec seznamu stránek (jako by byla nově zavedena)

Příklad Second Chance



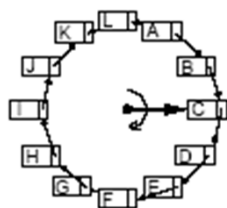
1. Krok – nejstarší je A, má $R = 1$ – nastavíme R na 0 a přesuneme na konec seznamu
2. Druhá nejstarší je B, má $R = 1$ – nastavíme R na 0 a opět přesuneme na konec seznamu
3. Další nejstarší je C, $R = 0$ – vyhodíme ji

Second Chance

- SC vyhledá nejstarší stránku, která nebyla referencována v poslední době
- Pokud všechny referencovány – čisté FIFO
 - Všem se postupně nastaví R na 0 a na konec seznamu
 - Dostaneme se opět na A, nyní s $R = 0$, vyhodíme ji
- Algoritmus končí nejvýše po (počet rámců + 1) krocích

Algoritmus Clock

- Optimalizace datových struktur algoritmu Second Chance
 - Stránky udržovány v **kruhovém** seznamu
 - Ukazatel na nejstarší stránku – „ručička hodin“



Výpadek stránky – najít stránku k vyhození

Stránka kam ukazuje ručička

- má-li $R=0$, stránku vyhodíme a ručičku posuneme o jednu pozici
- má-li $R=1$, nastavíme R na 0, ručičku posuneme o 1 pozici, opakování,...

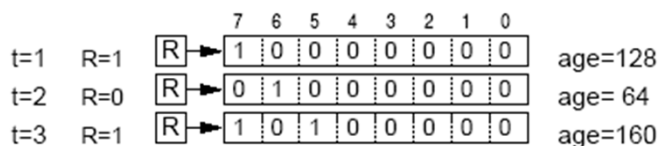
Od SC se liší pouze implementací

Varianty Clock používají např. BSD UNIX

SW aproximace LRU - Aging

- LRU vyhazuje vždy nejdéle nepoužitou stránku
- Algoritmus Aging
 - Každá položka tabulky stránek – pole stáří (age), N bitů (8)
 - Na počátku age = 0
 - Při každém **přerušení časovače** pro **každou** stránku:
 - Posun pole stáří o 1 bit vpravo
 - Zleva se přidá hodnota bitu R
 - Nastavení R na 0
- Při výpadku se vyhodí stránka, jejíž pole age má nejnižší hodnotu

Aging



Age := age shr 1; posun o 1 bit vpravo
 Age := age or (R shl N-1); zleva se přidá hodnota bitu R
 R := 0; nastavení R na 0

Aging x LRU

- Několik stránek může mít stejnou hodnotu age a nevíme, která byla odkazovaná dříve (u LRU jasné vždy) – hrubé rozlišení (po ticích časovače)
- Age se může snížit na 0
 - nevíme, zda odkazovaná před 9ti nebo 1000ci tiky časovače
 - Uchovává pouze omezenou historii
 - V praxi není problém – tik 20ms, N=8, nebyla odkazována 160ms – nejspíše není tak důležitá, můžeme jí vyhodit
- stránky se stejnou hodnotou age – vybereme náhodně


Shrnutí algoritmů

- Optimální algoritmus (MIN čili OPT)
 - Nelze implementovat, vhodný pro srovnání
- FIFO
 - Vyhazuje nejstarší stránku
 - Jednoduchý, ale je schopen vyhodit důležité stránky
 - Trpí Beladyho anomálií
- LRU (Least Recently Used)
 - Výborný
 - Implementace vyžaduje spec. hardware, proto používán zřídka

důležité je uvědomit si, kdy tyto algoritmy zafungují – potřebujeme v RAM uvolnit rámec

Shrnutí algoritmů II.

- NRU (Not Recently Used)
 - Rozděluje stránky do 4 kategorií dle bitů R a M
 - Efektivita není příliš velká, přesto používán
- Second Chance a Clock
 - Vycházejí z FIFO, před vyhození zkontrolují, zda se stránka používala
 - Mnohem lepší než FIFO
 - Používané algoritmy (některé varianty UNIXu)
- Aging
 - Dobře aproximuje LRU – efektivní
 - Často prakticky používaný algoritmus



Ostatní problémy stránkované VP

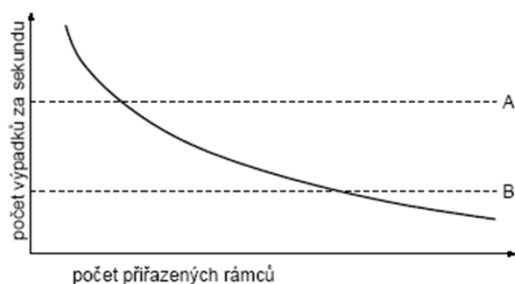
- Alokace fyzických rámců
 - Globální a lokální alokace
 - Globální – pro vyhození se uvažují všechny rámce
 - Lepší průchodnost systému – častější
 - Na běh procesu má vliv chování ostatních procesů
 - Lokální – uvažují se pouze rámce alokované procesem (tj. obsahující stránky procesu, jehož výpadek stránky se obsluhuje)
 - Počet stránek alokovaných pro proces se nemění
 - Program se vzhledem k stránkování chová přibližně stejně při každém běhu



Lokální alokace

- Kolik rámců dát každému procesu?
- Nejjednodušší – všem procesům dát stejně
 - Ale potřeby procesů jsou různé
- Propropcionální – každému proporcionalní díl podle velikosti procesu
- Nejlepší – podle frekvence výpadků stránek (Page Fault Frequency, PFF)
 - Pro většinu rozumných algoritmů se PFF snižuje s množstvím přidělených rámců

Page Fault Frequency (PFF)



PFF udržet v roz. mezích:

if $PFF > A$

přidáme procesu rámce

if $PFF < B$

proces má asi příliš paměti

rámce mu mohou být

odebrány

Zloděj stránek (page daemon)

- v systému se běžně udržuje určitý počet volných rámců
- když klesne pod určitou mez, pustí page daemon (zloděj stránek), ten uvolní určité množství stránek (rámců)
- když se čerstvě uvolněné stránky hned nepřidělí, lze je v případě potřeby snadno vrátit příslušnému procesu

Zamykání stránek

zabrání odložení stránky

- části jádra
- stránka, kde probíhá I/O
- tabulky stránek
- nastavení uživatelem – `mlock()` , viz man 2 `mlock`

mlock

```

MLOCK(2) Linux Programmer's Manual MLOCK(2)
NAME
    mlock, munlock, mlockall, munlockall - lock and unlock memory
SYNOPSIS
    #include <sys/mman.h>

    int mlock(const void *addr, size_t len);
    int munlock(const void *addr, size_t len);

    int mlockall(int flags);
    int munlockall(void);
DESCRIPTION
    mlock() and mlockall() respectively lock part or all of the calling
    process's virtual address space into RAM, preventing that memory from
    being paged to the swap area. munlock() and munlockall() perform the
    converse operation, respectively unlocking part or all of the calling
    process's virtual address space, so that pages in the specified virtual
    address range may once more to be swapped out if required by the kernel
    memory manager. Memory locking and unlocking are performed in units of
    whole pages.
  
```



Zahlcení

- Proces pro svůj rozumný běh potřebuje pracovní množinu stránek
- Pokud se pracovní množiny stránek aktivních procesů nevejdou do paměti, nastane zahlcení (trashing)
- **Zahlcení**
 - V procesu nastane výpadek stránky
 - Paměť je plná (není volný rámec) – je třeba nějakou stránku vyhodit, stránka pro vyhození bude ale brzo zapotřebí, bude se muset vyhodit jiná používaná stránka ...
- Uživatel pozoruje – systém intenzivně pracuje s diskem a běh procesů se řádově zpomalí (více času stránkování než běh)
- Řešení – při zahlcení snížit úroveň multiprogramování (zahlcení lze detekovat pomocí PFF)



Mechanismus VP - výhody

- Rozsah virtuální paměti
 - (32bit: 2GB pro proces + 2GB pro systém, nebo 3+1)
 - Adresový prostor úlohy není omezen velikostí fyzické paměti
 - Multiprogramování – není omezeno rozsahem fyz. paměti
- Efektivnější využití fyzické paměti
 - Není vnější fragmentace paměti
 - Nepoužívané části adresního prostoru úlohy nemusejí být ve fyzické paměti

Mechanismus VP - nevýhody

- Režie při převodu virt. adres na fyzické adresy
- Režie procesoru
 - údržba tabulek stránek a tabulky rámců
 - výběr stránky pro vyhození, plánování I/O
- Režie I/O při čtení/zápisu stránky
- Paměťový prostor pro tabulky stránek
 - Tabulky stránek v RAM, často používaná část v TLB
- Vnitřní fragmentace
 - Přidělená stránka nemusí být plně využita

Rozdělení paměti pro proces (!!!)

pokus.c:

```
int x =5; int y = 7; // inic. data

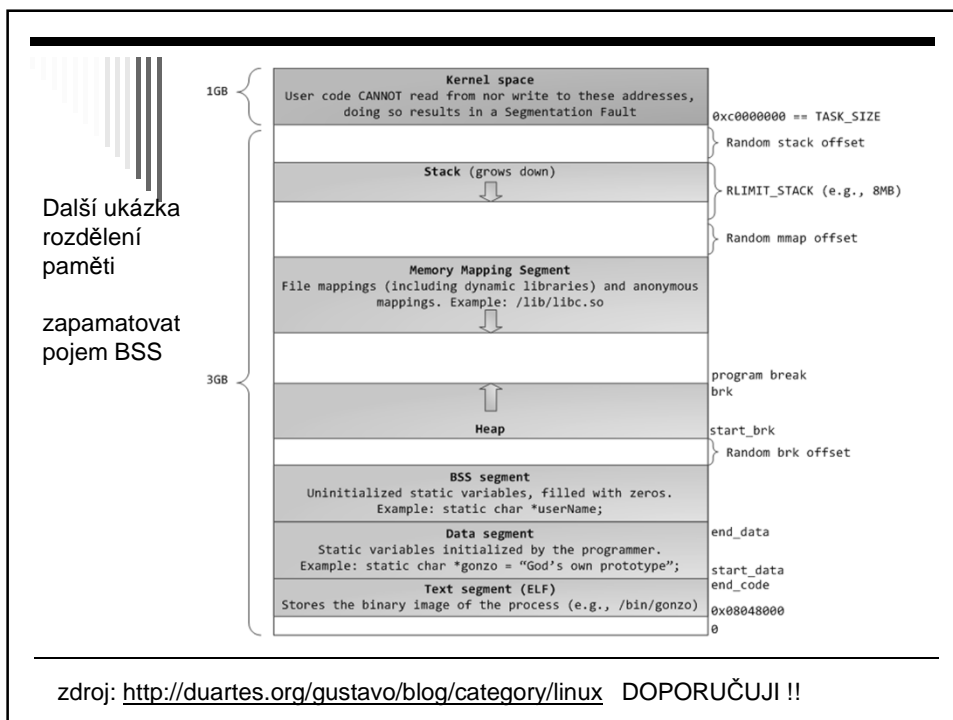
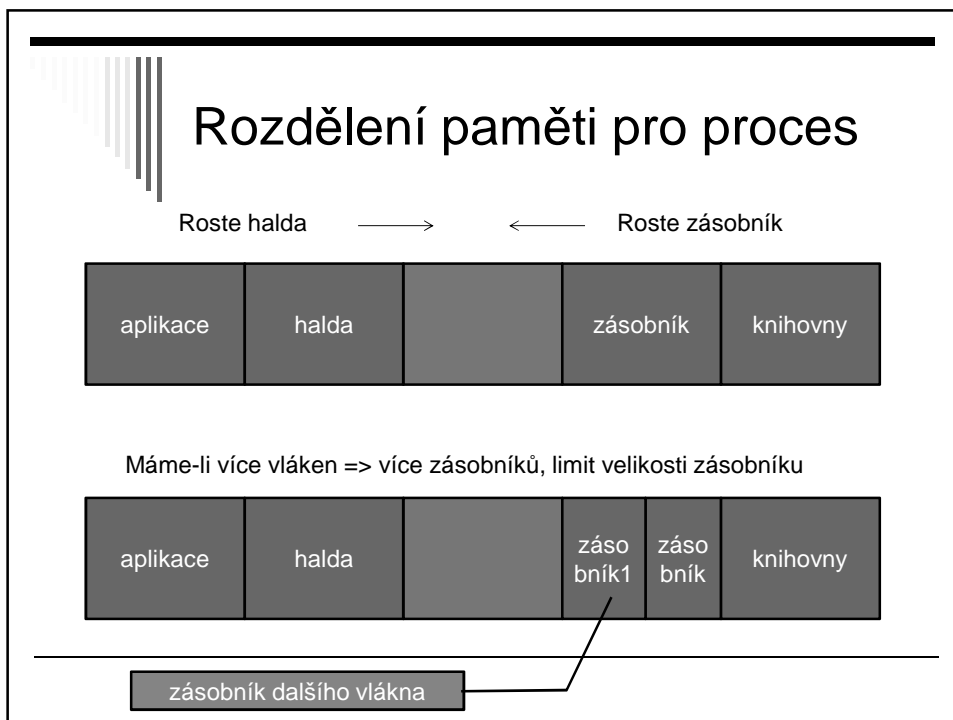
void fce1() {
  int pom1, pom2; // na zásobníku
  ... }

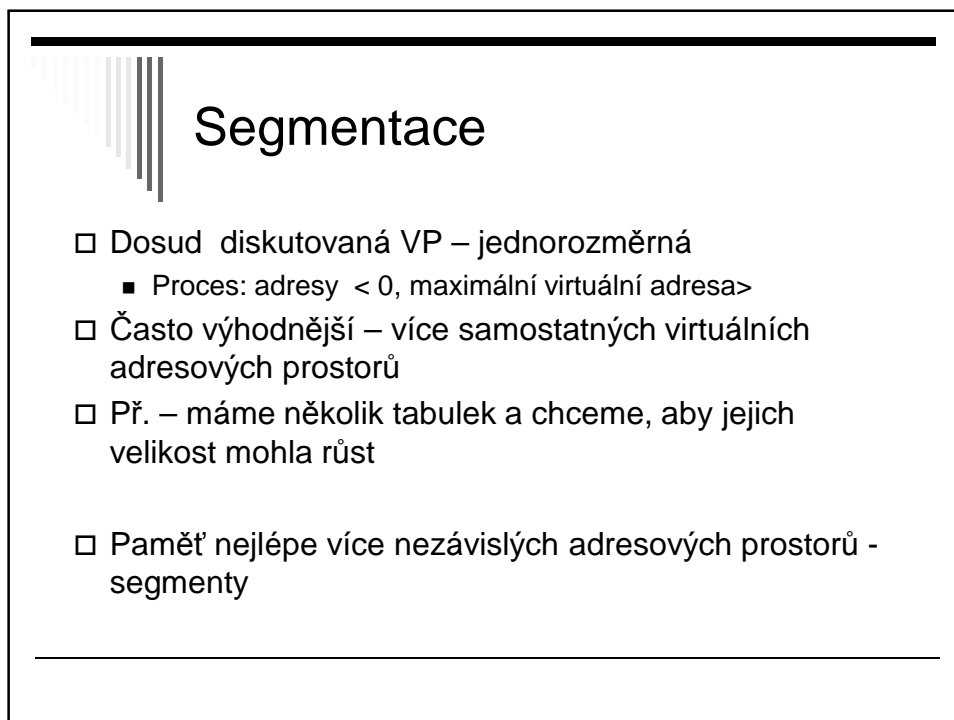
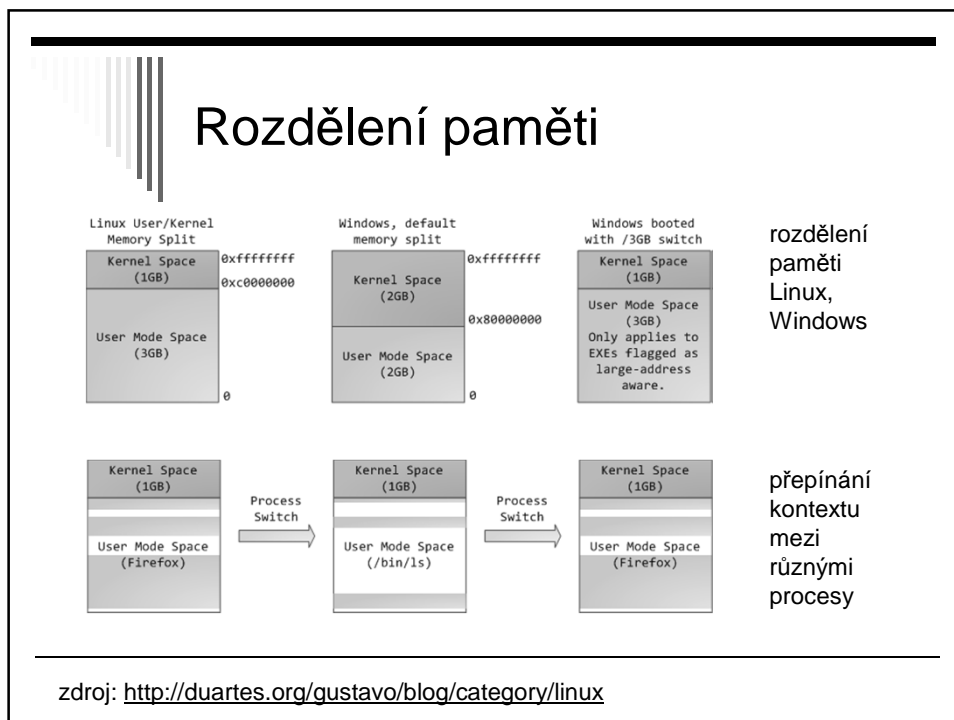
int main (void) {
  ...
  malloc(1000); // halda
  fce1();
  return 0;
}
```



2+2: 0..2GB proces, 2GB..4GB OS

3+1: 3GB proces, 1GB OS







Segmentace

- Segment – logické seskupení informací
- Každý segment – lineární posloupnost adres od 0
- Programátor o segmentech ví, používá je explicitně (adresuje konkrétní segment)
- Např. překladač jazyka – samostatné segmenty pro
 - Kód přeloženého programu
 - Globální proměnné
 - Hromada
 - Zásobník návratových adres
- Možné i jemnější dělení – segment pro každou funkci



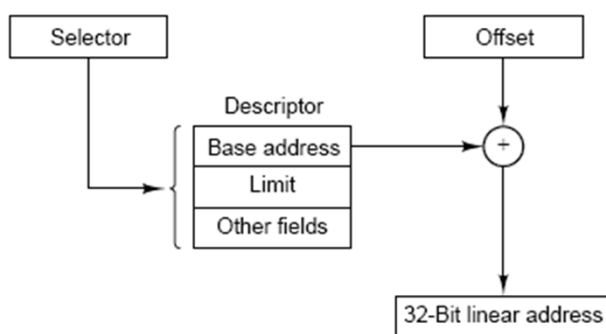
Segmentace

- Lze použít pro implementaci
 - Přístup k souborům
 - 1 soubor = 1 segment
 - Není třeba open, read ..
 - Sdílené knihovny
 - Programy využívají rozsáhlé knihovny
 - Vložit knihovnu do segmentu a sdílet mezi více programy
- Každý segment – logická entita – má smysl, aby měl samostatnou ochranu

Čistá segmentace

- Každý odkaz do paměti – dvojice (**selektor, offset**)
 - Selektor – číslo segmentu, určuje segment
 - Offset – relativní adresa v rámci segmentu
- Technické prostředky musí umět přemapovat dvojici (selektor, offset) na lineární adresu (fyzická když není dále stránkování)
- **Tabulka segmentů** – každá položka má
 - Počáteční adresa segmentu (báze)
 - Rozsah segmentu (limit)
 - Příznaky ochrany segmentu (čtení, zápis, provádění – rwx)

(selektor, offset) =>
lineární adresa





Převod na fyzickou adresu

- PCB obsahuje odkaz na tabulku segmentů procesu
- Odkaz do paměti má tvar (selektor, offset)
- Často možnost sdílet segment mezi více procesy

příklad instrukce: *LD R, sel:offset*

1. Selektor – index do tabulky segmentů
2. Kontrola $\text{offset} < \text{limit}$, ne – porušení ochrany paměti
3. Kontrola zda dovolený způsob použití; ne – chyba
4. Adresa = báze + offset



Segmentace

- Mnoho věcí podobných jako přidělování paměti po sekcích, ale rozdíl:
 - Po sekcích – pro procesy
 - Segmenty – pro části procesu
- Stejně problémy jako přidělování paměti po sekcích
 - Externí fragmentace paměti
 - Mohou zůstat malé díry



Segmentace na žádost

- Segment – zavedený v paměti nebo odložený na disku
- Adresování segmentu co není v paměti – výpadek segmentu – zavede do paměti – není-li místo – jiný segment odložen na disk
- HW podpora – bity v tabulce segmentů
 - Bit segment je zaveden v paměti (Present / absent)
 - Bit referenced
- Používal např. systém OS/2 pro i80286 – pro výběr segmentu k odložení algoritmus Second Chance



Segmentace se stránkováním

- velké segmenty – nepraktické celé udržovat v paměti
- Myšlenka stránkování segmentů
 - V paměti pouze potřebné stránky
- Implementace – např. každý segment vlastní tabulka stránek



Adresy (!!!)

virtuální adresa -> lineární adresa -> fyzická adresa

virtuální – používá proces

lineární – po segmentaci
pokud není dále stránkování, tak už
představuje i fyzickou adresu

fyzická – adresa do fyzické paměti RAM
(CPU jí vystaví na sběrnici)



Dnešní Intel procesory

- segmentace
 - stránkování
 - segmentace se stránkováním
- využití LDT tabulek často
operační systémy nahrazují
stránkováním
- tabulka LDT (Local Descriptor Table)
 - segmenty lokální pro proces (kód,data,zásobník)
 - tabulka GDT (Global Descriptor Table)
 - pouze jedna, sdílená všemi procesy
 - systémové segmenty, včetně OS

Segmentové registry

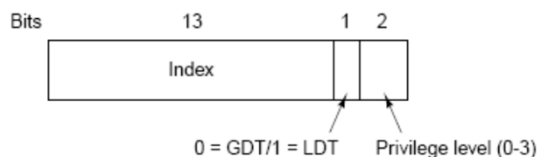
- Pentium a výše má 6 segmentových registrů:
 - CS (Code Segment)
 - DS (Data Segment)
 - SS (Stack Segment)
 - další: ES, FS, GS

- přístup do segmentu – do segmentového registru se zavede selektor segmentu

Selektor segmentu

- Selektor – 16bitový

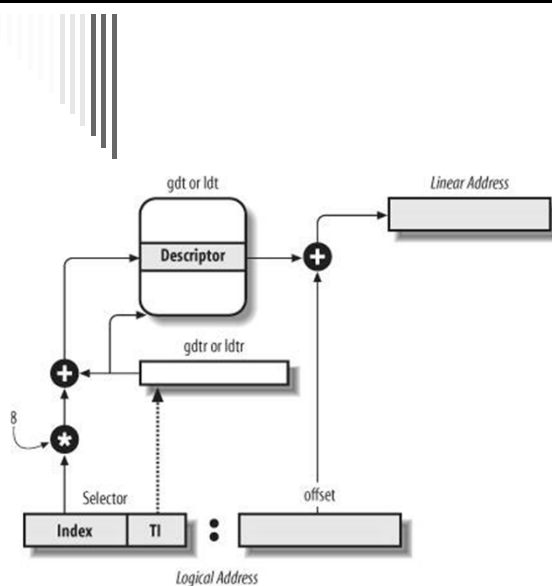
- 13bitů – index to GDT nebo LDT
- 1 bit – 0=GDT, 1=LDT
- 2 bity – úroveň privilegovanosti (0-3)



Selektor segmentu

- 13 bitů – index, tj. max $2^{13} = 8192$ položek
 - selektor 0 – indikace nedostupnosti segmentu

- při zavedení selektoru do segmentového registru CPU také zavede odpovídající popisovač z LDT nebo GDT do vnitřních registrů CPU
 - bit 2 selektoru – pozná, zda LDT nebo GDT
 - popisovač segmentu na adrese (selektor and 0fff8h) + zač. tabulky

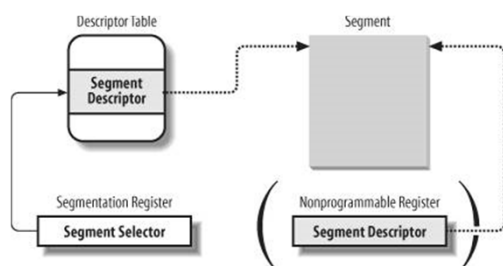


1. z TI pozná, zda použije GDT nebo LDT
2. z indexu selektoru spočte adresu deskriptoru
3. přidá offset k bázi (viz deskriptor), získá lineární adresu

neprogramovatelné registry spojené se segmentovými registry

zdroj: <http://www.makelinux.net/books/ulk3/understandlk-CHP-2-SECT-2>

Rychlý přístup k deskriptoru segmentu



logická adresa:
segment selektor + offset
(16bitů) (32bitů)

zrychlení převodu:
přídavné neprogramovatelné registry (pro každý segm.reg.)

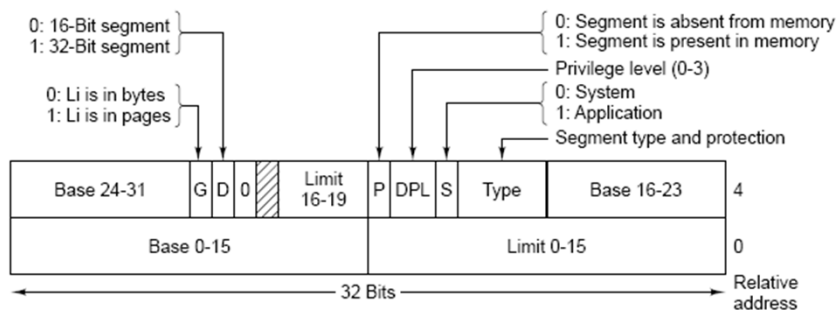
když se nahraje segment selektor do segmentového registru, odpovídající deskriptor se nahraje do odpovídajícího neprogramovatelného registru

zdroj: <http://www.makelinux.net/books/ulk3/understandlk-CHP-2-SECT-2>

Deskriptor segmentu

- 64bitů
 - 32 bitů báze
 - 20 bitů limit
 - v bytech, do 1MB (2^{20})
 - v 4K stránkách (do 2^{32}) ($2^{12} = 4096$)
 - příznaky
 - typ a ochrana segmentu
 - segment přítomen v paměti..

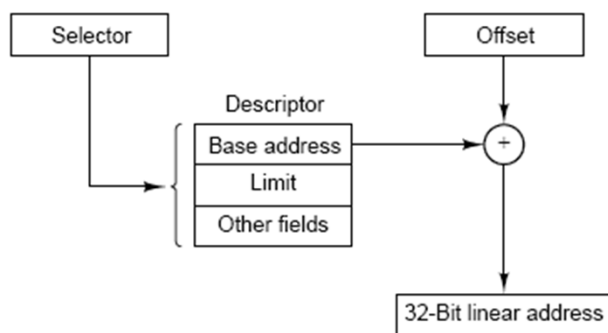
Deskriptor (8 bytů)



Konverze na fyzickou adresu

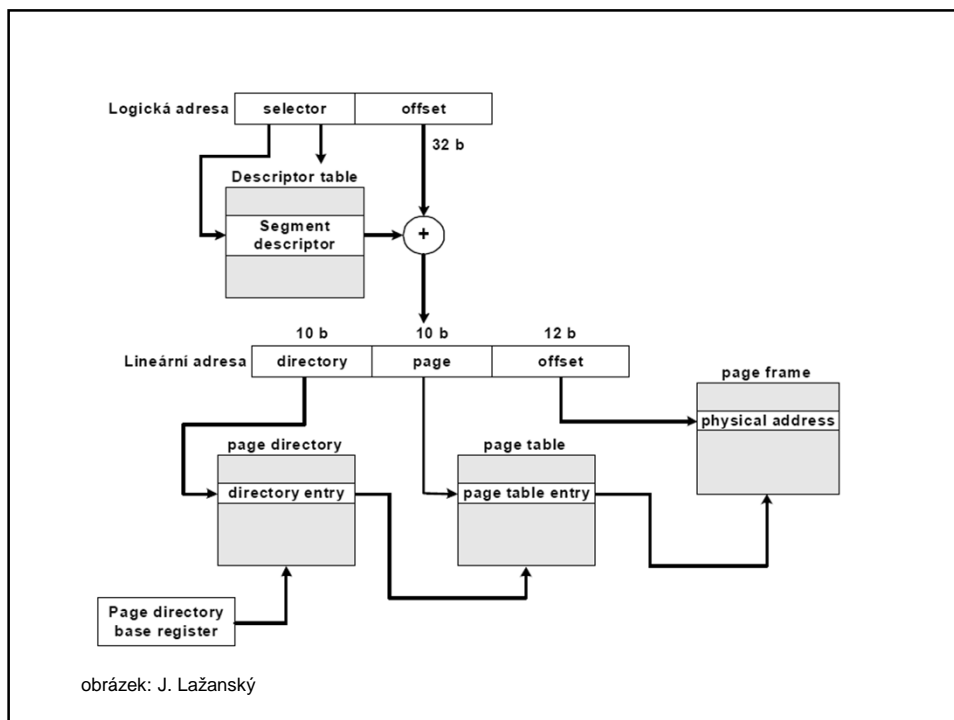
- Proces adresuje paměť pomocí segmentového registru
- CPU použije odpovídající popisovač segmentu v interních registrech
- pokud segment není – výjimka
- kontrola offset > limit – výjimka
- 32bit. lineární adresa = báze + offset
- není-li stránkování – jde již i o fyzickou adresu
- je-li stránkování

Konverze na fyzickou adresu



Konverze na fyzickou adresu

- Pokud je dále stránkování – lineární adresa je VA, mapuje se na fyzickou pomocí tabulek stránek
- dvourovňové mapování



Shrnutí

CPU Intel Pentium a výše umožňuje:

- čistá segmentace
- čisté stránkování (Linux)
 - base = 0
 - limit = MAX
 - pozn. segmentaci nejde vypnout
- stránkované segmenty (Windows)



Procesory x86

- real mode (MS-DOS)
 - po zapnutí napájení, žádná ochrana paměti
 - $FA = \text{Segment} * 16 + \text{Offset}$
 - FA 20bitová, segment, offset .. 16bitové

- protected mode (dnešní OS)
 - nastavíme tabulku deskriptorů (min. 0, kód, data)
 - a nastavíme PE bit v CR0 registru


- virtual 8086 mode
 - pro kompatibilitu



Procesory & přerušení

- reálný mód
 - 1. kilobyte RAM – interrupt vector table (256x4B)

- chráněný mód
 - IDT (Interrupt Descriptor Table)
 - pole 8bytových deskriptorů (indexovaných přerušovacím vektorem)
 - naplněná IDT tabulka 2KB (256x8B)



Protected mode – další typy segmentů

- call gates
 - volání předdefinované funkce přes CALL FAR
 - volání funkce s vyšší privilegii oprávnění
 - spíše se používá SYSENTER/SYSEXIT
- task state segment (TSS)
 - pro přepínání tasků
 - může obsahovat hodnoty x86 registrů
 - Win/Linux naproti tomu používají softwarový task switching



Pamatuj !

- Běžný procesor v PC může běžet v reálném nebo chráněném módu
- Po zapnutí napájení byl puštěn **reálný mód**, ten využíval např. MS-DOS – není zde však žádný mechanismus ochrany
- Dnešní systémy přepínají procesor ihned do **chráněného režimu** (ochrana segmentů uplatněním limitu, ochrana privilegovanosti kontrolou z jakého ringu je možné přistupovat)



Chráněný režim - segmenty

- 1 GDT – může mít až 8192 segmentů
- můžeme mít i více LDT (každá z nich může mít opět 8192 segmentů) a použít je pro ochranu procesů
- některé systémy využívají jen GDT, a místo LDT zajišťují ochranu pomocí stránkování



Chráněný režim – adresy !!!!

VA(selektor,offset) =segmentace==> **LA** =stránkování==> **FA**

VA je virtuální adresa, LA lineární adresa, FA fyzická adresa
selektor určí odkaz do tabulky segmentů => deskriptor (v GDT nebo LDT)

selektor obsahuje mj. bázi a limit ; **LA = báze + offset**

segmentaci nejde vypnout, stránkování ano

zda je zapnuté stránkování - bit v řídicím registru procesoru

je-li vypnuté stránkování, lineární adresa představuje fyzickou adresu

chce-li systém používat jen stránkování,

roztáhne segmenty přes celý adresní prostor (překrývají se)

Linux: využívá stránkování, Windows: obojí