

10.

Memory management II.

ZOS 2012, L. Pešička

Stránkovaná paměť

Swap na disku



P1

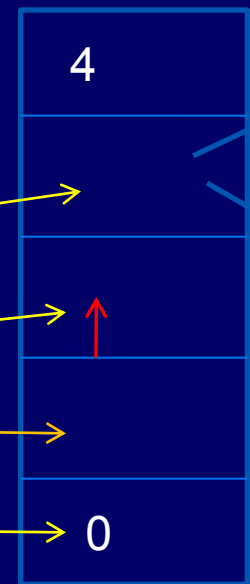
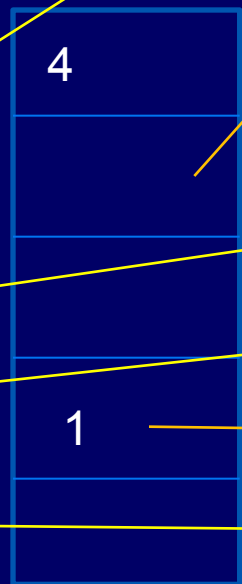
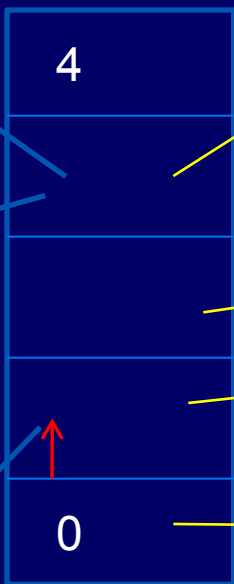
P2

RAM

virtuální adresy

stránka např. 4KB

Offset od začátku stránky



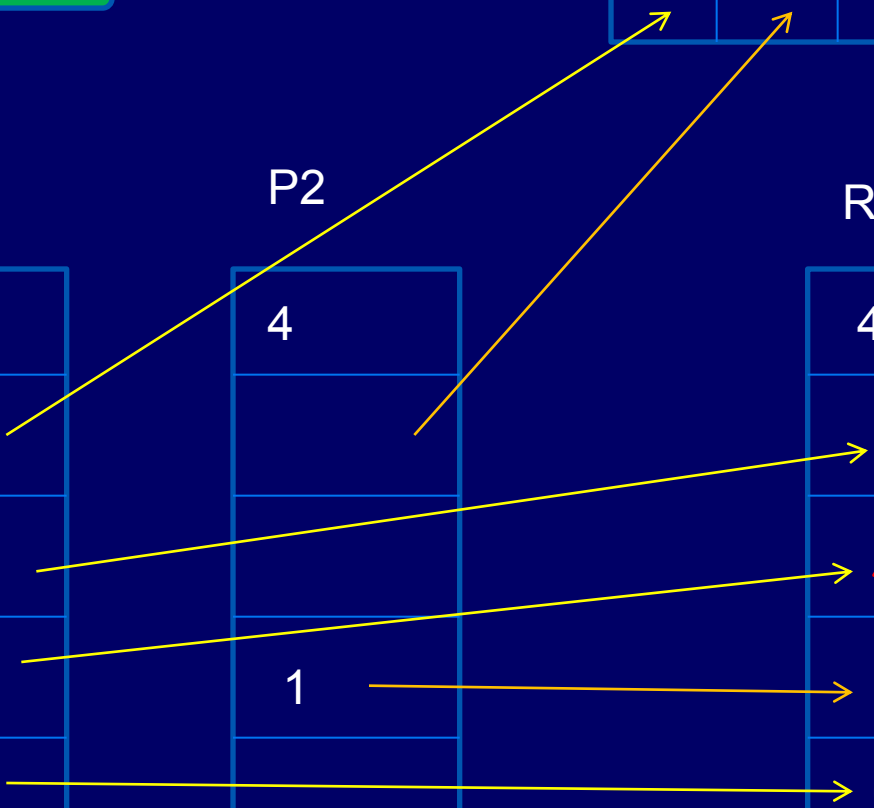
fyzické adresy

rámec stejné velikosti jako stránka

Tabulka stránek Procesu 1

Tabulka stránek Procesu 2

Tabulka rámců



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 kole)
 - 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 vyhazovat **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 (přerušeni 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

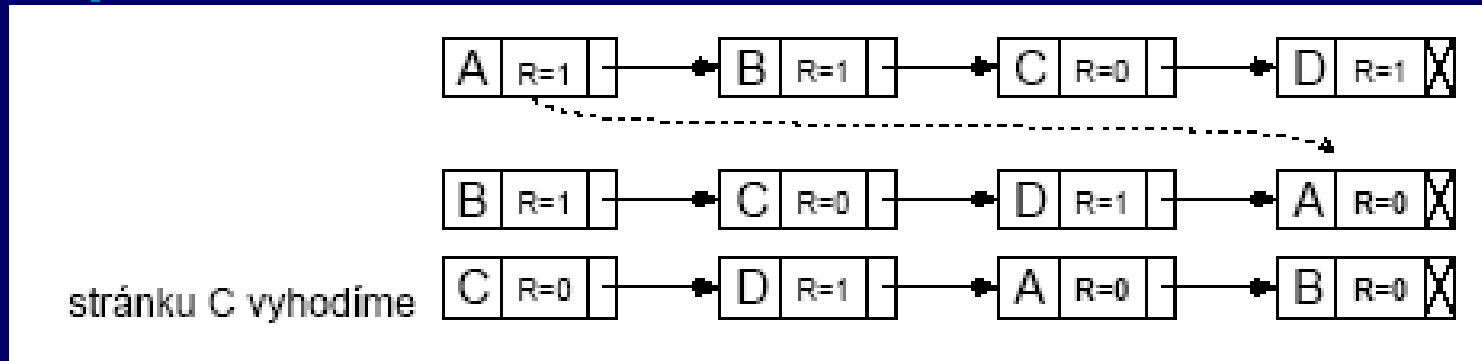


Second Chance

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

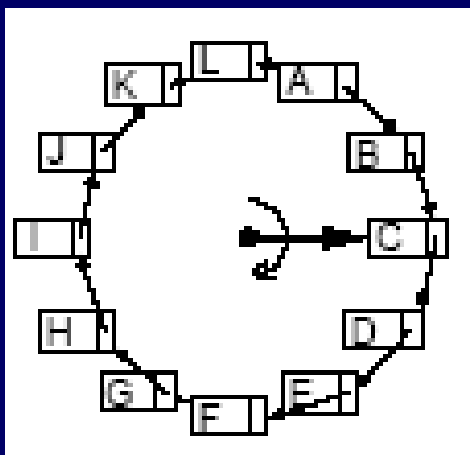


Second Chance

- 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

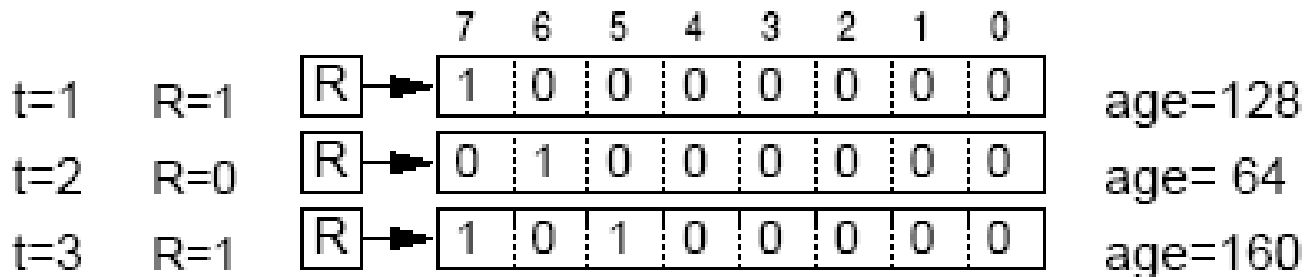
Varianty Clock používají např. BSD UNIX



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 rámeček



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 vyhozením 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

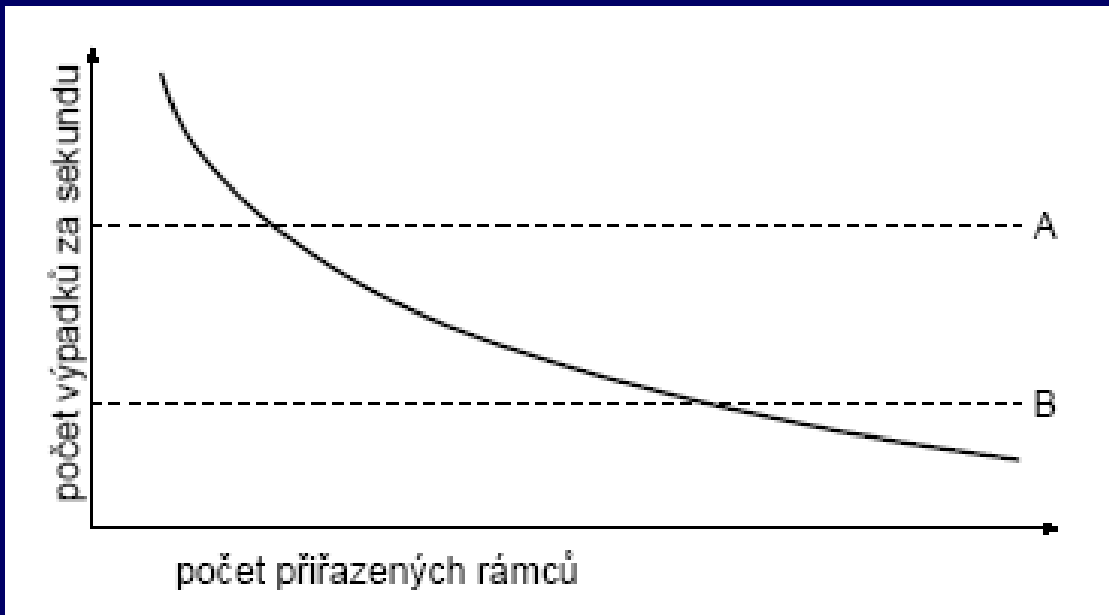
- Globální a lokální alokace
- **Globální** – pro vyhození se uvažují **všechny** rámce
 - Lepší průchodnost systému – častější
 - Na běh procesu má vliv chování ostatních procesů
- **Lokální** – uvažují se pouze **rámce alokované procesem** (tj. obsahující stránky procesu, jehož výpadek stránky se obsluhuje)
 - 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
 - **Proporcionální** – každému proporcionální 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

```
eryx.zcu.cz - PuTTY
Linux Programmer's Manual
MLOCK(2) 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**
- Pokus 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;  
}
```

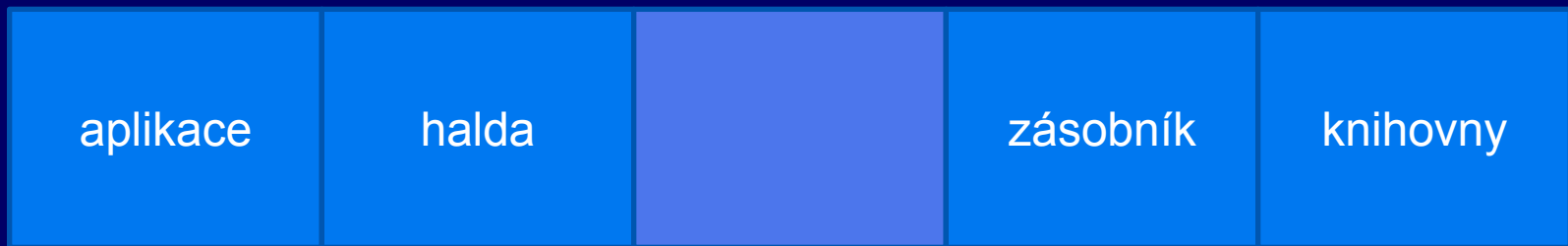


Rozdělení paměti pro proces

Roste halda



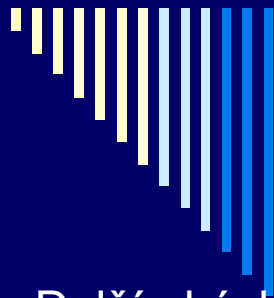
Roste zásobník



Máme-li více vláken => více zásobníků, limit velikosti zásobníku

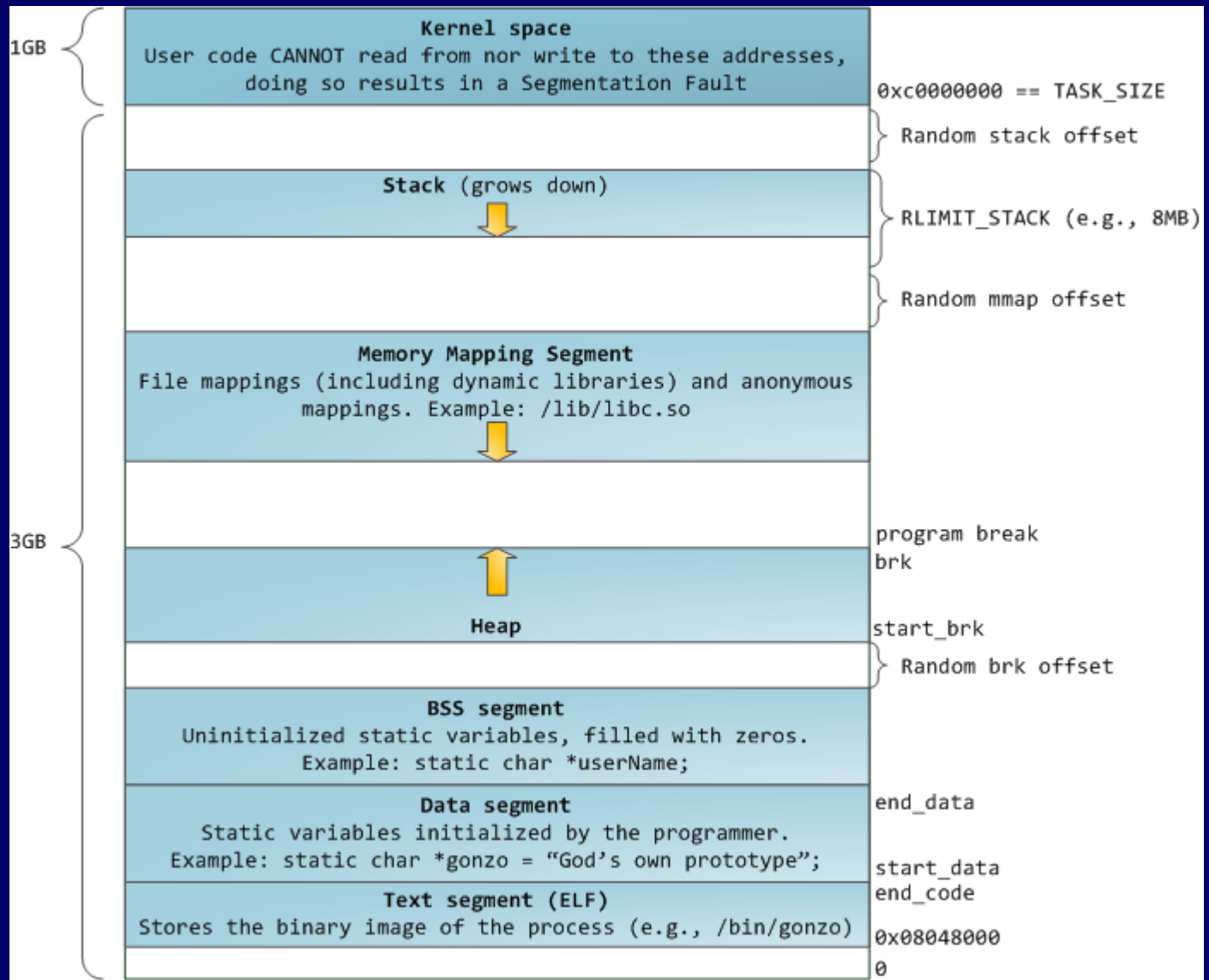


zásobník dalšího vlákna



Další ukázka
rozdělení
paměti

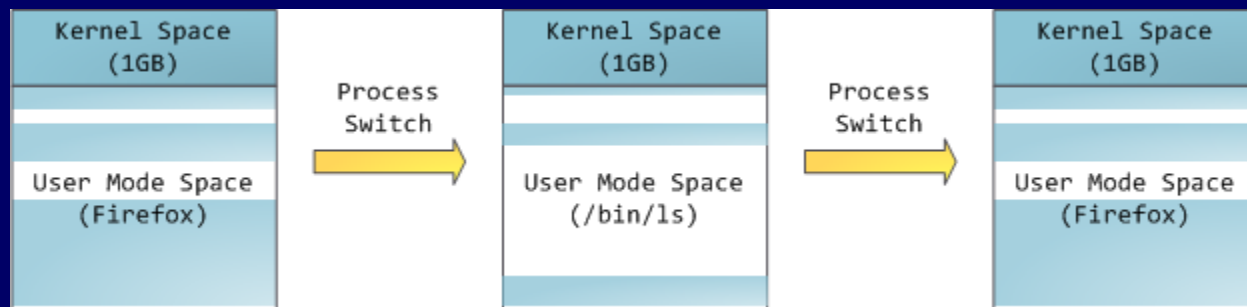
zapamatovat
pojem BSS



Rozdělení paměti

Linux User/Kernel Memory Split	Windows, default memory split	Windows booted with /3GB switch																		
<table border="1"><tr><td>Kernel Space (1GB)</td><td>0xffffffff</td></tr><tr><td>User Mode Space (3GB)</td><td>0xc0000000</td></tr><tr><td></td><td>0</td></tr></table>	Kernel Space (1GB)	0xffffffff	User Mode Space (3GB)	0xc0000000		0	<table border="1"><tr><td>Kernel Space (2GB)</td><td>0xffffffff</td></tr><tr><td>User Mode Space (2GB)</td><td>0x80000000</td></tr><tr><td></td><td>0</td></tr></table>	Kernel Space (2GB)	0xffffffff	User Mode Space (2GB)	0x80000000		0	<table border="1"><tr><td>Kernel Space (1GB)</td><td></td></tr><tr><td>User Mode Space (3GB)</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Only applies to EXEs flagged as large-address aware.</td></tr></table>	Kernel Space (1GB)		User Mode Space (3GB)		Only applies to EXEs flagged as large-address aware.	
Kernel Space (1GB)	0xffffffff																			
User Mode Space (3GB)	0xc0000000																			
	0																			
Kernel Space (2GB)	0xffffffff																			
User Mode Space (2GB)	0x80000000																			
	0																			
Kernel Space (1GB)																				
User Mode Space (3GB)																				
Only applies to EXEs flagged as large-address aware.																				

rozdělení
paměti
Linux,
Windows



přepínání
kontextu
mezi
různými
procesy



Segmentace

- Dosud diskutovaná VP – **jednorozměrná**
 - Proces: adresy $\langle 0, \text{maximální virtuální adresa} \rangle$
 - Často výhodnější – **více samostatných virtuálních adresových prostorů**
 - Př. – máme několik tabulek a chceme, aby jejich velikost mohla růst
 - Paměť nejlépe více nezávislých adresových prostorů - **segmenty**
-



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

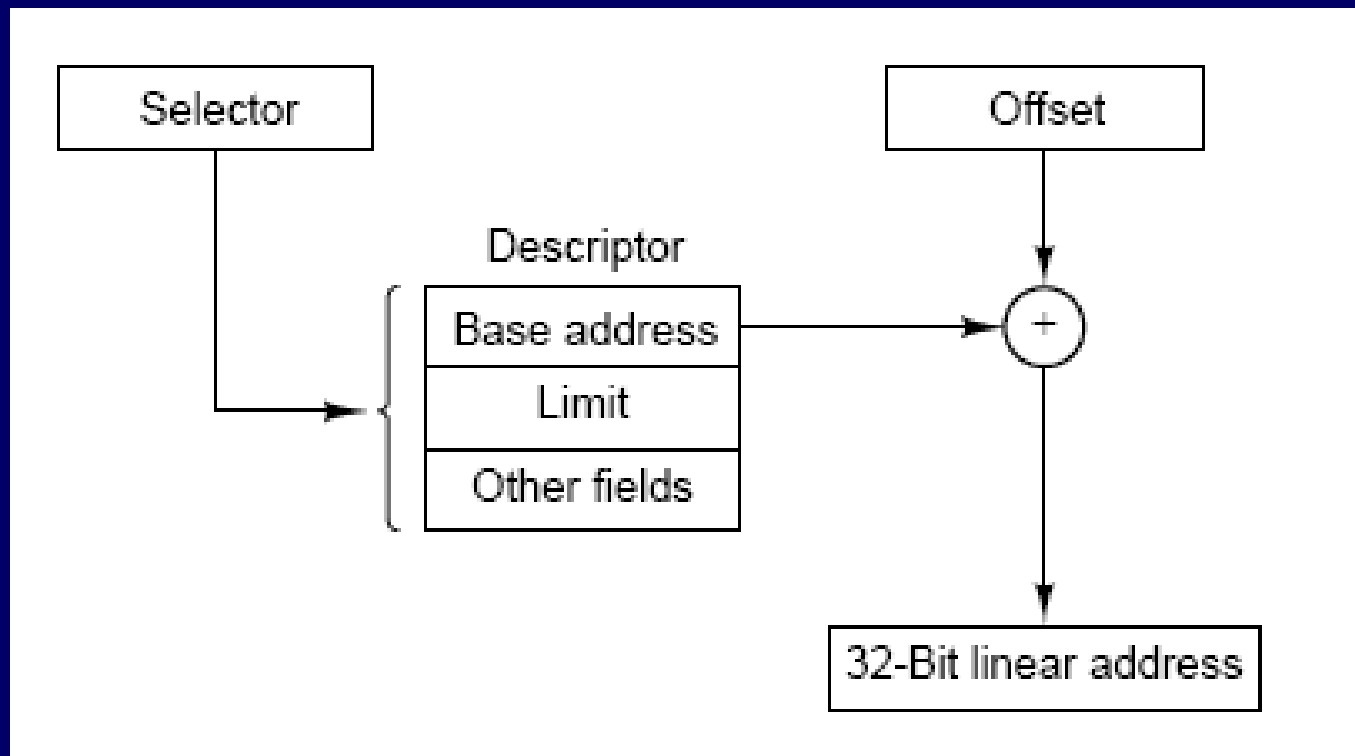
- Lze použít pro implementaci
 - **Přístup k souborům**
 - 1 soubor = 1 segment
 - Není třeba open, read ..
 - **Sdílené knihovny**
 - Programy využívají rozsáhlé knihovny
 - Vložit knihovnu do segmentu a **sdílet** mezi více programy
 - Každý **segment** – **logická entita** – má smysl, aby měl **samostatnou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

 - Stejné 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
-



Ukázka – Intel Pentium

- segmentace
 - stránkování
 - segmentace se stránkováním

 - **tabulka LDT (Local Descriptor Table)**
 - každý proces má svojí
 - segmenty lokální pro program (kód,data,zásobník)
 - **tabulka GDT (Global Descriptor Table)**
 - pouze jedna, sdílená všemi procesy
 - systémové segmenty, včetně OS
-



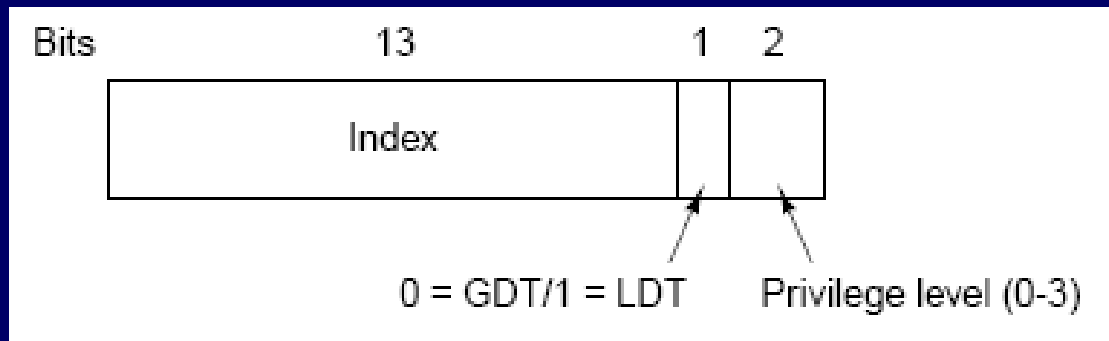
Ukázka – CPU Pentium

- Pentium má 6 segmentových registrů, např.
 - CS (Code Segment)
 - DS (Data Segment)
 - SS (Stack Segment)

 - 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)

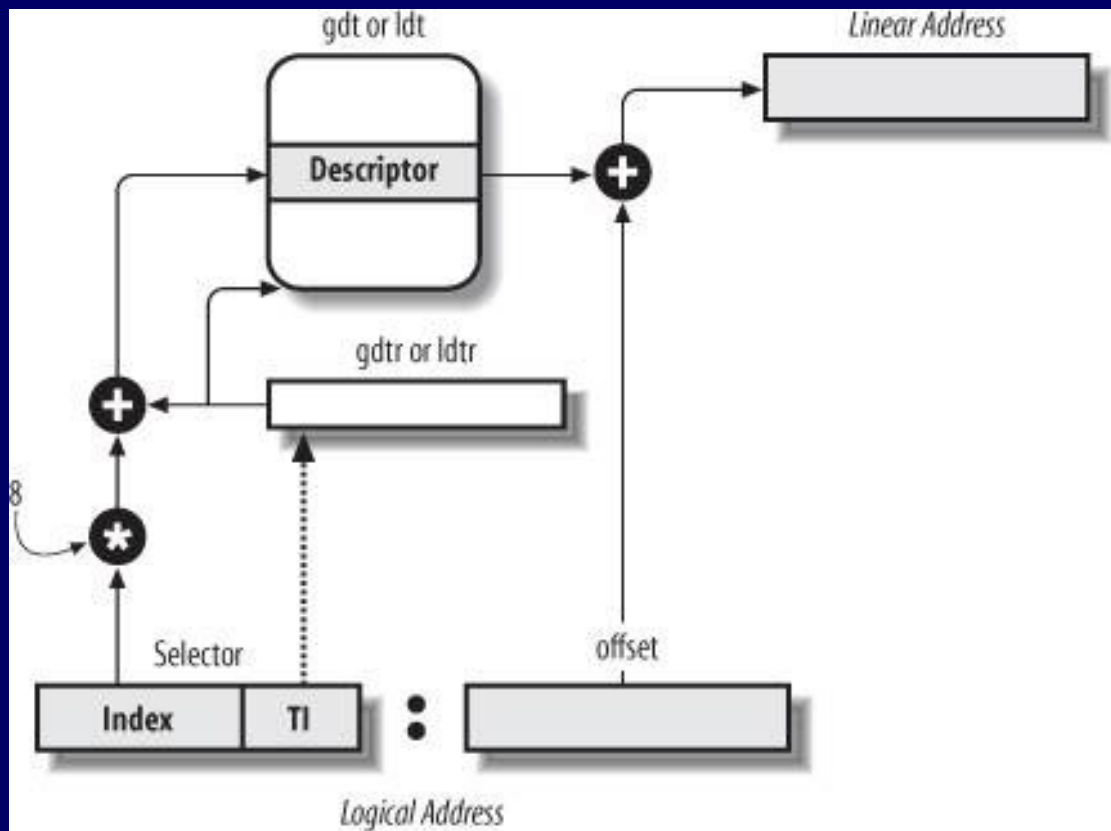
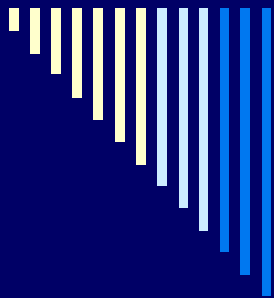




Selektor segmentu

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

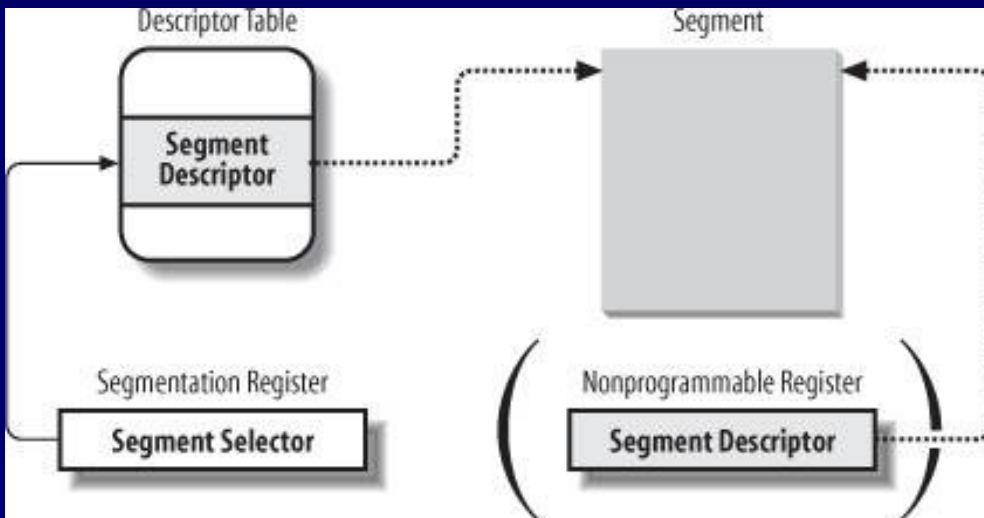
- v době zavedení selektoru do segmentového registru CPU také zavede odpovídající popisovač z LDT nebo GDT do vnitřních registrů CPU
 - bit 2 – LDT nebo GDT
 - popisovač segmentu na adrese (selektor and 0fff8h) + zač. tabulky



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

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



Deskriptor segmentu

- 64bitů

- 32 bitů **báze**

- 20 bitů **limit**

- v bytech, do 1MB (2^{20})

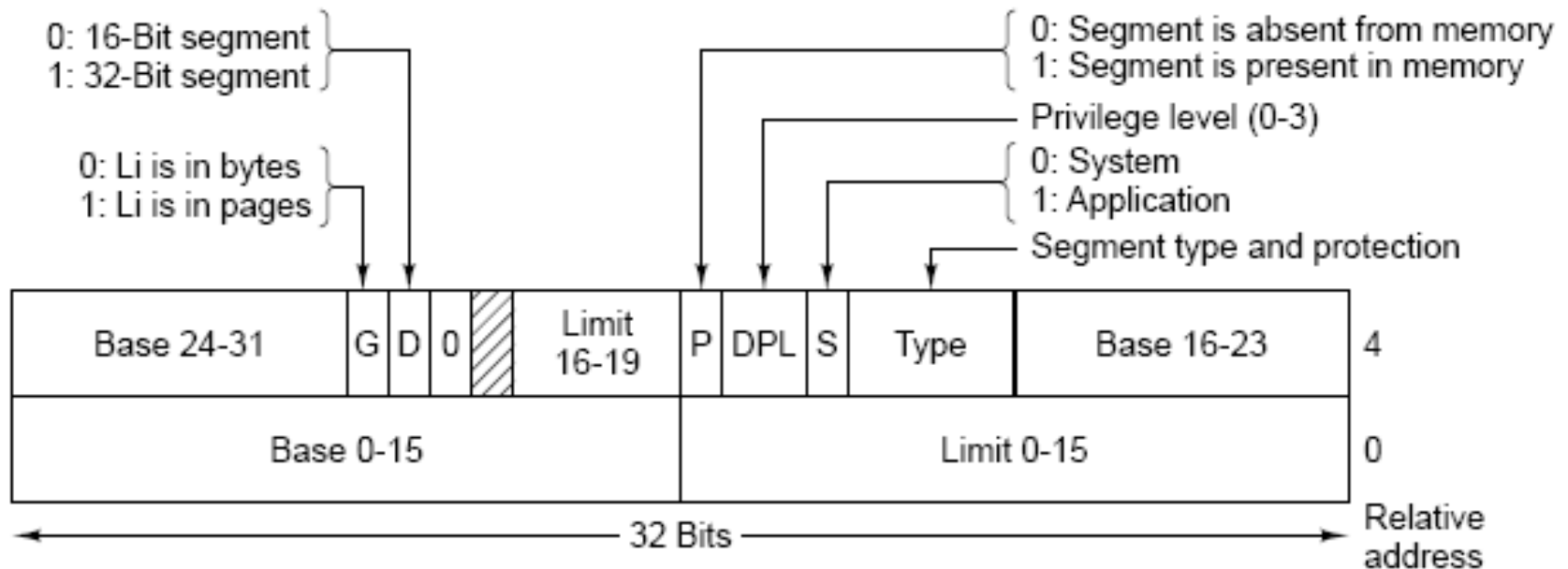
- v 4K stránkách (do 2^{32}) ($2^{12} = 4096$)

- **příznaky**

- typ a ochrana segmentu

- segment přítomen v paměti..

Pentium code segment descriptor

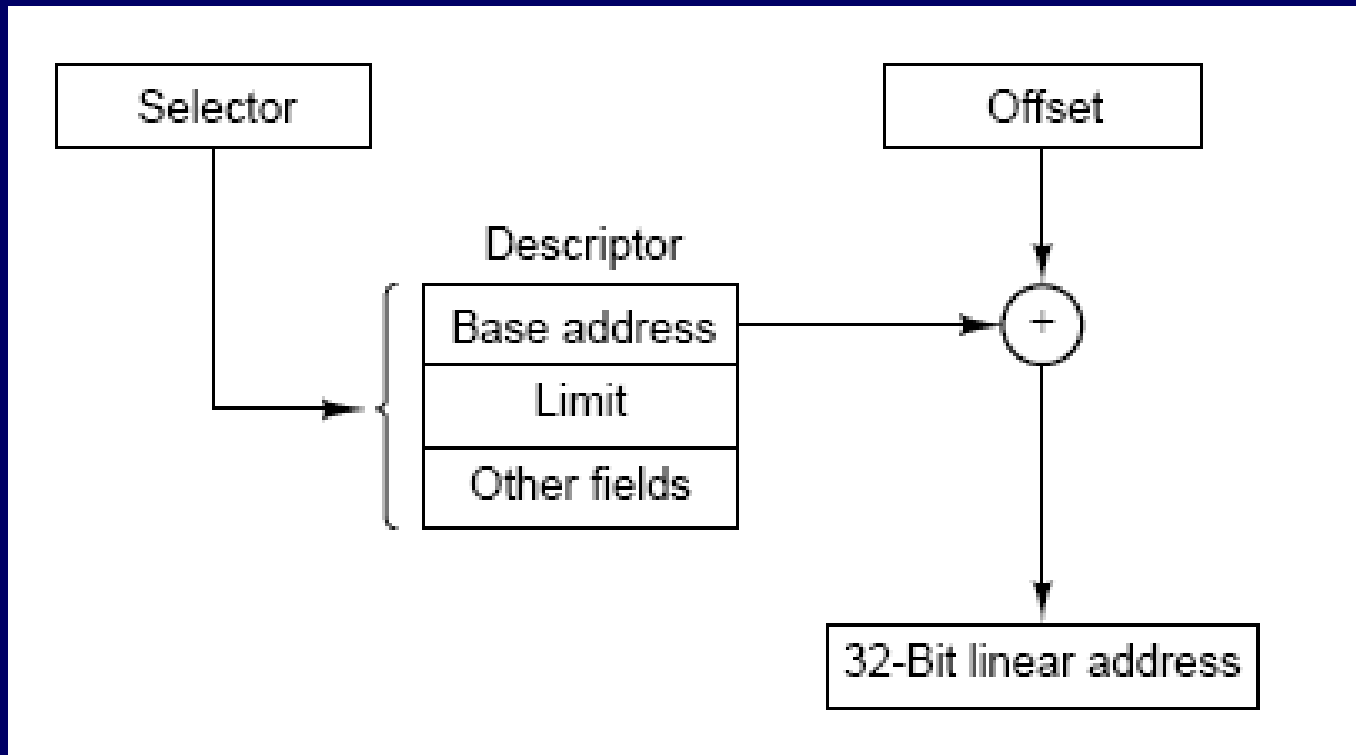




Konverze na fyzickou adresu

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

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 > umožňuje:

- čistá segmentace
 - čisté stránkování (používané OS)
 - base = 0
 - limit = MAX
 - stránkované segmenty
-