



Λειτουργικά Συστήματα

Ενότητα 9: Ιδεατή Μνήμη. Σφάλματα Σελίδας.
Τοποθέτηση & αντικατάσταση σελίδων.
Τοπικότητα Αναφορών. Κατάπτωση.
Παράδοξο Belady. Παραμένων Σύνολο.

Δρ. Μηνάς Δασυγένης
mdasyg@ieee.org

Εργαστήριο Ψηφιακών Συστημάτων και Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών
<http://arch.ict.e.uowm.gr/mdasyg>

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σκοπός Ενότητας

- Η κατανόηση των σφαλμάτων σελίδας.
- Η σημασία της τοπικότητας των αναφορών.
- Οι λειτουργίες του διαχειριστή μνήμης.
- Η κατανόηση του προβλήματος της κατάπτωσης μνήμης.



Η χρήση της δευτερεύουσας μνήμης βελτιώνει το βαθμό χρήσης της κύριας μνήμης

- Τα τμήματα μιας διεργασίας δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται όλα ταυτόχρονα στην κύρια μνήμη. Η παρουσία τους ή όχι εξαρτάται από τις συνθήκες εκτέλεσης της διεργασίας τη συγκεκριμένη στιγμή.
- Τα τμήματα που δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν βρίσκονται στη δευτερεύουσα μνήμη (σκληρός δίσκος) και χρειάζεται να μεταφερθούν στη μνήμη όταν απαιτηθούν.
- **Βελτιώνεται ο βαθμός χρήσης** της κύριας μνήμης.
- Δε βρίσκονται στη μνήμη τμήματα που χρησιμοποιούνται σπάνια.
- Μπορούν να εξυπηρετηθούν περισσότερες διεργασίες.
- Η διαχείριση πρέπει να γίνει με προσοχή για να αποφευχθεί σημαντική μείωση της απόδοσης.



Σκοπός της διαχείρισης ιδεατής μνήμης

- Η κατανόηση των βασικών τεχνικών της εικονικής μνήμης.
- **Μέθοδοι προσκόμισης** των ζητούμενων σελίδων.
- **Μέθοδοι αντικατάστασης** σελίδων.
- Εκχώρηση πλαισίων στις διεργασίες.
- Η αναφορά σε περιορισμούς και στόχους.
- **Τοπικότητα** της αναφοράς.
- **Πρόβλεψη** των σελίδων που θα ζητηθούν μελλοντικά.
- Ο υπολογισμός της επίδρασης που έχει ο βαθμός απόδοσης της ιδεατής μνήμης στην συνολική απόδοση του συστήματος.



Υπάρχουν περιορισμοί στα συστήματα χωρίς ιδεατή μνήμη

- Η μνήμη δε χρησιμοποιείται πλήρως.
- Χαμηλός βαθμός πολυπρογραμματισμού.
- Δεν υπάρχει αρκετή φυσική μνήμη για την εξυπηρέτηση όλων των διεργασιών.
- Μέγεθος προγραμμάτων.
- Το μέγεθος των προγραμμάτων (process images) περιορίζεται από τη διαθέσιμη φυσική μνήμη.
- Επίπεδο αφαιρετικότητας.
- Ο προγραμματιστής πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις λεπτομέρειες του υλικού, π.χ. το μέγεθος της φυσικής μνήμης.



Λογισμικό του Λ.Σ. για διαχείριση μνήμης

Η σχεδίαση του συστήματος διαχείρισης μνήμης του Λ.Σ. βασίζεται σε τρεις θεμελιώδεις περιοχές επιλογών:

1. Χρήση (ή όχι) τεχνικών ιδεατής μνήμης.
2. Χρήση σελιδοποίησης ή κατάτμησης ή συνδυασμού και των δύο.
3. Χρήση αλγορίθμων για θέματα διαχείρισης μνήμης.

Οι επιλογές για τα 2 πρώτα εξαρτώνται από το υλικό.

Η σελιδοποίηση αφορά τα περισσότερα θέματα διαχείρισης μνήμης.



Βασικά θέματα σχεδίασης του λογισμικού ΔΜ του Λ.Σ.

- Περιορισμός του ρυθμού εμφάνισης των σφαλμάτων σελίδας (επιπλέον φόρτος εργασίας).
- Δρομολόγηση διεργασιών και εναλλαγή διεργασιών.
- Δεν υπάρχουν βέλτιστες πολιτικές διαχείρισης.
- Η επίδοση κάθε μεθόδου εξαρτάται από το μέγεθος της κύριας μνήμης, την ταχύτητα κύριας και δευτερεύουσας μνήμης, το μέγεθος και το πλήθος των διεργασιών που ανταγωνίζονται για πόρους και **το είδος των προγραμμάτων που εκτελούνται.**
- Στα μεγάλα λειτουργικά συστήματα υπάρχουν εργαλεία καταγραφής και ελέγχου.



Στα μεγάλα λειτουργικά συστήματα υπάρχουν εργαλεία καταγραφής και ελέγχου (1/2)

```
bigb5# vmstat 1
procs      memory      page          disks      faults      cpu
 r  b  w      avm    fre flt re  pi  po    fr sr ad0 da0    in  sy  cs us sy id
1  0  4    5223M  178M 281  2  0  0    314 130  0  0  446 382 591 12 18 70
0  0  4    5223M  178M 1720 78  0  0    1367 0  8  0  1322 17702 14576 2  3 95
0  0  4    5223M  177M 318  0  0  0     201 0 11  0  2060 22152 17563 3  5 92
```

avm active virtual pages
fre size of the free list

r in run queue
b blocked for resources (i/o, paging, etc.)
w runnable or short sleeper (< 20 secs) but swapped

faults Trap/interrupt rate averages per second over last 5 seconds.

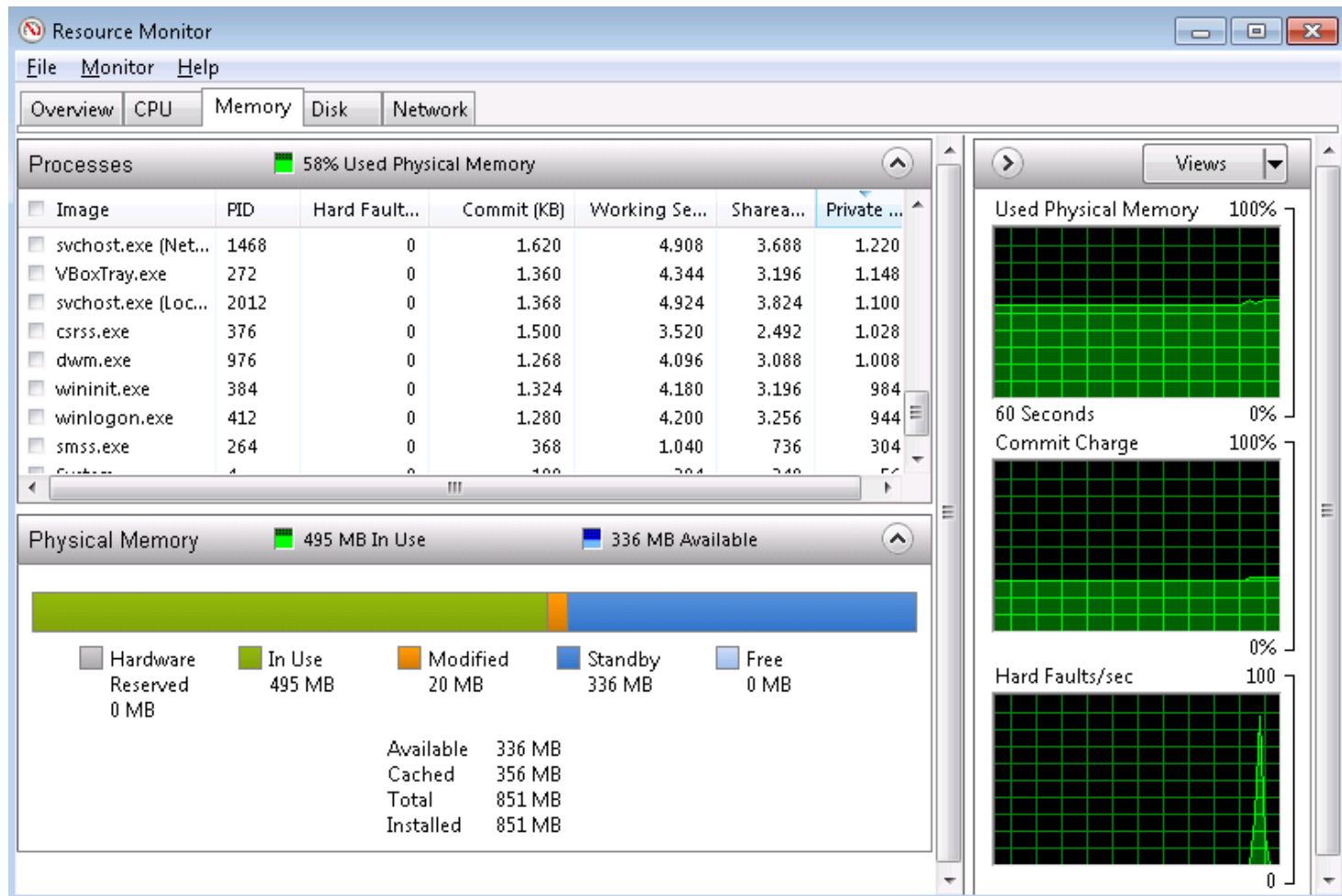
in device interrupts per interval (including clock interrupts)
sy system calls per interval
cs cpu context switch rate (switches/interval)

us user time
sy system time
id cpu idle

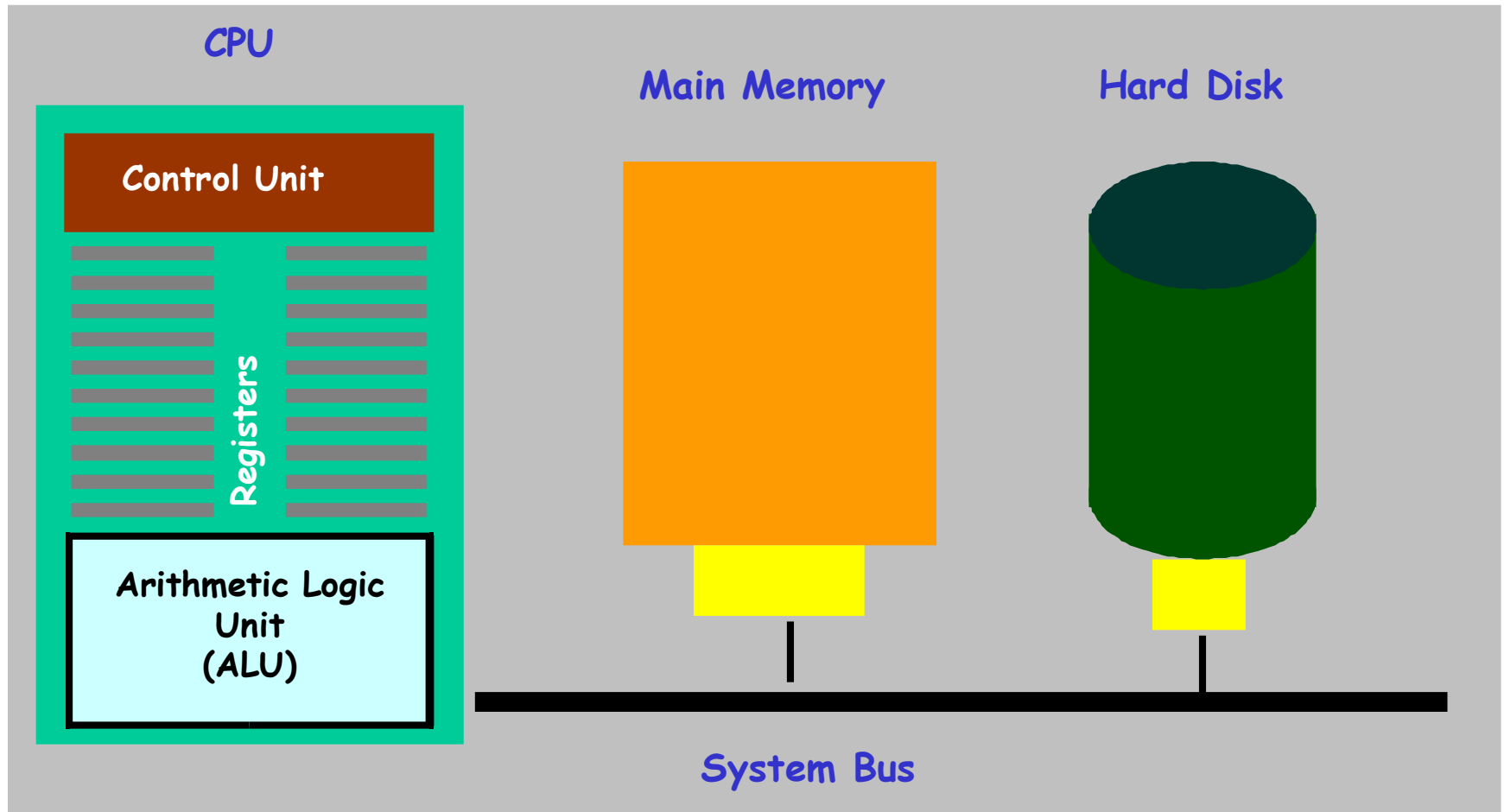
flt total number of page faults
re page reclaims **Page from free list with usefull data back to process**
pi pages paged in **Disk to RAM**
po pages paged out **RAM to Disk**
fr pages freed per second
sr pages scanned by clock algorithm, per-second



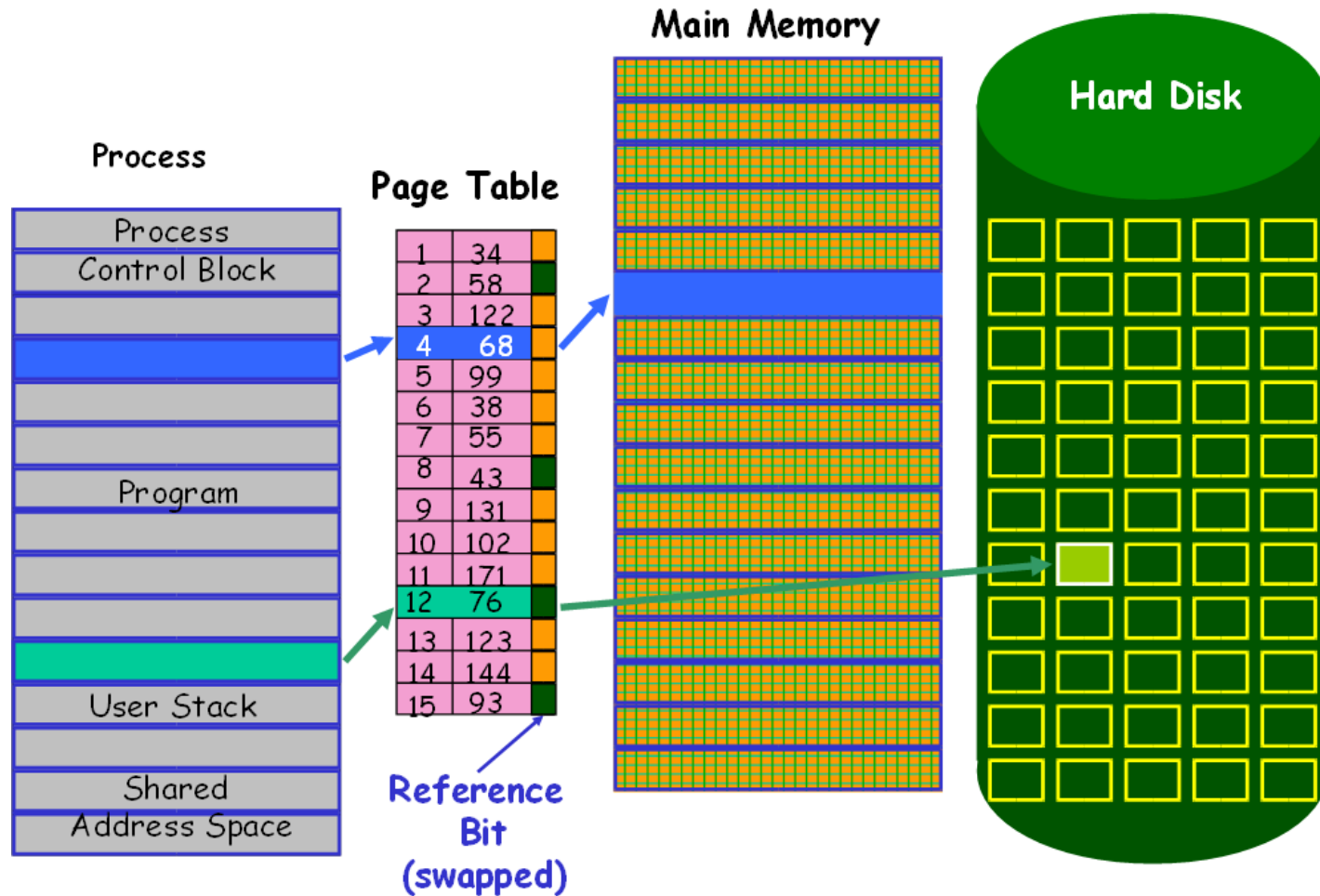
Στα μεγάλα λειτουργικά συστήματα υπάρχουν εργαλεία καταγραφής και ελέγχου (2/2)



Διάγραμμα συστήματος

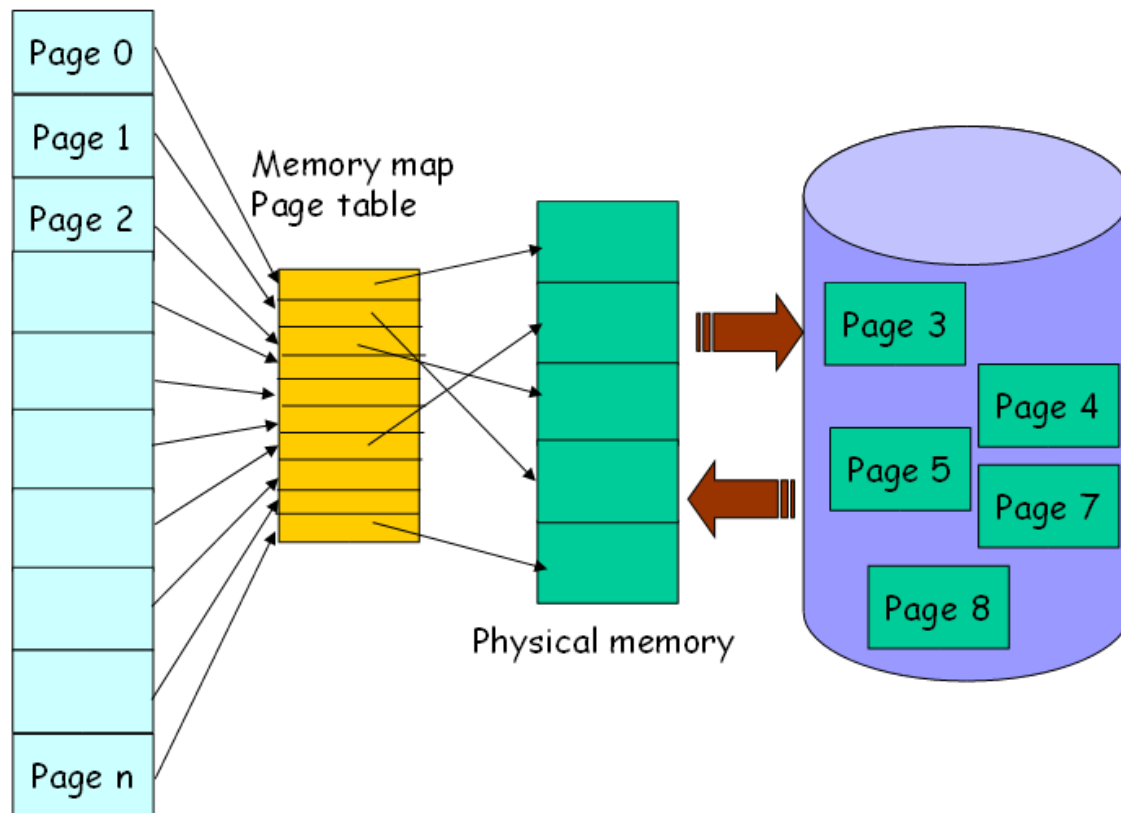


Εικονική μνήμη (1/2)



Εικονική Μνήμη (2/2)

Virtual memory

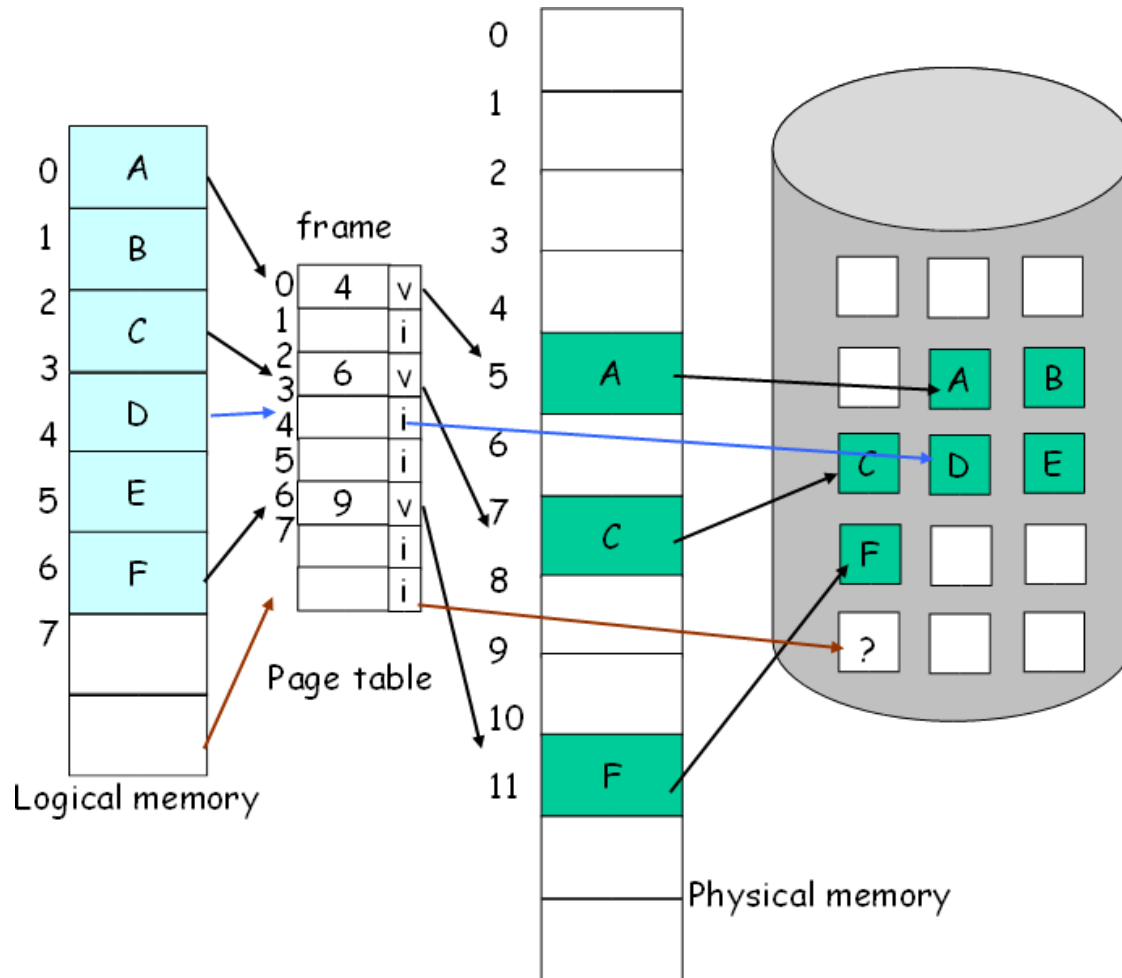


Βήματα που ακολουθούνται:

- Αναφορά σελίδας
- Έλεγχος χάρτη μνήμης
 - Αν υπάρχει αντίστοιχο σημείο εισόδου στον πίνακα σελίδων για πλαίσιο φυσικής μνήμης τότε γίνεται αναφορά σ' αυτό
 - διαφορετικά, η σελίδα δεν υπάρχει στη φυσική μνήμη και πρέπει να μεταφερθεί από τον δίσκο
- Αν η φυσική μνήμη είναι πλήρης,
 - Εύρεση σελίδας προς αντικατάσταση
 - Εναλλαγή στον δίσκο



Διαχείριση πίνακα σελίδων εικονικής μνήμης



- Αν το bit πλαισίου είναι έγκυρο (v - valid), το πλαίσιο βρίσκεται στη μνήμη
- Διαφορετικά, συμβαίνει σφάλμα σελίδας.
 - Η αντίστοιχη σελίδα φορτώνεται από τον δίσκο
 - Εκχωρείται μια νέα περιοχή μνήμης.



Στην κύρια μνήμη διατηρούνται ορισμένα στοιχεία από κάθε διεργασία

- Στην πραγματικότητα **δεν είναι απαραίτητο να διατηρείται η πλήρης εικόνα** μιας διεργασίας συνεχώς στην κύρια μνήμη. Διατηρούνται:
 - Ο πρόσφατα χρησιμοποιούμενος κώδικας.
 - Οι πρόσφατα χρησιμοποιούμενες δομές δεδομένων.
 - Δεδομένα του συστήματος (heap, stack).
 - Ορισμένα τμήματα της εικόνας της διεργασίας μπορούν να βρίσκονται στην δευτερεύουσα μνήμη.
 - Πρέπει να γίνει εναλλαγή όταν ζητηθεί ένα τμήμα που δε βρίσκεται στην κύρια μνήμη.



Χειρισμός διακοπής «Page fault»

- Όταν μια διεύθυνση που απαιτείται δεν βρίσκεται στην κεντρική μνήμη δημιουργείται μια διακοπή (interrupt).
- Το Λ.Σ. θέτει την διεργασία σε κατάσταση αναστολής (blocking).
- Το τμήμα της διεργασίας που περιέχει τη λογική διεύθυνση μεταφέρεται στην κεντρική μνήμη.
- Το Λ.Σ. θέτει μια αίτηση ανάγνωσης δίσκου (disk I/O).
- Μια άλλη διεργασία δρομολογείται και εκτελείται ενώ πραγματοποιείται η διεργασία disk I/O.
- Μια διακοπή προκαλείται όταν η διαδικασία disk I/O ολοκληρωθεί και αναγκάζει το Λ.Σ. να μεταφέρει τη διεργασία σε κατάσταση Ready.



Απαιτήσεις hardware για την υποστήριξη της ιδεατής μνήμης

Απαιτήσεις υλικού:

- Το Hardware πρέπει να υποστηρίζει σελιδοποίηση και κατάτμηση και να διαθέτει μονάδα διαχείρισης μνήμης (MMU).
- Ελάχιστες απαιτήσεις:
 - ✓ Υποστήριξη μετατροπής διευθύνσεων (σελιδοποίηση & κατάτμηση).
 - ✓ Οι πίνακες σελίδων πρέπει να περιέχουν επιπρόσθετες πληροφορίες (present bit, modify bit κλπ).



Απαιτήσεις software (=Λ.Σ.) για την υποστήριξη της ιδεατής μνήμης

Το Λ.Σ. πρέπει να:

- Έχει την ικανότητα της διαχείρισης των μετακινήσεων των σελίδων και / ή των τμημάτων μεταξύ δευτερεύουσας (**disk**) και κεντρικής μνήμης (**ram**).
- Υποστηρίζει **σελιδοποίηση & κατάτμηση**.
- Μπορεί να **εναλλάσσει (=swap)** (μέσω φόρτωσης και απομάκρυνσης) τμήματα διεργασιών μεταξύ κύριας μνήμης και σκληρού δίσκου.
- Διαθέτει **αλγόριθμο προσκόμισης** (fetch algorithm).
- Ο αλγόριθμος προσκόμισης αποφασίζει ποια τμήματα διεργασιών θα πρέπει να μεταφερθούν στην κύρια μνήμη.
- Η απαίτηση σελιδοποίησης (demand paging) είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη.
- Διαθέτει **αλγόριθμο αντικατάστασης** που θα αποφασίζει ποια τμήματα διεργασιών θα εναλλαγούν όταν μια ποσότητα μνήμης πρέπει να απελευθερωθεί.



Δομές Δεδομένων (1/2)

- Σελίδες ή τμήματα.
- Πλαίσια σελίδων.
- Πίνακες σελίδων.
- Λίστα των ελεύθερων πλαισίων σελίδων.
- Περιέχει όλα τα πλαίσια που δεν χρησιμοποιούνται.
- Πίνακες αλγορίθμου αντικατάστασης.



Δομές Δεδομένων (2/2)

- Περιέχουν δεδομένα που αφορούν σελίδες και πλαίσια.
- Χρησιμοποιούνται για να αποφασιστεί ποιες σελίδες θα αντικατασταθούν.
- Περιοχή εναλλαγής.
- Περιοχή της δευτερεύουσας μνήμης για σελίδες που δε βρίσκονται στην κύρια μνήμη.
- Μια πλήρης εικόνα κάθε διεργασίας διατηρείται στην περιοχή αυτή.



Πλεονεκτήματα και προβλήματα ιδεατής μνήμης στα ΛΣ

Πλεονεκτήματα:

- Μεγάλος εικονικός χώρος διευθύνσεων.
 - Οι διεργασίες **μπορούν να είναι μεγαλύτερες** από τη φυσική μνήμη.
- Καλύτερη χρήση της μνήμης:
 - **Μόνον τα τμήματα της διεργασίας που χρησιμοποιούνται** πραγματικά διατηρούνται στην κύρια μνήμη.
 - **Λιγότερο I/O για φόρτωση** ή εναλλαγή της διεργασίας.
- Μεταφέρονται μόνον τα τμήματα της διεργασίας που χρειάζονται.

Προβλήματα:

- Σύνθετη (**πολύπλοκη**) υλοποίηση:
 - Επιπλέον hardware, συστατικά και δομές δεδομένων.
- Απώλεια στην **απόδοση**:
 - Χρονική επιβάρυνση εξαιτίας της διαχείρισης.
 - Καθυστέρηση κατά τη μεταφορά σελίδων.



Σφάλματα σελίδας (Page faults)

- Όταν μια αναφορά στη μνήμη οδηγεί σε μια σελίδα που δεν βρίσκεται στην κύρια μνήμη δημιουργείται σφάλμα σελίδας (interrupt/trap).
 - Μπορεί να προκληθεί από κάθε είδους πρόσβαση στη μνήμη (instructions, user data, system data).
 - Ο πίνακας σελίδων πρέπει να διατηρεί επιπρόσθετες πληροφορίες για να βρεθεί αν η σελίδα βρίσκεται στην κύρια μνήμη.
 - present bit.
 - valid/invalid bit.
- Η σελίδα χρειάζεται να φορτωθεί, ώστε να συνεχιστεί η εκτέλεση της διεργασίας.



Διαχείριση σφαλμάτων σελίδας

- Δημιουργείται ένα σφάλμα σελίδας, αν το present bit δεν έχει τιμή.
- Εκχωρείται ένα πλαίσιο σελίδας (RAM) για να τοποθετηθεί η σελίδα από το δίσκο.
 - Αν δεν υπάρχουν ελεύθερα πλαίσια πρέπει να κληθεί ο αλγόριθμος αντικατάστασης σελίδων.
- Μια σελίδα διαβάζεται και καταλαμβάνει το πλαίσιο σελίδας.
- Ο πίνακας σελίδων ενημερώνεται.
- Η εντολή επανεκκινεί.



Χρόνοι σφαλμάτων σελίδας

Βήμα	Ενέργεια	Χρόνος
Διαχείριση διακοπής	Μερικές εκατοντάδες με χιλιάδες εντολές	$2000 * 10\text{ns} = 20\mu\text{s}$
Κατανομή πλαισίου	Μερικές εκατοντάδες με χιλιάδες εντολές	$2000 * 10\text{ns} = 20\mu\text{s}$
Αντικατάσταση σελίδας	Μερικές εντολές, εγγραφή μιας σελίδας στο δίσκο	20ms
Φόρτωση σελίδας	Μερικές εντολές, εγγραφή μιας σελίδας στο δίσκο	20ms
Ανανέωση σελίδας πίνακα	Μερικές εκατοντάδες εντολές	$500 * 10\text{ns} = 5\mu\text{s}$
Επανεκκίνηση εντολής	Λίγες εντολές	$30 * 10\text{ns} = 0.3\mu\text{s}$
Συνολικός χρόνος	Κυριαρχούν λειτουργίες E/E	40ms



Ο ρυθμός σφαλμάτων σελίδας πρέπει να είναι μικρός

- Μια εντολή που κανονικά χρειάζεται μερικές δεκάδες nanoseconds θα χρειαστεί δεκάδες milliseconds αν συμβεί σφάλμα σελίδας.
- Ο συντελεστής είναι 100 . 000 μεγαλύτερος.
- Η καθυστέρηση είναι υπερβολική (ίσως και αφόρητη).
- Η συχνότητα εμφάνισης των σφαλμάτων σελίδας είναι πολύ σημαντική για την απόδοση του συστήματος.

Ο ρυθμός σφαλμάτων σελίδας πρέπει να παραμένει χαμηλός.



Σφάλματα σελίδας και EAT

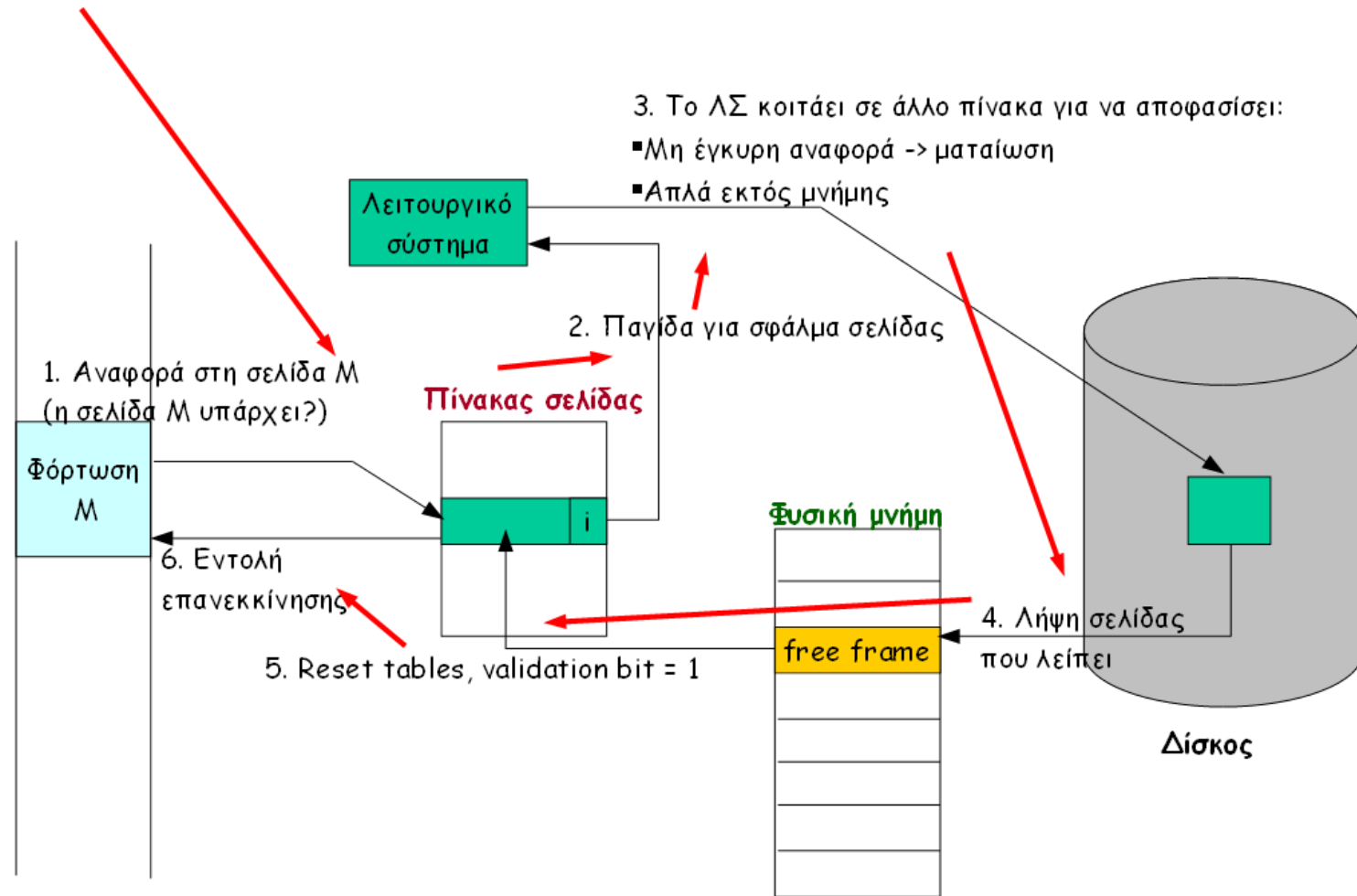
Πραγματικός χρόνος προσπέλασης
(effective access time – EAT).

p = ρυθμός σφαλμάτων σελίδας (page fault rate).

- $EAT = p * \text{προσπέλαση με σφάλμα σελίδας} + (1 - p) * \text{προσπέλαση χωρίς σφάλμα σελίδας}.$

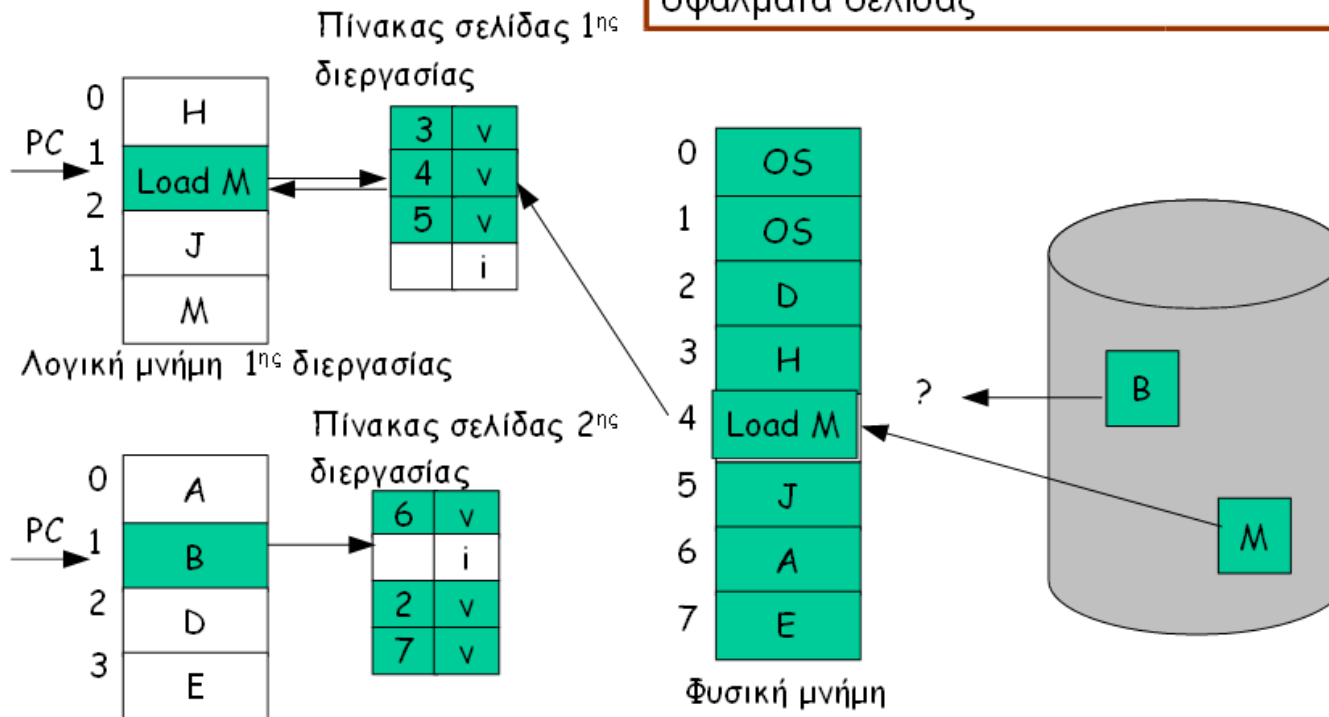


Χειρισμός Page-Fault

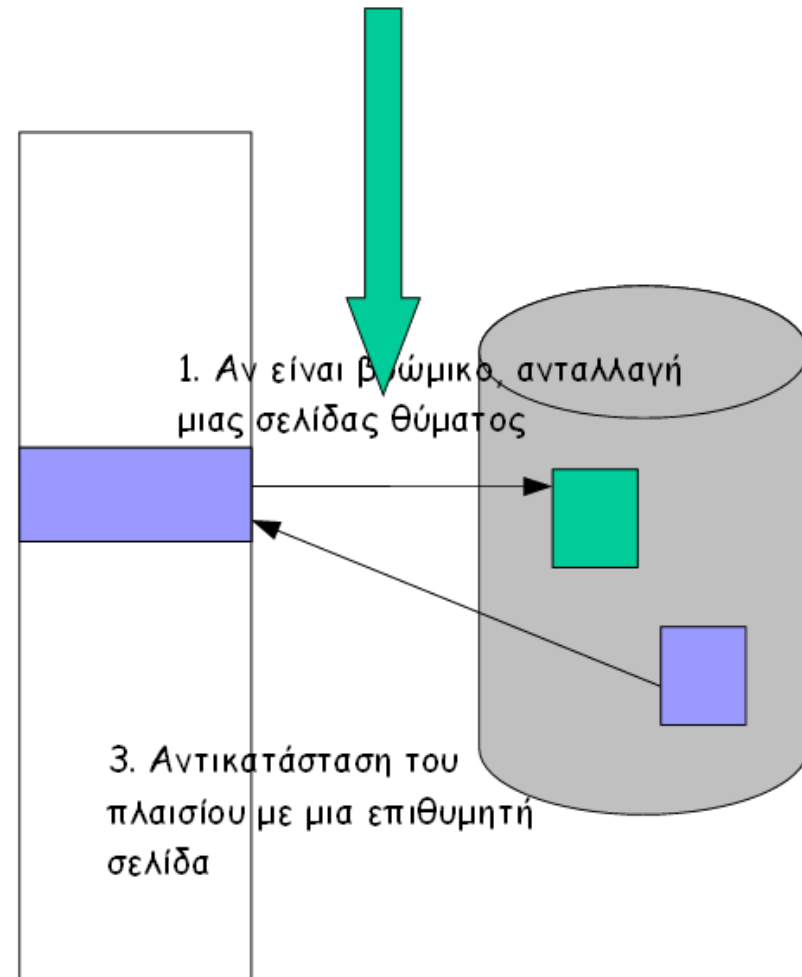
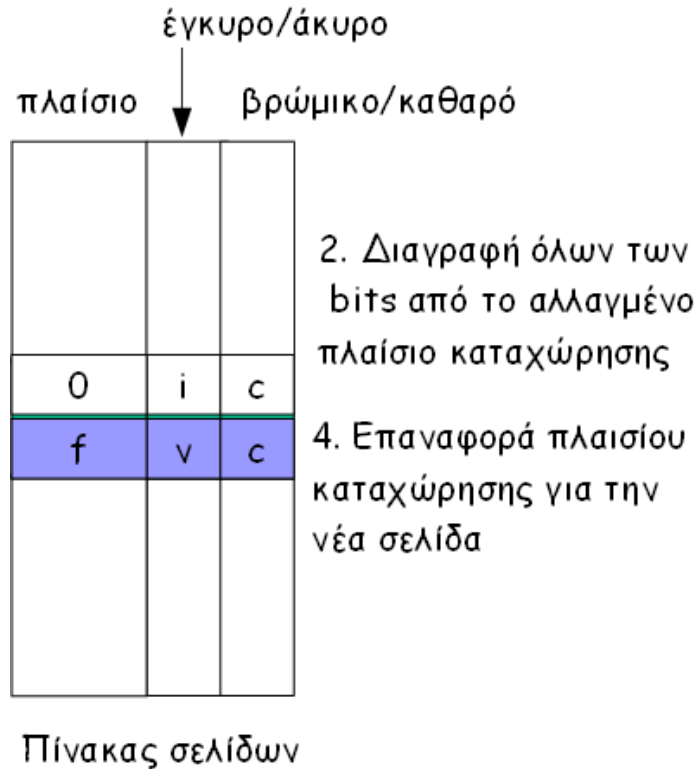


Ποιο πλαίσιο μνήμης θα μετακινηθεί στο Swap;

- Δεν υπάρχουν ελεύθερα πλαίσια
- Εύρεση μιας σελίδας προς αντικατάσταση
- Αν φύγει η M θα προκληθεί σφάλμα σελίδας
- Αν φύγει η H πιθανόν να εξυπηρετεί
- Ο αλγόριθμος αντικατάστασης πρέπει να ελαχιστοποιεί τα σφάλματα σελίδας



Μηχανισμός αντικατάστασης σελίδας



Υπάρχουν 2 ειδών τοπικότητες της αναφοράς

Τοπικότητα: η επόμενη προσπέλαση στη μνήμη θα γίνει σε περιοχή της μνήμης γειτονική με την τρέχουσα αναφορά μνήμης.

- **Χωρική:**

- Διαδοχικές προσπελάσεις στη μνήμη θα γίνονται σε γειτονικές περιοχές.

- **Χρονική:**

- Επαναληπτική προσπέλαση στις ίδιες θέσεις μνήμης.

Η τοπικότητα της αναφοράς είναι η βασική αιτία για το χαμηλό πλήθος σφαλμάτων σελίδας.



Λόγοι που εξηγούν την τοπικότητα της αναφοράς

- Εκτέλεση εντολών:
 - Σειριακή εκτέλεση εντολών σε προγράμματα.
 - Εξαιρούνται οι διακλαδώσεις και οι κλήσεις συναρτήσεων (εκτός των συναρτήσεων inline).
- Πρόσβαση σε δεδομένα:
 - Πολλές δομές δεδομένων υλοποιούνται σειριακά.
 - list, array, tree.
- Το στυλ προγραμματισμού και ο κώδικας που παράγεται από τους compilers.

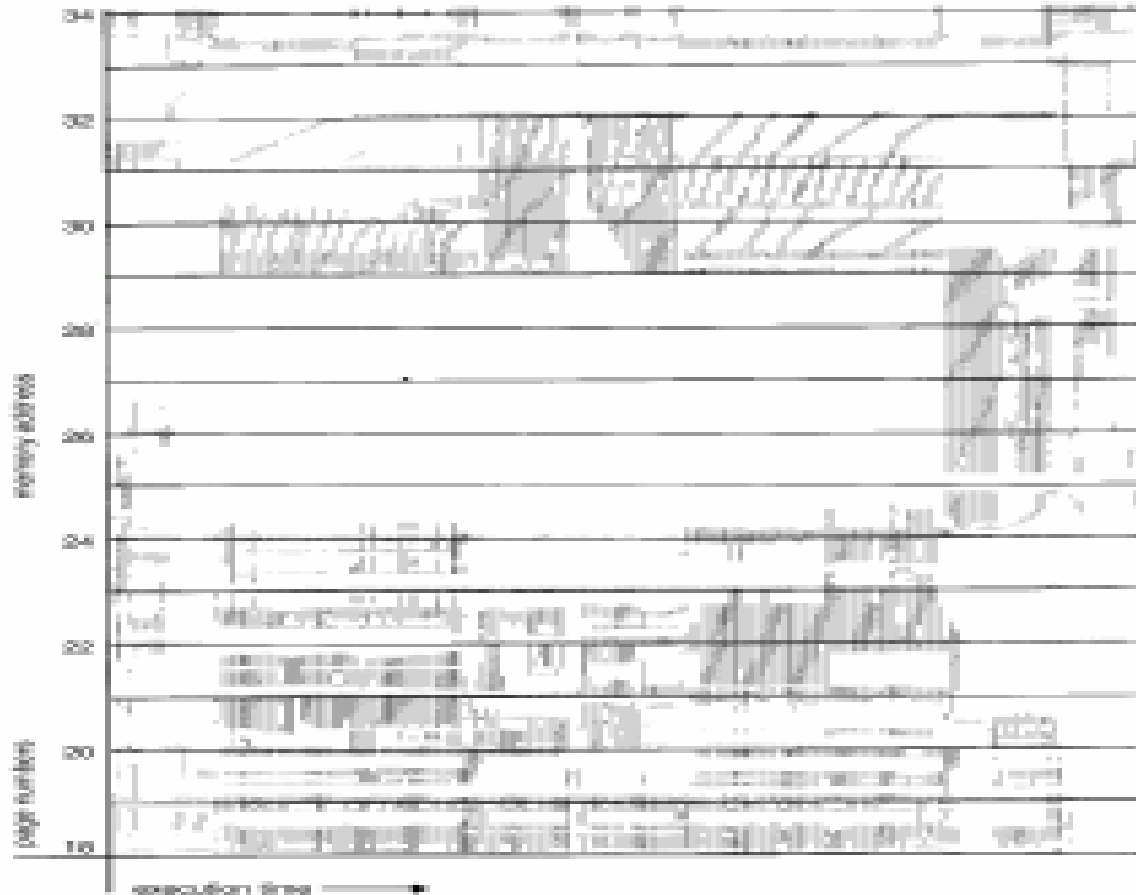


Κάποιες δομές δεδομένων βοηθούν την τοπικότητα της αναφοράς

- Καλή τοπικότητα:
 - stack, queue, array, record.
- Μέση τοπικότητα:
 - linked list, tree.
- Κακή τοπικότητα:
 - graph, pointer.



Δείγμα αναφορών στη μνήμη

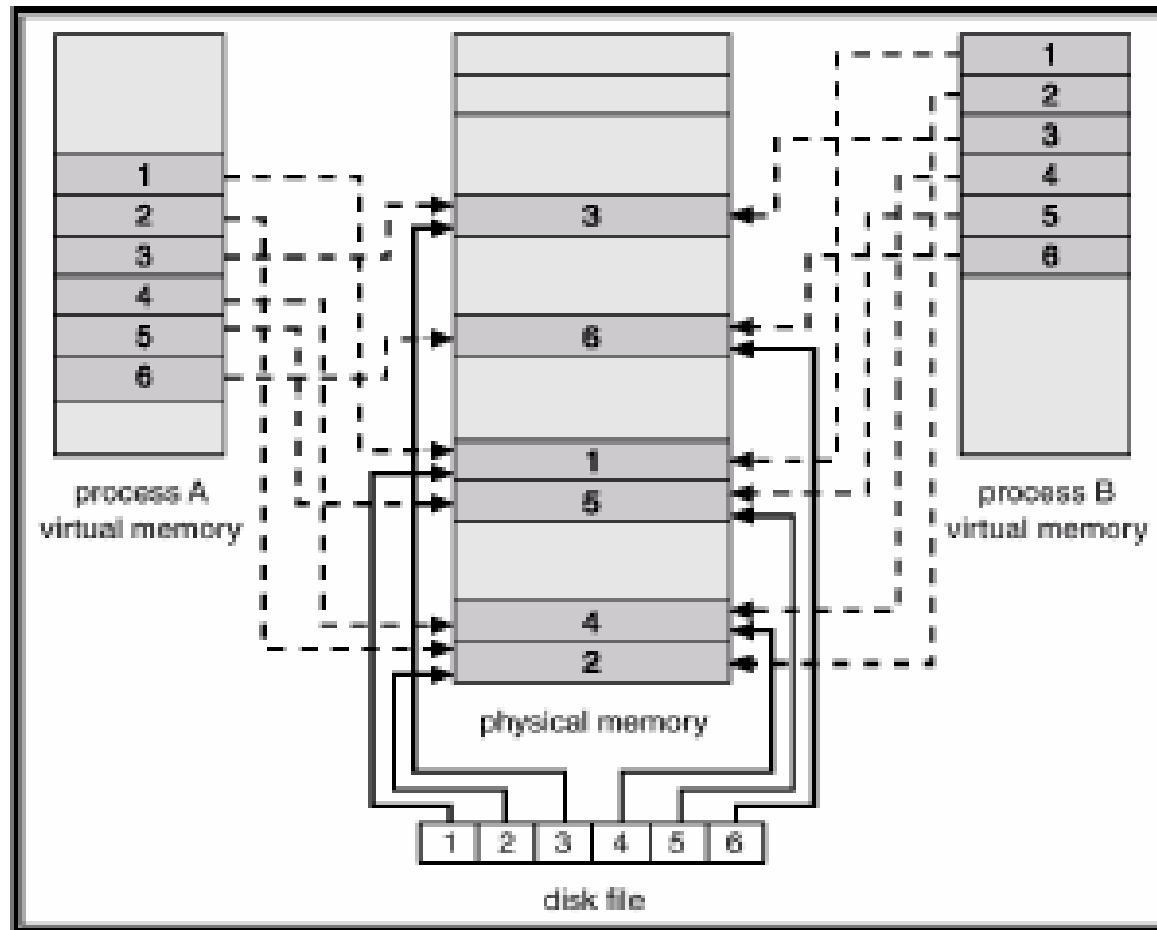


Αντιστοίχιση Αρχείων στη Μνήμη

- Τεχνική που υποστηρίζεται από τα ΛΣ.
- Τμήματα του αρχείου αντιστοιχίζονται σε σελίδες.
- Το I/O αντιμετωπίζεται ως τυπική προσπέλαση μνήμης.
- Το αρχείο διαβάζεται ως σελιδοποίηση κατ απαίτηση, και οι αναφορές στο αρχείο ως ανάγνωση και εγγραφή στη μνήμη.
- Απλοποίηση της I/O στο αρχείο (μέσω μνήμης).
- Επιτρέπει πολλές διεργασίες να διαμοιραστούν το ίδιο αρχείο.



Απεικόνιση αρχείων στη μνήμη



Πολιτικές του Λ.Σ. για τη διαχείριση μνήμης

- **1/3 Παραλαβής ή προσκόμισης.**
 - Καθορίζει πότε μια σελίδα πρέπει να έλθει στην κύρια μνήμη.
- **2/3 Τοποθέτησης.**
 - Καθορίζει σε ποιο σημείο της μνήμης θα αποθηκευθεί ένα τμήμα της διεργασίας.
- **3/3 Αντικατάστασης.**
 - Καθορίζει ποια σελίδα θα αντικατασταθεί.



Πολιτική προσκόμισης (Fetch Policy) (1/3)

- Καθορίζει πότε μια σελίδα πρέπει να μεταφερθεί στη μνήμη.

Απαίτηση σελιδοποίησης (Demand paging):

- Μεταφέρει σελίδες στην κύρια μνήμη, μόνον όταν γίνει μια αναφορά σε μια διεύθυνση της σελίδας και αυτή δεν υπάρχει στη μνήμη.
- Δημιουργούνται πολλά σφάλματα σελίδας (page faults) όταν η διεργασία ξεκινά για πρώτη φορά.

Προ-σελιδοποίηση (pre-paging):

- Μεταφέρει περισσότερες σελίδες από αυτές που χρειάζονται.
- Είναι περισσότερο αποτελεσματική η μεταφορά σελίδων που βρίσκονται συνεχόμενες στον δίσκο, αλλά δεν είναι πάντοτε εφικτή, εξαρτώμενη από τις πολιτικές αποθήκευσης στη δευτερεύουσα μνήμη.
- Αν χρησιμοποιούνται κανάλια DMA μπορεί να υλοποιηθεί συγχρόνως με την εκτέλεση του προγράμματος.



Πολιτική τοποθέτησης (2/3)

- Προσπαθεί να εξακριβώσει μια καλή θέση για το τμήμα του προγράμματος που θα μεταφερθεί στην κύρια μνήμη.
- Δεν αποτελεί πρόβλημα στη σελιδοποίηση, διότι κάθε σελίδα ταιριάζει σε οποιοδήποτε πλαίσιο.
- Στην απλή κατάτμηση είναι ουσιαστικά μια παραλλαγή του γενικού προβλήματος παραχώρησης μνήμης.
 - Εύρεση μιας κενής περιοχής που ταιριάζει για τη μεταφορά του τμήματος.



Πολιτική αντικατάστασης (3/3)

- Ασχολείται με την επιλογή μιας σελίδας στη μνήμη, η οποία θα αντικατασταθεί μόλις θα πρέπει να φορτωθεί μια νέα σελίδα.
- Το θέμα σχετίζεται και με πλήθος άλλων, όπως:
 - Το πλήθος των πλαισίων που ανατίθενται σε κάθε ενεργή διεργασία.
 - Το σύνολο των υποψηφίων προς αντικατάσταση σελίδων.
 - (Διαχείριση του παραμένουστος συνόλου).

Ποια σελίδα θα αντικατασταθεί; (συνεχίζεται..)



Ποια σελίδα θα αντικατασταθεί;

- Η σελίδα που θα μετακινηθεί θα είναι εκείνη η σελίδα που θα έχει την ελάχιστη πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί στο άμεσο μέλλον.
- Οι περισσότερες πολιτικές προβλέπουν τη μελλοντική συμπεριφορά βασιζόμενες στην προηγούμενη συμπεριφορά.
- Η αρχή της τοπικότητας χρησιμοποιήθηκε σε πολλές πολιτικές.
- Η πολυπλοκότητα της μεθόδου επιφέρει αντίστοιχη επιβάρυνση στο υλικό και το λογισμικό που θα την υλοποιήσει.



Κλείδωμα πλαισίων (Frame Locking)--wired memory

- Αν ένα πλαίσιο κλειδωθεί η σελίδα που περιέχεται σ' αυτό δεν μπορεί να αντικατασταθεί. Ονομάζεται και "wired memory".
 - Πυρήνας του Λ.Σ.
 - Δομές ελέγχου.
 - I/O buffers.
- Συσχέτιση ενός bit κλειδώματος με κάθε πλαίσιο.



Τι βρίσκεται στη wired memory;

- Κώδικας του πυρήνα του ΛΣ.
- Δομές δεδομένων του ΛΣ (πίνακες διεργασιών, πίνακες σελίδων κ.α.)
- Ονομάζεται και kernel memory.
- Οι εφαρμογές ΔΕ μπορούν να ζητήσουν wired memory.

...όμως μπορεί να δημιουργηθεί ένα kernel module το οποίο ζητάει kernel memory με την κλήση συστήματος
`kern_return_t kmem_alloc(vm_map_t map, vm_offset_t *addrp, vm_size_t size); (UNIX).`



Βασικοί αλγόριθμοι αντικατάστασης σελίδων

- First-in, First-out (FIFO).
- Βέλτιστη πολιτική (optimal).
- Λιγότερο πρόσφατα χρησιμοποιούμενη σελίδα.
 - Least Recently Used (LRU).



Αποτίμηση των αλγορίθμων

- Διατήρηση του πλήθους των σφαλμάτων σελίδων όσο γίνεται χαμηλά.
- Η **απόδοση των αλγορίθμων αντικατάστασης** κρίνεται από τα σφάλματα που παράγονται σε σχέση με ένα αλφαριθμητικό αναφοράς (reference string) που είναι μια ακολουθία αναφοράς σελίδων.
- Παράγεται από την καταγραφή διευθύνσεων του συστήματος στις οποίες γίνεται αναφορά.
- Εξαρτάται από το πλήθος των διαθέσιμων πλαισίων.
- Περισσότερα πλαίσια μειώνουν το πλήθος σφαλμάτων σελίδας.



Πολιτικές Αντικατάστασης: First in First out (FIFO)



First in First out (FIFO)

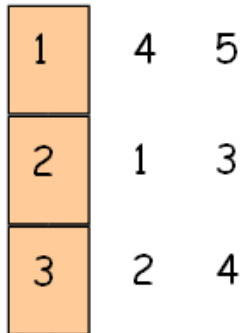
- Αντιμετωπίζει τα πλαίσια σελίδων που ανατίθενται σε μια διεργασία, ως ένα κυκλικό ενδιαμέσο χώρο αποθήκευσης (circular buffer).
- Οι σελίδες αντικαθίστανται με κυκλική σειρά (round-robin).
- Αντικαθίσταται η σελίδα που παρέμεινε στη μνήμη για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- Η σελίδα που μεταφέρθηκε πρώτη είναι η πρώτη που αντικαθίσταται.
 - Πρέπει να αποθηκεύεται η χρονική στιγμή φόρτωσης της σελίδας στη μνήμη.
- Είναι πολύ απλή, αλλά όχι πολύ καλή.
 - Η παλαιότερη σελίδα (που στο μεταξύ έχει αντικατασταθεί) είναι πιθανόν να απαιτηθεί εκ νέου πολύ σύντομα.



Παράδειγμα - 1

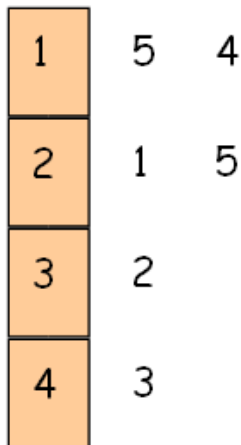
Reference string : 1,2,3,4,1,2,5,1,2,3,4,5

3 Frames / Process



9 Page Faults

4 Frames / Process



10 Page Faults!



Παράδειγμα - 2

Αν η μνήμη αποτελείται από 3 frames και η διεργασία έχει 5 pages, με την ακόλουθη χρονική σειρά αναφοράς:

/ 2 / 3 / 2 / 1 / 5 / 2 / 4 / 5 / 3 / 2 / 5 / 2 /

Τότε θα έχουμε τα παρακάτω σφάλματα σελίδας (σημειώνονται με *):

/ 2* / 3* / 2 / 1* / 5* / 2* / 4* / 5 / 3* / 2 / 5* / 2* /



Παράδειγμα - 3

- Επτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4 3 1 5 1 2 3 6 7 4 2 5 6 1 3 4 7

4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5
	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	1	1	3	3
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7	7	7	3	3	3
			5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	7
F	F	F	F		F		F	F	F		F		F	F		F

Page Faults: 12



Παράδειγμα - 4

- Επτά σελίδες
- πέντε πλαίσια

Reference String

4 3 1 5 1 2 3 6 7 4 2 5 6 1 3 4 7

4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	3	3	3	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4
			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1
					2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3

F F F F F F F F F F F

Page Faults: 10



Πολιτικές Αντικατάστασης: Βέλτιστη πολιτική

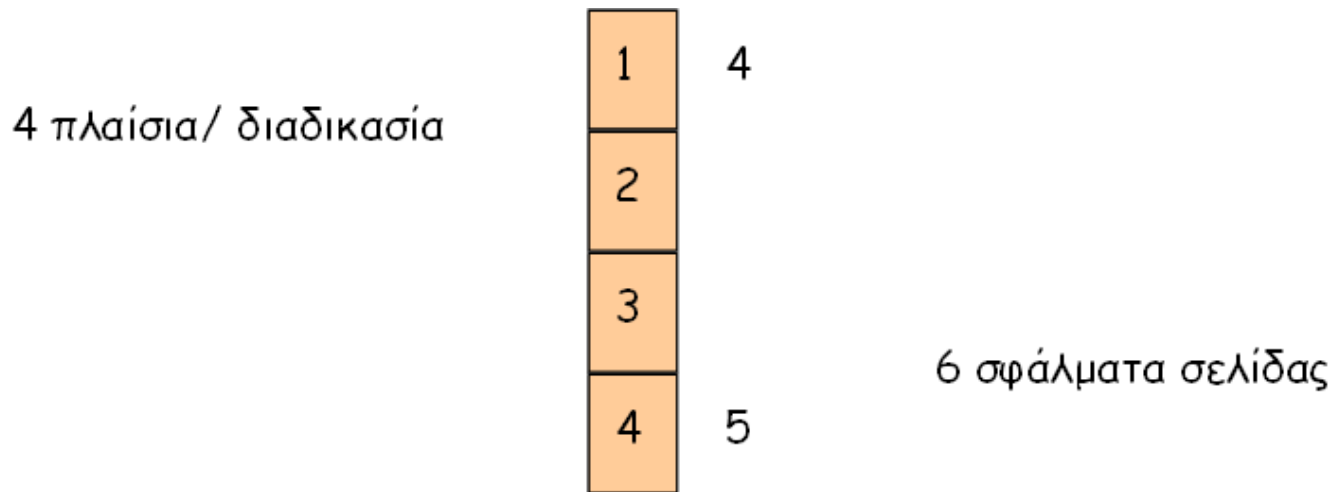


Πολιτικές Αντικατάστασης: Βέλτιστη πολιτική

- Επιλέγεται για αντικατάσταση η σελίδα στην οποία θα γίνει αναφορά το αργότερο δυνατό στο μέλλον.
- Είναι αδύνατο να υπάρξει πλήρης γνώση των μελλοντικών συμβάντων άρα ως μέθοδος είναι αδύνατον να υλοποιηθεί και επομένως δεν χρησιμοποιείται σε πραγματικά συστήματα.
- Χρησιμοποιείται ως benchmark για την αποτίμηση της απόδοσης άλλων αλγορίθμων αντικατάστασης.



1^ο Παράδειγμα



Αλφαριθμητικό αναφοράς: 1,2,3,4,1,2,5,1,2,3,4,5



2^ο Παράδειγμα

- Αν η μνήμη αποτελείται από 3 frames και η διεργασία έχει 5 pages, με την ακόλουθη χρονική σειρά αναφοράς:

/ 2 / 3 / 2 / 1 / 5 / 2 / 4 / 5 / 3 / 2 / 5 / 2 /

- Τότε θα έχουμε τα παρακάτω σφάλματα σελίδας (σημειώνονται με *):

/ 2* / 3* / 2 / 1* / 5* / 2 / 4* / 5 / 3 / 2* / 5 / 2 /



3^ο Παράδειγμα (1/7)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Αλφαριθμητικό αναφοράς

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	4											
	3	3	3	3	3											
		1	1	1	1											
			5	5	5											
F	F	F	F		F											

Υποψήφιοι αντικαταστάτες: 4, 3, 1, 5

Επιλέγεται: 1



3^ο Παράδειγμα (2/7)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Αλφαριθμητικό αναφοράς

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	4	4	4	4								
	3	3	3	3	3	3	3	3								
		1	1	1	2	2	2	2								
			5	5	5	5	5	5								
F	F	F	F		F											

Υποψήφιοι αντικαταστάτες: 4, 3, 2, 5

Επιλέγεται: 3



3^ο Παράδειγμα (3/7)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Αλφαριθμητικό αναφοράς

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	4	4	4	4								
	3	3	3	3	3	3	6	6								
		1	1	1	2	2	2	2								
			5	5	5	5	5	5								
F	F	F	F		F		F	F								

Υποψήφιοι αντικαταστάτες: 4, 6, 2, 5

Επιλέγεται: 3



3^ο Παράδειγμα (4/7)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Αλφαριθμητικό αναφοράς

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
	3	3	3	3	3	3	6	7	7	7	7	7				
		1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2				
			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
F	F	F	F		F		F	F					F			

Υποψήφιοι αντικαταστάτες: 4, 7, 2, 5

Επιλέγεται: 2 ή 5 (και οι δύο σελίδες δε θα χρησιμοποιηθούν άλλο)



3^ο Παράδειγμα (5/7)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Αλφαριθμητικό αναφοράς

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	3	3	3	3	3	3	6	7	7	7	7	7	7			
		1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	6	6			
			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
F	F	F	F		F		F	F				F	F			

Υποψήφιοι αντικαταστάτες: 4, 7, 6, 5

Επιλέγεται: 6 ή 5 (και οι δύο σελίδες δε θα χρησιμοποιηθούν άλλο)



3^ο Παράδειγμα (6/7)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Αλφαριθμητικό αναφοράς

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	3	3	3	3	3	3	6	7	7	7	7	7	7	7	7	
		1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	6	6	6	6	
			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	
F	F	F	F		F		F	F				F	F			

Υποψήφιοι αντικαταστάτες: 4, 7, 6, 1

Επιλέγεται: 6 ή 1 (και οι δύο σελίδες δε θα χρησιμοποιηθούν άλλο)



3^ο Παράδειγμα (7/7)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Αλφαριθμητικό αναφοράς

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	3	3	3	3	3	3	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	6	6	3	3	3
			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1
F	F	F	F		F		F	F				F	F	F		

Σφάλματα σελίδας: 10



Πολιτικές Αντικατάστασης: Least Recently Used (LRU)

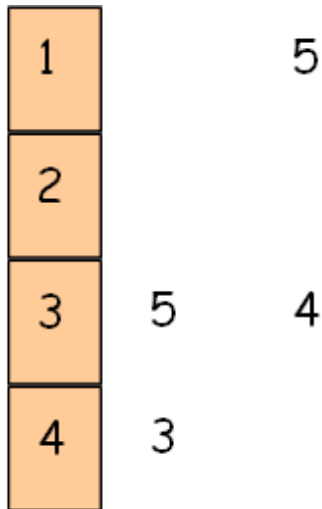


Πολιτικές Αντικατάστασης: Least Recently Used (LRU) – λιγότερο πρόσφατα χρησιμοποιούμενη σελίδα

- Αντικαθιστά εκείνη τη σελίδα στην οποία δεν έγινε αναφορά για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- Σύμφωνα με τον κανόνα της τοπικότητας της αναφοράς αυτή θα είναι η σελίδα με την ελάχιστη πιθανότητα αναφοράς στο εγγύς μέλλον.
- Κάθε σελίδα πρέπει να αποκτά μια ετικέτα με τη χρονική στιγμή κατά την οποία έγινε η τελευταία αναφορά σε αυτήν. Αυτό θα απαιτήσει ένα μεγάλο ποσό επιβάρυνσης.



Παράδειγμα 1^ο



8 Page Faults

Reference string :1,2,3,4,1,2,5,1,2,3,4,5



Παράδειγμα 2^ο

- Αν η μνήμη αποτελείται από 3 frames και η διεργασία έχει 5 pages, με την ακόλουθη χρονική σειρά αναφοράς:

/ 2 / 3 / 2 / 1 / 5 / 2 / 4 / 5 / 3 / 2 / 5 / 2 /

Τότε θα έχουμε τα παρακάτω σφάλματα σελίδας (σημειώνονται με *):

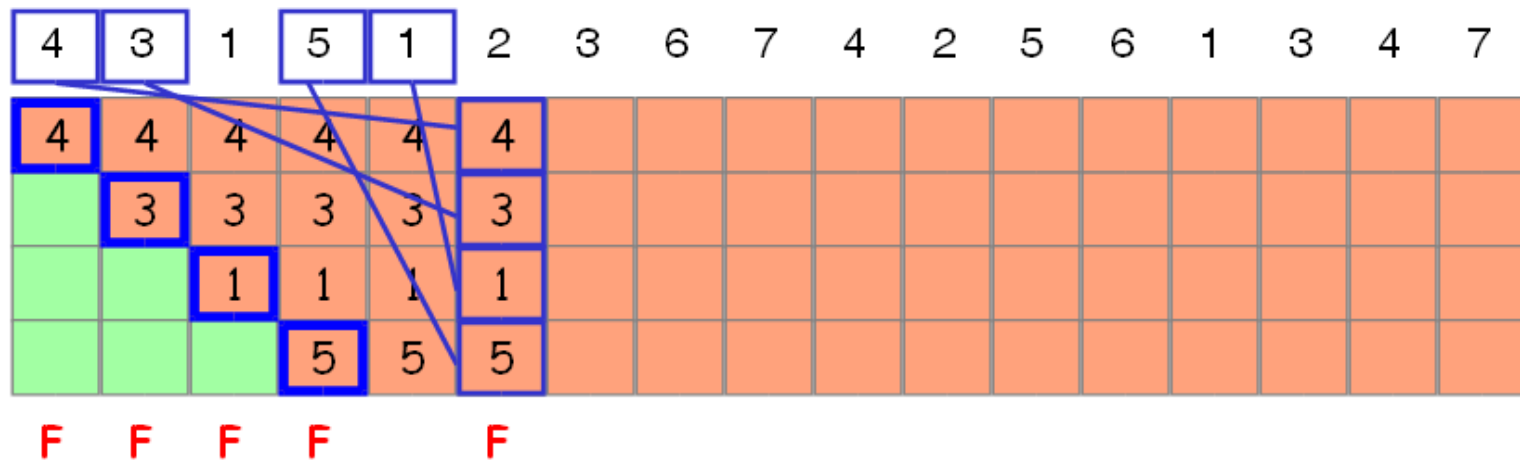
/ 2* / 3* / 2 / 1* / 5* / 2 / 4* / 5 / 3* / 2* / 5 / 2 /



Παράδειγμα 3^ο (1/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String



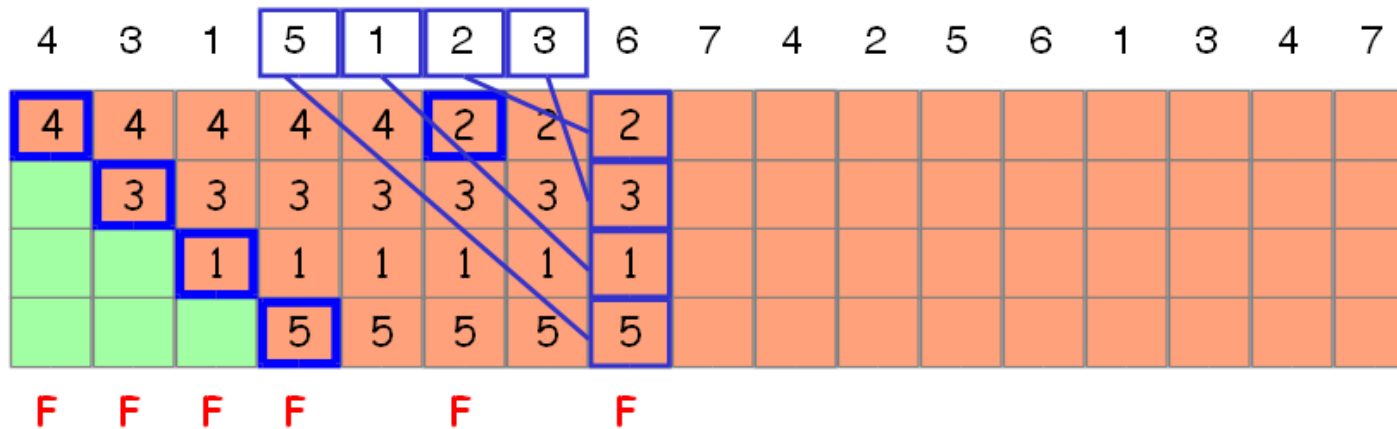
Replacement Candidates: 4, 3, 1, 5
Selected: 4



Παράδειγμα 3^ο (2/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String



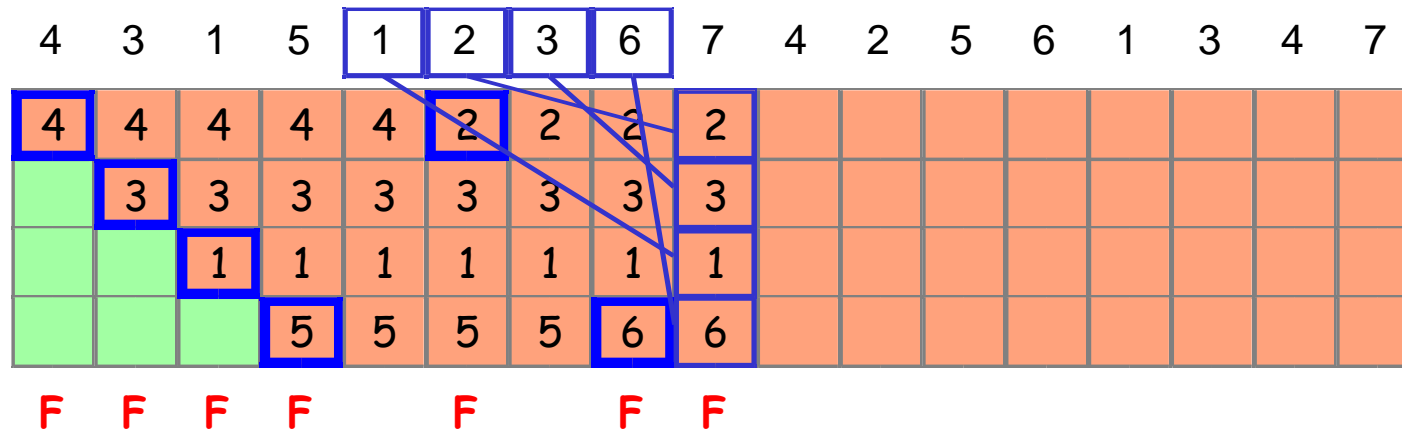
Replacement Candidates: 2, 3, 1, 5
Selected: 5



Παράδειγμα 3^ο (3/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String



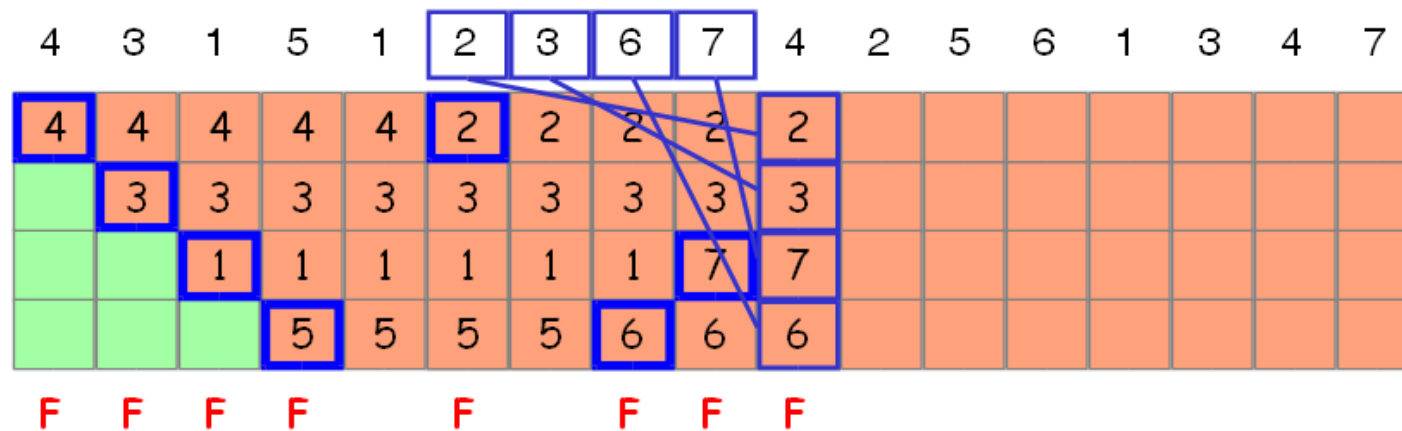
Replacement Candidates: 2, 3, 1, 6
Selected: 1



Παράδειγμα 3^ο (4/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String



Replacement Candidates: 2, 3, 7, 6
 Selected: 2



Παράδειγμα 3^ο (5/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4						
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
		1	1	1	1	1	1	7	7	7						
			5	5	5	5	6	6	6	6						
F	F	F	F		F		F	F	F	F						

Replacement Candidates: 4, 3, 7, 6
Selected: 3



Παράδειγμα 3^ο (6/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4					
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2					
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7					
			5	5	5	5	6	6	6	6	6					
F	F	F	F		F		F	F	F	F	F					

Replacement Candidates: 4, 2, 7, 6
 Selected: 6



Παράδειγμα 3^ο (7/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4				
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2				
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7	7				
			5	5	5	5	6	6	6	6	5	5				
F	F	F	F		F		F	F	F	F	F	F				

Replacement Candidates: 4, 2, 7, 5
Selected: 7



Παράδειγμα 3^ο (8/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4			
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2			
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7	6	6			
			5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5			
F	F	F	F		F		F	F	F	F	F	F	F			

Replacement Candidates: 4, 2, 6, 5

Selected: 4



Παράδειγμα 3^ο (9/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	1	1		
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2		
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7	6	6	6		
			5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5		
F	F	F	F		F		F	F	F	F	F	F	F	F		

Replacement Candidates: 1, 2, 6, 5
 Selected: 2



Παράδειγμα 3^ο (10/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	1	1	1	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7	6	6	6	6	
			5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	5	
F	F	F	F		F		F	F	F	F	F	F	F	F	F	

Replacement Candidates: 1, 3, 6, 5
Selected: 5



Παράδειγμα 3^ο (11/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	1	1	1	1
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7	6	6	6	6	6
			5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4
F	F	F	F		F		F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

Replacement Candidates: 1, 3, 6, 4
Selected: 6



Παράδειγμα 3^ο (12/12)

- Εφτά σελίδες
- Τέσσερα πλαίσια

Reference String

4	3	1	5	1	2	3	6	7	4	2	5	6	1	3	4	7
4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	1	1	1	1
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3
		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7	6	6	6	6	7
			5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4
F	F	F	F		F		F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

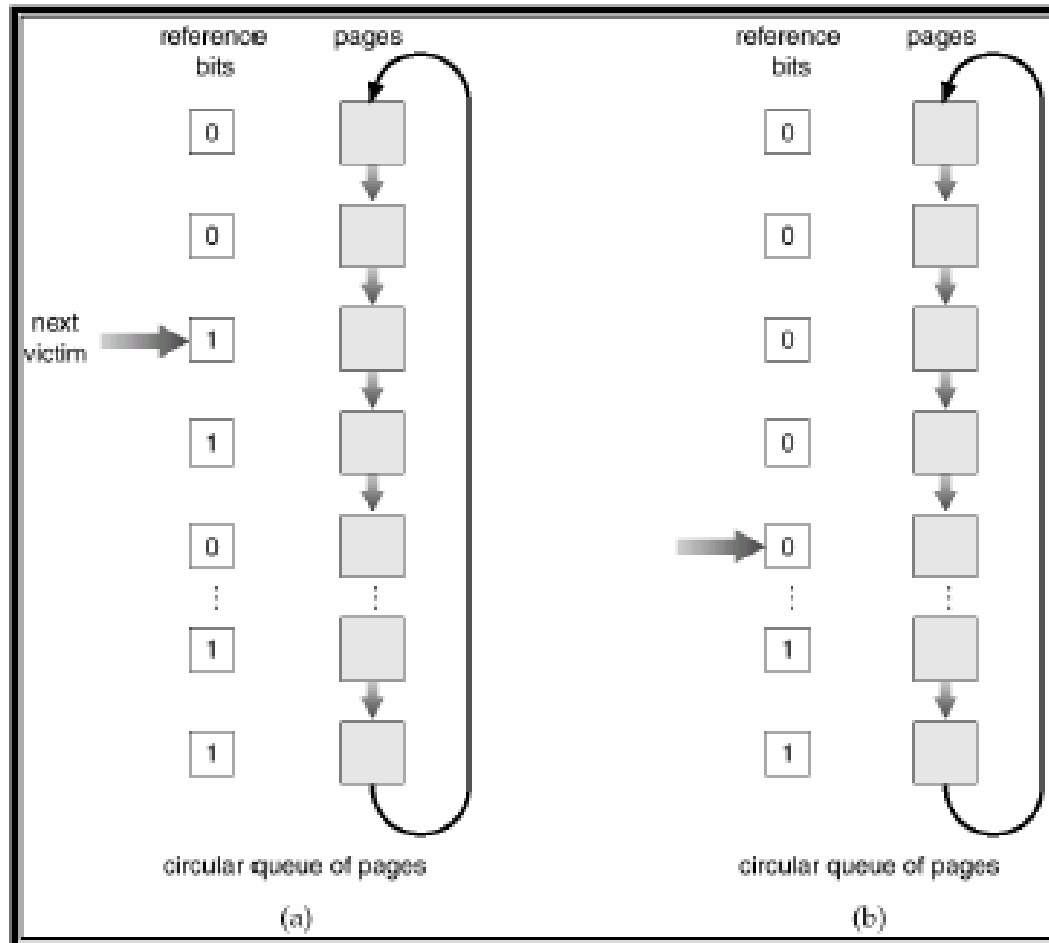
Σφάλματα σελίδας: 10



Πολιτικές αντικατάστασης σελίδων: Ρολογιού



Άλλες πολιτικές αντικατάστασης σελίδων: Ρολογιού



Το Παράδοξο Του Belady



Το παράδοξο του Belady

- Συμβολοσειρά αναφοράς.
- 1,2,3,4,1,2,5,1,2,3,4,5.
- Με 3 πλαίσια έχουμε 9 σφάλματα σελίδας.
- Με 4 πλαίσια έχουμε 10 σφάλματα σελίδας.
 - > Υπάρχει περίπτωση η αύξηση του αριθμού των πλαισίων να αυξήσει και τον αριθμό σφαλμάτων (πολύ σπάνια όμως!).



Κατάπτωση της ιδεατής μνήμης



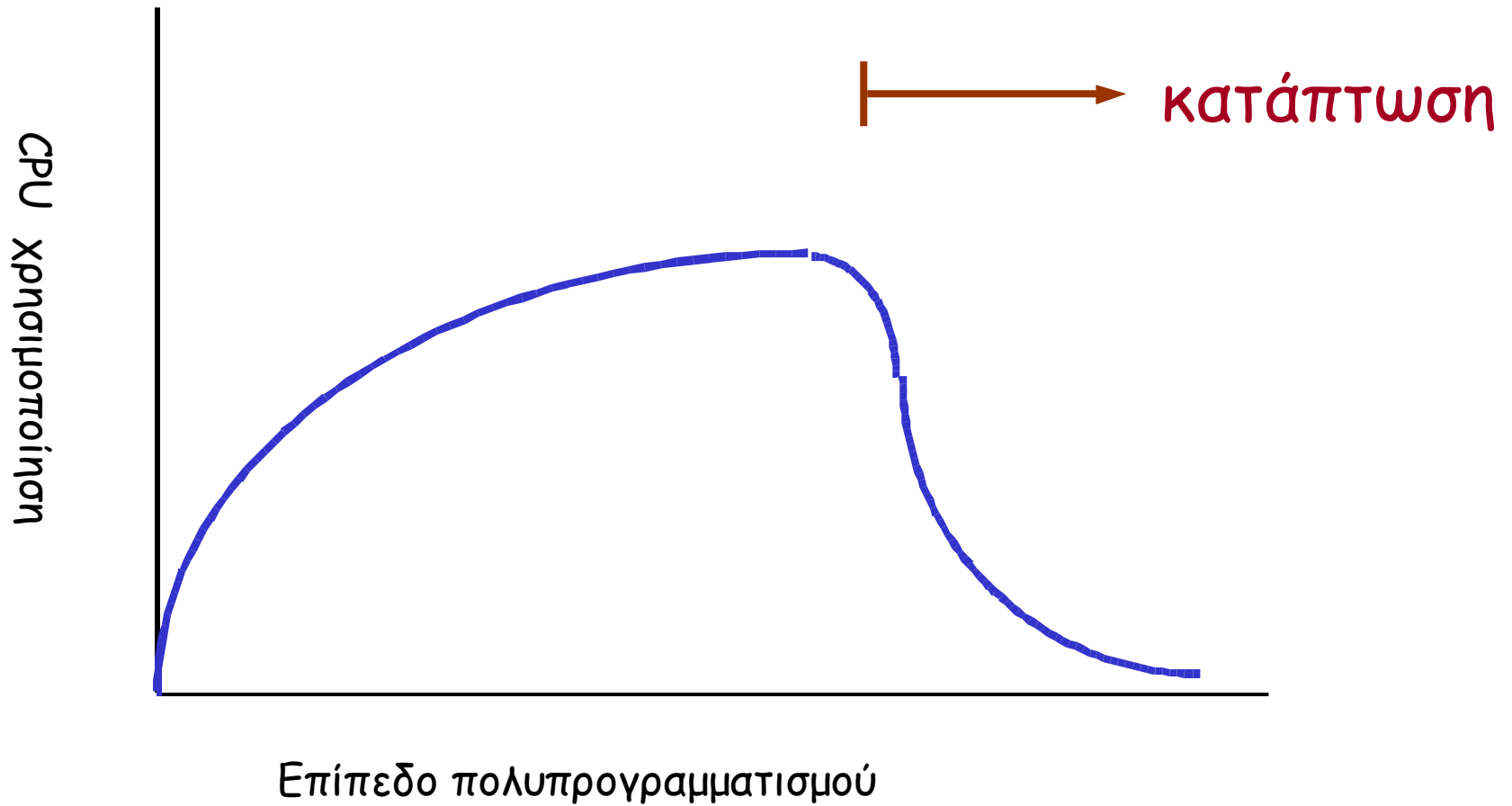
Το φαινόμενο της κατάρπτωσης της ιδεατής μνήμης (Thrashing)

- Αν μια διεργασία δεν διαθέτει αρκετές σελίδες θα παράγει πληθώρα σφαλμάτων σελίδων.
- Η σελίδα που αντικαθίσταται ίσως χρειαστεί και πάλι πολύ σύντομα.
- Συνέπεια: ο βαθμός χρήσης της CPU μπορεί να μειωθεί δραματικά.
- Ορισμένα Λ.Σ. εξισορροπούσαν αυτή τη μείωση του βαθμού χρήσης της CPU με την είσοδο περισσότερων διεργασιών.
- Αυτό όμως είχε ως αποτέλεσμα κάθε διεργασία να διαθέτει ακόμη λιγότερες σελίδες και να παράγει περισσότερα σφάλματα κ.ο.κ. και **τελικά να προκύπτουν σοβαρότατα προβλήματα απόδοσης.**

Ο επεξεργαστής σπαταλά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου για την εναλλαγή τμημάτων παρά για την εκτέλεση των εντολών του χρήστη (φαινόμενο κατάρπτωσης της ιδεατής μνήμης).



Διάγραμμα κατάπτωσης (thrashing)



Εξουδετέρωση της κατάπτωσης

- Ανάπτυξη αλγορίθμων για την αποτελεσματική αποφυγή της κατάπτωσης.
 - Πολιτικές τοπικής αντικατάστασης σελίδων μπορούν να περιορίσουν τις παρενέργειες της κατάπτωσης.
 - Δεν γίνεται πλήρης εξάλειψη.
 - Οι καταπίπτουσες διεργασίες συνεχίζουν να αυξάνουν τον πραγματικό χρόνο προσπέλασης των υπόλοιπων διεργασιών.
- Πρόληψη με διάθεση περισσότερων σελίδων στις διεργασίες.
 - Το μέγεθος μπορεί να καθοριστεί με τη χρήση μοντέλων βασισμένων στην αρχή της τοπικότητας.



Το παραμένων σύνολο

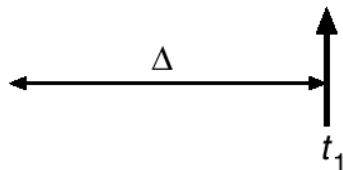


Το μοντέλο του παραμένοντος συνόλου (1/2)

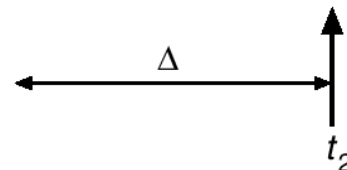
Το παραμένον σύνολο (working set): είναι το σύνολο των σελίδων της διεργασίας που ανήκουν στις πλέον πρόσφατες Δ αναφορές σελίδων. Δηλαδή ένα τμήμα της διεργασίας που βρίσκεται στην κεντρική μνήμη και απορρέει από την αρχή της τοπικότητας.

page reference table

... 2 6 1 5 7 7 7 5 1 6 2 3 4 1 2 3 4 4 4 3 4 3 4 4 4 1 3 2 3 4 4 4 3 4 4 4 ...



$$WS(t_1) = \{1, 2, 5, 6, 7\}$$



$$WS(t_2) = \{3, 4\}$$



Το μοντέλο του παραμένοντος συνόλου (2/2)

- Το παραμένον σύνολο περιλαμβάνει όλες τις σελίδες που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των n πιο πρόσφατων αναφορών και είναι μια χονδρική εκτίμηση που προκύπτει από τις τοπικότητες των αναφορών μιας διεργασίας.
- Το n καθορίζει το μέγεθος του παραμένοντος συνόλου.
- Αν το σύνολο όλων των παραμενόντων συνόλων των ενεργών διεργασιών είναι μεγαλύτερο από το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων πλαισίων υπάρχει ο κίνδυνος της κατάπτωσης.
- Το παραμένον σύνολο μιας διεργασίας αλλάζει μέγεθος καθώς η διεργασία εξελίσσεται, ενώ η βέλτιστη τιμή του είναι άγνωστη.



Χρήση του μοντέλου του παραμένοντος συνόλου

- Το Λ.Σ. παρακολουθεί το παραμένον σύνολο κάθε διεργασίας.
 - Σε κάθε διεργασία εκχωρείται ικανός αριθμός πλαισίων για την εξυπηρέτηση του παραμένοντος συνόλου της.
 - Αν παραμένουν ελεύθερα αρκετά πλαίσια εισάγονται περισσότερες νέες διεργασίες.
 - Αν το σύνολο των μεγεθών όλων των παραμενόντων συνόλων υπερβούν το συνολικό πλήθος των διαθέσιμων πλαισίων, μια διεργασία πρέπει να ανασταλεί.
- Βελτιστοποιείται η χρήση της CPU.
 - Ο βαθμός πολυπρογραμματισμού διατηρείται υψηλός.
 - Αποτρέπεται η κατάπτωση.



Μέγεθος παραμένοντος συνόλου

Παράγοντες που επηρεάζουν το πλήθος των σελίδων που θα προσκομιστούν στην κύρια μνήμη:

Πλήθος των διεργασιών.

- Όσο λιγότερη μνήμη ανατίθεται σε μια διεργασία τόσο περισσότερες διεργασίες μπορούν να βρίσκονται στην κύρια μνήμη -> μειώνεται ο χρόνος εναλλαγής διεργασιών.

Ρυθμός σφαλμάτων σελίδας.

- Μικρός αριθμός σελίδων δημιουργεί σχετικά υψηλό ρυθμό.

Η αρχή της τοπικότητας.

- Μετά από ένα ορισμένο μέγεθος, επιπλέον αναθέσεις μνήμης σε μια διεργασία δεν μεταβάλλουν σημαντικά τον ρυθμό σφαλμάτων σελίδας.



Η επίδραση της τοπικότητας

- Σε στατικούς αλγόριθμους σελιδοποίησης...
 - Η τοπικότητα θεωρείται αμετάβλητη.
 - Πρακτικά, για όλες τις διεργασίες, είναι μη ρεαλιστική.
- Σε δυναμικούς αλγόριθμους σελιδοποίησης...
 - Η τοπικότητα είναι συνάρτηση του χρόνου.
 - Σε κάποια στιγμή, η διεργασία θα χρειαστεί X πλαίσια σελίδων για τοπικότητα που μειώνει τα σφάλματα.
 - Σε κάποια άλλη στιγμή, η διεργασία θα χρειαστεί Y πλαίσια σελίδων για τοπικότητα που μειώνει τα σφάλματα.
 - Η διεργασία εναλλάσσεται από πολύ λίγα σε πάρα πολλά πλαίσια σελίδων κατά τη διάρκεια ζωής της.

Τα περισσότερα σύγχρονα μοντέλα βασίζονται στο **παραμένον σύνολο της διεργασίας** για να διαχειριστούν τις δυναμικές απαιτήσεις της τοπικότητας.

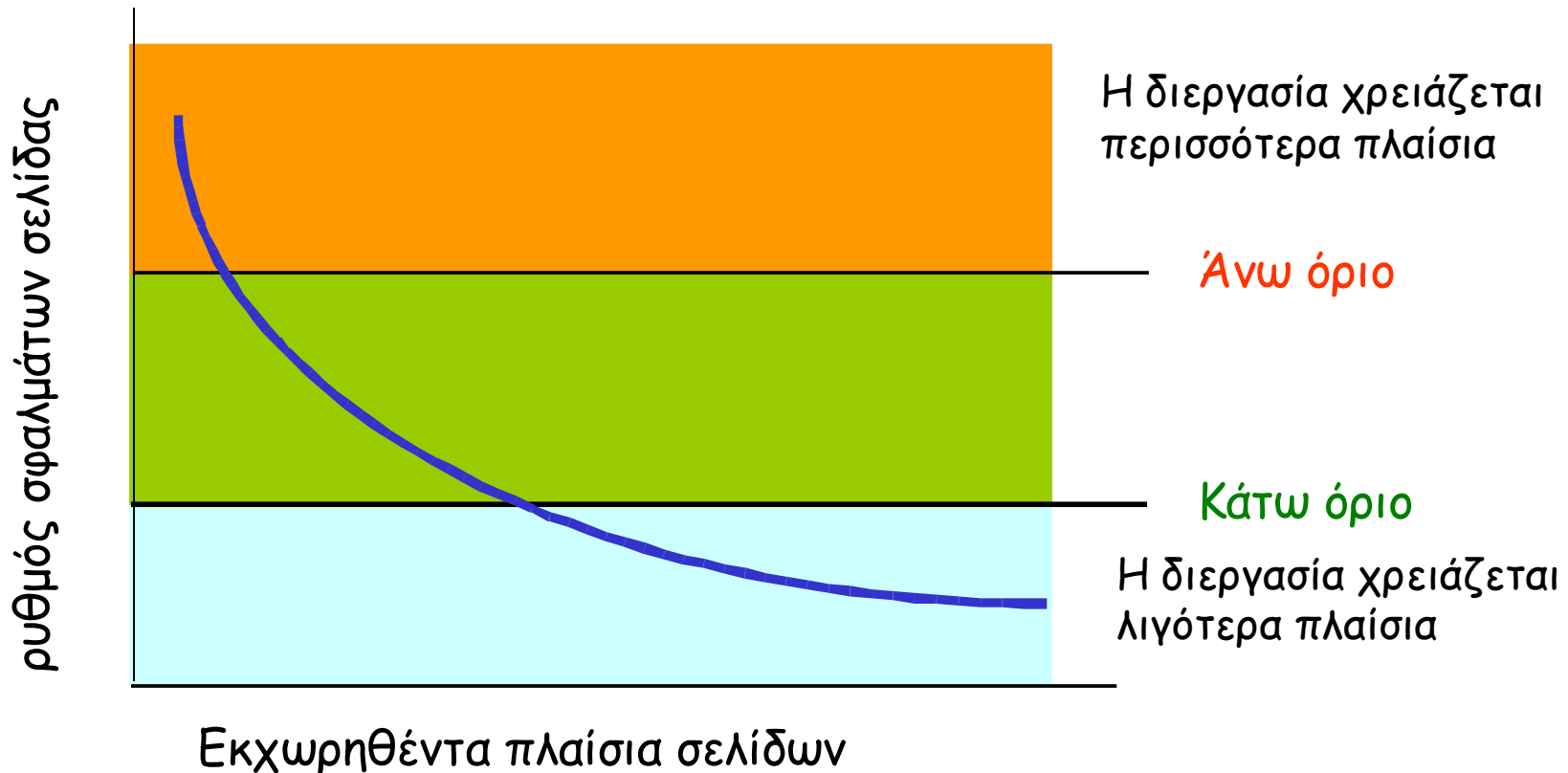


Προβλήματα του παραμένοντος συνόλου

- Το μέγεθος και οι ιδιότητες του παραμένοντος συνόλου μπορούν να μεταβάλλονται .
 - Το παρελθόν δεν προβλέπει πάντοτε με ακρίβεια το μέλλον.
- Μπορεί να υπάρξει σημαντική επιβάρυνση για ένα συγκεκριμένο προσδιορισμό του παραμένοντος συνόλου.
- Η βέλτιστη τιμή του μεγέθους του παραμένοντος συνόλου δεν είναι σχεδόν ποτέ γνωστή.
 - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συχνότητα εμφάνισης των σφαλμάτων σελίδας για να εκτιμηθεί μια προσεγγιστική τιμή.



Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης σφαλμάτων



Σφάλματα σελίδας και μέγεθος σελίδας (1/2)

- Μικρότερο μέγεθος σελίδας => λιγότερο ποσό εσωτερικού κατακερματισμού.
- Μικρότερο μέγεθος σελίδας => απαιτούνται περισσότερες σελίδες ανά διεργασία.
- Περισσότερες σελίδες ανά διεργασία=> μεγαλύτεροι πίνακες σελίδων.
- Μεγαλύτεροι πίνακες σελίδων => σημαίνει μεγαλύτερο μέρος των πινάκων σελίδων στην εικονική μνήμη.
- Η δευτερεύουσα μνήμη σχεδιάζεται έτσι, ώστε να μεταφέρει αποτελεσματικά μεγάλα blocks δεδομένων, έτσι ένα μεγάλο μέγεθος σελίδας είναι καλύτερο.

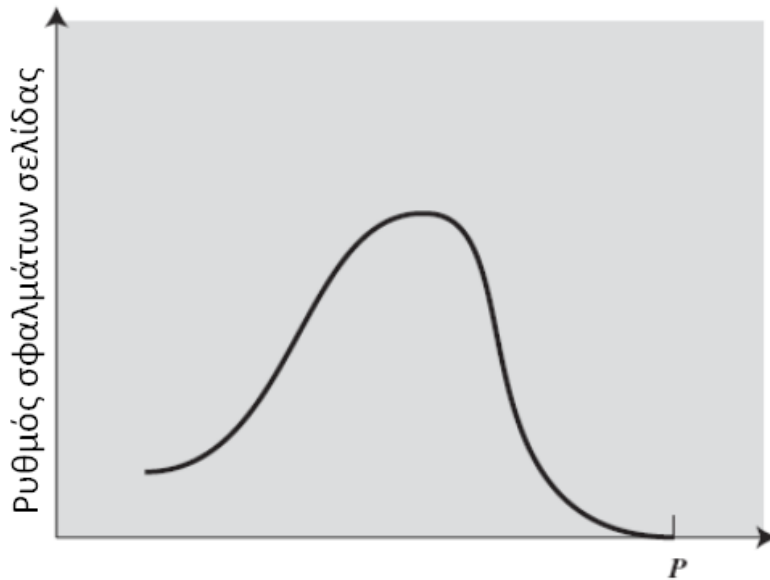


Σφάλματα σελίδας και μέγεθος σελίδας (2/2)

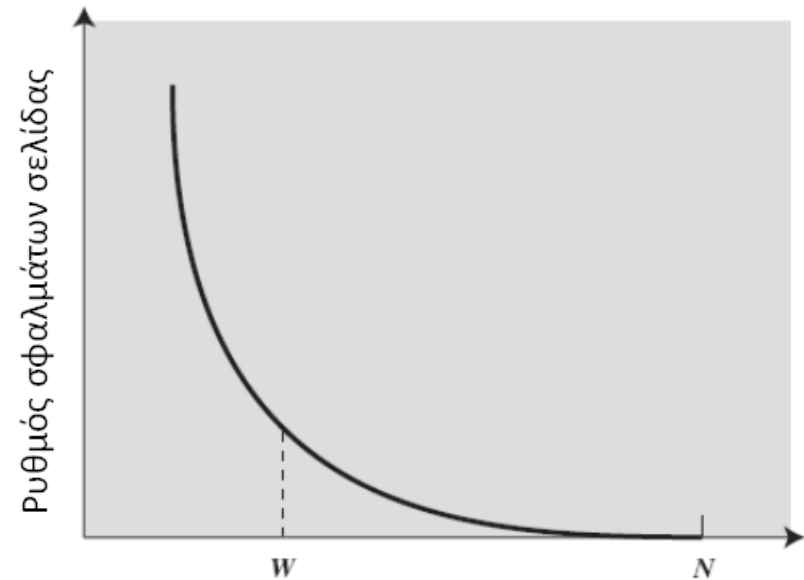
- Μικρό μέγεθος σελίδας: μεγάλος αριθμός σελίδων θα βρίσκονται στην κύρια μνήμη.
- Με την πρόοδο του χρόνου κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, οι σελίδες στη μνήμη θα περιέχουν τμήματα της διεργασίας που είναι κοντά στις πρόσφατες αναφορές. Τα σφάλματα σελίδας είναι λίγα.
- Αυξανόμενο μέγεθος σελίδας οδηγεί σε σελίδες που περιέχουν θέσεις που βρίσκονται πιο μακριά από τις πρόσφατες αναφορές. Τα σφάλματα σελίδας αυξάνονται.
- Τα **πολλαπλά μεγέθη σελίδων** παρέχουν την ευελιξία που απαιτείται για την αποτελεσματική χρήση του TLB.
- Μεγάλες σελίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εντολές προγράμματος και μικρές για νήματα (threads).
- **Τα περισσότερα Λ.Σ. υποστηρίζουν μόνον ένα μέγεθος σελίδας.**



Τυπική συμπεριφορά σελιδοποίησης ως προς το PF



A) Μέγεθος σελίδας



B) Αριθμός κατανεμημένων πλαισίων σελίδας

- P = μέγεθος ολόκληρης διαδικασίας.
- W = μέγεθος συνόλου εργασίας.
- N = συνολικός αριθμός σελίδων σε διαδικασία.



Στρατηγικές αντικατάστασης σελίδων και ανάθεσης πλαισίων

Η αξιολόγηση των αλγορίθμων αντικατάστασης σελίδων βασίζεται :

- στη σύγκριση των σφαλμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή κάθε αλγορίθμου σε ένα αλφαριθμητικό αναφοράς (reference string), που είναι μια ακολουθία αναφοράς σελίδων, για μια τυχαία και αυθαίρετα επιλεγμένη διεργασία.
- στο πλήθος των πλαισίων που ανατίθενται στη διεργασία από το Λ.Σ. (το πλήθος των σφαλμάτων συνδέεται άμεσα με το πλήθος των παραχωρούμενων πλαισίων).
- Στα περισσότερα πραγματικά συστήματα, το Λ.Σ. πρέπει να εφαρμόσει μια στρατηγική που θα πρέπει να αποδίδει καλά σε ένα πλήθος διαφορετικών διεργασιών και με ένα περιορισμένο (λόγω του μεγέθους της κεντρικής μνήμης) πλήθος πλαισίων.



Αντικατάσταση σελίδων

- Κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος σελίδων ιδεατής μνήμης, ο σχεδιαστής του Λ.Σ. πρέπει να αποφασίσει αν οι στρατηγικές αντικατάστασης σελίδων θα εφαρμόζονται σε όλες τις διεργασίες (**ολικές στρατηγικές**) ή αν κάθε διεργασία θα θεωρείται ξεχωριστή (**τοπικές στρατηγικές**).
 - Οι ολικές στρατηγικές αντικατάστασης τείνουν να αγνοούν τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς κάθε μιας διεργασίας.
 - Οι τοπικές στρατηγικές αντικατάστασης είναι σχεδιασμένες ώστε να παραχωρούν σε κάθε διεργασία μνήμη ανάλογη με τη σπουδαιότητά της και με τρόπο που θα βελτιώνεται η συνολική απόδοση του συστήματος.



Εύρος αντικατάστασης

Τοπικό:

- Επιλέγει για αντικατάσταση μόνο μεταξύ των σελίδων του παραμένοντος συνόλου της διεργασίας που προκάλεσε το σφάλμα σελίδας.

Ολικό:

- Θεωρεί ως υποψήφιος για αντικατάσταση όλες τις μη κλειδωμένες σελίδες (ανεξάρτητα από το ποια διεργασία κατέχει μια συγκεκριμένη σελίδα).



2 είναι οι τρόποι ανάθεσης πλαισίων σε διεργασία

1) Σταθερή ανάθεση (Fixed-allocation).

- Δίνει στη διεργασία ένα σταθερό αριθμό σελίδων εντός των οποίων θα εκτελεστεί.
- Ο αριθμός καθορίζεται στον χρόνο δημιουργίας της διεργασίας.
- Όταν συμβεί ένα σφάλμα σελίδας, μια από τις σελίδες της διεργασίας πρέπει να αντικατασταθεί.

2) Μεταβλητή ανάθεση (Variable-allocation).

- Ο αριθμός των σελίδων που εκχωρούνται στη διεργασία μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια ζωής της διεργασίας.
- Η πολιτική αυτή απαιτεί από το Λ.Σ. να αξιολογεί τη συμπεριφορά της ενεργού διεργασίας.
- Εξαρτάται από τους μηχανισμούς του υλικού μέρους.



Συνδυασμοί ανάθεσης & αντικατάστασης

Τοπική
Αντικατάσταση

Ολική Αντικατάσταση

Σταθερή Ανάθεση

✓



Μεταβλητή Ανάθεση

✓

✓



Σταθερή ανάθεση, τοπικό εύρος

- Το πλήθος των πλαισίων ανά διεργασία αποφασίζεται όταν γίνεται η φόρτωση της διεργασίας και δεν μπορεί να μεταβληθεί.
- Οι αντικαταστάσεις πρέπει να γίνουν μεταξύ των πλαισίων της διεργασίας.
- Μικρό πλήθος πλαισίων:
 - Μεγάλος αριθμός σφαλμάτων σελίδας
 - Πολλές ενεργές διεργασίες
- Μεγάλο πλήθος πλαισίων:
 - Μικρός αριθμός ενεργών διεργασιών.
 - Χαμηλός βαθμός χρήσης της CPU (μεγάλος ανενεργός χρόνος του επεξεργαστή).
 - Λίγα σφάλματα σελίδας.



Σταθερή ανάθεση: παράδειγμα

- Ίση ανάθεση: π.χ. 100 πλαίσια και 5 διεργασίες: κάθε μια διεργασία αποκτά 20 σελίδες.
- Αναλογική ανάθεση: ανάλογα με το μέγεθος της διεργασίας.
- s_i = μέγεθος της διεργασίας p_i .
- $S = \sum s_i$.
- m = συνολικός αριθμός πλαισίων.
- a_i = ανάθεση για την $p_i = (s_i / S) * m$.
- Εφαρμογή για $m=64$, $s_1 = 10$, $s_2 = 127$.
- $a_1 = (10/137) * 64 \rightarrow 5$ σελίδες.
- $a_2 = (127/137) * 64 \rightarrow 59$ σελίδες.



Μεταβλητή ανάθεση, ολικό εύρος

- Ευκολότερη στην εφαρμογή.
- Εφαρμόζεται από πολλά Λ.Σ.
- Το Λ.Σ. διατηρεί μια λίστα των ελεύθερων πλαισίων.
- Ένα ελεύθερο πλαίσιο προστίθεται στο παραμένον σύνολο της διεργασίας όταν συμβεί ένα σφάλμα σελίδας.
- Αν δεν υπάρχει ελεύθερο πλαίσιο, αντικαθιστά ένα από μια άλλη διεργασία.
- Η επιλογή γίνεται μεταξύ όλων των πλαισίων εκτός από αυτά που είναι κλειδωμένα.



Μεταβλητή ανάθεση, τοπικό εύρος

- Όταν προστίθεται μια νέα διεργασία , ανατίθεται σ' αυτήν ένας συγκεκριμένος αριθμός πλαισίων σελίδας που εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής , τις απαιτήσεις του προγράμματος ή από άλλα κριτήρια.
- Όταν συμβεί σφάλμα σελίδας, επιλέγεται για αντικατάσταση η σελίδα, από το παραμένον σύνολο της διεργασίας που προκάλεσε το σφάλμα σελίδας.
- Ανά χρονικά διαστήματα επανεκτιμάται το πλήθος πλαισίων που έχει ανατεθεί σε μια διεργασία.



Συμπληρωματικές τεχνικές (1/4)

Πολιτική εκκαθάρισης:

- Αφορά στον καθορισμό πότε μια σελίδα θα πρέπει να εγγραφεί στη δευτερεύουσα μνήμη.
- **Απαίτηση εκκαθάρισης:** η σελίδα επανεγγράφεται στη δευτερεύουσα μνήμη μόνον όταν έχει επιλεγεί για αντικατάσταση.
- **Προ-εκκαθάριση:** εγγράφει τις τροποποιημένες σελίδες πριν ζητηθούν τα πλαίσιά τους, ώστε οι σελίδες να εγγράφονται κατά δέσμες.



Συμπληρωματικές τεχνικές (2/4)

Έλεγχος Φόρτωσης:

- Καθορίζει το πλήθος των διεργασιών που παραμένουν στην κύρια μνήμη.
- Όταν είναι πολύ λίγες υπάρχουν πολλές πιθανότητες να είναι όλες οι διεργασίες υπό αναστολή και θα σπαταληθεί πολύς χρόνος για εναλλαγή.
- Πολλές διεργασίες οδηγούν στο φαινόμενο κατάπτωσης της ιδεατής μνήμης (thrashing).



Συμπληρωματικές τεχνικές (3/4)

Προσωρινή παύση διεργασίας:

- Διεργασία με τη μικρότερη προτεραιότητα.
- Διεργασία σφαλμάτων.
 - Αυτή η διεργασία δεν έχει το σύνολό της παραμένον στη μνήμη άρα θα διακοπεί οπωσδήποτε.
- Ενεργοποίηση της τελευταίας διεργασίας.
 - Αυτή η διεργασία είναι η λιγότερο πιθανή να έχει παραμένον το σύνολο εργασίας της.
- Διεργασία με το μικρότερο παραμένον σύνολο.
 - Αυτή απαιτεί τη μικρότερη μελλοντική προσπάθεια για επαναφόρτωση.



Συμπληρωματικές τεχνικές (4/4)

- Μεγαλύτερη διεργασία.
 - Αποκτά τα περισσότερα ελεύθερα πλαίσια.
- Η διεργασία με το μεγαλύτερο εναπομένον παράθυρο εκτέλεσης.
 - Αφορά τις περιπτώσεις δρομολόγησης διεργασιών που εκτελούνται σε ένα συγκεκριμένο κβάντο χρόνου, πριν να διακοπούν και να τοποθετηθούν στην ουρά των έτοιμων διεργασιών.



Ασκήσεις



Άσκηση 1^η:

Σφάλματα σελίδας και απόδοση

- Ποια είναι η απώλεια απόδοσης για ρυθμό σφαλμάτων σελίδας 1 σε 100,000;
 - Χρόνος προσπέλασης χωρίς σφάλμα σελίδας: 100 ns.
 - Χρόνος προσπέλασης μνήμης συμπεριλαμβάνοντας τον πίνακα σελίδων και το TLB.
 - Χρόνος προσπέλασης με σφάλμα σελίδας και με αντικατάσταση σελίδας για το 50% των σφαλμάτων σελίδας:
- (ΔΕΔΟΜΕΝΑ: 20 ms ο χρόνος φόρτωσης μιας σελίδας σε ελεύθερο πλαίσιο και 20 ms ο χρόνος αντικατάστασης σελίδας λόγω μη ύπαρξης ελεύθερου πλαισίου).
 - $0.5 * 20 \text{ ms} + 0.5 * 40 \text{ ms} = 30 \text{ ms}$.

EAT = $0.00001 * 30 \text{ ms} + (1-0.00001)*100 \text{ ns}=300 \text{ ns} + 99.999999 \text{ ns} \approx 400 \text{ ns}$ - απώλεια 300% !!!



Άσκηση 2^η:

Σφάλματα σελίδας και απόδοση

- Ποιος πρέπει να είναι ο ρυθμός σφαλμάτων, ώστε να υπάρξει απώλεια απόδοσης 10%, με τις ίδιες τιμές χρόνων με το προηγούμενο παράδειγμα;

Η απώλεια απόδοσης κατά 10% αντιστοιχεί σε EAT = 110 ns.

- $110 \text{ ns} > p * 30 \text{ ms} + (1 - p) * 100 \text{ ns}$
 $> p * 30,000,000 \text{ ns} + 100 \text{ ns}$
 $10 \text{ ns} > p * 30,000,000 \text{ ns}$
 $p < 10 / 30,000,000$
 $< 1 / 3,000,000 = 1 \text{ σε } 3 \text{ εκατομμύρια.}$



Άσκηση 3^η

Αλφαριθμητικό αναφοράς: A B C A B D A D B C B

	FIFO	OPT	LRU									
	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
A B C	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C
A	B	C										
A	B	C										
A	B	C										
A	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C
A	B	C										
A	B	C										
A	B	C										
B	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C	<table border="1"><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	A	B	C
A	B	C										
A	B	C										
A	B	C										
D	<table border="1"><tr><td>D</td><td>B</td><td>C</td></tr></table>	D	B	C	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
D	B	C										
A	<table border="1"><tr><td>D</td><td>A</td><td>C</td></tr></table>	D	A	C	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
D	A	C										
D	<table border="1"><tr><td>D</td><td>A</td><td>C</td></tr></table>	D	A	C	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
D	A	C										
B	<table border="1"><tr><td>D</td><td>A</td><td>B</td></tr></table>	D	A	B	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
D	A	B										
C	<table border="1"><tr><td>C</td><td>A</td><td>B</td></tr></table>	C	A	B	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
C	A	B										
B	<table border="1"><tr><td>C</td><td>A</td><td>B</td></tr></table>	C	A	B	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
C	A	B										

Σφάλματα:
FIFO 7
OPT 5
LRU 5

Να συμπληρωθούν τα κενά στους πίνακες.



Άσκηση 4^η

- Θεωρείστε την παρακάτω ακολουθία αναφοράς σελίδων:
A, B, C, A, D, E, C, B, F, E, A, C
- Θεωρείστε επίσης ότι υπάρχουν 4 πλαίσια, καταρχήν κενά. Πόσα σφάλματα σελίδων θα συμβούν και ποια αν χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω αλγόριθμοι αντικατάστασης; Να συμπληρώσετε τους παρακάτω πίνακες.
- Αλγόριθμος LRU (λιγότερο πρόσφατα χρησιμοποιούμενη σελίδα).
- Βέλτιστη πολιτική.



Άσκηση 5^η

Page	LRU				Page Refs	Βέλτιστη					
	σφάλμα ? (N/O)	4 πλαίσια				σφάλμα ? (N/O)	4 πλαίσια				
		Περιεχόμενα					Περιεχόμενα				
		—	—	—	—		—	—	—	—	
A					A						
B					B						
C					C						
A					A						
D					D						
E					E						
C					C						
B					B						
F					F						
E					E						
A					A						
C					C						



Άσκηση 6^η

Θεωρείστε την παρακάτω ακολουθία αναφοράς σελίδων:

1, 2, 3, 4, 2, 1, 5, 6, 2, 1, 2, 3, 7, 6, 3, 2, 1, 2, 3, 6.

Πόσα σφάλματα σελίδας θα γίνουν για τους παρακάτω αλγόριθμους αντικατάστασης, υποθέτοντας 1,2,3,4,5,6,7 πλαίσια; Όλα τα πλαίσια είναι καταρχήν κενά, έτσι οι πρώτες σελίδες θα στοιχίσουν ένα σφάλμα σελίδας.

LRU replacement

FIFO replacement

Optimal (βέλτιστη)



Άσκηση 6^η - Απάντηση

Πλήθος πλαισίων	LRU	FIFO	ΒΕΛΤΙΣΤΗ
1	20	20	20
2	17	18	15
3	15	16	11
4	10	14	8
5	8	10	7
6	7	9	7
7	7	7	7



Άσκηση 7^η

- Μετρήσεις έχουν δείξει ότι το πλήθος των εντολών (instructions) που εκτελούνται μεταξύ σφαλμάτων σελίδων είναι ανάλογο του πλήθους των πλαισίων σελίδας που εκχωρούνται στο πρόγραμμα που εκτελείται. Αν η διαθέσιμη μνήμη διπλασιαστεί, ο μέσος χρόνος μεταξύ των σφαλμάτων σελίδας επίσης διπλασιάζεται. Υποθέστε ότι μια κανονική (συνήθης) εντολή απαιτεί για την εκτέλεσή της χρόνο 1 microsecond (μsec), αλλά αν συμβεί σφάλμα σελίδας απαιτούνται 2001 microseconds (χρειάζονται 2 msec για τον χειρισμό του σφάλματος σελίδας). (Προφανώς 1msec=1000μsec).
- Αν ένα πρόγραμμα χρειάζεται 60 seconds για να ολοκληρωθεί η εκτέλεσή του και κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης συμβαίνουν 15,000 σφάλματα σελίδας να βρείτε:
 - Πόσο χρόνο θα χρειαστεί το ίδιο πρόγραμμα για να ολοκληρωθεί η εκτέλεσή του αν του παραχωρηθεί διπλάσιο ποσό μνήμης;
 - Σε τι ποσοστό % θα μεταβληθεί (αύξηση ή μείωση) ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος;



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

