

Εικονική Μνήμη

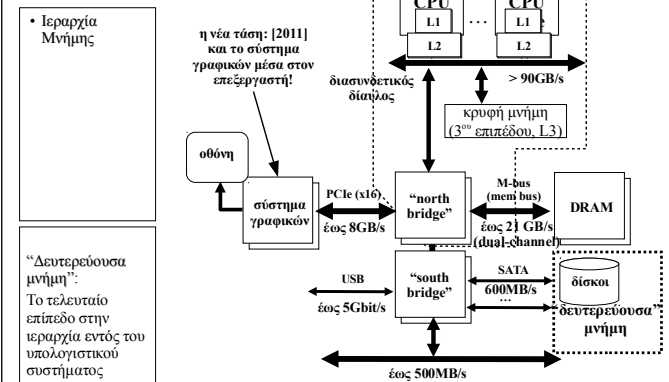
(και ο ρόλος της στην ιεραρχία μνήμης)

<http://mixstef.github.io/courses/comparch/>



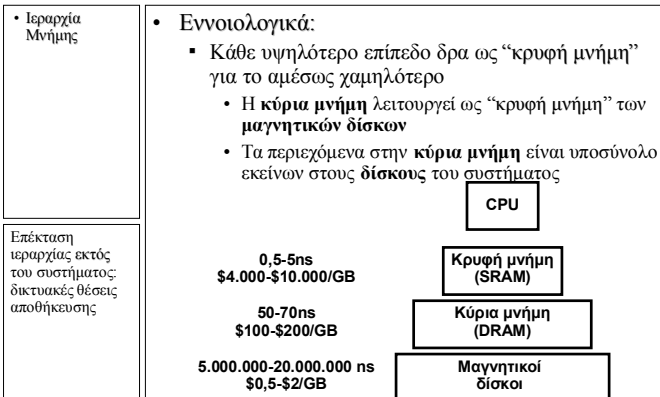
Μ.Στεφανιδάκης

Ιεραρχία Μνήμης

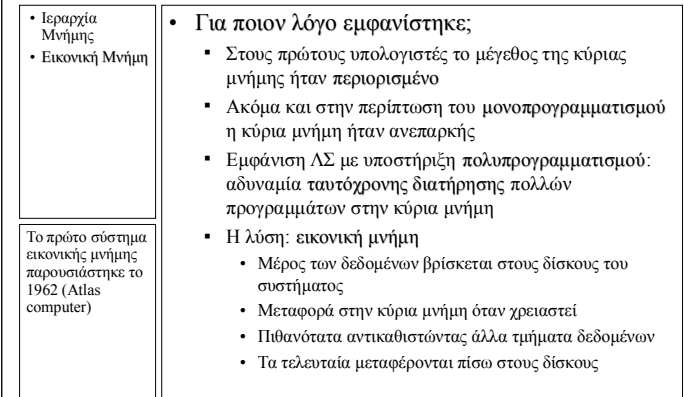


2

Επεκτείνοντας την Ιεραρχία Μνήμης



Εικονική μνήμη (virtual memory)



Πριν την εικονική μνήμη: overlays

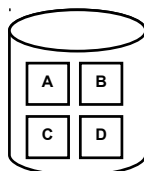
- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

Η τεχνική των overlays απαιτούσε από τον προγραμματιστή να χειρίζεται τις λεπτομέρειες (π.χ. διευθύνσεις!) φόρτωσης και κλήσης των υποπρογραμμάτων!

Κύρια μνήμη

```
main( ) {
  swap-in(D)
  call D1
  swap-in(B)
  Call B2
}
```

δίσκος



- Καταλληλότερο για στατικά δεδομένα
 - υποπρογράμματα

Πριν την εικονική μνήμη: overlays

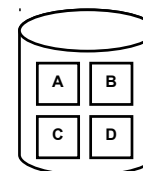
- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

Η τεχνική των overlays απαιτούσε από τον προγραμματιστή να χειρίζεται τις λεπτομέρειες (π.χ. διευθύνσεις!) φόρτωσης και κλήσης των υποπρογραμμάτων!

Κύρια μνήμη

```
main( ) {
  swap-in(D) ←
  call D1
  swap-in(B)
  Call B2
}
```

δίσκος



- Καταλληλότερο για στατικά δεδομένα
 - υποπρογράμματα

Πριν την εικονική μνήμη: overlays

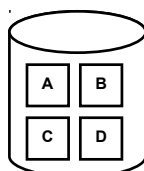
- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

Η τεχνική των overlays απαιτούσε από τον προγραμματιστή να χειρίζεται τις λεπτομέρειες (π.χ. διευθύνσεις!) φόρτωσης και κλήσης των υποπρογραμμάτων!

Κύρια μνήμη

```
main( ) {
  swap-in(D) ←
  call D1
  swap-in(B) ←
  Call B2
}
```

δίσκος



- Καταλληλότερο για στατικά δεδομένα
 - υποπρογράμματα

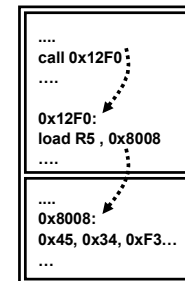
Χώρος διευθύνσεων προγράμματος

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

Ποιες οι διευθύνσεις που δημιουργούσε ο μεταγλωττιστής; Τι συνέβαινε αν το πρόγραμμα δεν φορτωνόταν πάντοτε στον ίδιο χώρο μνήμης;

- Address Space
 - Εκτελούμενο πρόγραμμα στη μνήμη:
 - Διευθύνσεις κώδικα
 - Εντολές διακλάδωσης
 - Διευθύνσεις δεδομένων
 - Εντολές load-store
 - Πριν την εικονική μνήμη:
 - Φυσικές διευθύνσεις
 - Άμεση αντιστοιχία με διευθύνσεις κύριας μνήμης

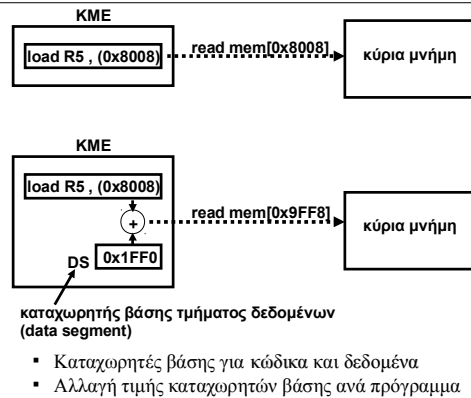
Κύρια μνήμη



Πολυπρογραμματισμός πριν την εικονική μνήμη

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

Χρήση καταχωρητών βάσης (χωρίς άλλη υποστήριξη) σε χαμηλούς κόστους επεξεργαστές (π.χ. Intel 8086).
Διευκόλυνση τοποθέτησης προγραμμάτων οπουδήποτε στη μνήμη.



Μεταβαίνοντας σε εικονικές διευθύνσεις

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

• Το προηγούμενο σχήμα

- Εισήγαγε την αποσύνδεση των λογικών διευθύνσεων των προγραμμάτων από τις φυσικές διευθύνσεις κύριας μνήμης

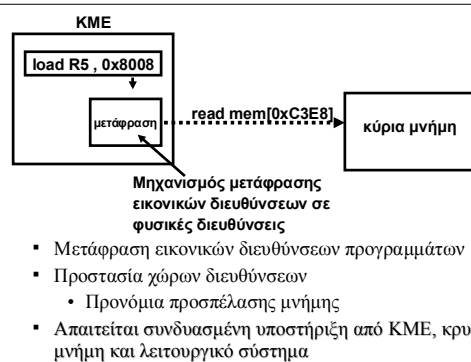
- Με απλή αντιστοιχία:
φυσική διεύθυνση = λογική διεύθυνση + καταχωρητής βάσης

- Απαιτείται υποστήριξη από το υλικό (ΚΜΕ)
- Το πρόγραμμα μπορεί να φορτωθεί σε οποιαδήποτε θέση μνήμης (relocation)
 - Δεν περιέχει αναφορές σε φυσικές διευθύνσεις
- Εισάγεται η έννοια των ξεχωριστών χώρων διευθύνσεων (κώδικα, δεδομένων...) ανά πρόγραμμα
 - χωρίς περαιτέρω υποστήριξη όμως!

Εικονικές Διευθύνσεις

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

Ο κύριος ρόλος της εικονικής μνήμης στα σημερινά υπολογιστικά συστήματα, με την άφθονη κύρια μνήμη, είναι η υποστήριξη και προστασία των εικονικών χώρων διευθύνσεων ανά πρόγραμμα



Η εικονική μνήμη (ξανά)

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

• Ποιος ο ρόλος της;

1. Η χρήση εικονικής μνήμης, πέρα από όση είναι πραγματικά διαθέσιμη
2. Η αντιστοίχιση εικονικών διευθύνσεων σε φυσικές και η διαχείριση των προνομίων προσπέλασης
 - Σημαντικότερο σήμερα!

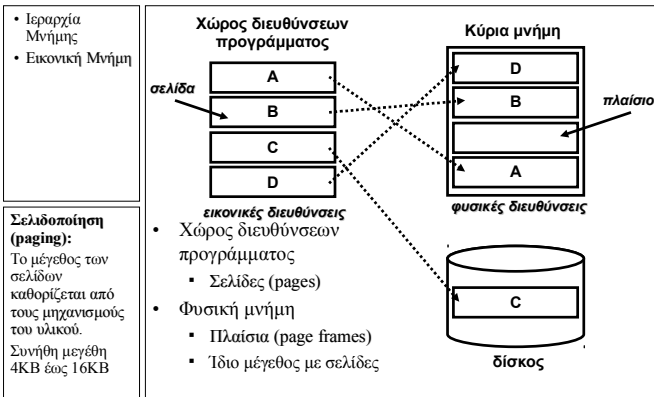
• Ποιος τη διαχειρίζεται;

- Διαχείριση από το λειτουργικό σύστημα
- Υποστήριξη από το υλικό (ΚΜΕ/κρυφή μνήμη)

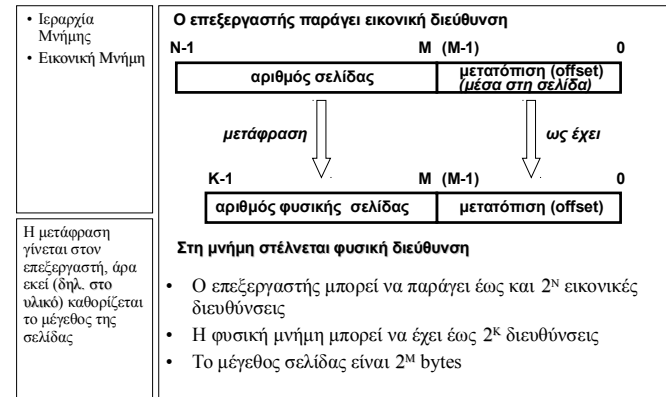
• Πώς υλοποιείται;

- Μετακίνηση τμημάτων μνήμης από/προς τους δίσκους
- Εκμετάλλευση αρχής τοπικότητας
 - Μερικά μέρη μόνο των προγραμμάτων είναι “ενεργά” κάθε στιγμή

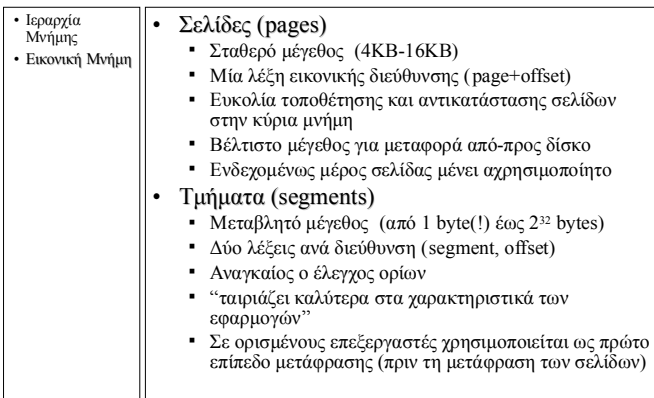
Βασικό σχήμα Εικονικής Μνήμης



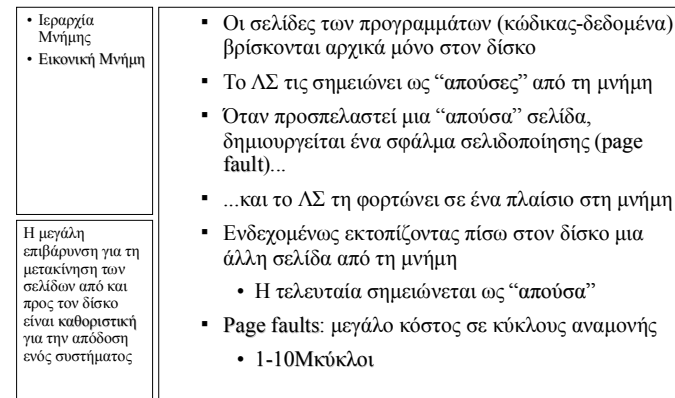
Σελίδες και εικονικές διευθύνσεις



“Σελίδες” και “Τμήματα”



Σελιδοποίηση κατ’απαίτηση



Κρίσιμα σημεία στη σχεδίαση εικονικής μνήμης

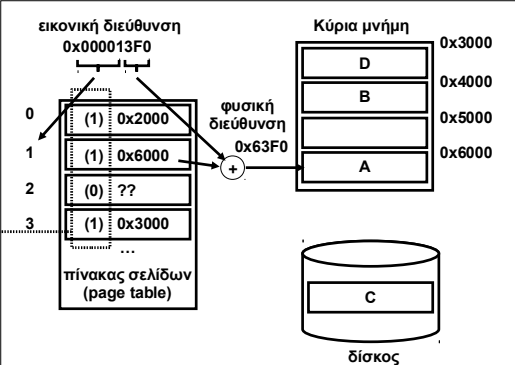
- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

- Οι σελίδες πρέπει να έχουν ικανό μέγεθος
 - Για εξισορρόπηση του κόστους προσπέλασης του δίσκου
- Η μείωση των page faults είναι επιβεβλημένη
 - Οι σελίδες τοποθετούνται οπουδήποτε μέσα στη μνήμη
 - Σχήμα ανάλογο των fully-associative κρυφών μνημών
- Η διαχείριση της εικονικής μνήμης γίνεται από λογισμικό (ΛΣ)
 - Μικρή επιβάρυνση συγκρινόμενη με χρόνο μετακίνησης σελίδων στους δίσκους
 - Δυνατότητα χρήσης πολυπλοκότερων αλγορίθμων για τοποθέτηση-αντικατάσταση σελίδων στη μνήμη
- Δεν είναι δυνατή η ενημέρωση στον δίσκο με κάθε εγγραφή νέων δεδομένων στη σελίδα

Ακόμα και μικρή μείωση στην εμφάνιση page faults μπορεί να έχει σημαντικό όφελος για την απόδοση του συστήματος

Μετάφραση εικονικών διευθύνσεων

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη



Presence bit:
βρίσκεται η σελίδα στην κύρια μνήμη;

Πίνακας σελίδων

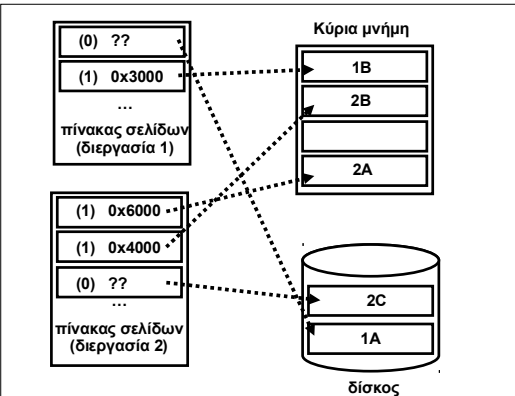
- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

- Πού βρίσκεται;
 - Στην κύρια μνήμη!
- Πόσες θέσεις διαθέτει;
 - Θεωρητικά: ίσες με τον μέγιστο αριθμό σελίδων
 - Για 2⁹ σελίδες με 4 bytes ανά γραμμή, απαιτούνται 4MB
 - Πρακτικά: πίνακες πολλαπλών επιπέδων
 - Πιθανόν: σελιδοποίηση πινάκων (!)
 - Αρκεί να υπάρχει πάντα στη μνήμη ένα μέρος του πίνακα
- Ποια πρόσθετη πληροφορία χρειάζεται;
 - Βρίσκεται η σελίδα στη μνήμη; Έχει αλλάξει;
 - Αν όχι, σε ποιο σημείο του δίσκου είναι;
 - Συχνά η πληροφορία αυτή φυλάσσεται μέσα στον πίνακα σελίδων
 - Ποια σελίδα βρίσκεται σε κάθε πλαίσιο μνήμης;
 - Πόσο πρόσφατα χρησιμοποιήθηκε;
 - Δομές του ΛΣ για αλγόριθμο αντικατάστασης σελίδων

Τι συμβαίνει στην περίπτωση πολλαπλών προγραμμάτων;

Πίνακες σελίδων και πολλαπλά προγράμματα

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη



Κάθε διεργασία έχει τους δικούς του πίνακες σελίδων! Κατά την εναλλαγή διεργασιών αλλάζει και ο καταχωρητής-δείκτης στους πίνακες

Translation-Lookaside Buffer

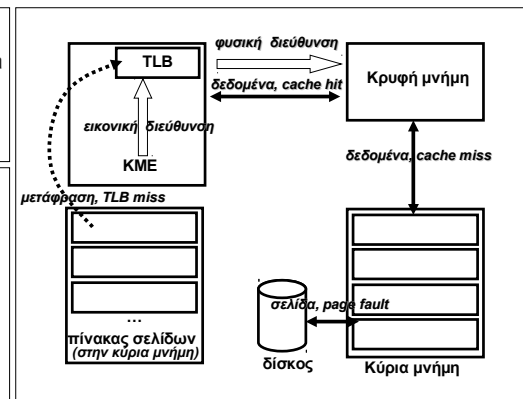
- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

- Το πρόβλημα με τους πίνακες σελίδων
 - Βρίσκονται στην κύρια μνήμη
 - Για κάθε προσπέλαση μνήμης απαιτείται μια δεύτερη!
 - Για τον πίνακα σελίδων
 - Μη αποδεκτή χρονική επιβάρυνση!
- Translation-Lookaside Buffer (TLB)
 - Μικρή “κρυφή μνήμη” για πρόσφατες μεταφράσεις εικονικών διευθύνσεων
 - Μέσα στον επεξεργαστή
 - 16-512 θέσεις, 1-2 γραμμές του πίνακα σελίδων ανά θέση
 - Προσπέλαση < 1 κύκλο ρολογιού
 - Παρατηρούμενο Miss rate: 0.01% - 1%

Προσπέλαση μνήμης: η συνολική εικόνα

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

Στο σχήμα η κρυφή μνήμη δέχεται φυσικές διευθύνσεις. Υπάρχουν αρχιτεκτονικές με εικονική κρυφή μνήμη ή συνδυασμό εικονικής-φυσικής κρυφής μνήμης



Εικονική Μνήμη και Προστασία Προσπέλασης

- Ιεραρχία Μνήμης
- Εικονική Μνήμη

- Προστασία προσπέλασης σελίδων
 - Με διαφορετικούς πίνακες σελίδων ανά διεργασία είναι αδύνατη η προσπέλαση “ξένων” σελίδων
 - Δικαιώματα προσπέλασης ανά σελίδα
 - User mode και Supervisor Mode
 - Σε user mode δεν είναι δυνατή η προσπέλαση του TLB, του πίνακα σελίδων και των αντίστοιχων καταχωρητών συστήματος
 - Υπάρχουν αρχιτεκτονικές με περισσότερα από 2 επίπεδα προνομίων
 - Ελεγχόμενη προσπέλαση συναρτήσεων ΛΣ
 - Call gates: ελεγχόμενη εκτέλεση συναρτήσεων ΛΣ από χρήστη, στο επίπεδο όμως των προνομίων του χρήστη → δεν είναι δυνατή η προσπέλαση “ξένων” δεδομένων!