

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης (Memory Management Hardware)

## Ιστορική αναδρομή

### Πρώτοι υπολογιστές

- μικρή χωρητικότητα μνήμης (κόστος)
- διαίρεση προγραμμάτων
  - σε τμήματα επικάλυψης (overlay segments) που χωρούσαν στη μνήμη (επικάλυψη μνήμης)
- κάθε τμήμα επικάλυψης
  - φορτωνόταν, εκτελούνταν, διάβαζε και φόρτωνε το επόμενο και του μετέφερε τον έλεγχο
- ο προγραμματιστής αποφάσιζε για
  - τη διαίρεση των προγραμμάτων του σε τμήματα (segments)
  - την αποθήκευση των τμημάτων στη βοηθητική μνήμη
  - τη μεταφορά τους από τη βοηθητική στην κύρια μνήμη

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Πρώτοι μικροϋπολογιστές

- σχετικά μεγάλη μνήμη
- μικρό άμεσα προσπελάσιμο μέρος (~ 640 Kb) - γιατί?
- διαίρεση προγραμμάτων σε τμήματα
  - δηλαδή ανεξάρτητα σύνολα υποπρογραμμάτων, π.χ.
    - υποπρογράμματα που δίνουν αρχικές τιμές
    - υποπρογράμματα που εμφανίζουν αποτελέσματα
    - υποπρογράμματα που καλούνται σπάνια (όπως?)
  - τα φωλιασμένα υποπρογράμματα ανήκουν στο ίδιο τμήμα
  - δεν επηρεάζεται η σημασιολογία του προγράμματος
- ειδικές εντολές γλωσσών (π.χ. CHAIN στην BASIC και **segment** στη UCSD Pascal)
- στη μνήμη συνυπήρχε το κύριο πρόγραμμα + κάποιο/α τμήματα
- **ΑΛΛΑ**
  - η διαίρεση σε ανεξάρτητα τμήματα είναι πολύ δύσκολη
    - οι κλήσεις υποπρογραμμάτων εξαρτώνται από τα δεδομένα
  - και πάλι ο προγραμματιστής χρειάζεται να κάνει πολύ δουλειά

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Πρώτα συστήματα πολυπρογραμματισμού

- (κατα)μερισμός μνήμης σε περισσότερα από ένα προγράμματα
- όλα τα προγράμματα δεν μπορούσαν να φορτωθούν ταυτόχρονα
- ανταλλαγή ολόκληρων προγραμμάτων (program swapping) μεταξύ βοηθητικής μνήμης (BM) και κύριας μνήμης (KM)
  - φόρτωση του/των προγράμματος/των μιας διεργασίας από τη BM
  - εκτέλεση
  - τέλος κβάντου χρόνου ή η διεργασία εμποδίζεται
  - αποθήκευση του/των προγράμματος/των της διεργασίας στη BM
  - φόρτωση του/των προγράμματος/των της επόμενης διεργασίας στην KM
- ταυτόχρονη εκτέλεση (αν υπήρχε αρκετή μνήμη)
  - της ανταλλαγής προγραμμάτων
  - και της εκτέλεσης άλλων διεργασιών

## Μειονεκτήματα ανταλλαγής προγραμμάτων

- Τα προγράμματα και όλα τα υποπρογράμματά τους φορτώνονται μαζί τη μνήμη
  - Συνήθως εκτελείται ένα υποσύνολο των υποπρογραμμάτων
  - άσκοπη χρήση μνήμης
- Μεγάλος χρόνος επιβάρυνσης

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Στόχοι συστημάτων πολυπρογραμματισμού

### 1. Δυναμική Μεταθεσιμότητα (Dynamic Relocatability)

- γρήγορη τοποθέτηση των προγραμμάτων
- σε διαφορετικές θέσεις της μνήμης
- βελτιστοποίηση χρήσης της διαθέσιμης μνήμης

### 2. Προστασία (Protection)

- ακεραιότητα των διεργασιών
- απαγόρευση αλλαγής περιεχόμενων θέσεων της μνήμης που δεν ανήκουν στο χώρο των διευθύνσεών τους

### 3. Εικονική ή Λογική Μνήμη (Virtual or Logical Memory)

- Λογική αφαίρεση - διεύρυνση φυσικής μνήμης
- απαλλάσσει τους χρήστες τον περιορισμό χωρητικότητας της φυσικής μνήμης

### 4. Λογική Οργάνωση/Διαίρεση των Προγραμμάτων

- Σε τμήματα-δομοενότητες (modules)
- Με ανεξαρτησία μετάφρασης, προστασίας και (κατα)μερισμού

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Αναφορά διεύθυνσης μέσω καταχωρητή βάσης (base register addressing)

- Υλισμικό: καταχωρητής βάσης (Base Register, BR)

- Τελική διεύθυνση εντολής αναφοράς στη μνήμη:

$$[\text{MAR}] = [\text{πεδίου διεύθυνσης IR (εντολής)}] + [\text{BR}]$$

(βλ. Τόμο I Κεφ. 3.5)

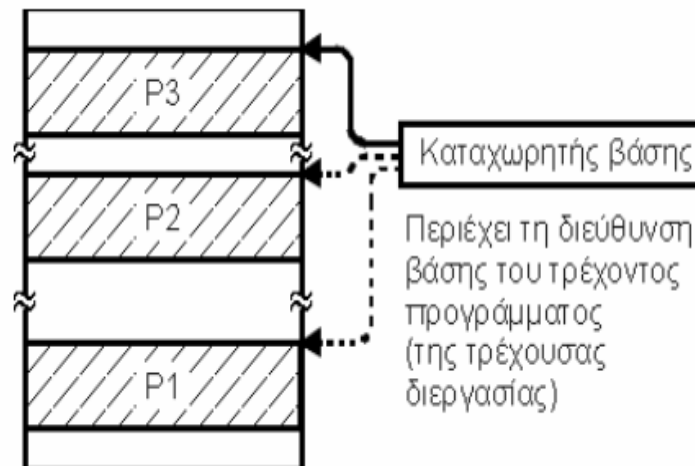
## Δυναμική μετάθεση (dynamic relocation) των προγραμμάτων!

- Μεταγλώττιση ως προς τη διεύθυνση 0 της μνήμης
- Φόρτωση (δυναμική) σ' οποιαδήποτε διεύθυνση της μνήμης (διεύθυνση βάσης)
- ΑΡΚΕΙ να αποθηκευτεί η διεύθυνση αυτή στον BR
- Ο δυναμικός φορτωτής δε χρειάζεται ν' αλλάξει τα πεδία διεύθυνσης των εντολών αναφοράς στη μνήμη

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Αναφορά διεύθυνσης μέσω καταχωρητή βάσης

- Τα περιεχόμενα των BRs φυλάσσονται στο περιβάλλον/περιγραφητή των διεργασιών
- Περισσότεροι από ένας BRs (κώδικα, δεδομένων, στοίβας, ...), π.χ. στους 8086 και 80286: 4 BRs
- Εντολή φόρτωσης του BR με μία διεύθυνση βάσης
  - Προνομιούχος ή μέρος μιας άλλης προνομιούχου εντολής



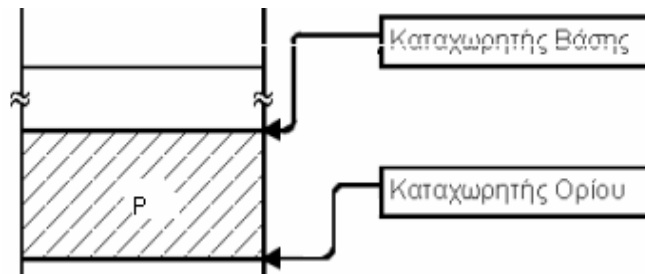
- **Δεν προσφέρει καμία προστασία!**

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Αναφορά διεύθυνσης μέσω καταχωρητών βάσης και ορίου

- BR + καταχωρητής ορίου (Limit Register, LR)
  - περιέχει τη μέγιστη διεύθυνση του τμήματος ή
- BR + καταχωρητής μήκους (Length Register, LeR)
  - περιέχει το μήκος του τμήματος
- Τελική διεύθυνση εντολής αναφοράς στη μνήμη:

$$[\text{MAR}] = [\text{πεδίο διεύθυνσης IR}] + [\text{BR}]$$



# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Αναφορά διεύθυνσης μέσω καταχωρητών βάσης και ορίου

Σύγκριση [MAR] ~ [LR] ή σύγκριση [πεδίο διεύθυνσης IR ] ~ [LeR]

```
if ([πεδίο διεύθυνσης IR (εντολής)] + [BR] > [LR])  
// ή if ([πεδίο διεύθυνσης IR (εντολής)] > [LeR])  
    σήμανε παγίδα_παραβίασης_της_μνήμης  
                                                (memory_violation_trap);  
else [MAR] = [πεδίο διεύθυνσης IR ] + [BR];
```

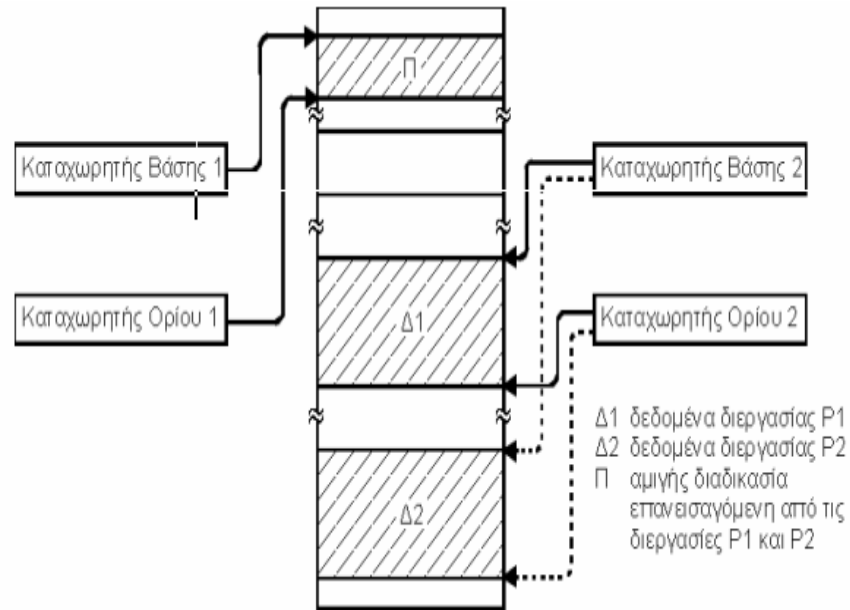
- Προσφέρει προστασία!
- 80286: 4 LRs
- 80386: 6 καταχωρητές (επιλογέων) τμημάτων και ιεραρχικός μηχανισμός προστασίας

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Αναφορά διεύθυνσης μέσω καταχωρητών βάσης και ορίου

Με δύο ζεύγη καταχωρητών βάσης και ορίου (ή μήκους)

- Εύκολη υλοποίηση επανεισαγόμενων προγραμμάτων (αμιγών διαδικασιών)



Εκτέλεση P1 —————

Εκτέλεση P2 - - - - -

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Αναφορά διεύθυνσης μέσω καταχωρητών βάσης και ορίου

- Ο μεταγλωττιστής /συμβολομεταφραστής δημιουργεί
  - Τμήμα(τα) κώδικα (Π)
  - Τμήμα(τα) δεδομένων (Δ)
- Κάθε διεργασία έχει το/τα δικό/ά της τμήμα/τα δεδομένων
- Το τμήμα κώδικα μιας αμιγούς διαδικασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλές διεργασίες
- *Το μέγεθος της εικονικής μνήμης είναι αναγκαστικά μικρότερο από το τη χωρητικότητα της φυσικής μνήμης (δεν παρέχει εικονική μνήμη)*

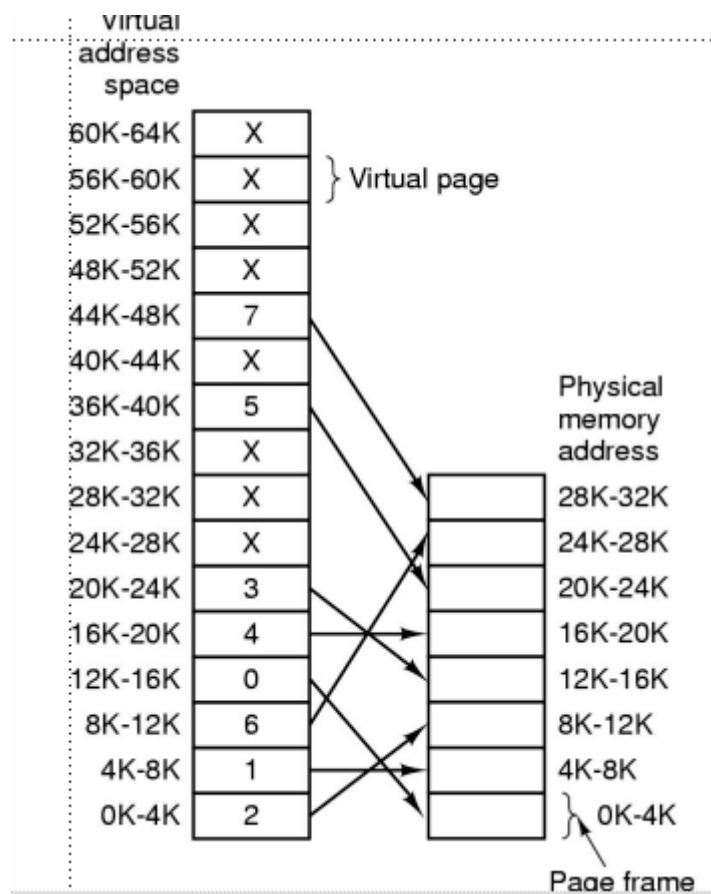
# Υλισμικό διαχείρισης μνήμης

## Σελιδοποίηση (Paging)

- Η κύρια μνήμη (χώρος φυσικών διευθύνσεων) είναι χωρισμένη σε ισομεγέθεις περιοχές γνωστές ως **πλαίσια σελίδων (page frames)**
- Τα προγράμματα των διεργασιών (χώρος εικονικών διευθύνσεων) είναι διηρημένα σε **σελίδες (pages)** του ίδιου μεγέθους γνωστού ως *μεγέθους σελίδας (page size)* ίσου με το μέγεθος των πλαισίων της μνήμης, έτσι ώστε κάθε στιγμή:
  - μερικές από τις σελίδες αυτές να είναι ενεργές (active), δηλαδή να βρίσκονται στην κύρια μνήμη, ενώ
  - οι υπόλοιπες να είναι μη ενεργές (inactive), δηλαδή να βρίσκονται στη βοηθητική μνήμη. Έτσι:
- ***Προσφέρει Εικονική Μνήμη***

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση



# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση

- Το πεδίο διεύθυνσης εντολών αναφοράς στη μνήμη θεωρείται διηρημένο σε:

αριθμός σελίδας (p)	αριθμός λέξης (w)
---------------------	-------------------

πσδ

λσδ

- Απομόνωση των p και w από το υλισμικό
- Πίνακας Σελίδων (Page Table, PT) για κάθε διεργασία**
  - Στοιχείο πίνακα = περιγραφητής σελίδας (page descriptor)
    - δυφίο παρουσίας (present bit) στην κύρια μνήμη
    - διεύθυνση της σελίδας στη μνήμη (κύρια/βοηθητική)
    - άλλα δυφία (προστασίας, χρήσης, ...)

present_bit	address	...	...
-------------	---------	-----	-----

- Αποθηκεύεται (η βάση του) στο περιβάλλον/περιγραφητή της διεργασίας
- Καταχωρητής Πίνακα Σελίδων (Page Table Register, PTR)**
  - περιέχει τη διεύθυνση βάσης του πίνακα των σελίδων της τρέχουσας διεργασίας

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση



- Τελική διεύθυνση εντολής αναφοράς στη μνήμη:

```
if ([[PTR] + p].δυσφίο_παρουσίας == 1)
  [MAR] = [[PTR] + p].διεύθυνση (πλαισίου) + w;
else σήμανε διακοπή_σφάλματος_σελίδας
                                     (page_fault_interrupt);
```

- Μπορεί να προσφέρει και προστασία

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση

- **Διακοπή σφάλματος σελίδας (page fault)**
  - εξυπηρετείται από την αντίστοιχη διαδικασία εξυπηρέτησης του πυρήνα
  - που αφυπνίζει το διαχειριστή της μνήμης. Αυτός:
    - αποφασίζει ποια από τις σελίδες στην κύρια μνήμη θα αντικατασταθεί (αν δεν υπάρχει κενό πλαίσιο)
    - αποθηκεύει τη σελίδα αυτή στη βοηθητική μνήμη (αν έχει αλλοιωθεί από τότε που φορτώθηκε)
    - φορτώνει τη ζητούμενη σελίδα από τη βοηθητική στην κύρια μνήμη
    - ενημερώνει τον πίνακα σελίδων της διεργασίας
  - συνεχίζεται η εκτέλεση της διεργασίας

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση

### Μειονέκτημα

- χρειάζονται δύο προσπελάσεις για την κάθε αναφορά στη μνήμη
  - μία προσπέλαση για τον πίνακα των σελίδων, και
  - μία για την τελική διεύθυνση

**Λύση:** συνειρμικοί καταχωρητές ή καταχωρητές συσχέτισης (associative registers, ASRs):

- περιέχουν αντίγραφα των περιγραφητών των σελίδων της *τρέχουσας διεργασίας* στις οποίες έγιναν οι πιο πρόσφατες αναφορές
- αυτόματη (από το υλισμικό) σύγκριση του  $p$  με τους αριθμούς των σελίδων που περιέχονται στους ASRs (caching)
  - βρέθηκε
    - αποφυγή της προσπέλασης του πίνακα σελίδων
    - οι περισσότερες αναφορές γίνονται στις σελίδες που έχουν προσπελαστεί πρόσφατα
  - δε βρέθηκε
    - προσπέλαση πίνακα των σελίδων της διεργασίας, όπως παραπάνω

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση

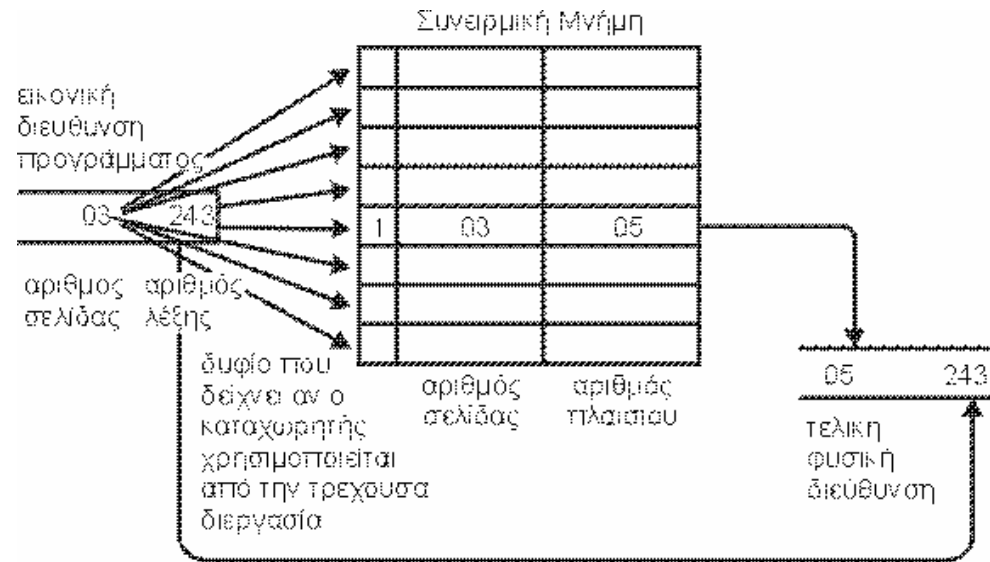
### Συνειρμικοί καταχωρητές

- Διανομή νέας διεργασίας
  - Διαγραφή περιεχομένων ASRs (αναφέρονται σε άλλη διεργασία)
  - **Πρόβλημα:** Καθυστέρηση διανομής
  - **Λύση:** κάθε ASR περιέχει είτε
    - ένα δυφίο που υποδεικνύει της διεργασίας (τρέχουσα/μη τρέχουσα) είτε
    - ένα πεδίο ταυτότητας της διεργασίας στην οποία ανήκει η σελίδα
- συνήθως 8-16 ASRs αρκούν

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση

## Συνειρμικοί καταχωρητές



```
if (βρέθηκε)
```

```
[MAR] := [ASR].διεύθυνση (πλαisiou) + w;
```

```
else // !βρέθηκε
```

```
if ([[PTR] + p].δυfio_παρουσίας == 1)
```

```
{ [[ PTR] + [επόμενος_ASR].αριθμός_σελίδας] =
```

```
    [επόμενος_ASR]; // επόμενος συνειρμικός καταχωρητής
```

```
[επόμενος_ASR] = [[PTR] + p]; // συνήθως
```

```
    // κυκλική φόρτωση των καταχωρητών
```

```
[MAR] := [επόμενος_ASR]. διεύθυνση (πλαisiou)
```

**+ w };**

else σήμανε σφάλμα\_σελίδας (page\_fault);

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση

### Συνειρμικοί καταχωρητές

- **Διακοπή σφάλματος σελίδας (page fault)**
  - εξυπηρετείται από την αντίστοιχη διαδικασία εξυπηρέτησης του πυρήνα
  - αφυπνίζεται ο διαχειριστής μνήμης
    - Αποφασίζει ποια από τις σελίδες στην κύρια μνήμη θα αντικατασταθεί (αν δεν υπάρχει κενό πλαίσιο)
    - Αποθηκεύει τη σελίδα αυτή στη βοηθητική μνήμη
    - προσκομίζει τη ζητούμενη σελίδα από τη βοηθητική μνήμη
    - ενημερώνει τον πίνακα σελίδων της διεργασίας

- ενημερώνει τους ASRs:
    - αποθηκεύει τα περιεχόμενα του επόμενου συνειρμικού καταχωρητή στον αντίστοιχο περιγραφητή του πίνακα σελίδων της διεργασίας
    - φορτώνει στον επόμενο συνειρμικό καταχωρητή τον περιγραφητή της διεργασίας

- συνεχίζει η εκτέλεση της διεργασίας

## Υλοποίηση

- **Μονάδα Διαχείρισης Μνήμης (Memory Management Unit, MMU)** μεταξύ ΚΜΕ και κύριας μνήμης για την απεικόνιση των εικονικών διευθύνσεων σε φυσικές. Αποτελεί μέρος του ημιαγωγικού πλινθίου της ΚΜΕ (CPU chip)

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Σελιδοποίηση

### Κριτική

- Επιτυχία τριών από τους τέσσερις στόχους
  - Δυναμική μεταθεσιμότητα
  - Προστασία
  - Εικονική μνήμη
- Σελίδες κώδικα επανεισαγόμενων προγραμμάτων
  - Δυνατότητα (κατα)μερισμού τους από πολλές διεργασίες
- **Πρόβλημα**
  - Η τελευταία σελίδα των προγραμμάτων πιθανώς δεν καλύπτει πλήρως το πλαίσιο της φυσικής μνήμης που την φιλοξενεί. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **εσωτερικός θρυμματισμός (internal fragmentation)**
  - Μικρός βαθμός χρήσης μνήμης
- **Λύση**
  - Λογική οργάνωση προγραμμάτων σε δομοενότητες διαφορετικού μεγέθους, δηλαδή *Τεμαχισμός (Segmentation)*

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Τεμαχισμός (Segmentation)

- Είναι η λογική οργάνωση/διαίρεση του εικονικού χώρου διευθύνσεων του προγράμματος σε (λογικά) τμήματα *διαφορετικού μεγέθους* που αντιστοιχούν στις (λογικές) *δομοενότητες (modules)* του προγράμματος
  - ομάδες υποπρογραμμάτων
  - ομάδες δομών δεδομένων
  - δεν καταλαμβάνουν συνεχόμενο χώρο στη μνήμη
  - δε βρίσκονται όλα ταυτόχρονα στη μνήμη
- **Υλοποίηση:** πολλοί καταχωρητές βάσης και ορίου

# Υλισμικό διαχείρισης μνήμης

## Τεμαχισμός

- **Πίνακας Τμημάτων (Segment Table, ST) για κάθε διεργασία**
  - **Στοιχείο ST = Περιγραφητής Τμήματος (Segment Descriptor)**
    - διεύθυνση βάσης στην κύρια ή στη βοηθητική μνήμη
    - το όριο (ή το μήκος) του
    - δυφίο παρουσίας του στην κύρια μνήμη (present\_bit)
    - δυφίο (κατα)μερισμού του (sharing\_bit)
    - δυφία προσπέλασης του (access\_bits)
    - Άλλα δυφία
      - Προσπέλασης μέχρι τώρα
      - Τροποποίησης ( αν έχει “λερωθεί”)
      - κ.ά.
- Ο ST (η βάση του) φυλάσσεται στο περιβάλλον/περιγραφητή κάθε διεργασίας
- **Καταχωρητής Πίνακα Τμημάτων (Segment Table Register, STR)**
  - φορτώνεται με τη διεύθυνση βάσης του πίνακα τμημάτων της τρέχουσας διεργασίας

# Υλισμικό διαχείρισης μνήμης

## Τεμαχισμός

- Εικονικές διευθύνσεις

αριθμός τμήματος (s)	αριθμός λέξης (w)
πσδ	λσδ

- Τελική διεύθυνση αναφοράς στη μνήμη

```
if (βρέθηκε) [MAR] := [ASR].address + w
else // !βρέθηκε
    if ([[STR] + s]. δυφίο_παρουσίας == 0) σήμανε
        σφάλμα_τμήματος (segment_fault);
    else
        { [[STR] + [επόμενος_ASR].αριθμός_τμήματος] =
            [επόμενος_ASR];
          [επόμενος_ASR] = [[STR] + s];
          if ([ASR].βάση + w > [ASR].όριο)
              σήμανε_σφάλμα_παραβίασης_της_προστασίας
              (protection_violation_fault);
          else [MAR] = [ASR].βάση + w }
```

- σφάλμα\_τμήματος (segment\_fault): διακοπή τμήματος, προσκομίζεται το ζητούμενο τμήμα στη μνήμη

- αν το ζητούμενο τμήμα δε χωράει στη μνήμη, τότε
  - ανταλλαγή (swapping) ολόκληρων τμημάτων μεταξύ της κύριας και της βοηθητικής μνήμης

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Τεμαχισμός

- Όπως στη σελιδοποίηση
- Σελίδα ~ Τμήμα
- Τμήματα: φορτωμένα σ' οποιοδήποτε σημείο της μνήμης
- Προστασία: καταχωρητής ορίου
- Συνειρμικοί καταχωρητές

## Εύκολη υλοποίηση (κατα)μερισμού τμημάτων (έστω ένα τμήμα $S$ )

- ο περιγραφητής του  $S$  περιλαμβάνεται στον πίνακα τμημάτων των διεργασιών που το μοιράζονται
- ειδικό δυφίο (κατα)μερισμού = 1
- διαφορετικά δυφία πρόσβασης
  - μια διεργασία μπορεί να έχει δικαίωμα εγγραφής στο  $S$
  - οι υπόλοιπες διεργασίες έχουν μόνο δικαίωμα ανάγνωσης

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Τεμαχισμός

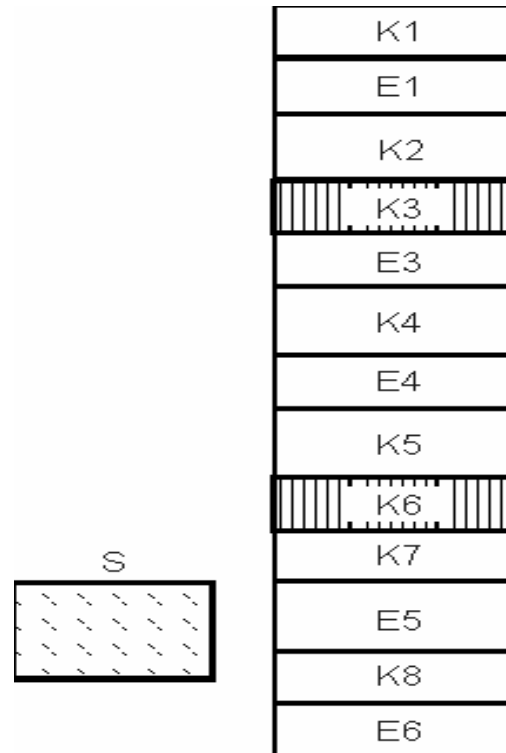
### Μειονέκτημα

- ανταλλαγή τμημάτων διαφορετικού μεγέθους
- όταν συμβεί σφάλμα τμήματος τότε ολόκληρο το τμήμα πρέπει να μεταφερθεί από τη βοηθητική μνήμη στην κύρια μνήμη
- το κάθε τμήμα καταλαμβάνει μία συνεχόμενη περιοχή στη μνήμη
- εμφάνιση πολλών κενών περιοχών στη μνήμη (empty/free holes). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **εξωτερικός θρυμματισμός (external fragmentation)**

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

Τεμαχισμός

Εξωτερικός θρυμματισμός



K: κατειλημμένες περιοχές μνήμης

E: ελεύθερες περιοχές μνήμης

το τμήμα  $S$  δεν χωράει στη μνήμη, αν και  $\sum E_i > S$

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Τεμαχισμός

### Εξωτερικός Θρυμματισμός

#### Λύση

- μετάθεση/αντιγραφή των K2 ως K8
- μία ελεύθερη περιοχή και μία συνεχόμενη κατειλημμένη περιοχή στα αντίθετα άκρα της μνήμης. Η τεχνική αυτή ονομάζεται **συμπύκνωση (compaction)** ή “**αποκομιδή απορριμμάτων**” (**garbage collection**)
  - χρονοβόρα
  - μόνο σε υπολογιστές που διαθέτουν ειδικό υλισμικό αντιγραφής μεγάλης ταχύτητας

# Υλισμικό διαχείρισης μνήμης

## Τεμαχισμός με Σελιδοποίηση (Paged Segmentation)

- χρησιμοποιείται σήμερα στους περισσότερους υπολογιστές
- κύρια μνήμη → ισομεγέθη πλαίσια
- εικονική μνήμη → τμήματα/δομοενότητες διαφορετικού μεγέθους
- τμήμα → ισομεγέθεις σελίδες με μέγεθος ίσο με τα πλαίσια της μνήμης
- **Για κάθε διεργασία**
  - πίνακας (η βάση του) τμημάτων
  - φυλάσσεται στον περιγραφητή της διεργασίας
- **Για κάθε τμήμα**
  - δικός του πίνακας σελίδων
- **Στοιχείο πίνακα τμημάτων**
  - περιέχει τη βάση του πίνακα σελίδων του τμήματος (αντί της βάσης του τμήματος όπως στον τεμαχισμό)

# Υλισμικό διαχείρισης μνήμης

## Τεμαχισμός με σελιδοποίηση

- Εικονικές διευθύνσεις

Αριθμός τμήματος (s)	Αριθμός λέξης (w)	
	Αριθμός σελίδας (p)	Αριθμός λέξης (w')

πσδ

λσδ

# Υλισμικό διαχείρισης μνήμης

## Τεμαχισμός με σελιδοποίηση

Τελική διεύθυνση αναφοράς στη μνήμη:



# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

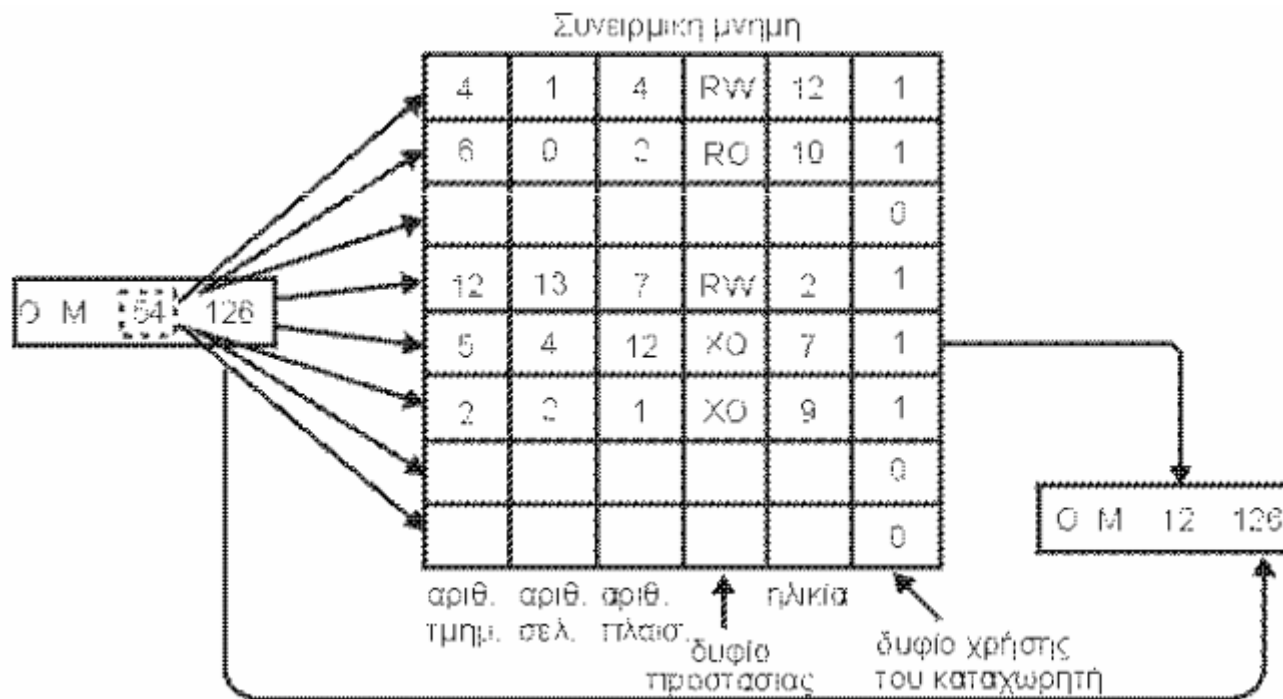
## Τεμαχισμός με σελιδοποίηση

πίνακας των τμημάτων: στην κύρια μνήμη

- πίνακας σελίδων: στη κύρια ή βοηθητική μνήμη
- πίνακας τμημάτων, πίνακας σελίδων: πιθανώς σελιδοποιημένοι
- Επιπλέον διακοπές
- Τρεις αναφορές?
  - **Συνειρμικοί καταχωρητές**
    - περιέχουν τους αριθμούς των τμημάτων και τους αριθμούς των σελίδων τους που έχουν πρόσφατα προσπελαστεί
    - (αριθμός τμήματος, αριθμός σελίδας)
      - αριθμός πλαισίου της μνήμης, που περιέχει τη ζητούμενη σελίδα

# Υλισμικό Διαχείρισης Μνήμης

## Τεμαχισμός με σελιδοποίηση



- ηλικία: δείχνει πόσο πρόσφατα έχει προσπελαστεί μια σελίδα