

## Διαχείριση Ε/Ε Δρομολόγηση Δίσκου

**Ανδρέας Λ. Συμεωνίδης**

Αν. Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχ/κών  
&

Μηχ/κών Υπολογιστών, Α.Π.Θ.

**Email:** [asymeon@eng.auth.gr](mailto:asymeon@eng.auth.gr)



# Στόχοι της Δ-10

- Να συζητήσει αυτό που ως τώρα θεωρείται «εξωτερικό»
- Να διαχωρίσει τις συσκευές E/E σε κατηγορίες
- Να κάνει μια αναφορά στον τρόπο οργάνωσης των λειτουργιών E/E
- Να συζητήσει το θέμα του ενδιάμεσου αποθηκευτικού χώρου των συσκευών E/E
- Να παρουσιάσει τις βασικές αρχιτεκτονικές αποθήκευσης πληροφορίας
- Να ορίσει τα κριτήρια που καθορίζουν την επίδοση των μεθόδων διαχείρισης E/E (έτσι όπως τα αντιλαμβάνεται ο χρήστης)



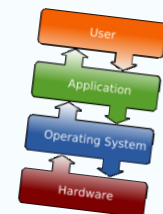
# Κατηγορίες συσκευών Ε/Ε

- Αναγνώσιμες από άνθρωπο
  - Κατάλληλες για την επικοινωνία με τον χρήστη
  - Εκτυπωτής, πληκτρολόγιο, ποντίκι κτλ.
- Αναγνώσιμες από μηχανή
  - Κατάλληλες για την επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό
  - Δίσκοι, συσκευές USB, ελεγκτές, αισθητήρες κτλ.
- Συσκευές Επικοινωνίας
  - Κατάλληλες για την επικοινωνία με απομακρυσμένες συσκευές
  - Routers, extenders κτλ.



# Διαφορές ανάμεσα στις κατηγορίες συσκευών Ε/Ε

- Ρυθμός δεδομένων (Data rate)
  - Διαφορές στην τάξη μεγέθους στους ρυθμούς δεδομένων ανάμεσα στις διαφορετικές κατηγορίες συσκευών
- Χρηστικότητα (Application)
  - Ο δίσκος που χρησιμοποιείται για αποθήκευση αρχείων απαιτεί λογισμικό διαχείρισης αρχείων
  - Ο δίσκος που χρησιμοποιείται για αποθήκευση σελίδων ιδεατής μνήμης απαιτεί ειδικό υλικό και λογισμικό
- Πολυπλοκότητα ελέγχου (Complexity of control)

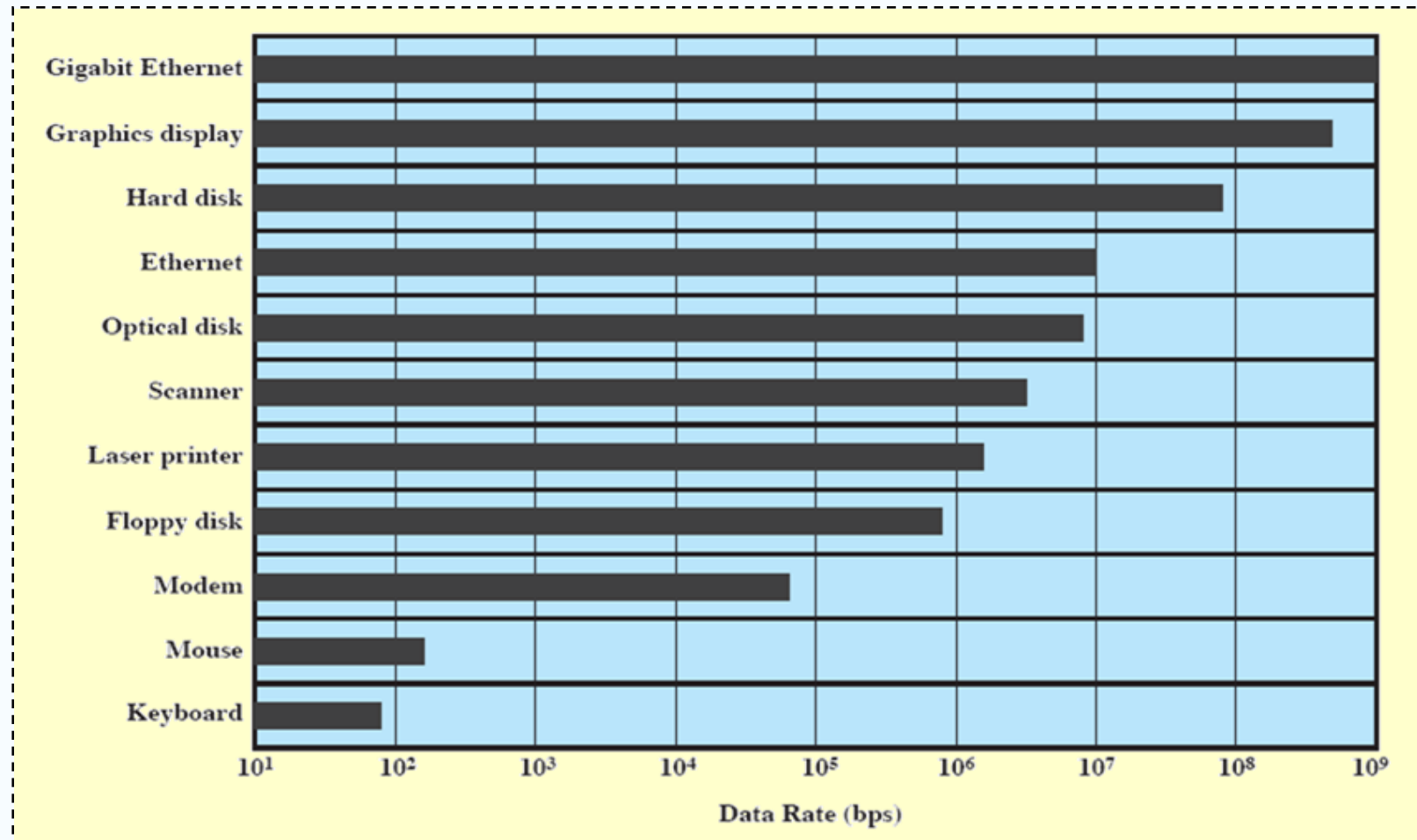


# Διαφορές ανάμεσα στις κατηγορίες συσκευών E/E (συν.)

- Μονάδα Μεταφοράς (Unit of transfer)
  - Τα δεδομένα μπορούν να μεταφέρονται ως ένα stream από bytes (σε ένα τερματικό) ή ως μεγαλύτερα blocks (σε έναν δίσκο)
- Αναπαράσταση δεδομένων (Data representation)
  - Διαφορετικές τεχνικές κωδικοποίησης
- Συνθήκες σφαλμάτων (Error conditions)
  - Διαφορετική απόκριση συσκευών στα εκάστοτε λάθη



# Ρυθμοί Δεδομένων Συσκευών Ε/Ε



# Εκτελώντας Ε/Ε

- Προγραμματισμένη Ε/Ε (Programmed I/O)
  - Η διεργασία είναι σε κατάσταση ‘busy-waiting’ μέχρι να ολοκληρωθεί η λειτουργία
- Ε/Ε καθοδηγούμενη από Διακοπές (Interrupt-driven I/O)
  - Μια εντολή Ε/Ε εκδίδεται
  - Ο επεξεργαστής συνεχίζει να εκτελεί ακολουθίες εντολών και διακόπτεται από τη μονάδα Ε/Ε, όταν αυτή ολοκληρώσει την εργασία της
- Άμεση Προσπέλαση Μνήμης (Direct Memory Access – DMA)
  - Η μονάδα DMA ελέγχει την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στην κύρια μνήμη και τη συσκευή Ε/Ε
  - Ο επεξεργαστής διακόπτεται μόνο όταν ολόκληρο το block δεδομένων έχει μεταφερθεί



# Τεχνικές Ε/Ε

	Χωρίς Διακοπές	Χρήση Διακοπών
Μεταφορά από Ε/Ε στη μνήμη μέσω της ΚΜΕ	Προγραμματισμένη Ε/Ε	Ε/Ε καθοδηγούμενη από διακοπές
Άμεση μεταφορά από την Ε/Ε στη μνήμη		Άμεση πρόσβαση στη μνήμη (DMA)





# Εξέλιξη της λειτουργίας E/E

- Ο επεξεργαστής ελέγχει άμεσα μια περιφερειακή συσκευή
- Προστίθεται ένας ελεγκτής ή μια μονάδα E/E
  - Ο επεξεργαστής χρησιμοποιεί προγραμματισμένη E/E χωρίς διακοπές
  - Ο επεξεργαστής απαλλάσσεται από τις λεπτομέρειες διαχείρισης των εξωτερικών συσκευών
- Ελεγκτής ή μονάδα E/E με διακοπές
  - Ο επεξεργαστής δεν ξοδεύει χρόνο περιμένοντας να εκτελεστεί μια λειτουργία E/E



# Εξέλιξη της λειτουργίας E/E (συν.)

- Άμεση Προσπέλαση Μνήμης
  - Τμήματα δεδομένων μετακινούνται στη μνήμη χωρίς να εμπλέκουν τον επεξεργαστή
  - Ο επεξεργαστής εμπλέκεται στην αρχή και το τέλος της διαδικασίας
- Η μονάδα E/E αποτελεί ξεχωριστό επεξεργαστή
- Επεξεργαστής E/E
  - Η μονάδα E/E έχει τη δική της τοπική μνήμη
  - Πρακτικά, αποτελεί έναν αυτόνομο υπολογιστή

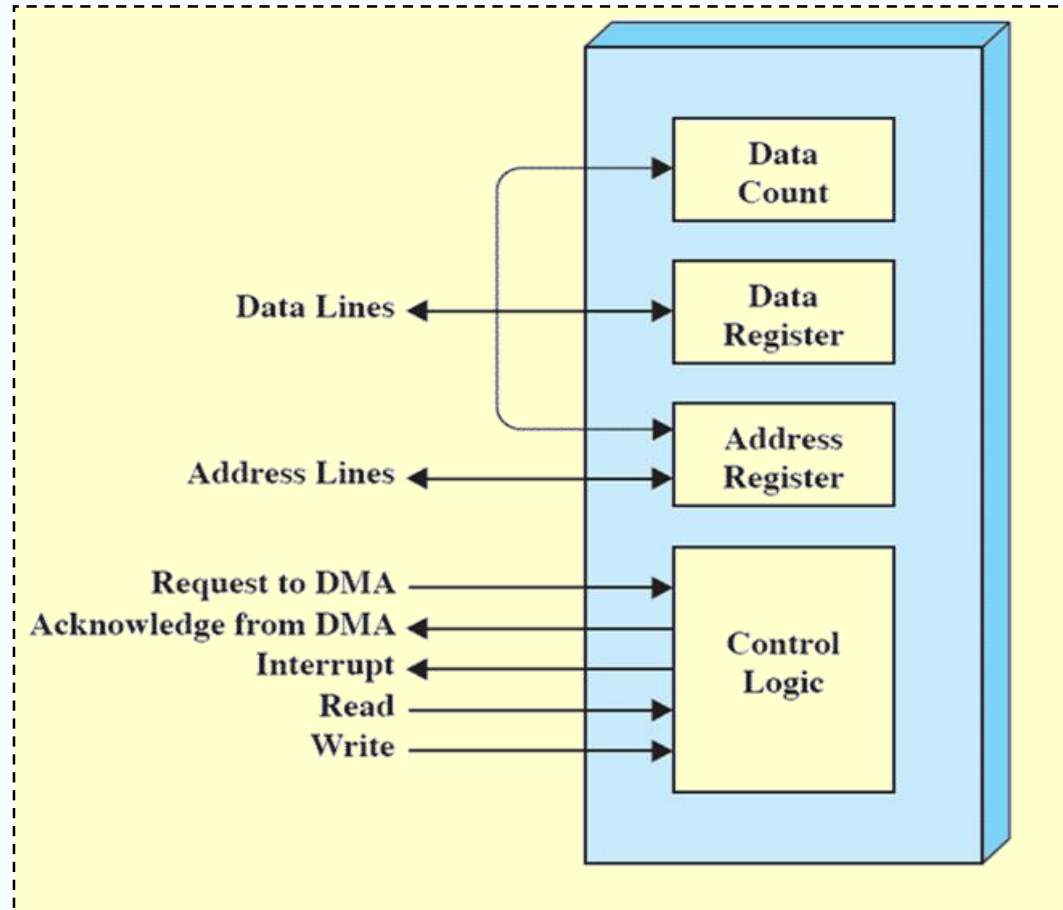


# Άμεση Προσπέλαση Μνήμης (DMA)

- Ο επεξεργαστής μεταθέτει την ευθύνη λειτουργίας Ε/Ε στη μονάδα DMA
- Η μονάδα DMA μεταφέρει τα δεδομένα άμεσα από και προς τη μνήμη
- Όταν ολοκληρώνεται η διαδικασία, η μονάδα DMA στέλνει ένα σήμα διακοπής στον επεξεργαστή

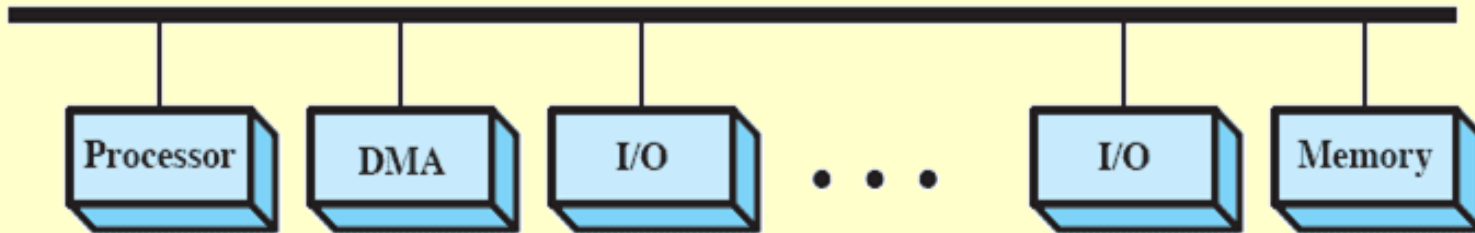


# DMA

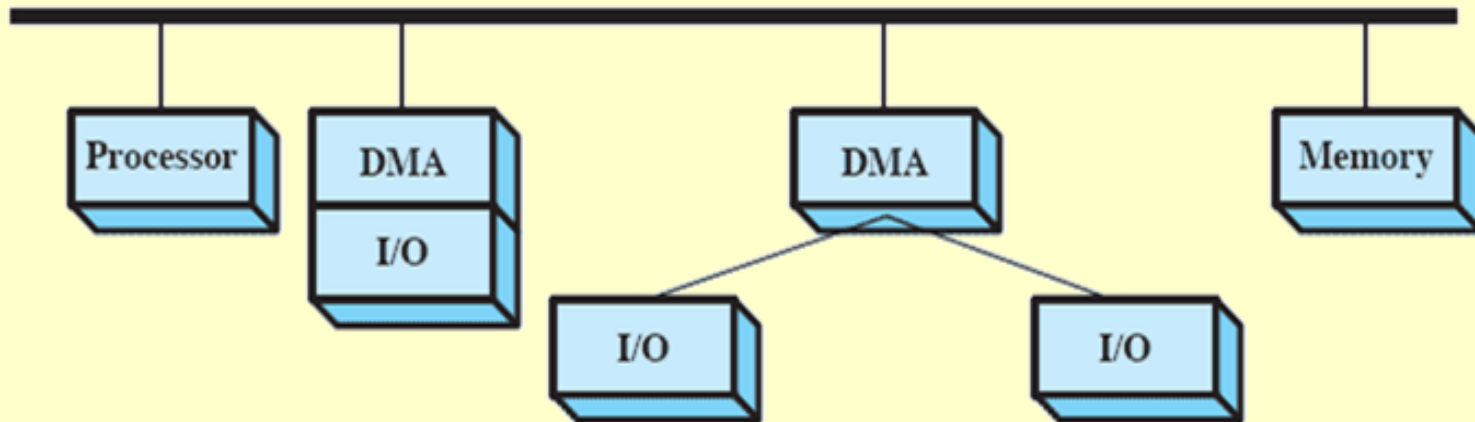


# Αρχιτεκτονικές DMA

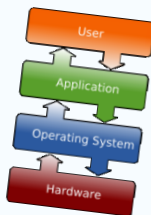
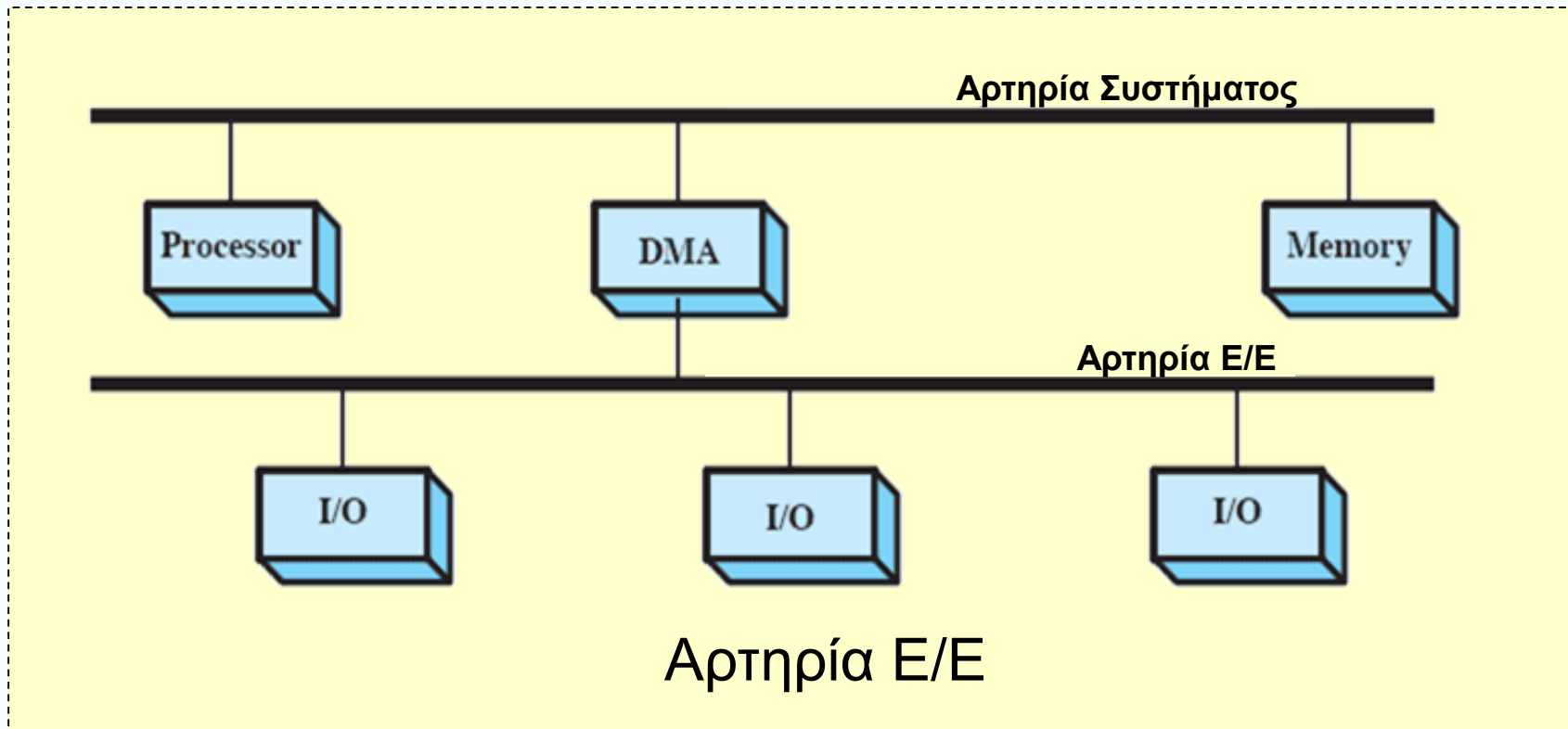
Μοναδική αρτηρία, ανεξάρτητη μονάδα DMA



Μοναδική αρτηρία, ενοποιημένη μονάδα DMA – E/E



# Αρχιτεκτονικές DMA (συν.)



# Θέματα σχεδίασης του ΛΣ

## □ Αποδοτικότητα (Efficiency)

- Οι περισσότερες συσκευές E/E είναι υπερβολικά αργές σε σύγκριση με την κύρια μνήμη
- Ο πολύ-προγραμματισμός επιτρέπει ορισμένες διεργασίες να περιμένουν για E/E, ενώ μια άλλη διεργασία εκτελείται
- Η E/E δεν μπορεί να ακολουθήσει την ταχύτητα του επεξεργαστή
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλαγή για να αυξήσει τον αριθμό των “Έτοιμων” διεργασιών που είναι E/E

## □ Γενικότητα (Generality)

- Είναι επιθυμητή η διαχείριση όλων των συσκευών E/E με έναν κοινά αποδεκτό τρόπο
- Αποσιωπεί τις περισσότερες λεπτομέρειες των συσκευών E/E από τις ρουτίνες χαμηλότερου επιπέδου



# Ενδιάμεση αποθήκευση E/E

- Λόγοι ενδιάμεσης αποθήκευσης
  - Οι διεργασίες πρέπει να περιμένουν να ολοκληρωθεί η λειτουργία E/E για να συνεχίσουν
  - Ορισμένες σελίδες πρέπει να παραμείνουν στην κύρια μνήμη κατά τη διάρκεια E/E
- Προσανατολισμένες σε Block (Block-oriented)
  - Η πληροφορία αποθηκεύεται σε blocks σταθερού μεγέθους
  - Οι μεταφορές γίνονται ένα block τη φορά
  - Χρησιμοποιείται σε δίσκους και συσκευές USB
- Προσανατολισμένες σε ροή (Stream-oriented)
  - Η πληροφορία μεταφέρεται ως ροή από bytes
  - Χρησιμοποιείται σε τερματικά, εκτυπωτές, θύρες επικοινωνιών





# Μονός αποθηκευτικός χώρος (Single Buffer)

- Το ΛΣ ορίζει έναν buffer στην κύρια μνήμη για ένα αίτημα E/E
- Προσανατολισμένες σε Block
  - Τροφοδότηση ως είσοδος των μεταφορών που έγιναν στον buffer
  - Μετακίνηση του block στον χώρο χρήστη όποτε χρειάζεται
  - Τροφοδότηση ενός νέου block στο buffer
    - ◆ Επόμενη ανάγνωση (Read ahead)
  - Η διεργασία χρήστη μπορεί να επεξεργάζεται ένα block δεδομένων, ενώ διαβάζει ένα άλλο
  - Εναλλαγή μπορεί να συμβεί, καθώς η ανάγνωση συμβαίνει στη μνήμη συστήματος, όχι τη μνήμη χρήστη
  - Το ΛΣ κρατά αρχείο του ορισμού buffers συστήματος σε διεργασίες χρηστών

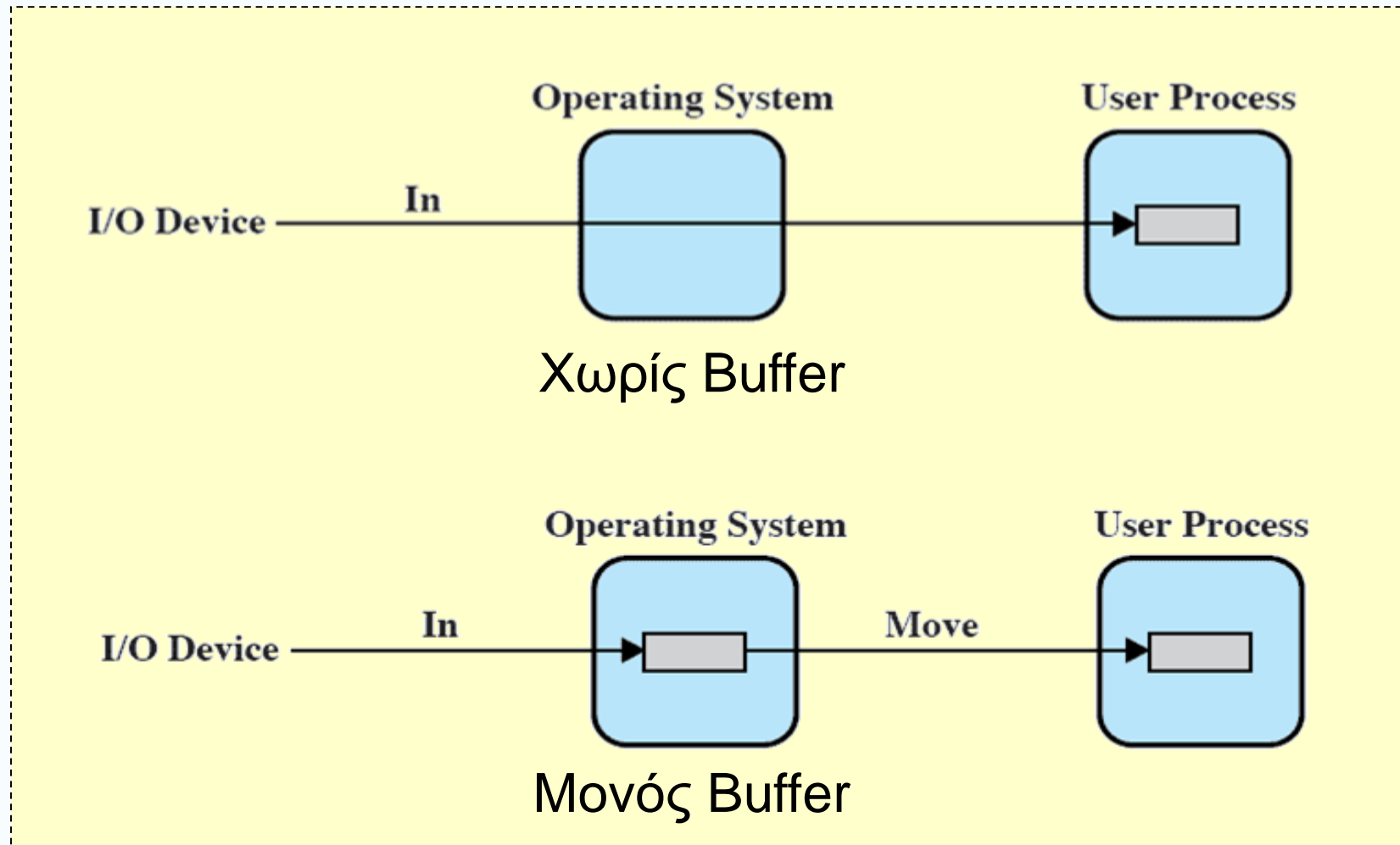


# Μονός αποθηκευτικός χώρος (συν.)

- Προσανατολισμένες σε ροή
  - Χρησιμοποιείται μια γραμμή τη φορά
  - Η είσοδος του χρήστη από το τερματικό γίνεται γραμμή-γραμμή, με τον χαρακτήρα εναλλαγής γραμμής (carriage return) να σηματοδοτεί το τέλος της σειράς
  - Η έξοδος στο τερματικό είναι μια γραμμή τη φορά

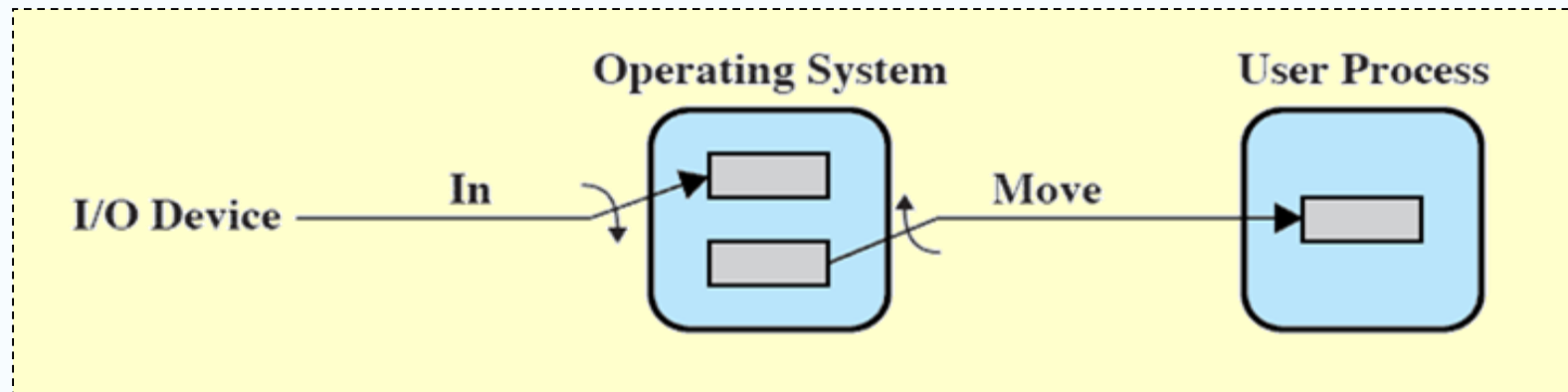


# Μονός αποθηκευτικός χώρος (συν.)



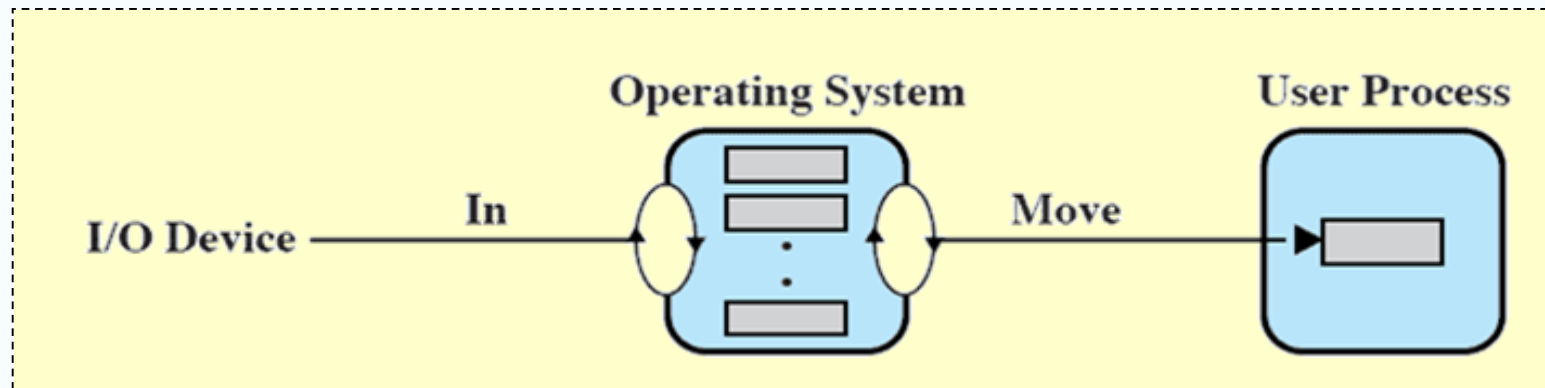
# Διπλός αποθηκευτικός χώρος (Double Buffer)

- Χρήση δυο buffers
- Μια διεργασία μπορεί να μεταφέρει δεδομένα από ή προς ένα buffer, ενώ το ΛΣ αδειάζει ή γεμίζει το άλλο buffer



# Κυκλικός αποθηκευτικός χώρος (Circular Buffer)

- ❑ Περισσότεροι buffers μπορούν να χρησιμοποιηθούν
- ❑ Κάθε buffer είναι μια μονάδα σε έναν κυκλικό buffer
- ❑ Χρησιμοποιείται όταν οι λειτουργίες Ε/Ε πρέπει να προφταίνουν τη διαδικασία

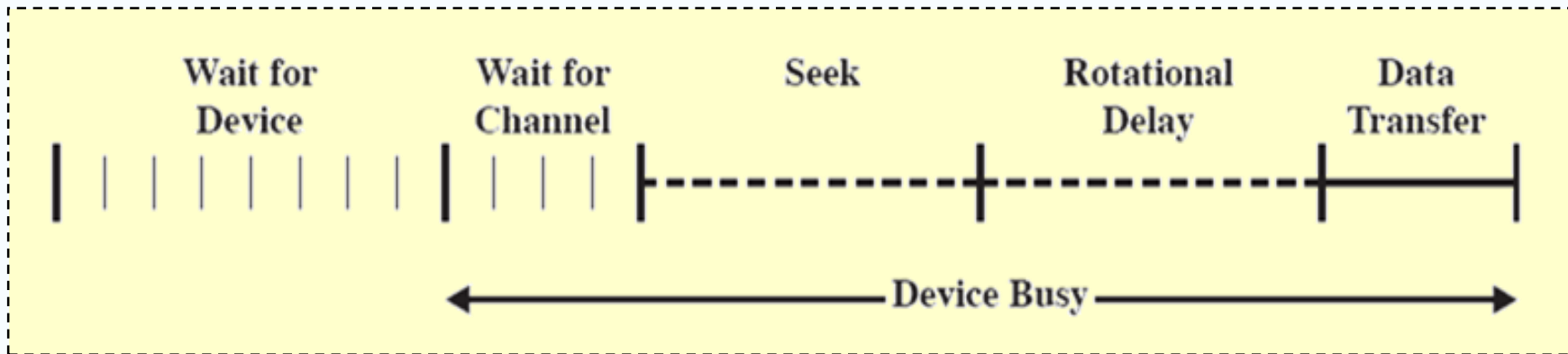


# Παράμετροι επίδοσης δίσκου

- Για την εγγραφή ή ανάγνωση, η κεφαλή του δίσκου πρέπει να βρίσκεται τοποθετημένη στην επιθυμητή άτρακτο (track) και στην αρχή του επιθυμητού τομέα (sector) της ατράκτου
- Χρόνος αναζήτησης (Seek time)
  - Ο χρόνος που χρειάζεται για να τοποθετηθεί η κεφαλή στην επιθυμητή άτρακτο
- Καθυστέρηση περιστροφής (Rotational delay ή rotational latency)
  - Ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει η αρχή του τομέα της ατράκτου στη θέση της κεφαλής



# Χρονισμός Μεταφοράς Ε/Ε στο Δίσκο



# Παράμετροι επίδοσης δίσκου (συν.)

- Χρόνος προσπέλασης (Access time)
  - $\text{Access time} = \text{Seek time} + \text{Rotational delay}$
  - Ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει στη θέση ανάγνωσης/εγγραφής
- Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται όσο ο τομέας κινείται κάτω από την κεφαλή





# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου

- Ο χρόνος αναζήτησης αποτελεί τον κύριο λόγο διαφοροποίησης της επίδοσης
- Σε σύστημα με ένα δίσκο, υπάρχει ένας αριθμός αιτήσεων E/E
- Αν οι αιτήσεις επιλέγονται τυχαία, η επίδοση είναι κακή



# Παράδειγμα 1

- Έστω δίσκος με 40 ατράκτους. Αίτηση για ανάγνωση μπλόκ στην άτρακτο 11. Αναζήτηση του 11 και παράλληλη άφιξη αιτήσεων για ατράκτους 1, 36, 16, 34, 9, 12.
- FCFS => μετακίνηση κατά 111 ατράκτους
- SSF (Shortest Seek First)=>61 ατράκτους



# Παράδειγμα 2

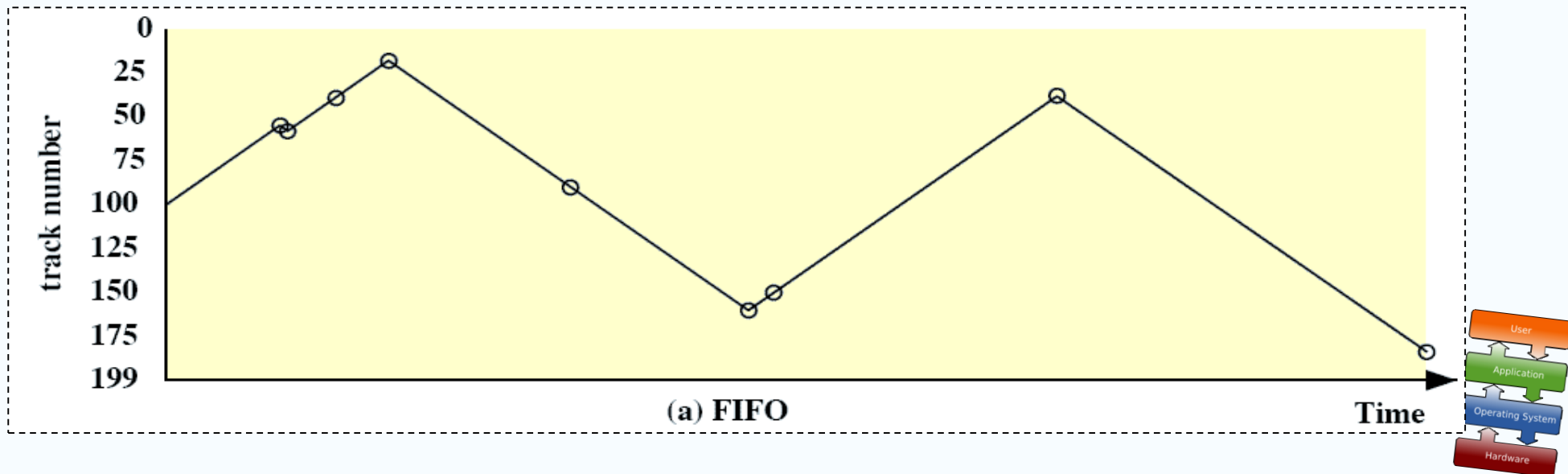
- Έστω δίσκος με 200 ατράκτους. Ξεκινά από το μπλοκ 100. Άφιξη αιτήσεων για ατράκτους 55, 58, 39, 18, 90, 160, 150, 38, 184.
- Ανάλογα με την πολιτική δρομολόγησης δίσκου, τα αποτελέσματα φαίνονται στις επόμενες διαφάνειες



# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου (συν.)

## □ Πρώτη-μέσα-πρώτη-έξω (FIFO)

- Ακολουθιακή επεξεργασία των αιτημάτων
- Δίκαιο για όλες τις διεργασίες
- Πλησιάζει σε επίδοση την τυχαία δρομολόγηση στην περίπτωση που υπάρχουν πολλές διεργασίες



# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου (συν.)

## □ Προτεραιότητα

- Ο στόχος **δεν** είναι να βελτιστοποιηθεί η χρήση του δίσκου
- Οι μικρές μαζικές εργασίες (batch jobs) μπορούν να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα
- Στόχος είναι να παρέχεται καλός αλληλεπιδραστικός χρόνος απόκρισης



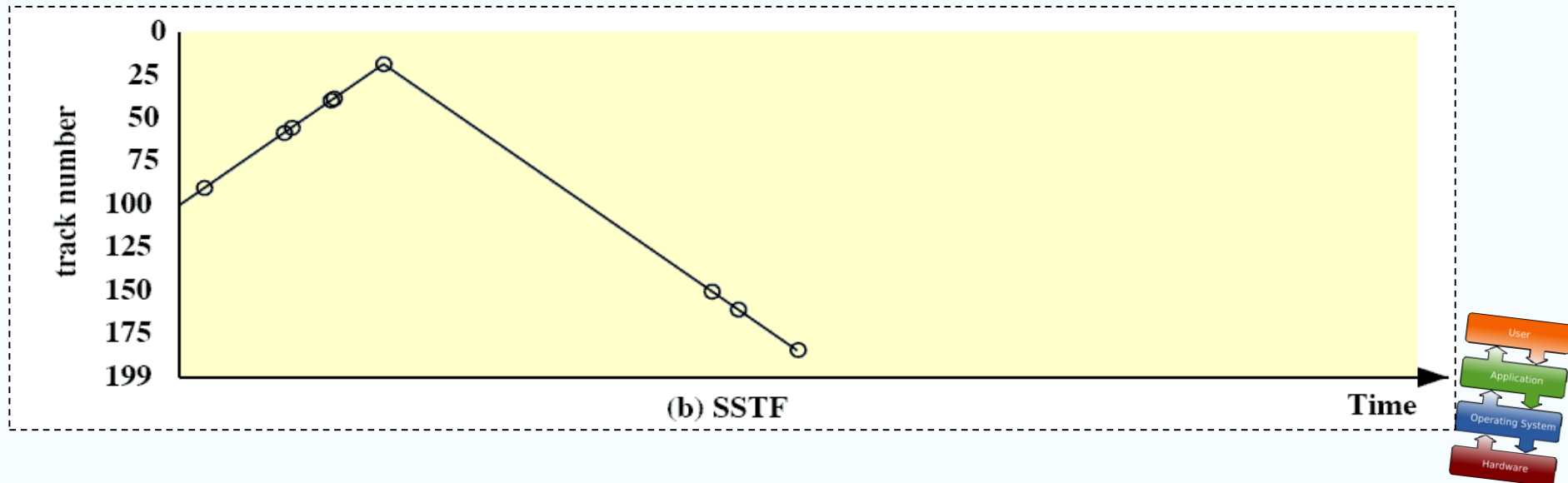
# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου (συν.)

- Τελευταία-μέσα-πρώτη-έξω (LIFO)
  - Καλή προσέγγιση για συστήματα επεξεργασίας συναλλαγών
    - ◆ Η συσκευή αναθέτεται στον πιο πρόσφατο χρήστη, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κίνηση του βραχίονα
  - Υπάρχει πιθανότητα παρατεταμένης στέρξης



# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου (συν.)

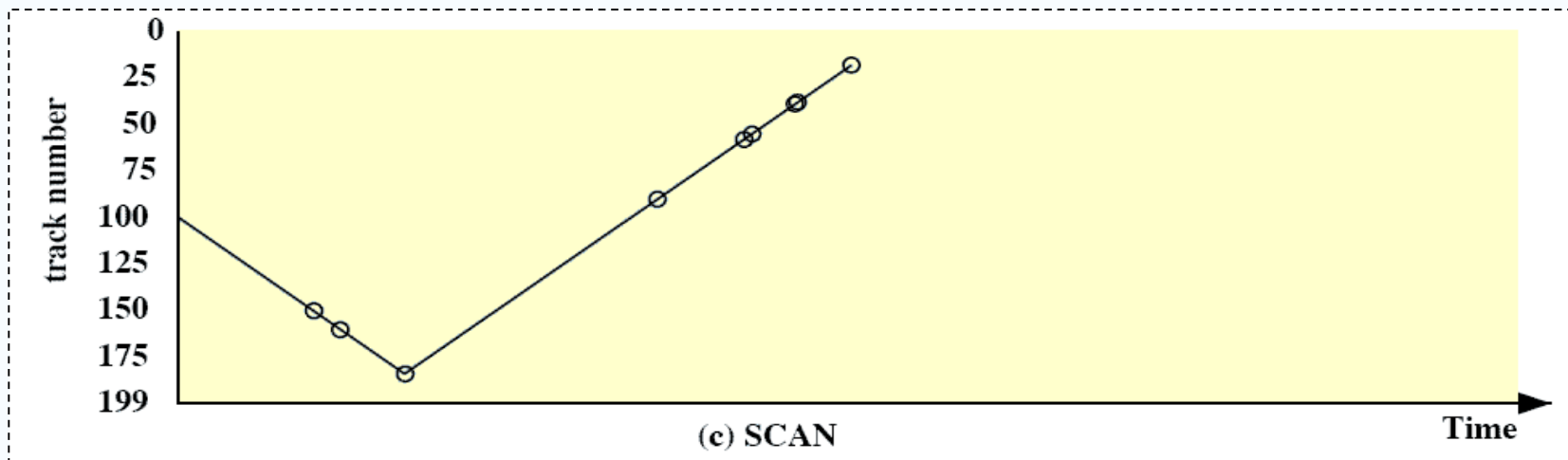
- Ο Μικρότερος Χρόνος Εξυπηρέτησης Πρώτα (Shortest Service Time First)
  - Επιλογή του αιτήματος Ε/Ε που απαιτεί την ελάχιστη κίνηση του βραχίονα του δίσκου από την τρέχουσα θέση
  - Πάντα επιλέγεται ο ελάχιστος χρόνος αναζήτησης



# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου (συν.)

## □ SCAN

- Ο βραχίονας κινείται μόνο προς μια κατεύθυνση, ικανοποιώντας όλα τα αιτήματα μέχρι να φτάσει στην τελευταία άτρακτο σε αυτή την κατεύθυνση
- Στη συνέχεια η κατεύθυνση αλλάζει

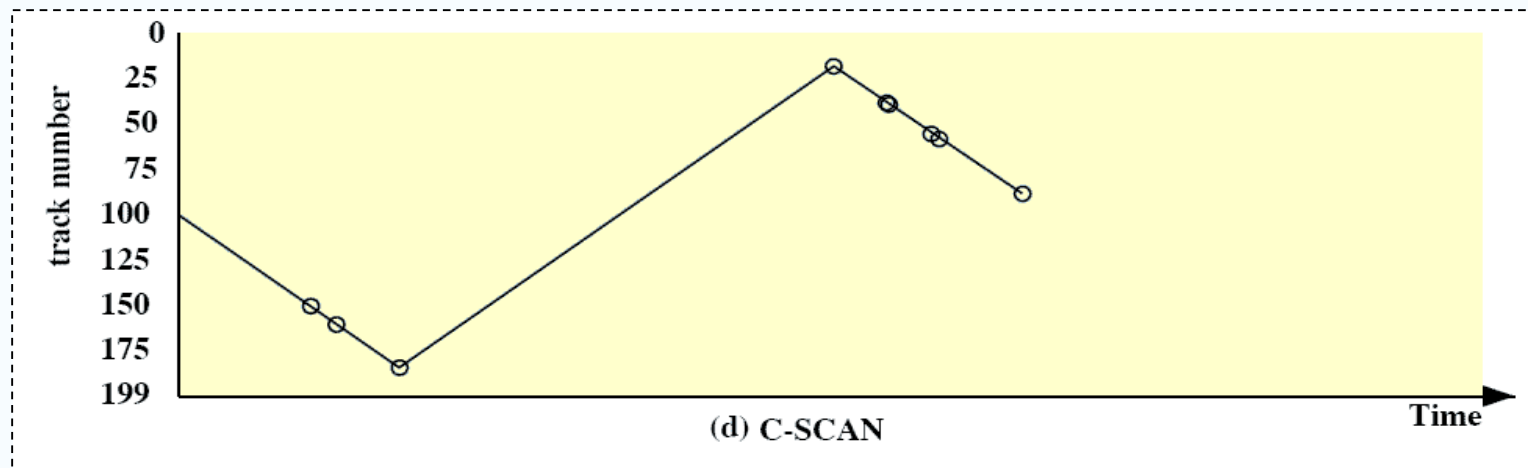




# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου (συν.)

## □ C-SCAN

- Περιορίζει την ανίχνευση προς μια κατεύθυνση μόνο
- Όταν η τελευταία άτρακτος προσπελαστεί, ο βραχίονας επιστρέφει στην αρχική θέση και η αναζήτηση αρχίζει ξανά



# Πολιτικές Δρομολόγησης Δίσκου (συν.)

## □ N-step-SCAN

- Τμηματοποιεί την ουρά αιτημάτων δίσκου σε υπο-ουρές μήκους N
- Οι υπο-ουρές επεξεργάζονται μια τη φορά, με τη χρήση του SCAN
- Τα νέα αιτήματα προστίθενται σε άλλες ουρές, όταν γίνεται επεξεργασία μιας

## □ FSCAN

- Δυο υπο-ουρές
- Η μια είναι άδεια για να δέχεται νέα αιτήματα

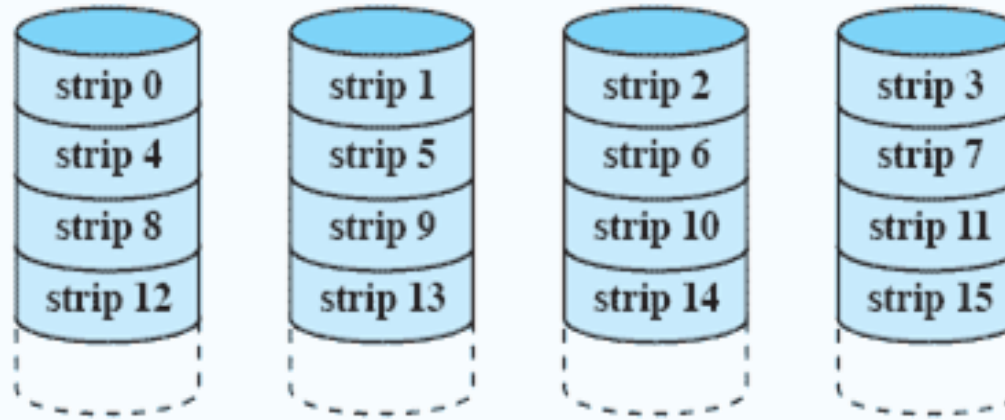


- ❑ Συστοιχία πλεοναζόντων ανεξάρτητων δίσκων (Redundant Array of Independent Disks – RAID)
- ❑ Μια ομάδα από φυσικούς δίσκους, η οποία γίνεται αντιληπτή από το ΛΣ ως ένας (όχι πάντα) λογικός δίσκος
- ❑ Τα δεδομένα κατανέμονται στους φυσικούς δίσκους της συστοιχίας
- ❑ Η πλεονάζουσα χωρητικότητα των δίσκων χρησιμοποιείται για την αποθήκευση πληροφοριών ισοτιμίας (parity information)

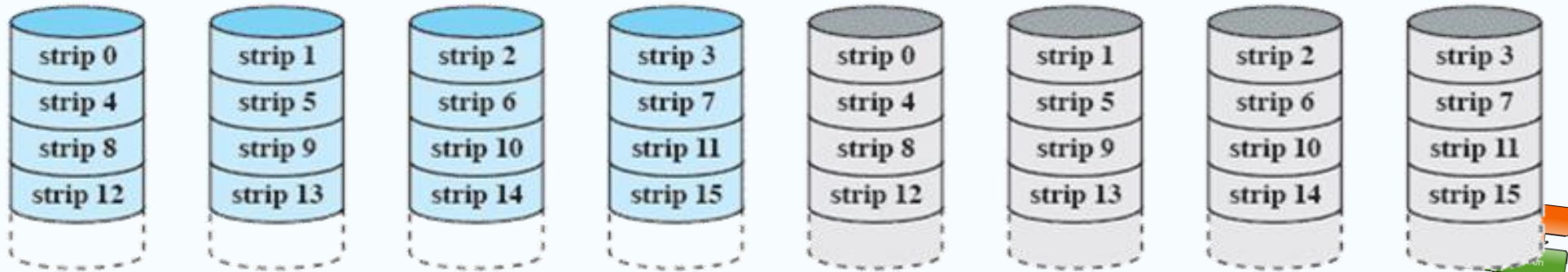


# RAID-0 (Μη πλεονάζων)

$$Pr(atleast\ one\ fails) = 1 - Pr(neither\ fails) = 1 - (1 - 0.05)^2 = 0.0975 = 9.75\%$$



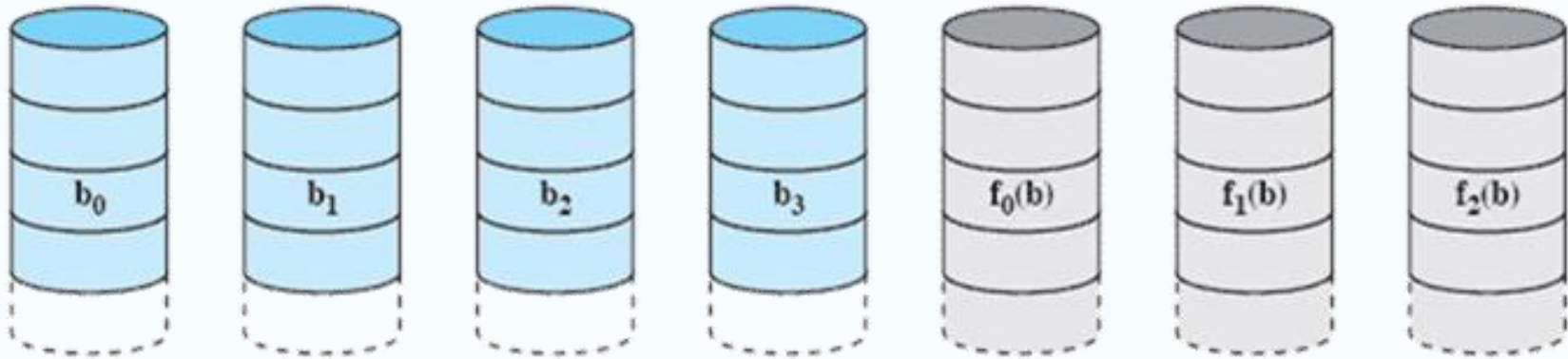
# RAID-1 (Καθρεπτιζόμενο – mirrored)



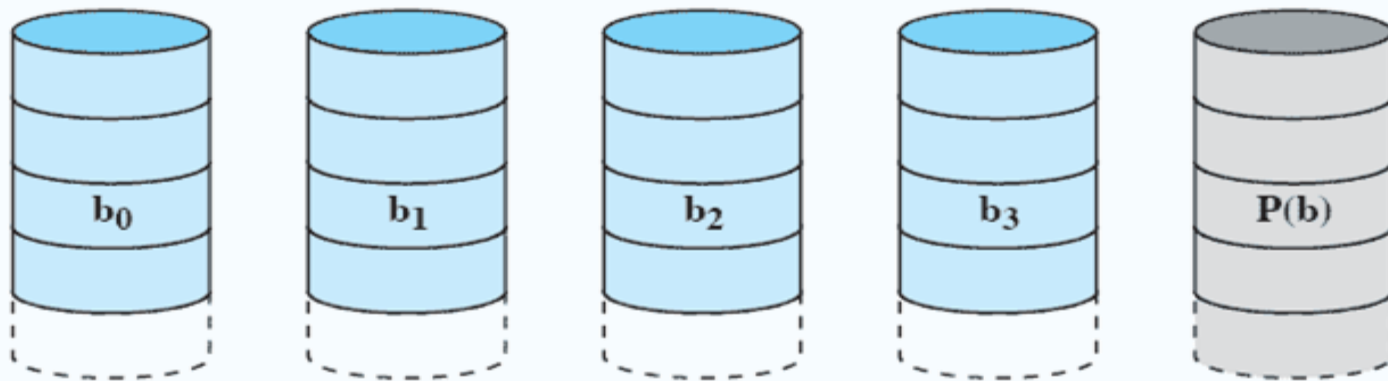
$$P(both\ fail) = (0.05)^2 = 0.0025 = 0.25\%$$



# RAID-2 (Πλεονασμός μέσω κώδικα Hamming)

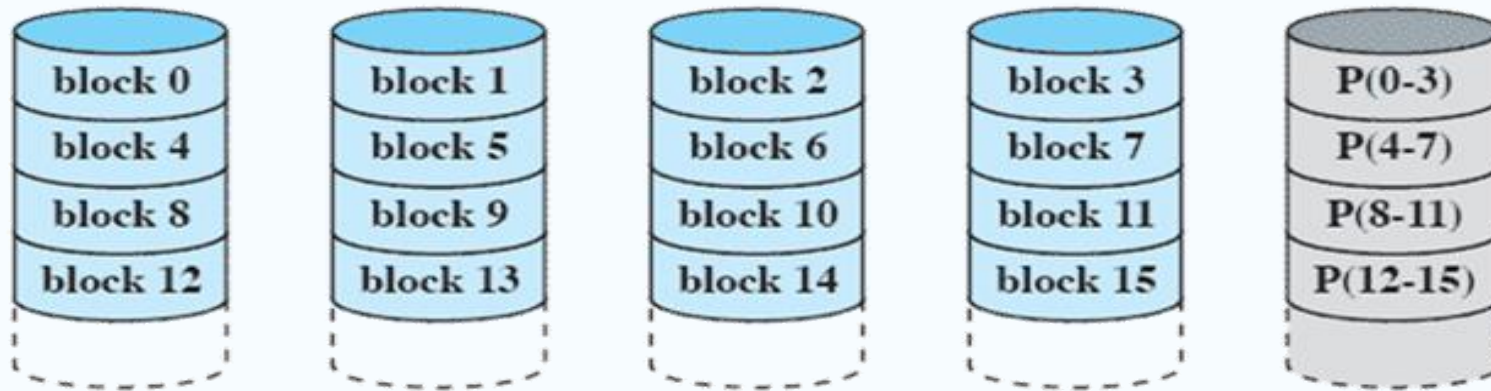


## RAID-3 (Ισοτιμία bit παρεμβολής)



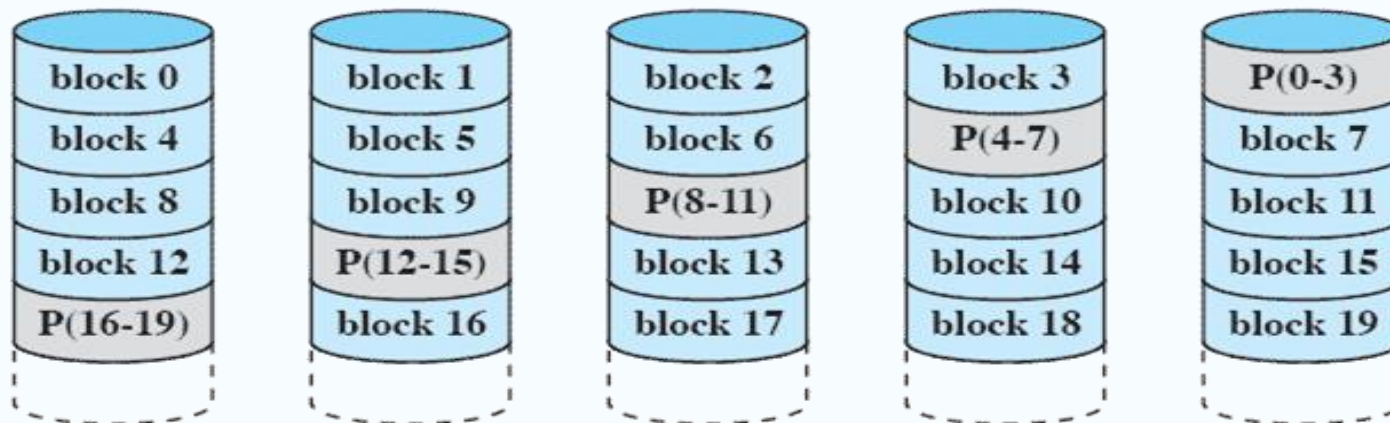
# RAID-4

(Ισοτιμία επιπέδου block)

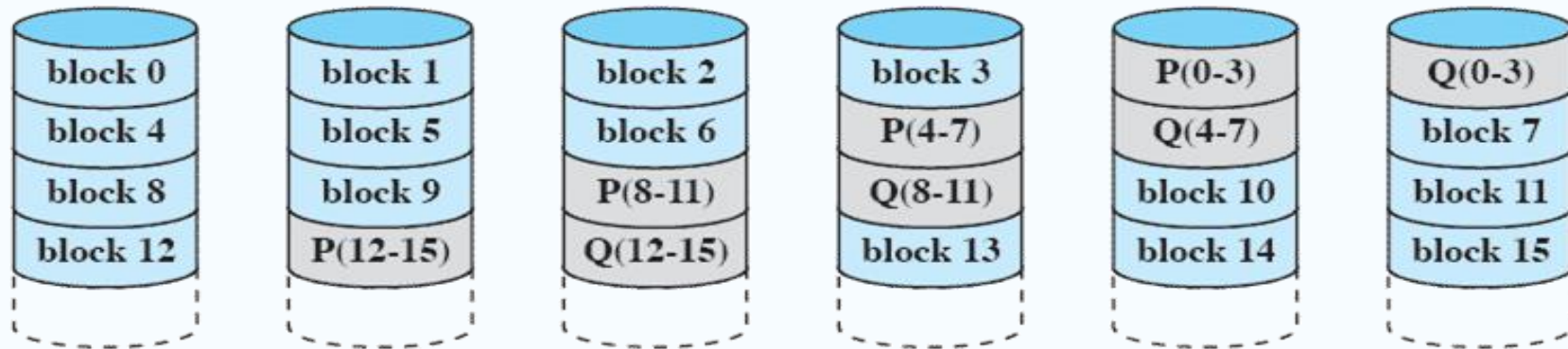


# RAID 5

(Κατανεμημένη ισοτιμία επιπέδου block)

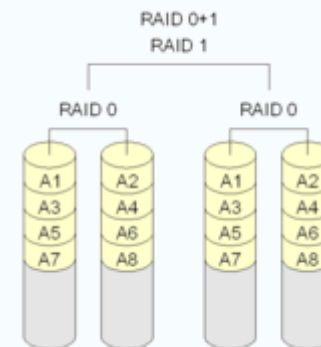


# RAID 6 (Διπλός πλεονασμός)



## Εμφωλευμένες δομές RAID

- ❑ RAID 0+1
- ❑ RAID 10
- ❑ RAID 0+3, RAID 30
- ❑ RAID 50, 60
- ❑ RAID 100





# Δίσκος ενδιάμεσης αποθήκευσης (Disk Cache)

- Buffer στην κύρια μνήμη για τομείς του δίσκου
- Περιέχει αντίγραφο μερικών από τους τομείς του δίσκου





# Λιγότερο συχνά χρησιμοποιούμενη (Least Recently Used – LRU)

- Αντικαθίσταται το block που έχει τις παλιότερες αναφορές σε βάθος χρόνου
- Η κρυφή μνήμη δίσκου περιέχει μια στοίβα από blocks
- Το block με την πιο πρόσφατη αναφορά είναι στην κορυφή της στοίβας
- Όταν γίνεται μια αναφορά σε ένα block ή προσκομίζεται στην κρυφή μνήμη δίσκου, τοποθετείται στην κορυφή της στοίβας
- Το block στην τελευταία θέση της στοίβας απομακρύνεται, όταν προσκομίζεται ένα νέο block
- Αντί τα blocks να μεταφέρονται στην κύρια μνήμη, χρησιμοποιείται μια στοίβα από pointers

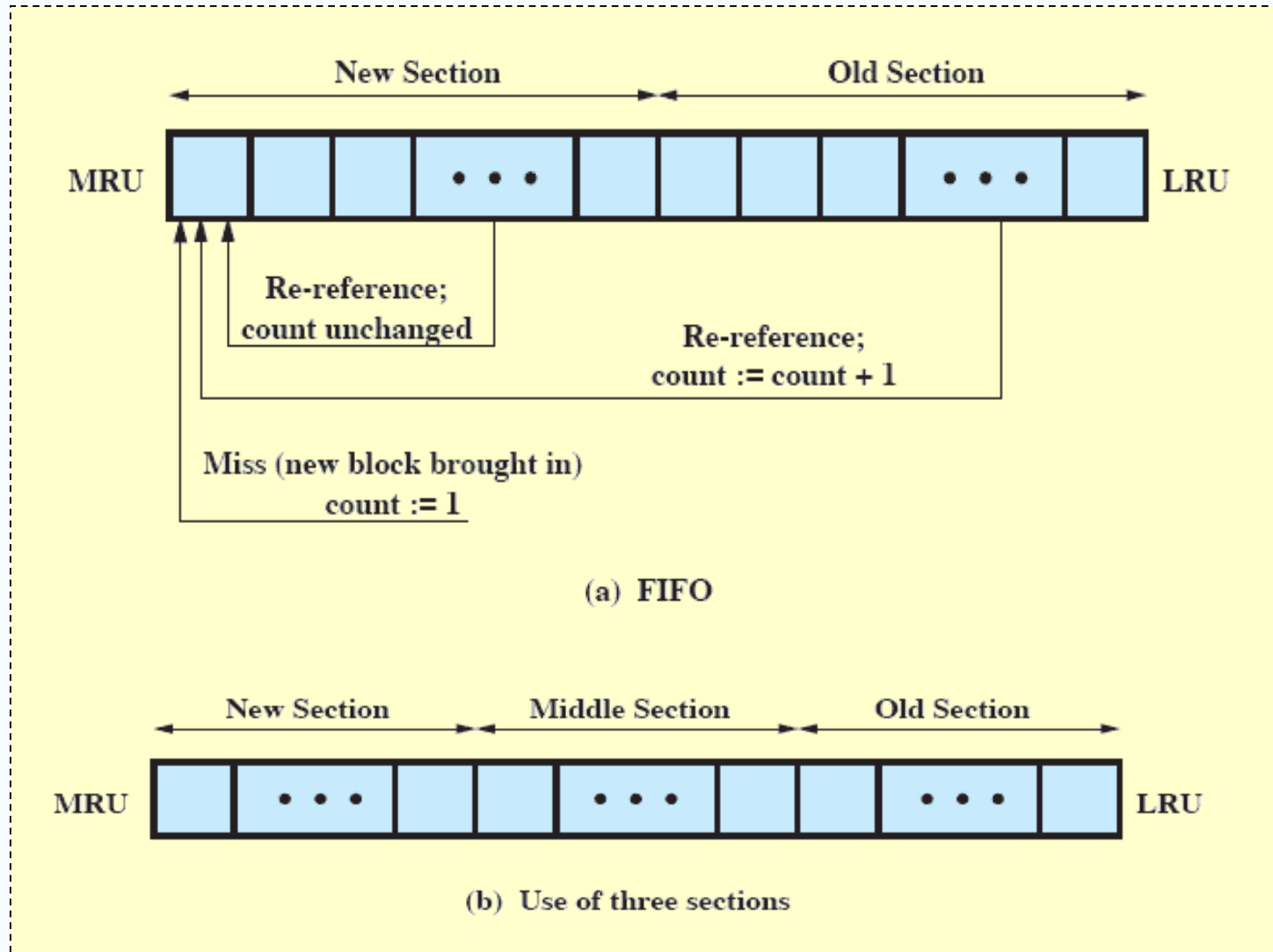


# LRU (συν.)

- Ένας μετρητής συνδέεται με κάθε block
- Ο μετρητής αυξάνει κάθε φορά που γίνεται αναφορά στο block
- Το block με την μικρότερη τιμή μετρητή επιλέγεται για αντικατάσταση
- Σε ορισμένα blocks μπορεί να γίνει αναφορά σε μικρή περίοδο χρόνου και αυτό να είναι παραπλανητικό



# Αντικατάσταση βασισμένη στη συχνότητα



# Αναφορές

- “Λειτουργικά Συστήματα – Αρχές Σχεδίασης”, 4η έκδοση, W. Stallings, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008.
- “Operating System Concepts”, 7η έκδοση, από Abraham Silberschatz, Peter Galvin και Greg Gagne, Addison-Wesley, 2004.
- “Operating Systems: Design and Implementation”, 3η έκδοση, από Andrew Tanenbaum και Albert Woodhull, Prentice Hall, 2006.
- Wikipedia, the free encyclopedia. Available at: <http://www.wikipedia.org>

