

Οργάνωση Η/Υ

Γιώργος Δημητρίου

Μάθημα 9^ο – Ιεραρχία Μνήμης

Μονάδα Μνήμης

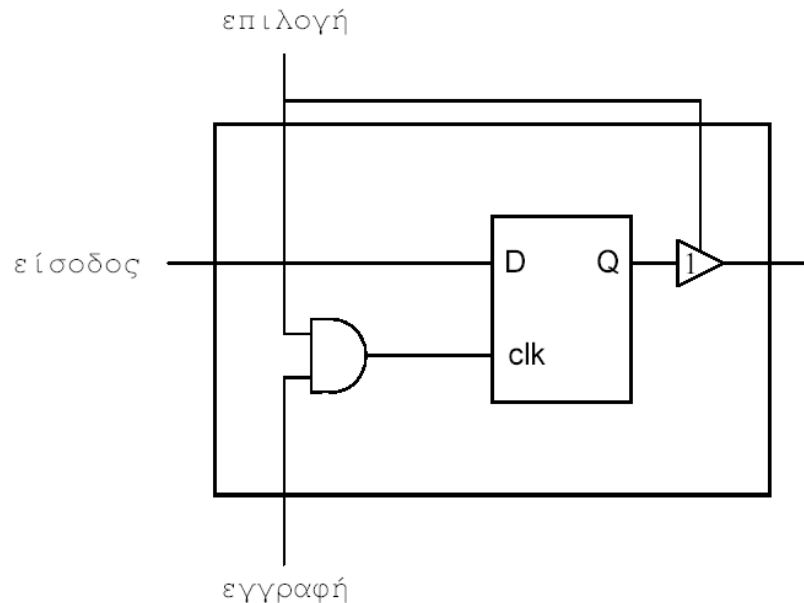
- Επαρκής χωρητικότητα αποθήκευσης
 - Αποδεκτό μέσο επίπεδο απόδοσης
 - Χαμηλό μέσο κόστος ανά ψηφίο
-
- Ιεραρχία μνήμης
 - Κατανομή αποθήκευσης
 - Εικονική μνήμη
 - Προστασία προσπέλασης

Στοιχεία Μνήμης

- RAM (Random Access Memory)
 - SRAM
 - η πιο γρήγορη, 0.5-5ns
 - η πιο μεγάλη, 4-6 τρανσίστορ ανά ψηφίο
 - DRAM
 - η πιο αργή, 50-70ns
 - EDO DRAM: προσπέλαση 4 θέσεων, <15ns/θέση
 - η πιο μικρή, 1 τρανσίστορ και 1 πυκνωτής ανά ψηφίο
 - SDRAM
 - DRAM με ρολόι για συνεχόμενες προσπελάσεις
- CAM (Content Addressable Memory)

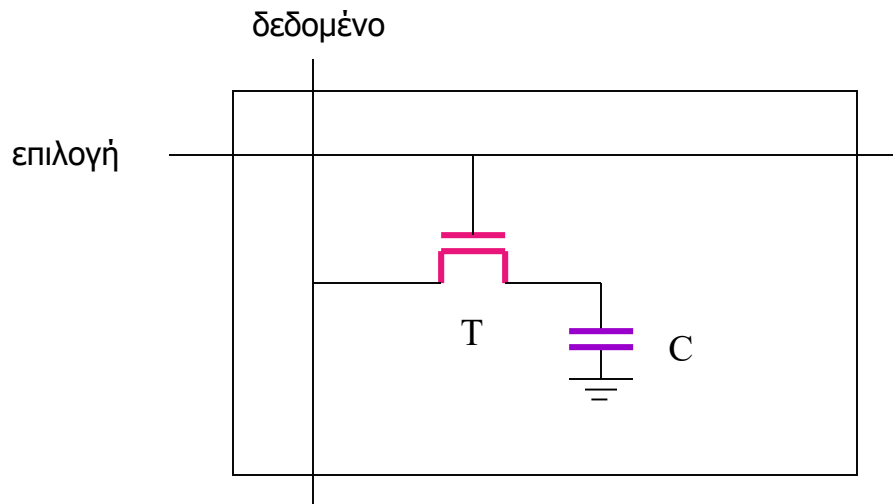
Κυψελίδα Στατικής Μνήμης

- D flip-flop για αποθήκευση δεδομένου
- Έξοδος από πύλη τριών καταστάσεων
- Σήματα επιλογής, εγγραφής
- Δεδομένο εισόδου

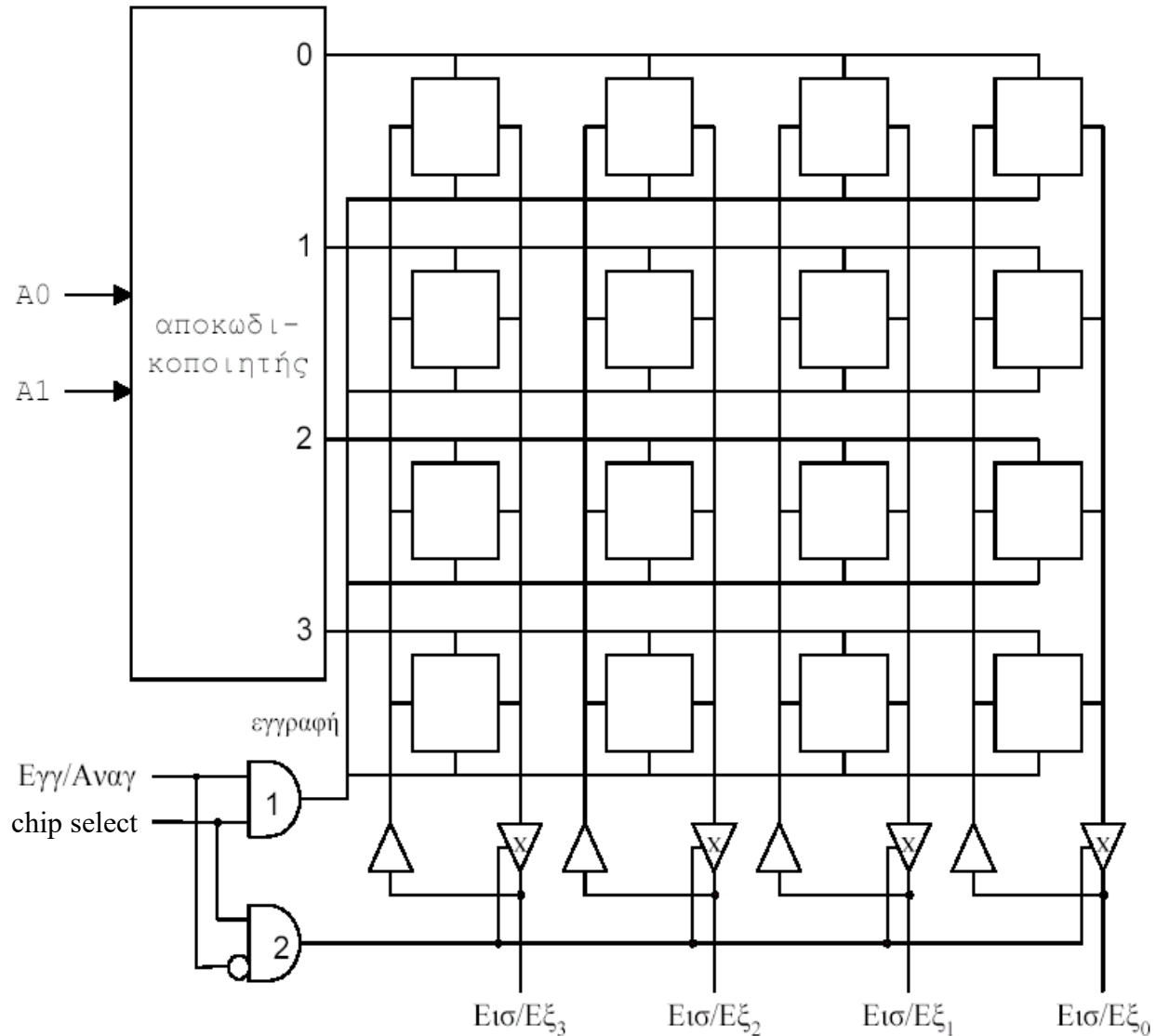


Κυψελίδα Δυναμικής Μνήμης

- Πυκνωτής για αποθήκευση δεδομένου
- Σήμα επιλογής
- Γραμμή δεδομένων



Βασική Οργάνωση RAM

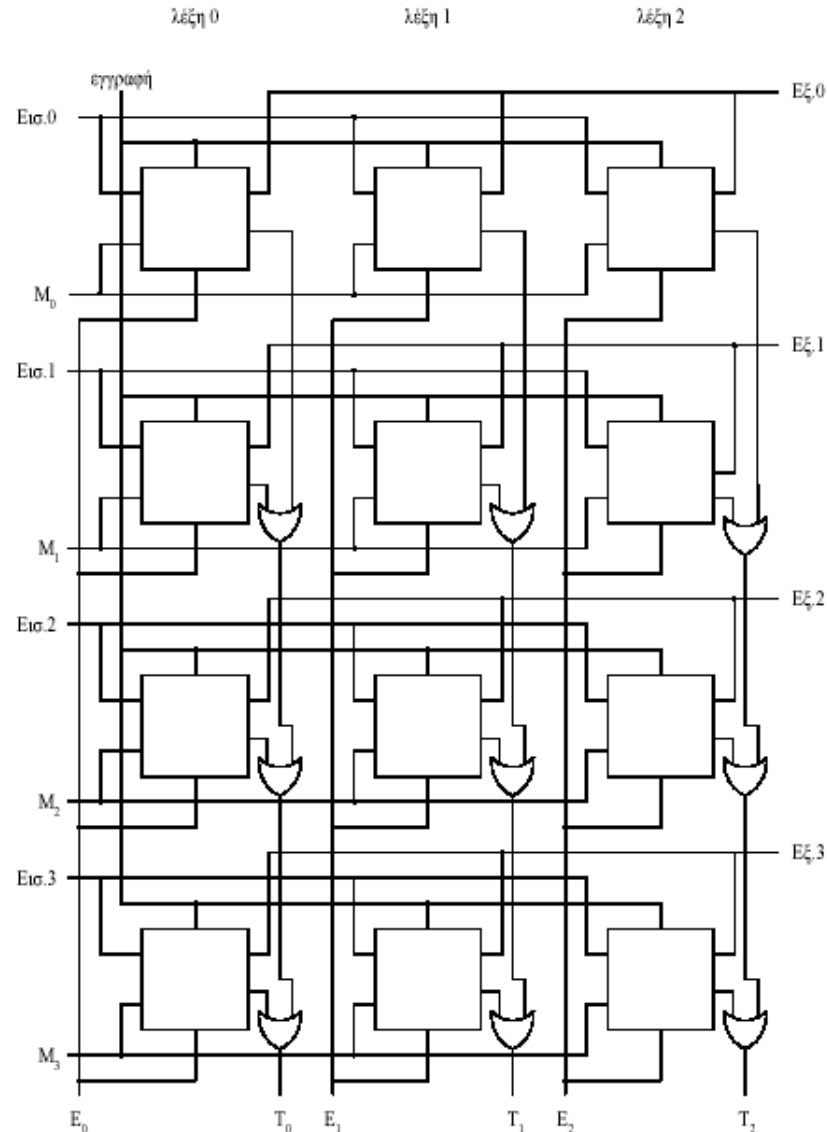


Οργάνωση Η/Υ

Συσχετιστική Μνήμη (CAM)

- Προσπέλαση με το περιεχόμενο
- Κλειδί προσπέλασης αντί για διεύθυνση
- Σύγκριση με ένα ψηφίο του κλειδιού σε κάθε κυψελίδα
- Ανάγνωση/Εγγραφή στη θέση όπου ταιριάζει το κλειδί
- Εναλλακτικά:
 - Σταθερά ψηφία κλειδιού
 - Μερικά ψηφία εισόδου επιλογής σε διεύθυνση

Βασική Οργάνωση CAM



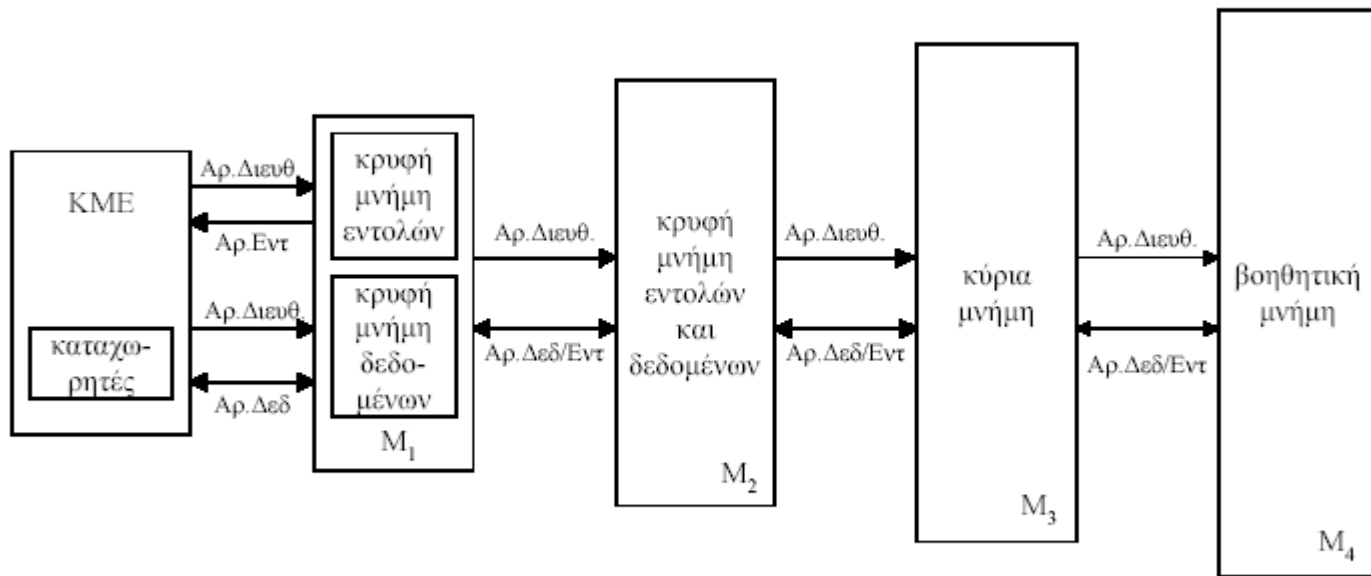
Είσοδος και Μάσκα

Έξοδος

Οργάνωση H/Y

Ιεραρχία Μνήμης

- $KME \leftrightarrow M_1 \leftrightarrow M_2 \leftrightarrow M_3 \leftrightarrow M_4$
- $C_i > C_{i+1}, t_i < t_{i+1}, S_i < S_{i+1}$
-



Προσπέλαση Ιεραρχίας Μνήμης

- Η ΚΜΕ παράγει τη διεύθυνση
- Ψάχνουμε διαδοχικά στις M_1, M_2, \dots
- Όταν βρούμε τη διεύθυνση, φέρνουμε το δεδομένο διαδοχικά μέχρι τη ΚΜΕ
- Προσπελάζουμε τη M_1
- Τυχόν εγγραφή παραμένει στη M_1 (πρόβλημα ασυνέπειας!)

Στόχοι Ιεραρχίας Μνήμης

- Ιδανικά:
 - $C = C_n$, $t = t_1$, $S = S_n$
- Η πραγματική απόδοση καθορίζεται από:
 - Χαρακτηριστικά λογισμικού
 - Παράμετροι κατασκευής
 - Λειτουργικοί αλγόριθμοι
 - Τρόπος απεικόνισης $\Delta_{i+1} \rightarrow \Delta_i$
 - Τακτική προσκόμισης μπλοκ $M_{i+1} \rightarrow M_i$
 - Στρατηγική αντικατάστασης M_i
 - Τακτική ενημέρωσης $M_i \rightarrow M_{i+1}$

Απόδοση Ιεραρχίας Μνήμης

- Λόγος ευστοχίας E_i :

$$E_i = \frac{N_i}{N_i + N_{i+1} + \dots + N_n}, \quad i=1, \dots, n$$

(N_i το πλήθος ευστοχιών στο επίπεδο i)

- Χρόνος προσπέλασης T_i :

$$T_i = \sum_{j=1}^i t_j, \quad i=1, \dots, n$$

(t_i ο χρόνος ανάγνωσης/εγγραφής στο επίπεδο i)

- Μέσος χρόνος προσπέλασης T :

$$T = \sum_{i=1}^n \left\{ \prod_{j=1}^{i-1} (1 - E_j) \right\} E_i T_i$$

Προσπέλαση Μπλοκ

- Η ιεραρχία μνήμης είναι δομημένη σε μπλοκ, και όχι σε ψηφιολέξεις
 - άσχετα αν οι διευθύνσεις που παράγονται είναι σε ψηφιολέξεις
- Κάθε αναφορά επιλύεται σε μπλοκ
 - έτσι αυξάνεται η απόδοση της ιεραρχίας μνήμης,
 - λόγω της τοπικότητας, που είναι πρωταρχικό χαρακτηριστικό των αναφορών

Τοπικότητα Αναφορών

- Τοπικότητα στο χρόνο
 - Βρόχοι
 - η ίδια εντολή ή η ίδια λέξη δεδομένων
- Τοπικότητα στο χώρο
 - Σειριακός κώδικας
 - γειτονικές εντολές
 - Δομές δεδομένων (διανύσματα, πίνακες)
 - γειτονικά δεδομένα
- Εκμετάλλευση τοπικότητας αναφορών

Κρυφή Μνήμη

- Στατική μνήμη
 - Γρηγορότερη, άρα κοντά στην ΚΜΕ
 - Ακριβότερη, άρα μικρότερη
- Οργάνωση σε πλαίσια
 - Ένα πλαίσιο περιέχει ένα μπλοκ 2^μ λέξεων, μια ετικέτα και ψηφία ελέγχου
- Προσπέλαση ανά μπλοκ
 - Η ΚΜΕ προσπελαύνει μία λέξη
 - Η κρυφή μνήμη προσπελαύνει το μπλοκ στο οποίο βρίσκεται η λέξη

Προσπέλαση Κρυφής Μνήμης

- Διεύθυνση προσπέλασης από τη ΚΜΕ
- Επεξεργασία διεύθυνσης για να βρεθεί αν το αντίστοιχο μπλοκ βρίσκεται στην κρυφή μνήμη
- Αν ναι, ολοκλήρωση προσπέλασης
- Αν όχι,
 - Προσπέλαση στο επόμενο επίπεδο
 - Παραλαβή μπλοκ με πιθανή αντικατάσταση
 - Ολοκλήρωση προσπέλασης

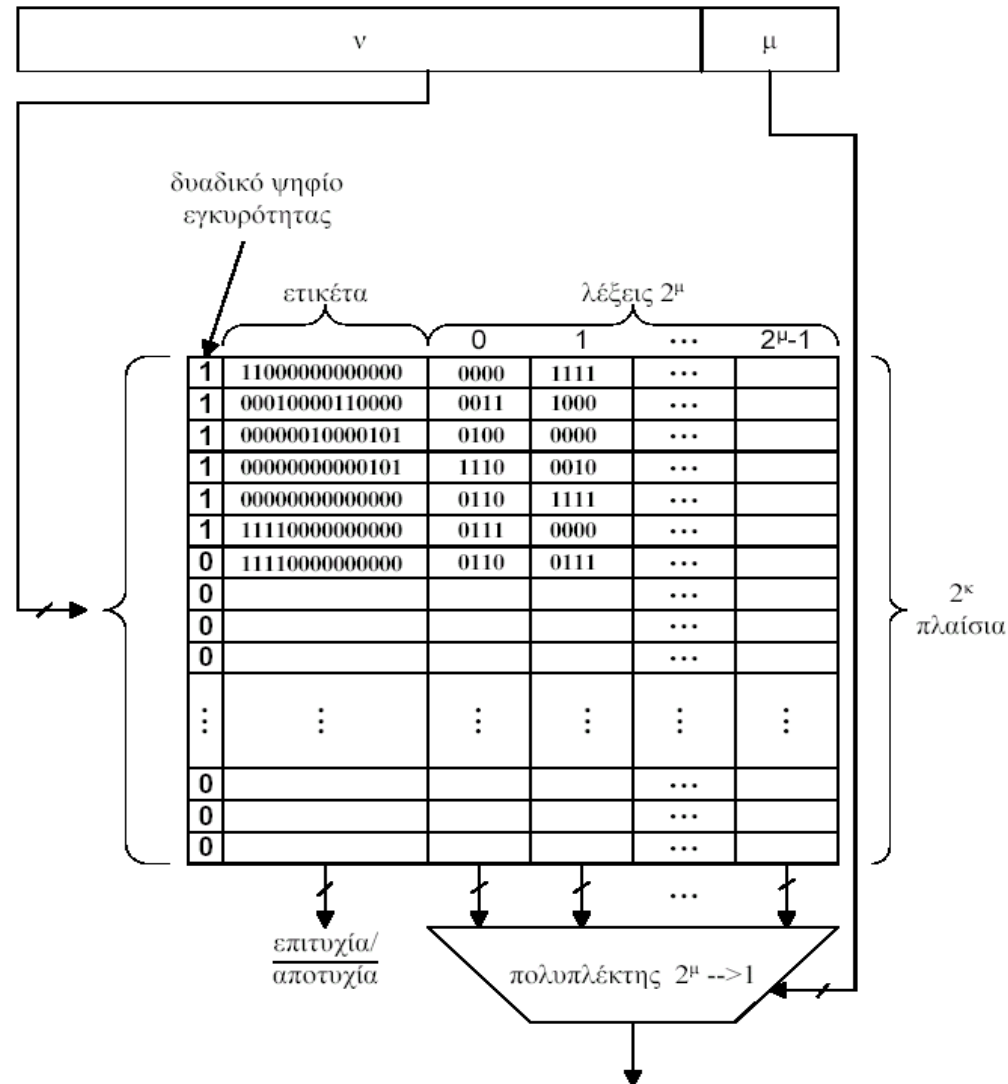
Οργάνωση Κρυφής Μνήμης

Πώς απεικονίζουμε μεγαλύτερη μνήμη σε μικρότερη;

- Χρήση συσχετιστικής μνήμης με κλειδί που είναι μέρος της διεύθυνσης
- Ένα μέρος της διεύθυνσης καθορίζει το πλαίσιο, ενώ άλλο μέρος αποθηκεύεται σαν κλειδί σύγκρισης

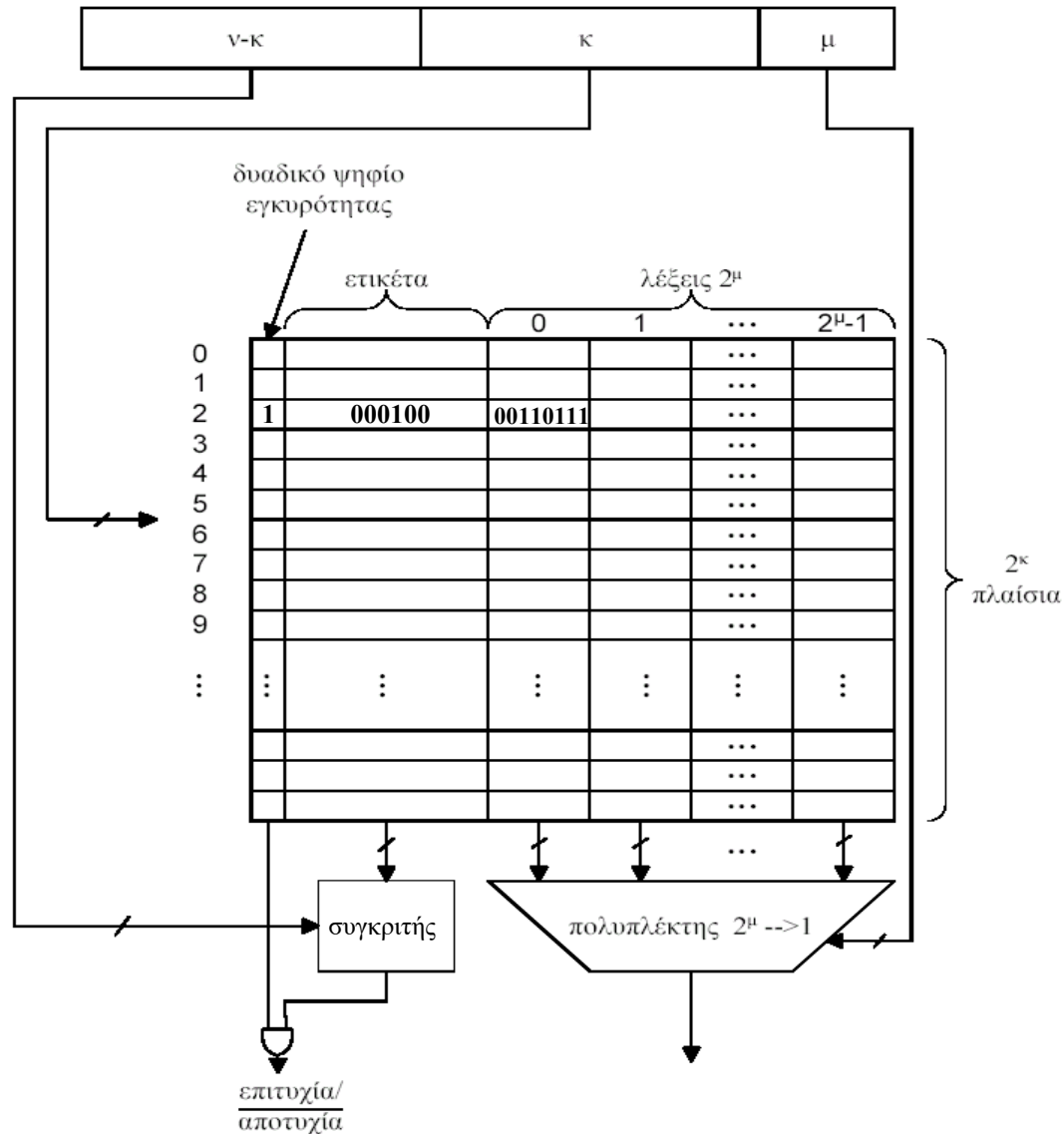
Ψηφίο εγκυρότητας

Οργάνωση Πλήρους Συσχέτισης

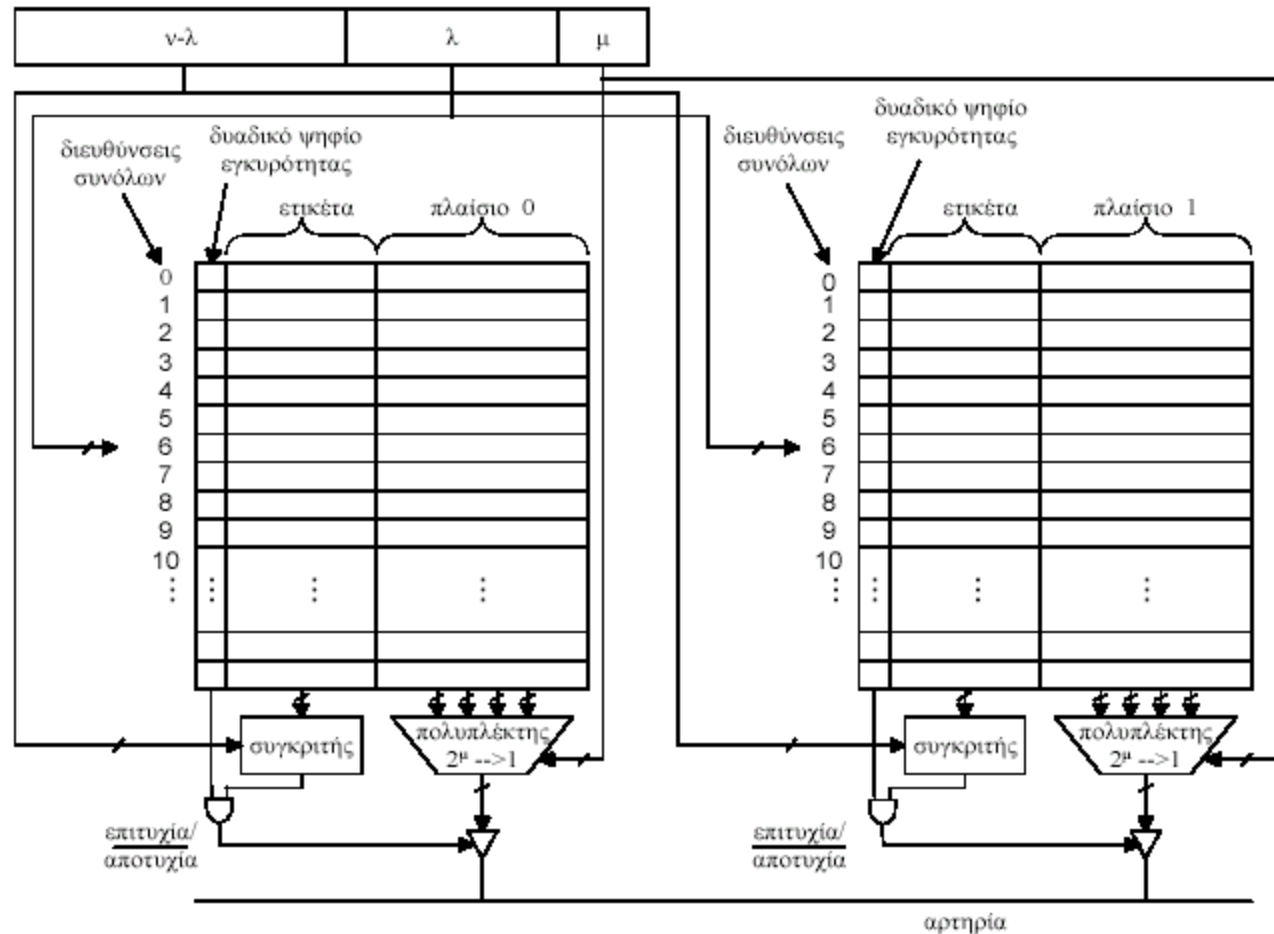


Οργάνωση H/Y

Οργάνωση Άμεσης Απεικόνισης



Οργάνωση τ-Δρόμων Συνόλου Συσχέτισης



Σύγκριση Οργανώσεων

- Άμεσης απεικόνισης:
 - πιο γρήγορη
 - πιο πολλές αστοχίες
 - έλλειψη χώρου κι όταν η μνήμη περιέχει ένα μόνο έγκυρο πλαίσιο
- Πλήρους συσχέτισης
 - πιο αργή
 - λιγότερες αστοχίες
 - έλλειψη χώρου μόνο όταν γεμίσει η μνήμη
- τ-Δρόμων συνόλου συσχέτισης
 - ενδιάμεσα χαρακτηριστικά

Τακτική Προσκόμισης Μπλοκ

- Όταν αυτό απαιτείται (on demand)
 - Απλή τακτική
- Εκ των προτέρων (prefetch)
 - Πιο εύκολη υλοποίηση σε προσκόμιση εντολών, λόγω σειριακής εκτέλεσης
 - Πιο δύσκολη υλοποίηση σε προσκόμιση δεδομένων
 - Ειδική εντολή γλώσσας μηχανής
 - Ανίχνευση διαδοχικών προσπελάσεων

Στρατηγική Αντικατάστασης

Τετριμμένη για άμεση απεικόνιση, αλλιώς:

- Επιλογή πλαισίου για απελευθέρωση
 - Τυχαία επιλογή
 - Επιλογή του λιγότερο πρόσφατα χρησιμοποιηθέντος (LRU)
 - Επιλογή του πρώτου προσκομισθέντος (FIFO)
- Οι LRU και FIFO στρατηγικές απαιτούν ψηφία ιστορίας ανά πλαίσιο
 - Συνήθως έχουμε προσεγγίσεις της LRU

Τακτική Ενημέρωσης Μπλοκ

- Εγγραφές σε σχέση με αναγνώσεις
- Όταν έχουμε ευστοχία:
 - Ταυτόχρονη ενημέρωση (write through)
 - Ετερόχρονη ενημέρωση (write back)
 - Σημαία αλλαγής (dirty bit)
- Όταν έχουμε αστοχία:
 - Προσκόμιση κατά την εγγραφή (fetch on write)
 - Μη προσκόμιση κατά την εγγραφή (write around)