

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών
2017-18

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

(Σχεδιασμός και λειτουργία μιας απλής ΚΜΕ)

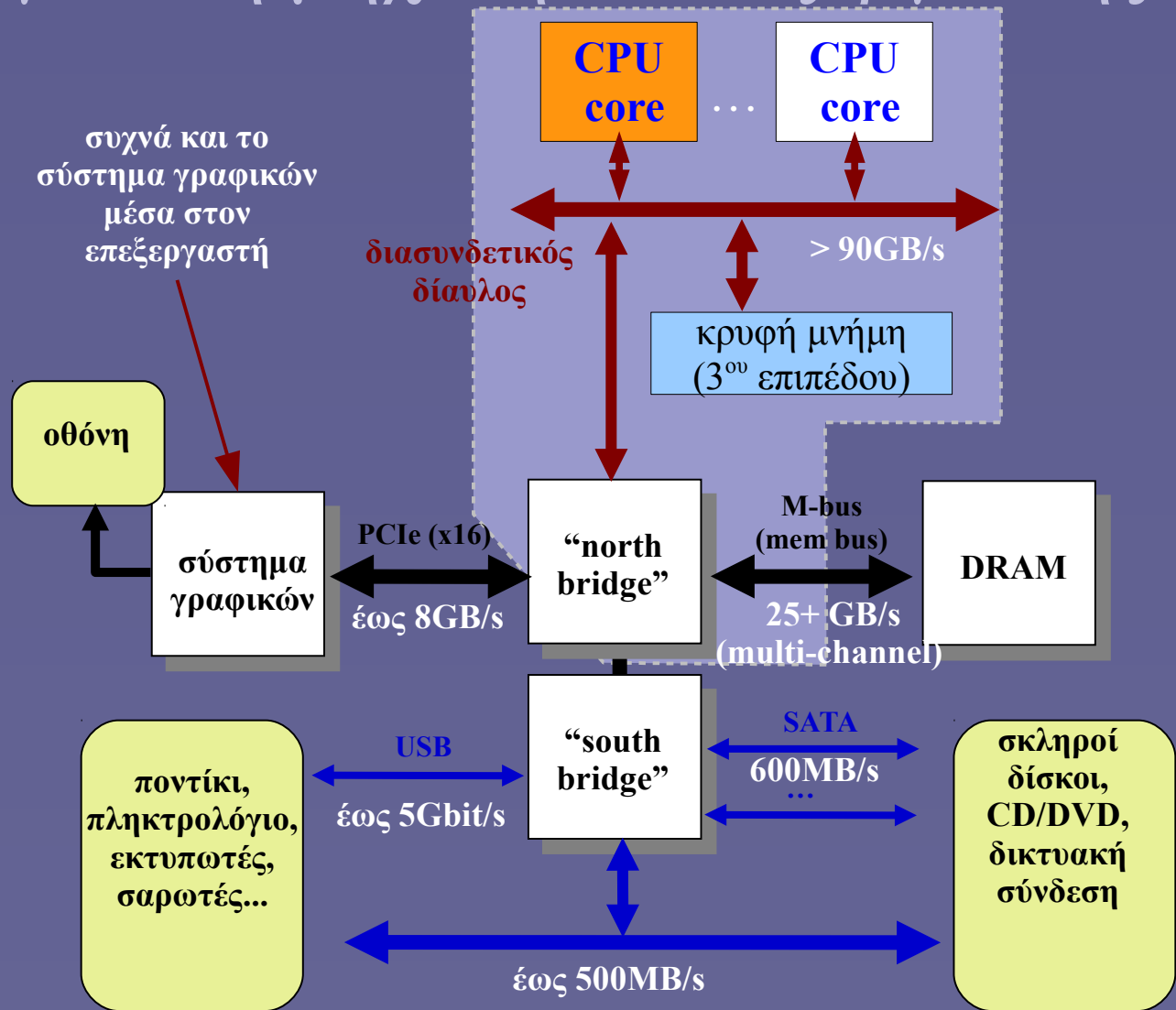
<http://mixstef.github.io/courses/comparch/>

Μ.Στεφανιδάκης



Η υπολογιστική μηχανή: ο επεξεργαστής

- Ο επεξεργαστής



οι ρυθμοί μεταφοράς που δίνονται είναι οι θεωρητικά μέγιστοι!

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ

- (Μικρο)επεξεργαστής
 - Ψηφιακό σύστημα που εκτελεί υπολογισμούς σε πολλαπλά βήματα
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας
 - Παλαιότερα: συνώνυμο του επεξεργαστή
 - Στην ίδια συσκευασία σήμερα
 - Κρυφή Μνήμη (1^{ου}, 2^{ου} ή και 3^{ου} επιπέδου)
 - Ελεγκτές Ε/Ε
 - Σύστημα Γραφικών (προαιρετικά)

Σχεδιασμός μιας απλής ΚΜΕ

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ



Όλες οι σύγχρονες
ΚΜΕ είναι
πολυπλοκότερες!

- Παραδοχές

- Μοντέλο load-store

- Αριθμητικές-λογικές πράξεις
 - Ανάγνωση-εγγραφή από/στη μνήμη
 - Εντολές διακλάδωσης

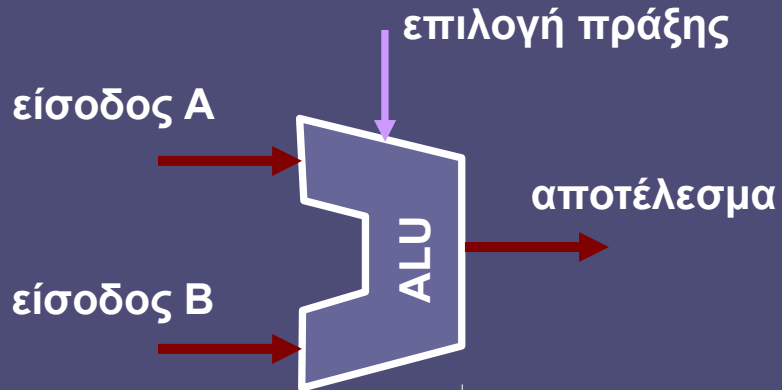
- Ν καταχωρητές γενικού σκοπού

- Απλουστευμένο μοντέλο μνήμης

- Ως “κουτί” που δέχεται διεύθυνση και επιστρέφει δεδομένα και εντολές
 - Αντιπροσωπεύει στην πραγματικότητα μια ιεραρχία μνήμης!

Εκτέλεση πράξεων: ΑΛΜ

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ



- Αριθμητική-Λογική Μονάδα (ΑΛΜ)
 - Arithmetic-Logic Unit (ALU)
 - Εκτέλεση αριθμητικών και λογικών πράξεων
 - Εκτέλεση συγκρίσεων (για διακλάδωση υπό συνθήκη)
 - Υπολογισμός διευθύνσεων (για προσπέλαση μνήμης)

i

~~M~~

... M

Εντολές για αριθμητικές – λογικές πράξεις

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ

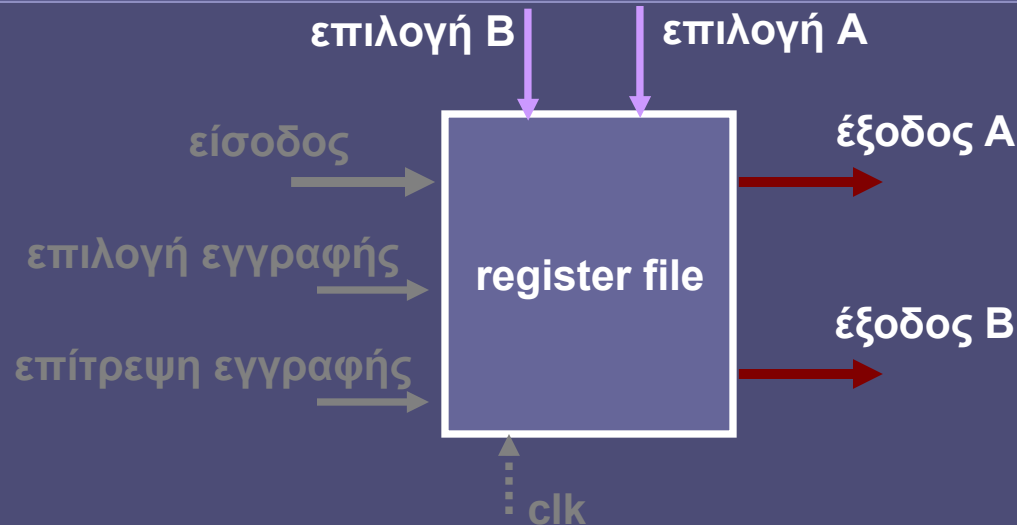


$$R3 \leftarrow R1 \text{ op } R2$$

- Σε κάθε εκτέλεση εντολής
 - Ανάγνωση από 2 καταχωρητές
 - Εγγραφή σε 1 καταχωρητή
- Ίδια ροή δεδομένων
 - διαφορετική επιλεγόμενη πράξη

Συστοιχία καταχωρητών (register file)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές

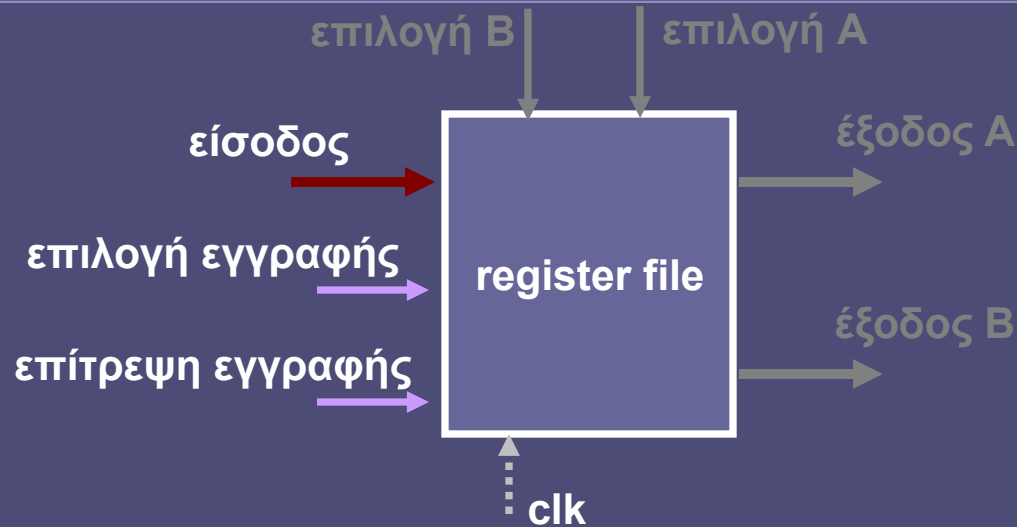


Τα σήματα στο σχήμα αυτό (και στα επόμενα) πιθανόν να αποτελούνται από πολλά bits το καθένα!

- Ανάγνωση: **Επιλογή A** και **Επιλογή B**
 - Ποιων καταχωρητών το περιεχόμενο θα εμφανιστεί στην αντίστοιχη έξοδο

Συστοιχία καταχωρητών (register file)

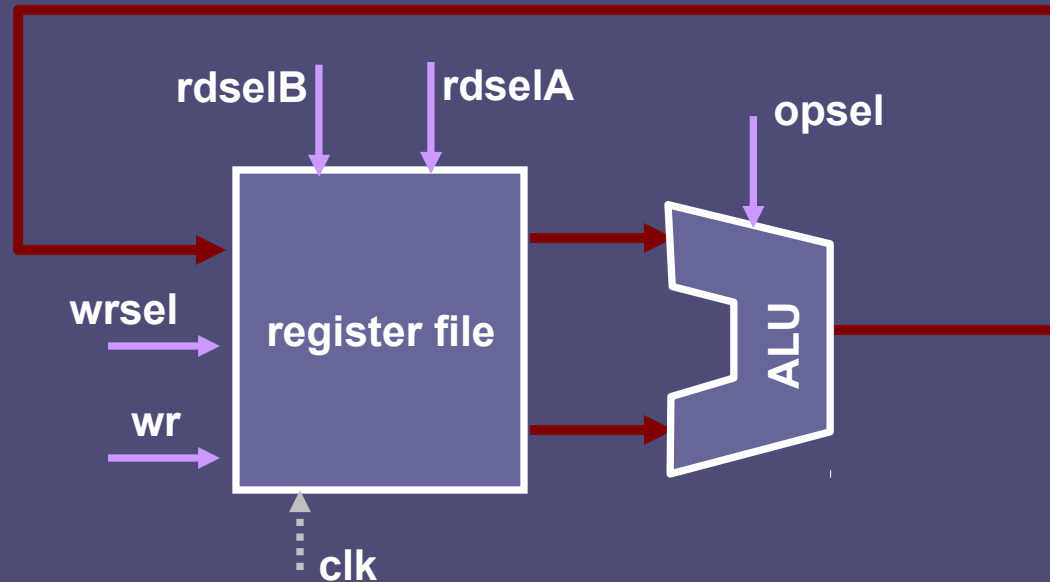
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές



- Εγγραφή: στη θετική ακμή του clk
 - Στον καταχωρητή που ορίζει η **επίλογη εγγραφής**, εάν το επιτρέπει η **επίτρεψη εγγραφής**

Ένα απλό μονοπάτι δεδομένων (datapath)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath



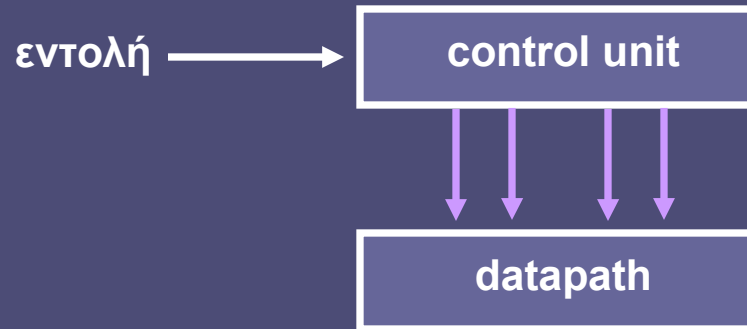
- Εκτέλεση μιας εντολής ανά κύκλο ρολογιού
- **Ανάγνωση και εγγραφή στον ίδιο κύκλο;**
 - Ναι, η ανάγνωση θα δώσει το αποτέλεσμα της εγγραφής του προηγούμενου κύκλου
 - Ενώ η εγγραφή θα είναι διαθέσιμη για ανάγνωση στον επόμενο κύκλο

;

Ποιος οδηγεί τα
σήματα ελέγχου;

Η μονάδα ελέγχου (control unit)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου



- Αποκωδικοποίηση bits της εντολής
 - Επιλογή καταχωρητών προέλευσης δεδομένων
 - Επιλογή καταχωρητή αποθήκευσης αποτελέσματος
 - Επιλογή λειτουργίας ΑΛΜ
 - Το δυσκολότερο στη σχεδίαση τμήμα της ΚΜΕ

;

Από πού
προέρχονται οι
εντολές;

Η “μνήμη εντολών”

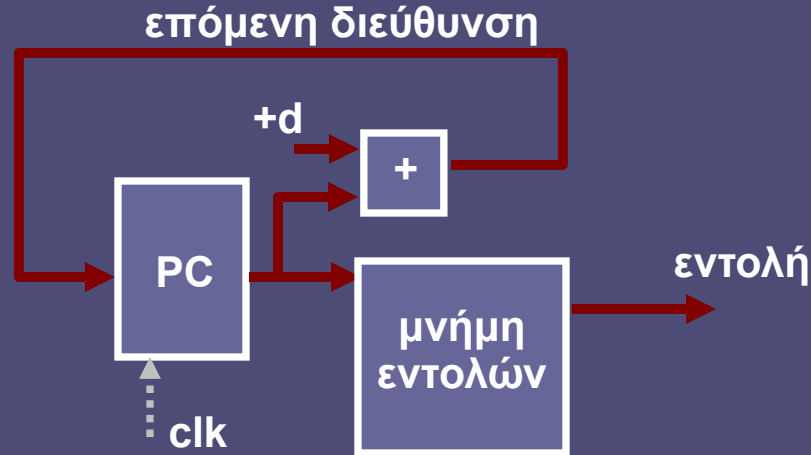
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



- Μια χρήσιμη αφαίρεση
 - Στην πραγματικότητα
 - Αντιπροσωπεύει μια ιεραρχία μνήμης
 - Από την κρυφή μνήμη 1^{ου} επιπέδου μέχρι την κύρια μνήμη
 - Πιθανόν να μην είναι δυνατή η ανάκτηση εντολής ανά κύκλο ρολογιού

Η διεύθυνση της επόμενης εντολής

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



- **Program Counter (PC)**
 - Περιέχει τη διεύθυνση στη μνήμη της επόμενης εντολής
 - Αυξάνεται κατά την εκτέλεση κάθε εντολής
 - Επόμενη διεύθυνση = τρέχουσα + d

Ο κύκλος μηχανής

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές

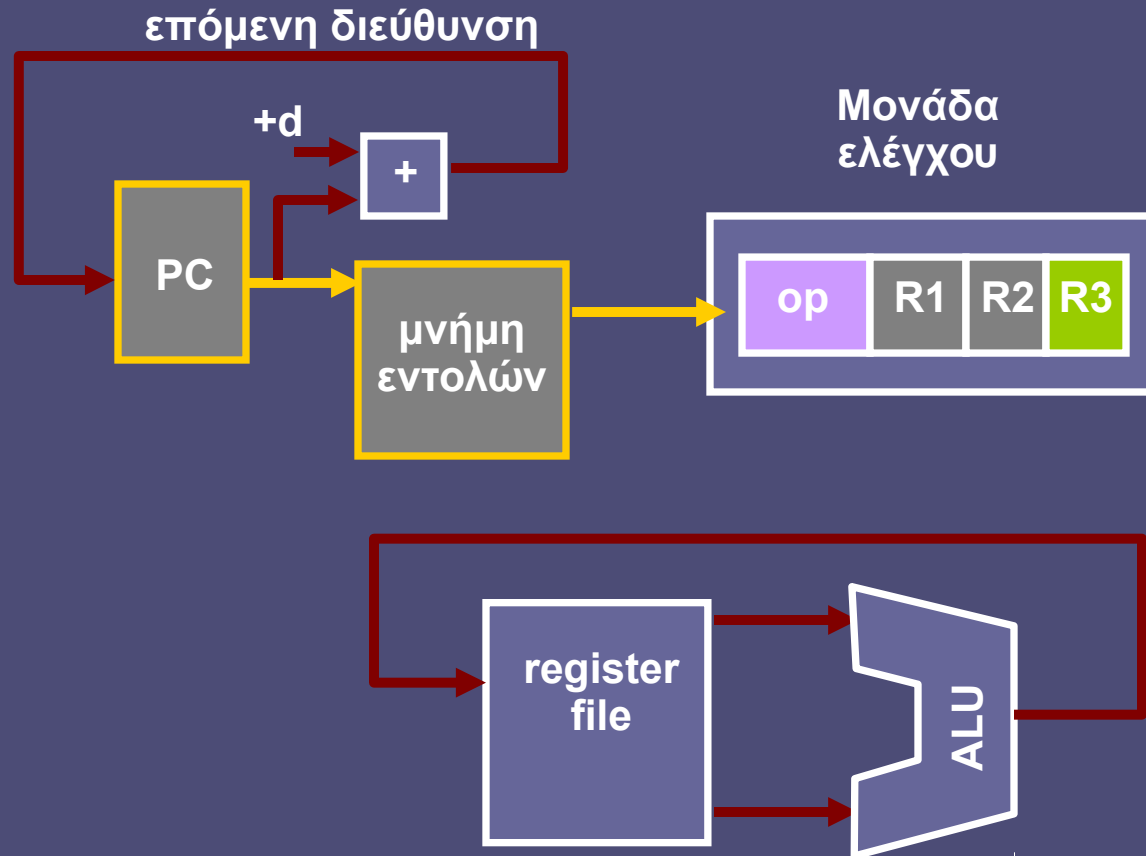


Ποια στάδια χρησιμοποιούν οι εντολές για αριθμητικές και λογικές πράξεις;

- **Στάδια εκτέλεσης εντολής**
 - Instruction Fetch (IF)
 - Ανάκτηση εντολής προς εκτέλεση
 - Instruction Decode (ID)
 - Επιλογή δεδομένων και λειτουργιών ανάλογα με εντολή
 - Execute (EX)
 - Εκτέλεση υπολογισμού στην ΑΛΜ
 - Data Memory Access (DM)
 - Προσπέλαση μνήμης δεδομένων
 - Write Back (WB)
 - Αποθήκευση αποτελεσμάτων σε καταχωρητή

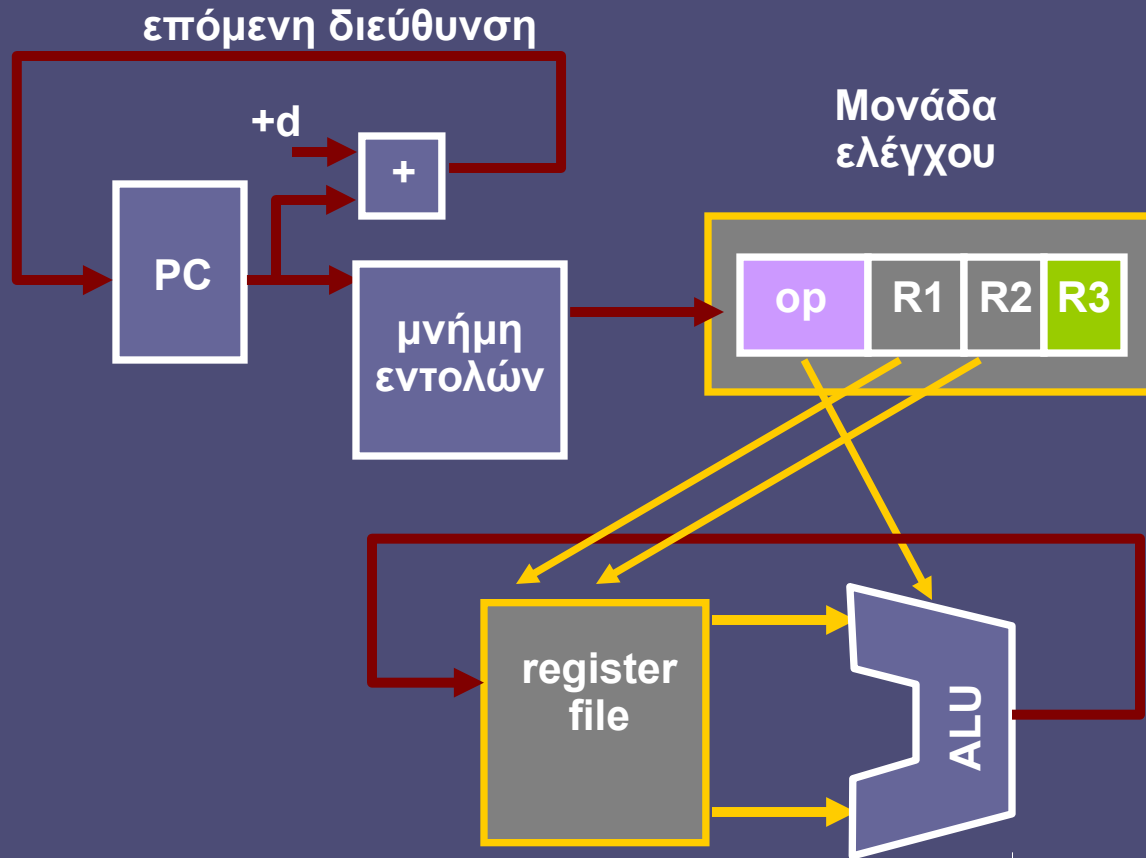
Instruction Fetch (IF)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



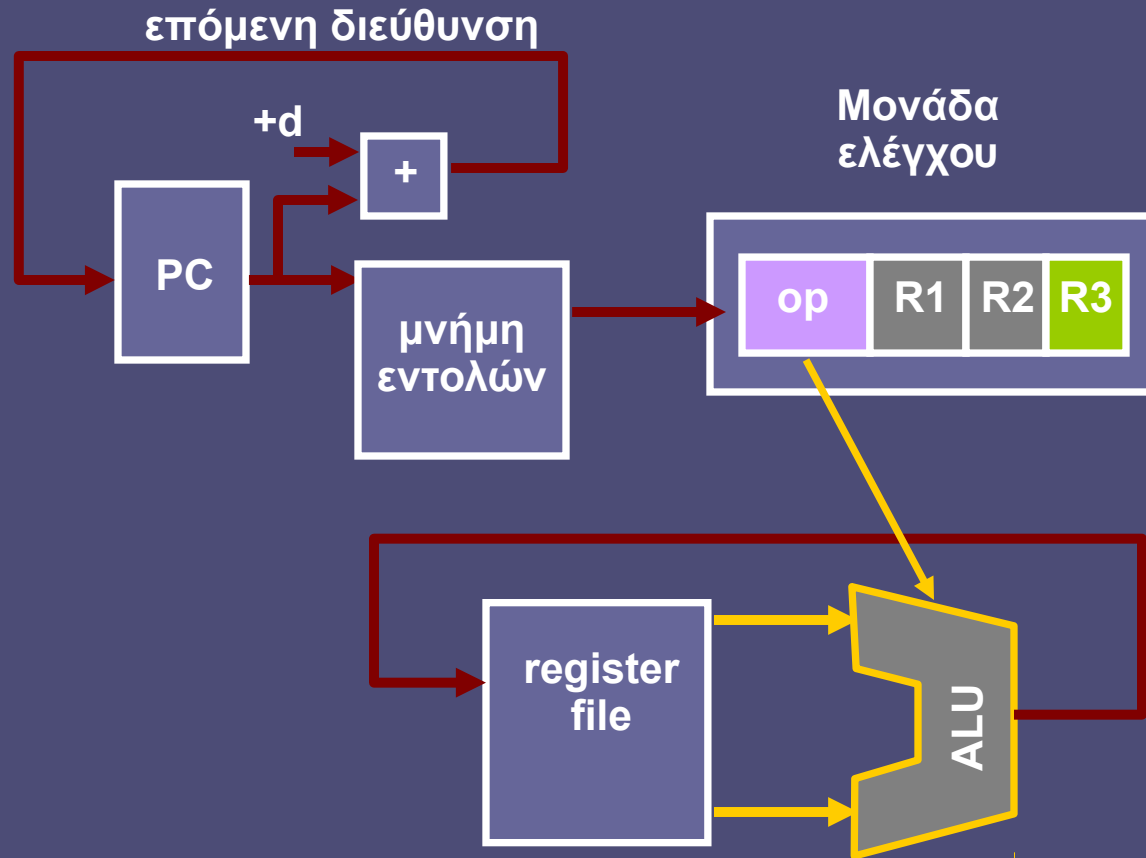
Instruction Decode (ID)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



Execute (EX)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές

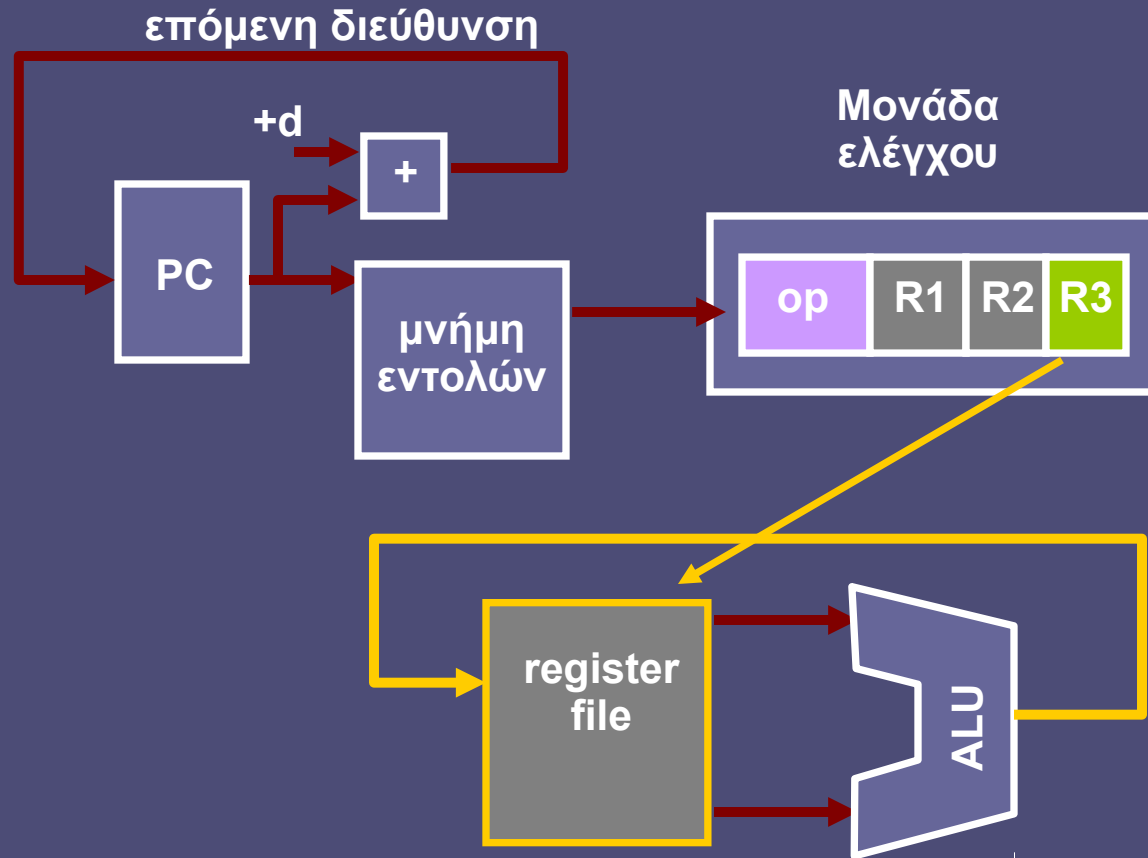


Write Back (WB)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές

;

Τι πρέπει να
αλλάξει για την
χρήση μιας
σταθεράς στις
πράξεις;



Εντολές διακλάδωσης (branch ή jump)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις

- Παράδειγμα

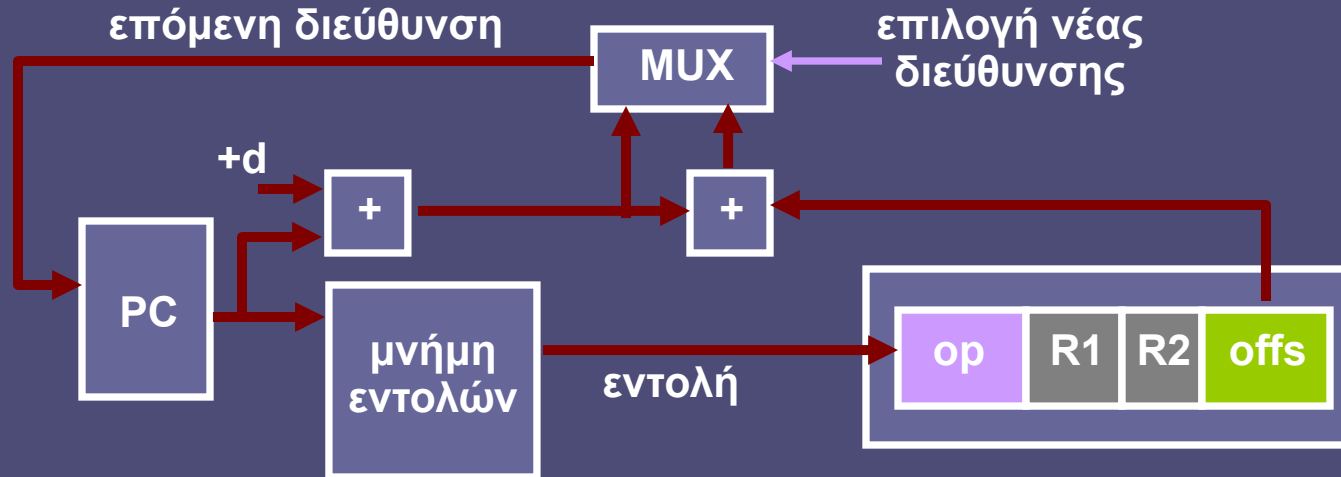


if R1 == R2 then PC \leftarrow PC + offset
“branch if equal”

- Διακλάδωση υπό συνθήκη
 - Βασισμένο σε αποτέλεσμα πράξης ΑΛΜ
- Σχετική διεύθυνση
- Υπολογισμός συνθήκης και διακλάδωση στην ίδια εντολή

Διακλαδώσεις και ενημέρωση PC

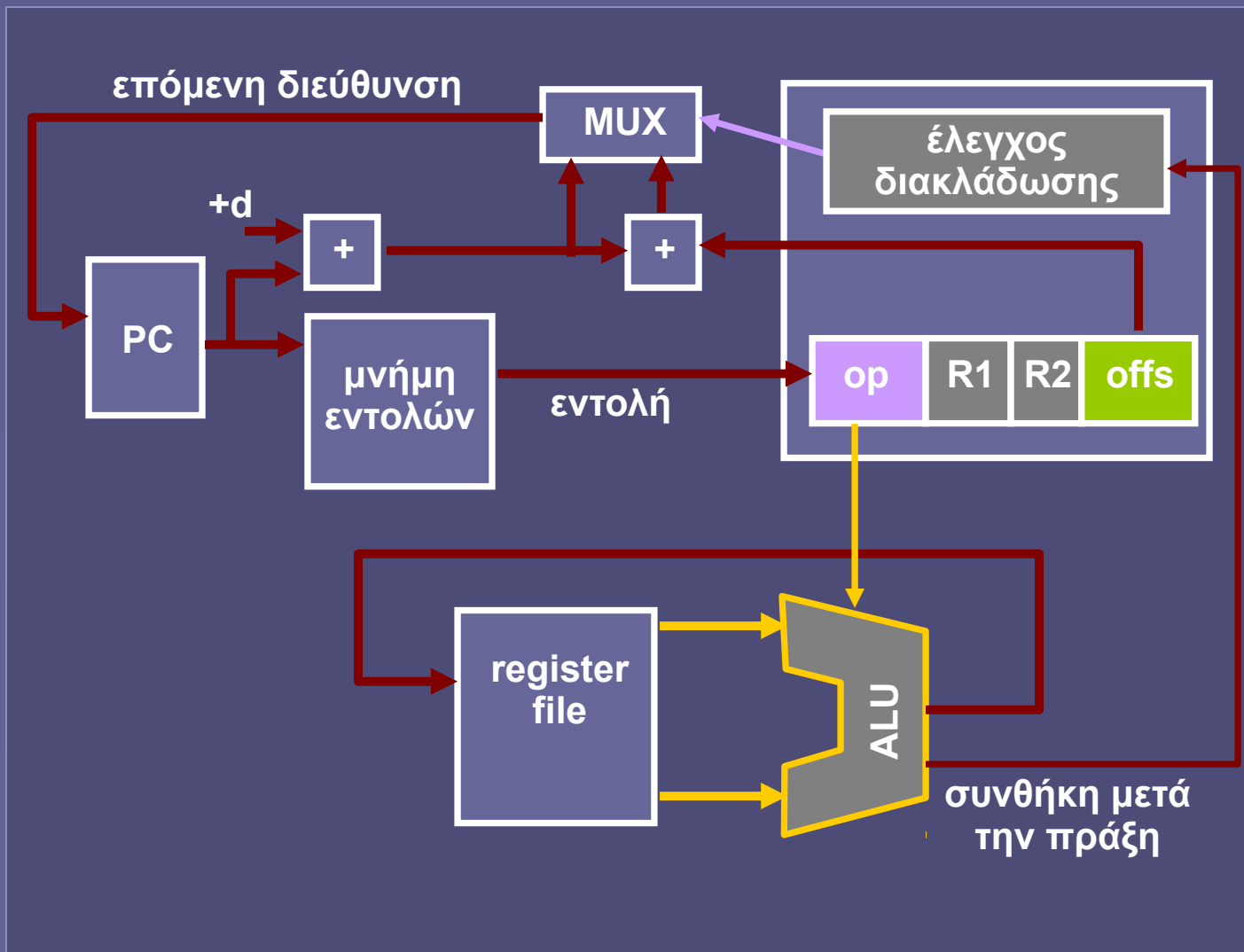
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



- **Επιλογή νέας (επόμενης) διεύθυνσης**
 - Η νέα τιμή του PC
 - Από τη μονάδα ελέγχου
 - Σύμφωνα με τιμές από πράξη στην ΑΛΜ
 - Π.χ. σύγκριση 2 καταχωρητών

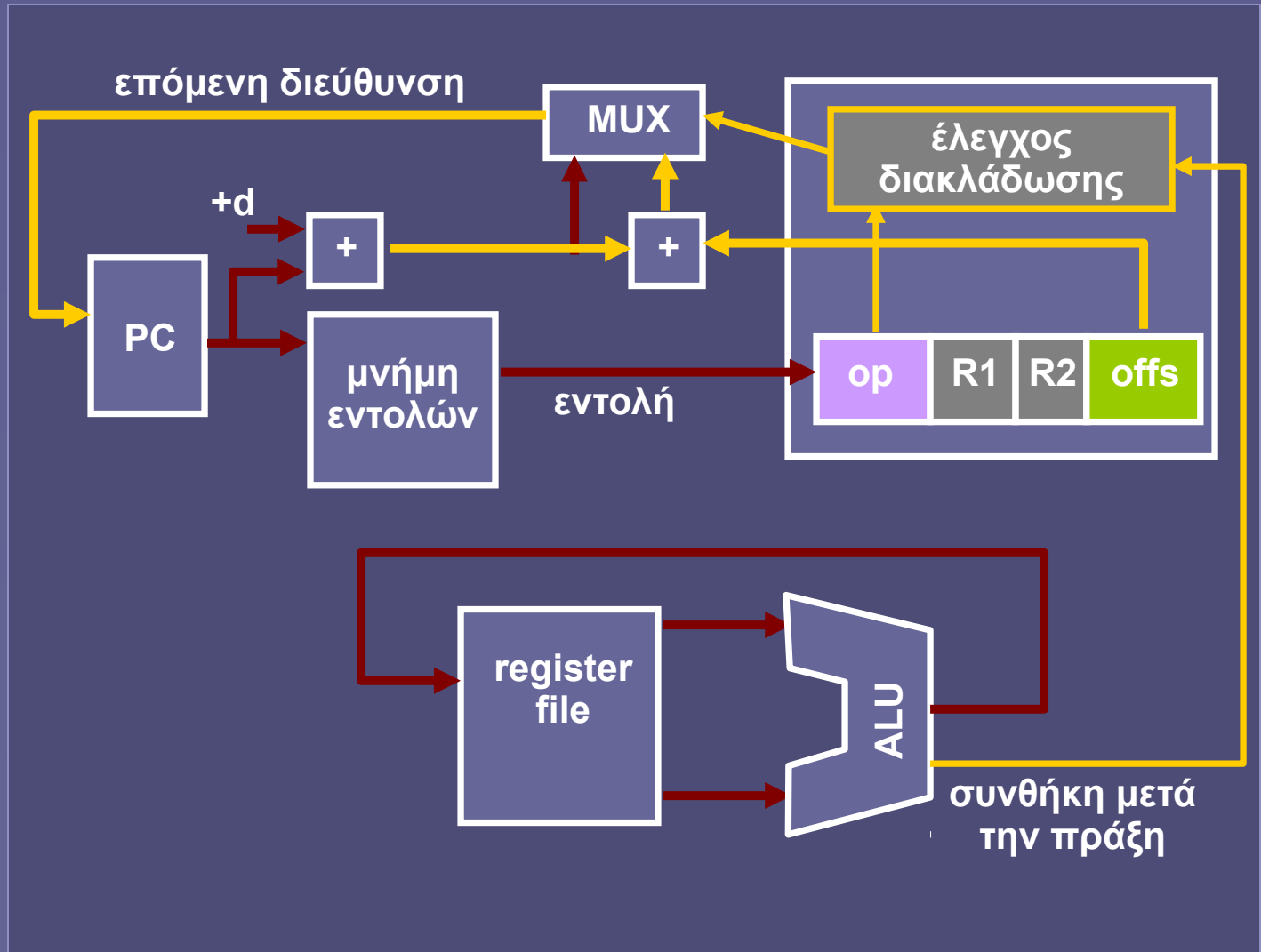
Execute (EX)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



Ενημέρωση PC (“DM”)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



Εντολές προσπέλασης μνήμης (load-store)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης

- Παράδειγμα

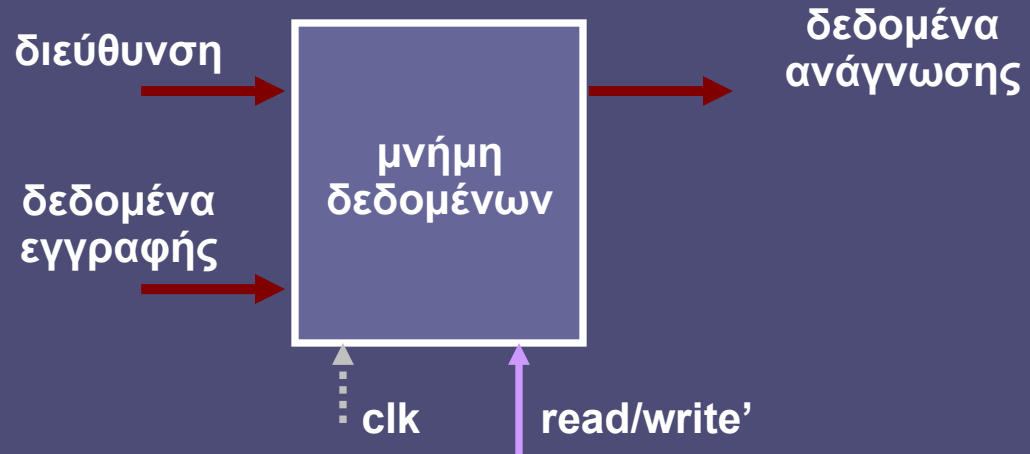


$R1 \leftarrow \text{mem}[R2 + \text{offset}]$

- Μόνο οι εντολές load και store προσπελαίνουν τη μνήμη δεδομένων
- Η διεύθυνση μνήμης παράγεται από την ΑΛΜ
 - Ως άθροισμα περιεχομένου καταχωρητή + σταθεράς (offset)

Η “μνήμη δεδομένων”

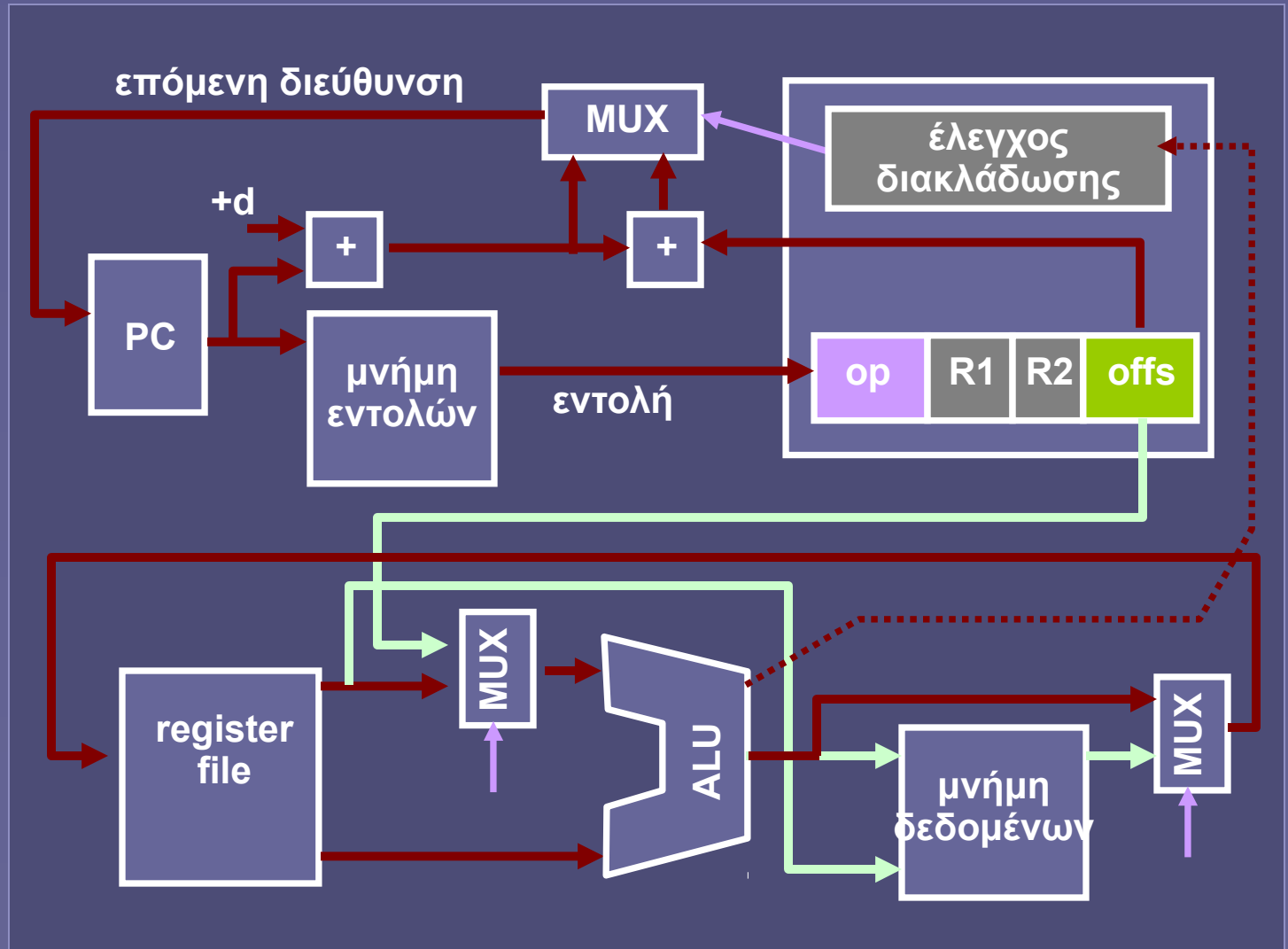
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



- Μια επίσης χρήσιμη αφαίρεση
 - Ή εγγραφή ή ανάγνωση
 - **clk** για την εγγραφή
 - Στην πραγματικότητα
 - Αντιπροσωπεύει μια ιεραρχία μνήμης

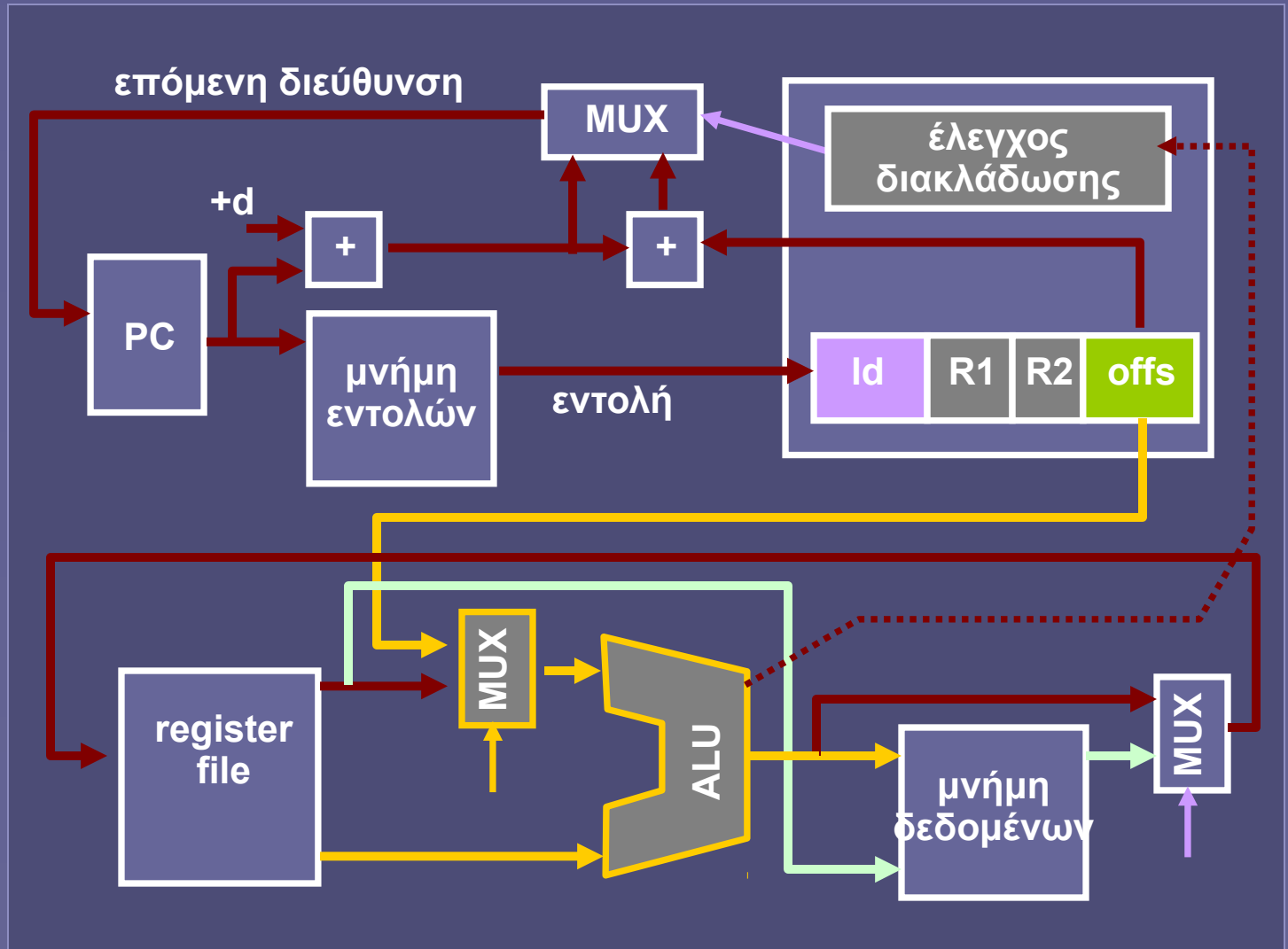
Προσπέλαση μνήμης δεδομένων

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



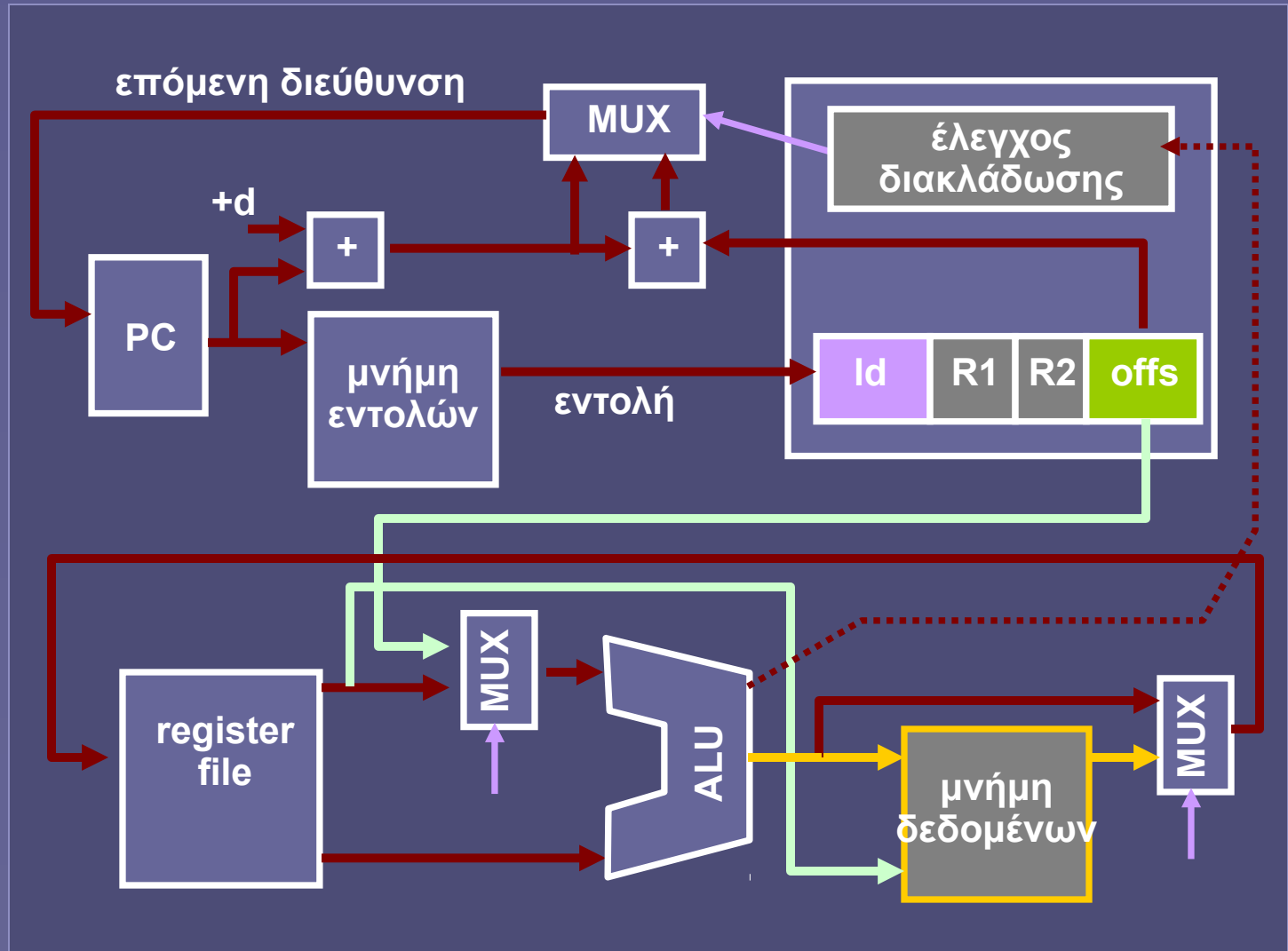
Execute (EX)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



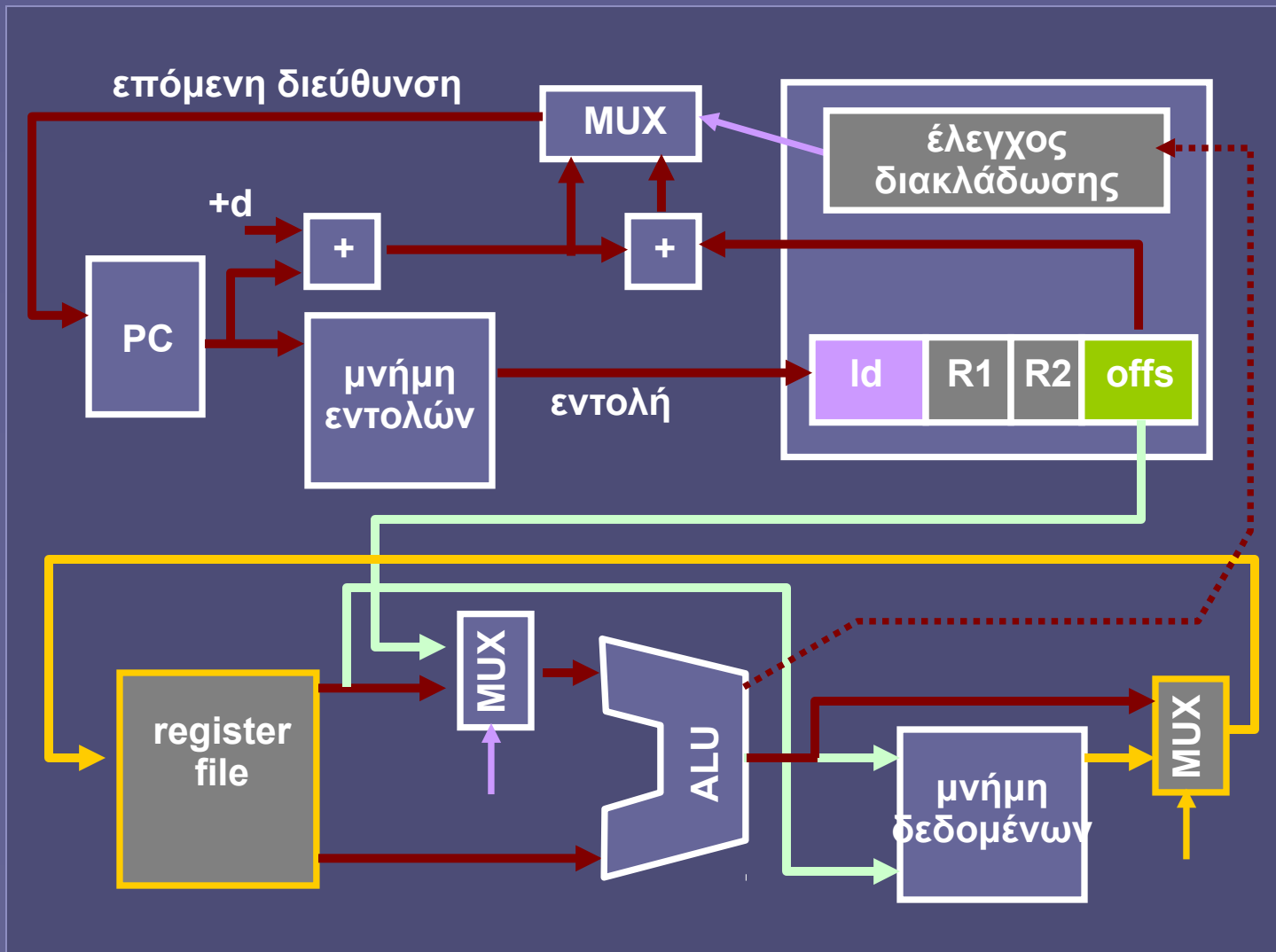
Data Memory Access (DM)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



Write Back (WB)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



Σύνοψη λειτουργίας ΚΜΕ

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης
- Σύνοψη

- Κύκλοι ρολογιού ανά εντολή
 - Cycles per Instruction (CPI)
- Περίοδος κύκλου ρολογιού
 - Clock Cycle (Period) (CC)
- Στο σημερινό παράδειγμα ΚΜΕ
 - $CPI = 1$
 - CC σταθερό ανεξάρτητα από είδος εντολής
 - CC εξαρτάται από την πιο χρονοβόρα πράξη!
 - Όχι αποδοτικό σχήμα
 - Υπάρχει τεχνική για βελτίωση της απόδοσης;
 - (στο επόμενο μάθημα)