

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (Σχεδιασμός και λειτουργία μιας απλής ΚΜΕ)

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



Μ.Στεφανιδάκης

Σχεδιασμός μιας απλής ΚΜΕ

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ

Παραδοχές

- Μοντέλο load-store (τύπου RISC)

- Εντολές σταθερού μήκους

- Βασικές κατηγορίες εντολών

- 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



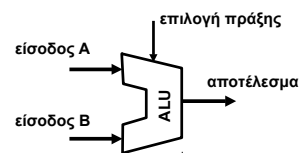
Όλες οι σύγχρονες
ΚΜΕ είναι
πολυπλοκότερες!

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας”

2

Εκτέλεση πράξεων: ΑΛΜ

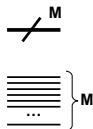
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ



- Αριθμητική-Λογική Μονάδα (ΑΛΜ)

- Arithmetic-Logic Unit (ALU)

- Εκτέλεση αριθμητικών και λογικών πράξεων
- Εκτέλεση συγκρίσεων (για διακλάδωση υπό συνθήκη)
- Υπολογισμός διευθύνσεων (για προσπέλαση μνήμης)



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας”

3

Εντολές για αριθμητικές – λογικές πράξεις

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ



$$Rz \leftarrow Rx \text{ op } Ry$$

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

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας”

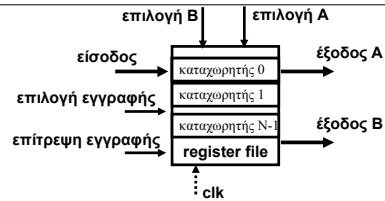
4

Συστοιχία καταχωρητών (register file)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές

!

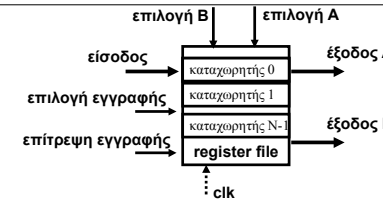
Τα σήματα στο σχήμα αυτό (και στα επόμενα) αποτελούνται από πολλά bits το καθένα!



- Ανάγνωση: Επιλογή A και Επιλογή B
 - Ποιον καταχωρητήν το περιεχόμενο θα εμφανιστεί στην αντίστοιχη έξοδο

Συστοιχία καταχωρητών (register file)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές



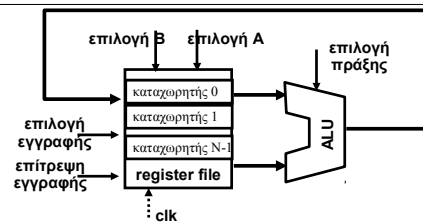
- Εγγραφή: στη θετική ακμή του clk
 - Στον καταχωρητή που ορίζει η **επιλογή εγγραφής**, εάν το επιτρέπει η **επίτρεψη εγγραφής**

Ένα απλό μονοπάτι δεδομένων (datapath)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath

;

Ποιος οδηγεί τα σήματα ελέγχου;



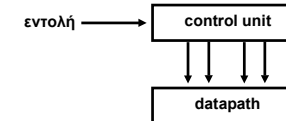
- Εκτέλεση μιας εντολής ανά κύκλο ρολογιού
- **Ανάγνωση και εγγραφή στον ίδιο κύκλο;**
 - Ναι, η ανάγνωση θα δώσει το αποτέλεσμα της εγγραφής του προηγούμενου κύκλου
 - Ενώ η εγγραφή θα είναι διαθέσιμη για ανάγνωση στον επόμενο κύκλο

Η μονάδα ελέγχου (control unit)

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

;

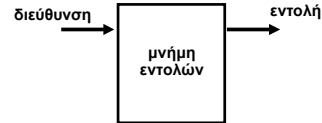
Από πού προέρχονται οι εντολές;



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

Η «μνήμη εντολών»

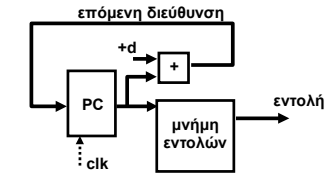
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



- 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 σε κάθε έναν 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

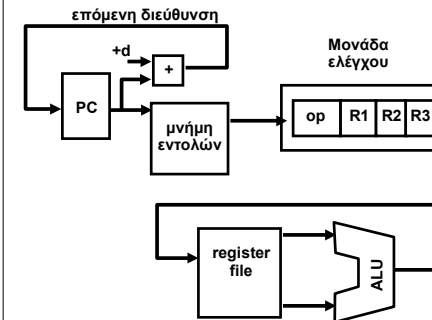
;

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

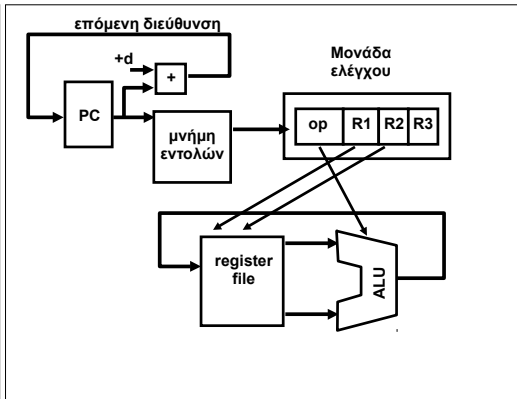
Instruction Fetch (IF): Ανάκληση

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



Instruction Decode (ID): Αποκωδικοποίηση

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

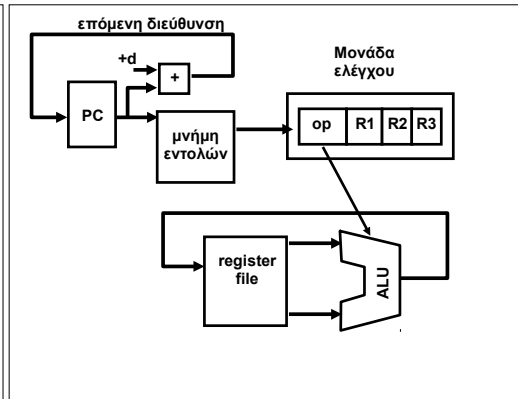


Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας”

13

Execute (EX): Εκτέλεση

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



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας”

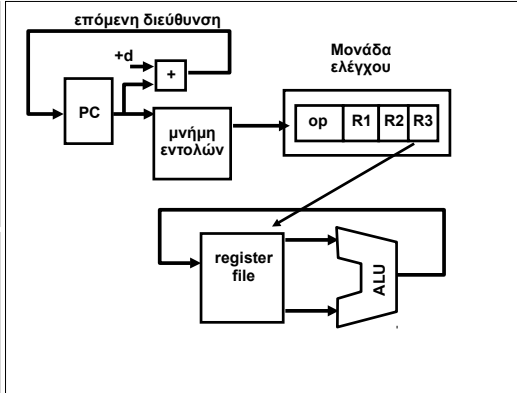
14

Write Back (WB): Αποθήκευση

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

;

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



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας”

15

Εντολές διακλάδωσης (branch ή jump)

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

Παράδειγμα

| | | | |
|-----|----|----|--------|
| beq | Rx | Ry | offset |
|-----|----|----|--------|

if $Rx == Ry$ then $PC \leftarrow PC + offset$
 “branch if equal”

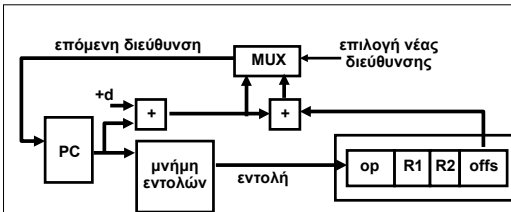
- Διακλάδωση υπό συνθήκη
 - Βασισμένο σε αποτέλεσμα πράξης ΑΛΜ
- Σχετική διεύθυνση
- Παραδοχή: υπολογισμός συνθήκης και διακλάδωση στην ίδια εντολή

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας”

16

Διακλαδώσεις και ενημέρωση PC

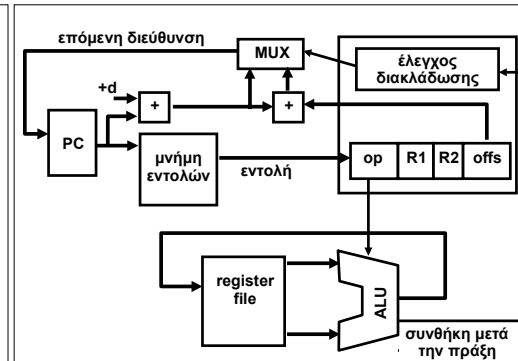
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



- 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 (αφαίρεση τιμών τους)

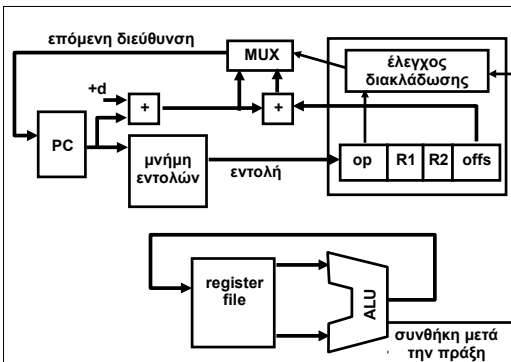
Execute (EX)

- 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

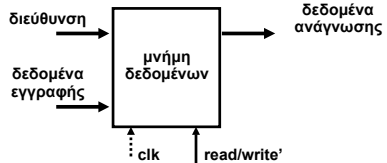


$$Rx \leftarrow \text{mem}[Ry + \text{offset}]$$

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

Η «μνήμη δεδομένων»

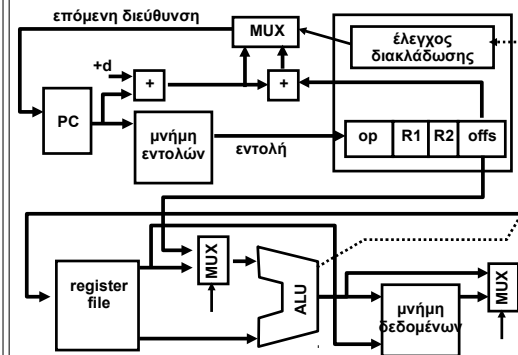
- Ο επεξεργαστής
- KME
- AAM
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



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

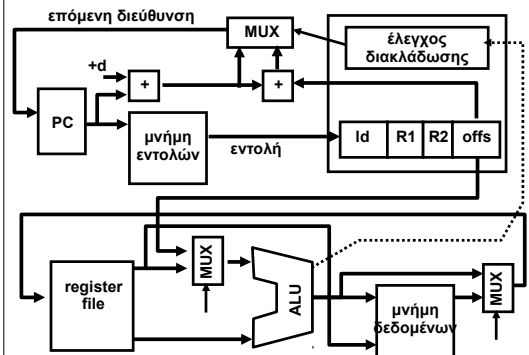
Προσπέλαση μνήμης δεδομένων

- Ο επεξεργαστής
- KME
- AAM
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



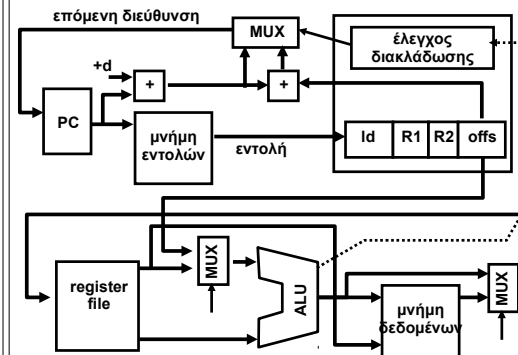
Execute (EX)

- Ο επεξεργαστής
- KME
- AAM
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



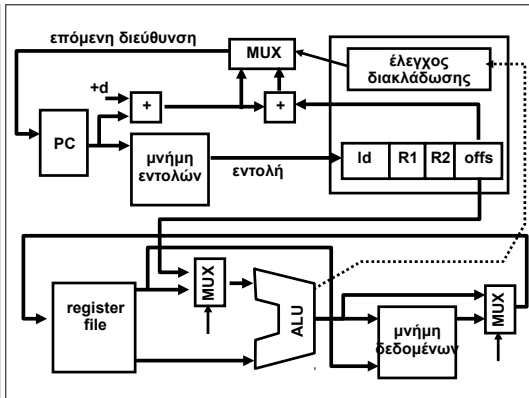
Data Memory Access (DM)

- Ο επεξεργαστής
- KME
- AAM
- 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
 - Clocks per Instruction (CPI)
- Περίοδος κύκλου ρολογιού
 - Clock Cycle (Period) (CC)
- Στο σημερινό παράδειγμα ΚΜΕ
 - $CPI = 1$
 - CC σταθερό, εξαρτάται από την πιο χρονοβόρα εντολή
 - Όχι αποδοτικό σχήμα
 - Υπάρχει τεχνική για βελτίωση της απόδοσης;
 - (στο επόμενο μάθημα)