

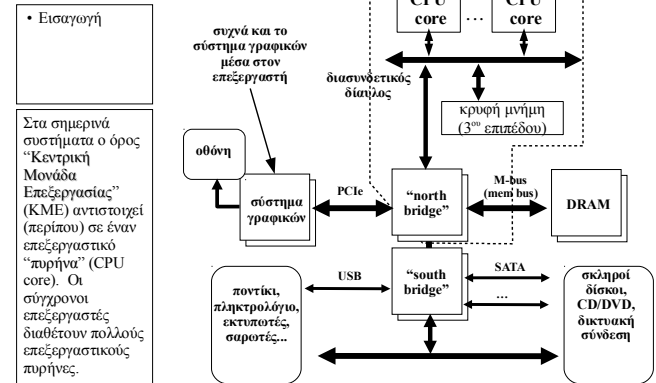
## Οργάνωση Υπολογιστών (I) (η κεντρική μονάδα επεξεργασίας)

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



Μ.Στεφανιδάκης

## Ένα τυπικό υπολογιστικό σύστημα σήμερα



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

2

## Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

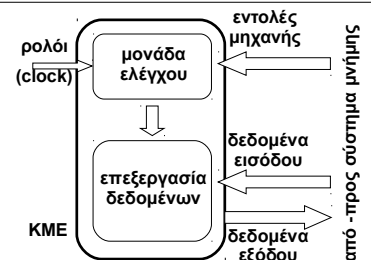
- Central Processing Unit (CPU)
  - Το υπολογιστικό τμήμα ενός «πυρήνα» (“core”)
- Εκτέλεση πράξεων στα δεδομένα
- Κύριες κατηγορίες πράξεων
  - Αριθμητικές-λογικές πράξεις
  - Μεταφορές δεδομένων από-προς μνήμη/καταχωρητές
  - Συγκρίσεις και διακλάδωση υπό συνθήκη
- Επιλογή επιθυμητής πράξης
  - Εντολές μηχανής (σειρές από bits)
  - Πρόγραμμα: ακολουθία εντολών μηχανής

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

3

## Τα μέρη της ΚΜΕ (CPU)

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



- Επεξεργασία δεδομένων
  - Καθοδήγηση από τη μονάδα ελέγχου
    - Βάσει του προγράμματος εκτέλεσης (εντολών)

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

4

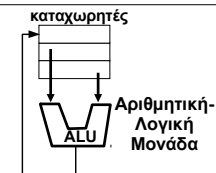
## Επεξεργασία δεδομένων

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Ποιος εκτελεί τις πράξεις μεταξύ δεδομένων;
  - Αριθμητικές-λογικές μονάδες (ΑΛΜ)
  - Διαφορετικές μονάδες για πράξεις ακεραίων και αριθμών κινητής υποδιαστολής
- Από πού προέρχονται τα δεδομένα εισόδου στις ΑΛΜ και πού αποθηκεύεται το αποτέλεσμα της πράξης;
  - Καταχωρητές
  - Μνήμη

## Καταχωρητές (registers)

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



- Καταχωρητές
  - Αυτόνομες θέσεις αποθήκευσης μέσα στην ΚΜΕ
    - Μία “λέξη” δεδομένων
  - Γρήγορη προσπέλαση
  - Προσωρινή αποθήκευση δεδομένων
    - Δεδομένα εισόδου και εξόδου ΑΛΜ (ALU)
  - Καταχωρητές γενικού σκοπού (general purpose)

## Έλεγχος εκτέλεσης εντολών

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Μονάδα ελέγχου (control unit)
  - Εκτέλεση εντολών μηχανής
- Ποια είναι η επόμενη προς εκτέλεση εντολή;
  - Μετρητής προγράμματος (Program Counter – PC ή Instruction Pointer – IP): καταχωρητής ειδικού σκοπού, περιέχει τη διεύθυνση στη μνήμη της επόμενης εντολής
  - Κατά την εκτέλεση της τρέχουσας εντολής αυξάνεται αυτόματα για να «δείχνει» στην επόμενη εντολή

## Επιλογή λειτουργιών εντολής μηχανής

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Πώς επιλέγεται για κάθε εντολή η λειτουργία της (π.χ. η πράξη) και τα δεδομένα εισόδου/εξόδου της;
- Αποκωδικοποίηση εντολών μηχανής
  - Στη μονάδα ελέγχου της ΚΜΕ
  - Με βάση τα bits κάθε εντολής δημιουργούνται τα σήματα ελέγχου (δηλ. επιλογής) της λειτουργίας όλης της ΚΜΕ

## Program Counter (PC)

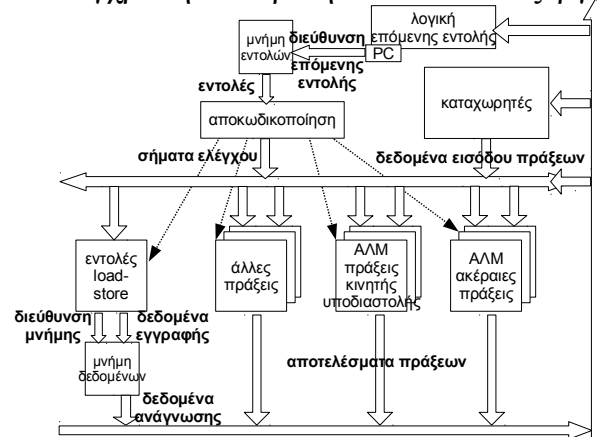
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- **Καταχωρητής διεύθυνσης**
  - Ονομάζεται επίσης Instruction Pointer (IP)
  - Διεύθυνση της επόμενης εντολής στη μνήμη
  - Ανάκληση εντολής από μνήμη
- **Αυτόματη αύξηση**
  - Δείχνει στην επόμενη θέση μνήμης (επόμενη εντολή) μετά την ανάκληση της τρέχουσας εντολής
- **Ειδική περίπτωση: διακλάδωση**
  - Μετά από σύγκριση
  - Φόρτωση του PC με διαφορετική τιμή
    - Μεταφορά της ροής εκτέλεσης σε άλλο σημείο
  - Υλοποίηση δομών if ... then ... else

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

9

## Η σύγχρονη Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

10

## Αρχιτεκτονική συνόλου εντολών

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Τι πρέπει να ξέρουμε για να προγραμματίσουμε έναν επεξεργαστή (instruction set architecture – ISA)
  - Ποιες είναι οι διαθέσιμες εντολές μηχανής
  - Τύποι και προέλευση δεδομένων
  - Ποιους καταχωρητές χρησιμοποιούμε
  - Ποιο το μοντέλο της διαθέσιμης μνήμης
    - Σήμερα: επίπεδο μοντέλο, ενιαίος χώρος μνήμης ανά πρόγραμμα, από τη διεύθυνση 0 έως τη μέγιστη δυνατή
    - Πώς σχηματίζεται μια διεύθυνση μνήμης
  - Πώς αντιδρά ο επεξεργαστής σε εξωτερικές διακοπές και καταστάσεις σφάλματος

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

11

## Αρχιτεκτονικές συνόλου εντολών

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- **Υπολογιστές σύνθετου συνόλου εντολών**
  - Complex Instruction Set Computer (CISC)
  - Μεγάλο σετ εντολών (σύνθετες λειτουργίες)
  - Εύκολη συγγραφή προγραμμάτων
  - Πολύπλοκη ΚΜΕ
- **Υπολογιστές περιορισμένου σετ εντολών**
  - Reduced Instruction Set Computer (RISC)
  - Μικρό σύνολο απλών εντολών (απλές λειτουργίες)
  - Μεγαλύτερα προγράμματα
  - Απλούστερη ΚΜΕ
    - Μεγαλύτερη χρησιμοποίηση (παράλληλεια)

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

12

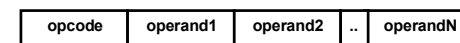
## Η γλώσσα assembly

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Μνημονική αναπαράσταση των εντολών μηχανής
  - Αντί να γράφουμε σειρές από 0 και 1...
  - Κάθε εντολή assembly αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη εντολή μηχανής
- Συγγραφή προγραμμάτων σε χαμηλό επίπεδο
  - Π.χ. κώδικας αρχικοποίησης του υπολογιστή
- Ο κώδικας assembly είναι διαφορετικός ανά επεξεργαστή
  - Άλλο σετ εντολών, άλλα ονόματα καταχωρητών...
  - Δεν μεταφέρεται το ίδιο πρόγραμμα assembly σε διαφορετικό επεξεργαστή (non-portable)
- Στα παραδείγματά μας: assembly x86 (στα PCs)

## Τι περιγράφουν τα bits μιας εντολής μηχανής;

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



Περιγράφει το είδος της πράξης που θα εκτελεστεί

Περιγράφουν την προέλευση των δεδομένων εισόδου (αριθμό καταχωρητή, διεύθυνση μνήμης κλπ) και τον προορισμό των δεδομένων εξόδου (αποτελέσματος πράξης)

- Το είδος της πράξης προσδιορίζει
  - τον τύπο, των δεδομένων (π.χ. ακέραιοι ή δεκαδικοί)
  - την προέλευση των δεδομένων (π.χ. από καταχωρητή ή από τη μνήμη)
  - και τον αριθμό των δεδομένων που συμμετέχουν στην πράξη

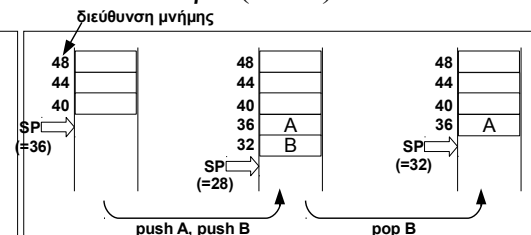
## Πηγές και προορισμός δεδομένων εντολών

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Από-προς καταχωρητές  
`mov eax,ebx` ; μετακίνησε το περιεχόμενο του ; καταχωρητή ebx στον eax
- Από-προς θέσεις μνήμης  
`cmp eax,[intlist+edi*4]` ; σύγκρινε το περιεχόμενο ; του eax με θέση μνήμης
  - διεύθυνση = σταθερά + τιμή καταχωρητή \* σταθερά
  - εκτός από το προηγούμενο παράδειγμα, η διεύθυνση μνήμης μπορεί να προκύψει και με άλλους συνδυασμούς!
- Από σταθερές μέσα στην εντολή  
`add edi,33` ; αύξησε το περιεχόμενο του ; καταχωρητή edi κατά 33
  - ο αριθμός 33 βρίσκεται μέσα στα bits της εντολής

## Η στοίβα (stack)

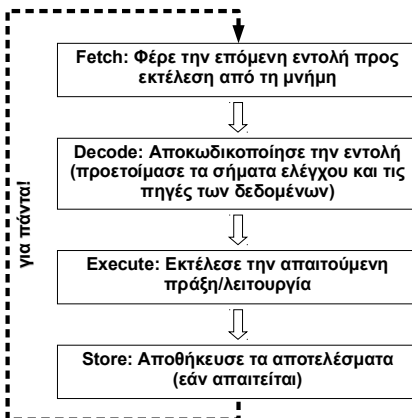
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



- Η ΚΜΕ παρέχει ειδικό καταχωρητή (stack pointer – SP) και εντολές push και pop
- Η στοίβα δεν είναι ειδική μνήμη αλλά ένα εναλλακτικό μοντέλο προσπέλασης της κανονικής μνήμης
  - Αποθήκευση διεύθυνσης επιστροφής από συναρτήσεις
  - Αποθήκευση τοπικών μεταβλητών δομημένων γλωσσών

## Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής

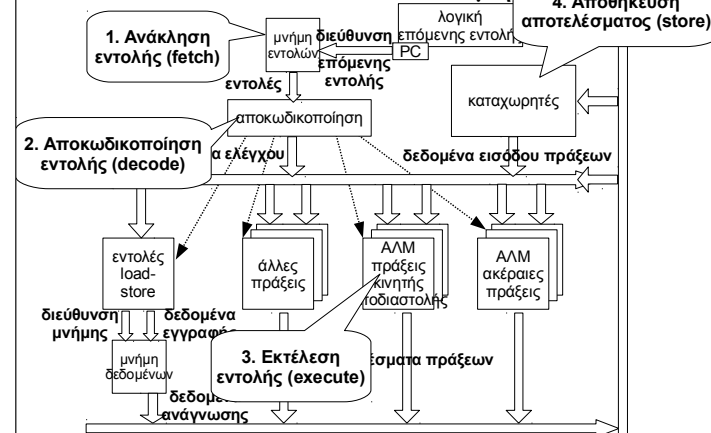
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

17

## Τα στάδια του κύκλου μηχανής



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

18

## Διακοπές και Σφάλματα

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Ο κύκλος μηχανής επαναλαμβάνεται ντετερμινιστικά και συνεχώς
  - Είτε με την επόμενη εντολή είτε με την εντολή μετά από διακλάδωση
- Εκτός αν συμβεί μια διακοπή ή ένα σφάλμα
  - Διακοπή (interrupt): προκαλείται από εξωτερική συσκευή, οδηγώντας έναν ακροδέκτη εισόδου του επεξεργαστή από 0 σε 1 (ή ανάποδα).
  - Σφάλμα (exception): κατά την εκτέλεση, λόγω π.χ. διαίρεσης δια 0, προσπέλασης άκυρης διεύθυνσης μνήμης κ.ά.

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

19

## Αντίδραση σε διακοπές

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Διακόπτεται το εκτελούμενο πρόγραμμα
  - Αφού ολοκληρωθεί η τρέχουσα εντολή
- Αποθηκεύονται στη στοιβία οι τιμές των καταχωρητών και ο Program Counter
  - Δηλαδή, η κατάσταση του προγράμματος
- Η εκτέλεση μεταβαίνει σε προκαθορισμένη για κάθε είδους διακοπή θέση μνήμης
  - Όπου το λειτουργικό σύστημα έχει τοποθετήσει μια διακλάδωση στη ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής (interrupt service routine – ISR)
- Με την ολοκλήρωση της ρουτίνας εξυπηρέτησης, η εκτέλεση επιστρέφει στο πρόγραμμα που διακόπηκε
  - Αφού αποκατασταθούν οι καταχωρητές

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Οργάνωση Υπολογιστών (I)”

20

## Σημαίες κατάστασης (flags)

- Εισαγωγή
- KME

- Μια ομάδα bits που αναφέρουν την κατάσταση της KME μετά την εκτέλεση μιας εντολής
  - Κάθε εντολή επηρεάζει ορισμένα μόνο flags
- Τα πιο κοινά flags:
  - (Z)ero flag = μηδενικό αποτέλεσμα (της προηγούμενης πράξης)
  - (S)ign flag = αρνητικό αποτέλεσμα
  - (C)arry flag = ύπαρξη τελικού κρατουμένου
  - ο(V)erflow flag = ένδειξη υπερχείλισης
- Άλλα flags τίθενται από το πρόγραμμα για να ειδοποιήσουν την KME για μια επιλογή
  - Π.χ. το (I)nterrupt flag δηλώνει αν επιτρέπουμε διακοπές ή όχι

## Διακλάδωση υπό συνθήκη και flags

- Εισαγωγή
- KME

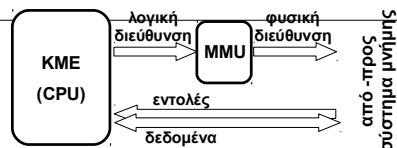
- Κάθε εντολή διακλάδωσης υπό συνθήκη εξετάζει ορισμένα flags για να αποφασίσει αν θα εκτελεστεί η διακλάδωση ή όχι
- Τα flags έχουν τεθεί από την αμέσως προηγούμενη εντολή

- Παράδειγμα:

```
cmp edi,10      ; σύγκριση του περιεχομένου του
                ; καταχωρητή edi με το 10
                ; η εντολή cmp θέτει ανάλογα τα Z, C, S και V flags
jne again       ; διακλάδωση εάν Z flag = 0
```

## Εικονική μνήμη

- Εισαγωγή
- KME



- Ένα πρόγραμμα “βλέπει” λογικές διευθύνσεις
  - Εικονική Μνήμη (virtual memory)
  - Μετάφραση σε φυσικές διευθύνσεις μνήμης
  - Από το σύστημα διαχείρισης μνήμης (memory management unit – MMU) που βρίσκεται επίσης μέσα στον επεξεργαστή
    - Ευκολία στη μεταγλώττιση – εκτέλεση
    - Προστασία δεδομένων διεργασιών
    - Εικονική μνήμη μεγαλύτερη από τη φυσική

## Παράδειγμα εντολών: εύρεση μεγίστου

intlist+0	+4	+8	+12	+16	+20	+24	+28	+32	+36
0A 00 00 00	FD FF 00 FF	1B 00 00 00	23 00 00 00	BD FF 00 FF	E4 FF 00 FF	07 00 00 FF	FD FF 00 FF	2B 00 00 FF	FF 00 00 FF
(10)	(-3)	(27)	(35)	(-67)	(-28)	(7)	(-3)	(43)	(-1)

\_start:

```
mov eax,[intlist]      ; maxint = intlist[0]
mov edi,1               ; i = 1 (2nd item of list)
```

again:

```
cmp eax,[intlist+edi*4] ; compare maxint with intlist[i]
jge skip                ; if maxint >= intlist[i] continue
mov eax,[intlist+edi*4] ; else, maxint = intlist[i]
```

skip:

```
add edi,1               ; i += 1
cmp edi,10              ; compare i with length(intlist)
jne again               ; if i != length(intlist), loop again
```

## Επεξηγήσεις

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Στην προηγούμενη διαφάνεια:
  - Λίστα 10 ακεραίων (32 bits)
  - Κάθε στοιχείο απέχει 4 bytes από το προηγούμενο
  - Η γλώσσα assembly ανήκει στην αρχιτεκτονική x86 (των PCs μας)
  - eax και edi είναι ονόματα καταχωρητών 32-bit
  - Οι αγκύλες [...] υποδηλώνουν προσπέλαση μνήμης
  - Το πρόγραμμα μπορεί να γραφεί και με πιο αποδοτικό τρόπο