

Οργάνωση Υπολογιστών (I) (η κεντρική μονάδα επεξεργασίας)

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

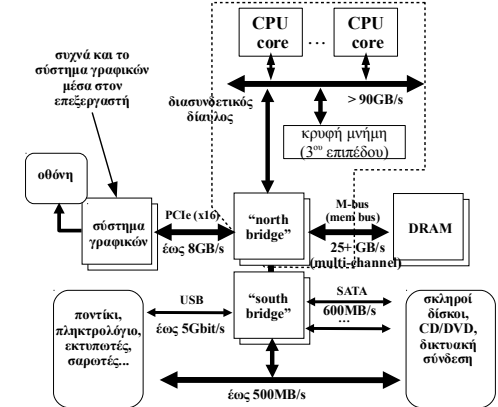


Μ.Στεφανιδάκης

Ένα τυπικό υπολογιστικό σύστημα σήμερα

• Εισαγωγή

Στα σημερινά συστήματα ο όρος “Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας” (ΚΜΕ) αντιστοιχεί (περίπου) σε έναν επεξεργαστικό “πυρήνα” (CPU core). Οι σύγχρονοι επεξεργαστές διαθέτουν πολλούς επεξεργαστικούς πυρήνες.



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

2

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

• Εισαγωγή • ΚΜΕ

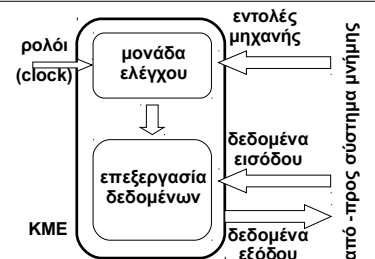
- Central Processing Unit (CPU)
 - Η απλά “πυρήνας” (“core”)
- Εκτέλεση πράξεων στα δεδομένα
- Κύριες κατηγορίες πράξεων
 - Αριθμητικές-λογικές πράξεις
 - Μεταφορές δεδομένων από-προς τη μνήμη
 - Συγκρίσεις και διακλάδωση υπό συνθήκη
- Επιλογή επιθυμητής πράξης
 - Εντολές μηχανής (σειρές από bits)
 - Πρόγραμμα: ακολουθία εντολών μηχανής

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

3

Τμήματα 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

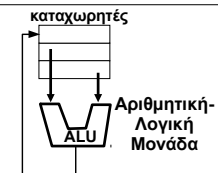
Επεξεργασία δεδομένων

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- “Μονοπάτι δεδομένων” (Datapath)
- Ποιος εκτελεί τις πράξεις μεταξύ δεδομένων;
 - Αριθμητικές-λογικές μονάδες (ΑΛΜ)
- 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 γενικής χρήσης (general purpose)

Έλεγχος εκτέλεσης εντολών

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

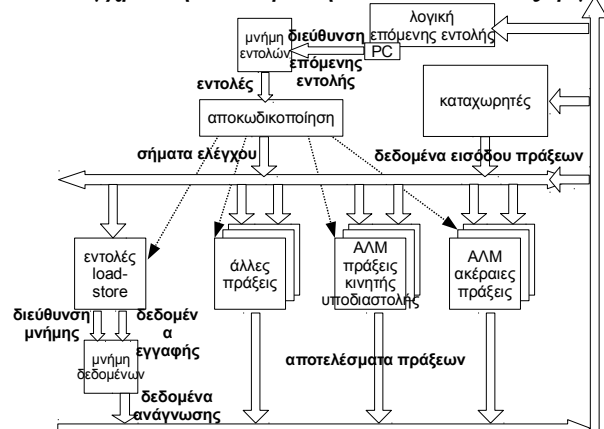
- Μονάδα ελέγχου (control unit)
 - Εκτέλεση εντολών μηχανής
- Ποια είναι η επόμενη προς εκτέλεση εντολή;
 - Μετρητής προγράμματος (Program Counter – PC ή Instruction Pointer – IP)
- Πώς επιλέγεται η πράξη της και τα δεδομένα εισόδου εξόδου της;
 - Αποκωδικοποίηση εντολών
 - Με βάση τα bits κάθε εντολής δημιουργούνται σήματα ελέγχου 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

Η σύγχρονη Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας



Αρχιτεκτονική συνόλου εντολών

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Τι πρέπει να ξέρουμε για να προγραμματίσουμε έναν επεξεργαστή (instruction set architecture – ISA)
 - Ποιες είναι οι διαθέσιμες εντολές
 - 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)"

10

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 (παραλληλία)

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – "Οργάνωση Υπολογιστών (I)"

11

Η γλώσσα assembly

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

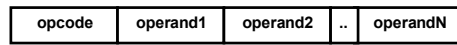
- Μνημονική αναπαράσταση των εντολών μηχανής
 - Αντί να γράφουμε σειρές από 0 και 1...
 - Κάθε εντολή assembly αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη εντολή μηχανής
- Συγγραφή προγραμμάτων σε χαμηλό επίπεδο
 - Π.χ. κώδικας αρχικοποίησης του υπολογιστή
- Ο κώδικας assembly είναι διαφορετικός ανά επεξεργαστή!
 - Άλλο σετ εντολών, άλλα ονόματα καταχωρητών...
 - Δεν μεταφέρεται το ίδιο πρόγραμμα assembly σε διαφορετικό επεξεργαστή (non-portable)
- Στα παραδείγματά μας: assembly x86-32bit (στα PCs)

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – "Οργάνωση Υπολογιστών (I)"

12

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

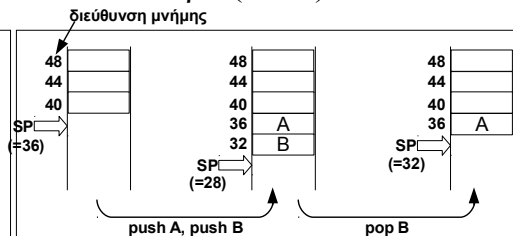
Πηγές και προορισμός δεδομένων εντολών

- 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)

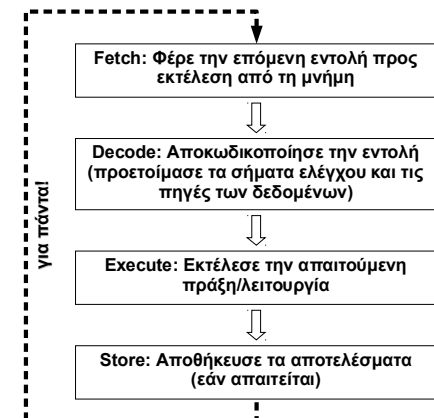
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

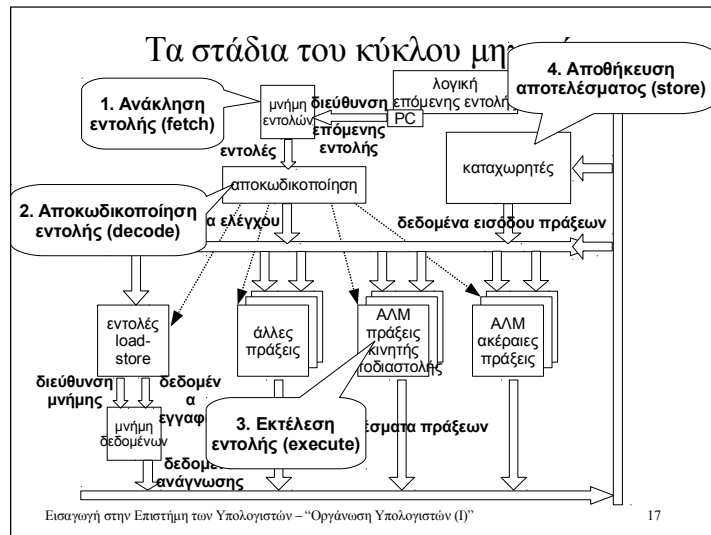


- Η ΚΜΕ παρέχει ειδικό καταχωρητή (stack pointer – SP) και εντολές push και pop
- Η στοίβα δεν είναι ειδική μνήμη αλλά ένα εναλλακτικό μοντέλο προσπέλασης της κανονικής μνήμης
 - Αποθήκευση διεύθυνσης επιστροφής από συναρτήσεις
 - Αποθήκευση τοπικών μεταβλητών δομημένων γλωσσών

Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ





17

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)”

18

Αντίδραση σε διακοπές

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Διακόπτεται το εκτελούμενο πρόγραμμα
 - Αφού ολοκληρωθεί η τρέχουσα εντολή
- Αποθηκεύονται στη στοίβα 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)”

19

Σημαίες κατάστασης (flags)

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- Μια ομάδα bits που αναφέρουν την κατάσταση της ΚΜΕ 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 υπερχειλίσσης
- Άλλα flags τίθενται από το πρόγραμμα για να ειδοποιήσουν την ΚΜΕ για μια επιλογή
 - Π.χ. το (I)nterrupt flag δηλώνει αν επιτρέπουμε διακοπές ή όχι

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

20

Διακλάδωση υπό συνθήκη και flags

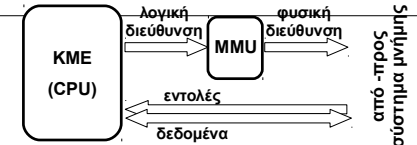
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- 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
- ΚΜΕ



- 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 | FD | 1B | 23 | BD | E4 | 07 | FD | 2B | FF |
| 00 | FF | 00 | 00 | FF | FF | 00 | FF | 00 | FF |
| 00 | FF | 00 | 00 | FF | FF | 00 | FF | 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