

Οργάνωση Υπολογιστών (I) (η κεντρική μονάδα επεξεργασίας)

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

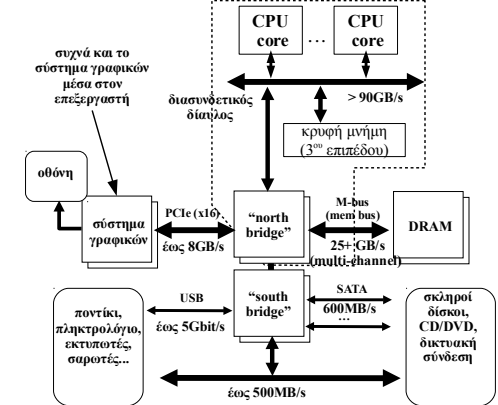


Μ.Στεφανιδάκης

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.



οι ρυθμοί μεταφοράς που δίνονται είναι οι θεωρητικά μέγιστοι!

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

2

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

• Εισαγωγή • ΚΜΕ

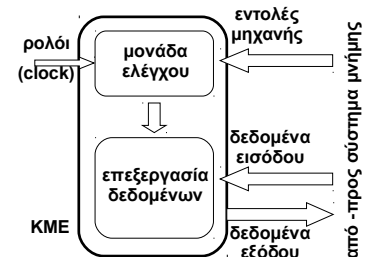
- Central Processing Unit (CPU)
 - Ή απλά “πυρήνας” (“core”)
- Εκτέλεση πράξεων στα δεδομένα
- Κύριες κατηγορίες πράξεων
 - Αριθμητικές-λογικές πράξεις
 - Μεταφορές δεδομένων από-προς τη μνήμη
 - Συγκρίσεις και διακλάδωση υπό συνθήκη
- Επιλογή επιθυμητής πράξης
 - Εντολές μηχανής (σειρές από bits)
 -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

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

3

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

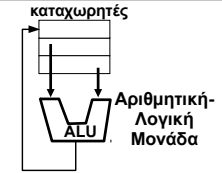
Επεξεργασία δεδομένων

- 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 γενικής χρήσης (general purpose)

Έλεγχος εκτέλεσης εντολών

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

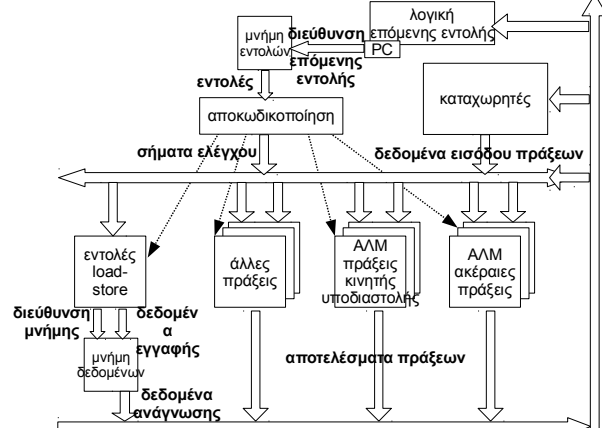
- Μονάδα ελέγχου (control unit)
 - Εκτέλεση εντολών μηχανής
- Ποια είναι η επόμενη προς εκτέλεση εντολή;
 - Μετρητής προγράμματος (Program Counter – PC ή Instruction Pointer – IP)
- Πώς επιλέγεται η πράξη της και τα δεδομένα εισόδου εξόδου της;
 - Αποκωδικοποίηση εντολών
 - Με βάση τα bits κάθε εντολής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



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

9

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

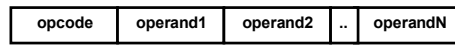
- Μνημονική αναπαράσταση των εντολών μηχανής
 - Αντί να γράφουμε σειρές από 0 και 1...
 - Κάθε εντολή assembly αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη εντολή μηχανής
- Συγγραφή προγραμμάτων σε χαμηλό επίπεδο
 - Π.χ. κώδικας αρχικοποίησης του υπολογιστή
- Ο κώδικας assembly είναι διαφορετικός ανά επεξεργαστή!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

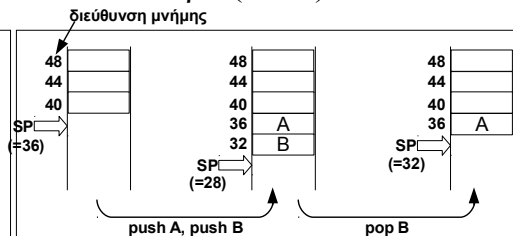
Πηγές και προορισμός δεδομένων εντολών

- 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)

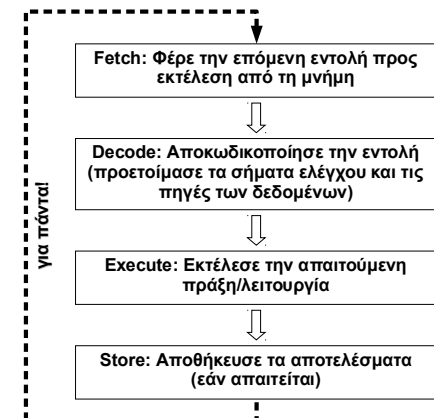
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

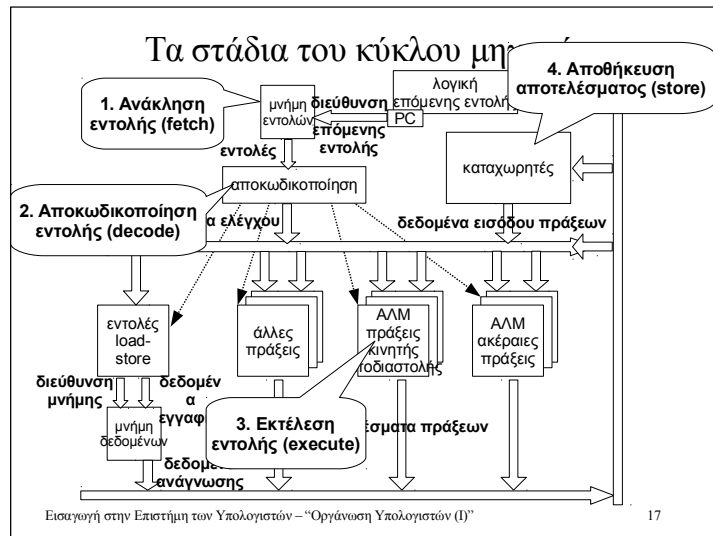


- Η ΚΜΕ παρέχει ειδικό καταχωρητή (stack pointer – SP) και εντολές push και pop
- Η στοίβα δεν είναι ειδική μνήμη αλλά ένα εναλλακτικό μοντέλο προσπέλασης της κανονικής μνήμης
 - Αποθήκευση διεύθυνσης επιστροφής από συναρτήσεις
 - Αποθήκευση τοπικών μεταβλητών δομημένων γλωσσών

Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ





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.

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

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 κρατούμενου
 - 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

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:

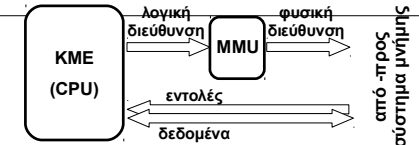
```
cmp edi,10      ; σύγκριση του περιεχομένου του
                  ; καταχωρητή edi με το 10
; η εντολή cmp θέτει ανάλογα τα Z, C, S και V flags
jne again       ; διακλάδωση εάν Z flag = 0
```

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

21

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

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

22

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
```

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

23

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

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

24