

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών
2020-21

Οργάνωση Υπολογιστών (I)

(η κεντρική μονάδα επεξεργασίας)

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

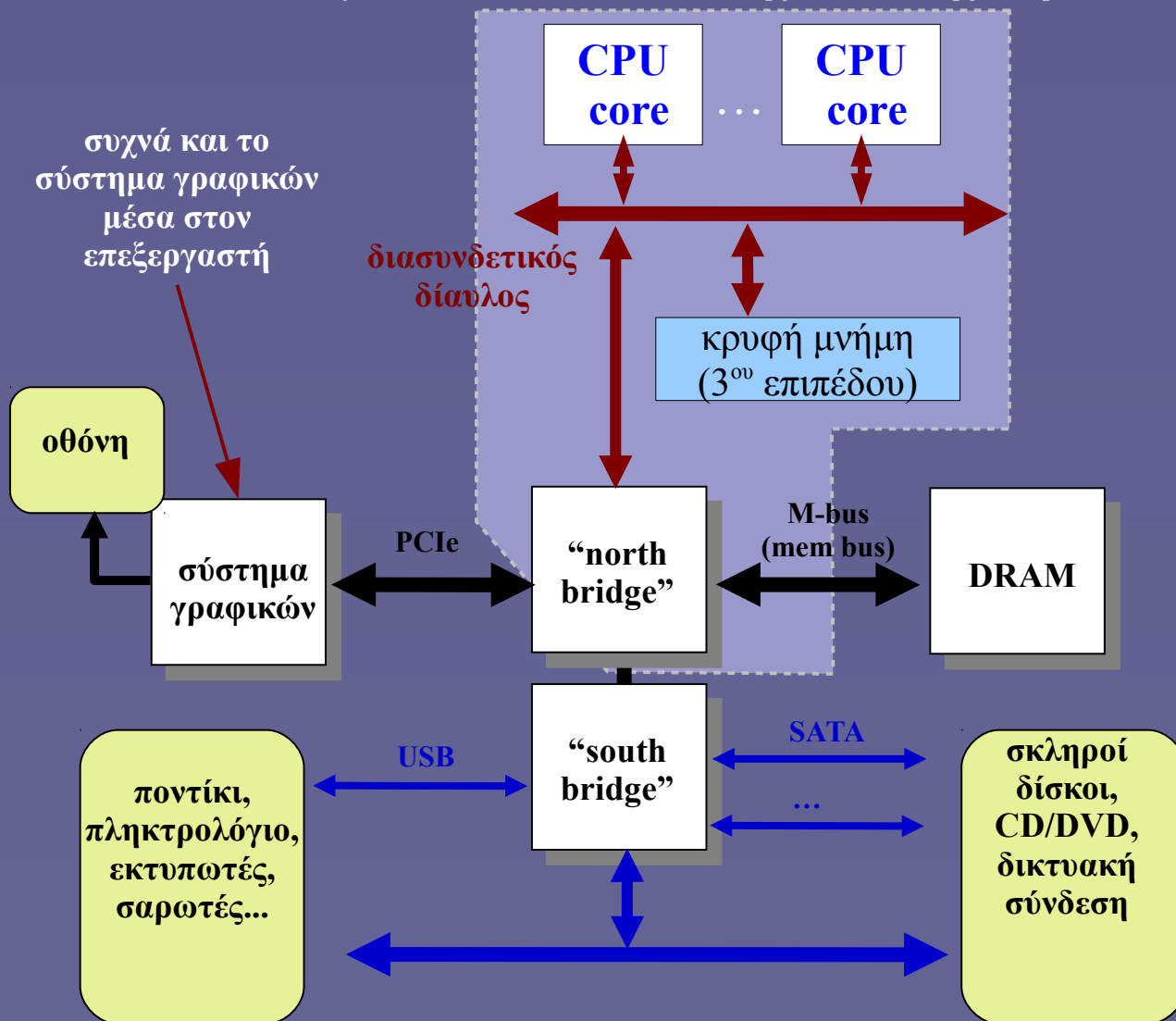
Μ.Στεφανιδάκης



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.



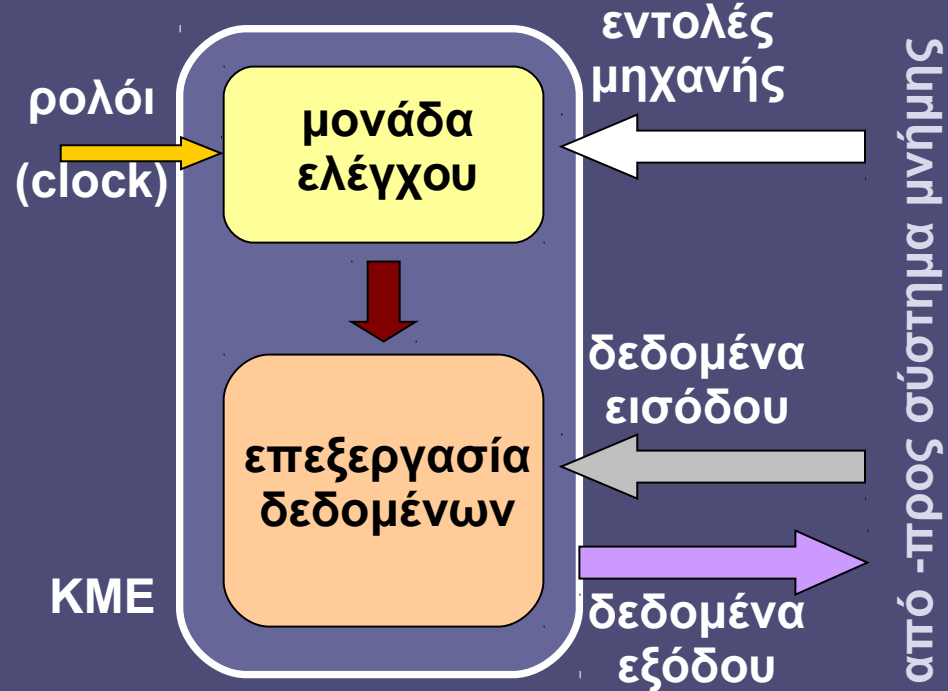
Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

- 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

Τα μέρη της ΚΜΕ (CPU)

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



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

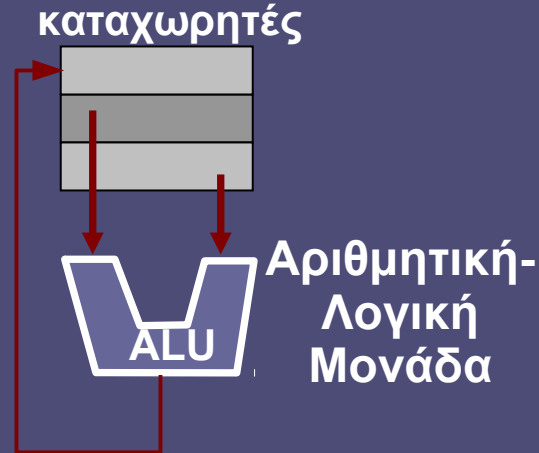
Επεξεργασία δεδομένων

- 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

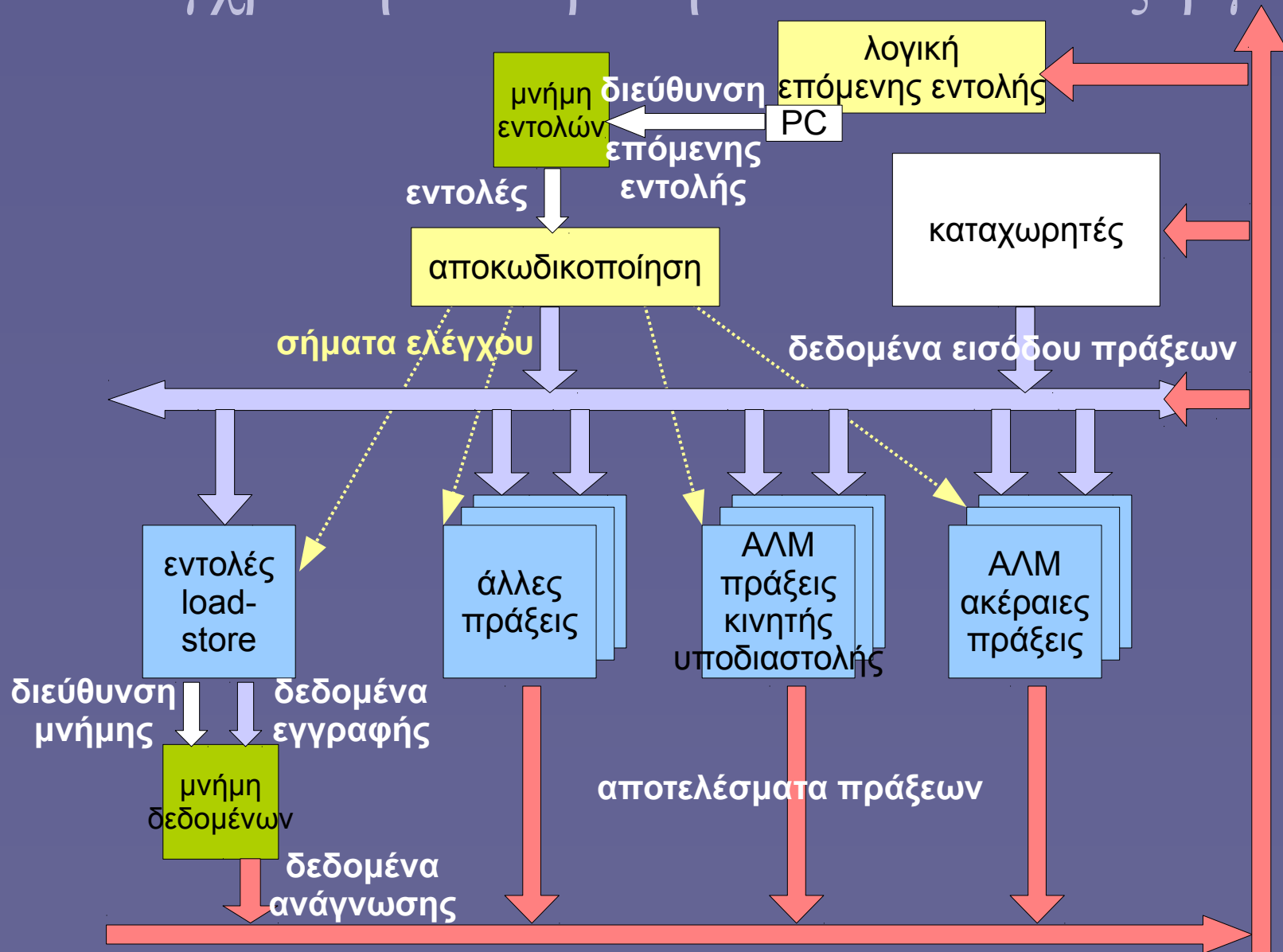
- Πώς επιλέγεται για κάθε εντολή η λειτουργία της (π.χ. η πράξη) και τα δεδομένα εισόδου/εξόδου της;
- **Αποκωδικοποίηση** εντολών μηχανής
 - Στη μονάδα ελέγχου της ΚΜΕ
 - Με βάση τα bits κάθε εντολής δημιουργούνται τα σήματα ελέγχου (δηλ. επιλογής) της λειτουργίας όλης της ΚΜΕ

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**

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 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

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)

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

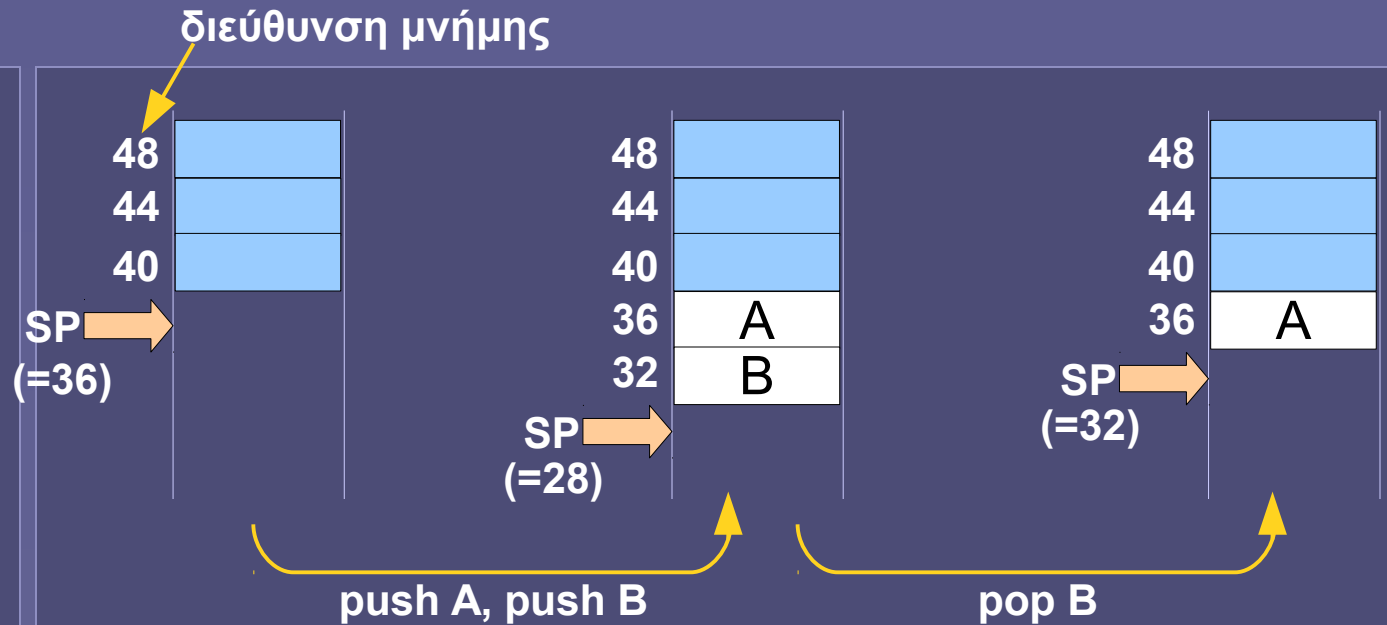
Πηγές και προορισμός δεδομένων εντολών

- 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)

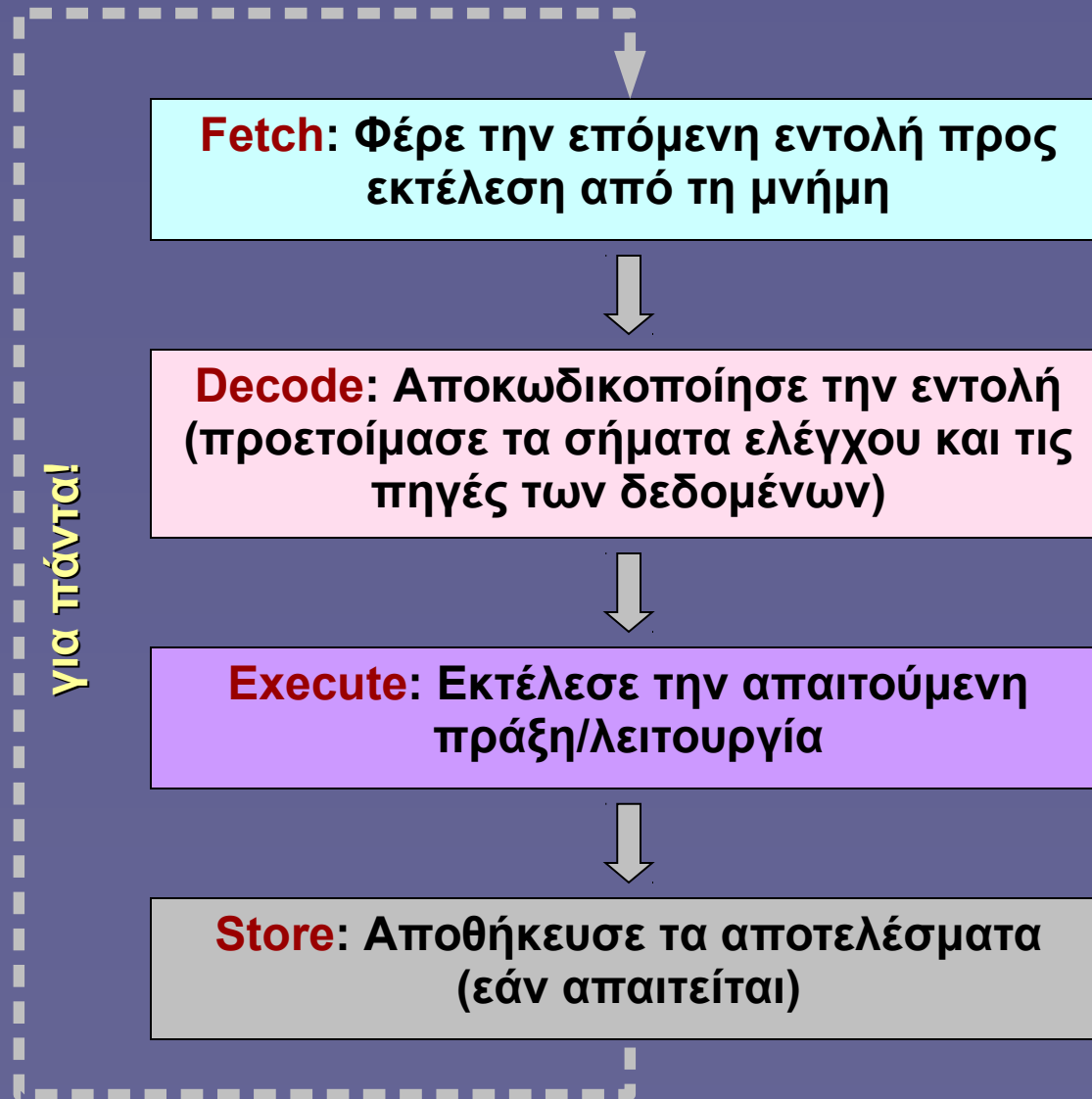
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



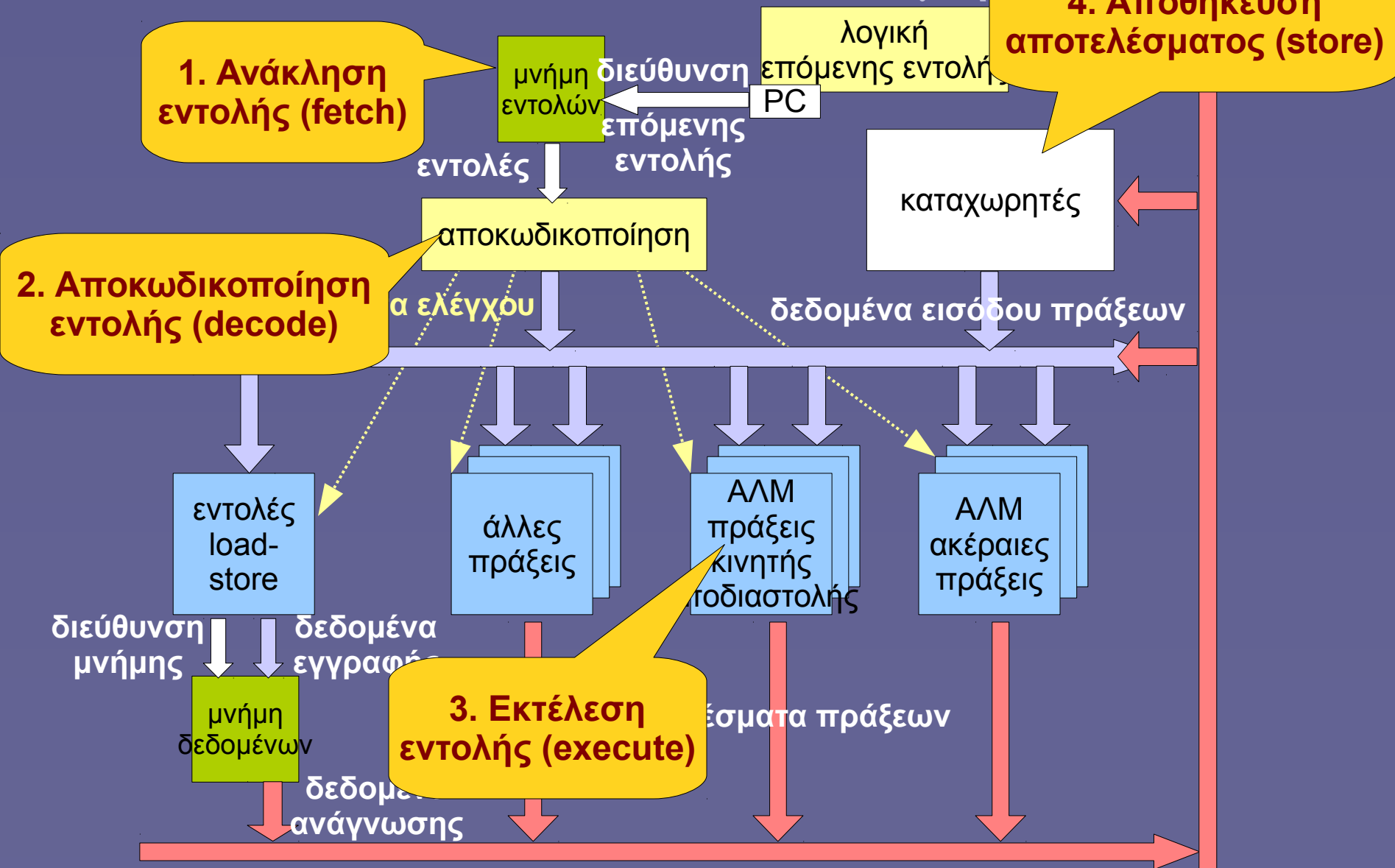
- Η ΚΜΕ παρέχει ειδικό καταχωρητή (stack pointer – SP) και εντολές **push** και **pop**
- Η στοίβα δεν είναι ειδική μνήμη αλλά ένα εναλλακτικό μοντέλο προσπέλασης της κανονικής μνήμης
 - Αποθήκευση διεύθυνσης επιστροφής από συναρτήσεις
 - Αποθήκευση τοπικών μεταβλητών δομημένων γλωσσών

Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής

- Εισαγωγή
- ΚΜΕ



Τα στάδια του κύκλου μη



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 κρατουμένου
 - o(V)erflow flag = ένδειξη υπερχείλισης
- 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

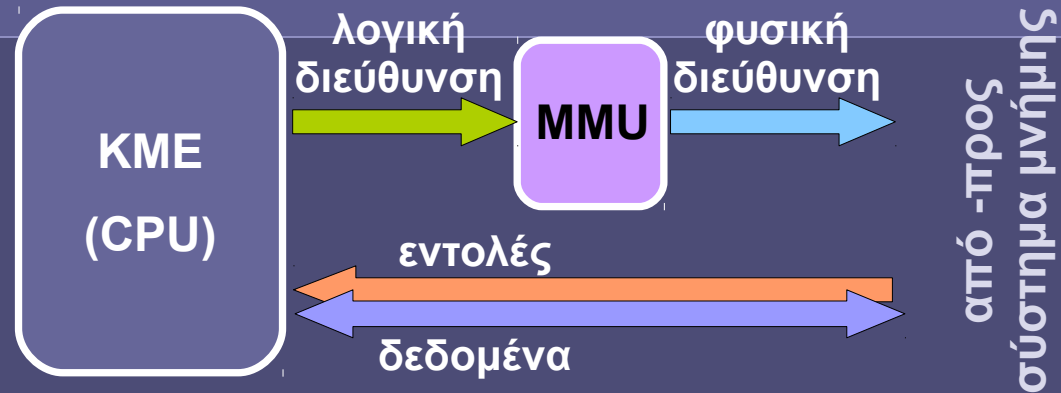
- Εισαγωγή
- ΚΜΕ

- 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

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