Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

2022-23

Αρχιτεκτονικές Συνόλου Εντολών

(Instruction Set Architectures - ISA)

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

Μ.Στεφανιδάκης

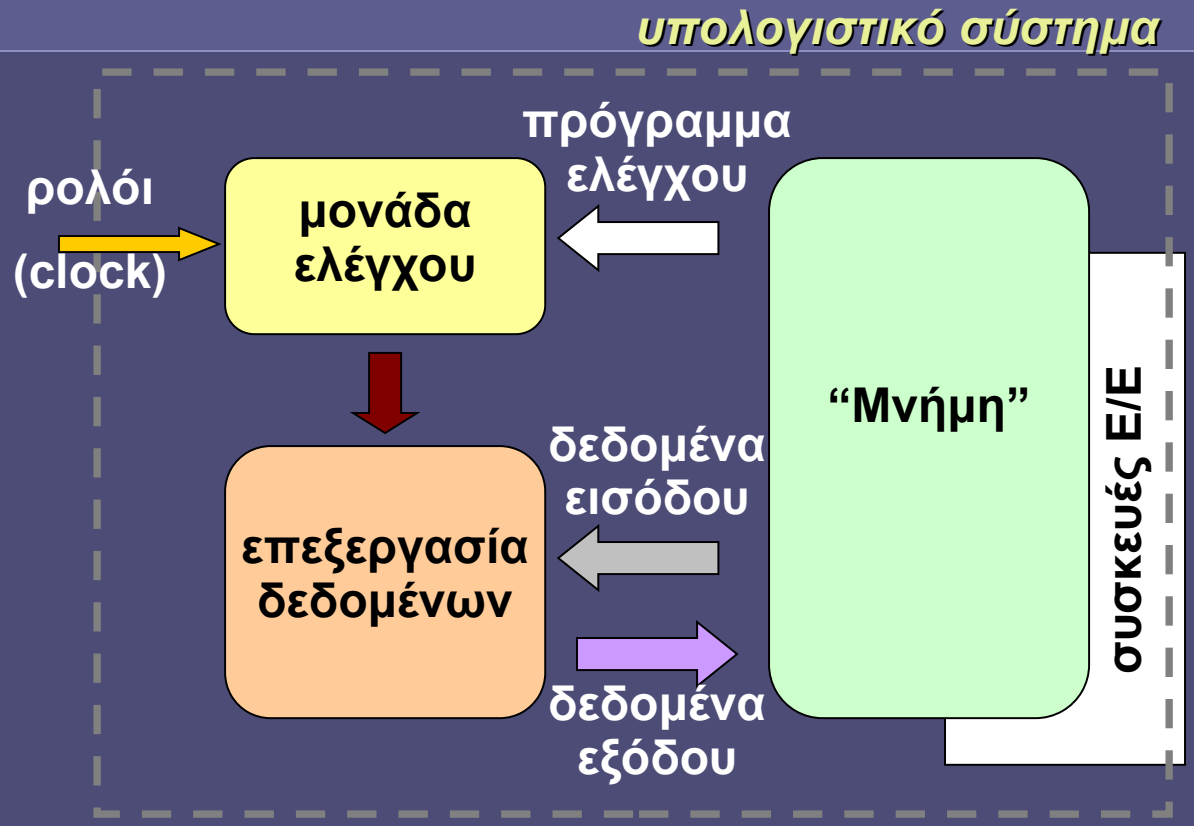
Ο (μικρο)επεξεργαστής

- (Micro)processor
  - Μέρος ενός ευρύτερου υπολογιστικού συστήματος
  - Αρχικά: μόνο η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)
    - Central Processing Unit (CPU)
  - Περιέχει σήμερα πολλαπλές υπομονάδες επεξεργασίας
    - Cores
    - Με διαφορετικά χαρακτηριστικά ή/και ρόλους
  - Και μέρος της ιεραρχίας μνήμης
  - Καθώς και μέρος των μονάδων ελέγχου συσκευών εισόδου - εξόδου

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

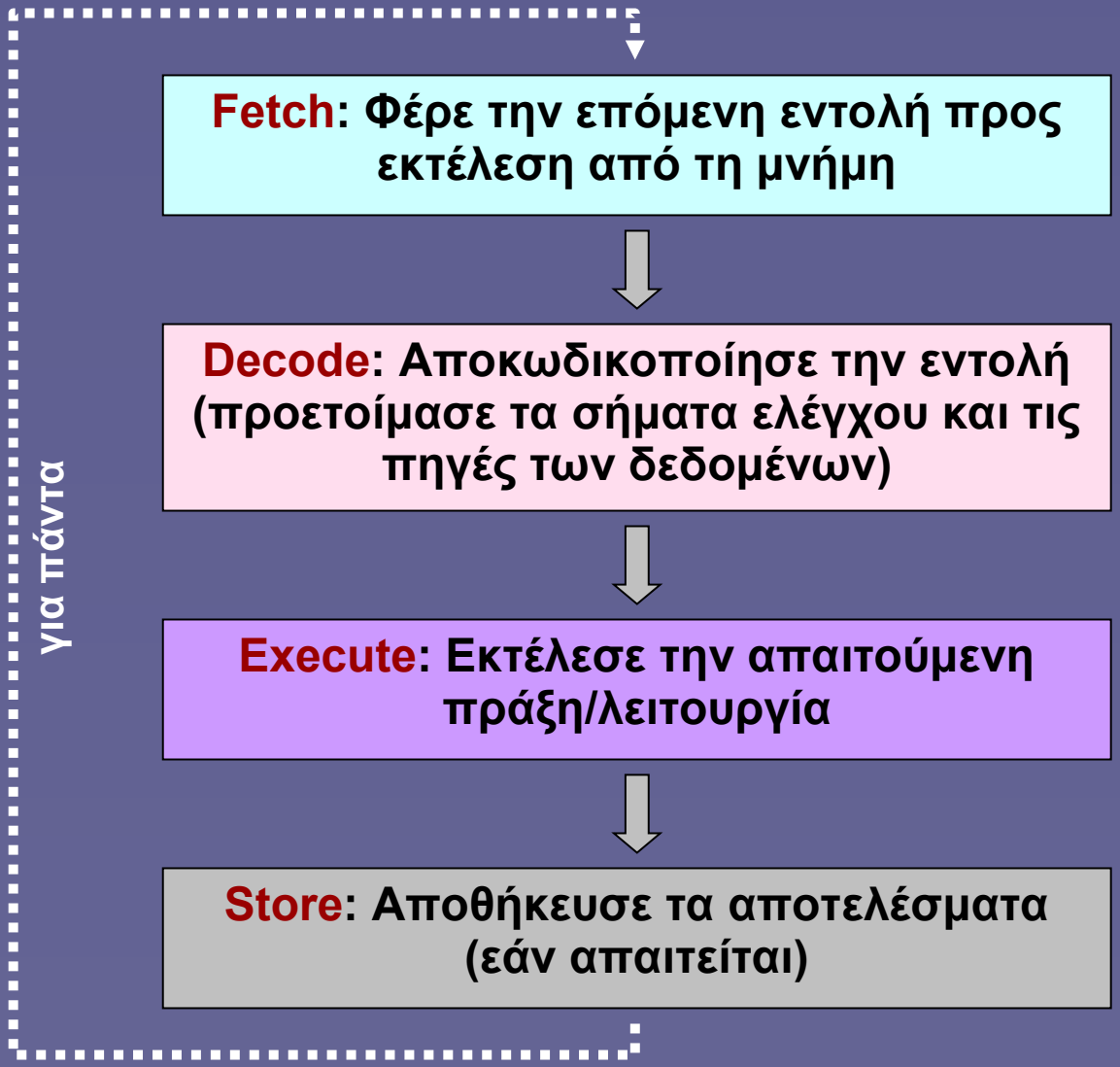
- Central Processing Unit (CPU)
  - Ένας όρος που τείνει προς εξαφάνιση
  - Μετά την εμφάνιση των πολλών/διαφορετικών μονάδων επεξεργασίας στο ίδιο τσιπ
- Ποιος ο ρόλος μιας Μονάδας Επεξεργασίας
  - Μετασχηματίζει (επεξεργάζεται) δεδομένα σύμφωνα με ένα πρόγραμμα ελέγχου
  - Το πρόγραμμα ελέγχου αποτελείται από εντολές μηχανής

Το μοντέλο «von Neumann»



- Το **πρόγραμμα ελέγχου**, όπως και **τα δεδομένα**, αποθηκεύονται στη **μνήμη** του υπολογιστή
  - **"Stored-program computer"**

Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής



Εκτέλεση εντολών

- Επόμενη εντολή προς εκτέλεση
  - Program Counter (PC): καταχωρητής που περιέχει τη διεύθυνση της θέσης μνήμης όπου βρίσκεται η επόμενη εντολή
  - Σειριακή αύξηση διεύθυνσης μετά την εκτέλεση εντολής
  - Ή μεταπήδηση σε νέα θέση μνήμης (διακλάδωση)
  - Η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς
    - Όσο η Μονάδα Επεξεργασίας είναι σε λειτουργία
    - Πολλές μονάδες μπορούν να «παγώσουν» τη λειτουργία τους (κατάσταση HALT)
      - Σε αναμονή εξωτερικού σήματος επανεκκίνησης

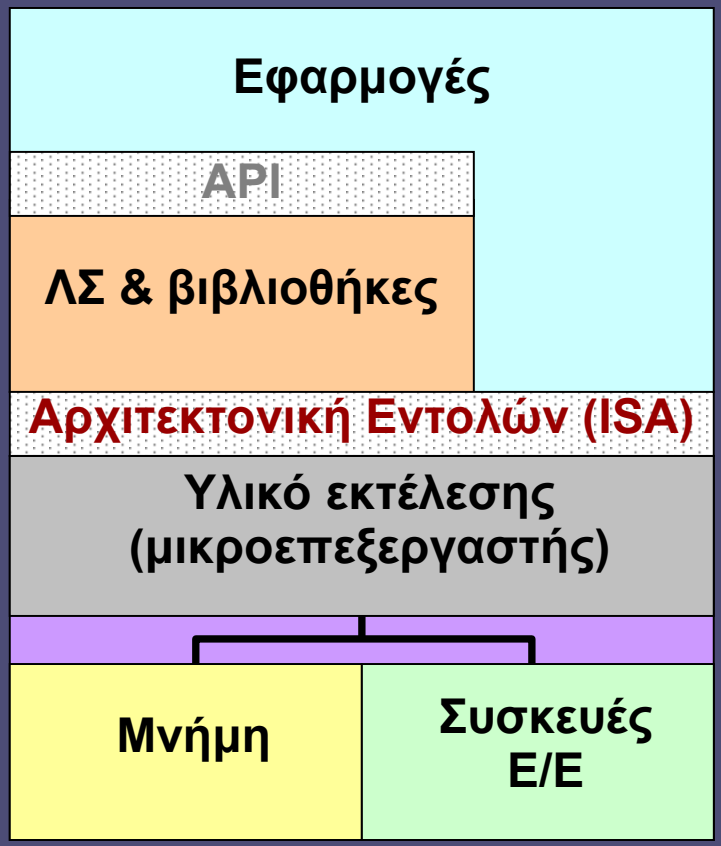
Η πρώτη εντολή που εκτελείται

- Εκκίνηση εκτέλεσης
  - Με την εφαρμογή τάσης ο PC παίρνει μια προκαθορισμένη τιμή
    - Συνήθως στην αρχή ή στο τέλος της υποστηριζόμενης περιοχής μνήμης
    - Ανάλογα με την αρχιτεκτονική της κάθε Μονάδας Επεξεργασίας
    - Εκεί ο κατασκευαστής έχει τοποθετήσει τις πρώτες εντολές αρχικοποίησης του συστήματος

Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών

- Instruction Set Architecture (ISA)
  - Το ορατό μέρος ενός υπολογιστικού συστήματος για τον προγραμματιστή (και τον μεταγλωττιστή)
  - Δεκαετία 60-70: συνώνυμο του όρου «αρχιτεκτονική Η/Υ»
    - « η δομή ενός υπολογιστή, την οποία ο προγραμματιστής πρέπει να γνωρίζει για να γράψει ένα σωστό (χρονικά ανεξάρτητο) πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής για τον υπολογιστή αυτόν» (IBM)

Η διεπαφή ISA στην ιεραρχία επιπέδων

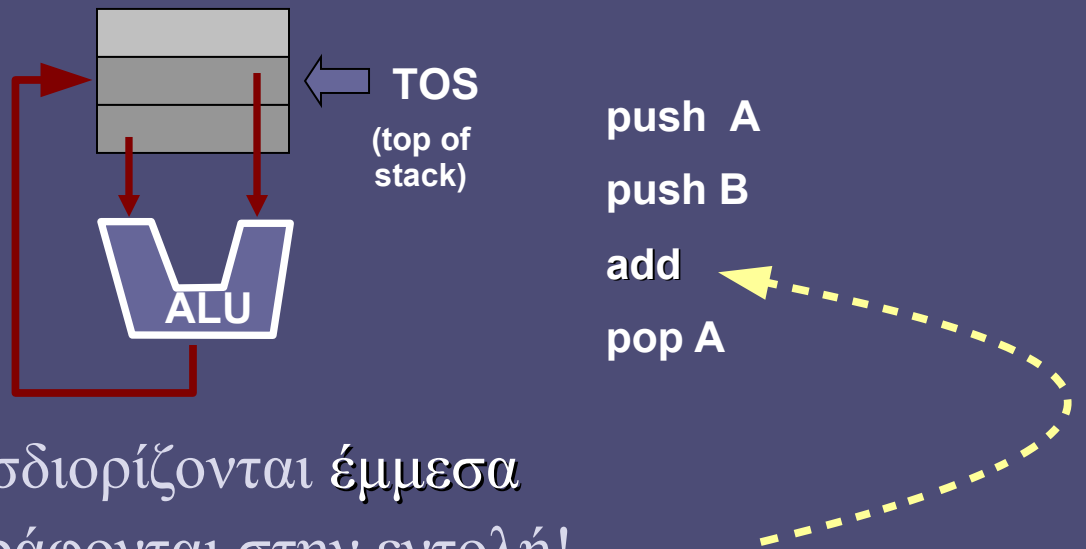


- Αρχιτεκτονική Εντολών (ISA)
  - Η διεπαφή υλικού-λογισμικού

Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών (ISA)

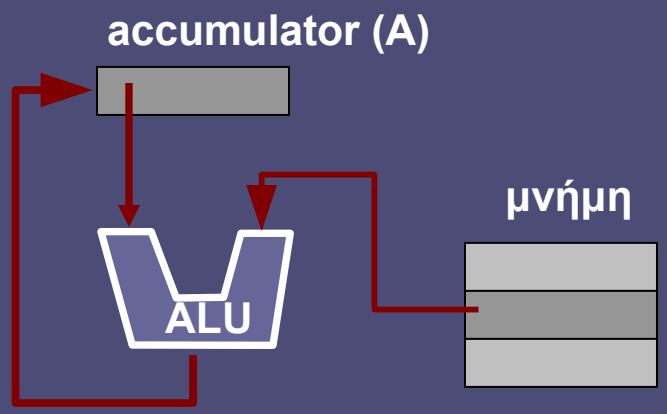
- Τι περιγράφει;
  - Διαθέσιμες πράξεις/λειτουργίες
    - Κωδικοποίηση λειτουργιών
  - Μορφή των δεδομένων εισόδου-εξόδου
    - Operands
  - Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης
    - Προέλευση των δεδομένων
  - Χώροι προσωρινής αποθήκευσης
    - Καταχωρητές
  - Διακοπές και καταστάσεις σφάλματος
    - Ποια η "αντίδραση" του επεξεργαστή

Αρχιτεκτονική σωρού (stack)



- Οι πηγές προσδιορίζονται έμμεσα
  - Δεν περιγράφονται στην εντολή!
  - 0-address architecture
  - Δημοφιλές σχήμα κατά τη δεκαετία του 60
  - Δύσκολη προσπέλαση σωρού, απαιτούνται πολλαπλές αντιμεταθέσεις και αντιγραφές για να έρθουν τα δεδομένα στη σωστή θέση

Αρχιτεκτονική συσσωρευτή (accumulator)

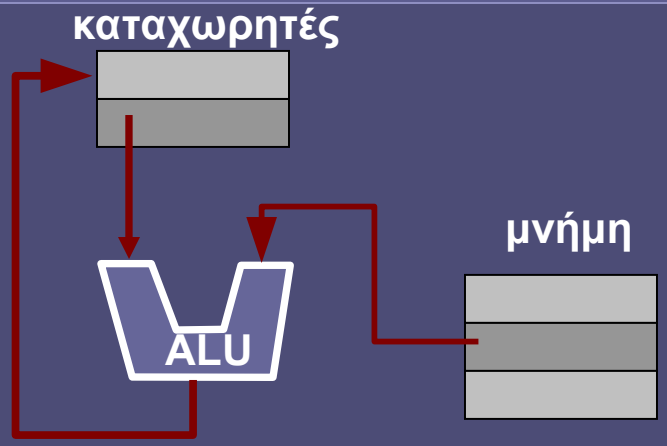


add X

(A = A + X)

- Μια πηγή δεδομένων και ταυτόχρονα θέση αποθήκευσης του αποτελέσματος είναι πάντα ο συσσωρευτής
  - 1-address architecture
  - Αρχιτεκτονική των πρώτων υπολογιστών

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (registers)

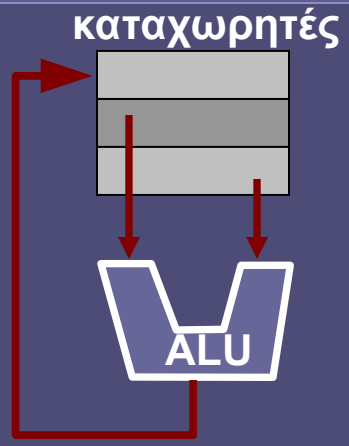


add R2, R1,mem(100)

(R2 = R1 + mem[100])

- Memory-register
  - Οποιαδήποτε εντολή μπορεί να προσπελάσει τη μνήμη
- Όμως:
  - Πολλαπλές προσπελάσεις μνήμης
  - Λήψη εντολής – Λήψη δεδομένων εντολής
  - Πολύπλοκη εκτέλεση εντολής σε στάδια
  - Συνωστισμός στον δίαυλο επικοινωνίας με μνήμη

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (registers)



add R1, R2,R3

(R1 = R2 + R3)

- Register-register (load-store)
  - Μόνο εντολές load-store μπορούν να προσπελάσουν τη μνήμη
- Η αρχιτεκτονική των σύγχρονων επεξεργαστών
  - Οι καταχωρητές προσπελαύνονται πολύ γρήγορα
  - Χρειάζονται λιγότερα bits για να επιλεγούν
  - Οι μεταγλωττιστές αναθέτουν μεταβλητές σε καταχωρητές

Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής εντολών

- Οι πρώτοι υπολογιστές (.. - ’60)
  - Αρχιτεκτονική συσσωρευτή και αργότερα σωρού
    - Ικανοποιητική λύση λόγω της απλής τεχνολογίας των μεταγλωττιστών
- Πολύπλοκες αρχιτεκτονικές (’70 - ..)
  - Ενσωμάτωση σύνθετων μορφών εντολών και μεθόδων προσπέλασης μνήμης
    - Προσπάθεια υποστήριξης υψηλών γλωσσών προγραμματισμού – μείωσης κόστους λογισμικού
    - Πολλά χαρακτηριστικά έμεναν αχρησιμοποίητα...
  - Complex Instruction Set Computers (CISC)

Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής εντολών

- Reduced Instruction Set Computers (RISC) (’80 - …)
  - Απλούστερες και φθηνότερες load-store αρχιτεκτονικές με σταθερό μήκος εντολών
  - Μεγαλύτερη απόδοση – ταχύτερη εκτέλεση εντολών
  - Ευνοείται από την αφθονία υλικού χαμηλού κόστους και την προηγμένη τεχνολογία των μεταγλωττιστών
  - Οι σημερινοί επεξεργαστές με εντολές CISC (π.χ. η αρχιτεκτονική x86), μεταφράζουν εσωτερικά σε εντολές RISC

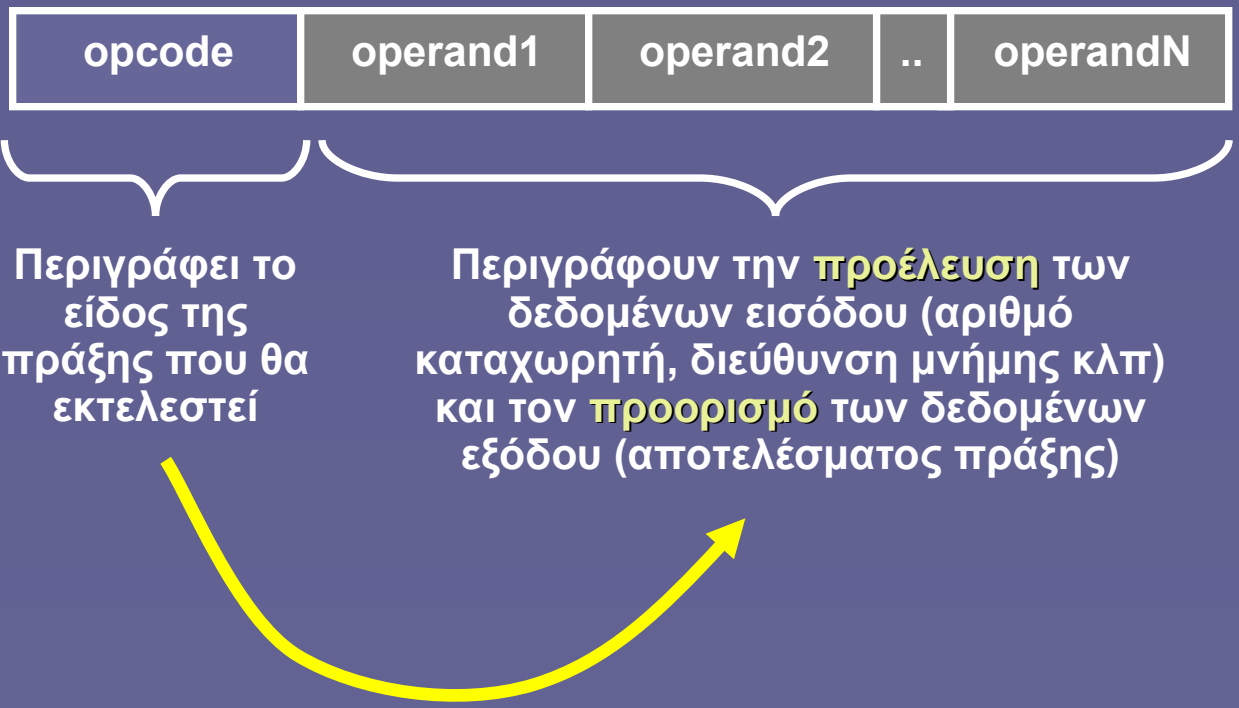
Εντολές: κατηγορίες λειτουργιών

- Οι βασικές κατηγορίες
  - Αριθμητικές και λογικές πράξεις
  - Μεταφορά δεδομένων
    - Από-πρός Καταχωρητές και Μνήμη
  - Έλεγχος ροής εκτέλεσης
    - Διακλαδώσεις και κλήσεις συναρτήσεων

Κωδικοποίηση Εντολών

- Σειρά δυαδικών ψηφίων
  - Μεταβλητού μήκους
    - Συμπαγή προγράμματα (μικρότερο μέγεθος)
    - Σημαντικά πολυπλοκότερο υλικό
  - Σταθερού μήκους
    - Απλούστερη και ταχύτερη λήψη-αποκωδικοποίηση
    - Μεγαλύτερα προγράμματα (οι εντολές έχουν μεγαλύτερο μέγεθος)
    - Μέθοδοι συμπίεσης

Κωδικοποίηση Εντολών



Το είδος της πράξης προσδιορίζει τον τύπο, την προέλευση και τον αριθμό των δεδομένων που συμμετέχουν στην πράξη !

Αριθμητικές/λογικές εντολές

- Αριθμητικές-λογικές πράξεις
  - Είδος πράξης
  - Είδος δεδομένων
  - Πηγές δεδομένων και προορισμός
  - Παράδειγμα (θεωρητικό):
    - Rd = Rs1+Rs2

    - Rd: προορισμός (καταχωρητής αποθήκευσης αποτελέσματος)
    - Rs1, Rs2: πηγές (καταχωρητές δεδομένων εισόδου)

Εντολές μεταφοράς δεδομένων

- Μεταφορά δεδομένων
  - Κατεύθυνση: από (load) ή προς (store) τη μνήμη,
  - Πηγή δεδομένων και προορισμός
  - Μήκος μεταφερόμενης λέξης
  - Παράδειγμα (θεωρητικό):
    - Rd = mem[addr]
    - 

    - Στο παράδειγμα η διεύθυνση είναι απόλυτη (προσδιορίζεται μέσα στην εντολή)
      – Δεν είναι η χρησιμότερη μορφή διεύθυνσης!

Εντολές διακλάδωσης

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών

- Διακλάδωση
  - Με ή χωρίς συνθήκη
    - bne R1, R2, +8 // branch if not R1==R2
  - Σε απόλυτη διεύθυνση
    - jump 0xFF97DE00
  - Σχετικά ως προς την τρέχουσα θέση (offset)
    - jump +130 // offset = +130
    - Ο παραγόμενος κώδικας μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε στη μνήμη

Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης

- Τουλάχιστον κάποιες εντολές προσπελαύνουν τη μνήμη
  - για ανάγνωση ή εγγραφή δεδομένων
  - Πώς σχηματίζεται η διεύθυνση προσπέλασης;
  - Η γενική ιδέα: υποβοήθηση του λογισμικού
  - Διαφορετικός σχηματισμός διεύθυνσης για
    - Τοπικές μεταβλητές
    - Δείκτες (έμμεση προσπέλαση)
    - Στατικά δεδομένα
    - Διάσχιση πινάκων
    - (Σταθερές τιμές)
- Υποστήριξη ανάλογα με αρχιτεκτονική

Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης

- Στο σχηματισμό της διεύθυνσης μνήμης μπορούν να συμμετέχουν:
  - Απόλυτες τιμές διεύθυνσης
  - Καταχωρητές
  - Σταθερές τιμές μετατόπισης (offsets)

		πιθανή χρήση
displacement	**mem[offs+reg]**	**τοπικές**
register indirect	**mem[reg]**	**δείκτες**
indexed	**mem[reg1+reg2]**	**πίνακες**
direct	**mem[addr]**	**στατικές**
memory indirect	**mem[mem[reg]]**	***δείκτες**
auto-increment	**mem[reg++]**	**πίνακες**
scaled	**mem[offs+reg1+reg2*d]**	**πίνακες**