Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

2023-24

Αρχιτεκτονικές Συνόλου Εντολών

(Instruction Set Architectures - ISA)

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

Μ.Στεφανιδάκης

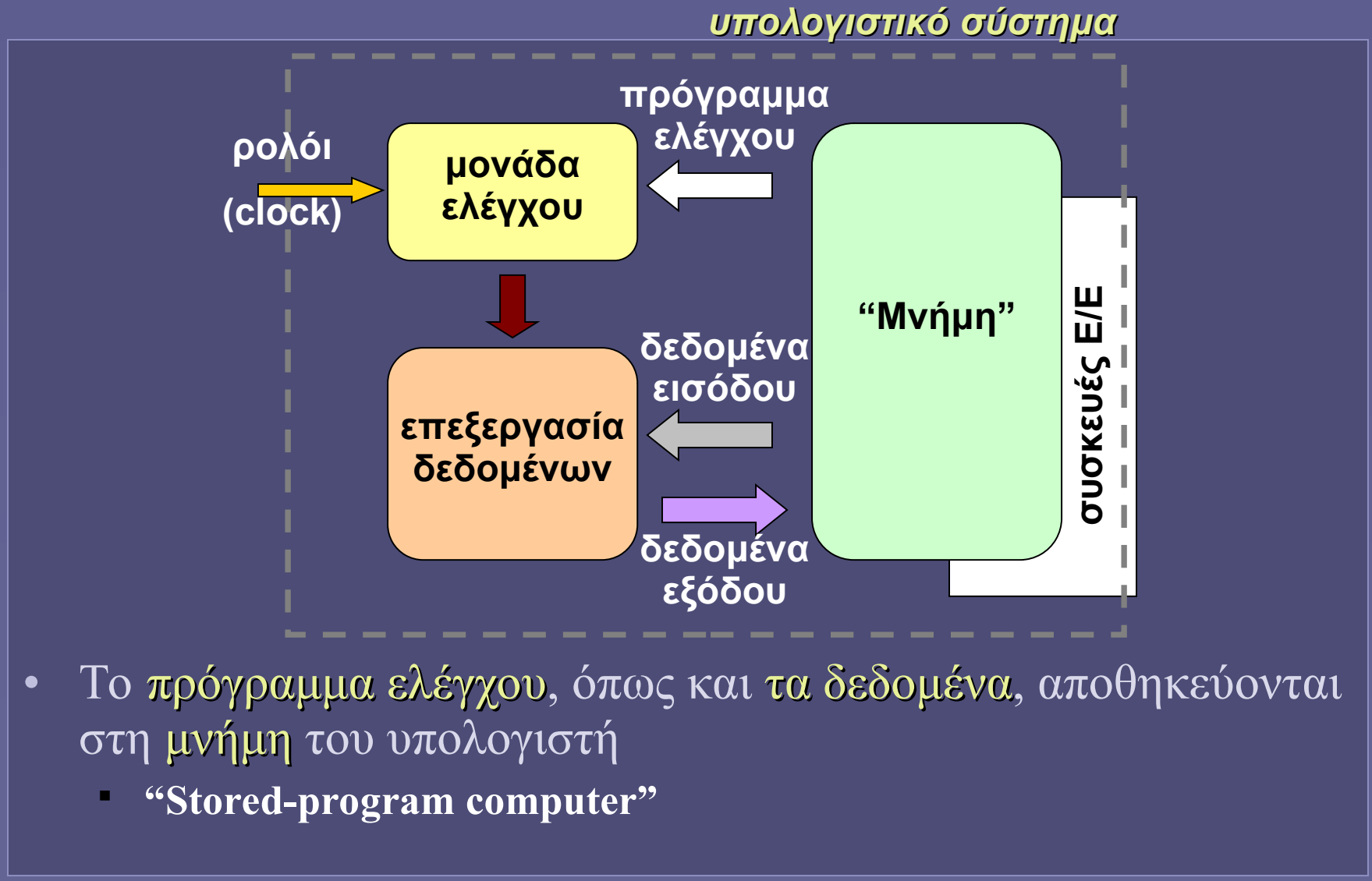
Ο (μικρο)επεξεργαστής

- (Micro)processor
  - Αρχικά, μόνο η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)
    - Central Processing Unit (CPU)
  - Περιέχει σήμερα πολλαπλές υπομονάδες επεξεργασίας
    - Σε κάθε «πυρήνα» (core)
    - Με διαφορετικά χαρακτηριστικά ή/και ρόλους
  - Και μέρος της ιεραρχίας μνήμης (κρυφές μνήμες)
  - Καθώς και μέρος των διεπαφών (interfaces) επικοινωνίας με την κύρια μνήμη και τις μονάδες εισόδου - εξόδου

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

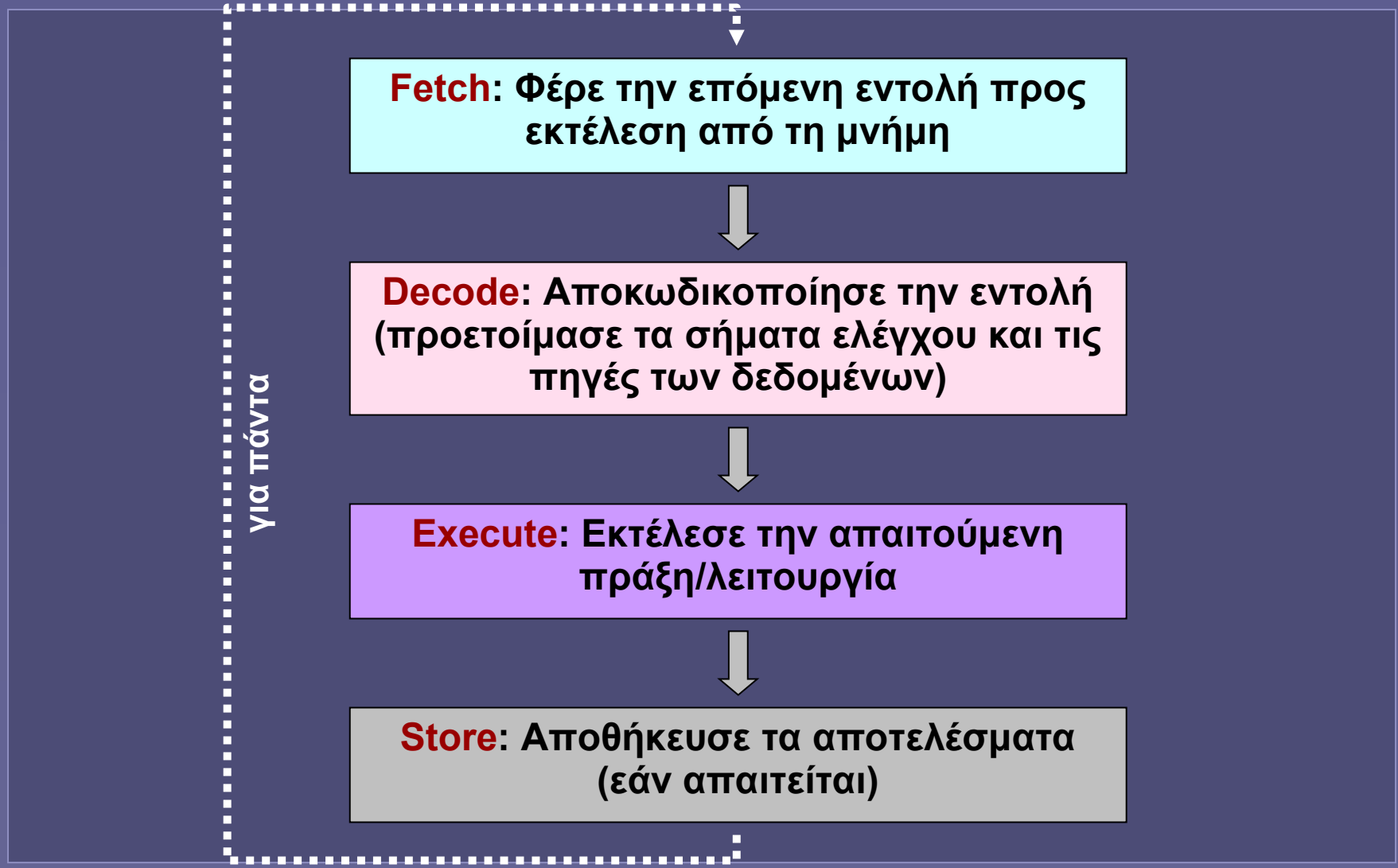
- Central Processing Unit (CPU)
  - Ένας όρος που τείνει προς εξαφάνιση
  - Μετά την εμφάνιση των πολλών/διαφορετικών μονάδων επεξεργασίας στο ίδιο τσιπ
- Ποιος ο ρόλος μιας Μονάδας Επεξεργασίας
  - Μετασχηματίζει (επεξεργάζεται) δεδομένα σύμφωνα με ένα πρόγραμμα ελέγχου
  - Το πρόγραμμα ελέγχου αποτελείται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

- Program Counter (PC) ή Instruction Pointer (IP)
  - Καταχωρητής ειδικού σκοπού
  - Περιέχει τη διεύθυνση της θέσης μνήμης όπου βρίσκεται η εντολή προς εκτέλεση
- Αύξηση PC μετά την ανάκληση της εντολής (PC += d)
  - Μετάβαση στην επόμενη εντολή
- Ή μεταπήδηση σε νέα θέση μνήμης (ο PC παίρνει νέα τιμή)
  - Εντολές διακλάδωσης
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς
    - Όσο η Μονάδα Επεξεργασίας είναι σε λειτουργία

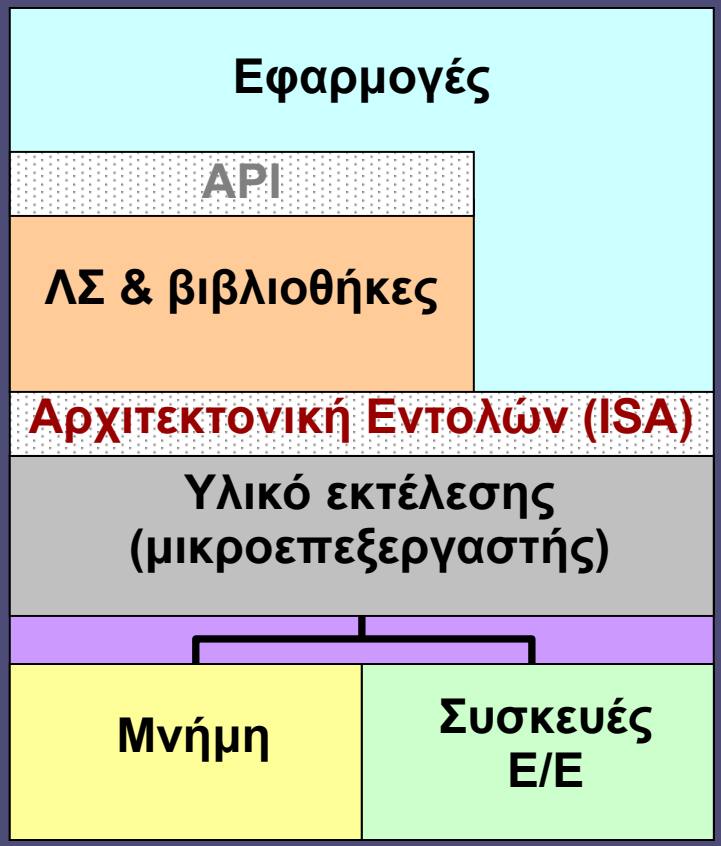
Η πρώτη εντολή που εκτελείται

- 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

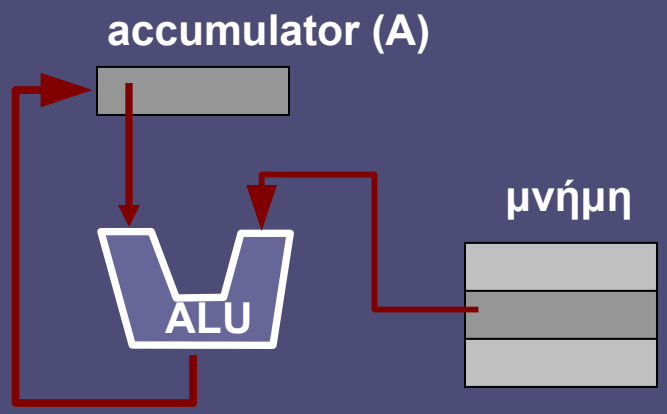
Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής εντολών

- Οι πρώτοι υπολογιστές (.. - ’60)
  - Αρχιτεκτονική συσσωρευτή και αργότερα στοίβας
    - Ικανοποιητική λύση λόγω της απλής τεχνολογίας των μεταγλωττιστών της εποχής
- Πολύπλοκες αρχιτεκτονικές (’70 - ..)
  - Ενσωμάτωση σύνθετων μορφών εντολών και μεθόδων προσπέλασης μνήμης
    - Προσπάθεια υποστήριξης υψηλών γλωσσών προγραμματισμού – μείωσης κόστους λογισμικού
    - Πολλά χαρακτηριστικά έμεναν όμως 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 μέσω πρόσθετου υλικού (hardware) σε (μικρο)εντολές RISC

Αρχιτεκτονική συσσωρευτή (accumulator)



π.χ. εντολή:

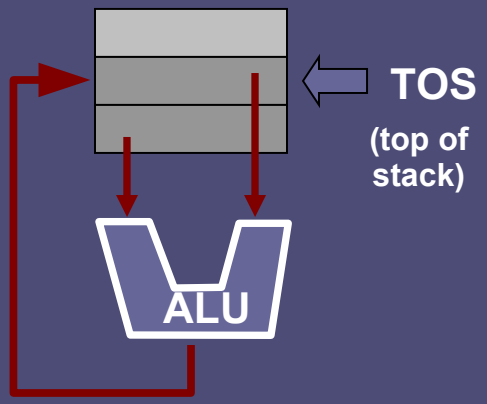
add X

σημαίνει:

A ← A + X

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

Αρχιτεκτονική στοίβας (stack)



π.χ. εντολή:

add

σημαίνει:

t ← pop()

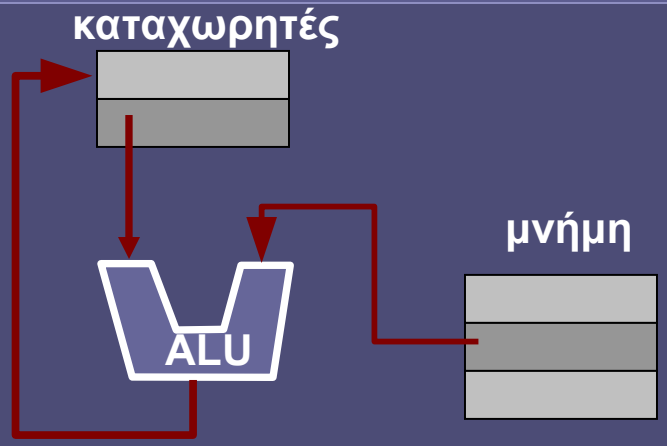
u ← pop()

v ← t + u

push(v)

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

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (registers)



π.χ. εντολή:

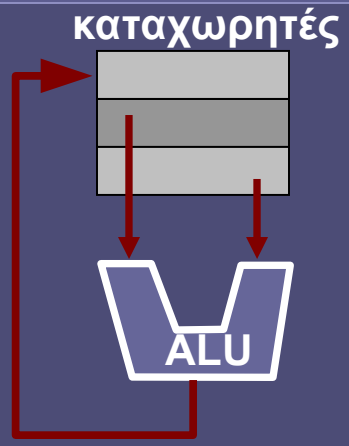
add R2, R1,mem(100)

σημαίνει:

R2 ← R1 + mem[100]

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

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (registers)



π.χ. εντολή:

add R1, R2,R3

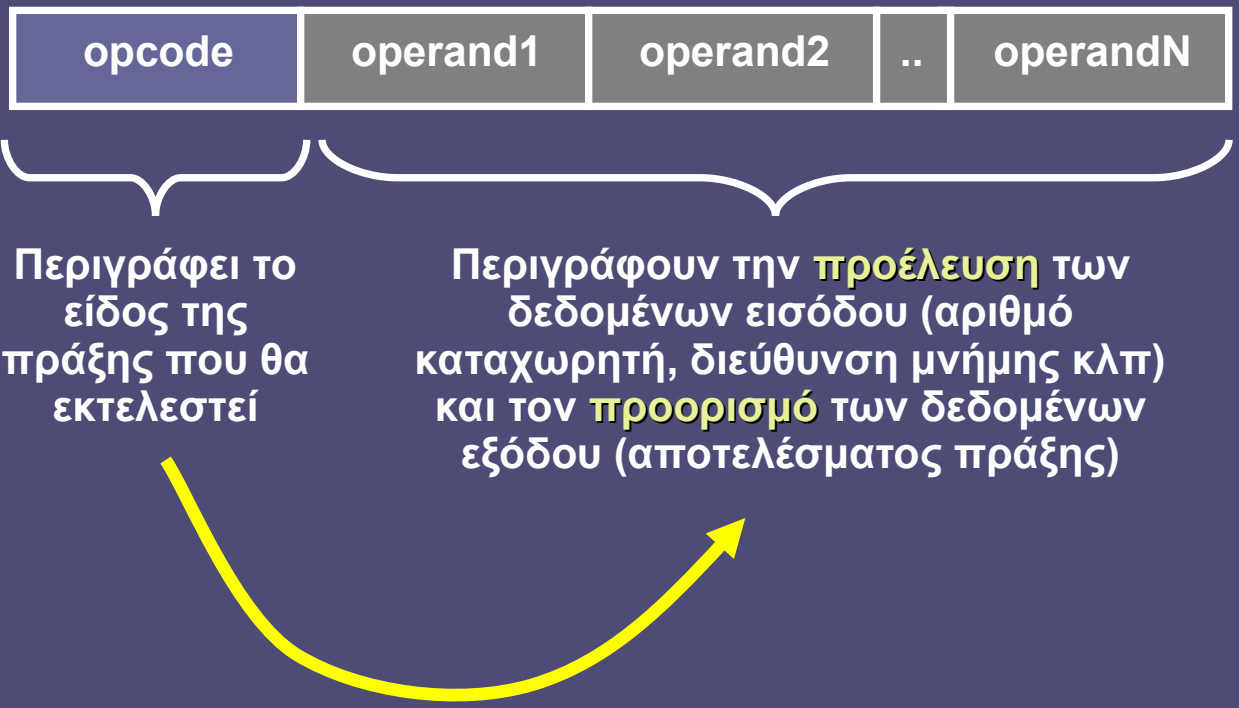
σημαίνει:

R1 ← R2 + R3

- Register-register (load-store)
  - Μόνο εντολές load (ανάγνωση) – store (εγγραφή) μπορούν να προσπελάσουν τη μνήμη
- Η αρχιτεκτονική των σύγχρονων επεξεργαστών
  - Οι καταχωρητές προσπελαύνονται πολύ γρήγορα
  - Η εκτέλεση των εντολών απαιτεί λιγότερα στάδια
  - Χρειάζονται λιγότερα bits για την επιλογή καταχωρητών

Κωδικοποίηση Εντολών

- Κάθε εντολή είναι μια σειρά δυαδικών ψηφίων



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

Μεταβλητού ή σταθερού μήκους;

- Διαφορετικές αρχιτεκτονικές συνόλου εντολών
  - Μεταβλητού μήκους: οι εντολές δεν έχουν τον ίδιο αριθμό bits
    - Συμπαγή προγράμματα (συχνά χρησιμοποιούμενες εντολές έχουν μικρότερο μέγεθος)
    - Σημαντικά πολυπλοκότερο υλικό αποκωδικοποίησης
  - Σταθερού μήκους: όλες οι εντολές έχουν τον ίδιο αριθμό bits (π.χ. 32)
    - Μεγαλύτερα προγράμματα (οι εντολές έχουν μεγαλύτερο μέγεθος)
    - Απλούστερη και ταχύτερη λήψη-αποκωδικοποίηση

Εντολές: κατηγορίες λειτουργιών

- Οι τρεις βασικές κατηγορίες
  - Αριθμητικές και λογικές πράξεις
    - Από δύο πηγές εισόδου (καταχωρητές/μνήμη) προς έναν προορισμό (καταχωρητή/μνήμη)
  - Μεταφορά δεδομένων
    - Από-πρός καταχωρητές/μνήμη
  - Έλεγχος ροής εκτέλεσης
    - Διακλαδώσεις και κλήσεις συναρτήσεων
    - Ειδικές εντολές διακοπής εκτέλεσης

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
  - Πηγή δεδομένων και προορισμός
  - Το μήκος της μεταφερόμενης λέξης
    - 64, 32, 16 ή 8 bits
  - Παράδειγμα (θεωρητικό):
    - Rd = mem[addr]

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

Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης

- Ορισμένες εντολές προσπελαύνουν τη μνήμη για ανάγνωση ή εγγραφή δεδομένων
  - Σχεδιασμός για υποβοήθηση του λογισμικού
    - Τοπικές μεταβλητές
    - Δείκτες (έμμεση προσπέλαση)
    - Στατικά δεδομένα
    - Διάσχιση πινάκων
    - Σταθερές τιμές
- Υποστήριξη ανάλογα με αρχιτεκτονική συνόλου εντολών

Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης (addressing modes)

- 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

Εντολές διακλάδωσης

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

- Εντολές διακλάδωσης είναι και οι κλήσεις συναρτήσεων και οι επιστροφές από αυτές