Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών
2016-17

Αρχιτεκτονικές Συνόλου Εντολών

(Instruction Set Architectures - ISA)

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

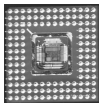
Μ.Στεφανιδάκης

Ο (μικρο)επεξεργαστής

• Ο επεξεργαστής

;

Τι περιέχεται στη συσκευασία ενός μικροεπεξεργαστή σήμερα;

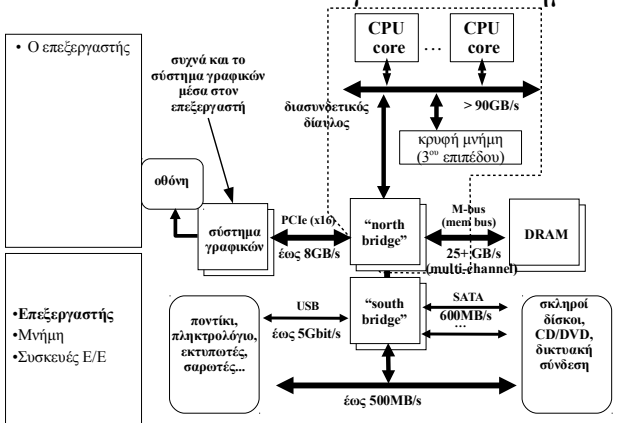


- (Micro)processor
  - Ψηφιακό σύστημα που εκτελεί υπολογισμούς σε πολλαπλά βήματα
    - Αρχικά: Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)
    - Central Processing Unit (CPU)
  - Μέρος ενός ευρύτερου υπολογιστικού συστήματος (ή "υπολογιστή")
    - **γενικού** ή ειδικού σκοπού
  - Περιέχει σήμερα πολλαπλές υπομονάδες επεξεργασίας

Ένα τυπικό υπολογιστικό σύστημα

• Ο επεξεργαστής

•**Επεξεργαστής**
•Μνήμη
•Συσκευές Ε/Ε



οι ρυθμοί μεταφοράς που δίνονται είναι οι θεωρητικά μέγιστοι!

Είδη μικροεπεξεργαστών

• Ο επεξεργαστής

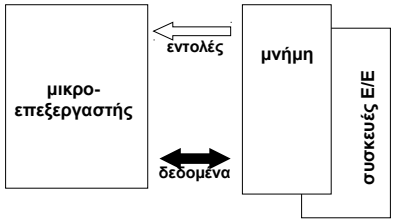
- Γενικού σκοπού
  - Οι περισσότερο γνωστοί επεξεργαστές (π.χ. για PCs)
- Συνεπεξεργαστές (co-processors)
  - Ειδικές λειτουργίες
- Μικροελεγκτές (microcontrollers)
  - Συστήματα ελέγχου
- Μέσα σε Systems-on-Chip
  - Επεξεργαστικοί πυρήνες

Το μοντέλο von Neumann

• Ο επεξεργαστής

;

Σε ποια μορφή αποθηκεύονται οι εντολές;



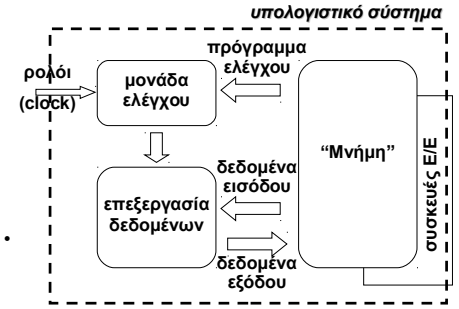
- Το πρόγραμμα εκτέλεσης, όπως και τα δεδομένα, αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή
  - **Stored-program computer**

Εκτέλεση ακολουθίας λειτουργιών

• Ο επεξεργαστής

;

Ποιος ο ρόλος του σήματος ρολογιού;



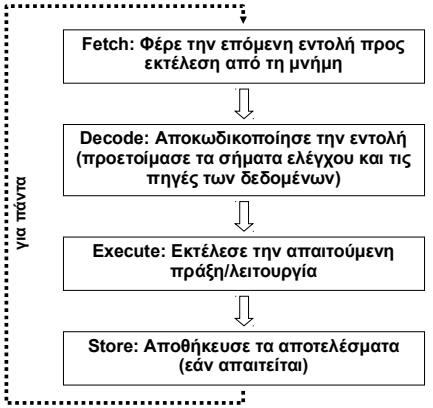
Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής

• Ο επεξεργαστής

;

Τι συμβαίνει με τις εξωτερικές διακοπές (**interrupts**);

Ο χρόνος εκτέλεσης είναι ο ίδιος για όλες τις εντολές;



Εκτέλεση εντολών

• Ο επεξεργαστής

- Επόμενη εντολή προς εκτέλεση
  - Program Counter (PC): η διεύθυνση της θέσης μνήμης όπου περιέχεται η επόμενη εντολή
    - Σειριακή αύξηση διεύθυνσης μετά την εκτέλεση εντολής
    - Ή μεταπήδηση σε νέα θέση μνήμης (διακλάδωση)
- Εκκίνηση εκτέλεσης
  - Με την εφαρμογή τάσης ο PC παίρνει μια προκαθορισμένη τιμή
    - BIOS
- Τερματισμός επανάληψης κύκλου μηχανής
  - Συμβατικά, ποτέ!
  - Περιπτώσεις SLEEP για μείωση κατανάλωσης ενέργειας

Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών

- Ο επεξεργαστής
- ISA

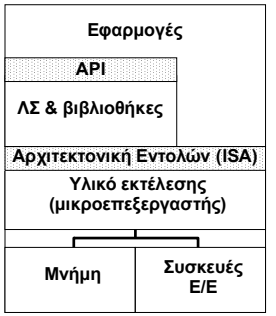
- Instruction Set Architecture (ISA)
  - Το ορατό μέρος ενός υπολογιστικού συστήματος για τον προγραμματιστή (και τον μεταγλωττιστή)
  - Δεκαετία 60-70: συνώνυμο του όρου "αρχιτεκτονική Η/Υ"
    - « η δομή ενός υπολογιστή, την οποία ο προγραμματιστής πρέπει να γνωρίζει για να γράψει ένα σωστό (χρονικά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

Η διεπαφή ISA στην ιεραρχία επιπέδων

- Ο επεξεργαστής
- ISA

;

Τι ακριβώς περιγράφει η διεπαφή ISA;



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

Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών

- Ο επεξεργαστής
- 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

Σχεδιασμός Συνόλου Εντολών

- Ο επεξεργαστής
- ISA

- Συμβιβασμός μεταξύ:
  - Κόστους και απόδοσης υλικού
  - Βαθμού υποστήριξης λογισμικού
  - Άλλων παραγόντων όπως η κατανάλωση ενέργειας
    - Το υλικό καταναλώνει ενέργεια, υπό τον έλεγχο του λογισμικού όμως!
  - Μη επικάλυψης λειτουργιών εντολών (orthogonality)

Κωδικοποίηση Εντολών

- Ο επεξεργαστής
- ISA

;

Γιατί είναι ταχύτερη η λήψη και αποκωδικοποίηση των εντολών σταθερού μήκους;

opcode	operand1	operand2	..	operandN

- Σειρά δυαδικών ψηφίων
  - Μεταβλητού μήκους
    - Περισσότερο συμπαγή προγράμματα
    - Πολυπλοκότερο υλικό!
  - Σταθερού μήκους
    - Απλούστερη και ταχύτερη λήψη-αποκωδικοποίηση
    - Μεγαλύτερα προγράμματα
    - Μέθοδοι συμπίεσης

Κωδικοποίηση Εντολών

- Ο επεξεργαστής
- ISA

opcode	operand1	operand2	..	operandN

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, την προέλευση και τον αριθμό των δεδομένων που συμμετέχουν στην πράξη !

Εντολές: κατηγορίες λειτουργιών

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών

- Βασικές κατηγορίες
  - Αριθμητικές και λογικές πράξεις
  - Μεταφορά δεδομένων
    - Από-πρός Καταχωρητές και Μνήμη
  - Έλεγχος ροής εκτέλεσης
    - Διακλαδώσεις και κλήσεις ρουτινών
- Άλλες κατηγορίες
  - Ειδικές εντολές συστήματος
    - ΛΣ, ιδεατή μνήμη
  - Επεξεργασία πολλαπλών δεδομένων
    - Χρήσιμο για γραφικά, σειρές χαρακτήρων, multimedia

Αριθμητικές εντολές και μεταφορά δεδομένων

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών

;

Τι συμβολίζουν τα R1, R2 ..; Πώς αναπαρίστανται μέσα στην εντολή;

- Αριθμητικές-λογικές πράξεις
  - Πηγές δεδομένων και προορισμός
    - add R1, R2, R3 // R3 = R1+R2

add	R1	R2	R3

- Μεταφορά δεδομένων
  - Πηγή δεδομένων και προορισμός
  - Μήκος μεταφερόμενης λέξης (ενδεχομένως)
    - load R1, 0x7FF0 // R1 = mem[0x7FF0]

load	R1	0x7FF0

Εντολές διακλάδωσης

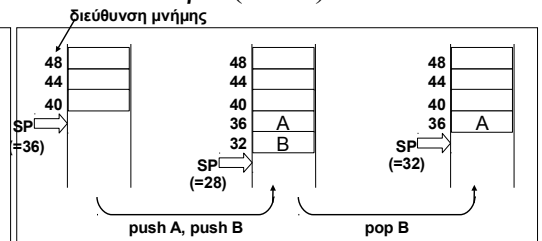
- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών

- 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

bne	R1	R2	+8

Η στοίβα (stack)

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών



- 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

Εντολές διακλάδωσης (2)

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών

- Κλήση συνάρτησης (call)
  - Αποθήκευση της επόμενης διεύθυνσης εκτέλεσης (καταχωρητή PC) στη στοίβα (push)
  - Μετάβαση στη διεύθυνση της συνάρτησης
- και επιστροφή (return)
  - Χρήση αποθηκευμένης τιμής από στοίβα (pop)
    - Τοποθετείται στον καταχωρητή PC
  - Η εκτέλεση επιστρέφει στην επόμενη εντολή μετά το call

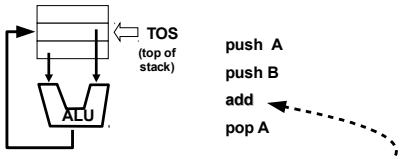
Προέλευση και αποθήκευση δεδομένων

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων

- Προέλευση δεδομένων – αποθήκευση αποτελεσμάτων μιας πράξης
  - Operand addressing
  - Εξαρτάται από την αρχιτεκτονική του επεξεργαστή
  - Στους πρώτους επεξεργαστές
    - Stack (σωρός-στοίβα)
    - Accumulator (συσσωρευτής)
  - Μεταγενέστεροι υπολογιστές
    - Δεδομένα από Καταχωρητές – Μνήμη
    - Δεδομένα από Καταχωρητές μόνο (load-store)

Αρχιτεκτονική σωρού (stack)

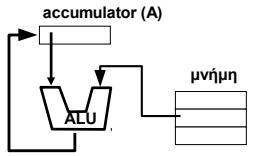
- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων



- 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
  - Το σχήμα επιζεί στην αρχιτεκτονική της Java VM

Αρχιτεκτονική συσσωρευτή (accumulator)

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων



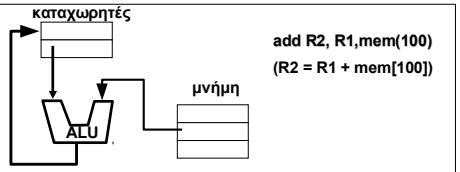
- Μια πηγή δεδομένων και ταυτόχρονα θέση αποθήκευσης του αποτελέσματος είναι πάντα ο συσσωρευτής
  - 1-address architecture
  - Αρχιτεκτονική των πρώτων υπολογιστών!

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (registers)

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων

!

Καταχωρητές: προσωρινές θέσεις αποθήκευσης αποτελεσμάτων, η γενίκευση της ιδέας του συσσωρευτή.



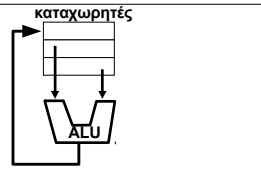
- Memory-register
  - Οποιαδήποτε εντολή μπορεί να προσπελάσει τη μνήμη
- Όμως:
  - Πολλαπλές προσπελάσεις μνήμης
  - Λήψη εντολής – Λήψη δεδομένων εντολής
  - Πολύπλοκη εκτέλεση εντολής σε στάδια
  - Συνωστισμός στον δίαυλο επικοινωνίας με μνήμη

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (registers)

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων

;

Είναι επιθυμητός ένα πολύ μεγάλος αριθμός καταχωρητών;



- 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

Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση 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

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης

;

Πώς κωδικοποιούνται οι μέθοδοι προσπέλασης μνήμης μέσα στην εντολή;

- 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**

Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής εντολών

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης
- Εξέλιξη αρχιτεκτονικής

- 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 μένουν αχρησιμοποίητα!
  - Complex Instruction Set Computers (CISC)

Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής εντολών

- Ο επεξεργαστής
- ISA
- Κατηγορίες εντολών
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης
- Εξέλιξη αρχιτεκτονικής

- 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
  - Ακόμα και ο μοναδικός επιζών επεξεργαστής με εντολές CISC (αρχιτεκτονική x86), μεταφράζει εσωτερικά σε εντολές RISC…