Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών
2016-17

Αρχιτεκτονικές Συνόλου Εντολών (ΙΙ)

(Δομή Εντολών και Παραδείγματα)

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

Μ.Στεφανιδάκης

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

Σχεδιασμός Συνόλου Εντολών

- ISA

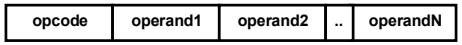
- Συμβιβασμός μεταξύ:
  - Κόστους και απόδοσης υλικού
  - Βαθμού υποστήριξης λογισμικού
  - Άλλων παραγόντων όπως η κατανάλωση ενέργειας
    - Το υλικό καταναλώνει ενέργεια, υπό τον έλεγχο του λογισμικού όμως!
  - Μη επικάλυψης λειτουργιών εντολών (orthogonality)

Κωδικοποίηση Εντολών Μηχανής

- ISA

;

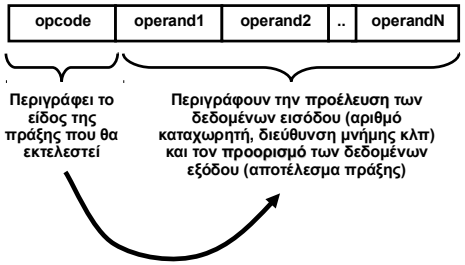
Γιατί είναι ταχύτερη η λήψη και αποκωδικοποίηση των εντολών σταθερού μήκους;



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

Κωδικοποίηση Εντολών Μηχανής

• ISA



Εντολές Μηχανής και Assembly

• ISA

!

Κάθε διαφορετική αρχιτεκτονική επεξεργαστών έχει διαφορετική γλώσσα assembly!

- Εντολές μηχανής
  - Σειρές από bits (ομάδες bytes ανά εντολή)
  - Τα bits αυτά κωδικοποιούν όλα τα χαρακτηριστικά κάθε εντολής
- Assembly
  - Μνημονικός τρόπος αναπαράστασης εντολών
  - Ευκολότερη κατανόηση από τον άνθρωπο
  - Προσοχή:
    - MOV R1,R2 // π.χ. R1 => R2
    - MOV R1,#100 // π.χ. R1 => mem[100]
    - παρόλο που το μνημονικό MOV είναι ίδιο, δεν πρόκειται για την ίδια εντολή!

Τα παραδείγματά μας: Intel IA-32 (64)

• ISA

i

Και η ανταγωνίστρια εταιρία AMD παράγει επεξεργαστές συμβατούς με την αρχιτεκτονική αυτή

- Αρχιτεκτονική επεξεργαστών Intel IA-32
  - Μία πολύπλοκη αρχιτεκτονική επεξεργαστών
    - με σύνθετο σετ εντολών
    - διατήρηση συμβατότητας με παλαιότερους επεξεργαστές της Intel (legacy compatibility)
  - Με πολύ μεγάλη εγκατεστημένη βάση
    - Συστήματα PCs
  - Όχι η βέλτιστη αρχιτεκτονική αλλά:
    - Το μεγάλο μερίδιο που κατέχει στην αγορά επιτρέπει στην Intel έρευνα και ανάπτυξη για διαρκείς βελτιώσεις απόδοσης
    - "Τελικά η αρχιτεκτονική αυτή είναι βέλτιστη μέσα στην τεράστια πολυπλοκότητά της"

Τα παραδείγματά μας: Intel IA-32 (64)

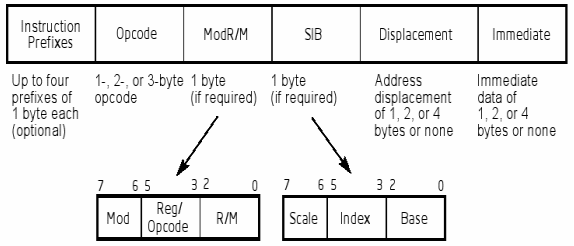
• ISA

- Οικογένειες επεξεργαστών
  - Pentium
  - P6
    - Pentium Pro, II, III
  - Netburst
    - Pentium 4, D (IA-32 – σε νεώτερες εκδόσεις και 64)
  - Pentium M
    - Intel Core, Core Duo
  - Intel Core (IA-32 -64)
    - Intel Core 2 Duo
  - ...νεώτερες αρχιτεκτονικές

Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manuals
http://www.intel.com/products/processor/manuals/index.htm

Intel IA-32: η γενική μορφή των εντολών

- Μεταβλητός αριθμός bytes ανά εντολή (1-17)!



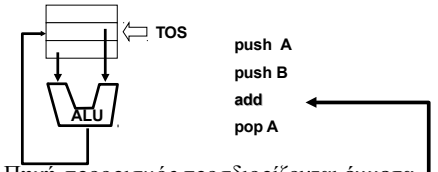
Προέλευση και αποθήκευση δεδομένων

- ISA
- 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
    - Καταχωρητές – Μνήμη (register-memory)
    - Κυρίως καταχωρητές (register-register ή load-store)
      - μόνο ανάγνωση και εγγραφή μνήμης

Αρχιτεκτονική σωρού (stack)

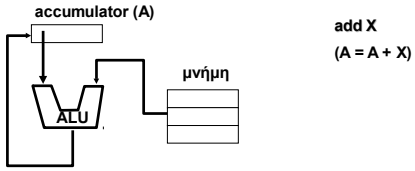
- ISA
- Προέλευση δεδομένων



- Πηγή-προορισμός 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)

- ISA
- Προέλευση δεδομένων



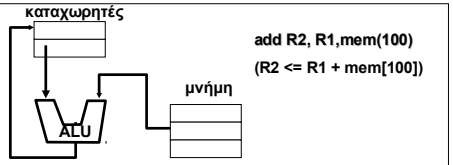
- Μία πηγή - θέση αποθήκευσης του αποτελέσματος είναι πάντα ο συσσωρευτής
  - 1-address architecture
  - Αρχιτεκτονική των πρώτων υπολογιστών!

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (1)

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

!

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



add R2, R1,mem(100)

(R2 <= R1 + mem[100])

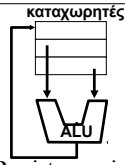
- Memory-register
  - Οποιαδήποτε εντολή μπορεί να προσπελάσει τη μνήμη
- Όμως:
  - Πολλαπλές προσπελάσεις μνήμης
  - Λήψη εντολής – Λήψη δεδομένων εντολής
  - Πολύπλοκη εκτέλεση εντολής σε στάδια
  - Συνωστισμός στον δίαυλο επικοινωνίας με μνήμη

Αρχιτεκτονικές με καταχωρητές (2)

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

;

Είναι επιθυμητός ένα πολύ μεγάλος αριθμός καταχωρητών;



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

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

- 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

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

- 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…

IA-32 (64): memory-register

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

- Πολλές εντολές γενικού σκοπού
  - πέρα από τις load και store
  - έχουν ως πηγή ή προορισμό τη μνήμη

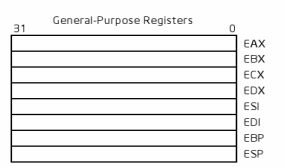
AND—Logical AND

Opcode	Instruction
...	
81 /4 iw	AND r/m16, imm16
81 /4 id	AND r/m32, imm32
...	
21 /r	AND r/m16, r16
21 /r	AND r/m32, r32
REX.W + 21 /r	AND r/m64, r64
22 /r	AND r8, r/m8
...	
23 /r	AND r32, r/m32
REX.W + 23 /r	AND r64, r/m64
...κλπ..	

IA-32: καταχωρητές

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

γενικού σκοπού και σχηματισμός διευθύνσεων

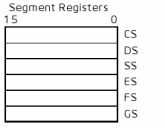


i

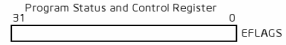
Εκτός από τους καταχωρητές γενικού σκοπού, οι επεξεργαστές IA-32 έχουν **πρόσθετους** καταχωρητές για πράξεις κινητής υποδιαστολής και πράξεις streaming και multimedia.

τμηματοποίηση

(σε επόμενα μαθηματα)



καταχωρητής κατάστασης



"program counter"

Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης

- ISA
- 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

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης

;

Πώς κωδικοποιούνται οι μέθοδοι προσπέλασης μνήμης μέσα στην εντολή;

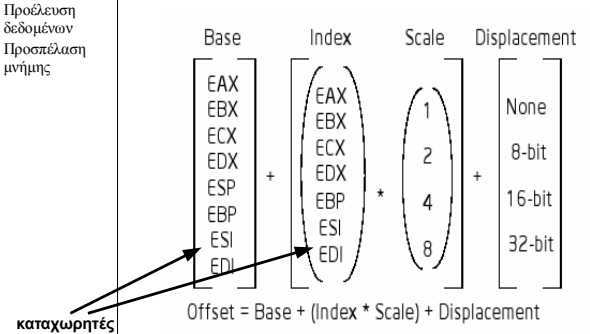
- Στο σχηματισμό της διεύθυνσης μνήμης μπορούν να συμμετέχουν:
  - Απόλυτες τιμές διεύθυνσης
  - Καταχωρητές
  - Σταθερές τιμές μετατόπισης (offsets)

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**

IA-32 (64): Σχηματισμός διευθύνσεων

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης



Εντολές: κατηγορίες λειτουργιών

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης
- 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

IA-32: εντολές μεταφοράς δεδομένων

Table 7-1. Move Instruction Operations

Type of Data Movement	Source →Destination
From memory to a register	Memory location →General-purpose register Memory location →Segment register
From a register to memory	General-purpose register →Memory location Segment register →Memory location
Between registers	General-purpose register →General-purpose register General-purpose register →Segment register Segment register →General-purpose register General-purpose register →Control register Control register →General-purpose register General-purpose register →Debug register Debug register →General-purpose register
Immediate data to a register	Immediate →General-purpose register
Immediate data to memory	Immediate →Memory location

IA-32: Εντολές διακλάδωσης

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης
- Κατηγορίες εντολών

- Με ή χωρίς συνθήκη
  - Σε απόλυτη ή σχετική διεύθυνση
    - 16 ή 32 bits απόλυτη διεύθυνση
      - πιθανώς σε μνήμη ή καταχωρητή
    - 8, 16 ή 32 bits σχετική διεύθυνση
  - Συνθήκη: καταχωρητής κατάστασης EFLAGS
  - Μεταξύ τμημάτων κώδικα
    - της ίδιας ή διαφορετικής διεργασίας
- Κλήση συναρτήσεων
  - Όπως η διακλάδωση με αποθήκευση πρόσθετης πληροφορίας (program stack)
    - για επιστροφή από συνάρτηση στο σημείο μετά την κλήση

Εντολές διακλάδωσης

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης
- Κατηγορίες εντολών

;

Πού θα μπορούσε να αποθηκευτεί η διεύθυνση επιστροφής μετά από κλήση συνάρτησης;

- Κλήση συναρτήσεων και επιστροφή
  - Αποθήκευση της τρέχουσας διεύθυνσης εκτέλεσης (καταχωρητή PC)
    - Πριν τη μετάβαση στη συνάρτηση
  - Χρήση αποθηκευμένης τιμής
    - Κατά την επιστροφή (return)