Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

2017-18

Αρχιτεκτονικές Συνόλου Εντολών (ΙΙ)

(Αρχιτεκτονική x86-64)

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

Μ.Στεφανιδάκης

Αρχιτεκτονική x86(-64)

- ISA

- Αρχιτεκτονική επεξεργαστών x86(-64)
  - Μία πολύπλοκη αρχιτεκτονική επεξεργαστών
    - 32-bit (IA32, x86) και 64-bit (x86-64, AMD64, Intel 64)
    - 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 σε Intel και AMD έρευνα και ανάπτυξη για διαρκείς βελτιώσεις απόδοσης
    - "Τελικά η αρχιτεκτονική αυτή είναι βέλτιστη μέσα στην τεράστια πολυπλοκότητά της"

Αρχιτεκτονική x86(-64)

- ISA

- Οικογένειες επεξεργαστών (Intel)
  - 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
https://software.intel.com/en-us/articles/intel-sdm

32-bit και 64-bit λειτουργία

- ISA

- Οι επεξεργαστές x86 των 64 bits λειτουργούν σε
  - 64-bit mode
    - 64-bit OS, 64-bit εφαρμογές
    - 64-bit OS, 32/16-bit εφαρμογές (legacy mode)
  - 32-bit mode
    - 32/16-bit OS, 32/16-bit εφαρμογές
- Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας αλλάζει η αρχιτεκτονική συνόλου εντολών (ISA)
  - Προσπελάσιμη μνήμη
  - Αριθμός καταχωρητών
  - Μέγεθος δεδομένων/διεθύνσεων μνήμης

Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών

- ISA

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

Κωδικοποίηση Εντολών Μηχανής

- ISA

- Σειρά δυαδικών ψηφίων

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 (αποτέλεσμα πράξης)

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

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

x86-64: η γενική μορφή των εντολών

- Μεταβλητός αριθμός bytes ανά εντολή
  - 1 έως 15 bytes
- Συνδυασμός από
  - Προθέματα (prefixes)
    - Αλλάζουν τον τρόπο λειτουργίας, το είδος και το μέγεθος των δεδομένων, τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων καταχωρητών ή την κωδικοποίηση της εντολής
  - Opcode (1 byte)
    - Ποια η βασική λειτουργία της εντολής
  - ModRM και SIB (Scale-Index-Base) bytes
    - Επιλογή καταχωρητή/μνήμης και τρόπου σχηματισμού διεύθυνσης
  - Displacement ή/και Immediate bytes (1, 2, 4 ή 8)
    - Offset και άμεσες τιμές μέσα στην εντολή

x86-64: CISC ή RISC;

- Οι εντολές που περιγράφει η αρχιτεκτονική συνόλου εντολών είναι σύνθετες
  - Πολλές εντολές πέραν των load/store προσπελαύνουν τη μνήμη
  - Ένα τυπικό παράδειγμα αρχιτεκτονικής CISC
  - Αναγκαίο για την τήρηση της προς τα πίσω συμβατότητας
- Αλλά
  - Εσωτερικά, κάθε σύνθετη εντολή μετατρέπεται σε μια σειρά μικρότερες
    - Micro-operations (μops)
    - Αυτόματα, κατά την αποκωδικοποίηση
    - Ουσιαστικά η εκτέλεση είναι σε στυλ RISC!

x86-64: Είδη εντολών

- Εντολές γενικού σκοπού
  - Αριθμητικές και λογικές πράξεις
  - Μεταφορά δεδομένων
    - Από-πρός Καταχωρητές και Μνήμη (PUSH/POP για στοίβα)
  - Έλεγχος ροής εκτέλεσης
    - Διακλαδώσεις και κλήσεις ρουτινών
- Άλλες κατηγορίες
  - Ειδικές εντολές συστήματος
    - ΛΣ, εικονική μνήμη
  - Επεξεργασία πολλαπλών δεδομένων
    - Χρήσιμο για γραφικά, σειρές χαρακτήρων, multimedia

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

x86-64: Εντολές διακλάδωσης

- ISA

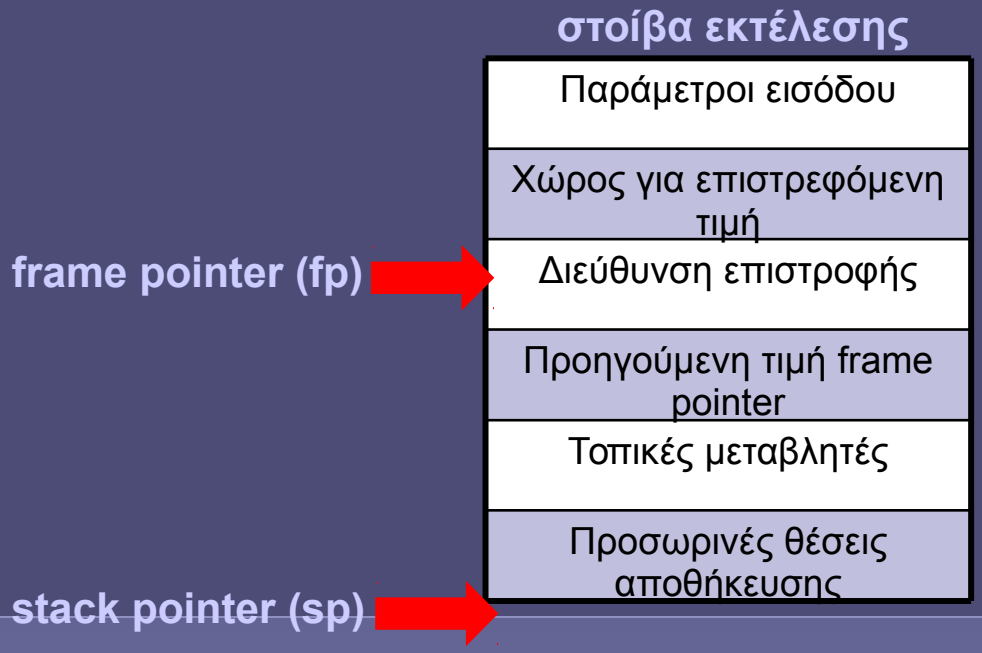
- Με ή χωρίς συνθήκη
  - Σε απόλυτη ή σχετική διεύθυνση
    - πιθανώς αποθηκευμένη σε μνήμη ή καταχωρητή
  - Συνθήκη: καταχωρητής κατάστασης EFLAGS
  - Μεταξύ τμημάτων κώδικα
    - της ίδιας ή διαφορετικής διεργασίας

- Κλήση συναρτήσεων
  - Όπως η διακλάδωση με αποθήκευση πρόσθετης πληροφορίας (program stack)
    - για επιστροφή από συνάρτηση στο σημείο μετά την κλήση

Εντολές διακλάδωσης

- ISA

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



x86-64: Προέλευση δεδομένων

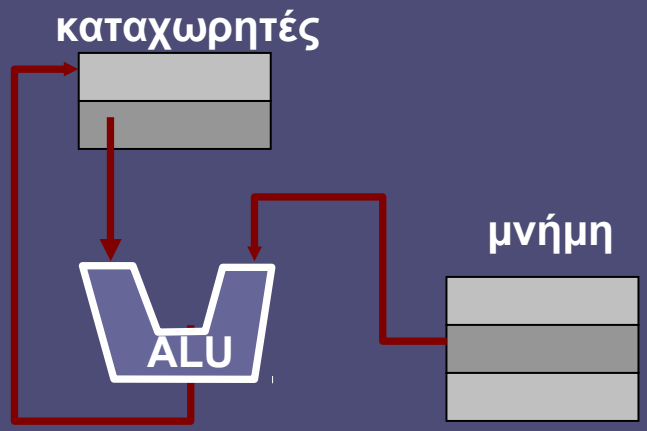
- ISA
- Προέλευση δεδομένων

- Τα δεδομένα που επεξεργάζονται οι εντολές προέρχονται από
  - Καταχωρητές
  - Μνήμη (ή I/O ports)
  - Τιμή μέσα στην εντολή (immediate values)

  Και μπορούν να αποθηκευτούν σε
  - Καταχωρητές
  - Μνήμη (ή I/O ports)

x86-64: Αρχιτεκτονική με καταχωρητές

- ISA
- Προέλευση δεδομένων



- Memory-register
  - Οποιαδήποτε εντολή γενικού σκοπού μπορεί να προσπελάσει τη μνήμη
  - Όχι μόνο οι εντολές load/store

!

Καταχωρητές: προσωρινές θέσεις αποθήκευσης αποτελεσμάτων.

x86-64: αρχιτεκτονική memory-register

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

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

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..	

x86-64: καταχωρητές

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

- 16 καταχωρητές γενικού σκοπού
  - 64 bits: RAX, RBX, RCX, RDX, RBP, RSI, RDI, RSP, R8–R15
  - 32 bits (το χαμηλό μισό των προηγούμενων): EAX, EBX, ECX, EDX, ESI, EDI, ESP, EBP, R8D-R15D
  - 16 bits (το χαμηλό τέταρτο): AX, BX, CX, DX, SI, DI, SP, BP, R8W-R15W
  - 8 bits (τμήματα των προηγούμενων): AL, BL, CL, DL, AH, BH, CH, DH, SIL, DIL, SPL, BPL, R8L-R15L
- Κάποιοι από τους καταχωρητές αυτούς χρησιμοποιούνται με ειδικό τρόπο!

x86-64: καταχωρητές (2)

- ISA
- Προέλευση δεδομένων

- RIP (EIP στα 32 bits)
  - Program counter
- RFLAGS (EFLAGS)
  - Σημαίες κατάστασης
- Καταχωρητές πράξεων SIMD
  - Εύρος καταχωρητών έως 512 bits
- Λοιποί καταχωρητές ελέγχου
  - Διαχείριση μνήμης, διεργασιών, προνομίων, τρόπου λειτουργίας κ.ο.κ

x86-64: Μοντέλο μνήμης

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης

- Ο χώρος διευθύνσεων που βλέπει κάθε εκτελούμενο πρόγραμμα
  - Στα 64 bit: “flat model”
    - Ενιαίος χώρος διευθύνσεων, από το 0 μέχρι το μέγιστο δυνατό (2^{64}-1)
    - Στην πράξη οι σύγχρονοι επεξεργαστές διαθέτουν 48-52 γραμμές διεύθυνσης
    - Στα 32 bit το μοντέλο είναι πιο πολύπλοκο (segmentation)
  - Προσοχή: πρόκειται για εικονικές διεύθυνσεις
    - Παράγονται από την ΚΜΕ
    - Θα ακολουθήσει μετάφραση σε φυσική διεύθυνση μέσω του συστήματος εικονικής μνήμης
    - Virtual Memory (σε επόμενο μάθημα)

Μέθοδοι προσπέλασης μνήμης

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης

- Πολλές εντολές γενικού σκοπού 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

x86-64: Σχηματισμός διευθύνσεων

- ISA
- Προέλευση δεδομένων
- Προσπέλαση μνήμης

- Στατική τιμή διεύθυνσης
  - Εντός εντολής
- Υπολογιζόμενη τιμή διεύθυνσης

  *address = scale * index + base + offset*
  - Scale: 2, 4 ή 8
  - Index: η τιμή ενός καταχωρητή γενικού σκοπού
  - Base: η τιμή ενός καταχωρητή γενικού σκοπού
  - Offset (ή displacement): μια 8-, 16- ή 32-bit τιμή (εντός εντολής)