

## Τα Μοντέλα του Υλικού

(Αρχιτεκτονικά στοιχεία παράλληλων υπολογιστών)

<http://mixstef.github.io/courses/pms-parcomp/>

Μ.Στεφανιδάκης



# Η ταξινόμηση κατά Flynn (1972)

- **Single Instruction Single Data (SISD)**
  - Ο παραδοσιακός υπολογιστής χωρίς κανένα είδος παραλληλίας
  - Το κλασσικό «μοντέλο von Neumann»
  - Κάθε εντολή εκτελείται σειριακά σε μια μοναδιαία ποσότητα δεδομένων
  - Μία και μοναδική λειτουργία σε κάθε χρονική στιγμή
  - Η απόδοση των εφαρμογών εξαρτάται από την ταχύτητα της επεξεργασίας

# Η ταξινόμηση κατά Flynn (συνέχεια)

- **Single Instruction Multiple Data (SIMD)**
  - Η ίδια λειτουργία (εντολή) εκτελείται σε πολλαπλά δεδομένα παράλληλα
  - Το υλικό διαθέτει έναν και μοναδικό Program Counter και πολλαπλές μονάδες εκτέλεσης πράξεων
  - Τα περισσότερα εμπορικά συστήματα σήμερα διαθέτουν κάποια χαρακτηριστικά SIMD (αλλά όχι μόνον)
    - 4, 8 ή 16 μονάδες εκτέλεσης (εντολές streaming σε συμβατικές ΚΜΕ)
    - Χιλιάδες μονάδες εκτέλεσης (streaming cores σε GPUs)
  - Υπερυπολογιστές (υψηλό κόστος)
    - Εξειδικευμένοι vector processors (ευρείς αγωγοί δεδομένων, από τη μνήμη έως τους καταχωρητές και τις μονάδες υπολογισμού)

# SIMD: ποια η χρήση του;

- Επαναληπτικές δομές (for loops)

- `for (i=0; i<n; i++) a[i] += b[i];`
  - Γίνεται `for (i=0; i<n; i+=4) a[i..i+3] += b[i..i+3];`
- Τι συμβαίνει όταν έχουμε **αποκλίνουσα** εκτέλεση;
  - Όταν π.χ. κάποια `a[i]` υπολογίζονται διαφορετικά

*όλα τα `a[i]`: προηγούμενη λειτουργία*

*όλα τα ζυγά `a[i]`: λειτουργία 1*

*όλα τα μονά `a[i]`: λειτουργία 2*

*όλα τα `a[i]`: επόμενη λειτουργία*

- Κάποιες παράλληλες βαθμίδες απενεργοποιούνται (GPUs)
- Συχνά περιγράφεται ως SIMT (single instruction multiple “thread”)

# Η ταξινόμηση κατά Flynn (συνέχεια)

- **Multiple Instruction Multiple Data (MIMD)**
  - Ξεχωριστές ακολουθίες εντολών εκτελούνται σε ξεχωριστές ομάδες δεδομένων
    - Πολλαπλές ΚΜΕ που εκτελούν ανεξάρτητα προγράμματα
  - Πολλαπλοί επεξεργαστικοί κόμβοι
    - Επεξεργαστές πολλών πυρήνων (Multicores)
    - Συνδυασμοί CPU + GPU/άλλων συνεπεξεργαστών στο ίδιο σύστημα
    - Κατανεμημένα συστήματα, συνδεδεμένα με κάποιο είδος δικτύου
  - Τι σημαίνει ο όρος SPMD (simple program/process multiple data);
    - Δεν σχετίζεται με την ταξινόμηση του Flynn
    - Μοντέλο παράλληλου προγραμματισμού όπου το ίδιο πρόγραμμα αναπτύσσεται στους κόμβους ενός MIMD συστήματος
    - Διαφοροποίηση με βάση π.χ. ένα id

# Συστήματα κοινής μνήμης

- **Shared Memory Systems**
  - Συστήματα MIMD όπου όλοι οι επεξεργαστικοί κόμβοι «βλέπουν» μια κοινή και ενιαία μνήμη
    - Οι επεξεργαστές βρίσκονται μέσα σε μοναδικό ενιαίο σύστημα
  - Οι εκτελούμενες παράλληλες διεργασίες
    - Έχουν πρόσβαση στα διαμοιραζόμενα δεδομένα
    - Και χρησιμοποιούν την κοινή μνήμη για συγχρονισμό
  - Οι κρυφές μνήμες και η συνοχή των δεδομένων
    - Όταν διαφορετικοί επεξεργαστικοί κόμβοι (με διαφορετικές κρυφές μνήμες) τροποποιούν τα ίδια δεδομένα
    - Τα πιο πρόσφατα δεδομένα μπορούν να βρίσκονται σε διαφορετική κρυφή μνήμη
    - Ειδικά πρωτόκολλα σε υλικό για την παρακολούθηση της θέσης των δεδομένων

# Είδη κοινής μνήμης

- **Uniform Memory Access (UMA)**
  - Η κοινή μνήμη είναι φυσικά ενιαία
    - Όλοι οι επεξεργαστικοί κόμβοι την προσπελάνουν με το ίδιο κόστος
    - Το σχήμα αυτό είναι γνωστό και ως Symmetric Multiprocessor (SMP)
    - Η σύνδεση με την κύρια μνήμη αποτελεί σημείο συνωστισμού
- **Non-Uniform Memory Access (NUMA)**
  - Κάθε επεξεργαστής του συστήματος έχει τη δική του τοπική μνήμη
    - Για τις υπόλοιπες μνήμες βασίζεται στην ενδο-επικοινωνία μεταξύ επεξεργαστών
    - Υπάρχει και εδώ ο μηχανισμός διατήρησης της συνοχής των δεδομένων μεταξύ κρυφών μνημών
    - Όσο κάθε επεξεργαστής επικοινωνεί με τη «δική» του μόνο τοπική μνήμη, ο συνωστισμός είναι ελάχιστος

# Συστήματα κατανεμημένης μνήμης

- **Distributed memory systems**
  - Αποτελούνται από ανεξάρτητα επεξεργαστικά συστήματα διασυνδεδεμένα μέσω ενός δικτύου
  - Το σχήμα περιλαμβάνει πολύ διαφορετικά συστήματα
    - Εμπορικούς υπολογιστές με διαδικτυακή διασύνδεση
    - Υπολογιστικούς κόμβους με εξειδικευμένη διασύνδεση
- **Δεν υπάρχει η έννοια της «ενιαίας» και «κοινής» μνήμης**
  - Τα διαμοιραζόμενα δεδομένα πρέπει να μεταφέρονται ανάμεσα στους κόμβους μέσω μηνυμάτων
    - Message passing APIs



# Βιβλιογραφία

- Michael McCool, James Reinders, and Arch Robison. 2012. *Structured Parallel Programming: Patterns for Efficient Computation* (1st ed.). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- Peter Pacheco. 2011. *An Introduction to Parallel Programming* (1st ed.). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- John L. Hennessy and David A. Patterson. 2003. *Computer Architecture: A Quantitative Approach* (3 ed.). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.