



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΕΜ 361: Παράλληλοι Υπολογισμοί

Ενότητα #2: Αρχιτεκτονική

Διδάσκων: Χαρμανδάρης Ευάγγελος
ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης **Creative Commons** και ειδικότερα **Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο 3.0 Ελλάδα** (*Attribution – Non Commercial – Non-derivatives 3.0 Greece*)



[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]

[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



EM 361: Παράλληλοι Υπολογισμοί

Χαρμανδάρης Βαγγέλης, Τμήμα Εφαρμοσμένων Μαθηματικών
Πανεπιστήμιο Κρήτης, Χειμερινό Εξάμηνο 2010/11

Κεφάλαιο 2: Αρχιτεκτονική

- Αρχιτεκτονική Παράλληλων Συστημάτων.
- Ταξινόμηση Flynn.
- Οργάνωση Μνήμης.
- Δίκτυο: Τοπολογία Διασύνδεσης.
- Παραδείγματα.



Αρχιτεκτονική Παράλληλων Συστημάτων

Τα υπολογιστικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση διαφορετικά κριτήρια.

Παραδείγματα:

- Ταξινόμηση Flynn (1966): βασίζεται στον αριθμό εντολών και τον αριθμό δεδομένων.
- Αρχιτεκτονική Μνήμης: με βάση το αν η μνήμη είναι κοινή ή κατανεμημένη.
- Με βάση την διασύνδεση των υπολογιστών – την τοπολογία του δικτύου.

Προσοχή: τα περισσότερα σύγχρονα παράλληλα υπολογιστικά συστήματα έχουν **υβριδική αρχιτεκτονική**.



Ταξινόμηση Flynn (1966)

Ταξινόμηση των υπολογιστών με κριτήρια τον αριθμό μονάδων εντολών και τον αριθμό δεδομένων εισαγωγής.

- **SISD**: Single Instruction – Single Data (Ενιαίες Εντολές – Ενιαία Δεδομένα).
- **SIMD**: Single Instruction – Multiple Data (Ενιαίες Εντολές – Πολλαπλά Δεδομένα).
- **MISD**: Multiple Instruction – Single Data (Πολλαπλές Εντολές – Ενιαία Δεδομένα).
- **MIMD**: Multiple Instruction – Multiple Data (Πολλαπλές Εντολές – Πολλαπλά Δεδομένα).

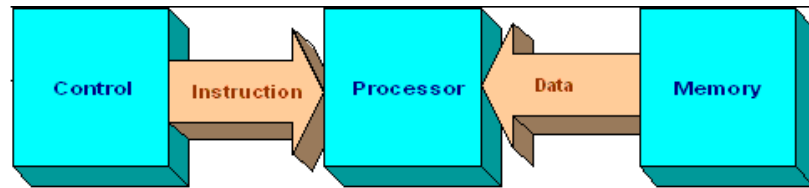
Προσοχή: Η ταξινόμηση Flynn μπορεί να αναφέρεται τόσο στο hardware όσο και στο software. Εδώ εστιάζουμε στο hardware.



SISD: Ο Σειριακός Υπολογιστής

Αρχιτεκτονική von Neumann:

- Ο (μοναδικός) υπολογιστής εκτελεί σειριακά (μια-μια) τις εντολές.
- Τόσο τα δεδομένα όσο και οι εντολές “φορτώνονται” στην μνήμη.



Βελτίωση της Υπολογιστικής Ισχύος με:

- Αύξηση της ταχύτητας του υπολογιστή ή
- Βελτίωση του χρόνου πρόσβασης στη μνήμη.

Συμφόρηση δεδομένων (**bottleneck**): Η ταχύτητα εκτέλεσης του κώδικα εξαρτάται από τον ρυθμό μεταφοράς των δεδομένων από την μνήμη στον επεξεργαστή.



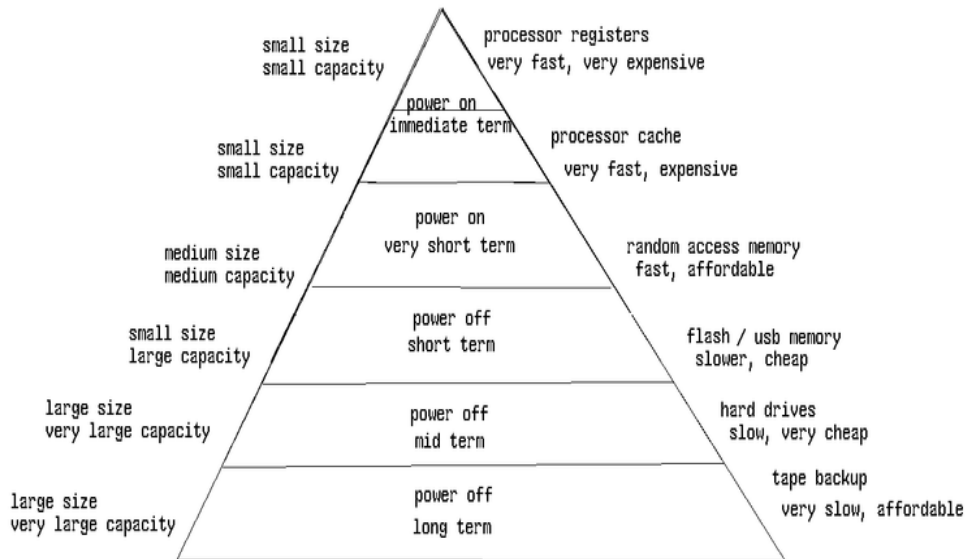
Ιεραρχική Αρχιτεκτονική Μνήμης

Στόχος:

- Η βελτίωση της πρόσβασης της μνήμης: Χρήση ιεραρχικής μνήμης
- **Hierarchical Memory:** Hard Disk, RAM, Cache (Level 1 and Level 2), Registers)

Computer Memory Hierarchy

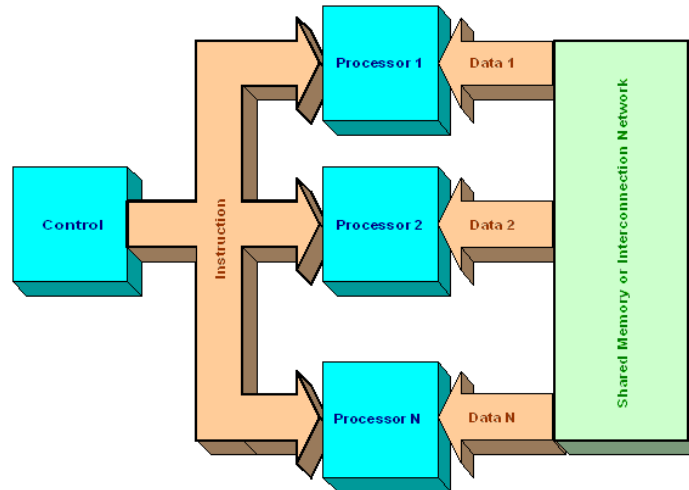
by Dan Lash (.com)





SIMD

- Όλοι οι επεξεργαστές εκτελούν την ίδια εντολή χρησιμοποιώντας διαφορετικά σύνολα δεδομένων.

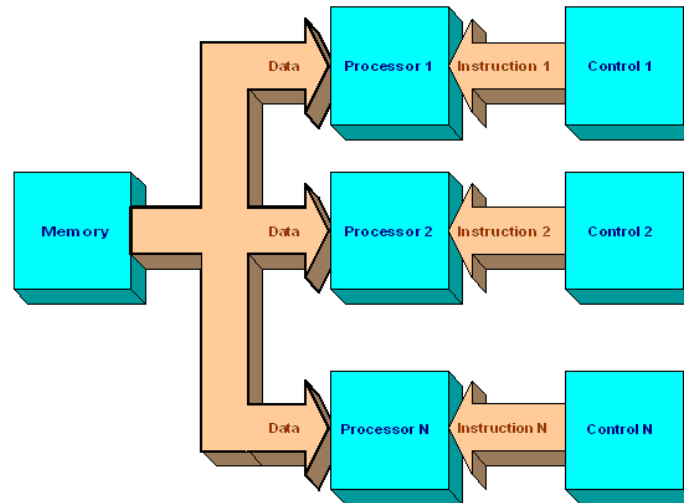


- Όλοι οι επεξεργαστές είναι συγχρονισμένοι στο ίδιο σημείο εκτέλεσης.
- Οι εντολές δίνονται στους επεξεργαστές από ένα επεξεργαστή ελέγχου (συνήθως ο master node).
- Μπορεί να είναι τύπου «κατανεμημένης» (distributed) ή «μοιρασμένης» (shared) μνήμης.



MISD

- Όλοι οι επεξεργαστές εκτελούν διαφορετικές εντολές χρησιμοποιώντας το ίδιο σύνολο δεδομένων.

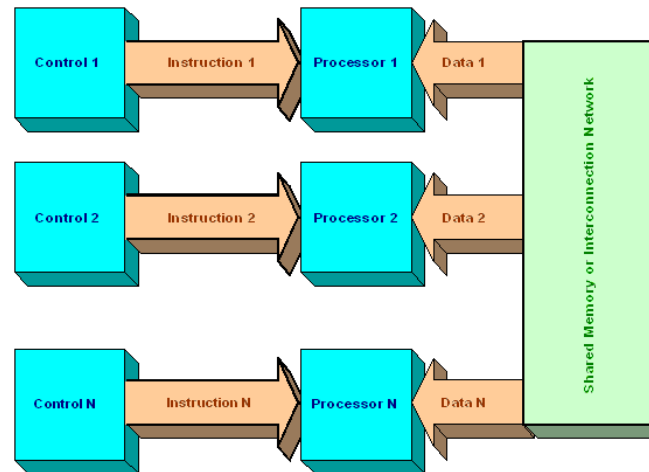


- **Δεν υπάρχουν** πολλοί τέτοιου τύπου υπολογιστές γιατί οι SIMD και MIMD αρχιτεκτονικές επιτρέπουν καλύτερη διαχείριση μνήμης και λιγότερη επικοινωνία μεταξύ επεξεργαστών.



MIMD

- Οι επεξεργαστές εκτελούν διαφορετικό set εντολών χρησιμοποιώντας διαφορετικά σύνολα δεδομένων.

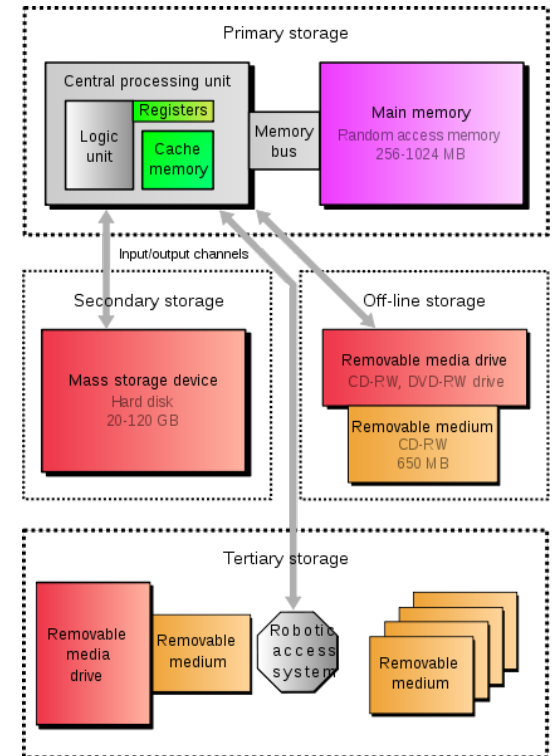


- Κάθε επεξεργαστής έχει ανεξάρτητο έλεγχο της εκτέλεσης και μπορεί να εκτελεί ταυτόχρονα διαφορετικές εργασίες.
- Μπορεί να είναι τύπου «κατανεμημένης» (distributed) ή «μοιρασμένης» (shared) μνήμης.



Οργάνωση Μνήμης

- Διάφορα «επίπεδα» μνήμης: δευτερογενές αποθήκευση (secondary storage), κυρίως μνήμη (main memory), εσωτερική μνήμη (internal memory).



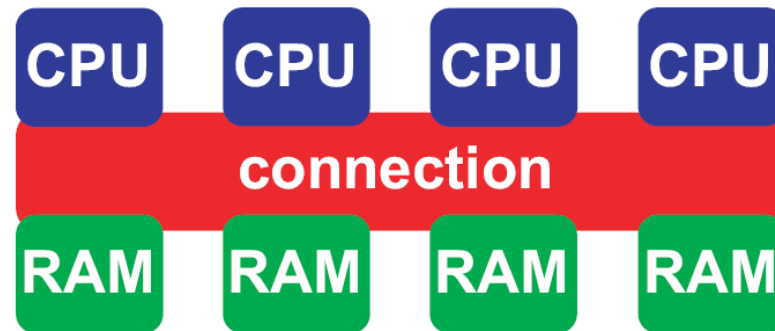
Ανάλογα με την διαχείριση της κυρίως μνήμης υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων:

- Συστήματα μοιρασμένης-κοινής μνήμης (**Shared Memory Machines**).
- Συστήματα κατανεμημένης μνήμης (**Distributed Memory Machines**).



Shared Memory Machines

- **Shared Memory Machines:** : Όλοι οι επεξεργαστές μοιράζονται την ίδια μνήμη. Πολυεπεξεργαστές (Multiprocessors).

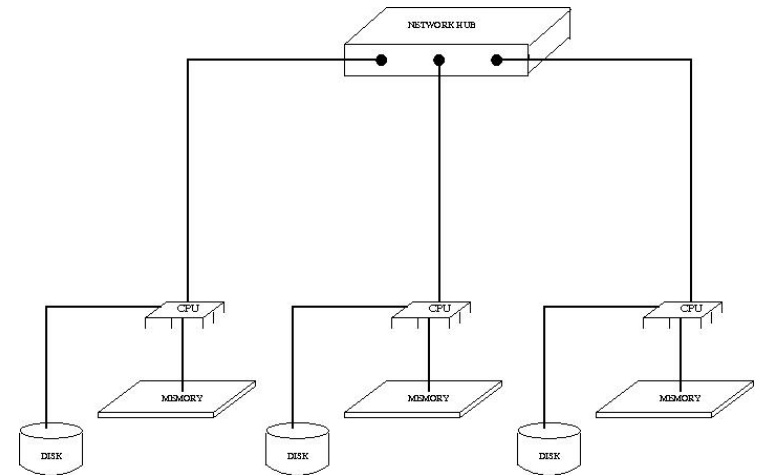


- **Υπέρ:** Ο προγραμματισμός είναι συνήθως ευκολότερος.
- **Κατά:** Πολύ δύσκολο να βάλουμε μαζί πολλούς επεξεργαστές (συνήθως $N_{\text{procs}} < 64$).



Distributed Memory Machines

- **Distributed Memory Machines.** Κάθε επεξεργαστής έχει την δικιά του μνήμη (private memory). Πολυπολογιστές (Multicomputers).



- **Υπέρ:** Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πολλές χιλιάδες επεξεργαστών! Ο μόνος τρόπος να φτάσουμε σε ισχύς Pflops.
- **Κατά:** Ο προγραμματισμός είναι δυσκολότερος.

Note: Μια συστοιχία προσωπικών υπολογιστών (PC cluster) είναι ένα MIMD σύστημα.



Δίκτυο (Network)

Βασικά χαρακτηριστικά δικτύου υπολογιστών:

- Σύνδεσμος: το κανάλι επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων (nodes) του δικτύου.
- Τύποι συνδέσμων: Μονόπλευρος, Αμφίπλευρος
- **Διάμετρος (diameter):** Ο ελάχιστος αριθμός συνδέσεων μεταξύ των πιο απομακρυσμένων κόμβων του δικτύου.
- **Υστέρηση Επικοινωνίας (Communication Latency):** Ο χρόνος που απαιτείται από το υλικό και το λογισμικό ώστε να υπάρξει επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου (t_{lat}).
- **Εύρος Διαύλου (Bandwidth):** Ο αριθμός των bits που μπορούν να μεταδοθούν στην μονάδα χρόνου, x_0 .
- **Χρόνος επικοινωνίας:** Για X αριθμό δεδομένων $t_{comm} = t_{lat} + X/x_0$



Τοπολογία Δικτύου (Network Topology)

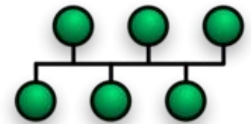
"There are two kinds of people in the world: those who divide the world into two kinds of people, and those who don't" – Robert Benchley (1889 - 1945)

Τοπολογία Δικτύου: Διασύνδεση των διαφόρων στοιχείων σε ένα δίκτυο υπολογιστών. Διαφορετικοί τρόποι κανονικής διασύνδεσης (regular network topology) δικτύου:

• **Γραμμική (Linear Bus):** Οι μηχανές συνδέονται σειριακά στο ίδιο καλώδιο.

-- **Υπέρ:** Εύκολη σύνδεση, πιο οικονομική λύση.

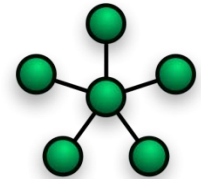
-- **Κατά:** Όλο το δίκτυο πέφτει αν υπάρξει βλάβη του κυρίως καλωδίου. Δύσκολος εντοπισμός βλάβης.



• **Αστεριού (Star):** Όλες οι μηχανές συνδέονται σε μία κεντρική μονάδα.

-- **Υπέρ:** Εύκολη σύνδεση, εύκολος εντοπισμός βλάβης.

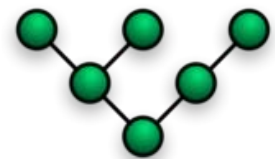
-- **Κατά:** Πιο ακριβή λύση. Όλο το δίκτυο πέφτει σε βλάβη της κεντρικής μονάδας.



• **Δεντρική (Tree):** οι μηχανές συνδέονται σε μορφή δέντρου.

-- **Υπέρ:** Σειριακή σύνδεση για κάθε «κλαδί». Καλή υποστήριξη από Software.

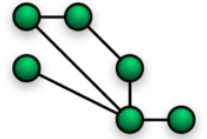
-- **Κατά:** Πιο δύσκολη διασύνδεση. Όλο το δίκτυο πέφτει αν υπάρξει βλάβη του «κορμού».





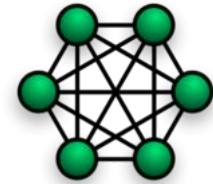
Τοπολογία Δικτύου

- **Πλέγμα (Mesh):** κάποιες από τις μηχανές συνδέονται με περισσότερες από μία άλλη.



- **Υπέρ:** Εύκολη σύνδεση, Εύκολος εντοπισμός βλάβης.
- **Κατά:** Πιο ακριβή λύση.

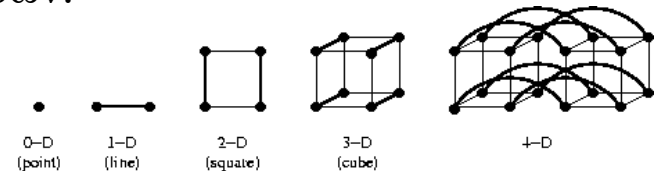
- **Fully connected mesh:** όλες οι μηχανές συνδέονται αναμεταξύ τους.



- **Υπέρ:** Κατευθείαν σύνδεση μεταξύ όλων των μηχανών.
- **Κατά:** Η πιο ακριβή και περίπλοκη λύση.

- **Hypercubes:** οι μηχανές συνδέονται σε μορφή υπερκύβων.

- **Υπέρ:** Ευέλικτη διασύνδεση. Καλή επικοινωνία.
- **Κατά:** Περίπλοκη διασύνδεση.



- **Υβριδικά (Hybrids):** συνδυασμός όλων των παραπάνω.

- **Grid: 2D Mesh.**

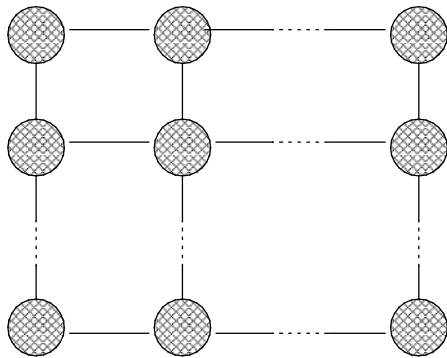
Παράμετροι Επιλογής: Οικονομικοί, Συνολικό μήκος καλωδίου, Τύπος καλωδίου, Μελλοντική χρήση του δικτύου.



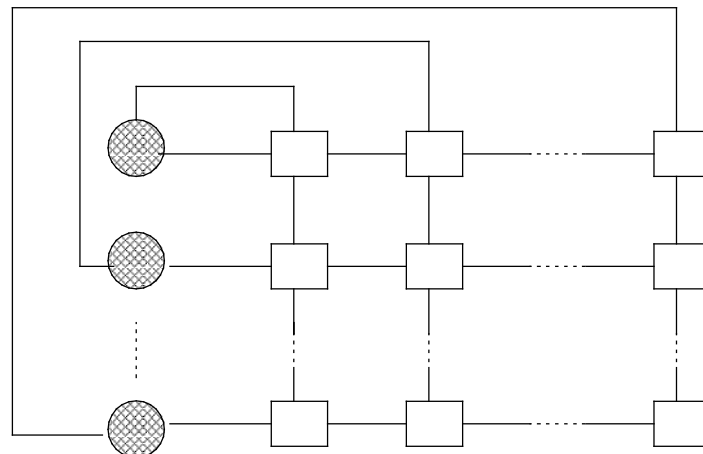
Τοπολογία Δικτύου (Static vs. Dynamic)

Ένα δίκτυο υπολογιστών μπορεί να είναι:

- **Στατικό (Static):** Οι επεξεργαστές οι ίδιοι αποτελούν τους κόμβους του δικτύου.
- **Δυναμικό (Dynamic):** Οι επεξεργαστές και η μνήμη είναι «εκτός» δικτύου και ειδικοί κόμβοι μεταφέρουν τα μηνύματα.



STATIC NETWORK



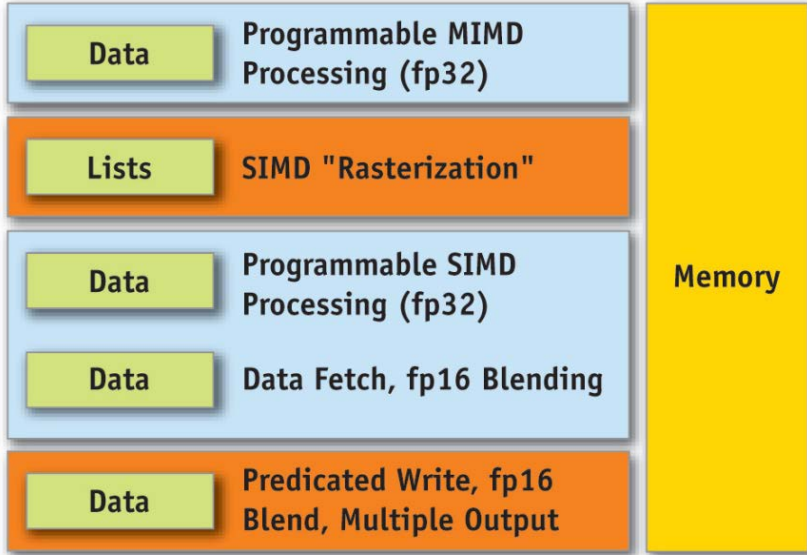
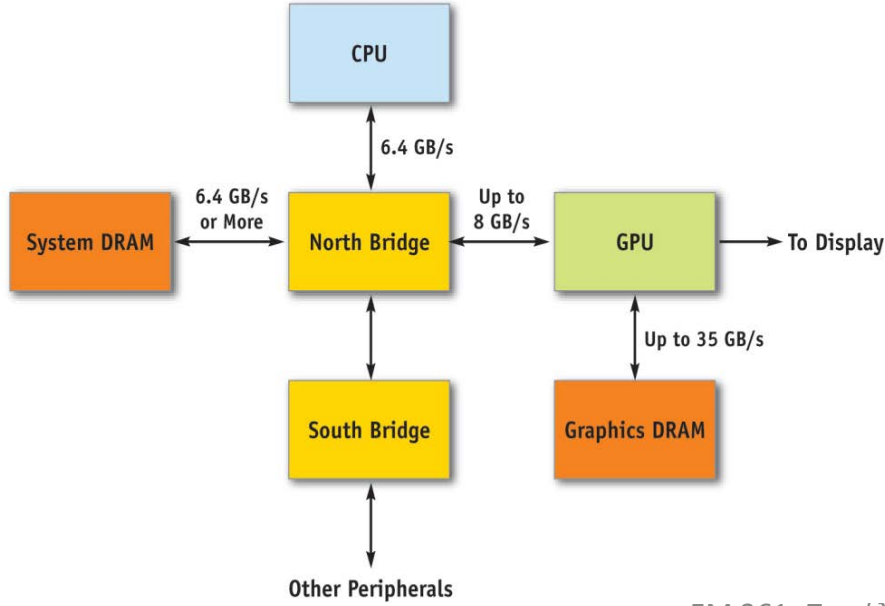
DYNAMIC NETWORK(CROSSBAR)



Μηχανές GPU

- **GPU (Graphics Processing Unit)** αρχιτεκτονική: χρήση πολύ-επεξεργαστικής κάρτας γραφικών.
- Υβριδική αρχιτεκτονική: Οι επεξεργαστές της κάρτας γραφικών είναι SIMD ενώ οι επεξεργαστές της μητρικής είναι MIMD.
- Πολύ ισχυρή και οικονομική λύση: δυνατότητα κατασκευής υπολογιστή γραφείου (desktop) με ισχύ τάξης Tera-flops!

Χρήση της κάρτας γραφικών για επιστημονικούς υπολογισμούς





Βιβλιογραφία

- *Parallel Programming*, B. Wilkinson, M. Allen, Prentice Hall, 2nd Ed. 2005.
- *Designing and Building Parallel Programs*, Ian Foster, Addison-Wesley 1994.
- *Parallel Computing: Theory and Practice*, M. J. Quinn, McGraw-Hill, 1994.
- Computer Networks: <http://fcit.usf.edu/Network/>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Flynn's_taxonomy
- <http://www.turing.org.uk/turing/scrapbook/computer.html>
- GPU Machines: <http://techreport.com/articles.x/17670>

Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης