

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Η/Υ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ



Διάρθρωση

1. Παράλληλοι υπολογιστές
2. Πολυεπεξεργαστές
3. Πολύ-υπολογιστές
4. Δίκτυα διασύνδεσης
5. Νόμος Amdahl



Ταχύτητα Υπολογιστών

- Η ταχύτητα των υπολογιστών καθορίστηκε για πολλές δεκαετίες κυρίως από την εξέλιξη της τεχνολογίας που είχε ως βασικό στόχο τη συρρίκνωση των τρανζίστορ:
 - ↓ παρασιτικών χωρητικοτήτων, ↑ ταχύτητας, ↓ κόστους, ↓ κατανάλωσης ενέργειας / τρανζίστορ, ↑ των λειτουργιών / chip.
- Προβλήματα:
 - Η ταχύτητα των κυκλωμάτων δεν μπορεί να αυξάνει απεριόριστα (θεωρητικό όριο η ταχύτητα του φωτός)
 - Η συνολική κατανάλωση ενέργειας αυξάνει δραματικά καθώς αυξάνει ο αριθμός των τρανζίστορ / chip.
 - Κβαντομηχανικά φαινόμενα και μεγάλες διασπορές των κυκλωματικών παραμέτρων δυσκολεύουν εξαιρετικά το σχεδιασμό των επεξεργαστών.
- Λύσεις:
 - Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών
 - Παράλληλισμός
 - ο Παράλληλισμός σε επίπεδο εντολών (διοχέτευση, υπερβαθμωτές αρχιτεκτονικές) – ~αύξηση της ταχύτητας x10.
 - ο Παράλληλοι υπολογιστές με πολλαπλούς επεξεργαστές – π.χ. σύστημα με 1000 επεξεργαστές προσφέρει θεωρητικά αύξηση της ταχύτητας x1000.



Παράλληλοι Υπολογιστές

3

Θέματα Σχεδιασμού Παράλληλων Υ/Σ

- Ποιά η φύση, το μέγεθος και ο αριθμός των επεξεργαστών.
 - Απλές ALU ή πλήρεις CPU (ομογενείς ή ετερογενείς);
 - Ενσωματωμένοι πυρήνες, διακριτοί επεξεργαστές ή συνδυασμός;
 - 2-10 ή εκατοντάδες ως δεκάδες χιλιάδες επεξεργαστές;
- Ποιά η φύση, το μέγεθος και ο αριθμός των στοιχείων μνήμης.
 - Κοινή ή κατανεμημένη μνήμη;
 - SRAM ή DRAM
 - Ενσωματωμένη μνήμη ή όχι;
 - Κρυφή μνήμη και πόσα επίπεδα κρυφής μνήμης;
- Πως αλληλοσυνδέονται οι επεξεργαστικές μονάδες με τα στοιχεία μνήμης.
 - Στατική διασύνδεση, όπου όλα τα στοιχεία που απαρτίζουν την αρχιτεκτονική διασυνδέονται με ένα σταθερό τρόπο (π.χ. αστεροειδής διάταξη, δακτύλιος, πλέγμα)
 - Δυναμική διασύνδεση, όπου τα στοιχεία διασυνδέονται με ένα δίκτυο μεταγωγής (switching network) το οποίο μπορεί να δρομολογεί δυναμικά τα μηνύματα μεταξύ των στοιχείων.



Παράλληλοι Υπολογιστές

4

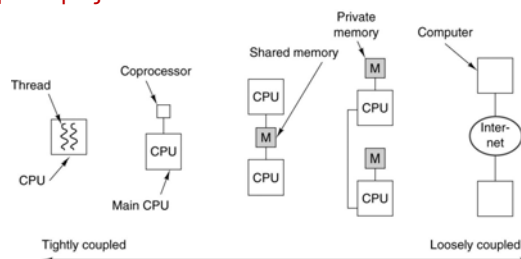
Αντικείμενο Παραλληλίας

- Στο ερώτημα «τι είναι εκείνο που πρέπει να εκτελείται παράλληλα» διακρίνουμε:
 - Υπολογιστές που εκτελούν πολλές ανεξάρτητες εργασίες ταυτόχρονα (π.χ. χρονομεριστικά συστήματα – time sharing systems).
 - Υπολογιστές που εκτελούν μια μοναδική εργασία η οποία αποτελείται από πολλές παράλληλες διεργασίες.
 - Υπολογιστές όπου η παραλληλία προέρχεται από ένα υψηλό βαθμό διοχέτευσης ή από πολλές ALU που επεξεργάζονται ταυτόχρονα το ίδιο ρεύμα εντολών (διανυσματική επεξεργασία)
- Η διαφορά των προηγούμενων περιπτώσεων έγκειται σε αυτό που ονομάζουμε μέγεθος μονάδας διαιρετότητας (*grain size*).
 - Η εκτέλεση μεγάλων ενοτήτων λογισμικού με μικρή ή καθόλου επικοινωνία ανάμεσα στις ενότητες καλείται **παραλληλία μεγάλης μονάδας διαιρετότητας** (*coarse grained parallelism*).
 - Στην αντίθετη περίπτωση έχουμε **παραλληλία μικρής μονάδας διαιρετότητας** (*fine grained parallelism*).



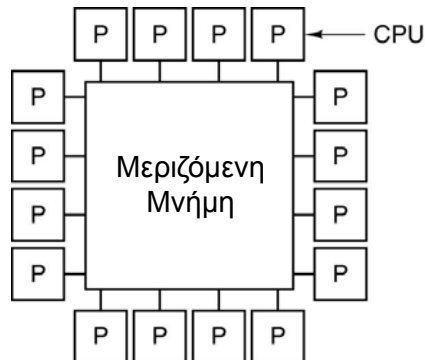
Σύζευξη

- Η οργάνωση των συστημάτων διακρίνεται σε:
 - Συστήματα **ασθενούς σύζευξης** (*loosely coupled*) όπου υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός μεγάλων CPU με συνδέσεις χαμηλής ταχύτητας μεταξύ των CPU.
 - ο συνήθως καλύτερη επιλογή για προβλήματα μεγάλης μονάδας διαιρετότητας
 - Συστήματα **ισχυρής σύζευξης** (*tightly coupled*) όπου οι επεξεργαστικές μονάδες είναι μικρότερες, σε μικρή απόσταση και αλληλεπιδρούν συχνά μεταξύ τους μέσω δικτύων επικοινωνίας με μεγάλο εύρος ζώνης.
 - ο συνήθως καλύτερη επιλογή για προβλήματα μικρής μονάδας διαιρετότητας



Πολυεπεξεργαστές

- Στα συστήματα *πολυεπεξεργαστών* (*multiprocessor*) όλες οι CPU μοιράζονται μια κοινή φυσική μνήμη (συστήματα *μεριζόμενης μνήμης* – *shared memory systems*).
 - Σχετικά μικρός αριθμός CPU.
 - Εύκολος προγραμματισμός.

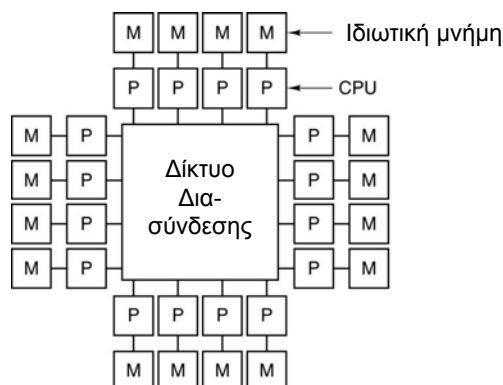


Παράλληλοι Υπολογιστές



Πολύ-υπολογιστές

- Στα συστήματα *πολύ-υπολογιστών* (*multicomputer*) κάθε CPU έχει τη δική της ιδιωτική μνήμη (συστήματα *κατανεμημένης μνήμης* – *distributed memory systems*).
 - Σχετικά μεγάλος έως πολύ μεγάλος αριθμός CPU.
 - Δυσκολότερος προγραμματισμός.

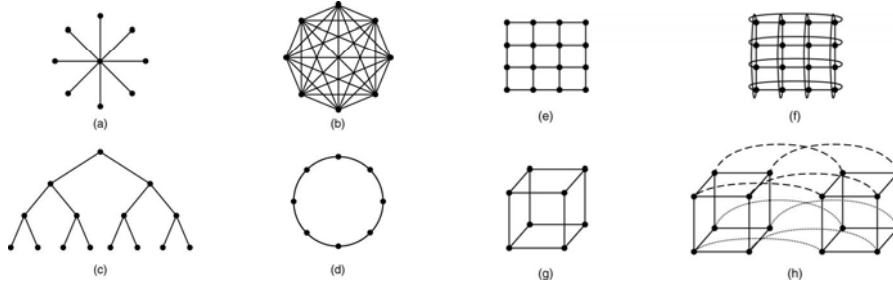


Παράλληλοι Υπολογιστές



Δίκτυα Διασύνδεσης

- Τα δίκτυα διασύνδεσης δομούνται σε διάφορες τοπολογίες.
 - Αστέρας, πλήρης αλληλο-σύνδεση, δένδρο, δακτύλιος, πλέγμα, διπλή σπείρα, κύβος, τετραδιάστατος υπερκύβος.



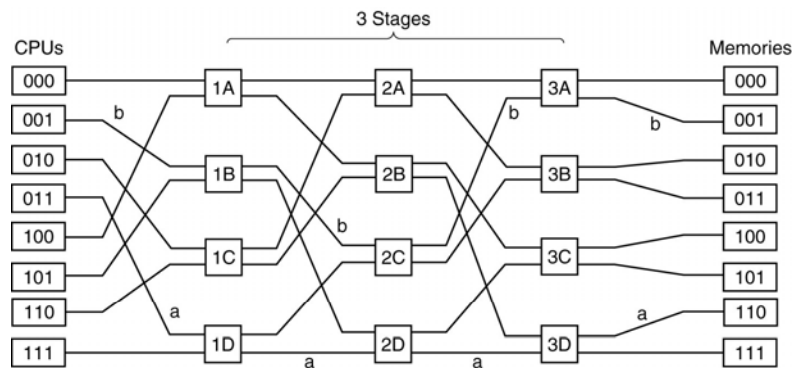
- Ο αριθμός των συνδέσμων σε κάθε κόμβο ονομάζεται *βαθμός* ή *μέγιστο πλήθος εξόδων (fanout)*.
- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των κόμβων (σε αριθμό ακμών για την μετάβαση από τον έναν στον άλλο) καλείται *διάμετρος*.
- Ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρονται στη μονάδα του χρόνου καλείται *χωρητικότητα μετάδοσης (transmission capacity)* και μέτρο της είναι το *εύρος ζώνης διχοτόμησης (bisection bandwidth)*.



Παράλληλοι Υπολογιστές

9

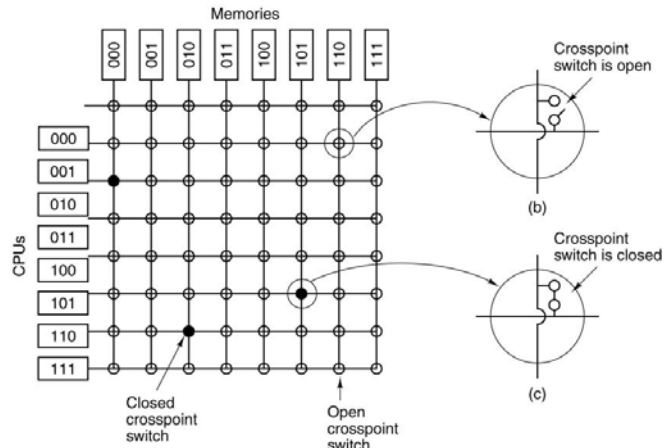
Δίκτυο Μεταγωγής Ωμέγα



Παράλληλοι Υπολογιστές

10

Μεταγωγός Πλέγματος



Δίκτυα εντός Chip – Networks-on-Chip (NoCs)

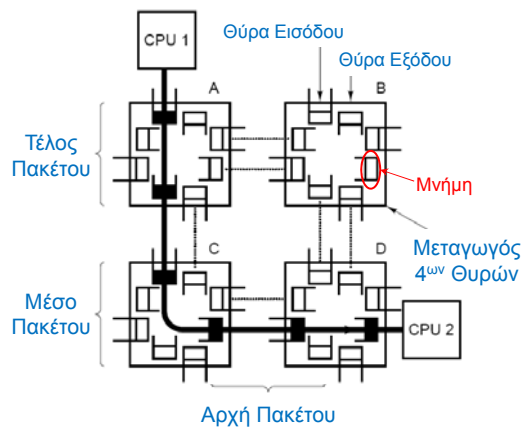
Επικοινωνία με ανταλλαγή πακέτων



Παράλληλοι Υπολογιστές



Τετραγωνικό Πλέγμα 4^{ων} Μεταγωγών



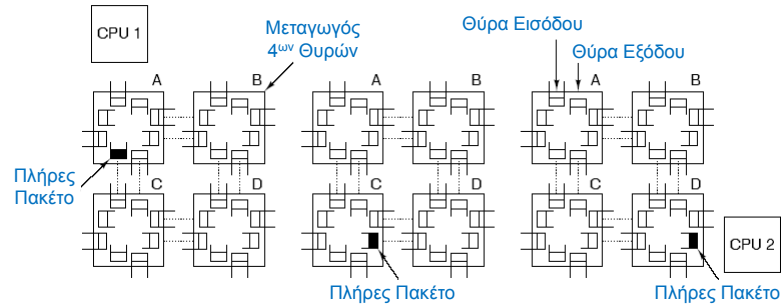
- Μεταγωγή κυκλώματος: όπου δεσμεύεται προκαταβολικά ολόκληρη η διαδρομή.
- Μεταγωγή πακέτων με αποθήκευση και προώθηση: όπου δεν δεσμεύεται προκαταβολικά η διαδρομή.



Παράλληλοι Υπολογιστές



Τετραγωνικό Πλέγμα 4^{ων} Μεταγωγών



- Προσωρινή αποθήκευση εισόδου, όπου η μνήμη είναι στη θύρα εισόδου:
 - Χρήση μνήμης FIFO
 - Μπλοκάρισμα κεφαλής
- Προσωρινή αποθήκευση εξόδου, όπου η μνήμη είναι στη θύρα εισόδου.
- Κοινή προσωρινή αποθήκευση, όπου υπάρχει μια ενιαία δεξαμενή μνήμης προσωρινής αποθήκευσης η οποία κατανέμεται δυναμικά ανάλογα με τις ανάγκες.

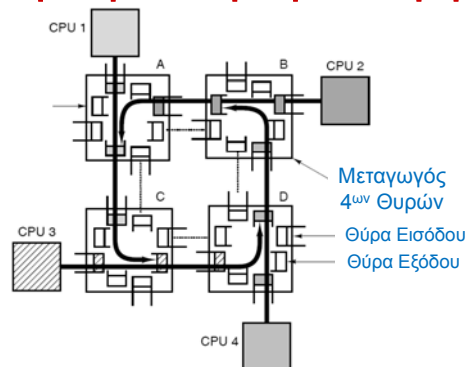


Παράλληλοι Υπολογιστές

13

Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

Αδιέξοδο



- Δρομολόγηση αφετηρίας: όπου καθορίζεται από πριν ολόκληρη η διαδρομή.
- Κατανεμημένη δρομολόγηση: όπου ο κάθε μεταγωγός αποφασίζει ποια θύρα θα χρησιμοποιηθεί για κάθε πακέτο που φτάνει σε αυτόν:
 - Στατική: ίδια απόφαση $\forall$ πακέτο προς δεδομένο προορισμό
 - Προσαρμοστική: όπου σε κάθε απόφαση λαμβάνεται υπόψιν η κυκλοφορία τη δεδομένη χρονική στιγμή.

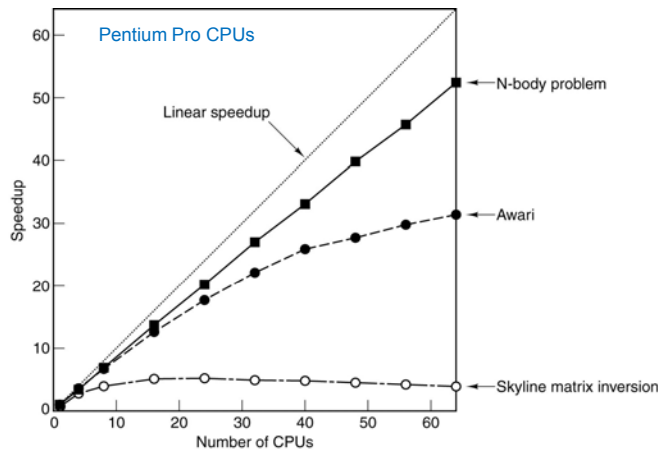


Παράλληλοι Υπολογιστές

14

Απόδοση

- Η αύξηση της ταχύτητας δεν είναι γραμμική συνάρτηση του αριθμού των CPU.

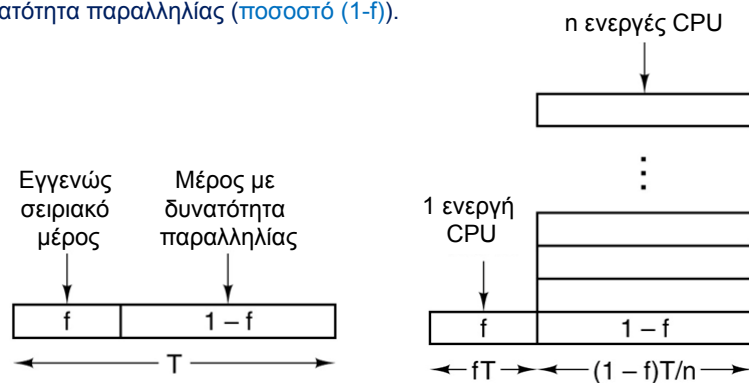


Παράλληλοι Υπολογιστές

15

Νόμος του Amdahl

- Τα προγράμματα έχουν ένα σειριακό μέρος (ποσοστό f) και ένα μέρος με δυνατότητα παραλληλίας (ποσοστό $(1-f)$).



Νόμος Amdahl

$$\text{Αύξηση Ταχύτητας} = \frac{n}{1 + (n-1)f}$$

Συνολικός χρόνος εκτέλεσης:

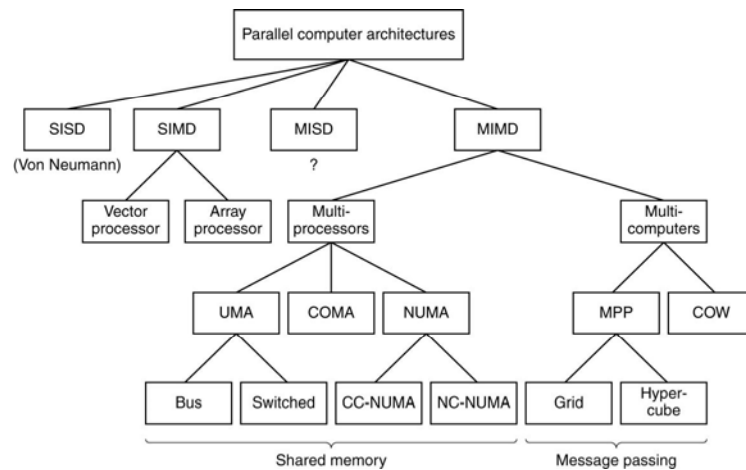
$$fT + \frac{(1-f)T}{n}$$



Παράλληλοι Υπολογιστές

16

Ταξινομικό Σύστημα // Υπολογιστών

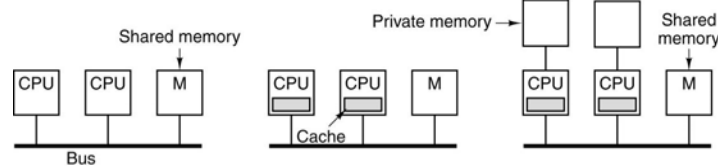


Παράλληλοι Υπολογιστές

17

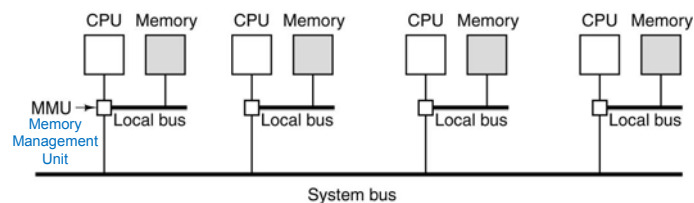
Πρόσβαση Μνήμης

Unified Memory Access - UMA



- Συνέπεια κρυφής μνήμης (cache coherence/consistency)
- Κρυφές μνήμες κατασκόπησης (snooping caches)

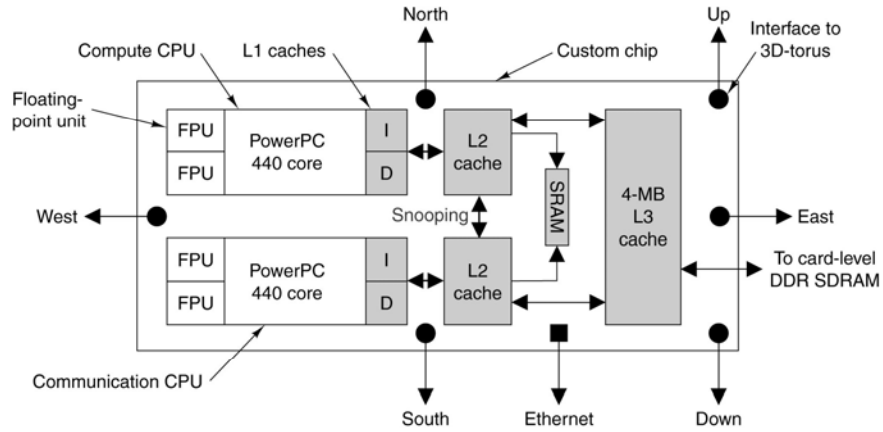
Non-Unified Memory Access - NUMA



Παράλληλοι Υπολογιστές

18

BlueGene (I)

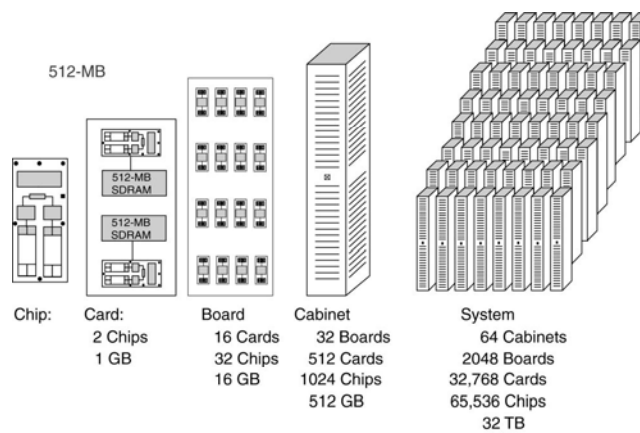


Ολοκληρωμένο Κύκλωμα Επεξεργασία

Παράλληλοι Υπολογιστές

19

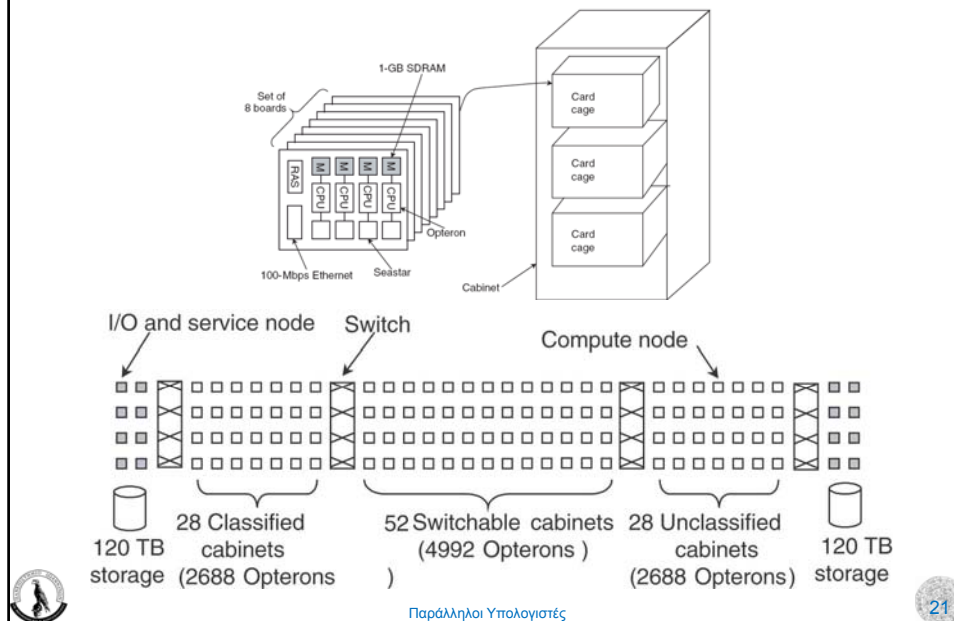
BlueGene (II)



Παράλληλοι Υπολογιστές

20

Red Storm



BlueGene – Red Storm

Συγκρίσεις

Item	BlueGene/L	Red Storm
CPU	32-Bit PowerPC	64-Bit Opteron
Clock	700 MHz	2 GHz
Compute CPUs	65,536	10,368
CPUs/board	32	4
CPUs/cabinet	1024	96
Compute cabinets	64	108
Teraflops/sec	71	41
Memory/CPU	512 MB	2–4 GB
Total memory	32 TB	10 TB
Router	PowerPC	Seastar
Number of routers	65,536	10,368
Interconnect	3D torus $64 \times 32 \times 32$	3D torus $27 \times 16 \times 24$
Other networks	Gigabit Ethernet	Fast Ethernet
Partitionable	No	Yes
Compute OS	Custom	Custom
I/O OS	Linux	Linux
Vendor	IBM	Cray Research
Expensive	Yes	Yes