



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Συστήματα Παράλληλης & Κατανεμημένης Επεξεργασίας

Ενότητα 12: Δυναμικά και Στατικά Δίκτυα Διασύνδεσης.
Αξιολόγηση δικτύων Διασύνδεσης.

Δρ. Μηνάς Δασυγένης

mdasyg@ieee.org

Εργαστήριο Ρομποτικής, Ολοκληρωμένων και Ενσωματωμένων Συστημάτων

<http://arch.ece.uowm.gr/mdasyg>



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» 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 ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σκοπός της Ενότητας

- Η κατανόηση των βασικών δικτύων διασύνδεσης, και η παρουσίαση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων κάθε κατηγορίας.



Επικοινωνία και Δίκτυα Διασύνδεσης

- Η επικοινωνία ανάμεσα στους επεξεργαστές και στα δεδομένα είναι πολύ σημαντική.
- Έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη δικτύων διασύνδεσης (Interconnection Networks, **IN**) προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία.
- Είτε πρόκειται για διασύνδεση πολύ-υπολογιστών είτε για διασύνδεση πολύ-επεξεργαστών χρησιμοποιούνται δίκτυα διασύνδεσης, όπου ανάλογα με το είδος επικοινωνίας καθορίζεται και η ταχύτητα επικοινωνίας.



Πρωτόκολλα στα ΔΔ

- Τα ΔΔ **κατανεμημένης μνήμης** χρησιμοποιούν **διεθνή πρότυπα**, προκειμένου να είναι εύκολη η διασύνδεση διαφορετικών υπολογιστών, από διαφορετικούς κατασκευαστές
- Τα ΔΔ **κοινής μνήμης**, επειδή χρησιμοποιούνται από ένα συγκεκριμένο παράλληλο υπολογιστή μιας συγκεκριμένης εταιρίας, **δεν ακολουθούν συνήθως διεθνή πρότυπα**, αφού δεν υπάρχει ενδιαφέρον για συμβατότητα.



Χαρακτηριστικά Επιδόσεων (1/2)

- Υπάρχουν πάρα πολλά διαφορετικά ή παρόμοια ΔΔ. Το κάθε ΔΔ έχει κάποια χαρακτηριστικά. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που βοηθούν στην επιλογή του κατάλληλου ΔΔ είναι:
 - **Εύρος ζώνης (bandwidth)**: μέγιστος ρυθμός μετάδοσης πληροφοριών μέσα στο δίκτυο σε bits per second.
 - **Χρόνος πτήσης (flight time)**: ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα για να διανύσει το μήκος των καλωδίων, χωρίς την καθυστέρηση λόγω επεξεργασίας ή αποθήκευσης που εξαρτάται από το φυσικό μέσο.



Χαρακτηριστικά Επιδόσεων (2/2)

- **Χρόνος μετάδοσης μηνύματος (transmission time):** Εξαρτάται από το πόσα bit είναι το μήνυμα και το εύρος ζώνης.
- **Χρόνος μεταφοράς (transport latency):** Χρόνος μετάδοσης + Χρόνος πτήσης.
- **Επιβάρυνση αποστολέα (receiver overhead):** Χρόνος που χρειάζεται ο αποστολέας να “συσκευάσει” το μήνυμα.
- **Επιβάρυνση παραλήπτη (receiver overhead):** Χρόνος που χρειάζεται ο παραλήπτης για να “αποσυσκευάσει” το μήνυμα.



Συνολικός Χρόνος μετάδοσης

- Επιβάρυνση Αποστολέα +
- Χρόνος πτήσης +
- Μέγεθος Μηνύματος/Εύρος ζώνης +
- Επιβάρυνση Παραλήπτη.



2 είναι τα δίκτυα διασύνδεσης παράλληλων υπολογιστών

- **Στατικά δίκτυα διασύνδεσης (Static Interconnection Networks):**
 - Όλες οι συνδέσεις πραγματοποιούνται κατά τον σχεδιασμό και προϋπάρχουν (δε δημιουργούνται όταν χρειάζεται μια σύνδεση). Η επικοινωνία γίνεται μέσα από τις προϋπάρχουσες συνδέσεις.
- **Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (Dynamic Interconnection Networks):**
 - Οι συνδέσεις μεταξύ 2 ή περισσότερων κόμβων δεν προϋπάρχουν αλλά δημιουργούνται δυναμικά (on the fly) καθώς τα μηνύματα δρομολογούνται μεταξύ των συνδέσμων.

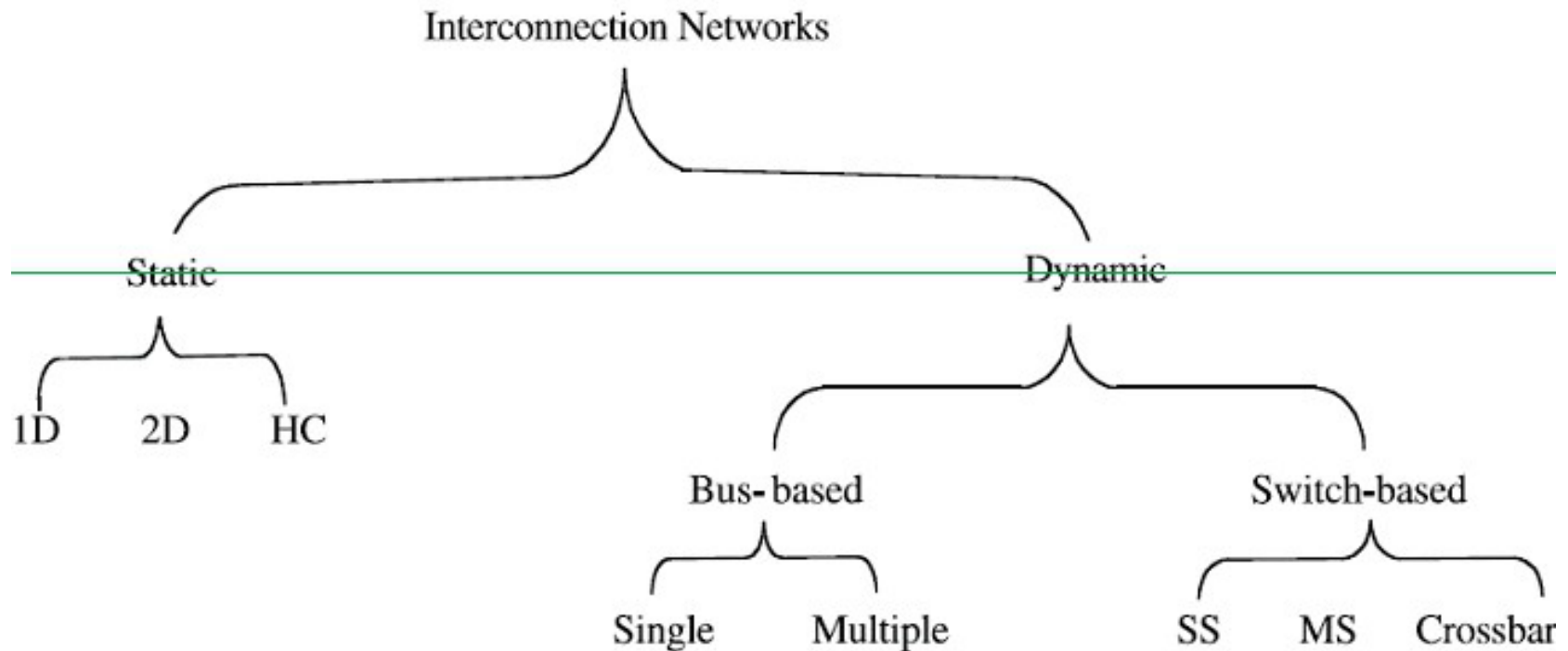


Ταξινόμηση δικτύων διασύνδεσης

- Οι δύο μεγάλες κατηγορίες δικτύων διασύνδεσης υποδιαιρούνται περαιτέρω ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης στις εξής κατηγορίες:
 - **Στατικά:**
 - Μίας διάστασης (one-dimension, 1D).
 - Δύο διαστάσεων (two-dimension, 2D).
 - Υπερκύβος (Hypercube, HC).
 - **Δυναμικά:**
 - **Βασισμένα σε δίαυλο (bus based):**
 - Απλός δίαυλος (single bus).
 - Πολλαπλός δίαυλος (multiple bus).
 - **Βασισμένα σε διακόπτη (switch based) :**
 - Απλού Σταδίου (single stage).
 - Πολλαπλού Σταδίου (multiple stage).
 - Μεταγωγέα διασταύρωσης (crossbar switch).

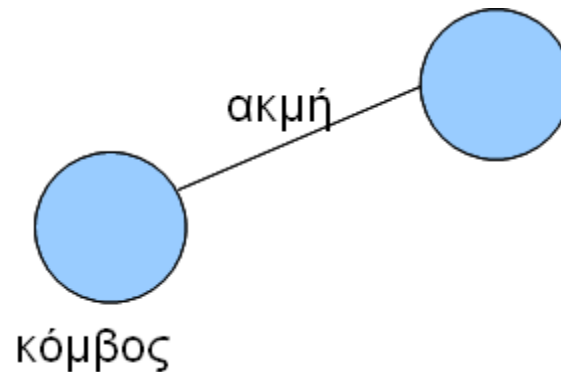


Σχηματικά η Ταξινόμηση των Δικτύων Διασύνδεσης



Αναπαράσταση δικτύων διασύνδεσης

- Ένα δίκτυο διασύνδεσης αναπαρίσταται σαν ένας γράφος όπου:
 - Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν επεξεργαστές ή μεταγωγείς δικτύου (network switches) ή μονάδες μνήμης.
 - Οι ακμές αντιπροσωπεύουν φυσικούς συνδέσμους μεταξύ κόμβων.



2 Παράμετροι Σχεδιασμού Δικτύων Διασύνδεσης

- **Κόστος Υλοποίησης**=> Πλήθος ακμών που απαιτούνται.
- **Απόδοση δικτύου**=> Χρόνος που απαιτείται για την επικοινωνία 2 κόμβων (π.χ.: CPU – CPU ή CPU-Memory).



Παράμετροι Τοπολογίας Δικτύων Διασύνδεσης

- **Διάμετρος** (diameter): Ορίζεται σαν ο ελάχιστος αριθμός ακμών που συνδέει τους 2 πιο απομακρυσμένους κόμβους μεταξύ τους. Επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.
- **Συνεκτικότητα** (connenctivity) ή ο αριθμός των ακμών που πρόσκεινται σε κάθε κόμβο. Επιδιώκεται να είναι μια σταθερά ανεξαρτήτως του μεγέθους του δικτύου διασύνδεσης, για την προσθήκη επιπλέον κόμβων με χαμηλό κόστος.
- **Διαμερισιμότητα** (partitioning). Ένα παράλληλο υπολογιστικό σύστημα είναι διαμερίσιμο (partitionable) εάν:
 - Το ΔΔ του συστήματος μπορεί να διαμερισθεί σε υποδίκτυα, τα οποία διατηρούν την πλήρη λειτουργικότητα του αρχικού δικτύου.
 - Το παράλληλο σύστημα μπορεί να διαμερισθεί σε ανεξάρτητα υποσυστήματα, με την έννοια ότι κανένα υποσύστημα δεν θα πρέπει να επεμβαίνει στην απρόσκοπτη λειτουργία κάποιου άλλου υποσυστήματος.



Διαμερισιμότητα (partitioning)

- Από τις πιο σημαντικές παραμέτρους είναι η **διαμερισιμότητα** του δικτύου διασύνδεσης.
- Τα διαμερίσιμα παράλληλα συστήματα διαθέτουν αρκετά **επιθυμητά χαρακτηριστικά**, τα οποία είναι πολύ σημαντικά για τη λειτουργία και απόδοση.



Χαρακτηριστικά των Διαμερίσιμων Παράλληλων Συστημάτων (1/2)

- **Ανοχή Σφάλματος (fault tolerance):** Όταν π.χ. Κάποια CPU δυσλειτουργεί, δεν επηρεάζεται η λειτουργία όλου του συστήματος αλλά μόνο οι διαμερίσεις που περιλαμβάνουν εκείνη την CPU.
- **Εντοπισμός Σφάλματος (fault detection):** Σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη αξιοπιστία, είναι δυνατόν να εκτελείται το ίδιο πρόγραμμα με τα ίδια δεδομένα, σε διαφορετικές διαμερίσεις για σκοπούς σύγκρισης των αποτελεσμάτων.
- **Αποσφαλμάτωση (debugging):** είναι πιο εύκολη εάν επιτελείται σε διαμερίσεις μικρού μεγέθους=> Ευκολότερη ανάπτυξη προγραμμάτων (π.χ. Debugging σε 5 κόμβους αντί για 1000).
- **Πολλαπλούς ταυτόχρονους χρήστες:** Εφόσον έχουμε πολλαπλές ανεξάρτητες διαμερίσεις της παράλληλης μηχανής, είναι δυνατόν να έχουμε πολλαπλούς ταυτόχρονους χρήστες καθένας από τους οποίους μπορεί να τρέχει διαφορετικό παράλληλο πρόγραμμα.



Χαρακτηριστικά των Διαμερίσιμων Παράλληλων Συστημάτων (2/2)

- **Αυξημένη χρησιμοποίηση του συστήματος (increased utilization):** Εάν π.χ. ένα πρόγραμμα χρειάζεται $N/4$ από τους N διαθέσιμους επεξεργαστές, οι υπόλοιποι $3N/4$ μπορούν να αξιοποιηθούν από άλλα προγράμματα.
- **Χρήση του βέλτιστου αριθμού Επεξεργαστών:** Χρησιμοποιώντας περισσότερους επεξεργαστές από τους απαιτούμενους αυξάνεται ο χρόνος εκτέλεσης ενός προγράμματος. Αν επιλεγεί το κατάλληλο μέγεθος υποσυστήματος είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος εκτέλεσης του προγράμματος.



Στατικά δίκτυα διασύνδεσης

- Μπορούν να διακριθούν σε 2 κατηγορίες:
 - **Δίκτυα Πλήρους διασύνδεσης** (Completely Connected Networks - CCNs).
 - **Δίκτυα Περιορισμένης διασύνδεσης** (Limited Connection Networks-LCNs).



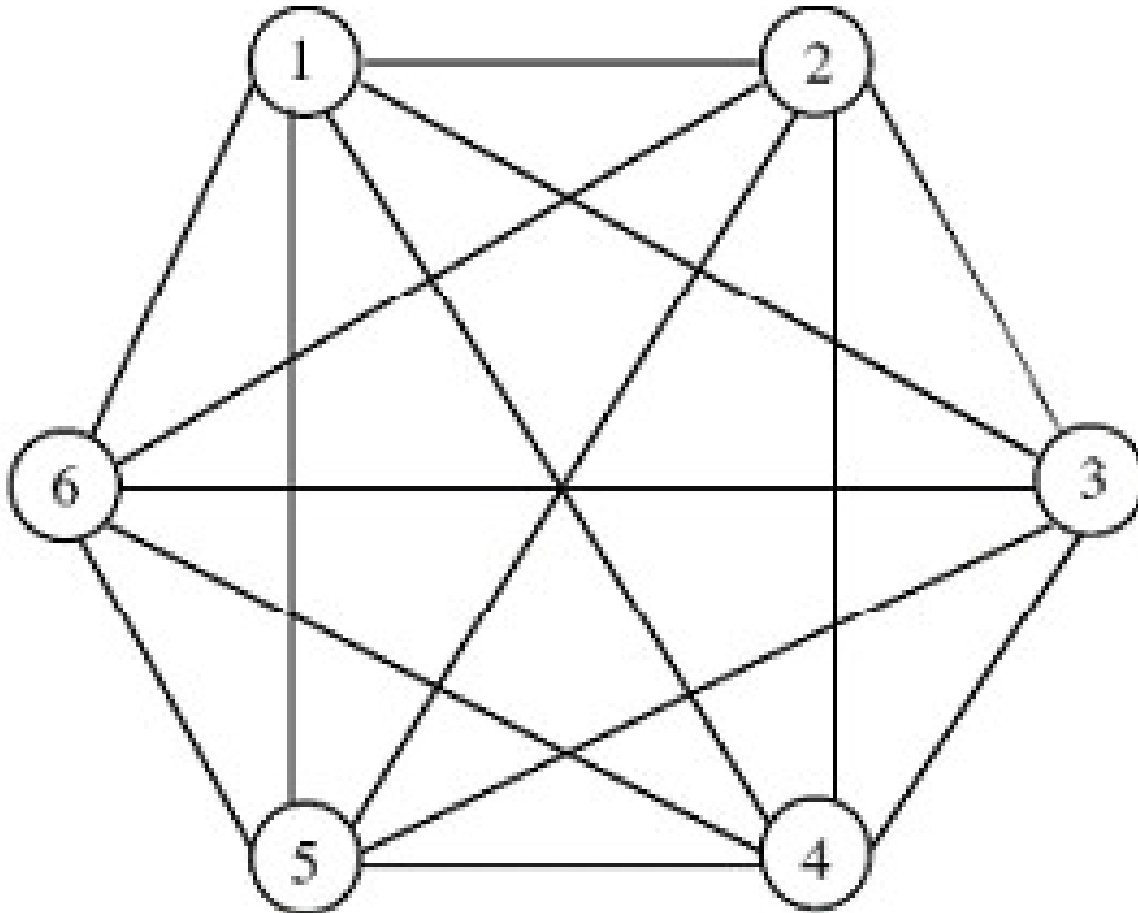
Δίκτυα Πλήρους Διασύνδεσης:

Τα πιο ακριβά δίκτυα διασύνδεσης

- Σε αυτήν την κατηγορία κάθε κόμβος συνδέεται με κάθε έναν από τους υπόλοιπους κόμβους (επικοινωνούν άμεσα όλοι με όλους).
- Εγγυώνται ταχεία μετάδοση των μηνυμάτων από τον κόμβο αποστολέα στον κόμβο παραλήπτη επειδή το μήνυμα πρέπει να διασχίσει μόνο μια ακμή.
- Μειονέκτημα:
 - Για **N κόμβους** απαιτούνται **$N(N-1)/2$** ακμές.
 - Το κόστος είναι απαγορευτικό για μεγάλο N.
 - Π.χ. για $N=6$ απαιτούνται 15 σύνδεσμοι.



Δίκτυα Πλήρους Διασύνδεσης



Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (1/2)

- Σε αυτήν την κατηγορία κάθε κόμβος δε συνδέεται με κάθε έναν από τους υπόλοιπους κόμβους παρά μόνο με κάποιους γειτονικούς.
- Η μετάδοση των μηνυμάτων από τον κόμβο αποστολέα στον κόμβο παραλήπτη γίνεται δια μέσου άλλων κόμβων του δικτύου διασύνδεσης.
- **Παράδειγμα:** γραμμικό δίκτυο (linear network), στο οποίο κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος με 2 άλλους εκτός από τον πρώτο και τον τελευταίο.



Γραμμικό Δίκτυο:

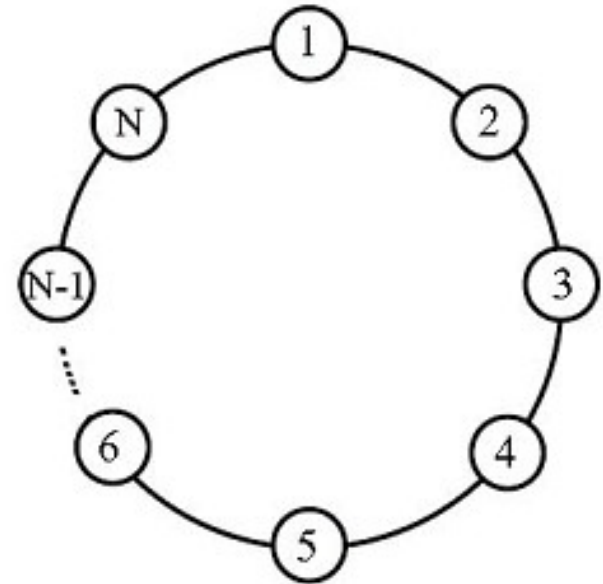
Το πιο απλό δίκτυο διασύνδεσης

- Πλεονέκτημα: Απλή κατασκευή (μικρό κόστος).
- Για την διασύνδεση N επεξεργαστών απαιτούνται $N-1$ σύνδεσμοι, με αποτέλεσμα **ο χρόνος επικοινωνίας** να έχει άμεση σχέση με την μεταξύ τους απόσταση σε όρους αριθμού συνδέσεων (μειονέκτημα για μεγάλα N).
- Με άλλα λόγια: Οι πιο απομακρυσμένοι κόμβοι να επικοινωνούν πιο αργά



Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (2/2)

- Δίκτυο διασύνδεσης σε σχήμα δακτυλίου (ring network-1 D torus):
 - Η αρχιτεκτονική αυτή προκύπτει από το γραμμικό δίκτυο αν συνδεθεί ο πρώτος και ο τελευταίος κόμβος.
 - Κάθε κόμβος έχει 2 γείτονες.
 - Απαιτούνται N συνολικά συνδέσεις.



Διαιτησία Διαύλου (1/2)

- Σε περίπτωση που το μέσο είναι κοινό τότε απαιτείται διαιτησία διαύλου, δηλαδή ο καθορισμός ποιος κάθε φορά μπορεί να χρησιμοποιήσει το δίαυλο.
- Υπάρχουν 6 αλγόριθμοι:
 - **Αλγόριθμος αλυσίδας (daisy chain):** Στατική Ανάθεση προτεραιοτήτων. Όλοι οι κόμβοι θεωρούνται ότι βρίσκονται σε μια σειρά.
 - **Κυκλική αλυσίδα:** Όλοι οι κόμβοι θεωρούνται ότι βρίσκονται σε μια κυκλική σειρά. Η προτεραιότητα είναι δυναμική με βάση ενός token που μεταφέρεται από δεξιά προς τα αριστερά (όσο πιο μακριά είναι ένας κόμβος από το token, τόσο χαμηλότερη προτεραιότητα έχει).



Διαιτησία Διαύλου (2/2)

- **Αλγόριθμος εκ περιτροπής (round-robin):** Παρέχεται με κυκλικό τρόπο, κάθε κόμβος έχει ένα σταθερό κβάντο χρόνου που το χρησιμοποιεί όταν έρθει η σειρά του. Δεν υπάρχει κεντρικός ελεγκτής.
- **Αλγόριθμος περιόδευσης (rolling):** ένας κεντρικός ελεγκτής ελέγχει διαδοχικά ποιος έχει θέσει το αίτημα για επικοινωνία, και δίνει τον έλεγχο κυκλικά.
- **Αλγόριθμος λιγότερο πρόσφατα χρησιμοποιημένου (LRU):** Οι αιτήσεις τοποθετούνται σε μια σειρά από τον ελεγκτή και εξυπηρετούνται με LRU.
- **Αλγόριθμος εξυπηρέτησης κατά σειρά άφιξης (FCFS):** Όποιος αιτηθεί πρώτος, παίρνει τον έλεγχο. Ο κεντρικός ελεγκτής διατηρεί μια ουρά με τις αιτήσεις.



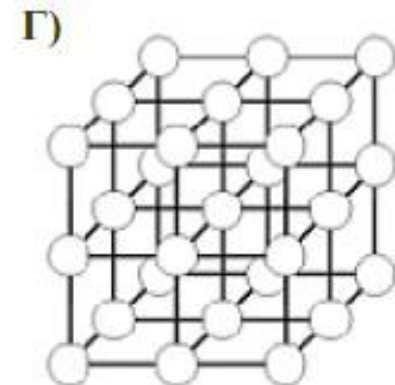
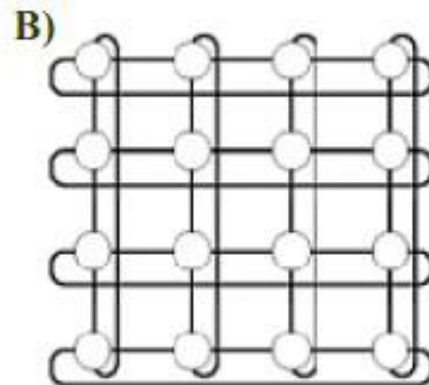
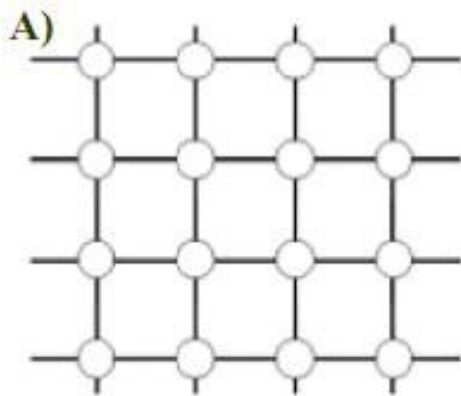
Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (3/2)

- **Δίκτυο πλέγματος δύο διαστάσεων** (two-dimensional mesh network):
 - Ονομάζεται έτσι λόγω της διάταξης των κόμβων που συνδέονται με τέτοιο τρόπο που σχηματίζουν ένα πλέγμα.
 - Κάθε πλευρά του πλέγματος έχει \sqrt{N} κόμβους και διάμετρο $2(\sqrt{N}-1)$.
 - Είναι ελκυστική αρχιτεκτονική από άποψη ηλεκτρικής καλωδίωσης.
 - Χρησιμοποιείται συχνά σε παράλληλες μηχανές.



Δίκτυο πλέγματος δύο διαστάσεων

- Μπορεί να επεκταθεί με σύνδεση κάθε κόμβου του πλέγματος με τον απέναντί του και να σχηματίσει το δισδιάστατο πλέγμα 4 πλησιέστερων γειτόνων (2-D mesh with wraparound link, **2-D torus**) – Σχήμα Β και (**3-D mesh**) – Σχήμα Γ.



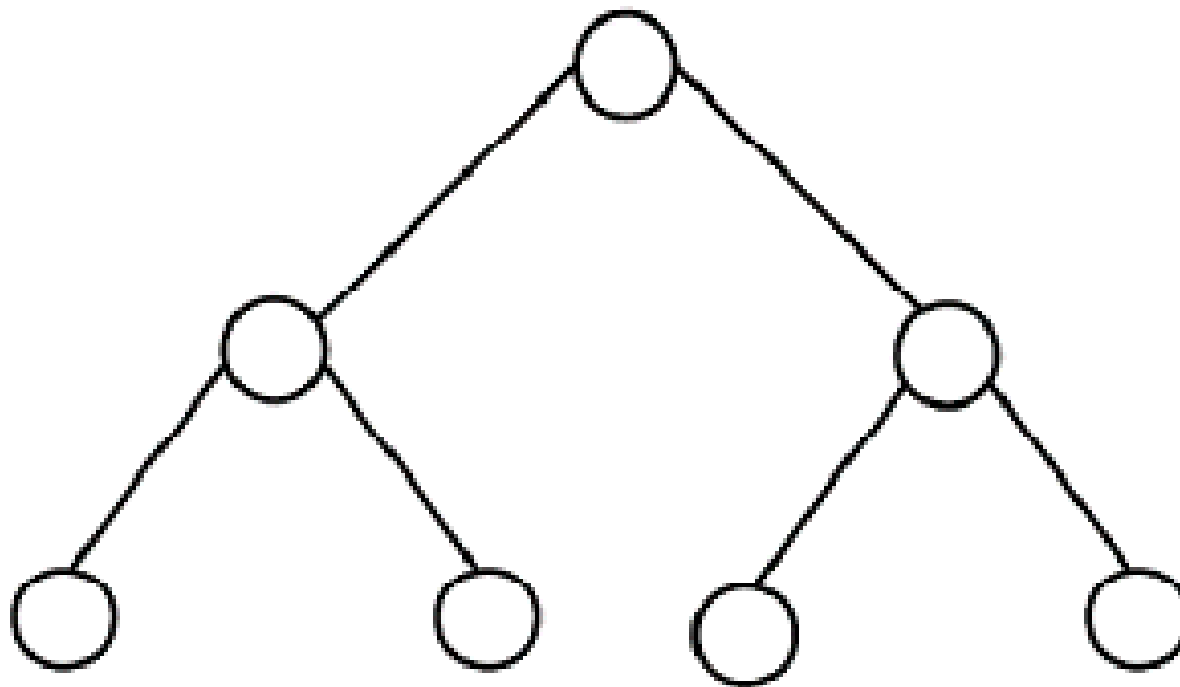
Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (4/2)

- **Δίκτυο διασύνδεσης σε σχήμα δέντρου (tree Network):**
 - Η αρχιτεκτονική δέντρου είναι αυτή στην οποία υπάρχει μόνο ένα μονοπάτι μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους κόμβων, (υποπερίπτωση τα δίκτυα δυαδικού δέντρου – binary tree networks).
 - Για να μεταφερθεί ένα μήνυμα από έναν επεξεργαστή ο κόμβος αποστολής **στέλνει το μήνυμα προς την ρίζα του δέντρου** μέχρι να βρεθεί ένας κόμβος στον οποίο εμπεριέχεται και ο κόμβος προορισμού, τότε το μήνυμα δρομολογείται προς τα κάτω μέχρι να φτάσει στον κόμβο προορισμού.



Δίκτυο

διασύνδεσης σε σχήμα δένδρου

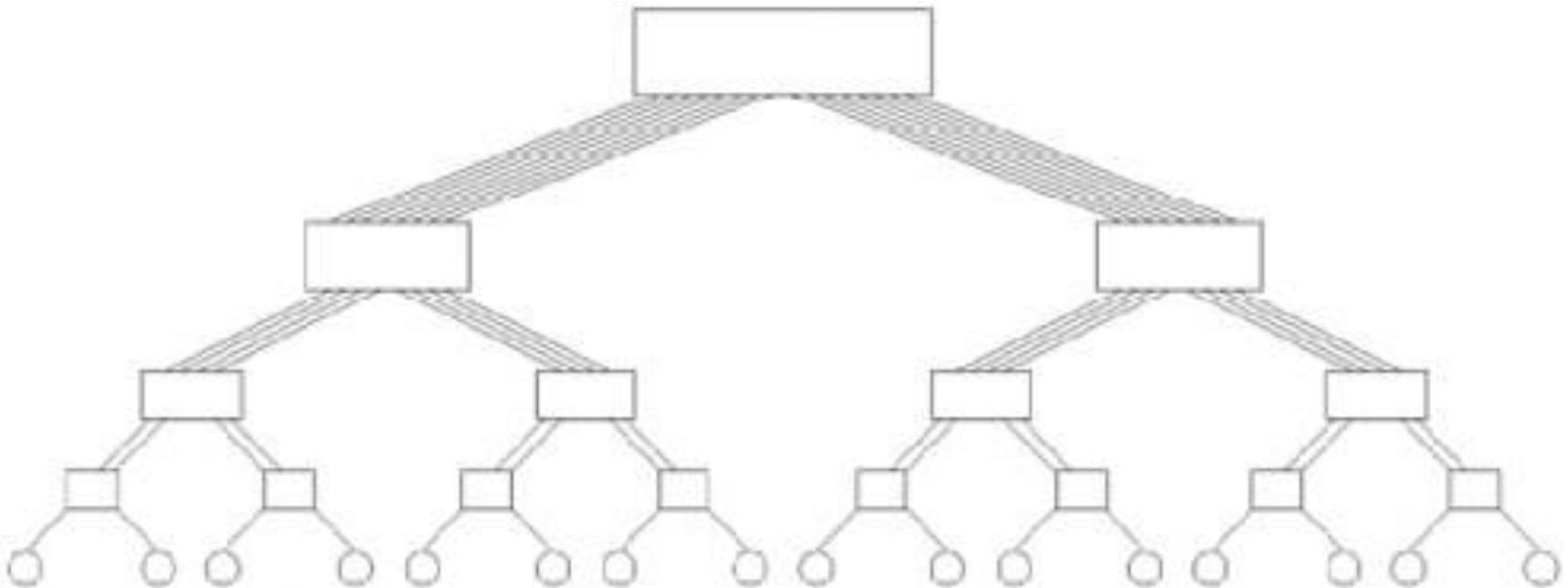


Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (5/2)

- Τα δίκτυα δένδρου πάσχουν από **συμφόρηση επικοινωνίας** στα υψηλότερα επίπεδα του δένδρου – πιο κοντά στην ρίζα (communication bottleneck).
- Π.χ. όταν οι κόμβοι του χαμηλότερου αριστερού υποδένδρου θέλουν να επικοινωνήσουν με τους κόμβους του χαμηλότερου δεξιού υποδένδρου τότε ο root κόμβος πρέπει να διαχειριστεί όλα τα μηνύματα.
- Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί στα δυναμικά δίκτυα δένδρου με αύξηση των συνδέσμων επικοινωνίας κοντά στον root κόμβο.
- Ένα τέτοια δίκτυο ονομάζεται **παχύ δένδρο** (fat tree).



Δίκτυο διασύνδεσης fat tree



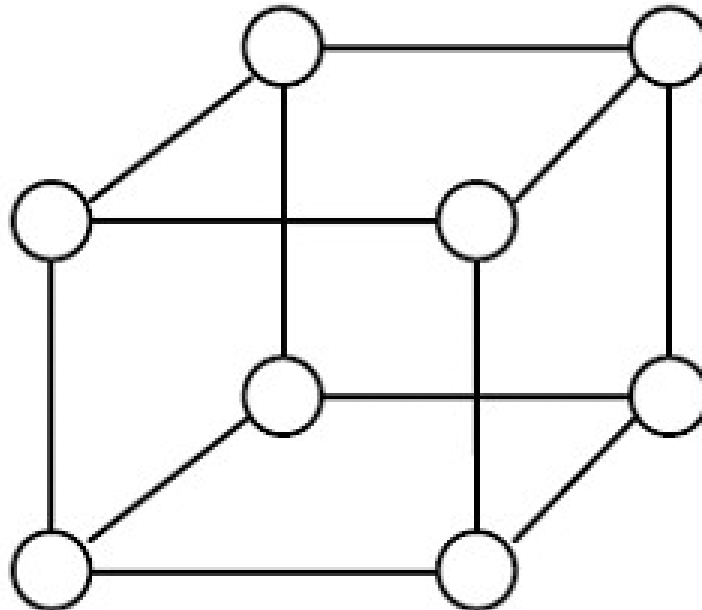
Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (6/2)

- Τα δίκτυα **Υπερκύβου** (hypercube networks) ονομάζονται έτσι λόγω της χαρακτηριστικής μορφής κύβου που παίρνουν στον χώρο.
- Στην τοπολογία αυτή ο αριθμός N των κόμβων είναι πάντα δύναμη του 2.
- $N=2^n$, που αριθμούνται από 0 έως 2^n-1 .
- Το n ονομάζεται τάξη του υπερκύβου (n -κύβος ή Υπερκύβος τάξης n).



Δίκτυα υπερκύβου

- ο Υπερκύβος του σχήματος έχει $N=8$ κόμβους Τάξη: 3 ($8=2^3$).

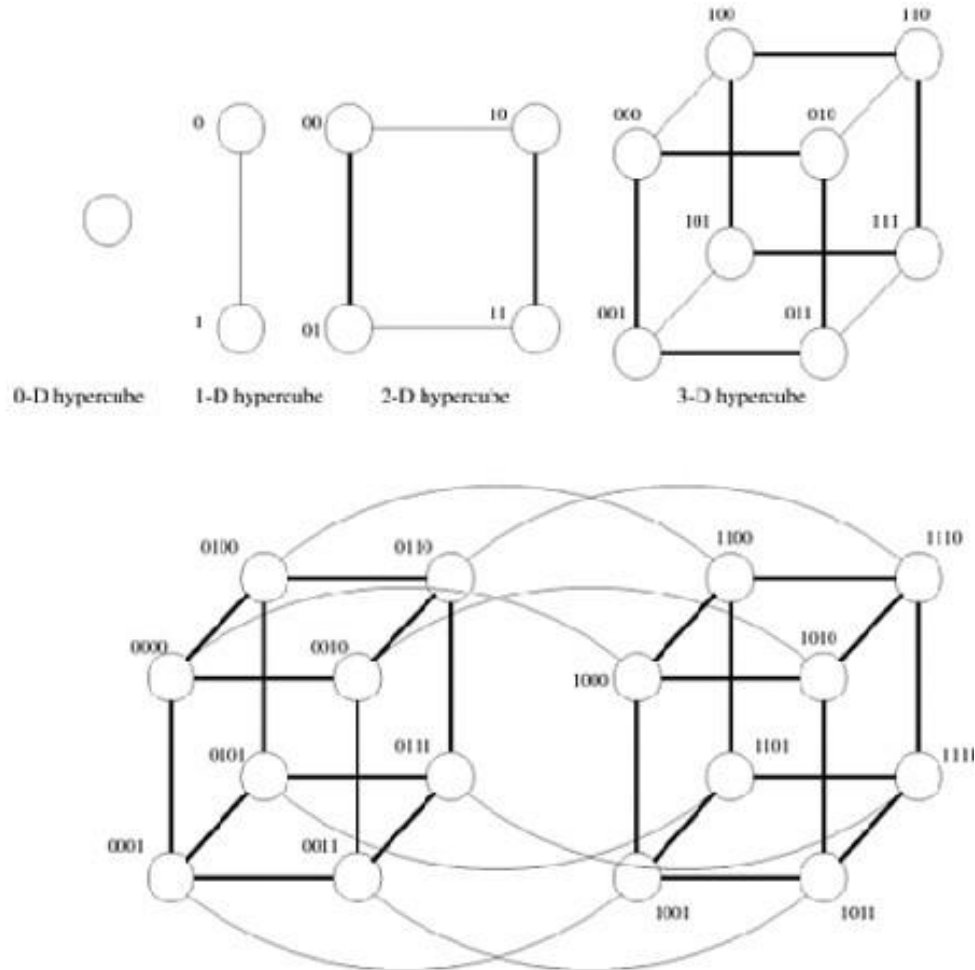


Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (7/2)

- Σε κάθε n -κύβο κάθε επεξεργαστής συνδέεται με n επεξεργαστές.
- Κάθε κύβος τάξης n θεωρείται ότι προκύπτει από τον κύβο τάξης $n-1$.



Δίκτυα περιορισμένης διασύνδεσης (8/2)



Δυναμικά Δίκτυα Διασύνδεσης: Απλού Διαύλου (1/2)

- Βασισμένα σε **Απλό Δίαυλο** (single bus systems).
- Είναι ο πιο απλός τρόπος για διασύνδεση σε πολυεπεξεργαστικά συστήματα.
- Στην γενική του μορφή αποτελείται από N CPU (P_i) που συνδέονται με έναν και μόνο δίαυλο. Χρησιμοποιείται κρυφή μνήμη για καλύτερη απόδοση και υπάρχει μια κοινή μνήμη. Τυπικά μεγέθη τέτοιων συστημάτων: 2-50 CPU.
- **Πλεονέκτημα:** Απλή κατασκευή και επεκτείνεται εύκολα.
- **Μειονέκτημα:** για μεγάλα N εμφανίζεται bottleneck στον δίαυλο και οι χρόνοι καθυστέρησης είναι ανάλογοι του N .



Δυναμικά Δίκτυα

Διασύνδεσης: Πολλαπλού Διαύλου

- Βασισμένα σε **πολλαπλό δίαυλο** (multiple bus systems).
- Είναι η επέκταση του απλού διαύλου για διασύνδεση σε πολυεπεξεργαστικά συστήματα. Αποτελείται από N CPU (P_i) και πολλαπλά αρθρώματα μνήμης που συνδέονται με πολλαπλούς διαύλους. Υπάρχουν 4 υποκατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διασύνδεσης της μνήμης:
 - Κοινό Χαρακτηριστικό: Όλοι οι επεξεργαστές P_i (π.χ. $i=1-6$, επόμενη διαφάνεια) συνδέονται με όλους τους διαύλους.
 - **Μειονέκτημα:** Αυξανόμενου του αριθμού των αρθρωμάτων μνήμης και επεξεργαστών αυξάνει ο ανταγωνισμός επικοινωνίας έσω των διαύλων.



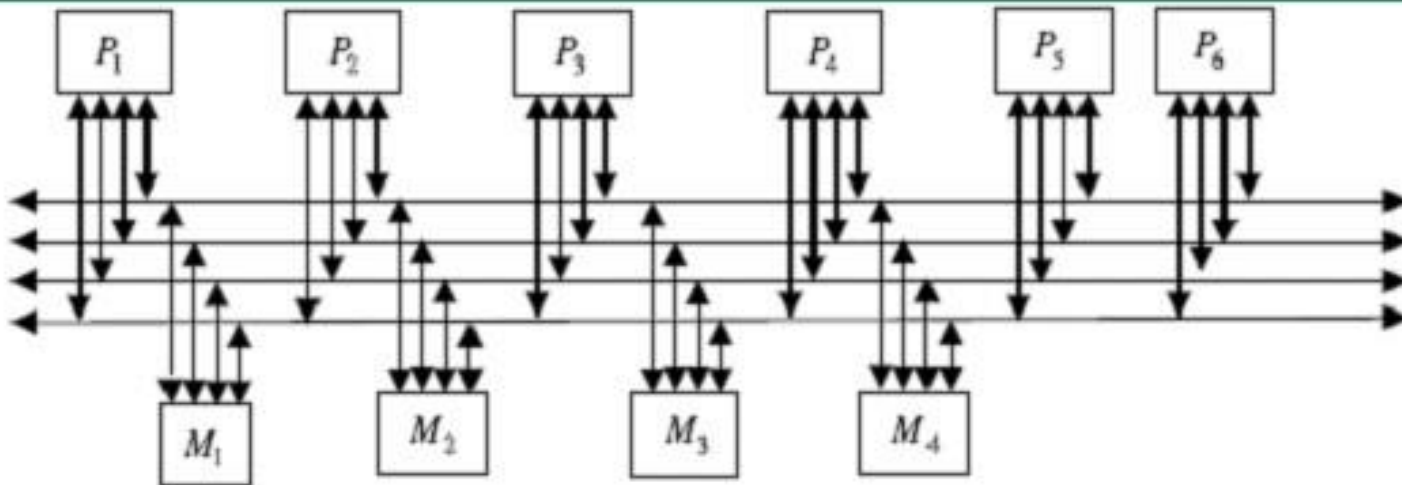
Οι 4 υποκατηγορίες αναλόγως του τρόπου διασύνδεσης μνήμης

- multiple bus with **full** bus–memory connection (MBFBMC).
- multiple bus with **single** bus memory connection (MBSBMC).
- multiple bus with **partial** bus–memory connection (MBPBMC).
- multiple bus with **class**-based memory connection (MBCBMC).



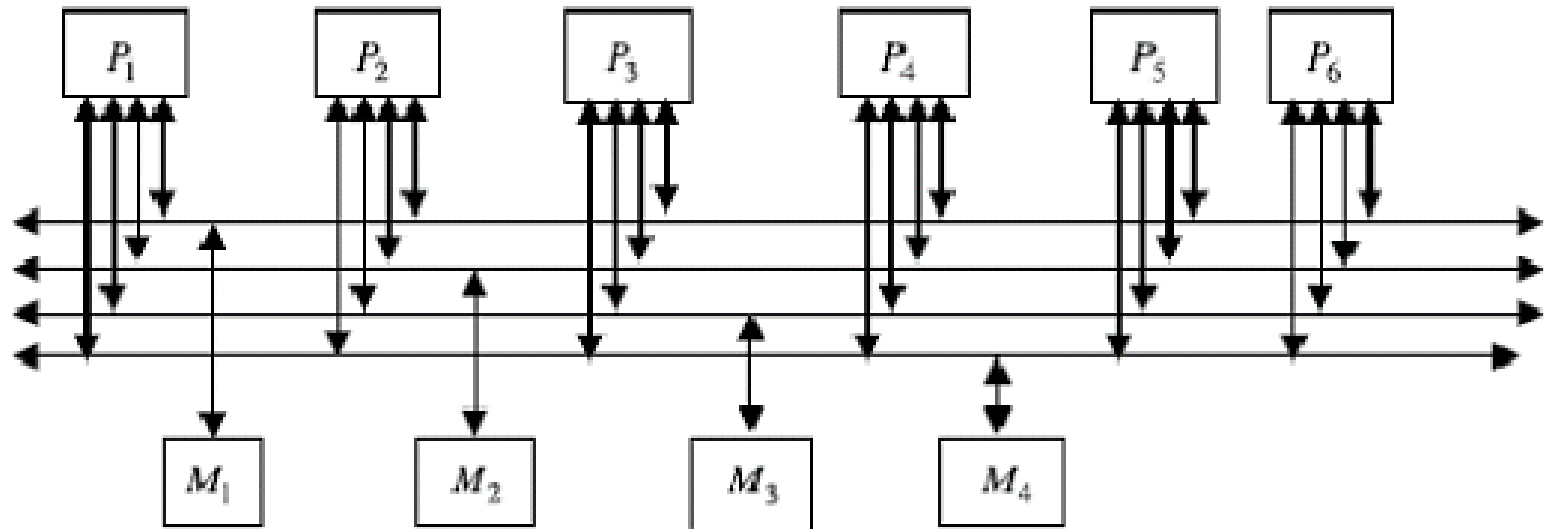
multiple bus with full bus– memory connection (MBFBMC)

- **Χαρακτηριστικό:** Όλα τα αρθρώματα μνήμης συνδέονται με όλους τους διαύλους.



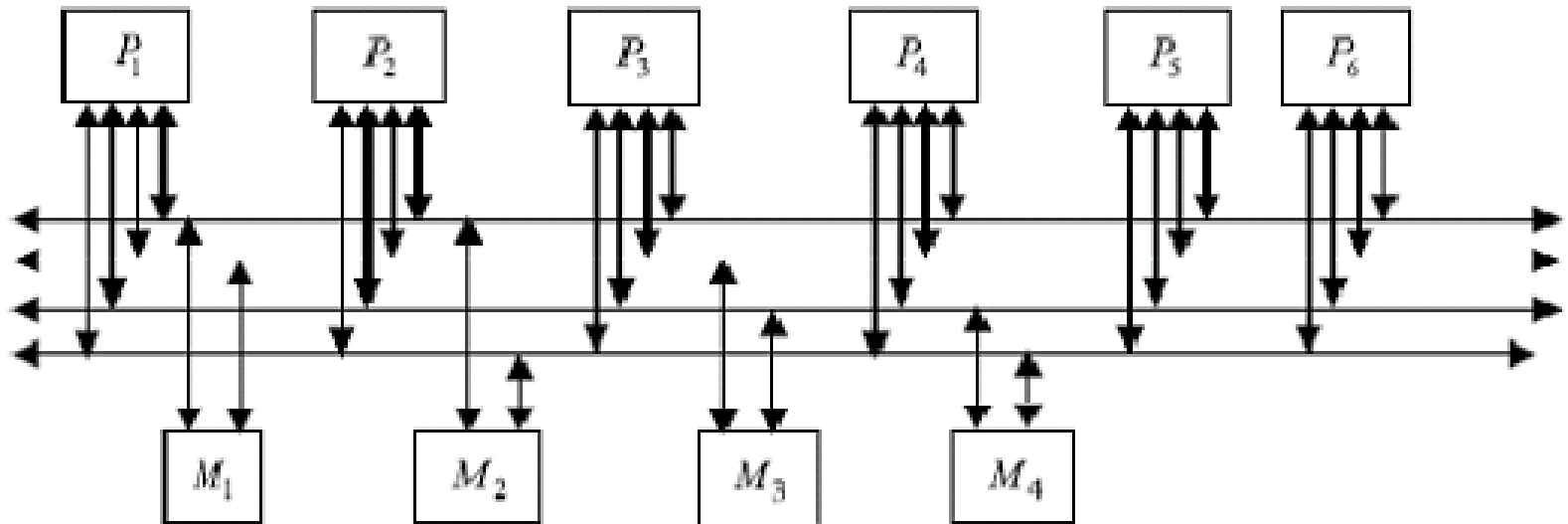
multiple bus with single bus memory connection (MBSBMC)

- Χαρακτηριστικό: Κάθε άρθρωμα μνήμης συνδέεται με έναν συγκεκριμένο δίαυλο.



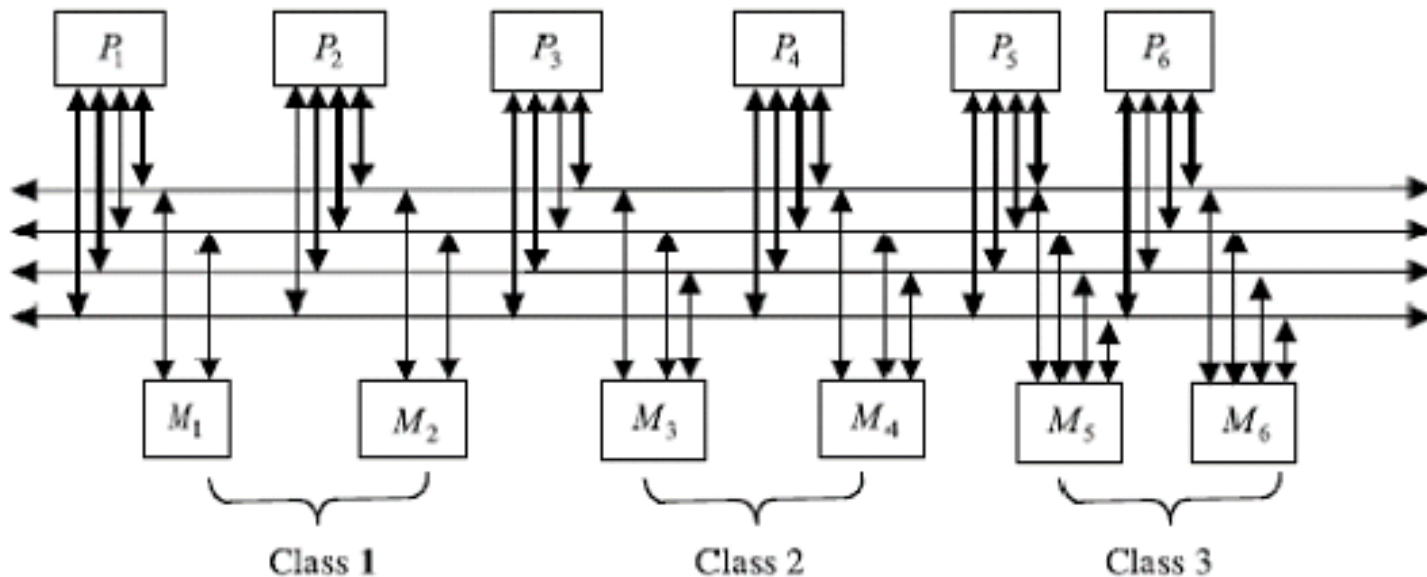
multiple bus with partial bus– memory connection (MBPBMC)

- Χαρακτηριστικό: Κάθε άρθρωμα μνήμης συνδέεται με ένα υποσύνολο διαύλων.



multiple bus with class-based memory connection (MBCBMC)

- Χαρακτηριστικό: Τα αρθρώματα μνήμης ομαδοποιούνται και κάθε ομάδα συνδέεται με ένα συγκεκριμένο υποσύνολο διαύλων.



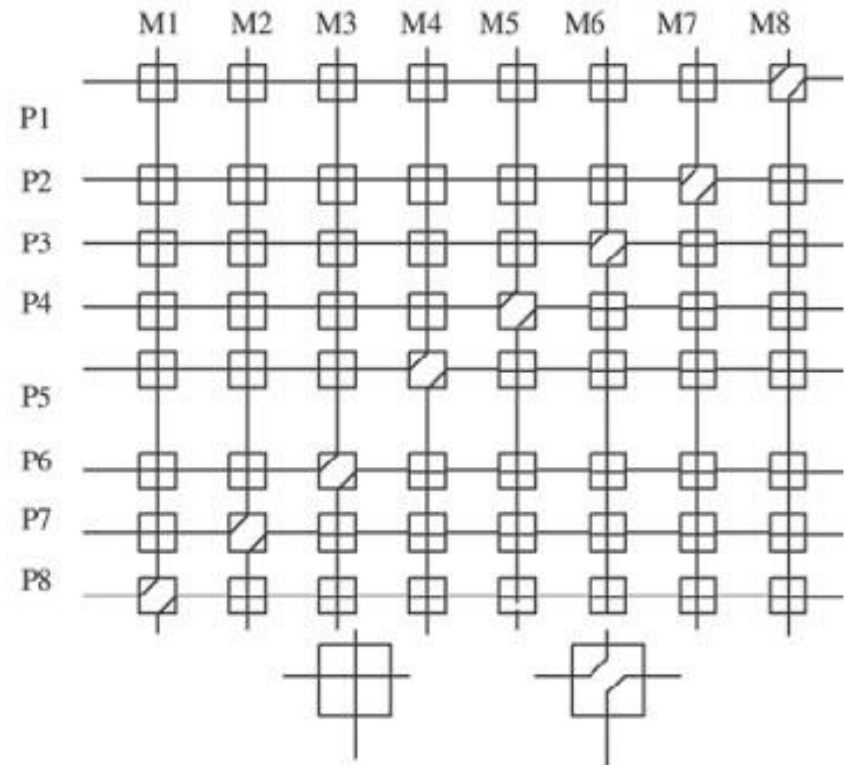
Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (1/10)

- Δίκτυα διασύνδεσης Βασισμένα σε **διακόπτη** (switch based interconnection networks).
- **Μεταγωγέα διασταύρωσης** (crossbar switch).
- Αποτελεί το άλλο άκρο σε σχέση με την περιορισμένου δικτύου απλού διαύλου, γιατί μπορεί να παρέχει ταυτόχρονες συνδέσεις μεταξύ όλων των εισόδων και όλων των εξόδων.
- Χαρακτηριστικά: περιέχει ένα στοιχείο διακόπτη (Switching Element-SE) στην διασταύρωση μεταξύ 2 οποιονδήποτε οριζόντιων και κάθετων γραμμών. Αυτό μπορεί να έχει 2 πιθανές ρυθμίσεις: ευθεία ή διαγώνια.
- Το σημείο διασταύρωσης ονομάζεται cross-point.



Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (2/10)

- Παράδειγμα 8 x 8 crossbar network. Υπάρχουν συνολικά 64 σημεία διασταύρωσης.
- Φαίνεται η ταυτόχρονη σύνδεση μεταξύ των P_i και των M_{8-i+1} για $1 \leq i \leq 8$.



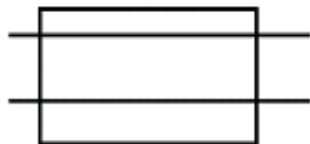
Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (3/10)

- Γενικά σε ένα $N \times N$ crossbar network η **πολυπλοκότητά** του network αυξάνει με την αύξηση του N .
- Αυτό όμως αναπληρώνεται από τους **γρήγορους χρόνους επικοινωνίας**. Για μεγάλα N το κόστος και η πολυπλοκότητα κατασκευής το καθιστούν απαγορευτικό.



Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (4/10)

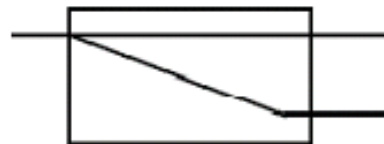
- Δίκτυα διασύνδεσης Βασισμένα σε διακόπτη (switch based interconnection networks).
- **Δίκτυα Απλού Σταδίου** (single stage networks).
- Στην κατηγορία αυτή υπάρχει μόνο 1 Στοιχείο Διακόπτη (SE) μεταξύ 2 επεξεργαστών που επιτρέπει την μεταξύ τους επικοινωνία.
- **Straight**: ευθεία μετάδοση.
- **Exchange**: γίνεται ανταλλαγή των εξόδων.
- **Upper-broadcast**: και στις 2 εξόδους μεταδίδεται η πάνω είσοδος.
- **Lower-broadcast**: και στις 2 εξόδους μεταδίδεται η κάτω είσοδος.
- **Μειονέκτημα**: δεν συνδέει όλους τους κόμβους άμεσα.
- Παράδειγμα Switching Element:



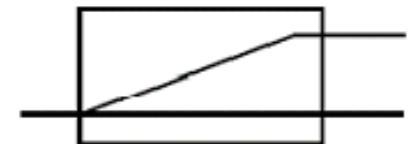
Straight



Exchange



Upper-broadcast



Lower-broadcast



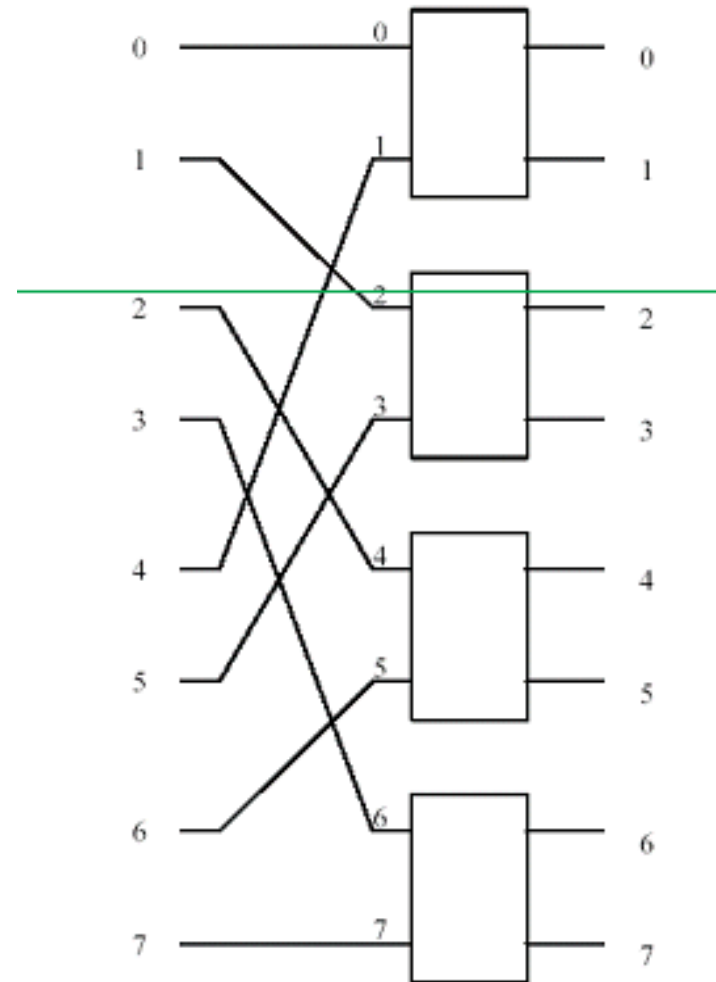
Δίκτυα Απλού Σταδίου (single stage networks)

- Οι επεξεργαστές είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τους μεταγωγείς δικτύου και συνεπώς, κάθε κόμβος του γράφου, αντιστοιχεί στο συνδυασμό ενός επεξεργαστή και ενός μεταγωγέα.
- Κάθε μήνυμα κατευθύνεται από ένα κόμβο-επεξεργαστή/μεταγωγέα σε έναν άλλο κόμβο-επεξεργαστή/μεταγωγέα μέσω ενός και μοναδικού σταδίου.



Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (5/10)

- Δίκτυα Απλού Σταδίου (single stage networks).



Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (6/10)

- Δίκτυα Πολλαπλού Σταδίου (multiple stage networks).
- Παράδειγμα: Omega Network.
- Ονομάζονται έτσι επειδή περιλαμβάνουν περισσότερα από 1 ενδιάμεσα στάδια από διακόπτες. Με αυτόν τον τρόπο όλοι οι επεξεργαστές επικοινωνούν σε μικρότερο χρόνο με ένα ανεκτό κόστος κατασκευής.
- Κάθε μήνυμα κατευθύνεται από έναν κόμβο-επεξεργαστή μέσω περισσοτέρων του ενός σταδίων (συνήθως $\log_2 N$).
- **Μειονέκτημα:** Δεν υπάρχει εναλλακτική οδός επικοινωνίας εάν κάποιος διακόπτης υπολειτουργεί => περιορισμένη ανοχή σε σφάλματα υλικού (fault tolerance).
- Λύση: προσθήκη επιπλέον σταδίων.

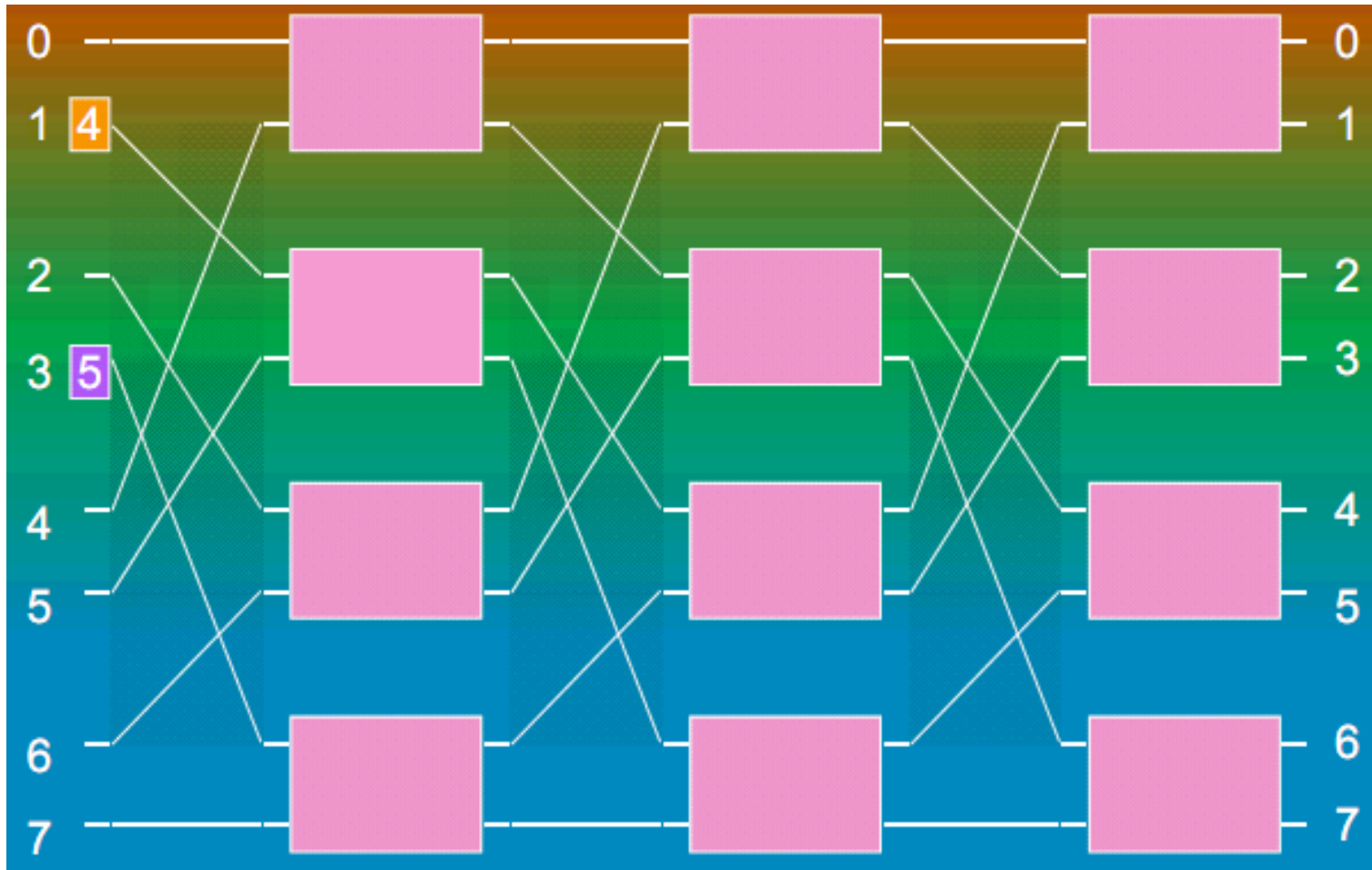


Δυναμικά δίκτυα διασύνδεσης (8/10)

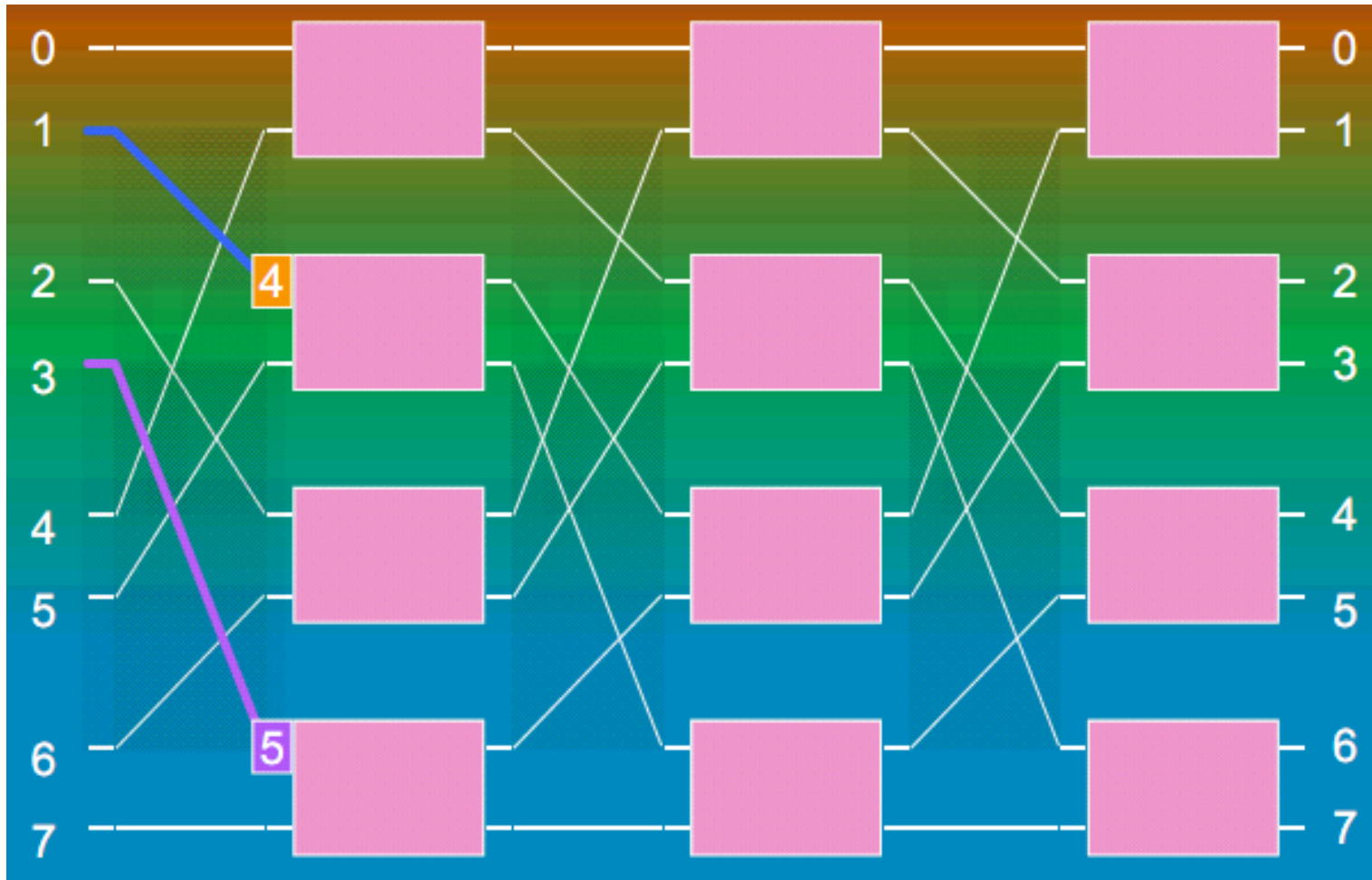
- **Επιπλέον Μειονέκτημα:** Υπάρχει περίπτωση λόγω η ύπαρξης άλλου μονοπατιού να μπλοκαριστεί μια επικοινωνία, οπότε τότε μιλάμε για αδυναμία επικοινωνίας και το δίκτυο είναι μπλοκαρισμένο (Blocking Network).
- Λύση: Κατασκευή Δικτύων Αναδιευθέτησης (Rearrangable Networks)
==> Παράδειγμα: Δίκτυο Benes.
- Έχουν την ιδιότητα να αναδιευθετούν μια σύνδεση, εάν αυτό είναι απαραίτητο, ώστε να αφήνει διαθέσιμο μονοπάτι για την πραγματοποίηση μιας άλλης σύνδεσης που διαφορετικά δεν θα ήταν εφικτή.
- **Μη Παρεμποδιστικά Δίκτυα** (Nonblocking Networks): Έχουν την ιδιότητα ότι με δεδομένη μια σύνδεση μεταξύ οποιονδήποτε επεξεργαστών, να είναι πάντα εφικτή η διασύνδεση μεταξύ οποιουδήποτε άλλου ζεύγους επεξεργαστών.
==> Παράδειγμα: Δίκτυο Clos.



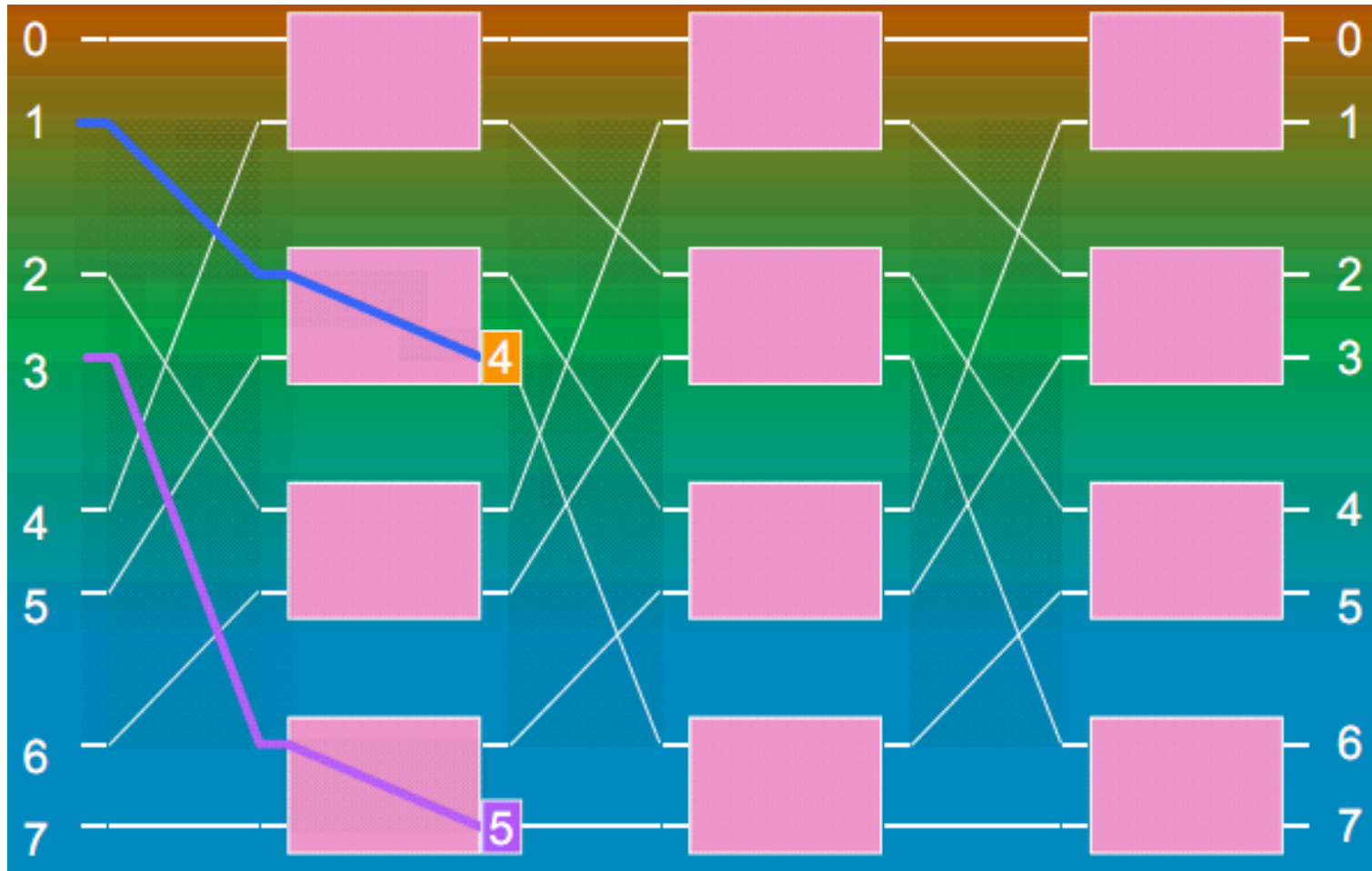
Blocking in Omega (1/8)



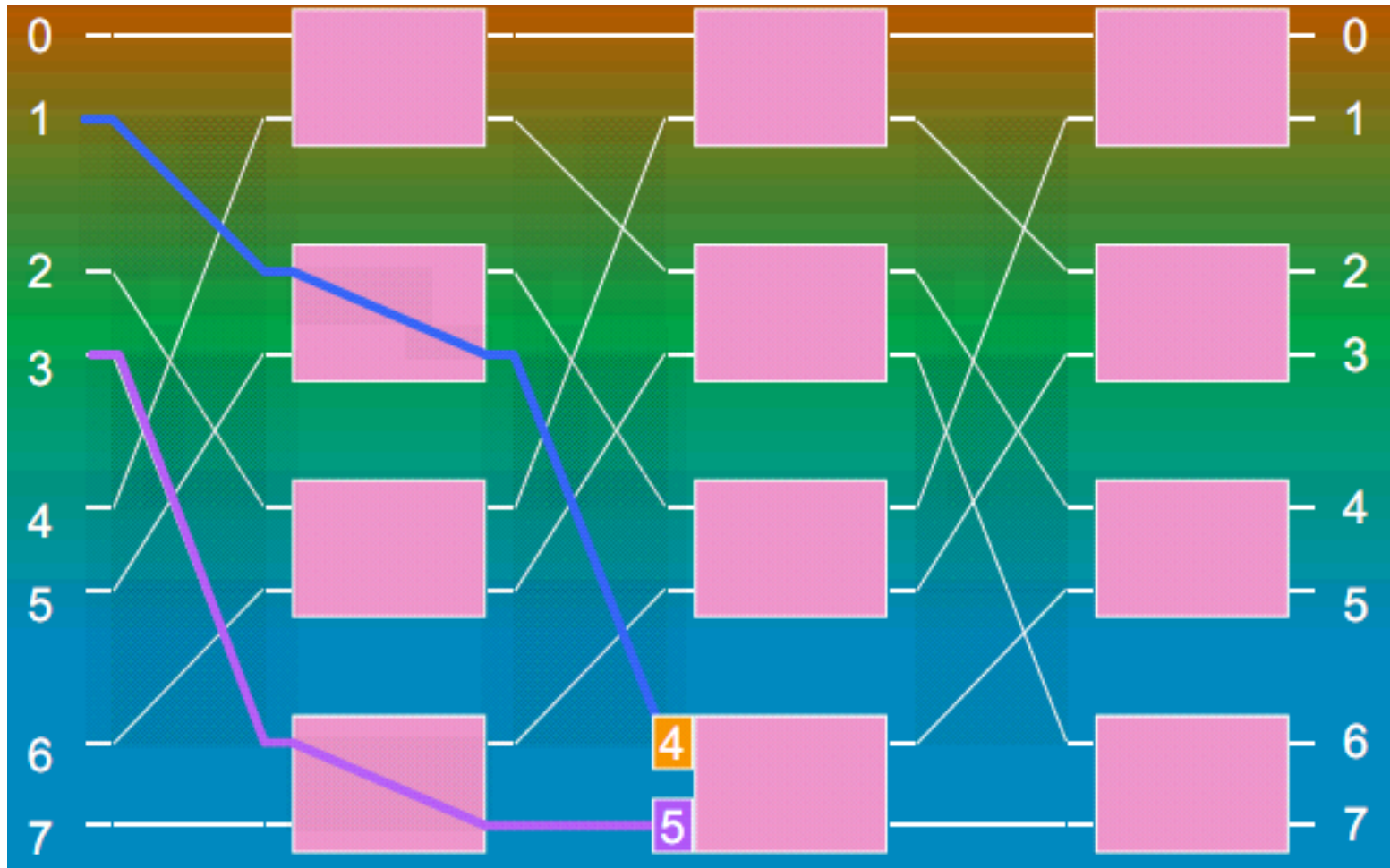
Blocking in Omega (2/8)



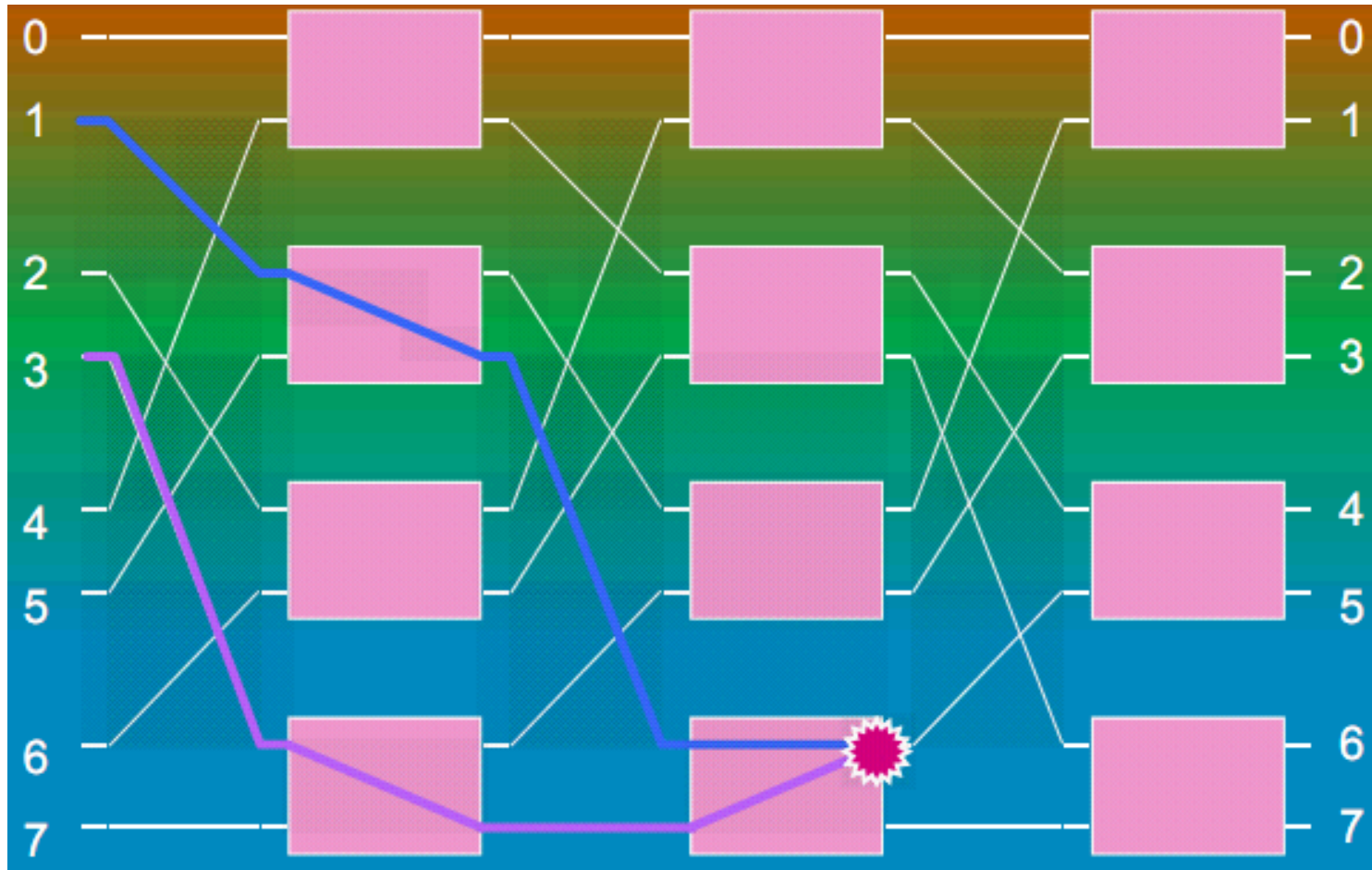
Blocking in Omega (3/8)



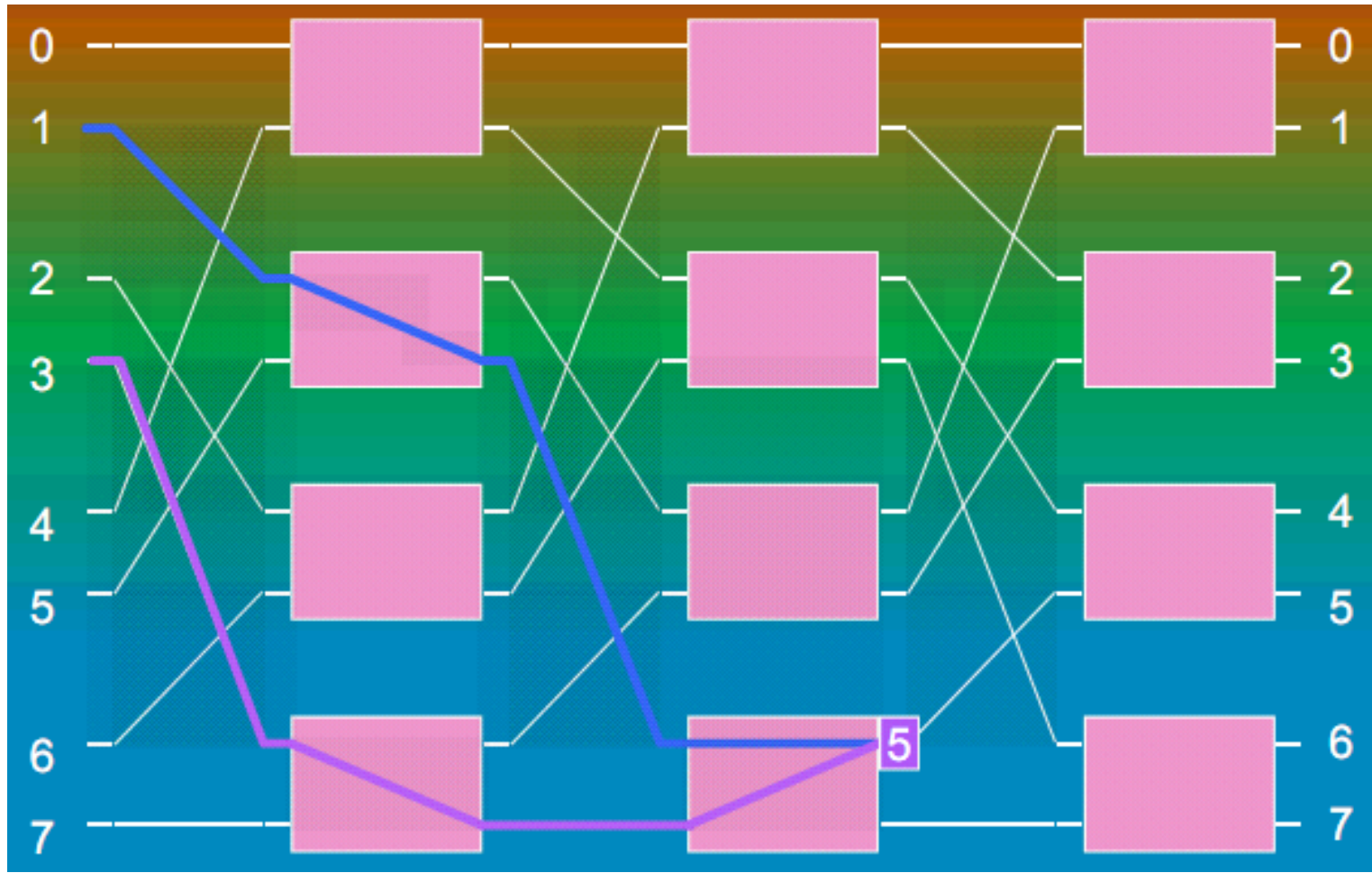
Blocking in Omega (4/8)



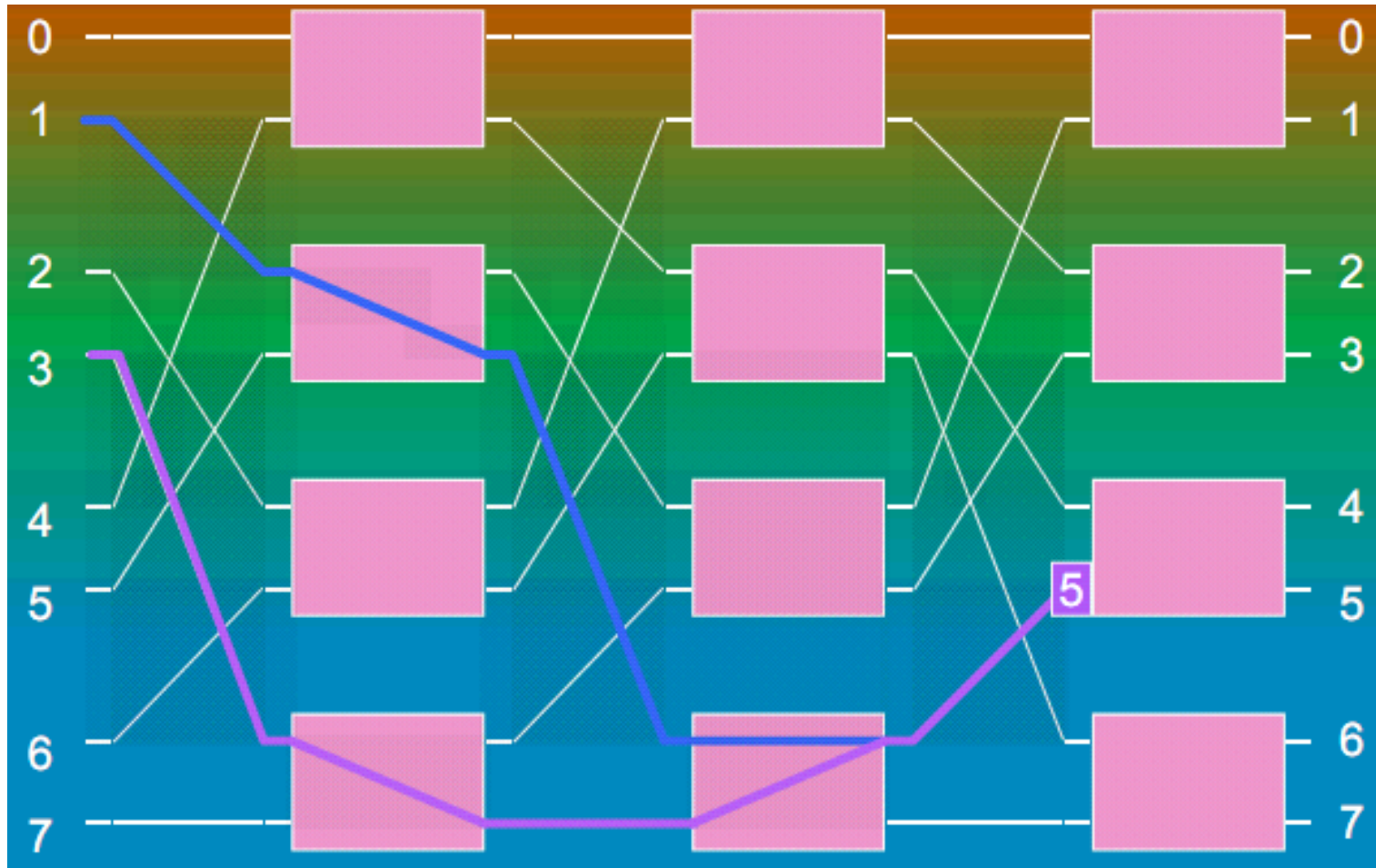
Blocking in Omega (5/8)



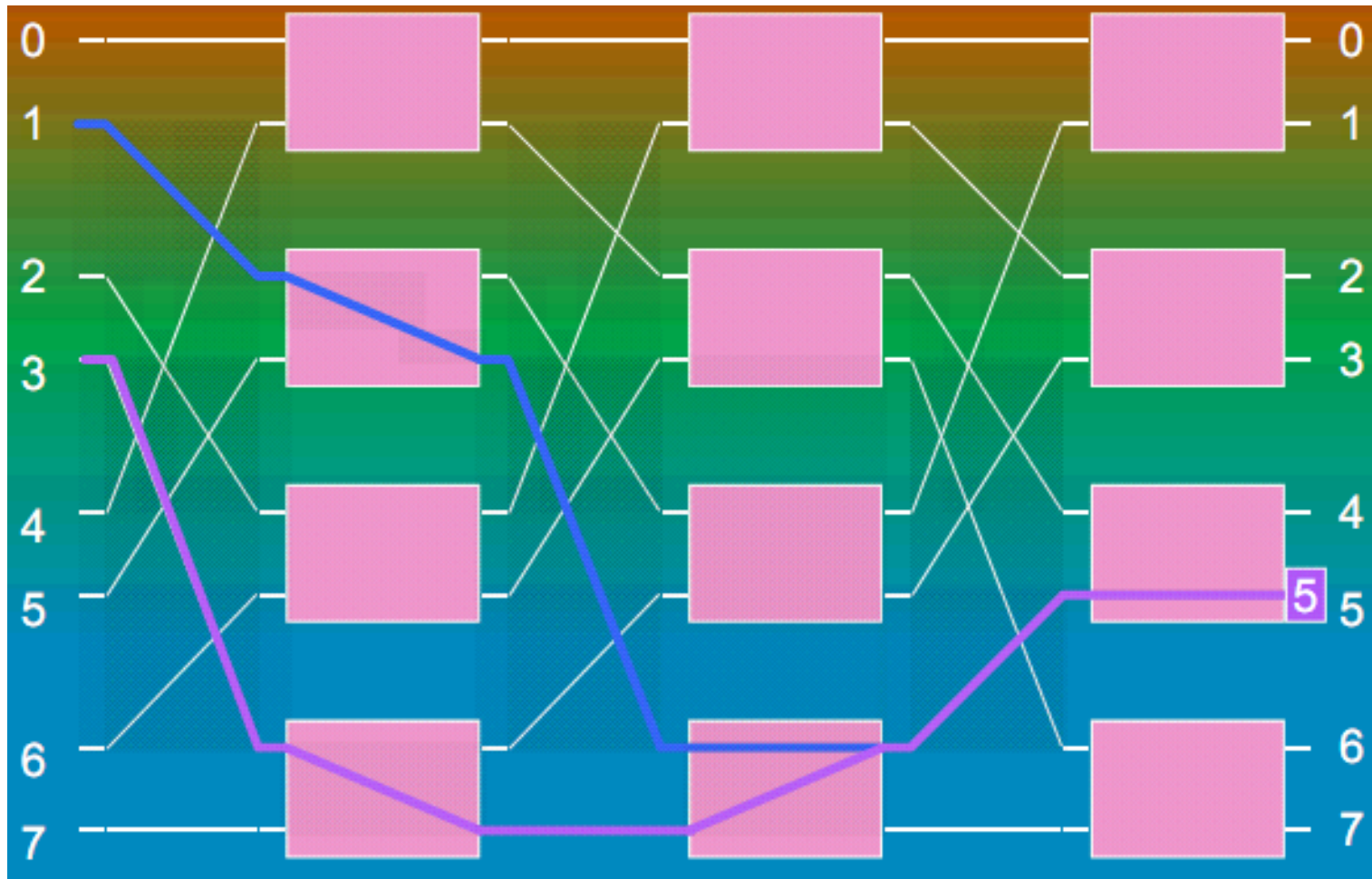
Blocking in Omega (6/8)



Blocking in Omega (7/8)



Blocking in Omega (8/8)



Αξιολόγηση Δικτύων διασύνδεσης

- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία δικτύων διασύνδεσης!
- Πως αξιολογούμε και πως επιλέγουμε το κατάλληλο δίκτυο διασύνδεσης για ένα παράλληλο υπολογιστικό σύστημα;



Κατά τον σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι εξής παράμετροι: (1/2)

1. Κόστος Υλοποίησης.
2. Διάμετρος δικτύου (μήκος μέγιστης διαδρομής).
3. Δυνατότητα διαμέρισης σε ανεξάρτητα υποδίκτυα.
4. Μέση απόσταση μεταξύ των κόμβων.
5. Αριθμός ακμών που πρόσκεινται σε κάθε κόμβο του δικτύου.
6. Ευκολία χρήσης του δικτύου.
7. Αποδοτικότητα.

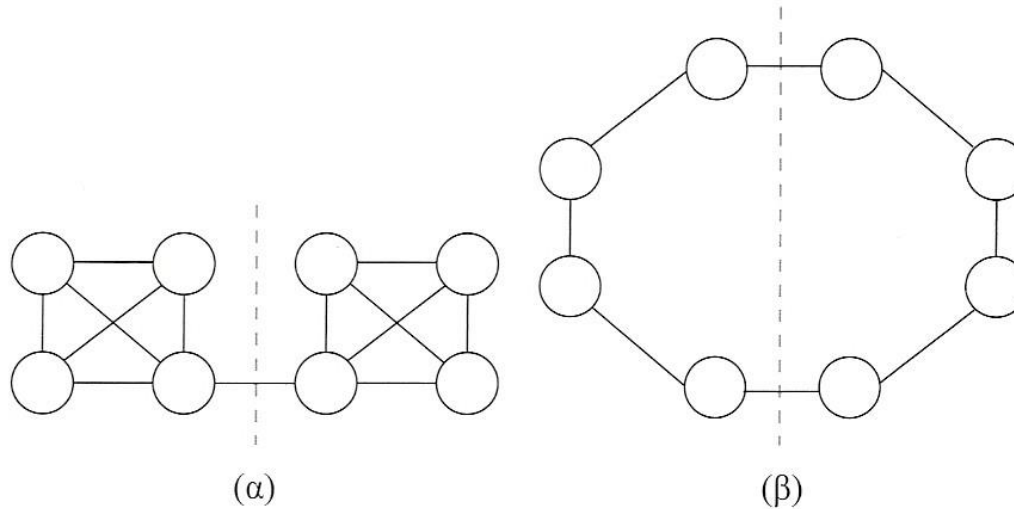


Κατά τον σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι εξής παράμετροι: (2/2)

8. Ευκολία υλοποίησης αλγορίθμων δρομολόγησης.
9. Εύρος ζώνης διχοτόμησης (διαιρούμε τους κόμβους σε δυο ομάδες, μετρούμε το εύρος ζώνης των γραμμών που συνδέουν τις ομάδες, και παίρνουμε το μικρότερο εύρος ζώνης για κάθε πιθανή διαίρεση).
10. Πλήθος γραμμών.
11. Χρόνος μετάδοσης μηνύματος από όλους προς όλους.
12. Χρόνος μετάδοσης μηνύματος στους τέσσερις γείτονες.



Παράδειγμα εύρους ζώνης διχοτόμησης

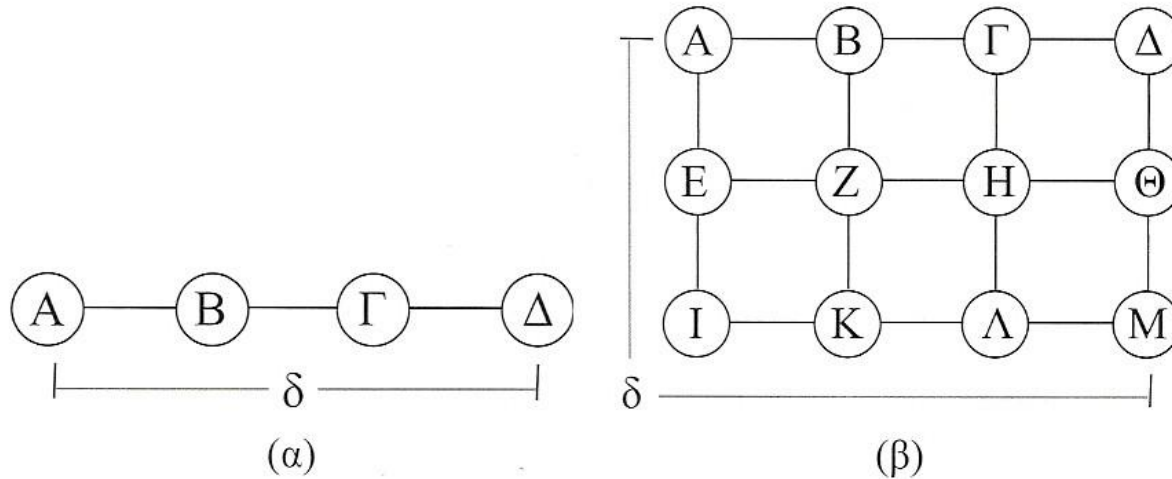


Σχήμα 3.10: Το εύρος ζώνης διχοτόμησης για δύο διαφορετικές τοπολογίες δικτύων (α) $EZ\Delta=1$ (β) $EZ\Delta=2$. Σε κάθε περίπτωση δίνεται η χειρότερη διχοτόμηση (αυτή με το μικρότερο εύρος ζώνης).

- Από: «Προγραμματισμός και Αρχιτεκτονική Συστημάτων Παράλληλης Επεξεργασίας», Παπαδάκης, Διαμαντάρας.



Παράδειγμα Διαμέτρου



Σχήμα 3.11: Η διάμετρος δ για δύο διαφορετικά δίκτυα. (α) $\delta = 3$, μεγαλύτερη διαδρομή A-B-Γ-Δ. (β) $\delta = 5$, μεγαλύτερη διαδρομή A-E-I-Κ-Λ-Μ.

- Από: “Προγραμματισμός και Αρχιτεκτονική Συστημάτων Παράλληλης Επεξεργασίας, Παπαδάκης, Διαμαντάρας”.



Ποια είναι τα πιο σημαντικά όμως κριτήρια;

- Για παράδειγμα, αν και η **διάμετρος** της τοπολογίας του δικτύου twisted-cube είναι ίση με το μισό της διαμέτρου του υπερκύβου, ο υπερκύβος έχει **μικρότερη καθυστέρηση** στην δρομολόγηση μηνυμάτων.
- Τελικά ποιο είναι καλύτερο;



Και τα προβλήματα αξιολόγησης συνεχίζονται... (1/2)

- Αν έχουμε καθορίσει τα κριτήρια αξιολόγησης, πως επιλέγουμε δεδομένα (data) για να συγκρίνουμε τα δίκτυα διασύνδεσης;
- Συνήθως επιλέγουμε προγράμματα δοκιμών επιδόσεων (benchmarks).
- Όμως, μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά αφού μπορεί να υπάρχει overhead στο χρόνο εκτέλεσης λόγω μη βέλτιστης μετάφρασης.
- Συνήθως τροποποιούμε μόνο μια παράμετρο στο $\Delta\Delta$ και κρατάμε τις άλλες σταθερές και κάνουμε πλήθος μετρήσεων.....όμως...



Και τα προβλήματα αξιολόγησης συνεχίζονται... (2/2)

- Πως επιλέγονται οι παράμετροι που κρατάμε σταθερές;
- Πως επιλέγονται οι σταθερές τιμές;
- Τι είδους μετρήσεις παίρνουμε;
- Πως ερμηνεύουμε και αξιολογούμε τις μετρήσεις;
- Υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον!



Επικοινωνία σε συστήματα διαμοιραζόμενης μνήμης



Συστήματα διαμοιραζόμενης μνήμης (1/2)

- Όλοι οι επεξεργαστές μοιράζονται μια συνολική ποσότητα μνήμης (Symmetric Multiprocessors systems - SMP).
 - Η επικοινωνία μεταξύ των εργασιών γίνεται **μέσω εγγραφής και ανάγνωσης στην κοινόχρηστη μνήμη** ανάγνωσης στην κοινόχρηστη μνήμη.
- ==> Οι επεξεργαστές δεν επικοινωνούν μεταξύ τους άμεσα.



Συστήματα

διαμοιραζόμενης μνήμης (2/2)

- Ένας τέτοιος υπολογιστής αποτελείται από ένα σύνολο ανεξάρτητων επεξεργαστών, ένα σύνολο από αρθρώματα μνήμης και ένα δίκτυο ενδοεπικοινωνίας (**Interconnection Network, IN**).
- Το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι τόσο απλό όσο ένας δίαυλος μέχρι πιο πολύπλοκες δομές, όπως δίκτυα πολλαπλών επιπέδων, όπου η διαδρομή από έναν επεξεργαστή προς μια μνήμη περνά από αρκετά επίπεδα διακοπών.



Βασικά Στοιχεία

- Όλοι οι επεξεργαστές “βλέπουν” την ίδια μνήμη και με τον ίδιο τρόπο. Η επικοινωνία μεταξύ των επεξεργαστών γίνεται μέσω της τροποποίησης κοινών μεταβλητών στη μνήμη.
 - Το δίκτυο διασύνδεσης είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ ταχύτητας και κόστους. Όμως, κάθε φορά ένα ζευγάρι μπορεί να κατέχει την ηλεκτρική σύνδεση. Αν ένα άλλο ζευγάρι απαιτήσει κάποια σύνδεση θα πρέπει να περιμένει.
- ==> Δημιουργούνται συνωστισμοί.



Κατηγοριοποίηση των MIMD

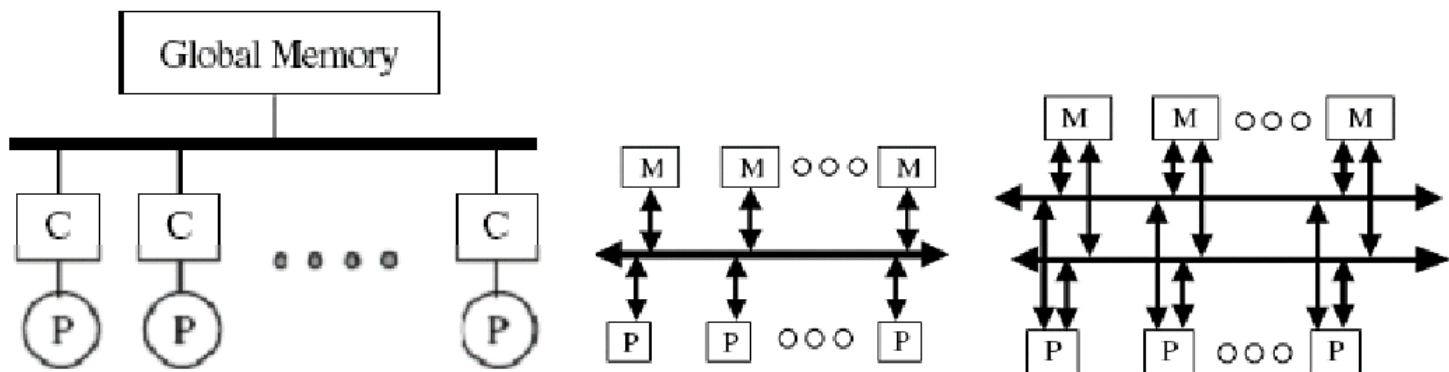
- Τα υπολογιστικά συστήματα αρχιτεκτονικής MIMD διαιρούνται σε 2 ομάδες:
 - **Shared Memory (MIMD) (SM-MIMD)** όπου όλοι οι επεξεργαστές έχουν πρόσβαση σε μια συνολική κοινόχρηστη μνήμη (Συστήματα διαμοιραζόμενης μνήμης).
 - **Distributed Memory (MIMD) (DM-MIMD)** όπου κάθε επεξεργαστής έχει πρόσβαση στη δική του τοπική μνήμη (Συστήματα κατανεμημένης μνήμης).



Συστήματα

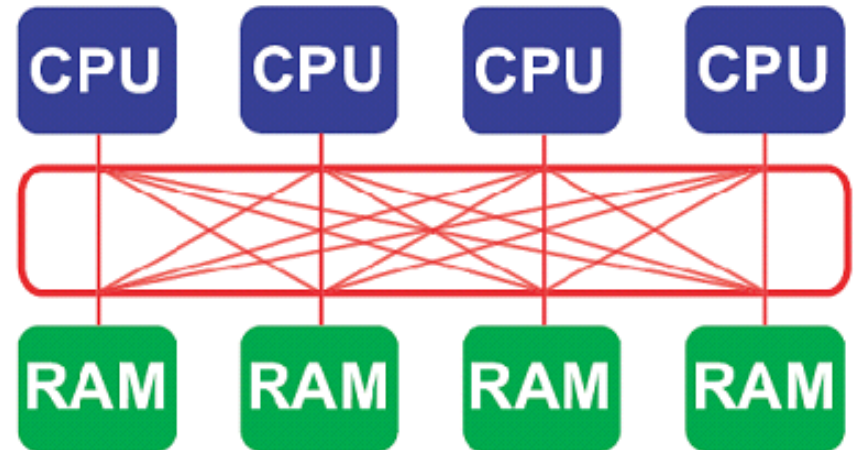
μοιραζόμενης μνήμης με δίαυλο

- Προβλήματα που προκύπτουν:
 - Όλοι οι επεξεργαστές μοιράζονται το bandwidth του διαύλου => Μειωμένη απόδοση.
 - Φαινόμενο του ανταγωνισμού μνήμης (memory contention). Αντιμετωπίζεται με χρήση κρυφής μνήμης (cache memory) σε κάθε CPU.
 - Εμφανίζεται πρόβλημα συνάφειας (coherence problem).



Συστήματα μοιραζόμενης μνήμης με μεταγωγέα διασταύρωσης

- Απευθείας σύνδεση κάθε επεξεργαστή με κάθε διαθέσιμο άρθρωμα μνήμης.
- Όσο αυξάνεται το πλήθος των CPU και RAM=> Αυξημένη πολυπλοκότητα κατασκευής=> Μεγάλοι χρόνοι επικοινωνίας.
- Απαντώνται σε υπολογιστές υψηλής απόδοσης.



Προβλήματα στα Συστήματα μοιραζόμενης μνήμης

- Η μειωμένη αύξηση της απόδοσης που προκαλείται με την αύξηση του αριθμού των CPUs, οφείλεται στο φαινόμενο του ανταγωνισμού για πρόσβαση στην κοινή μνήμη.
- Εμφανίζονται προβλήματα συνοχής των δεδομένων στις κρυφές Μνήμες του Συστήματος.



Κατηγοριοποίηση των συστημάτων μοιραζόμενης μνήμης

- Uniform Memory Access (UMA) – Ομοιόμορφη προσπέλαση μνήμης.
- NonUniform Memory Access (NUMA) – Μη ομοιόμορφη προσπέλαση μνήμης.
- Cache-Only Memory Architecture (COMA).



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

