

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

---

# Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

## Ενότητα 4: Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών

Αν. καθηγήτρια Μαλαματή Λούτα

e-mail: [louta@uowm.gr](mailto:louta@uowm.gr)

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

---



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

# 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.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Περιεχόμενα ενότητας 1/1

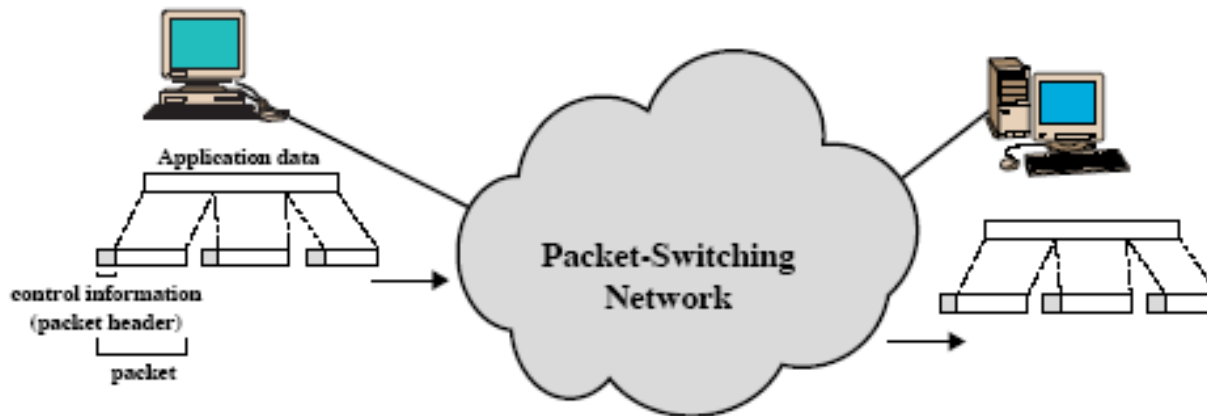
---

- Δρομολόγηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Τεχνικές Μεταγωγής Πακέτου
    - Τεχνική Αυτοδύναμου Πακέτου
    - Τεχνική Νοητού Κυκλώματος
  - Χαρακτηριστικά Δρομολόγησης
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Στατική Δρομολόγηση
      - Δρομολόγηση Ελαχίστου Κόστους / Συντομότερης Διαδρομής
    - Πλημμύρα
    - Τυχαία Δρομολόγηση
    - Προσαρμοστική Δρομολόγηση
      - Δρομολόγηση με Διανύσματα Απόστασης
      - Δρομολόγηση με Κατάσταση Συνδέσμων
    - Ιεραρχική Δρομολόγηση
    - Δρομολόγηση με Εκπομπή
    - Δρομολόγηση με Πολυδιανομή
    - Δρομολόγηση σε περιβάλλον κινητής υπολογιστικής
    - Δρομολόγηση σε δίκτυα χωρίς υποδομή



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Η μεταγωγή πακέτου σχεδιάστηκε για να παρέχει μία πιο αποδοτική λειτουργία από τη μεταγωγή κυκλώματος για καταιγιστική κίνηση δεδομένων (bursty traffic)
- Με τη μεταγωγή πακέτου, ένας σταθμός μεταδίδει ενότητες δεδομένων (στο μέγεθος των οποίων έχει τεθεί ένα άνω όριο) που ονομάζονται πακέτα.



**Παράδειγμα σύνδεσης μέσω δικτύου μεταγωγής πακέτων**



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα Μεταγωγής
  - Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου
    - Δίκτυα Μεταγωγής Αυτοδύναμου Πακέτου (*Datagram Switching*)
      - Κάθε πακέτο αντιμετωπίζεται αυτοτελώς. Κάθε κόμβος επιλέγει τον επόμενο κόμβο, λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες από γειτονικούς κόμβους σχετικά με την κίνηση, την αποτυχία μίας σύνδεσης, και ούτω καθεξής. Επομένως, πακέτα με την ίδια διεύθυνση προορισμού δεν ακολουθούν πάντα την ίδια διαδρομή. Υπάρχει ενδεχόμενο τα πακέτα να φθάσουν εκτός σειράς στον προορισμό, οπότε στην περίπτωση αυτή χρειάζεται να γίνει αναδιάταξη των πακέτων.
    - Δίκτυα Μεταγωγής Νοητού Κυκλώματος (*Virtual Circuit*)
      - Καθορίζεται μία διαδρομή ανάμεσα σε δύο τερματικά και όλα τα πακέτα ακολουθούν την ίδια διαδρομή. Για τη διάρκεια της νοητής σύνδεσης, η διαδρομή παραμένει σταθερή.



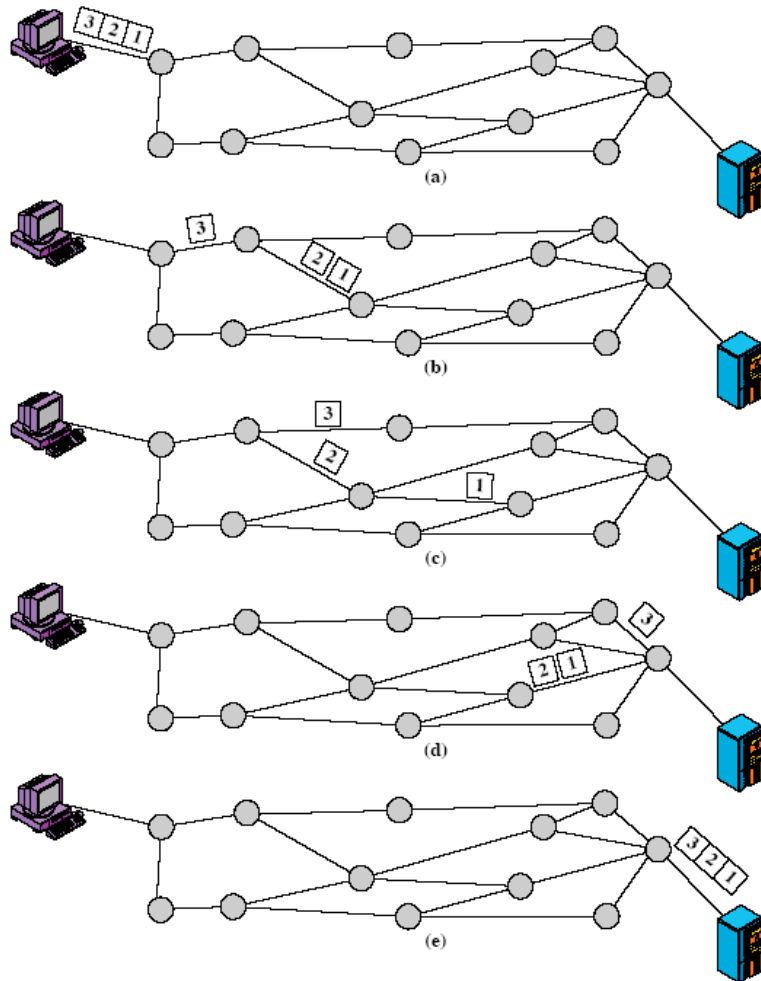
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα Μεταγωγής
  - Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου
    - Δίκτυα Μεταγωγής Αυτοδύναμου Πακέτου (*Datagram Switching*)
      - Κάθε πακέτο ακολουθεί διαφορετικούς δρόμους προκειμένου να φθάσει στον προορισμό του.
      - Ασυνδεμοστραφής Τεχνική (*Connectionless*).
      - Δεν έχουμε εγκατάσταση σύνδεσης.
      - Αυξημένη Διαθεσιμότητα.
    - Δίκτυα Μεταγωγής Νοητού Κυκλώματος (*Virtual Circuit*)
      - Πριν αποσταλούν τα πακέτα, εγκαθίσταται μία νοητή σύνδεση μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη, από όπου θα περάσουν όλα τα πακέτα του μηνύματος.
      - Συνδεμοστραφής Τεχνική (*Connection oriented*).
      - Σωστή ταξινόμηση και έλεγχος ορθότητας των παραληφθέντων πακέτων.
      - Δυνατότητα για έλεγχο ροής.
      - Μικρές μεταβολές στη χρονική απόκριση.
      - Μικρότερο επιβάρυνση (*overhead*).



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

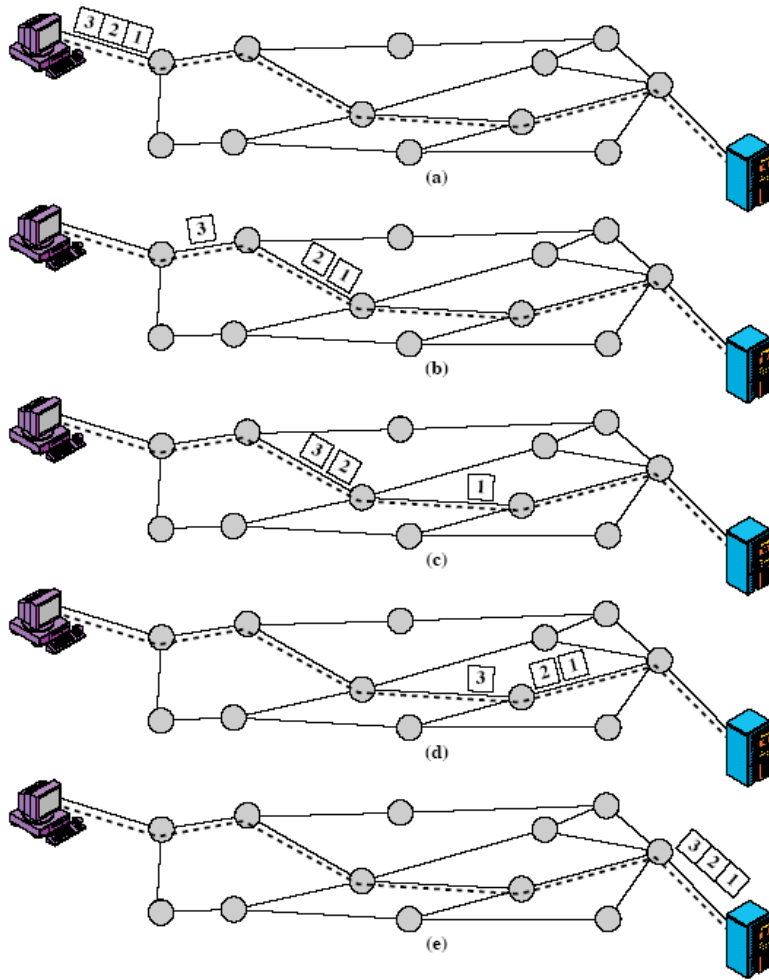


Παράδειγμα μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου





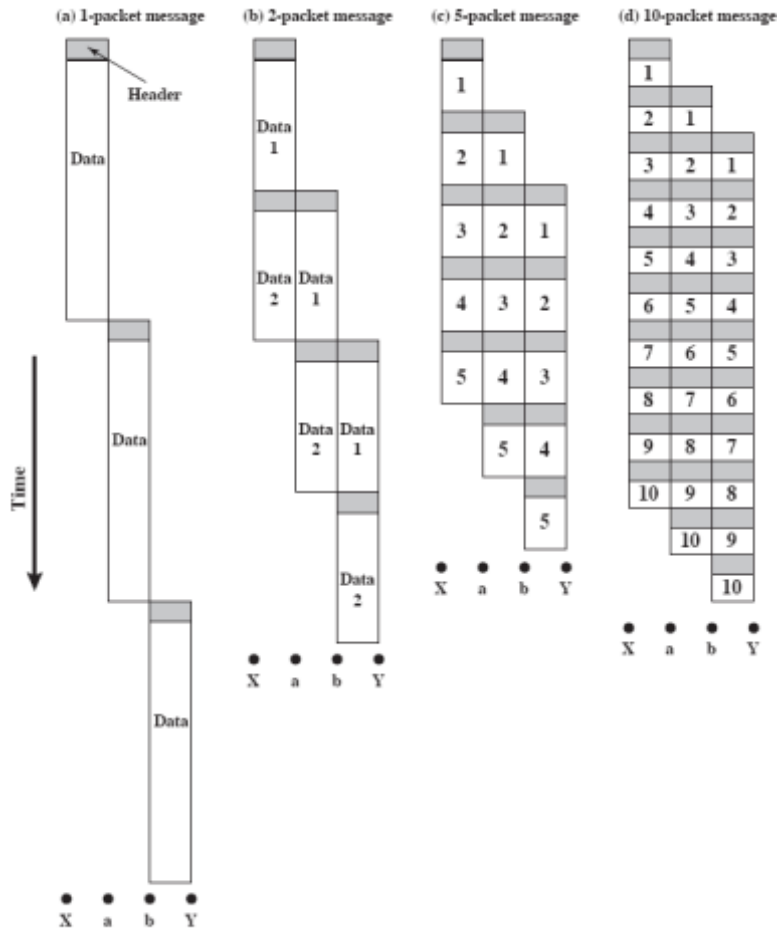
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Παράδειγμα μεταγωγής  
νοητού κυκλώματος



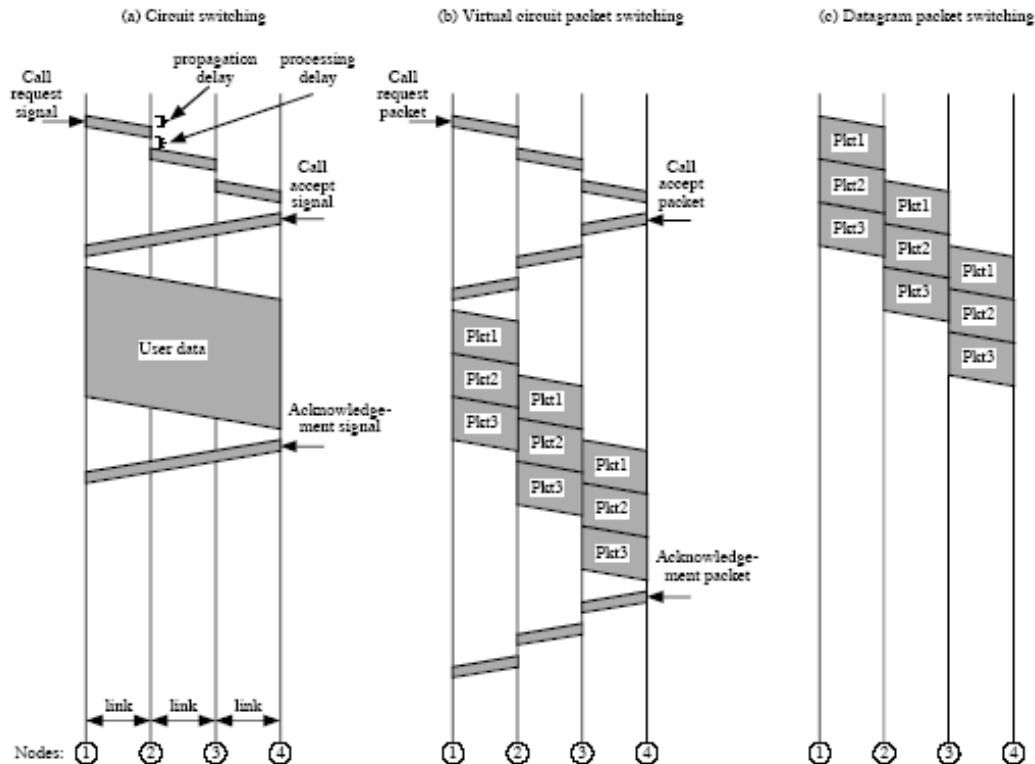
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Μέγεθος Πακέτου στα  
Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Αλληλουχία διαδικασιών για τη μετάδοση δεδομένων σε (a) δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος, (b) δίκτυα μεταγωγής νοητού κυκλώματος και (c) δίκτυα μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα
  - Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
    - Εξωτερική Λειτουργία
      - Αναφέρεται στη διεπαφή σταθμού με το δίκτυο.
      - Λειτουργία Μεταγωγής Αυτοδύναμου Πακέτου (ο σταθμός προορισμού πρέπει να έχει τη δυνατότητα ταξινόμησης των πακέτων που λαμβάνει).
      - Λειτουργία Μεταγωγής Νοητού Κυκλώματος.
    - Εσωτερική Λειτουργία
      - Αναφέρεται στο Δίκτυο.
      - Λειτουργία Μεταγωγής Αυτοδύναμου Πακέτου.
      - Λειτουργία Μεταγωγής Νοητού Κυκλώματος.
      - Σε περίπτωση που ο σταθμός αποστολής έχει καθορίσει λειτουργία μεταγωγής νοητού κυκλώματος και το δίκτυο λειτουργεί με μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου, ο κόμβος που συνδέεται στο σταθμό προορισμού αποθηκεύει τα πακέτα και τα ταξινομεί πριν να τα αποστείλει στο σταθμό.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δρομολόγηση
  - Λειτουργία του Επιπέδου Δικτύου.
  - Η δρομολόγηση στα δίκτυα μεταγωγής πακέτων βασίζεται στην εύρεση της ελαχίστου κόστους διαδρομής μέσα στο δίκτυο, όπου το κόστος είναι συνάρτηση του αριθμού των αλμάτων, της καθυστέρησης ή άλλων κριτηρίων.  
Προσαρμοστικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης βασίζονται στην ανταλλαγή πληροφοριών κίνησης (γενικότερα κατάστασης) ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου.

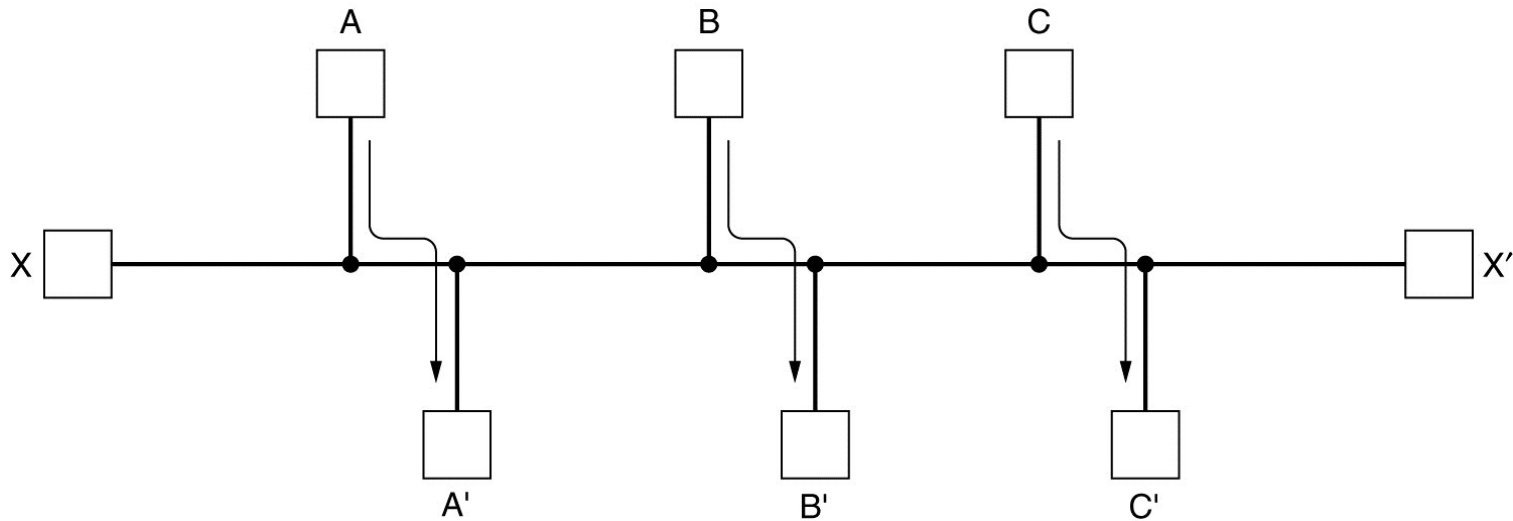


# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Επιθυμητά Χαρακτηριστικά
      - Ορθότητα (*Correctness*).
      - Απλότητα (*Simplicity*).
      - Προσαρμοστικότητα / Ανθεκτικότητα (*Robustness*).
      - Σταθερότητα (*Stability*).
        - » Σύγκλιση σε κατάσταση ισορροπίας.
      - Δικαιοσύνη (*Fairness*).
      - Βελτιστοποίηση (*Optimality*).
      - Αποδοτικότητα (*Efficiency*).
    - Κατηγορίες Αλγορίθμων Δρομολόγησης
      - Μη Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι (*Non-Adaptive Algorithms*)
        - » Δεν βασίζουν τις αποφάσεις δρομολόγησης σε μετρήσεις ή εκτιμήσεις της τρέχουσας κίνησης και τοπολογίας. Η επιλογή διαδρομής γίνεται προκαταβολικά και όχι δυναμικά και μεταφέρεται στους κόμβους του δικτύου κατά την αρχικοποίηση του δικτύου. Ουσιαστικά υποστηρίζουν στατική δρομολόγηση.
      - Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι (*Adaptive Algorithms*)
        - » Μεταβάλλουν τις αποφάσεις δρομολόγησης, ώστε να αντανακλούν τις αλλαγές στην τοπολογία και στην κίνηση.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Σύγκριση στη δικαιοσύνη και στη βέλτιστη απόδοση



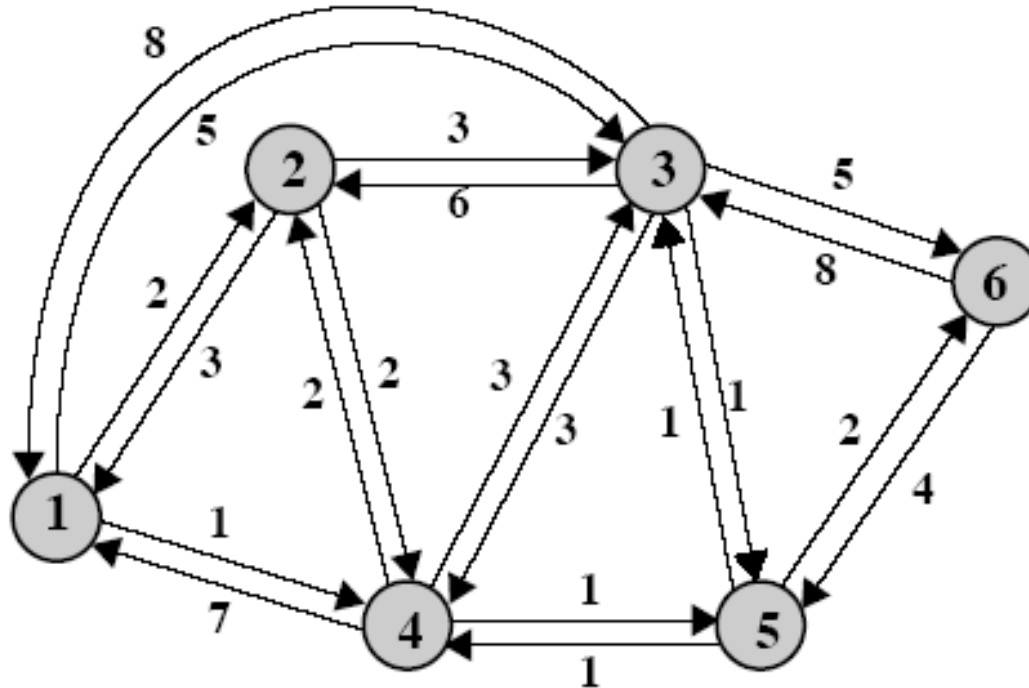
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Κριτήρια Απόδοσης
      - Η επιλογή μιας διαδρομής βασίζεται σε κάποιο κριτήριο απόδοσης (*metric*).
      - Τέτοια κριτήρια απόδοσης μπορεί να είναι:
        - » Πλήθος αλμάτων (*hops*) μέσα στο δίκτυο – επιλέγεται η διαδρομή που εμπλέκει το μικρότερο πλήθος κόμβων. Με το κριτήριο αυτό ελαχιστοποιείται η κατανάλωση των πόρων του δικτύου.
        - » Κόστος – επιλέγεται η διαδρομή που επιφέρει το μικρότερο κόστος στο δίκτυο. Αποτελεί γενίκευση του προηγούμενου κριτηρίου. Σε κάθε σύνδεση αποδίδεται ένα κόστος και αναζητάται η διαδρομή που επιτυγχάνει το ελάχιστο κόστος. Στην ειδική περίπτωση ελαχιστοποίησης του πλήθους των αλμάτων το κόστος κάθε σύνδεσης είναι ίσο με τη 1. Το κόστος στη γενικότερη περίπτωση μπορεί να αντανakλά την επιθυμία μας για μεγιστοποίηση της συνολικής διεκπεραιωτικής ικανότητας του δικτύου (*throughput*) θέτοντας το κόστος κάθε σύνδεσης αντιστρόφως ανάλογο της χωρητικότητας της σύνδεσης ή για ελαχιστοποίηση της μέσης καθυστέρησης ανά πακέτο θέτοντας το κόστος κάθε σύνδεσης ανάλογο της καθυστέρησης στην ουρά των κόμβων. Οι στόχοι αυτοί είναι αντικρουόμενοι, αφού μεγιστοποίηση της διεκπεραιωτικής ικανότητας του δικτύου συνεπάγεται αύξηση της μέσης καθυστέρησης, αφού θα έχουμε μεγάλες καθυστερήσεις στις ουρές των κόμβων. Παραδείγματα αλγορίθμων ελαχίστου κόστους είναι ο αλγόριθμος *Dijkstra* και ο αλγόριθμος *Bellman – Ford*.





# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Διαδρομή με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του πλήθους των αλμάτων : 1 - 3 - 6

Διαδρομή με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του κόστους : 1 - 4 - 5 - 6



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Χρόνος και Τόπος της Απόφασης Δρομολόγησης
      - Χρόνος Απόφασης
        - » Δίκτυα Μεταγωγής Αυτοδύναμων Πακέτων – για κάθε πακέτο χωριστά λαμβάνεται μία απόφαση δρομολόγησης.
        - » Δίκτυα Μεταγωγής Νοητού Κυκλώματος – η απόφαση δρομολόγησης λαμβάνεται τη στιγμή που αποκαθίσταται το νοητό κύκλωμα.
      - Τόπος Απόφασης
        - » Ποιός ή ποιοί κόμβοι στο δίκτυο είναι υπεύθυνοι για την απόφαση δρομολόγησης.
        - » Δύο προσεγγίσεις μπορούν να ακολουθηθούν. Η Κεντρικοποιημένη (Centralised) και η Κατανεμημένη (Distributed) Προσέγγιση. Σύμφωνα με την κεντρικοποιημένη προσέγγιση, η απόφαση δρομολόγησης λαμβάνεται από ένα κεντρικό κόμβο (π.χ. Κέντρο Διαχείρισης Δικτύου). Αυτή η προσέγγιση είναι λιγότερο πολύπλοκη από την κατανεμημένη, αλλά εισάγει ένα μοναδικό σημείο αποτυχίας (*single point of failure*) στο σύστημα και μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις μπλοκαρίσματος (*Bottleneck*) εισάγοντας περιορισμούς στη συνολική απόδοση. Η κατανεμημένη προσέγγιση είναι πιο πολύπλοκη, αλλά και πιο ανθεκτική, καθώς κάθε κόμβος έχει την ευθύνη επιλογής του επόμενου κόμβου για τα πακέτα τα οποία φθάνουν. Σύμφωνα με μία τρίτη προσέγγιση, η οποία αναφέρεται ως δρομολόγηση πηγής, η απόφαση δρομολόγησης λαμβάνεται από τον σταθμό πηγής και στη συνέχεια μεταδίδεται στο δίκτυο.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Πηγή Πληροφόρησης και Συχνότητα Ενημέρωσης
      - Οι περισσότεροι αλγόριθμοι δρομολόγησης βασίζονται σε γνώση της τοπολογίας του δικτύου, του φορτίου κίνησης και του κόστους κάθε σύνδεσης. Υπάρχουν όμως και αλγόριθμοι οι οποίοι δεν χρησιμοποιούν τέτοιες πληροφορίες για την μετάδοση των πακέτων.
      - Στους προσαρμοστικούς αλγορίθμους δρομολόγησης, ο κεντρικός κόμβος ή ο κάθε κόμβος μπορεί να πάρει μία απόφαση δρομολόγησης χρησιμοποιώντας διαφορετικά επίπεδα πληροφόρησης. Για παράδειγμα, στην κατανεμημένη προσέγγιση, ο κάθε κόμβος μπορεί να βασισθεί μόνο σε τοπική πληροφορία (κόστος σύνδεσης κάθε γραμμής εξόδου του κόμβου), σε πληροφορίες κίνησης / συμφόρησης που συλλέγει από τους γειτονικούς του κόμβους (κόμβους που είναι άμεσα συνδεδεμένοι σε αυτόν) ή σε πληροφορίες από όλους τους κόμβους του δικτύου. Στην κεντροκοποιημένη προσέγγιση, ο κάθε κόμβος χρησιμοποιεί συνήθως την πληροφορία που λαμβάνει από όλους τους κόμβους του δικτύου.
      - Η συχνότητα ενημέρωσης της πληροφορίας που λαμβάνεται από τους κόμβους του δικτύου στους προσαρμοστικούς αλγορίθμους είναι επίσης μία σημαντική παράμετρος. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να έχουμε ενημέρωση κάθε  $\Delta T$  δευτερόλεπτα, κάθε φορά που αλλάζει το φορτίο ή όποτε αλλάζει η τοπολογία. Όσο συχνότερη είναι η ενημέρωση και η ανταλλαγή πληροφοριών στους κόμβους, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση πόρων του δικτύου, αλλά η απόφαση δρομολόγησης βελτιστοποιείται, καθώς αντικατοπτρίζει την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου.



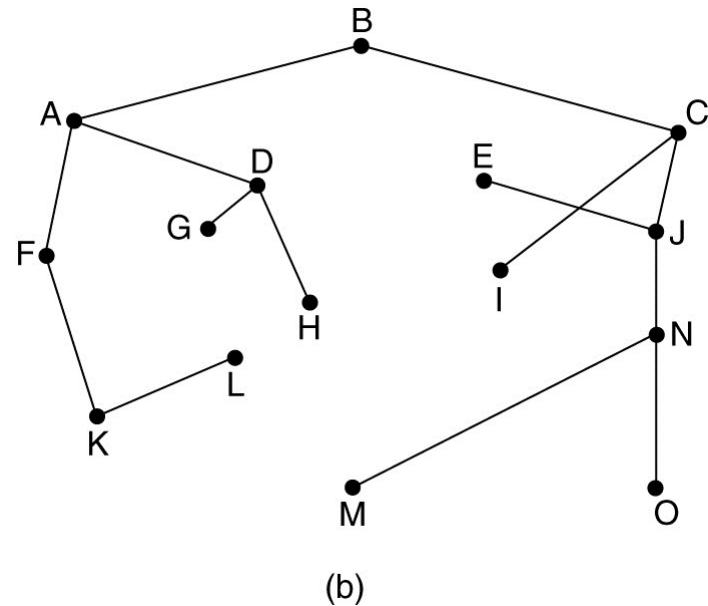
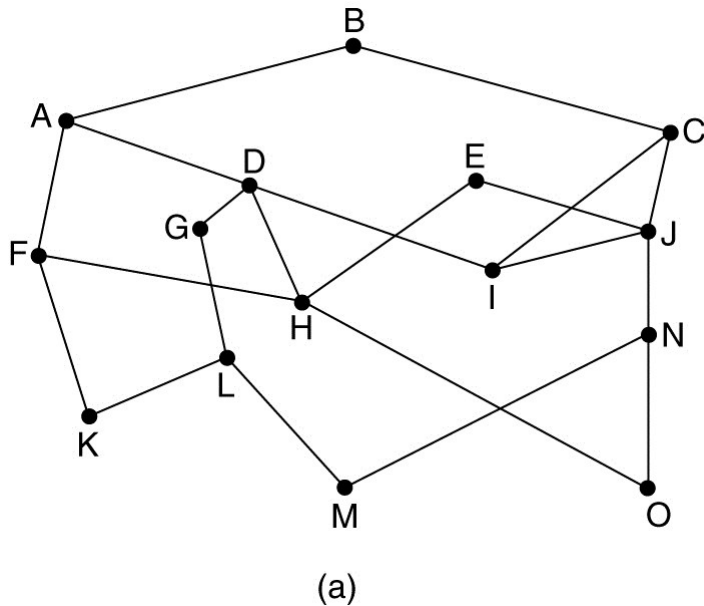
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Αρχή της βέλτιστης κατάστασης (*optimality principle*)
      - Εάν ο δρομολογητής B βρίσκεται στη βέλτιστη διαδρομή από το δρομολογητή A στο δρομολογητή Γ, τότε η βέλτιστη διαδρομή από τον B στο Γ βρίσκεται πάνω στην ίδια διαδρομή.
      - Το σύνολο βέλτιστων δρομολογίων από όλες τις προελεύσεις σε έναν προορισμό σχηματίζει ένα δένδρο με ρίζα τον προορισμό. Αυτό το δένδρο ονομάζεται δένδρο προορισμού (*sink tree*). Το δένδρο προορισμού δεν είναι απαραίτητα μοναδικό.
      - Στόχος των αλγορίθμων δρομολόγησης είναι να ανακαλύψουν και να χρησιμοποιήσουν τα δένδρα προορισμού για όλους τους δρομολογητές.



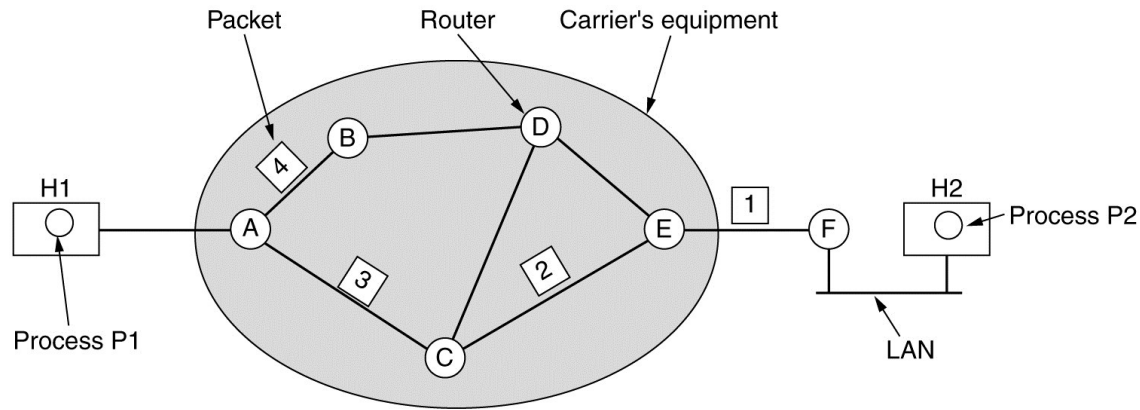
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Δένδρο Προορισμού για το Δρομολογητή B με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του πλήθους των αλμάτων



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



A's table

initially	later
A   -	A   -
B   B	B   B
C   C	C   C
D   B	D   B
E   C	E   B
F   C	F   B

C's table

A   A
B   A
C   -
D   D
E   E
F   E

E's table

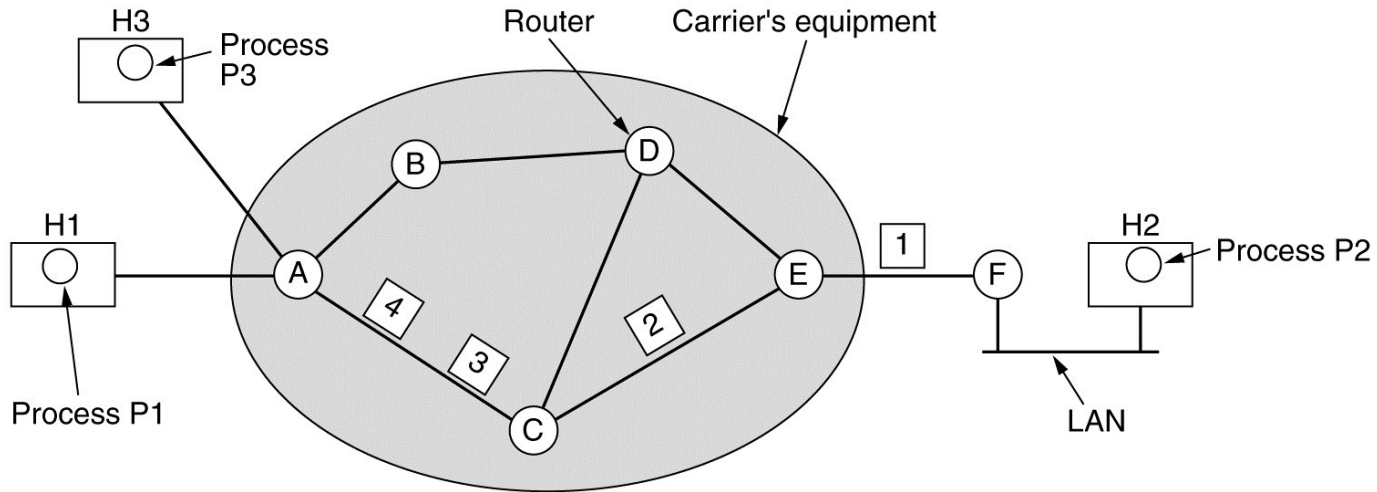
A   C
B   D
C   C
D   D
E   -
F   F

Dest. Line

Δρομολόγηση σε Δίκτυα Μεταγωγής  
Αυτοδύναμου Πακέτου



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



A's table		C's table		E's table	
H1	1	A	1	C	1
H3	1	A	2	C	2
C		E		F	
1		1		1	
2		2		2	

In
Out

**Δρομολόγηση σε Δίκτυα Μεταγωγής  
 Νοητού Κυκλώματος**



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Στατική Δρομολόγηση
      - Μη προσαρμοστικός αλγόριθμος δρομολόγησης.
      - Στη στατική δρομολόγηση καθορίζεται μία στατική διαδρομή για κάθε ζεύγος κόμβων που ανταλλάσσουν δεδομένα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε αλγόριθμος ελαχίστου κόστους (για παράδειγμα, *Dijkstra*, *Bellman Ford*). Τα κόστη των συνδέσεων δεν μεταβάλλονται με τις μεταβολές της κίνησης στο δίκτυο, αλλά βασίζονται σε ιστορικά στοιχεία κίνησης.
      - Με τη στατική δρομολόγηση δεν υπάρχει διαφοροποίηση στη δρομολόγηση για τα αυτοδύναμα πακέτα και για τα νοητά κυκλώματα. Όλα τα πακέτα ακολουθούν την ίδια διαδρομή από την πηγή στον προορισμό.
      - Η στατική δρομολόγηση είναι πολύ απλή μέθοδος, αλλά δεν είναι εύκαμπτη και ανθεκτική, καθώς δεν αντιδρά σε πιθανές υπερφορτώσεις ή αποτυχίες του δικτύου.
      - Μία τροποποίηση της στατικής δρομολόγησης που διαχειρίζεται καλύτερα πιθανές αποτυχίες κόμβων ή συνδέσεων είναι η τροφοδότηση κάθε κόμβου με μία εναλλακτική πρόταση όσον αφορά τον επόμενο κόμβο για κάθε προορισμό.





# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

		From Node					
		1	2	3	4	5	6
To Node	1	—	1	5	2	4	5
	2	2	—	5	2	4	5
	3	4	3	—	5	3	5
	4	4	4	5	—	4	5
	5	4	4	5	5	—	5
	6	4	4	5	5	6	—

**Node 1 Directory**

Destination	Next Node
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

**Node 2 Directory**

Destination	Next Node
1	1
3	3
4	4
5	4
6	4

**Node 3 Directory**

Destination	Next Node
1	5
2	5
4	5
5	5
6	5

**Node 4 Directory**

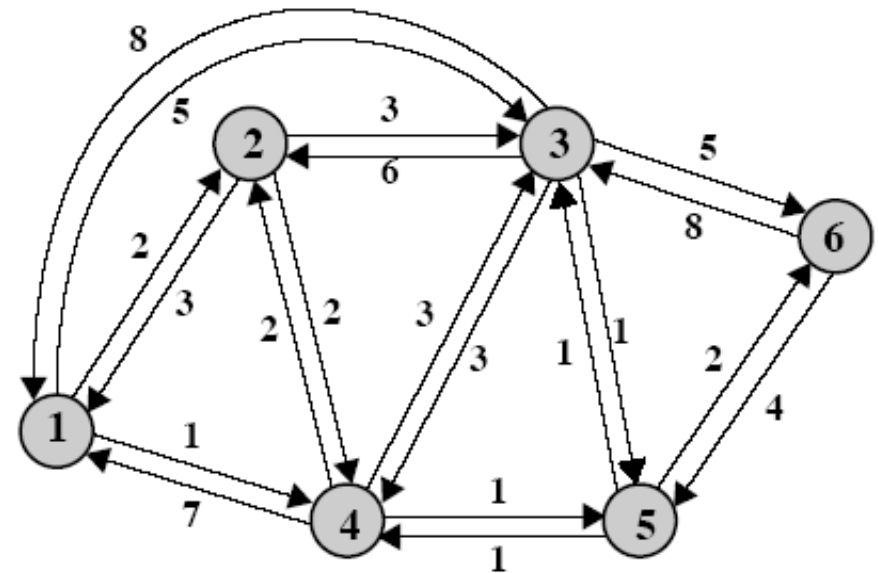
Destination	Next Node
1	2
2	2
3	5
5	5
6	5

**Node 5 Directory**

Destination	Next Node
1	4
2	4
3	3
4	4
6	6

**Node 6 Directory**

Destination	Next Node
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5



## Στατική Δρομολόγηση



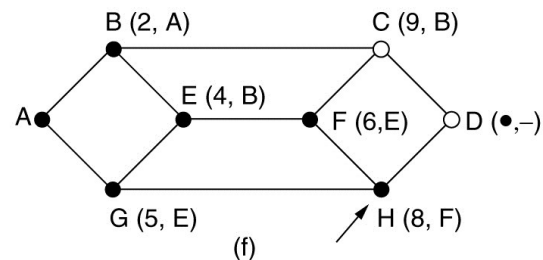
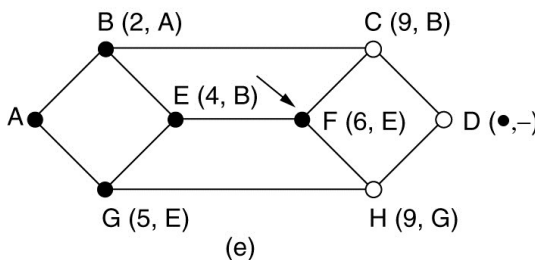
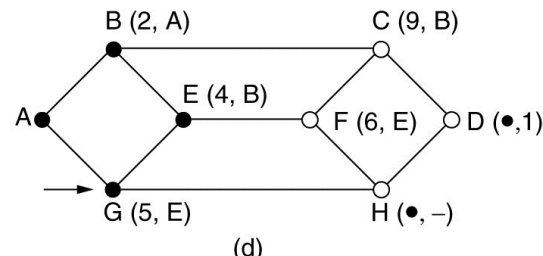
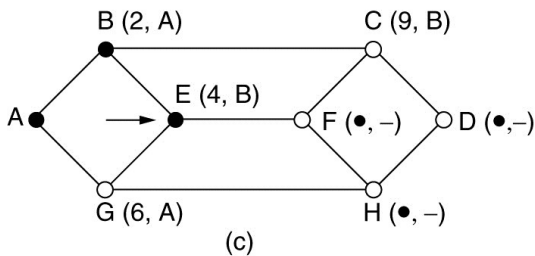
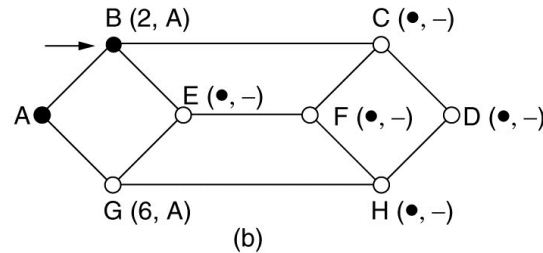
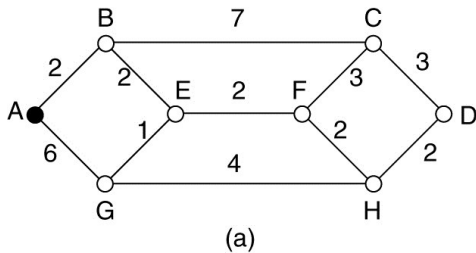
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Αλγόριθμοι Ελαχίστου Κόστους
  - Αλγόριθμος Dijkstra
    - Βρίσκει τη βέλτιστη διαδρομή (διαδρομή ελαχίστου κόστους) από έναν κόμβο  $s$  προς όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου δημιουργώντας μονοπάτια αυξανόμενου μεγέθους.
    - Ο αλγόριθμος τρέχει σε στάδια. Σε κάθε στάδιο επιλέγεται και προστίθεται ο κόμβος με το μικρότερο κόστος μονοπατιού.
    - Ο αλγόριθμος τερματίζεται όταν έχουν εξεταστεί όλοι οι κόμβοι του δικτύου



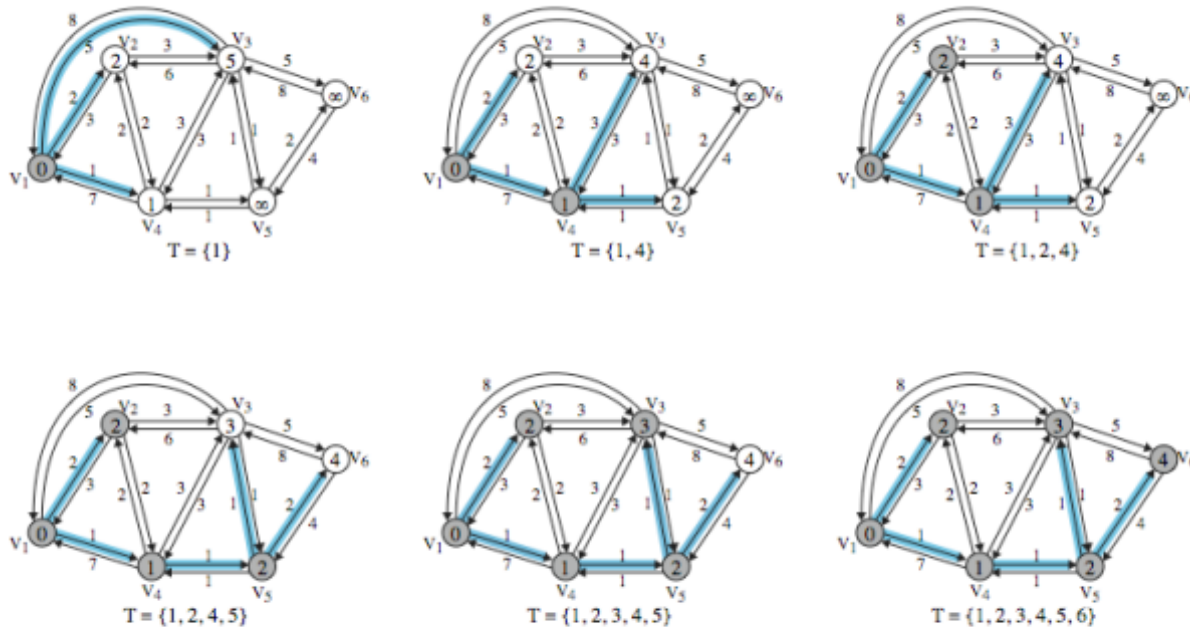
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Δρομολόγηση  
ελαχίστου  
κόστους βάσει  
αλγορίθμου  
*Dijkstra* από τον  
κόμβο *A* στον  
κόμβο *D* για τον  
μη  
προσανατολισμέ  
νο γράφο του  
σχήματος (α)



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Δρομολόγηση ελαχίστου κόστους βάσει αλγορίθμου *Dijkstra* από τον κόμβο  $v_1$  στον κόμβο  $v_6$  για τον προσανατολισμένο γράφο του σχήματος της διαφάνειας 15



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

Iter	T	L(2)	Path	L(3)	Path	L(4)	Path	L(5)	Path	L(6)	Path
2	{1,4}	2	1-2	4	1-4-3	1	1-4	2	1-4-5	$\infty$	-
4	{1, 2, 4, 5}	2	1-2	3	1-4-5- 3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5- 6
6	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	2	1-2	3	1-4-5- 3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5- 6

Δρομολόγηση ελαχίστου κόστους βάσει αλγορίθμου *Dijkstra* από τον κόμβο  $v_1$  στον κόμβο  $v_6$  για τον προσανατολισμένο γράφο του σχήματος της διαφάνειας 15



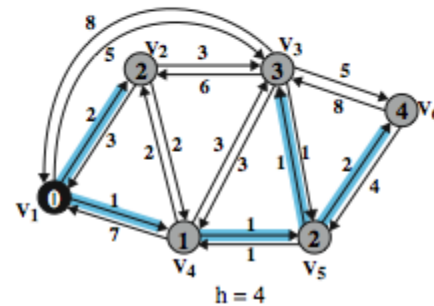
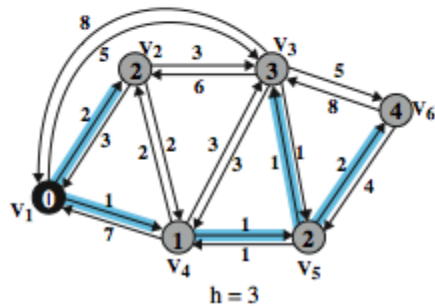
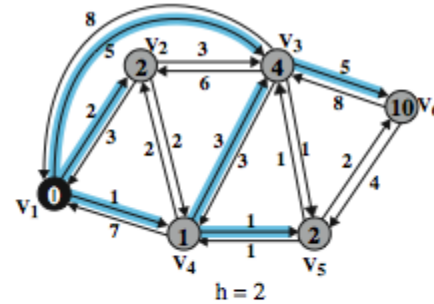
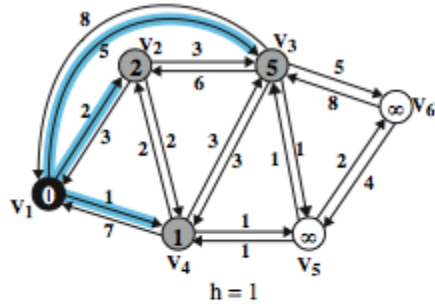
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Αλγόριθμοι Ελαχίστου Κόστους
  - Αλγόριθμος Bellman-Ford
    - Ως πρώτο βήμα, ο αλγόριθμος βρίσκει τα μονοπάτια ελάχιστου κόστους από έναν κόμβο  $s$  προς κόμβους του δικτύου, υπό την προϋπόθεση ότι τα μονοπάτια αυτά περιλαμβάνουν ένα μόνο άλμα.
    - Σε δεύτερη φάση, ο αλγόριθμος βρίσκει τα μονοπάτια ελάχιστου κόστους από έναν κόμβο  $s$  προς κόμβους του δικτύου, υπό την προϋπόθεση ότι τα μονοπάτια αυτά περιλαμβάνουν δύο άλματα.
      - Σε περίπτωση που το κόστος από τον κόμβο  $s$  προς έναν κόμβο  $n$  είναι μικρότερο από αυτό που έχει υπολογιστεί στο πρώτο βήμα, αναπροσαρμόζεται η διαδρομή μέσω ενός μονοπατιού ενός άλματος προς κάποιον κόμβο  $j$  ( $s \rightarrow j$ ) – όπως έχει υπολογιστεί στο προηγούμενο βήμα - και της απευθείας σύνδεσης του κόμβου  $j$  στον κόμβο  $n$ .



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Δρομολόγηση ελαχίστου κόστους βάσει αλγορίθμου *Bellman - Ford* από τον κόμβο  $v_1$  στον κόμβο  $v_6$  για τον προσανατολισμένο γράφο του σχήματος της διαφάνειας 15



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

h	$L_h(2)$	Pat h	$L_h(3)$	Path	$L_h(4)$	Path	$L_h(5)$	Path	$L_h(6)$	Path
---	----------	----------	----------	------	----------	------	----------	------	----------	------

1	2	1-2	5	1-3	1	1-4	$\infty$	-	$\infty$	-
---	---	-----	---	-----	---	-----	----------	---	----------	---

3	2	1-2	3	1-4-5-3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5-6
---	---	-----	---	---------	---	-----	---	-------	---	---------

Δρομολόγηση ελαχίστου κόστους βάσει αλγορίθμου *Bellman - Ford* από τον κόμβο  $v_1$  στον κόμβο  $v_6$  για τον προσανατολισμένο γράφο του σχήματος της διαφάνειας 15



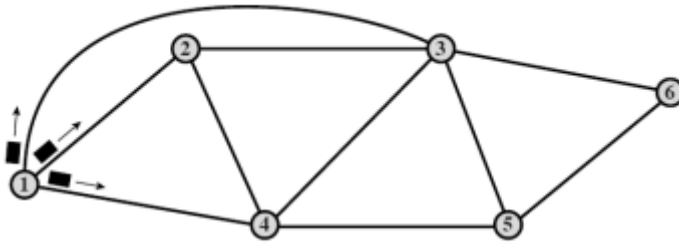


# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

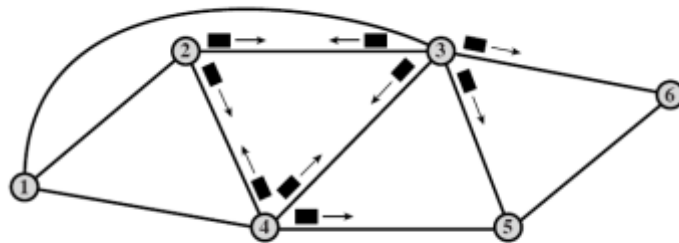
- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δρομολόγηση με Πλημμύρα
      - Μη προσαρμοστικός αλγόριθμος δρομολόγησης.
      - Δεν απαιτεί γνώση πληροφοριών κατάστασης δικτύου.
      - Κάθε πακέτο εισερχόμενο σε ένα κόμβο στέλνεται σε όλους τους γειτονικούς του κόμβους με εξαίρεση τον κόμβο από τον οποίο προήλθε.
      - Η πλημμύρα παράγει ένα τεράστιο πλήθος αντιγράφων των πακέτων (στην πραγματικότητα ένα άπειρο πλήθος).
        - » Μέτρα περιορισμού του πλήθους των παραγόμενων αντιγράφων
          1. Κάθε κόμβος θυμάται την ταυτότητα των πακέτων που επαναμετάδωσε. Όταν φθάσουν διπλά αντίγραφα, αυτά απορρίπτονται.
          2. Σε κάθε πακέτο τοποθετείται σε ένα πεδίο ένας μετρητής αλμάτων. Αρχικοποιείται στο μήκος της διαδρομής από την πηγή στον προορισμό. Σε περίπτωση που το μήκος της διαδρομής δεν είναι γνωστό, η αρχική τιμή του μετρητή είναι ίση με τη χειρότερη περίπτωση, δηλαδή την πλήρη διάμετρο του υποδικτύου.
      - Επιλεκτική Πλημμύρα (Selective Flooding) – το εισερχόμενο πακέτο δεν πηγαίνει σε κάθε εξερχόμενη γραμμή του κόμβου, αλλά μόνο στις γραμμές που πηγαίνουν κατά προσέγγιση προς τη σωστή κατεύθυνση.



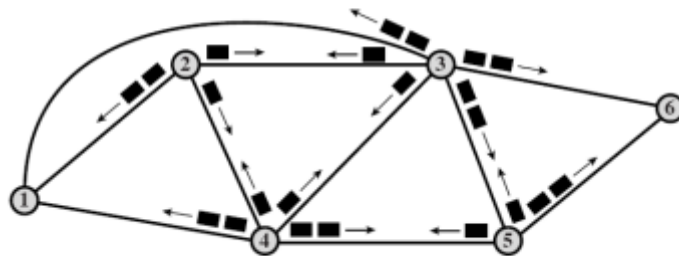
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



(a) First hop



(b) Second hop



(c) Third hop

Δρομολόγηση με πλημμύρα



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Στρατηγικές Δρομολόγησης

- Δρομολόγηση με Πλημμύρα

- Πολύ ανθεκτική μέθοδος. Ό,τι και να έχει συμβεί, ένα πακέτο θα φθάσει στον προορισμό, εφόσον υπάρχει ένα τουλάχιστον μονοπάτι ανάμεσα στην πηγή και στον προορισμό. Χρήσιμη σε στρατιωτικές εφαρμογές.
      - Επειδή δοκιμάζονται όλες οι διαδρομές, ένα τουλάχιστον αντίγραφο του πακέτου που θα φθάσει στον προορισμό θα έχει χρησιμοποιήσει τη διαδρομή με τα λιγότερα άλματα. Επομένως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης για τους άλλους αλγορίθμους δρομολόγησης.
      - Το πακέτο φθάνει σε όλους τους κόμβους που είναι γειτονικοί με την πηγή. Χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα προκειμένου τα μηνύματα που μεταδίδονται να μεταδίδονται σε όλους τους σταθμούς που είναι εντός της εμβέλειας της πηγής.
      - Η δρομολόγηση με πλημμύρα χρησιμοποιείται για τη διασπορά σημαντικής πληροφορίας σε όλους τους κόμβους ενός δικτύου – π.χ. πληροφορία δρομολόγησης.
      - Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής αποτελεί το υψηλό φορτίο κίνησης που δημιουργεί, το οποίο είναι ανάλογο της συνδεσιμότητας του δικτύου.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

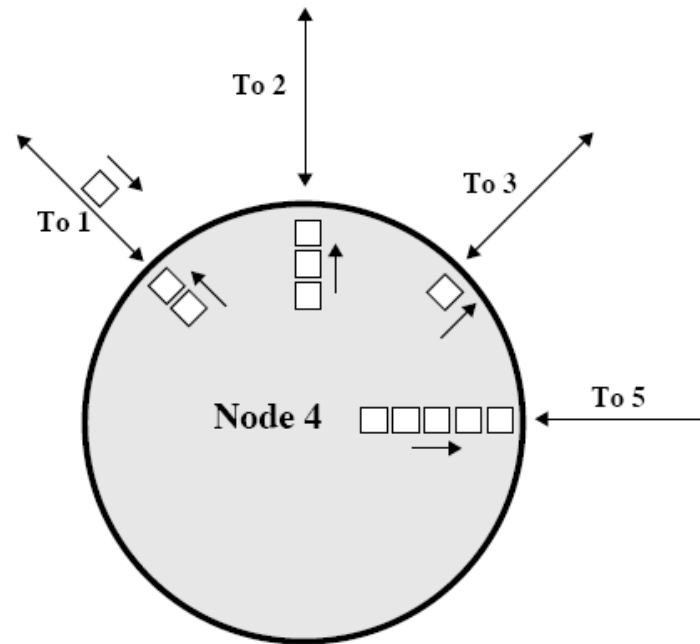
- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Τυχαία Δρομολόγηση
      - Η γραμμή εξόδου (και συνεπώς ο επόμενος κόμβος στη διαδρομή) επιλέγεται τυχαία, εξαιρουμένης της γραμμής εισόδου του πακέτου.
      - Αν όλες οι γραμμές εξόδου έχουν την ίδια πιθανότητα να επιλεγούν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σχήμα εκ περιτροπής (*round-robin*).
      - Αν η πιθανότητα επιλογής της κάθε γραμμής εξόδου βασίζεται στη χωρητικότητα της γραμμής, τότε το σχήμα θα μπορούσε να παρέχει καλή κατανομή της κίνησης.
      - Απλή και Ανθεκτική μέθοδος που εισαγάγει μικρό φορτίο κίνησης.
    - Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι Δρομολόγησης
      - Πολύπλοκη η λήψη απόφασης. Αυξάνεται το υπολογιστικό φόρτο στους κόμβους του δικτύου.
      - Οι αποφάσεις δρομολόγησης μεταβάλλονται, καθώς αλλάζουν οι συνθήκες στο δίκτυο. Οι αποφάσεις δρομολόγησης επηρεάζονται από βλάβες ή πιθανές υπερφορτώσεις στους κόμβους ή στους τηλεπικοινωνιακούς διαύλους.
      - Στην προσαρμοστική δρομολόγηση αντάλλασσεται πληροφορία ανάμεσα στους κόμβους για την κατάσταση του δικτύου. Διαφορετικά επίπεδα πληροφόρησης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν: τοπική πληροφόρηση, πληροφόρηση από γειτονικούς κόμβους, πληροφόρηση από όλους τους κόμβους.
      - Όσο περισσότερη πληροφορία ανταλλάσσεται και όσο πιο συχνά ανταλλάσσεται τόσο καλύτερες είναι οι αποφάσεις δρομολόγησης, αλλά στην περίπτωση αυτή το δίκτυο επιβαρύνεται αρκετά περισσότερο.
      - Μία προσαρμοστική στρατηγική μπορεί να αντιδρά πολύ γρήγορα προκαλώντας ταλαντώσεις που καταλήγουν σε συμφορήσεις ή πολύ αργά, χωρίς καμία ανταπόκριση.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

Node 4's Bias  
Table for  
Destination 6

Next Node	Bias
1	9
2	6
3	3
5	0



Προσαρμοστική Δρομολόγηση βάσει τοπικής πληροφόρησης  
(Επιλογή: Γραμμή Εξόδου 3 όπου συνολική καθυστέρηση = 4)

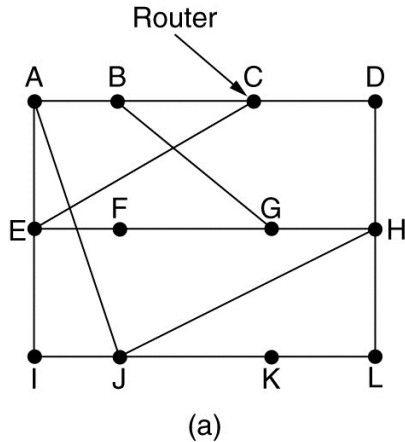


# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι Δρομολόγησης
      - Δρομολόγηση με Διανύσματα Απόστασης (*Distance Vector Routing*)
        - » Αναφέρεται και ως Κατανεμημένος Αλγόριθμος Δρομολόγησης *Bellman – Ford* ή ως αλγόριθμος *Ford – Fulkerson*. Χρησιμοποιήθηκε στο *Internet* με το όνομα *RIP*.
        - » Κάθε δρομολογητής διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης. Κάθε καταχώρηση του πίνακα αυτού περιλαμβάνει για τον συγκεκριμένο προορισμό την προτιμώμενη γραμμή εξόδου για τον προορισμό αυτό και μία εκτίμηση της απόστασης ή του χρόνου προς τον προορισμό αυτόν.
        - » Ο κόμβος έχει μία εκτίμηση της «απόστασης» (π.χ. της καθυστέρησης) για τους γειτονικούς του κόμβους. Αν χρησιμοποιείται το πλήθος των αλμάτων, η απόσταση είναι ένα άλμα. Αν χρησιμοποιείται το μήκος των ουρών, ο κόμβος εξετάζει κάθε ουρά εξόδου. Αν χρησιμοποιείται η καθυστέρηση, τότε ο δρομολογητής μπορεί να τη μετρήσει στέλνοντας ένα πακέτο «*echo*», το οποίο λαμβάνεται από τον παραλήπτη και αποστέλλεται πίσω όσο ταχύτερα γίνεται. Μετρώντας το χρόνο της διαδρομής μετ' επιστροφής και διαιρώντας το με το δύο, ο κόμβος έχει μία λογική εκτίμηση της καθυστέρησης.
        - » Κάθε  $T$  msec κάθε κόμβος στέλνει σε κάθε γείτονά του μία λίστα με τις εκτιμώμενες καθυστερήσεις προς κάθε προορισμό. Ο κόμβος γνωρίζει το χρόνο που απαιτείται για να φθάσει σε κάθε γείτονά του, οπότε με τον τρόπο αυτό μπορεί να βρει ποια εκτίμηση είναι η καλύτερη και να αναθεωρήσει την αντίστοιχη καταχώρηση στον πίνακα δρομολόγησης του.
        - » **Πρόβλημα της μέτρησης ως το άπειρο:** Η δρομολόγηση με διανύσματα απόστασης συγκλίνει στη σωστή απάντηση, αλλά συγκλίνει αργά. Συγκεκριμένα, αντιδρά γρήγορα στα καλά νέα, αλλά αντιδρά αργά στα άσχημα νέα. Στην πραγματικότητα, τα άσχημα νέα γίνονται αντιληπτά μετά από άπειρες ανταλλαγές μηνυμάτων ανάμεσα στους κόμβους. Για το λόγο αυτό είναι σκόπιμο να θέτουμε ένα άνω όριο στο μέγεθος των ανταλλαγών. Για παράδειγμα, αυτό μπορεί να είναι ίσο με το μήκος της μέγιστης διαδρομής +1. Σε περίπτωση που το μέτρο σύγκρισης είναι η χρονική καθυστέρηση δεν υπάρχει κάποιο καθορισμένο άνω όριο. Πάντως χρειαζόμαστε μία υψηλή τιμή για να αποφευχθεί ο χαρακτηρισμός μίας διαδρομής ως άκυρης σε περίπτωση που αυτή έχει μεγάλη καθυστέρηση.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



New estimated delay from J

To	A	I	H	K	Line
A	0	24	20	21	8 A
B	12	36	31	28	20 A
C	25	18	19	36	28 I
D	40	27	8	24	20 H
E	14	7	30	22	17 I
F	23	20	19	40	30 I
G	18	31	6	31	18 H
H	17	20	0	19	12 H
I	21	0	14	22	10 I
J	9	11	7	10	0 -
K	24	22	22	0	6 K
L	29	33	9	9	15 K

JA delay is 8  
 JI delay is 10  
 JH delay is 12  
 JK delay is 6

Vectors received from J's four neighbors

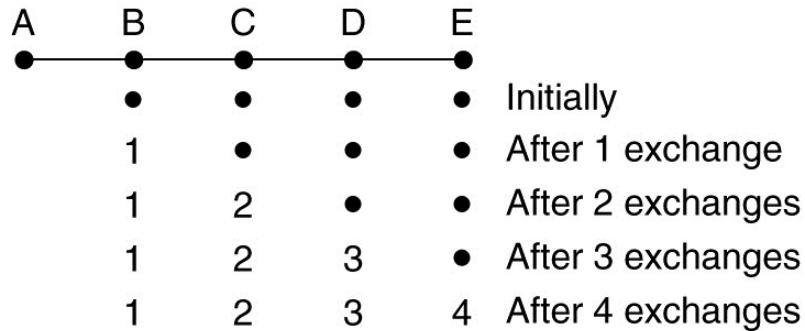
New routing table for J

(b)

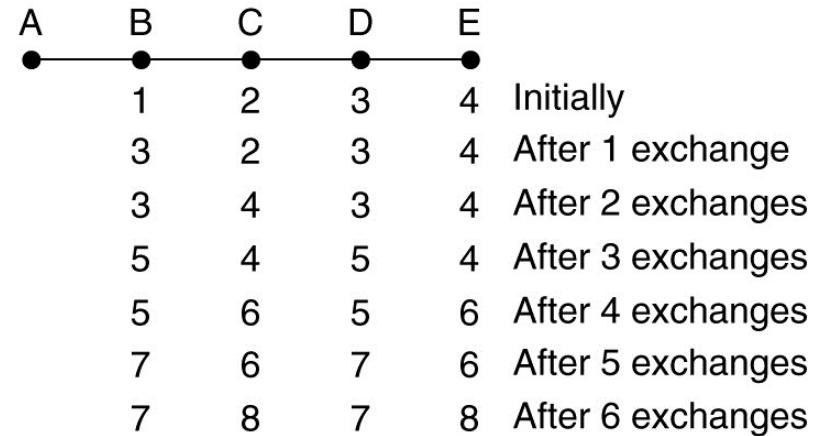
Δρομολόγηση με Διανύσματα Απόστασης  
 Πίνακας Δρομολόγησης του κόμβου J



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



(a)



(b)

Πρόβλημα σύγκλισης στη δρομολόγηση με διανύσματα απόστασης





# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι Δρομολόγησης
      - Δρομολόγηση με Κατάσταση Συνδέσμων (*Link State Routing*)
        - » Κάθε κόμβος πρώτα πρέπει να ανακαλύψει τους γείτονές του. Για να πετύχει το στόχο αυτό, κάθε κόμβος στέλνει ένα ειδικό πακέτο χαιρετισμού (*hello*) σε κάθε γραμμή από σημείο σε σημείο.
        - » Μετά πρέπει να μετρήσει την καθυστέρηση ή το κόστος προς κάθε έναν από τους γείτονές του. Ο κόμβος μπορεί να αποκτήσει μία εκτίμηση της καθυστέρησης για τους γειτονικούς του κόμβους στέλνοντας ένα πακέτο «*echo*», το οποίο λαμβάνεται από τον παραλήπτη και αποστέλλεται πίσω όσο ταχύτερα γίνεται. Μετρώντας το χρόνο της διαδρομής μετ' επιστροφής και διαιρώντας το με το δύο, ο κόμβος έχει μία λογική εκτίμηση της καθυστέρησης.
        - » Στη συνέχεια πρέπει να κατασκευάσει ένα πακέτο που να περιλαμβάνει όλα όσα ο κόμβος έχει μάθει. Το πακέτο ξεκινά με την ταυτότητα του αποστολέα, συνεχίζεται με έναν αριθμό ακολουθίας και την ηλικία του πακέτου. Στο τέλος υπάρχει μία λίστα των γειτόνων και η εκτίμηση της καθυστέρησης του κόμβου για κάθε ένα από αυτούς.

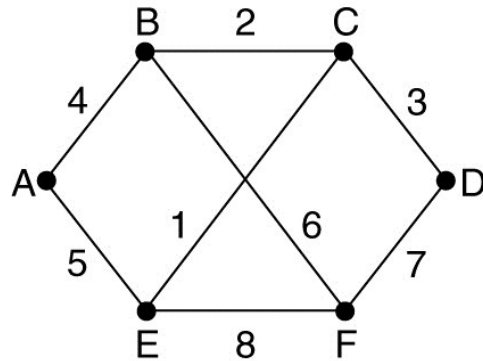


# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Προσαρμοστικοί Αλγόριθμοι Δρομολόγησης
      - Δρομολόγηση με Κατάσταση Συνδέσμων (*Link State Routing*)
        - » Το πακέτο αυτό πρέπει να αποσταλεί σε όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου. Χρησιμοποιείται η μέθοδος της πλημμύρας, όπου για να περιορισθούν τα αντίγραφα των πακέτων, κάθε κόμβος διατηρεί όλα τα πακέτα που έχει λάβει. Κάθε πακέτο χαρακτηρίζεται μοναδικά από το σταθμό προέλευσης και τον αριθμό ακολουθίας του πακέτου. Ένα πακέτο με μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας είναι πιο πρόσφατο από ένα άλλο με μικρότερο αριθμό ακολουθίας που προήλθαν από τον ίδιο σταθμό. Τα αντίγραφα που λαμβάνονται από κάποιον κόμβο απορρίπτονται και τα πακέτα που προέρχονται από τον ίδιο σταθμό προέλευσης, αλλά ο αριθμός ακολουθίας τους είναι μικρότερος από αυτόν που ήδη υπάρχει στη λίστα των πακέτων στον κόμβο απορρίπτονται ως απαρχαιωμένα. Η ηλικία του πακέτου μειώνεται μία φορά ανά δευτερόλεπτο. Το πεδίο ηλικία μειώνεται επίσης από τους δρομολογητές κατά τη διαδικασία της πλημμύρας. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι κανένα πακέτο δεν μπορεί να επιβιώσει για απεριόριστη χρονική περίοδο (τα πακέτα με μηδενική ηλικία απορρίπτονται). Η ηλικία έχει τέτοια τιμή που διασφαλίζει ότι τα πακέτα δεν θα χαθούν, παρά μόνο εάν ο κόμβος καταρρεύσει.
        - » Τέλος, ο κόμβος πρέπει να υπολογίσει τη συντομότερη διαδρομή προς όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου. Μόλις ένας κόμβος συσσωρεύσει ένα πλήρες σύνολο πακέτων κατάστασης συνδέσμων μπορεί να κατασκευάσει το γράφο του δικτύου. Η συντομότερη διαδρομή προς όλους τους πιθανούς προορισμούς μπορεί να κατασκευασθεί με εφαρμογή του αλγορίθμου *Dijkstra*.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



(a)

	Link	State	Packets		
A	B	C	D	E	F
Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.
Age	Age	Age	Age	Age	Age
B   4	A   4	B   2	C   3	A   5	B   6
E   5	C   2	D   3	F   7	C   1	D   7
	F   6	E   1		F   8	E   8

(b)

Δρομολόγηση βάσει κατάστασης συνδέσμων

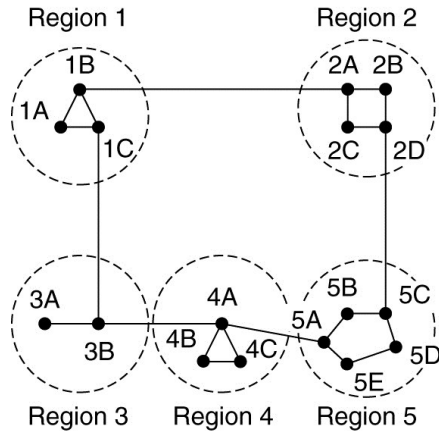


# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Ιεραρχική Δρομολόγηση
      - Οι δρομολογητές διαιρούνται σε περιφέρειες (*regions*).
        - » Κάθε δρομολογητής γνωρίζει πως πρέπει να δρομολογηθούν τα πακέτα μέσα στην περιφέρειά του, δεν γνωρίζει τίποτα όμως για την εσωτερική δομή των άλλων περιφερειών.
      - Πλεονέκτημα: Μείωση καταχωρήσεων στους πίνακες δρομολόγησης που υπάρχουν στους δρομολογητές, μικρότερη πολυπλοκότητα, λιγότερη κατανάλωση πόρων δικτύου.
      - Μειονέκτημα: Επιλογή Διαδρομών Αυξημένου Μήκους.
      - Σχεδιαστική παράμετρο αποτελεί το πλήθος των επιπέδων που πρέπει να έχει η ιεραρχία (περιφέρειες, συστοιχίες, ζώνες, τομείς ...)
        - » Παράδειγμα: ένα υποδίκτυο με 720 δρομολογητές θα χρειαζόταν κάθε δρομολογητής να έχει έναν πίνακα δρομολόγησης με 720 καταχωρήσεις. Αν το υποδίκτυο χωρισθεί σε 24 περιφέρειες με 30 δρομολογητές στην κάθε περιφέρεια, ο πίνακας δρομολόγησης σε κάθε δρομολογητή θα είχε συνολικά 53 καταχωρήσεις (30 τοπικές και 23 απομακρυσμένες καταχωρήσεις). Αν υιοθετηθεί ιεραρχία τριών επιπέδων, με 8 συστοιχίες, με 9 περιφέρειες σε κάθε συστοιχία και 10 δρομολογητές σε κάθε περιφέρεια, κάθε δρομολογητής χρειάζεται 10 τοπικές καταχωρήσεις, 8 καταχωρήσεις για δρομολόγηση στη δική του συστοιχία και 7 καταχωρήσεις για δρομολόγηση σε απομακρυσμένες συστοιχίες (συνολικά 25 καταχωρήσεις).
        - » Βέλτιστο πλήθος επιπέδων για ένα υποδίκτυο  $N$  δρομολογητών είναι  $\ln N$ , το οποίο απαιτεί συνολικά  $e \ln N$  καταχωρήσεις ανά δρομολογητή.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



(a)

Full table for 1A

Dest.	Line	Hops
1A	—	—
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	4
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1C	4
5A	1C	4
5B	1C	5
5C	1B	5
5D	1C	6
5E	1C	5

(b)

Hierarchical table for 1A

Dest.	Line	Hops
1A	—	—
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

(c)

## Ιεραρχική Δρομολόγηση



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δρομολόγηση με Ευρεία Εκπομπή (*Broadcasting*): Αποστολή πληροφορίας προς όλους τους κόμβους του δικτύου
      - Αποστολή διαφορετικών πακέτων σε κάθε προορισμό.
        - » Σπατάλη εύρους ζώνης.
        - » Η πηγή πρέπει να έχει μία λίστα με όλους τους προορισμούς.
      - Πλημμύρα.
        - » Παράγει πάρα πολλά πακέτα.
        - » Καταναλώνει πολύ εύρος ζώνης.
      - Δρομολόγηση πολλαπλών προορισμών (*Multi-destination Routing*)
        - » Κάθε πακέτο περιλαμβάνει τη λίστα όλων των προορισμών.
        - » Όταν το πακέτο φθάσει σε κάποιο δρομολογητή, ο δρομολογητής εξετάζει το σύνολο των προορισμών για να καθορίσει τις γραμμές εξόδου που θα χρειαστούν. Μία γραμμή εξόδου θα χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που βρίσκεται στη βέλτιστη διαδρομή για έναν τουλάχιστον προορισμό.
        - » Ο δρομολογητής παράγει νέα αντίγραφα του πακέτου για κάθε γραμμή εξόδου που θα χρησιμοποιηθεί και κάθε αντίγραφο περιλαμβάνει μόνο τους προορισμούς στους οποίους το πακέτο θα φθάσει από τη συγκεκριμένη γραμμή εξόδου.
        - » Μετά από έναν αριθμό αλμάτων, κάθε πακέτο θα περιλαμβάνει ένα μόνο προορισμό και θα μπορεί να αντιμετωπισθεί σαν κανονικό πακέτο.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δρομολόγηση με Ευρεία Εκπομπή (*Broadcasting*): Αποστολή της πληροφορίας προς όλους τους κόμβους του δικτύου
      - Χρήση Δένδρου Προορισμού (*Sink Tree*) ή Δένδρου Κάλυψης (*Spanning Tree*)
        - » Δένδρο Κάλυψης: Υποσύνολο του δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει όλους τους κόμβους, αλλά δεν περιλαμβάνει βρόχους.
        - » Δένδρο Προορισμού: Το σύνολο των βέλτιστων δρομολογιών από όλες τις προελεύσεις προς ένα συγκεκριμένο προορισμό. Η ρίζα του δένδρου είναι ο προορισμός. Το δένδρο προορισμού δεν είναι απαραίτητως μοναδικό.
        - » Αν κάθε δρομολογητής γνωρίζει τις γραμμές που ανήκουν στο δένδρο – κάλυψης, μπορεί να αντιγράψει το εισερχόμενο πακέτο εκπομπής σε όλες τις γραμμές που ανήκουν στο δένδρο - κάλυψης, εκτός από τη γραμμή από την οποία έφθασε το πακέτο.
        - » Η μέθοδος αυτή κάνει αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης και παράγει το απολύτως ελάχιστο πλήθος πακέτων που απαιτούνται για να γίνει η εκπομπή.
        - » Πρέπει να υπάρχει η γνώση κάποιου δένδρου – κάλυψης από όλους τους δρομολογητές. Μερικές φορές η πληροφορία αυτή είναι διαθέσιμη (δρομολόγηση με κατάσταση συνδέσμων) και μερικές φορές όχι (δρομολόγηση με διανύσματα απόστασης).



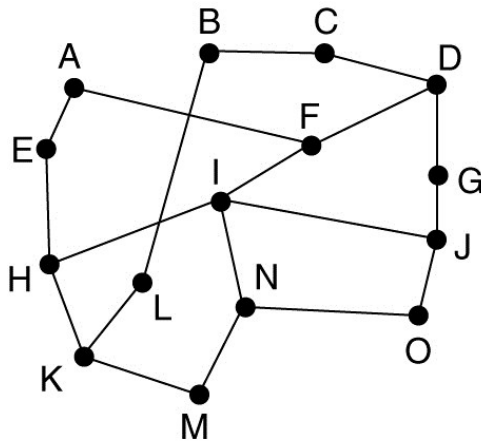
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δρομολόγηση με Εκπομπή (*Broadcasting*)
      - Πρώθηση Αντίστροφης Διαδρομής (*Reverse Path Forwarding*)
        - » Προσέγγιση της συμπεριφοράς του προηγούμενου αλγορίθμου, ακόμη και όταν οι δρομολογητές δεν έχουν γνώση των δένδρων – κάλυψης.
        - » Όταν ένα πακέτο φθάσει σε ένα δρομολογητή, ελέγχει ο δρομολογητής εάν το πακέτο χρησιμοποίησε τη γραμμή που χρησιμοποιείται κανονικά για εκείνη την προέλευση. Αν αυτό ισχύει, ο δρομολογητής θεωρεί ότι είναι το πρώτο αντίγραφο που λαμβάνει και προωθεί αντίγραφά του σε όλες τις γραμμές, εκτός από εκείνη από την οποία έφθασε. Αν το πακέτο φθάσει στο δρομολογητή από μία διαφορετική γραμμή από εκείνη που θα προτιμούσαμε για να φθάσουμε στην προέλευση, το πακέτο απορρίπτεται ως πιθανό αντίγραφο.
        - » Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί οι δρομολογητές να γνωρίζουν τα δένδρα – κάλυψης, είναι απλή στην υλοποίηση, δεν απαιτεί την επιβάρυνση της λίστας προορισμών σε κάθε πακέτο εκπομπής και δεν χρειάζεται κάποιος ειδικός μηχανισμός για να σταματήσει τη διαδικασία, όπως χρειάζεται στη μέθοδο της πλημμύρας.

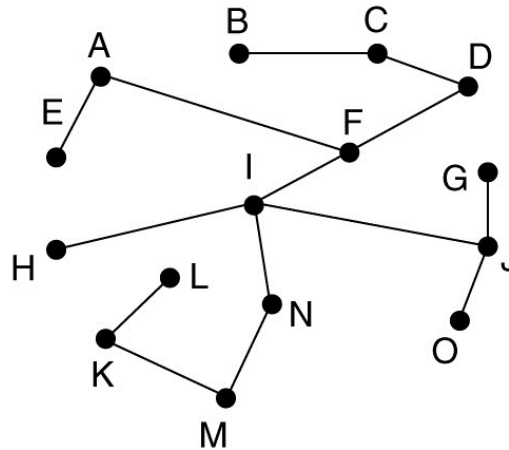




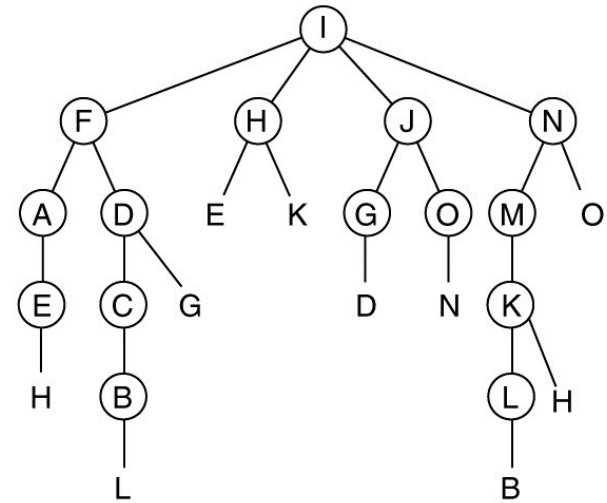
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



(a)



(b)



(c)

Δρομολόγηση Εκπομπής (a) Δίκτυο, (b) Δένδρο Προορισμού για τον κόμβο I, (c) Δένδρο που κατασκευάζεται με την προώθηση της αντίστροφης διαδρομής



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Στρατηγικές Δρομολόγησης

- Δρομολόγηση με Πολυδιανομή (*Multicasting*)

- Αποστολή μηνυμάτων σε αυστηρά καθορισμένες ομάδες, οι οποίες είναι αριθμητικά μεγάλες σε μέγεθος, αλλά μικρές σε σχέση με το σύνολο του δικτύου (οπότε δεν είναι εφαρμόσιμη ούτε η δρομολόγηση με ευρεία εκπομπή, ούτε η αποστολή ξεχωριστών μηνυμάτων σε κάθε μέλος της ομάδας).
      - Η πολυδιανομή απαιτεί διαχείριση των ομάδων (δημιουργία & καταστροφή ομάδων, προσχώρηση και αποχώρηση από ομάδες).
      - Οι δρομολογητές πρέπει να γνωρίζουν ποιοι υπολογιστές ανήκουν σε ποιές ομάδες.
        - » Είτε οι υπολογιστές ενημερώνουν τους δρομολογητές τους για αλλαγές στις ομάδες που ανήκουν.
        - » Είτε οι δρομολογητές περιοδικά ρωτούν τους υπολογιστές στην περιοχή τους σε ποιές ομάδες ανήκουν.
        - » Οι δρομολογητές ενημερώνουν τους γείτονές τους και έτσι οι πληροφορίες διαδίδονται στο δίκτυο.



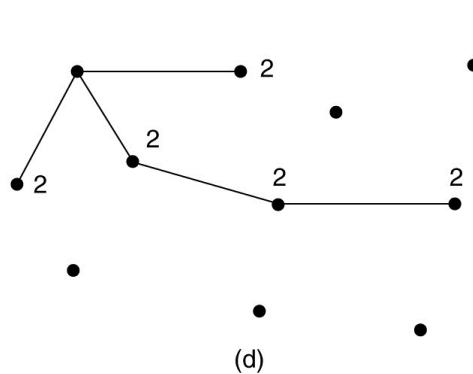
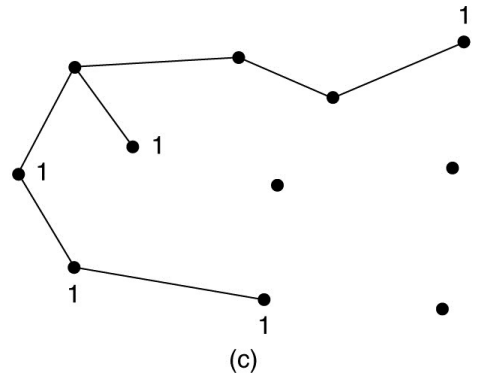
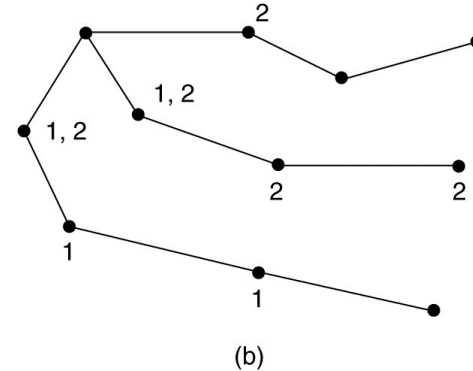
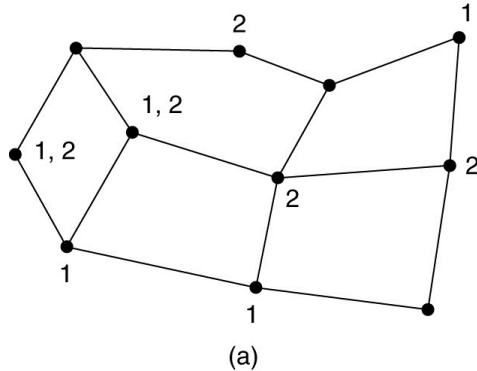
# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δρομολόγηση με Πολυδιανομή (*Multicasting*)
      - Κάθε δρομολογητής φτιάχνει ένα δένδρο – κάλυψης, το οποίο καλύπτει όλους τους υπόλοιπους δρομολογητές.
      - Υποθέτοντας ότι ο κάθε δρομολογητής έχει γνώση της τοπολογίας του δικτύου και των υπολογιστών που ανήκουν σε κάθε ομάδα, το δένδρο – κάλυψης περικόπτεται, απομακρύνοντας όλες τις γραμμές που δεν οδηγούν σε κάποιο μέλος της ομάδας που καθορίζει το πακέτο πολυδιανομής. Επομένως, δημιουργούνται ειδικά δένδρα – κάλυψης για κάθε ομάδα. Τα πακέτα πολυδιανομής προωθούνται μόνο κατά μήκους του κατάλληλου δένδρου – κάλυψης.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



Δρομολόγηση Πολυδιανομής (a) Δίκτυο, (b) Δένδρο Κάλυψης για τον κόμβο αριστερά, (c) Δένδρο πολυδιανομής για την ομάδα 1, (d) Δένδρο πολυδιανομής για την ομάδα 2



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Mobile Ad-Hoc Networks*)
      - Δίκτυα χωρίς υποδομή.
      - Κινητοί Υπολογιστές Υπηρεσίας με ενσωματωμένους δρομολογητές.
      - Περιβάλλον με περιορισμούς εμβέλειας, κατανάλωσης μπαταρίας και εύρους ζώνης και με παρεμβολές.
      - Η τοπολογία ενός δικτύου ειδικού σκοπού μεταβάλλεται συνεχώς, χωρίς προειδοποίηση.
      - Αλγόριθμος Δρομολόγησης με Διανύσματα Απόστασης Κατόπιν Αιτήσεως για Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Ad-Hoc On Demand Routing Vector – AODV*)
        - » Αλγόριθμος Δρομολόγησης με Διανύσματα Απόστασης, προσαρμοσμένος στις ειδικές συνθήκες των δικτύων ειδικού σκοπού.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Στρατηγικές Δρομολόγησης

- Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Mobile Ad-Hoc Networks*)

- Αλγόριθμος Δρομολόγησης με Διανύσματα Αποστάσης Κατόπιν Αιτήσεως για Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Ad-Hoc On Demand Routing Vector – AODV*)

- » Ένα δίκτυο ειδικού σκοπού μπορεί να περιγραφεί από ένα γράφο. Δύο κόμβοι είναι συνδεδεμένοι, αν μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα με τους πομποδέκτες τους (ο ένας βρίσκεται στην εμβέλεια του άλλου). Για λόγους απλότητας θεωρούμε ότι ο γράφος είναι συμμετρικός.

- » Σε κάθε κόμβο διατηρείται ένας πίνακας δρομολόγησης που περιλαμβάνει για προορισμούς τον επόμενο κόμβο στον οποίο πρέπει να αποσταλούν τα πακέτα για να φθάσουν στον καθορισμένο προορισμό.

- » Σε περίπτωση που ένας κόμβος δεν γνωρίζει πώς να φθάσει σε έναν προορισμό αποστέλλει ένα πακέτο ΑΙΤΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ (*RouteRequest*) στους γειτονικούς του κόμβους (στους κόμβους με τους οποίους είναι άμεσα συνδεδεμένος).



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Mobile Ad-Hoc Networks*)
      - Αλγόριθμος Δρομολόγησης με Διανύσματα Αποστάσης Κατόπιν Αιτήσεως για Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Ad-Hoc On Demand Routing Vector – AODV*)
        - » Στο πακέτο ΑΙΤΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ, η διεύθυνση της προέλευσης σε συνδυασμό με τον αριθμό ακολουθίας προέλευσης του πακέτου (μετρητής που καθορίζεται από την προέλευση) καθορίζει μοναδικά το πακέτο. Το πακέτο ΑΙΤΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ αναζητείται από τους γειτονικούς κόμβους σε τοπικούς πίνακες στοιχείων ιστορικού. Εάν το πακέτο υπάρχει, σημαίνει ότι το πακέτο που έχει ληφθεί τώρα είναι αντίγραφο, έχει επεξεργασθεί στο παρελθόν και δεν εξετάζεται περαιτέρω. Αν δεν υπάρχει κάποια σχετική καταχώρηση, δημιουργείται μία νέα καταχώρηση και συνεχίζεται η επεξεργασία.
        - » Οι γειτονικοί κόμβοι εξετάζουν τους δικούς τους πίνακες δρομολόγησης. Εάν βρεθεί κάποια καταχώρηση για τον ζητούμενο προορισμό, για την οποία ισχύει Αριθμός Ακολουθίας Προορισμού > Αριθμός Ακολουθίας Προορισμού του εισερχόμενου πακέτου, τότε επιστρέφουν πίσω στον κόμβο ένα έγκυρο δρομολόγιο. Διαφορετικά, αυξάνουν τον μετρητή αλμάτων του πακέτου κατά 1 και το προωθούν στους γειτονικούς τους κόμβους. Παράλληλα, δημιουργούν μία νέα καταχώρηση στον πίνακα αντίστροφων δρομολογίων τους, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για να κατασκευασθεί το αντίστροφο δρομολόγιο και η απάντηση να φθάσει στην προέλευση και θέτουν σε λειτουργία ένα χρονόμετρο για τη νέα καταχώρηση αντίστροφου δρομολογίου. Αν το χρονόμετρο λήξει, η καταχώρηση διαγράφεται.



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων
  - Στρατηγικές Δρομολόγησης
    - Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Mobile Ad-Hoc Networks*)
      - Αλγόριθμος Δρομολόγησης με Διανύσματα Αποστάσης Κατόπιν Αιτήσεως για Δίκτυα Ειδικού Σκοπού (*Ad-Hoc On Demand Routing Vector – AODV*)
        - » Όταν το πακέτο φθάσει στον προορισμό, τότε ο προορισμός απαντάει στην ΑΙΤΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ με ένα πακέτο ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ. Ο Μετρητής αλμάτων τίθεται στο 0 και αυξάνει κατά 1 σε κάθε κόμβο κατά την αντίστροφη διαδρομή και το πεδίο Χρόνος Ζωής ελέγχει για πόσο χρόνο θα είναι έγκυρο το δρομολόγιο (μπορεί να αρχικοποιηθεί σε τιμή ίση με τη διάμετρο του δικτύου).
        - » Οι ενδιάμεσοι κόμβοι (που βρίσκονται στην αντίστροφη διαδρομή) μαθαίνουν τη διαδρομή προς τον προορισμό.





# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

Source address	Request ID	Destination address	Source sequence #	Dest. sequence #	Hop count
----------------	------------	---------------------	-------------------	------------------	-----------

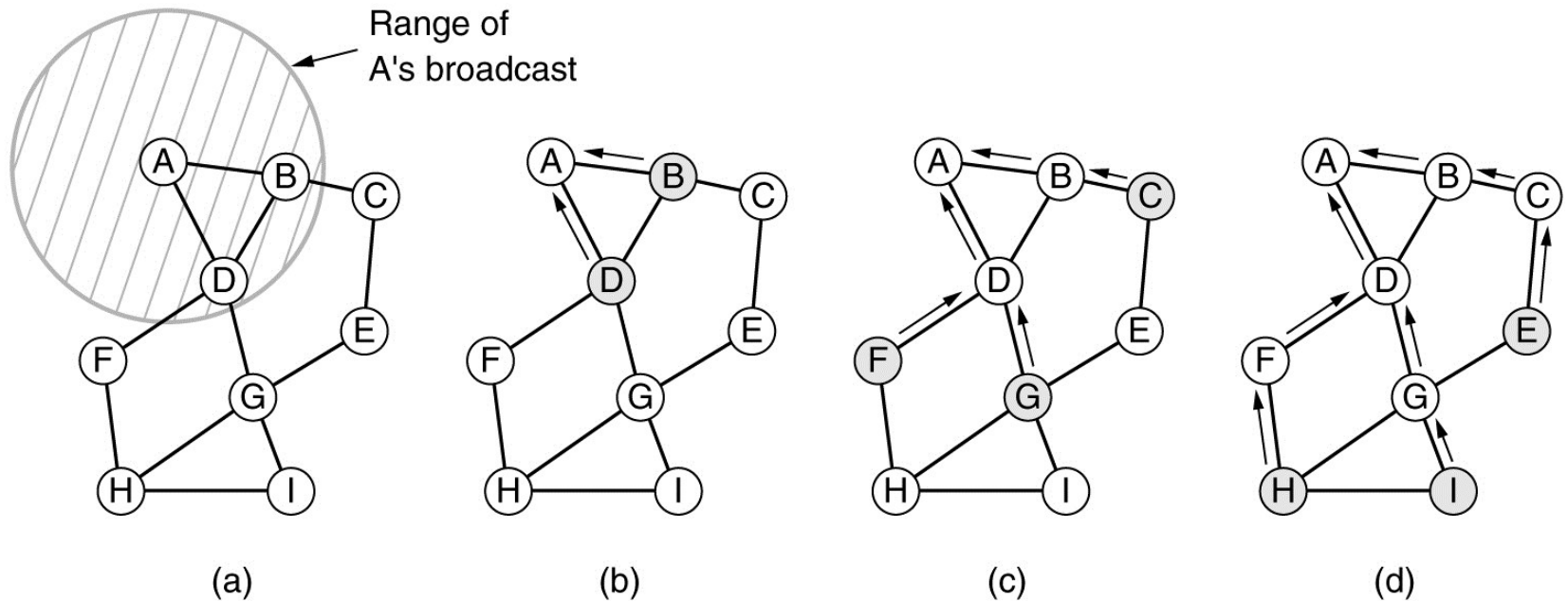
Πακέτο RouteRequest

Source address	Destination address	Destination sequence #	Hop count	Lifetime
----------------	---------------------	------------------------	-----------	----------

Πακέτο RouteReply



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



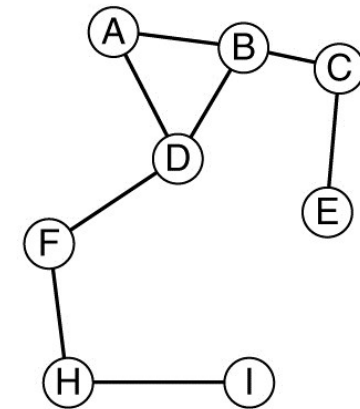
Εύρεση Δρομολογίου σύμφωνα με τον αλγόριθμο *AODV* από τον σταθμό προέλευσης *A* στον σταθμό προορισμού *I*



# Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

Dest.	Next hop	Distance	Active neighbors	Other fields
A	A	1	F, G	
B	B	1	F, G	
C	B	2	F	
E	G	2		
F	F	1	A, B	
G	G	1	A, B	
H	F	2	A, B	
I	G	2	A, B	

(a)



(b)

(α) Πίνακας Δρομολόγησης του κόμβου *D* πριν την κατάρρευση του κόμβου *G*, (β) αναθεωρημένος γράφος δικτύου μετά την κατάρρευση του κόμβου *G*



---

# Τέλος Ενότητας



# Σημείωμα Αναφοράς

---

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Λούτα Μαλαματή. «Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.uowm.gr/courses/ICTE278/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

---

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους  
υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

---

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

1. William Stallings, "Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων", 8η εκδοση
2. Andrew Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών"
3. Α. Αλεξόπουλος και Γ. Λαγογιάννης, "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών"  
Στο μάθημα Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών, επιπρόσθετα στη βιβλιογραφία έχουμε και το Ιάκωβος Βενιέρης, "Δίκτυα Ευρείας Ζώνης"
4. Τεχνολογίες αποκατάστασης εδαφών και υπογείων υδάτων από επικίνδυνους ρύπους, Ε. Γιδαράκος, Μ. Αιβαλιώτη, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2005.
5. Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη, τόμος Β, Καλδέλης Ιωάννης Κ., Κονδύλη Αιμιλία Μ., εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ, 2006.

