



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών

Ενότητα 11: Ασύρματα Ad Hoc Δίκτυα

Καθ. Εμμανουήλ Βαρβαρίγος

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

# Σκοποί ενότητας

- Η εξοικείωση του φοιτητή με τις βασικότερες έννοιες των αδόμητων (Ad Hoc) δικτύων



# Περιεχόμενα ενότητας

Εισαγωγή στα Ad Hoc δίκτυα

Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο (MAC)- Το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού

Δρομολόγηση (flooding, DSR)

Γεωγραφική δρομολόγηση

Έλεγχος ισχύος

Δίκτυα αισθητήρων

Κατευθυντικές Κεραίες



# Εισαγωγή στα Ad Hoc δίκτυα

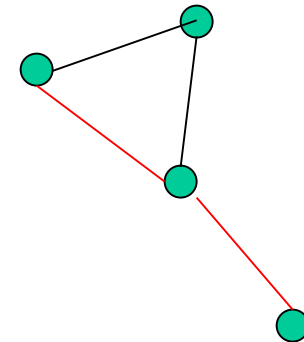
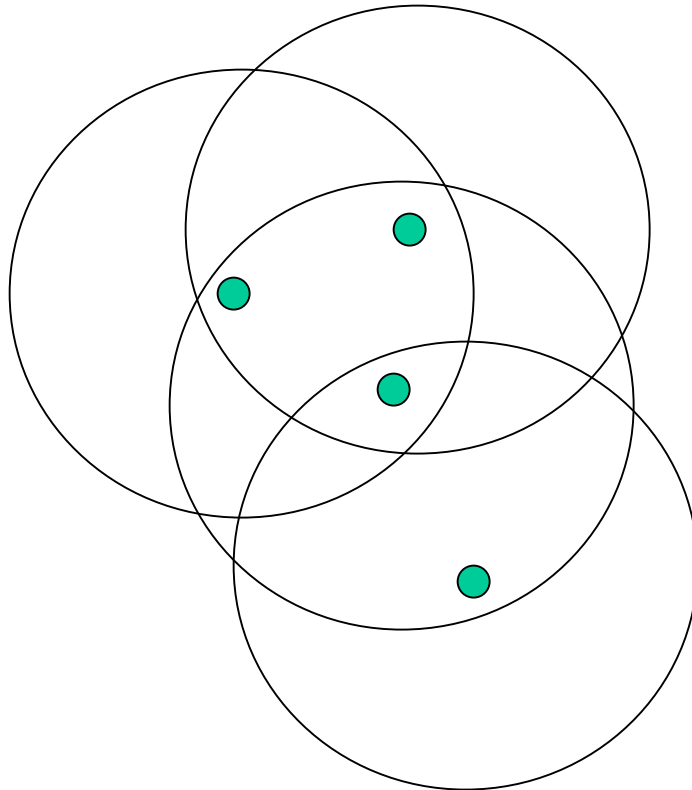
# Ασύρματα Ad Hoc Δίκτυα

(IETF MANET, Packet Radio Networks)

- Σχηματίζονται από ασύρματες μονάδες (που μπορεί να είναι κινητές)
- Χωρίς (απαραίτητα) να χρησιμοποιούν μια προυπάρχουσα υποδομή
- Οι διαδρομές μεταξύ κόμβων μπορεί να περιλαμβάνουν πολλαπλά hop
- Ad hoc δε σημαίνει απαραίτητα πολλαπλά hops (multihop), αλλά στη βιβλιογραφία τυπικά ισχύει η ισοδυναμία τους
- Οι κόμβοι (δρομολογητές/χρήστες) συνήθως κινούνται

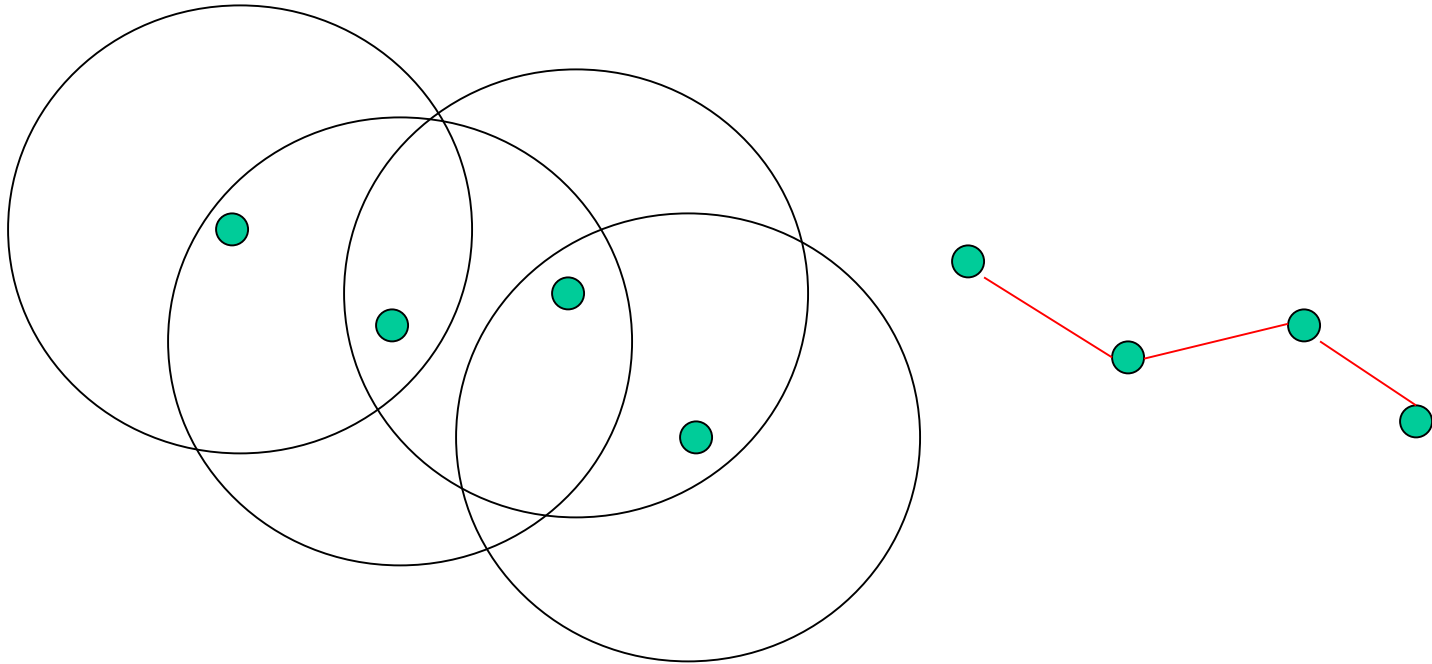
# Ad Hoc Δίκτυα

- Μπορεί να χρειαστεί να διασχίσουμε πολλούς συνδέσμους για να φτάσουμε στον προορισμό.



# Ad Hoc Δίκτυα

- Η κινητικότητα προκαλεί αλλαγές στην τοπολογία



# Ad Hoc Δίκτυα

- Γιατί Ad Hoc δίκτυα;
  - Ευκολία ανάπτυξης
  - Ταχύτητα ανάπτυξης
  - Μειωμένη εξάρτηση από σταθερή υποδομή
- Πολλές εφαρμογές
  - Στρατιωτικό περιβάλλον (στρατιώτες, άρματα μάχης, αεροπλάνα)
  - Πολιτικό περιβάλλον (δίκτυο ταξί, στάδια, πλοία, μικρά αεροσκάφη)
  - Επείγουσες επιχειρήσεις (αναζήτηση και διάσωση, αστυνόμευση και πυρόσβεση)



# Ad Hoc Δίκτυα: Πολλές παραλλαγές

- Πλήρως Συμμετρικό Περιβάλλον
  - Όλοι οι κόμβοι έχουν πανομοιότυπες **δυνατότητες** και **ευθύνες**
- Ασύμμετρες δυνατότητες
  - Η εμπέλεια μετάδοσης, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, οι υπολογιστικοί πόροι (CPU, memory) μπορεί να διαφέρουν από κόμβο σε κόμβο
  - Ταχύτητα κίνησης
- Ασύμμετρες ευθύνες
  - Μόνο κάποιοι κόμβοι μπορούν να δρομολογήσουν πακέτα
  - Κάποιοι κόμβοι μπορεί να λειτουργήσουν σαν **αρχηγοί** των γειτονικών κόμβων (π.χ. αρχηγός συστάδας)

# Ad Hoc Δίκτυα: Πολλές παραλλαγές

- Τα χαρακτηριστικά του φορτίου των δεδομένων μπορεί να διαφέρουν σε διαφορετικά ad hoc δίκτυα: bit rate, χρονικοί περιορισμοί, απαιτήσεις αξιοπιστίας, εκπομπή προς έναν ή πολλούς σταθμούς (unicast/multicast), διευθυνσιοδότηση
- Μπορεί να συνυπάρχει και να συνεργάζεται με ένα κλασσικό δίκτυο που στηρίζεται σε μια συγκεκριμένη υποδομή.
- Τα πρότυπα κινητικότητας μπορεί να διαφέρουν: άνθρωποι που κάθονται στην αίθουσα αναμονής ενός αεροδρομίου, ταξί της Πάτρας, στρατιωτικές μανούβρες, sensor networks, δίκτυα προσωπικής περιοχής (personal area networks)
- Χαρακτηριστικά κινητικότητας: ταχύτητα, προβλεψιμότητα – κατεύθυνση κίνησης, ομοιομορφία (ή έλλειψή της) των χαρακτηριστικών κινητικότητας μεταξύ διαφορετικών κόμβων

# Ad Hoc Δίκτυα: Κάποιες προκλήσεις

- Περιορισμένη εμβέλεια ασύρματης μετάδοσης
- Broadcast φύση του ασύρματου μέσου
- Απώλειες πακέτων λόγω λαθών μετάδοσης
- Κινητικότητα κόμβων
- Ενεργειακοί περιορισμοί
- Ευκολία παρακολούθησης ασύρματων μεταδόσεων (κίνδυνος ασφάλειας)

# Έρευνα στα Ad Hoc Δίκτυα

- Παραλλαγές στις δυνατότητες και ευθύνες των κόμβων  
×
- Παραλλαγές σε χαρακτηριστικά κίνησης, κριτήρια απόδοσης (π.χ. βελτιστοποίηση ρυθμαπόδοσης, μείωση κατανάλωσης ενέργειας), κλπ  
×
- Προκλήσεις  
+
- Εμπορικό ενδιαφέρον/χρηματοδότηση έρευνας  
=

Σημαντική ερευνητική δραστηριότητα

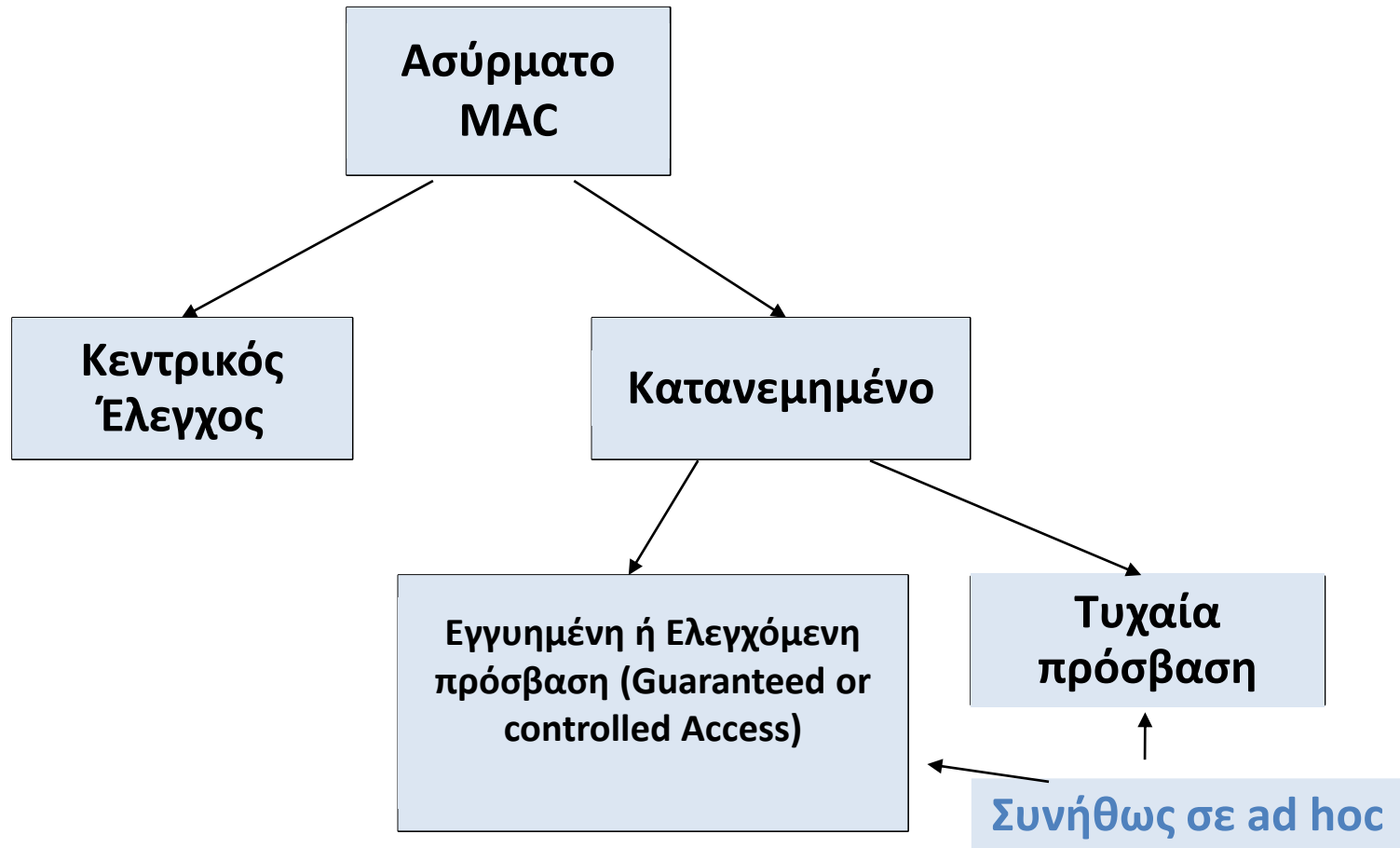
# Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο (MAC)

Και το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού

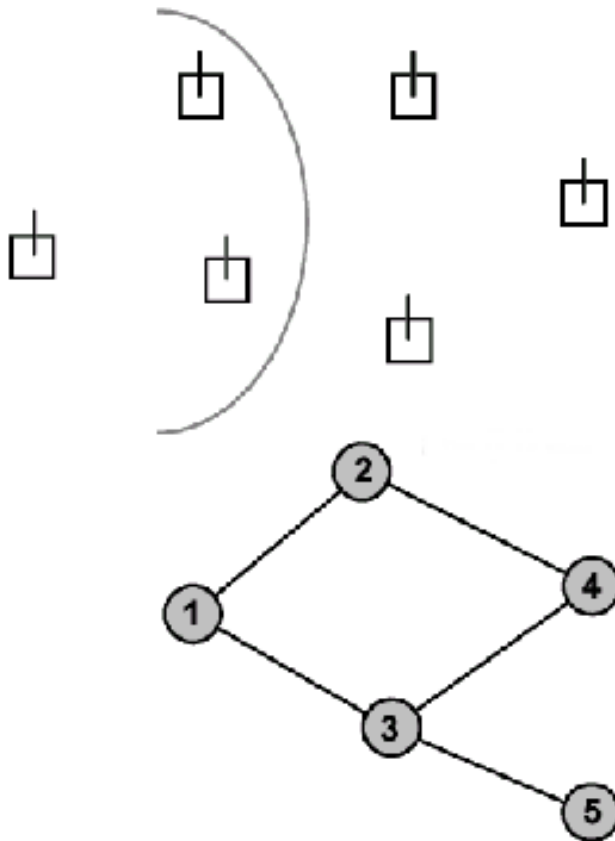
# Έλεγχος Πρόσβασης στο Μέσο Μετάδοσης (επίπεδο MAC)

- Το ασύρματο κανάλι είναι ένα διαμοιραζόμενο μέσο μετάδοσης.
- Απαιτείται έλεγχος πρόσβασης για να αποφευχθεί η παρεμβολή.
- Ο σχεδιασμός πρωτοκόλλων MAC είναι μια ενεργής περιοχή έρευνας για πολλά χρόνια.
- Μια βασική διαφορά είναι, πως η υπόθεση του αξιόπιστου feedback δεν ισχύει πια.

# MAC: Μια απλή κατάταξη



# Δίκτυα Ραδιοπακέτων

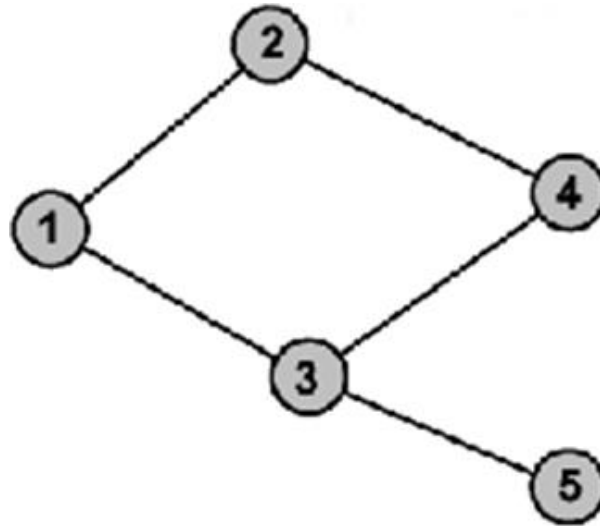


- Η ακμή  $(i,j)$  υπάρχει, όταν ο  $j$  μπορεί να ακούει τον  $i$
- **Σύνολο ελεύθερο από συγκρούσεις (collision free set - CFS):**

*ένα σύνολο συνδέσμων που μπορεί να μεταφέρει πακέτα συγχρόνως, χωρίς να συμβαίνει σύγκρουση στους δέκτες*



# Διανύσμα Έλλειψης Συγκρούσεων (collision free vector - CFV)



$(1, 2)$	$(2, 1)$	$(1, 3)$	$(3, 1)$	$(2, 4)$	$(4, 2)$	$(3, 4)$	$(4, 3)$	$(3, 5)$	$(5, 3)$
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

# Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM)

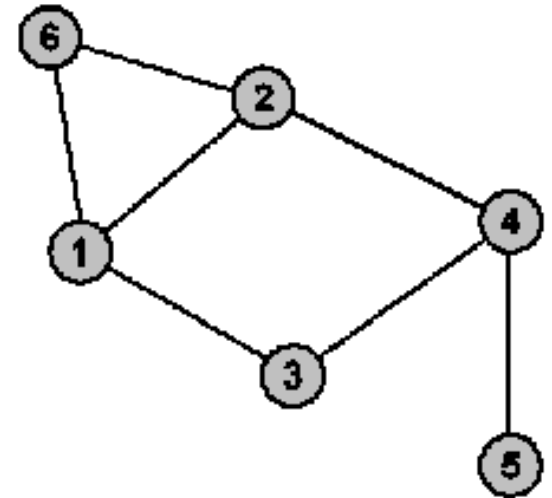
- $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_j \in \{0,1\}^L$  είναι CFVs,  $L$  είναι ο αριθμός των συνδέσμων
- Δίνουμε μια σχισμή σε κάθε σύνολο ελεύθερο από συγκρούσεις (CFV)
- $\bar{f} = \frac{\sum_{j=1}^J \bar{x}_j}{J}$  διάνυσμα που δίνει το κλάσμα του χρόνου χρήσης κάθε συνδέσμου  
(διάνυσμα χρησιμοποίησης, *utilization vector*)

# Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM)

- Γενικότερα : Έστω  $a_j$  το ποσοστό του χρόνου που το  $j$ -στο CFV χρησιμοποιείται
- Έστω  $\bar{a}$  το διάνυσμα που περιέχει όλα τα  $a_j$
- $\sum_{j=1}^J a_j = 1$ ,  $\bar{f}(\bar{a}) = \sum_{j=1}^J a_j \bar{x}_j$  διάνυσμα που δίνει ένα μέρος (κλάσμα) του χρόνου χρήσης κάθε συνδέσμου
- Δεδομένου ενός  $\overline{f_{desired}}$ , βρες  $a_j$  τέτοια ώστε  $\bar{f}(\bar{a}) = \overline{f_{desired}}$ ,  $\sum_{j=1}^J a_j \leq 1$
- Ακόμα χειρότερα: τα ελεύθερα από συγκρούσεις σύνολα αλλάζουν (στην πραγματικότητα ακόμα και για ένα στατικό δίκτυο, είναι NP-complete)

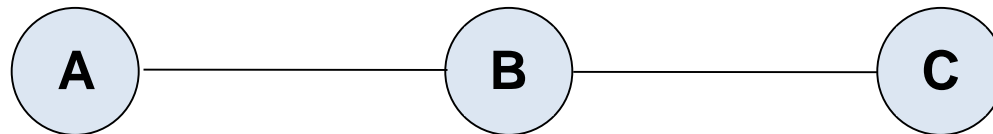
# Τεχνικές επίλυσης συγκρούσεων για Packet Radio

- π.χ. Aloha με σχισμές
- Το πρόβλημα είναι το αναξιόπιστο feedback.
- Παράδειγμα 1:  $1 \rightarrow 2$  και  $4 \rightarrow 5 \Rightarrow$  σύγκρουση στο 2, αλλά ο 1 δεν το ξέρει
- Παράδειγμα 2:  $6 \rightarrow 1$  και  $4 \rightarrow 5 \Rightarrow$  και οι δύο μεταδόσεις είναι επιτυχείς, αλλά υπάρχει σύγκρουση στον 2, που δεν ξέρει αν η μετάδοση προοριζόταν για αυτόν
- **Λύση: Χρήση ACK**



# Πρόβλημα Κρυμμένου Τερματικού

- Ο κόμβος B μπορεί να επικοινωνήσει και με τον A και με τον C
- Οι A και C δεν μπορούν να ακούσουν ο ένας τον άλλον
- Όταν ο A μεταδίδει στον B, ο C δεν μπορεί να ανιχνεύσει τη μετάδοση χρησιμοποιώντας το μηχανισμό **ανίχνευσης φέροντος (carrier sensing)**
- Αν ο C μεταδώσει την ίδια στιγμή με τον A, θα έχουμε παρεμβολή στον B



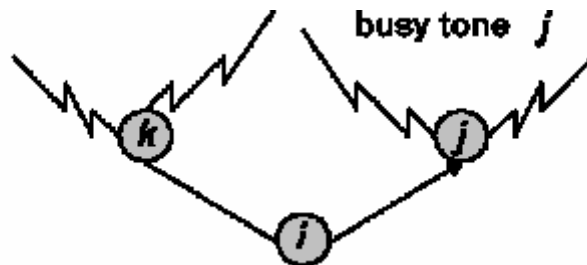
# Πρόβλημα Κρυμμένου Τερματικού



- το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού (hidden terminal): ο C δεν μπορεί να ακούσει τις μεταδόσεις του A
- το πρόβλημα του εκτεθειμένου τερματικού (exposed terminal): ο C αναβάλλει τη μετάδοση προς τον D, γιατί ακούει τη μετάδοση του B

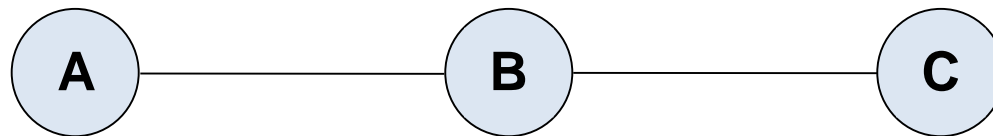
# Busy Tone [Tobagi75,Haas98]

- Ένας δέκτης μεταδίδει ένα συγκεκριμένο σήμα (busy tone), όταν λαμβάνει δεδομένα
- Όλοι οι κόμβοι που ακούνε το busy tone δε μεταδίδουν
- Η μέθοδος αυτή αποτρέπει την παρεμβολή από τα κρυφά τερματικά
- Αλλά απαιτεί ένα ξεχωριστό κανάλι για να χρησιμοποιηθεί ως busy tone



# Άλλη λύση για το Πρόβλημα του Κρυμμένου Τερματικού

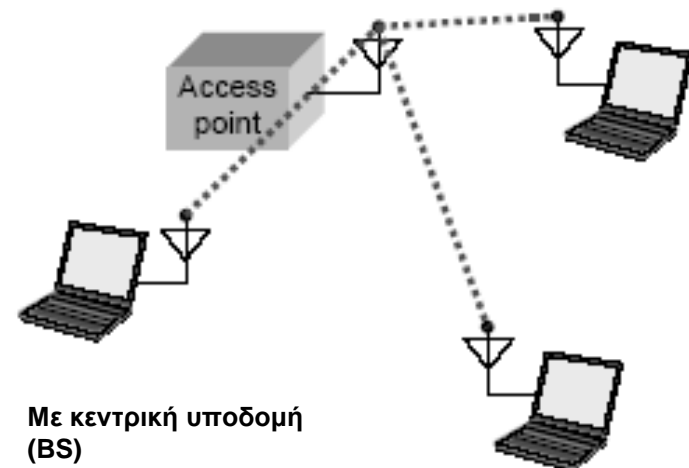
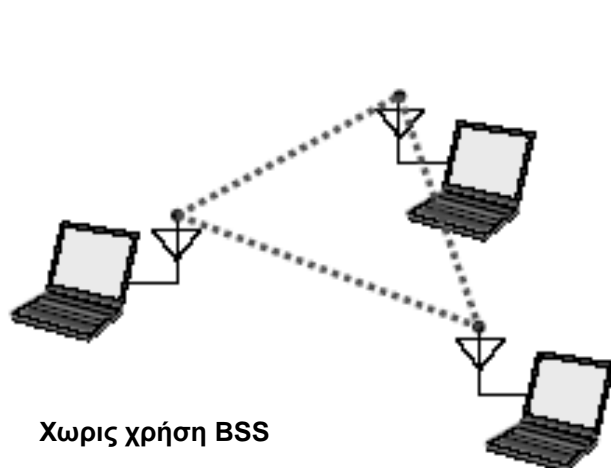
- Όταν ο κόμβος A θέλει να στείλει ένα πακέτο στον B, του στέλνει πρώτα ένα πακέτο **Αίτησης για Αποστολή (Request to Send - RTS)**
- Με το που λαμβάνει το **RTS**, ο B απαντάει στέλνοντας **Ελεύθερο για Αποστολή (Clear to Send - CTS)**, αν ο A μπορεί να λάβει το πακέτο
- Όταν ένας κόμβος (όπως ο C) ακούσει ένα **CTS**, δε μεταδίδει τίποτα κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, η οποία περιλαμβάνεται στα RTS και CTS.





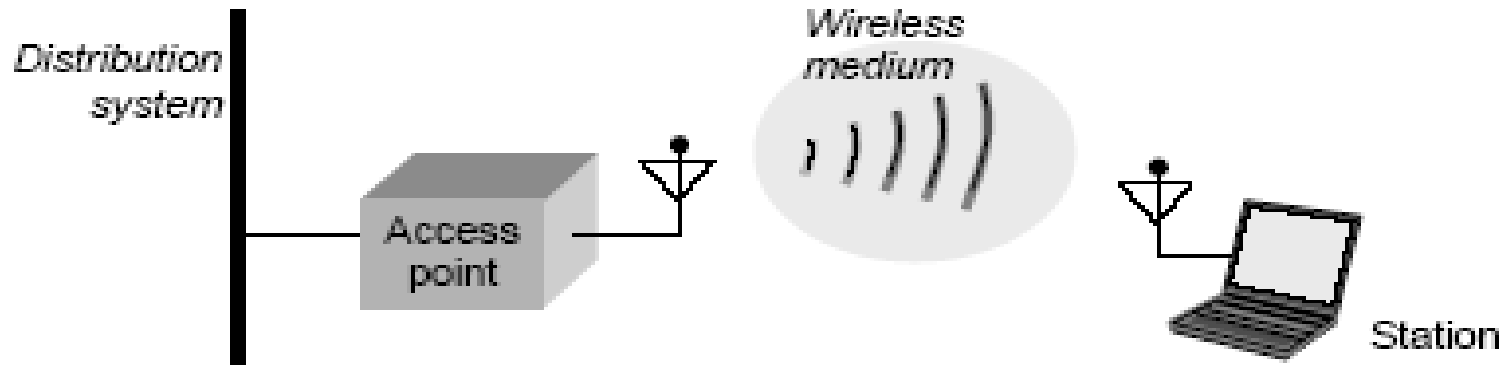
# IEEE 802.11 Ασύρματο MAC

- κατανεμημένα και κεντρικά MAC στοιχεία
  - Distributed Coordination Function - DCF
  - Point Coordination Function - PCF
- το DCF κατάλληλο για multihop ad hoc δίκτυα
- το DCF χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο Ανίχνευσης Φέροντος Πολλαπλής Πρόσβασης με Αποφυγή Σύγκρουσης (CSMA/CA)

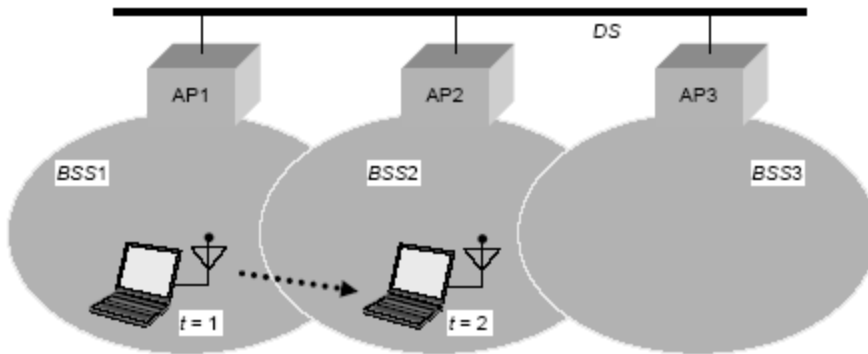


# Wi-Fi συστήματα (802.11)

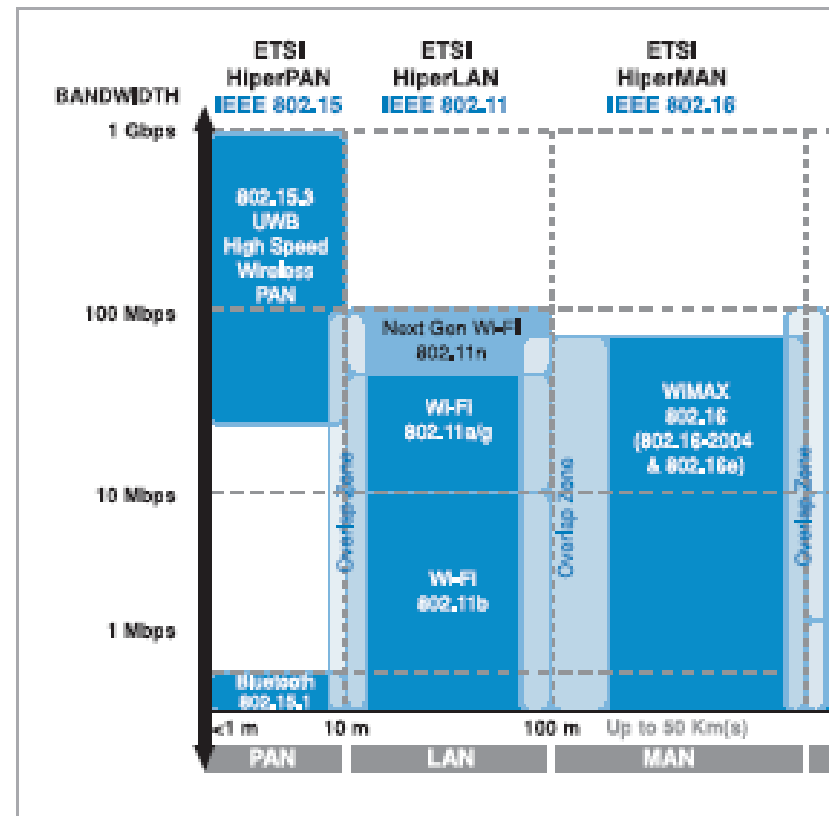
## Στοιχεία του 802.11 για LANs



# Wi-Fi συστήματα (802.11)

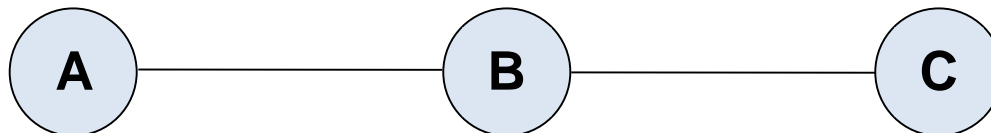


σύνολο εκτεταμένης υπηρεσίας και υποστήριξη κινητικότητας

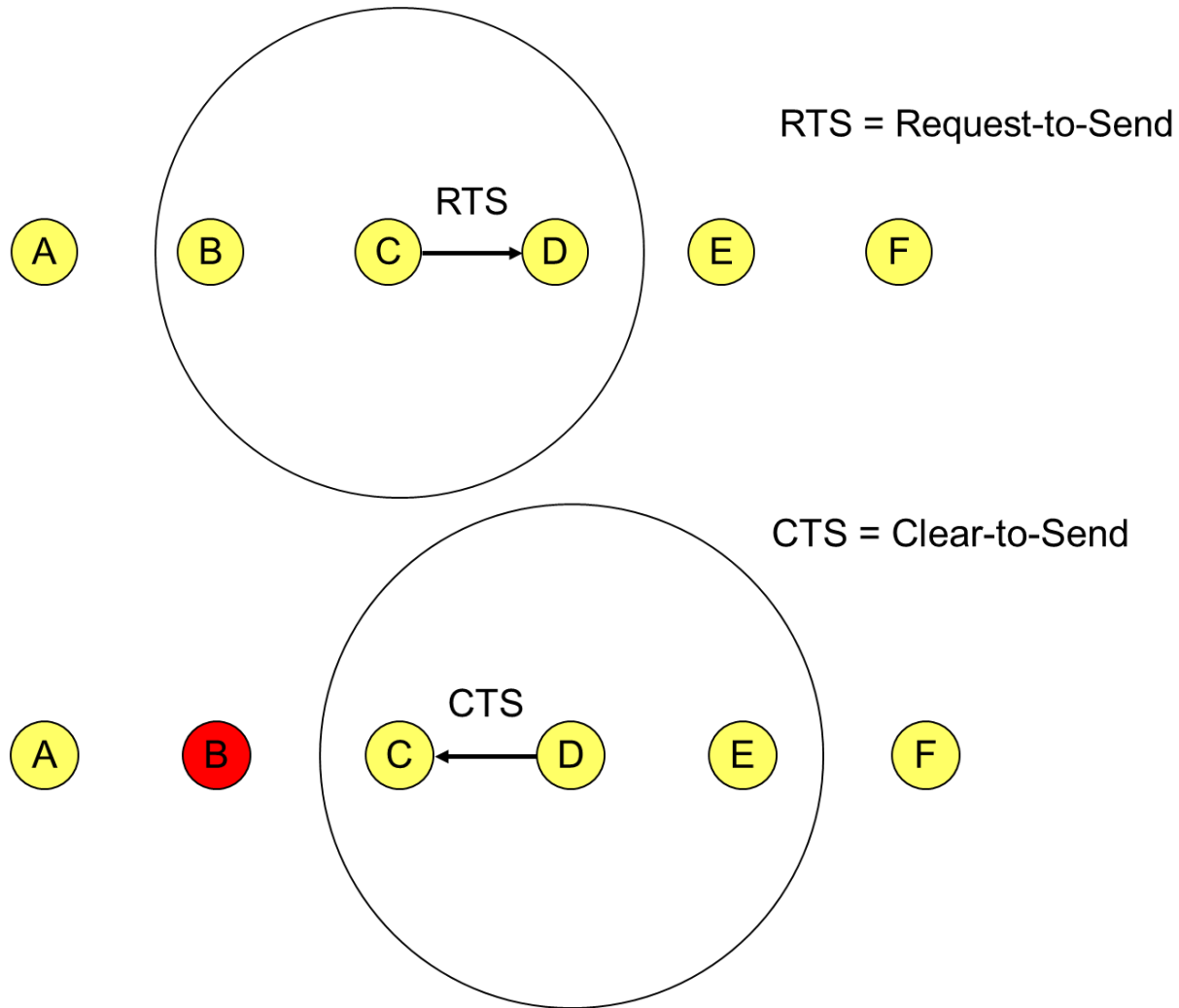


# IEEE 802.11 DCF

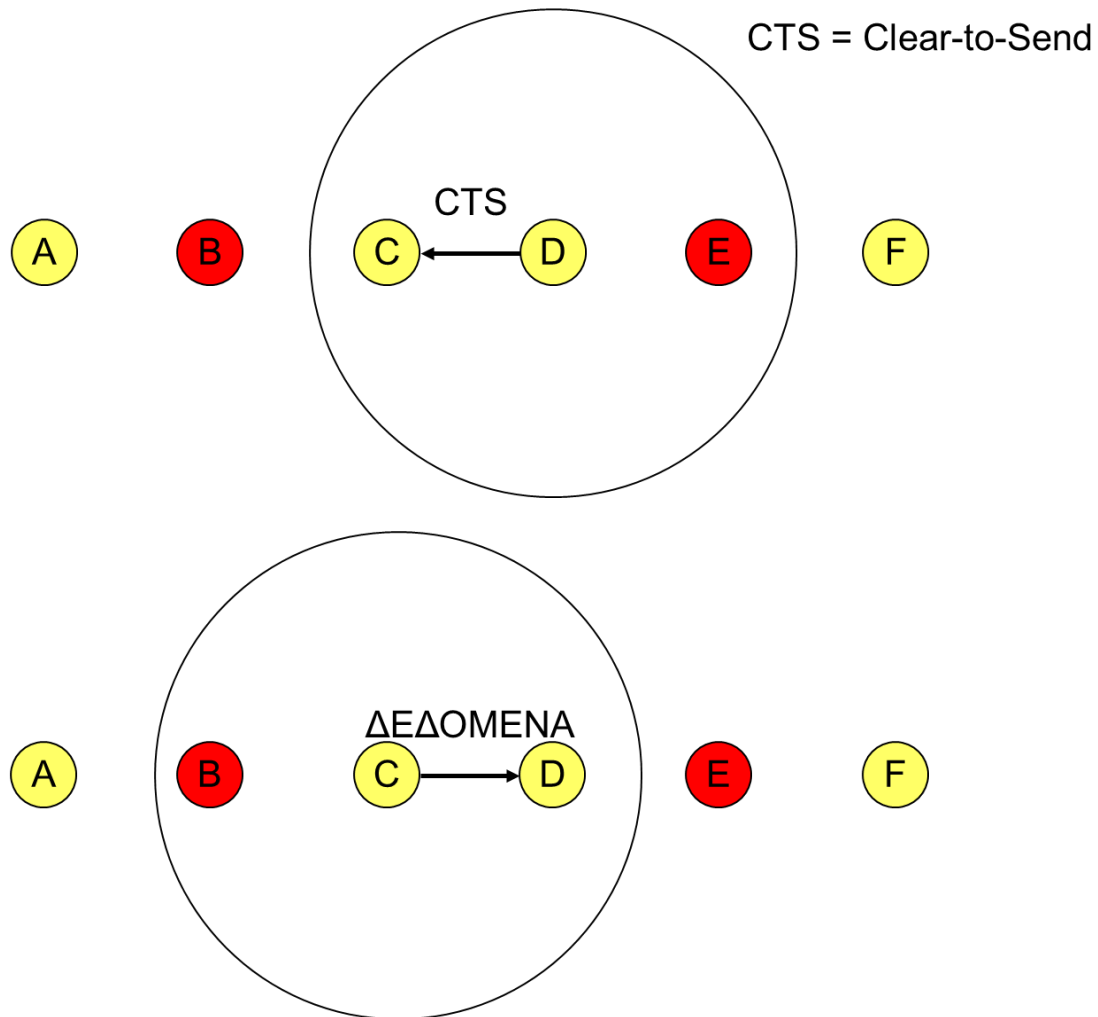
- Χρησιμοποιεί ανταλλαγή RTS-CTS για να αποφύγει το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού.
- Χρησιμοποιεί ACK για να πετύχει αξιοπιστία.
- Οποιος κόμβος ακούει το CTS, δεν μπορεί να μεταδώσει κατά τη διάρκεια της μεταφοράς δεδομένων
- Επίσης όποιος κόμβος ακούει το RTS, δεν μπορεί να μεταδώσει κατά τη διάρκεια της μεταφοράς δεδομένων
  - Για να αποτραπεί σύγκρουση με το ACK όταν φτάσει στον αποστολέα
  - Όταν ο B στέλνει δεδομένα στον C, ο A θα μείνει ήσυχος



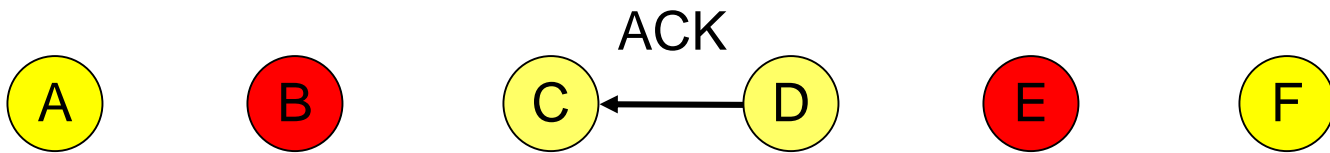
# IEEE 802.11



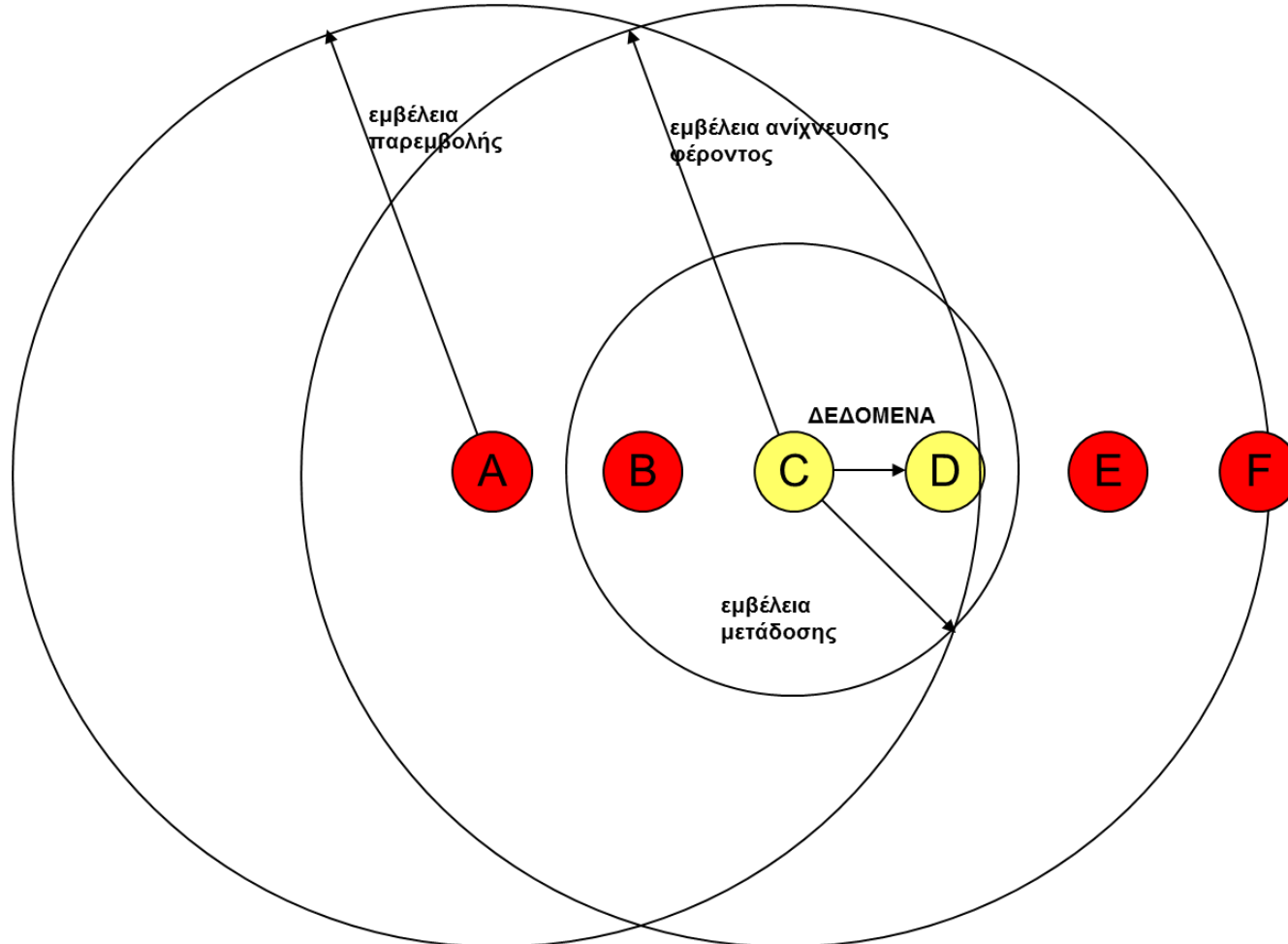
# IEEE 802.11



# IEEE 802.11



# IEEE 802.11





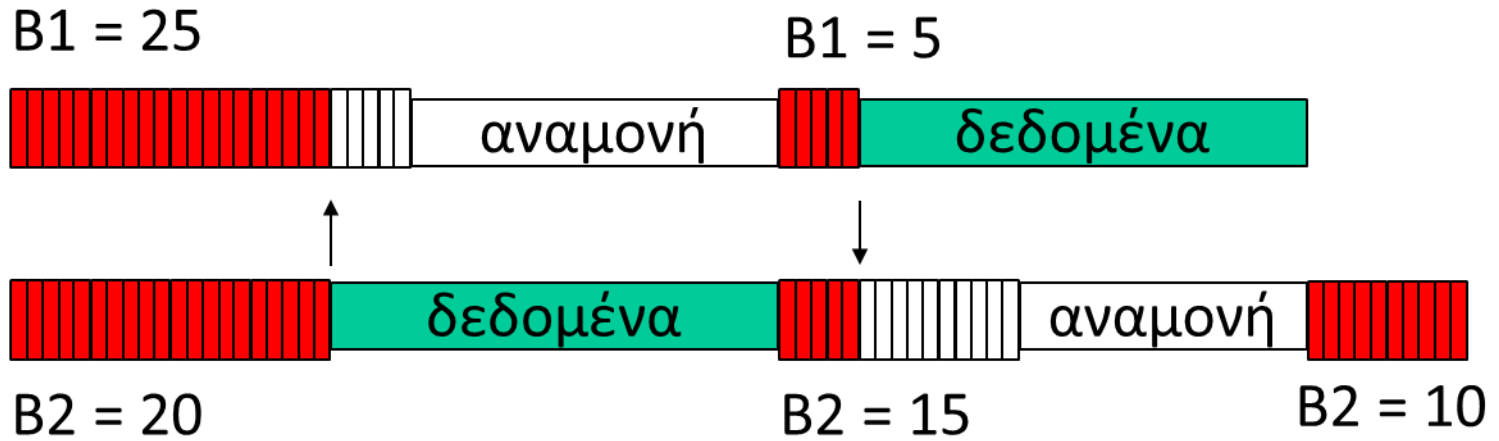
# CSMA/CA

- Ανίχνευση φέροντος στο 802.11
  - Φυσική ανίχνευση (Physical carrier sense)
  - Εικονική ανίχνευση (Virtual carrier sense) χρησιμοποιώντας το Network Allocation Vector (NAV)
  - Η ενημέρωση του NAV γίνεται με βάση τα πακέτα RTS/CTS/DATA/ACK που έχουν ακουστεί και τα οποία φέρουν την πληροφορία της διάρκειας μιας μετάδοσης που εκκρεμεί
- Αποφυγή σύγκρουσης
  - Οι κόμβοι παραμένουν σιωπηλοί όταν ανιχνεύουν φέρον (φυσικά ή εικονικά)
  - Χρησιμοποιούνται διαστήματα οπισθοχώρησης (backoff intervals) για τη μείωση της πιθανότητας σύγκρουσης

# Διάστημα Οπισθοχώρησης (Backoff Interval)

- Όταν μεταδίδεται ένα πακέτο, επιλέγεται ένα διάστημα οπισθοχώρησης μέσα στο εύρος τιμών  $[0, cw]$ 
  - $cw$  είναι το παράθυρο ανταγωνισμού (contention window)
- Αντίστροφη μέτρηση όσο το κανάλι είναι αδρανές
  - Η αντίστροφη μέτρηση αναστέλλεται για τα διαστήματα που το κανάλι είναι ενεργό
- Όταν φτάσει στο 0, μετάδοση RTS

# Παράδειγμα DCF



$cw = 31$

**B1 και B2 είναι τα διαστήματα  
οπισθοχώρησης των κόμβων 1 και 2**

# Διάστημα Οπισθοχώρησης

- Η επιλογή ενός **μεγάλου cw** οδηγεί σε μεγάλα διαστήματα οπισθοχώρησης, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο overhead
- Η επιλογή ενός **μικρού cw** οδηγεί σε μεγαλύτερο αριθμό συγκρούσεων (όταν δύο κόμβοι φτάσουν στο 0 συγχρόνως)
- Αφού ο αριθμός των κόμβων που προσπαθούν να μεταδώσουν την ίδια στιγμή μπορεί να αλλάζει με το χρόνο, απαιτείται κάποιος μηχανισμός για τη διαχείριση του ανταγωνισμού
- IEEE 802.11 DCF: το παράθυρο ανταγωνισμού **cw** επιλέγεται δυναμικά, εξαρτώμενο από την συχνότητα εμφάνισης συγκρούσεων

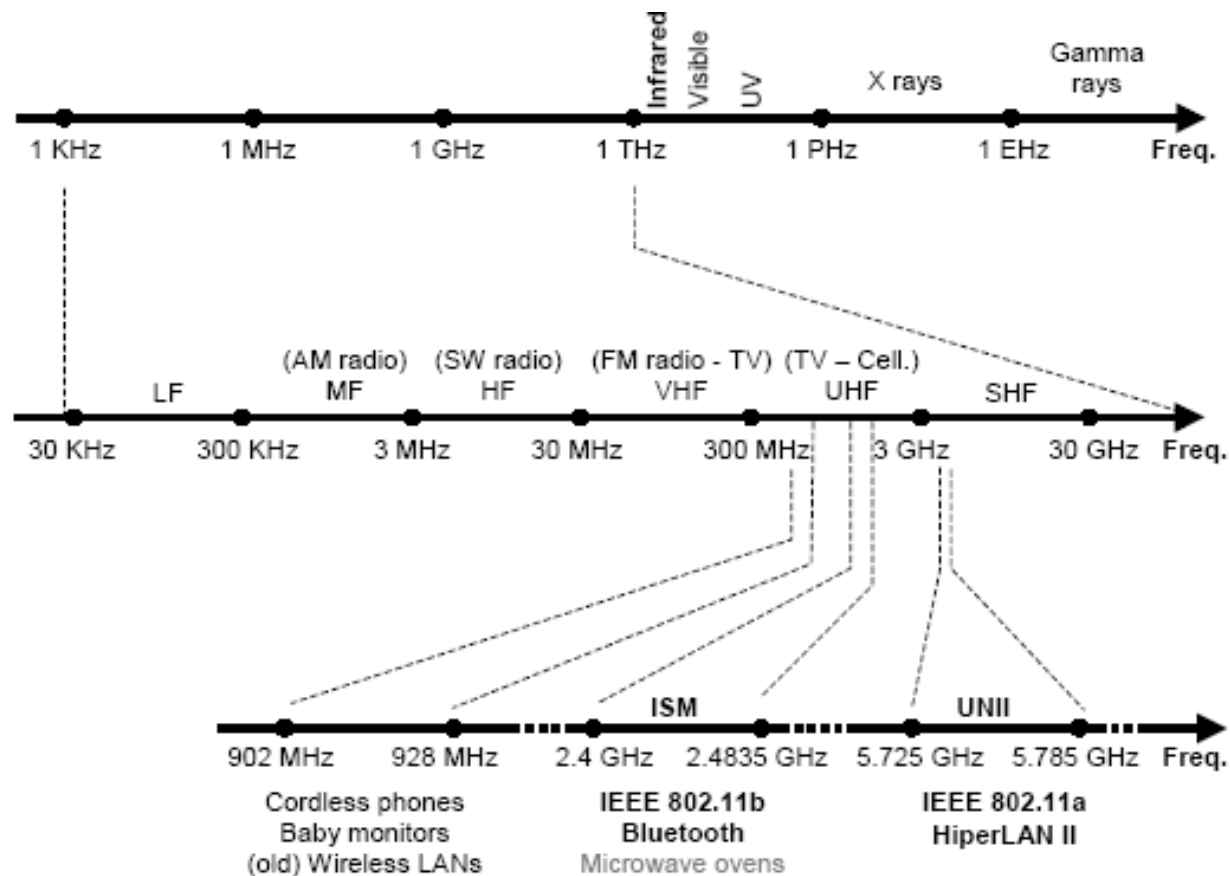
# Δυαδική Εκθετική Οπισθοχώρηση στο DCF

- Όταν ένας κόμβος δε λάβει CTS σε απάντηση κάποιου RTS που έστειλε, διπλασιάζει το  $cw$  (μέχρι κάποιο άνω όριο)
- Όταν ένας κόμβος ολοκληρώνει επιτυχημένα μια μεταφορά δεδομένων, επαναφέρει το  $cw$  σε  $cw_{min}$

## Ο MILD αλγόριθμος για οπισθοχώρηση στο πρωτόκολλο MACAW

- Όταν ένας κόμβος ολοκληρώνει επιτυχημένα μια μεταφορά δεδομένων, μειώνει το  $cw$  κατά 1
  - Στο 802.11 το  $cw$  επαναφέρεται στο  $cw_{min}$ , η μείωση του  $cw$  είναι πολύ γρηγορότερη από την αύξηση
  - MACAW: η μείωση του  $cw$  είναι πιο αργή από την αύξηση (εκθετική αύξηση - γραμμική μείωση)
- Το MACAW αποφεύγει μεγάλες μεταβολές του  $cw$ , όταν ανταγωνίζεται μεγάλος αριθμός κόμβων για το κανάλι

# Κατανομή του Φάσματος



The electromagnetic spectrum allocation. ISM = Industry, Science & Medicine, UNII = Unlicensed National Information Infrastructure.

# IEEE 802.11 οικογένεια προτύπων

802.11a, προϊόντα εμφανίσθηκαν το 2001. Μέχρι 54Mbps, στα 5GHz. OFDM

802.11b προϊόντα εμφανίσθηκαν το 1999. Μέχρι 11Mbps, στα 2.4GHz. DSSS

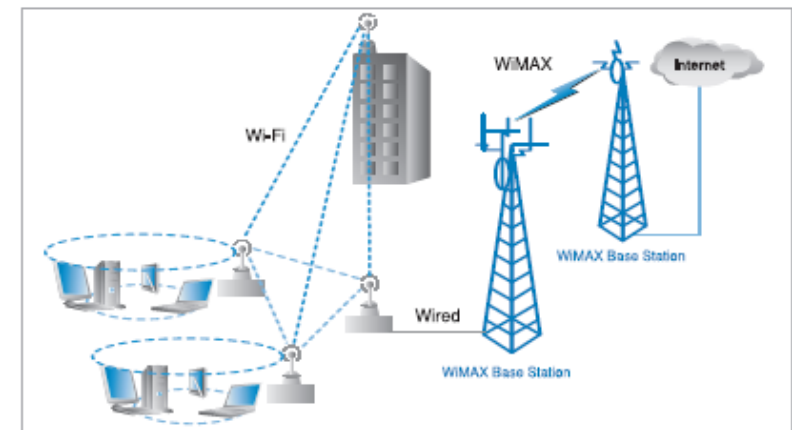
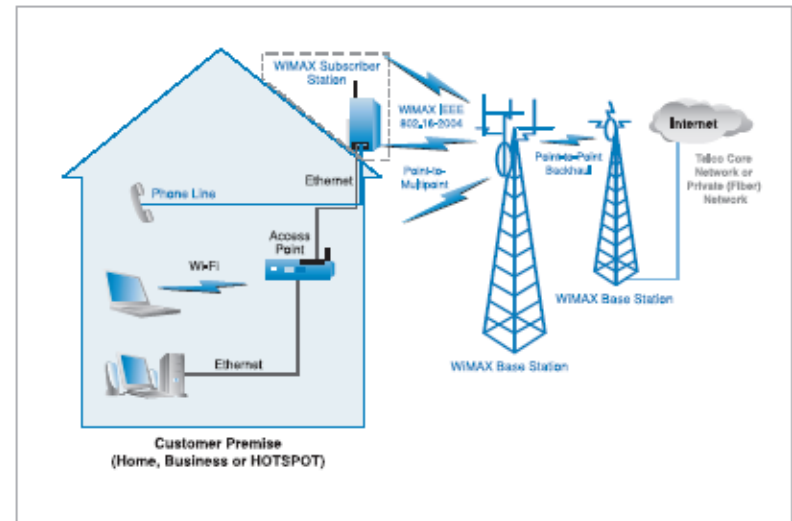
802.11g διάδοχος του 802.11b, μέχρι 54Mbps, στα 2.4GHz. OFDM

802.11h, θα είναι το ευρωπαϊκό 802.11a, στα 5GHz.

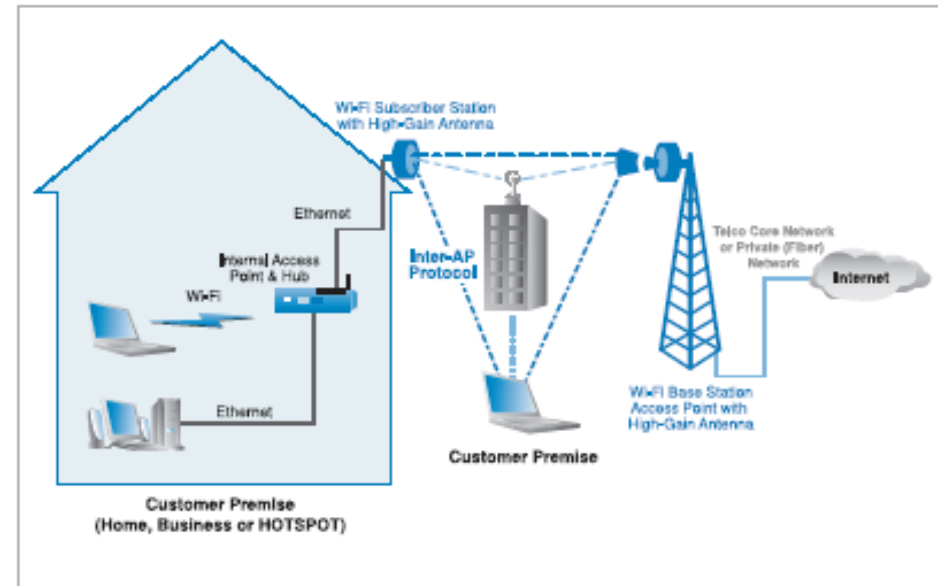
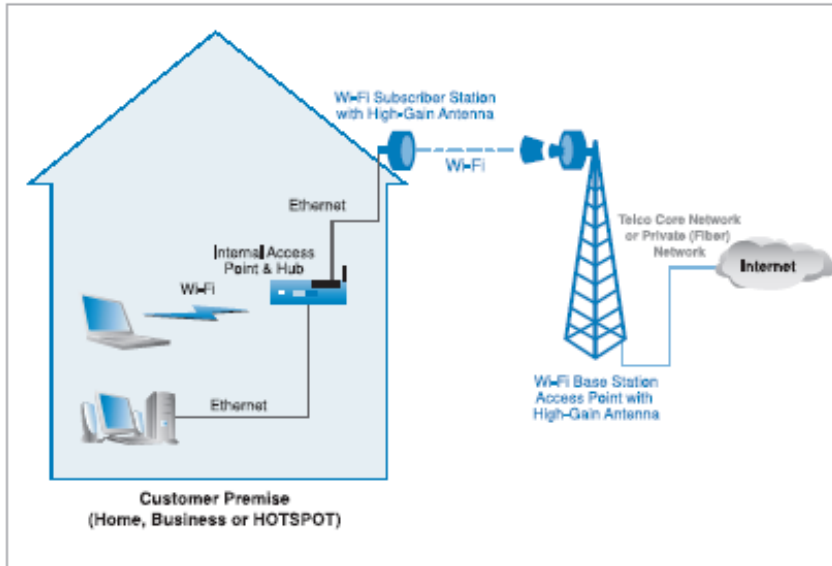
Άλλα: 802.11i που χρησιμοποιεί το Temporal Key Integrity Protocol (TKIP) για “αρκετά καλή ασφάλεια”. 802.11x της Microsoft για authentication.

Τα παραπάνω (Wi-Fi) συστήματα δουλεύουν καλά κυρίως για αποστάσεις της τάξης των 100μ.

Για μεγαλύτερες αποστάσεις το WiMax (802.15) δίνει μεγαλύτερες ταχύτητες (75Mbps) και αποστάσεις (kms)

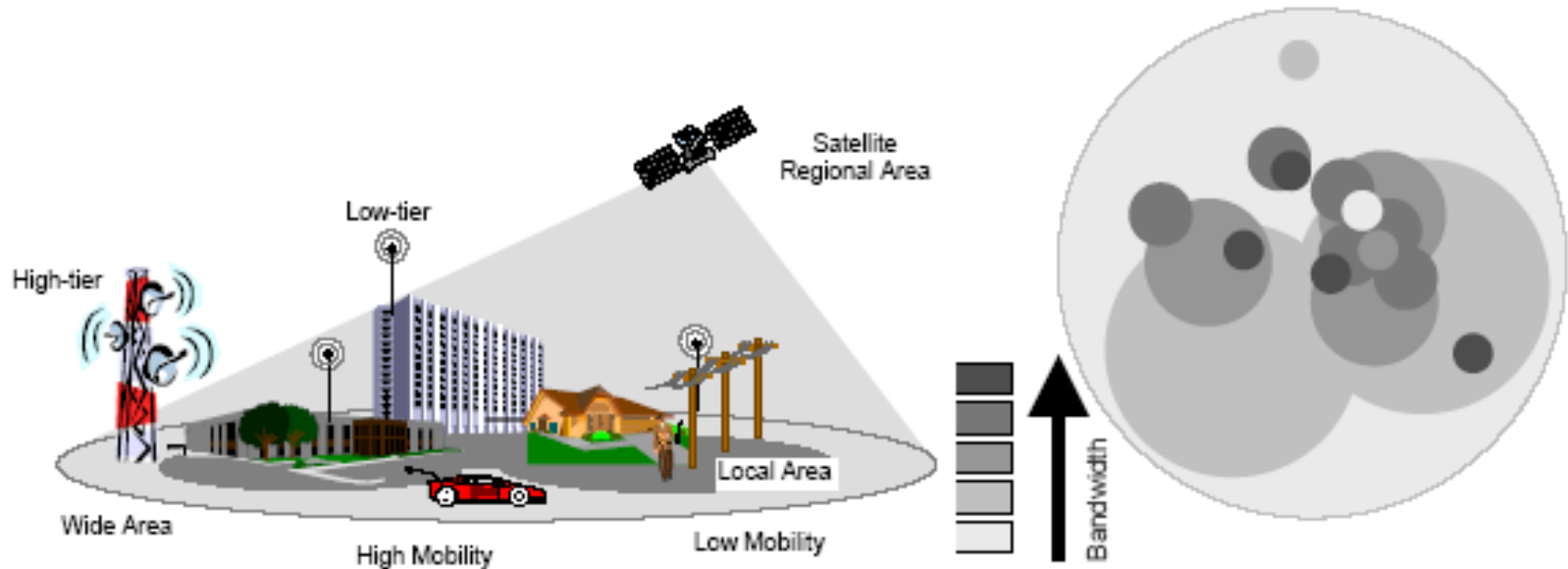


# 802.11 last mile/mesh networks





# Κυψελωτή ιεραρχία και ετερογενή ασύρματα δίκτυα δεδομένων



**Cellular hierarchy and heterogeneous wireless data networks.**

# Δρομολόγηση σε Ad Hoc Δίκτυα

(flooding, DSR)

# Αλγόριθμοι Δρομολόγησης για Μεγάλα Δίκτυα

- Θέματα μεγάλων δικτύων
  - Η αύξηση του αριθμού των κόμβων, με σταθερή πυκνότητα κόμβων, οδηγεί στην αύξηση του μέσου αριθμού hop κατά  $O(N^{0.5})$
  - Το διαθέσιμο εύρος ζώνης για κάθε χρήστη μειώνεται κατά  $N^{0.5}$
- **Τα κλασσικά πρωτόκολλα ενημέρωσης τοπολογίας δικτύου απλώς δεν δουλεύουν**
  - Ο χρόνος για να διαδοθούν στο δίκτυο οι ενημερώσεις για τη δρομολόγηση μεγαλώνει με  $N^{0.5}$ . Αυτό σημαίνει, πως οι πληροφορίες αυτές πρέπει να μεταδίδονται πιο συχνά καθώς μεγαλώνει το δίκτυο, έτσι επιβαρύνεται το δίκτυο.
  - Οι τεχνικές δρομολόγησης που καθοδηγούνται από γεγονότα (**event-driven routing**) δε βοηθάνε: πάνω από κάποιο όριο, όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης διατίθεται για τις πληροφορίες δρομολόγησης.
  - Κυριως χρησιμοποιούνται **on demand** τεχνικές όπως θα δουμε
- **Μια Λύση:** Χρήση συνδεσμων “ραχοκοκκαλιάς” (backbone), για να διασφαλιστεί πως το μέσο μήκος των διαδρομών μεγαλώνει πιο αργά με το μέγεθος του δικτύου.

# Μερικές εφικτές προσεγγίσεις

- **Απόκρυψη λεπτομερειών για τα μακρινά μέρη του δικτύου ή αποστολή πληροφοριών για μακρινά μέρη λιγότερο συχνά**
  - Οι αποφάσεις για το επόμενο hop εξαρτώνται μόνο από την τοπική περιοχή
  - Φέρνει στο μυαλό ιεραρχικούς αλγόριθμους
  - Το επόμενο hop είναι απίθανο να αλλάξει δραματικά, αν σε κάποιο μακρινό μέρος του δικτύου υπάρχουν αλλαγές τοπολογίας
  - Αλγόριθμοι ανταλλαγής πληροφοριών συνεκτικότητας με στρώματα προτεραιότητας χρησιμοποιούν πιο έγκυρες πληροφορίες όσο το πακέτο πλησιάζει τον προορισμό
- **Αλγόριθμοι δρομολόγησης διανύσματος αποστάσεων με κατώφλι (threshold distance vector): αν οι αλλαγές δεν επιρρεάζουν σημαντικά την ποιότητα της διαδρομής, δεν αναφέρονται**
- **Αποστολή πληροφοριών μόνο σε κόμβους που τις χρειάζονται**

# Ιεραρχικοί Αλγόριθμοι

- Απόκρυψη λεπτομερειών με χρήση ομαδοποίησης (clustering) των κόμβων.
- Πως σχηματίζονται οι ομάδες και οι υπερομάδες:
  - Αλγόριθμοι επιλογής για τον κόμβο-αρχηγό της ομάδας.
  - Οι κόμβοι προσχωρούν στην ομάδα του κοντινότερου κόμβου-αρχηγού.
  - Οι κόμβοι-αρχηγοί ενημερώνουν άλλους αρχηγούς όταν αλλάζει η συμμετοχή.
- Χρήση συντομότερης διαδρομής προς την ομάδα προορισμού
- Έπειτα συντομότερη διαδρομή εσωτερικά στην ομάδα
- Γειτονικές ομάδες θεωρείται πως απέχουν ένα hop
- Οι γειτονικές ομάδες θεωρείται πως απέχουν  $S$  hops, όπου  $S$  η μέση απόσταση προς τα σύνορα της ομάδας συν τη μέση απόσταση από τα σύνορα μέχρι τα μέλη της ομάδας.

# Αυστηρά ιεραρχική δρομολόγηση

- Ο κόμβος-αρχηγός της κάθε ομάδας, που υπολογίζει ιεραρχικούς πίνακες δρομολόγησης, καθορίζει την επόμενη ομάδα που πρέπει να πάει κάποιο πακέτο για να φτάσει στην ομάδα του προορισμού του
- Οι αρχηγοί διανέμουν την πληροφορία δρομολόγησης στους κόμβους μέσα στην ομάδα τους
- Μόλις φτάσει στην ομάδα προορισμού, χρησιμοποιείται κάποια τεχνική δρομολόγησης εσωτερικά στην ομάδα, για να φτάσει στον τελικό κόμβο-προορισμό
- Μειώνεται το μέγεθος της απαραίτητης πληροφορίας για να πάρει ένας κόμβος αποφάσεις δρομολόγησης.

# Μη ιεραρχικοί αλγόριθμοι

## Αλγόριθμος δρομολόγησης Bellman-Ford με κατώφλι

- Μειώνει την απόσταση στην οποία διαδίδεται η ενημέρωση για τη δρομολόγηση
- Αν  $d_j + c_{ij} < d_i^{(old)} < d_j + \alpha c_{ij}$ , τότε δεν αλλάζει η διαδρομή
  - $\alpha > 1$
  - $d_i$  είναι η απόσταση από τον κόμβο  $i$  στον προορισμό
  - $j$  είναι ο επόμενος κόμβος στη διαδρομή
  - $c_{ij}$  είναι το κόστος της χρήσης του συνδέσμου από το  $i$  στο  $j$
  - αν αυξηθεί το  $\alpha$ , μεταδίδονται λιγότερα μηνύματα ενημέρωσης και τα μήκη των διαδρομών αυξάνονται ελαφρά

# Μη ιεραρχικοί αλγόριθμοι

## Δρομολόγηση Ελάχιστης Παρεμβολής (Least Interference Routing) Ή Δρομολόγησης Ελάχιστης Ενέργειας (Minimum Energy Routing)

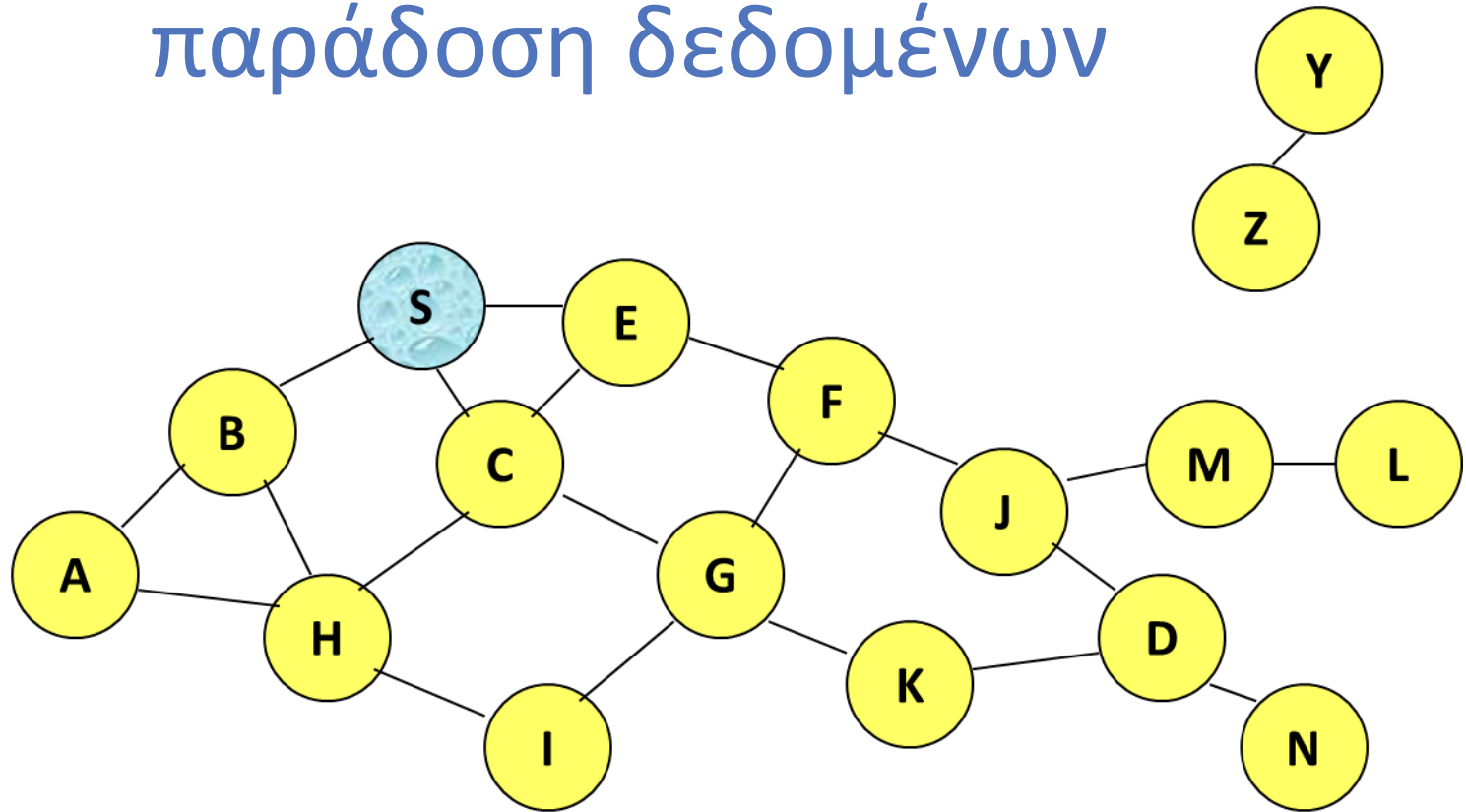
- Ελαχιστοποίηση κόστους διαδρομής, όπου κόστος κάθε συνδέσμου είναι η παρεμβολή που προκαλεί στους άλλους η μετάδοση ενός πακέτου πάνω στον σύνδεσμο, ή η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την μετάδοση, ή κάποιο άλλο κριτήριο, ή συνδυασμός κριτηρίων
- Π.χ.
  - Υπολογισμός συντομότερης διαδρομής με βάση τη μετρική παρεμβολής
  - Παρεμβολή = # γειτόνων που μπορούν να δεχτούν μια μετάδοση
  - Προτίμηση για “κοντινούς” κόμβους—παράγει μικρότερη παρεμβολή και καλύτερη χωρική επαναχρησιμοποίηση



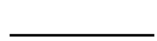
# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων

- Ο αποστολέας  $S$  εκπέμπει το πακέτο δεδομένων  $P$  σε όλους τους γείτονές του
- Κάθε κόμβος που λαμβάνει το  $P$ , το προωθεί σε όλους του τους γείτονες
- Sequence numbers χρησιμοποιούνται για την αποφυγή της πιθανότητας προώθησης του ίδιου πακέτου περισσότερες της μίας φορές
- Το πακέτο  $P$  πάντα φτάνει στον προορισμό  $D$ , αρκεί ο  $D$  είναι προσπελάσιμος από τον αποστολέα  $S$
- Ο κόμβος  $D$  δεν προωθεί το πακέτο

# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων



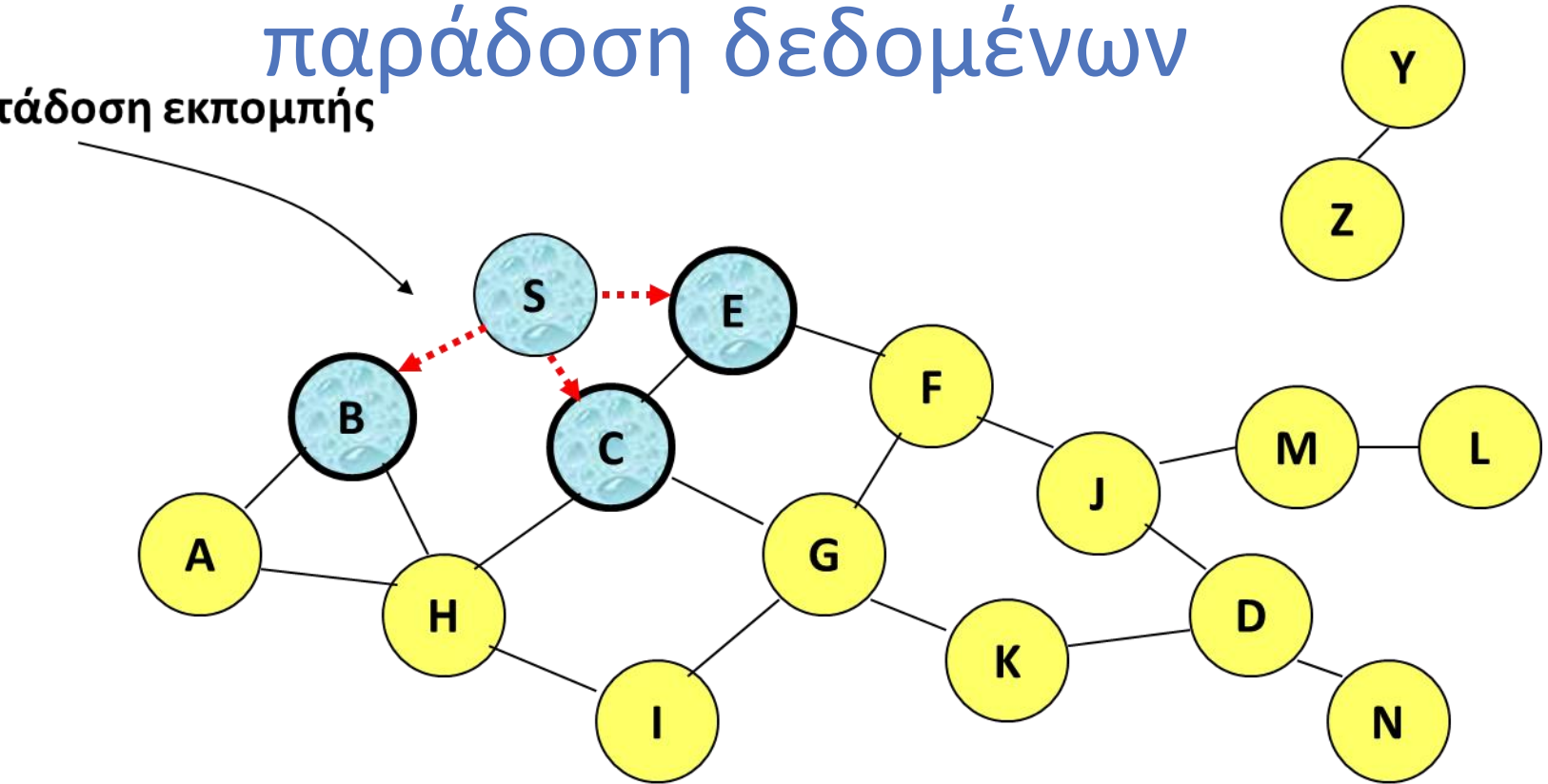
**αναπαριστά κόμβο που έχει λάβει το P**



**αναπαριστά το ότι οι συνδεδεμένοι κόμβοι βρίσκονται ο ένας μέσα στο εύρος μετάδοσης του άλλου**

# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων

μετάδοση εκπομπής

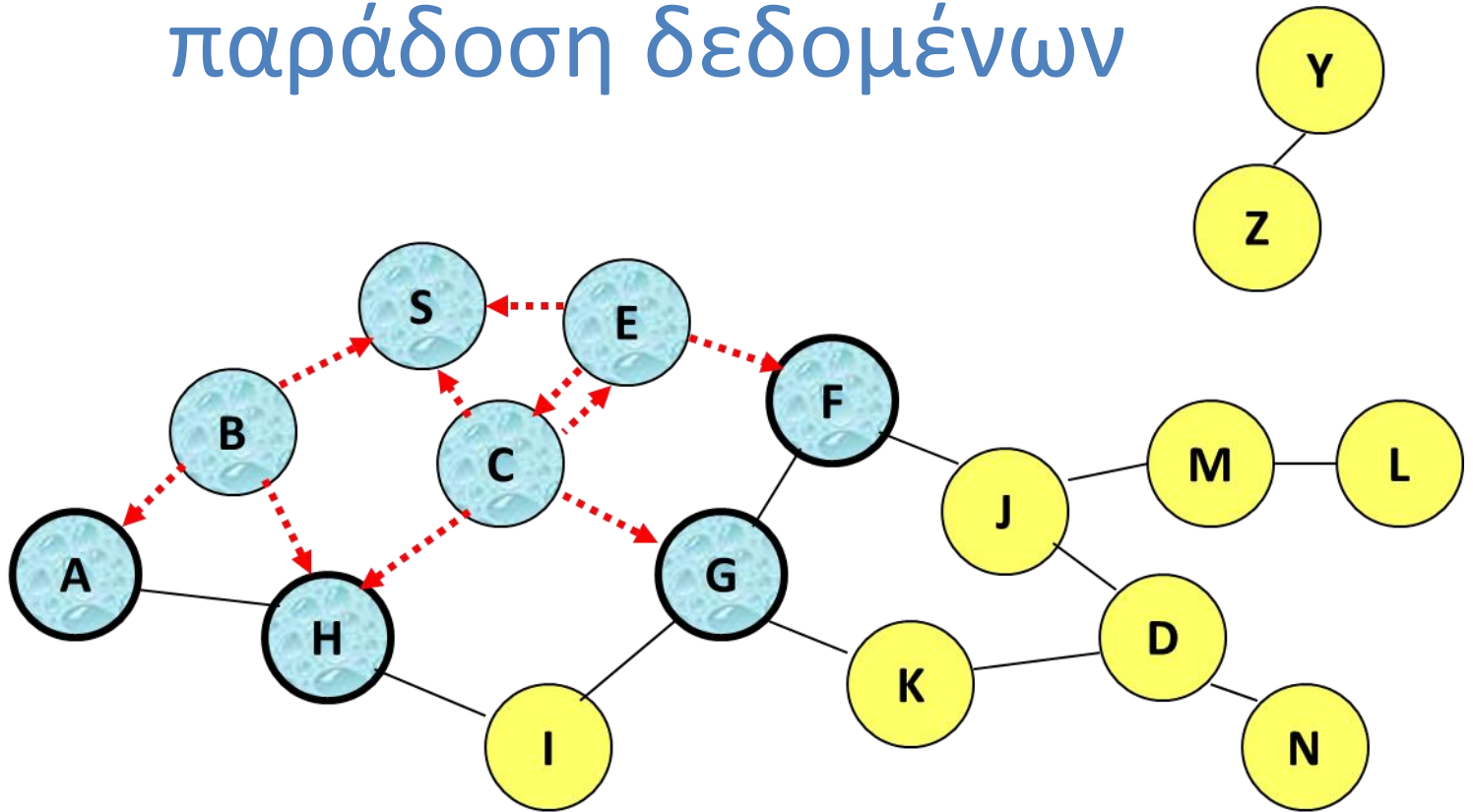


αναπαριστά κόμβο που λαμβάνει το P για πρώτη φορά



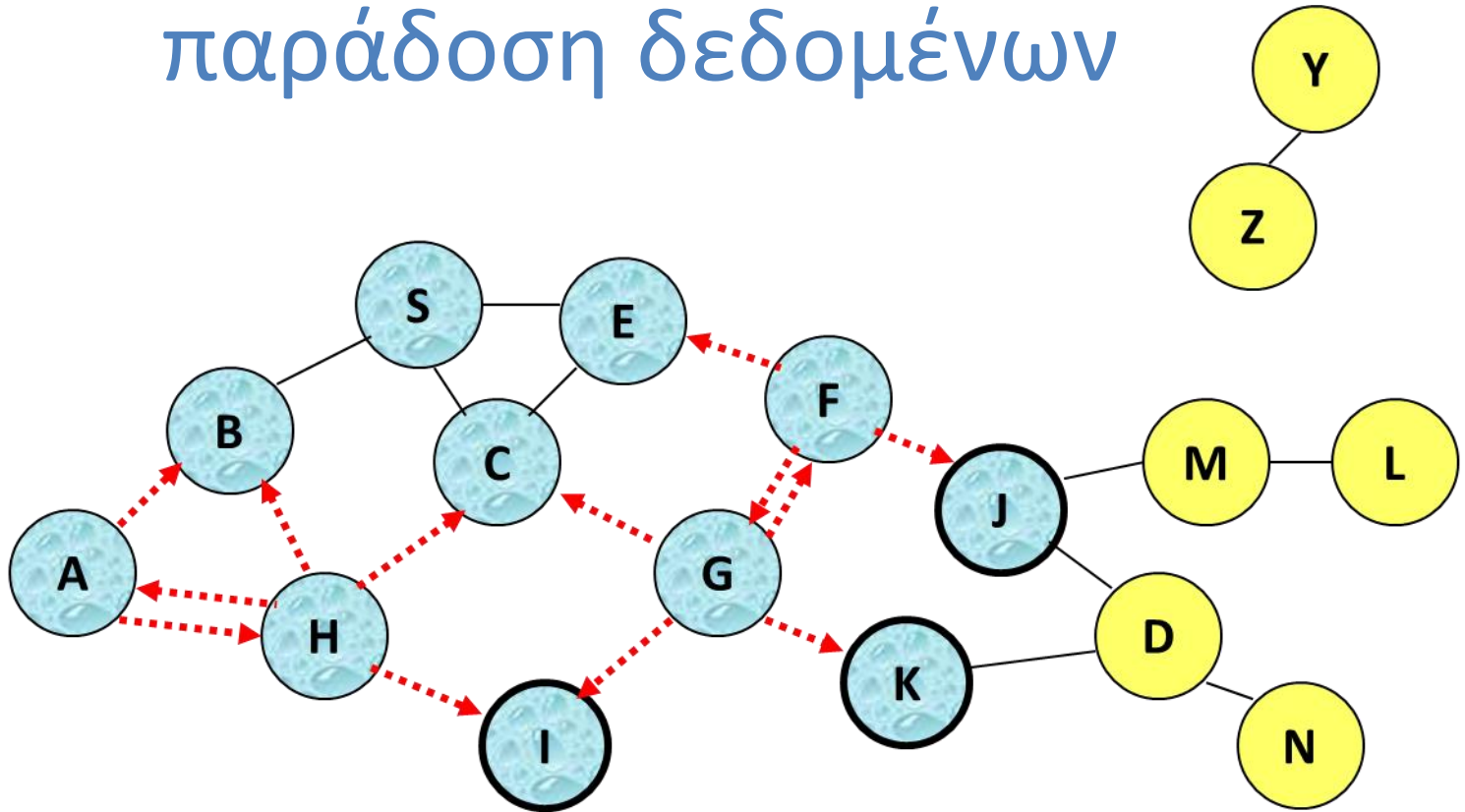
αναπαριστά μετάδοση του P

# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων



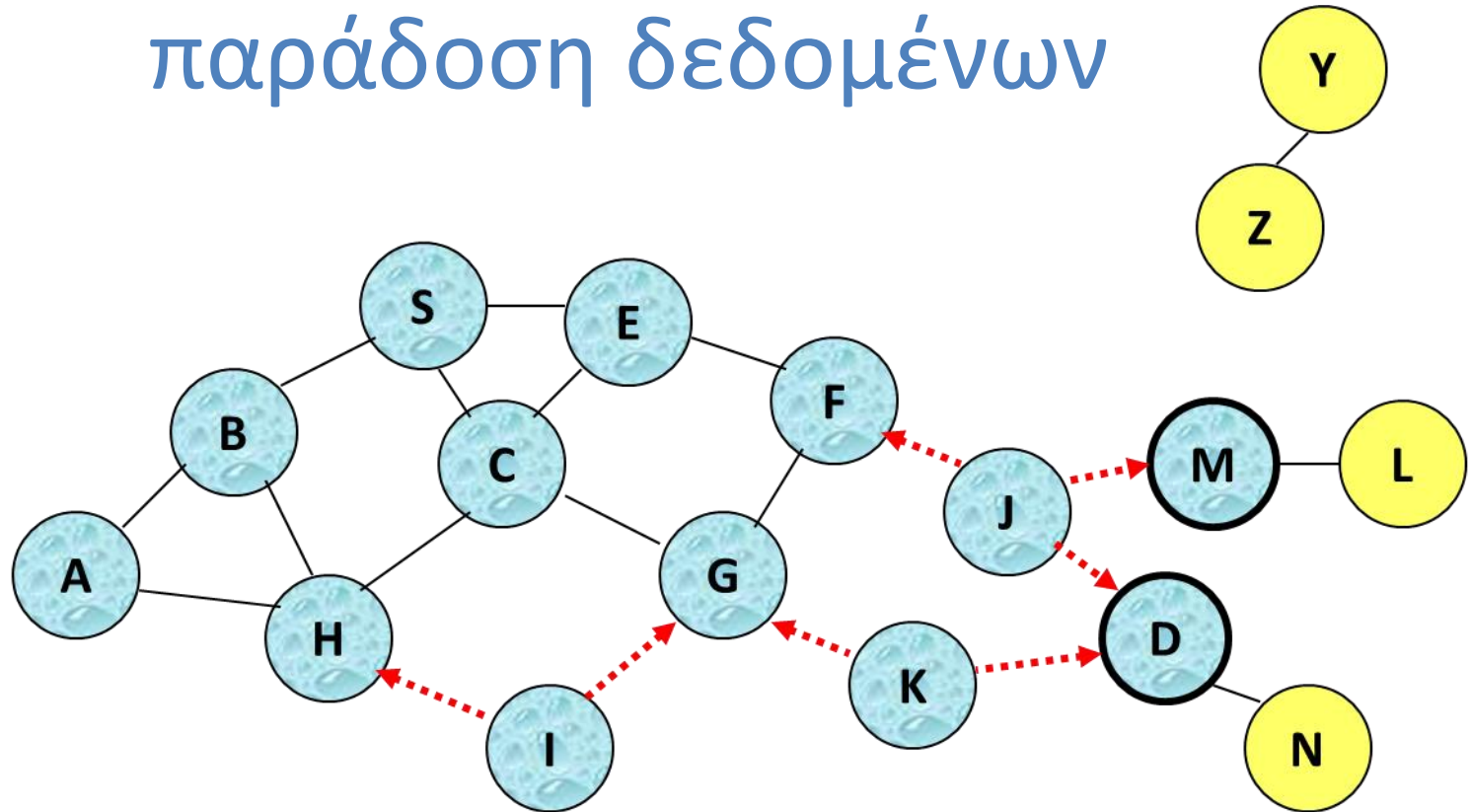
- ο κόμβος H λαμβάνει το πακέτο P από δύο γείτονες:  
**πιθανότητα για σύγκρουση**

# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων



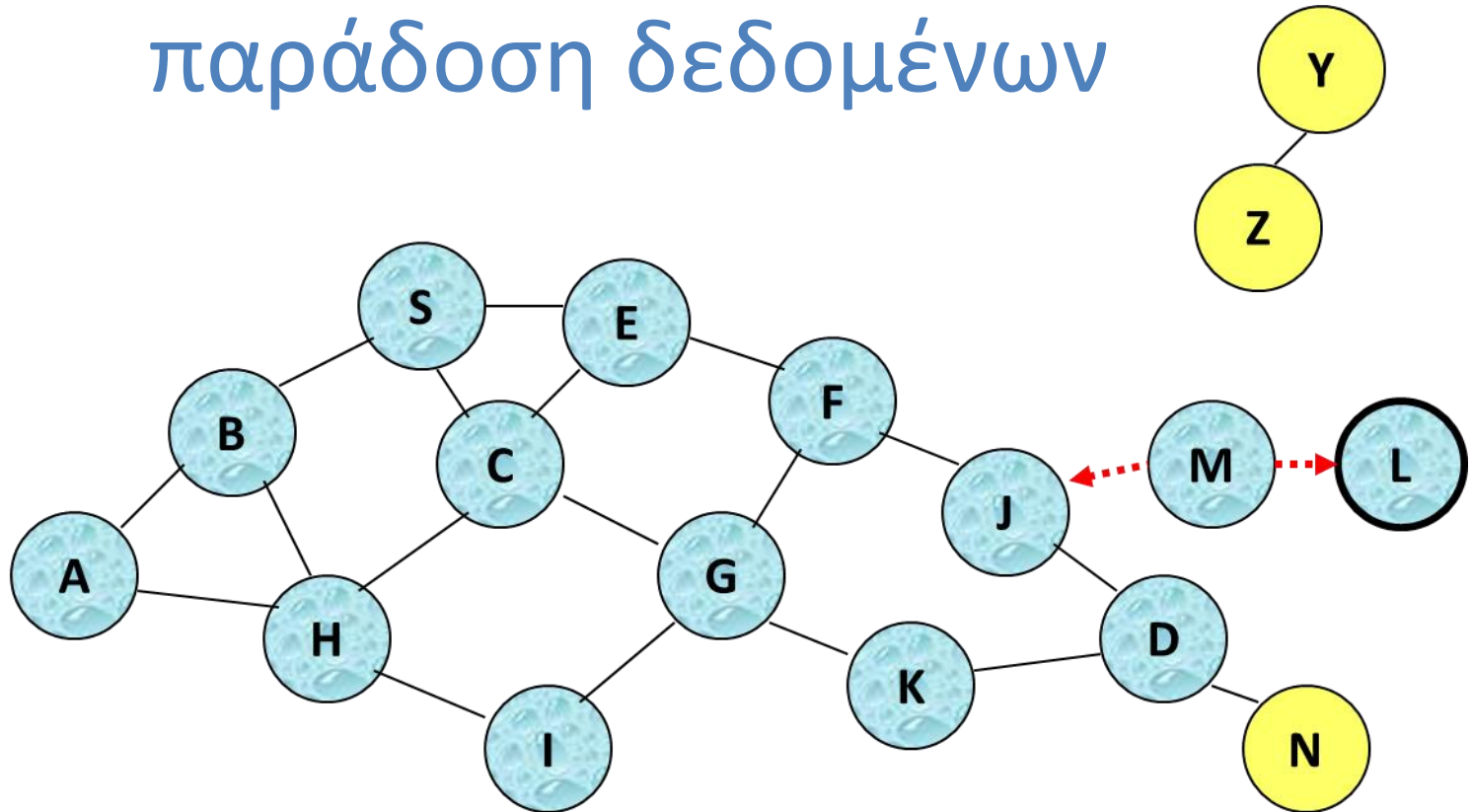
- ο κόμβος C λαμβάνει το πακέτο P απ'τους G και H, αλλά δεν το προωθεί ξανά, γιατί ο κόμβος C έχει ήδη προωθήσει το πακέτο P μια φορά

# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων



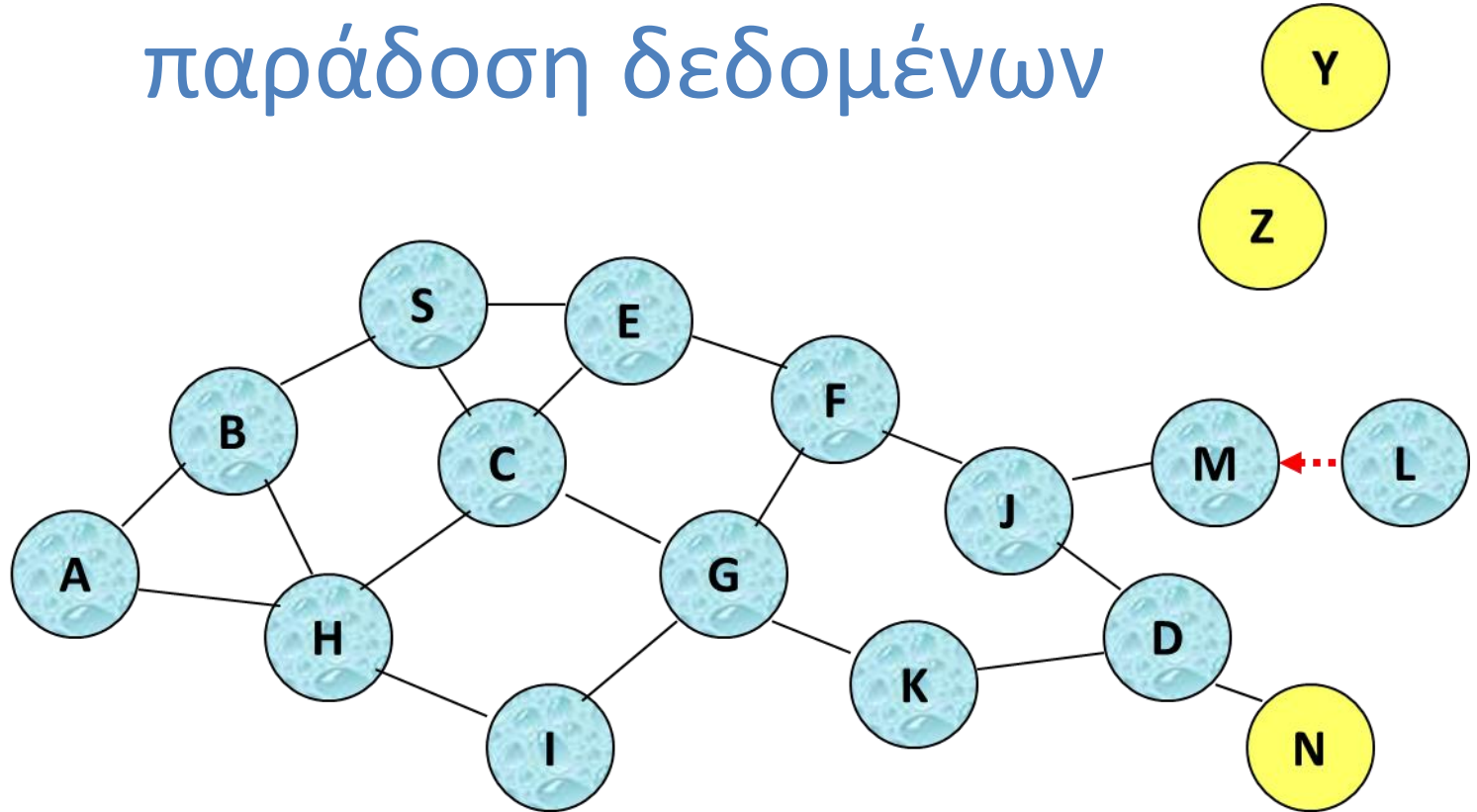
- οι κόμβοι J και K μεταδίδουν και οι δύο το πακέτο P προς τον κόμβο D
- εφόσον οι J και K κρύβονται ο ένας απ'τον άλλο, οι μεταδόσεις τους μπορεί να συγκρουστούν το πακέτο P μπορεί να μη μεταφερθεί στον κόμβο D καθόλου, παρά τη χρήση του αλγόριθμου 'πλημμυρίσματος'

# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων



- ο κόμβος D **δεν προωθεί** το πακέτο P, γιατί ο κόμβος D είναι ο **επιθυμητός προορισμός του πακέτου P**

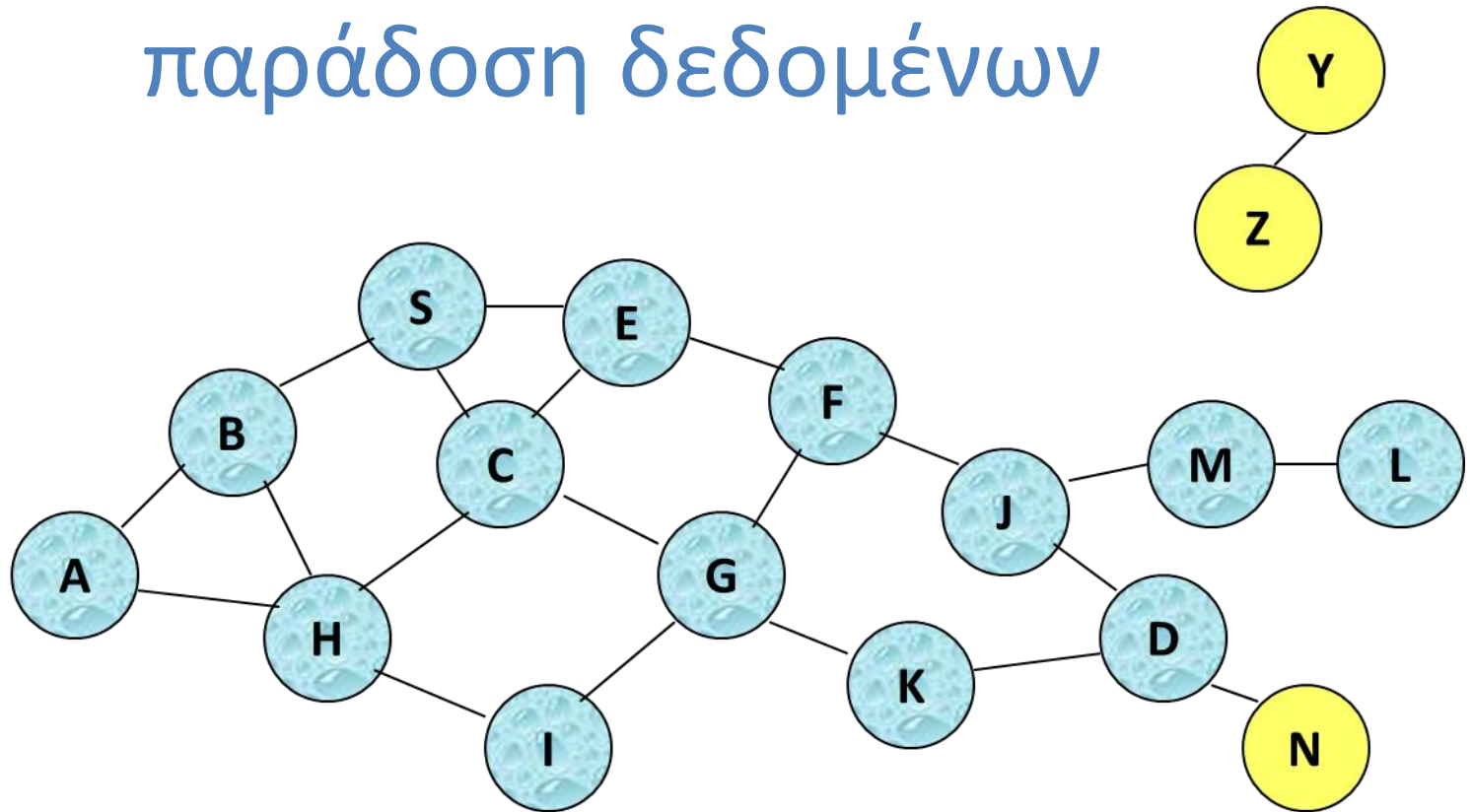
# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων



- το 'πλημμύρισμα' ολοκληρώθηκε
- Κόμβοι **μη προσπελάσιμοι** από τον S δε λαμβάνουν το πακέτο P (πχ ο Z)
- Κόμβοι των οποίων όλα τα μονοπάτια από τον S διέρχονται μέσω του προορισμού D, επίσης δε λαμβάνουν το πακέτο P (πχ ο N)



# «Πλημμύρισμα» (flooding) για παράδοση δεδομένων



- το 'πλημμύρισμα' μπορεί να μεταφέρει πακέτα σε πάρα πολλούς κόμβους (στη χειρότερη περίπτωση, όλοι οι προσπελάσιμοι από τον αποστολέα κόμβοι μπορεί να λάβουν το πακέτο)

# Πλεονεκτήματα flooding

- απλότητα
- μπορεί να είναι πιο αποδοτικό από άλλα πρωτόκολλα, όταν το overhead για την ανακάλυψη/διατήρηση δρομολογίων που επιφέρεται από τα άλλα πρωτόκολλα είναι υψηλό
  - αυτό το σενάριο μπορεί να εμφανιστεί, για παράδειγμα, όταν οι κόμβοι εκπέμπουν **πακέτα δεδομένων** σχετικά σπάνια και πολλές **τοπολογικές αλλαγές** συμβαίνουν ανάμεσα σε διαδοχικές εκπομπές πακέτων
- πιθανώς υψηλότερη αξιοπιστία στην παράδοση των πακέτων επειδή τα πακέτα παραδίδονται στον προορισμό μέσω πολλαπλών μονοπατιών

# Μειονεκτήματα flooding

- πιθανώς πολύ μεγάλο overhead
  - τα πακέτα δεδομένων μπορεί να παραδοθούν σε πάρα πολλούς κόμβους, οι οποίοι δεν τα χρειάζονται
- πιθανώς χαμηλότερη αξιοπιστία στην παράδοση των πακέτων λόγω συγκρούσεων
  - είναι δύσκολο να υλοποιηθεί αξιόπιστη παράδοση χωρίς σημαντικό overhead
  - στο παράδειγμά μας, οι κόμβοι  $J$  και  $K$  μπορεί να μεταδώσουν στον κόμβο  $D$  ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την απώλεια του πακέτου - σε αυτή την περίπτωση, το πακέτο δε θα φτάσει καθόλου στον προορισμό

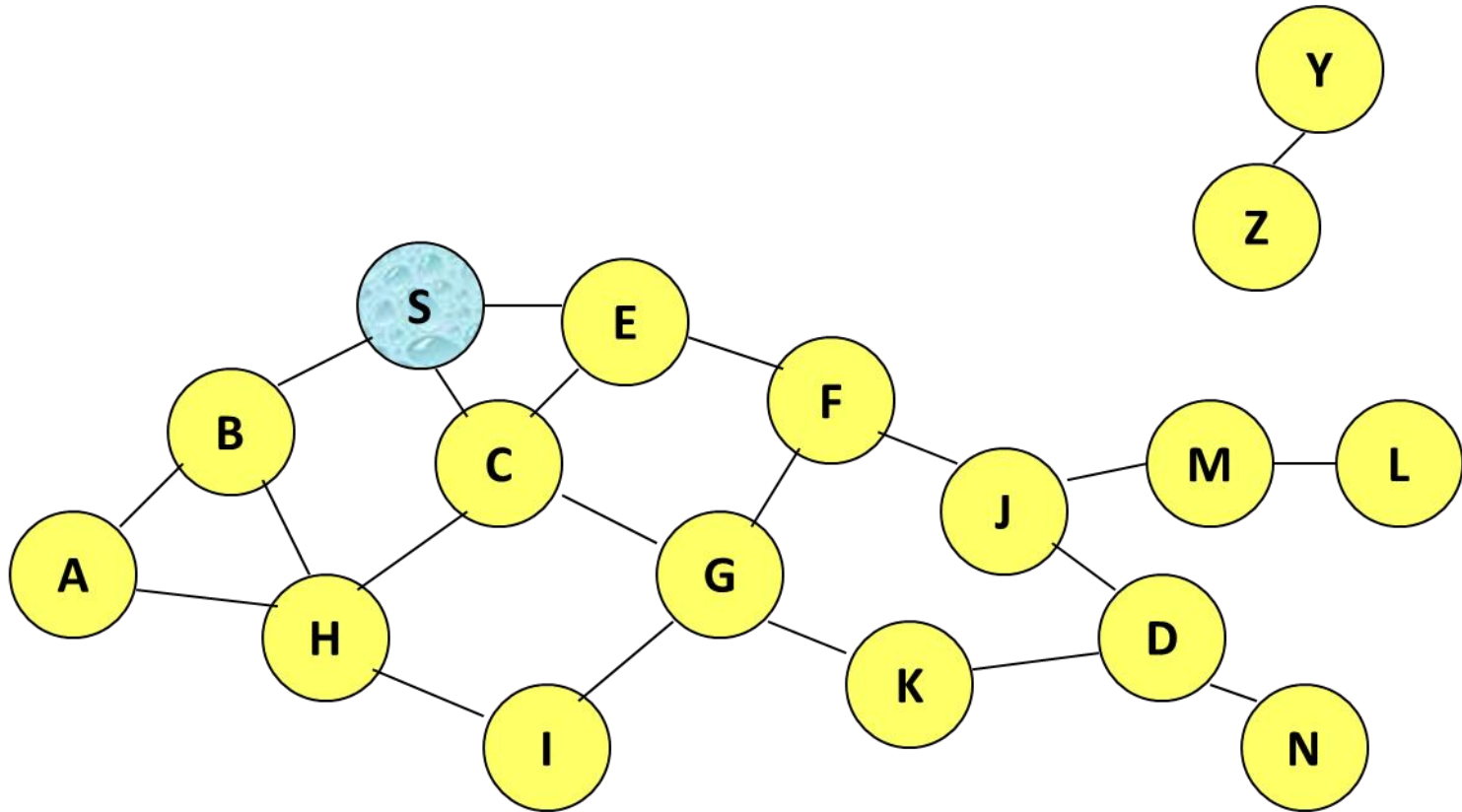
# «Πλημμύρισμα» πακέτων ελέγχου

- πολλά πρωτόκολλα χρησιμοποιούν (ενδεχομένως περιορισμένο) «πλημμύρισμα» πακέτων **ελέγχου** και όχι των πακέτων **δεδομένων**
- τα πακέτα ελέγχου χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη δρομολογίων
- τα δρομολόγια αυτά ακολούθως χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πακέτων δεδομένων
- Το overhead για το «πλημμύρισμα» των πακέτων ελέγχου **επιμερίζεται** επί των πακέτων δεδομένων, που μεταδίδονται ανάμεσα σε 'πλημμυρίσματα' πακέτων ελέγχου

# Δυναμική Δρομολόγηση Πηγής (Dynamic Source Routing - DSR)

- όταν ο κόμβος  $S$  θέλει να στείλει ένα πακέτο στον κόμβο  $D$ , αλλά δε γνωρίζει κάποιο δρομολόγιο προς τον  $D$ , αρχικοποιεί μια **ανακάλυψη μονοπατιού**
- ο κόμβος αφετηρία  $S$  «πλημμυρίζει» ένα πακέτο **Αίτησης Δρομολογίου (Route Request - RREQ)**
- κάθε κόμβος **προσαρτεί το δικό του δείκτη** καθώς προωθεί το RREQ

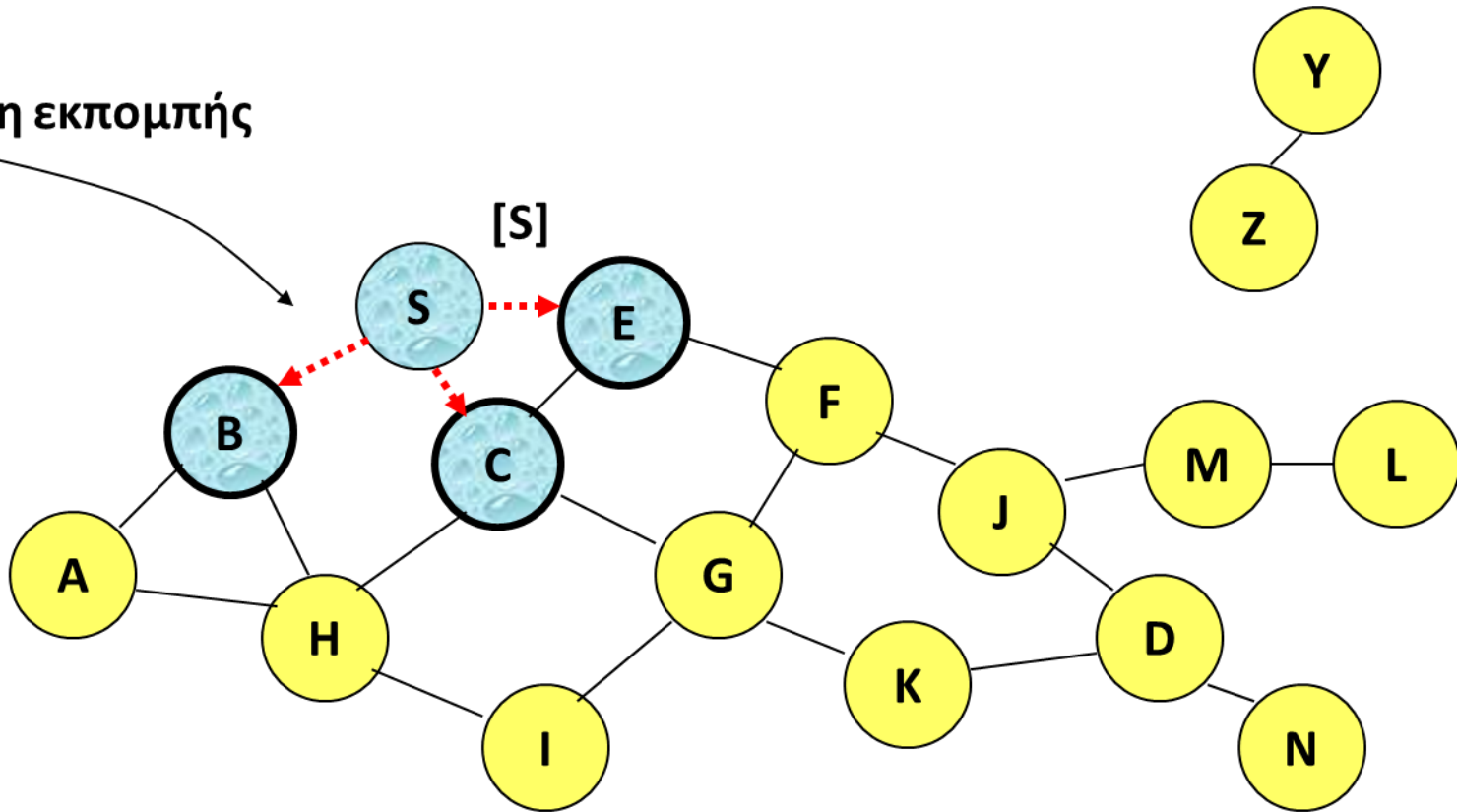
# Ανακάλυψη δρομολογίου στο DSR



**αναπαριστά κόμβο που έχει λάβει RREQ για τον D απ'τον S**

# Ανακάλυψη δρομολογίου στο DSR

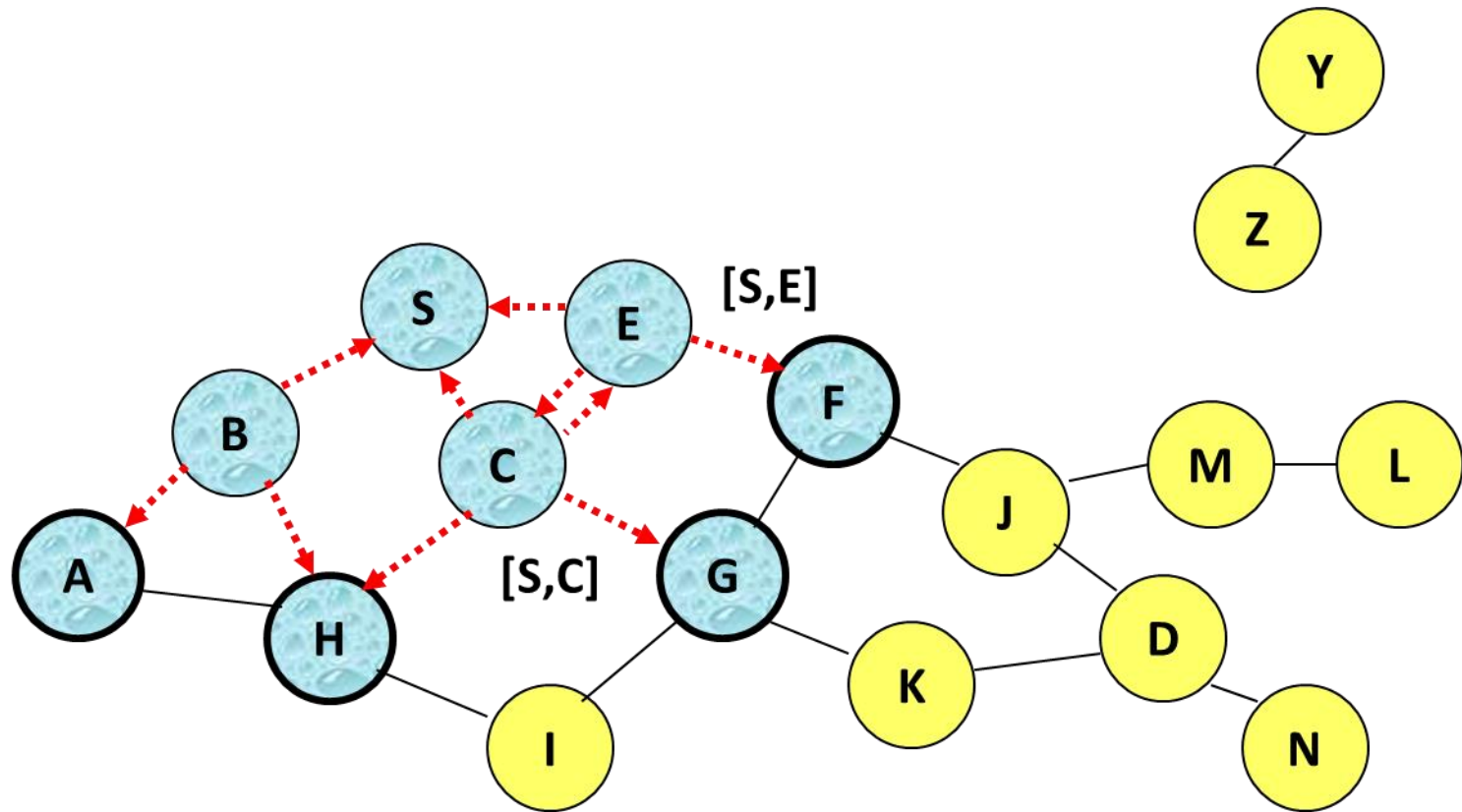
μετάδοση εκπομπής



.....> αναπαριστά μετάδοση RREQ

[X,Y] αναπαριστά λίστα από δείκτες προσαρτημένους στο RREQ

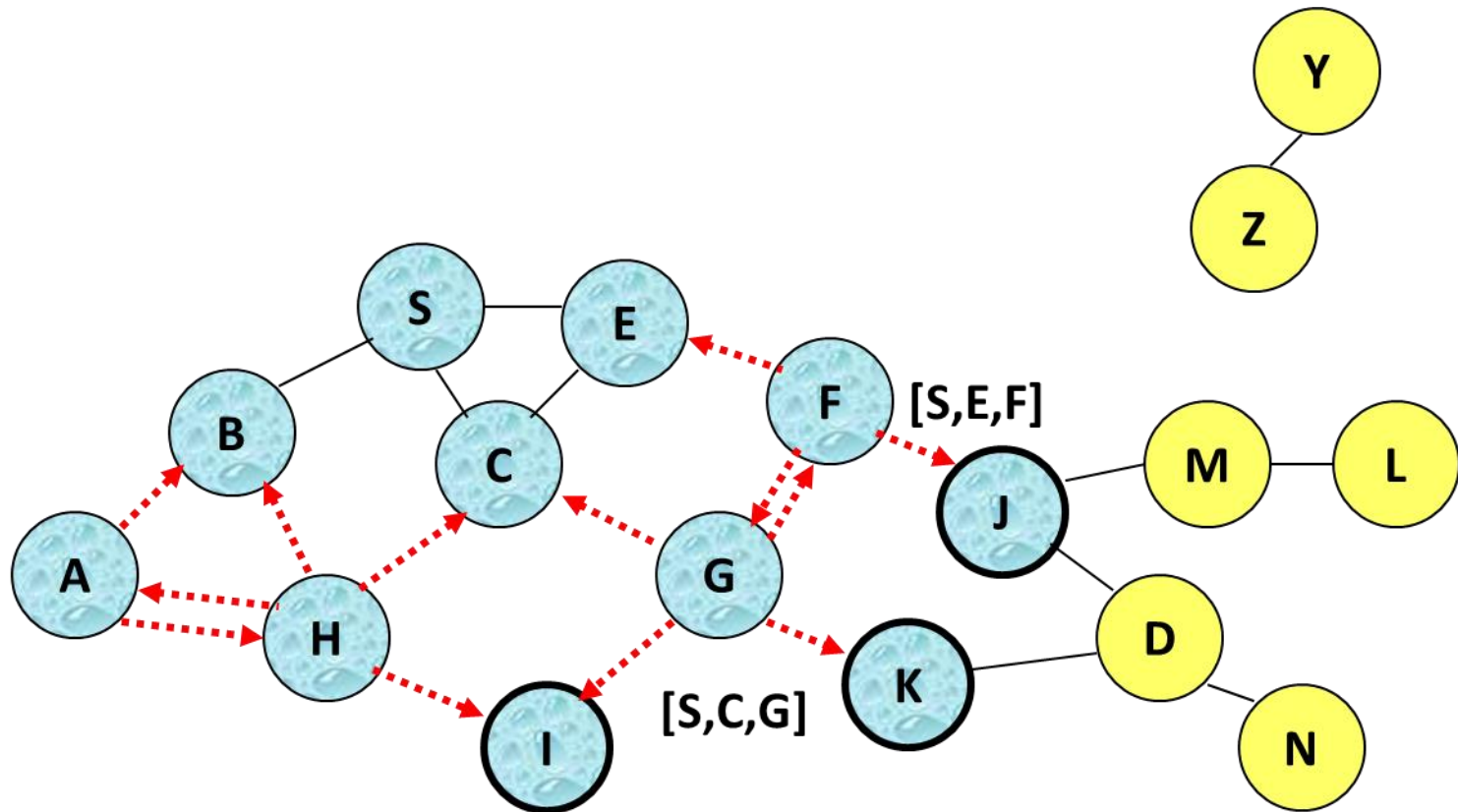
# Ανακάλυψη δρομολογίου στο DSR



- ο κόμβος H δέχεται πακέτο RREQ από δύο γείτονες:  
**πιθανότητα για σύγκρουση**

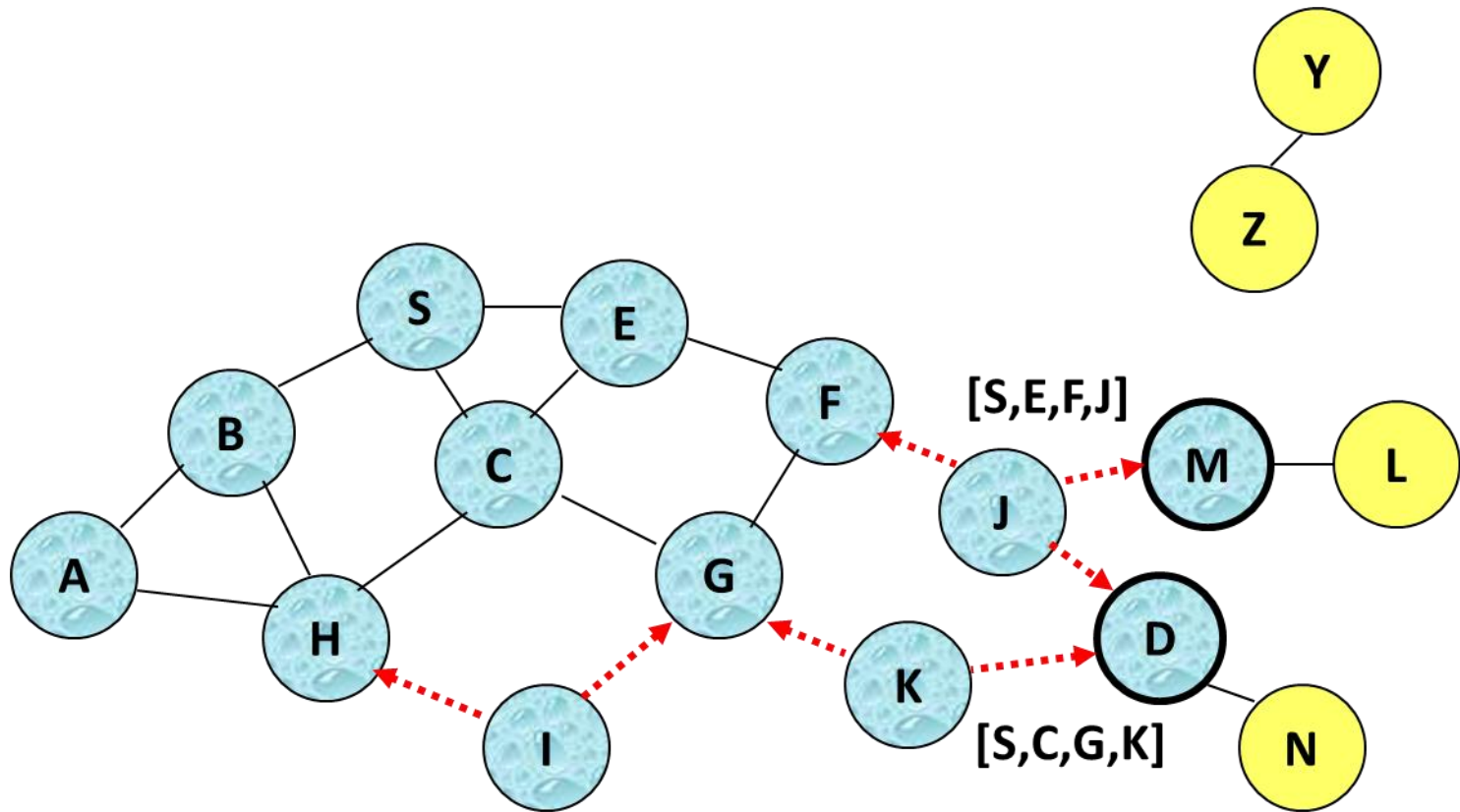


# Ανακάλυψη δρομολογίου στο DSR



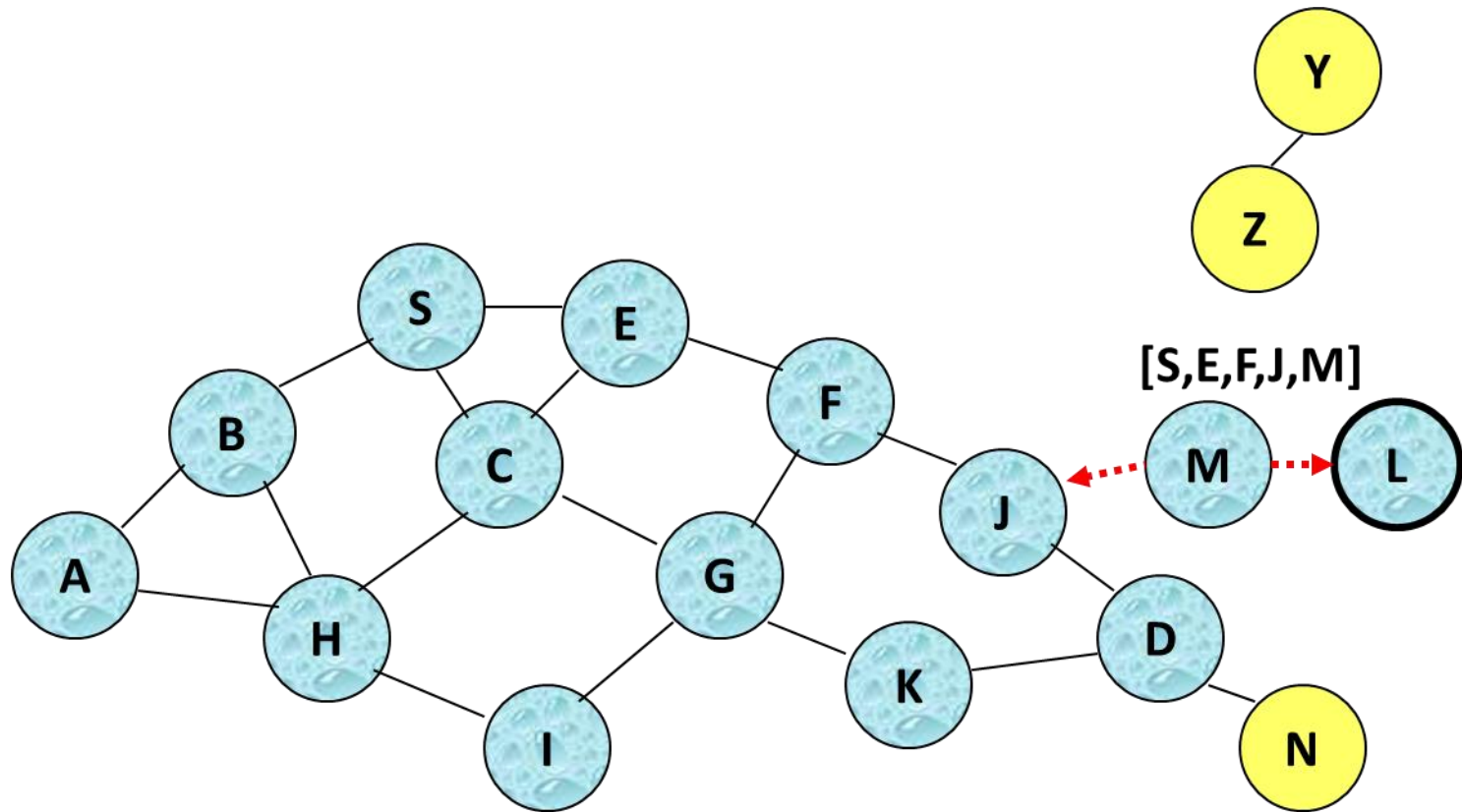
- ο κόμβος C δέχεται RREQ απ'τον G και τον H, αλλά δεν το προωθεί ξανά, γιατί ο κόμβος C έχει **ήδη προωθήσει RREQ** μια φορά

# Ανακάλυψη δρομολογίου στο DSR



- οι κόμβοι J και K μεταδίδουν και οι δύο RREQ στον κόμβο D
- εφόσον οι κόμβοι J και K κρύβονται ο ένας από τον άλλο, οι μεταδόσεις τους μπορεί να συγκρουστούν

# Ανακάλυψη δρομολογίου στο DSR

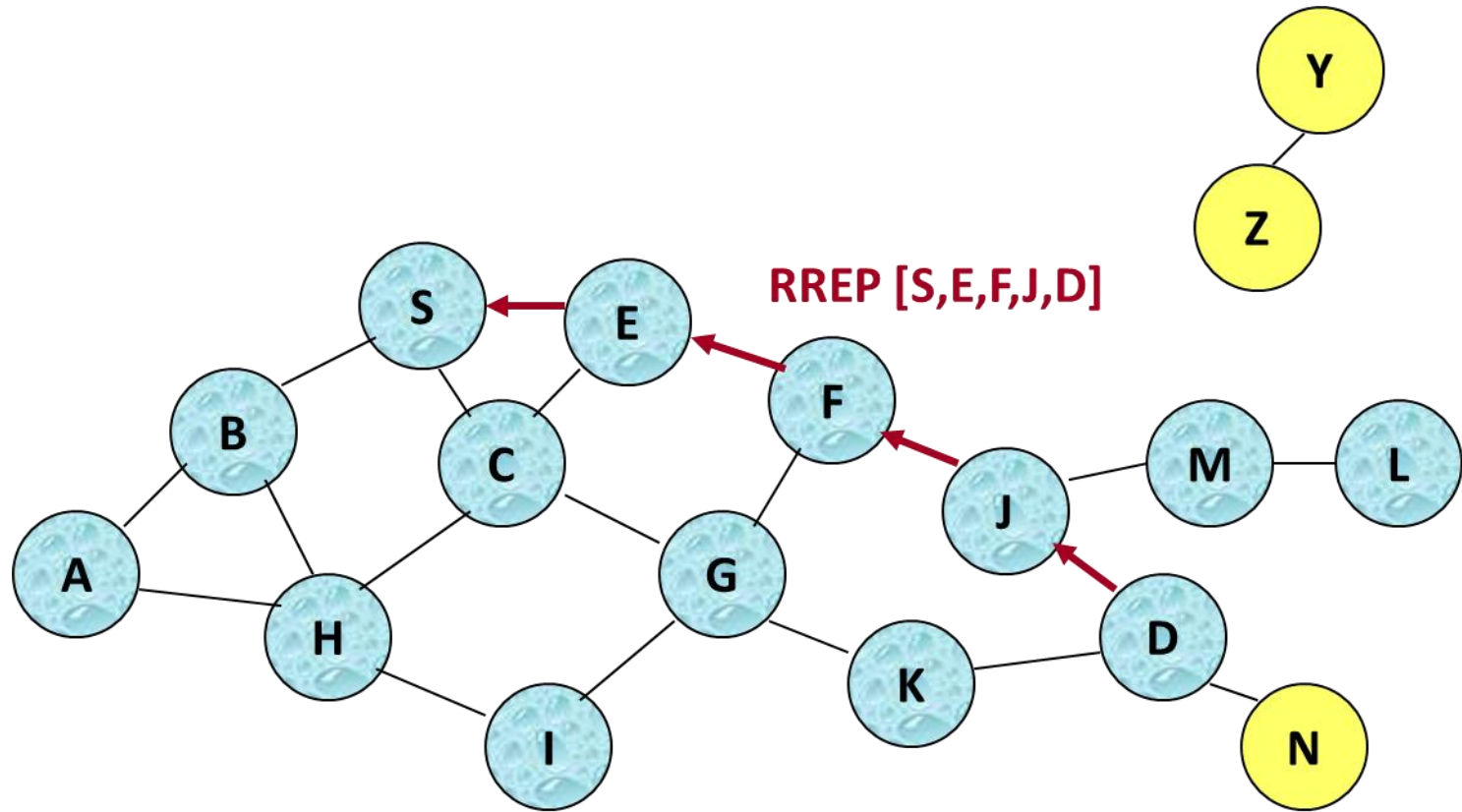


- ο κόμβος D **δεν προωθεί RREQ**, γιατί ο κόμβος D είναι ο **επιθυμητός στόχος** της ανακάλυψης δρομολογίου

# Ανακάλυψη δρομολογίου στο DSR

- ο προορισμός D λαμβάνοντας το πρώτο RREQ, στέλνει ένα πακέτο **Απάντησης Δρομολογίου (Route Reply - RREP)**
- το RREP στέλνεται μέσω του δρομολογίου, το οποίο προκύπτει **αντιστρέφοντας** το δρομολόγιο που έχει προσαρτηθεί στο ληφθέν RREQ
- το RREP **περιλαμβάνει το δρομολόγιο** από τον S στον D, μέσω του οποίου το RREQ έφτασε στον κόμβο D

# Απάντηση δρομολογίου στο DSR



αναπαριστά RREP μήνυμα ελέγχου

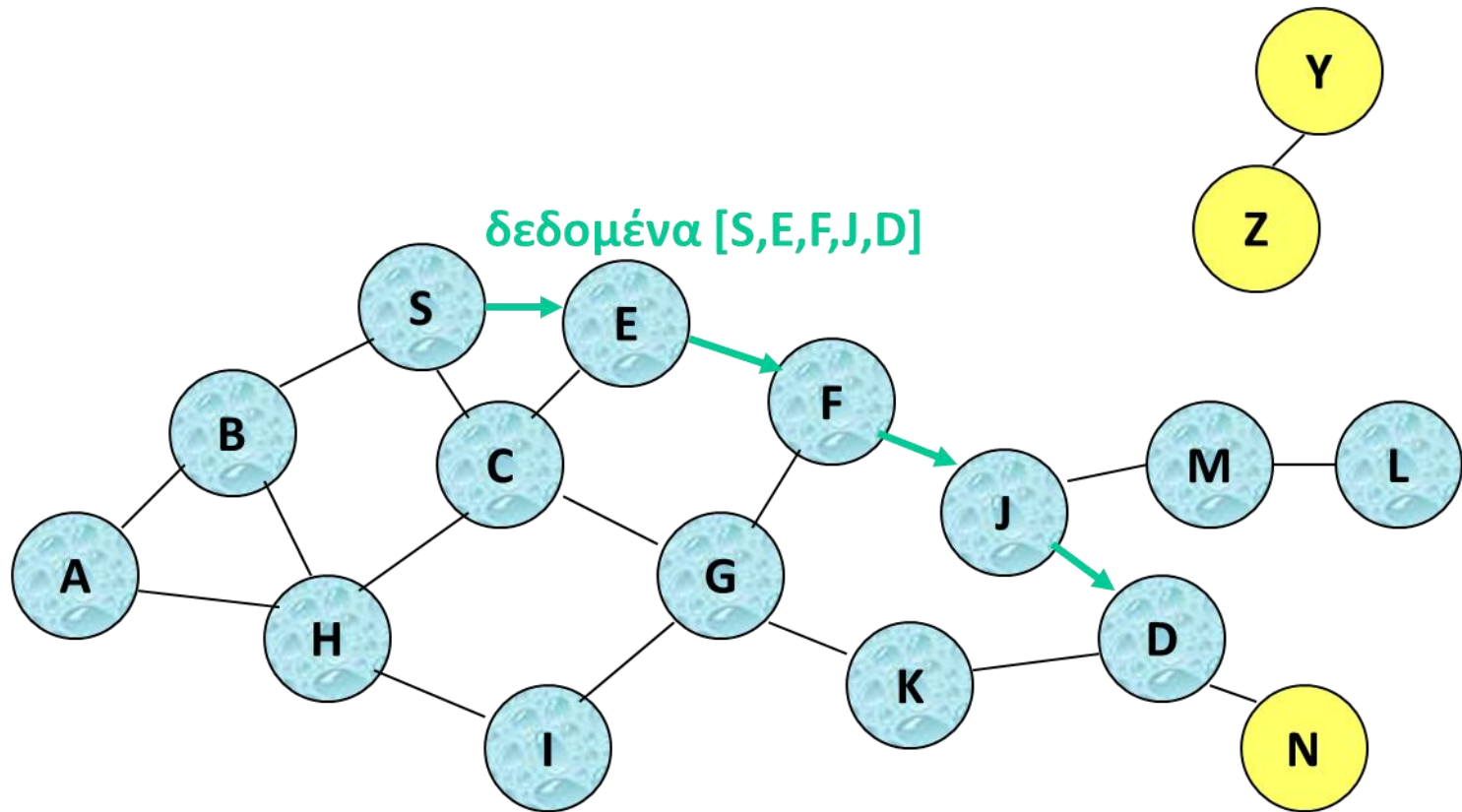
# Απάντηση δρομολογίου στο DSR

- Η απάντηση δρομολογίου μπορεί να σταλεί αντιστρέφοντας το δρομολόγιο του RREQ, μόνο αν οι σύνδεσμοι είναι εγγυημένα *bidirectional*
  - για να βεβαιωθεί κάτι τέτοιο, πρέπει το RREQ να προωθείται, μόνο αν λαμβάνεται μέσω συνδέσμου που εγγυημένα είναι *bidirectional*
- Αν μόνο *directional* (ασύμμετροι) σύνδεσμοι επιτρέπονται, το RREP μπορεί να χρειάζεται και μια ανακάλυψη δρομολογίου από τον D στον S
  - εκτός αν ο κόμβος D ήδη γνωρίζει ένα δρομολόγιο προς τον κόμβο S
  - αν μια ανακάλυψη δρομολογίου αρχικοποιείται από τον D για ένα δρομολόγιο προς τον S, τότε η απάντηση δρομολογίου μεταφέρεται μαζί με την αίτηση δρομολογίου απ'τον D.
- Αν το IEEE 802.11 MAC χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων, τότε οι σύνδεσμοι απαιτείται να είναι *bidirectional* (εφόσον χρησιμοποιούνται Acks)

# DSR

- ο κόμβος S δεχόμενος το RREP, αποθηκεύει το δρομολόγιο που περιέχεται στο RREP
- όταν ο κόμβος S στέλνει ένα πακέτο δεδομένων στον D, ολόκληρο το δρομολόγιο περιέχεται στην επικεφαλίδα του πακέτου
  - γι' αυτό και το όνομα **δρομολόγηση πηγής (source routing)**
- οι ενδιάμεσοι κόμβοι χρησιμοποιούν το **δρομολόγιο** που περιέχεται σε ένα πακέτο, για να καθορίσουν σε ποιόν να προωθηθεί το πακέτο

# Παράδοση δεδομένων στο DSR



το μέγεθος της επικεφαλίδας πακέτου μεγαλώνει με το μήκος του δρομολογίου



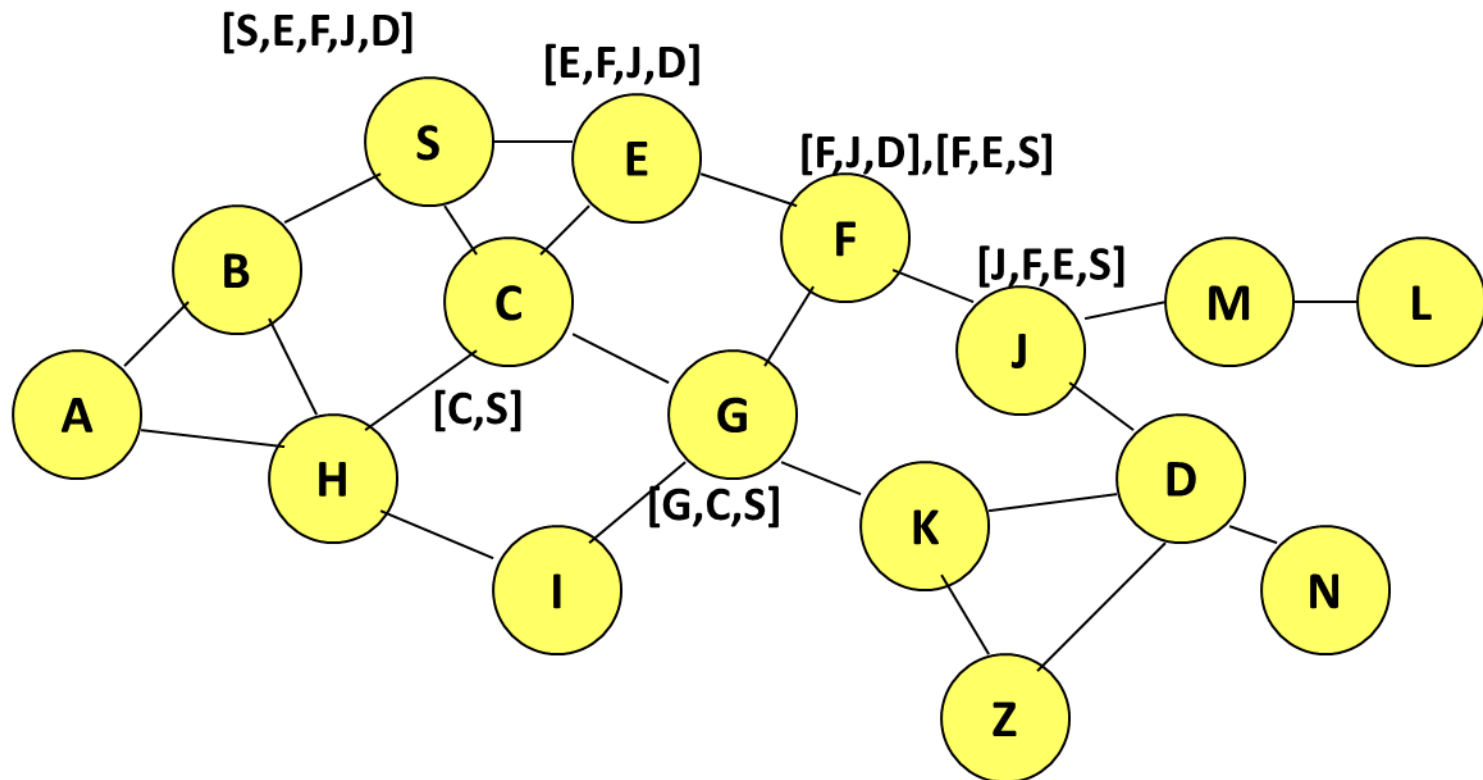
# DSR

- Πότε πραγματοποιείται ανακάλυψη δρομολογίου;
  - όταν ο κόμβος  $S$  θέλει να στείλει δεδομένα στον κόμβο  $D$ , αλλά δε γνωρίζει ένα έγκυρο δρομολόγιο προς αυτόν
- Βελτιστοποίηση του DSR: **αποθήκευση δρομολογίων**
  - κάθε κόμβος αποθηκεύει (caches) ένα νέο δρομολόγιο, το οποίο μαθαίνει με οποιονδήποτε τρόπο
  - όταν ο κόμβος  $S$  ανακαλύψει το δρομολόγιο  $[S,E,F,J,D]$  προς τον κόμβο  $D$ , ο κόμβος  $S$  επίσης μαθαίνει το δρομολόγιο  $[S,E,F]$  προς τον κόμβο  $F$
  - όταν ο κόμβος  $K$  δεχτεί Αίτηση Δρομολογίου  $[S,C,G]$  κατευθυνόμενη προς κάποιον κόμβο, μαθαίνει και το δρομολόγιο  $[K,G,C,S]$  προς τον  $S$
  - όταν ο κόμβος  $F$  προωθεί Απάντηση Δρομολογίου  $[S,E,F,J,D]$ , μαθαίνει και το δρομολόγιο  $[F,J,D]$  προς τον κόμβο  $D$
  - όταν ο κόμβος  $E$  προωθεί δεδομένα  $[S,E,F,J,D]$  μαθαίνει και το δρομολόγιο  $[E,F,J,D]$  προς τον κόμβο  $D$
  - ένας κόμβος μπορεί να μάθει ένα δρομολόγιο ακόμα και ‘κρυφακούγοντας’ πακέτα δεδομένων

# Χρήση της αποθήκευσης δρομολογίων

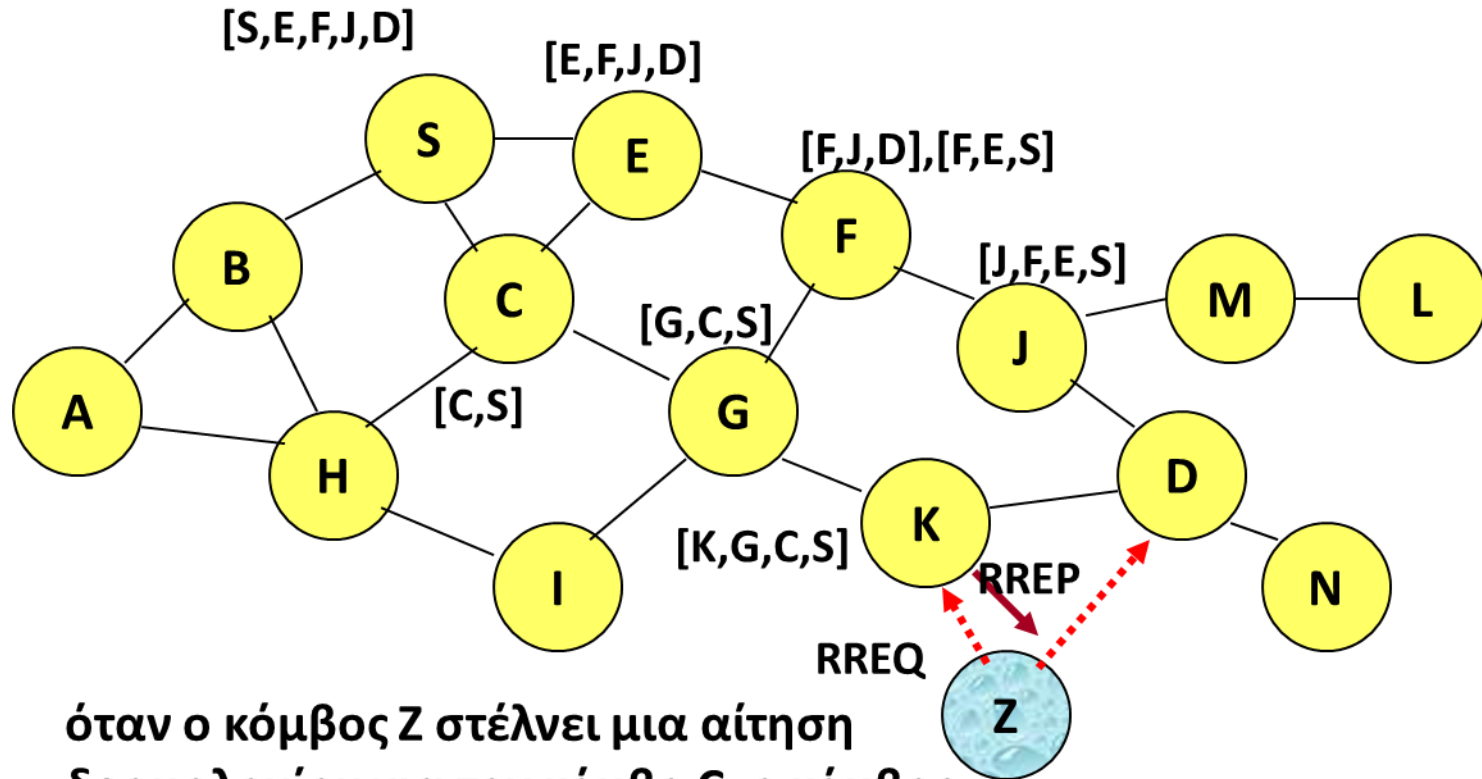
- Όταν ο κόμβος  $S$  μαθαίνει πως ένα δρομολόγιο προς τον κόμβο  $D$  καταστρέφεται, χρησιμοποιεί ένα άλλο δρομολόγιο απ' την τοπική του μνήμη, αν υπάρχει, αλλιώς ο  $S$  αρχικοποιεί νέα ανακάλυψη μονοπατιού
- Ο κόμβος  $X$  δεχόμενος μια Αίτηση Δρομολογίου για κάποιον κόμβο  $D$  μπορεί να στείλει μια Απάντηση Δρομολογίου, αν γνωρίζει ένα δρομολόγιο προς τον  $D$
- Χρήση της αποθήκευσης δρομολογίων
  - μπορεί να επιταχύνει την ανακάλυψη μονοπατιών
  - μπορεί να ελαττώσει την προώθηση αιτήσεων μονοπατιού

# Χρήση της αποθήκευσης δρομολογίων



**[P,Q,R]** αναπαριστά αποθηκευμένο δρομολόγιο σε κόμβο  
(το DSR διατηρεί τα αποθηκευμένα δρομολόγια σε δενδροειδή διάταξη)

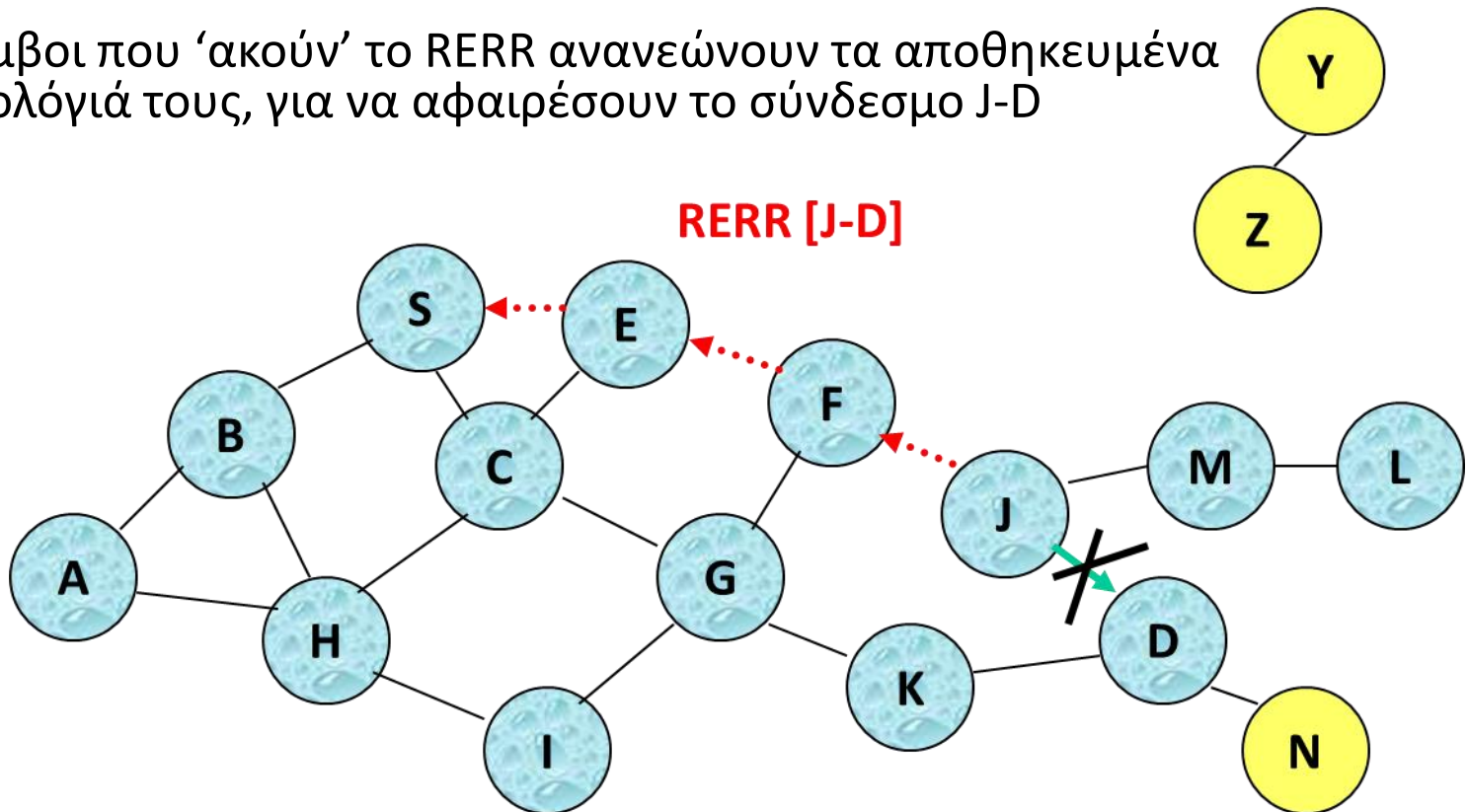
# Επιτάχυνση της Ανακάλυψης Μονοπατιών



όταν ο κόμβος Z στέλνει μια αίτηση δρομολογίου για τον κόμβο C, ο κόμβος K επιστρέφει μια απάντηση δρομολογίου [Z,K,G,C] προς τον κόμβο Z, συνήθως χρησιμοποιώντας αποθηκευμένο δρομολόγιο

# Σφάλμα Δρομολογίου (Route Error - RERR)

- Ο J στέλνει ένα Σφάλμα Δρομολογίου στον S κατά μήκος του δρομολογίου J-F-E-S, όταν η προσπάθειά του να προωθήσει ένα πακέτο δεδομένων του S (με δρομολόγιο SEFJD) μέσω του J-D αποτυγχάνει
- Οι κόμβοι που 'ακούν' το RERR ανανεώνουν τα αποθηκευμένα δρομολόγιά τους, για να αφαιρέσουν το σύνδεσμο J-D



# Αποθήκευση δρομολογίων: Προσοχή!

- οι παλιές αποθηκεύσεις μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην απόδοση
- με την πάροδο του χρόνου και την κίνηση των χρηστών, τα αποθηκευμένα δρομολόγια μπορεί να καταστούν άκυρα
- ένας αποστολέας μπορεί να προσπαθήσει να στείλει μέσω διάφορων παλιών δρομολογίων (που προκύπτουν απ' την τοπική μνήμη ή έχουν επιστραφεί από την αποθήκευση άλλων κόμβων), πριν την εύρεση ενός καλού δρομολογίου

# DSR: πλεονεκτήματα

- τα δρομολόγια διατηρούνται μόνο μεταξύ κόμβων που χρειάζεται να επικοινωνούν
  - μειώνεται το overhead διατήρησης των δρομολογίων
- η αποθήκευση μονοπατιών μπορεί επιπλέον να μειώσει το overhead της ανακάλυψης δρομολογίων
- μια μόνο ανακάλυψη μονοπατιού μπορεί να οδηγήσει σε πολλά μονοπάτια προς τον προορισμό, λόγω των ενδιάμεσων κόμβων που απαντούν με τη χρήση των τοπικών τους αποθηκεύσεων

# DSR: μειονεκτήματα

- Το μέγεθος της επικεφαλίδας των πακέτων μεγαλώνει με το μήκος του δρομολογίου, λόγω της δρομολόγησης πηγής
- Το 'πλημμύρισμα' από αιτήσεις δρομολογίων μπορεί πιθανώς να φτάσει σε όλους τους κόμβους του δικτύου
- Πρέπει να αποφευχθούν οι συγκρούσεις ανάμεσα στις αιτήσεις δρομολογίων, που διαδίδονται από γειτνιάζοντες κόμβους
  - Εισαγωγή τυχαίων καθυστερήσεων πριν την προώθηση των RREQ
- Αυξημένος ανταγωνισμός, αν πάρα πολλές απαντήσεις δρομολογίων επιστρέφουν, λόγω της χρήσης των τοπικών αποθηκεύσεων των κόμβων (πρόβλημα καταίγισμού των RREP)
  - Το πρόβλημα μπορεί να διευκολυνθεί, με το να αποτρέπεται η αποστολή RREP από έναν κόμβο, αν αυτός 'ακούει' ένα άλλο RREP με συντομότερο δρομολόγιο

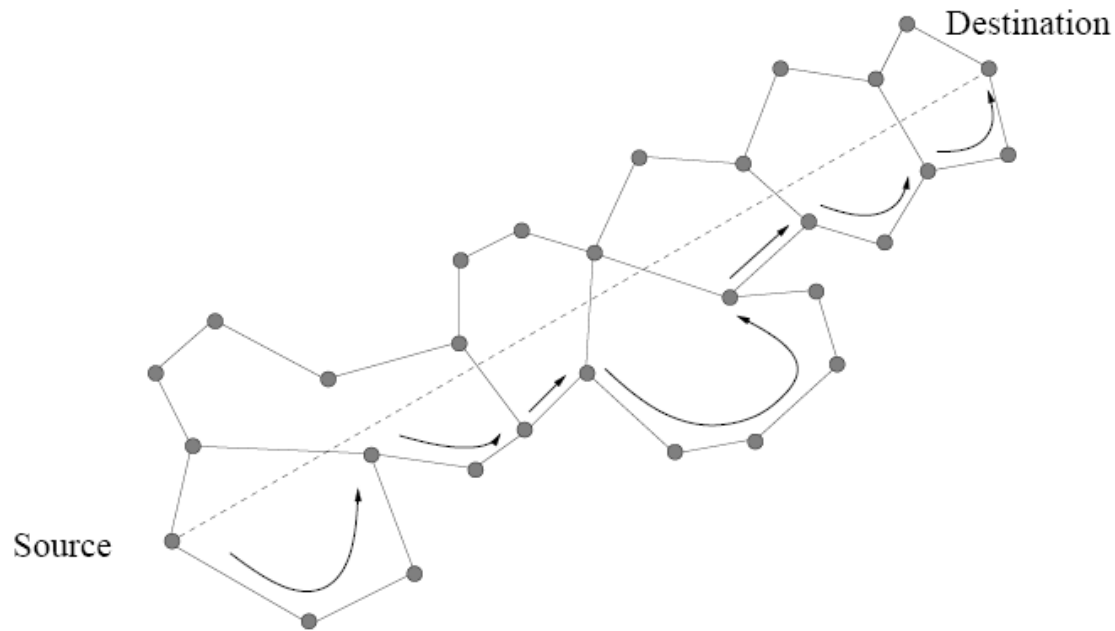


# DSR: μειονεκτήματα

- Ένας ενδιάμεσος κόμβος μπορεί να στείλει Απάντηση Δρομολογίου χρησιμοποιώντας ένα παλιό αποθηκευμένο δρομολόγιο, ‘μολύνοντας’ έτσι και άλλες αποθηκεύσεις
- Το πρόβλημα μπορεί να διευκολυνθεί, με την ενσωμάτωση κάποιου μηχανισμού που να ‘καθαρίζει’ (πιθανώς) άκυρα αποθηκευμένα δρομολόγια – για ακύρωση αποθηκεύσεων,
- στατικά timeout
- προσαρμοστικά timeout βασισμένα στην ευστάθεια των συνδέσμων

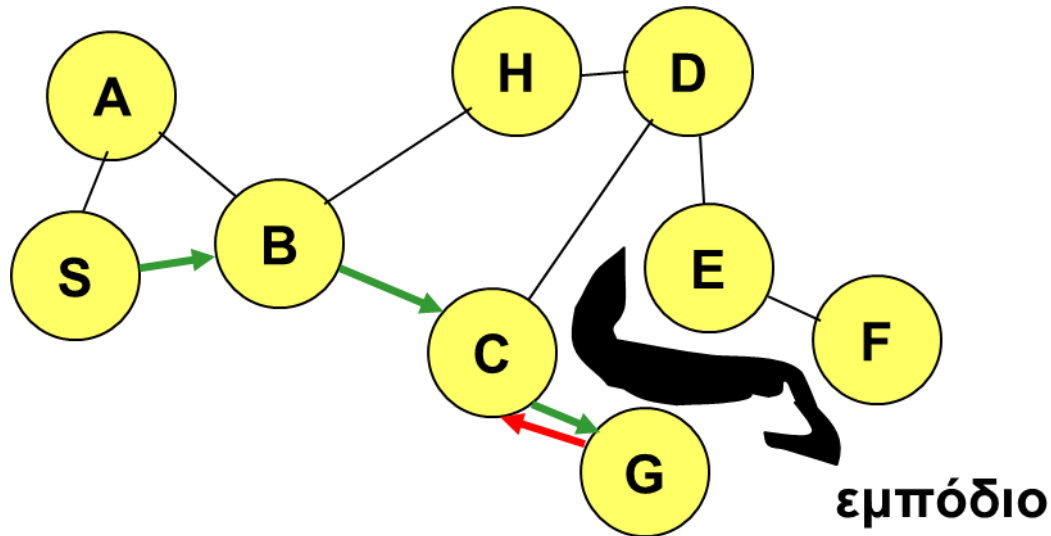
# Γεωγραφική Δρομολόγηση

# Greedy Routing with Perimeter Routing



# Geographic Distance Routing (GEDIR)

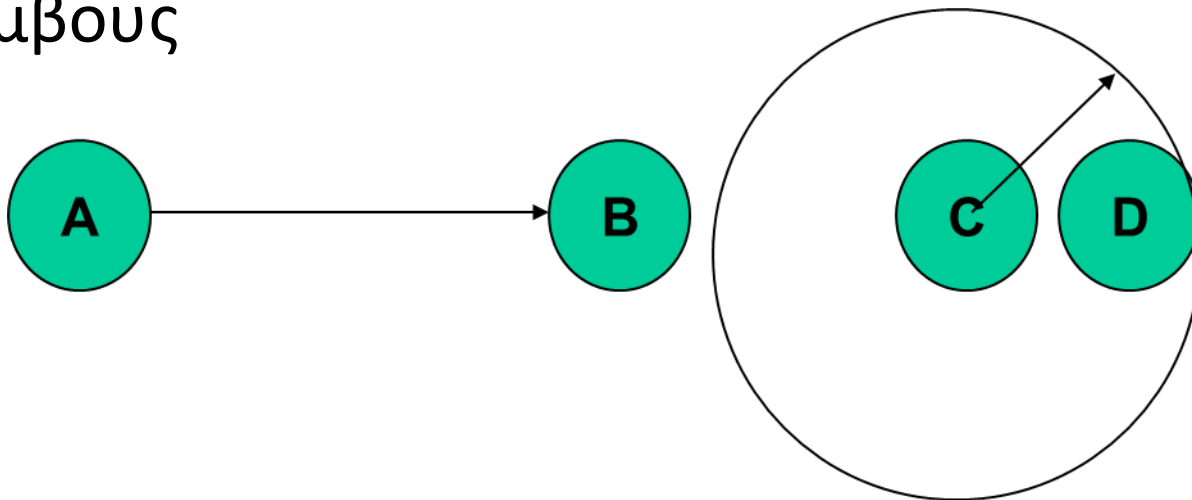
- Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν διασχίζουμε την ίδια ακμή για δεύτερη φορά
- Ο αλγόριθμος αποτυχαίνει να δρομολογήσει από τον S στον E
- Ο κόμβος G είναι ο γείτονας του C που είναι πιο κοντά στον προορισμό E, αλλά ο G δεν έχει μονοπάτι για τον E



# Έλεγχος Ισχύος

# Έλεγχος ισχύος

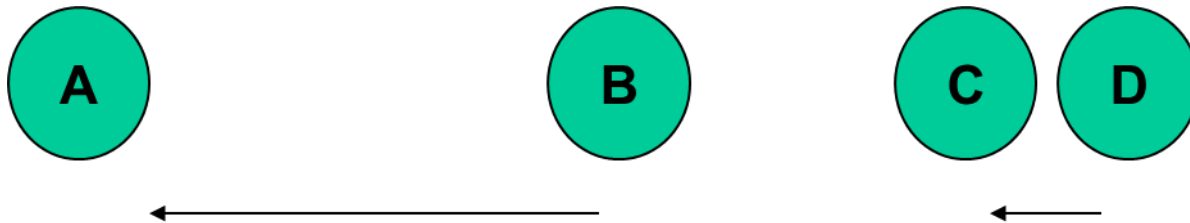
- Η ισχύς μετάδοσης καθορίζει
  - Την ακτίνα μετάδοσης
  - Την κατανάλωση ενέργειας
  - Την παρεμβολή που προκαλείται στους άλλους κόμβους



# Χρησιμότητα του ελέγχου ισχύος

- Μετάδοση ενός πακέτου με την ελάχιστη αναγκαία ισχύ μετάδοσης, ώστε να παραληφθεί απ'τον προορισμό
  - **Εξοικονόμηση ενέργειας:** σημαντικό κέρδος σε χρήστες που λειτουργούν με μπαταρία
  - Μείωση παρεμβολής
  - Επιτρέπει περισσότερη **χωρική επαναχρησιμοποίηση**

# Ο έλεγχος ισχύος εισάγει ασυμμετρία

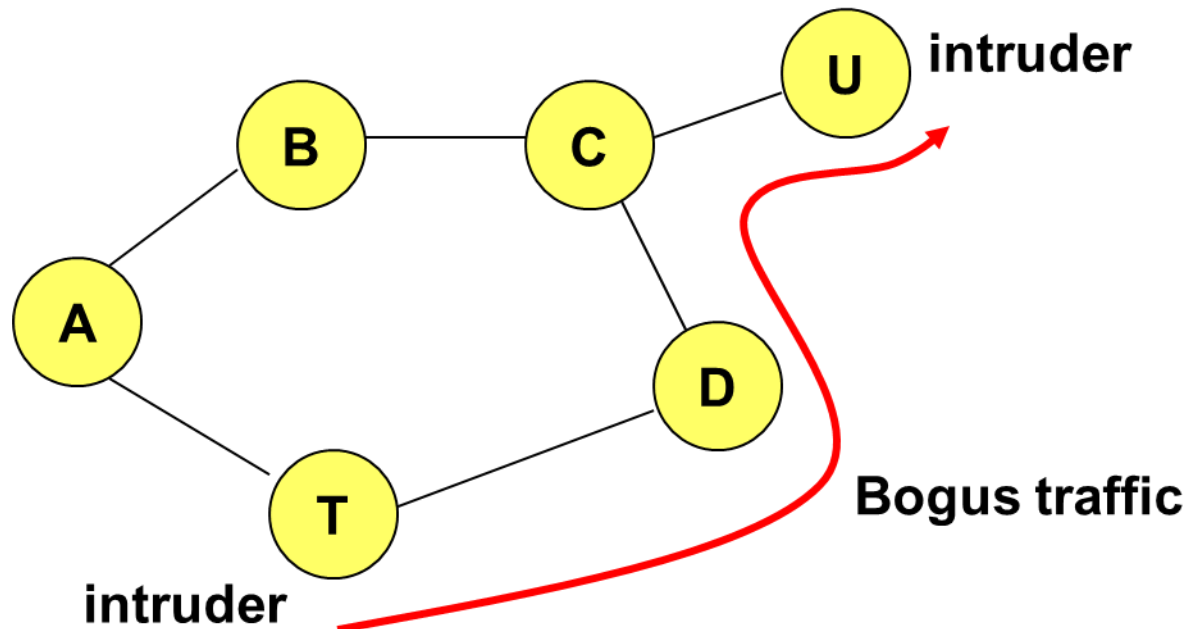


- ο D μεταδίδει στον C σε χαμηλή ισχύ, αλλά ο B χρησιμοποιεί υψηλή ισχύ μετάδοσης για να μεταδώσει στον A
- ο B μπορεί να μη γνωρίζει για την D-προς-C μετάδοση, αλλά μπορεί να επιδράσει σε αυτήν



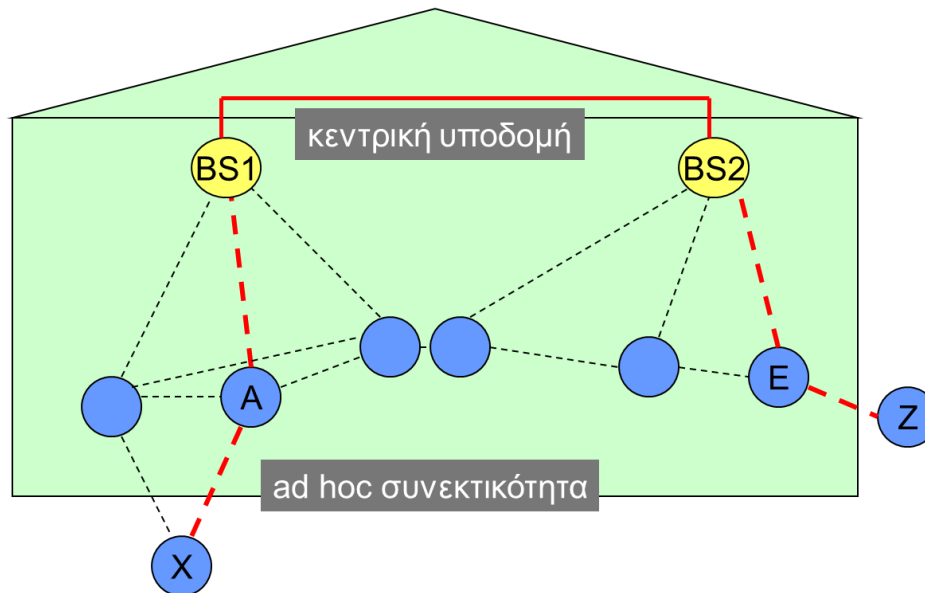
# Resource Depletion Attack

- «Intruders» στέλνουν δεδομένα με σκοπό να δημιουργήσουν συμφόρηση ή να σπαταλήσουν την ενέργεια στις μπαταρίες



# Υβριδικά περιβάλλοντα

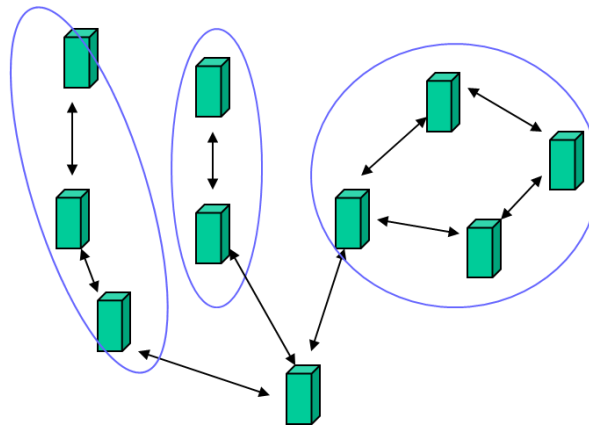
- χρησιμοποιείται κεντρική υποδομή όταν είναι βολικό
- χρησιμοποιείται ad hoc συνεκτικότητα αν είναι αναγκαίο ή αποτελεί την καλύτερη λύση



# Δίκτυα Αισθητήρων

# Δίκτυα αισθητήρων

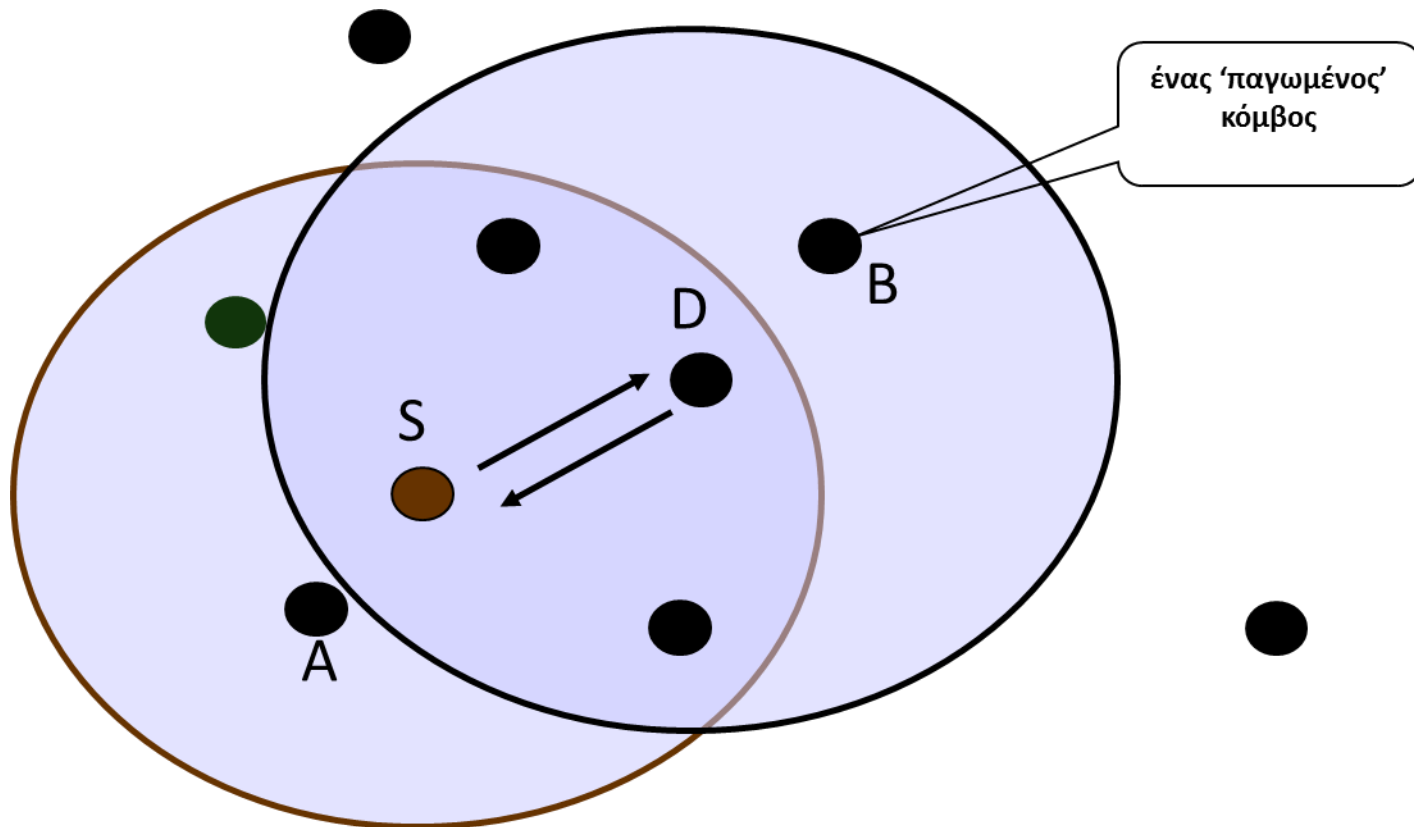
- Δίκτυα αισθητήρων
  - Η κίνηση δεδομένων υψηλά συσχετισμένα στο χρόνο και στο χώρο.
  - Τα δεδομένα ρέουν προς μια κεντρική περιοχή.
  - Η ενέργεια αποτελεί το βασικό περιορισμό.
  - 1000-100000 κόμβοι.
  - Έχουν μια κοινή αποστολή.
  - Αρκετά διαφορετικά απ'τα τυπικά ad-hoc δίκτυα.



Κατευθυντικές κεραίες

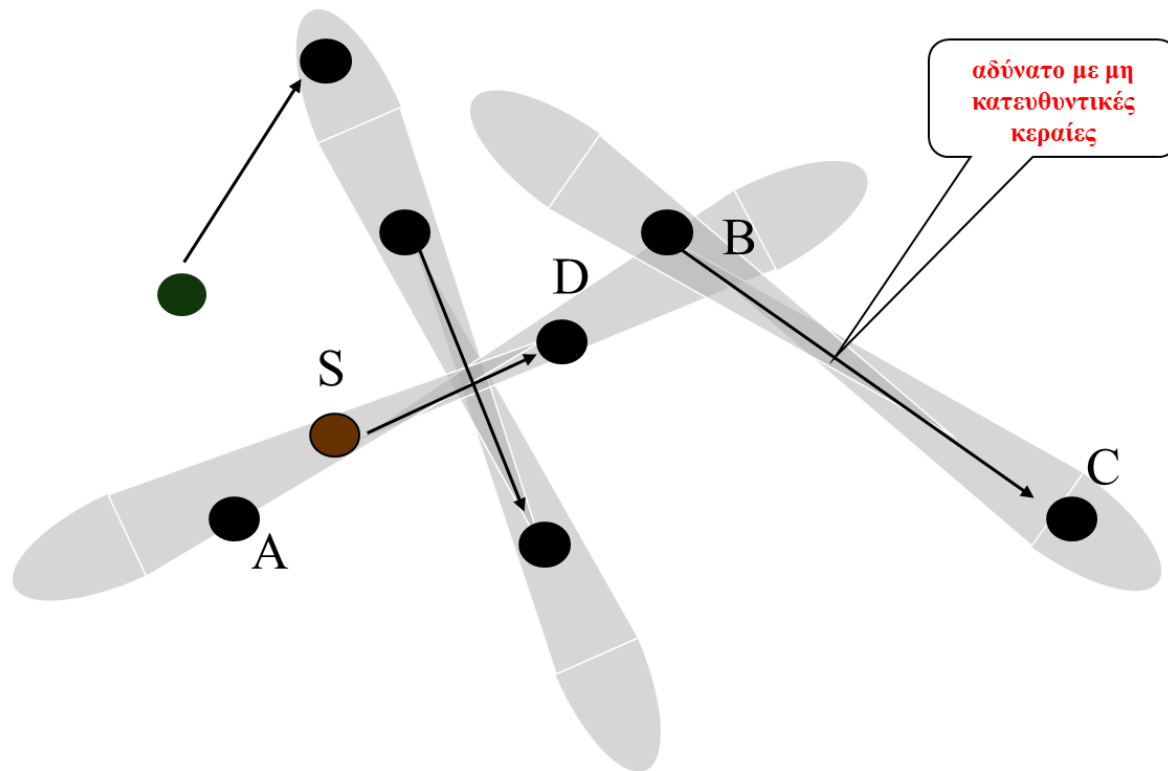
# Κατευθυντικές κεραίες

Όταν δεν χρησιμοποιούμε κατευθυντικές κεραίες



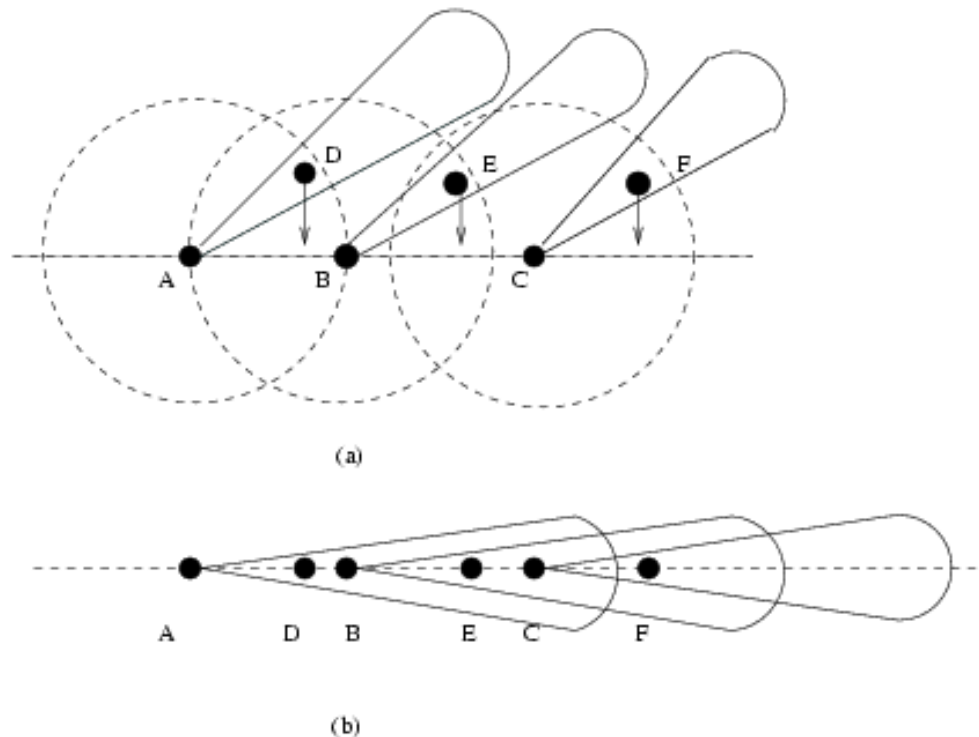
# Κατευθυντικές κεραιές

Όταν χρησιμοποιούμε κατευθυντικές κεραιές



# Η επίδραση της τοπολογίας

- οι κόμβοι τοποθετημένοι σε γραμμικούς σχηματισμούς μειώνουν την επαναχρησιμοποίηση χώρου για τις διευθυντικές κεραίες





Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Εμμανουήλ Βαρβαρίγος 2014. Εμμανουήλ Βαρβαρίγος. «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών. Ασύρματα Ad Hoc Δίκτυα». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1109/>



# 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

Η εικόνα στη σελίδα 27 υπάρχει στο σύνδεσμο:

<http://techviewznetwork.blogspot.gr/2007/10/wimax-wireless-highway-to-future.html>

Οι εικόνες στις σελίδες 39, 40 υπάρχουν στο σύνδεσμο:

<http://internetex.blogspot.gr/2006/03/fixed-mobile-wimax.html>