



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

# Κινητές Τεχνολογίες

Διάλεξη 7η: MANET/WSN/Bluetooth

Γ. Καρυδάκης

Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται 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 Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» 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



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Περιεχόμενα ενότητας

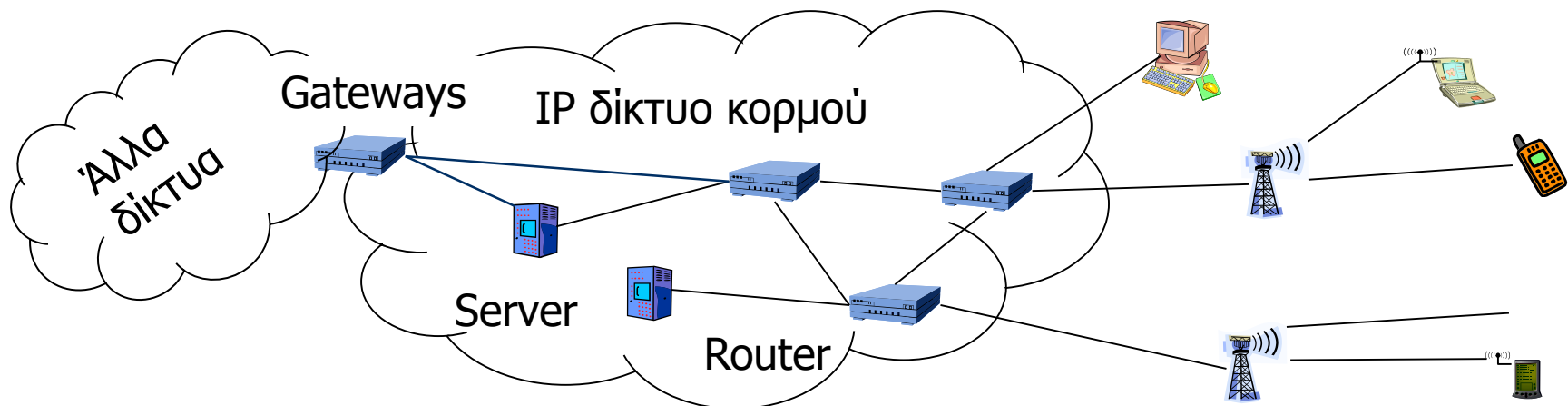
- Ασύρματα δίκτυα με υποδομή
- Ασύρματα ad hoc δίκτυα
- Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων
- Bluetooth

# Διάλεξη 7<sup>η</sup>

Εισαγωγή σε ασύρματα αδόμητα (ad hoc)  
δίκτυα

# Ασύρματα δίκτυα με υποδομή (infrastructure-based)

- Τα τυπικά ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε κάποιου είδους σταθερή υποδομή
  - GSM, GPRS, 3G, WiFi
  - Σταθμοί βάσης (BS) συνδέονται σε ένα ασύρματο δίκτυο κορμού
  - Κινητοί σταθμοί επικοινωνούν ασύρματα με τους BS
  - Η κίνηση μεταξύ των κινητών σταθμών αναμεταδίδεται από τους BS και το ενσύρματο δίκτυο κορμού
  - Η κινητικότητα υποστηρίζεται μέσω μεταπομπής μεταξύ BS

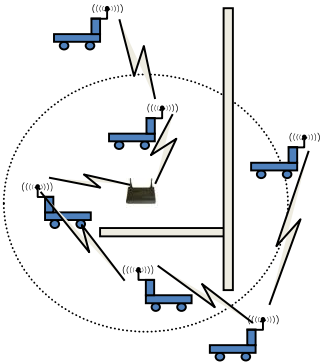


# Ασύρματα δίκτυα με υποδομή– Όρια;

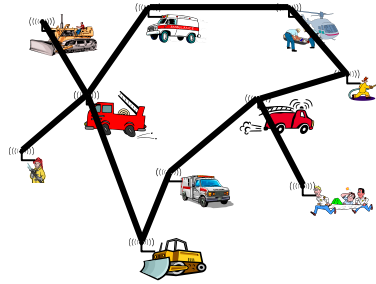
- Τι γίνεται αν ...
  - Δεν υπάρχει διαθέσιμη υποδομή;
    - σε περιοχές στις οποίες έχει προηγηθεί κάποια καταστροφή
  - Είναι πολύ ακριβό ή ακατάλληλο να εγκατασταθεί;
    - σε απομακρυσμένα, μεγάλα εργοτάξια
  - Δεν υπάρχει χρόνος για να εγκατασταθεί;
    - σε στρατιωτικές επιχειρήσεις

# Πιθανές εφαρμογές δικτύων χωρίς υποδομή

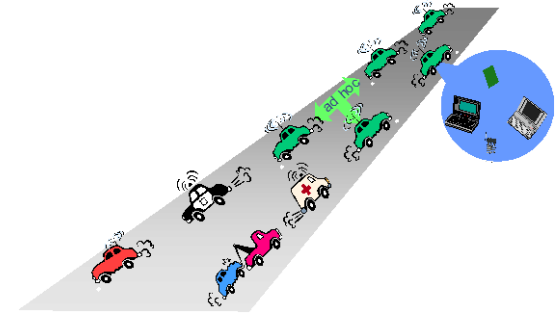
- Βιομηχανική αυτοματοποίηση



- Ανάκαμψη από καταστροφές



- Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων

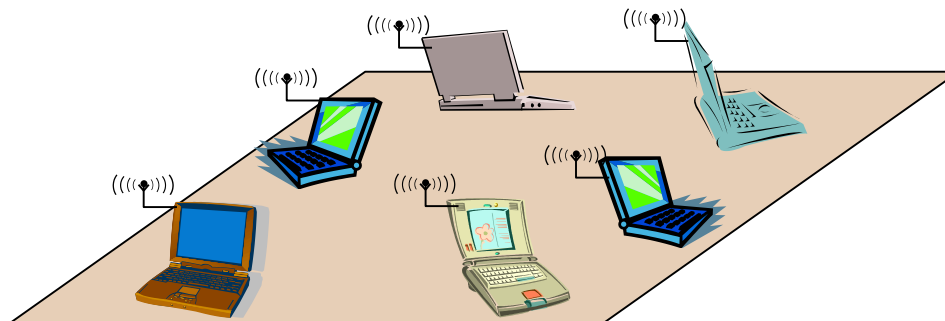


- Στρατιωτική δικτύωση: στρατιωτικά οχήματα, προσωπικό, ..
- Εύρεση κενών θέσεων parking σε μια πόλη (με ή χωρίς ερώτηση σε έναν εξυπηρετητή)
- Επιχειρήσεις διάσωσης μετά από χιονοστοιβάδα
- Δικτύωση προσωπικής περιοχής (ρολόι, γυαλιά, PDA, ιατρικές συσκευές, ...)
- ...



# Λύση: Ασύρματα ad hoc δίκτυα

- Δημιουργία δικτύου χωρίς υποδομή, με αξιοποίηση των δικτυακών δυνατοτήτων των συμμετεχόντων σταθμών
  - Αυτό ονομάζεται **ad hoc (αδόμητο) δίκτυο** –ένα δίκτυο που δημιουργείται για κάποιον “ειδικό σκοπό”
- Απλούστερο παράδειγμα: Laptops σε ένα συνεδριακό χώρο
  - **ενός βήματος (single-hop) ad hoc δίκτυο**



# Βασικοί τύποι Ad Hoc δικτύων

- Κινητά αδόμητα δίκτυα, (Mobile ad hoc networks, MANETs)
- Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless sensor networks, WSNs)

# Προκλήσεις στα ad hoc δίκτυα

- Η απουσία κεντρικής υποδομής δημιουργεί εμπόδια
- Προβλήματα λόγω:
  - Έλλειψη κεντρικής οντότητας (π.χ. σταθμού βάσης) για οργάνωση
    - Οι ασύρματοι κόμβοι πρέπει να οργανωθούν μόνοι τους σε ένα δίκτυο (**αυτό-οργάνωση**)
    - Σχετίζεται με (μεταξύ άλλων):
      - Έλεγχος πρόσβασης στο κοινό μέσο – κανένας BS δεν αναθέτει επικοινωνιακούς πόρους, αυτό πρέπει να αποφασισθεί με κατανεμημένο τρόπο
      - Εύρεση διαδρομών από έναν σταθμό σε έναν άλλο
  - Περιορισμένη επικοινωνιακή εμβέλεια
  - Κινητικότητα κόμβων
  - Κόμβοι με μικρή ενεργειακή αυτονομία (τυπικά λειτουργούν με μπαταρία)

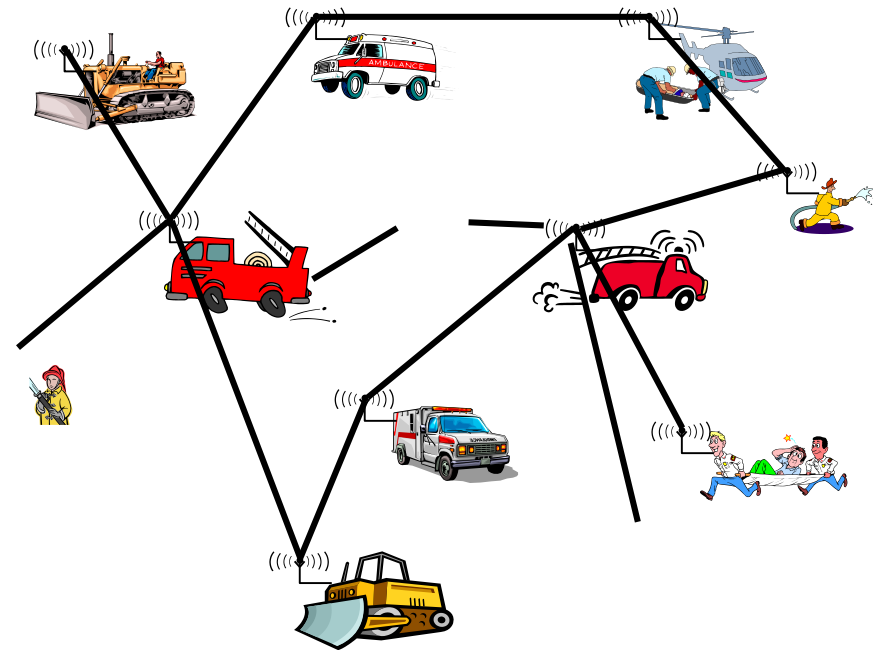
# Περιορισμένη εμβέλεια – επικοινωνία πολλαπλών βημάτων

- Σε πολλά σενάρια, απαιτείται επικοινωνία με ομότιμες οντότητες εκτός εμβέλειας
  - Η άμεση επικοινωνία περιορίζεται λόγω απόστασης, εμποδίων, ...
  - Λύση: επικοινωνίες/δίκτυα πολλαπλών βημάτων (*multi-hop*)



# Κινητικότητα: προσαρμοστικά πρωτόκολλα

- Σε πολλές (όχι όλες!) ad hoc δικτυακές εφαρμογές, οι κόμβοι μετακινούνται
  - Σε ένα κυψελωτό δίκτυο η κινητικότητα αντιμετωπίζεται με μεταπομπές μεταξύ σταθμών βάσης
- Σε MANETs:
  - Η κινητικότητα μεταβάλλει τις σχέσεις γειτνίασης (άρα και τη δικτυακή τοπολογία)
- Πολυπλοκότητα λόγω κλίμακας
  - Μεγάλος αριθμός τέτοιων κόμβων είναι δύσκολα διαχειρίσιμος



# Συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες: ενεργειακά αποδοτική λειτουργία

- Επιθυμητό: μεγάλος χρόνος λειτουργίας (lifetime) για:
  - Κάθε μία συσκευή
  - Για το δίκτυο συνολικά
- Ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα, π.χ.
  - Χρήση διαδρομών πολλαπλών βημάτων (multi-hop) αντί αύξησης της ισχύος εκπομπής
  - Σχεδιασμός διαδρομών που λαμβάνουν υπόψη την υφιστάμενη ενεργειακή στάθμη των ενδιάμεσων κόμβων
- Ερευνητική πρόκληση: επίλυση συγκρούσεων που προκύπτουν από βελτιστοποιήσεις που βασίζονται σε αντικρουόμενους στόχους

# **Πρωτόκολλα δρομολόγησης σε adhoc δίκτυα**

# Γιατί όχι συμβατικά πρωτόκολλα δρομολόγησης;

- Δεν έχουν σχεδιαστεί για πολύ δυναμικά, με χαμηλό εύρος ζώνης δίκτυα
- Σχηματισμός βρόγχων (loops) κατά τη διάρκεια προσωρινών αποτυχιών κόμβων του δικτύου και διαμερίσεων (partitions)
- Πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν τεχνικές πλημμύρες (flooding) δημιουργούν υπερβολική κίνηση και πληροφορία ελέγχου (control overhead)



# Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης για adhoc δίκτυα

- Προληπτικά (proactive) πρωτόκολλα
  - Βασισμένα σε πίνακες (table-driven)
  - Συνεχώς υπολογίζουν διαδρομές
  - Χωρίς καθυστέρηση ανακάλυψης διαδρομής
  - Μεγάλες απαιτήσεις μνήμης/χωρητικότητας για συντήρηση πληροφορίας δρομολόγησης
  - Μεγάλο μέρος πληροφορίας δε χρησιμοποιείται ποτέ!

# Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης για adhoc δίκτυα

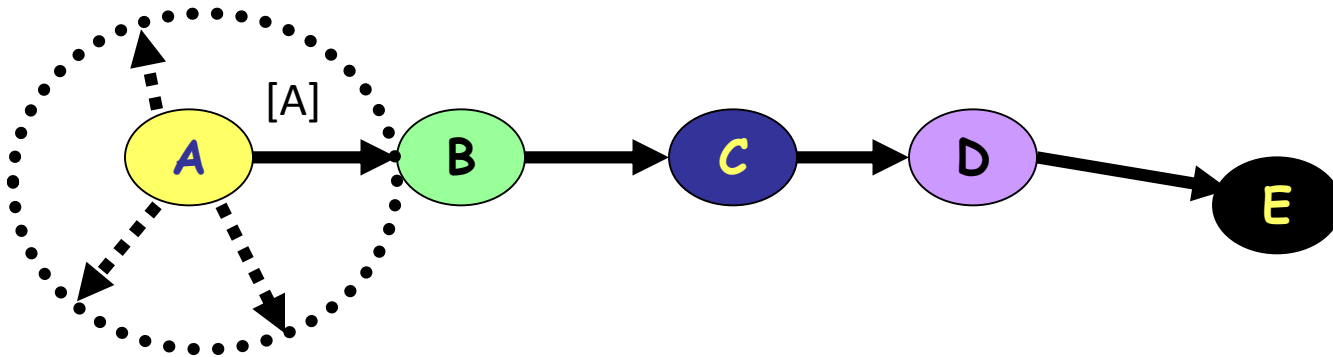
- **Αντιδραστικά (reactive) πρωτόκολλα**
  - Βάσει ζήτησης (On Demand)
  - Ανακάλυψη διαδρομών μέσω κάποιας καθολικής αναζήτησης
  - Συμφόρησης λόγω καθυστέρησης της ανακάλυψης διαδρομής
  - Μπορεί να μην είναι κατάλληλα για επικοινωνίες πραγματικού χρόνου

# Πρωτόκολλο Dynamic Source Routing (DSR)

- On-demand πρωτόκολλο δρομολόγησης
- Κάθε επικεφαλίδα πακέτου περιέχει μια διαδρομή, η οποία παρουσιάζεται ως μια πλήρη ακολουθία των κόμβων μεταξύ ενός ζεύγους πηγής-προορισμού
- Πρωτόκολλο αποτελείται από δύο φάσεις
  - Ανακάλυψη διαδρομής
  - Συντήρηση διαδρομής

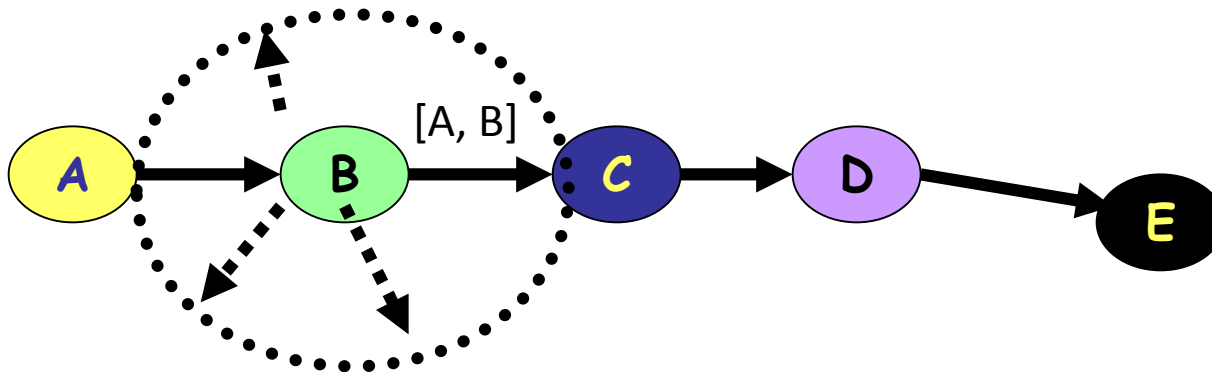
# Ανακάλυψη διαδρομής στο DSR

- Ο Α μεταδίδει ένα ROUTE REQUEST (RREQ) μήνυμα μέσω ενός απλού πακέτου «τοπικής πανεκπομπής» (“local broadcast”)
- Όλοι οι εντός εμβέλειας κόμβοι λαμβάνουν αυτό το πακέτο



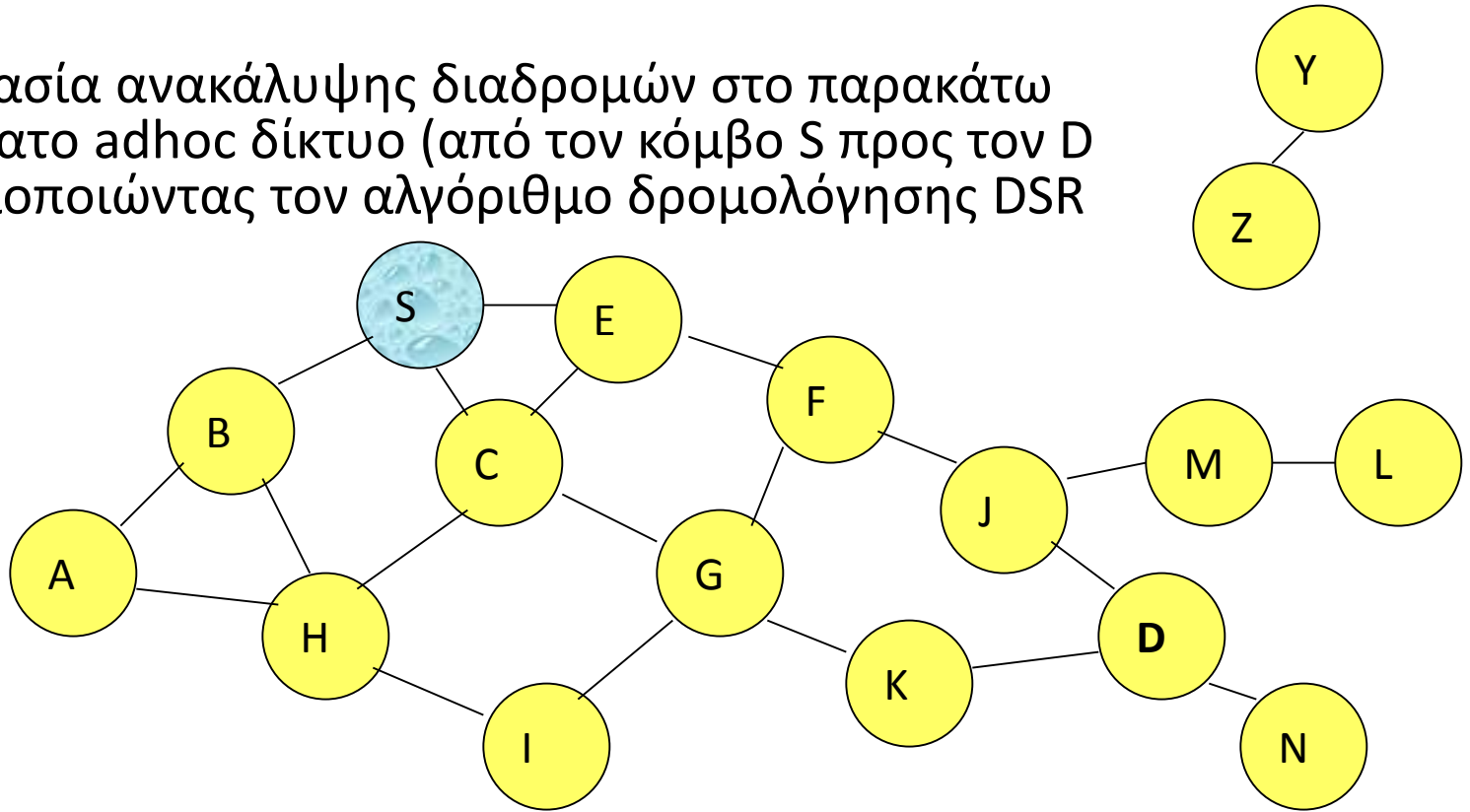
# Ανακάλυψη διαδρομής στο DSR

- Η ταυτότητα/διεύθυνση των ενδιάμεσων κόμβων από τους οποίους έχει περάσει ένα πακέτο ενσωματώνεται σε αυτό
- Όταν ο αποδέκτης της διαδικασίας ανακάλυψης διαδρομής το λάβει, απαντά με ένα ROUTE REPLY (RREP) μήνυμα.
  - Στο RREP περιλαμβάνεται η σειρά των ενδιάμεσων κόμβων από την αφετηρία στον προορισμό.
- Ο κόμβος που κίνησε τη διαδικασία, αποθηκεύει τη διαδρομή και τη χρησιμοποιεί για μελλοντική δρομολόγηση πακέτων



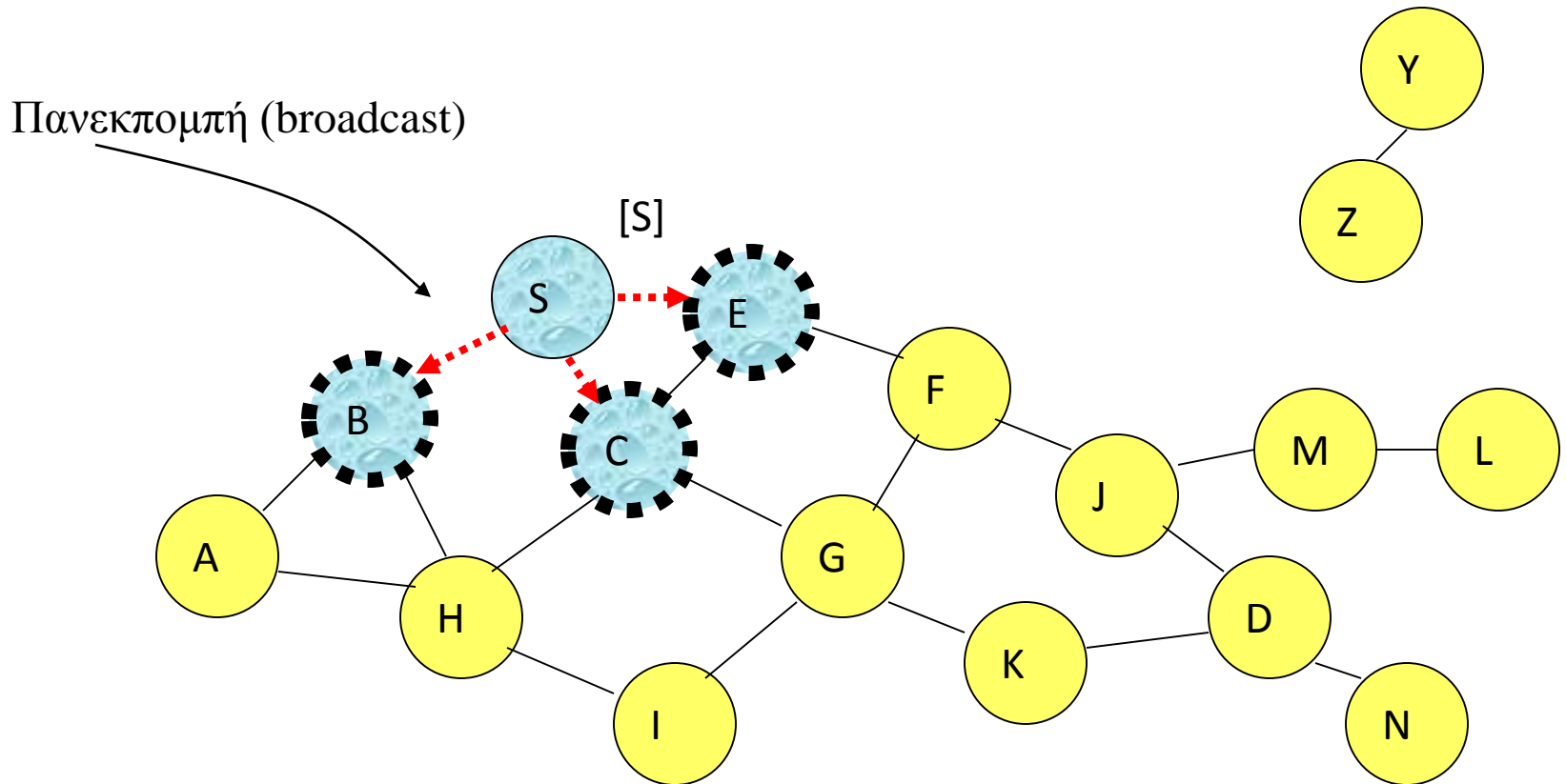
# DSR

- Διαδικασία ανακάλυψης διαδρομών στο παρακάτω ασύρματο adhoc δίκτυο (από τον κόμβο S προς τον D χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο δρομολόγησης DSR)



- ▶ Αναπαριστά έναν κόμβο που έχει λάβει ένα RREQ από τον S για τον D
- ▶ Οι ακμές (γραμμές) μεταξύ κόμβων δηλώνουν ότι ο ένας βρίσκεται εντός της περιοχής αποκωδικοποίησης του άλλου

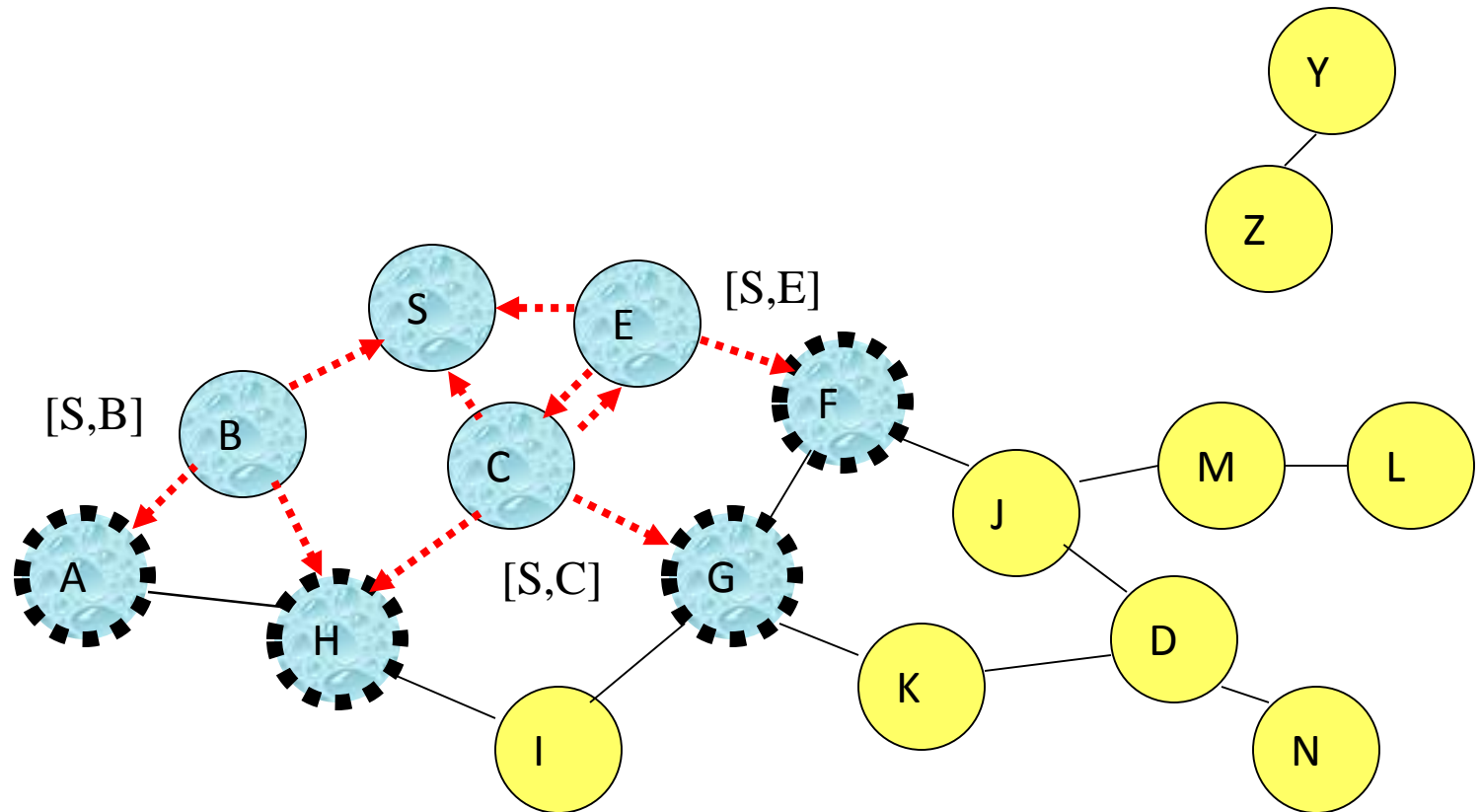
# DSR



.....➔ Αναπαριστά μετάδοση ενός RREQ

[X,Y] Αναπαριστά μια εγγραφή της διαδρομής που αποθηκεύεται σε ένα RREQ

# DSR

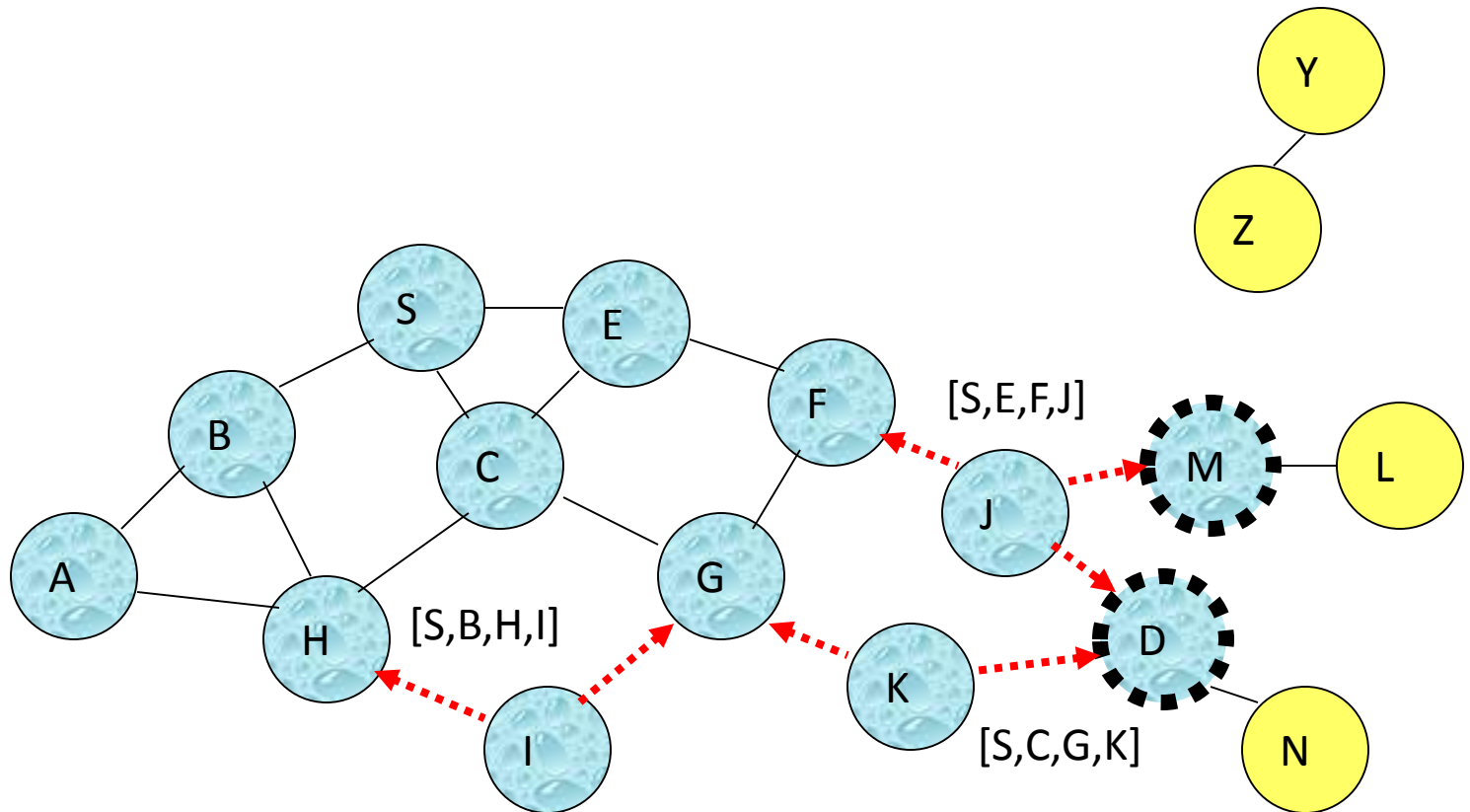


- Ο κόμβος H λαμβάνει πακέτο RREQ από δύο γείτονες: πιθανότητα σύγκρουσης





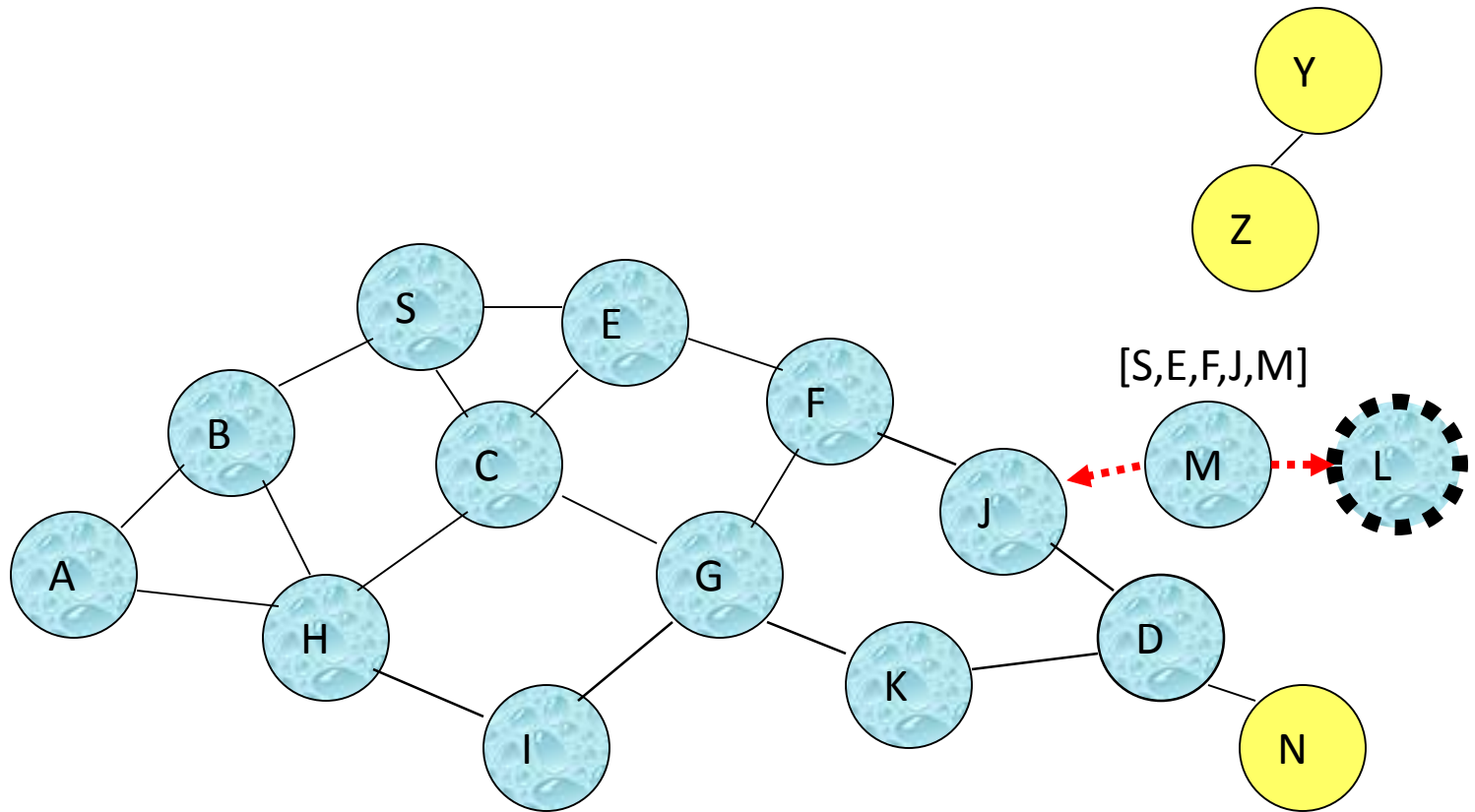
# DSR



Οι **J** και **K** πανεκπέμπουν RREQ προς τον **D**

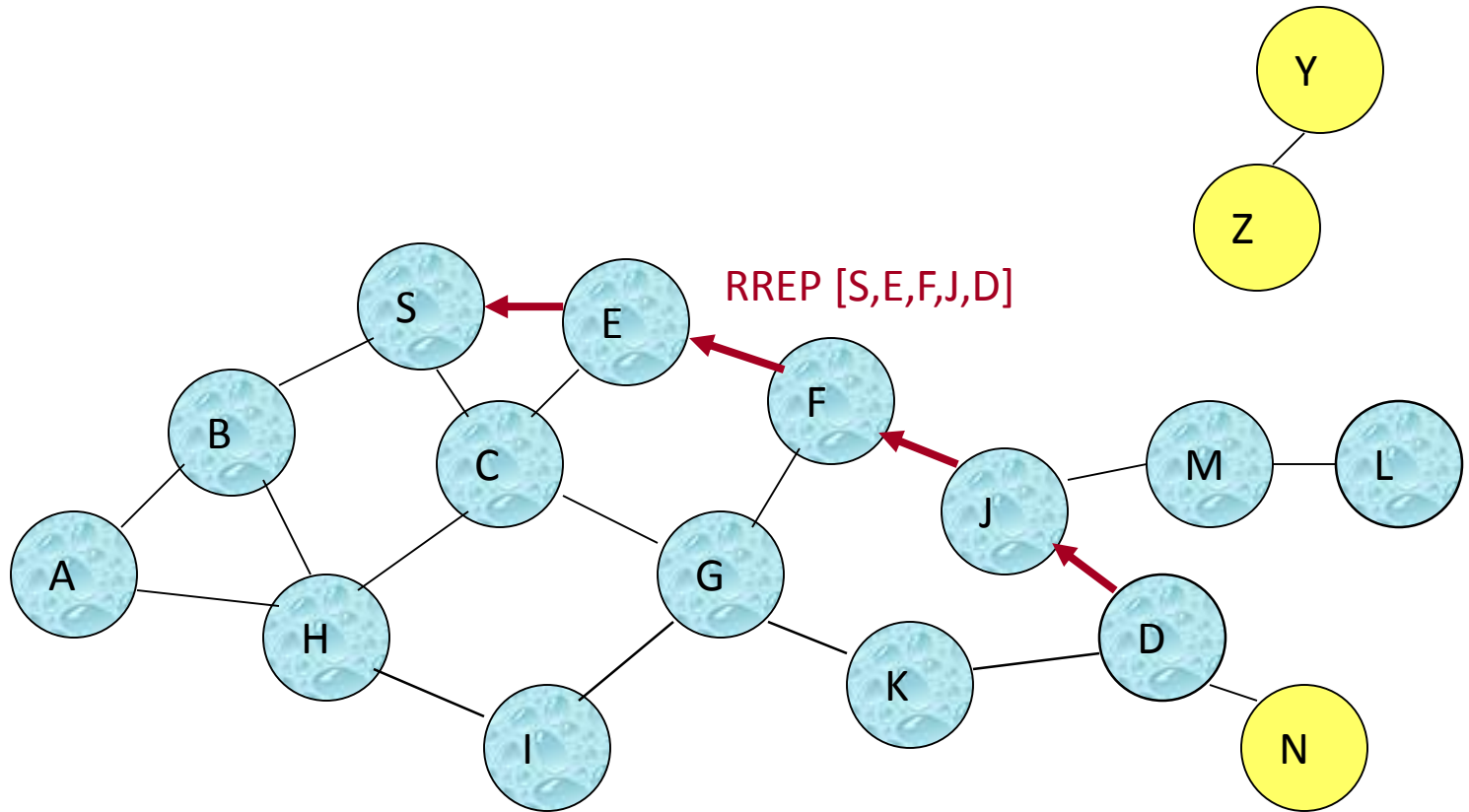
Οι μεταδόσεις τους ενδέχεται να συγκρουστούν στον **D**

# DSR



- **O D** δεν προωθεί **το RREQ** καθώς είναι ο τελικός αποδέκτης του

# DSR



← Αναπαριστά το RREP μήνυμα ελέγχου

# Προβλήματα

- Υπερβολική επιβάρυνση του δικτύου από την επανεκπομπή του ίδιου RREQ από πολλούς διαδοχικούς κόμβους του δικτύου
- Δημιουργία βρόγχων, την επανεκπομπή δηλαδή του ίδιου RREQ από τον ίδιο κόμβο

# Αντιμετώπιση

- Τρόπος αντιμετώπισης υπερβολικής επιβάρυνσης του δικτύου από την επανεκπομπή του ίδιου RREQ από πολλούς διαδοχικούς κόμβους του δικτύου:
  - Η διαδοχική –χωρίς όρους- εκπομπή ενός RREQ θα οδηγούσε σύντομα σε πλημύρα (flooding) του δικτύου.
  - Μια απλή τεχνική θα ήταν η χρήση ενός time-to-live (TTL) πεδίου στο RREQ πακέτο (σε κάθε μετάδοση (hop) το TTL μειώνεται κατά ένα και όταν μηδενιστεί σταματάει να αναμεταδίδεται).
- Τρόπος αντιμετώπισης δημιουργίας βρόγχων (loops), της επανεκπομπής δηλαδή του ίδιου RREQ από τον ίδιο κόμβο:
  - Να περιλαμβάνεται ένα **sequence number** (SN) σε κάθε πακέτο, ώστε κανένας κόμβος να μην προωθεί ένα RREQ με SN που έχει ήδη προωθήσει στο παρελθόν
  - Ο κόμβος να εξετάζει κατά πόσο περιλαμβάνεται στη διαδρομή που έχει ακολουθήσει το πακέτο. Αν αυτό συμβαίνει τότε έχει δημιουργηθεί βρόγχος και το απορρίπτει

# Μειονέκτημα & βελτίωση του DSR

- Μειονέκτημα του DSR
  - Στο παράδειγμα που προηγήθηκε, από το RREP [S,E,F,J,D] ο F ανακάλυψε τη διαδρομή [F,J,D] προς τον D και [F,E,S] προς τον S
  - Αν μελλοντικά ο F θελήσει να επικοινωνήσει με τον D, η διαδικασία θα ξεκινήσει εξ αρχής δημιουργώντας χωρίς λόγο κίνηση στο δίκτυο
- Λύση: κάθε κόμβος αποθηκεύει προσωρινά (caches) κάθε νέα διαδρομή που μαθαίνει με οποιοδήποτε τρόπο και τη χρησιμοποιεί όταν μελλοντικά του χρειαστεί

# **Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων**



# Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks, WSNs)

- Αυτο-οργανούμενα, αδόμητα (self-organized, adhoc) δίκτυα στα οποία οι κόμβοι-αισθητήρες (sensors) επικοινωνούν με ασύρματες ζεύξεις
- Οι κόμβοι που βρίσκονται εκτός αμοιβαίας εμβέλειας επικοινωνούν χρησιμοποιώντας ενδιάμεσους κόμβους για την προώθηση των μηνυμάτων
- Τυπικός στόχος στα WSN δίκτυα είναι η μεταφορά το συλλεγμένων δεδομένων σε μια κεντρική δεξαμενή δεδομένων (**sink**)
- Τυπικά, σε ένα WSN υπάρχει ένας μοναδικός, **καθολικός στόχος**, π.χ. σε μια εφαρμογή παρακολούθησης, όλοι οι κόμβοι συνεργάζονται για την ανίχνευση εισβολέων

# Τι περιλαμβάνουν WSN;

- Αισθητήρες



- Υπολογισμός



- Επικοινωνία

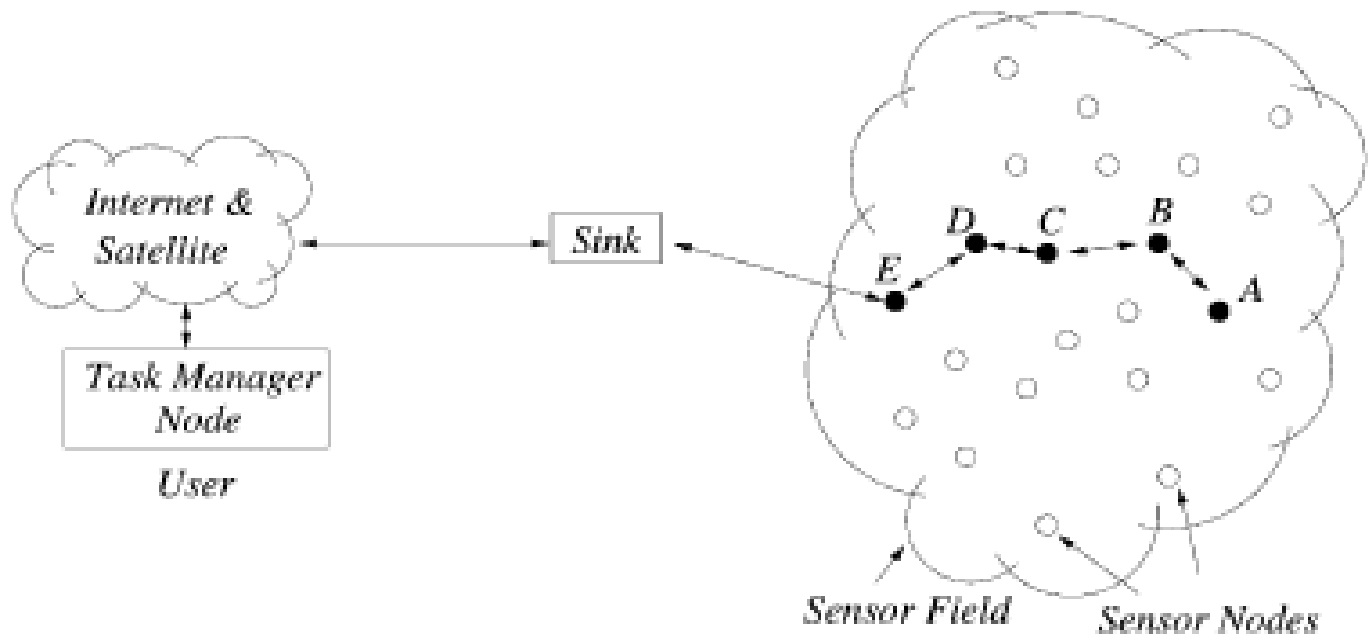


- Βασικά χαρακτηριστικά:

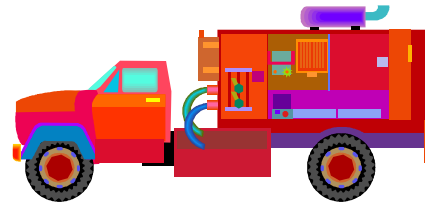
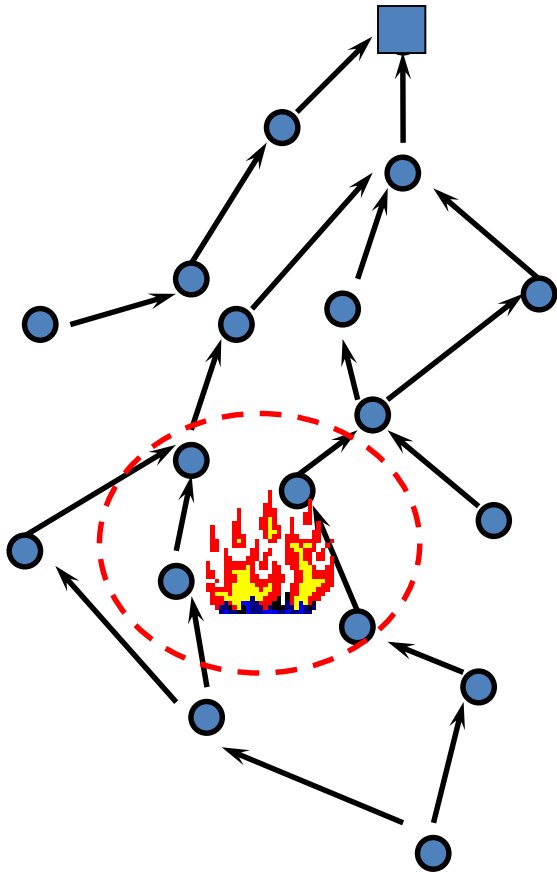
- Μεγάλος αριθμός κόμβων, συνήθως πυκνά και τυχαία τοποθετημένων στην περιοχή του υπό παρακολούθηση φαινομένου
- Δυνατότητες συνεργατικής παρακολούθησης του φαινομένου

# Τυπική ανάπτυξη αισθητήρων

- Τυχαία ανάπτυξη κόμβων σε ένα πεδίο (sensor field)
- Δρομολόγηση πολλαπλών βημάτων από τους κόμβους σε μια δεξαμενή (sink) τυπικά τοποθετημένη στην περιφέρεια του πεδίου
- Αξιοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται από διαδικτυακές υπηρεσίες



# Παράδειγμα εφαρμογής WSN

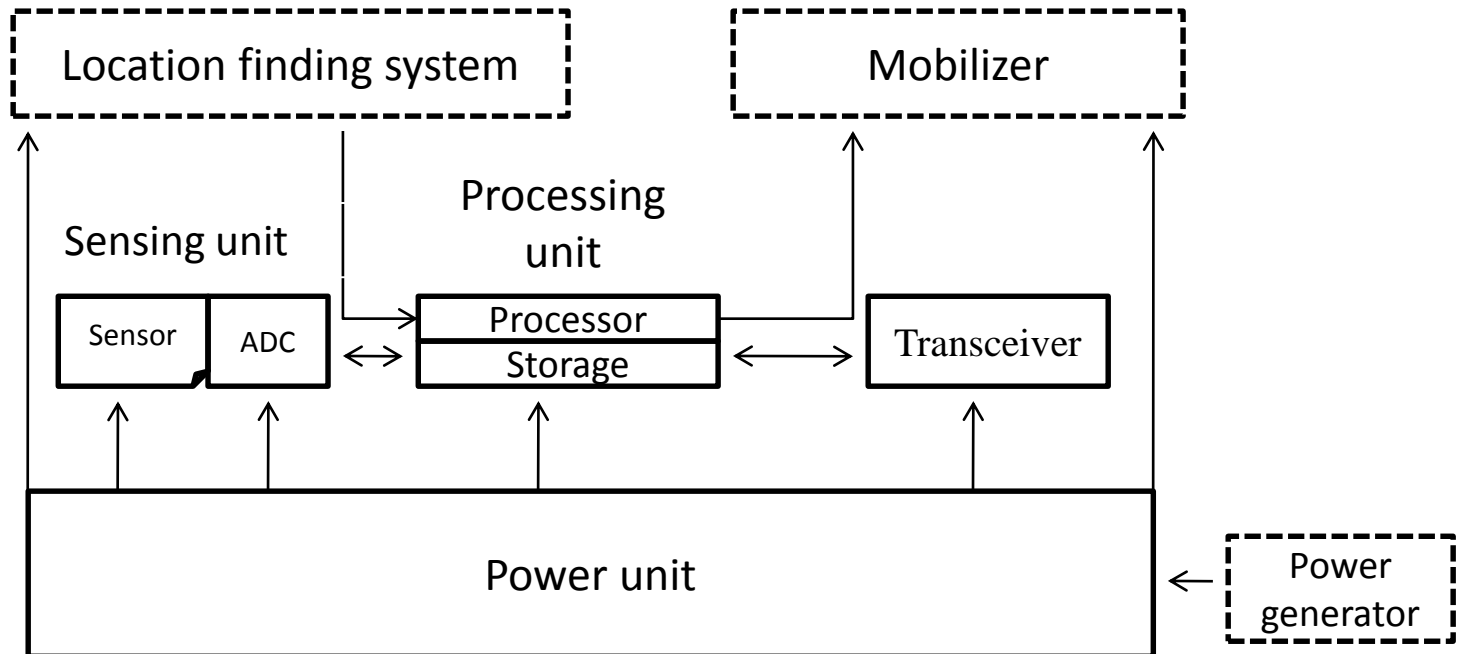


- Κόμβοι-αισθητήρες έχουν αναπτυχθεί σε ένα δάσος
- Σε περίπτωση πυρκαγιάς θα προωθήσουν ένα συναγερμό προς τη δεξαμενή δεδομένων (sink).
- Έτσι η φωτιά θα κατασβηστεί πριν εξαπλωθεί.
- Πως μπορεί να ανιχνευθεί η πυρκαγιά;

# Συνήθη πεδία εφαρμογής

- **Στρατιωτικές εφαρμογές**
  - Παρακολούθηση πεδίου για ενδεχόμενη εισβολή, ανίχνευση προσβολής από βιολογικά ή χημικά όπλα, ...
- **Περιβαλλοντικές εφαρμογές**
  - Καταγραφή θερμοκρασίας/υγρασίας, παρακολούθηση πυρκαγιών και πλημμυρών, γεωργικές/κτηνοτροφικές εφαρμογές, μέτρηση επίπεδου ρύπανσης σε ποτάμια/αέρα, ...
- **Εφαρμογές υγείας**
  - Τηλε-παρακολούθηση φυσιολογικών δεδομένων, ανίχνευση και παρακολούθηση ασθενών σε νοσοκομεία, ...
- **Οικιακές και άλλες εμπορικές εφαρμογές**
  - Οικιακοί αυτοματισμοί, παρακολούθηση χώρων, διαδραστικά μουσεία, αυτοματοποίηση ελέγχου αποθήκης, παρακολούθηση και ανίχνευση οχημάτων, ...

# Ανατομία ενός κόμβου-αισθητήρα (sensor nodes)



# Κόμβοι-αισθητήρες

- Μικροσκοπικές συσκευές με αισθητήρες οι οποίες έχουν την δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας

WeC 99  
"Smart Rock"



Small microcontroller  
8 kB code  
512 B data

Simple, low-power  
radio  
10 kbps ASK

EEPROM (32 KB)

Simple sensors

Rene 11/00

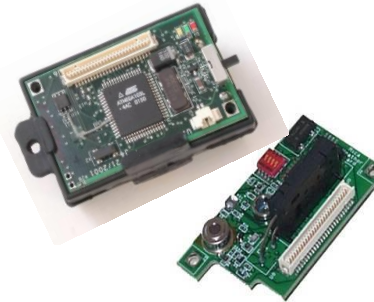


Designed for  
experimentation

-sensor boards

-power boards

Mica 1/02



NEST open exp.  
Platform

128 kB code, 4 kB data  
40kbps OOK/ASK radio  
512 kB Flash

Dot 9/01



Demonstrate  
scale

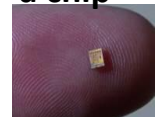
Telos 4/04  
Robust  
Low Power  
250kbps  
Easy to use



Mica2 12/02  
38.4kbps radio  
FSK



Spec 6/03  
"Mote on  
a chip"



# Βασικές επιδιώξεις σε ένα WSN

- Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κόμβων ώστε να επιμηκυνθεί η διαθεσιμότητα των κόμβων, να μην υπάρξουν δικτυακές ασυνέχειες (disconnections) λόγω αποτυχίας κόμβων και να επιμηκυνθεί η ζωή και λειτουργία του δικτύου
- Δευτερεύουσες επιδιώξεις:
  - Η αξιόπιστη και ασφαλής μεταφορά των δεδομένων που συλλέγουν οι αισθητήρες προς μια κεντρική δεξαμενή (sink)
  - Περιορισμός της καθυστέρησης (latency) στη μετάδοση και παράδοση δεδομένων στο sink



# Παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό WSNs

- Ανοχή σε σφάλματα (Fault Tolerance)
  - Το δίκτυο πρέπει να παραμένει λειτουργικό ακόμα και αν κάποιοι κόμβοι αποτυγχάνουν
- Κλιμάκωση (Scalability)
  - Πως επηρεάζεται η απόδοση σε σχέση με την πυκνότητα των κόμβων ή/και την αύξηση του όγκου διακινούμενης πληροφορίας (π.χ. καταγραφή μεγάλου όγκου περιβαλλοντικών δεδομένων)
- Περιορισμοί υλικού (Hardware Constrains)
  - Τι λειτουργικότητα/δυνατότητες μπορώ να ενσωματώσω σε ένα κόμβο κόστους  $< 1 \$$  ;;

# Παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό WSNs

- Δικτυακή τοπολογία (Sensor Network Topology)
  - Φάσεις σχεδιασμού ανάπτυξης (pre-deployment), ανάπτυξης (deployment) και ανάπτυξης επιπλέον κόμβων (post-deployment)
- Περιβάλλον (Environment)
  - Οι κόμβοι μπορεί να τοποθετηθούν στο βυθό της θάλασσας, στο σώμα ενός άγριου θηλαστικού, πίσω από τις γραμμές του εχθρού, στην επιφάνεια του ωκεανού κατά τη διάρκεια ενός τυφώνα ή τσουνάμι, κλπ
  - Συχνά αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα με ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές

# Παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό WSNs

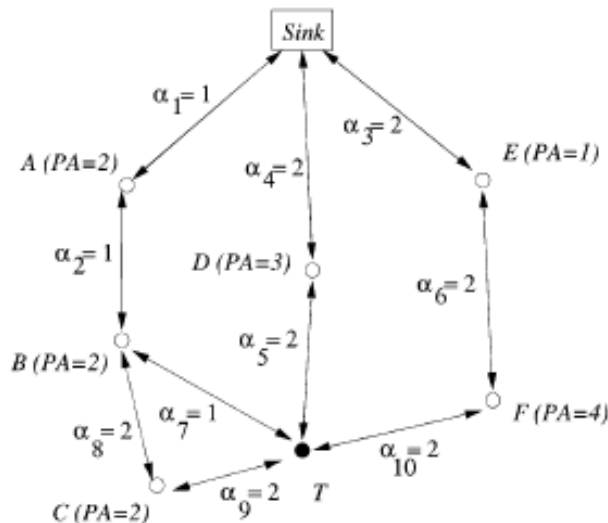
- Μέσο μετάδοσης (Transmission Media)
  - Διαλειτουργικότητα επιτυγχάνεται εφόσον όλοι οι κόμβοι διασυνδέονται στο ίδιο μέσο (π.χ. radio, infrared, optical media)
- Κατανάλωση ενέργειας (Power Consumption)
  - Ενέργεια καταναλώνεται λόγω:
    - Παρακολούθησης και καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών (sensing)
    - Επικοινωνίας (μετάδοσης και λήψης)
    - Επεξεργασίας δεδομένων

# Μοντελοποίηση WSNs

- Ένα WSN μοντελοποιείται ως γράφος
  - Κόμβοι γράφου: κόμβοι-αισθητήρες (sensors)
  - Ακμές γράφου: ένδειξη δυνατότητας ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ κόμβων που βρίσκονται εντός αμοιβαίας εμβέλειας
- Στο γράφο αυτό, αυτό που είναι επιθυμητό είναι να υπάρχει ένα μονοπάτι από κάθε κόμβο προς τον κόμβο που αναπαριστά τον κόμβο-δεξαμενή (sink)
  - Έτσι εξασφαλίζεται ότι υπάρχει ένας τουλάχιστο τρόπος (διαδρομή) ώστε κάθε κόμβος του δικτύου να στέλνει δεδομένα μέτρησης στον κόμβο-δεξαμενή

# Στρατηγικές δρομολόγησης σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

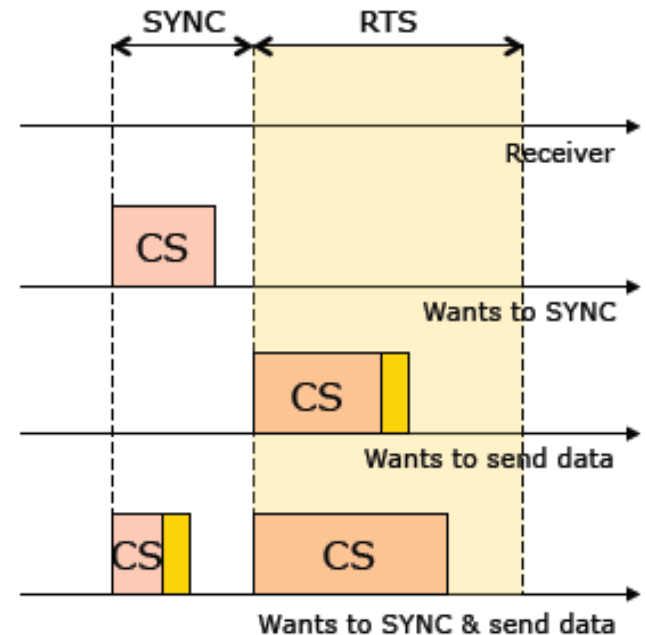
- *Route 1*: Sink-A-B-T, total PA=4, total  $\alpha = 3$ ,
- *Route 2*: Sink-A-B-C-T, total PA=6, total  $\alpha = 6$ ,
- *Route 3*: Sink-D-T, total PA=3, total  $\alpha = 4$ ,
- *Route 4*: Sink-E-F-T, total PA=5, total  $\alpha = 6$ ,



- Διαδρομή μέγιστης ισχύος (PA): Route 2
- Διαδρομή ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας (ME) : Route 1
- Διαδρομή ελάχιστων βημάτων (MH): Route 3
- Διαδρομή μέγιστης ελάχιστης PA: Route 3

# MAC πρωτόκολλα: S-MAC

- Προγραμματισμένος ανταγωνισμός: Οι κόμβοι ξυπνούν μαζί περιοδικά, ανταγωνίζονται για το κανάλι και ξανακοιμούνται
- Τον περισσότερο χρόνο οι κόμβοι κοιμούνται
- Χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση αν η κίνηση είναι λίγη
- Tradeoff: μεγάλη διάρκεια ζωής <--> μεγάλη καθυστέρηση (μεγάλη περίοδος ύπνου)
- Ο χρόνος ξυπνήματος αποτελείται από SYNC (κόμβοι στέλνουν SYNC πακέτα για να συγχρονίσουν τα ρολόγια τους) και RTS για εκπομπή δεδομένων
  - CSMA/CA για μετάδοση στο κανάλι



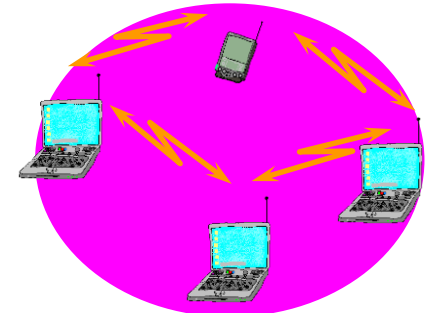
# Bluetooth

# Εισαγωγή

- Μια μικρής εμβέλειας και χαμηλού κόστους ασύρματη τεχνολογία προσωπικής δικτύωσης (wireless personal area network - WPAN)
- Υποστηρίζεται από μεγάλο πλήθος συσκευών σήμερα
- Σχεδιασμένο για να καλύψει ανάγκες όπως:
  - Διασύνδεση Η/Υ – περιφερειακών
  - Adhoc δικτύωση μεταξύ διαφόρων κινητών συσκευών
    - Laptops, desktops, κινητά τηλέφωνα



**Cable  
Replacement**



**Personal Ad-  
hoc  
Connectivity**

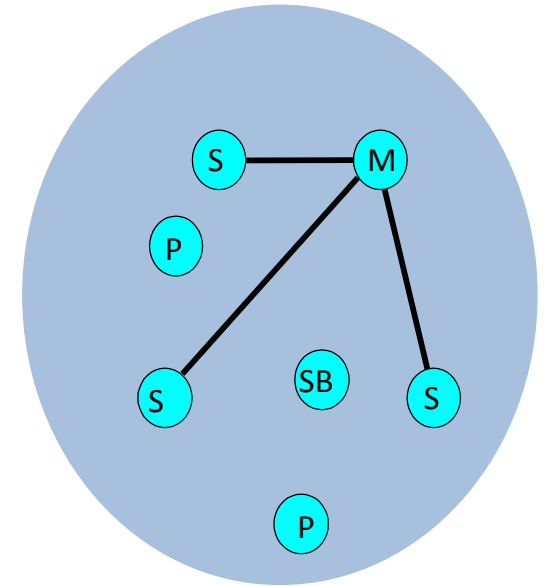


# Χαρακτηριστικά

- Λειτουργεί στην ελεύθερη (ISM) μπάντα των 2.4 GHz με τυπικό ρυθμό μετάδοσης τα 720Kb/s.
- Χρησιμοποιεί FHSS, διαιρώντας τη μπάντα συχνοτήτων σε έναν αριθμό καναλιών (2.402 - 2.480 GHz -> 79 κανάλια).
- Οι πομποδέκτες «πηδούν» από το ένα κανάλι στο άλλο χρησιμοποιώντας μια ψευδο-τυχαία ακολουθία που καθορίζεται από το master.
- Υποστηρίζονται έως και 8 συσκευές σε ένα piconet (1 master και 7 slaves).
- Δύο ή περισσότερα piconets μπορούν να σχηματίσουν scatternets.

# Τι είναι ένα riconet;

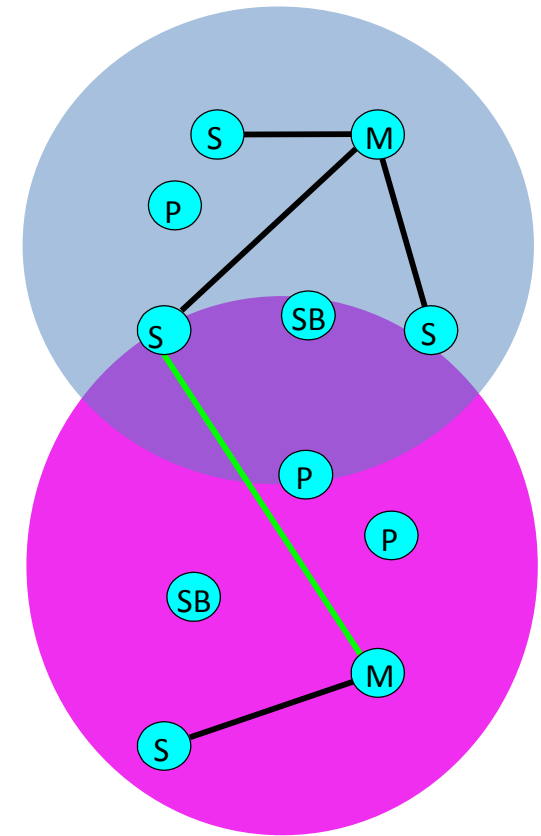
- Συλλογή συσκευών που συνδέονται με ad hoc τρόπο
- Μία μονάδα λειτουργεί ως master και οι άλλες ως slaves για τη διάρκεια σύνδεσης του riconet.
- Ο master θέτει το ρολόι και το πρότυπο μεταπήδησης συχνοτήτων (hopping pattern).
- Κάθε riconet έχει ένα μοναδικό hopping pattern/ID
- Κάθε master μπορεί να συνδέεται με 7 ενεργούς και 200+ ανενεργούς (parked) slaves ανά riconet



M=Master    P=Parked  
S=Slave    SB=Standby

# Τι είναι ένα Scatternet;

- Ένα Scatternet αποτελεί σύνολο διασυνδεδεμένων piconets μέσω της διαμοίρασης κοινών master ή slave συσκευών.
- Μια συσκευή μπορεί να είναι ταυτόχρονα master και slave.
- Τα radios είναι συμμετρικά (το ίδιο radio μπορεί να είναι master ή slave)
- Υψηλή χωρητικότητα συστήματος, κάθε piconet έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης χωρητικότητα (720 Kbps)



M=Master  
S=Slave

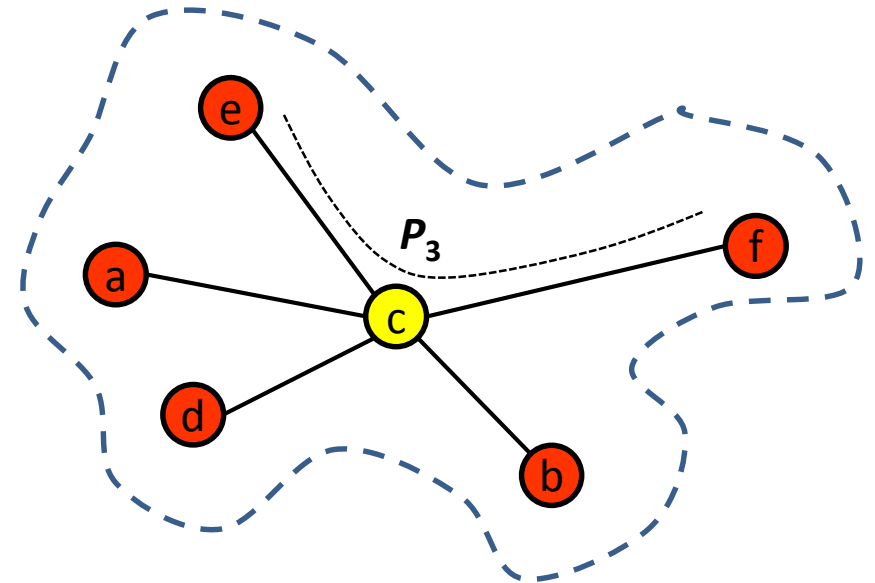
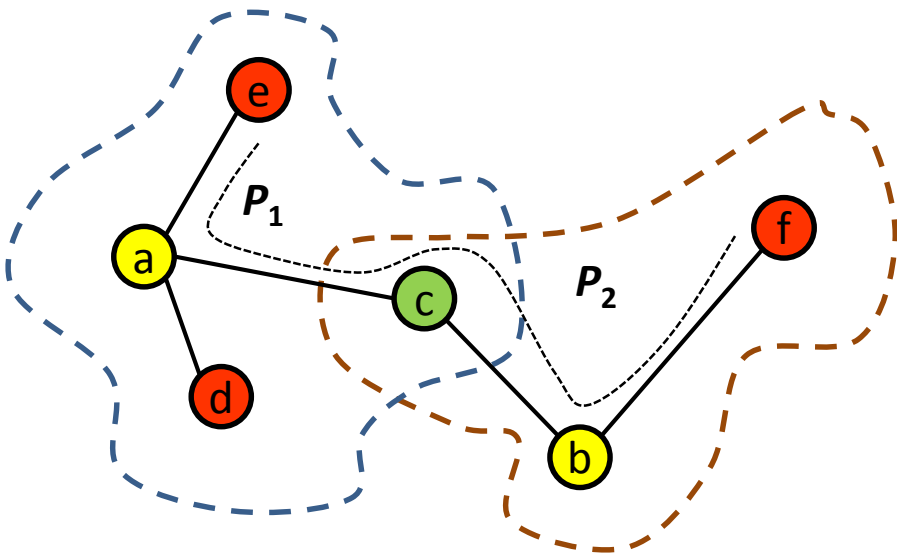
P=Parked  
SB=Standby

# Βασικοί σχεδιαστικοί στόχοι πρωτοκόλλου scatternets

- Ελαχιστοποίηση
  - χρόνου σχηματισμού scatternet
  - όγκου μεταδιδόμενων δεδομένων ελέγχου (control data)
  - αριθμού βημάτων (hops) που απαιτούνται για την επικοινωνία μεταξύ συσκευών (μικρότεροι χρόνοι απόκρισης και κατανάλωση ενέργειας)
  - κατανάλωσης ενέργειας (οι ρόλοι του master και bridge είναι πιο ενεργοβόροι από του slave)
  - του αριθμού των riconets (γρηγορότερη δρομολόγηση)
  - αριθμού ρόλων που αποδίδονται στους κόμβους (ελαττώνεται η πολυπλοκότητα)
- Μεγιστοποίηση της ρυθμαπόδοσης

# Άσκηση

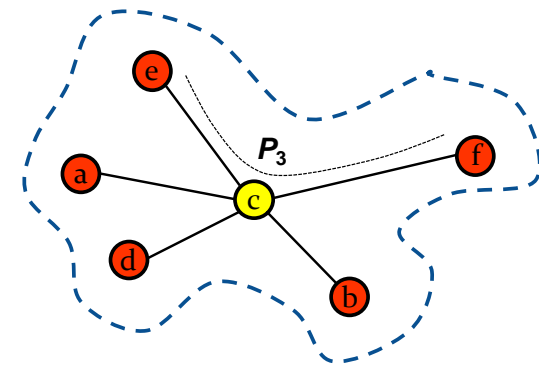
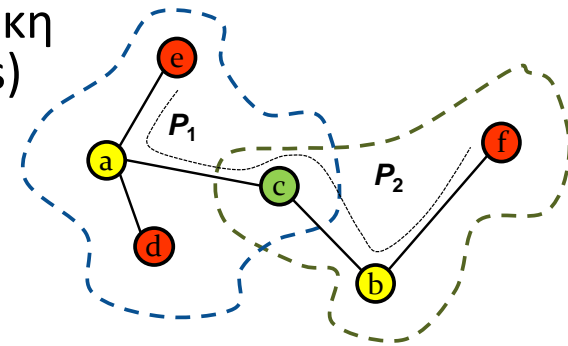
- Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται δύο εναλλακτικοί τρόποι σχηματισμού scatternets. Σε ποια σενάρια θα ήταν καταλληλότερος ο ένας και σε ποια ο άλλος;



54  
Κίτρινο: master, πράσινο: bridge, κόκκινο: slave

# Απάντηση

- Πρώτη λύση:
  - Όταν υπάρχουν πολλά διαφορετικά ζεύγη ταυτόχρονα επικοινωνούντων κόμβων (άρα ανάγκη διαφορετικών καναλιών - frequency hop patterns)
  - Όταν δεν προκύπτει συχνά ανάγκη επικοινωνίας μεταξύ κόμβων του P1 με κόμβους του P2
  - Ο κόμβος f είναι οριακά εντός της εμβέλειας του c ή κινείται συχνά εκτός εμβέλειας του c
- Δεύτερη λύση:
  - Εφόσον δεν ισχύουν τα παραπάνω, τότε η δεύτερη λύση είναι προτιμότερη (λιγότερα riconets, δρομολόγηση σε λιγότερα hops, μικρότερος αριθμός ρόλων, μόνο ένας master αντί 2 masters & 1 bridge)



# Τέλος Ενότητας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης