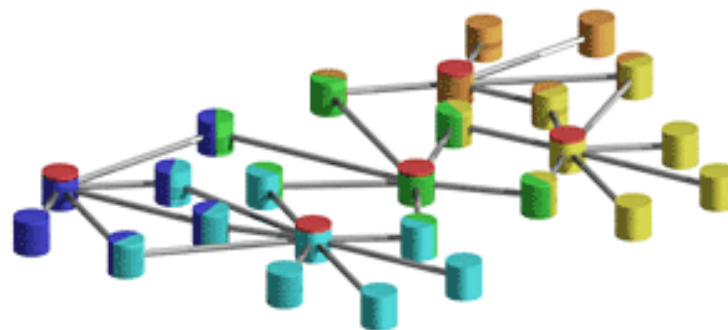




*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*  
*Τμήμα Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων*

## Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων



Παναγιώτης Κ. Κίκiras

## Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων και Διάχυτος Υπολογισμός



### **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων:**

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι ένας τομέας ο οποίος προέκυψε ως αποτέλεσμα της προόδου στους τομείς των επικοινωνιών και των μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων.



### **Διάχυτος Υπολογισμός:**

Ενσωμάτωση υπολογιστικών συστημάτων παντού στον χώρο, ακόμα και στα πιο ευτελή αντικείμενα, τα οποία θα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους σε ένα δίκτυο, παρέχοντας διαρκώς υπηρεσίες στους χρήστες τους με τέτοιο τρόπο ώστε ακόμα και όταν οι χρήστες απολαμβάνουν τις υπηρεσίες τους να μην το αντιλαμβάνονται."

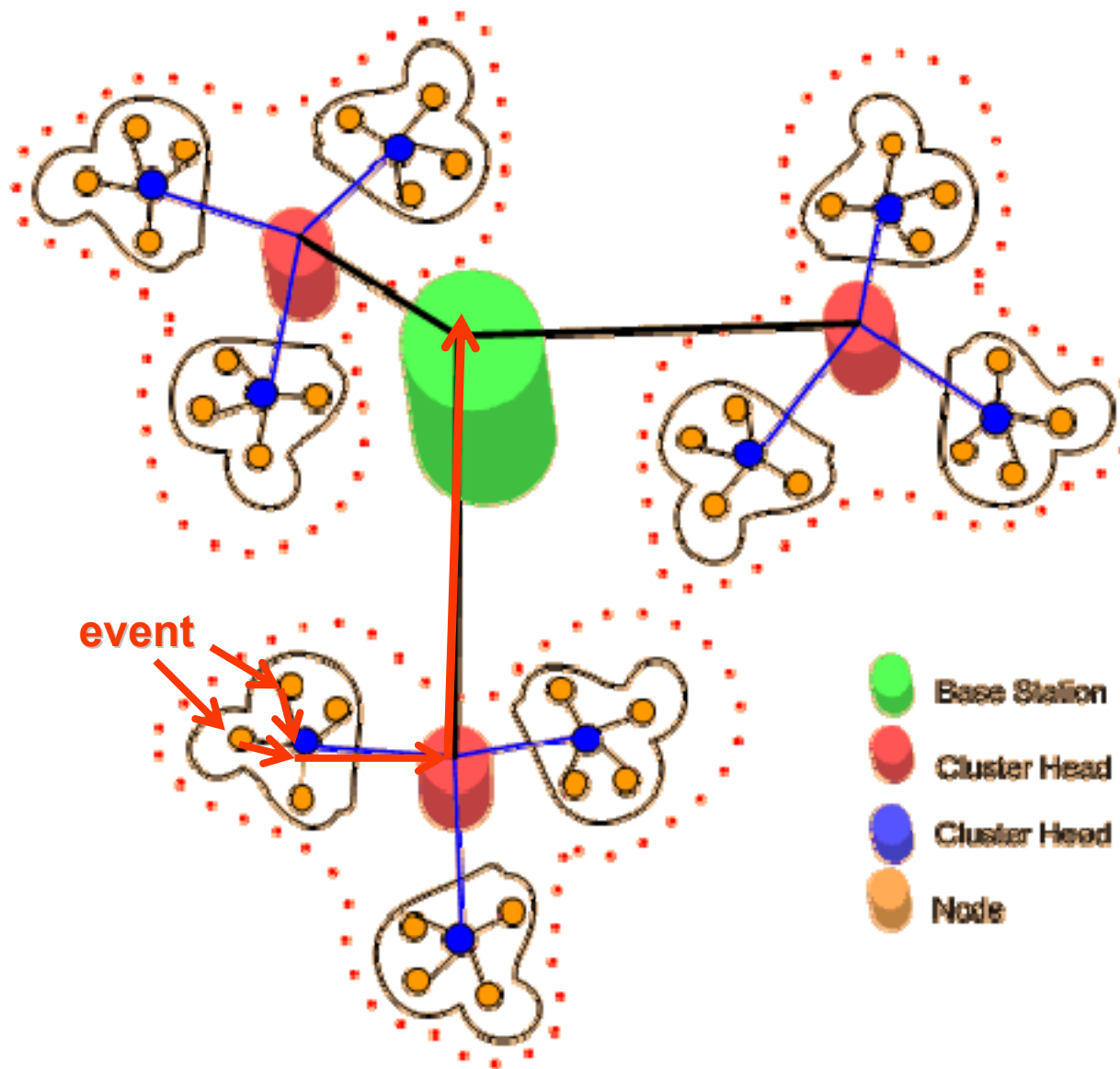


Σκοπός του μαθήματος είναι η μελέτη των φαινομένων τα οποία σχετίζονται με τα δίκτυα ασυρμάτων αισθητήρων, και ιδιαίτερα:

1. εντοπισμός των **ιδιαίτερων χαρακτηριστικών** τους και του **τρόπου** με τον οποίο επηρεάζουν αυτά την **αρχιτεκτονική των κόμβων και του δικτύου**.
2. αναγνώριση των **επιλογών** που πρέπει να κάνει ένας σχεδιαστής στα **υποσυστήματα των κόμβων**, στην **μετάδοση των δεδομένων**, στην **δρομολόγηση** και στην **ασφάλεια** καθώς και στο **επίπεδο των εφαρμογών**.
3. εντοπισμός των **βέλτιστων λύσεων** σε όποια από τα παραπάνω ζητήματα είναι αυτό **εφικτό**.



# Τυπικό Δίκτυο Ασύρματων Αισθητήρων



## Πρόγραμμα Διαλέξεων

Α/Α	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ
1.	22/2/2008	ΕΙΣΑΓΩΓΗ
2. - 3.	29/2/2008	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΟΜΒΟΥ & ΔΙΚΤΥΟΥ – ΘΕΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
4.	7/3/2008	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ MAC & LINK-LAYER
5.	14/3/2008	
6.	21/3/2008	TIME SYNCHRONIZATION – LOCALIZATION & POSITIONING- TOPOLOGY CONTROL
7.	28/3/2008	
8.	4/4/2008	ΟΝΟΜΑΤΟΔΟΣΙΑ & ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΔΟΤΗΣΗ
9.	11/4/2008	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ
10.	18/4/2008	DATA CENTRIC & CONTENT BASED NETWORKING
11.	9/5/2008	ΑΣΦΑΛΕΙΑ
12.	16/5/2008	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
13.	23/5/2008	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



## Φανταστείτε...

---

- Πολυώροφα κτήρια να εντοπίζουν προβλήματα στην κατασκευή τους (π.χ., weld cracks)
- Σημαδούρες οι οποίες να ειδοποιούν τους κολυμβητές για την ύπαρξη βακτηρίων σε επικίνδυνα επίπεδα.
- Κτήρια μετά από σεισμούς να ενημερώνουν για τις δομικές βλάβες τις οποίες έχουν υποστεί.
- Αισθητήρες (chemical, physical, acoustic, image ) τοποθετημένοι σε διάφορα οικοσυστήματα να καταγράφουν αλλαγές στο περιβάλλον
- Χωράφια τα οποία ενημερώνουν τους κατόχους τους για την ανάγκη τους σε πότισμα
- Πεδία μάχης γεμάτα από αισθητήρες τα οποία αναγνωρίζουν φίλιους – εχθρούς απαγορεύουν περιοχές
- ...



# Περίγραμμα της Παρουσίασης

---

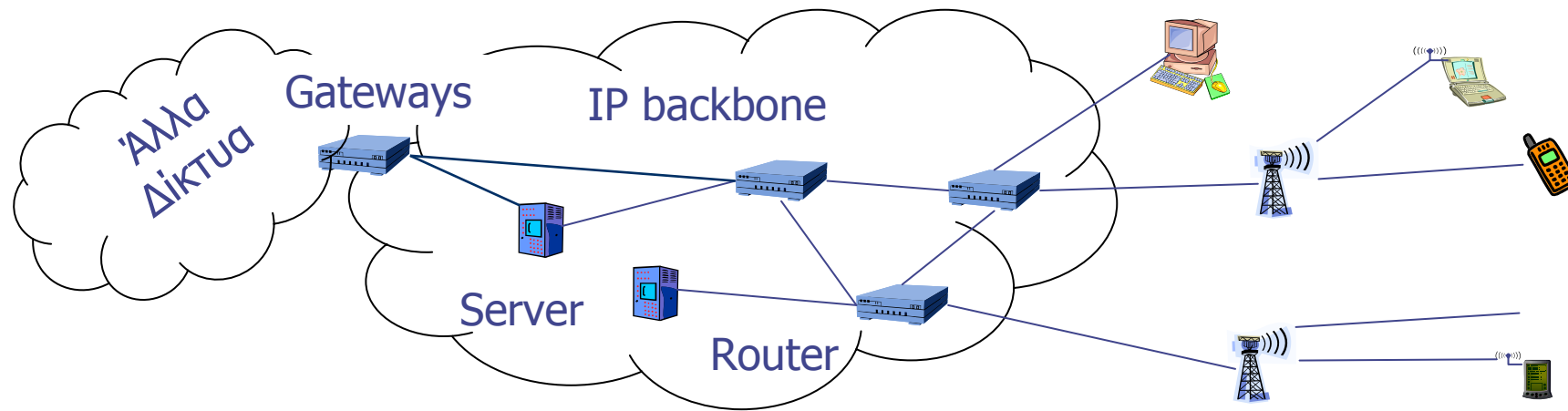
- **Υποδομή για ασύρματες επικοινωνίες**
- (Κινητά) ad hoc δίκτυα
- Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων
- Σύγκριση

Some slides used/adapted  
from H.Karl & A.Willig  
“Protocols and Architectures for WSN”  
SenSys Seminar



# Ασύρματα Δίκτυα Βασισμένα σε Υποδομές

- Τυπικό Ασύρματο Δίκτυο : Βασίζεται στην ύπαρξη Υποδομής
  - Π.χ., GSM, UMTS, WiFi, WiMax, ...
  - Σταθμοί Βάσης (ΣΒ) συνδέονται σε ενσύρματο δίκτυο κορμού
  - Κινητοί ανταποκριτές επικοινωνούν ασύρματα με αυτούς τους ΣΒ
  - Η κίνηση ανάμεσα σε διαφορετικούς συνδρομητές δρομολογείται ανάμεσα στους ΣΒ και ενδεχομένως το ενσύρματο δίκτυο κορμού
  - Η κινητικότητα υποστηρίζεται με την μετάπτωση από τον ένα ΣΒ στον άλλο
  - Απαιτείται ύπαρξη υποδομής κορμού για την διεκπεραίωση διοικητικών εργασιών (χρέωση, παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών, κ.λ.π).





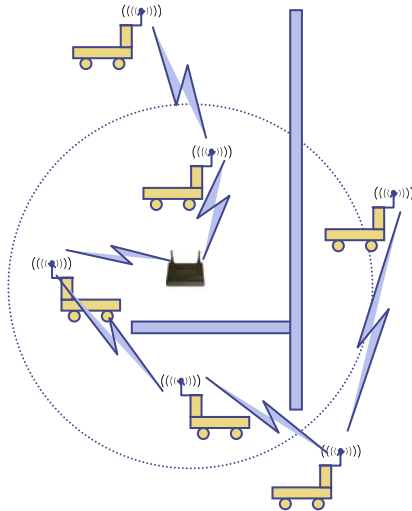
# Ασύρματα Δίκτυα Βασισμένα σε Υποδομές – Όρια;

- Τι συμβαίνει στην περίπτωση που ...
  - Δεν υπάρχει διαθέσιμη υποδομή; – Π.χ., σε περιοχές καταστροφών
  - Είναι πολύ ακριβό ή δύσκολο τον να «στήσεις» την απαραίτητη υποδομή; – Π.χ., σε απομακρυσμένες περιοχές όπου κατασκευάζονται έργα
  - Δεν υπάρχει χρόνος να «στήσεις» την υποδομή; – Π.χ., σε στρατιωτικές επιχειρήσεις

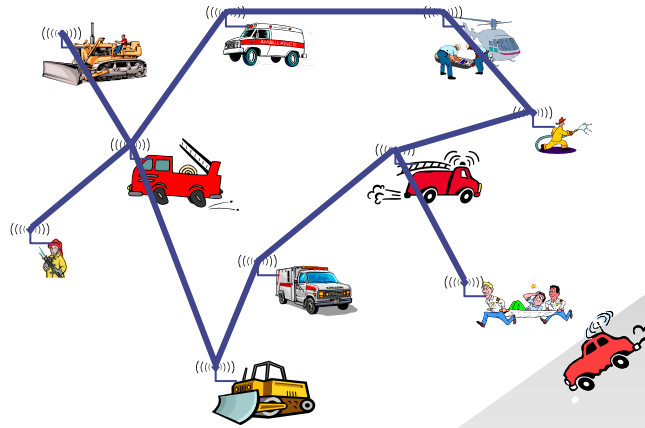


# Πιθανές εφαρμογές για δίκτυα τα οποία δεν απαιτούν την ύπαρξη υποδομής

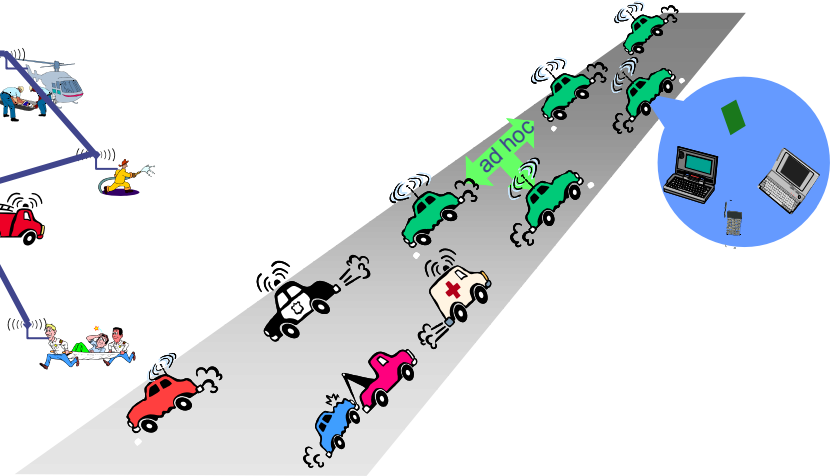
- Αυτοματισμός εργοταξίου



- Disaster recovery



- Επικοινωνία μεταξύ οχημάτων



- Military networking: Οχήματα - Tanks, στρατιώτες, ...
- Εύρεση χώρων στάθμευσης χωρίς την χρήση κάποιου server
- Αποστολές έρευνας και διάσωσης
- Personal area networking (ρολόγια, γυαλιά, PDA, ιατρικές συσκευές, ...)
- ...



# Περίγραμμα της Παρουσίασης

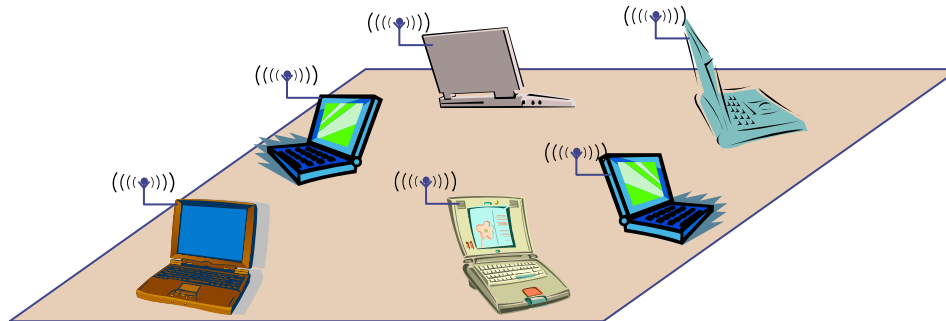
---

- Υποδομή για ασύρματες επικοινωνίες
- **(Κινητά) *ad hoc* δίκτυα**
- Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων
- Σύγκριση



# Λύση: (Ασύρματα) ad hoc Δίκτυα

- Κατασκευή ενός δικτύου χωρίς υποδομή, χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες των συμμετεχόντων σε αυτό
  - Αυτό είναι ένα **ad hoc network** – ένα δίκτυο το οποίο δημιουργείται για «κάποιο συγκεκριμένο σκοπό»
- Απλούστερο παράδειγμα: Φορητοί υπολογιστές σε ένα conference room – αποτελούν ένα **single-hop ad hoc δίκτυο**



# Προβλήματα / Προκλήσεις στα ad hoc δίκτυα

---

- Χωρίς κεντρική υποδομή, τα «πράγματα» γίνονται περισσότερο δύσκολα
- Τα προβλήματα οφείλονται στα παρακάτω:
  - Στην έλλειψη κάποιας οντότητας υπεύθυνης για την οργάνωση
  - Στην περιορισμένη ακτίνα των ασύρματων επικοινωνιών
  - Στην κινητικότητα των συμμετεχόντων
  - Στην περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία των συμμετεχόντων



## Η έλλειψη οντότητας υπεύθυνης για την οργάνωση οδηγεί σε αυτό-οργάνωση

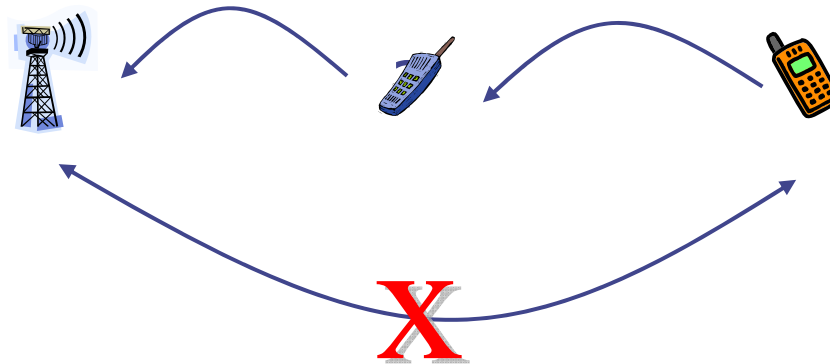
---

- Χωρίς την ύπαρξη μιας κεντρικής οντότητας (π.χ., ΣΒ), οι συμμετέχοντες πρέπει να οργανωθούν μόνοι τους σε δίκτυο (**αυτό-οργάνωση**)
- Η αυτό-οργάνωση απαιτεί (ανάμεσα σε άλλα...):
  - Έλεγχο Πρόσβασης στο Μέσο (Medium access control) – δεν υπάρχει οντότητα να καθορίζει τους **κανόνες μετάδοσης**, αυτοί πρέπει να αποφασίζονται σε κατακεκομημένο περιβάλλον
  - Ανεύρεση δρομολογίου από τον ένα συμμετέχοντα στον άλλο



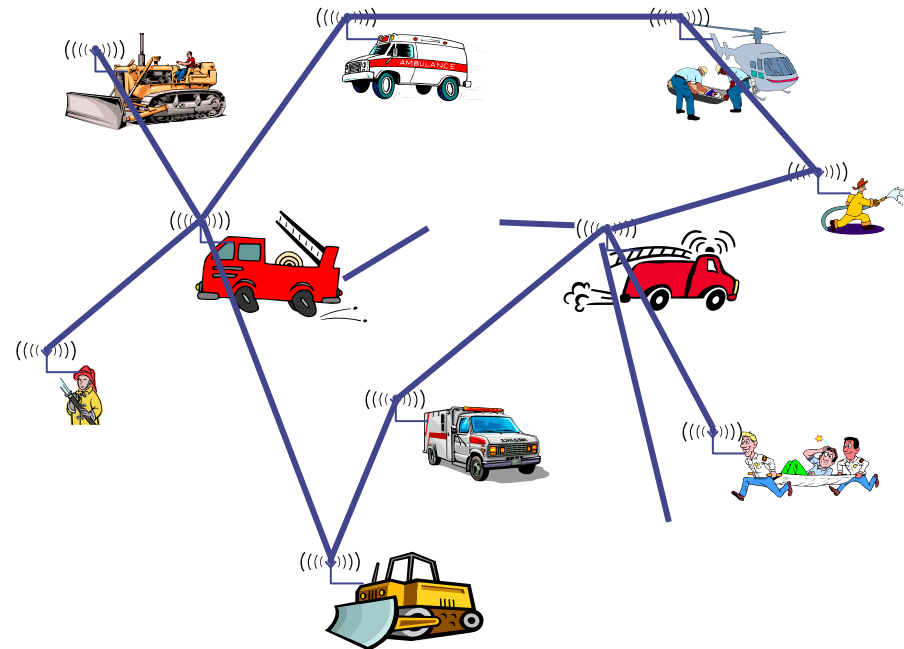
# Περιορισμός στην Μετάδοση σημαίνει multi-hopping

- Στα περισσότερα σενάρια απαιτείται επικοινωνία με ανταποκριτές πέραν της μέγιστης ακτίνας μετάδοσης
  - Κατευθείαν επικοινωνία περιορίζεται εξαιτίας της απόστασης, εμποδίων, ...
  - Λύση: **multi-hop δίκτυο**



# Κινητικότητα = Κατάλληλα, adaptive πρωτόκολλα

- Σε πολλές (όχι όλες!!!) εφαρμογές ad hoc δικτύων, οι συμμετέχοντες κινούνται!!!!
  - Στα GSM δίκτυα: απλά η κλήση δρομολογείται στο επόμενο ΣΒ
- Στα κινητά **ad hoc Δίκτυα (MANET)**:
  - Η κινητικότητα μεταβάλλει της σχέσεις γειτονίας
  - Π.χ., οι συνδέσεις του δικτύου πρέπει να αλλάζουν
- Πολυπλοκότητα κλίμακας
  - Μεγάλος αριθμός τέτοιων κόμβων υποστηρίζεται δύσκολα





## Συσκευές με Μπαταρίες = ενεργειακά επαρκείς λειτουργία

---

- Συχνά (όχι πάντα!), οι συμμετέχοντες σε ένα ad hoc δίκτυο εξαρτούν την λειτουργία τους σε μπαταρίες
- Επιθυμητό Χαρακτηριστικό:Μεγάλος χρόνος ζωής
  - Κάθε συσκευής
  - Δικτύου Συνολικά

### ! Energy-efficient πρωτόκολλα δικτύωσης

- Π.χ., χρήση διαδρομών με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (ενέργεια/bit)
- Π.χ., λαμβάνουν υπόψη τη διαθέσιμη χωρητικότητα των συσσωρευτών
- Όμως..., πως αντιμετωπίζονται «συγκρούσεις» ανάμεσα σε διαφορετικές βελτιστοποιήσεις;



# Περίγραμμα της Παρουσίασης

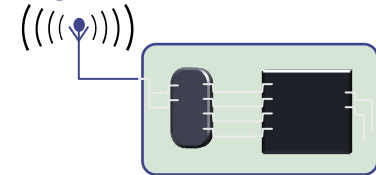
---

- Υποδομή για ασύρματες επικοινωνίες
- (Κινητά) ad hoc δίκτυα
- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων**
  - *Γενικά - Εφαρμογές*
  - Απαιτήσεις & Μηχανισμοί
  
- Σύγκριση



# Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

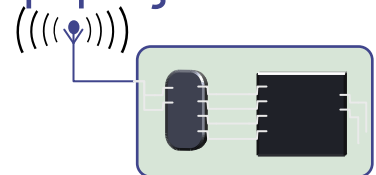
- Οι συμμετέχοντες στα προηγούμενα παραδείγματα ήταν συσκευές «κοντινές» σε ανθρώπους χρήστες, ή αλληλεπιδρούσες με ανθρώπους



- Εναλλακτική Προσέγγιση:

Αντί να εστιάζουμε στην αλληλεπίδραση με τους **ανθρώπους**, εστίαση στην αλληλεπίδραση με το **περιβάλλον**

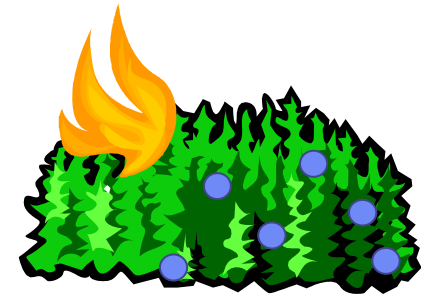
- Το δίκτυο είναι **ενσωματωμένο** στο περιβάλλον
- Οι κόμβοι στο δίκτυο είναι εξοπλισμένοι με δυνατότητες **αίσθησης** και **ενεργοποίησης** (*sensing* and *actuation*) για την μέτρηση/επίδραση του περιβάλλοντος
- Οι κόμβοι επικοινωνούν και επεξεργάζονται πληροφορίες ασύρματα



# WSN Παραδείγματα εφαρμογών

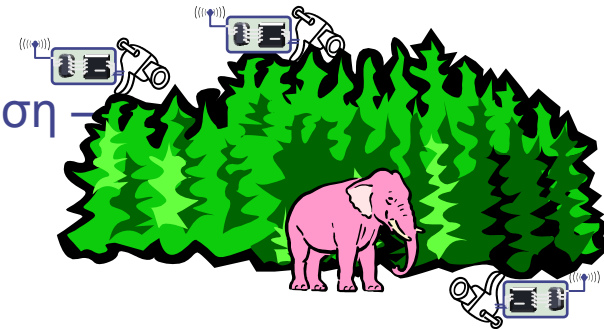
- **Επιχειρήσεις Disaster relief**

- Ρίψη κόμβων από αεροσκάφος σε δασική πυρκαγιά
- Κάθε κόμβος μετρά θερμοκρασία
- Παράγεται ένας “temperature map”



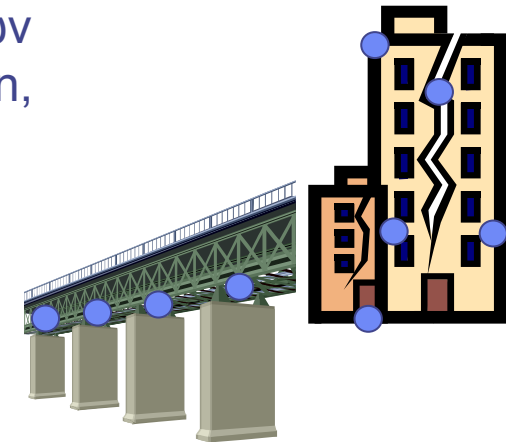
- **Καταγραφή Βιοποικιλότητας**

- Χρήση κόμβων αισθητήρων για την παρατήρηση – καταγραφή του ζωικού βασιλείου



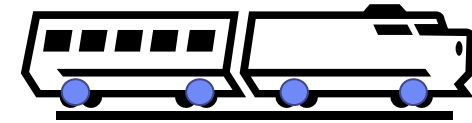
- **Έξυπνα Κτήρια**

- Μείωση της σπατάλης σε ενέργεια με τον έλεγχο των συνθηκών στο εσωτερικό τους ( humidity, ventilation, air conditioning (HVAC))
- Μετρήσεις σχετικές με την κάλυψη δωματίων, θερμοκρασίας, ροής αέρα, ...
- Καταγραφής μηχανικής τάσης μετά από σεισμούς



# WSN Παραδείγματα εφαρμογών

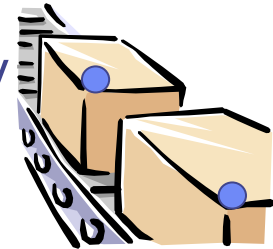
- Διαχείριση Εγκαταστάσεων
  - Εντοπισμός εισβολέων σε εγκαταστάσεις
  - Έλεγχος διαρροών σε χημικά εργοστάσια, ...
- Επιτήρηση μηχανών και προληπτική συντήρηση
  - Ενσωματωμένες sensing/control λειτουργίες σε μέρη που πριν δεν ήταν δυνατόν (καλώδια κλπ)
  - Π.χ., καταγραφή της πίεσης των ελαστικών
- Γεωργία Ακριβείας
  - Εφαρμογή στις φυτείες λιπασμάτων/εντομοκτόνων/ποτίσματος μόνο όποτε-όσο και όπου απαιτείται
- Ιατρική και Υγιεινή
  - Χρήση στην εντατική ή μετά-εγχειρητική περίοδο
  - Απομακρυσμένη-κατ' οίκων παρακολούθηση σε περιπτώσεις χρόνιων παθήσεων ή ηλικιωμένων



# WSN Παραδείγματα εφαρμογών

- Logistics

- Εξοπλισμός κιβωτίων-δεμάτων με κόμβους αισθητήρων
- Συνεχής καταγραφή θέσεις-κατάστασης – ***total asset management***



- Telematics

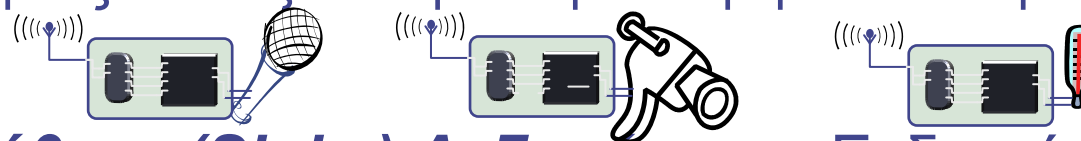
- Παροχή καλύτερου ελέγχου κυκλοφορίας οχημάτων
- ***Έξυπνες Λεωφόροι (Intelligent roadside)***
- Τα οχήματα ως κόμβοι αισθητήρων



# Ρόλοι των Συμμετεχόντων σε WSN

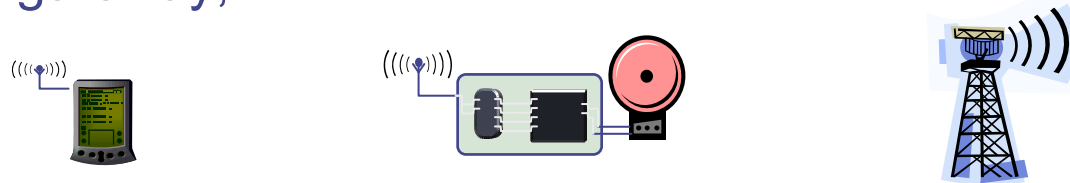
- **Πηγές Δεδομένων (κόμβοι αισθητήρων):** Μετρούν data, αναφέρουν «κάπου»

- Συνήθως είναι εξοπλισμένοι με διαφορετικά είδη αισθητήρων

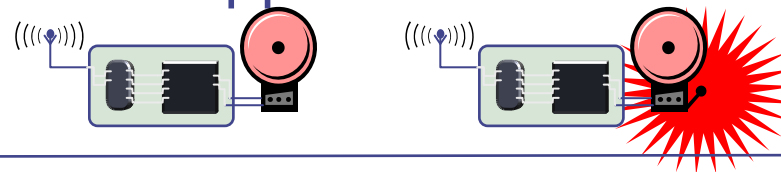


- **Καταβόθρες (Sinks) Δεδομένων:** «Ενδιαφέρονται» για την λήψη δεδομένων από ένα WSN

- Μπορεί να είναι μέρος ενός WSN ή εξωτερικές οντότητες όπως PDA, gateway, ...



- **Ενεργοποιητές:** Ελέγχουν κάποια συσκευή βασιζόμενη στα δεδομένα των κόμβων



# Κατηγοριοποιώντας τις εφαρμογές WSN

---

- Ο **τρόπος αλληλεπίδρασης** ανάμεσα σε κόμβους – καταβόθρες ταξινομούν τους τύπους εφαρμογών
  - **Εντοπισμός Συμβάντος (Event detection)**: Κόμβοι εντοπίζουν τοπικά γεγονότα (πιθανώς με την συνέργεια γειτονικών κόμβων), και αναφέρουν αυτά σε όποιον ενδιαφέρεται
    - **Κατηγοριοποίηση Συμβάντος** (υποκατηγορία του παραπάνω)
  - **Περιοδικές Μετρήσεις**
  - **Function approximation**: Χρήση WSN για την προσέγγιση μιας κατάστασης του χώρου ή και του χρόνου (π.χ., temperature map)
  - **Edge detection**: Εύρεση οριακών τιμών ή άλλων δομών (max, min, ...) σε μια κατάσταση
  - **Παρακολούθηση**: Αναφορά της θέσης ή της ύπαρξης ενός εισβολέα





# Επιλογές εγκατάστασης ενός WSN

---

- Πως οι αισθητήρες αναπτύσσονται στις θέσεις τους;
  - Ρίψη από κάποιο μέσο ! **Τυχαία Εγκατάσταση**
    - Συνήθως σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ομοιόμορφη κατανομή σε καθορισμένο χώρο
    - Πόσο όμως αυτό είναι πιθανό;
  - Προγραμματισμένη - Προκαθορισμένη! **Κανονική Εγκατάσταση**
    - Π.χ.,σε εφαρμογές προληπτικής συντήρησης
    - Θεωρούμε συνήθως κατανομή με γεωμετρικό τρόπο
  - **Κινητοί κόμβοι αισθητήρων**
    - Μπορούν να κινηθούν για να αντιμετωπίσουν «ατυχείς» εγκαταστάσεις
    - Μπορούν να κινηθούν «παθητικά» εξαιτίας εξωτερικού αιτίου (άνεμος, νερό, ...)
    - Μπορούν να κινηθούν «ενεργητικά» αναζητώντας «ενδιαφέρουσες περιοχές»



# Επιλογές Συντήρησης

---

- Είναι εφικτή/πρακτική η συντήρηση εγκατεστημένων στο πεδίο κόμβων;
  - Π.χ., η αντικατάσταση συσσωρευτών
  - ή προτιμάται η unattended λειτουργία
  
- Αποθέματα Ενέργειας;
  - Περιορισμένα από την στιγμή της εγκατάστασης;
  - Δυνατή η επαναφόρτιση ή η εκμετάλλευση ενέργειας διάχυτης στο περιβάλλον;
    - Π.χ., ηλιακές κυψέλες



# Περίγραμμα της Παρουσίασης

---

- Υποδομή για ασύρματες επικοινωνίες
- (Κινητά) ad hoc δίκτυα
- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων**
  - Γενικά - Εφαρμογές
  - **Απαιτήσεις & Μηχανισμοί**
- Σύγκριση



# Χαρακτηριστικές Απαιτήσεις των WSNs

---

- Είδος Υπηρεσίας
  - Δεν μετακινούν bits όπως κάθε άλλο δίκτυο
  - Αντιθέτως: παρέχουν **απαντήσεις** (όχι μόνο αριθμούς...)
  - Θέματα όπως η θέση στον χώρο των κόμβων είναι συνυφασμένα σε αντίθεση με άλλα δίκτυα που είναι συνήθως αδιάφορη
- Ποιότητα Υπηρεσίας
  - Παραδοσιακά QoS metrics είναι ανεφάρμοστα
  - Ωστόσο η απαίτηση υφίσταται: σωστές απαντήσεις στον σωστό χρόνο time
- Αντοχή στα Σφάλματα
  - Πρέπει να είναι ανεκτικά στην αστοχία των κόμβων (εξάντληση ενέργειας, φυσική καταστροφή, ...)
- Χρόνος ζωής
  - Το **δίκτυο** πρέπει να εκτελεί την αποστολή του όσο περισσότερο γίνεται – ο ορισμός εξαρτάται από την εφαρμογή
  - Ο χρόνος ζωής ενός κόμβου είναι σχετικά μη σημαντικός
  - Ωστόσο συχνά αντιμετωπίζεται ισάξια



# Χαρακτηριστικές Απαιτήσεις των WSNs

---

- επεκτασιμότητα
  - Υποστήριξη μεγάλου αριθμού κόμβων
- Μεγάλη διαφοροποίηση στην Πυκνότητα Δικτύου
  - Τεράστιος ή μικρός αριθμός κόμβων ανά περιοχή, εξαρτάται από την εφαρμογή
- Programmability
  - Δυνατότητα αναπρογραμματισμού των κόμβων στο πεδίο, αυξάνει την προσαρμοστικότητα
- Maintainability
  - WSN πρέπει να προσαρμόζονται στις αλλαγές, να έχουν δυνατότητες self-monitoring, self-healing , adapt operation



# Απαιτούμενοι Μηχανισμοί

---

- Multi-hop ασύρματη επικοινωνία
- Energy-efficient λειτουργία
  - Σε όλες τις λειτουργίες (επικοινωνία, υπολογισμοί, sensing, actuating)
- Auto-configuration
- Collaboration & in-network processing
  - Οι κόμβοι συνεργάζονται για την επίτευξη ενός κοινού στόχου
  - Pre-processing δεδομένων στο δίκτυο (και όχι στις «άκρες») αυξάνει την αποτελεσματικότητα



# Απαιτούμενοι Μηχανισμοί

---

- Data centric networking
  - Σχεδιασμός του δικτύου εστιασμένος στα **data** , όχι στην ταυτότητα των κόμβων (**node identifies**) - id-centric networking)
- Locality
  - Επεξεργασία τοπικά (στον κόμβο η ανάμεσα σε γειτονικούς κόμβους ) όσο το δυνατόν περισσότερο
    - Γιατί;
- Εκμετάλλευση πιθανών tradeoffs
  - Π.χ., μεταξύ ενέργειας και ακρίβειας
  - Εκπομπής και τοπικής επεξεργασίας



## Τεχνολογίες που «Ενισχύουν» την Ανάπτυξη των WSN

---

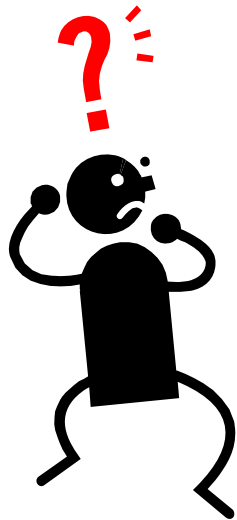
- Μείωση Κόστους
  - Στις ασύρματες επικοινωνίες, απλούς microcontrollers, αισθητήρων, συσσωρευτών
- Σμίκρυνση (Miniaturization)
  - Μερικές εφαρμογές απαιτούν μικρό μέγεθος
  - Η ιδέα του “Smart dust” ως παράδειγμα extreme οράματος
- Εκμετάλλευση Ενέργειας από το περιβάλλον (Energy scavenging)
  - Επαναφόρτιση συσσωρευτών από την διάχυτη στο περιβάλλον ενέργεια (light, vibration, ...)





# Ερωτήσεις;

---



# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

---

- Συγγραφή και παρουσίαση ενός review paper σε μία από τις ενότητες των παρουσιάσεων:
- Προγραμματιστική Εργασία (TinyOS – NesC)

