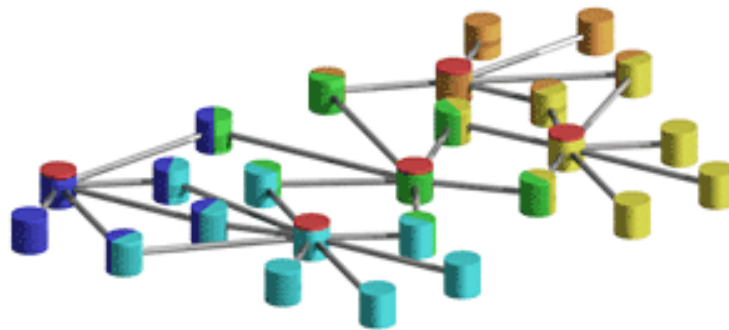


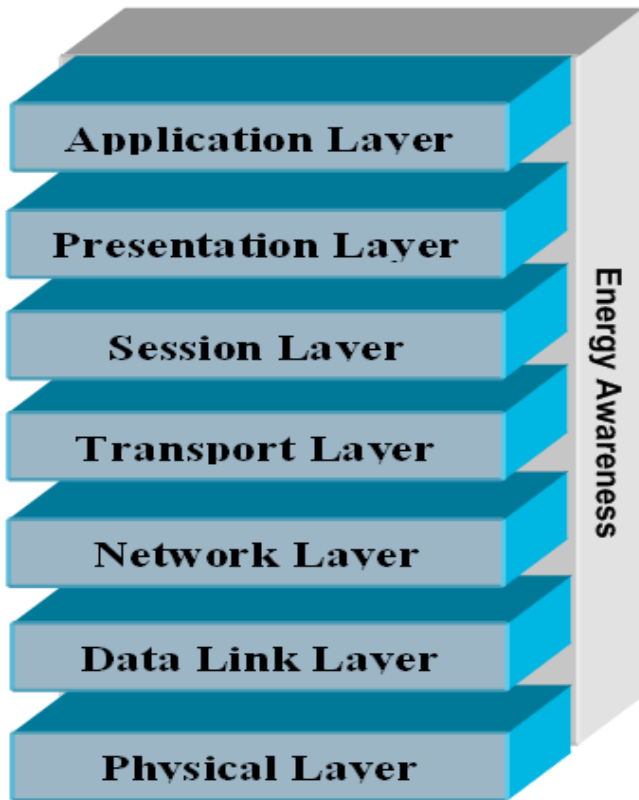


Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Αρχιτεκτονική Κόμβων & Δικτύου





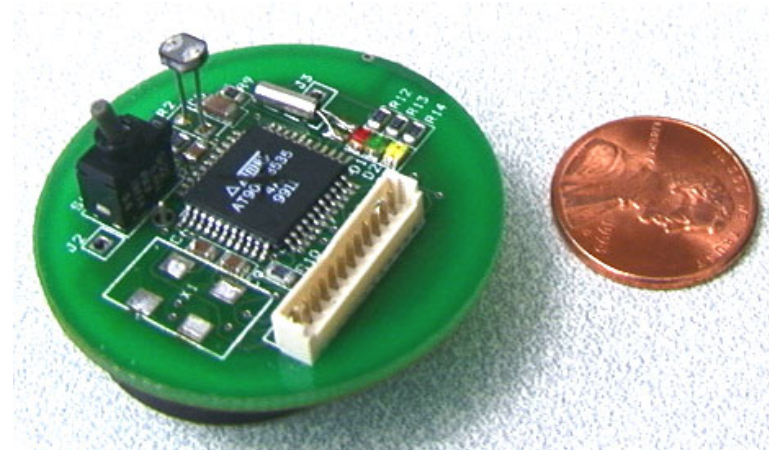
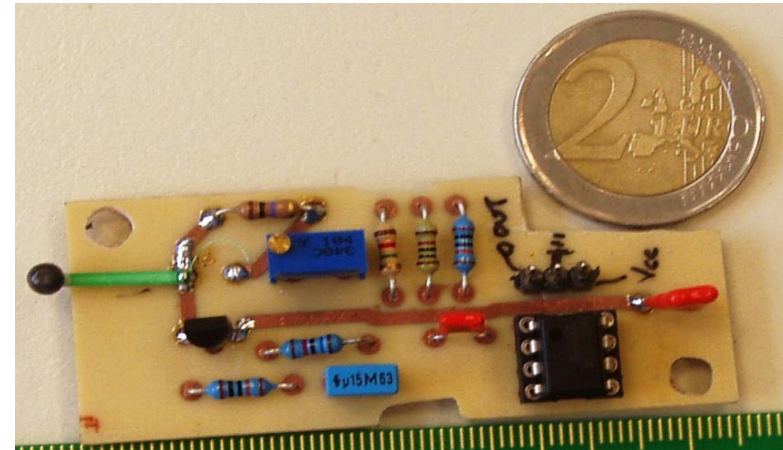


Η έρευνα για τις τεχνολογίες οι οποίες είναι σχετικές με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων καλύπτει όλα τα επίπεδα που ορίζονται από το πρότυπο του OSI (Open System Interconnection), απαιτώντας έρευνα σε υλικό, λογισμικό και αλγορίθμους σε μια σειρά από διαφορετικές επιστημονικές περιοχές όπως στις τηλεπικοινωνίες, στην ηλεκτρονική σχεδίαση κυκλωμάτων, στην επεξεργασία σήματος.



Αρχιτεκτονική Κόμβων & Δικτύου

- Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα **μεγάλο αριθμό από κόμβους** οι οποίοι είναι **πυκνά** τοποθετημένοι **εντός η πάρα πολύ κοντά** στο φαινόμενο το οποίο καλούνται να παρατηρούν.
- Το σημαντικό πλεονέκτημα το οποίο παρέχει η εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου, είναι ότι **δεν απαιτείται η εκ των προτέρων γνώση της τοπολογίας του**.
- Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την **ταχεία ανάπτυξη** δικτύων αυτού του τύπου σε **δύσβατες** ή **ακατάλληλες** για τον άνθρωπο περιοχές .
- Οι κόμβοι είναι χαμηλού κόστους και χαμηλής-κατανάλωσης, πολυδιεργασιακοί, μικροί στο μέγεθος και έχουν την δυνατότητα να:
 - Επικοινωνούν σε μικρές αποστάσεις
 - Εκτελούν περιορισμένη τοπική επεξεργασία δεδομένων
 - «Αισθάνονται» διαφόρων ειδών ερεθίσματα στην περιοχή εφαρμογής τους.



Οι κυριότερες διαφορές ανάμεσα στα δίκτυα αισθητήρων και τα ad hoc δίκτυα εντοπίζονται στα παρακάτω σημεία:

- ❑ **Πλήθος Κόμβων:** Ο αριθμός των κόμβων σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι συνήθως αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος από ότι είναι στα ad hoc δίκτυα.
- ❑ **Πυκνότητα Ανάπτυξης:** Οι κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων, εξαιτίας του χαμηλού τους κόστους, αναπτύσσονται στην περιοχή παρατήρησης με μεγαλύτερη πυκνότητα.
- ❑ **Τοπολογία:** Η τοπολογία των κόμβων στα δίκτυα αισθητήρων είναι συνήθως στατική ενώ στα ad hoc αλλάζει συχνά.
- ❑ **Μεθοδολογία εκπομπής:** Η μεθοδολογία εκπομπής των κόμβων στα δίκτυα αισθητήρων είναι συνήθως ένας – προς πολλούς (mesh – networking), ενώ στα ad hoc δίκτυα είναι συνήθως από σημείο σε σημείο (point-to-point)
- ❑ **Δυνατότητες Κόμβου:** ❑ Οι κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων διακρίνονται για τους σημαντικούς περιορισμούς που έχουν από κατασκευής στους τομείς της ενέργειας, της υπολογιστικής ισχύος και της μνήμης.



- ❑ **Τρόπος Χρησιμοποίησης:** Οι κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων κυρίως χρησιμοποιούνται για την συλλογή δεδομένων σε μια περιοχή παρατήρησης, ενώ οι κόμβοι στα ad hoc δίκτυα μπορούν να εκτελέσουν διάφορες υπολογιστικές εργασίες, επιπλέον, συνήθως τα δίκτυα αισθητήρων αναπτύσσονται σε μια περιοχή και εκτελούν μία ή περισσότερες εργασίες, στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης εφαρμογής, ενώ τα ad hoc δίκτυα έχουν την δυνατότητα εξυπηρέτησης διαφόρων κόμβων που εκτελούν διαφορετικές εφαρμογές και που συχνά δεν συσχετίζονται μεταξύ τους.
- ❑ **Απουσία Μοναδικού Χαρακτηριστικού:** Σε αντίθεση με τους κόμβους ενός ad hoc δικτύου, οι κόμβοι ενός δικτύου αισθητήρων είναι δυνατόν να μην έχουν κάποιο διακριτικό (π.χ μια τύπου MAC ή IP διεύθυνση), που να τους χαρακτηρίζει μοναδικά.
- ❑ **Κινητικότητα:** Η κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων συνήθως αναπτύσσονται σε μια περιοχή παρατήρησης ενός φαινομένου και δεν μετακινούνται από αυτήν σε αντίθεση με τους κόμβους στα ad hoc στα οποία παρουσιάζεται μεγάλη κινητικότητα.
- ❑ **Αναπλήρωση Ενέργειας:** Οι κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων δεν έχουν συνήθως την δυνατότητα αναπλήρωσης της ενεργείας που καταναλώνουν, σε αντίθεση με τους κόμβους στα ad hoc δίκτυα οι οποίοι συνήθως έχουν την δυνατότητα αναπλήρωσης της ενέργειας που καταναλώνουν.



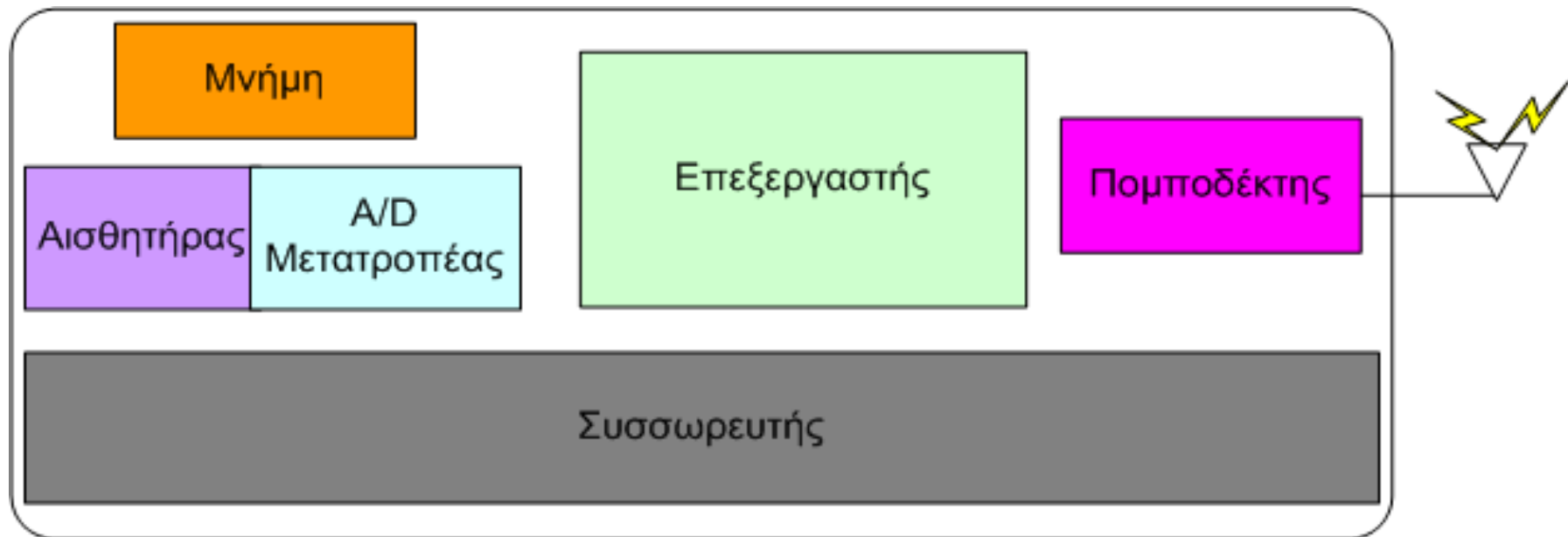
Η έννοια των δικτύων ασυρμάτων αισθητήρων αποτελείται από τρεις διακριτούς παράγοντες:

1. Υλικό
2. Τεχνικές Δικτύωσης
3. Εφαρμογές



Στη βασική αρχιτεκτονική ενός κόμβου περιλαμβάνονται τα παρακάτω βασικά υποσυστήματα:

- ❑ Υποσύστημα αισθητήρων,
- ❑ Υποσύστημα Επεξεργασίας
- ❑ Υποσύστημα Επικοινωνιών, και
- ❑ Υποσύστημα Τροφοδοσίας



Κόμβος Αισθητήρα : το Κυρίαρχο Συστατικό ενός Δικτύου Αισθητήρων (1/3).

Κύριοι δείκτες της απόδοσης ενός κόμβου είναι:

- ❑ **Η Κατανάλωση Ισχύος:** Για να ανταποκριθούν στην απαίτηση για μεγάλο χρόνο ζωής οι κόμβοι πρέπει να καταναλώνουν πάρα πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας για κάθε τους λειτουργία, συμπεριλαμβανομένης και της αποστολής – λήψης δεδομένων από την μονάδα εκπομπής.
- ❑ **Η προσαρμοστικότητα:** Εξαιτίας των ποικίλων εφαρμογών στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κόμβοι, απαιτείται η αρχιτεκτονική σχεδίασης τους να είναι ευέλικτη και ευπροσάρμοστη. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι εύκολη η μεταβολή παραμέτρων όπως ο ρυθμός δειγματοληψίας, ο χρόνος απόκρισης, το είδος και η μέθοδος επεξεργασίας.
- ❑ **Το μέγεθος και το κόστος:** Το πραγματικό μέγεθος και κόστος του κάθε κόμβου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην συνολική ευκολία και κόστος ανάπτυξης του δικτύου. Χαμηλό κόστος ισοδυναμεί με την ανάπτυξη περισσότερων κόμβων σε κάποιο πεδίο επιτήρησης που ισοδυναμεί με αύξηση της πιθανότητας εντοπισμού του επιθυμητού γεγονότος το οποίο λαμβάνει χώρα σε αυτό.



Κύριοι δείκτες της απόδοσης ενός κόμβου είναι (συνέχεια):

- ❑ **Η Ασφάλεια:** Κάθε κόμβος πρέπει να είναι ικανός να εκτελεί πολύπλοκους αλγορίθμους κρυπτασφάλισης και αυθεντικοποίησης. Εξαιτίας της ευκολίας υποκλοπής, αλλά και παρεμβολής του ασύρματου καναλιού μετάδοσης των πληροφοριών, ο μόνος τρόπος να διατηρηθούν τα δεδομένα αναλλοίωτα είναι με την κρυπτογράφηση κάθε εκπομπής, αλλά και με την υιοθέτηση τεχνικών κατά την κατασκευή τους που να εξασφαλίζουν αντοχή στην φυσική παραβίαση των κόμβων (tamper resilience).
- ❑ **Η Δυνατότητα Επικοινωνίας:** Βασικό χαρακτηριστικό των κόμβων είναι η ικανότητα τους να επικοινωνούν. Τα βασικά χαρακτηριστικά της επικοινωνίας τους είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η διαμόρφωση, η κατανάλωση ενέργειας και η ακτίνα μετάδοσης.



Κύριοι δείκτες της απόδοσης ενός κόμβου είναι (συνέχεια):

- ❑ **Η Υπολογιστική Ισχύς:** Κλειδί στην απόδοση ενός κόμβου είναι η υπολογιστική ισχύς του. Οι συνήθεις εργασίες τις οποίες θα απαιτηθεί να διαχειριστεί η MCU του κόμβου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι η επεξεργασία δεδομένων (καταγραφή, μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό, φιλτράρισμα, εντοπισμός κατωφλίου, κρυπτογράφηση – αποκρυπτογράφηση, και συσχετισμός και φασματική ανάλυση), ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει την διαχείριση χαμηλού επιπέδου τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων.
- ❑ **Ο Συγχρονισμός:** Για την υποστήριξη χρονικά συσχετισμένων δεδομένων από διαφορετικούς κόμβους του δικτύου, απαιτείται αυτά να διατηρούν μια μέθοδο συντονισμού πάρα πολύ μεγάλης ακρίβειας. Στην βιβλιογραφία προτείνονται μια σειρά από μεθοδολογίες άμεσου ή έμμεσου συγχρονισμού. Πιθανές διαφορές στον χρονισμό των κόμβων κάνουν αναξιόπιστο τον συσχετισμό των δεδομένων προσβάλλοντας έτσι και την συνολική αξιοπιστία του δικτύου



Τα κρίσιμα, για την λειτουργία ενός δικτύου αισθητήρων, χαρακτηριστικά του υποσυστήματος μετάδοσης δεδομένων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την σχεδίαση των δικτύων αισθητήρων είναι:

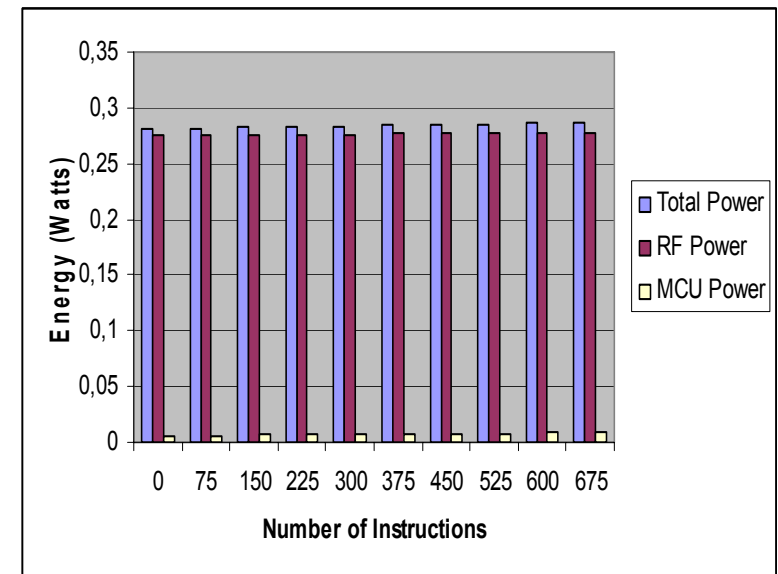
- ❑ Η Ακτίνα Εκπομπής
- ❑ Ο Τύπος Διαμόρφωσης
- ❑ Ο Ρυθμός Μετάδοσης
- ❑ Η Κωδικοποίηση
- ❑ Ο Εντοπισμός & η Διόρθωση Λαθών
- ❑ Η Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο
- ❑ Η Κεραία
- ❑ Η Κατανάλωση Ισχύος



- Η Κατανάλωση Ισχύος**
- Η Ακτίνα Εκπομπής
- Ο Τύπος Διαμόρφωσης
- Ο Ρυθμός Μετάδοσης
- Η Κωδικοποίηση
- Ο Εντοπισμός & η Διόρθωση Λαθών
- Η Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο
- Η Κεραία



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά.



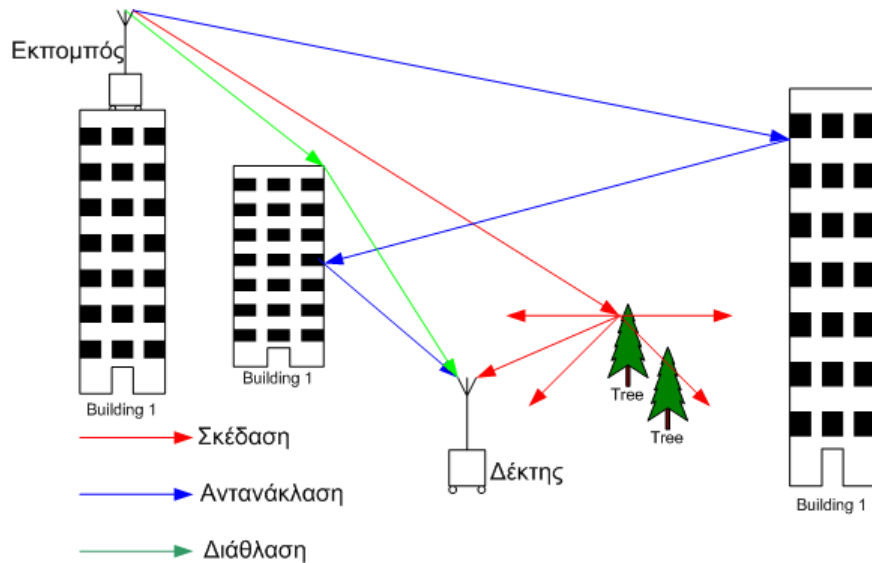
Στο RF καταναλώνεται το 80% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στον κόμβο



- Η Κατανάλωση Ισχύος
- Η Ακτίνα Εκπομπής**
- Ο Τύπος Διαμόρφωσης
- Ο Ρυθμός Μετάδοσης
- Η Κωδικοποίηση
- Ο Εντοπισμός & η Διόρθωση Λαθών
- Η Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο
- Η Κεραία



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά. Ακτίνα Εκπομπής



Το σήμα που φτάνει σε ένα δέκτη από ένα πομπό, στην πραγματικότητα αποτελεί το άθροισμα επιμέρους σημάτων, τα οποία έχουν προέλθει από το αρχικό σήμα, εξαιτίας μιας σειράς δύσκολων στον υπολογισμό φαινομένων, τα οποία συνδέονται με την διάδοση του σήματος στον χώρο.

Έτσι η ακτίνα εκπομπής ενός πομπού συσχετίζεται με την ενέργεια του σήματος P που λαμβάνεται από έναν δέκτη, ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση r από τον πομπό δίνεται από με μια σχέση της μορφής

$$P(r) = \lambda \cdot r^{-\alpha}$$

όπου είναι μια σταθερά και ο δείκτης εκφράζει το περιβάλλον μετάδοσης. Ο δείκτης παίρνει τιμές από 2 έως και 5, με το 2 να αντιστοιχεί σε επίπεδο ελεύθερο εμποδίων ιδανικό περιβάλλον και το 5 να αντιστοιχεί σε αστικό περιβάλλον. Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την ακτίνα εκπομπής είναι η ευαισθησία του δέκτη, το κέρδος και το είδος της κεραίας και ο μηχανισμός κωδικοποίησης του καναλιού.



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά.

- Η Κατανάλωση Ισχύος
- Η Ακτίνα Εκπομπής
- Ο Τύπος Διαμόρφωσης**
- Ο Ρυθμός Μετάδοσης
- Η Κωδικοποίηση
- Ο Εντοπισμός & η Διόρθωση Λαθών
- Η Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο
- Η Κεραία



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά - Τύπος Διαμόρφωσης

- Βασικό χαρακτηριστικό οποιασδήποτε RF συσκευής είναι ο μηχανισμός διαμόρφωσης.
- Οι περισσότεροι πομποί μεταδίδουν πληροφορία διαμορφώνοντας ένα φέρον RF σήμα.
- Οι κυριότερες τεχνικές διαμόρφωσης είναι η διαμόρφωση πλάτους, η διαμόρφωση συχνότητας, και η διαμόρφωση φάσης.

Στα ασύρματα δίκτυα ωστόσο χρησιμοποιούνται τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης οι οποίες σε σχέση με τις τεχνικές αναλογικής διαμόρφωσης εμφανίζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Μεγαλύτερη αντοχή στον θόρυβο.
2. Ευκολότερη πολυπλεξία της πληροφορίας.
3. Μπορούν να υποστηρίξουν ευκολότερα τεχνικές ελέγχου και διόρθωσης λαθών, καθώς κωδικοποίησης και κρυπτογράφησης του σήματος.
4. Επιπλέον με την χρήση καταλλήλων ψηφιακών επεξεργαστών σήματος (Digital Signal Processors – DSP) είναι δυνατόν να υλοποιηθούν εξ' ολοκλήρου διατάξεις ψηφιακής διαμόρφωσης – αποδιαμόρφωσης σε λογισμικό.



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά - Τύπος Διαμόρφωσης

Στα δίκτυα ασυρμάτων αισθητήρων χρησιμοποιούνται τεχνικές διαμόρφωσης εύρους φάσματος (Spread Spectrum - SS) με κυριότερες τις τεχνικές -Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS, και - Direct Sequencing Spread Spectrum- DSSS.

Οι τεχνικές διαμόρφωσης εύρους φάσματος προτιμώνται, διότι:

1. παράγουν ένα σήμα το οποίο είναι ισχυρότερο και ευκολότερο να ανιχνευθεί από δέκτες, οι οποίοι «γνωρίζουν» τις παραμέτρους με τις οποίες το σήμα εκπέμφθηκε από τον πομπό, ενώ ταυτόχρονα για οποιονδήποτε άλλο πομπό το σήμα μοιάζει με απλό θόρυβο.

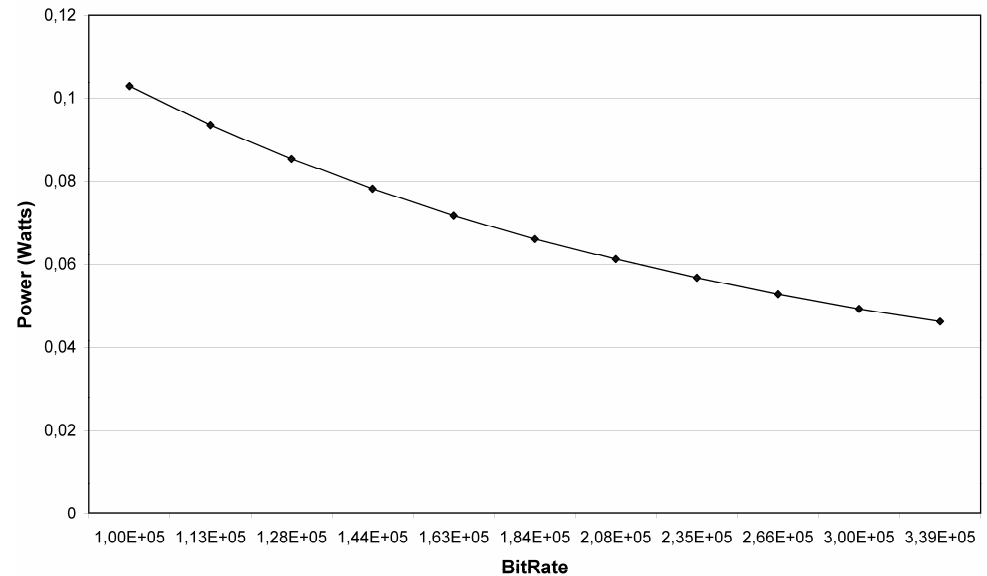
2. επειδή η διαδικασία διαμόρφωσης εύρους φάσματος μειώνει την φασματική πυκνότητα της ισχύος του υπό διαμόρφωση σήματος, το καθιστά δύσκολο να παρεμβληθεί από άλλα σήματα, ακόμα και αν αυτά προέρχονται από άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν μορφοποίηση εύρους φάσματος, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη στο ίδιο κανάλι πολλαπλών υπηρεσιών αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα του ασύρματου μέσου.

3. Τέλος επειδή οι τεχνικές εύρους φάσματος υλοποιούνται κυρίως με την χρήση ψηφιακών κυκλωμάτων, τα οποία ακολουθούν τον νόμο του Moore ως προς το μέγεθος, το κόστος και τις δυνατότητες τους, εκτιμάται ότι μελλοντικά θα συνεισφέρουν στην υλοποίηση πομποδεκτών με μικρότερο κόστος και περισσότερες δυνατότητες συμβάλλοντας έτσι στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής του κόμβου, το οποίο και αποτελεί ένα από τους δείκτες απόδοσης των κόμβων.



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων– Κρίσιμα Χαρακτηριστικά.

- Η Κατανάλωση Ισχύος
- Η Ακτίνα Εκπομπής
- Ο Τύπος Διαμόρφωσης
- Ο Ρυθμός Μετάδοσης



Η σχέση μεταξύ ρυθμού μετάδοσης - κατανάλωσης ενέργειας φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση :

$$\text{RF_Power_Tx} = \text{RF_Power_Elec} + (\text{Number_of_bits_Tx} / \text{BitRate}) \cdot \text{RF_Power_ActiveState}$$



- Η Κατανάλωση Ισχύος
- Η Ακτίνα Εκπομπής
- Ο Τύπος Διαμόρφωσης
- Ο Ρυθμός Μετάδοσης
- Η Κωδικοποίηση**
- Ο Εντοπισμός & η Διόρθωση Λαθών
- Η Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο
- Η Κεραία



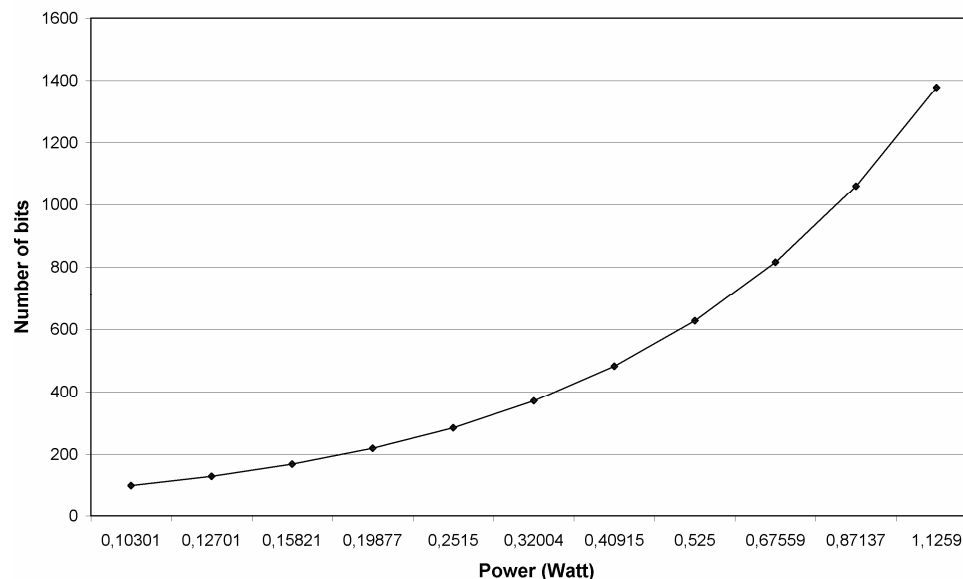
Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά (Κωδικοποίηση).

- **Το πρόβλημα του Bit Error Rate:** Σε όλα τα δίκτυα επικοινωνιών εμφανίζεται με βεβαιότητα η πιθανότητα μια αποστολή ενός αριθμού από δεδομένα να ληφθεί στον δέκτη αλλαγμένη, εξαιτίας λαθών κατά την διαδικασία αποστολής - λήψης.
- **Λύση:** Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού έχουν αναπτυχθεί τεχνικές κωδικοποίησης, οι οποίες με την προσθήκη επιπλέον bit ελέγχου στα προς αποστολή bit παρέχουν στον δέκτη την δυνατότητα ή να εντοπίζει τα πακέτα στα οποία εμφανίζονται λάθη και να ζητά την εκπομπή τους ξανά με μια διαδικασία γνωστή ως αυτόματη αίτηση για επανάληψη (Automatic Repeat Request ARQ) ή να τα επιδιορθώνει στον δέκτη (Forward Error Correction - FEC).



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά (Κωδικοποίηση).

- Μέθοδος ARQ:



Η χρησιμότητα της μεθόδου ARQ στα δίκτυα ασυρμάτων αισθητήρων είναι πολύ μικρή εξαιτίας του κόστους των επανεκπομπών, ιδιαίτερα δε αν τα προς αποστολή πακέτα έχουν μεγάλο μέγεθος



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά (Κωδικοποίηση).

- **Μέθοδος FEC:**

Οι κυριότερες τεχνικές FEC που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- Parity Check**
- Hamming Code**
- Cyclic Redundancy Check**
- Convolutional Coding.**

Η μέθοδος FEC φαίνεται ιδανική για χρήση στα δίκτυα ασυρμάτων αισθητήρων λόγω της δυνατότητας του κόμβου να εκτελεί επεξεργασία δεδομένων (κωδικοποίηση-αποκωδικοποίηση) με μικρότερο κόστος σε ενέργεια από ότι απαιτείται, γενικά, για την επανεκπομπή των ίδιων δεδομένων.

Βέβαια, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πόση ενέργεια ξοδεύεται στην επεξεργασία, γιατί αν αυτή είναι μεγαλύτερη από ότι απαιτείται για την χωρίς κωδικοποίηση εκπομπή του σήματος, τότε η όλη διαδικασία είναι ενεργειακά μη συμφέρουσα. Για τον σκοπό αυτό τα χαρακτηριστικά που πρέπει να ικανοποιεί ο FEC κώδικας είναι η χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα, οι περιορισμένες ανάγκες σε χρήση μνήμης και λοιπών μέσων αποθήκευσης, και η ταχεία εκτέλεση.



Αρχές Σχεδίασης MAC Πρωτοκόλλων:

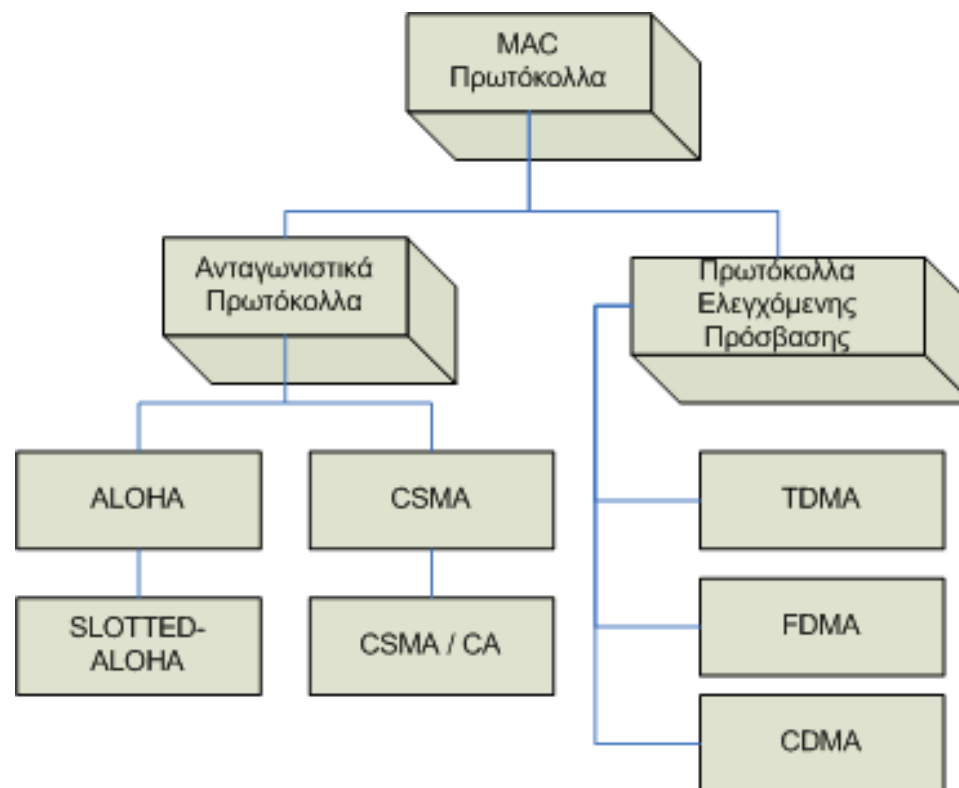
- Αποφυγή Συγκρούσεων
- Ελαχιστοποίηση της Κατανάλωσης Ισχύος
- Επεκτασιμότητα και Προσαρμοστικότητα
- Βέλτιστη Χρησιμοποίηση του Καναλιού Εκπομπής
- Καθυστέρηση
- Δικαιοσύνη
- Ικανότητα Διεκπεραίωσης (Throughput)

Κύριες Αιτίες Κατανάλωσης Ενέργειας στα MAC Πρωτοκόλλων:

- Στις Συγκρούσεις Πακέτων
- Στην Παραμονή επί Μακρών στην Κατάσταση Αναμονής Λήψης Δεδομένων (Idle)
- Στο Φαινόμενο Overhearing
- Στο Κόστος των Πακέτων Ελέγχου.



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά (Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο 2/3).



Πρωτόκολλα Ελεγχόμενης Πρόσβασης

- **Time Division Multiple Access – TDMA:**

Περισσότερο δημοφιλής μέθοδος, ωστόσο παρουσιάζει κάποια προβλήματα τα οποία περιορίζουν την χρήση της. Το κυριότερο από αυτά είναι η χρήση προκαθορισμένου αριθμού χρονοθυρίδων, γεγονός το οποίο καθιστά δύσκολη την επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα του δικτύου, επιπλέον η χρήση χρονοθυρίδων δεν επιτρέπει την δυνατότητα απευθείας επικοινωνίας με άλλους κόμβους της ίδιας ή άλλης γειτονικής ομάδας αλλά μόνο διαμέσου του επικεφαλής κόμβου, γεγονός το οποίο αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος και απαιτεί την a priori υιοθέτηση μιας ιεραρχικής τοπολογίας δικτύου

Τα MAC πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιούν τις FDMA και CDMA τεχνικές δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στα δίκτυα αισθητήρων εξαιτίας συγκεκριμένων περιορισμών τους.

Τα μεν FDMA παρουσιάζουν χαμηλή εκμετάλλευση του διατιθέμενου καναλιού, τα δε CDMA απαιτούν αφενός την εκ των προτέρων ανάθεση συγκεκριμένου κωδικού σε κάθε κόμβο, αφετέρου δε την γνωστοποίηση του κωδικού αυτού σε όλους τους άλλους κόμβους, γεγονός που απαιτεί μηχανισμό συγχρονισμού των κόμβων μεταξύ τους ακριβείας, γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα και μειώνει την προσαρμοστικότητα και επεκτασιμότητα του δικτύου.



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά (Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο 3/3).

Κατηγορία Πρωτοκόλλου Κριτήριο Αξιολόγησης	Προγραμματισμένης Πρόσβασης	Ανταγωνιστικά
Αποφυγή Συγκρούσεων	+	-
Κατανάλωσης Ισχύος	+	-
Επεκτασιμότητα και Προσαρμοστικότητα	-	+
Χρησιμοποίηση του Καναλιού Εκπομπής	-	+
Καθυστέρηση	+	-
Δικαιοσύνη	+	-
Ικανότητα Διεκπεραίωσης (Throughput)	+	+



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά.

- Η Κατανάλωση Ισχύος
- Η Ακτίνα Εκπομπής
- Ο Τύπος Διαμόρφωσης
- Ο Ρυθμός Μετάδοσης
- Η Κωδικοποίηση
- Ο Εντοπισμός & η Διόρθωση Λαθών
- Η Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο
- Η Κεραία**



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Μετάδοσης Δεδομένων – Κρίσιμα Χαρακτηριστικά (Κεραία)

- Μια ανεπαρκής κεραία μπορεί να μειώσει δραματικά τόσο την ακτίνα εκπομπής όσο και λήψης, κάτι το οποίο αντιμετωπίζεται μόνο αυξάνοντας την ισχύ εκπομπής ή την ευαισθησία του δέκτη, δύο επιλογές όμως οι οποίες μειώνουν δραματικά το χρόνο ζωής του συσσωρευτή του κόμβου.
- Για αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή στον σχεδιασμό της κεραίας, στην θέση τοποθέτησης της στο κόμβο, αλλά και στο είδος της.



Τυπικοί Πομποδέκτες

- Σχεδόν Απεριόριστη Ποικιλία Διαθέσιμη
- Μερικά Παραδείγματα
 - Οικογένεια RFM TR1000
 - 916 or 868 MHz
 - 400 kHz bandwidth
 - Up to 115,2 kbps
 - On/off keying or ASK
 - Dynamically tuneable output power
 - Maximum power about 1.4 mW
 - Low power consumption
 - Chipcon CC1000
 - Range 300 to 1000 MHz, programmable in 250 Hz steps
 - FSK modulation
 - Provides RSSI
 - Chipcon CC 2400
 - Implements 802.15.4
 - 2.4 GHz, DSSS modem
 - 250 kbps
 - Higher power consumption than above transceivers
 - Infineon TDA 525x family
 - E.g., 5250: 868 MHz
 - ASK or FSK modulation
 - RSSI, highly efficient power amplifier
 - Intelligent power down, “self-polling” mechanism
 - Excellent blocking performance



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Επεξεργασίας

Σε έναν κόμβο το υποσύστημα επεξεργασίας αποτελείται κυρίως από ένα μικροελεγκτή (MicroController Unit – MCU) ο οποίος είναι υπεύθυνος για:

- 1) τον έλεγχο των αισθητήρων
- 2) την εκτέλεση των αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος επί των δεδομένων που έχουν καταγραφεί από αυτούς και
- 3) για την υλοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ του κόμβου και του υπόλοιπου δικτύου με την χρήση καταλλήλων τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων.

Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή MCU:

- 1) το επιθυμητό επίπεδο απόδοσης και οι ανάγκες σε επεξεργαστική ισχύ των εφαρμογών στις οποίες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν οι κόμβοι
- 2) η κατανάλωση ενέργειας,
- 3) ο χρόνος αφύπνισης,
- 4) η ταχύτητα,
- 5) το κόστος ανάπτυξης του, και τέλος
- 6) η υποστήριξη περιφερειακών.



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Επεξεργασίας

- **Κύριες Επιλογές:**
 - **Μικροεπεξεργαστής** – γενικής χρήσης επεξεργαστής, βελτιστοποιημένος για εφαρμογές με embedded συστήματα, χαμηλής κατανάλωσης σε ενέργεια.
 - **DSPs** – βελτιστοποιημένος για εφαρμογές επεξεργασίας σήματος, γενικά όχι κατάλληλα για χρήση στα WSN.
 - **FPGAs** – καλή επιλογή για την φάση της σχεδίασης και των δοκιμών.
 - **ASICs** – μόνο για εφαρμογές που απαιτούν κορυφαία, καμία ευελιξία.



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Επεξεργασίας

Μικροελεγκτής	Μνήμη	Κατάσταση λειτουργίας & Τυπικές Τιμές Λειτουργίας		Παρατηρήσεις
		Ενεργή -Active	Αναμονής (Idle) - Sleep / Off	
ATMEL 8535	512B RAM 8K Flash	60mW	.036mW	TinyOS
ATmega103L AVR	128KB Flash 4KB EEPROM 4KB SRAM	5.5mA	1.6mA - < .1μA	TinyOS
ATMEGA 128	4K RAM 128K Flash	60mW	.036mW	TinyOS
ATMEL Mega 128L 7.328Mhz	128KB Flash 4KB EEPROM 4KB SRAM	285mW	50mW	TinyOS - IEEE 802.15.4
Motorola HC908	4K RAM	32mW	.001mW	IEEE 802.15.4
Intel StongArm 1100	16 MB FLASH 32 MB SDRAM (100 MHz)	400mW	50 – 0.16mW	-



Οι βασικοί παράγοντες που πρέπει να εξετάζει κάποιος σε σχέση με τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα αισθητήρων είναι:

- ❑ οι απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία θα αναπτυχθεί το δίκτυο
- ❑ ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα
- ❑ οι απαιτήσεις σε τάση τροφοδοσίας
- ❑ κατανάλωση ενέργειας
- ❑ ακτίνα κάλυψης.



Παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα εντοπισμού ενός αντικειμένου:

- Ποσότητα και μοτίβο τις εκπεμπόμενης ακτινοβολίας
- Μέγεθος του αντικειμένου
- Απόσταση αισθητήρα – αντικειμένου
- Ταχύτητα του αντικειμένου
- Κατεύθυνση κίνησης και,
- Χαρακτηριστικά αντανάκλασης / απορρόφησης των ενεργειακών κυμάτων από το αντικείμενο και το περιβάλλον.

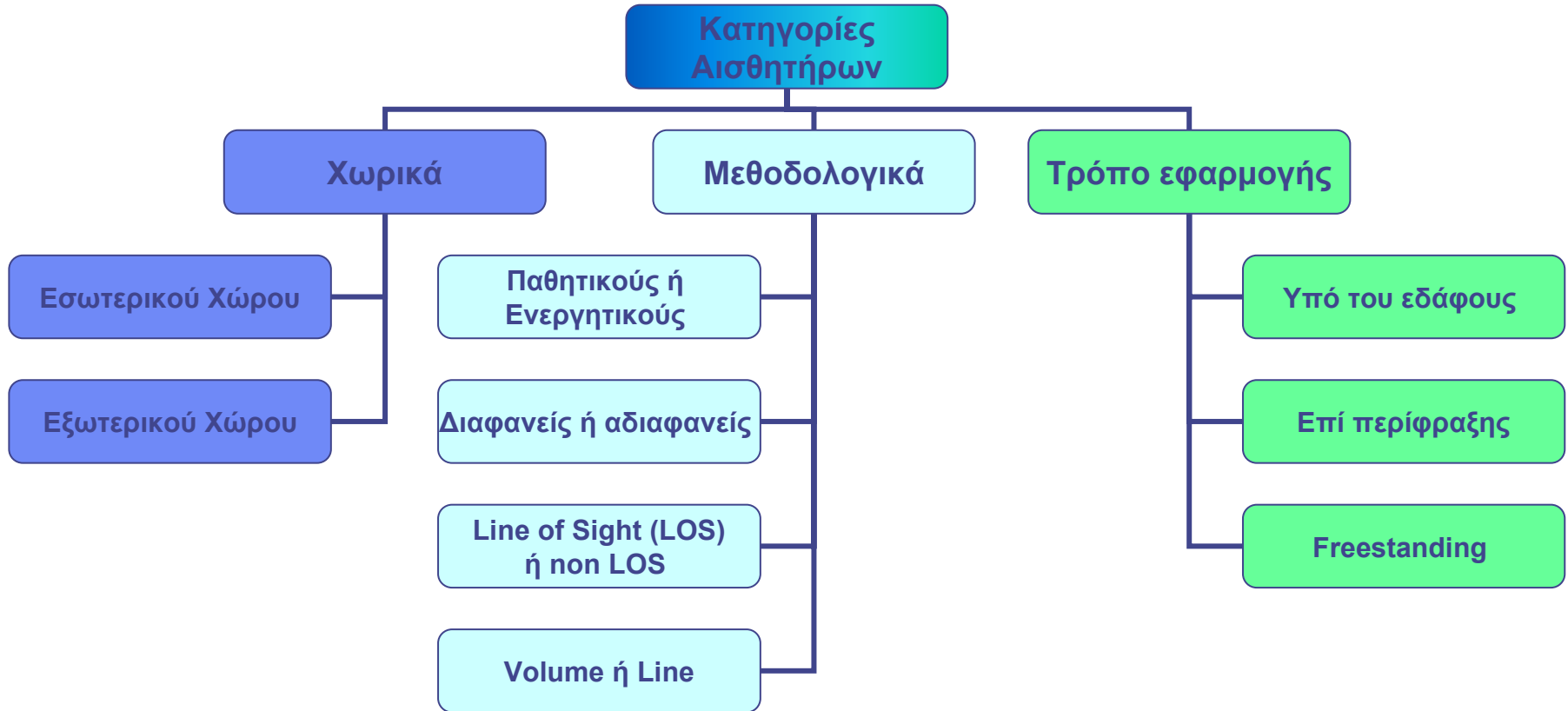


Δείκτες απόδοσης:

- Πιθανότητα εντοπισμού (Probability of Detection) (Pd)
- Ποσοστό Λαθεμένων Συναγερμών (False Alarm Rate) (FAR)
- Vulnerability to Defeat



Κόμβος Αισθητήρα : Υποσύστημα Αισθητήρα.



Κατηγορία Φαινόμενου - Ανίχνευσης	Ιδιότητα	Είδος Αισθητήρα
Φυσικό	Πίεση	Piezoresistive, capacitive
	Θερμοκρασία	Thermistor, thermo-mechanical, thermocouple
	Υγρασία	Resistive, capacitive
	Ροή	Pressure change, thermistor
Κινητικό	Θέση	E-mag, GPS, contact sensor
	Ταχύτητα	Doppler, Hall effect, optoelectronic
	Γωνιακή Ταχύτητα	Optical encoder
	Επιτάχυνση	Piezoresistive, piezoelectric, optical fiber
Επαφή	Strain	Piezoresistive
	Δύναμη - Force	Piezoelectric, piezoresistive
	Ροπή Στρέψεως	Piezoresistive, optoelectronic
	Ολίσθηση	Dual torque
	Δόνηση	Piezoresistive, piezoelectric, optical fiber, Sound, ultrasound
Παρουσία	Αφή/Επαφή	Contact switch, capacitive
	Εγγύτητα	Hall effect, capacitive, magnetic, seismic, acoustic, RF
	Απόσταση	E-mag (sonar, radar, lidar), magnetic, tunneling
	Κίνηση	E-mag, IR, acoustic, seismic (vibration)
Βιοχημικό	Βιοχημικοί Παράγοντες	Biochemical transduction
Αναγνώριση	Βιομετρικά χαρακτηριστικά Personal features	Vision
	Personal ID	Fingerprints, retinal scan, voice, heat plume, vision motion analysis

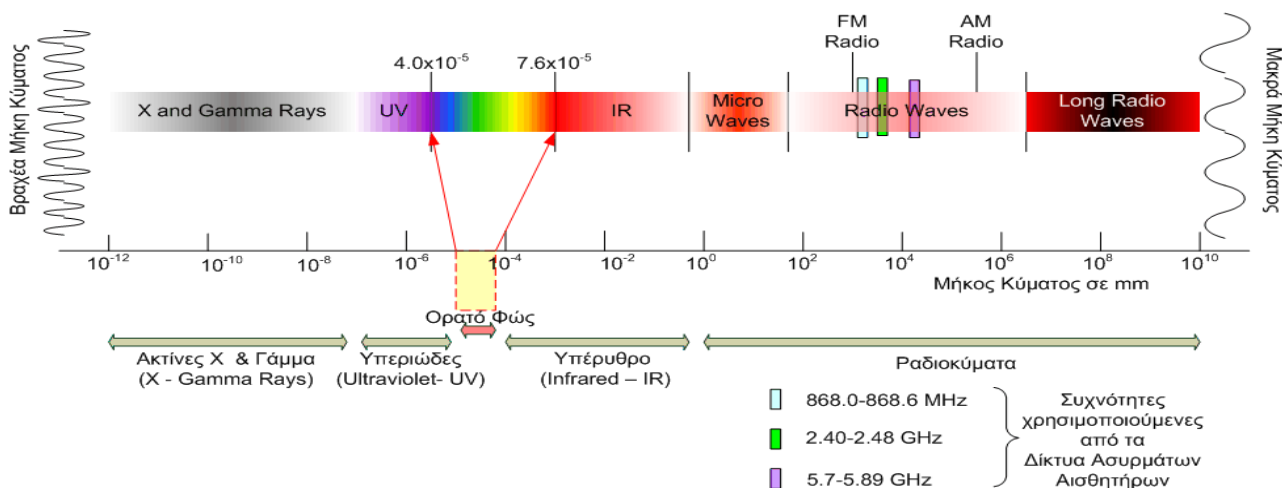


Περίγραμμα

- Network scenarios
- Στόχοι Βελτιστοποίησης
- Αρχές Σχεδίασης
- Διεπαφή Υπηρεσιών (Service interface)
- Gateway concepts



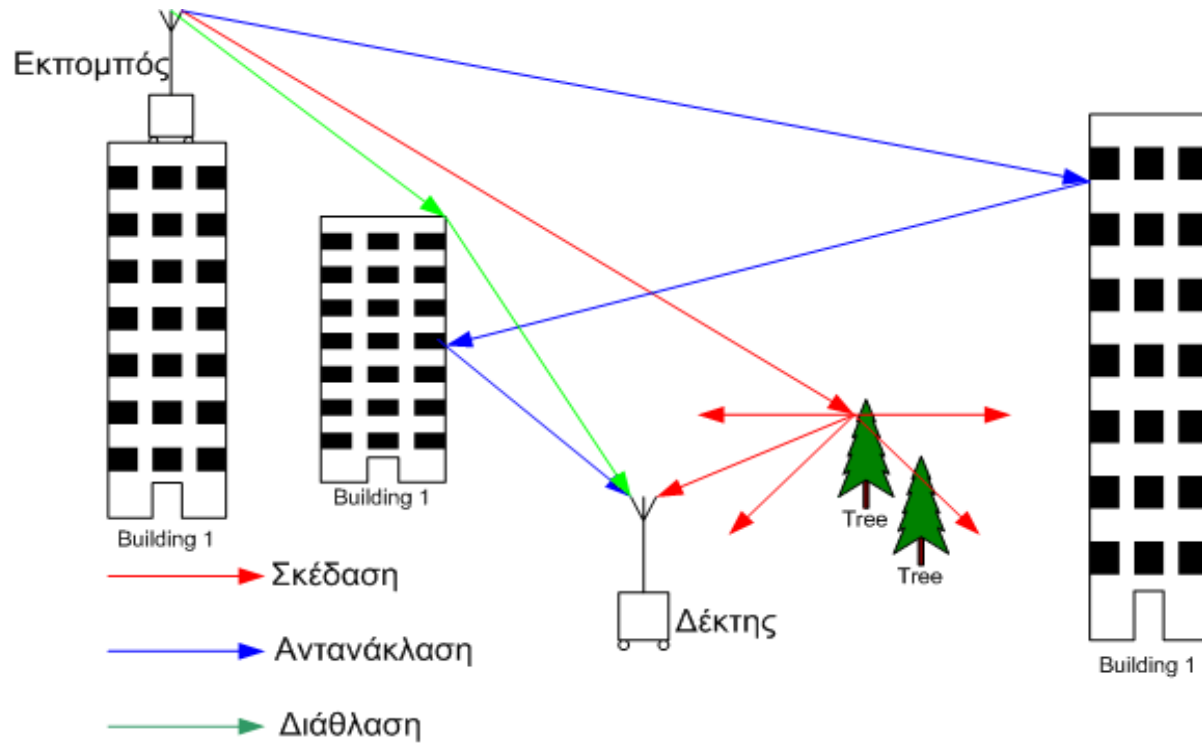
Τεχνικές Δικτύωσης : Ασύρματο Μέσο Μετάδοσης (1/2)

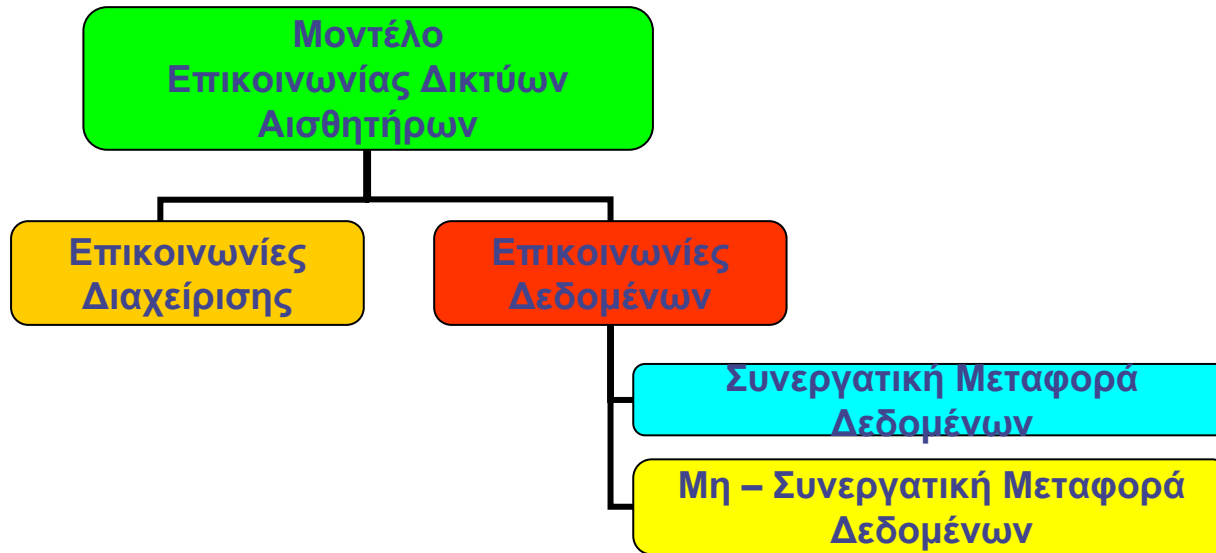


Συχνότητα (MHz)	Εύρος Ζώνης (MHz)	Διαχωρισμός Καναλιών	Τεχνική Διαμόρφωσης	Ρυθμός Μετάδοσης (Bit rate)
433.5-437.9	1.740	Δεν Καθορίζεται	free	free
868.0-868.6	0.600	25 kHz	free	free
		100 kHz	SS	free
2400-2483.5	83.5	100 kHz	FHSS/DSSS	>250 kbps
5700-5789	89	100 kHz	FHSS/DSSS	>250 kbps

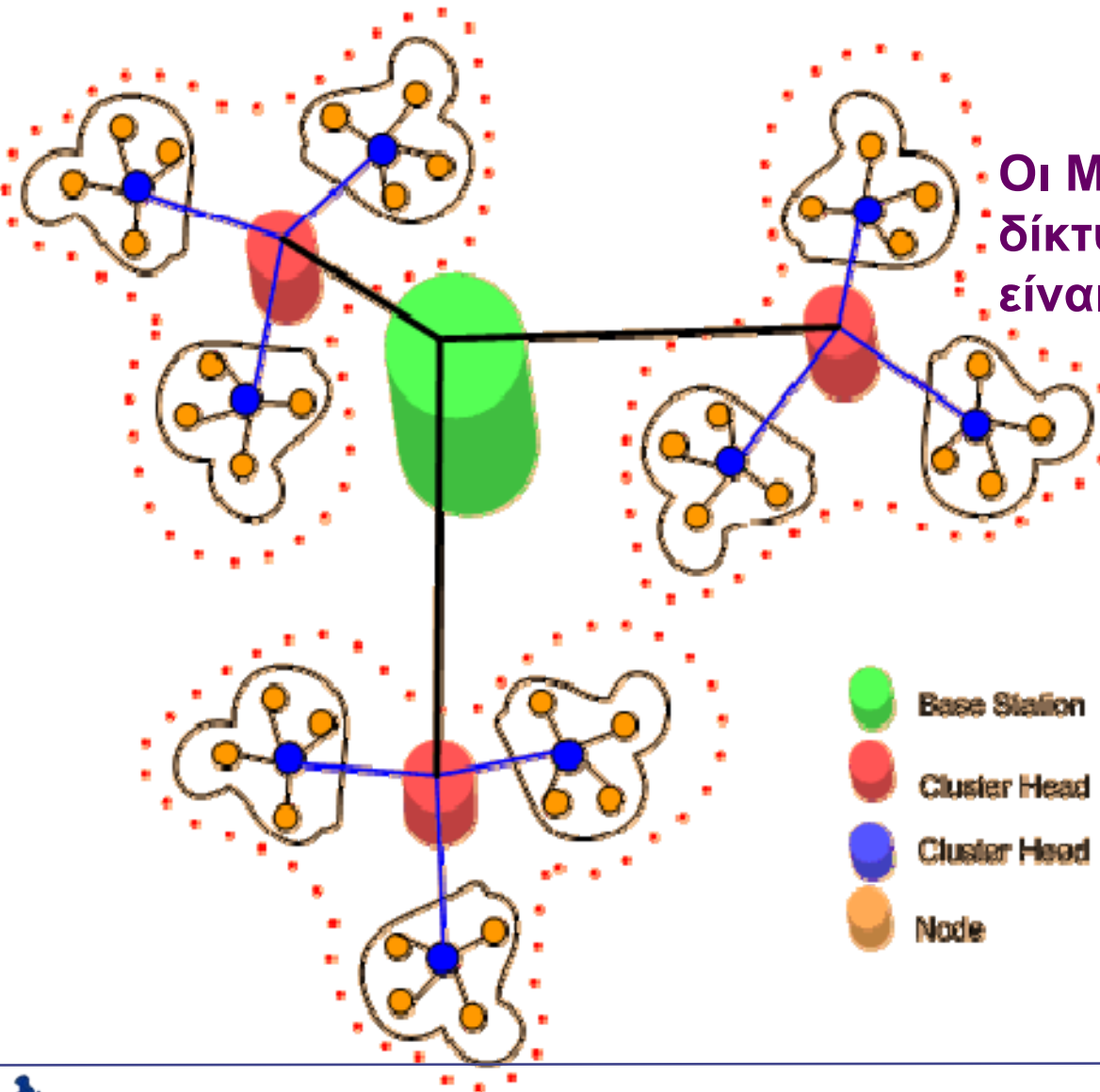


Τεχνικές Δικτύωσης : Ασύρματο Μέσο Μετάδοσης (2/2)





Τεχνικές Δικτύωσης : Μέθοδος Επικοινωνίας (1/4).

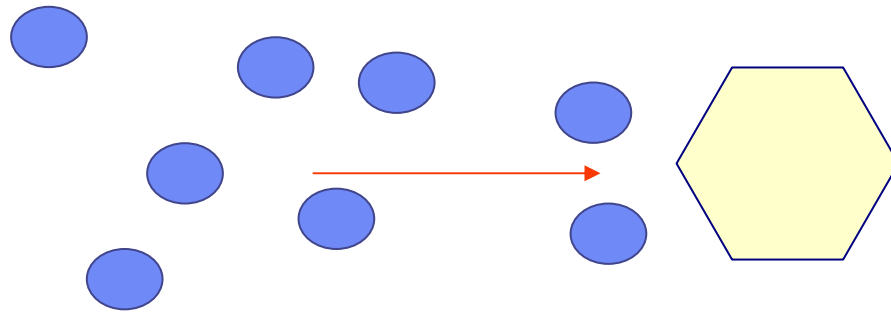


Οι Μέθοδοι Επικοινωνίας στα δίκτυα Ασυρμάτων Αισθητήρων είναι:

- Κατ' Ευθείαν (Direct).
- Με Πολλαπλές Επανεκπομπές (Multihop).
- Με Ομαδοποίηση (Clustering)



Τεχνικές Δικτύωσης : Μέθοδος Επικοινωνίας – Κατ' Ευθείαν (2/4).

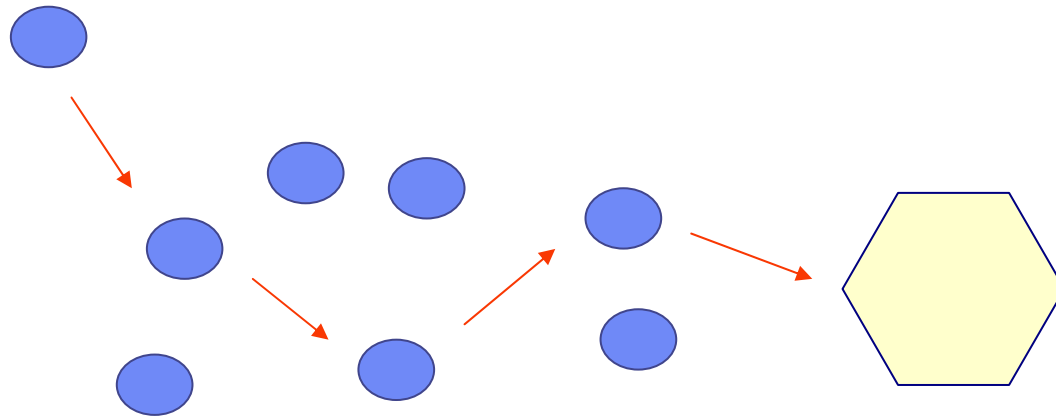


 Κόμβος

 Επικεφαλής Κόμβος



Τεχνικές Δικτύωσης : Μέθοδος Επικοινωνίας – Με Πολλαπλές Επανεκπομπές (3/4).

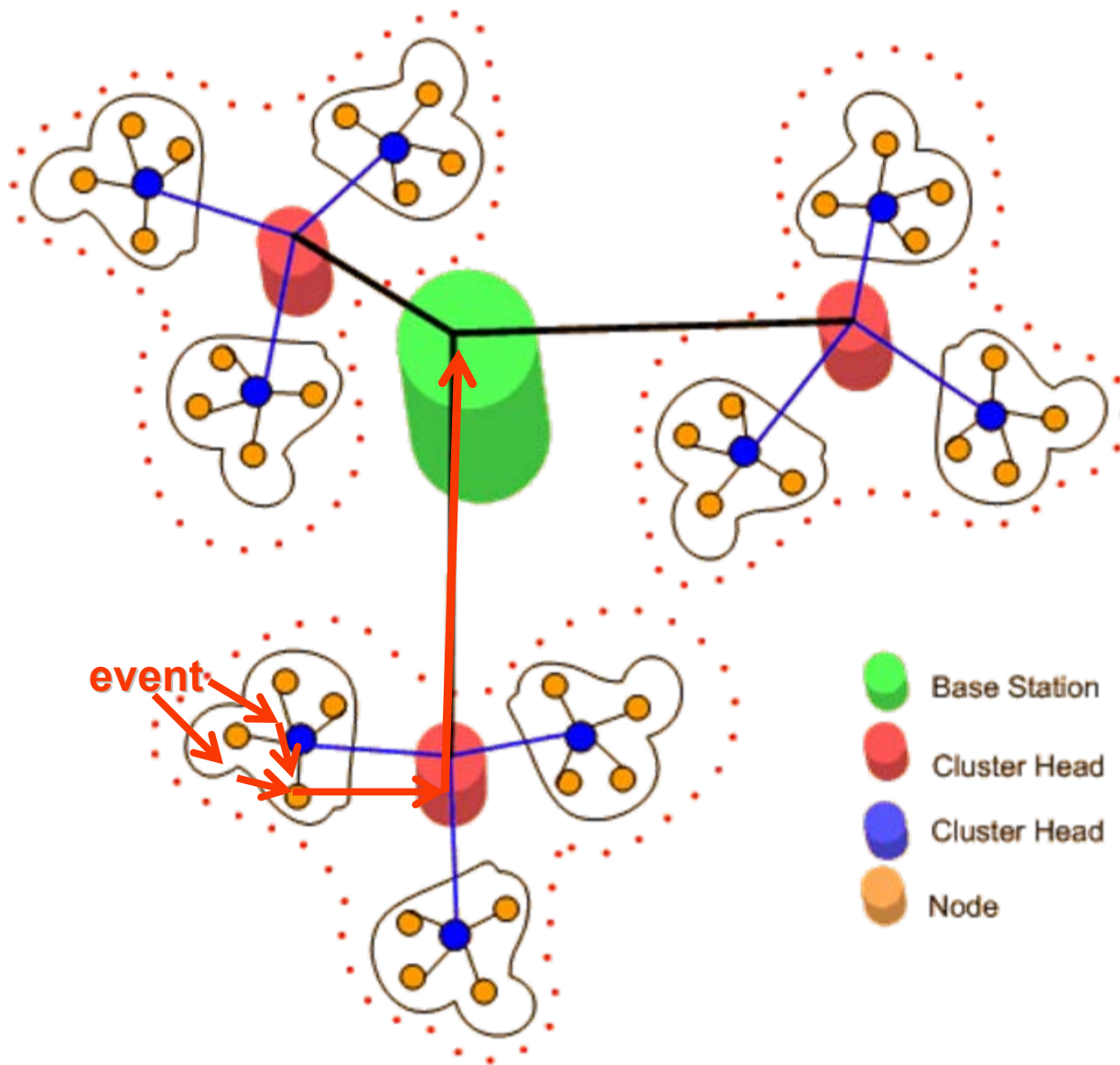


 Κόμβος

 Επικεφαλής Κόμβος



Τεχνικές Δικτύωσης : Μέθοδος Επικοινωνίας – Με Ομαδοποίηση (4/4).



Περίγραμμα

- Network scenarios
- Στόχοι Βελτιστοποίησης
- Αρχές Σχεδίασης
- Διεπαφή Υπηρεσιών (Service interface)
- Gateway concepts



Στόχοι της βελτιστοποίησης είναι :

1. Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service)
2. Ενεργειακή Αποτελεσματικότητα (Energy efficiency)
3. Επεκτασιμότητα (Scalability)
4. ...



Στόχος Βελτιστοποίησης: Quality of Service

- Στα WSN, η Quality of Service είναι σύνθετη και σχετίζεται άμεσα με την εφαρμογή στην οποία αναφέρεται:
 - Event detection/reporting probability
 - Event classification error, detection delay
 - Probability of missing a periodic report
 - Approximation accuracy (π.χ., όταν το WSN κατασκευάζει έναν temperature map)
 - Tracking accuracy (π.χ., διαφορά μεταξύ αληθινής και υπολογισθείσας θέσης ενός αντικειμένου υπό παρακολούθηση)
- Σχετικός στόχος: ανθεκτικότητα (robustness)
 - Το δίκτυο θα πρέπει να «αντέχει» στην απώλεια ορισμένων κόμβων του



Στόχος Βελτιστοποίησης : Energy efficiency

- Ενέργεια ανά σωστά ληφθέν bit
 - Συνυπολογίζοντας όλα τα τυχόν overheads, σε ενδιάμεσους κόμβους, κλπ.
- Ενέργεια ανά αναφερόμενο (μοναδικό) γεγονός
 - Εξάλλου, τελικά αυτό που μετράει είναι η πληροφορία, και όχι τα bits που την μεταφέρουν!
 - Η πλέον συνηθισμένη περίπτωση στα WSN
- Καθυστέρηση/Ενέργεια (Delay/energy) tradeoffs
- Χρόνος Ζωής του Δικτύου (Network lifetime)
 - Χρόνος ως την αποτυχία (failure) του πρώτου κόμβου
 - Χρόνος ημισείας Ζωής (πόσος χρόνος μέχρι τον θάνατο του 50% των κόμβων;)
 - Χρόνος μέχρι τον διαμοιρασμό (partition)
 - Χρόνος μέχρι την διακοπή κάλυψης
 - Χρόνος μέχρι την απώλεια του πρώτου συμβάντος



Στόχος Βελτιστοποίησης : Scalability

- Το δίκτυο πρέπει να είναι επιχειρησιακό ανεξάρτητα του αριθμού των κόμβων
- Τυπικός αριθμός των κόμβων δύσκολος να υπολογιστεί
 - WSNs: 10 έως 1000, ίσως και μεγαλύτερος (αν και ελάχιστοι άνθρωποι έχουν δει ένα τέτοιο δίκτυο ως τώρα...)
- Η απαίτηση για υποστήριξη μεγάλου αριθμού κόμβων έχει **σοβαρές** συνέπειες στην αρχιτεκτονική του δικτύου
 - Μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστες λύσεις για μικρά δίκτυα!
 - Πριν την επιλογή αρχιτεκτονικής πρέπει να σταθμίζονται επακριβώς οι απαιτήσεις της εφαρμογής.



Περίγραμμα

- Network scenarios
- Στόχοι Βελτιστοποίησης
- Αρχές Σχεδίασης
- Διεπαφή Υπηρεσιών (Service interface)
- Gateway concepts



Κατανεμημένη Οργάνωση

- Οι συμμετέχοντες σε ένα WSN πρέπει να συνεργάζονται στην οργάνωση του δικτύου
 - Π.χ., σε σχέση με την πρόσβαση στο μέσο, δρομολόγηση, ...
 - Οι κεντριοποιημένες προσεγγίσεις δεν «ταιριάζουν» στα WSN – κρύβουν προβλήματα στην επεκτασιμότητα, ανθεκτικότητα,...
- Πιθανά προβλήματα
 - Πολλές φορές δεν είναι προφανές πότε επιτυγχάνεται βέλτιστη ενεργειακή αποδοτικότητα (κεντριοποιημένη ή κατανεμημένη αρχιτεκτονική)
- Δυνατότητα Επιλογής: “Περιορισμένη Κεντριοποιημένη Αρχιτεκτονική”
 - Επιλογή κόμβων για τοπικό έλεγχο/συντονισμό
 - Περιστροφή αυτού του κόμβου με χρονοπρογραμματισμό



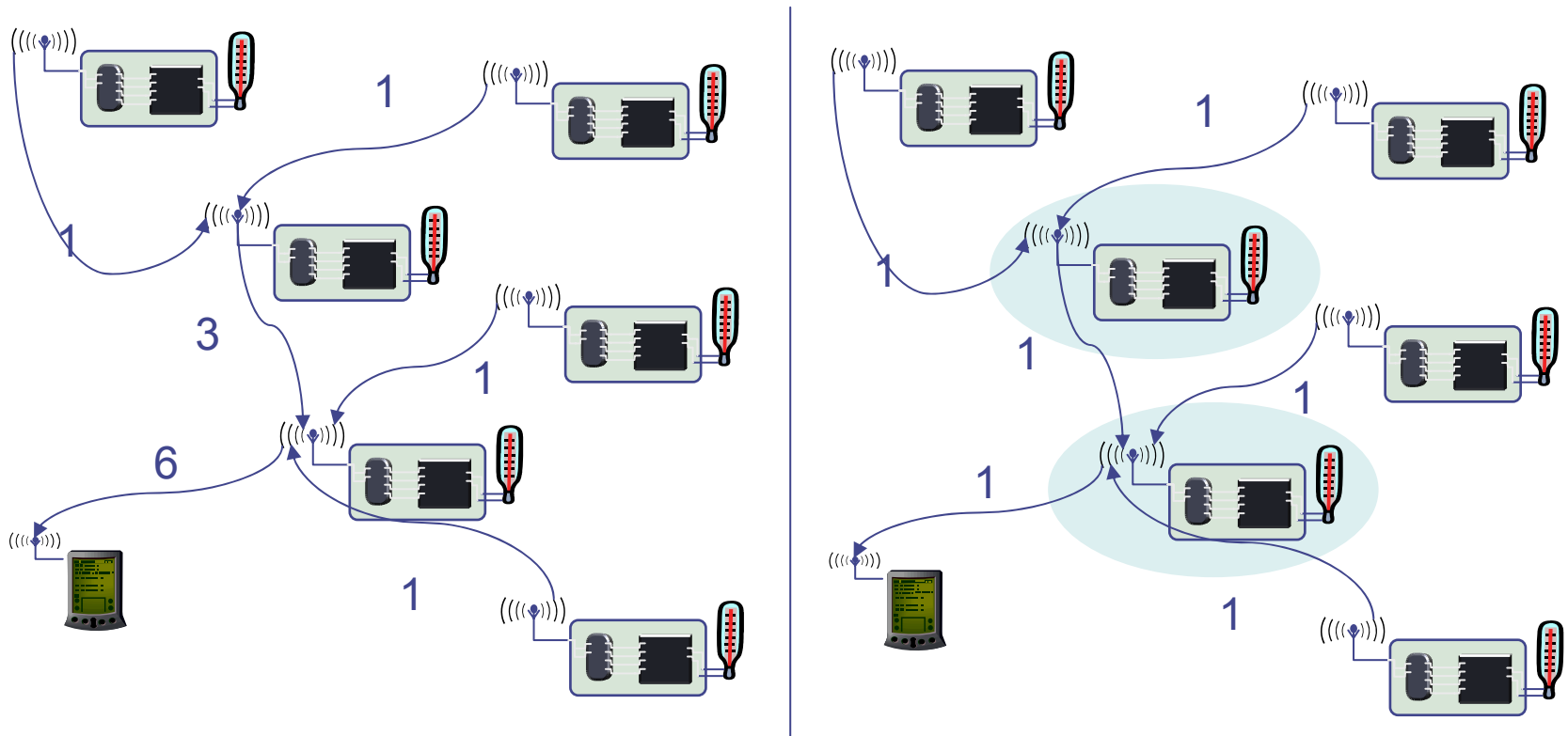
In-network επεξεργασία

- Τα WSNs αναμένονται να παρέχουν **πληροφορίες** και όχι απαραίτητα τα πρωτότυπα **bits**
 - Η δυνατότητα αυτή δίνει επιπλέον επιλογές
 - Π.χ., **χειρισμός** ή **επεξεργασία** των δεδομένων στο δίκτυο
- Κυρίως παράδειγμα: aggregation
 - Εφαρμογή aggregation functions σε ένα κλαδί του δικτύου
 - Τυπικές Συναρτήσεις: minimum, maximum, average, sum, ...
 - Μη επιθυμητές συναρτήσεις: median



In-network επεξεργασία : Παράδειγμα Aggregation

- Περιορισμός του αριθμού των bits/packets με την εφαρμογή μιας aggregation function στο δίκτυο



In-network επεξεργασία : signal processing

- Αναλόγως με την εφαρμογή, μπορεί να εφαρμοστεί περισσότερο «εκλεπτυσμένα» επεξεργασία δεδομένων
 - Π.χ. edge detection: τοπική ανταλλαγή “raw” δεδομένων με τους γειτονικούς κόμβους, υπολογίζονται οι ακραίες τιμές, οι οποίες είναι εκείνες που στην συνέχεια εκπέμπονται προς τον σταθμό βάσης
 - Π.χ. εντοπισμός / εύρεση γωνίας (tracking/angle detection) του σήματος μιας πηγής: Θεωρείστε το δίκτυο ως ένα κατακευματισμένο microphone array, το χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό της γωνίας εκπομπής της πηγής, εκπέμπουμε την τιμή της γωνίας και όχι τα raw data
- Εκμετάλλευση **χρονικής** και **χωρικής συσχέτισης**
 - Τα σήματα συνήθως διαφέρουν ελάχιστα στην μονάδα του χρόνου, επομένως δεν απαιτείται η μετάδοση των δεδομένων σε full rate συνεχώς
 - Τα σήματα γειτονικών κόμβων είναι συχνά αρκετά όμοια, επομένως μπορούμε να μεταδίδουμε μόνο της διαφορές

Προσαρμοσμένη Πιστότητα (Adaptive fidelity)

- Προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στην απαιτούμενη ακρίβεια / πιστότητα
- Π.χ., εντοπισμός γεγονότος
 - Όταν δεν υπάρχει κάποιο event, αποστολή σε αραιά χρονικά διαστήματα ενός “OK” μηνύματος
 - Όταν συμβεί ένα γεγονός, αυξάνεται ο ρυθμός ανταλλαγής μηνυμάτων
- Π.χ., θερμοκρασία
 - Όταν η θερμοκρασία είναι εντός ενός συγκεκριμένου ορίου, στέλνουμε την θερμοκρασία σε αραιά διαμερίσματα
 - Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει το όριο, αυξάνεται ο ρυθμός αποστολής των μηνυμάτων

Δεδομενο-κεντρική Δικτύωση (Data centric networking)

- Στα τυπικά δίκτυα, οι συναλλαγές απευθύνονται στις **identities** συγκεκριμένων κόμβων
 - Π.χ, “node-centric” ή “address-centric” υπόδειγμα δικτύωσης
- In a redundantly deployed sensor networks, specific source of an event, alarm, etc. might not be important
 - Redundancy: e.g., several nodes can observe the same area
- Thus: focus networking transactions on the data directly instead of their senders and transmitters **data-centric networking**
 - Principal design change



Implementation options for data-centric networking

- Overlay networks & distributed hash tables (DHT)
 - Hash table: content-addressable memory
 - Retrieve data from an unknown source, like in peer-to-peer networking – with efficient implementation
 - Some disparities remain
 - Static key in DHT, dynamic changes in WSN
 - DHTs typically ignore issues like hop count or distance between nodes when performing a lookup operation
- Publish/subscribe
 - Different interaction paradigm
 - Nodes can **publish** data, can **subscribe** to any particular kind of data
 - Once data of a certain type has been published, it is delivered to all subscribers
 - Subscription and publication are decoupled in time; subscriber and publisher are agnostic of each other (decoupled in identity)
- Databases



Further design principles

- Exploit location information
 - Required anyways for many applications; can considerably increase performance
- Exploit activity patterns
- Exploit heterogeneity
 - By construction: nodes of different types in the network
 - By evolution: some nodes had to perform more tasks and have less energy left; some nodes received more solar energy than others; ...
- Cross-layer optimization of protocol stacks for WSN
 - Goes against grain of standard networking; but promises big performance gains
 - Also applicable to other networks like ad hoc; usually at least worthwhile to consider for most wireless networks



Περίγραμμα

- Network scenarios
- Στόχοι Βελτιστοποίησης
- Αρχές Σχεδίασης
- Διεπαφή Υπηρεσιών (Service interface)
- Gateway concepts



Interfaces to protocol stacks

- The world's all-purpose network interface: sockets
 - Good for transmitting data from one sender to one receiver
 - Not well matched to WSN needs.
- Expressibility requirements
 - Support for simple request/response interactions
 - Support for asynchronous event notification
 - Different ways for identifying addressee of data
 - By location, by observed values, implicitly by some other form of group membership
 - By some semantically meaningful form – “room 123”
 - Easy accessibility of in-network processing functions
 - Formulate complex events – events defined only by several nodes
 - Allow to specify accuracy & timeliness requirements
 - Access node/network status information (e.g., battery level)
 - Security, management functionality, ...
- No clear standard has emerged yet – many competing, unclear proposals



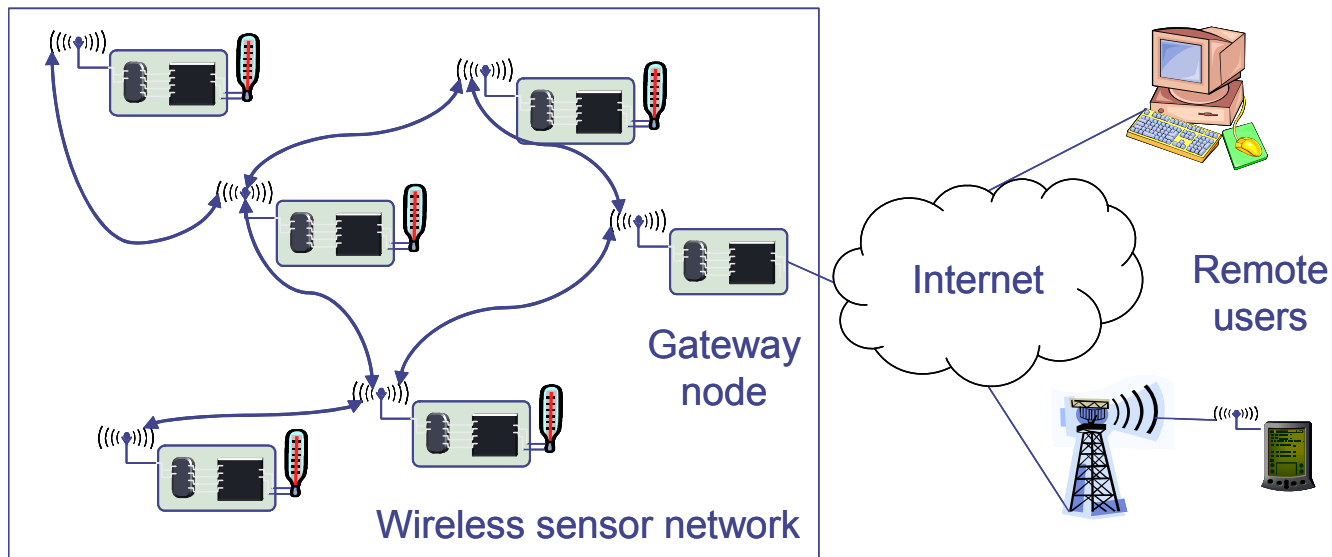
Περίγραμμα

- Network scenarios
- Στόχοι Βελτιστοποίησης
- Αρχές Σχεδίασης
- Διεπαφή Υπηρεσιών (Service interface)
- Gateway concepts



Θέματα Gateway

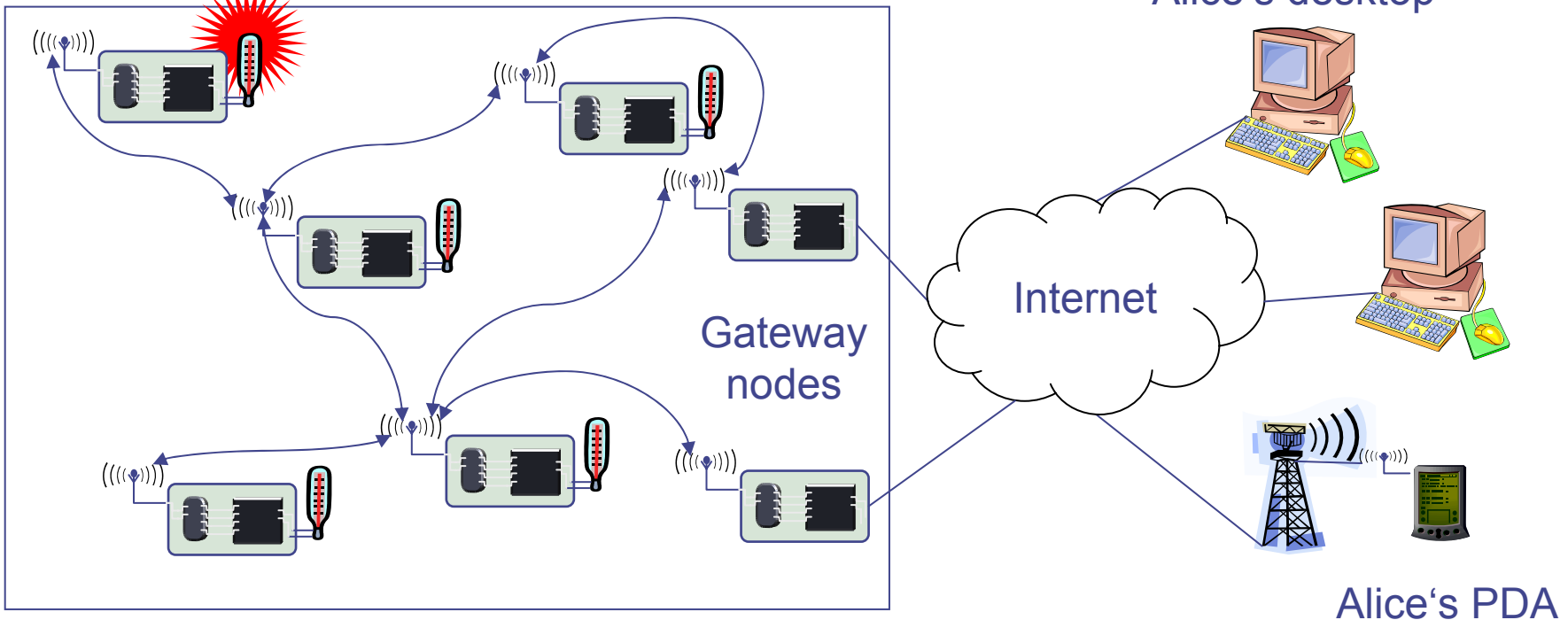
- Τα Gateways είναι απαραίτητα στο Internet για την πρόσβαση σε / από απομακρυσμένα WSN
 - WSN: Επιπλέον τα Gateways γεφυρώνουν τα διαφορετικά semantics (data vs. address-centric networking) ανάμεσα στα δίκτυα
- Στο Gateway απαιτείται η υποστήριξη διαφορετικών radios/πρωτοκόλλων, ...



ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ WSN - Internet

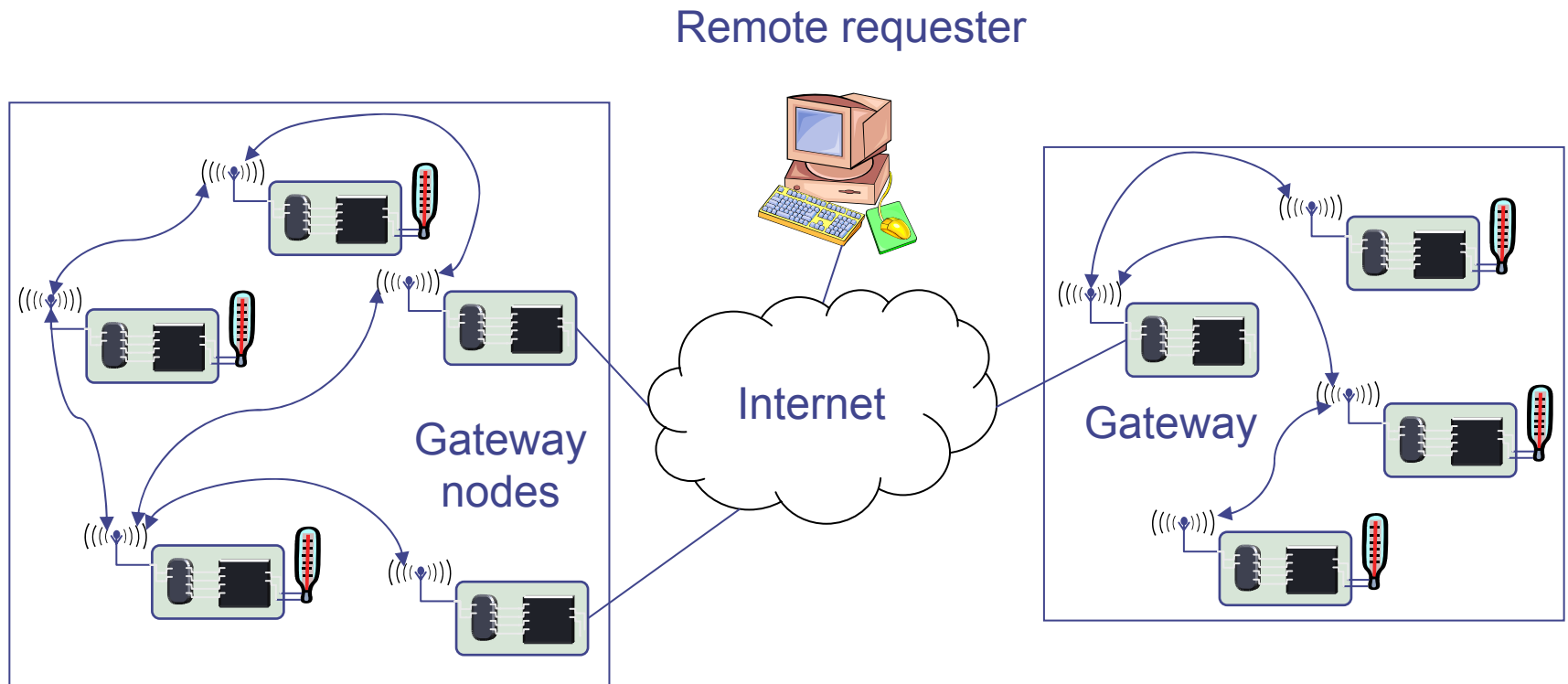
- Π.χ: Παράδοση ενός μηνύματος συναγερμού σε έναν Internet host
- Θέματα
 - Απαιτείται η εύρεση ενός (περιλαμβάνει routing & service discovery)
 - Επιλογή “Βέλτιστου” gateway εάν υπάρχουν περισσότερα διαθέσιμα
 - Πως βρίσκουμε την Alice ή την IP διεύθυνση της;

Alert Alice



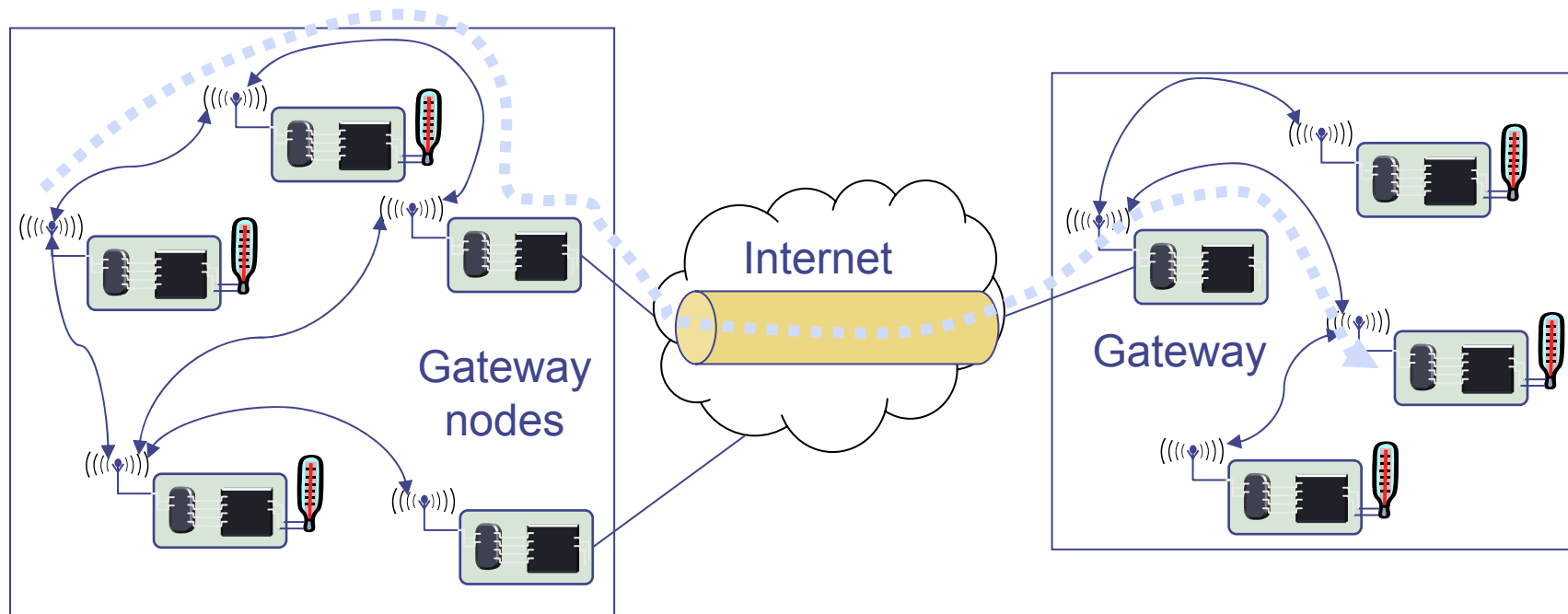
To Internet για την επικοινωνία των WSN

- Πως εντοπίζεται το κατάλληλο WSN για την απάντηση μιας ερώτησης;
- Πως θα γίνει η μετάβαση από IP σε WSNπρωτόκολλα;

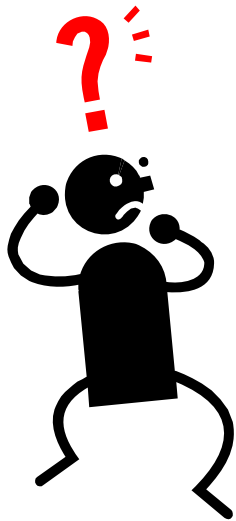


WSN tunneling

- Χρησιμοποίηση του για την καθοδήγηση (tunnel) των πακέτων ανάμεσα σε δύο απομακρυσμένα WSNs



Ερωτήσεις;



<http://eclass.uth.gr/MHX127/>

Email: kikirasp@inf.uth.gr

