

Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Πέππας Κωνσταντίνος

Εισαγωγή

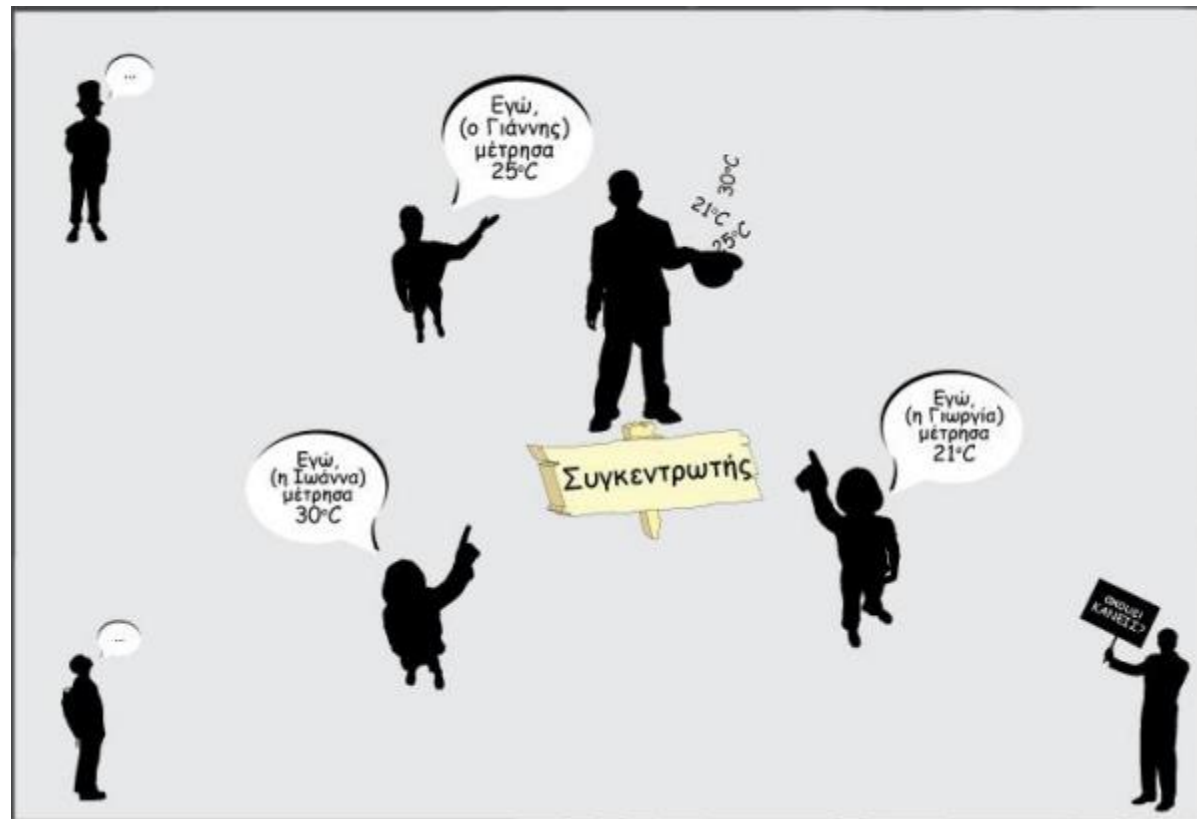
- Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να μετρήσουμε θερμοκρασία σε περιοχή αρκετών τετραγωνικών χιλιομέτρων
- Μετά από ώριμη σκέψη καταλήγουμε ότι η λύση στο πρόβλημα είναι η πρόσληψη εκατοντάδων ή χιλιάδων ανθρώπων εφοδιασμένων με θερμόμετρα και η τοποθέτησή τους στην περιοχή (τυχαία ή οργανωμένη)
- Όταν το πείραμα ξεκινήσει ο κάθε άνθρωπος πρέπει με κάποιο τρόπο να μεταφέρει τη μέτρησή του στον υπεύθυνο που θα καταγράφει τις μετρήσεις («ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗΣ»)
- Όσοι βρίσκονται κοντά στον «ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗ» φωνάζουν τα εξής: «Εγώ ο Κώστας μέτρησα 25 βαθμούς Κελσίου», «Εγώ η Γεωργία μέτρησα 21 βαθμούς Κελσίου»
- Οι υπόλοιποι που βρίσκονται μακριά από το συγκεντρωτή του φωνάζουν να καταγράψει τη μέτρηση για αυτό ή πρέπει να περπατήσουν για να τον βρουν ή να χρησιμοποιήσουν την ακόλουθη λύση:

Εισαγωγή

- Καθένας γράφει σε χαρτί το όνομά του και τη μέτρησή του, να το πετάει στους ανθρώπους που είναι δίπλα του και στη συνέχεια οι επόμενοι να κάνουν το ίδιο με το δικό τους χαρτί ώσπου κάποια στιγμή ο ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΗΣ να παραλάβει στο γραφείο του όλα τα χαρτάκια με τα ονόματα και τις μετρήσεις τις οποίες καταγράφει στον υπολογιστή του δημιουργώντας μία βάση δεδομένων με τη θερμοκρασία της περιοχής.
- Περίπτωση πρώτη: single hop δίκτυο: Όλοι οι κόμβοι βρίσκονται στην εμβέλεια του σταθμού βάσης και η επικοινωνία κόμβου και σταθμού βάσης γίνεται άμεσα
- Περίπτωση δεύτερη: multi hop δίκτυο: Κάποιοι κόμβοι βρίσκονται έξω από την εμβέλεια του σταθμού βάσης.
 - Για μεταφορά δεδομένων πρέπει να τα προωθήσουν στους αμέσως επόμενους κόμβους, αυτοί με τη σειρά τους στους επόμενους μέχρι τα δεδομένα να φτάσουν στον προορισμό

Εισαγωγή

- Η λύση αυτή μας εγγυάται ότι το δίκτυο είναι αρκετά σταθερό ώστε αν κάποια στιγμή ένας δυσαρεστημένος άνθρωπος αποφασίσει να παραιτηθεί ή εγκαταλείψει τη θέση του το δίκτυο θα συνεχίσει να λειτουργεί και να μεταφέρει μηνύματα αφού οι υπόλοιποι θα καλύψουν την απουσία του.



Εισαγωγή

- Υλοποίηση με χρήση ασύρματων αισθητήρων στη θέση των ανθρώπων και των αισθητηρίων οργάνων τους (θερμόμετρα) και ενός σταθμού βάσης (base station) στη θέση του συγκεντρωτή.
- Κάθε κόμβος είναι ενεργειακά αυτόνομος και έχει τη δυνατότητα να παίρνει μετρήσεις από τον αισθητήρα του, να τις επεξεργάζεται και να μεταδίδει ή να παραλαμβάνει πακέτα με μετρήσεις ή εντολές που προέρχονται από τη βάση.
- **Ορισμός: Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από ενεργειακά αυτόνομους κόμβους οι οποίοι «αισθάνονται», παρατηρούν φυσικά μεγέθη (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, κίνηση, εικόνα, ήχο) και μεταδίδουν την επεξεργασμένη ή μη μέτρησή τους με τελική κατεύθυνση ένα σταθμό βάσης. Η επικοινωνία των κόμβων είναι αμφίδρομη, δηλαδή όπως μεταδίδουν πληροφορίες στο σταθμό βάσης μπορούν να δεχτούν πληροφορίες και από αυτόν.**

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- **Χαμηλή κατανάλωση:**
- Οι κόμβοι του δικτύου τροφοδοτούνται με μπαταρίες οι οποίες μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα αδειάσουν οπότε το δίκτυο θα είναι άχρηστο
- Όσο πιο χαμηλή κατανάλωση, τόσο μεγαλύτερο το χρονικό αυτό διάστημα και τόσο μειώνεται το κόστος συντήρησης
- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μια τέτοια υλοποίηση εξαρτάται από τοποθεσία. Παράδειγμα: Δίκτυα τοποθετημένα σε μεγάλο βάθος στον ωκεανό για μελέτη της υποθαλάσσιας ζωής ή δίκτυα τοποθετημένα στο ανθρώπινο σώμα (body sensor networks) υπόκεινται σε περιορισμούς και δεν είναι δυνατό να εξαρτώνται από ηλιακές κυψέλες

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- **Αυτόνομη και προγραμματιζόμενη λειτουργία:**
- Κάθε κόμβος πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ξέρει τί κάνει (λήψη μετρήσεων), πότε να το κάνει (συχνότητα δειγματοληψίας), πού θα στείλει τη μέτρηση (πχ broadcasting, σε όλους τους κόμβους εντός εμβέλειας).
- Πρέπει να έχει τη δυνατότητα να προγραμματίζεται δυναμικά (πχ το base station να μπορεί να δώσει στο δίκτυο καινούργια δεδομένα λειτουργίας για τον κάθε κόμβο, επαναπρογραμματισμός του δικτύου)

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- **Χαμηλό κόστος:**
- Τη δεδομένη στιγμή το κόστος των κόμβων που κυκλοφορούν στην αγορά είναι απαγορευτικό για μεγάλης κλίμακας δίκτυα. Αν πχ θέλουμε να παρακολουθήσουμε το δάσος του Αμαζονίου που έχει έκταση 5.5 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα με ασύρματους αισθητήρες εμβέλειας 100 μέτρων θα χρειαστούμε εκατομμύρια κόμβους και εκατοντάδες εκατομμύρια ευρώ!
- **Γρήγορη δημιουργία δικτύου:**
- Τα περισσότερα δίκτυα έχουν την ικανότητα μέσα σε μερικά λεπτά να έχουν χαρτογραφήσει το δίκτυο και να ξεκινήσουν την προγραμματιζόμενη λειτουργία τους. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου και από το hardware/software των κόμβων

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- **Προσαρμοστικότητα:**
- Βασικό χαρακτηριστικό τέτοιων δικτύων είναι η ικανότητά τους να προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα του δικτύου. Η απώλεια κάποιων κόμβων δεν καταστρέφει το δίκτυο ολόκληρο γιατί το δίκτυο προσαρμόζεται και διατηρεί νέα μονοπάτια μεταξύ των κόμβων
- **Απλότητα**
- Οι περιορισμένοι υπολογιστικοί και ενεργειακοί πόροι του κάθε κόμβου απαιτούν το σχεδιασμό απλών και αποδοτικών αλγορίθμων για τη διεκπεραίωση των διεργασιών που εκτελεί το δίκτυο
- **Απόδοση**
- Θυσιάζοντας την ταχύτητα αποστολής δεδομένων οι κόμβοι μειώνουν τις επανεκπομπές πακέτων λόγω σφαλμάτων αυξάνοντας την αξιοπιστία στη μετάδοση κάθε πακέτου

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- **Sensing:** Τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για συγκέντρωση πληροφορίας για ένα φυσικό αντικείμενο ή για μία διεργασία, συμπεριλαμβανομένης της καταγραφής γεγονότων (πχ αλλαγές πίεσης ή θερμοκρασίας).
- Αισθητήρας (**sensor**): Αντικείμενο το οποίο πραγματοποιεί τις παραπάνω διαδικασίες. Το ανθρώπινο σώμα περιέχει αισθητήρες οι οποίοι συγκεντρώνουν οπτική πληροφορία από το περιβάλλον (μάτια) ακουστική πληροφορία (αυτιά) και οσμές (μύτη).
- Παραδείγματα απομακρυσμένων αισθητήρων (**remote sensors**) οι οποίοι δεν απαιτούν άμεση επαφή (άγγιγμα) με το αντικείμενο προκειμένου να συγκεντρωθεί η πληροφορία.
- Τεχνικά ένας αισθητήρας είναι μία διάταξη η οποία μετατρέπει παραμέτρους ή γεγονότα από τον φυσικό κόσμο σε σήματα τα οποία μπορούν να μετρηθούν και να αναλυθούν.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- **Transducer:** Διάταξη η οποία μετατρέπει ενέργεια από μια μορφή σε μία άλλη. Ο αισθητήρας αποτελεί τέτοια διάταξη μετατροπής η οποία μετατρέπει ενέργεια από το φυσικό κόσμο σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία μεταφέρεται σε ένα υπολογιστικό σύστημα

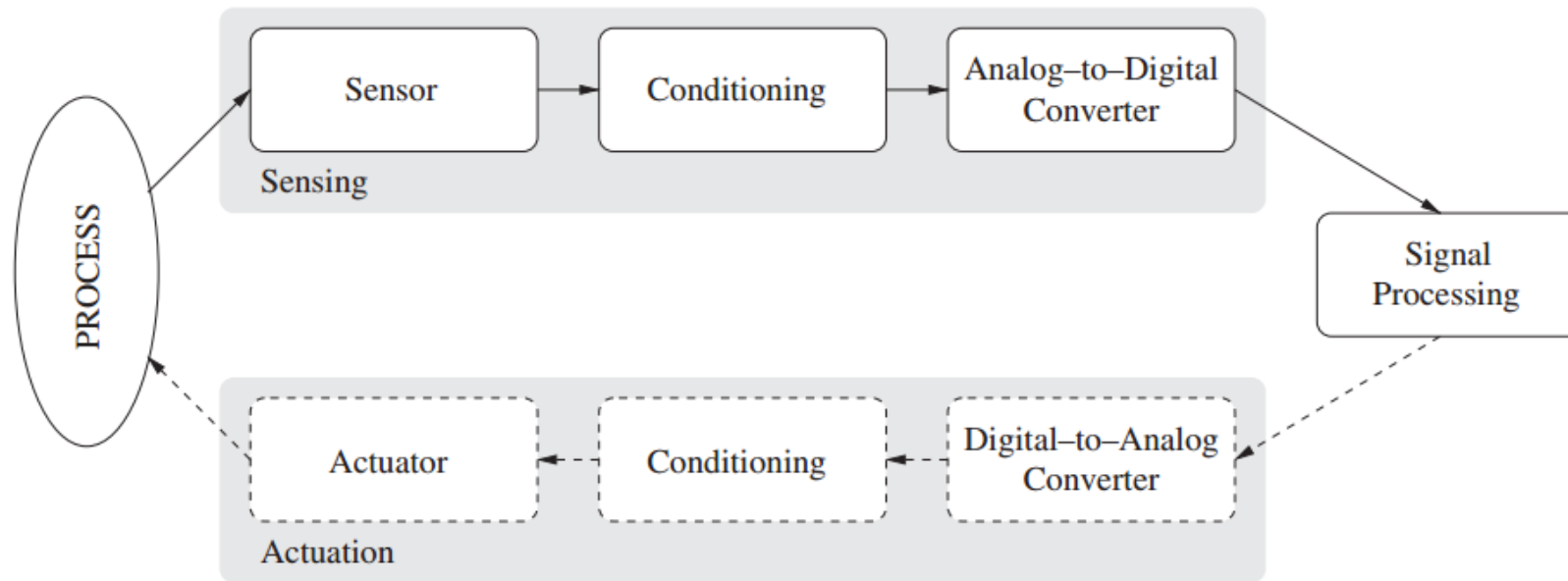


Figure 1.1 Data acquisition and actuation.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Στο σχήμα 1.1. φαίνονται τα βήματα τα οποία πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία sensing (*data acquisition*)
- Φαινόμενα στο φυσικό κόσμο (*process, system, ή plant*) παρατηρούνται από διάταξη αισθητήρα
- Τα παραγόμενα ηλεκτρικά σήματα δεν είναι κατάλληλα για άμεση επεξεργασία, για αυτό το λόγο περνούν από το μπλόκ *signal conditioning*
- Εκεί πραγματοποιούνται πολλές λειτουργίες μέχρις ότου το σήμα προετοιμαστεί για περαιτέρω χρήση
- Πχ απαιτείται ενίσχυση ή εξασθένιση του σήματος για να μπορέσει να υπάρξει συμβιβασμός με τον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό
- Απαιτείται φιλτράρισμα για να απομακρυνθεί ανεπιθύμητος θόρυβος σε καθορισμένες περιοχές συχνοτήτων (πχ., υπεραυτά φίλτρα χρησιμοποιούνται για απομάκρυνση θορύβου στις συχνότητες 50 ή 60 Hz από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας)
- Τελευταίο στάδιο η μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα. Το παραγόμενο σήμα είναι έτοιμο για επιπρόσθετη επεξεργασία, αποθήκευση, οπτική αναπαράσταση

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Πολλά WSNs συμπεριλαμβάνουν ενεργοποιητές (*actuators*) οι οποίοι επιτρέπουν άμεσο έλεγχο του φυσικού κόσμου.
- Πχ ένας actuator μπορεί να είναι μία βαλβίδα ελέγχου της ροής ζεστού νερού, ένα μοτέρ το οποίο ανοίγει ή κλείνει μία πόρτα ή ένα παράθυρο, μία αντλία η οποία ελέγχει την ποσότητα του καυσίμου που εισάγεται σε μία μηχανή.
- Μία τέτοια διάταξη είναι γνωστή ως *wireless sensor and actuator network* (WSAN), παίρνει εντολές από τη συσκευή επεξεργασίας (controller) και μετατρέπει αυτές τις εντολές σε σήματα εισόδου για τον actuator.
- Ο actuator αλληλεπιδρά με μία φυσική διεργασία οπότε σχηματίζεται ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου (το οποίο φαίνεται στο σχήμα 1.1).

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Ποιοι αισθητήρες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για μία εφαρμογή εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του μεγέθους που παρακολουθείται, πχ θερμοκρασία, πίεση, φώς, υγρασία.
- Ο πίνακας 1.1 συνοψίζει ορισμένες κοινές φυσικές ιδιότητες καθώς και τις αντίστοιχες βασικές τεχνολογίες.
- Εκτός από τις φυσικές ιδιότητες, η κατηγοριοποίηση των αισθητήρων βασίζεται και σε άλλες μεθόδους, πχ από το αν απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για ενεργούς αισθητήρες (*active sensors*). Πρέπει να εκπέμπουν κάποιο είδος ενέργειας (πχ., μικροκύματα, φώς, ήχος) προκειμένου να διεγείρουν μία απόκριση ή να ανιχνεύσουν μία αλλαγή στο σήμα που μεταδίδεται.
- Παθητικοί αισθητήρες, (*passive sensors*) ανιχνεύουν ενέργεια στο περιβάλλον και παράγουν την ενέργεια που χρειάζονται από την ενέργεια αυτή. Πχ οι παθητικοί αισθητήρες υπέρυθρων (*passive infrared (PIR) sensors*) μετρούν υπέρυθρο φώς το οποίο εκπέμπεται από αντικείμενα σε κοντινή επαφή με αυτούς.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Table 1.1 Classification and examples of sensors

Type	Examples
Temperature	Thermistors, thermocouples
Pressure	Pressure gauges, barometers, ionization gauges
Optical	Photodiodes, phototransistors, infrared sensors, CCD sensors
Acoustic	Piezoelectric resonators, microphones
Mechanical	Strain gauges, tactile sensors, capacitive diaphragms, piezoresistive cells
Motion, vibration	Accelerometers, gyroscopes, photo sensors
Flow	Anemometers, mass air flow sensors
Position	GPS, ultrasound-based sensors, infrared-based sensors, inclinometers
Electromagnetic	Hall-effect sensors, magnetometers
Chemical	pH sensors, electrochemical sensors, infrared gas sensors
Humidity	Capacitive and resistive sensors, hygrometers, MEMS-based humidity sensors
Radiation	Ionization detectors, Geiger–Mueller counters

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

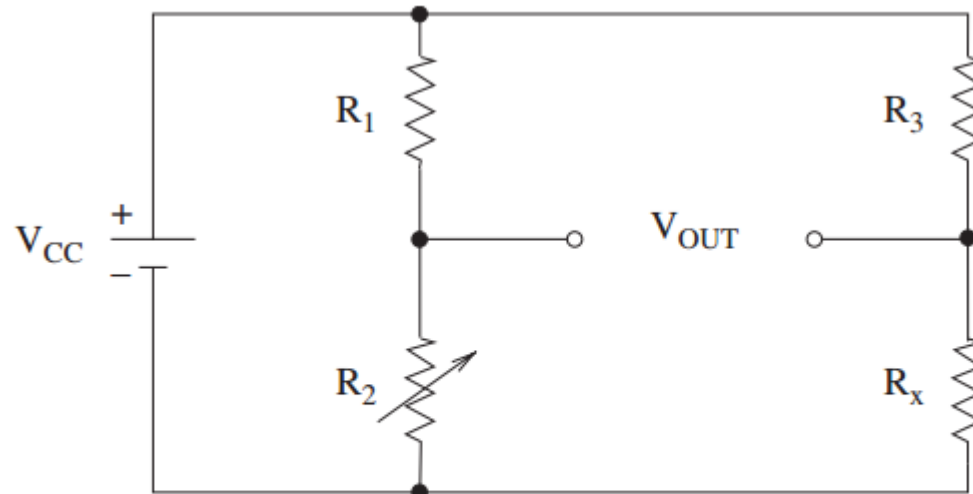
- Η κατηγοριοποίηση των αισθητήρων βασίζεται στις μεθόδους που χρησιμοποιούν και στα ηλεκτρικά φαινόμενα στα οποία βασίζονται για να μετατρέψουν φυσικές ιδιότητες σε ηλεκτρικά σήματα.
- Οι Ωμικοί (*Resistive*) αισθητήρες βασίζονται σε αλλαγές της ειδικής αντίστασης ενός αγωγού, ρ , σε φυσικές μεταβολές όπως η θερμοκρασία.
- Η αντίσταση R ενός αγωγού δίνεται από τη σχέση

$$R = \frac{l \times \rho}{A}$$

όπου l το μήκος του και A το εμβαδό της διατομής του

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Το κλασικό κύκλωμα της γέφυρας Wheatstone μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή μιας φυσικής ιδιότητας σε ένα παρατηρήσιμο ηλεκτρικό φαινόμενο.
- R_1, R_2, R_3 , γνωστές αντιστάσεις και R_x άγνωστη αντίσταση
Σε κατάσταση ισορροπίας $V_{OUT} = 0$, $R_x * R_1 = R_2 * R_3$
- Αν η R_x αλλάξει, πχ λόγω θερμοκρασίας, η V_{OUT} δεν είναι πλέον 0.



$$V_{OUT} = V_{CC} \times \left(\frac{R_x}{R_3 + R_x} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Figure 1.2 Wheatstone bridge circuit.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Αντίστοιχη αρχή μπορεί να εφαρμοστεί στους χωρητικούς αισθητήρες (*capacitive*) οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση κίνηση, εγγύτητα, επιτάχυνση, πίεση, ηλεκτρικά πεδία, χημική σύνθεση και βάθος υγρού.
- Στο μοντέλο ενός πυκνωτή παράλληλων πλακών οι οποίες χωρίζονται από διηλεκτρικό επιτρεπτότητας ϵ , η χωρητικότητα δίνεται από τη σχέση

$$C = \frac{\epsilon \times A}{d}$$

όπου A το της πλάκας και d η απόσταση μεταξύ των πλακών

- Αλλαγή σε οποιαδήποτε παράμετρο αυτής της σχέσης αλλάζει και τη χωρητικότητα. Πχ λόγω πίεσης η απόσταση d μπορεί να μειωθεί οπότε αυξάνει η χωρητικότητα. Αλλαγή στην θερμοκρασία ή στην υγρασία αλλάζει την επιτρεπτότητα ϵ με συνακόλουθη αλλαγή στη χωρητικότητα.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Οι επαγωγικοί (*Inductive*) αισθητήρες βασίζονται στις ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο)
- Η αυτεπαγωγή καθορίζεται από τις διαστάσεις του αισθητήρα (εμβαδό διατομής, μήκος του πηνίου), τον αριθμό των σπειρών του πηνίου και τη διαπερατότητα του πυρήνα.
- Αλλαγές σε οποιαδήποτε τέτοια παράμετρο (πχ λόγω της μετακίνησης του πυρήνα μέσα στο πηνίο) αλλάζουν την αυτεπαγωγή.
- Οι επαγωγικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση εγγύτητας, θέσης, δύναμης, πίεσης, θερμοκρασίας και επιτάχυνσης.
- Τέλος, οι πιεζοηλεκτρικοί (*piezoelectric*) αισθητήρες χρησιμοποιούν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο που παρουσιάζεται σε κάποια υλικά (π.χ κρύσταλλοι και κεραμικά υλικά) για μέτρηση πίεσης, δύναμης, καταπόνησης και επιτάχυνσης.
- Όταν εφαρμόζεται πίεση σε ένα τέτοιο υλικό, προκαλείται μηχανική παραμόρφωση και ανακατανομή των ηλεκτρικών φορτίων, ανάλογα με την πίεση. Το πλεονέκτημα των πιεζοηλεκτρικών συσκευών είναι ότι το παρουσιάζουν αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία και σε ακτινοβολίες.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Ενώ πολλοί αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν άμεσα σε ελεγκτές και σταθμούς επεξεργασίας, πχ χρησιμοποιώντας ασύρματα τοπικά δίκτυα, ένας αυξανόμενος αριθμός από αισθητήρες τροφοδοτεί τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί από τους αισθητήρες με ασύρματο τρόπο σε έναν κεντρικό σταθμό επεξεργασίας
- Αυτό είναι σημαντικό αφού πολλές δικτυακές εφαρμογές απαιτούν εκατοντάδες ή χιλιάδες κόμβους αισθητήρων, οι οποίοι μπορεί έχουν εγκατασταθεί σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές.
- Έτσι, ένας ασύρματος αισθητήρας, δεν έχει μόνο τον απαιτούμενο εξοπλισμό για sensing, αλλά και δυνατότητες για επεξεργασία on-board, επικοινωνία και δυνατότητες αποθήκευσης.
- Με τις δυνατότητες αυτές ένας κόμβος δεν έχει μόνο δυνατότητες για συλλογή δεδομένων αλλά και δυνατότητες για ανάλυση μέσα στο δίκτυο (in-network) συσχετισμό και σύντηξη (fusion) των δεδομένων του με τα δεδομένα άλλων κόμβων του δικτύου.
- Σε ένα WSN οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους και με το σταθμό βάσης πράγμα που τους επιτρέπει να διακοινούν τα δεδομένα για απομακρυσμένη επεξεργασία, οπτικοποίηση, ανάλυση και αποθήκευση.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

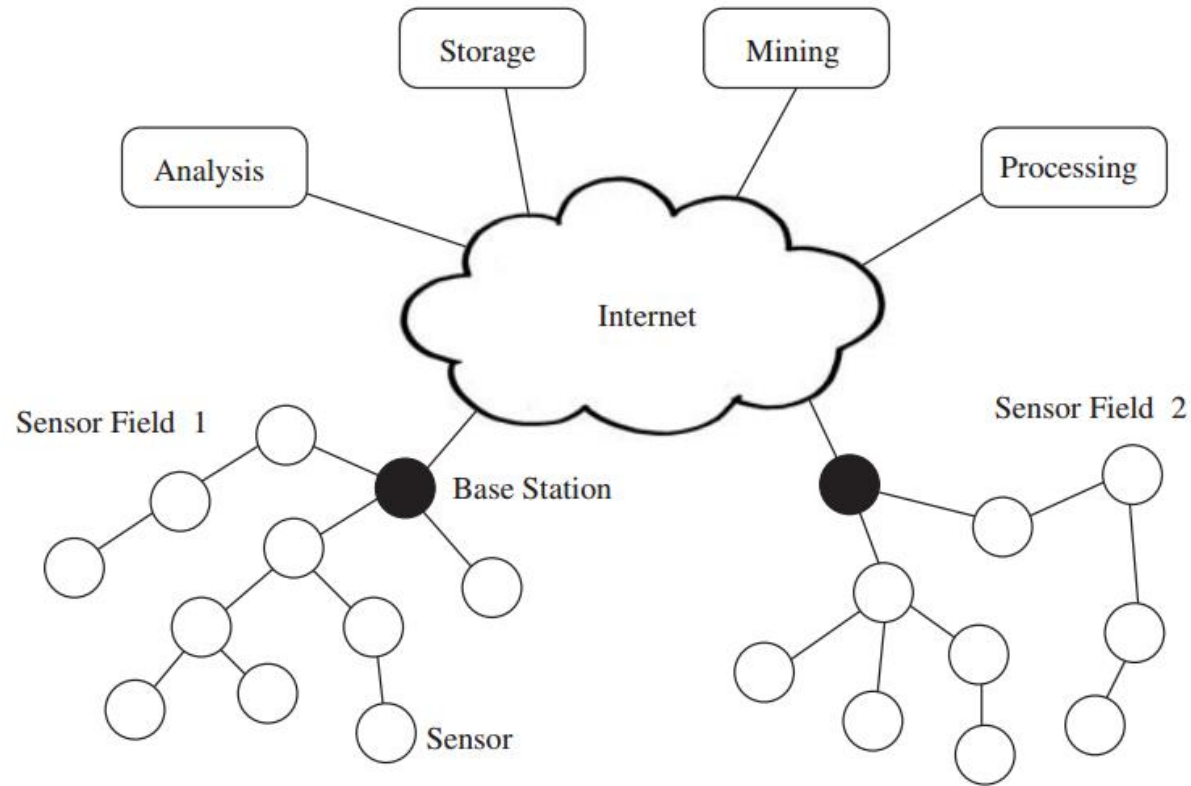


Figure 1.3 Wireless sensor networks.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Οι δυνατότητες των κόμβων σε ένα WSN ποικίλουν. Πχ ένας κόμβος μπορεί να παρακολουθεί ένα απλό φυσικό φαινόμενο ενώ πιο πολύπλοκες συσκευές μπορεί να συνδυάζουν διαφορετικές τεχνικές (οπτικές, ακουστικές, μαγνητικές).
- Μπορούν να διαφέρουν ως προς τις δυνατότητες για επικοινωνία μεταξύ τους, να χρησιμοποιούν πχ υπερήχους, υπέρυθρες ή RF με μεταβαλλόμενους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καθυστερήσεις.
- Απλοί αισθητήρες μπορούν να συλλέγουν πληροφορία για το περιβάλλον ενώ πιο πολύπλοκες συσκευές να πραγματοποιούν πολύπλοκους αλγορίθμους επεξεργασίας δεδομένων
- Τέτοιες συσκευές μπορούν να έχουν διαφορετικά καθήκοντα σε ένα WSN, πχ να σχηματίζουν backbones που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλες συσκευές με περιορισμούς ως προς τους πόρους για να επικοινωνήσουν με το σταθμό βάσης.
- Τέλος, κάποιες συσκευές μπορεί να έχουν πρόσβαση σε τεχνολογίες υποστήριξης, πχ σε GPS οι οποίες τους επιτρέπουν να καθορίσουν επακριβώς τη θέση τους. Ωστόσο τέτοια συστήματα μπορούν να καταναλώνουν υπερβολική ενέργεια ώστε να πληρούν της προδιαγραφής χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Η γνωστή οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.11 αναπτύχθηκε το 1997 και από τότε είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία δικτύων για συστήματα κινητών επικοινωνιών
- Χρησιμοποιεί διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων, πχ η μπάντα των 2.4-χρησιμοποιείται από το IEEE 802.11b και το IEEE 802.11g, ενώ η οικογένεια IEEE 802.11a χρησιμοποιεί την μπάντα των 5-GHz.
- Το IEEE 802.11 χρησιμοποιήθηκε συχνά στα πρώτα WSNs και εξακολουθεί να παραμένει σε σημερινά δίκτυα στα οποία οι απαιτήσεις για εύρος ζώνης είναι υψηλές, πχ multimedia sensors.
- Οι υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ των δικτύων IEEE 802.11 έχουν καταστήσει το πρότυπο αυτό ακατάλληλο για WSNs χαμηλής ισχύος
- Τυπικές απαιτήσεις για ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε δίκτυα αισθητήρων είναι συγκρίσιμα με τα bandwidths που παρέχονται από dial-up modems, οπότε οι ρυθμοί μετάδοσης που παρέχονται από το 802.11 είναι τυπικά πολύ υψηλότεροι
- Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη μιας ποικιλίας πρωτοκόλλων τα οποία ικανοποιούν την ανάγκη για χαμηλή ισχύ και χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων
- Παράδειγμα: Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 έχει σχεδιαστεί ειδικά για επικοινωνίες χαμηλών αποστάσεων σε δίκτυα χαμηλής ισχύος και υποστηρίζεται από τους περισσότερους ακαδημαϊκούς και εμπορικούς αισθητήρες

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

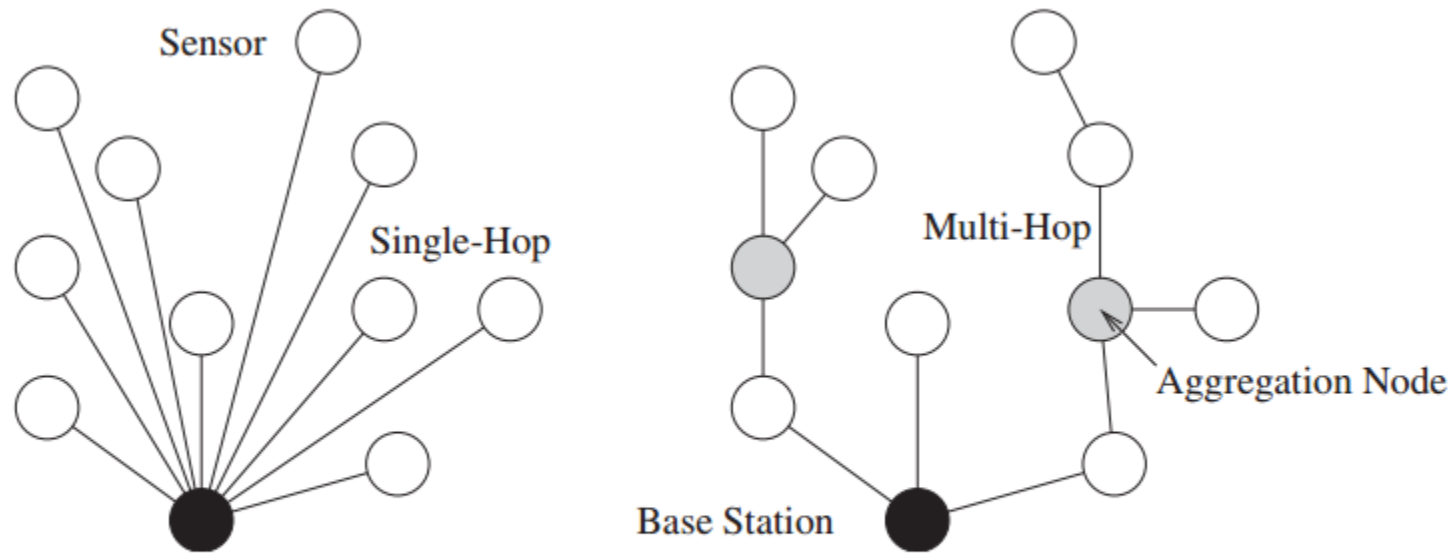


Figure 1.4 Single-hop versus multi-hop communication in sensor networks.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Όταν η εμβέλεια των αισθητήρων είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μεταδίδουν τα δεδομένα τους απευθείας στο BS τότε οι αισθητήρες μπορούν να σχηματίσουν μία τοπολογία αστέρα
- Κάθε κόμβος επικοινωνεί απευθείας με το BS χρησιμοποιώντας ένα βήμα (single hop).
- Τα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις και η κατανάλωση ισχύος πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.
- *multi-hop communication*: Είναι η πιο συχνή τοπολογία για WSNs
- Σε αυτή την τοπολογία βρόχου (*mesh topology*), οι κόμβοι του δικτύου όχι μόνο μετρούν και μεταφέρουν τα δικά τους δεδομένα αλλά λειτουργούν σαν αναμεταδότες (*relays*) για άλλους κόμβους.
- Πρέπει να συνεργαστούν οι κόμβοι για τη μεταφορά των δεδομένων στο BS.
- Αυτό το πρόβλημα δρομολόγησης (*routing problem*), ήτοι η διαδικασία να βρεθεί μία διαδρομή από ένα κόμβο στο BS αποτελεί πρόκληση.
- Όταν ένας κόμβος λειτουργεί σαν relay έχει την ευκαιρία να αναλύσει και να προ-επεξεργαστεί δεδομένα στο δίκτυο πράγμα το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην εξάλειψη πληροφορίας ή συγχώνευσης δεδομένων τα οποία έχουν μέγεθος μικρότερο από τα αρχικά δεδομένα.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Τα WSNs έχουν πολλές ομοιότητες με τα κατανεμημένα συστήματα όμως παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες, περιορισμούς και προκλήσεις ως προς την υλοποίησή τους.
- Αυτές οι ιδιαιτερότητες οδηγούν σε πρωτόκολλα και αλγορίθμους που διαφέρουν ριζικά από τους αντίστοιχους σε άλλα κατανεμημένα συστήματα
- **Ενέργεια:** Ο περιορισμός ο οποίος είναι στενά συνδεδεμένος με τα WSNs. Οι αισθητήρες τροφοδοτούνται τυπικά μέσω μπαταριών οι οποίες πρέπει να αντικατασταθούν ή να επαναφορτιστούν όταν εξαντληθούν
- Για κάποιους κόμβους καμία από τις παραπάνω επιλογές δεν είναι δυνατή οπότε κάθε φορά που η πηγή ενέργειας εξαντλείται οι κόμβοι πετάγονται.
- Το αν η μπαταρία μπορεί να επαναφορτιστεί ή όχι επηρεάζει τη στρατηγική που αφορά στην κατανάλωση ισχύος. Για μή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ένας κόμβος πρέπει να μπορεί να λειτουργεί μέχρι ο χρόνος αποστολής του (*mission time*) να εξαντληθεί ή η μπαταρία να αντικατασταθεί.
- Το μήκος του χρόνου αποστολής εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής. Πχ για μέτρηση μετακίνησης του πολιικού πάγου μπορεί να απαιτούνται κόμβοι που να λειτουργούν για χρόνια ενώ σε ένα πεδίο μάχης μπορεί να περιορίζεται σε ώρες ή μέρες.
- Συνεπώς, η πρώτη και πιο σημαντική σχεδιαστική προδιαγραφή είναι η αποδοτικότητα ως προς την ενέργεια. Η προδιαγραφή επηρεάζει κάθε πτυχή του κόμβου και του σχεδιασμού του δικτύου. Οι επιλογές που γίνονται στο φυσικό επίπεδο του κόμβου επηρεάζουν την κατανάλωση ισχύος όλης της συσκευής και τη σχεδίαση των πρωτοκόλλων υψηλότερων επιπέδων

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Το επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου (MAC) είναι υπεύθυνο για να παρέχει στους κόμβους πρόσβαση στο ασύρματο κανάλι
- Ορισμένες τεχνικές MAC για δίκτυα επικοινωνιών είναι *contention-based*, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι οι κόμβοι μπορεί να προσπελάσουν το μέσο σε κάθε χρονική στιγμή.
- Αυτό οδηγεί πιθανόν σε συγκρούσεις ανάμεσα σε πολλαπλούς κόμβους οι οποίοι πρέπει να διευθετούνται από το MAC ώστε η μετάδοση των δεδομένων να επιτύχει.
- Μειονεκτήματα αυτών των προσεγγίσεων είναι η κατανάλωση ισχύος και καθυστερησεις οι οποίες εισάγονται από τις συγκρούσεις και τους μηχανισμούς ανάκτησης.
- Οι κόμβοι του δικτύου πρέπει να ακούν το κανάλι κάθε στιγμή ώστε να εγγυώνται την επιτυχή μετάδοση των δεδομένων.
- Κάποια πρωτόκολλα MAC για WSN είναι *contention-free*, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η πρόσβαση στο μέσο καθορίζεται αυστηρά από κανονισμούς, εξαλείφοντας τις συγκρούσεις και επιτρέποντας στους κόμβους να απενεργοποιήσουν το ασύρματο κομμάτι τους όταν δεν υπάρχει επικοινωνία.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την εύρεση διαδρομών από έναν κόμβο στο BS και τα χαρακτηριστικά της διαδρομής
 - Μήκος (e.g., σε σχέση με τον αριθμό των hops), απαιτούμενη ισχύς μετάδοσης, διαθέσιμη ενέργεια στους κόμβους των αναμεταδοτών.
 - Οι παράμετροι αυτοί καθορίζουν την κατανάλωση ισχύος του δικτύου.
- Εκτός από τα πρωτόκολλα, οι ενεργειακοί περιορισμοί επηρεάζουν το σχεδιασμό του λειτουργικού συστήματος (e.g., μικρό ίχνος μνήμης, αποελεσματική εναλλαγή μεταξύ των διεργασιών), middleware, μηχανισμούς ασφάλειας και ακόμα και τις ίδιες τις εφαρμογές.
- Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται συχνά *in-network processing* για την εξάλειψη redundant sensor data ή για τη συγχώνευση πολλαπλών αναγνώσεων δεδομένων από τον αισθητήρα readings.
- tradeoff ανάμεσα σε επεξεργασία (processing the sensor data) και επικοινωνία (transmitting the original versus the processed data), κάτι το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για εξοικονόμηση ενέργειας.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Αυτοδιαχείριση: Είναι στη φύση των εφαρμογών WSNs να λειτουργούν σε απομακρυσμένες περιοχές και σε εχθρικά περιβάλλοντα χωρίς υποστήριξη ή δυνατότητα για επισκευή και συντήρηση.
- Για αυτό το λόγο οι κόμβοι πρέπει να είναι αυτοδιαχειριζόμενοι (*self-managing*) ως προς το ότι να γίνονται configure, να λειτουργούν και να συνεργάζονται με άλλους κόμβους, να προσαρμόζονται στις αποτυχίες, στις αλλαγές του περιβάλλοντος χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.
- Πολλές εφαρμογές δεν απαιτούν προκαθορισμένες τοποθεσίες για συγκεκριμένους κόμβους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για δίκτυα που εγκαθίστανται σε απομακρυσμένες ή απροσπέλαστες περιοχές.
- Πχ sensors που παρακολουθούν το πεδίο της μάχης ή περιοχές καταστροφής μπορούν να ριχτούν από αεροπλάνο στις περιοχές ενδιαφέροντος αλλά πολλοί κόμβοι μπορούν να μην επιζήσουν της πτώσης και να μη λειτουργήσουν ποτέ.
- Οι κόμβοι που θα επιζήσουν πρέπει αυτόνομα να πραγματοποιήσουν setup, configuration, εγκατάσταση επικοινωνίας με γειτονικούς κόμβους, καθορισμός θέσεων και πραγματοποίηση λειτουργιών.
- Ο τρόπος λειτουργίας των κόμβων μπορεί να διαφοροποιηθεί βασιζόμενος σε τέτοια πληροφορία, πχ η θέση του κόμβου και ο αριθμός ή η ταυτότητα των γειτόνων του καθορίζουν το ποσό και τον τύπο της πληροφορίας που θα παραχθεί και θα διαμοιραστεί στο δίκτυο

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Πολλά δίκτυα αισθητήρων πρέπει να λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, δηλ. configuration, προσαρμογή, συντήρηση, και επιδιόρθωση πρέπει να λειτουργούν αυτόματα
- Πχ οι κόμβοι είναι εκτεθειμένοι σε δυναμικές αλλαγές του συστήματος και του περιβάλλοντος πράγμα το οποίο εγείρει ζήτημα αξιόπιστης κατασκευής του δικτύου.
- Μία αυτοδιαχειριζόμενη (*self-managing*) συσκευή θα παρακολουθεί το περιβάλλον, θα προσαρμόζεται σε αλλαγές του περιβάλλοντος και θα συνεργάζεται με γειτονικές συσκευές για το σχηματισμό τοπολογιών δικτύου ή θα συμφωνεί σχετικά με τις στρατηγικές αίσθησης, επεξεργασίας και επικοινωνίας
- Η αυτοδιαχείριση μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορες μορφές.
- Ο όρος αυτοοργάνωση (Self-organization) χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει την ικανότητα του δικτύου να προσαρμόζει παραμέτρους βασισμένους στην κατάσταση του συστήματος και του περιβάλλοντος
- Ένας αισθητήρας μπορεί να μεταβάλλει την ισχύ μετάδοσης ώστε να επιτυγχάνει connectivity, πχ να επικοινωνεί με περισσότερους γείτονες.
- Ο όρος αυτοβελτιστοποίηση (Self-optimization) αναφέρεται στη δυνατότητα της συσκευής να παρακολουθεί και να βελτιστοποιεί τη χρήση των πόρων της
- Η αυτοπροστασία (Self-protection) αφορά προστασία από παρεμβολές και επιθέσεις
- Αυτοθεραπεία (self-heal) επιτρέπει στους κόμβους να ανακαλύπτουν, ταυτοποιούν και να αντιδρούν σε βλάβες του δικτύου. Όλες αυτές οι προδιαγραφές πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τον περιορισμό χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Το περιβάλλον των ασύρματων επικοινωνιών εισάγει νέες προκλήσεις:
- Η εξασθένιση, (*attenuation*) περιορίζει την απόσταση. Η ισχύς ενός σήματος περιορίζεται κατά τη διάδοσή του στο μέσο και σε διαφορα εμπόδια.
- Ισχύει ο νόμος αντιστρόφου τετραγώνου: $P_r \propto P_t / d^2$
- Η ισχύς λήψης P_r είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης d από τον πομπό.
- Είναι αποδοτικό να σπάσουμε μία μεγάλη απόσταση σε επιμέρους μικρότερες αποστάσεις. Υποστήριξη *multi-hop* επικοινωνιών και δρομολόγησης.
- Οι επικοινωνίες πολλαπλών αλμάτων απαιτούν συνεργασία μεταξύ κόμβων δικτύων για να ταυτοποιησουν ενεργειακά αποδοτικές διαδρομές και για να λειτουργήσουν σαν αναμεταδότες.
- Μεγάλη πρόκληση για δίκτυα που χρησιμοποιούν *duty cycles* για διατήρηση ενέργειας. Πολλοί κόμβοι χρησιμοποιούν πολιτική κατανάλωσης ισχύος στην οποία οι κόμβοι απενεργοποιούν τις ασύρματες λειτουργίες τους όταν δεν χρησιμοποιούνται
- Κατά τη διάρκεια αυτή ο κόμβος δεν λαμβάνει μηνύματα ούτε λειτουργεί σαν αναμεταδότης. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται στρατηγικές *wakeup on demand* ώστε οι κόμβοι να χρησιμοποιούνται οποτεδήποτε χρειαστεί.
- Εμπλέκει συσκευές με δύο ασύρματα τμήματα, ένα χαμηλής ισχύος το οποίο λαμβάνει κλήσεις αφύπνισης και ένα υψηλής ισχύος το οποίο ενεργοποιείται σε μία κλήση αφύπνισης. Άλλη στρατηγική είναι η *adaptive duty cycling* η οποία δεν επιτρέπει σε όλους τους κόμβους να κοιμούνται την ίδια στιγμή. Ένα υποσύνολο των κόμβων είναι ενεργό για να σχηματίσει ένα network backbone.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Η μεγάλη κλίμακα και οι ενεργειακοί περιορισμοί πολλών WSNs έχει σαν αποτέλεσμα *centralized* αλγόριθμοι (e.g., αυτοί που εκτελούνται σε σταθμούς βάσης) να είναι ακατάλληλοι για υλοποίηση δρομολόγησης και διαχείρισης τοπολογίας
- Οι κόμβοι πρέπει να συνεργάζονται με τους γειτονικούς τους για να λαμβάνουν τοπικές αποφάσεις, δηλαδή χωρίς πληρη γνώση του συστήματος.
- Τα αποτελέσματα αυτών των αποκεντρωμένων (*decentralized*) αλγορίθμων δεν θα είναι βέλτιστα αλλά θα είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά από τις αντίστοιχες *centralized* τεχνικές.
- Παράδειγμα η δρομολόγηση. Ένας σταθμός βάσης μπορεί να συλλέξει πληροφορία από όλους τους κόμβους, να καθορίσει βέλτιστες διαδρομές (ως προς την ενεργειακή κατανάλωση) και να ενημερώσει κάθε κόμβο για τη διαδρομή.
- Πρόβλημα: overhead! Μπορεί να είναι σημαντικό ιδιαίτερα αν αλλάζει η τοπολογία συχνά.
- Μπορεί να υιοθετηθεί μια *decentralized* λογική ώστε η απόφαση για τη δρομολόγηση να λαμβάνεται βάσει περιορισμένης τοπικής πληροφορίας (λίστα των γειτονικών κόμβων και των αποστάσεων από το base station). Αυτή η λογική μπορεί να μην είναι βέλτιστη όμως το overheads μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Ενώ οι δυνατότητες των παραδοσιακών υπολογιστικών συστημάτων αυξάνονται ταχύτατα, ο πρωταρχικός στόχος του σχεδιασμού αισθητήρων είναι η δημιουργία μικρότερων, απλούστερων και αποδοτικότερων διατάξεων.
- Οι τυπικοί κόμβοι έχουν ταχύτητες επεξεργασίας και δυνατότητες αποθήκευσης υπολογιστικών συστημάτων περασμένων δεκαετιών.
- Η ανάγκη για μικρού μεγέθους και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος απαγορεύει την ολοκλήρωση πολλών επιθυμητών τμημάτων όπως δέκτες GPS.
- Αυτοί οι περιορισμοί επηρεάζουν το σχεδιασμό του λογισμικού σε διάφορα επίπεδα. Πχ τα λειτουργικά συστήματα πρέπει να έχουν χαμηλό αποτύπωμα μνήμης και αποδοτική διαχείριση πόρων. Ωστόσο, η έλλειψη advanced hardware features (πχ., υποστήριξη παράλληλων διεργασιών) επιτρέπει το σχεδιασμό μικρών και αποδοτικών λειτουργικών συστημάτων
- Οι περιορισμοί στο υλικό επηρεάζουν πρωτόκολλα και αλγόριθμους που εκτελούνται σε ένα WSN. Πχ routing tables τα οποία περιέχουν στοιχεία για κάθε πιθανό προορισμό στο δίκτυο μπορεί να είναι πολύ μεγάλα για να χωρέσουν στη μνήμη του αισθητήρα. Μόνο ένα πολύ μικρό ποσό δεδομένων μπορεί να αποθηκευτεί (μία λίστα από γειτονικούς κόμβους)
- Παράλληλα με in-network processing, δεδομένοι αλγόριθμοι σύντηξης δεδομένων μπορεί να απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ και δυνατότητες αποθήκευσης. Έτσι αρχιτεκτονικές λογισμικού, middleware, πρωτόκολλα δικτύου πρέπει να σχεδιαστούν εκ του μηδενός για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των περιορισμένων πόρων.

Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων

- Πολλά WSNs συλλέγουν ευαίσθητη πληροφορία. Το γεγονός ότι δουλεύουν χωρίς ανθρώπινη παρακολούθηση τους καθιστά ευάλωτους σε επιθέσεις και παρεμβολές.
- Οι ασύρματες επικοινωνίες ευαίσθητες στο θέμα της ασφάλειας. Πχ μια από τις πιο δύσκολες απειλές είναι η επίθεση *denial-of-service* ο σκοπός της οποίας είναι η φθορά της σωστής λειτουργίας ενός WSN.
- Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ποικιλία επιθέσεων, πχ *jamming attack*, όπου σήματα υψηλής ισχύος χρησιμοποιούνται για να εμποδίσουν την επιτυχή επικοινωνία
- Οι συνέπειες μπορεί να είναι σοβαρές και εξαρτώνται από τον τύπο της εφαρμογής
- Υπάρχουν πολλές τεχνικές και λύσεις οι οποίες εμποδίζουν τέτοιες επιθέσεις ή περιορίζουν σημαντικά τις συνέπειές τους, όμως αυτές έχουν σημαντικές υπολογιστικές, τηλεπικοινωνιακές και υπολογιστικές απαιτήσεις οι οποίες δεν μπορούν να ικανοποιηθούν λόγω των περιορισμών των κόμβων.
- Συνεπώς, τα WSNs απαιτούν νέες λύσεις για key establishment, key distribution node authentication, και ασφάλεια.

Table 1.2 Comparison of traditional networks and wireless sensor networks

Traditional networks	Wireless sensor networks
General-purpose design; serving many applications	Single-purpose design; serving one specific application
Typical primary design concerns are network performance and latencies; energy is not a primary concern	Energy is the main constraint in the design of all node and network components
Networks are designed and engineered according to plans	Deployment, network structure, and resource use are often ad hoc (without planning)
Devices and networks operate in controlled and mild environments	Sensor networks often operate in environments with harsh conditions
Maintenance and repair are common and networks are typically easy to access	Physical access to sensor nodes is often difficult or even impossible
Component failure is addressed through maintenance and repair	Component failure is expected and addressed in the design of the network
Obtaining global network knowledge is typically feasible and centralized management is possible	Most decisions are made localized without the support of a central manager